REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Electromécanique

Spécialité : Mécatronique

Machine CNC à 4 Axes: conception et simulation

Présenté par :

Zirar Bilal

Houti Ibrahim

Proposé et Dirigé par :

Dr. BETTACHE Farouk

Pr. ABDELLAH EL-HADJ

Promotion juin 2020

Remerciements

A Monsieur le Docteur BETTACHE Farouk et Monsieur le Pr. ABDELLAH EL HADJ A. qui nous ont fait l'honneur de diriger ce travail et nous ont témoigné de leur confiance, reconnaissance sincère pour leur conseils avisés et leur disponibilité et leur patience.

A Monsieur Dr. HENINI NOREDINE qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de mémoire, hommages respectueux.

À tous les amis, la famille et tous ceux qui ont contribué à ce travail

ملخص

في إطار المذكرة قمنا بدراسة المحركات خطوة بخطوة من أجل التحكم في آلة التحكم الرقمي أي بمعنى:

- محاكاة التحكم في أربعة محركات خطوة بخطوة باستخدام برنامج بروتوس وباستعمال لوحة الأردوينو و لوحة التحكم الرقمي.
- و المحاكاة على برنامج GrblGru محاكاة افتراضية ثلاثية الأبعاد للتحكم في آلة CNC.
- لقد استعملنا برنامج لتشغيل آلة التحكم الرقمي من أجل قراءة صورة ثم القيام باستخراج ملف Gcode وإرساله عن طريق برنامج universel Gcode sender إلي لوحة اردوينو لوحة .
- اسخدمنا لوحة اردوينو ولوحة التحكم الرقمي في التطبق العملي.
- في الجزء الأخير من المذكرة قمنا بتصنيع وإجراء اختبارات تشغيل آلة التحكم الرقمي.

الكلمات المفتاحية :المحركات خطوة بخطوة، آلة التحكم الرقمي، لوحة اردوينو.

RÉSUMÉ

Le travail développé dans le cadre de ce mémoire a porté sur l'étude des différents moteurs pas à pas en vue de commander une machine CNC, c'est à- dire :
L'objectif de ce travail est l'étude et réalisation de la machines à outil à commande numérique MOCN.

- La simulation de la commande de quatre moteurs pas à pas avec le logiciel proteus « isis», en utilisant la carte Arduino Uno et la carte CNC V3 " shields".
- Simulation sur logiciel GrblGru: simulation virtuelle 3D de la commande d'une machine CNC.
- On a exploité les logiciels de commande de la machine CNC pour vectoriser une image de Circuit Imprimé et générer le fichier G-code. Puis nous avons choisi le logiciel Gcode Sender pour transférer le fichier G-code vers la carte Arduino Uno.
- Nous avons utilisé la carte Arduino Uno et la carte CNC V3 " shields" dans la réalisation pratique.

Dans la dernière partie du mémoire, nous présentons la fabrication de la machine CNC et les tests sur le fonctionnement de cette machine.
Les mots clé : Moteur pas à pas, CNC machine, Arduino , Carte CNC V3 " shields".

ABSTRACT

The developed work in this memory is taking over the study of different stepper Motors to command a machine CNC , it means :

- The simulation of the command of four stepper Motors with the Proteus software <isis> using the Arduino Uno board and the CNC V3 " Shields" board.
- Simulation on GrblGru: 3D virtual simulation of controlling a CNC machine.
- The control software of the CNC machine has been used to vectorize an PCB image and generate the G-code file. Then we have choose the Gcode Sender software to transfer the G-code file to the Arduino Uno board.
- We used the Arduino Uno board and the CNC V3 board "shields" in the practical Realization.

In the last part of the memory, we present the manufacture of the CNC machine and the tests over the functioning of this machine.

Keywords: **Stepper motors, CNC machine, Aduino, CNC V3 board " Shields".**

Abréviation.....12

INTODUCTION GENERQLE

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES MACHINES CNC

I.1. Introduction 14

I.3. Définitions : 15

I.4 . Domaine d'utilisation 16

I.5. Principe de fonctionnement : 16

I.6. La structure d'une machine à commande numérique : 17

.I.7. La commande numérique par calculateur(CNC) : 17

I.8. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO).....18

I.9. La Fabrication Assisté par Ordinateur (FAO) 18

I.10. Le post-processeur 18

I.11. Classification des MOCN Les machines-outils à commande numérique (MOCN) sont classées suivant : 19

I.12. Les types de la machine CNC à 4 axes : 19

I.13.Programmation de commande numérique : 20

I.14.Langage : 20

I.15. Fonctions préparatoires G : 20

I.16. Conclusion : 21

II.1. Introduction :.....23

CHAPITER II: PARTIE ELECTRIQUE ET MECANIQUE DE LA MACHINE CNC

II.2. Les Moteurs Pas à Pas :.....23

II.2.1. Historique :[6].....23

II.2. 2.Domaines d'application d'un moteur pas à pas : 23

II.2.3. Les types de moteurs pas à pas : 24

II.2.4. Propriétés et applications : [11] 30

II.2.5.Comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas : [11] 30

II.2.6. Les avantages et les inconvénients de moteurs pas à pas : [12].....31

II.3. Carte Arduino : [13].....31

II.3.1. Histoire de la carte Arduino : [13].....31

II.3.2.Les différents types des cartes 'Arduino' : 32

II.3.3.Les gammes de la carte Arduino :.....32

II.3.4. Caractéristiques techniques de l'Arduino UNO :.....33

II.4. Driver moteur pas à pas A4988: 34

II.5. La carte SHIELD CNC : 35

II.6. Le circuit de puissance A4988 : [17] 36

II.6.1. Caractéristiques et détails techniques de circuit A4988 : [17] 36

II.6.2. Brochage et description des pins de driver A4988 : [17].....37

II.6.3. Ajustement de Driver A4988 : [18] 39

II.7. Structure de la machine : 41

II.8. Système vis/écrou : 44

II.9. Accouplement : 44

II.10. Palier : 45

II.11. de Guidage en translation : 45

II.12. Conclusion : 46

III.1. Introduction: 47

CHAPITRE III : PROGRAMMATION DE LA MACHINE CNC

III.2. chaîne de programmation : 47

III.3. Langue de contrôleurs numériques « G-code ».....49

III.3.1. Description 49

III.3.2 Format d'une ligne.....49

III.3.3 Les principales fonctions de G-code.....49

III.4. L'éditeur du texte ou image compilateur de langage CNC : 51

III.4.1 Définition Inkscape 51

III.4.2. La fenêtre Inkscape: 51

III.5. Générer le G code avec inkscape : 56

III.6. Définition d'Universal G code Sender : 57

III.6.1. Logiciel de pilotage de la machine CNC: 57

III.7. Langage de programmation la machine CNC: 62

III.7.1. Programme Grbl: 62

III.8. Conclusion: 64

CHAPITRE IV: SIMULATION

IV .1.Introduction : 65

IV.2.Simulation électrique sous porteuse Professional : 65

IV.3.PROTEUS ISIS : 65

IV.4.Virtual Serial Port Emulateur: 66

IV.5. Lancement de la simulation: 67

IV.6.Simulation par le logiciel Grblgru : 68

IV.6.2.Les fonctions de base : 68

IV.6.3.Modes de fonctionnement: 68

IV.6.4.Opération de simulation: 68

IV.7.Simulation de projet: 69

IV. 8. CONCLUSION : 74

CHAPITRE V : CONCEPTION ET REALISATION

V.1.Introduction : 75

V.2. Partie mécanique : 75

V.2.1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO) : 75

V.2.2. Fabrication assistée par ordinateur : 75

V.2.3. Logiciel SOLIDWORKS: 76

V.3.Conception des pièces : 76

V.3.1.Modélisation 3D des pièces à usinée : 76

V.3.2 Conception de la pièce standard : 79

V.3.2.Assemblage de la machine CNC :Après la conception des différentes pièces de la machine CNC, sont assemblé à l'aide de Logiciel Solidworks. L'assemblage des différentes pièces est représenté dans la Figure V 6. 79

V.4.fabrication de cnc machine 2D : 80

V.4.1.realisation de la machine cnc: 82

V.5. Conclusion : 83

CONCLUTION GENERALE……84

BIBLIOGRAPHIE……86

Liste des figures :

Figure I 1 : Machine à commande numérique. 14
Figure I 2 : Décomposition d'une machine numérique. 16
Figure I 3 : Cycle d'une pièce fabriquée par une commande numérique (CFAO). 18
Figure I 4 : Machine CNC à 4axes. 19
Figure II 1: Moteur à réluctance variable ……...24
Figure II 2: Moteur hybride. 25
Figure II 3 : Représentation schématique d'un moteur unipolaire. 27
Figure II 4 : Représentation schématique d'un moteur bipolaire. [10] 28
Figure II 5 : Séquences de commande d'un moteur bipolaire [10] 29
Figure II 6 : Les différents types des cartes 'Arduino' 32
Figure II 7 : Carte Arduino UNO. 34
Figure II 8 :Driver moteur pas apas A4988…….…….35
Figure II 9 : La carte SHIELD. 35
Figure II 10: Assemblage des cartes. 36
Figure II 11: Schéma diagramme de driver A4988. 37
Figure II 12: Schéma de brochage de driver A4988. 38
Figure II 13: Machine type pont mobile. 41
Figure II 14: Machine de type Portique. 42
Figure II 15: Machine type porte à faux. 42
Figure II 16: Machine type colonne. 43
Figure II 17: design de structure à pont mobile. 43
Figure II 18: système vis/écrou. 44
Figure II 19: Accouplement semi-élastique. 45
Figure II 20: Palier. 45
Figure III 1: Chaîne de programmation. 48
Figure III 2: L'interface principale d'Inkscape. 51
Figure III 3: Importation d'une image bitmap. 53
Figure III 4: Image vectoriel à vocation "artistique. 54
Figure III 4 : Points d'orientations. 55
Figure III 6: Bibliothèque d'outils. 56
Figure III 7: Chemin vers Gcode……...56
Figure III 8: Le fishier de G code 56
Figure III 9: Universel Gcode Sender. 57

Figure III 10: Onglet « Machine Control »de l'UGC. 58
Figure III 11: L'interface de "G-code Sender" on mode manuel. 59
Figure III 12: L'interface de "Gcode sender" choisir le fichier Gcode..... 59
Figure III 13: L'interface de "g code sender" on mode automatique. 60
Figure III 14: Envoyé fichée G code. 61
Figure III 15: Installations de GRBL dans l'arduino..... 63
Figure III 16: Ouvrir le GRBL.11..... 64
Figure IV 1: L'nterface de PROTEUS.…… ...…65
Figure IV 2: Nouvelle page ISIS. 66
Figure IV 3: Interface de VSPE. 66
Figure IV 4: Montage électronique dans porteuse. 67
Figure IV 5: De simulation. 67
Figure IV 5: GrblGru en mode Simulation. 69
Figure IV 6: La machine styrocutterwith 4th axis. 70
Figure IV 7: Charge un cylindre STL. 71
Figure IV 8: Import CoffeeHolder. 71
Figure IV 9: Mise à l'échelle et positionnement de l'esquisse. 72
Figure IV 10: Créer un emploi. 73
Figure IV 11: Démarrer le programme DE SIMULAION. 74
Figure V 1: Le logo du logiciel SolidWorks. 76
Figure V 2: Support axe Y. 77
Figure V 3: Portique. 77
Figure V 4: Moteur pas à pas. 78
Figure V 5: Mondrian. 78
Figure V 6: Assemblage des pièces. 80
Figure V 7: Arduino Uno. 80
Figure V 8: Carte CNC V3 shields. 81
Figure V 9: Moteurs pas à pas. 81
Figure V 10: Câblages circuits électrique 81
Figure V 11: Boite d'alimentation..... 82
Figure V 12: Realisation de la machine. 82

Leste de tableau:

Tableau II 1: Le mode monophasé biphasé ou demi-pas. 25
Tableau II 2: Ordre des différentes commandes pour moteur unipolaire [10]. 28
Tableau II 3: Ordre des différentes commandes pour moteur bipolaire [10]. 29
Tableau II 4: Comparaison des performances pour les trois types de moteurs pas à pas. 31
Tableau II 5: Tableau comparatif des différentes cartes Arduino. [15] 33
Tableau II 6: La configuration de mode de résolution. 41
Tableau III 1: Les principales fonctions du G-code. 52
Tableau V 1: Conception des pièces standards. 79

Abréviation

CNC	Commande Numérique par Calculateur
CFAO	Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur.
CAO	Conception Assistée par Ordinateur.
FAO	Fabrication Assisté par Ordinateur
MOCN	Machine-Outil à Commande Numérique
OP	Origine pièce
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
STEP	Standard pour l'échange de données de produit (STandard for the Exchange of Product model data en anglais)
ISO	Organisation Internationale de normalisation.
DXF	Drawing eXchange Format
DCN	Directeur de Commande Numérique

INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui, les machines commande numérique par calculateur (CNC) permettent une production économique et rentable. Le contrôle des coûts reste une préoccupation importante. La diminution des quantités des séries et le raccourcissement de la longévité des produits finaux demandent des déroulements de production de plus en plus flexibles.

En résumé, la commande CNC va générer des mouvements selon des consignes numériques et réguler ces derniers par des systèmes en boucle fermée. À noter que les données reçues en entrées par l'automate sont également exploitable par la commande numérique et inversement.

Notre projet consiste à concevoir une machine CNC à 4 axes avec la norme ISO de commande numérique (code G). Concevoir la partie commande de cette machine fait appel à des algorithmes d'interpolation, commande des moteurs pas à pas, asservissement, interfaçage Homme-Machine…

Le présent travail s'articule autour des quatre chapitres suivants :

Le premier chapitre, est généralité sur les Machine CNC (commande numérique), dont le but est de voir montrer la définition et l'historique et le principe de fonctionnement et types de la machines CNC à 4 axes et La programmation de commande numérique(CN).

Le deuxième chapitre est consacré à la description des composants électroniques en vue de la commande des moteurs pas à pas, basée sur de la carte Arduino Uno et la carte CNC V3 " shields".

Le troisième chapitre concerne l'étude de la programmation et interface graphique et son application à la machine CNC. La présentation du logiciel Inkscape est un logiciel de dessin vectoriel qui offre une interface graphique de gestion des images vectorielles.

Au chapitre 4, simulation par **grblGru** et **Proteuse**.

Dans le dernier chapitre , nous avons fabriqué et conçu la machine CNC avec Solid Works.

I.1. Introduction

Le développement de l'industrie des machines a pris une évolution importante ces dernières années. On utilise les machines cnc Dans plusieurs domaines. La commande numérique (CN) est une technique utilisant des données composées de Codes alphanumériques pour représenter les instructions géométriques et technologiques Nécessaires à la conduite d'une machine ou d'un procédé.

Ce chapitre apporte les connaissances fondamentales sur les machines-outils et de la commande Numérique. Ainsi, que les différentes étapes qu'il convient de respecter avant l'acquisition d'une machine -outil à commande numérique (MOCN).

Après une première génération de commandes numériques à logique câblée sont apparues les commandes numériques par calculateur (CNC), ou par ordinateur, qui intègrent un ou plusieurs ordinateurs spécifiques pour réaliser tout ou partie des fonctions de commande. Tous les systèmes de commande numérique commercialisés actuellement contenant au moins un microprocesseur, les termes CN et CNC peuvent être considérés comme des synonymes [1].



Figure I 1 : Machine à commande numérique.

I.2. HISTORIQUE DES MACHINES-OUTILS [2]

Selon le nouveau Larousse illustré de 1904 : « la machine-outil est une machine dont l'effet final est un outil mis en mouvement, et qui a pour but de remplacer la main de l'homme lors du façonnage des matières ». L'évolution des machines-outils commence il y a plus de cinq mille ans avec les premiers tours à potier.

A travers l'évolution des machines-outils, du tour du potier au tour numérique, apparaissent en filigrane de nombreuses tendances qui ont déterminé l'histoire de l'humanité. D'abord, l'histoire des techniques qui a été influencée par la succession des types d'énergie utilisée : la force de l'homme (le pied sur la pédale), celle du vent ou de l'eau (au XVIe siècle, grâce à la mécanisation du système d'entraînement, le tour fut couplé à des moulins et autres roues à aubes), la combustion du charbon (la machine à vapeur), l'électricité (mais aussi l'énergie lumineuse, chimique , acoustique jusqu'au faisceau à particule) puis le développement de l'informatique.

Ensuite l'histoire des objets qui a suivi l'évolution des matériaux utilisés, la terre, le bois, le métal puis les matières les plus diverses et les alliages développés pour les besoins de la technologie moderne.

Enfin, l'histoire des machines-outils soulève des questions de société comme la condition du travailleur (de l'ouvrier à la chaîne, esclave de la machine-outil, jusqu'au technicien responsable des tours numériques…) et la condition de l'homme moderne. La production standardisée et les gains de productivité permis par les machines-outils ont en effet pu lui offrir la consommation de masse et le temps libre.

I.3. Définitions :

Les machines à outils commande numérique (MOCN) est une machine totalement ou partiellement automatique à laquelle les ordres sont communiqués grâce à des codes qui sont portés sur un support matériel.

Lorsque la machine-outil est équipée d'une commande numérique capable de réaliser les calculs des coordonnées des points définissant une trajectoire (interpolation), on dit qu'elle est à calculateur. Elle est appelée CNC (Commande Numérique par Calculateur). La plupart des MOCN sont des CNC.[2]

I.4 . Domaine d'utilisation

Les machines à outils commande numérique (MOCN) conviennent surtout à la fabrication en petites et moyennes séries renouvelables. Elles permettent la réalisation, sans démontage, de pièces complexes comportant beaucoup d'opérations d'usinage.

Ce type de machine se situe à mi-chemin entre les machines conventionnelles très "flexibles" (souple d'utilisation) réservées aux travaux unitaires (prototypes, maintenance) et les machines transferts, très productives, réservées aux grandes séries.

On utilise les machines CNC dans divers domaines:

➢ Le modélisme avion ou bateau

➢ Les maquettes de bâtiments et les maisons de poupées

➢ Les meubles

➢ Les bateaux ou les avions en taille grandeur nature abrication des moules d'injection plastique

➢ La réalisation de cartes électroniques

I.5. Principe de fonctionnement :

La machine CNC travaille avec des systèmes de contrôles en boucle fermée. des ordres vont être générés vers la commande par le biais d'un programme pièce ou par action manuelle de l'opérateur.

La commande va traiter ces informations et générer des consignes afin d'obtenir les déplacements voulus par le biais des moteurs d'axes. Des contrôles de vitesse et de position seront alors effectués de manière continue par la machine la position sera régulée par la commande numérique alors que la vitesse sera le plus souvent régulée par le système d'asservissement moteur. On se trouve donc en face d'un système à deux boucles et l'on parle de système asservi. [3]

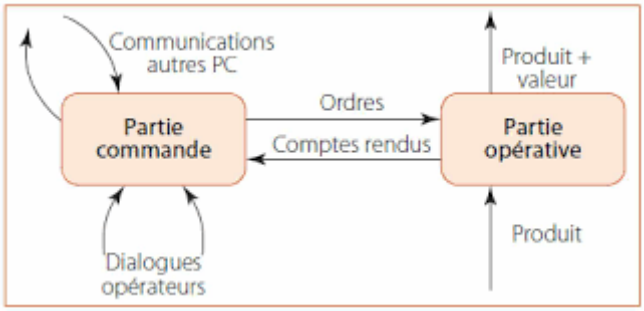


Figure I 2 : Décomposition d'une machine numérique.

I.6. La structure d'une machine à commande numérique :

La structure d'une machine à commande numérique Les programmes d'usinage sont réalisés à partir d'une origine appelée « origine programme » (OP) positionnée par le programmeur. Le programme commande les déplacements relatifs entre le brut et les outils dans le but de réaliser l'usinage de la pièce finale. Ces déplacements sont réalisés dans un repère orthonormé normalisé (O,$\vec{\mathbf{x}}$,$\vec{\mathbf{y}}$,$\vec{\mathbf{z}}$)basé sur la structure de la machine.

L'axe $\vec{\mathbf{z}}$de ce repère est un axe confondu avec celui de la broche de la machine — axe de rotation de la fraise en fraisage, axe de rotation de la pièce en tournage. Le sens positif de cet axe est donné par le sens d'éloignement de l'outil par rapport à la pièce. La détermination de l'axe$\vec{\mathbf{x}}$ entre les 2 axes restants se fait en identifiant celui qui permet le plus grand déplacement. Le sens positif de $\vec{\mathbf{x}}$ est déterminé par le sens logique d'éloignement de l'outil par rapport à la pièce. L'axe $\vec{\mathbf{y}}$est déterminé à partir de $\vec{\mathbf{x}}$ et $\vec{\mathbf{z}}$grâce à la règle du trièdre direct.[4]

.I.7. La commande numérique par calculateur(CNC) :

C'est en 1942 aux Etats-Unis que la CN a commencé à être exploitée, pour permettre l'usinage de pompes à injection pour moteurs d'avions. Il s'agissait en fait de cames, dont le profil complexe était irréalisable au moyen d'une machine traditionnelle. La commande numérique a pour tâche de générer des mouvements d'axes. Ces instructions qui viennent du programme pièce ou de l'opérateur machine consisteront en une position et une vitesse de déplacement. Le processeur de la commande numérique va alors générer une consigne afin qu'on puisse commander les moteurs d'axes. Elle aura également pour tâche, lors du déplacement des axes, de Vérifier la position de ces derniers et dans certain cas, la vitesse de déplacement. Les commandes numériques actuelles sont capables d'effectuer des mouvements en combinant simultanément les positions sur les axes X, Y et Z. Elles s'appellent commande numérique par calculateur. De plus, elles sont capables de gérer plusieurs axes simultanément. On parle alors d'interpolation. Cette dernière peut être linéaire ou circulaire selon la consigne générée par le microcontrôleur de la partie commande. Le rôle de ce processeur est d'interpréter un code machine que l'on appelle un code G, puis de générer les signaux de commande des axes et de la broche.

I.8. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

« La CAO permet de concevoir des systèmes dont la complexité dépasse la capacité de l'être humain comme par exemple en micro-électronique ». Dans notre cas, on s'intéresse à la conception des formes de deux dimensions. Un progiciel tel que inkscape génère un fichier qui simule la surface, et qui est compatible par d'autre progiciel de fabrication assisté par ordinateur par exemple (Solidworks).

I.9. La Fabrication Assisté par Ordinateur (FAO)

La conception de schéma électronique par exemple à obtenir est donc réalisée à l'aide d'un progiciel de conception assistée par ordinateur (CAO): on nomme le fichier ainsi obtenu "DFN" pour Définition de Formes Numérisées. Cette modélisation est ensuite « exportée » dans un fichier intermédiaire en utilisant un standard d'échange comme IGES, STEP, DXF ou autre. Certains outils de FAO sont capables de relire directement les fichiers des grands fournisseurs de CAO. Dans d'autres cas, la CAO et la FAO sont complètement intégrées et ne nécessitent pas de transfert. Pour ces progiciels, on parle de CFAO.

I.10. Le post-processeur

C'est un petit programme utilitaire qui transforme des trajectoires en format neutre en trajectoires en repère MOCN (machine-outil à commande numérique). Ce traducteur tien compte de la cinématique de la machine, de ses courses et de ses capacités. Il signale les erreurs et exprime les trajectoires dans le langage spécifique à la machine. Chaque machine possède donc son propre post-processeur.

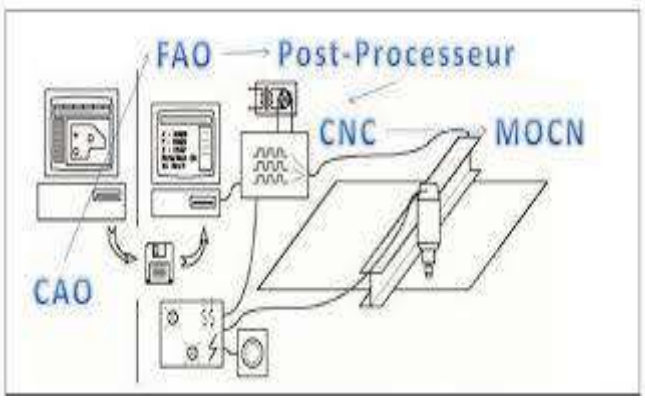


Figure I 3 : Cycle d'une pièce fabriquée par une commande numérique (CFAO).

I.11. Classification des MOCN Les machines-outils à commande numérique (MOCN) sont classées suivant :

Classification selon la nature de déplacement :

- le mode de fonctionnement de la machine.
- le nombre d'axes de la machine.
- le mode d'usinage .

I.12. Les types de la machine CNC à 4 axes :

Il y a plusieurs types de machines CNC à 4 axes et ces types sont classés selon les différentes par rapport à un tour à trois axes de la machine CNC.

Classification suivant le nombre d'axe. [5]:

- Fraisage (X,Y, Z,B): surfaçage, perçage, fraisage de poches, de rainures et de surfaces gauches. L'axe outil reste contenu dans un plan fixe par rapport à la pièce.
- Fraisage (cf X, Y, Z, B).

  tournage(X,Y,Z,C)
- Tournage à deux tourelle(2(X,Z))

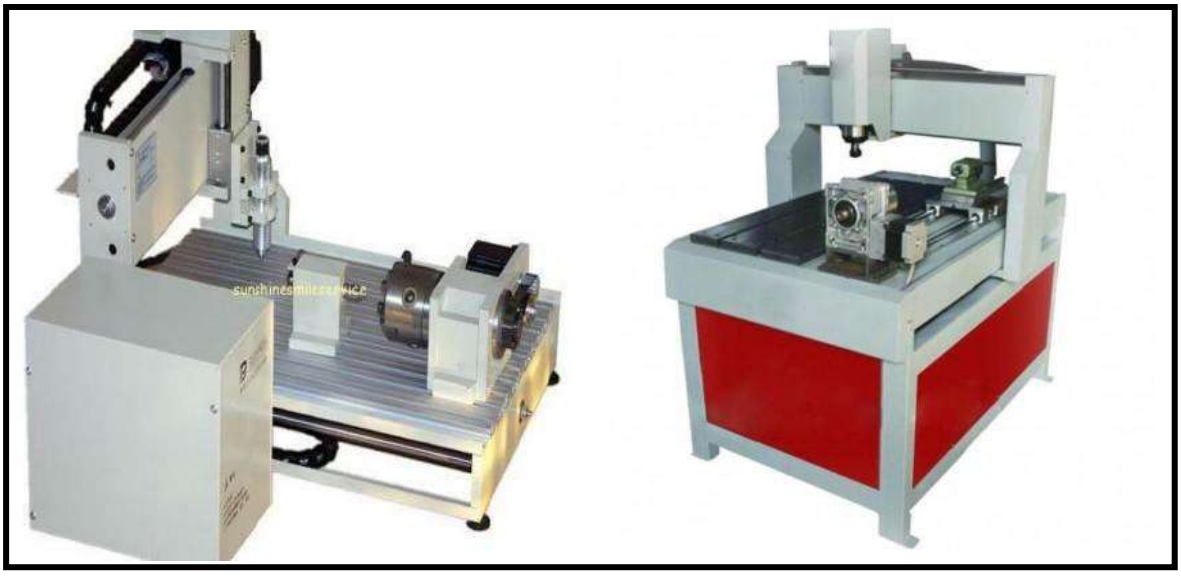


Figure I 4 : Machine CNC à 4axes.

I.13.Programmation de commande numérique :

La programmation de commande numérique (CN) permet de commander numériquement, avec des instructions, les déplacements des différents organes mobiles. C'est le directeur de commande numérique (DCN) qui interprète les instructions, reçoit les informations des capteurs et agit (par l'intermédiaire d'un variateur électronique) sur les moteurs.
Il existe plusieurs fabricants de DCN : Fanuc, , Heidenhain , Makino, Fagor, Selca, Fidia, MAZAK.

I.14.Langage :

Depuis l'établissement de la norme ISO 6983, et les technologies évoluant rapidement, de nombreuses extensions sont été ajoutées pour tenir compte des nouveautés et des nouvelles capacités des machines-outils. Ces extensions, bien que souvent utiles chez des constructeurs différents de Directeur de Commande Numérique, n'entrent pas dans la norme et compliquent la tâche des logiciels de Fabrication assistée par ordinateur, qui doivent créer les lignes de ce langage pour un DCN particulier. A côté de l'ISO, de nouveaux codes sont apparus, différents selon le Directeur de Commande Numérique. Ils intègrent de plus en plus, en plus de l'ISO, des langages propres aux constructeurs de DCN (symbolique, C, etc.) ainsi que des interfaces de programmation conversationnelle destinées à simplifier la programmation (voir CN Mazak, Heidenhain ou Selca).

• Fonctions préparatoires (G), fonctions d'appel de mode d'interpolation (G 0), cycles machine.

• Coordonnées de points (X, Y, Z… I, K…)

• Vitesses, avances… (S, F…)

• Fonctions auxiliaires (M…) qui permettent d'enclencher la lubrification, de Changer d'outil, ou de déclencher des accessoires.

I.15. Fonctions préparatoires G :

La fonction d'interpolation linéaire rapide G 0 (ou G0) (avance rapide de l'outil : quand l'outil se déplace sans usinage).

La fonction d'interpolation linéaire (à la vitesse programmée) G 01 (ou G1) (avance travaille: c'est à dire quand l'outil usine la pièce).

La fonction d'interpolation circulaire G 02 (ou G2) dans le sens horaire) et G 03 (ou G3) dans le sens trigonométrique.

La fonction de temporisation (programmable avec F, X(ou P) G 04 (ou G4). La fonction d'arrêt précis en fin de bloc G 09 (ou G9).

Il est aussi possible sur certains pupitres de programmation d'utiliser ces deux codes (G2 G3) pour créer une interpolation circulaire.

Sur les fraiseuses équipées de tête bi rotative les codes G17, G18, G19 définissent l'axe des cycles de perçage, taraudage...et le plan dans lequel seront réalisées les interpolations circulaires et activé le correcteur de rayon d'outil.

• G17 : Axe d'outil Z , interpolations G2,G3 et correction rayon dans le plan X Y.

• G18 : Axe d'outil Y , interpolations G2,G3 et correction rayon dans le plan Z X.

• G19 : Axe d'outil X , interpolations G2,G3 et correction rayon dans le plan Y Z.

Les codes de la famille G54, G57...sont utilisés pour :

• Programmer un décalage d'origine.

• Définir que les déplacements sont relatifs à l'origine machine.

• Choisir le numéro de l'origine pièce.

Certains codes G de la famille G60, G70 peuvent être utilisés par les fabricants de DNC pour :

• Le choix de la programmation cartésienne ou polaire.

• L'activation d'un facteur d'échelle.

• La mise en action d'une fonction miroir .

• La programmation en mesure métrique ou en pouce.

Les codes G90, G91 définissent la programmation absolue ou incrémentale des cotes.

Des cycles préprogrammés sont également accessibles sur la plupart des machines : G 81,

82, 83... Pour les cycles de perçage, taraudage, etc. avec l'annulation par G 80.

I.16. Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre une vue générale sur les machines-outils à commande numérique, dont le but de montrer la définition et l'historique et les différents organes et techniques du CNC et le principe de fonctionnement de ce dernier.

En fin on donne quelques exemples pour les machines outil à commande numérique. dans l'industrie.

CHAPITRE II :PARTIE ELECTRIQUE DE LA MACHINE CNC

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons deux pièces mécaniques et électriques pour la fabrication de machines CNC.

La partie électronique nous présente les différents composants utilisés dans une machine CNC, à savoir: moteur pas à pas, carte de commande électronique, portails de communication en plus d'autres éléments nécessaires.

La partie mécanique Nous étudions la structure de la machine et déterminons les différents systèmes de transmission et composants de la machine CNC.

II.2. Les Moteurs Pas à Pas :

Le moteur pas à pas (stepping motor en anglais) est un convertisseur électromécanique qui assure la transformation d'un signal électrique impulsionnel en un déplacement mécanique (angulaire ou linaire). Sa structure de base se présente sous la forme de deux pièces séparées mécaniquement, le stator et le rotor.

L'interaction électromagnétique entre ces deux parties assure la rotation. Dans cette première partie de l'étude nous présenterons les principales caractéristiques des différents types de moteur pas à pas, et leur principe de fonctionnement.

II.2.1. Historique :[6]

Les premiers moteurs pas -à- pas à réluctances variable ont été utilisés par la marine de guerre britannique dans les années 1920 pour déplacer les indicateurs de direction de lance - torpilles et des canons. Dans les années 1930, l'ingénieur Marius Lavet a découvert un type particulier de moteur pas à pas à aimant, connu maintenant sous le nom de moteur Lavet , qui a permis le développement de ce dispositif dans les domaines de l'hodologie grâce a sa miniaturisation et à son faible cout.

Il équipe aujourd'hui presque toutes les montres a aiguilles. Le moteur pas a pas classique est apparu dans les années 1940, mais c'est l'avènement de l'électronique numérique dans les années 1960 qui a permis son développement.

II.2. 2.Domaines d'application d'un moteur pas à pas :

En peut utiliser les moteurs pas à pas dans les applications suivantes :

- péri-informatique:

• avance des têtes de lecture de disques mémoire (dans les disques durs actuels, on utilise des actionneurs à bobine mobile plus rapides)

• imprimantes, scanners, machines à écrire...

II.2.3. Les types de moteurs pas à pas :

Il y a trois principaux types de moteurs :

• Moteur à réluctance variable

• Moteur à aimant permanent

• Moteur hybride

II .2.3.1. Les moteurs pas a pas à réluctance variable :

Les moteur à réluctance variable fonctionnent selon un principe différent de celui des moteur à aiment permanent. Ils possèdent bien évidemment un stator, mais ce dernier est fabriqué en acier doux non magnétique. [7]

Le rotor est en fer doux et comporte un nombre de pôles différent du stator. Le rotor se déplace pour que le flux le traversant soit maximum. Ces moteurs n'ont de couple de maintien si aucune bobine n'est alimentée.[8]

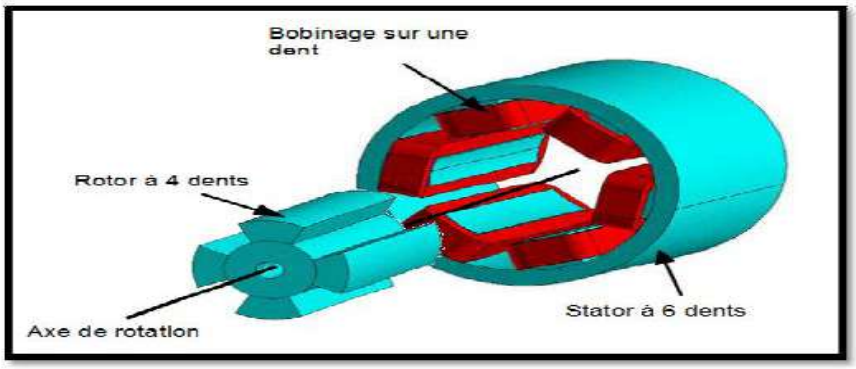


Figure II 1: Moteur à réluctance variable [8].

A. Le principe de fonctionnement est très simple :

Le principe de fonctionnement est très simple l'un des phases alimentant deux des plots opposés du stator est traversée par un courant afin d'aligner deux des dents du rotor avec ces plots. Le mode de commande peut dans ce cas, de la même façon que pour les autres moteurs, être monophasé, biphasé ou demi-pas. Les séquences de commandes sont présentées dans le tableau suivent :

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi-pas
A B C D	AC CB BD DA	A AC C BD D DA

Tableau II 1: Le mode monophasé biphasé ou demi-pas.

B. Caractéristique principal :

- Les fréquences de fonctionnement peuvent être élevées.
- Bonne résolution.
- Construction simple.
- Absence de couple résiduel avec le moteur hors tension.[8]

II.2.3.2. Moteur pas-à-pas hybride MH :

Le principe du moteur à réluctance variable et à aimant permanentons obtient un moteur hybride qui combine les avantages des deux moteurs. Le rotor est constitué par deux pièces en fer doux ayant chacune n pôles séparées par un aimant permanent magnétisé dans le sens de l'axe du rotor. Le nombre m de pôles du stator est différent de celui du rotor. Le rotor se déplace pour que le flux qui le mode pas entier, les bobines sont alimentées paire par paire alternativement avec inversion à chaque pas. Il est nécessaire d'avoir un rotor polarisé pour imposer le sens de rotation à chaque commutation. [8]

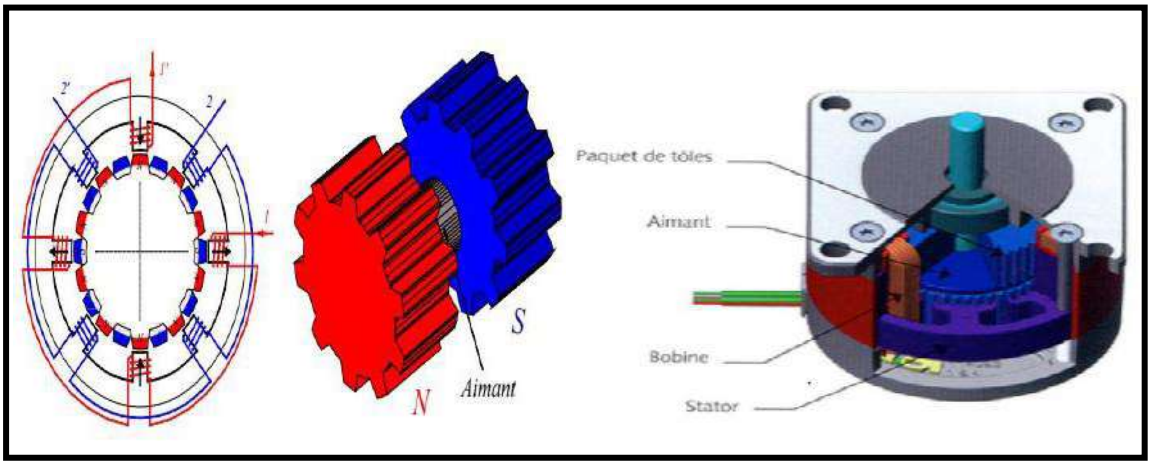


Figure II 2: Moteur hybride.

A. Technologie des moteurs pas à pas hybride :

Les moteurs pas à pas hybrides réunissent, au moins en partie, les avantages des moteurs pas à pas à réluctance variable et à aimants permanents, à savoir :

• un grand nombre de pas par tour, une fréquence propre mécanique importante,

• un couple massique élevé,

• un amortissement interne important,

• une mémoire de position.

Dans sa configuration de base le moteur pas à pas hybride comporte un stator en fer feuilleté à plots saillants et deux couronnes robotiques dentées en matériau ferromagnétique géométriquement identiques et réunies par un aimant permanent cylindrique magnétisé axialement.

Les lignes de champs de l'aimant se ferment à travers les dents du rotor. Vu du stator, le rotor présente autant de pôles magnétiques actifs qu'il possède de dents. Les dents sur une des couronnes sont décalées par rapport aux dents de l'autre d'un demi-pas dentaire $1/2\tau dr$. [9]

B. Caractéristique principale :

Hors tension, le rotor est maintenu en position

Bonne précision de la position du rotor

Grande vitesse de rotation [8]

II.2.3.3.Moteurs à aimant permanent :

Les moteurs à aimant permanent sont constitués d'un stator supportant les bobinages et d'un rotor magnétique (aimant bipolaire). Cette catégorie de moteurs se subdivise en deux types le moteur unipolaire et le moteur bipolaire. [10]

A. Moteur à aimant permanent unipolaire : [3]

Les moteurs unipolaires se différencient par le fait qu'ils sont à double bobinage. Le double bobinage est utilisé pour l'inversion du flux statorique et le moteur se commande de la même manière qu'un bipolaire excepté qu'un seul transistor pour chaque enroulement suffit dans l'étage de puissance (soit quatre Darlington pour un moteur ou un réseau de 4 transistors).

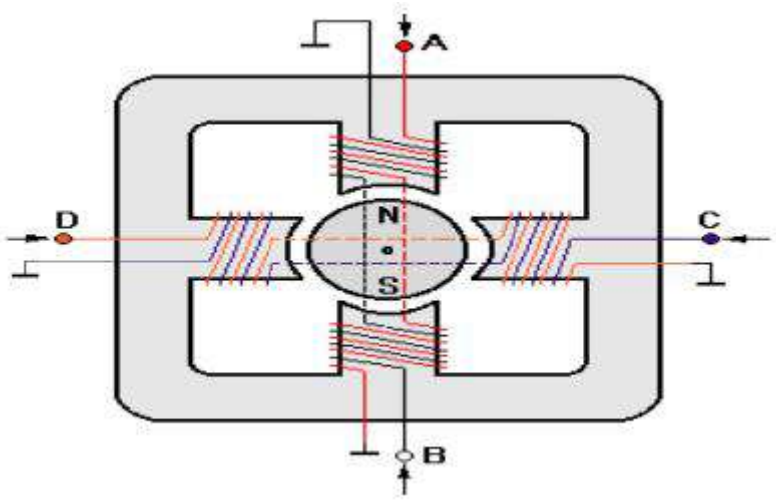


Figure II 3 : Représentation schématique d'un moteur unipolaire.

a. Fonctionnement d'un moteur pas -a-pas unipolaire :

On partira du principe que la rotation d'un moteur pas à pas s'effectue en 4 étapes, dans la réalité, le moteur est constitué d'une succession d'alternance de pôles : ainsi, l'axe du modèle dont nous disposons dans notre réalisation fait un tour complet en 48 pas (un pas correspond donc à 360°/48 = 7,5°).

Dans les schémas voire (Figure II.3), la flèche noire représente l'aiguille d'une boussole qui serait disposé en place et lieu du rotor ; elle indique l'orientation du champ magnétique (elle pointe vers le nord, qui attire donc le pôle Sud du rotor) et se décale alors d'un quart de tour à chaque étape. [7]

Comme pour chaque type de moteur, le modèle unipolaire peut être commandé en mode, biphasé ou demi (Le tableau II.2) donne l'ordre des différentes commandes [10]

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi-pas
0001	0101	0001
0100	0110	0101
0010	1010	0100
1000	1001	0110
		0010
		1010
		1000
		1001

Tableau II 2: Ordre des différentes commandes pour moteur unipolaire [10].

Signalons que le moteur unipolaire présentera, à volume égal, un couple moins important quele moteur bipolaire.

b. Fonctionnement d'un moteur pas -a-pas Les moteurs bipolaires [10]

La figure II.4 représente la constitution interne d'un moteur de type bipolaire.Ce type de moteur nécessite une commande plus complexe que celle du moteur unipolaire, le courant Devant changer de sens dans les enroulements à chaque pas effectué.

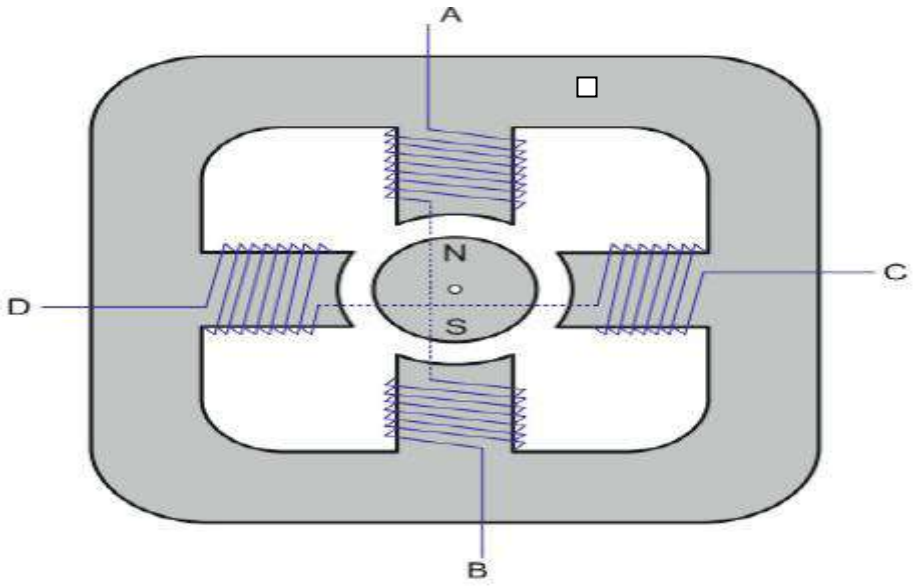


Figure II 4 : Représentation schématique d'un moteur bipolaire. [10]

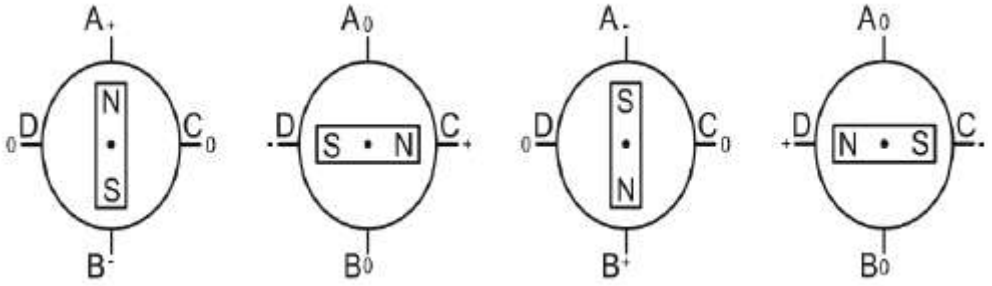
Comme pour le modèle précèdent, ce moteur peut être alimenté sous trois Mode différentes (tableau II.3).

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi-pas
AB	AB-CD	AB
CD	BA-CD	AB-CD
BA	BA-DC	CD
DC	AB-DC	BA-CD
AB	AB-CD	BA
etc..	etc..	BA-DC
		DC
		AB-DC
		AB

Tableau II 3: Ordre des différentes commandes pour moteur bipolaire [10].

a) **Mode monophasé**

Dans le mode monophasé, le couple n'est pas très important puisqu'un seul enroulement est alimenté pour effectuer un pas.



b) **Mode biphasé**

C'est dans le mode biphasé que le moteur développera la plus grande puissance (couple Élevé) car les deux phases seront alimentées en même temps Comme pour le modèle Précèdent, ce moteur peut être alimenté sous trois Mode différentes (tableau II.3).

c) **Mode demi-pas**

Le mode demi-pas permet de doubler le nombre de pas qu'un moteur peut effectuer par tour, Mais cette précision supplémentaire engendre un couple irrégulier. En effet, dans ce mode, la Commande du moteur est un mélange de mode biphasé et monophasé. Dans ce cas, si la charge est importante, des pas risquent de « sauter », ce qui n'est pas le but recherché.

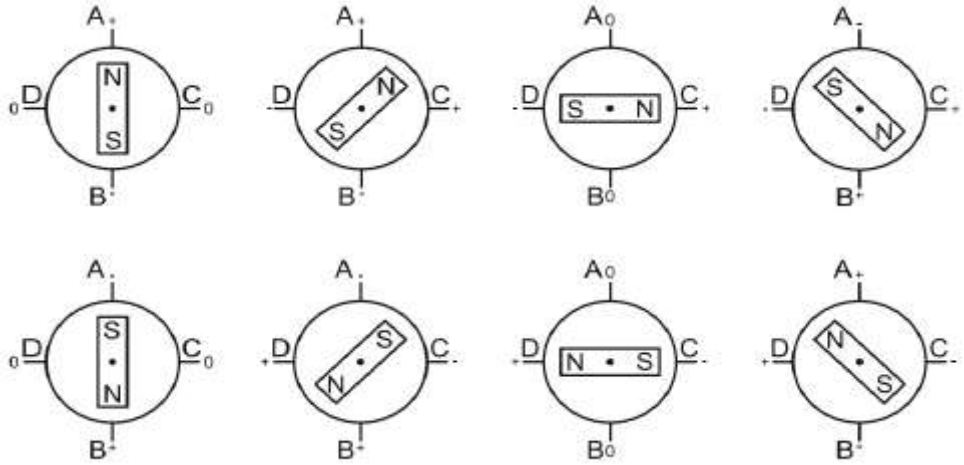


Figure II 5 : Séquences de commande d'un moteur bipolaire [10]

II.2.4. Propriétés et applications : [11]

Moteur pas à pas a été conçu à partir de deux démarches logiques très différentes d'une part, on a cherché un moteur capable de développer un couple important à faible vitesse, voire même à l'arrêt. d'autre part, on a étudié un dispositif capable de convertir des informations de caractère discret. le convertisseur d'énergie à basse vitesse et le transmetteur de l'information sont de venus un Moteur pas à pas moderne vers les années 1970, grâce au développement conjugué de L'électronique de puissance et, surtout, grâce à l'apparition de l'électronique numérique à forte intégration

Le moteur pas à pas est actuellement principal élément intermédiaire entre les dispositifs De traitement d'information et le monde électromécanique extérieur. Par ailleurs, ses capacités à contrôler la position et la vitesse, par un train d'impulsions de commande, assurent à ce convertisseur des applications comme

- la traction des robots mobiles,
- le fonctionnement en moteur c
- l'indexage rotatif ou linéaire.

II.2.5.Comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas : [11]

Cette comparaissant peut se résumé selon le tableau suivant :

Type de moteur pas à pas	Moteur à réluctance variable	Moteur à aimants Permanents	Moteur hybride
Résolution (nb de pas par tour)	Bonne	Moyenne	Elevée
Couple moteur	Faible	Elevée	Elevée
Sens de rotation	Dépend : - de l'ordre d'alimentation des phases	Dépend : - de l'ordre d'alimentation des phases - du sens du courant Dans les bobines	Dépend : - de l'ordre d'alimentation des phases - du sens du courant dans les bobines
Fréquence de travail	Grande	Faible	Grande
Puissance Quelques	Quelques Watts	dizaines de Watts	Quelques KWatts
Coût	Moyen/haut	Bas	Haut

Tableau II 4: Comparaison des performances pour les trois types de moteurs pas à pas.

II.2.6. Les avantages et les inconvénients de moteurs pas à pas : [12]

- **Avantages**
  - Rotation constante pour chaque commande (précision meilleure que 5% d'un pas). Existence de couple à l'arrêt.
  - Contrôle de la position, de la vitesse et synchronisation de plusieurs moteurs (pas de besoin de contre-réaction).
  - Moteur sans balais.
- **Inconvénients**
  - Plus difficile à faire fonctionner qu'un moteur a courant continu.
  - Vitesse et couple relativement faible.
  - Couple décroissant rapidement lorsque la vitesse augmente.
  - Résonance mécanique.

II.3. Carte Arduino : [13]

Les cartes Arduino sont conçues pour réaliser des prototypes et des maquettes des cartes électroniques pour l'informatique embarquée. Ces cartes permettent un accès simple et peu couteux à l'informatique embarquée. De plus, elles sont entièrement libres de droit, autant sur l'aspect du code source (Open Source) que sur l'aspect matériel (Open Hardware). Ainsi, il est possible de refaire sa propre carte Arduino dans le but de l'améliorer ou d'enlever des fonctionnalités inutiles au projet. Le langage Arduino se distingue des langages utilisés dans l'industrie de l'informatique embarquée par sa simplicité. En effet, beaucoup de librairies et de fonctionnalités de base occulte certains aspects de la programmation de logiciel embarquée afin de gagner en simplicité.

II.3.1. Histoire de la carte Arduino : [13]

Le projet Arduino est né en hiver 2005. Massimo Banzi enseigne dans une école de design à Ivrea en Italie, et souvent ses étudiants se plaignent de ne pas avoir accès à des solutions bas prix pour accomplir leurs projets de robotique. Banzi en discute avec David Cuartielles, un ingénieur Espagnol spécialisé sur les microcontrôleurs.

Ils décident de créer leur propre carte en embarquant dans leur histoire un des étudient de

Banzi, David Mellis qui sera chargé de créer le langage de programmation allant avec la Carte. En deux jours David écrira le code, trois jours de plus et la carte était créé. Tout le monde arrive à en faire quelque chose très rapidement sans même avoir de connaissances

particulière ni en électronique ni en informatique : réponse à des capteurs, faire clignoter des leds, contrôler des moteurs … etc. ils publient les schémas, investissent 3000 euros pour créer les premiers lots de cartes.

II.3.2.Les différents types des cartes 'Arduino' :

Il y a trois types de cartes :

• Les « officielles » qui sont fabriquées en Italie par le fabricant officiel : Smart Projets.

• Les « compatibles » qui ne sont pas fabriqués par Smart Projets, mais qui sont totalement compatibles avec les Arduino officielles.

• Les « autres »fabriquées par diverse entreprise et commercialisées sous un nom différent (Freeduino, Seeduino, Femtoduino, ...) [14].Carte

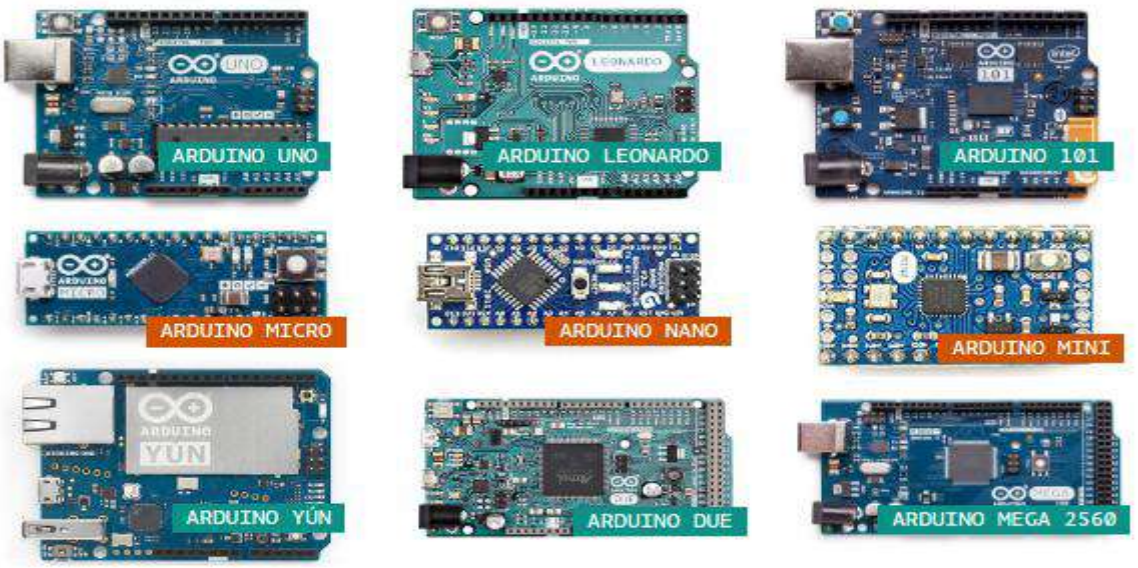


Figure II 6 : Les différents types des cartes 'Arduino'

II.3.3.Les gammes de la carte Arduino :

Cette comparatif peut se résume selon le tableau suivant :

Cartes Arduino / Caractéristiques	UNO R3 (classique & CMS)	UNO R3 Ethernet (classique & POE)	Leonardo	Mega 2560	Mega ADK	DUE	Esplora	Mini	Nano	Yun (classique & POE)	Zero PRO
Microcontrôleur	ATmega328P	ATmega328P	ATmega32u4	ATmega2560	ATmega2560	AT91SAM3X8E	ATmega32u4	ATmega328P	ATmega328P	ATmega32u4	ATSAMD21G18
Cadencement Horloge	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	84 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	48 Mhz
Tension d'entrée	7 - 12V	7 - 12V	7 - 12V	7 - 12V	7 - 12V	7 - 12V	7 - 12V	7 - 9V	7 - 9V	5V	5V
Tension de fonctionnement	5V	5V	5V	5V	5V	3,3V	5V	5V	5V	5V	3,3V
Entrée/Sortie Numérique	14/6	14/4	20/7	54/15	54/15	54/12	✗	14/6	14/6	20/7	14/12
Entrée-Sortie (PWM) Analogique	6/0	6/0	12/0	16/0	16/0	12/2 (DAC)	✗	8/0	8/0	12/0	6/1 (DAC)
Mémoire vive (Flash)	32 Ko	32 Ko	32 Ko	256 Ko	256 Ko	512 Ko	32 Ko	32 Ko	32 Ko	32 Ko	256 Ko
Mémoire vive (SRAM)	2 Ko	2 Ko	2,5 Ko	8 Ko	8 Ko	96 Ko	2,5 Ko	2 Ko	2 Ko	2,5 Ko	32 Ko
Mémoire morte (EEPROM)	1 Ko	1 Ko	1 Ko	4 Ko	4 Ko	✗	1 Ko	1 Ko	1 Ko	1 Ko	16 Ko
Interface USB	USB-B mâle	USB-B mâle	Micro-USB	USB-B mâle	USB-B mâle & USB-A pour Android	2 ports micro-USB (Native et programming)	Micro-USB	✗	Mini-USB	Micro-USB	2 ports micro-USB (Native et programming)
Port UART	1	1	1	4	4	4	✗	✗	1	1	2
Carte SD	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗
Ethernet	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗
Wi-Fi	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗
Dimensions	68x53mm	68x53mm	68x53mm	101x53mm	101x53mm	101x53mm	165x60mm	30x18mm	45x18mm	68x53mm	68x53mm

Tableau II 5: Tableau comparatif des différentes cartes Arduino. [15]

II.3.4. Caractéristiques techniques de l'Arduino UNO :

La carte Arduino Uno, prêtée est une carte à microcontrôleur basée sur un Atmega328p. Cette carte dispose:

• Broches numériques d'entrées/sorties,

• Entrées analogiques,

• Quatre UART (port série matériel),

• Quartz 16Mhz,

• Connexion USB,

• Connecteur d'alimentation jack,

• Connecteur ICSP,

• Bouton de réinitialisation.

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur.

Pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation est fournie par le port USB).

La carte Arduino Uno dispose de toute une série de facilités pour communiquer avec un ordinateur, une autre carte Arduino, ou avec d'autres microcontrôleurs.

L'Arduino Uno se dispose de quatre UARTs (Universal Asynchrones Receiver Transmitter ou émetteur-récepteur asynchrone universel en français) pour une communication en série de niveau TTL (5V) et qui est disponible sur les broches 0 (RX) et 1 (TX). Un circuit intégré Atmega16U2 sur la carte assure la connexion entre cette communication série de l'un des ports série de l'Atmega Uno vers le port USB de l'ordinateur qui apparaît comme un port COM virtuel pour les logiciels de l'ordinateur. Le code utilisé pour programmer l'Atmega8U2 utilise le driver standard USB COM, et aucun autre driver externe n'est pas nécessaire.[14]

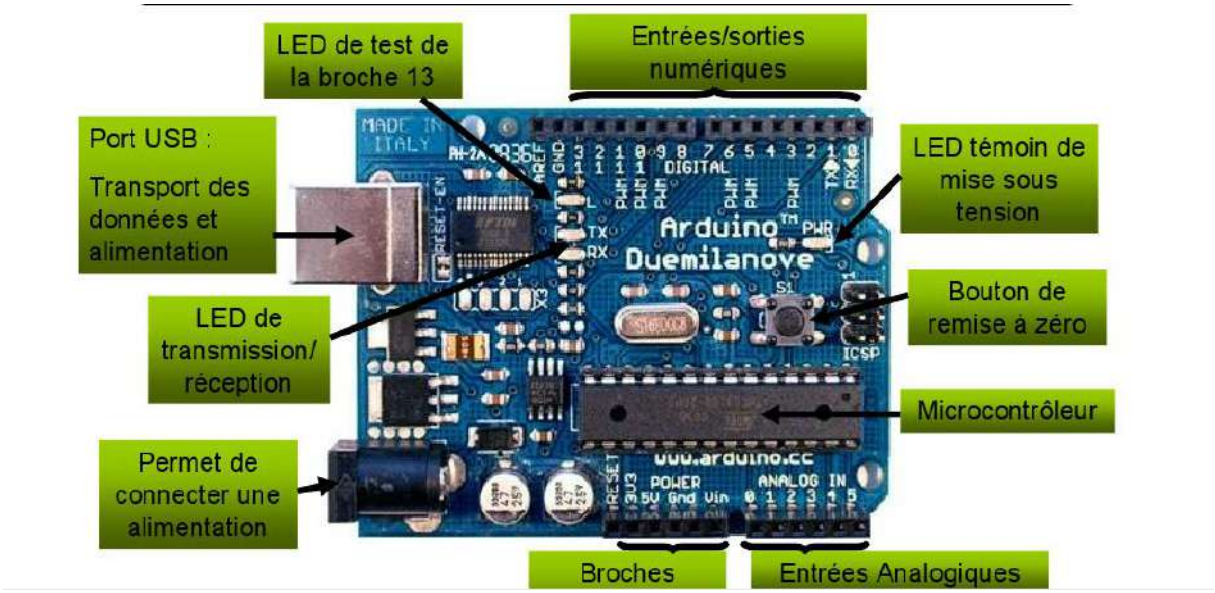


Figure II 7 : carte Arduino UNO.

II.4. Driver moteur pas à pas A4988:

L'A4988 est un pilote de micropas permettant de contrôler les moteurs pas à pas bipolaires, doté d'un traducteur intégré pour une utilisation facile. Cela signifie que nous pouvons contrôler le moteur pas à pas avec seulement 2 broches de notre contrôleur une broche pour la direction et une pour la vitesse. elle peut être installée sur une carte mini Shield.[16]

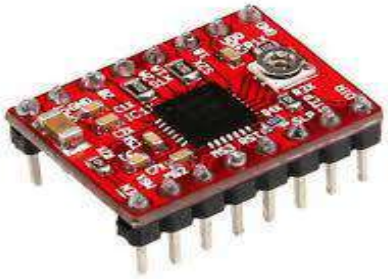


Figure II 8 : ***Driver moteur pas a pas A4988.***

II.5. La carte SHIELD CNC :

Le CNC shield est une carte qui se connecte à la carte Arduino Uno. Elle fut crée spécialement pour les machines à découpe numérique (CNC). C'est la carte d'interface qui distribue la puissance à l'aide des pilotes drivé A4988. Elle va commander les moteurs pas à pas sur les axe X, Y, Z + A, ainsi que la commande rotation. Elle permet également de traiter les signaux du refroidissement, ainsi que des capteurs de fin de courses mini et maxi. Cette interface peut être pilotée facilement car compatible avec GRBL sur la carte contrôleur Arduino Uno. [16]



Figure II 9 : La carte SHIELD.

L'assemblage d'A4988 et la carte SHIELD avec la carte arduino est représenté dans la Figure III.23 suivante :

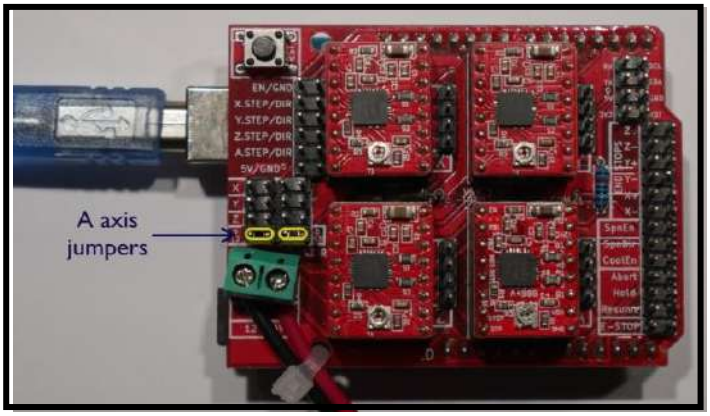


Figure II 10: assemblage des cartes.

Pour assurer le fonctionnement de nos cartes électroniques, nous avons besoin d'une alimentation continue de 5VDC et 12VDC.

II.6. Le circuit de puissance A4988 : [17]

L'A4988 est un circuit intégré dédié à la commande des moteurs pas à pas bipolaires. Ce driver permit de faire fonctionner le moteur dans cinq modes de résolutions différents ainsi, il peut délivrer un courant jusque' à 2A par phase.

II.6.1. Caractéristiques et détails techniques de circuit A4988 : [17]

Voici quelques caractéristiques essentielles de ce driver de moteur pas à pas :

- Tension de fonctionnement minimum : 8 V.
- Tension maximale de fonctionnement : 35 V.
- Courant par phase (en continu) : 1,2 A.
- Courant maximum par phase : 2.3 A.
- Logique de commande :
  - Tension minimale : 3 V.
  - Tension maximale : 5.5 V.
- Interface de contrôle de pas et de direction simple et facile.

05 résolutions différentes de pas :

- Full-step : pas complet.

- Halfstep : ½ pas.
- Quarter-step : ¼ pas.
- Eighth-step : 1/8ième de pas.
- Sixteenth-step : 1/16 ième de pas.

Contrôle en courant ajustable - un potentiomètre permet de fixer le courant maximum à l'aide d'un potentiomètre. Cela permet d'utiliser une tension supérieure à celle recommandée par le moteur (puisque le courant est limité) et permet ainsi d'atteindre un débit de pas plus élevé (et donc une vitesse plus élevée).

Une commande de hachage intelligente qui sélectionne automatiquement le bon mode de décroissance de courant (fastdecay = baisse/chute rapide du courant OU slow decay = chute lente).

Protection (arrêt) en cas de surchauffe, sous tension, surcharge/sur-courant/court-circuit. Utile en cas de surcharge/blocage moteur (car le courant va monter en flèche, ce qui doit provoquer la mise en protection).

II.6.2. Brochage et description des pins de driver A4988 : [17]

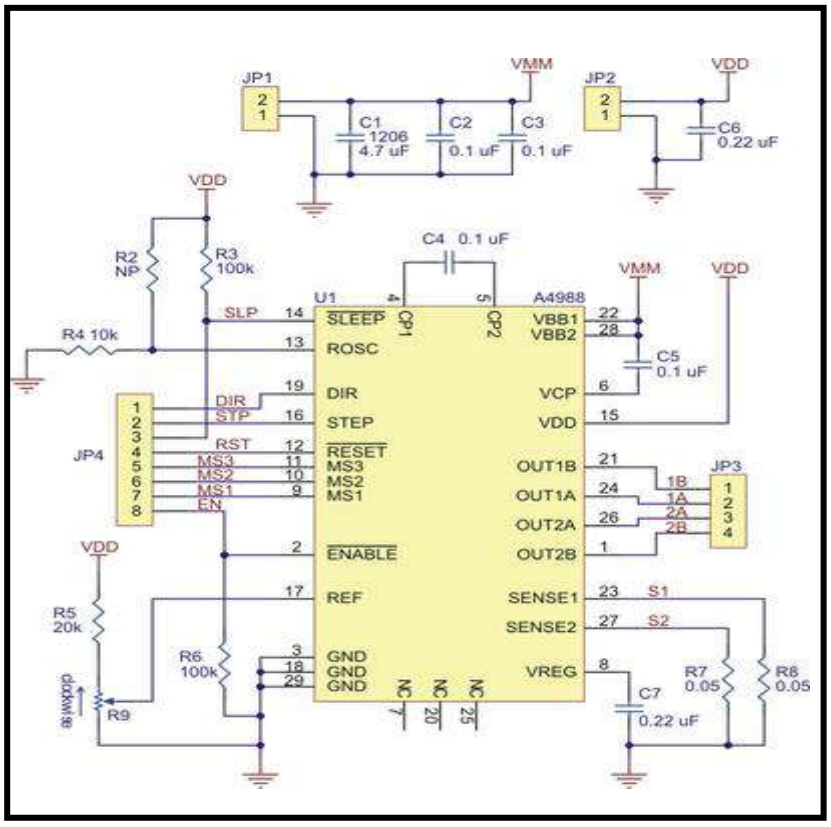


Figure II 11: Schéma diagramme de driver A4988.

ENABLE : Logique Inversée, ce pin permet d'activer ou désactivé le moteur. Quand il est mis dans un état haut (5V) le moteur est désactivé et quand il est mis en état bas (0V) le moteur est activé.

MS1, MS2, MS3 : Ces pins permettent de sélectionner la configuration de mode de résolution de moteur pas à pas. Ces broches disposent de résistances Pull-Down ramenant le potentiel à 0v lorsque rien n'est connecté sur ces broches (ils sont connectés au GND par défaut).

RESET : Logique inversée. Permet de faire une réinitialisation du module. Généralement connecté sur la broche "SLEEP".

SLEEP : Logique inversée. Généralement connecté sur la broche "Reset" du module.

STEP : En l'envoyant un signal d'horloge (haut puis bas) le moteur avancera d'un pas.

DIR : Il permet de sélectionner la direction de rotation du moteur soit dans le sens horaire (CW) ou le sens antihoraire (CCW) et cela selon l'état de pin.
VMOT : Tension d'alimentation du moteur. Habituellement 12V pour les moteurs pas à pas. Tension entre 8 et 12v.
GND : C'est la masse (GROUND). Habituellement on mit toutes les masses en commun.
1B 1A : Première bobine du moteur pas à pas bipolaire.
2A 2B : Deuxième bobine du moteur pas à pas bipolaire.
VDD : Alimentation de la logique de commande entre 3 et 5.5v. Habituellement 5V.

La Figure II.8 représente le schéma de brochage de circuit A988.

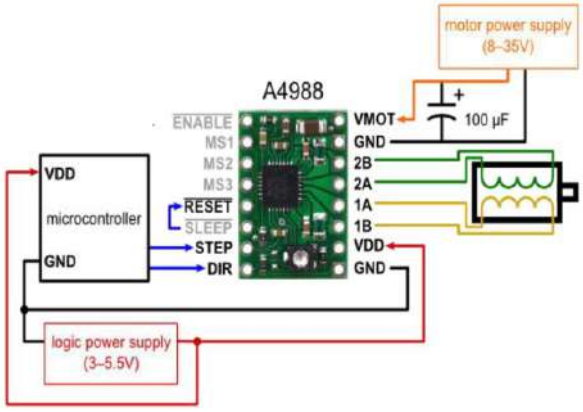


Figure II 12: Schéma de brochage de driver A4988.

II.6.3. Ajustement de Driver A4988 : [18]

- Ajustement des entrées du contrôle :

Chaque impulsion sur l'entrée STEP correspond à un pas ou micro pas du moteur pas-à-pas dans la direction sélectionnée sur la broche DIR. Les broches STEP et DIR ne disposent pas de résistances pull-down ou pull-up interne. Donc le contrôle de deux états Haut et Bas de ces entrées est fait directement par le microcontrôleur. La tension sur ces broches ne doit jamais être flottante.

Le circuit dispose de trois entrées différentes pour contrôler son étage de puissance : RST (Reset), SLP (SLEEP) et EN (ENABLE), On peut connecter la broche RST avec la broche SLP pour la ramener à l'état haut et donc activer la carte.

- Configuration de mode de résolution :

Les moteurs pas-à-pas disposent de leur propre spécification physique de "pas" connu comme un "pas complet". Un pilot Micro-pas tel que l'A4988 permet d'obtenir une plus grande résolution en autorisant des positions intermédiaires dans un pas. Cela est rendu possible en modulant intelligemment la quantité de courant dans les bobines du moteur pas-à-pas. Par exemple, piloter un moteur en mode "1/4 de pas" permet d'obtenir 800 micro-pas sur un moteur prévu pour 200 pas par révolution et cela en utilisant 4 niveau de courants différents pour chacun des Microsteps. La configuration de mode de résolution se fait à l'aide des broches MS1, MS2 et MS3.

- MS1 et MS3 disposent d'une résistance pull-down interne de 100kΩ. Une résistance pull-down signifie que si on ne place pas ces broches au niveau logique haut : VDD (la tension choisie pour la logique de commande) alors elles seront automatiquement ramenées au niveau logique bas.
- MS2 dispose d'une résistance pull-down de 50kΩ.

Si les broches MS1, MS2 et MS3 sont laissées flottantes, l'A4988 fonctionnera en mode "pas complet". Pour que le Microstepping fonctionne correctement, il faut que le courant soit limité d'une façon à ne pas activer la protection en sur-courant. Sinon, les niveaux des courants intermédiaires ne seront pas correctement maintenus et le moteur pourrait sauter des microsteps.

Le tableau II.2 représente le tableau de configuration de mode de résolution.

MS1	MS2	MS3	Mode de résolution
LOW	LOW	LOW	Pas complet.
HIGH	LOW	LOW	½ pas.
LOW	HIGH	LOW	¼ pas.
HIGH	HIGH	LOW	1/8 pas.
HIGH	HIGH	HIGH	1/16 pas.

Tableau II 6: La configuration de mode de résolution.

Limitation du courant :

Un moteur pas à pas typique peut avoir un courant maximal égale à un Ampère avec une résistance de bobine égale à 5Ω, ce qui exige une alimentation de 5V (U=R*I), l'utilisation de tel moteur avec une alimentation de 12V va l'endommager car le débit de courant sera très important. Le circuit A4988 permit de limiter ce courant à l'aide d'un petit potentiomètre disponible sur la carte, pour déterminer la valeur de courant limite on suit les étapes suivantes :

- On place le pilote en mode de résolution « pas complet » et on mesure le courant passant dans l'une des deux bobines sans envoyer un signal d'horloge sur la broche STEP.
- On calcule le courant limite qui est équivalent à 0.7 fois le courant mesuré IMesuré= 0.7* ILimite.

Une autre façon d'ajuster le courant limite est de mesurer la tension sur la broche « REF » et de calculer le courant limite par la méthode suivante :

ILimite= VREF *2,5.

Par exemple si la tension de référence est de 0.3 V, le courant limite est de 0.75 A. Le courant dans les bobines sera limité à 70% du courant limite. Donc, pour obtenir un courant de 1 A en mode « pas complet » le courant limite devrait être égale à 1.4 A, ce qui correspond à un VREF de 0.56 V.

NB : Pour mesurer le courant le multimètre doit être placé en série avec la bobine de moteur pas à pas.

II.7. Structure de la machine :

La norme ISO 10360-1 fixe cinq principaux types de structures à mouvement linéaire, qui

Peuvent être définies comme suit [19] :

- Pont mobile :

Une structure à pont mobile figure II.9, C'est une structure de très bon compromis entrel'accessibilité et la qualité géométrique et la précision. En laboratoire, c'est le type le plus fréquent. Dans ce type de structure c'est le cadre qui se déplace suivant l'axe X et la table est fixe.

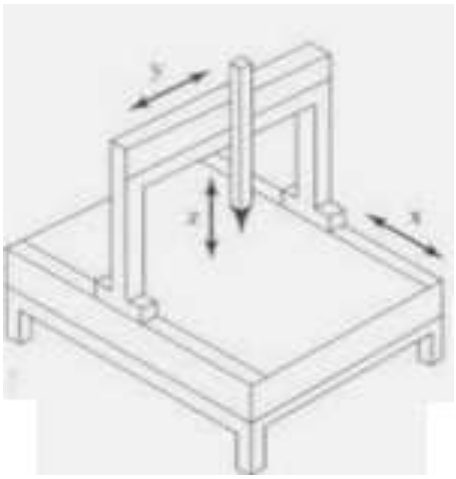


Figure II 13: machine type pont mobile.

- Portique :

Une structure à portique figure II.10, C'est une structure rigide, elle permet d'améliorer la

précision de positionnement. Dans ce type de structure la section supérieure du pont qui se déplace et la table est fixe.

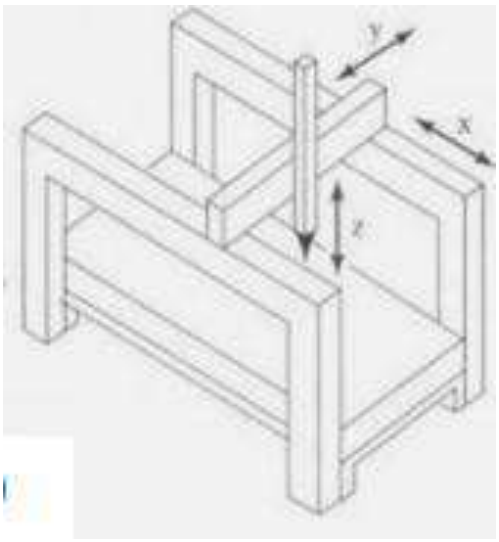


Figure II 14: machine de type Portique.

- Porte à faux :

Une structure à port à faux figure II.3, C'est une structure de bon précision. Dans ce type de structure le portique est fixe et la table est fixe.

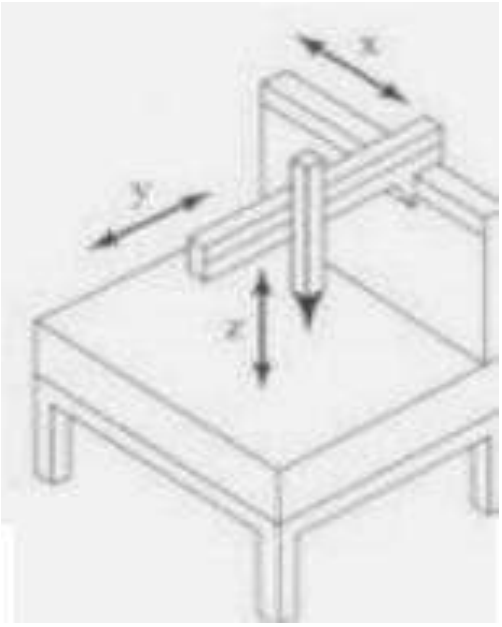


Figure II 15: machine type porte à faux.

- Colonne :

Dans la structure à colonne figure II.14, découpe l'axe Z de l'axe des X et de l'axe des Y, ce qui pourrait améliorer la précision. Dans ce type de structure le portique est fixe et la table est mobile suivant les axes des X et Y.

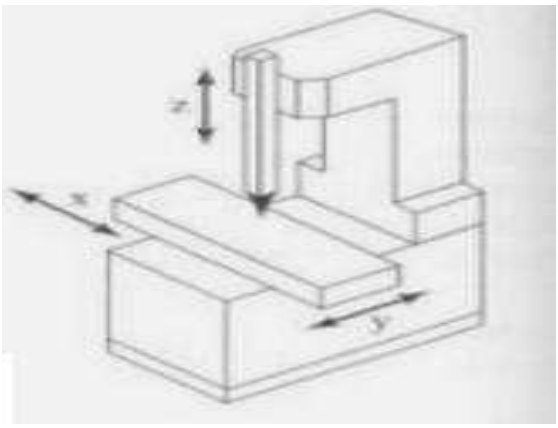


Figure II 16: machine type colonne.

Après une recherche des solutions techniques des structure qui devant satisfaire en principe les besoins de l'utilisateur de la machine, et en utilisant des outils d'aide à la décision pour choisir la solution le mieux adapte, qui offre plus de performance et qui respecte mieux les normes de sécurités, nous conduit à choisir la structure à pont mobile Pour la conception d'une machine CNC a trois axes . la structure à pont mobile c'est la meilleur solution qui est Combines entre l'accessibilité et la qualité géométrique et la précession.

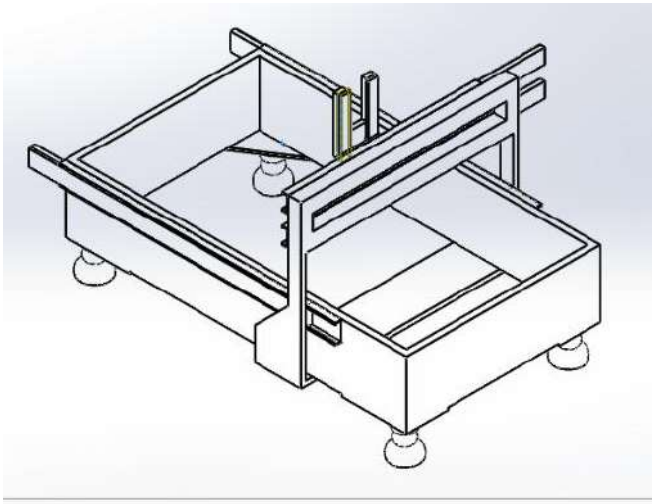


Figure II 17: design de structure à pont mobile.

Le design présente un choix meilleur vue les arguments suivants:

- Il est plus pratique.
- Présente une grande surface de travail effectif.

Type de déplacement :

La machine à trois axes translate dans l'espace selon les coordonnées cartésiennes (x, y, z) et axe rotation (A).

La translation dans chaque axe est occupée par un moteur pas à pas et le système vis/écrou.

Voir

II.8. Système vis/écrou :

Le système vis-écrou permet de transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation en combinant les mouvements d'une vis et d'un écrou, (liaison hélicoïdale).voir figure II.8.le système utilisée pour la fabrication du projet sont trouver dans le cric .



Figure II 18: système vis/écrou.

II.9. Accouplement :

En mécanique, un accouplement ou joint de transmission est un dispositif de liaison entre deux arbres en rotation, permettant la transmission du couple.

Il permet éventuellement un certain désalignement (accouplement élastique, joint de cardan...), autorise des décalages angulaires (accouplement hydraulique...) et peut être temporairement inactif (embrayage, crabotage).

Un accouplement mécanique peut être un accouplement élastique, un accouplement à membranes, un accouplement à denture métallique ou encore un accouplement à soufflet.



Figure II 19: Accouplement semi-élastique.

II.10. Palier :

Les paliers sont des organes utilisés en construction mécanique pour supporter et guider, en rotation, des arbres de transmission. Suivant l'usage désiré, ces paliers peuvent être :

- Lisses où les arbres qui reposent sur des coussinets sont soumis au frottement de glissement entre les surfaces en contact.
- À roulement où le contact s'effectue par l'intermédiaire de billes ou de rouleaux contenus dans des cages. On a là un phénomène de résistance au roulement (parfois appelé improprement « frottement de roulement ») qui permet une plus grande charge sur les paliers et une plus grande vitesse de rotation.



Figure II 20: Palier.

II.11. de Guidage en translation :

Le guidage permet de déplacer une charge suivant une trajectoire linéaire avec une grande précision. De nombreuses solutions existent, leur objectif commun est d'offrir un jeu

mécanique réduit, un rendement maximal et une longue durée de vie. Les termes courants associés sont nombreux : rail, guide, coulisseau, glissière, etc

Tableau II.7, représente quelque type des systèmes de guidage :

Type de guidage	Capacité de charge	Précision	Rigidité	Frottement	Vitesse	Prix
	- +	- +	- +	- +	- +	- +
Guidage sur arbre **B6-W** avec douille à billes **B81-DBKB***						
Guidage sur rail à galets **B2-GGLFE**						
Guidage à galets combinés **B2-GCF**						
Guidage à galets modulaire						
Guidage sur rail à 4 rangées de billes **B23-GB4E**						
Guidage sur rail à rouleaux **B22-GRXE**						

Tableau II 7: les types de guidage [20].

Les types de guidage qui est dans le tableau repesent les milieux solution de système de guidage mais nous avons des contraintes par moyennes limitées ce qui nous ramène à l'utilisation des glissières télescopiques.

II.12. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons découvert les éléments électroniques et les plus importants que nous avons choisis La carte Arduino Uno pour son économie, sa popularité et sa puissance deTraitement. Puis nous avons également présenté une étude sur les circuits intégrés pour La commande de moteur pas à pas est utilisée dans notre carte électronique. La deuxième partie traite des structures de la machine, ainsi que des éléments mécaniques.

CHAPITRE III : PROGRAMMATION DE LA MACHINE CNC

III.1. Introduction:

Les machines-outils à commande numérique sont complètement pilotées par ordinateur. Dans ce chapitre, nous présentons le logiciel utilisé pour faire fonctionner notre machine CNC, comme le programme de dessin et d'écriture Inkspace pour générer un code G pour L'image, et le programme Universal G code Sender qui convertit les coordonnées cartésiennes et envoie le code G.

III.2. chaîne de programmation :

La figure III.1 représente les différentes étapes et modes de programmation de la machine depuis le début jusqu'à l'opération d'usinage.

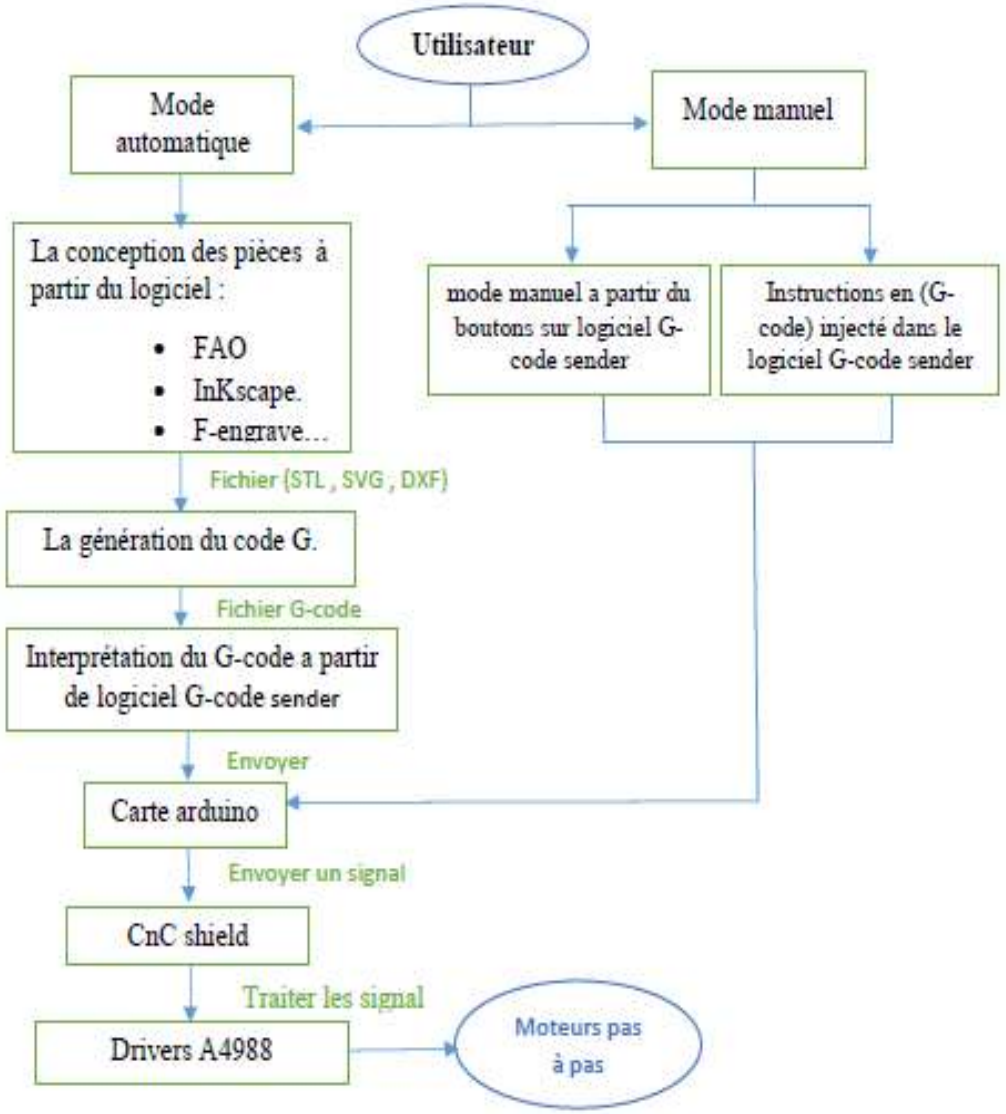


Figure III 1: chaîne de programmation.

Il est également possible de graver du texte ou des images, par exemple par la génération de G-code de ces fichier par des logiciels tel que inkscape , F-engrave… Après la génération d'un fichier G-code, il reste à l'interpréter de façon à pouvoir contrôler les moteurs avec un microcontrôleur plus précisément avec une carte Arduino. Pour cela il existe des logiciels et des micro-logiciels spécialement conçu pour cela, tel que le Grbl.

➢ **Le logiciel Inkspace** :

c'est un logiciel de dessin et d'écriture permettant la génération le code G d'une image.

➢ **Universel G code Sender** :

Il permet la conversion des coordonnées cartésiennes (X, Y, Z) en code G et de les envoyer manuellement l'un après l'autre vers le port série ou en série sous forme d'un fichier.

➢ **Interpréteurs Grbl** :

Ce programme est charge au préalable dans la mémoire de la carte Arduino afin d'interprété les instructions du code G et les transformés à des commandes sous forme signaux numériques.

III.3. Langue de contrôleurs numériques « G-code »

III.3.1. Description

Le G-code est un langage de programmation des machines numériques est basé sur des lignes de code. Chaque ligne (également appelée un bloc) peut inclure des commandes pour faire produire diverses actions à la machine. Plusieurs lignes de code peuvent être regroupées dans un fichier pour créer un programme G-code. [21]

III.3.2 Format d'une ligne

Une ligne de G-code typique est construite de la façon suivante, dans l'ordre avec la restriction à un maximum de 256 caractères sur la même ligne.

1. Un caractère optionnel d'effacement de bloc, qui est la barre oblique.
2. Un numéro de ligne optionnel.
3. Un nombre quelconque de mots, valeurs de paramètres et commentaires.
4. Un caractère de fin de ligne (retour chariot ou saut de ligne ou les deux).

III.3.3 Les principales fonctions de G-code

III.3.3.1 Les fonctions préparatoires, instructions G

Le tableau III.1. Représente Les instructions G

G0	Positionnement à vitesse rapide
G1	Interpolation linéaire
G2	Interpolation circulaire/hélicoïdale en sens horaire
G3	Interpolation circulaire (sens anti-horaire, trigo)
G10	Définition de l'origine du système de coordonnées

G12	Poche circulaire en sens horaire
G13	Poche circulaire en sens antihoraire
G15/G16	Déplacement sur des coordonnées polaires selon G0/G1
G17	Sélection du plan XY
G18	Sélection du plan XZ
G19	Sélection du plan YZ
G20/G21	Unités en pouces/mm
G28	Retour à l'origine
G30	Retour à l'origine
G31	Trajectoire directe du palpeur
G40	Pas de compensation de rayon d'outil
G41/G42	Démarrer compensation de rayon d'outil à gauche/droite
G43	Appliquer la compensation de longueur d'outil (positif)
G49	Désactive la compensation de longueur d'outil
G50	Réinitialise les facteurs d'échelle à 1.0
G51	Activation du facteur d'échelle pour les valeurs d'axes saisies
G52	Décalage temporaire du système de coordonnées
G53	Déplacement dans le système de coordonnées absolu machine
G54	Utilisation décalage du gabarit 1
G55	Utilisation décalage du gabarit 2
G56	Utilisation décalage du gabarit 4
G57	Utilisation décalage du gabarit 4
G58	Utilisation décalage du gabarit 5
G59	Utilisation décalage du gabarit 6 / utilisation du gabarit général
G61/G64	Arrêt précis / Vitesse constante
G68/G69	Programmer système de Coordonnée des axes rotatifs
G70/G71	Unités en pouces/mm
G73	Cycle préprogrammé : perçage par à-coups
G80	Annuler les modes de déplacement (y compris les cycles préprogrammés)
G81	Cycle préprogrammé : perçage
G82	Cycle préprogrammé : perçage avec pauses
G83	Cycle préprogrammé : perçage par à-coups

Tableau III 1: Les principales fonctions du G-code.

III.4. L'éditeur du texte ou image compilateur de langage CNC :

L'éditeur de texte est une interface graphique sur l'ordinateur où l'opérateur peut traiter le G-code à exécuter s'appelé « Inkscape ». Ensuite, ce texte doit être compilé, s'il y a des erreurs ; l'opérateur est prévu afin de les corriger. Une fois compilé, le code est prêt à envoyer a la carte Arduino Uno ou à simuler sur l'ordinateur.

III.4.1 Définition Inkscape

Inkscape est un puissant logiciel de dessin vectoriel à vocation "artistique", le dessin y est enregistré sous forme d'équations de courbes (chemins) et non par des pixels comme les images bitmap. Ce programme est vaste (mais très bien fait), les fonctions qui nous intéresse dans le cadre de ce tutoriel c'est qu'il permet d'ouvrir un nombre très important de type d'image (PS, DXF, PDF, SVG, PNG, JPG, BMP, XCF,...) et qu'il est capable de transformer des images bitmap en image vectorielle [21].

• Interface

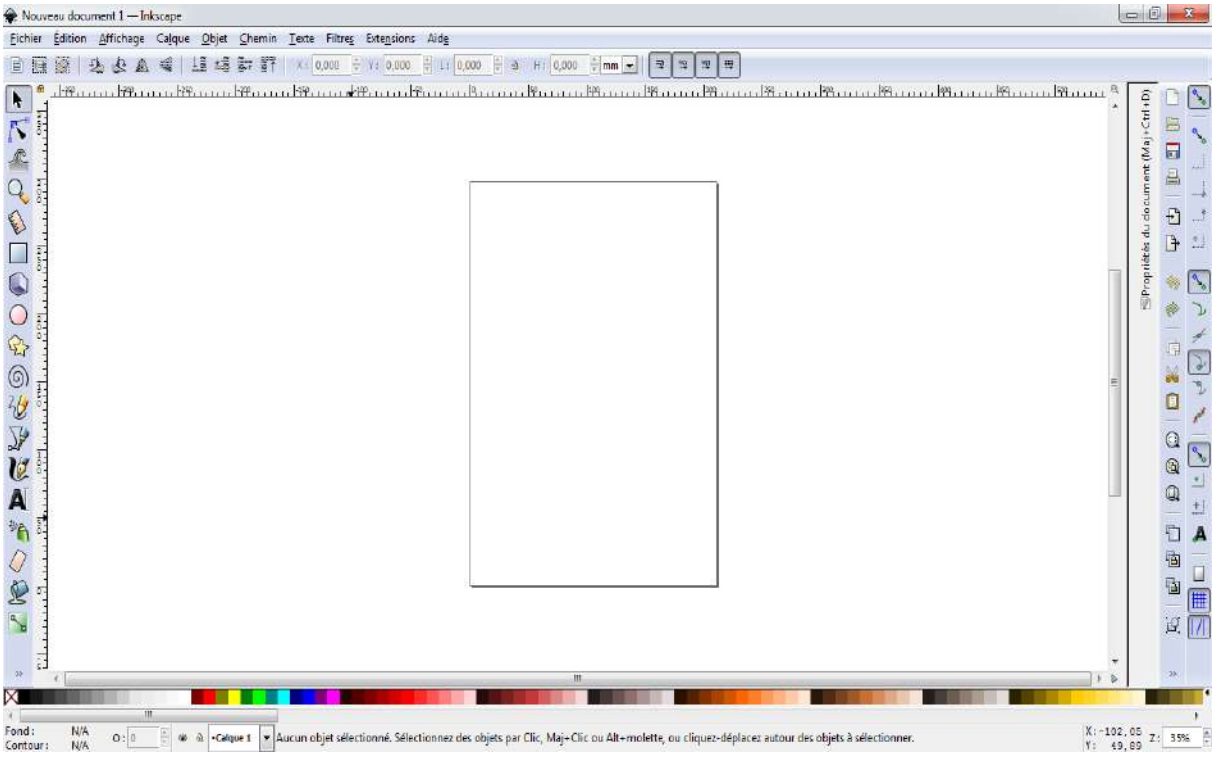


Figure III 2: l'interface principale d'Inkscape.

III.4.2. La fenêtre Inkscape:

L'interface d'Inkscape est constituée d'un ensemble d'éléments originaux permettant un travail simple, harmonieux et contextuel. Elle est constituée principalement de la fenêtre de

document dans laquelle le dessin peut être créé. Cette fenêtre contient elle-même plusieurs zones qu'il est important de bien identifier pour se repérer aisément dans l'application On peut la diviser en sinque grandes zones :

• le menu situé tout en haut.

• la barre des commandes.

• la barre de contrôles des outils.

• les boutons de la boîte à outils.

.III.4.3. Création du document:

III.4.3.1. Paramétrer le format souhaité:

La première étape consiste à formater la page de travail comme suite: Fichier / Propriété du document, ce qui provoque l'ouverture de la fenêtre dialogue ci-dessous :

• dans l'onglet Page, cocher les unités souhaitées :

• dans ce cas précis mm

• format de page A4.

Une fois le formatage terminé, deux choix sont envisageables :

✓ Soit dessinée manuellement.

✓ Soit l'image est importée comme il est montré dans la figure suivante :

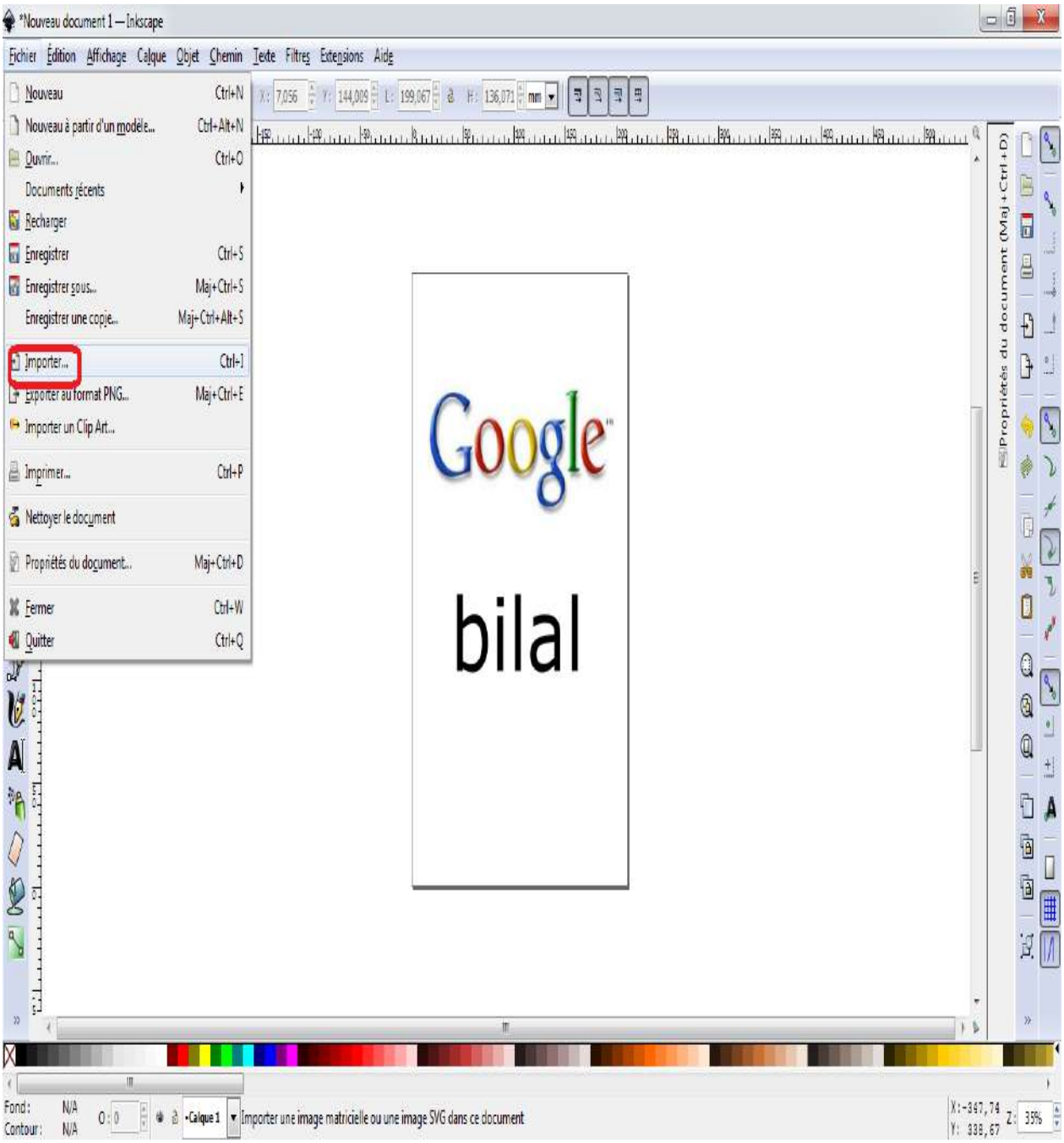


Figure III 3: Importation d'une image bitmap.

III.4.3.2. Vectorisation d'une image bitmap :

Cette étape permet de vectorisé une image bitmap : Chemin =>Vectoriser puis valider

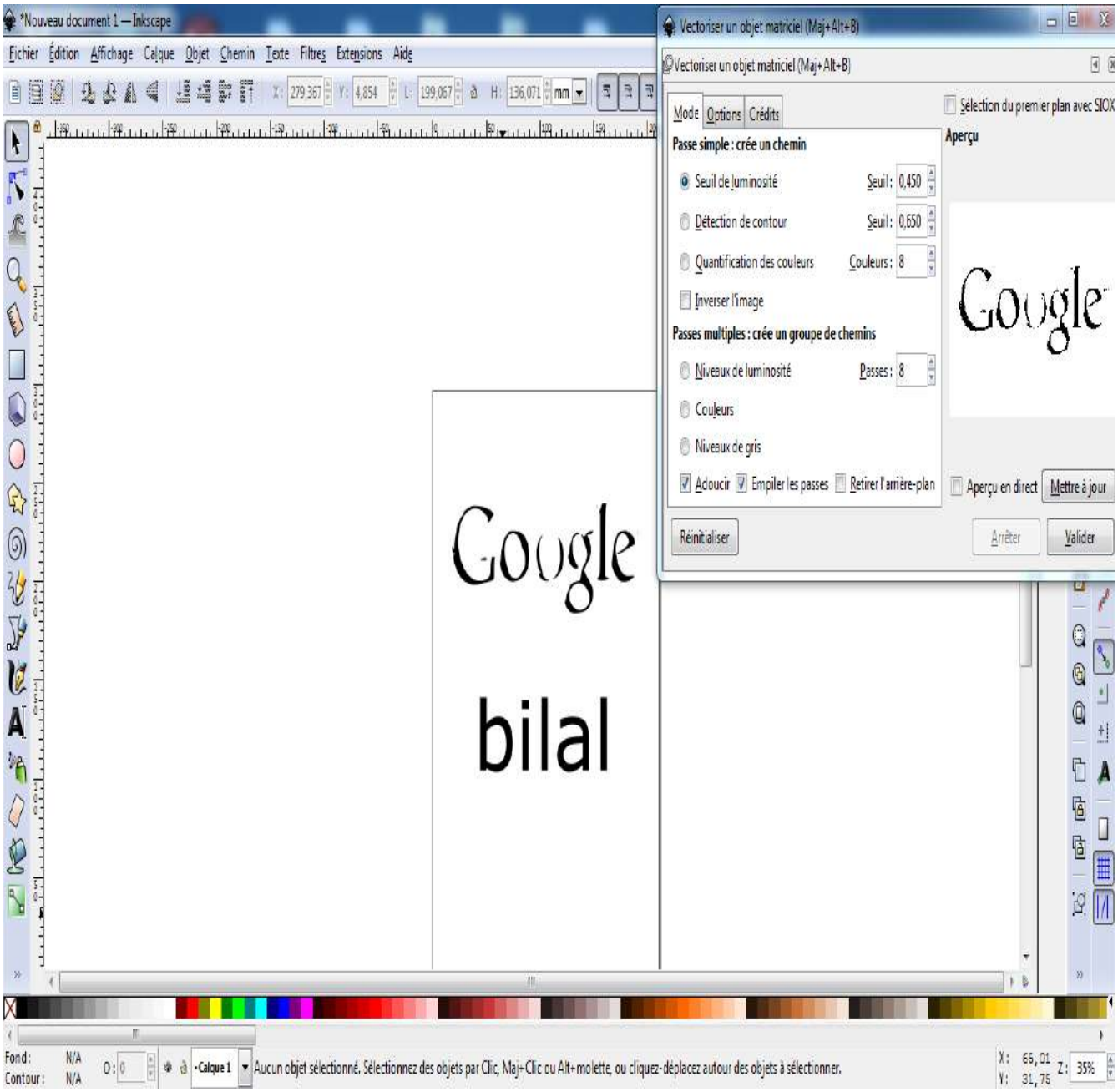


Figure III 4: image vectoriel à vocation "artistique.

III.4.3.3. Génération du G code:

On clique sur la barre de menu Extensions puis sur G code tools, ensuite, nous choisissons de bibliothèques d'outils.

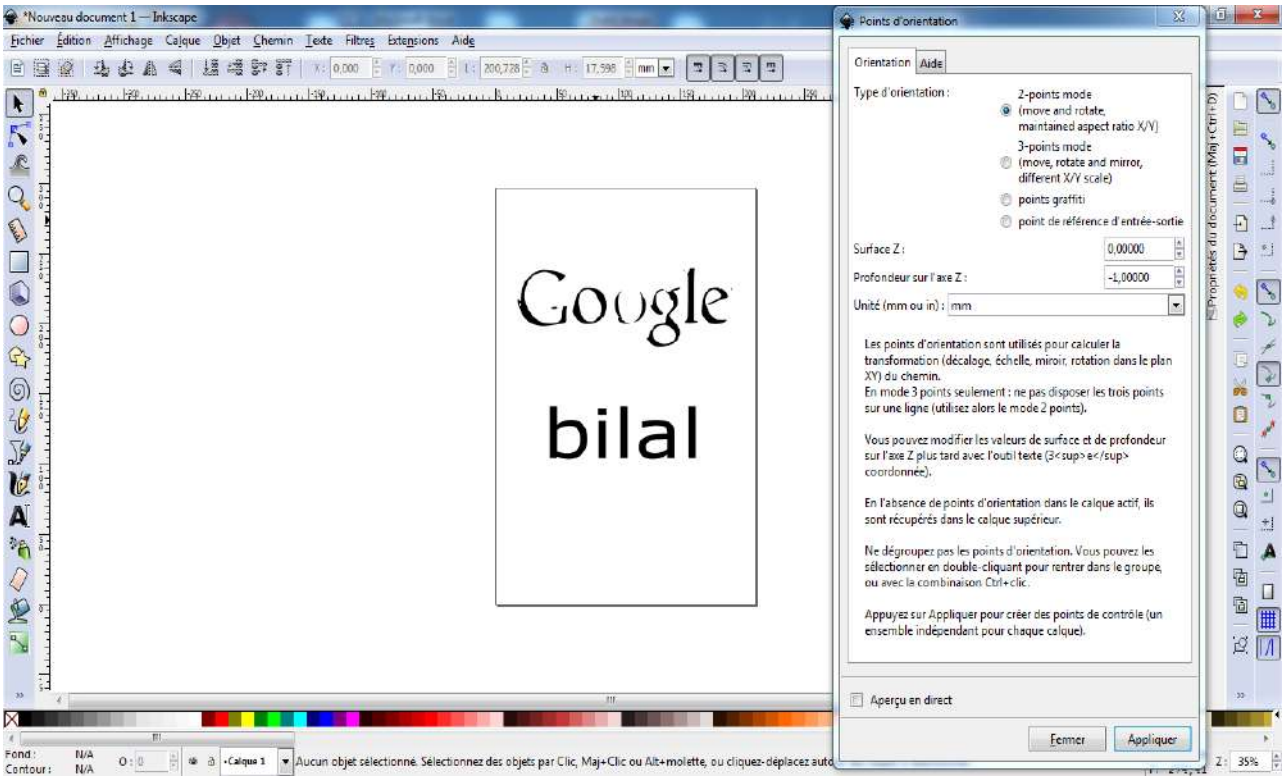


Figure III 5 : Points d'orientations.

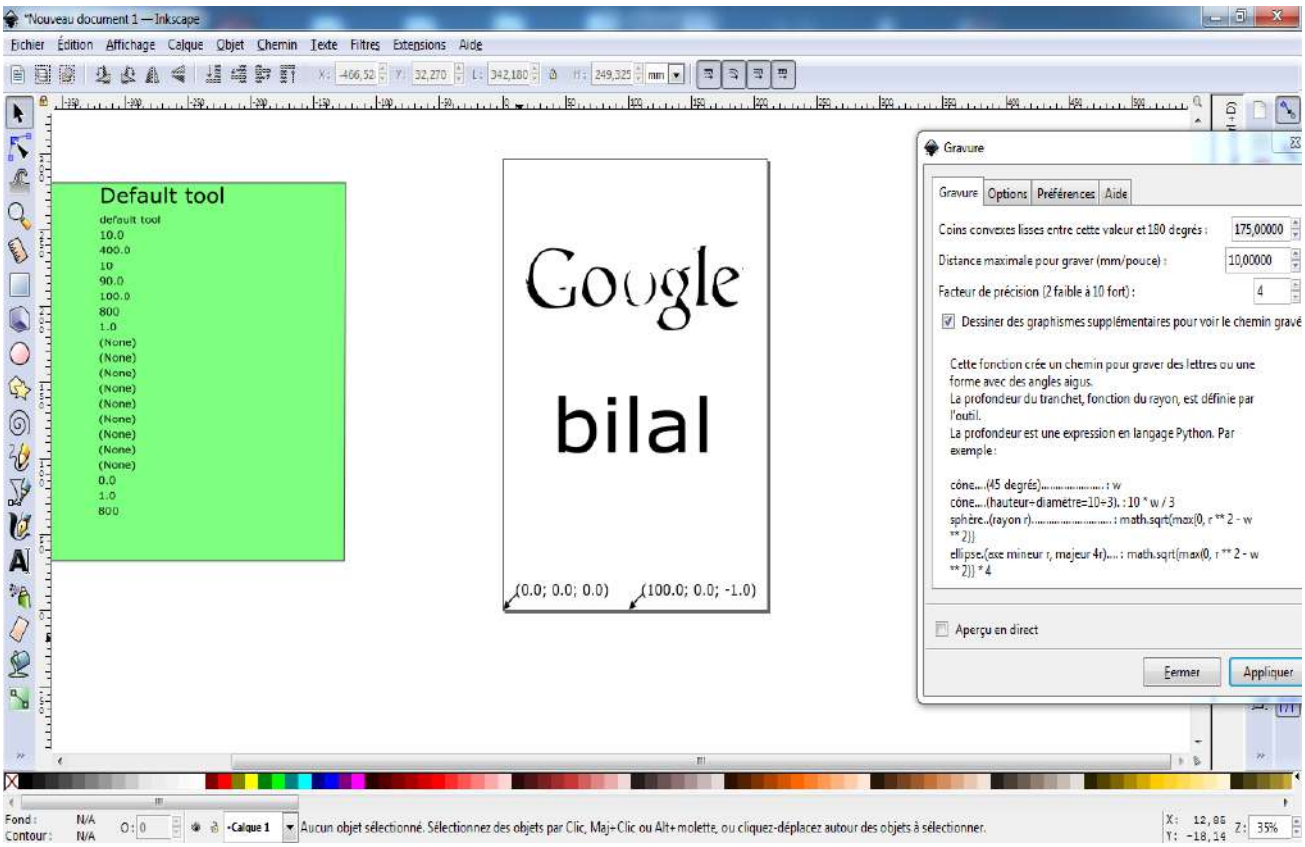


Figure III 6: Bibliothèque d'outils.

Pour générer le fichier .ngc, nous appuyons sur l'onglet Extensions puis sur la commande Chemin vers Gcode.

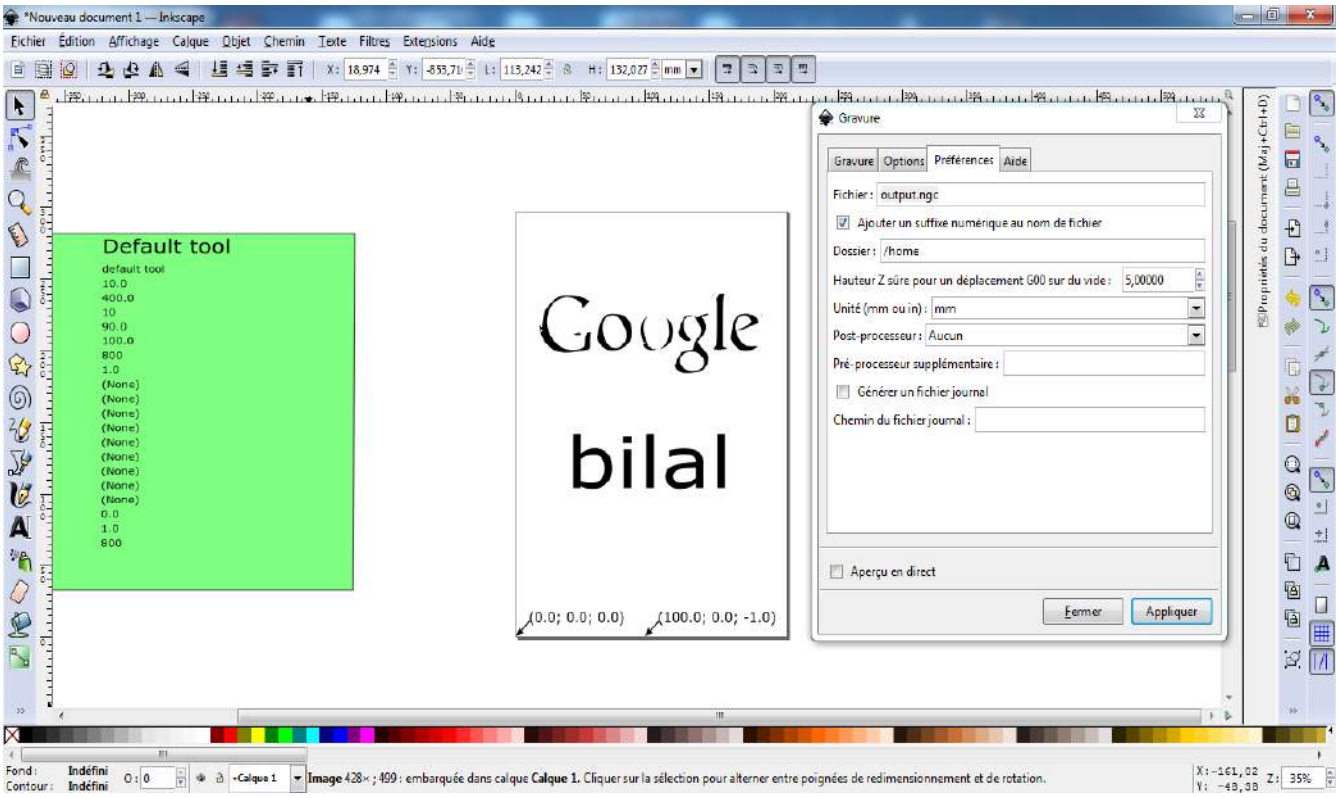


Figure III 7: chemin vers G-code.

III.5. Générer le G code avec inkscape :

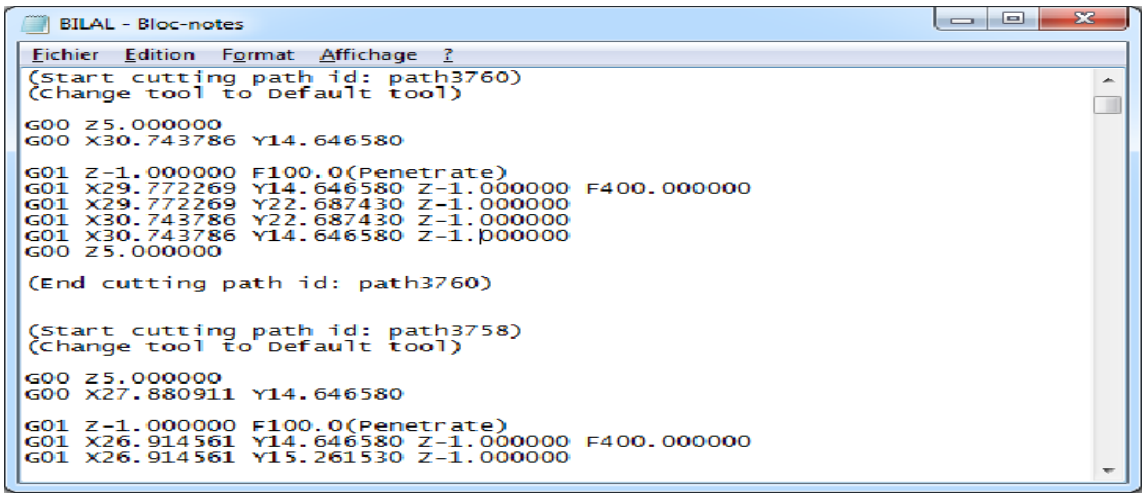


Figure III 8: Le fishier de G code.

III.6. Définition d'Universal G code Sender :

Ce logiciel permet d'écrire et d'envoyer des instructions en code G via le port série vers une carte de type arduino dont cette dernière contient en mémoire un interpréteur dite GRBL.

III.6.1. Logiciel de pilotage de la machine CNC:

La solution la plus fonctionnelle que nous avons trouvée une évolution pour le pilotaged'une CNC se fait à l'aide de séquences d'instructions en Gcode Sender vers ARDUINOUNO d'interpréter et contrôler par GRBL, qui est cours de développement par Winder. [21]

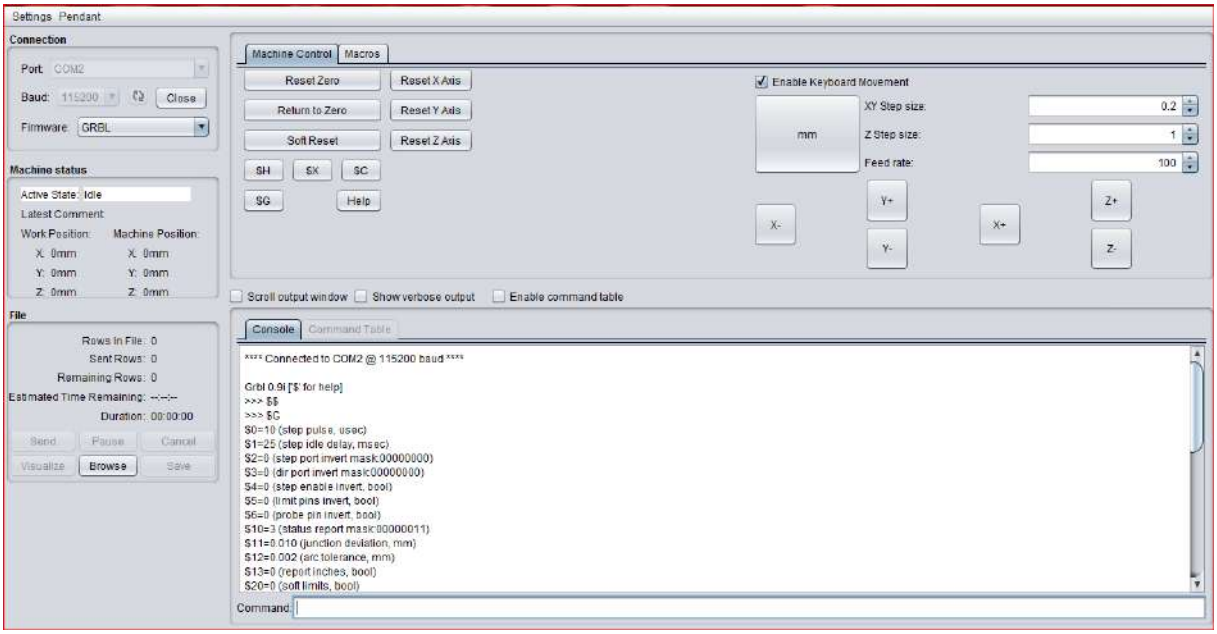


Figure III 9: Universel Gcode Sender.

Nous avons sélectionnées le port COM sur lequel est branché votre Arduino (pour moi COM1) et nous allons réglées la vitesse à sur 115200 baud et on clique sur Open pour ouvrir

Trois onglets sont à votre disposition :

• Commands afin d'envoyer directement du G Code à la machine ou pour configurer GRBL comme avec le moniteur série (avec $$).
• File Mode pour envoyer un fichier G Code à la CNC.
• Machine Control pour piloter manuellement votre CNC.
Voyons voir de plus près le dernier onglet.

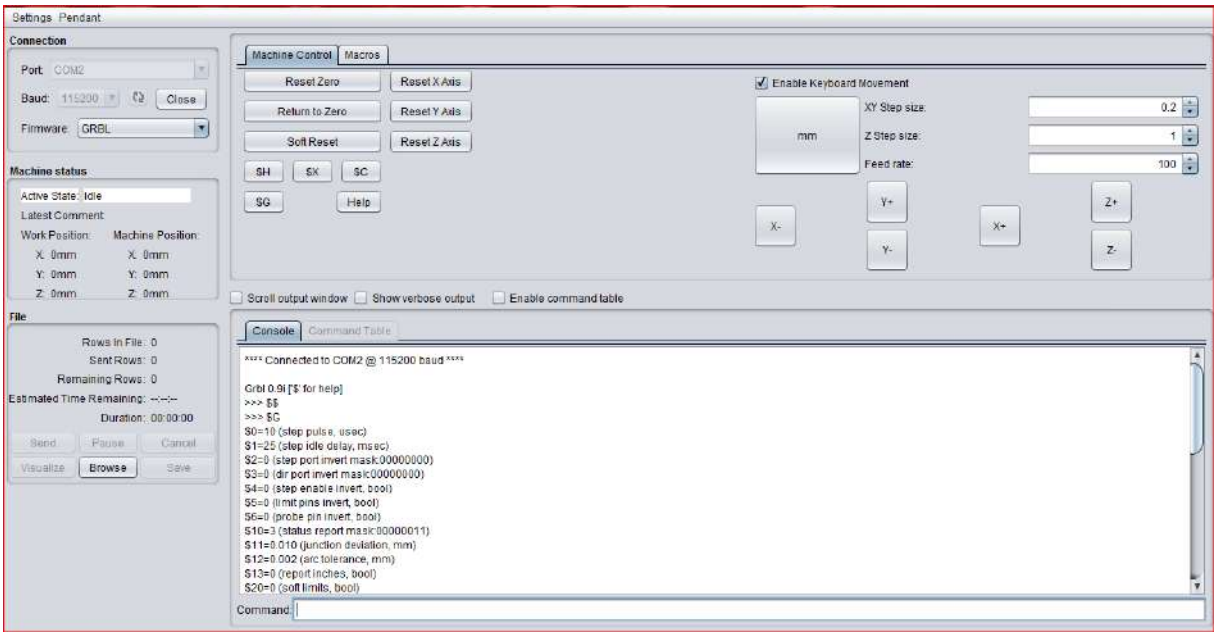


Figure III 10: Onglet « Machine Control »de l'UGC.

En cliquant sur les touches, vous pouvez faire tourner votre moteur pas à pas, en indiquant avec step size la distance parcourue pour un pas. C'est la manière la plus simple de vérifier que vos moteurs fonctionnent correctement avant de les fixer définitivement dans la CNC et de voir si vous avez bien configuré GRBL. Une fois que tout fonctionne bien avec le pilotage manuel, vous pouvez aller dans File Mode et envoyer directement votre fichier G code.

III.6.1.1. Modes de commande:

Il y'a deux mode utilise dans ce programme soit mode manuel ou mode automatique pour commande le machine CNC, Le programme fournit spéciale boutons dans l'interface de base qui contrôle chaque moteur séparément, Ce qui fonctionne ces boutons après choisi le mode manuel.

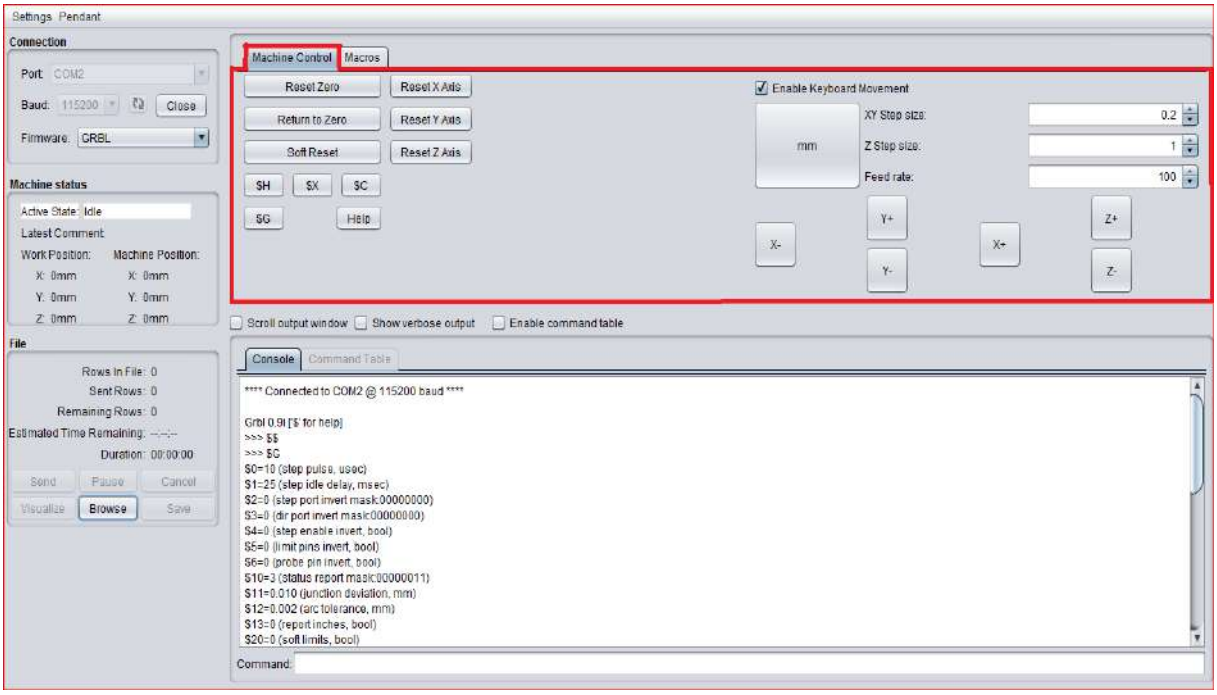


Figure III 11: L'interface de "G-code Sender" on mode manuel.

Pour l'utilisation graphique : le mode automatique, Charge notre fichier G-code: dans l'onglet "file mode" faites "browse" et sélectionnez fichier G-code (.ngc) précédemmentcréé. En faisant "visualize" nous pourrons vérifier notre tracé et le chemin emprunté par l'outil: en rouge les zone de travail (Z<0); en bleu les déplacements (Z>0).

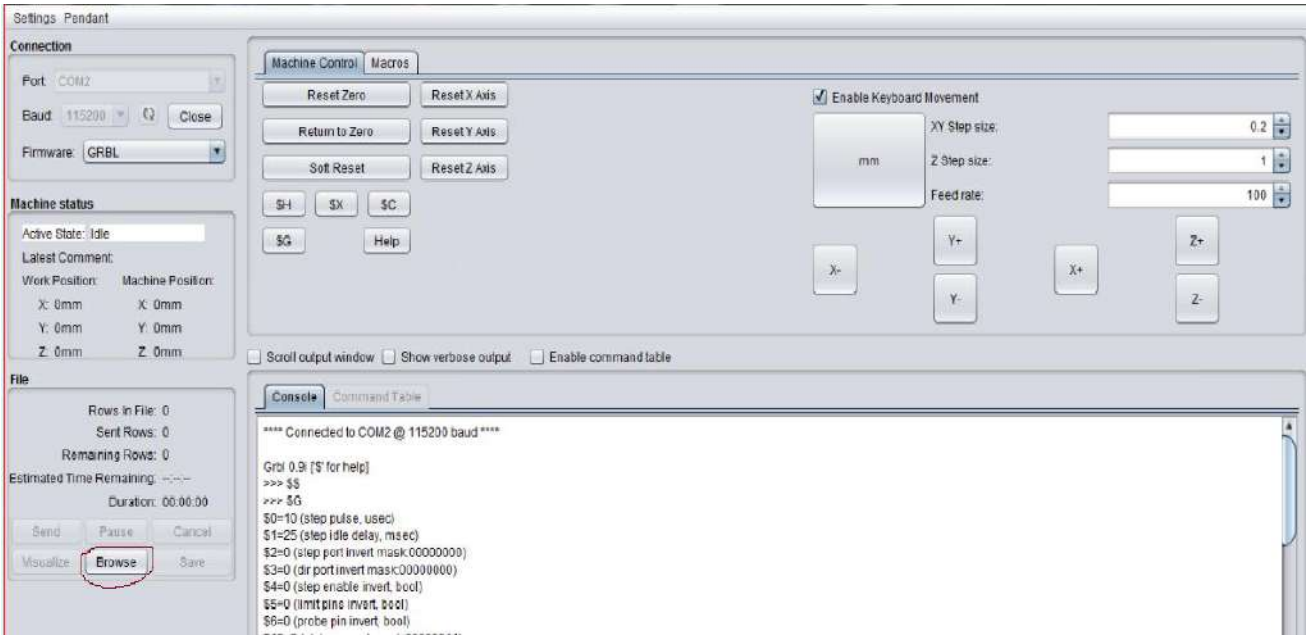


Figure III 12: l'interface de "Gcode sender" choisir le fichier Gcode.

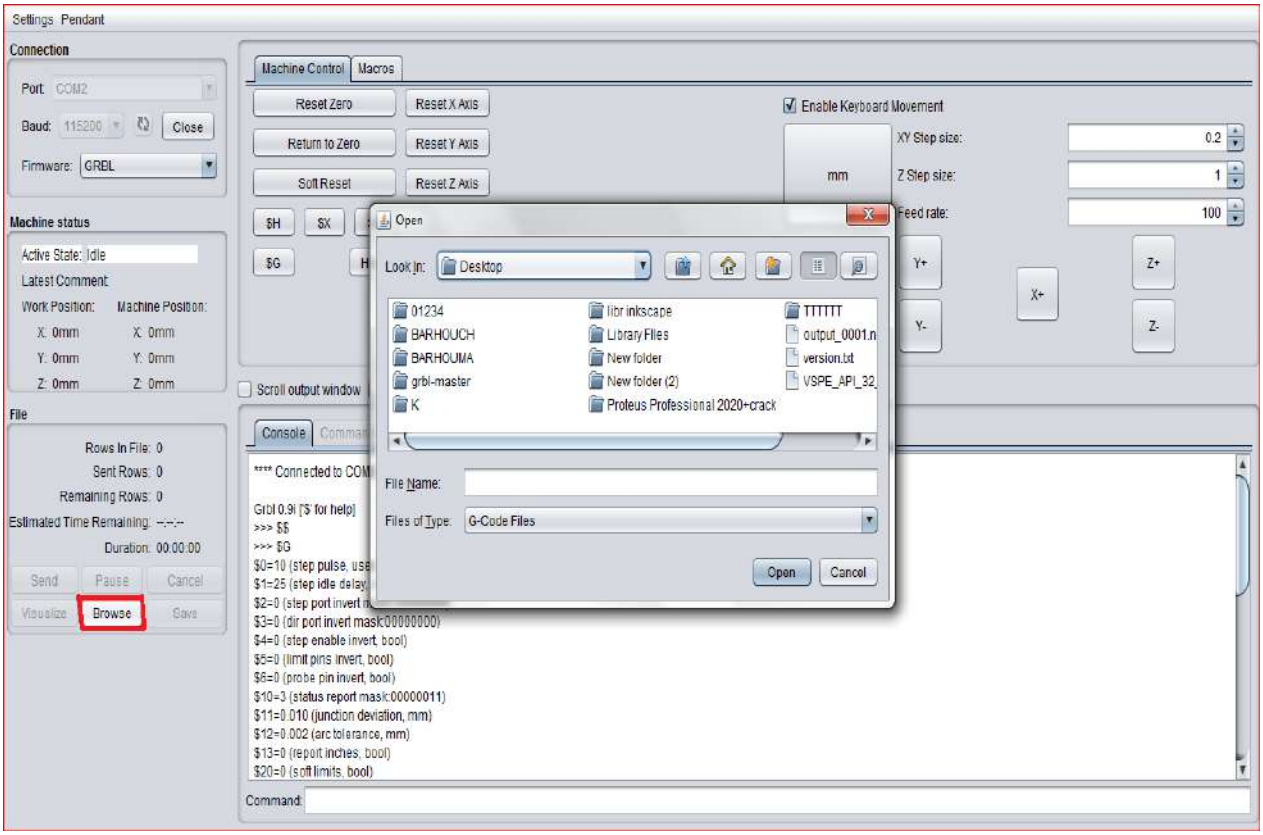


Figure III 13: l'interface de “g code sender” on mode automatique.

Faire le zéro (le "home"): dans l'onglet "machine control" déplacez l'outil avec les boutons X, Y et Z. Nous pouvons modifier le pas de déplacement en modifiant le "step size". Une fois l'outil positionner là où vous souhaitez établir le zéro (en contact avec notre support) cliquez sur "reset zéro". Pour lancer le travail: retournez dans l'onglet file mode et cliquez sur "Send"

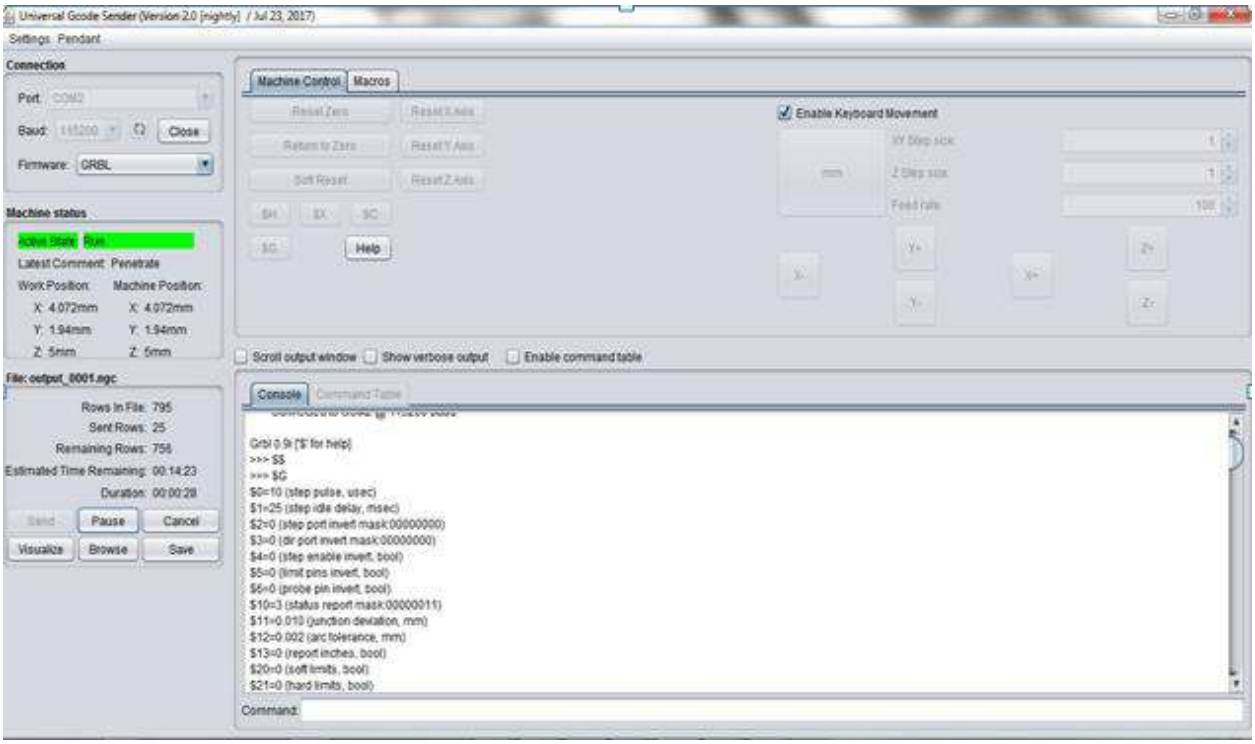


Figure III 14: Envoyé fichée G code.

III.6.1.2. Mode Configuration:

Autre que le mode manuel et le mode automatique, il y a le mode configuration. Dans ce mode, nous pouvons configurer les dimensions de la table. Afin de configurer les dimensions, l'opérateur est appelé à mettre la tête aux coins inverses de l'origine table après le lancement d'une prise d'origine. Cela est nécessaire pour mémoriser les distances maximales des axes X et Y. et la vitesse et nombre de pas par unité de tel moteur. Ainsi, ces paramètres sontregistrés dans la mémoire EEPROM.

III.6.1.3 mode manuel:

En mode manuel, l'opérateur peut commander les moteurs directement par les boutons (X+,X-,Y+,Y-,Z+,Z-,..) dans la programme de transfert G-code , si En cliquant sur ses boutons nous générons un instruction de code G qui envoyé à la carte de commande pour commander le moteur connecté avec ce bouton.

III.6.1.4 mode automatique:

En mode automatique, la carte Arduino Uno reçoit les instructions en G-code et les exécute l'une après l'autre. Il y a plusieurs étapes pour achever cette tâche. Commençant par la réception de l'instruction jusqu'à la commande des moteurs et de la tête. Si l'opérateur clique sur le bouton « send » après le chargement de fichier G-code (soit texte ou image) dans

le programme de transfert, l'arduino fonctionne en mode automatique, le arduino entre dans une boucle et prêt pour recevoir les données.[22]

L'arduino fait l'enregistrement dans la mémoire RAM, Puis fait la compilation pour savoir l'opcode (code de l'opération) et évidement ses paramètres s'ils existent. Chaque opcode de code G a une fonction spécifique, s'il s'agit d'un paramétrage, l'instruction affecte une variable en EEPROM tels que l'origine programme, origine pièce, vitesse de déplacement…et s'il s'agit d'un déplacement, l'arduino fait appel à la fonction qui contient l'interpolation de Bressenham liée à ce déplacement (interpolation linéaire et interpolation circulaire). Enfin, le arduino envoi le mot ' »' pour indiquer au PC qu'il est prêt à recevoir l'instruction suivante. L'appui sur le bouton 'cancel' termine le dialogue.

III.7. Langage de programmation la machine CNC:

Un langage de programmation est un langage permettant à un être humain d'écrire un ensemble d'instructions (code source) qui seront directement converties en langage machine grâce à un compilateur (c'est la compilation). L'exécution d'un programme Arduino s'effectue de manière séquentielle, c'est-à-dire que les instructions sont exécutées les unes à la suite des autres.

Voyons plus en détail la structure d'un programme écrit en Arduino. Le programme utilise l'équipe de Grbl est une le programme de commande dans la carte Arduino.

III.7.1. Programme Grbl:

Grbl est un micrologiciel libre développé sur Arduino pour contrôler des graveuses CNC (Computer Numerical Control), i.e. des fraiseuses munis d'une tête mobile contrôlée en X, Y et Z par un ordinateur. Grbl interprète du G-code (cf. plus bas) et déplace en conséquence un outil sur 3 axes (X, Y et Z). Il comprend de multiples optimisations sur l'usage et le déplacement des moteurs afin de gérer correctement les accélérations, les trajectoires... l'organigramme qui assure ce micrologiciel .[23]

➢ Installation de Grbl

Le pilotage d'une CNC se fait à l'aide de séquences d'instructions en Gcode. GRBL Est un outil pratique qui permet d'interpréter le Gcode et de piloter très simplement une CNC avec Arduino

- Téléchargez la dernière version .zip de GRBL sur github.

- Décompressez le dossier Grbl-master

Nous allons maintenant inclure GRBL aux bibliothèques Arduino. Pour cela, deux méthodes sont possibles.

• Via le logiciel Arduino, on clique sur Croquis puis Inclue une bibliothèque et on ajouter la bibliothèque .ZIP. Puis nous sélectionnons le dossier Grbl situé dans le dossier Grbl-master.

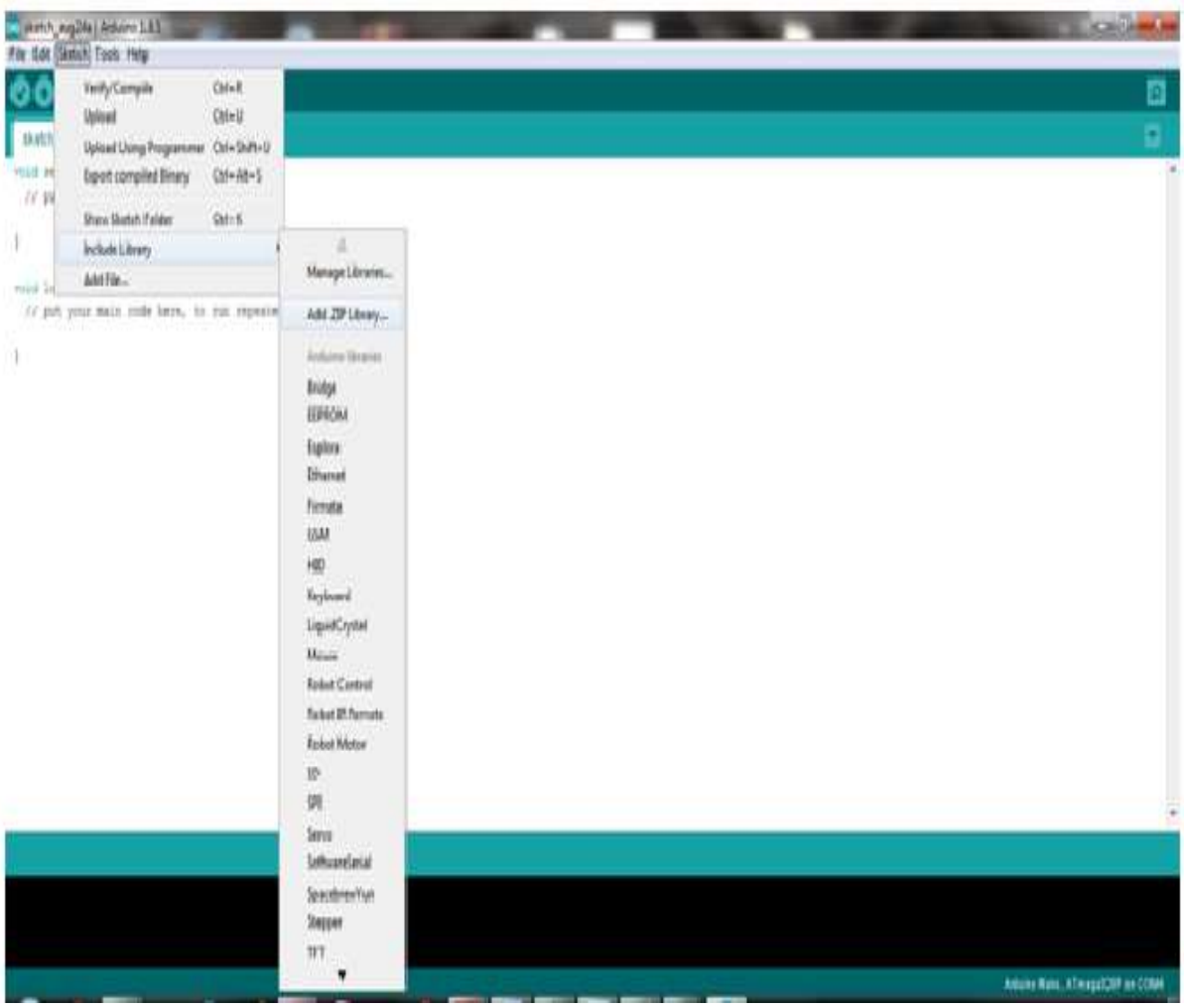


Figure III 15: Installations de GRBL dans l'arduino.

• Autre méthode : nous allons vers C:\Program Files\ Arduino. puis Cliquez sur Arduino puis librairies et on colle le dossier Grbl situé dans le dossier Grblmaster. nous redémarrons ensuite l'IDE Arduino. Pour implémenter GRBL sur l'Arduino, rien de plus simple. Il suffit d'aller dans :

Fichier => Exemples => grbl = > grbl-upload

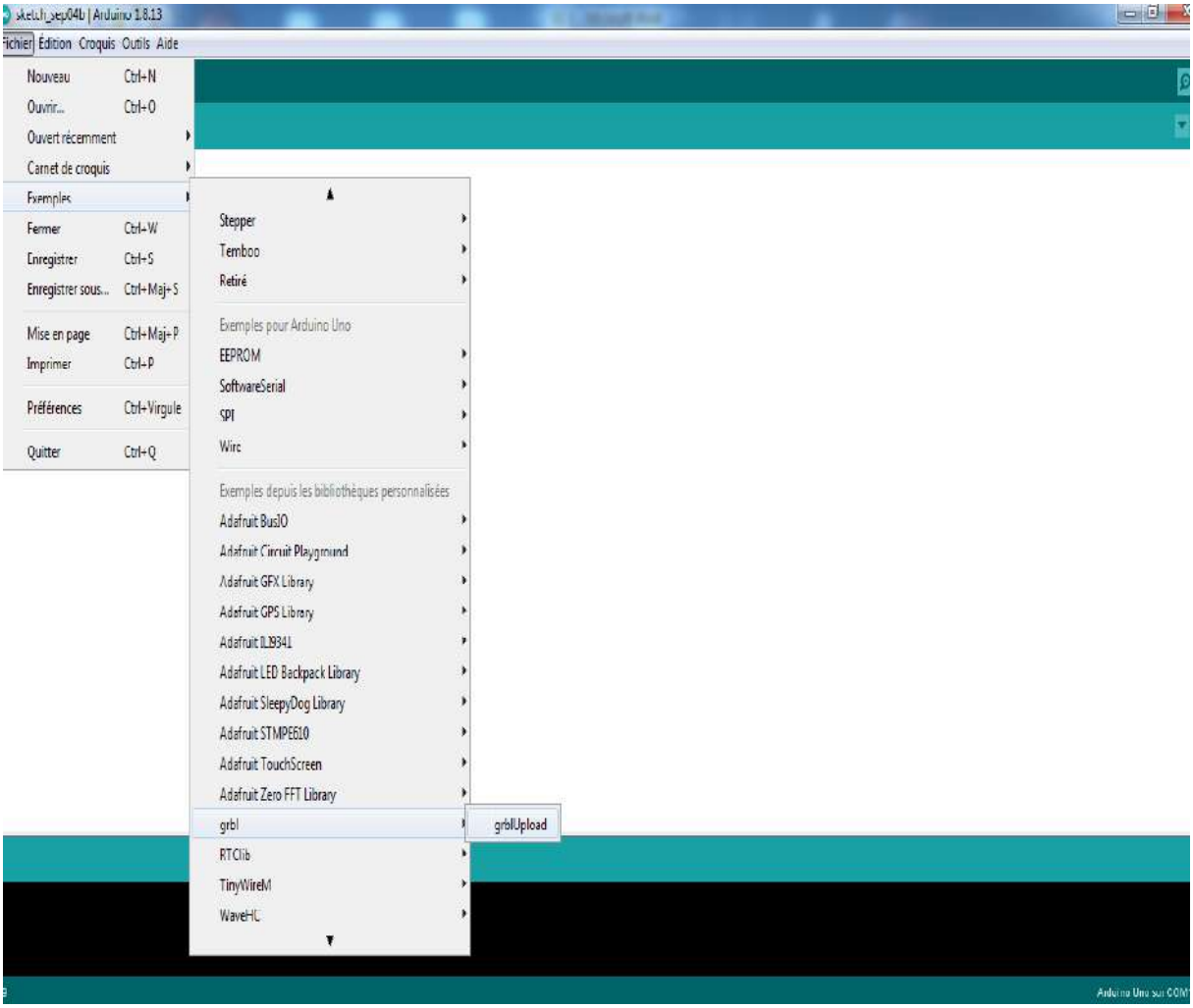


Figure III 16: Ouvrir le GRBL.

III.8. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté un langage de programmation G-code et le logiciel de dessin 2D Inkscape.

Ce chapitre a été consacrée au logiciel Universel G code sender qui a la tâche du transfert des instructions Gcode vers la carte Arduino Uno via le port série.

IV .1.Introduction :

Dans ce chapitre, la simulation machine est étudiée en deux parties pour vérifier la faisabilité et le bon fonctionnement.

Simulation sur Isis Porteuse: pour vérifier la faisabilité et Le fonctionnement des circuits a déjà été développé théoriquement. Implémentation du cercle Simulé sur carte de test (panneau avec trous) pour assurer son fonctionnement Simulation sur logiciel GrblGru: Une simulation virtuelle 3D de contrôle d'une machine CNC.

IV.2.Simulation électrique sous porteuse Professional :

Porteuse est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels incluent dans Proteus permettent la CAO (conception assisté par ordinateur) dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle : ISIS principalement connu pour éditer des schémas électriques, ARES dédié à la création de circuits imprimés.



Figure IV 1:L'nterface de PROTEUS.

IV.3.PROTEUS ISIS :

Le logiciel ISIS de PROTEUS est principalement connu pour éditer des schémas électriques et de les simuler de manière très facile.

Cette simulation permet, entre autre, de déceler certaines erreurs de conception et de fabrication.

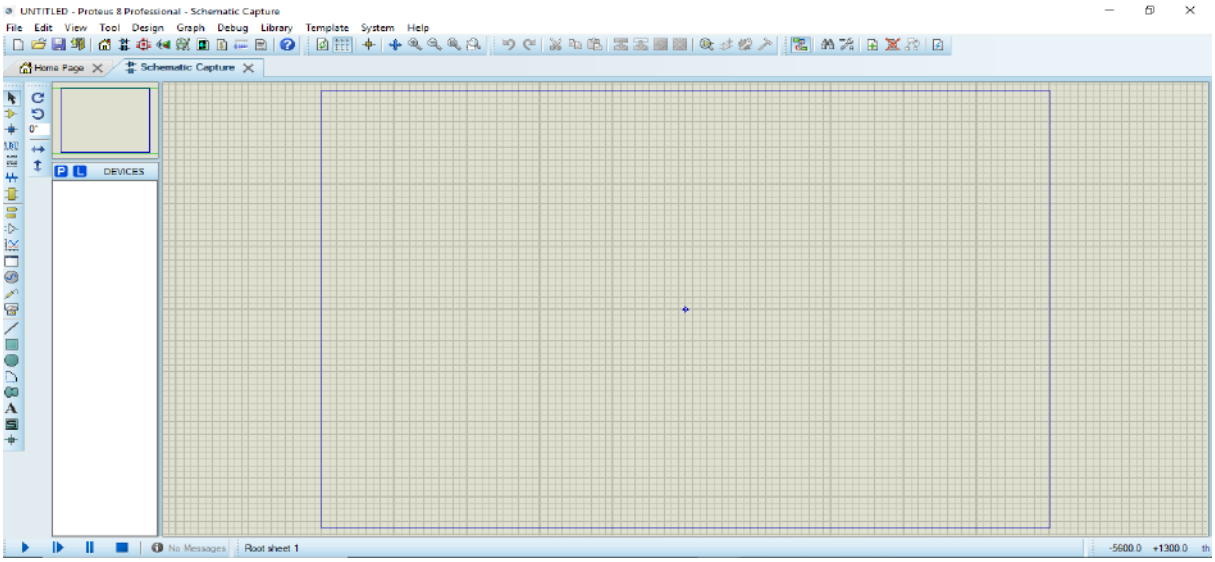


Figure IV 2: Nouvelle page ISIS.

IV.4.Virtual Serial Port Emulateur:

VSPE est un émulateur de port série virtuel. Le port série virtuel COM1 est créer pour Connecter le logiciel de commande à l'arduino.

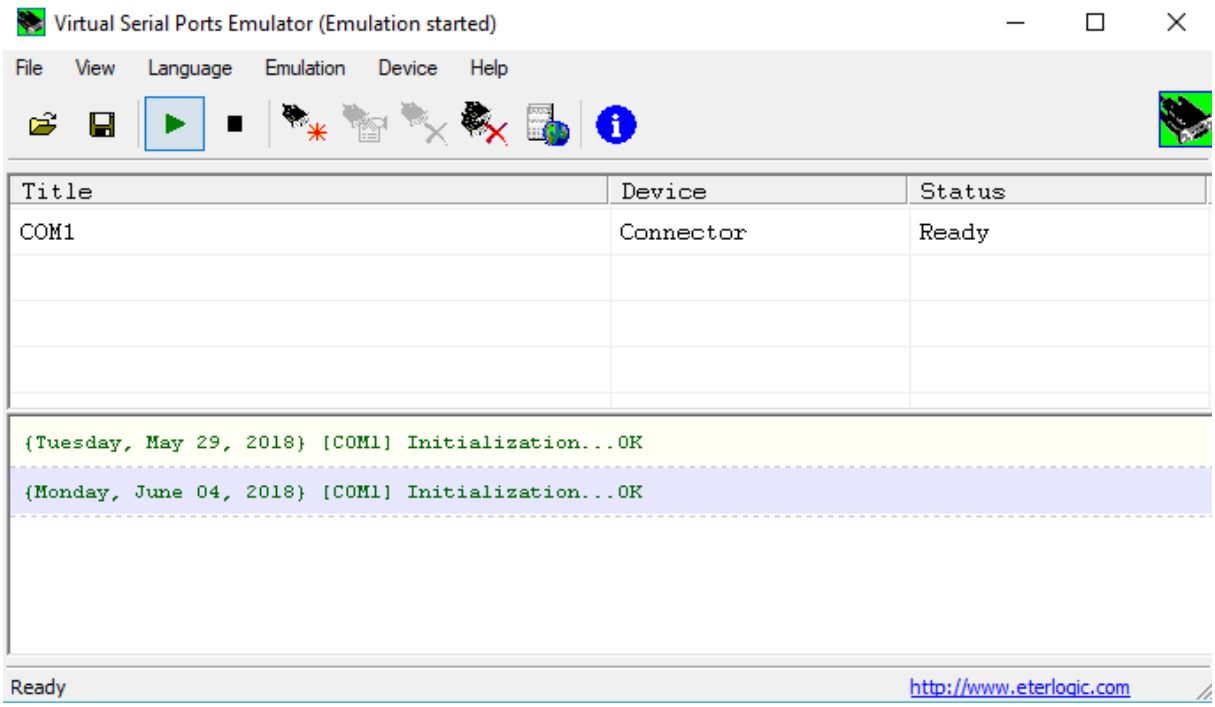


Figure IV 3: Interface de VSPE.

IV.5. Lancement de la simulation:

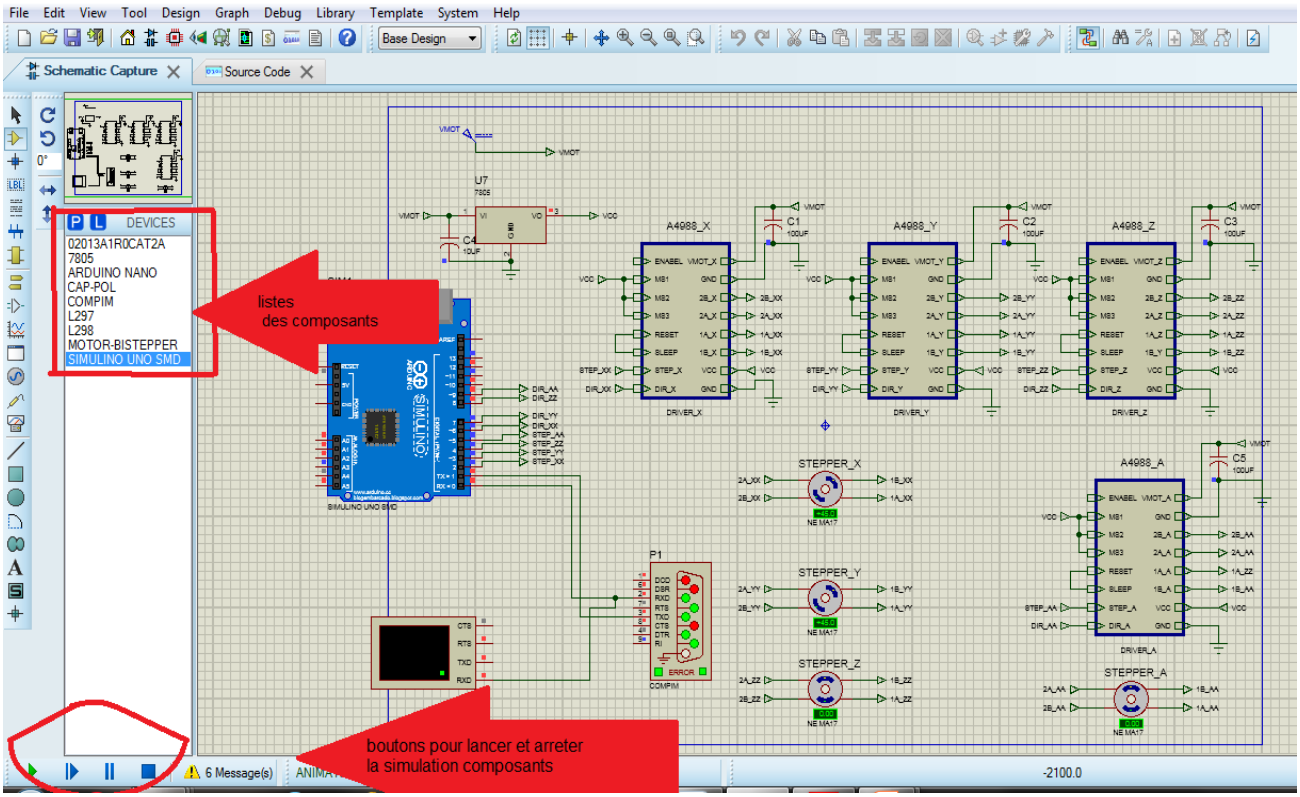


Figure IV 4: Montage électronique dans porteuse.

Au lancement de la simulation, on obtient les résultats suivants :

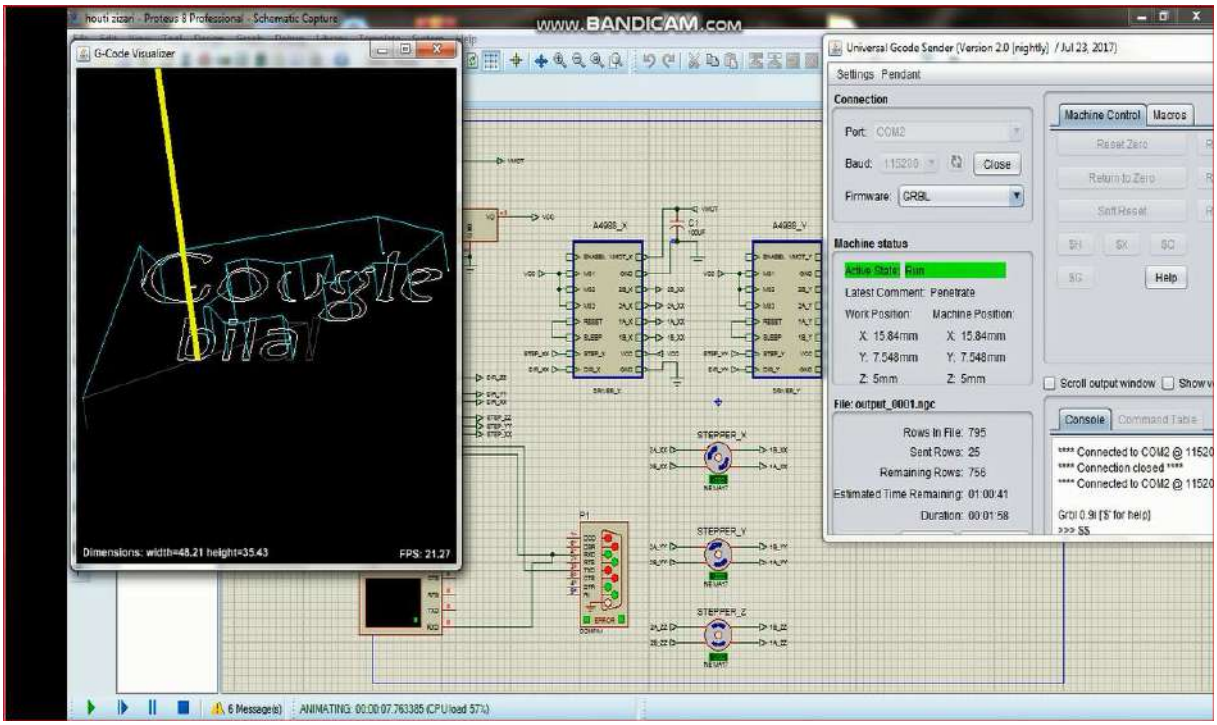


Figure IV 5: de simulation.

IV.6.Simulation par le logiciel Grblgru :

Grblgru :

C’est un logiciel open source gratuit qui peut interpréter le code G et l'utiliser pour convertir Informations d'impulsion et de direction pour contrôler les ampères de puissance du moteur pas à pas. Parce que GrblGru se dirige vers

GrB en mode contrôle, le nom GrblGru est la suite logique du nom «stupide» Grbl. Personnesait vraiment ce que cela signifie. La prononciation n'est pas non plus clairement définie. Je préfère 'GrabbelGru' et parce que je me décris assez souvent, j'utilise la forme courte écrite un simple «GG».[24]

IV.6.2.Les fonctions de base :

- Un simulateur 3D pour le fraisage et le tour
- Un expéditeur GCode pour Grbl, TinyG, Mega-5X et g2core
- Un programme FAO pour les travaux de fraisage et de tournage
- Un outil pour apprendre la technologie CNC sans avoir besoin d'une `` vraie " machine. [24]

IV.6.3.Modes de fonctionnement:

GrblGru a 2 modes de fonctionnement différents:

- Mode de simulation

  pour la simulation 3D virtuelle de la commande de machine CNC

- Mode de contrôle

pour un contrôle réel d'une machine CNC avec le système d'exploitation Grbl, TinyG, Mega-5X ou g2core. [24]

IV.6.4.Opération de simulation:

Ce mode de fonctionnement est l'idée originale du programme. C'était principalement destiné à vérifier les Programmes CN sur une machine virtuelle et pour afficher les collisions ou problèmes.

Ce type de `` machine virtuelle " précoce a prévalu de plus en plus dans l'industrie ces dernières années.

car cela fait gagner un temps précieux à la machine en détectant à l'avance les erreurs possibles. [24]

Au démarrage de GrblGru, le mode par défaut est défini sur «Simulation». Cela donne la situation suivante.

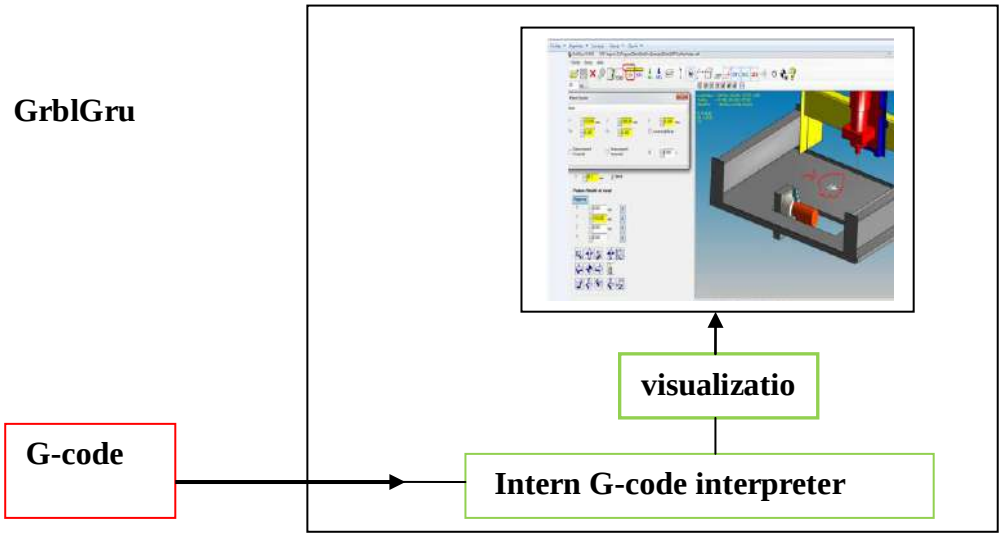


Figure IV 6: GrblGru en mode Simulation.

Il n'y a pas de connexion à un vrai contrôleur. Le programme CN à examiner est chargé et la CN les commandes sont traitées par l'interpréteur CN interne. Le modèle 3D chargé est animé en conséquence. NC = commande numérique.

En annexe, vous trouverez les modèles 3D actuellement disponibles des fraiseuses et du outils. Donc, si quelqu'un est un peu familier avec la 3D et intéressé par la visualisation de sa machine artisanale, Je suis ravi de vous aider. [24]

IV.7.Simulation de projet:

Pour simuler un projet comprend 4 axes on a choisissez la bonne machine

;

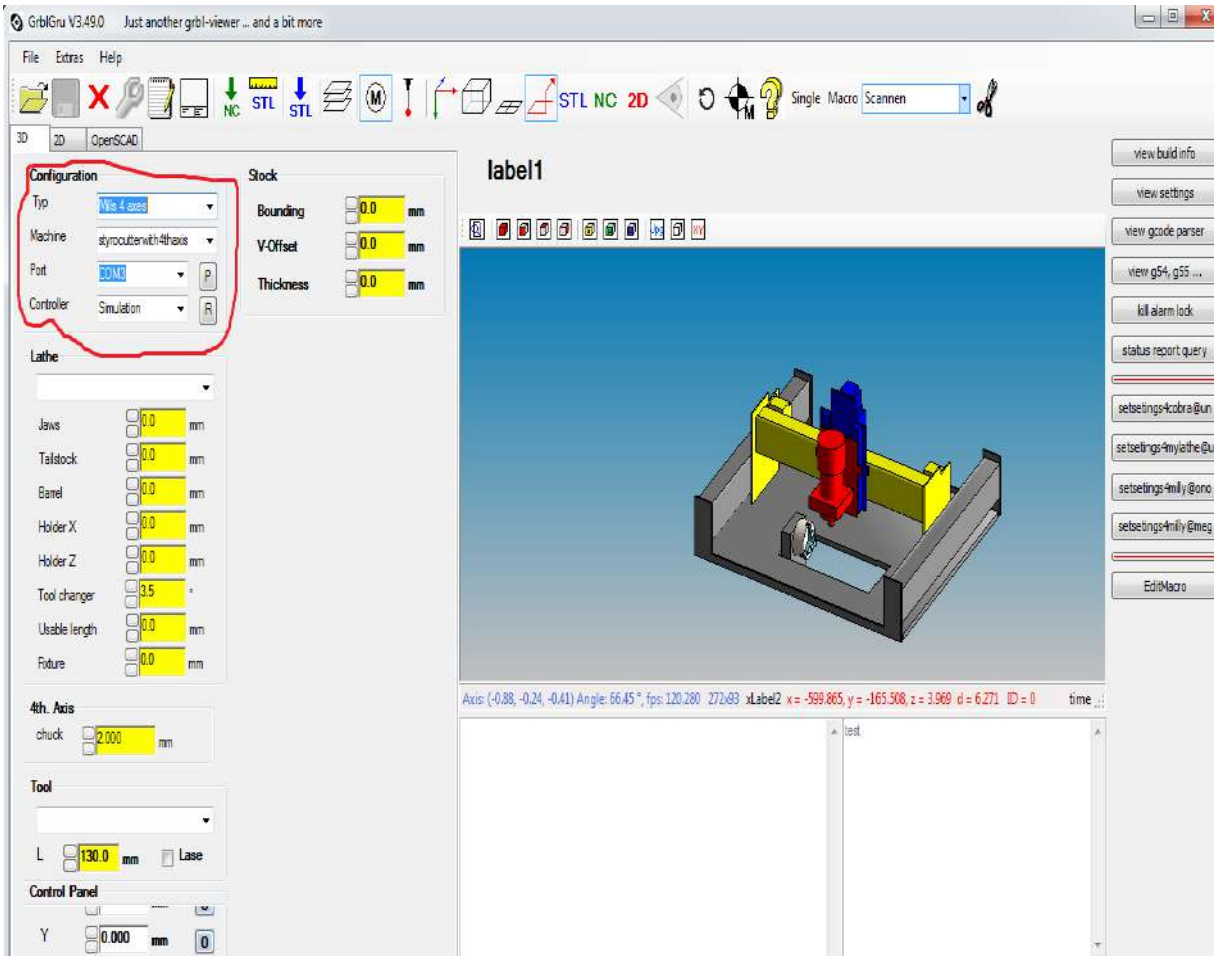


Figure IV 7: la machine styrocutterwith 4th axis.

Ensuite, nous chargeons la pièce STL

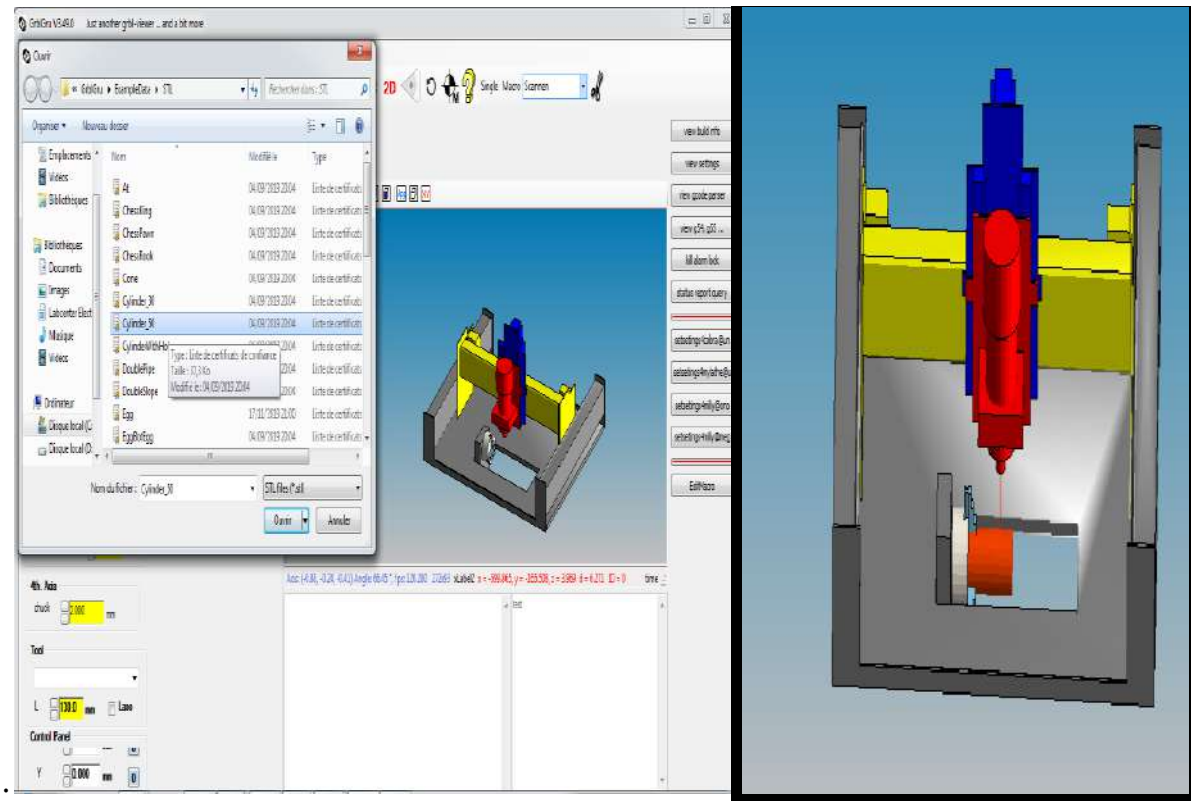


Figure IV 8: charge un cylindre STL.

Nous import un dessin DXF

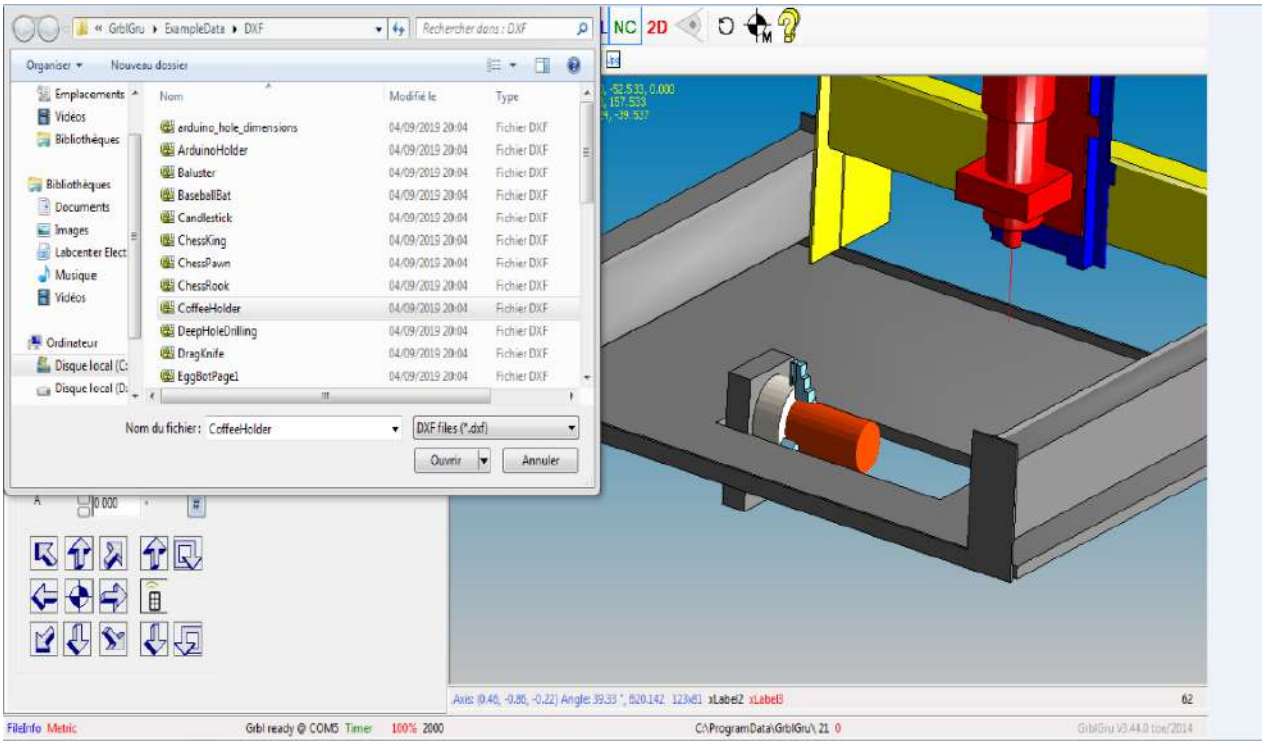


Figure IV 9: import CoffeeHolder.

Maintenant, chargez un croquis DXF ou SVG et positionnez-le et mettez-le à l'échelle UNIQUEMENT avec la manipulation de données 2D dialogue. Les axes X, Y et Z ne doivent PAS être modifiés.

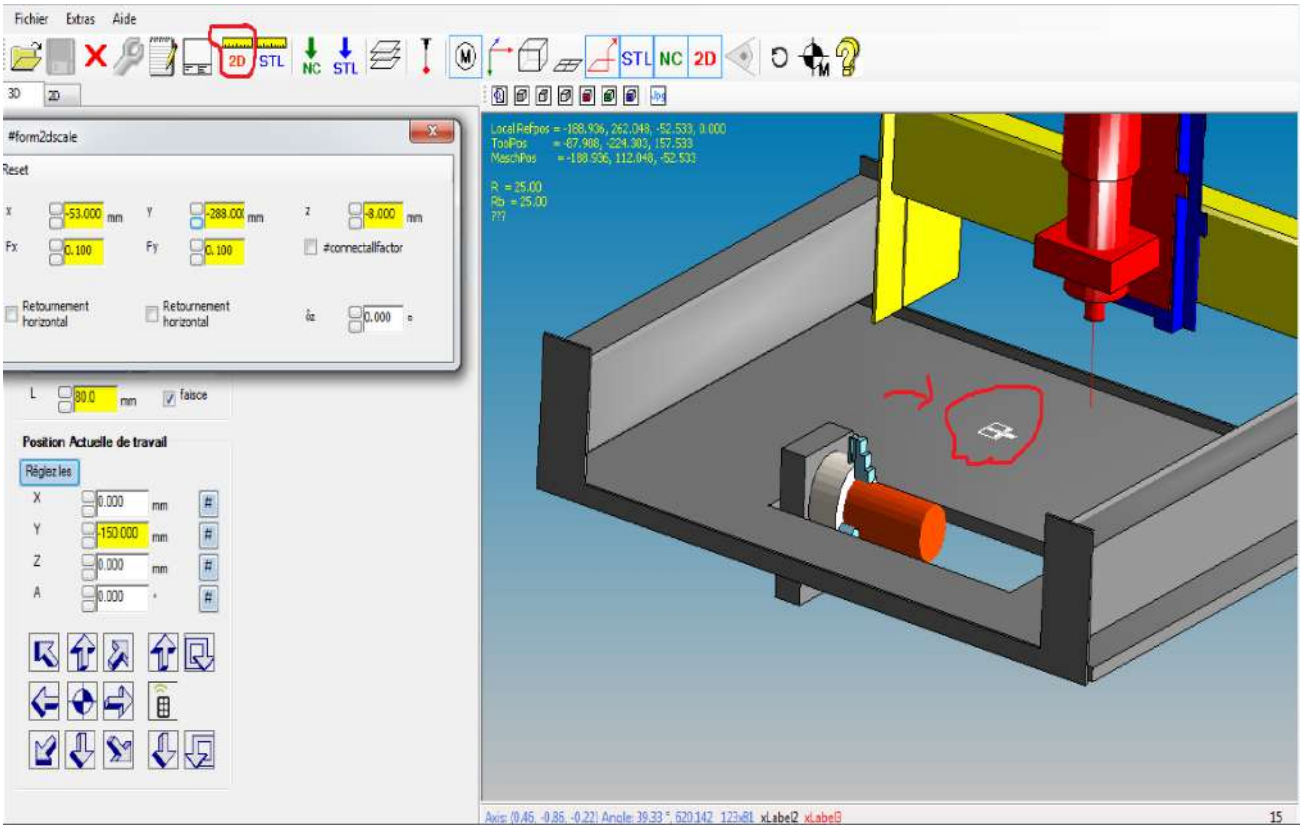


Figure IV 10: Mise à l'échelle et positionnement de l'esquisse.

maintenant nous créons un travail avec la projection en mode transformation donc j'ai préparé un modèle 'projection en 4 axes'

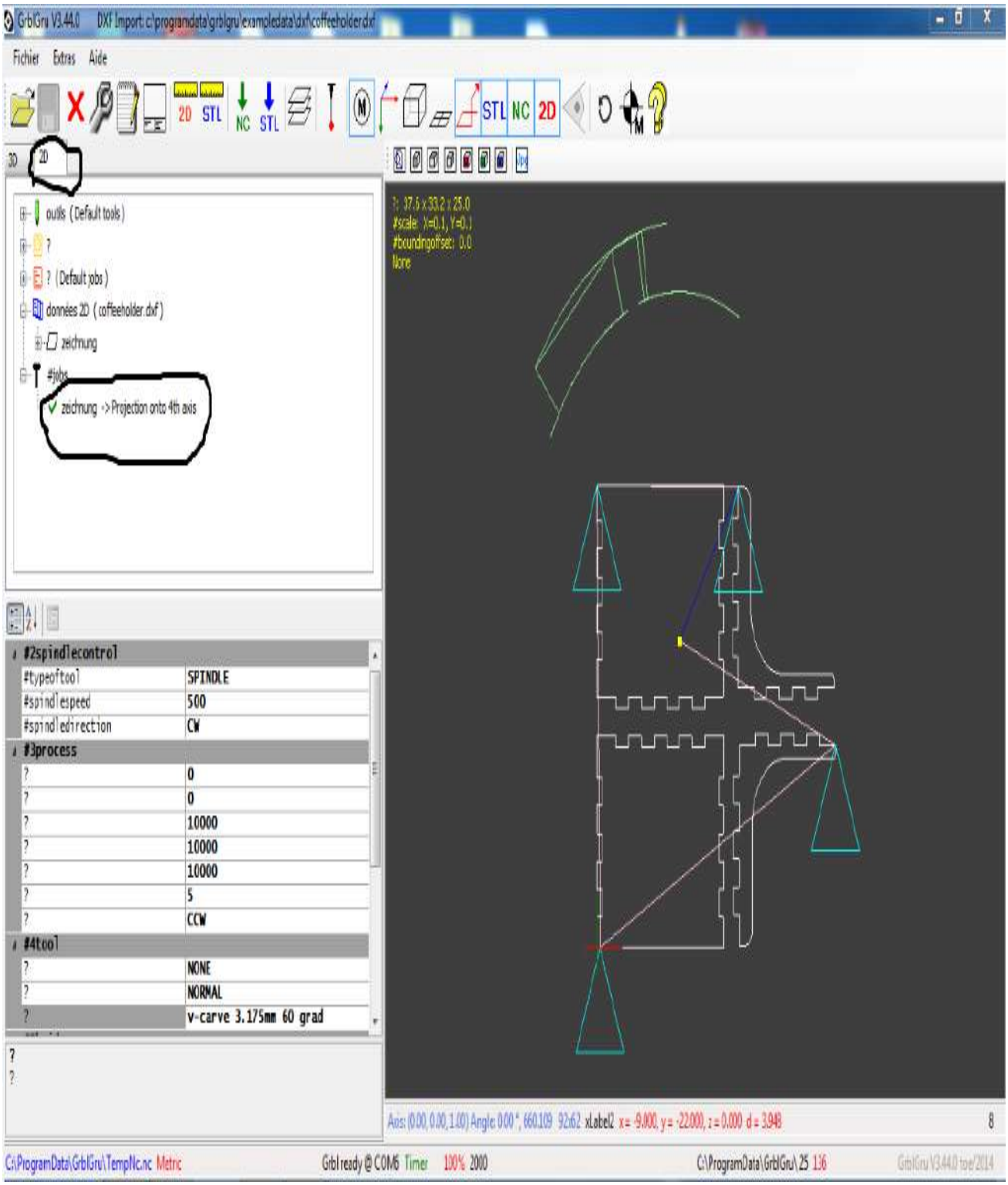


Figure IV 11: Créer un emploi.

a la fin démarrer le programme

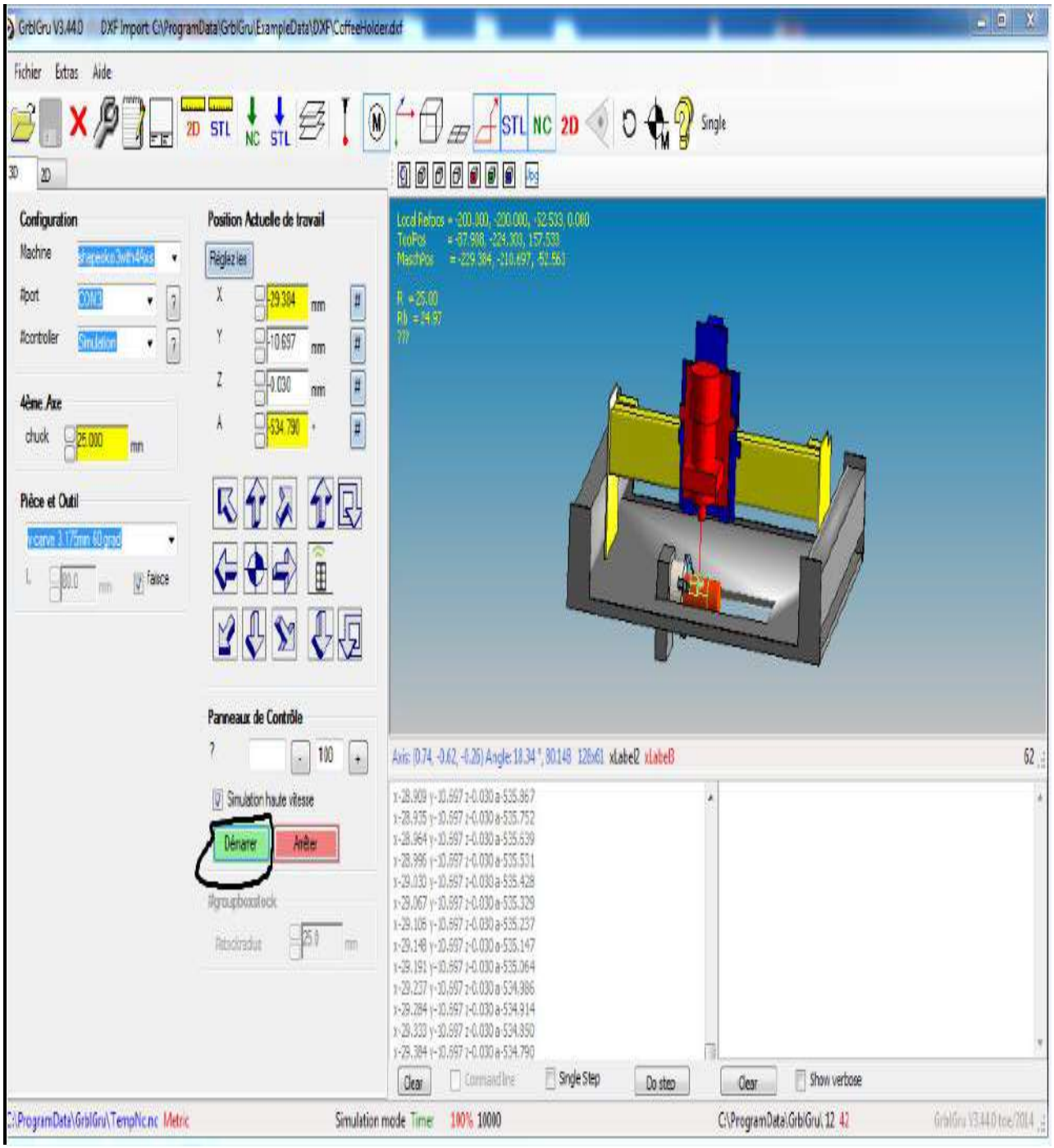


Figure IV 12: Démarrer le programme DE SIMULAION.

IV. 8. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons présenté plusieurs types de logiciels utilisés pour simuler et contrôler des machines CNC. Pour se rapprocher des résultats pratiques.

V.1.Introduction :

Ce chapitre traite de deux parties, la partie mécanique qui décrit les pièces et le cadre de la conception, et la partie perception est l'assemblage des pièces mécaniques et électriques pour faire fonctionner la machine.

V.2. Partie mécanique :

V.2.1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO) :

La CAO (Conception Assistée par Ordinateur) est un ensemble d'outils et de programmes

Informatiques permettant d'assister l'ingénieur dans la conception et la mise au point d'un produit.

Un système de CAO permet de représenter et d'étudier le fonctionnement d'un objet sans l'avoir fabriqué réellement, c'est-à-dire en virtuel. Il existe un grand nombre de logiciels de CAO ,par exemple [25] :

- SolidWorks.
- FreeCAD.
- OpenCASCADE.
- QCAD...

V.2.2. Fabrication assistée par ordinateur :

La fabrication assistée par ordinateur ou FAO est d'écrire le fichier contenant le programme de pilotage d'une machine-outil à commande numérique. Ce fichier va décrire précisément les mouvements que doit exécuter la machine-outil pour réaliser la pièce demandée. On appelle également ce type de fichiers : programme ISO ou blocs ISO. Les logiciels de FAO utilisent les modèles et les ensembles créés dans les logiciels de CAO pour générer des trajectoires d'usinage

sur lesquelles s'appuient les machines qui convertissent les conceptions en pièces physiques. Il existe un grand nombre de logiciels de FAO, par exemple [26] :

- Catia.
- SolidCAM.
- Camworks...

V.2.3. Logiciel SOLIDWORKS:

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SolidWorks est racheté le 24 juin 1997 par lasociété Dassault Systèmes. SolidWorks est un modeleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers Concernés. Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SolidWorks. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.



Figure V 1: Le logo du logiciel SolidWorks.

V.3.Conception des pièces :

La conception des différentes pièces de la machine CNC, à été faite à l'aide de logiciel CAO Solidworks version 2016.

V.3.1.Modélisation 3D des pièces à usinée :

Axes-Y:Support :

La pièce représentée dans la Figure V.2, est le bâtit de la machine CNC, et support l'axe Y.

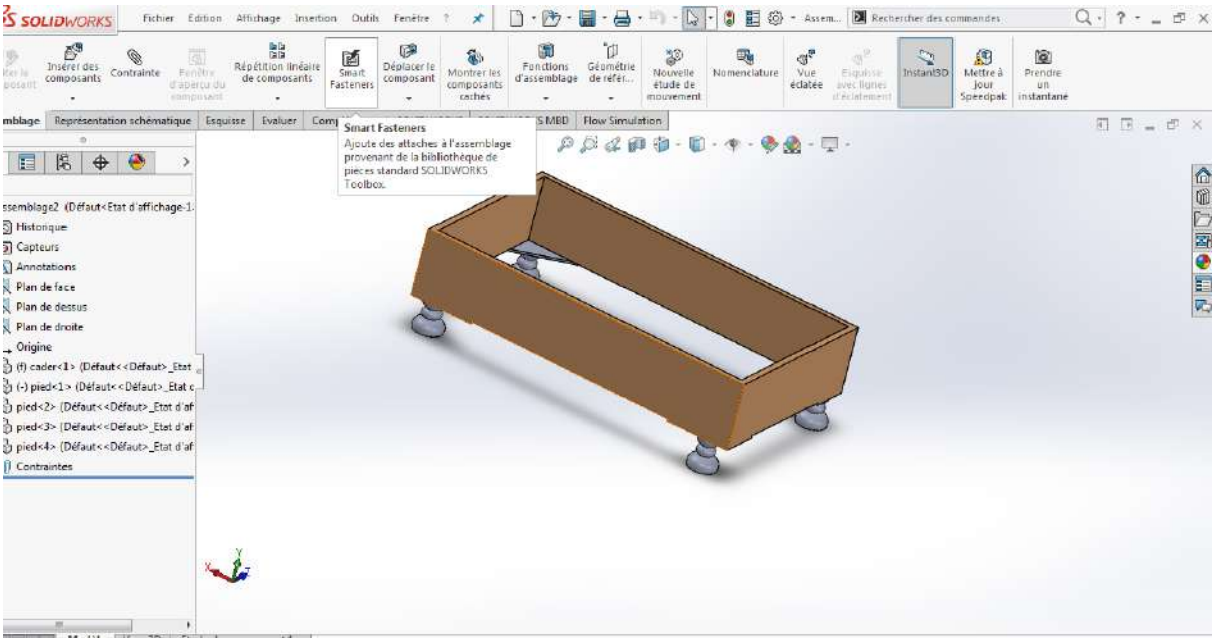


Figure V 2: Support axe Y.

Portique :

Ce sont les deux pièces principales du chariot de l'axe Y, c'est deux pièces vont supporter les axes X et Z.

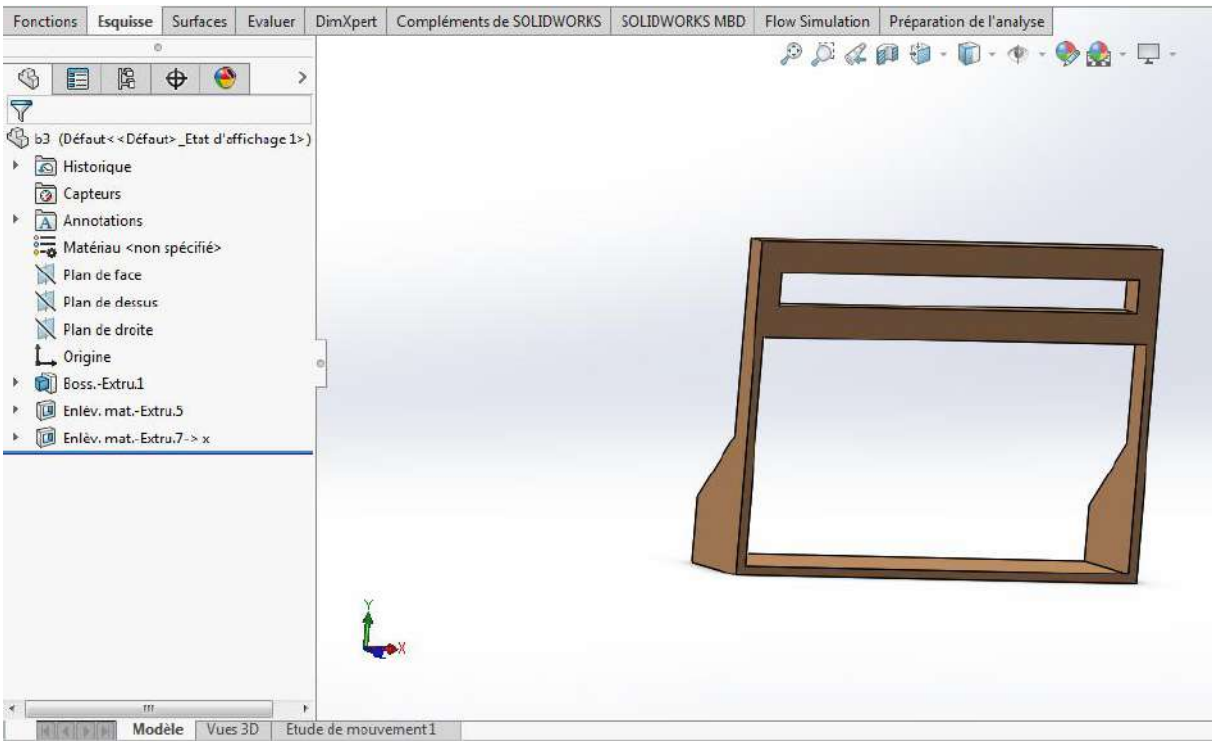


Figure V 3: Portique.

- moteur:

Moteur pas à pas

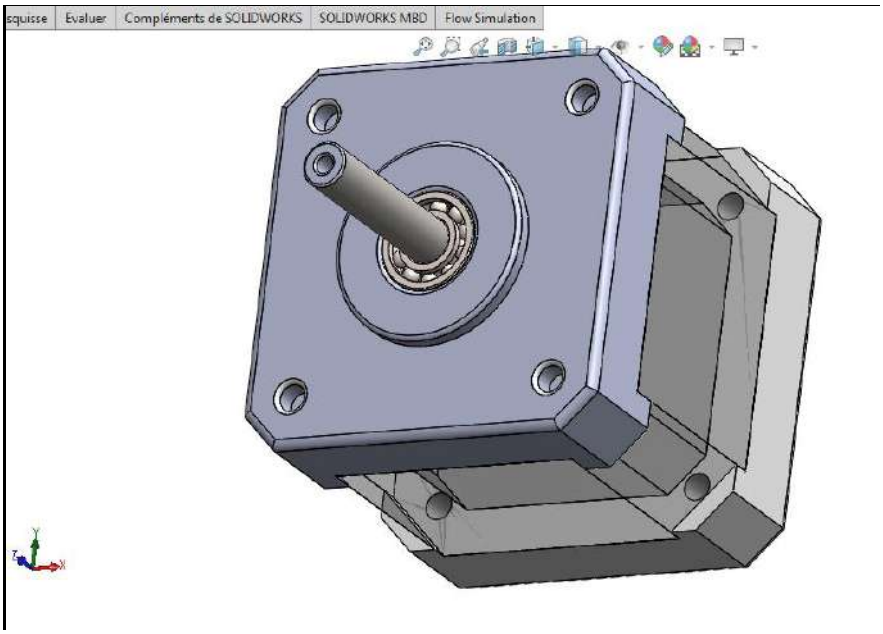


Figure V 4: Moteur pas à pas.

- Mandrin :

L'axe de rotation

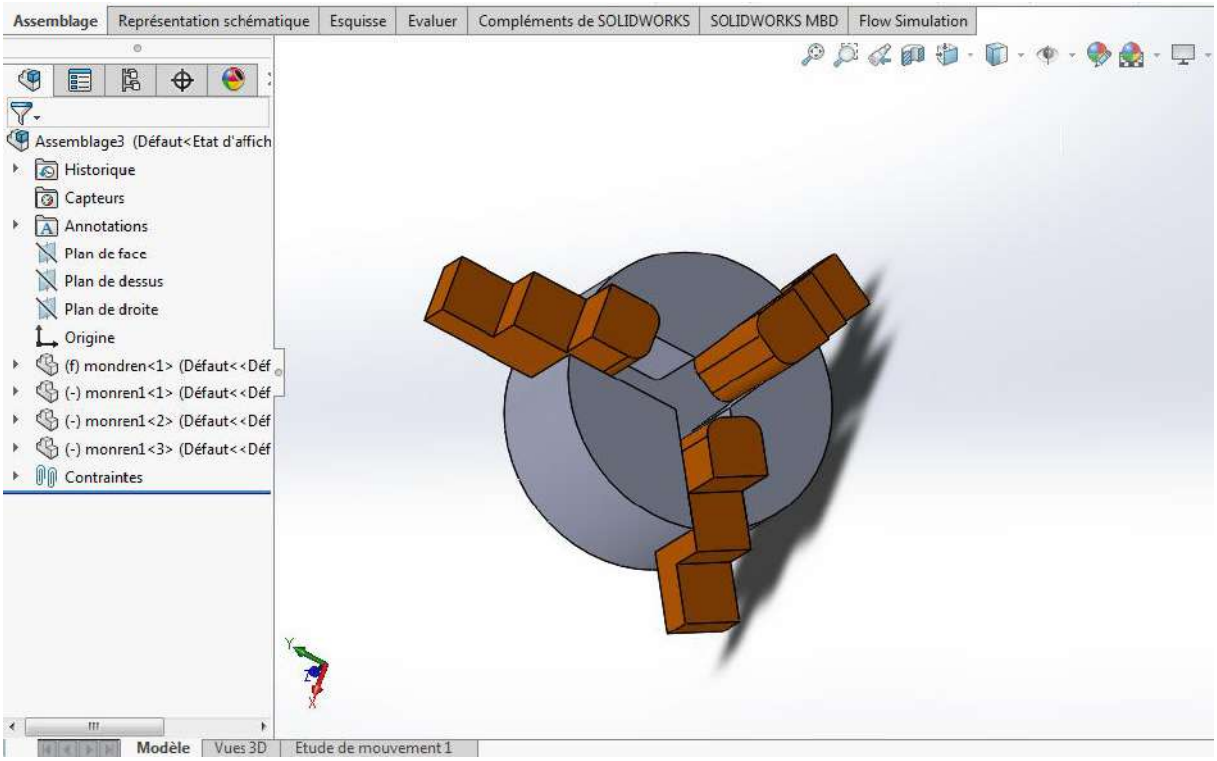


Figure V 5: Mondrian.

V.3.2 Conception de la pièce standard :

Le tableau suivant représente la conception des pièces standard et normalisé, leurs rôles, ainsi que leurs nombre.

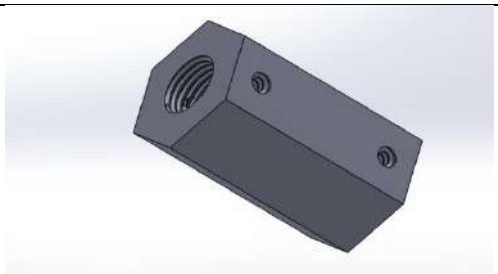
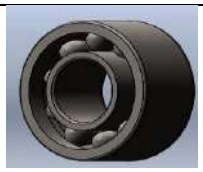
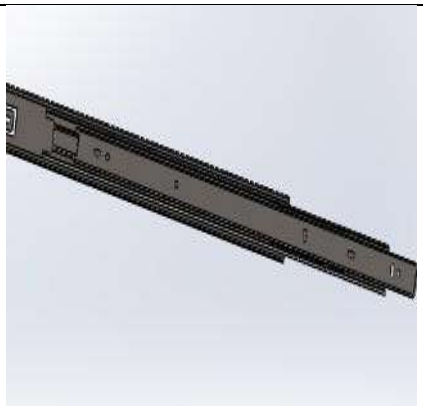
Nom du Pièce	Rôle	Figure
Accouplemt	Accoupler l'arbre moteur avec les tiges filetées	
Tige fileté	Assurer le transmission de l'écrou	
Roulement	Assurer le guidage en rotation de tiges filetées	
Guidage	Assurer le mouvement de translation sur les 3 axes	

Tableau V 1: conception des pièces standards.

V.3.2.Assemblage de la machine CNC : Après la conception des différentes pièces de la machine CNC, sont assemblé à l'aide de Logiciel Solidworks. L'assemblage des différentes pièces est représenté dans la Figure V 6.

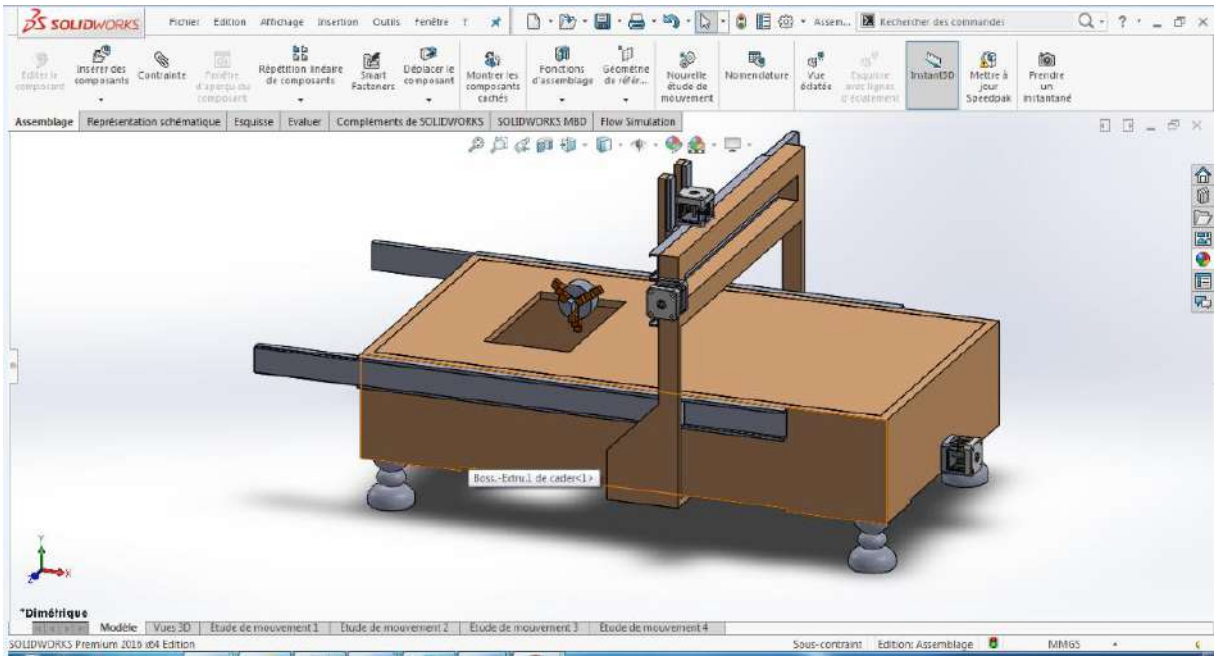


Figure V 6: Assemblage des pièces.

Pour tester, nous avons utilisé plusieurs logiciels (grblGru ou universel g-code, inkscape) et plus d'éléments Mécanique et électrique (carte Arduino, moteur pas à pas, driver, alimentation...).

V.4.fabrication de cnc machine 2D :

Etape 1 : matériel nécessaire pour réaliser le machine CNCNous essayons d'employer des matériaux que l'on peut se procurer facilement enmagasin de bricolage et des composants les moins chers possibles pour la fabrication de laachine CNC. Pour piloter les moteurs pas à pas des axes X , Y,Z et A, nous avons deux possibilités. Soi utiliser La carte CNC V3 shields pour Arduino Uno.



Figure V 7: Arduino Uno.

• carte CNC V3 shields

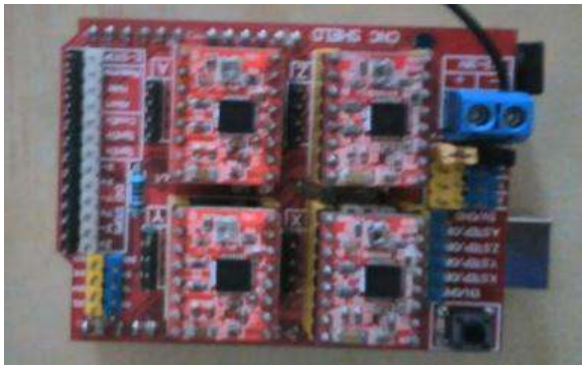


Figure V 8: Carte CNC V3 shields.

• moteurs pas à pas

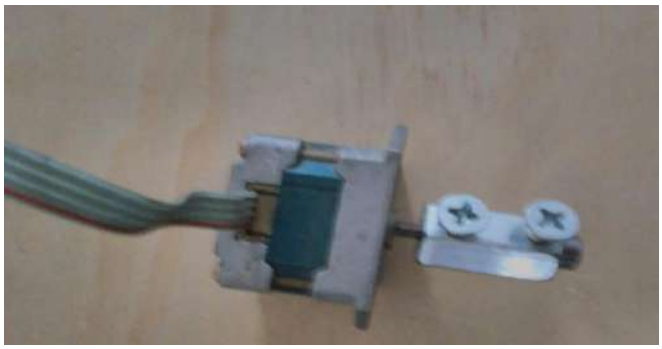


Figure V 9: Moteurs pas à pas.

• Des rondelles

• des écrou

• des fils

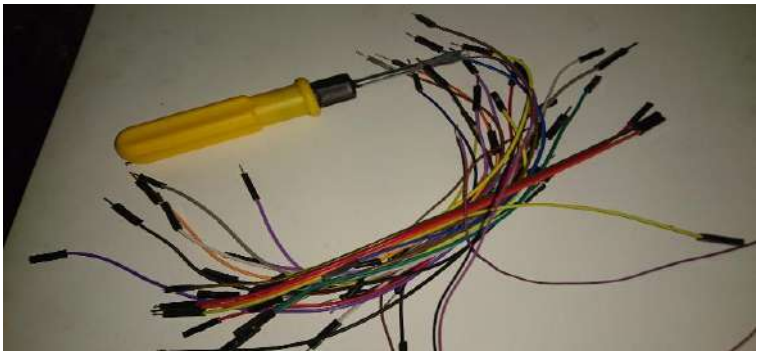


Figure V 10: Câblages circuits électrique.

• 1 alimentation



Figure V 11: Boite d'alimentation.

V.4.1.realisation de la machine cnc:



Figure V 12: Réalisation de la machine.

V.5. Conclusion :

Comme nous venons de le voir dans ce chapitre, beaucoup de travaux ont été réalisés

concernant la machine CNC, nous avons présenté de logiciels utilisés pour

conception machine CNC. Pour réaliser cette commande on ait utilisé une carte microcontrôleur "Arduino Uno" qui possède un espace de programmation qu'est très claire et simple et les carte CNC V3 shields . Cette carte sert à contrôler les moteurs pas à pas bipolaire. A l'aide du logiciel " Inkscape " nous avons stoker les codes G dans la carte arduino Uno. Pour finir, nous branchons les moteurs pas à pas, et nous testons la carte de commande des moteurs pas à pas. La machine CNC fonctionne correctement et répond aux différentes commandes.

CONCLUSION GENERALE

Les machines CNC dans les domaines industriels sont importantes et les plus utilisées, car elles permettent d'effectuer de nombreuses et multiples opérations.

L'objectif de ce travail est l'étude et réalisation de la machines à outil à commande numérique MOCN. Pour cela nous avons utilisé 4 moteur pas à pas bipolaire, carte arduino et 4 drivers A4988, une alimentation, de fin de course et la commande est réalisé autour du logiciel Inkscape , Gcode Sender et grblGru .

Dans le premier chapitre, nous avons entamé une généralité sur les machines-outils à commande numérique, le principe de fonctionnement de ce dernier et la conception assistée par ordinateur (CAO) et (FAO).

Dans la deuxième chapitre, nous avons entamé la sur Composants matériels de la machine CNC, consiste sur les moteurs pas à pas que nous avons étudié en détail. Cette partie est essentielle au fonctionnement des machines à commande numérique. Fait une description et la mise en oeuvre de la carte Arduino Uno et driver A4988 pour tester les différentes, Interfaces électroniques d'acquisition de données et de commandes des moteurs pas à pas.

la troisième chapitre, est consacrée à des logiciels du pilotage du CNC desimulation pour cette raison, plusieurs parties ont été envisagées :

• La première partie a été consacrée au logiciel de dessin 2D Inkscape et

les étapes de la vectorisation des images bitmap en image vectorielle afin de générer leur fichier Gcode.

• La deuxième partie a été consacrée au logiciel Universel G code sender qui a la tâche du transfert des instructions Gcode vers la carte Arduino Uno via le port série.

Dans le chapitre 4, nous avons présenté Grblgru et Proteuse pour les simulations afin d'obtenir de bons résultats très proches de la réalité.

Au final, la première étape de la production est le dessin de certaines pièces selon les plans établis.

Dans la deuxième étape, il est assemblé avec des pièces standard et uniformes. La dernière partie de notre réalisation est d'assembler les deux partie mécanique et électrique pour assurer le bon fonctionnement de la machine.

CONCLUSION GENERALE

En perspective, plusieurs points sont à approfondir et ouvrent la voie à de nouveaux axes de travaux :

• Contrôle des autres axes (imprimante 3D).

• Application de la commande avec modèle intelligent.

• L'utilisation de la communication sans fils entre le système d'acquisition et le PC.

- Nous ajoutons un bon système de sécurité plus efficace

[1] A. Fouillé Dunod, la commande des machines-outils, Histoire du Fer Bibliothèque de Travail n° 918.

[2] AFNOR - Cônes d'emmanchement, - norme AFNOR NF E 60-023 – Mai 1985.

[3] Abdennadji Youssef, Ahmadi Anouar « **Conception et réalisation d'une commande numérique d'une machine de decouplaser** », Ingénieur d'école nationale de Gabés, juin 2010.

[4] Gilles Patri, « **Aérospatiale : une nouvelle ère industrielle. Des outils classiques à la commande numérique** », dans Revue aérospatiale, N° hors-série 20 ans d'Aérospatiale,
janvier 1990

[5] BOUANIK FOUAD UNIVERSITE BADJI-MOKHTAR-ANNABA «**Simulation de l'usinage d'un guidage longitudinal sous le logiciel SINUTRAIN 828D** ShopMill»2016/2017.

[6] Pierre Mayé «**Moteurs électriques pour la robotique**» ; 2éme édition, octobre 2013

[7] Takashi Kenjo and Akira Sugawara , «s**tepping motors and their Microprocessor controls**» Oxford University Press , ISBN 0-19-859385-6.

[8] « **Systèmes électromécaniques**» ; Haute Ecole d'ingénierie et de Gestion Du Canton du Vaud, CD/SEM/Cours/Chap07, 04/2014.

[9]http://www.positron-liber.com/com/electronique/moteur-pas-a-pas/sequencecommande .

[10] Mr Taleb Bendiab Zakaria. « **Etude et réalisation d'une carte de commande de trois moteurs pas a pas pour machine de prototypage rapide** ». Mémoire Master. Université Aboubekr Belkaid – Tlemcen. Année : 2013 /2014.

[11] M. Correvon.« **LES MOTEURS PAS À PAS**» CD\SEM\Cours\Chap7. doc , téléchargé le : 08/09/2017

[12] Gerard Yvraut. (1999). « **Les Moteurs Pas à Pas** ». Séminaire Bellegarde Novembre 1999.

[13] A. Ahmed Azi, **« Contribution au développement d'un outil d'aide au diagnostic de performances des MPPT dans la chaine de conversion photovoltaïque** », Mémoire magister, Université de M'sila, Algérie, 2014.

[14] http://www.generationrobots.com/fr/152-arduino. consulter le : mars 2015.

[15] Ait Dahmane Kahina, Ait Ziane Meziane« **Conception et Réalisationd'un Bras Manipulateur Commandé par API** » mémoire fin d'étude master, Université de Khemis miliana 2014/2015.

[16] BOUYAHIA YESSINE, « **Réalisation d'un prototype d'une machine CNC 3 axes**» mémoire fin d'étude master, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen 2018/2019

[17] Le datasheet de driver : « **A4988** ».

[18 Le site web : « **https://www.pololu.com/product/2128**».

[19] H. Chen, Design of a controlled environment agricultural plant inspection robot, Master of Science in Industrial Engineering, Graduate College of The University of Iowa, May 2012.

[20] François Hennebelle , Typologie et conception des machines à mesurer tridimensionnelles: un état de l'art , 17 International Congress of Metrology, 1 002 , EDP Sciences, 2015.

[21] Steve Krar, Arthur Gill, «**Computer numerical control programming basics**»

[22] Christian Tavernier « **Arduino Maitrise sa programmation et ses cartes d'interface (shield**) », paris 2011, DUNOD

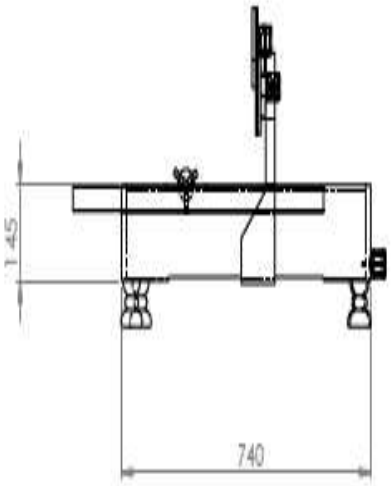
[23] http://webge.github.io/EasyDriverStepperMotor/

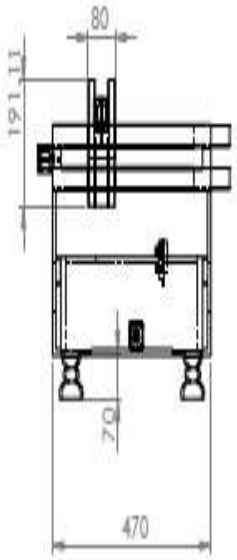
[24] GrblGru - Operating Instructions -Version 3.44 -January 29, 2020

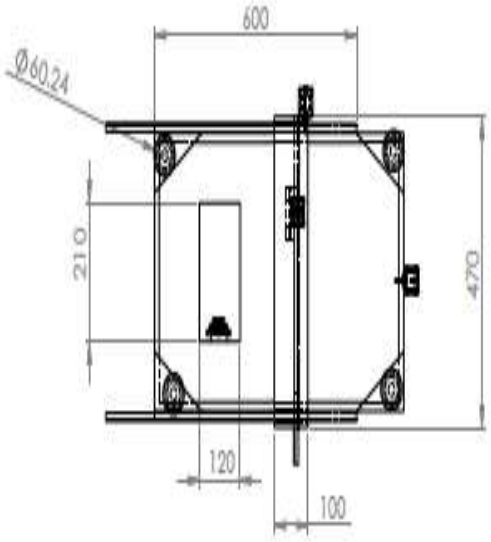
[25] Patrick BLAIN, technique de l'ingénieur (**CAO et méthodologie de conception**). Document B 2 810.

[26] https://fr.wikipedia.org/wiki/Fabrication_assist%C3%A9e_par_ordinateur

.

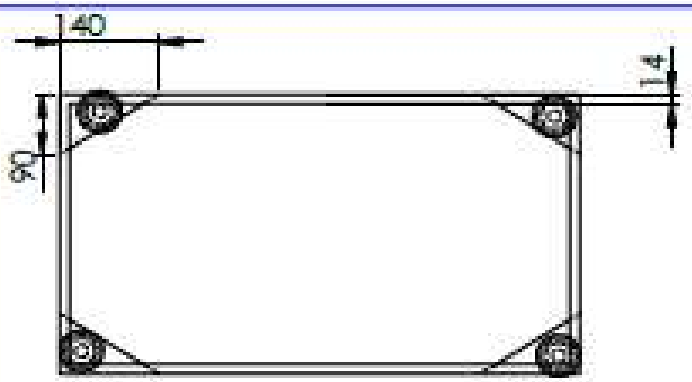




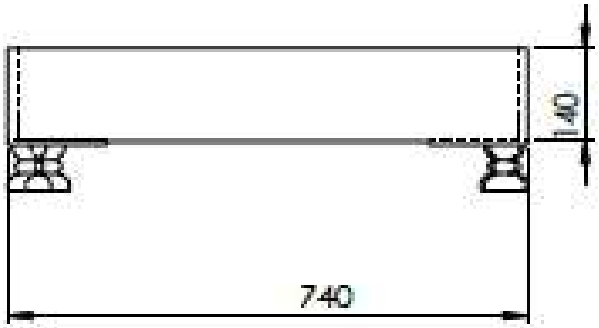


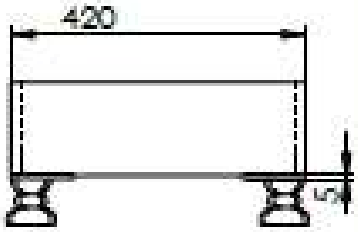


UNIVERSITE DE MEDEA		
PFE	MACHINE CNC	G.M
MASTER		ECHELLE:1/10
2019/2020	houfi et zirar	

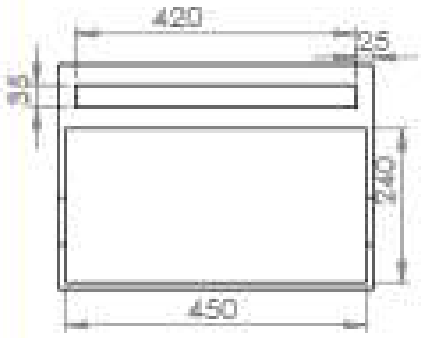


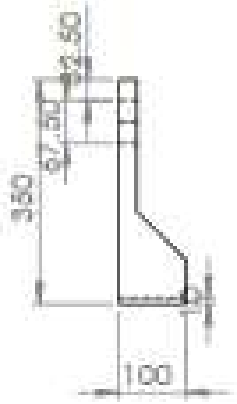


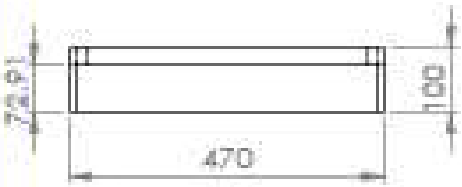


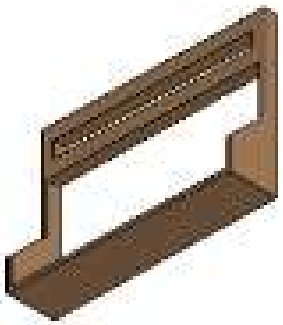


UNIVERSITE DE MEDEA		
PFE	MACHINE CNC	G.M
MASTER		ECHELLE:1/10
2019/2020	HOUTI ET ZIRAR	









UNIVERSITE DE MEDEA		
PFE	MACHINE CNC	G.M
MASTER		ECHELLE:1/10
2019/2020	HOUTI ET ZIRAR	