

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE Technologie  
DEPARTEMENT Electronique  
N° :



FILIÈRE : Electronique  
OPTION : Instrumentations

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par:

FERHATI Housseem et HADJI Mohammed

THÈME

# Conception et réalisation d'une machine à commande numérique CNC

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. ....	Université M <sup>ed</sup> Boudiaf –M'sila	Président
Dr. ....	Université M <sup>ed</sup> Boudiaf –M'sila	Rapporteur
Dr. ....	Université M <sup>ed</sup> Boudiaf –M'sila	Co-Rapporteur
Dr.....	Université M <sup>ed</sup> Boudiaf –M'sila	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

# Remerciement

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui Nous voulons témoigner toute ma gratitude.

Nous tenons tout d'abord adressé toutes nos reconnaissances aux les directrices de ce mémoire, le professeur Mohammed Wali Issam et le professeur Ben Nacer Hamza, pour leur patience, leur disponibilité et surtout leurs conseils avisés, qui ont contribué à alimenter nos réflexions.

Nous tenons également à remercier les professeurs de l'Université Mohamed Boudiaf, qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires.

et particulièrement M. Mohamed et M. Belkacem, qui nous ont aidés pour une grande partie du mémoire. Nous adressons par la même occasion nos remerciements les membres du jury trouvent ici l'expression de notre reconnaissance pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous voulons à exprimer notre gratitude aux amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de notre travail.

Merci !



## Dédicace



*A mes très chers pa- rents, source de vie,  
d'amour et d'affection A mes chers frères et leurs enfants,  
source de joie et de bonheur A toute ma famille, source d'espoir et  
de motivation A tous mes amis, tout particulièrement H. Abdelkrim,  
B.nadir, H. Abdelkrim, A mes très chers parents qui m'ont ai-  
dé Et encouragé durant toutes mes études. A vous cher  
lecteur A tous mes amis, et collègues de la pro-  
motion 2018 avec lesquels j'ai partagés  
mes meilleurs moments.*



# Table des matières

<b>Remerciement</b>	<b>ii</b>
<b>Table des figures</b>	<b>v</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>viii</b>
<b>Acronyms</b>	<b>viii</b>
<b>1 Généralités sur les machines CNC</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction	5
1.2 Historique	5
1.3 Définition de la commande numérique	7
1.4 Définition d'un machine numérique CNC	7
1.5 Principe de fonctionnement d'une machine CNC	7
1.6 Caractéristiques des CNC	8
1.7 Avantages et les inconvénients	9
1.8 Domaine d'application de CNC	10
1.9 les différents types de machines CNC	10
1.9.1 Fraiseuses :	10
1.9.2 Tours :	10
1.9.3 Machine CNC à 5 axes :	11
1.9.4 Machine CNC de gravure en bois :	11
1.9.5 Machine CNC Coupe-plasma :	12
1.9.6 Machine CNC Découpe laser :	13
1.9.7 Machine CNC Coupe-jet d'eau :	13
1.9.8 Machine CNC de routage de PCB :	14
1.10 Classification des MOCN	14
1.10.1 Classification des MOCN selon mode defonctionnement	14

1.10.2	Classification des MOCN selon le mode d'usinage	16
1.10.3	Classification des MOCN selon le nombre d'axe	18
1.11	Conclusion	18
<b>2</b>	<b>Conception d'une machine CNC</b>	<b>19</b>
2.1	Introduction	20
2.2	La structure d'une machine CNC	20
2.2.1	Le système mécanique	20
2.2.2	La partie électronique	29
2.2.3	Le système de programmation	38
2.3	Conclusion	50
<b>3</b>	<b>Simulation électrique sous Porteuse Professionnel</b>	<b>51</b>
3.1	Introduction	52
3.2	Simulation électrique sous Porteuse Professionnel	52
3.2.1	Présentation générale de Proteus	52
3.2.2	ISIS	52
3.2.3	ARES	53
3.2.4	Le logiciel Arduino IDE	54
3.3	Langue de contrôleurs numériques « G-code »	56
3.3.1	Description	56
3.3.2	Format d'une ligne	57
3.4	Programme Grbl	57
3.5	Logiciel de pilotage de la machine CNC	57
3.5.1	Modes de commande	58
3.6	VSPE (VIRTUAL SERIAL PORTS EMULATOR)	60
3.7	Inkscape	60
3.8	SIMULATION AVEC LE COUPLE L297-L298	61
3.9	Les drivers moteurs	62
3.9.1	Circuit L298	62
3.9.2	Circuit L297	63
3.10	Compim	63
3.11	Chargement de fichier HEX	64
3.12	Création d'un fichier G-code	65

---

3.13 Configurer la broche série virtuelle . . . . .	69
3.14 Lancement de la Simulation . . . . .	70
3.15 Conclusion . . . . .	71
3.16 Conclusion général . . . . .	73
<b>4 Annexe</b>	<b>74</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>81</b>

# Table des figures

1.1	Décomposition d'une machine numérique.[2]	8
1.2	Machine à trois axes.	8
1.3	Machine CNC à 5 axes.	11
1.4	Machine CNC de gravure en bois.	12
1.5	Machine CNC de découpe de plasma.	12
1.6	Machine CNC de découpe laser.	13
1.7	Machine CNC Coupe-jet d'eau.	13
1.8	Machine CNC de routage de PCB.	14
1.9	Fonctionnement en boucle ouvert.[4]	15
1.10	Commande adaptative.[4]	15
1.11	Commande en boucle fermée.[4]	16
1.12	Commande Numérique point à point.	17
1.13	Commande Par axiale.	17
1.14	Commande numérique de contournage.	18
2.1	Structure mécanique de notre machine CNC	21
2.2	Système Vis-Ecrou.[12]	22
2.3	Systèmes à bielle et manivelle	23
2.4	Courroie	24
2.5	Système à pignon et crémaillère	25
2.6	Rail de guidage linéaire V-Slot	25
2.7	Rail de guidage linéaire HIWIN	26
2.8	La Borche CNC	28
2.9	Support de vis à billes BK	28
2.10	Plaques et Supports	29
2.11	Alimentation	30

2.12 Schéma bloc de principe du contrôle d'un moteur pas à-pas . . . . .	31
2.13 Moteur a reluctance variable . . . . .	32
2.14 Moteur unipolaire . . . . .	33
2.15 Moteur Bipolaire . . . . .	34
2.16 Schéma d'un moteur pas à pas hybride. . . . .	35
2.17 Driver HSS60 . . . . .	36
2.18 Driver moteur pas à pas Microstep M660A . . . . .	37
2.19 ES-D508 Easy SERVO DRIVER . . . . .	37
2.20 Interface de Mach3 . . . . .	38
2.21 MDI screen . . . . .	41
2.22 Interface de Réglage d'axes de moteur X, Y, Z . . . . .	42
2.23 Parcours d'outil Interface d'affichage . . . . .	43
2.24 Diagnostic Mach3 . . . . .	44
2.25 Interface Accueil de la machine . . . . .	45
2.26 Contrôle des axes X,Y,Z . . . . .	45
2.27 Interface de Ncstudio . . . . .	46
2.28 Title bar . . . . .	46
2.29 Menu bar . . . . .	47
2.30 Tool bar . . . . .	47
2.31 NC Information Bar . . . . .	48
2.32 Status Bar . . . . .	48
2.33 NC State Window . . . . .	48
2.34 Auto Operation windows . . . . .	49
2.35 Menu contextuel de la fenêtre de fonctionnement automatique . . . . .	49
2.36 Manual Operation Window . . . . .	50
3.1 Logiciel ISIS . . . . .	53
3.2 Logiciel ARES . . . . .	53
3.3 logiciel Arduino . . . . .	54
3.4 Interface du logiciel Arduino . . . . .	55
3.5 Les boutons de logiciel Arduino . . . . .	55
3.6 interface de Universal g-code Sender . . . . .	58
3.7 l'interface de "G code sender" on mode manuel . . . . .	58
3.8 l'interface de "G-code Sender" choisir le fichier Gcode . . . . .	59

3.9 l'interface de "g code sender" on mode automatique . . . . .	59
3.10 interface de VSPE . . . . .	60
3.11 Interface de "Inkscape" . . . . .	61
3.12 simulation du coupleur . . . . .	62
3.13 Connexion circuit L297 L298 . . . . .	63
3.14 Configuration Compim . . . . .	64
3.15 Chargement du programme dans l'Arduino . . . . .	65
3.16 Document properties . . . . .	66
3.17 placement d'image . . . . .	66
3.18 Trace bitmap . . . . .	67
3.19 Image bitmap . . . . .	67
3.20 Image bitmap . . . . .	68
3.21 Sauvgarde D'image . . . . .	68
3.22 la broche COM 1 . . . . .	69
3.23 Démarrage de la broche COM 1 . . . . .	69
3.24 lancement de la fabrication automatique . . . . .	70
3.25 lancement de la fabrication automatique . . . . .	70
3.26 Visualisation à l'expéditeur du code G . . . . .	71
4.1 Schéma simplifié de la carte Arduino UNO . . . . .	75
4.2 Motor dimensions (mm) . . . . .	76
4.3 Driver Dimension(mm) . . . . .	77
4.4 wiring Diagram . . . . .	77
4.5 L297 STEPPER MOTOR CONTROLLER . . . . .	78
4.6 Block Diagram(L297 /L297D) . . . . .	78
4.7 L298 STEPPER MOTOR CONTROLLE 'Schematic Diagram' . . . . .	79
4.8 Block Diagram . . . . .	79
4.9 BBK/BF Type Ball Screw and Supports(Palier) . . . . .	80

# Liste des tableaux

2.1	Comparaison des 3 types de moteurs	35
2.2	g-codes MACH3	41
2.3	M-codes MACH3	42
4.1	parametres	75
4.2	Microstep selection	76

## Acronyms

CN	Commande Numérique.
CNC	Computer Numerical Control.
MIT	Massachusetts Institute of Technology.
MOCN	Machine-outil à commande numérique
APT	Automatic Programed Tools.
DNC	Direct Numerical Control.
FAO	Fabrication Assistée par Ordinateur.
CIM	Computer Integrated Manufacturing.
PCB	Printed Circuit Board.
GM	Grendeur Mesurée.
MACH3	MACHINIST 3RD CLASS PETTY OFFICER.
ATX	Advanced Technology eXtended.
MRV	Machines à réluctance variable.
DSP	Digital Signal Processor.
CAO	conception assistée par ordinateur.
G-Code	Geometric Code.
M-Code	Machine Code.
ISO	International Organization for Standardisation.
ISIS	intégré pour les imageurs et spectromètres.
ARES	Aeroelastic Rotor Experimental System.
IDE	Integrated Development Environment.
VSPE	VIRTUAL SERIAL PORTS EMULATOR.

# INTRODUCTION GENERALE

Une CNC (computer Numerical control) ou MOCN (machine-outil à commande numérique) est tout d'abord une machine-outil. Elle permet selon ses caractéristiques d'effectuer diverses opérations (percer, scier, rectifier, découper, fraiser, plier, etc.) nécessitant une production rapide, précise, efficace et rentable, sur des matériaux divers. Aujourd'hui les machines à commande numérique par ordinateur(CNC) ont subi des progrès significatifs. Ces progrès sont essentiellement dus à la révolution technologique en informatique industrielle, ce qui a permis le développement de solutions numériques efficaces avec une possibilité d'implanter des algorithmes plus complexes. Ces commandes sont en majorité basées sur les microprocesseurs, les DSP (Digital Signal Processor) et les microcontrôleurs PIC. Bien que le coût reste une préoccupation importante dans notre pays. Pour remédier le problème du coût très élevé de la découpe de certains pièces pour la conception d'une machine il nous a été demandé de travailler sur la thématique suivant : conception et simulation d'une machine CNC. Notre travail est divisé en trois(03) principaux chapitres à savoir :

1. généralités sur les machines à commande numérique.
2. faire une étude mécanique et électrique de notre machine.
3. résultats et discussions donc nous ferons la simulation.



# le premier Chapitre

Généralités sur les machines CNC



## 1.1 Introduction

**D**urant ces dernières années, la commande des machines électriques a subi des progrès significatifs. Ces progrès sont essentiellement dus à la révolution technologique en informatique industriel, ce qui a permis le développement de solutions numériques efficaces avec une possibilité d'implanter des algorithmes plus complexes. Après une première génération de commandes numériques à logique câblée sont apparues les commandes numériques par ordinateur (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. Une CNC c'est une machine pilotée par des moteurs pas à pas. Ces derniers permettent de convertir directement un signal électrique numérique en positionnement angulaire de caractère incrémental, par exemple :

- ✓ Imprimant 3d.
- ✓ La machine de découpage.
- ✓ Mini traceur.

Ce premier chapitre présente le contexte d'étude à travers une description des machines CNC.

## 1.2 Historique

L'exploitation industrielle de la CN (Commande Numérique) est liée au développement de l'électronique. En 1947, à Traverse City dans l'État du Michigan, John Parsons fabrique pour le compte de l'US Air Force des pales d'hélicoptère par reproduction. Pour façonner ses gabarits, il utilise une méthode consistant à percer plusieurs centaines de trous faiblement espacés de manière à approcher le profil théorique. L'emplacement et la profondeur de chaque trou sont calculés avec précision par un ordinateur IBM à cartes perforées. La finition de la surface est obtenue par des opérations manuelles de polissage. Mais, lorsque l'US Air Force confie à ce même Parsons la réalisation de pièces de formes encore plus complexes pour ses futurs avions supersoniques, celui-ci réalise que sa méthode est trop approximative et que seul un usinage continu en 3 dimensions sera en mesure de donner satisfaction. Au printemps 1949, il confie alors au Massachusetts Institute of Technology (MIT) le soin de développer des asservissements

capables de piloter une machine qui recevra des instructions intermittentes à partir d'un lecteur de cartes. Cette machine, une fraiseuse prototype Cincinnati à broche verticale, conçue pour exécuter des déplacements simultanés suivant 3 axes, est officiellement présentée en septembre 1952 dans le Servomechanisms Laboratory du MIT. L'information mathématique étant la base du concept, on lui donne le nom de Numerical Control (NC). Il faut encore attendre quelques années de vastes fonds de l'US Air Force et l'appui des chercheurs du MIT pour rendre la première Machine-outil à commande numérique(MOCN) réellement opérationnelle. Les différentes étapes de développement de la CN sont les suivantes.

- A) 1954 : Bendix acquiert le brevet de Parsons et fabrique la première CN industrielle.
- B) 1955 : à Font du Lac (Wisconsin), le constructeur américain Giddins et Lewis commercialise la première MOCN.
- C) 1959 : apparition de la CN en Europe (foire de Hanovre). Le MIT annonce la création du langage de programmation APT (Automatic Programed Tools).
- D) 1960 : apparition du système DNC (Direct Numerical Control)
- E) 1964 : en France, la Télémécanique Électrique lance la CN NUM 100 conçue à base de relais Téléstatic.
- F) 1968 : la CN adopte les circuits intégrés ; elle devient plus compacte et plus puissante. Le premier centre d'usinage est mis en vente par Kearney et Trecker (USA).
- G) 1972 : les minicalculateurs remplacent les logiques câblées ; la CN devient CNC.
- H) 1976 : développement des CN à microprocesseurs.
- I) 1984 : apparition de fonctions graphiques évoluées et du mode de programmation conversationnel, début de l'ère de la fabrication assistée par ordinateur (FAO).
- J) 1986 : les CN s'intègrent dans les réseaux de communication, début de l'ère de la fabrication flexible (CIM : Computer Integrated Manufacturing).
- K) 1990 : développement des CN à microprocesseurs 32 bits.[1]

## 1.3 Définition de la commande numérique

La commande numérique est un mode de commande dans lequel les valeurs désirées d'une variable commandée sont définies selon un code numérique (la machine-outil constitue le principal domaine d'application de la commande numérique). C'est une somme d'automatismes dans laquelle les ordres de mouvement ou de déplacement, la vitesse de ces déplacements et leur précision, sont donnés à partir d'informations numérique. Ces informations sont codées sur des supports tel que : Rubans perforés, cassettes ou disquettes magnétiques ou simplement sauvegardés en « mémoires » dans le cas des dernières générations de commandes numérique à calculateur intégré (CNC).

## 1.4 Définition d'un machine numérique CNC

La machine-outil à commande numérique CNC (Computer Numerical Control en anglais) est une machine-outil dotée d'une commande numérique assurée par un ordinateur. C'est une machine totalement ou partiellement automatique à laquelle les ordres sont communiqués grâce à des codes qui sont porté sur un support matériel. Le premier rôle d'une machine CNC est de générer des mouvements, elle recevra des valeurs de positionnement de vitesse et d'accélération et générera suite à un traitement des consignes numériques en sortie[2].

## 1.5 Principe de fonctionnement d'une machine CNC

Les machines à commande numérique sont devenues des moyens de production incontournables dans l'industrie.

Elles permettent des cadences de production importantes et facilitent l'obtention de surfaces complexes (formes arrondies ...).[3]

Ce type de machine se compose ainsi de deux parties complémentaires (voire la figure 1.1) :

1. La partie opérative.
2. La partie commande.

La partie opérative comporte les axes de déplacement et la tête. La partie commande permet de piloter la partie opérative. Elle est composée d'un calculateur (CNC) et d'éléments électroniques capables de piloter les moteurs : les cartes d'axes. Des ordres vont être générés vers la commande par le biais d'un code machine ou par action manuelle de l'opérateur. La

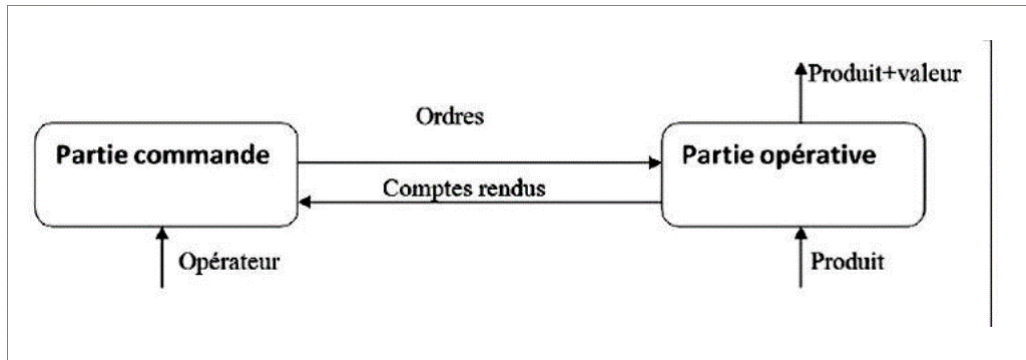


FIG. 1.1: Décomposition d'une machine numérique.[2]

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. Il existe 3 principaux types de référentiels à prendre en compte (figure I.2) :

- ✓ L'origine machine ( $O_m$ ) qui correspond à la position de référence de la machine où  $X_m=0$ ,  $Y_m=0$  et  $Z_m=0$  (s'il y en a).
- ✓ L'origine pièce ( $O_p$ ) qui peut être décalée par rapport à l'origine machine.
- ✓ L'origine Programme ( $O_P$ ) qui est généralement confondu avec  $O_p$  pour faciliter L'usinage.

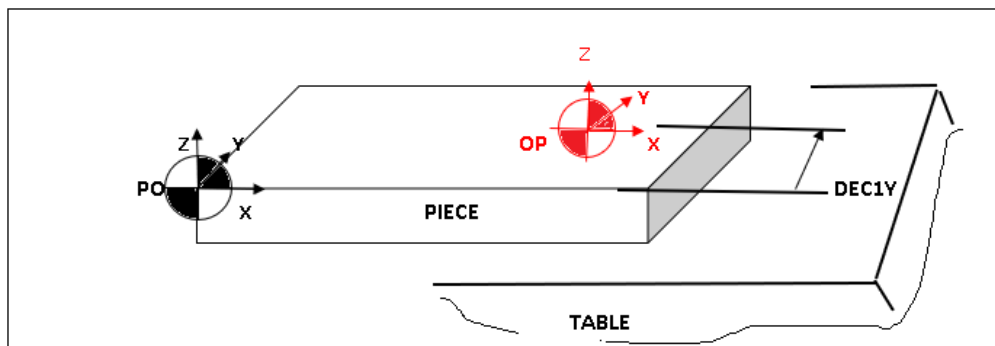


FIG. 1.2: Machine à trois axes.

## 1.6 Caractéristiques des CNC

I) Fonctions :

Les fonctions remplies sont les mêmes que pour une machine conventionnelle :

- ◇ Positionner et maintenir la pièce.
- ◇ Positionner et maintenir l'outil.
- ◇ Assurer un mouvement relatif entre la pièce et l'outil.

II) Qualité mécanique générale :

La qualité mécanique générale de ces machines est de beaucoup supérieure aux MO Conventionnelles :

- ◇ Motorisation plus puissante.
- ◇ Chaîne cinématique plus simple et plus robuste à variation continue capable d'encaisser des accélérations et décélérations importantes.
- ◇ Commande des chariots par vis à bille avec système automatique de rattrapage du jeu.
- ◇ Glissière sans frottement, utilisation de glissières à galets, à billes, hydrostatiques, Aérostatiques, les garnitures sont rapportées.
- ◇ Bâtis largement dimensionnés, très rigides avec un excellent amortissement.

## 1.7 Avantages et les inconvénients

I) Les Avantages :

- ◇ Réduction du temps improductif.
- ◇ Accroissement du degré de précision et de répétabilité.
- ◇ Réduction des taux de rebuts.
- ◇ Réduction de la nécessité de contrôle.
- ◇ Possibilité de traiter des géométries complexes.
- ◇ Facilité d'adapter les changements techniques.

II) Les Inconvénients :

- ◇ Coûts d'investissement élevés.
- ◇ Plus d'effort doit être fourni pour la maintenance.
- ◇ Nécessité de programmation des équipements de CNC.
- ◇ Pour bénéficier de la majorité des avantages précédents, il faut que tout le parc machine de l'entreprise soit des CNC.

## 1.8 Domaine d'application de CNC

Les MOCN sont employées dans de nombreux secteurs industriels (Métallurgie, Bois, Textile). Elle est aussi associée à de nouvelles technologies de façonnage (Laser, Electroérosion, Jet d'eau). Les principaux procédés de fabrication sont concernés :

- Perçage, taraudage.
- Tournage, alésage.
- Fraisage.
- Rectification.
- Oxycoupage, soudure en continu, par points.
- Poinçonnage, cisailage.

## 1.9 les différents types de machines CNC

On distingue plusieurs types de machines :

### 1.9.1 Fraiseuses :

Comme nous le savons, fraisage est un processus d'enlèvement de métal en alimentant la pièce passe à travers lecoupe multipoint rotatif. Les usines CNC utilisent des commandes informatiques pour couper différents matériaux. Ils sont capables de traduire des programmes consistant en nombre spécifique et des lettres pour déplacer la broche à divers endroits et profondeurs. Ces types de machines sont également utilisés pour la production de masse comme le cabestan et la tourelle. Les composants fabriqués par cette machine sont très précis dans les tolérances dimensionnelles.[5]

### 1.9.2 Tours :

Les tours sont des machines qui coupent des morceaux de métal en rotation. Les tours CNC sont capables de faire des coupes rapides et précises en utilisant outils et perceuses indexables avec des programmes compliqués pour des pièces qui ne peuvent normalement pas être coupées sur des tours manuels. Ces machines comprennent souvent 12 porte-outils et des pompes de liquide de refroidissement pour réduire l'usure des outils. Tours CNC ont spécifications de contrôle

pour les usines CNC et peut souvent lire le code G ainsi que le propriétaire du fabricant langage de programmation.[6]

### 1.9.3 Machine CNC à 5 axes :

C'est une machine dans laquelle il y a un total de 5 axes. Initialement, il s'agissait de 3 axes (X, Y et Z) le fonctionnement de coupe de n'importe quel instrument a été fait dans la 3 direction mais 2 axes supplémentaires ajoutés (A, B) ce qui signifie qu'il y a au total 5 axes, les travaux sont coupés sont effectués dans la direction 5. La machine à 5 Axis est utilisée pour la réalisation de sculptures. Elle offre une finition de surface extrême. Elle est très précise dans les tolérances dimensionnelles. . Elle est capable de couper à travers les formes les plus difficiles et les surfaces gauches. et peut également couper à grands vitesses ce qui le rend capable de travailler sur l'industrie des pièces en série.[7]



FIG. 1.3: Machine CNC à 5 axes.

### 1.9.4 Machine CNC de gravure en bois :

Il fonctionne de la même manière que d'autres machines CNC comme le tour ou le fraisage. La principale différence est, il fait tous les travaux de menuisier manuellement comme les sculptures de porte, intérieur et décorations extérieures, panneaux de bois, panneaux, cadres en bois, moulures, instruments de musique, meubles, et ainsi de suite. Comme le croquis, vous pouvez concevoir si possible que vous pouvez faire dans le système puis exécuter sur cette machine. Il offre un meilleur fini de surface. Ce sera une très bonne machine en termes de conception de la porte et plus encore.

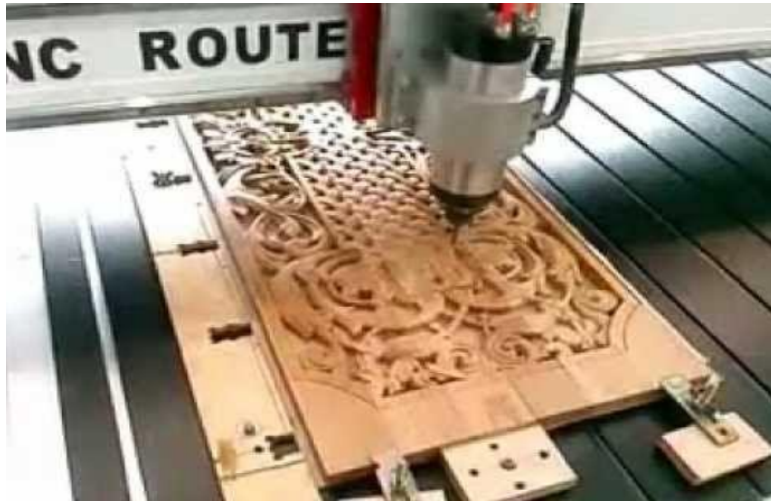


FIG. 1.4: Machine CNC de gravure en bois.

### 1.9.5 Machine CNC Coupe-plasma :

La machine de découpe de plasma est définie comme étant un processus qui coupe à travers des matériaux conducteurs électriquement à l'aide d'un jet accéléré de plasma chaud. Il est couramment utilisé pour couper l'acier et d'autres métaux, mais peut être utilisé sur une variété de matériaux. Dans ce processus, le gaz (tel que l'air comprimé) est soufflé à grande vitesse hors d'une buse ; en même temps un arc électrique se forme à travers ce gaz de la buse à la surface étant coupé, tournant une partie de ce gaz au plasma. Le plasma est suffisamment chaud pour faire fondre le matériau coupé et se déplace suffisamment vite pour évacuer le métal fondu de la coupe.[8]

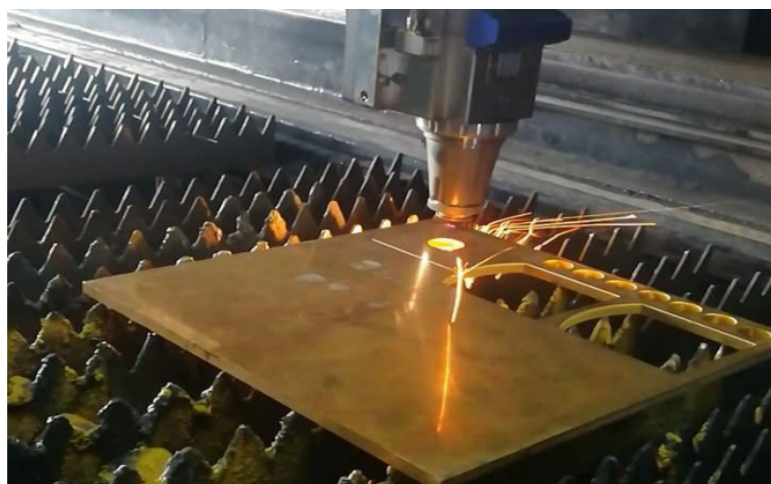


FIG. 1.5: Machine CNC de découpe de plasma.

### 1.9.6 Machine CNC Découpe laser :

Comme le nom lui-même indique « Découpe au laser », cela signifie que l'opération de découpe est effectuée au laser et que le code d'opération est introduit automatiquement dans les parcours de la machine, on l'appelle machine de découpe au laser CNC. Cette machine est utilisée pour la découpe de tôles. Il offre une meilleure surface même faire la conception compliquée peut être fait dans ce que vous avez juste à alimenter le programme en fonction de lui. Le coût de la machine est très élevé.[8]



FIG. 1.6: Machine CNC de découpe laser.

### 1.9.7 Machine CNC Coupe-jet d'eau :

Un coupe-jet d'eau, aussi connu sous le nom de jet d'eau, est un outil capable de couper le métal ou d'autres matériaux (comme le granit) en utilisant un jet d'eau à haute vitesse et pression, ou un mélange d'eau et d'une substance abrasive, comme le sable. Il est souvent utilisé pendant la fabrication ou la fabrication de pièces pour les machines et autres dispositifs. Jet d'eau est le préféré méthode lorsque les matériaux coupés sont sensibles aux températures élevées générées par d'autres méthodes. Il a trouvé applications dans un grand nombre d'industries allant de l'exploitation minière à l'aérospatiale où il est utilisé pour des opérations telles que la coupe, la mise en forme, la sculpture et l'alésage.[9]



FIG. 1.7: Machine CNC Coupe-jet d'eau.

### 1.9.8 Machine CNC de routage de PCB :

La machine CNC pour effectuer le routage d'isolement, perçage et fraisage pour PCB selon la conception indiquée. Il est remarqué que le système CNC associé à Proteus rend le processus de conception de PCB automatisé et plus facile en réduire le processus d'impression ainsi que la gravure. Cette étude révèle que le système proposé peut éliminer les erreurs humains pour obtenir une meilleure précision et une productivité plus élevée par rapport aux méthodes conventionnelles de conception decircuits imprimés.[10]

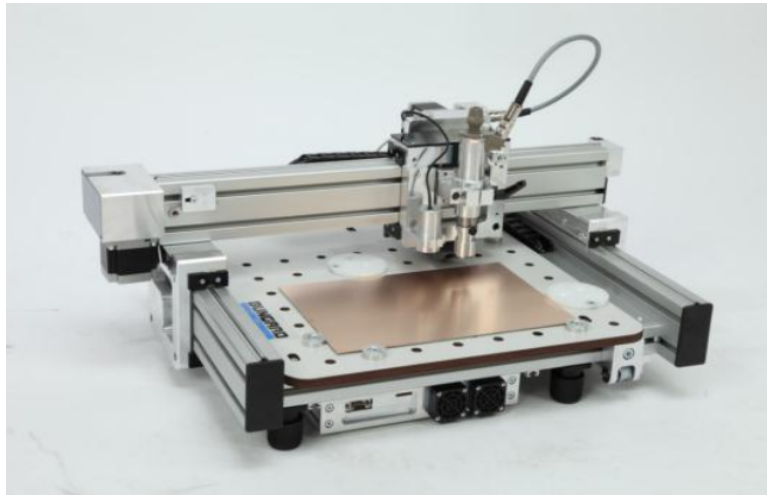


FIG. 1.8: Machine CNC de routage de PCB.

## 1.10 Classification des MOCN

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) sont classées suivant le :

- Mode de fonctionnement de la machine.
- Nombre d'axes de la machine.
- Mode d'usinage.

### 1.10.1 Classification des MOCN selon mode defonctionnement

I) Fonctionnement en boucle ouvert :

En boucle ouverte, comme l'illustre la (Figure I.9), le système assure le déplacement du chariot mais ne le contrôle pas.

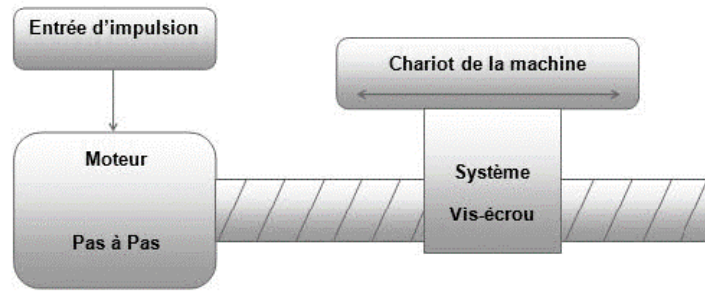


FIG. 1.9: Fonctionnement en boucle ouvert.[4]

## II) Fonctionnement avec commande adaptative :

La commande adaptative réalise d'une façon continue et automatique l'adaptation des Conditions de coupe. Des capteurs relèvent les valeurs de couple de la broche, l'amplitude de vibration de la broche, la température au point de coupe. Ces informations sont transmises à une Unité spéciale qui les envoie vers le directeur de commande numérique qui agit selon l'analyse Des informations sur les conditions de coupe pour permettre une meilleure qualité de travail, une meilleure productivité et une plus grande sécurité.

La (Figure I.10) illustre le fonctionnement de la commande adaptative.

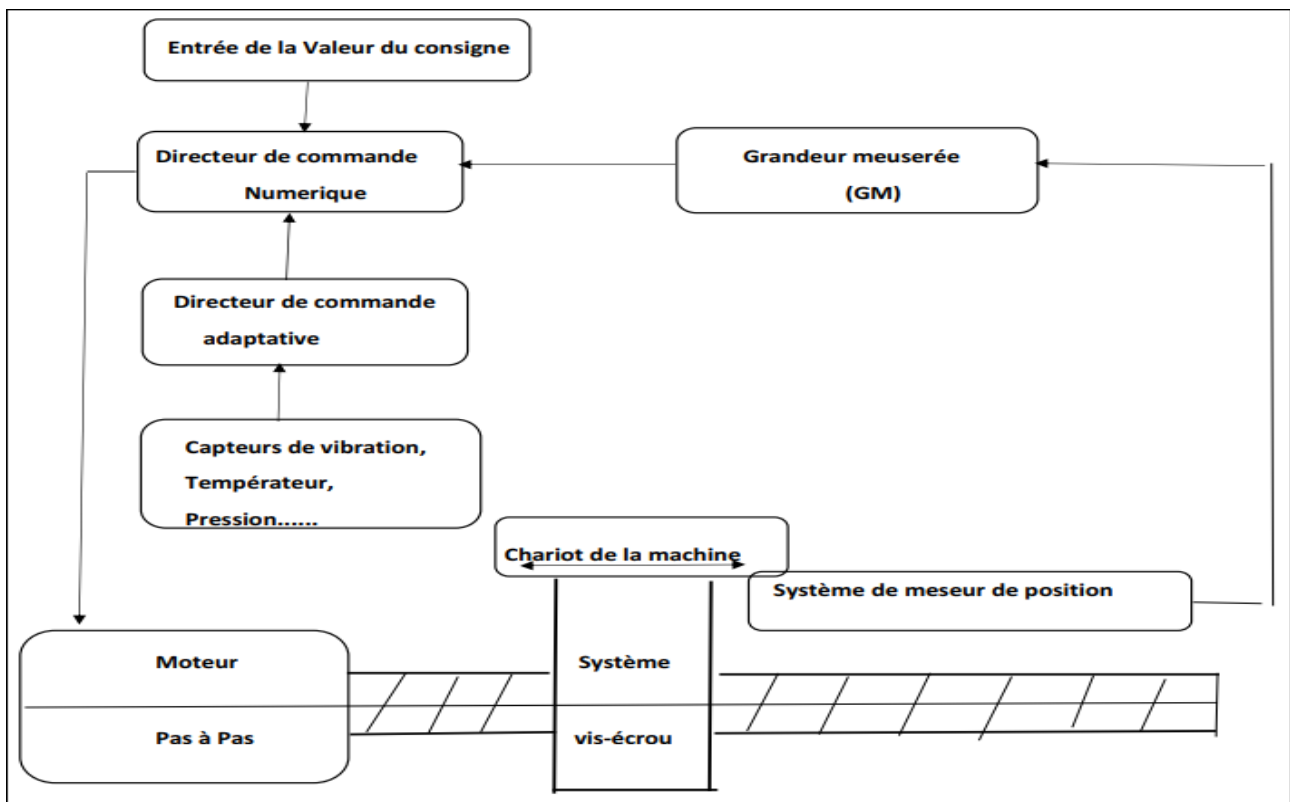


FIG. 1.10: Commande adaptative.[4]

## III) Fonctionnement en boucle fermé :

En boucle fermée le système contrôle le déplacement ou la position jusqu'à égalité des Grandeurs entrée (E) dans le programme et celui mesuré (GM). Comme illustre-la (Figure I.11).

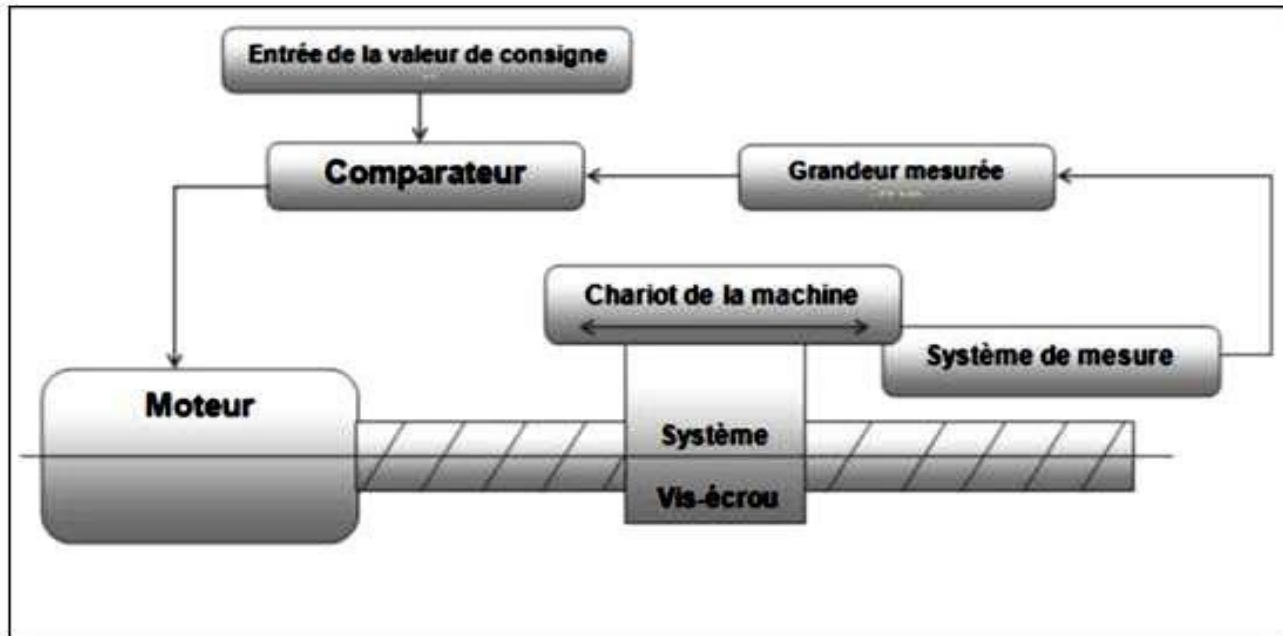


FIG. 1.11: Commande en boucle fermée.[4]

### 1.10.2 Classification des MOCN selon le mode d'usinage

Selon le mode d'usinage on peut classer les MOCN en trois catégories :

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

#### 1.10.2.1 Commande numérique point à point

C'est la mise position de l'outil ou de la pièce Par déplacements non synchronisés. Le Mouvement de coupe (usinage) n'est possible que lorsque le mouvement de positionnement. Exemples d'opération d'usinage : perçage, alésage, lamage taraudage, petit fraisage.

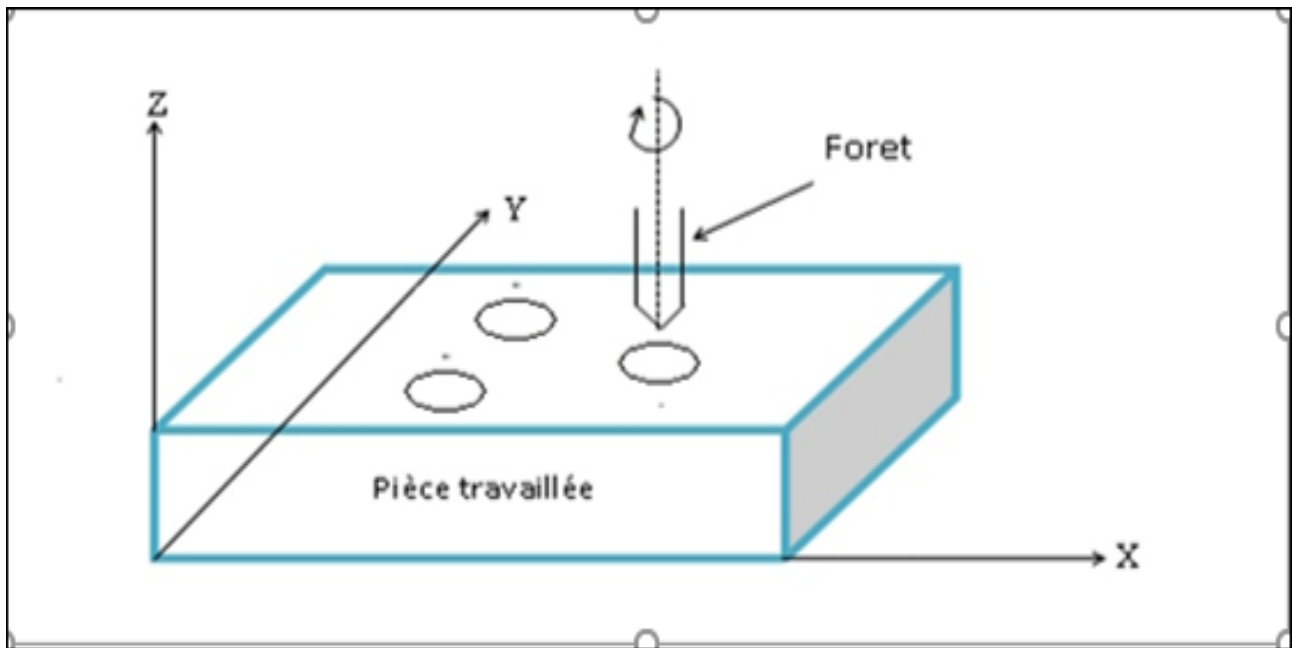


FIG. 1.12: Commande Numérique point à point.

### 1.10.2.2 Commande numérique par axiale

Ce sont des déplacements parallèles aux axes avec les vitesses d'avance programmée. Le mouvement de coupe et de positionnement sont synchronisés de façon à avoir un usinage Selon des trajectoires parallèles aux axes de déplacement. Exemples d'opération d'usinage : tournage, fraisage, alésage.

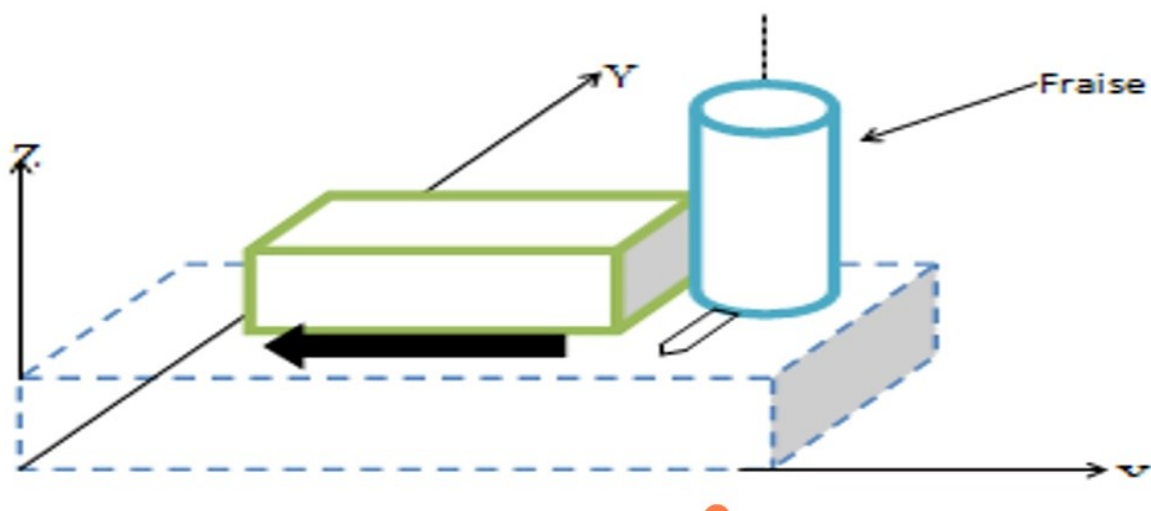


FIG. 1.13: Commande Par axiale.

### 1.10.2.3 Commande numérique de contournage

Ce sont des déplacements qui synchronise des divers axes avec la vitesse d'avancement programmée. Les trajectoires sont décomposées en éléments de droites ou de cercles dans un ou plusieurs plans.

- Exemples d'opération d'usinage : toute opération possible sur un centre de tournage ou centre d'usinage, Fraiseuse...

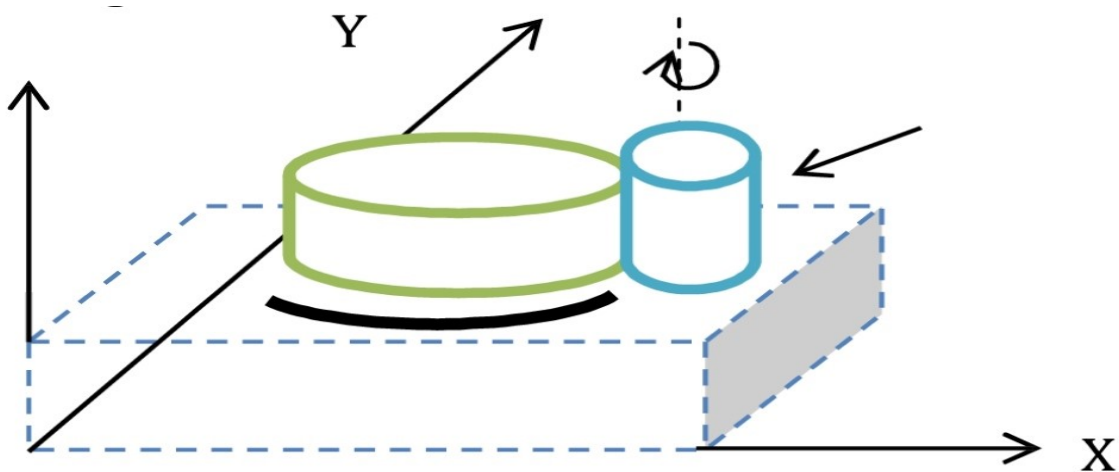


FIG. 1.14: Commande numérique de contournage.

### 1.10.3 Classification des MOCN selon le nombre d'axe

Les possibilités de travail des MOCN s'expriment en nombre d'axes de travail. Un axe définit toute direction principale suivant laquelle le mouvement relatif de l'outil et de la pièce a lieu lorsqu'un seul des moteurs de déplacement fonctionne avec contrôle numérique continu. Un demi-axe définit la direction dans laquelle l'avance n'est pas contrôlable numériquement mais contrôlé par pistes, cames ou plateaux diviseurs.

## 1.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié en général la machine à commande numérique, qui a remplacé davantage d'équipements manuels et permet d'effectuer des opérations Préprogrammées. Les métiers de la fabrication sont liés aux machines utilisées, par exemple : lasers, tornos et circuit imprimé .



# le deuxième Chapitre

Conception d'une machine CNC



## 2.1 Introduction

Le développement majeur dans la technologie informatique nous permis la fabrication d'une machine CNC à faible coût et sa grâce a la disponibilité des matérielles sources, tels que les cartes de puissance (MACH3). Donc le temps de prototypage et de développement sont considérablement réduits. Du point de vue l'utilisant d'un système de commande basé sur carte MACH facilite le développement d'un prototype CNC à 3 axes.

## 2.2 La structure d'une machine CNC

Ce système peut être divisé en trois parties. Le système mécanique qui reçoit des signaux de commande nécessaires du système électronique qui aboutit finalement à actionnement souhaité des moteurs. Le système électronique obtient une commande ou un ensemble de commandes du système logiciel et génère des commandes pour le système mécanique.

### 2.2.1 Le système mécanique

Le système mécanique est assemblé de telle manière que le mouvement des 3 axes soit réalisé en utilisant des rails linéaires assemblés avec des roulements linéaires, les moteurs sont montés chacun à l'axe qui est source de mouvement agi en fonction du signal de commande généré à partir du circuit électronique. Chaque moteur est relié à une vis sans fin de chaque axe qui est chargé de transformer le mouvement du moteur de rotation en mouvement linéaire. Le mouvement contrôlé de chaque axe est obtenu directement par la commande de la rotation du moteur. La vitesse du mouvement de chaque axe peut également être contrôlée par le contrôle direct de la vitesse du moteur, en donnant des signaux de commande nécessaires. Ainsi, la trajectoire de l'outil fixée à l'organe terminal est contrôlée dans chaque axe pour une action sur la pièce à usiner.

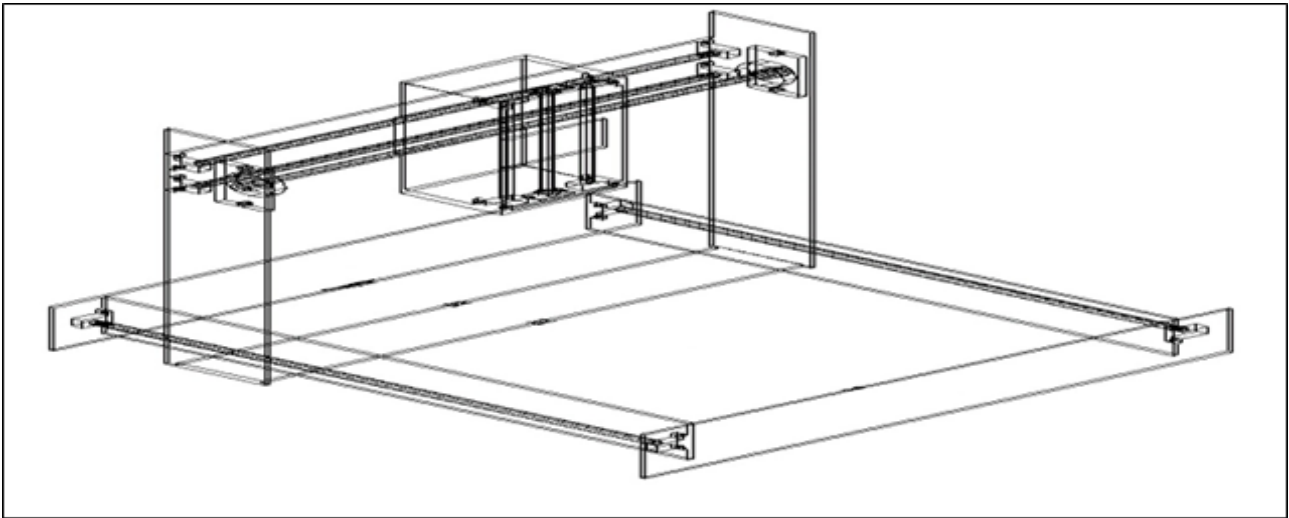


FIG. 2.1: Structure mécanique de notre machine CNC

Le système mécanique se compose de :

#### 2.2.1.1 System de guidage

Définition :

Le guidage linéaire est un dispositif qui permet de déplacer de façon longitudinale des objets ou des charges. Les guidages linéaires sont des éléments qui assurent les mouvements de translation. Un bon système de guidage linéaire doit être silencieux, précis et maintenir une régularité de mouvement. Le système de guidage le plus utilisé, dans le cas des machines-outils et en robotique, est celui à galet sur rail linéaire lequel est bien adapté aux systèmes robotisés. Ils se distinguent tout particulièrement par un fonctionnement silencieux, des vitesses de déplacement élevées et des courses importantes de leur système modulaire.

#### 2.2.1.2 Les Systèmes de transformation du mouvement de rotation en un mouvement de translation

##### 1. Le système à vis et écrou :

Le système le plus courant pour la transformation du mouvement de rotation en un mouvement de translation est le système vis-écrou (figure 2.2). Ce système correspond à la solution technologique associée à la réalisation d'une liaison hélicoïdale entre deux solides.



FIG. 2.2: Système Vis-Ecrou.[12]

- Principe de fonctionnement :

La liaison entre la Vis et l'Ecrou est réalisée par l'intermédiaire de billes (éléments roulants) : Liaison par contact INDIRECT, Les billes, interposées entre les filets de la Vis et de l'Ecrou, suppriment le frottement et Pour assurer une circulation continue, les billes sont ramenées à leur point d'origine par un ca-nal de transfer à l'intérieur de l'écrou.[12]

- Les avantages

- (a) Rendement élevé, 98% contre 50% pour un filet trapézoïdal Classique.
- (b) Vitesses de déplacement élevées.
- (c) Grande précision de guidage (position axiale, répétabilité).
- (d) Pas de jeux à rattraper.
- (e) Echauffement réduit.

- Les inconvénients :

- (a) Davantage réversible (la réversibilité à lieu plus tôt).
- (b) Prix élevé.
- (c) Montage complexe.
- (d) Moins rigide : Guidage moins long et flexions plus grandes.

## 2. Le système à bielle et manivelle :

Transforme un mouvement de rotation en mouvement de translation alternatif (mouvement de va-et-vient rectiligne) et vice versa. Dans ce système, la bielle est la tige rigide liée par une liaison pivot à ses deux extrémités alors que la partie « manivelle » représente la pièce sur laquelle on peut appliquer un mouvement de rotation. Le contact entre la

bielle et la manivelle est essentiel afin que le mouvement puisse être transmis dans le système. Le mouvement est généralement initié par la rotation de la manivelle qui transmet un mouvement de translation alternatif à la bielle. Toutefois, la bielle peut aussi jouer le rôle d'organe moteur dans certains systèmes. Il s'agit donc d'un système réversible puisque l'organe moteur peut être à la fois la bielle et la manivelle. Il est à noter que la bielle, parfois organe récepteur, peut aussi être un organe intermédiaire qui transmettra le mouvement de translation à une autre pièce.[13]

- Avantage :
  - (a) Ce mécanisme peut fonctionner à grande vitesse.
- Inconvénient :
  - (a) Il y a beaucoup de frottement dû aux nombreuses articulations de ce système. Il faut alors beaucoup de lubrification.

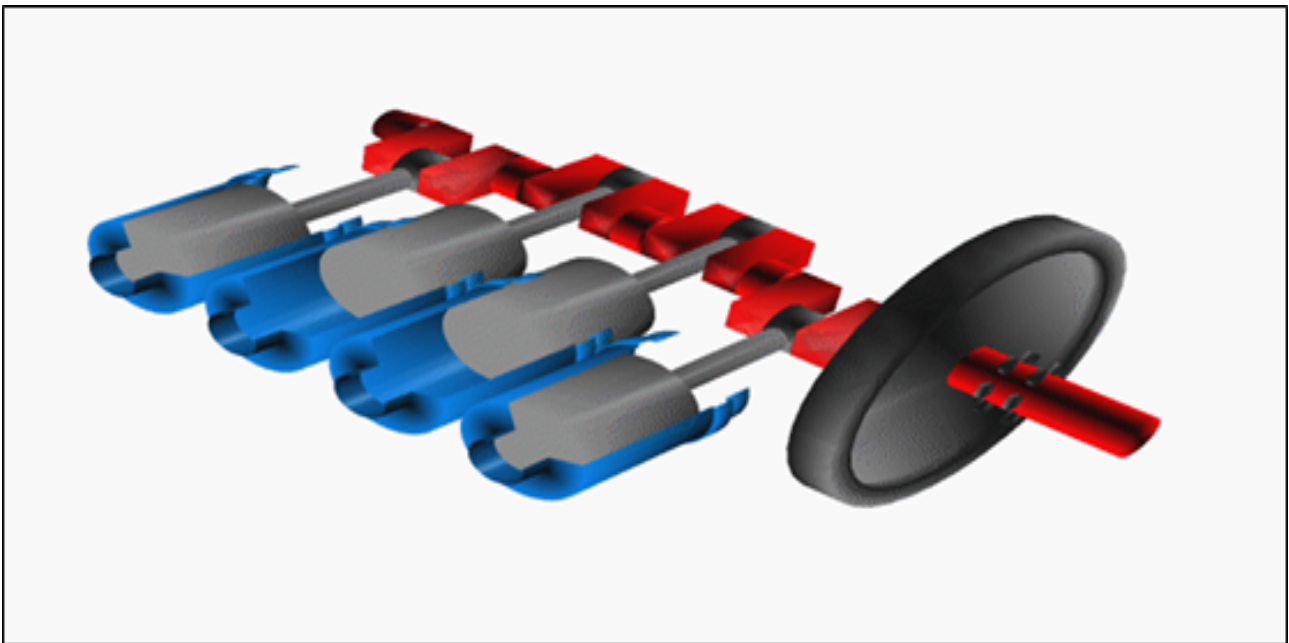


FIG. 2.3: Systèmes à bielle et manivelle

### 3. Courroie :

Les courroies et les poulies permettent la transmission d'un mouvement de rotation d'un arbre menant à un arbre mené relativement éloignés l'un de l'autre. Le glissement qui résulterait du fonctionnement d'une transmission par friction exclut les courroies plates.



FIG. 2.4: Courroie

#### 4. Système à pignon et crémaillère :

Ce système comprend une roue dentée qu'on appelle « pignon » et une tige dentée qu'on appelle « crémaillère ». Lorsque le pignon tourne, ses dents s'engrènent dans les dents de la crémaillère et entraînent cette dernière dans un mouvement de translation. À l'inverse, si l'on fait bouger la crémaillère, les dents de la crémaillère s'engrèneront dans les dents du pignon qui subira alors un mouvement de rotation. Il s'agit donc d'un système réversible.[13]

- Avantages
  - (a) Il n'y a aucun glissement lors de la transformation de ce mouvement.
  - (b) La force de ce système est relativement grande.
- Inconvénients
  - (a) Les engrenages qui sont utilisés peuvent nécessiter une lubrification importante.
  - (b) Ce mécanisme nécessite un ajustement précis à cause des dents entre la roue et la crémaillère.
  - (c) Il y a beaucoup d'usure.
  - (d) Ce n'est pas un mouvement cyclique, c'est un mouvement fini (on doit s'arrêter lorsqu'on est rendu au bout de la crémaillère).



FIG. 2.5: Système à pignon et crémaillère

### 2.2.1.3 Rail de guidage linéaire V-Slot

C'est un profil de rail linéaire de haute qualité en aluminium avec une rainure en V. extrêmement lisse sur les 4 côtés. Il est précis, facile à travailler avec et permet un contrôle illimité de la conception par sa nature modulaire. Elle permet de guider le mouvement de translation des roulements selon les trois axes de la machine. L'axe Y est constitué de deux rails parallèles tandis que l'axe X et Z contiennent un seul rail chaque un.[14] Nous avons utilisé ce type pour construire la base de notre CNC.



FIG. 2.6: Rail de guidage linéaire V-Slot

#### 2.2.1.4 Rail de guidage linéaire

Les guidages linéaires de la série HIWIN HG sont conçus avec une capacité de charge et une rigidité supérieure à celles d'autres produits similaires avec une rainure en arc de cercle et une optimisation de la structure. Il présente des capacités de charge égales dans les directions radiale, radiale inverse et latérale, et s'aligne automatiquement pour absorber les erreurs d'installation. Ainsi, les guidages linéaires de la série HG peuvent atteindre une longue durée de vie avec une vitesse élevée, une grande précision et un mouvement linéaire fluide.[15]

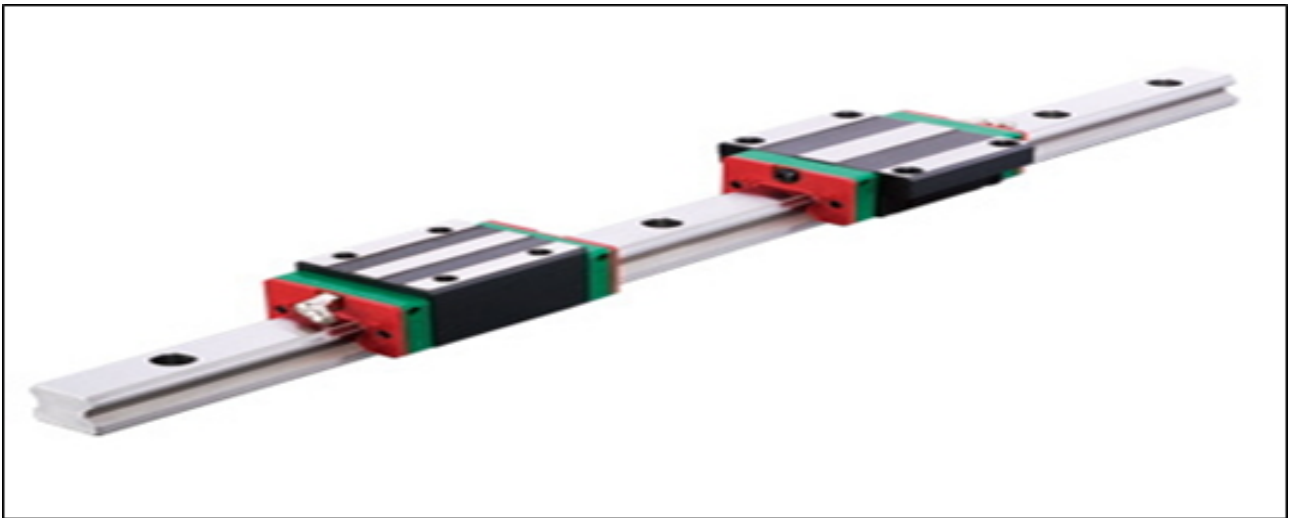


FIG. 2.7: Rail de guidage linéaire HIWIN

#### 2.2.1.5 La Broche

La broche CNC fait souvent référence à l'arbre au centre de l'axe de rotation des machines outils, parfois la broche est utilisée pour désigner l'ensemble de l'unité rotative, y compris non seulement l'arbre lui-même, mais ses roulements et tout ce qui y est attaché. Les broches tournent sur l'axe qui reçoit une entrée sur le mouvement du contrôleur CNC. La broche est une partie très importante d'un usinage CNC centre. La forme de la broche détermine la vitesse et la force de coupe. Une machine-outil peut avoir plusieurs broches, la plus grande est appelée broche principale. Sans autre précision, la broche implique généralement la broche principale. Une diversité de configurations et d'options de broches sont disponibles pour répondre aux besoins des différentes industries. Des exemples courants sont la broche de tour, la broche de fraiseuse, la broche de meulage, la broche électrique, la broche à basse vitesse, la broche à grande vitesse, etc.[16]

- Les types de broche CNC :

Il existe de nombreux types de classification de broche de centre d'usinage CNC, différents pays ont des normes différentes, il existe une classification commune en fonction du cône de broche, comme BT60, BT50, BT40, BT30, le nombre après BT représente le diamètre d'inter-face conique du porte-outil. Les centres d'usinage auxquels ces différents types de broches peuvent correspondre sont différents. En raison des différents diamètres des broches, la vitesse de rotation est différente, ce qui conduit directement à une capacité d'usinage différente.

1. BT30:

le diamètre de la broche est petit, la vitesse maximale pouvant être atteinte est supérieure au diamètre de la broche. Il est généralement utilisé dans les centres de perçage et de taraudage ou dans certains petits centres d'usinage, et convient parfaitement à la fabrication de moules, de perçage et de taraudage.

2. BT40:

le diamètre de la broche est moyen et la vitesse maximale est limitée. Une grande partie des centres d'usinage utilise la broche BT40. Ce type de broche peut être utilisé pour la finition ou l'ébauche. Il peut également être utilisé pour le moule à grand diamètre de perçage, et son domaine d'application est le plus large parmi ces différents types de broches.

3. BT50 et BT60:

effectuent généralement un usinage grossier, la vitesse maximale n'est que de 8000 tr/min, ce type de broche n'est pas couramment utilisé dans le center d'usinage CNC.



FIG. 2.8: La Borsche CNC

### 2.2.1.6 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.



FIG. 2.9: Support de vis à billes BK

### 2.2.1.7 Plaques et Supports

- Connecteur d'angle de cube.
- Plaque de jonction 90°.
- Support de montage pour moteur.
- Plaque de bande de jonction à 3 trous.

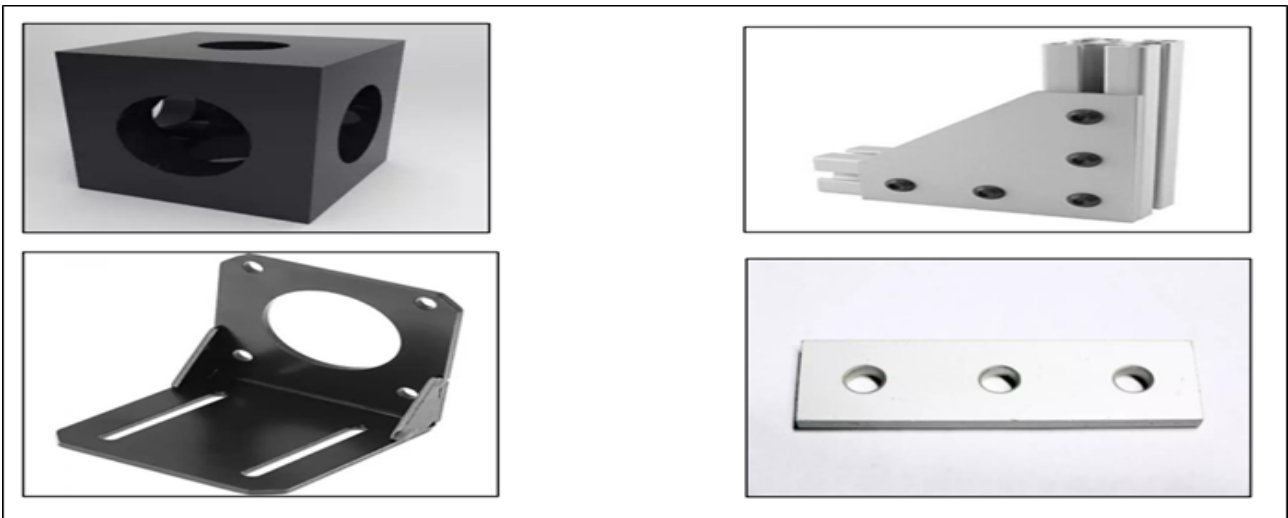


FIG. 2.10: Plaques et Supports

## 2.2.2 La partie électronique

Le système électronique est responsable de la génération du signal de commande pour les moteurs qui guide le mouvement de la trajectoire de l'outil dans chaque direction ou axe. Le système électronique est composé de :

### 2.2.2.1 L'alimentation

L'alimentation électrique de l'ensemble, comme une alimentation ATX utilisée pour alimenter un ordinateur de bureau ou alimentation 12 Volts ou 24 Volts, selon votre électronique et de 250 à 500 W de puissance. Faites attention de bien dimensionner votre alimentation pour qu'elle ait le meilleur rendement possible.



FIG. 2.11: Alimentation

### 2.2.2.2 Généralité sur les moteurs pas à pas

Le moteur pas à pas constitue un convertisseur électromécanique destiné à transformer le signal électrique (impulsion ou train d'impulsions de pilotage) en déplacement (angulaire ou linéaire) mécanique. Au point de vue électrotechnique, le moteur classique ressemble à la machine synchrone, dont le stator (le plus souvent à pôles saillants) porte les enroulements de pilotage et le rotor (presque toujours à pôles saillants) est soit muni d'aimants permanents (structure dite polarisée ou active), soit constitué par une pièce ferromagnétique dentée (structure dite réluctante ou passive)[17]. Entre le moteur et son alimentation, sont intercalés trois éléments essentiels (Figure 2.12)

- Une unité de calcul, qui élabore les impulsions de commande ;
- Un modulateur PWM, qui génère les commandes des contacteurs électroniques de commutation ;
- Une électronique de commutation sance, qui, à partir d'une alimentation, fourni l'énergie vers les enroulements appropriés du moteur.

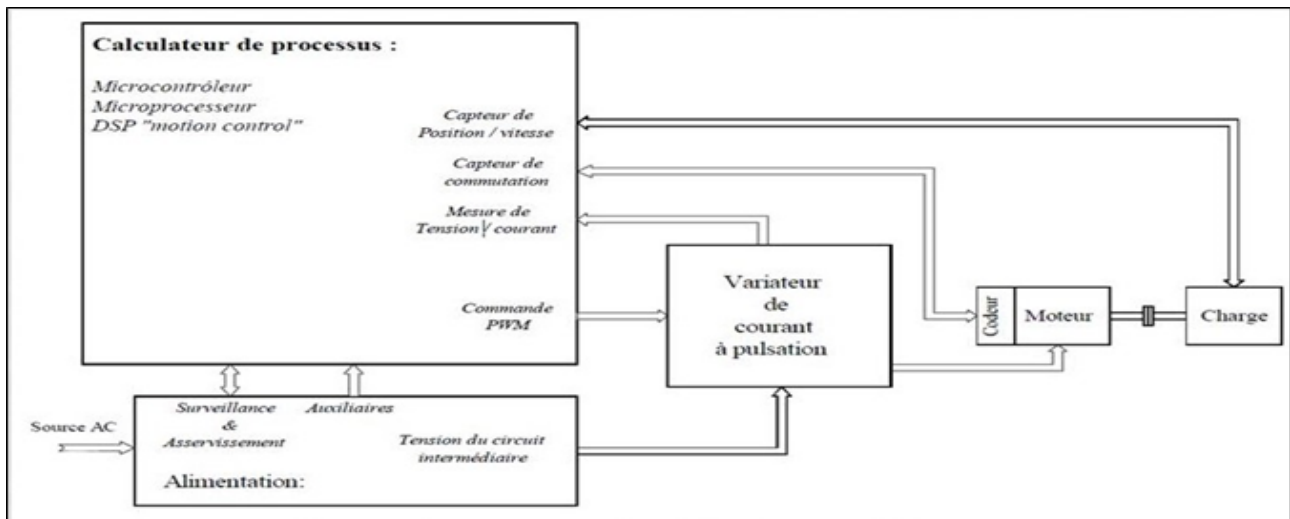


FIG. 2.12: Schéma bloc de principe du contrôle d'un moteur pas à pas

L'alimentation de chaque bobinage du moteur par une tension particulière provoque l'apparition d'un courant qui engendre un champ magnétique de direction précise. Le changement séquentiel des tensions particulières à chaque bobinage permet de déplacer la position du champ statorique selon une résolution élémentaire appelée pas. Autrement dit, toutes configurations des tensions aux bornes des bobinages correspondent à un déplacement de la position stable du rotor. Une série bien déterminée de commutation de tensions entraîne un déplacement sur un nombre correspondant de pas. La succession des configurations d'alimentation, à une fréquence donnée, impose un champ statorique tournant avec une résolution d'un micro pas, d'un demi pas ou d'un pas entier. Le mouvement discret du champ d'entrefer est suivi par le rotor soumis au couple synchronisant. La nature du couple découle soit :

1. D'interaction champ du stator- fer du rotor, lorsque ce dernier présente une structure dentée passive.
2. D'interaction champ du stator- champ du rotor, lorsque le rotor comporte un aimant.
3. Les deux interactions précédentes simultanément.

Les moteurs couramment rencontrés selon le nombre de pas par tour sont :

- $0,9^\circ$  soit 400 pas par tour.
- $1,8^\circ$  soit 200 pas par tour.
- $15^\circ$  soit 24 pas par tour.

Les moteurs pas à pas présentent une très grande précision et une durée de vie quasi illimitée, l'usure mécanique étant pratiquement inexistante et ils existent en différentes tailles qui varient entre 1cm et plus d'une dizaine de centimètre. Tout dépendra des applications dans ils seront utilisées.

### 2.2.2.3 Les différents types de moteurs pas à pas

On peut classer les moteurs pas à pas en 3 catégories :

#### 1. Moteurs à reluctance variable :

Les moteurs à reluctance variable (moteurs MRV) doivent leur nom au fait que le circuit magnétique qui les compose s'oppose de façon variable à sa pénétration par un champ magnétique. Ces moteurs sont composés d'un barreau de fer doux et d'un certain nombre de bobines. Lorsqu'on alimente une bobine, elle devient un électroaimant et le barreau de fer cherche naturellement à s'orienter suivant le champ magnétique. On alimente la phase 1, puis la phase 2, puis la phase 3 ... Si on veut changer le sens du moteur, il suffit de changer l'ordre d'alimentation des bobines. Dans la pratique, le barreau de ferrite a plusieurs dents (dans notre exemple est 6). Dès qu'on alimente la Phase 2, il y a une rotation de  $15^\circ$  (i.e.  $60^\circ - 45^\circ = 15^\circ$ ), puis la phase 3, etc. Donc le moteur tourne de  $15^\circ$  dès qu'on alimente une phase. Il faut 24 impulsions pour faire un tour complet. C'est un moteur 24 pas. Comme le montre la figure suivante (2.13) :

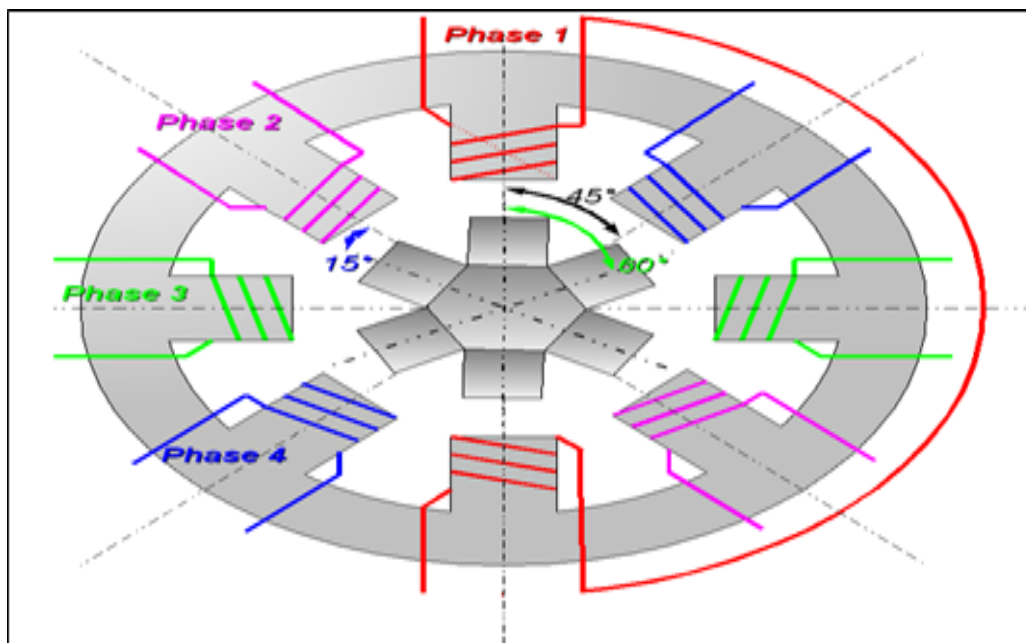


FIG. 2.13: Moteur a reluctance variable

- Les Inconvénients :
  - (a) nécessite au moins trois bobinages, pour obtenir un cycle complet, pas de couple résiduel, c'est-à-dire que hors tension, le rotor est libre, ce qui peut être problématique pour ce genre de moteur.
  - (b) La fabrication est assez délicate.
  - (c) les entrefers doivent être très faibles.
- les Avantages :
  - (a) Peu coûteux,
  - (b) D'une bonne précision. Dans l'exemple, avec seulement 4 enroulements, on obtient 24 pas (on peut facilement obtenir 360 pas).
  - (c) Le sens du courant dans la bobine n'a aucune importance.

## 2. Moteur à aimants permanents :

Les moteurs à aimants permanents sont semblables aux moteurs à réluctance variable, sauf que le rotor possède des pôles NORD et SUD. À cause des aimants permanents, le rotor reste freiné à sa dernière position lorsque le bloc d'alimentation cesse de fournir des impulsions. Une façon simple de voir le système, est de placer une boussole entre deux aimants. Suivant la bobine qui est alimentée et le sens du courant, l'aimant va s'aligner avec le champ. Il utilise le principe de l'action d'un champ magnétique sur un moment magnétique (aimant). On distingue deux (2) types de ces moteurs :

### (a) Moteur Unipolaire :

Le rotor est constitué par un aimant permanent (en ferrite par exemple) comportant une paire de pôles. Le stator, comprend deux circuits magnétiques décalés de  $90^\circ$ . Les enroulements à point milieu sont alimentés avec une polarité toujours du même signe, d'où le nom d'unipolaire. Pour inverser le sens de rotation il suffit d'inverser les séquences de commutation.

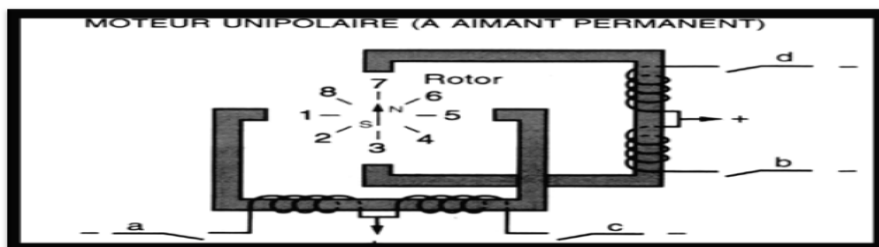


FIG. 2.14: Moteur unipolaire

## (b) Moteur Bipolaire :

Les enroulements au stator n'ont pas de points milieu. Chaque borne de chaque enroulement est alimentée successivement par une polarité positive puis négative d'où le terme bipolaire. En inversant les polarités des enroulements statoriques, on inverse les pôles nord et sud au stator. Le nombre de phases est égale au nombre d'enroulement. Le sens de rotation dépend du sens du courant et de l'ordre d'alimentation du bobinage.

- Caractéristiques principales :
  - i. Faible résolution : nombre de pas / tour peu important ;
  - ii. Couple d'utilisation plus élevé par rapport au moteur à reluctance variable ;
  - iii. Présence d'un couple résiduel lorsque le moteur est hors tension.

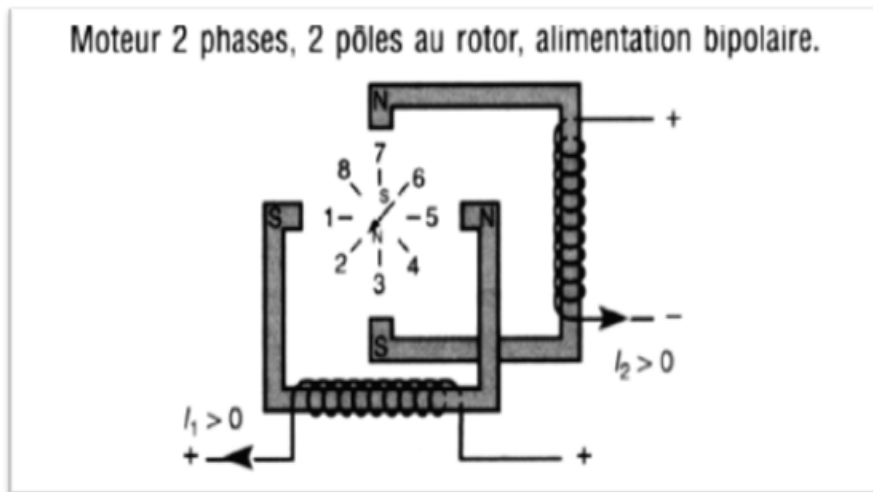


FIG. 2.15: Moteur Bipolaire

## 3. Moteur Hybride :

C'est un moteur reluctant polarisé, il superpose le principe de fonctionnement des moteurs à aimant permanent et à reluctance variable et combine leurs avantages. Le rotor est constitué de deux (2) disques dentés décalés mécaniquement. Entre ces deux (2) disques, est inséré un aimant permanent. Deux modes de fonctionnement peuvent être envisagés selon la valeur de temps  $T$ .

- Caractéristiques principales :
  - (a) Hors tension, le rotor est maintenu en position.
  - (b) Bonne précision de la position du rotor.
  - (c) Grande vitesse de rotation.

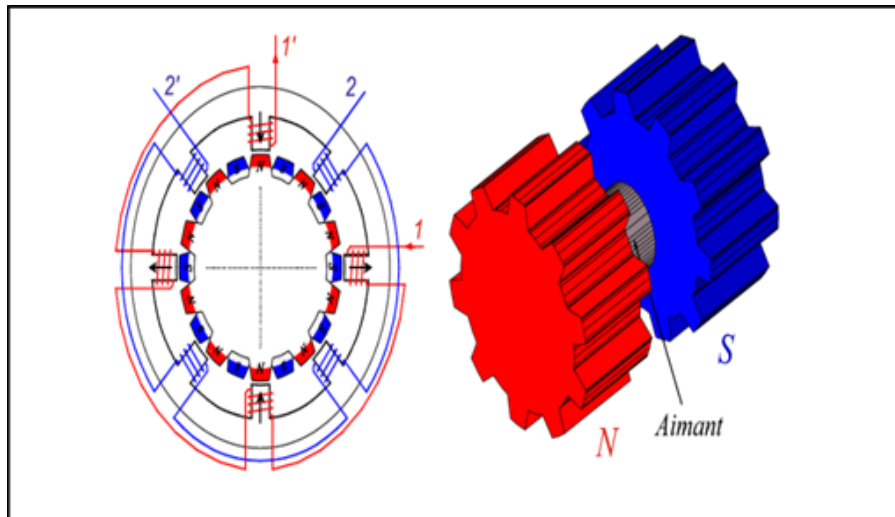


FIG. 2.16: Schéma d'un moteur pas à pas hybride.

#### 2.2.2.4 Comparaison des 3 types de moteurs

Comparaison des performances des 3 types de moteurs pas à pas			
Types de moteurs	Moteur a aimant permanent	Moteur a reluctance variable	Moteurhy-bride
Résolution (nbr de pas/tour)	Moyenne	Bonne	Elevé
Couple moteur	Elevé	Faible	Elevé
Sens de rotation	Il dépend du : -sens du courant (mot bipolaire) -order d'alimentation des bobines	l'ordre d'alimentation  des bobines	Il dépend du : -sens du courant -order d'alimentation des bobines
Fréquence de travail	Faible	Grande	Grande

TAB. 2.1: Comparaison des 3 types de moteurs

### 2.2.2.5 Les pilotes des moteurs pas à pas

Les moteurs pas à pas peuvent être commandés soit en utilisant une alimentation en tension constante qui est très utilisé pour les faibles vitesses mais dissipe une puissance assez grande, soit une alimentation en courant constante qui est répondu pour la commande des moteurs bipolaire et permet d'obtenir un grand couple. Nôtre choix s'est porté sur l'utilisation d'une alimentation à courant constant pour minimiser la puissance et avoir un grand couple. La commande d'un moteur pas à pas est assurée par plusieurs pilotes ou « drivers » de moteurs pas à pas et parmi ces drivers, on trouve le HSS60 celui qu'on a choisis pour notre conception.

#### 1. Driver HSS60 NEMA 24:

HSS60 est un servomoteur pas à pas hybride série Nema 24 à 2 phases. Il adopte la technologie DSP 32 bits et de contrôle vectoriel de nouvelle génération, qui peut éviter que le moteur pas à pas ne perde des pas et assurer la précision du moteur.



FIG. 2.17: Driver HSS60

- Caractéristiques :

- (a) Système de boucle fermée de moteur pas à pas, ne perdez jamais l'étape.
- (b) Améliorer le couple de sortie du moteur et la vitesse de travail.
- (c) Ajustement automatique du courant en fonction de la charge, augmentation de la température inférieure.
- (d) Convient à toutes les conditions de charge mécanique (y compris la poulie et la roue à faible rigidité), pas besoin d'ajuster le paramètre de gain.

#### 2. Driver moteur pas à pas Microstep M660A



FIG. 2.18: Driver moteur pas à pas Microstep M660A

- Caractéristiques :

- (a) Pilote de moteur pas à pas numérique Microstep, micropas : 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128, 1/256.
- (b) Faible bruit, à faible vibration et à faible échauffement.
- (c) Plage de tension AC24-60V.
- (d) Plage de courant 2,4-7,2 A, le courant a 8 décrochages.

3. ES-D508 Easy SERVO DRIVER :



FIG. 2.19: ES-D508 Easy SERVO DRIVER

- Caractéristiques

- (a) Faible échauffement et faible bruit.
- (b) Réponse rapide sans overshoot ou accoup.
- (c) Couple élevé à l'accélération et à la décélération.
- (d) Plug & play (pas de réglage pour la majorité des applications).

### 2.2.3 Le système de programmation

La pièce à usiner sera conçu dans une conception assistée par ordinateur (CAO), dont la sortie est un dessin dans un des nombreux formats acceptables, le format le plus préférable est le format (.XML). Ce dessin est ensuite introduit dans le logiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO), dont la sortie est le code lisible par une machine utilisée pour la commande numérique de la machine.

#### 2.2.3.1 La CARTE MACH3

Mach3 est un assortiment de logiciels qui fonctionne sur un ordinateur et transforme celui-ci en un très puissant et économique système de contrôle. Pour faire fonctionner Mach3, vous avez besoin de Windows XP (ou Windows 2000) idéalement avec un processeur de 1GHZ et un écran avec une résolution de 1024 x 768, Un ordinateur de bureau donnera de meilleures performances que la plupart des portables et sera considérablement moins cher. Vous pouvez, évidemment utiliser cet ordinateur pour d'autres fonctions à l'atelier[18].

#### 2.2.3.2 Interface de Mach3

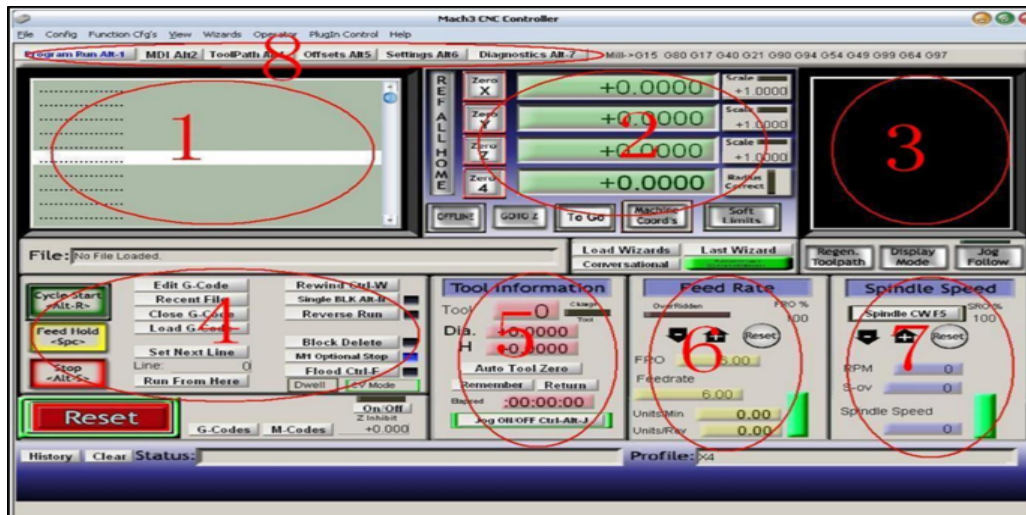


FIG. 2.20: Interface de Mach3

1. fenêtre Mach3 G-code, l'utilisateur affichera le programme g-code actuellement actif, les barres blanches indiquent la ligne actuellement active.
2. DRO cette lecture numérique indique l'emplacement actuel de chaque axe, soit en coordonnées de pièce, soit en coordonnées de machine.

3. cela affichera le chemin de coupe de l'outil, cette fenêtre peut être très utile. Si votre programme est chargé, vous devriez voir la partie similaire. (Si vous ne le faites pas, vous ne voudrez peut-être pas appuyer sur le bouton de démarrage). La souris peut être utilisée pour changer la perspective.

4. procédures d'interface

- Cycle start : pour exécuter le programme actuellement chargé
- Feed hold : programme suspendu
- Stop : arrêter le programme (ne pas utiliser comme estop) en cas d'urgence, utiliser ESTOP
- Edit G-code : Modifier le programme actuel
- Recent file : le document des procédures de second tour récent
- Close G-code : Fermez le programme
- Load G-code : charger les fichiers du programme
- Set next line : un ensemble de procédures d'exécution.
- Line : exécute actuellement un certain nombre de
- Run from here : à partir de la ligne en cours d'exécution, indiquez que dans la barre blanche.
- Rewind : procédures de redémarrage.
- Single BLK : une seule opération (cela avancera d'une ligne à chaque fois que le bouton de démarrage du cycle est enfoncé).
- Reverse run : répéter la course.
- Block delete : supprimer le point d'arrêt.
- M1 optional stop : pour arrêter l'utilisation du code M1.
- Flood : activez le liquide de refroidissement.

5. Tool information : Ces informations sont cruciales pour le bon changement et la configuration des outils dans la table d'outils. L'outil affiché est l'outil actuellement actif, ainsi que les décalages de hauteur actuels.

6. Feed interface :

- FRO : affiche l'alimentation actuellement programmée. Ce numéro ne peut être modifié manuellement que si un M48 est utilisé dans vos premières lignes de code.

7. Spindle speed control interface :

- F5 CW : ce bouton permet de démarrer la broche manuellement.
- RPM : interface d'affichage du retour de vitesse de broche. En l'absence de retour de vitesse de broche, qui apparaîtra comme 0.
- S-OV : La théorie devrait atteindre la vitesse de broche, RPM et cela peut être comparé.
- Spindle speed : interface de réglage manuel de la vitesse de broche. Vous pouvez également entrer manuellement la vitesse de broche.

8. Mach3 Tabs :

- Program run : interface de contrôle de programme complète.
- MDI : saisie manuelle des données.
- Tool path : interface de contrôle du parcours d'outil.
- Offsets : utilisé pour configurer les cordons de pièce (g54) et les décalages de longueur d'outil.
- Settings : Modifier les paramètres de mach3.
- Diagnostic : Utilisé pour diagnostiquer la machine en cas de problème.

### 2.2.3.3 MDI screen

MDI (manuel data input) Cet écran est très utile, tapez simplement la commande de code dans la ligne blanche, cela permet une maniabilité rapide et facile. (Par exemple) pour déplacer tous les axes vers l'origine de la pièce à usiner, tapez simplement (g00 x0y0z0) ou pour envoyer la machine en po-sition d'origine, tapez (G28).

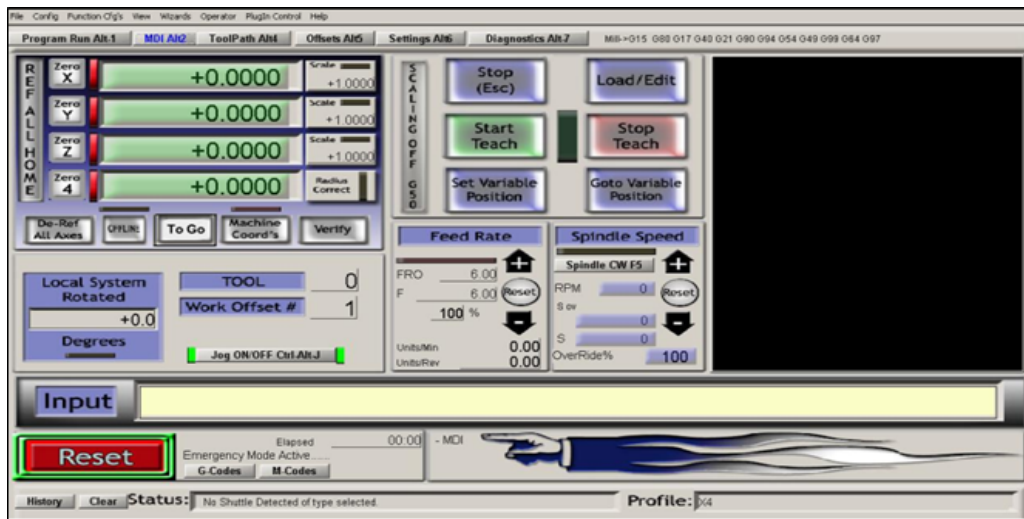


FIG. 2.21: MDI screen

Ceci est une liste complète des g-codes MACH3:

G-Code	Function
G0	Rapid positioning Linear
G1	interpolation
G2	Clockwise circular / helical interpolation
G3	Counterclockwise circular / helical interpolation
G4	Dwell
G10	Coordinate system origin setting
G15	Cancel polar coordinate moves in G0 and G1
G20	Inch units
G21	Millimeter units
G30	Return to machine home (parameters 5181 to 5186)
G31	Straight probe
G40	Cancel nose radius compensation
G41	Start nose radius compensation left
G50	Reset all scale factors to 1.0
G51	Set axis data input scale factors
G61	Exact Stop mode
G64	Constant Velocity mode

TAB. 2.2: g-codes MACH3

Voici une liste complète des codes M de Mach3

M-Code	Function
M0	Program stop
M1	Optional program stop
M2	Program end
M3	Spindle ON Clockwise
M4	Spindle On Counter clockwise
M5	Spindle stop
M7	Mist coolant on
M8	Flood coolant on
M9	All coolant off
M30	Program end and rewind
M47	Repeat Program from first line
M48	Enable feed override
M49	Disable feed override
M98	Call subroutine
M99	Return from subroutine / repeat
Mxxx	User defined macro (xxx = 100-9999)

TAB. 2.3: M-codes MACH3

### 2.2.3.4 Interface de Réglage d'axes de moteur X, Y, Z

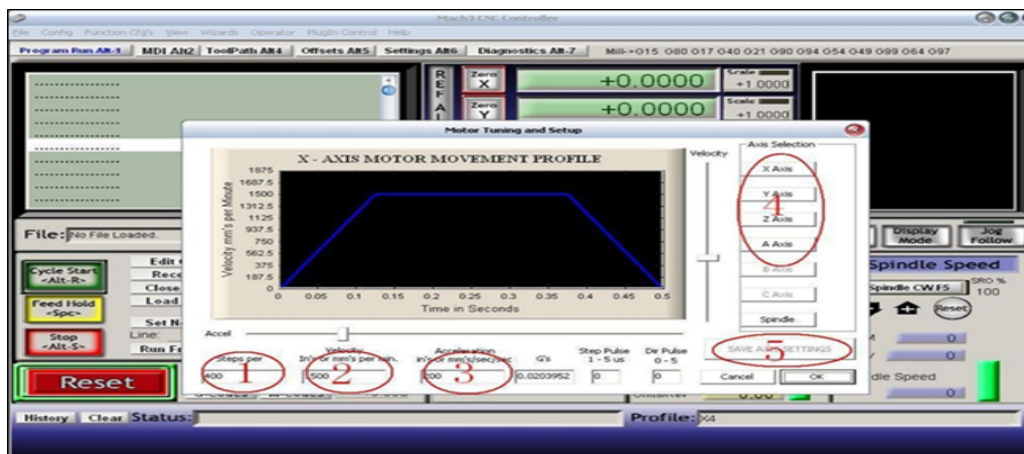


FIG. 2.22: Interface de Réglage d'axes de moteur X, Y, Z

Il s'agit de l'axe X, Y, Z pour régler la vitesse de l'interface, située dans les paramètres de configuration du réglage du moteur,

1. Pulse settings : cela entraîne la nécessité de définir pour les produits syil, le para-mètre par défaut est pour 400 métriques et 10160 pour impérial. Ces numéros sont impéra-tifs pour le bon fonctionnement de votre machine.
2. Velocity : Ceci contrôle directement les pouces ou mm par min, dans vos mouvements ra-pides (G00) Si vous réglez cela rapidement, cela peut entraîner des étapes perdues et des dom-mages à votre pièce de travail et peut entraîner un accident majeur.
3. Acceleration adjustment : Ce paramètre contrôle la vitesse à laquelle le moteur pas à pas atteint la vitesse désignée, encore une fois trop rapide et cela peut entraîner des pas perdus.
4. Switch-axis : Cela vous permet de sélectionner chaque axe individuel à régler, vous devez sélectionner enregistrer l'axe afin d'utiliser les paramètres modifiés. Cela doit être fait sur chaque axe.

REMARQUE : L'accordage du moteur est comme l'accordage d'une guitare, c'est un équi-libre parfait entre les pas, la vélocité et l'accélération. Si vous ne savez pas ce que vous faites, nous vous déconseillons de modifier ces réglages sans contacter un revendeur.

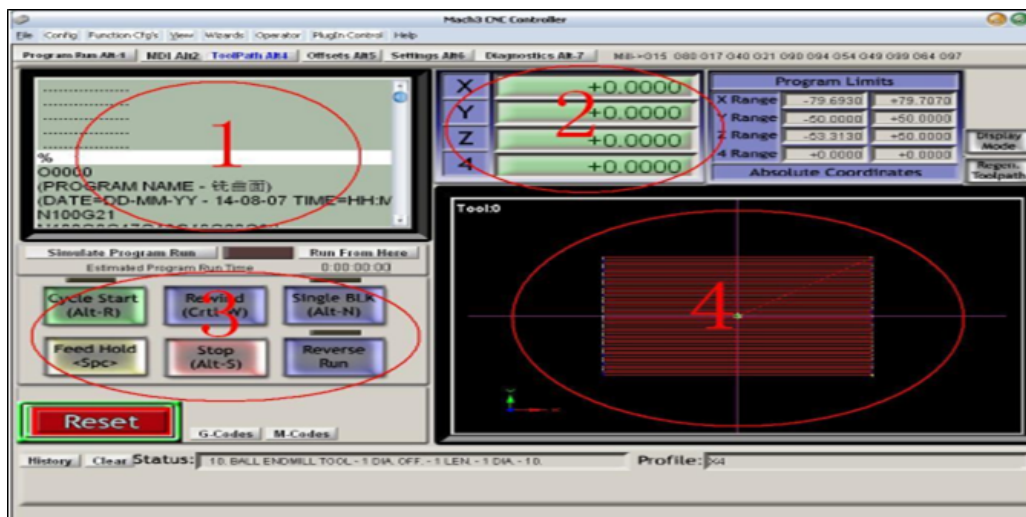


FIG. 2.23: Parcours d'outil Interface d'affichage

Il s'agit de l'interface d'observation de la trajectoire de l'outil, interface intégrée correspondant à 1,2,3,4. Cet écran est plus grand et peut faciliter l'observation du programme en cours, ainsi que le Le programme de simulation est utile car je peux donner une estimation du temps d'exécution du programme.

### 2.2.3.5 Diagnostic Mach3

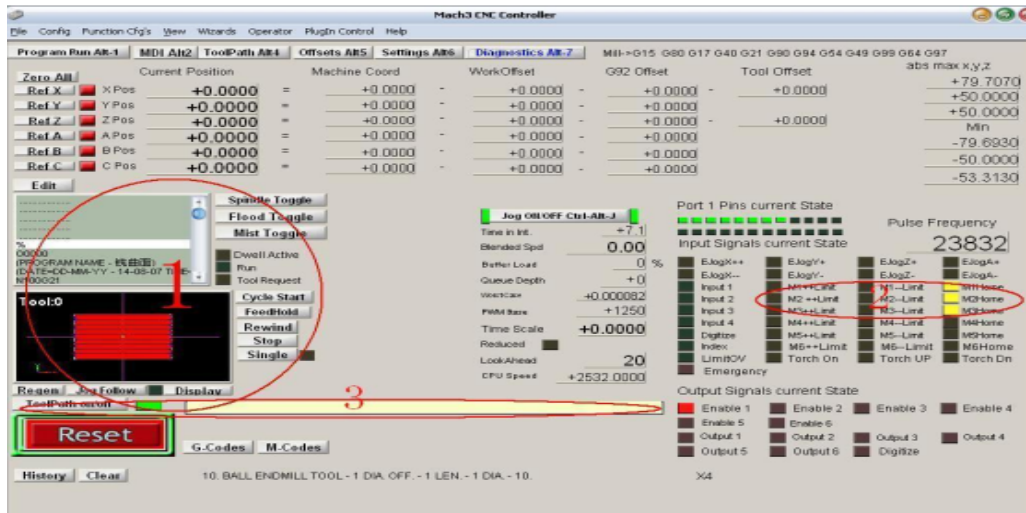


FIG. 2.24: Diagnostic Mach3

Cet écran est très utile pour savoir ce que fait votre machine, c'est extrêmement utile si vous rencontrez des problèmes avec la machine. Cet écran est configuré pour vous permettre de continuer à exécuter votre programme et de voir exactement ce que fait votre machine.

1. Affiche le programme g-code actuel.
2. Affiche les signaux d'entrée et de sortie de votre machine et de votre ordinateur.
3. la ligne MDI (saisie manuelle des données) permet la saisie manuelle du G-Code.

Cet écran peut être très utile pour vérifier la communication entre la machine et l'ordinateur, il suffit d'appuyer sur l'un des commutateurs de référence x ou y et vous verrez le voyant correspondant s'allumer.

### 2.2.3.6 Accueil de la machine

Le référencement de la machine consiste à envoyer les X, Y et Z aux commutateurs de référencement, ce qui est crucial pour produire des pièces et des composants précis. La machine

sait se positionner dans l'espace grâce à des calculs mathématiques, à quelle distance elle se trouve de son commutateur de prise d'origine. Il est extrêmement important de mettre la machine à l'ori-gine chaque fois que vous allumez la machine et/ou l'ordinateur. Ceci est réalisé en allant à l'ensemble d'écran principal mach3, #1 appuyez sur le bouton de la machine crord, vous saurez qu'il est actif lorsque la lumière qui l'entoure est rouge. #2 puis appuyez sur le bouton "REF ALL HOME". Cela enverra tous les axes à la maison aux commutateurs, pour que cette fonction fonctionne cor-rectement, vous devez avoir le zéro automatique défini sous 'config', - homing et limites.

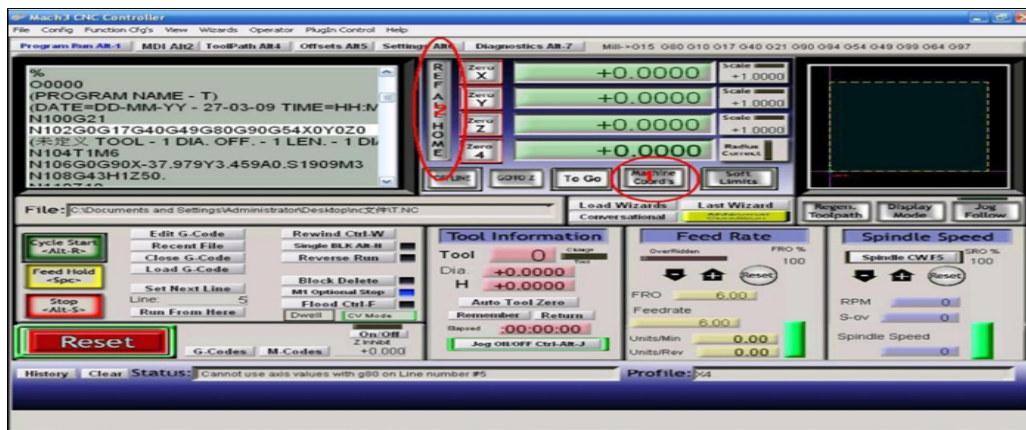


FIG. 2.25: Interface Accueil de la machine

Vous pouvez modifier la direction de l'axe et de l'axe d'origine dans l'écran suivant :

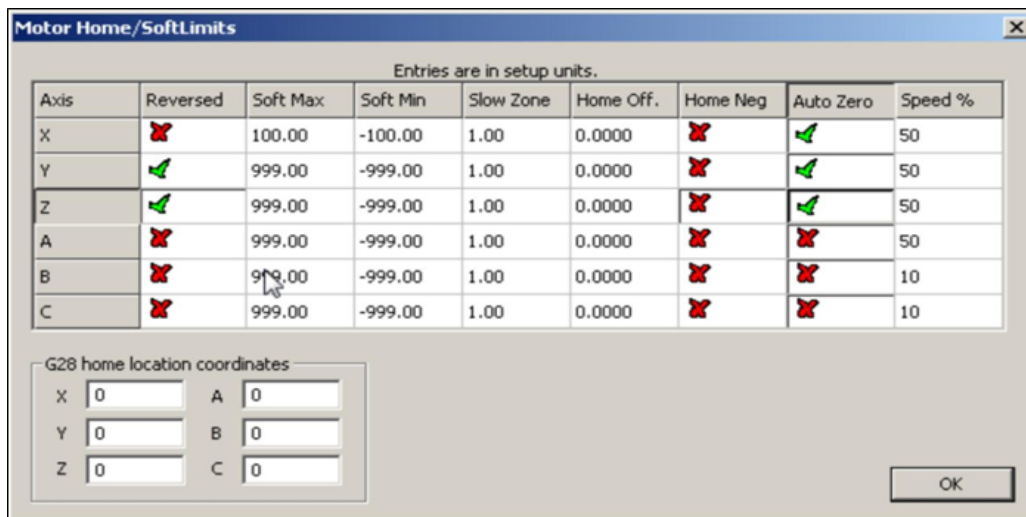


FIG. 2.26: Contrôle des axes X,Y,Z

### 2.2.3.7 Ncstudio

Le système de contrôle macro ncstudio est le système de contrôle de mouvement le plus largement utilisé Système, principalement pour le traitement de contrôle par ordinateur, afin de réaliser le système de contrôle numérique. Ncstudio est basé sur le programme de contrôle stocké en mémoire, la mise en œuvre de tout ou partie des fonctions de commande numérique, et est équipé de circuits d'interface et de servo commandes pour le contrôle des fonctionnalités pratiques, y compris la fonction de limitation de la vitesse de l'arc, peuvent aider les utilisateurs à prévenir efficacement l'émergence de sur-coupé, lorsque la force centripète dépasse la force centripète maximale, la vitesse de traitement de l'arc sera soumise aux restrictions nécessaires, assurant ainsi la qualité de traitement[19]. L'interface Ncstudio <sup>TM</sup> se compose d'une barre de

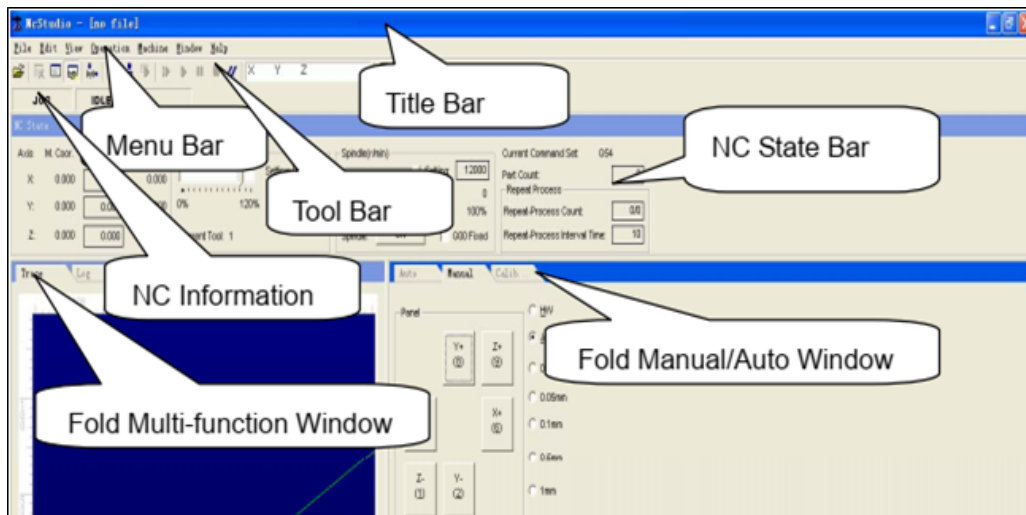


FIG. 2.27: Interface de Ncstudio

titre (Title bar), d'une barre de menus (menu bar), d'une barre d'outils (Tool bar), d'une barre d'état (status bar) et de certaines fenêtres des fonctions.

#### 1. Title bar :

Se trouve à l'extrémité supérieure de l'interface du logiciel Ncstudio<sup>TM</sup> et est utilisée pour afficher nom du logi-ciel et nom du programme de traitement de chargement ; les couleurs de la barre de titre sont utilisées pour in-diquant si les fenêtres correspondantes sont activées.



FIG. 2.28: Title bar





FIG. 2.31: NC Information Bar

5. Status Bar :

Au bas de l'écran se trouve la barre d'état, comme illustré à la FIG 2.32

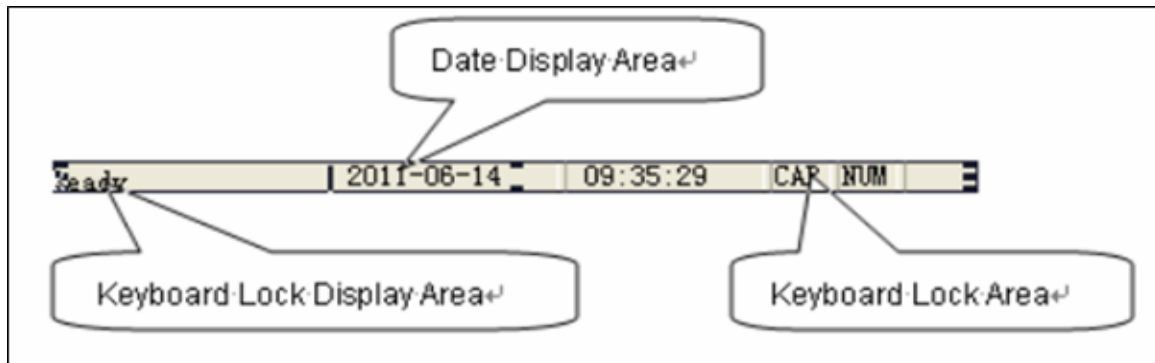


FIG. 2.32: Status Bar

6. NC State Window :

Sous la barre d'informations NC se trouve la fenêtre d'état NC, qui peut être divisée en quatre parties selon ses fonctions. Il s'agit de la zone de position actuelle, de la zone de vitesse d'avance, de la zone de vitesse de broche et de la zone d'affichage de l'ordre d'interpolation actuel

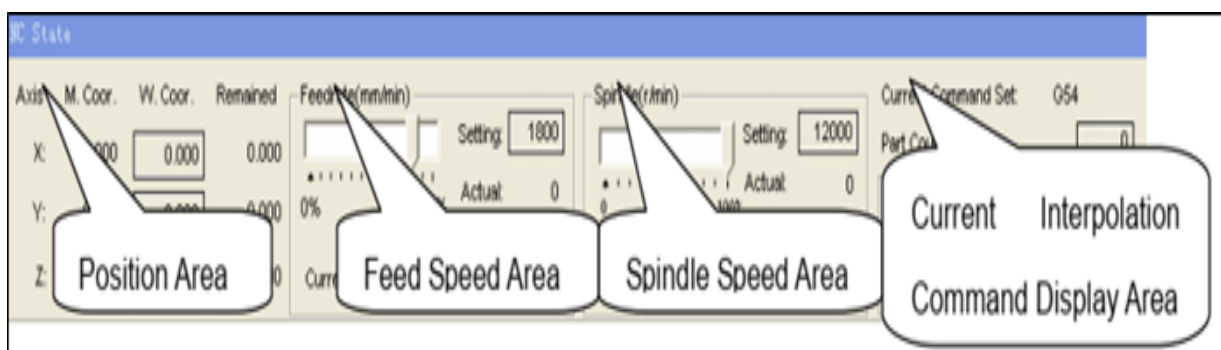


FIG. 2.33: NC State Window

7. Auto Operation Window :

La fenêtre de fonctionnement automatique affiche le fichier de procédure de traitement actuellement ouvert. À l'heure actuelle, NcStudio prend en charge les formats de procédure de traitement suivants : code G de la norme ISO, traceur HP (HP.PLT), format DXF,

format JDPaint ENG et format NCE appartenant exclusivement à notre société. L'utilisateur peut afficher et modifier la procédure de traitement en cours dans cette fenêtre.



FIG. 2.34: Auto Operation windows

Click the right mouse dans cette fenêtre et un menu contextuel apparaîtra, comme illustré à la FIG 2.35 :

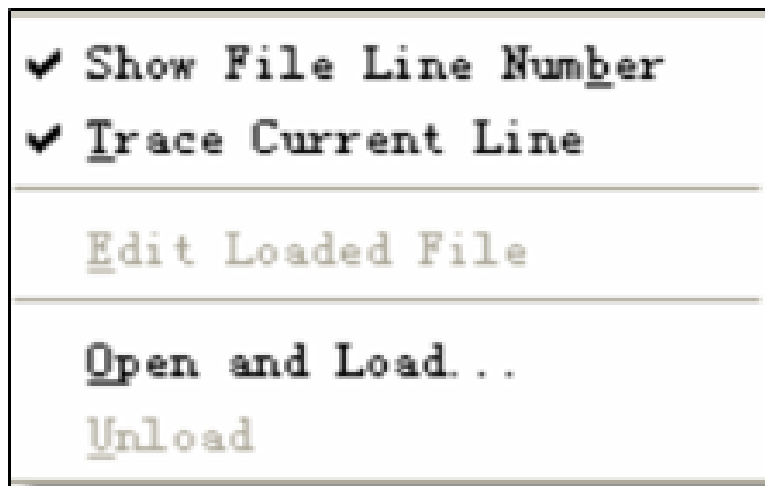


FIG. 2.35: Menu contextuel de la fenêtre de fonctionnement automatique

Tous ces éléments de menu se trouvent dans le menu standard, parmi lesquels "Afficher le numéro de ligne du fichier" et "Tracer la ligne actuelle" se trouvent dans le menu "Affichage"; les 3 autres éléments se trouvent dans le menu "Fichier". Reportez-vous aux sections 5.1 et 5.3 pour obtenir des explications. L'utilisateur peut basculer entre les 3 fenêtres modales : Manuel, Auto et Calibration.

#### 8. Manual Operation Window :

La fenêtre manuelle fournit à l'utilisateur un environnement de fonctionnement interactif

de la machine-outil.

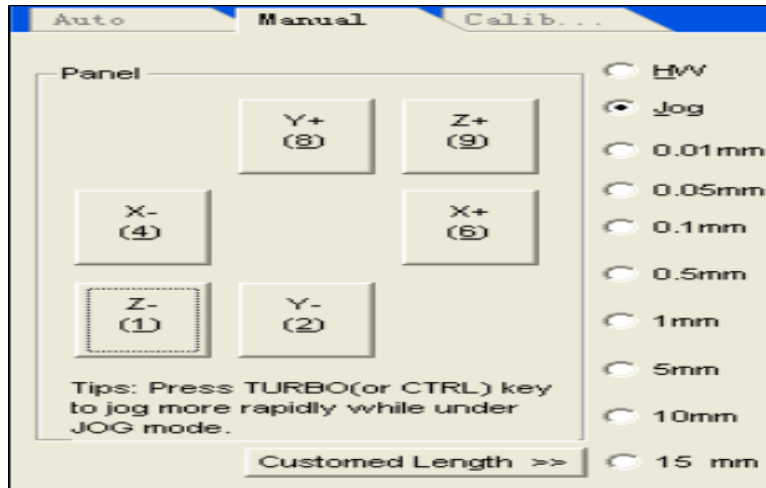


FIG. 2.36: Manual Operation Window

## 2.3 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons montré les étapes de conception que nous avons répartie en trois parties partie mécanique, partie électrique et partie informatique (programmation) Et nous avons essayé d'expliquer la carte de commande MACH3 et NCstudio ,nous avons fais une étude sur les choix des moteurs et des circuits de puissance à utiliser. Après cela nous proposons de valider nos résultats via la simulation d'un prototype. Dans le chapitre suivant nous présentons la simulation du prototype suivant la démarche de présentée précédemment.



# Le troisième Chapitre

Simulation électrique sous Porteuse Professionnel



## **3.1 Introduction**

Les machines à commande numérique sont complètement pilotées par ordinateur. Pour que la machine comprenne les instructions données par l'ordinateur de contrôle, il faut que ces instructions soient transmises dans un langage de programmation spécial, qui est le G-code, ou code-G. Les outils informatiques actuels de la chaîne soft CAO permettent de se passer de la connaissance pratique du langage, mais pour ceux qui voudraient éventuellement faire des programmes simples directement avec un éditeur pour les envoyer dans le contrôleur ARDUINO, il est important de connaître quelques bases de ce langage.

## **3.2 Simulation électrique sous Porteuse Professionnel**

### **3.2.1 Présentation générale de Proteus**

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Les logiciels inclus dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle : Proteus, Prospice et VSM. Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation utilisent cette suite logicielle.

### **3.2.2 ISIS**

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connue pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits. Isis est orienté vers les électroniciens débutants, ainsi que les développeurs et les professionnels.

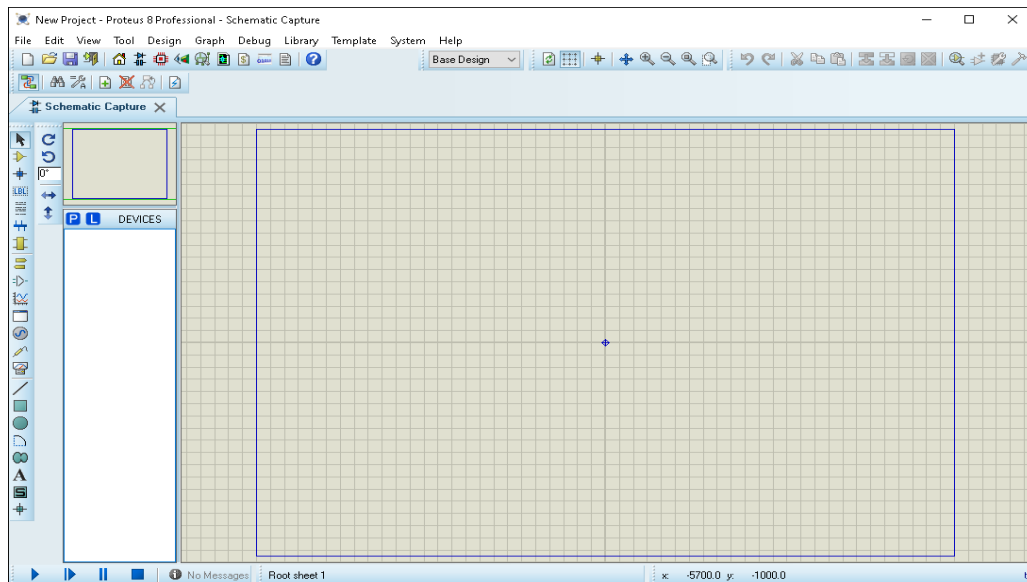


FIG. 3.1: Logiciel ISIS

### 3.2.3 ARES

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complètement parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement.

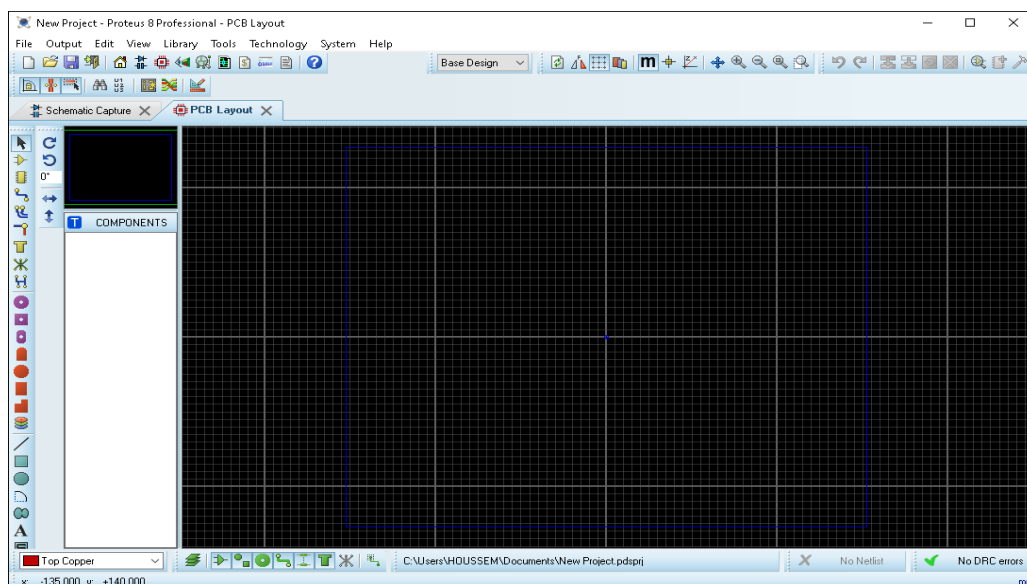


FIG. 3.2: Logiciel ARES

### 3.2.4 Le logiciel Arduino IDE

Le logiciel permet de programmer la carte Arduino. Il offre une multitude de fonctionnalités. Le langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. On retrouve notamment des similarités avec le C, le C++, le Java et le Processing. Le langage impose une structure particulière typique de l'informatique embarquée. Le programme est lu par le microcontrôleur de haut vers le bas. Une variable doit être déclarée avant d'être utilisée par une fonction. La structure minimale est constituée :

1. En tête : déclaration des variables, des constantes, indication de l'utilisation de Bibliothèques etc....
2. Un setup (= initialisation) cette partie n'est lue qu'une seule fois, elle comprend les fonctions devant être réalisées au démarrage (utilisation des broches en entrées ou en sortie, mise en marche du midi, du port série de l'I2C etc....)
3. Une Loop (boucle) : cette partie est lue en boucle! C'est ici que les fonctions sont réalisées.[21]

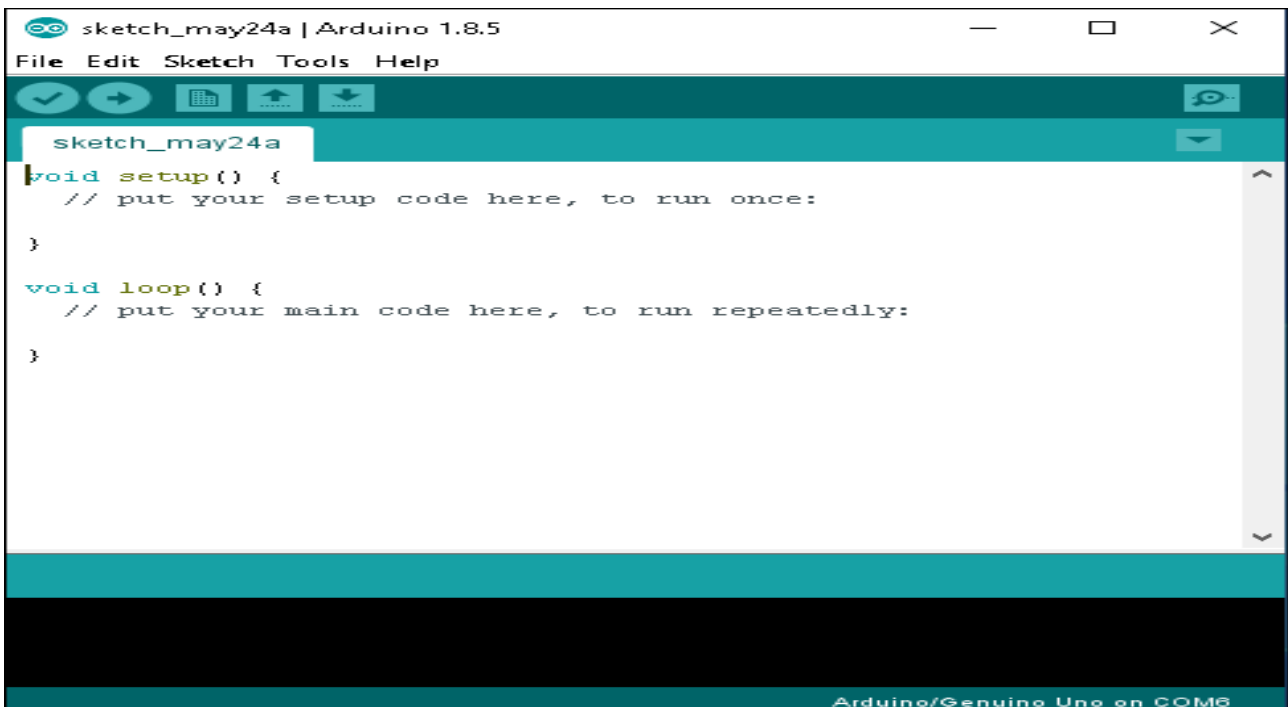


FIG. 3.3: logiciel Arduino

l'interface du logiciel Arduino se présente de la façon suivante :

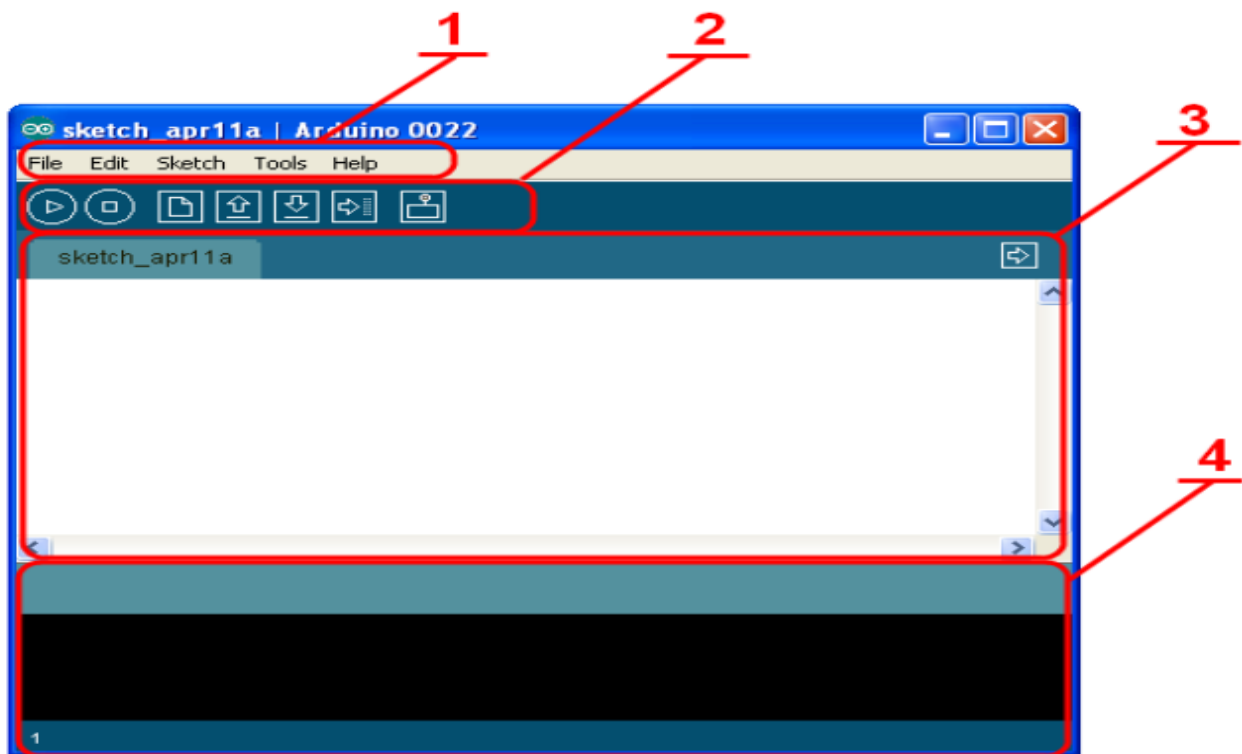


FIG. 3.4: Interface du logiciel Arduino

- 1 Options de configuration du logiciel
- 2 Boutons pour la programmation des cartes
- 3 Programme à créer
- 4 Débogueur (affichage des erreurs de programmation) Les boutons :



FIG. 3.5: Les boutons de logiciel Arduino

1. Permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans le programme
2. Créer un nouveau fichier
3. Sauvegarder le programme en cours
4. Liaison série
5. Stoppe la vérification
6. Charger un programme existant
7. Compiler et envoyer le programme vers la carte [21].

## 3.3 Langue de contrôleurs numériques « G-code »

### 3.3.1 Description

Le G-code est le 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. Une ligne de code typique commence par un numéro de ligne optionnel suivi par un ou plusieurs mots. Un mot commence par une lettre suivie d'un nombre (ou quelque chose qui permet d'évaluer un nombre). Un mot peut, soit donner une commande, soit fournir un argument à une commande. Par exemple, G1 X3 est une ligne de code valide avec deux mots. G1 est une commande qui signifie déplaces toi en ligne droite à la vitesse programmée et X3 fournit la valeur d'argument (la valeur de X doit être 3 à la fin du mouvement). La plupart des commandes G-code commencent avec une lettre G ou M (G pour Général et M pour Miscellaneous (auxiliaire)). Les termes pour ces commandes sont Gcodes et M-codes [13]. Le langage G-code n'a pas d'indicateur de début et de fin de programme. L'interpréteur cependant traite les fichiers. Un programme simple peut être en un seul fichier, mais il peut aussi être partagé sur plusieurs fichiers. Un fichier peut être délimité par le signe pour-cent de la manière suivante. La première ligne non vide d'un fichier peut contenir un signe % seul, éventuellement encadré d'espaces blancs, ensuite, à la fin du fichier on doit trouver une ligne similaire. Délimiter un fichier avec des % est facultatif si le fichier comporte un M2 ou un M30, mais est requis sinon. Une erreur sera signalée si un fichier a une ligne pour-cent au début, mais pas à la fin. Le contenu utile d'un fichier délimité par pour-cent s'arrête après la seconde ligne pour-cent. Tout le reste est ignoré. Le langage G-code prévoit

les deux commandes (*M2* ou *M30*) pour finir un programme. Le programme peut se terminer avant la fin du fichier. Les lignes placées après la fin d'un programme ne seront pas exécutées. L'interpréteur ne les lit pas.[22]

### 3.3.2 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).

## 3.4 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]

## 3.5 Logiciel de pilotage de la machine CNC

La solution la plus fonctionnelle que j'ai trouvée est une évolution de Universal Gcode Sender (développé initialement par l'auteur de GRBL), qui est cours de développement par Winder.[24]

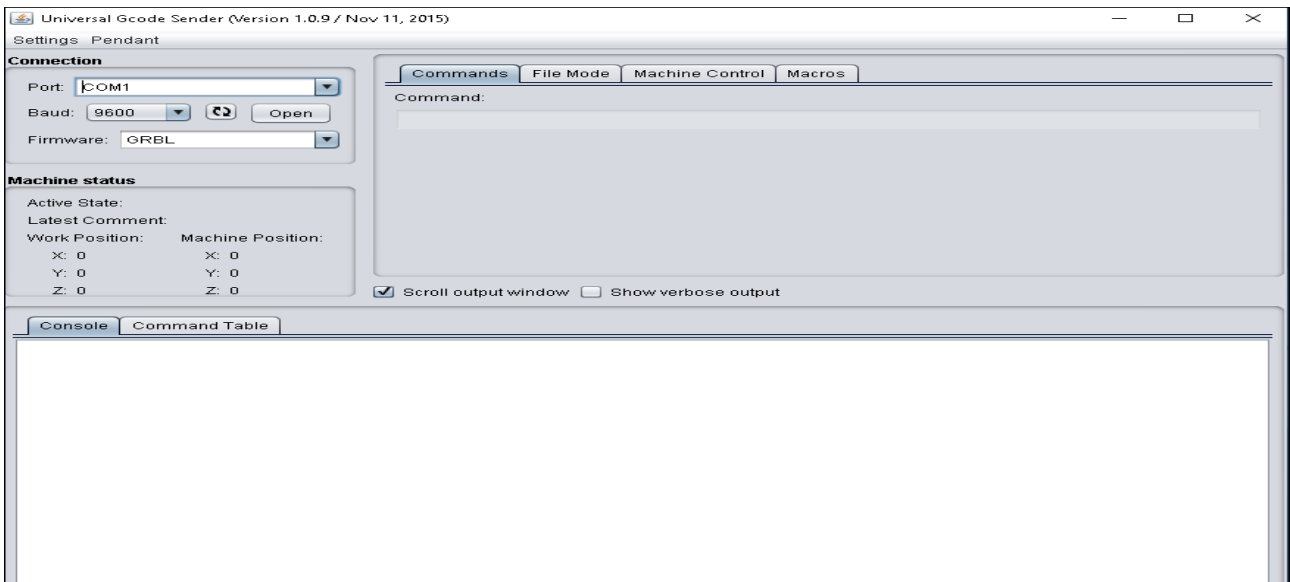


FIG. 3.6: interface de Universal g-code Sender

### 3.5.1 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. Pour l'utilisation graphique : le mode automatique, Charge notre fichier G-code : dans

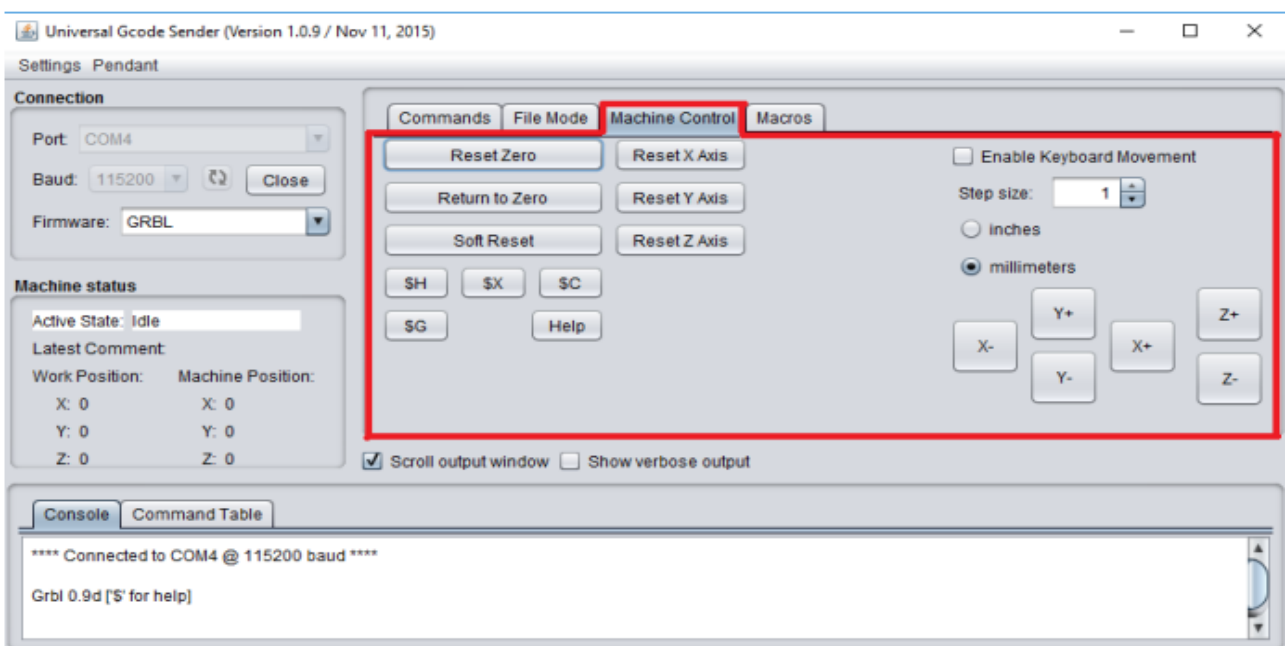


FIG. 3.7: l'interface de "G code sender" on mode manuel

l'onglet "file mode" faites "browse" et sélectionnez fichier G-code (.ngc) précédemment créé. En faisant "visualize" nous pourrions vérifier notre tracé et le chemin emprunté par l'outil : en rouge les zone de travail ( $Z < 0$ ) ; en bleu les déplacements ( $Z > 0$ ).

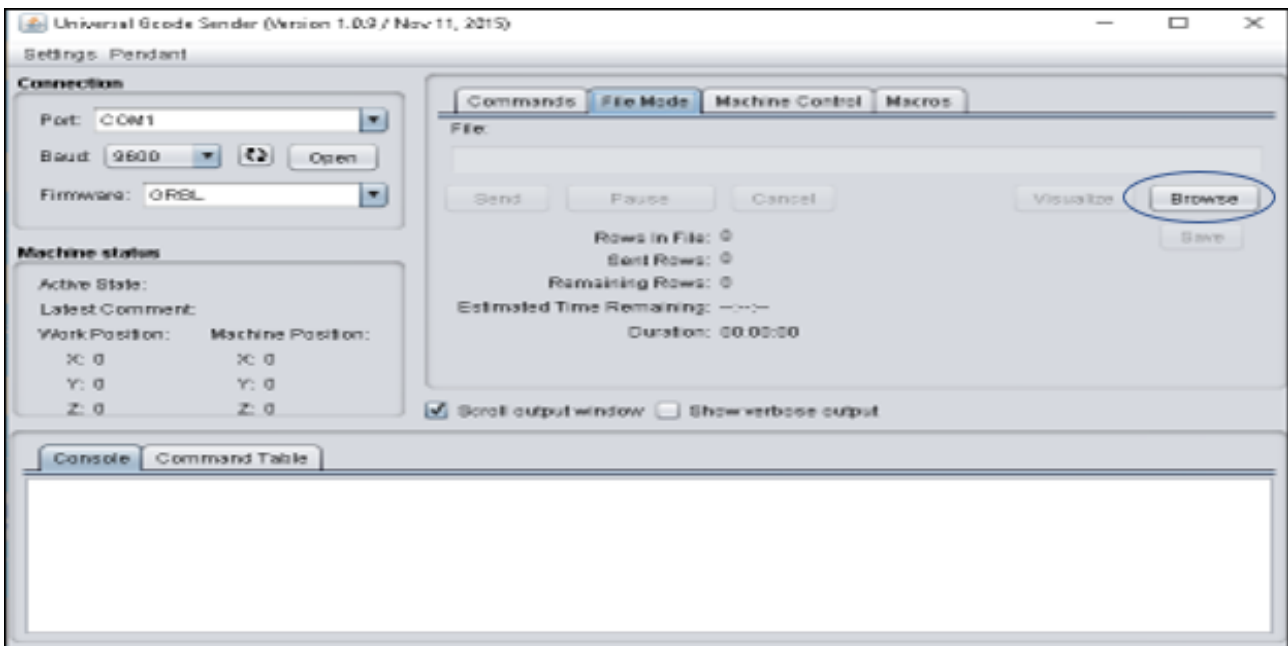


FIG. 3.8: l'interface de "G-code Sender" choisir le fichier Gcode

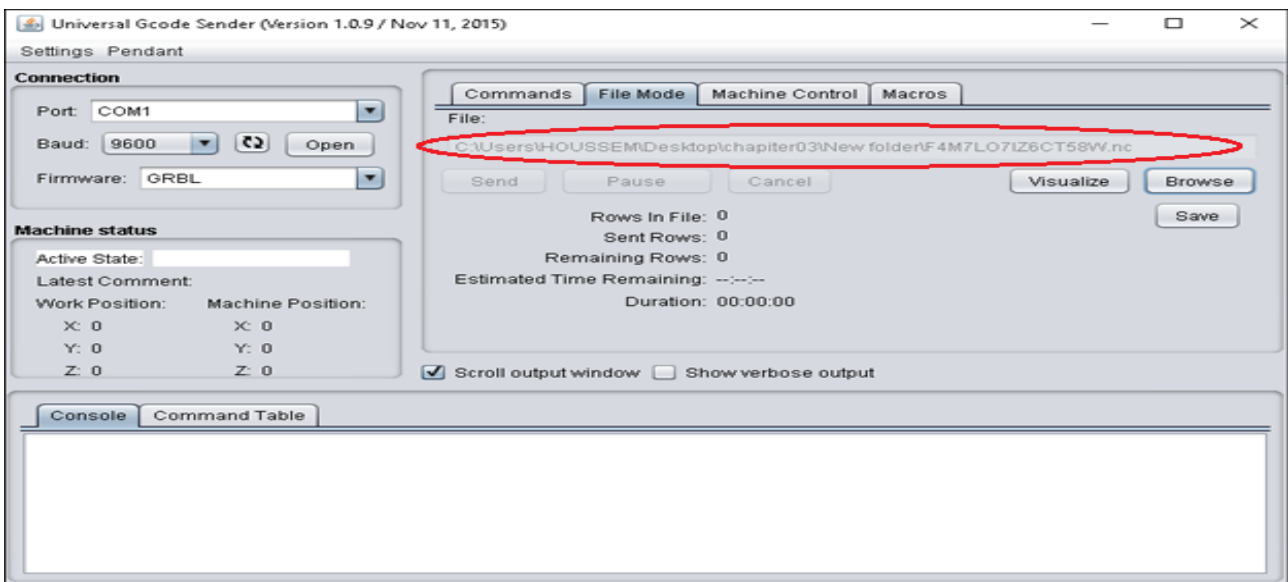


FIG. 3.9: l'interface de "g code sender" on mode automatique

### 3.6 VSPE (VIRTUAL SERIAL PORTS EMULATOR)

Est un logiciel destiné à aider les ingénieurs des logiciels et les développeurs à créer/débugger/tester des applications qui utilisent des ports sérient. Il est capable de créer divers dispositifs virtuels pour transmettre/recevoir des données. Contrairement aux ports série classiques, les périphériques virtuels ont des capacités spéciales : par exemple, le même périphérique peut être ouvert plusieurs fois par différentes applications, ce qui peut être utile dans de nombreux cas. Avec VSPE, vous pouvez partager des données de port série physique pour plusieurs applications, exposer le port série au réseau local (via le protocole TCP), créer des paires de périphériques de port série virtuels, etc....[25]

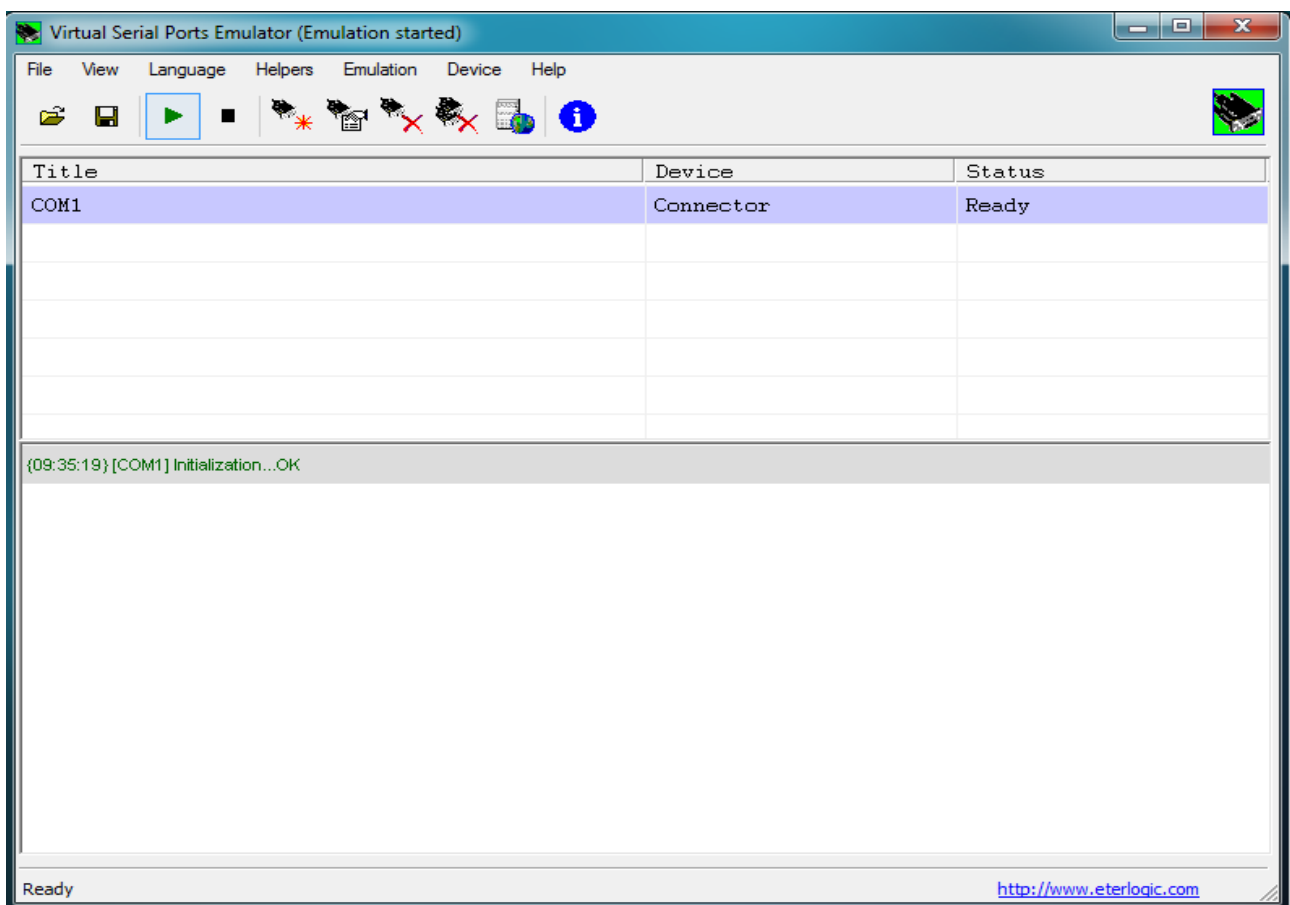


FIG. 3.10: interface de VSPE

### 3.7 Inkscape

Est un éditeur de graphiques vectoriels open source similaire à Adobe Illustrator, Corel Draw, Freehand ou Xara X. Ce qui distingue Inkscape, c'est son utilisation de Scalable Vector

Graphics (SVG), une norme W3C ouverte basée sur XML, comme format natif... [26]

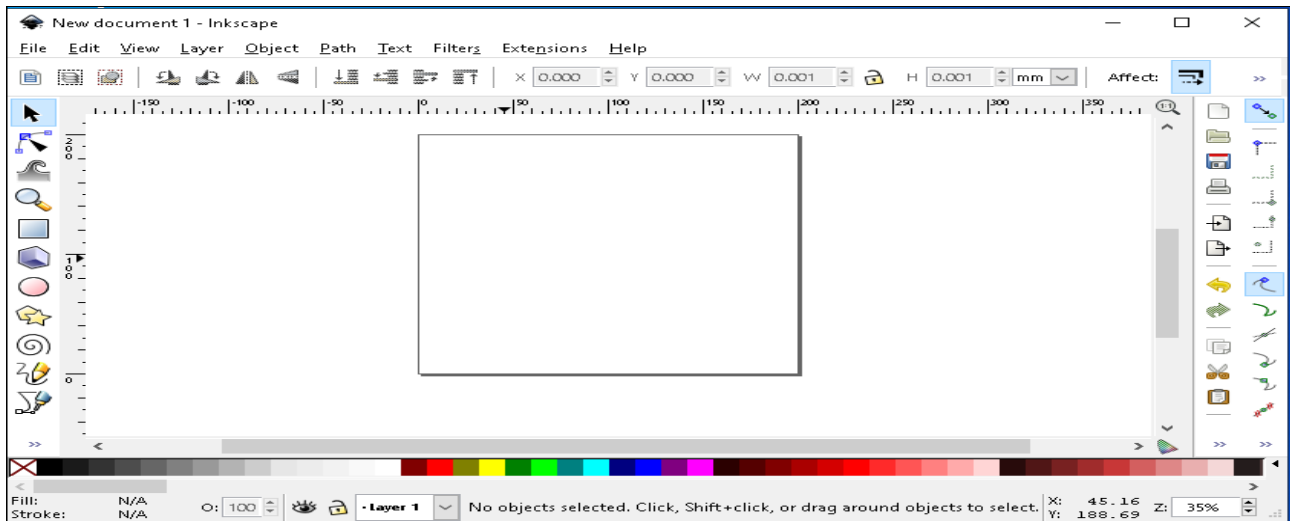


FIG. 3.11: Interface de "Inkscape"

### 3.8 SIMULATION AVEC LE COUPLE L297-L298

Pour saisir le schéma, il faut créer un nouveau projet puis placer les composants qui doivent être sélectionné à partir de la bibliothèque des composants. Utilisez les composants suivants :

1. ARDUINO UNO R3 - 1x
2. Hex inverter 4069- 1x
3. LED-BIBY -4x
4. LOGICSTATE -1x
5. MOTO-BISTEPPER -3x
6. L297 - 3x
7. L298 - 3x
8. COMPIN - 1x
9. VIRTUAL TERMINAL - 1x

Faire les connexions suivantes :

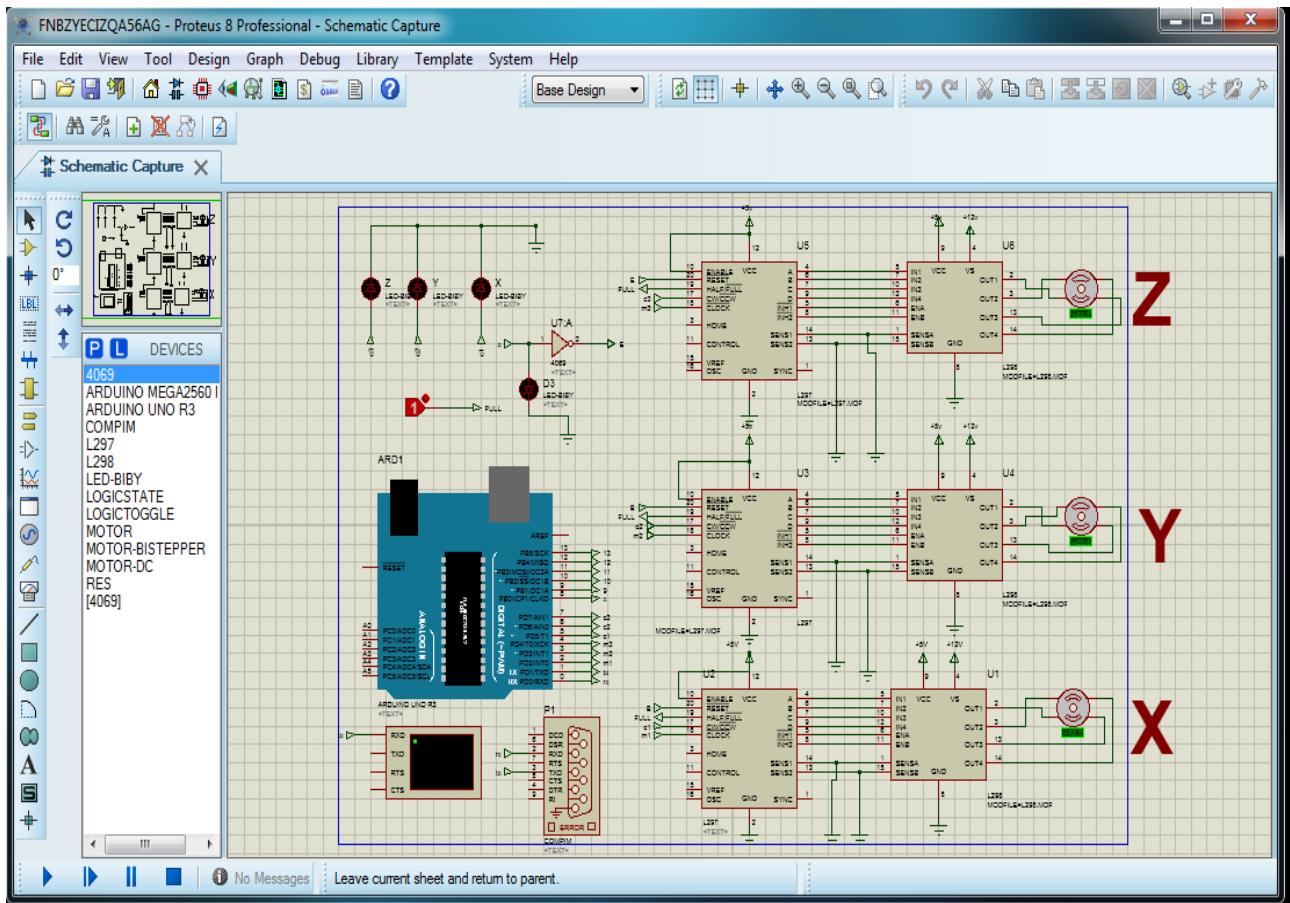


FIG. 3.12: simulation du coupleur

## 3.9 Les drivers moteurs

Chaque moteur pas à pas est piloté par un driver sous forme de couple (L297-L298).

### 3.9.1 Circuit L298

Le circuit intégré L298 est le circuit complémentaire du L297. Il permet la simplification extrême de la construction d'une carte de commande pour moteur pas-à-pas. Le circuit L298 est un double pont de commande de puissance. Il peut être utilisé aussi pour la commande de deux moteurs à courant continu. Le schéma interne du L298 contient deux ponts de 4 transistors de puissances commandées par les portes logiques, ainsi que la connexion des résistances de mesure du courant consommée par la charge reliée aux émetteurs de chaque paire de transistors.

### 3.9.2 Circuit L297

Le circuit L297 est un contrôleur de moteur pas à pas. Il fonctionne avec un circuit de puissance à double pont. Il lui suffit de lui fournir les signaux d'horloge (CLOCK : pour avancer des pas), de direction et de mode afin de piloter le moteur pas-à-pas. Le L297 génère alors la séquence de commande de l'étage de puissance.

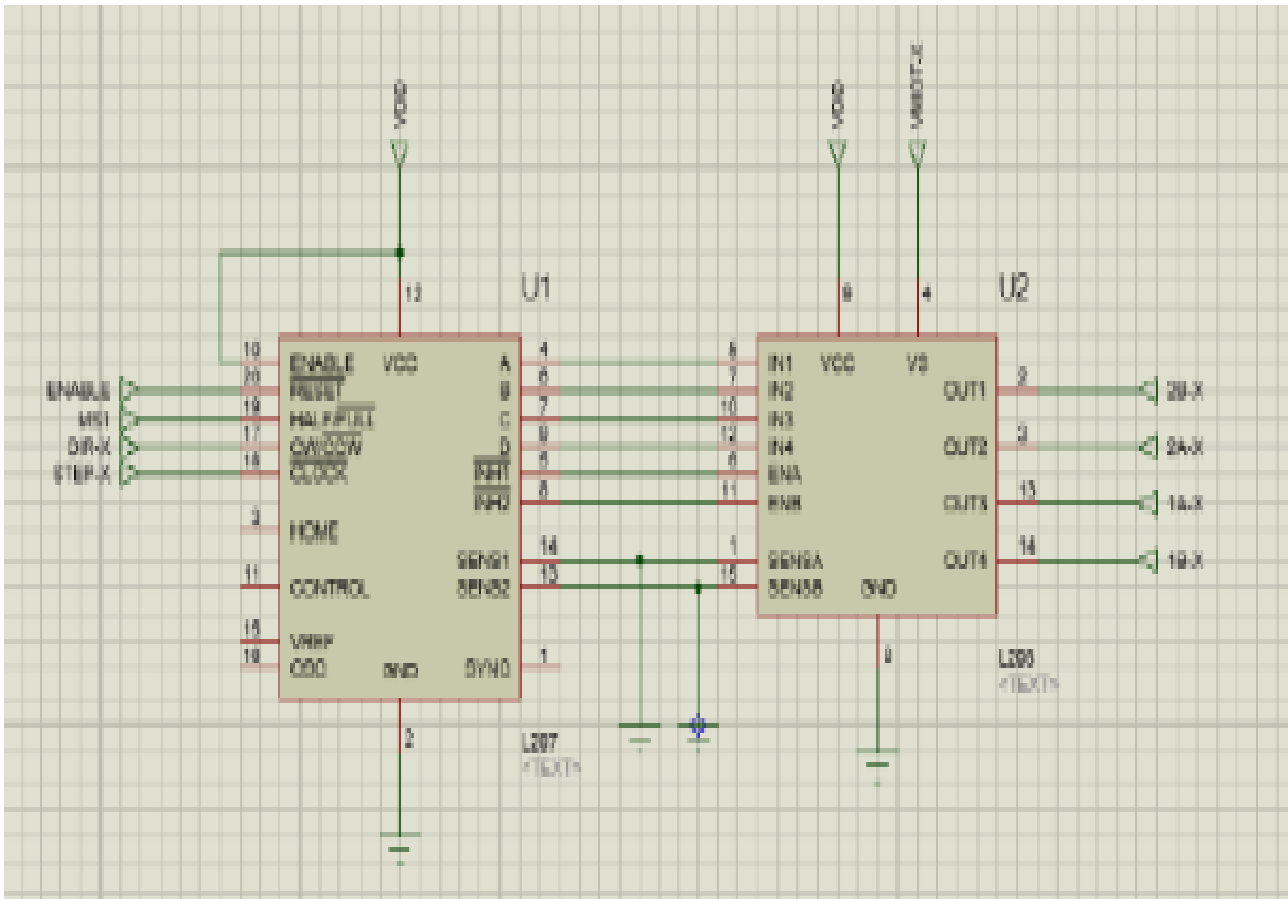


FIG. 3.13: Connexion circuit L297 L298

### 3.10 Compim

Le port série virtuel COMPIM nous permet de connecter l'Arduino à un port virtuel Préalablement créé.

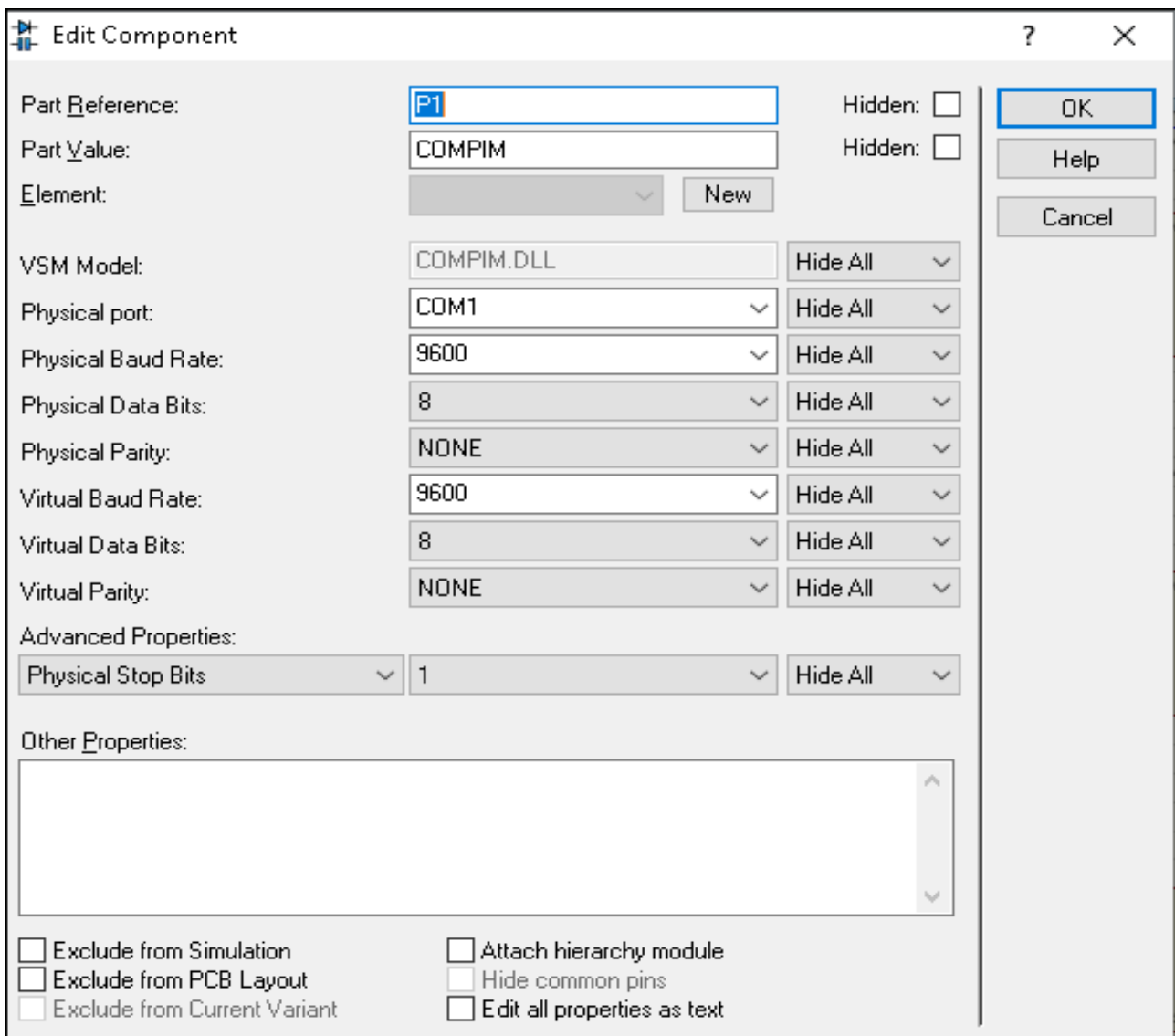


FIG. 3.14: Configuration Compim

### 3.11 Chargement de fichier HEX

Pour associer le programme au processeur (Arduino), il suffit de charger le fichier (gr-bl\_v0\_9a\_edge\_328p\_16mhz\_9600\_build20121210.hex) en suivant son adresse d'enregistrement, dans l'Arduino.

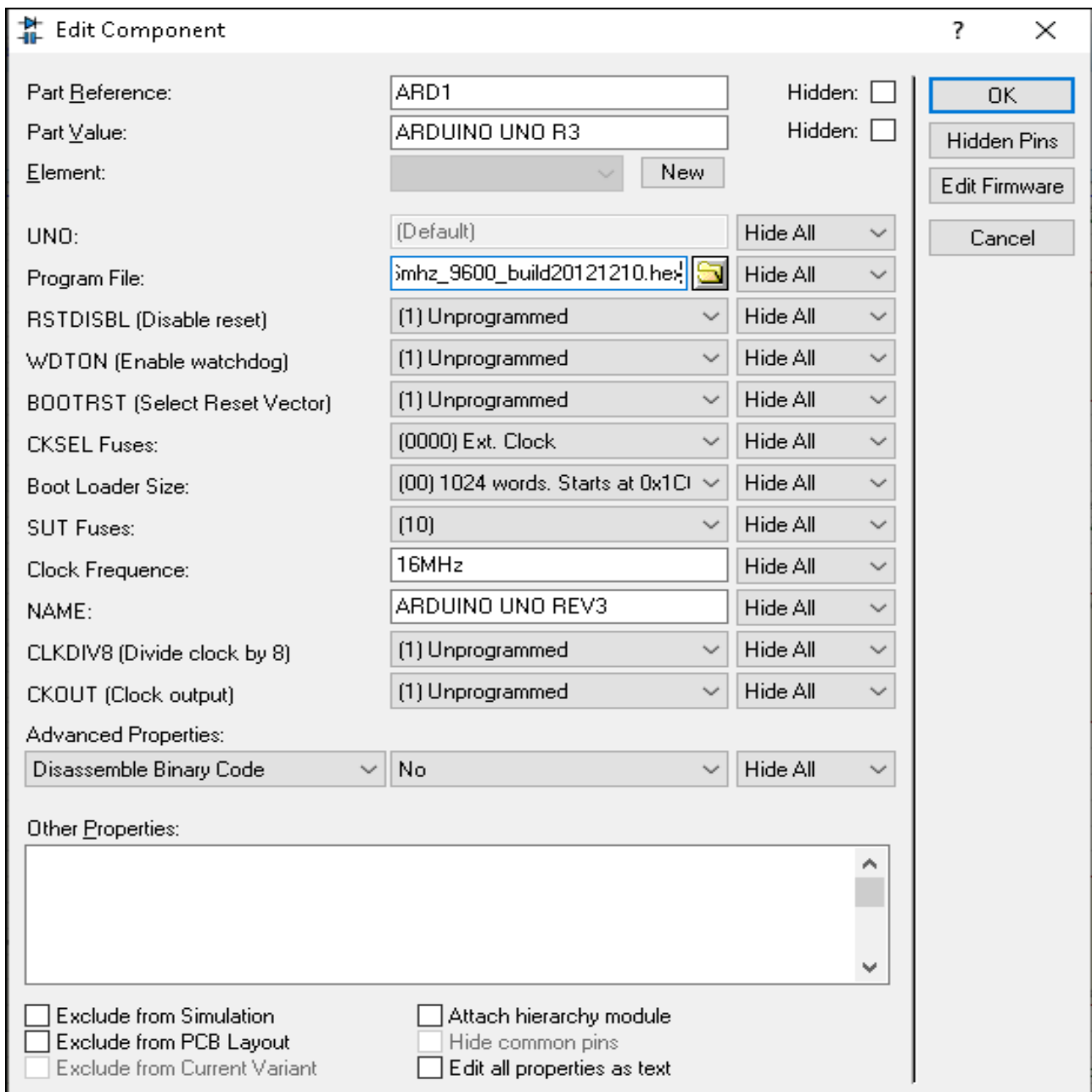


FIG. 3.15: Chargement du programme dans l'Arduino

### 3.12 Création d'un fichier G-code

Dans cet Inscrutable, nous utilisons un logiciel Open source Inkscape-0.48.5-1. Pour générer notre CNC g-code, il faut suivre les étapes suivantes :

1. Ouvrir « Inkscape ».
2. Select « Document properties » et changer l'unité au '*mm*'

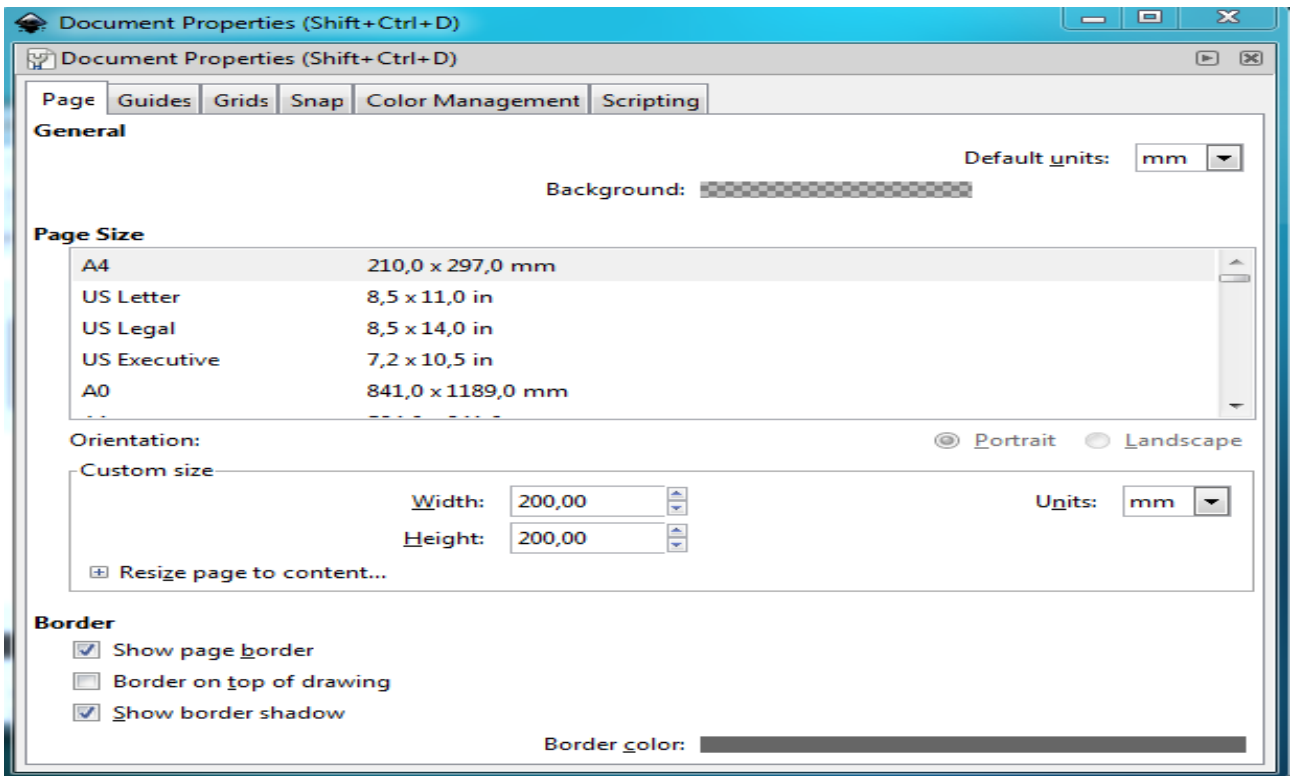


FIG. 3.16: Document properties

3. Importer votre image (fichier.PNG) et placez-le dans le coin adroit.

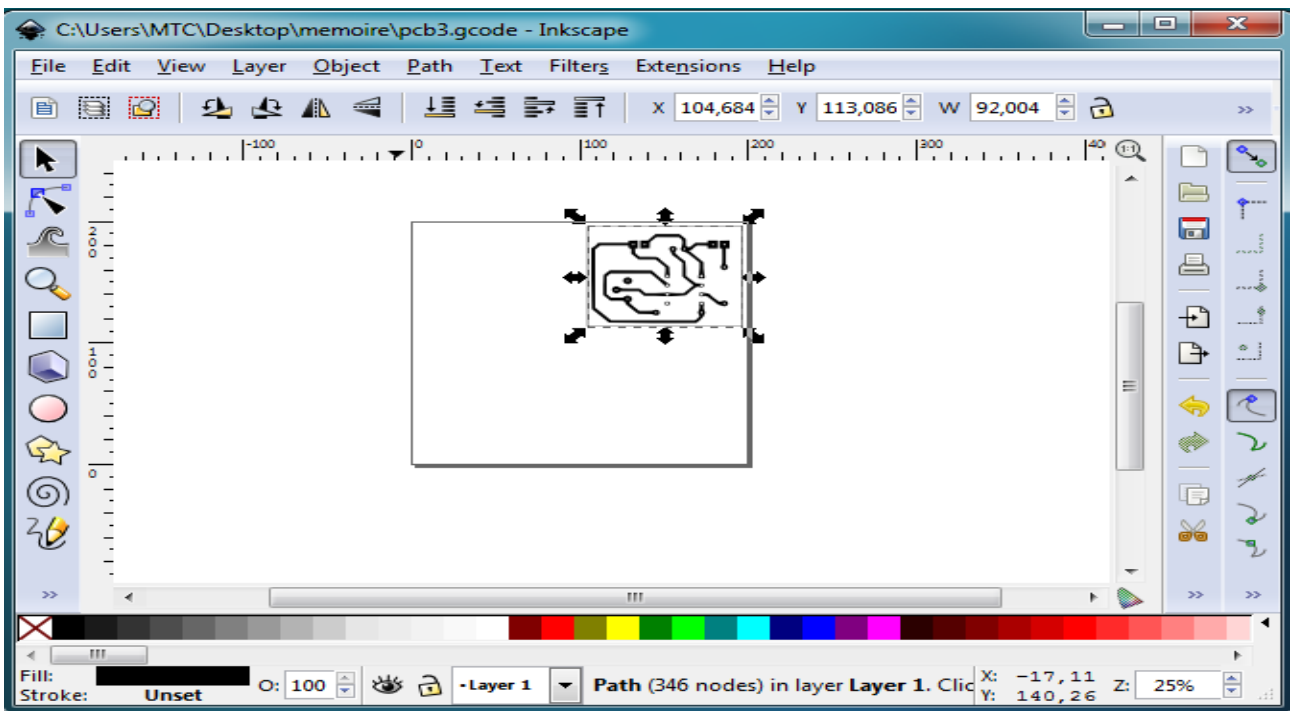


FIG. 3.17: placement d'image

4. Select « Path>Trace bitmap>Update>Ok »

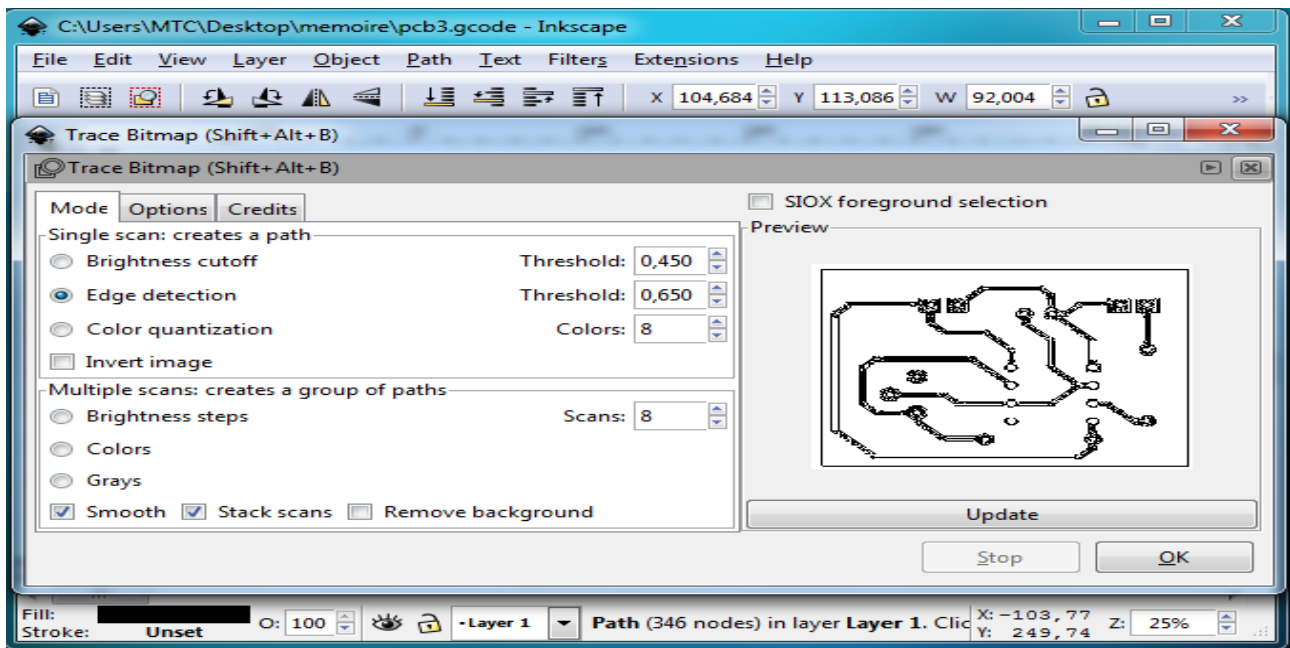


FIG. 3.18: Trace bitmap

5. Faites glisser l'image bitmap et supprimez l'image d'origine, puis fixez l'image bitmap sur le coin ari du traceur.

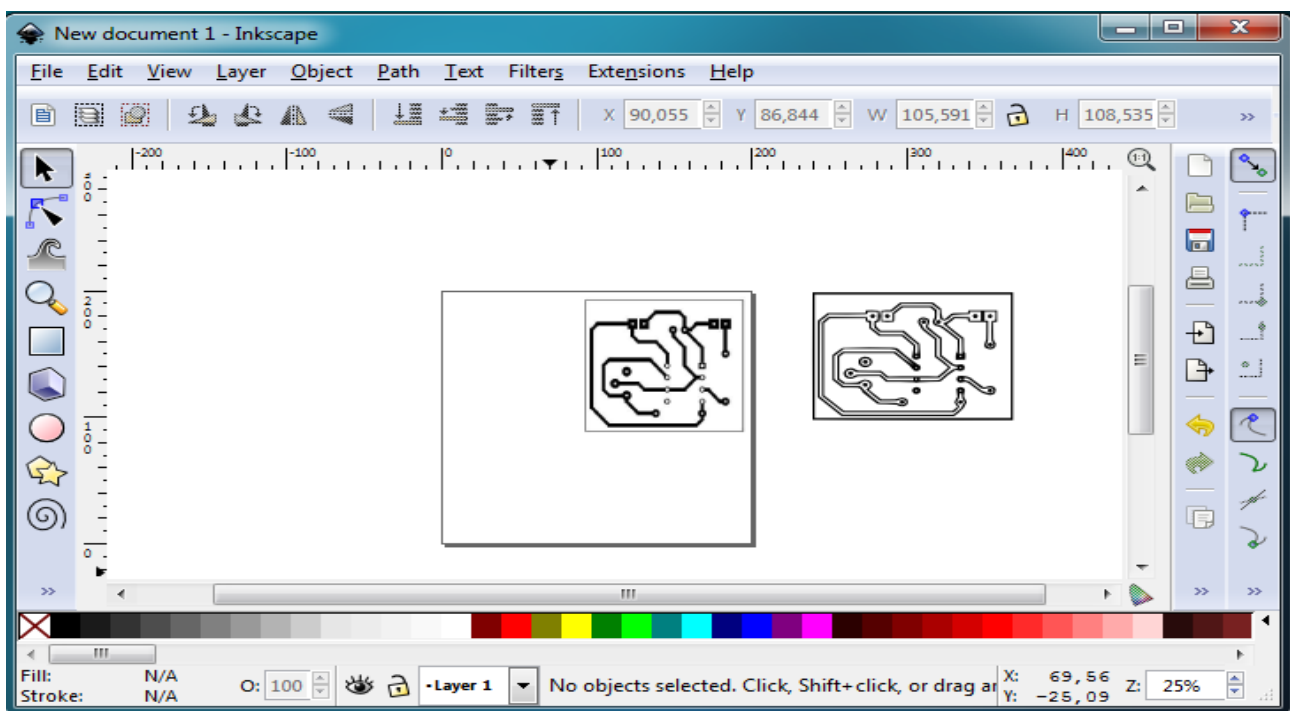


FIG. 3.19: Image bitmap

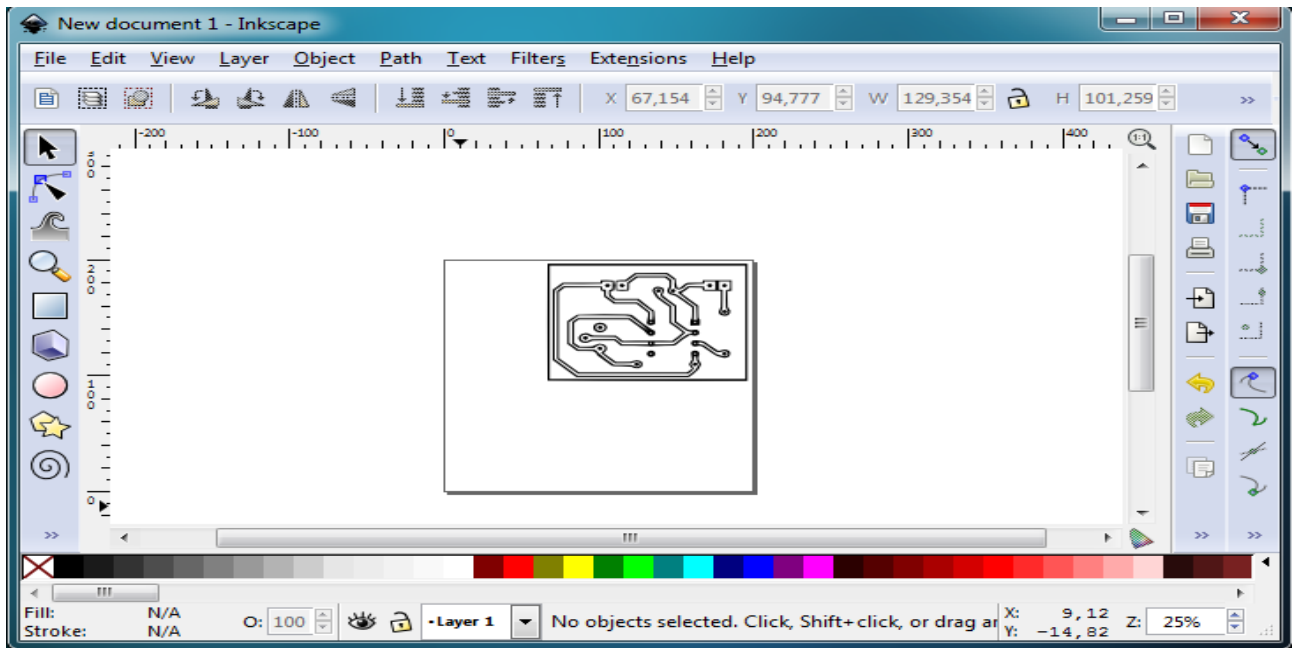


FIG. 3.20: Image bitmap

6. Select « Path>Object to Path>Dynamic Offset ».
7. Enregistrez votre image au format de fichier (.g-code).

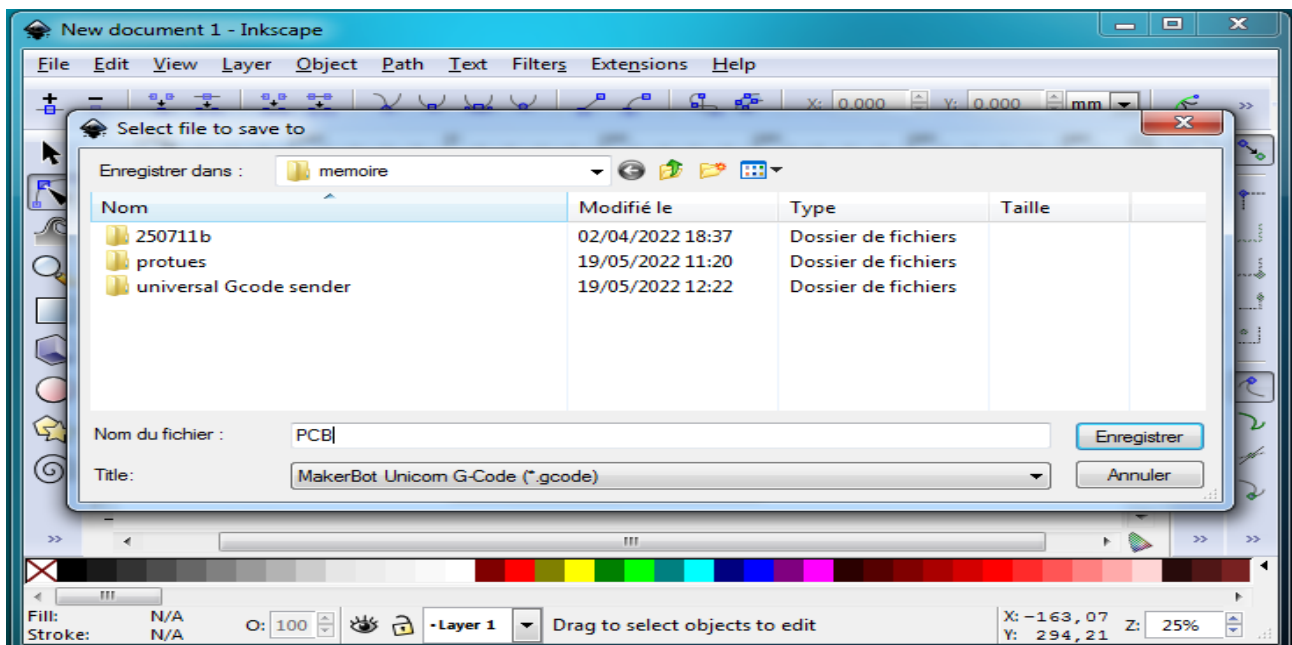


FIG. 3.21: Sauvgarde D'image

### 3.13 Configurer la broche série virtuelle

On utilise de n'importe quel pilote de port virtuel. Ouvre le logiciel « VSPE »

1. Sélectionnez la broche COM 1

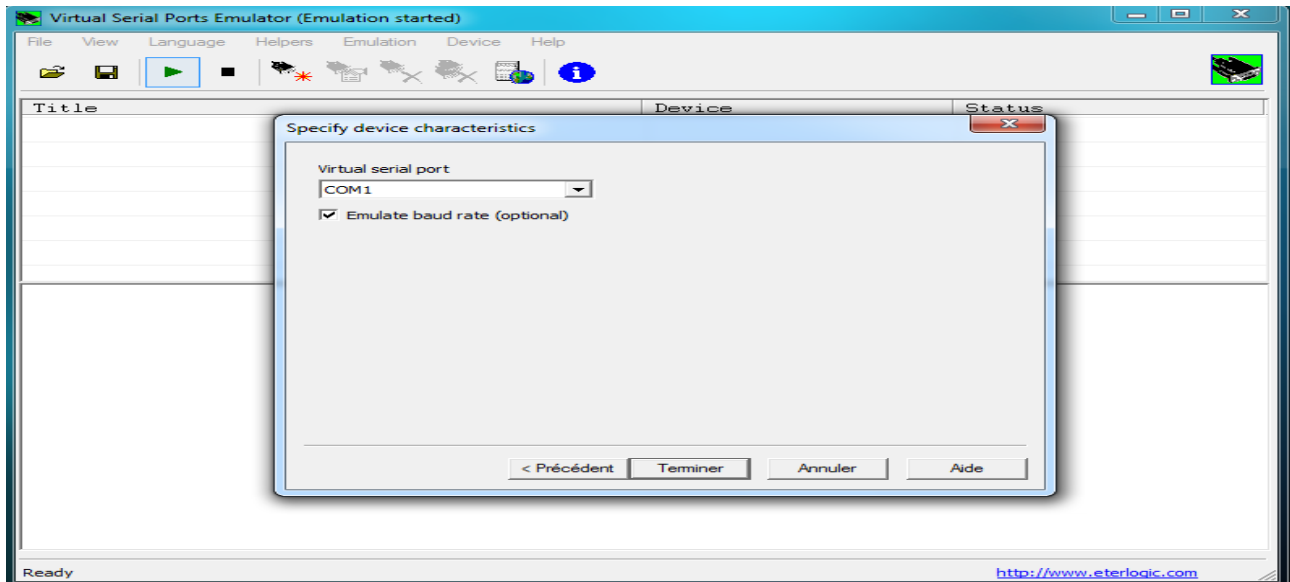


FIG. 3.22: la broche COM 1

2. Démarrer la broche COM1

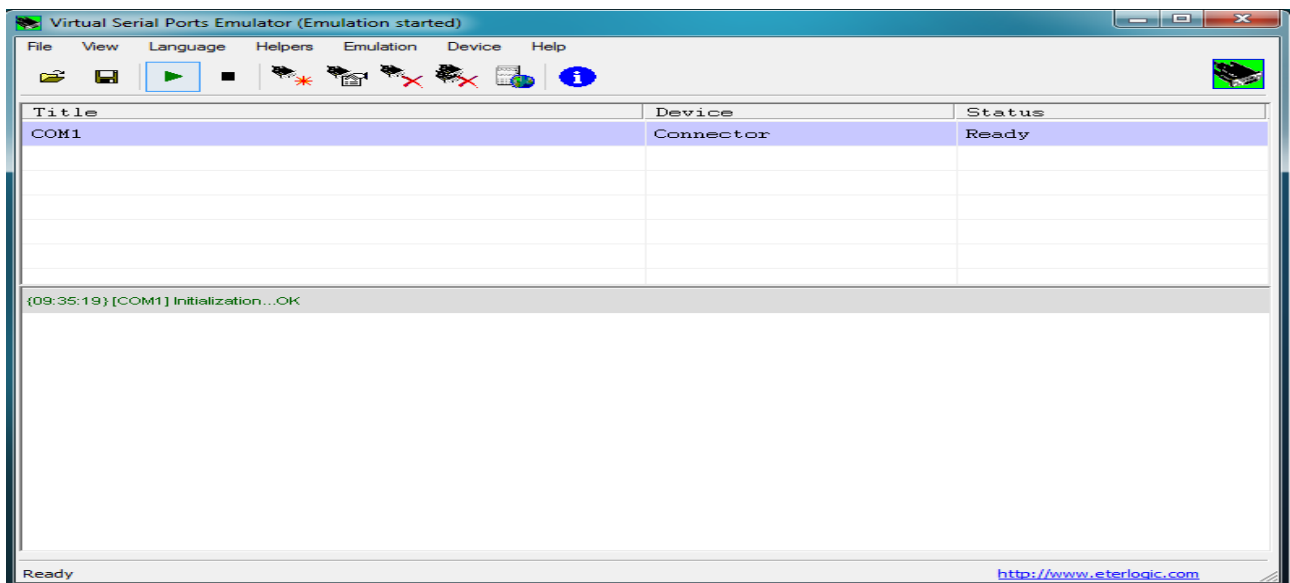


FIG. 3.23: Démarrage de la broche COM 1

### 3.14 Lancement de la Simulation

Au lancement de la simulation, on obtient les résultats suivants : Après l'importation du fichier g-code, préalablement créé, on appuie sur le bouton 'Envoi' pour lancer la fabrication automatique.

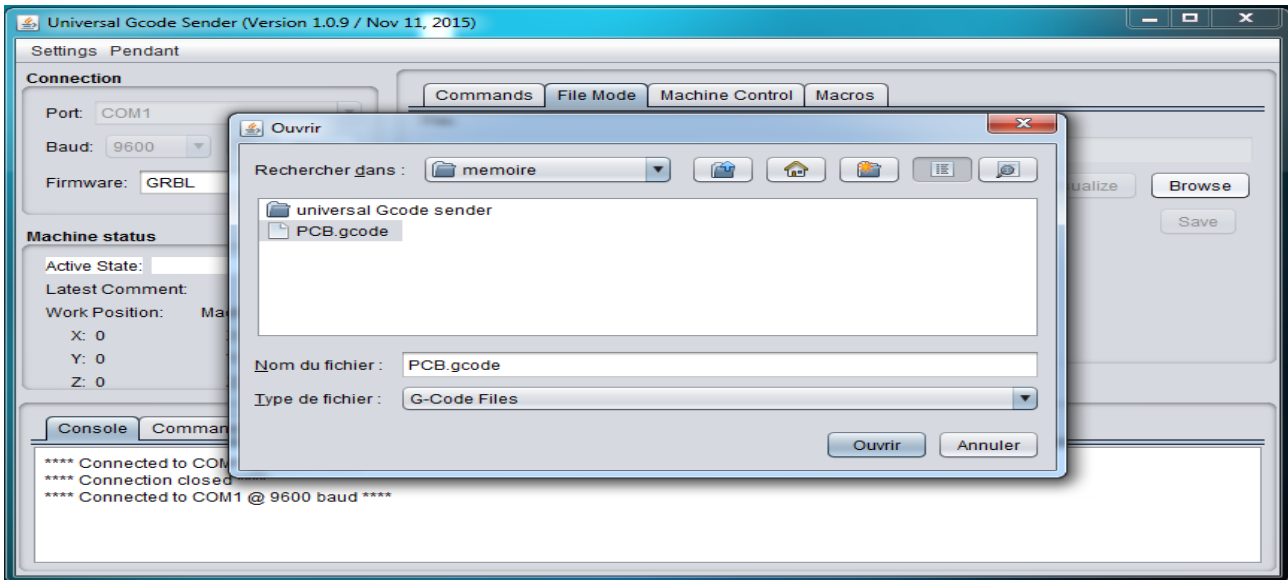


FIG. 3.24: lancement de la fabrication automatique

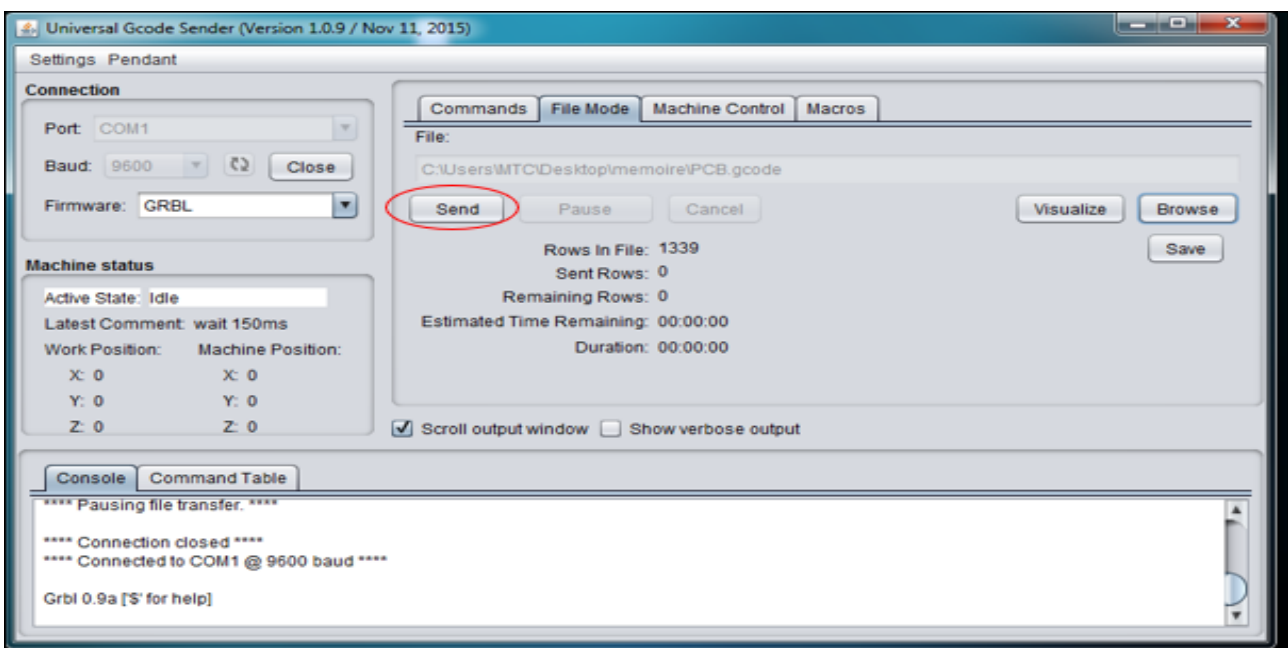


FIG. 3.25: lancement de la fabrication automatique

Démarrez la visualisation à l'expéditeur du code G afin que vous puissiez voir le processus.

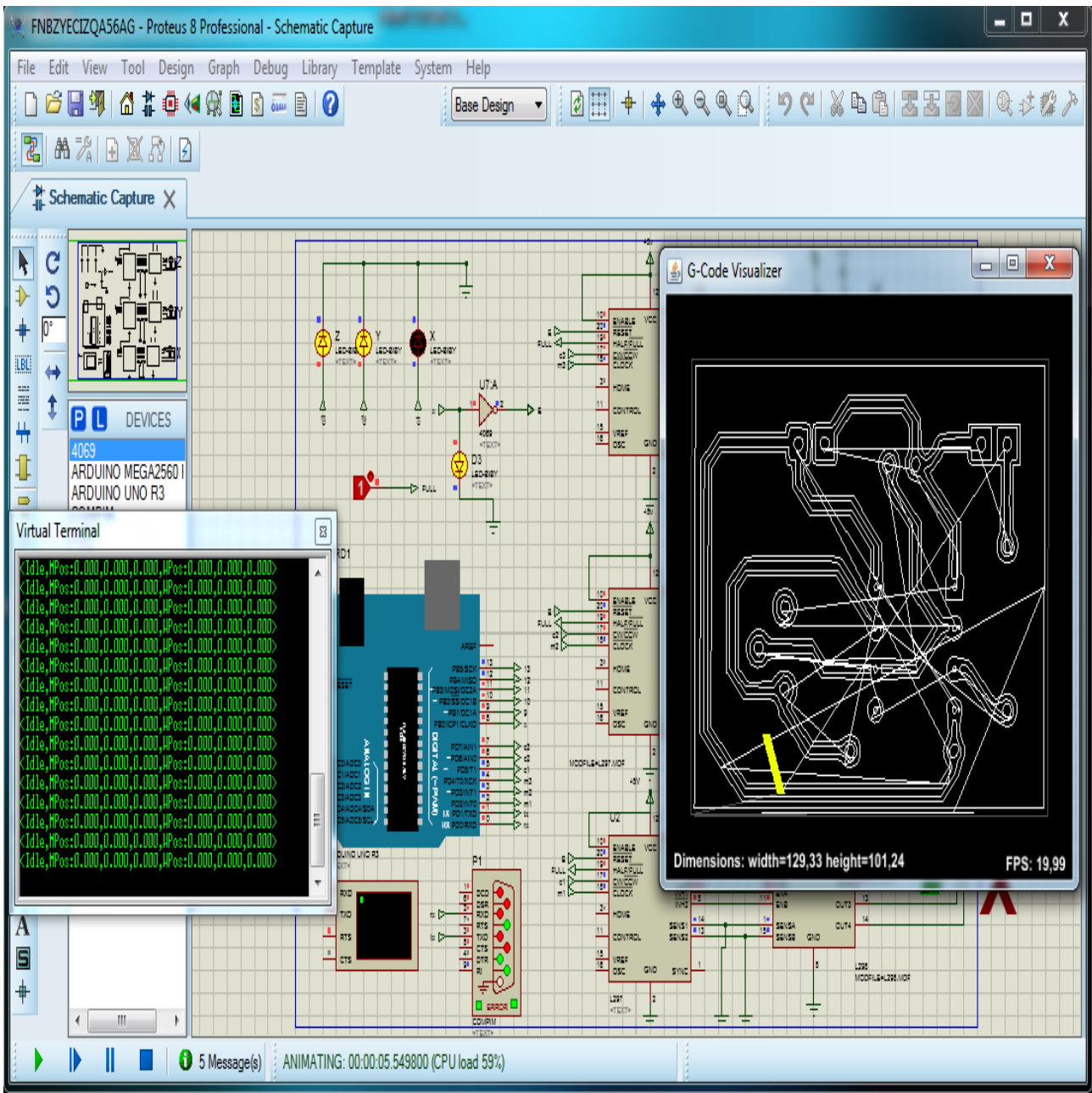


FIG. 3.26: Visualisation à l'expéditeur du code G

### 3.15 Conclusion

Ce chapitre est un examen général du logiciel de contrôle graphique et du logiciel de contrôle de machine CNC .La majorité des outils que nous avons inclus ont été créés à l' aide du logiciel inkscape , connu pour sa facilité d' utilisation et sa large gamme de fonctionnalités.La lecture d' une image pour le traçage et la génération de fichiers G-code sont les premières étapes de

cette section.Ensuite, nous choisissons l' expéditeur universel G-code sender pour transférer le fichier de code G vert la carte Arduino .

### 3.16 Conclusion général

Notre projet de fin d'étude consistait à concevoir et simuler une machine à commande numérique par ordinateur, pour commander les moteurs pas à pas responsable des mouvements axiaux de la machine et à commander le déplacement de la broche de la machine.

Dans la première partie, nous avons d'abord évoqué une idée générale sur les machines outils à commande numérique ainsi qu'un aperçu sur la conception et la fabrication assistée par ordinateur (CFAO).

Dans la deuxième partie, nous avons décrit le principe de fonctionnement de la machine ainsi que les principaux composants. Aussi nous avons vu les différents logiciels agissant sur la commande numérique des moteurs pas à pas de la machine. Dans la dernière partie, nous présentons les étapes à suivre pour la mise en marche de la machine et usinage d'une pièce

Le but initial de notre rapport de fin d'étude est la simulation de la machine, cette simulation présente le principe de marche de la machine de la CNC bien vrai que nous avons rencontré beaucoup de difficultés lors de l'élaboration du programme pour commander les moteurs et le déplacement.

L'élaboration de ce travail dans le cadre du projet de fin d'étude nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques acquises durant notre formation et d'acquérir une bonne expérience durant ces périodes.



# Le quatrième Chapitre

Annexe



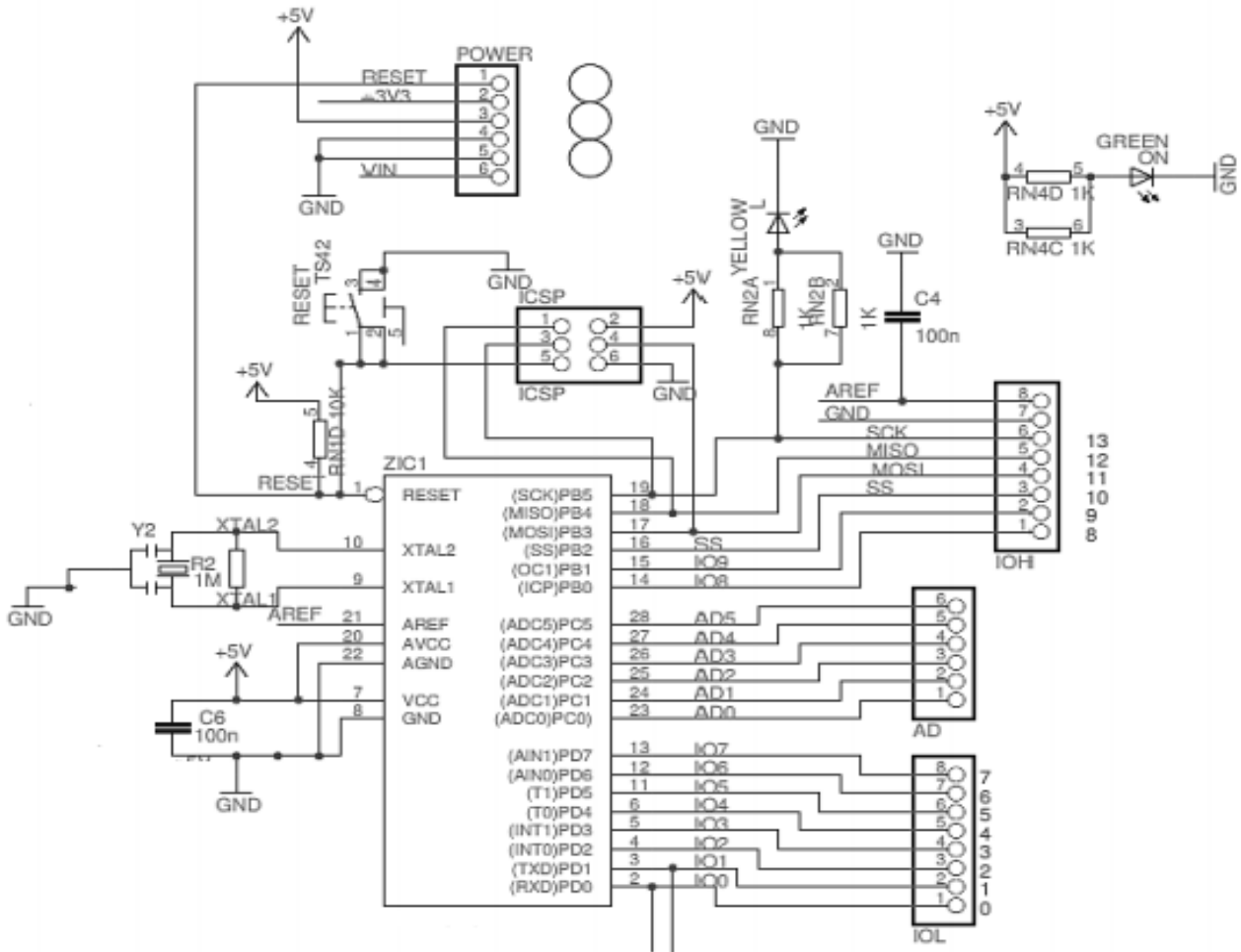


FIG. 4.1: Schéma simplifié de la carte Arduino UNO

Motor Model	Step angle	Current	Resistance	Inductance	Holding torque	Motor length	Total length	Encoder resolution
60HSE3N6	1.8°	5.0A	0.45±10%Ω	1.8±20% mH	3.0N.m	88mm	109mm	1000ppr

TAB. 4.1: parametres

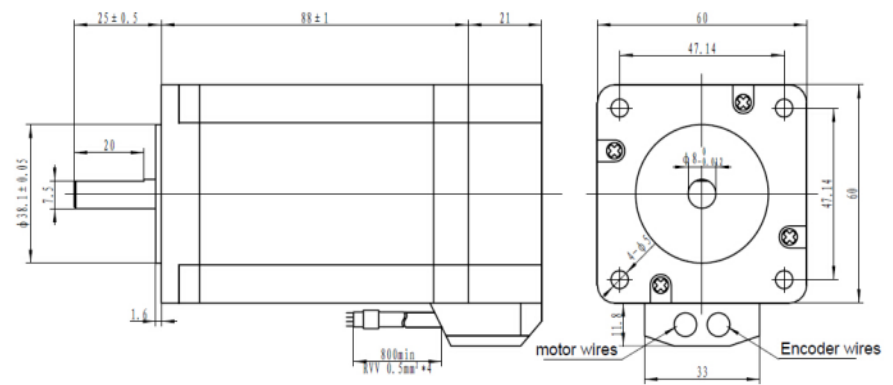


FIG. 4.2: Motor dimensions (mm)

Micorstep/rev	SW3	SW4	SW5	SW6
Default(400)	on	on	on	on
800	off	on	on	on
1600	on	off	on	on
3200	off	off	on	on
6400	on	on	off	on
12800	off	on	off	on
25600	on	off	off	on
51200	off	off	off	on
1000	on	on	on	off
2000	off	on	on	off
4000	on	off	on	off
5000	off	off	on	off
8000	on	on	off	off
10000	off	on	off	off
20000	on	off	off	off
40000	off	off	off	off

TAB. 4.2: Microstep selection

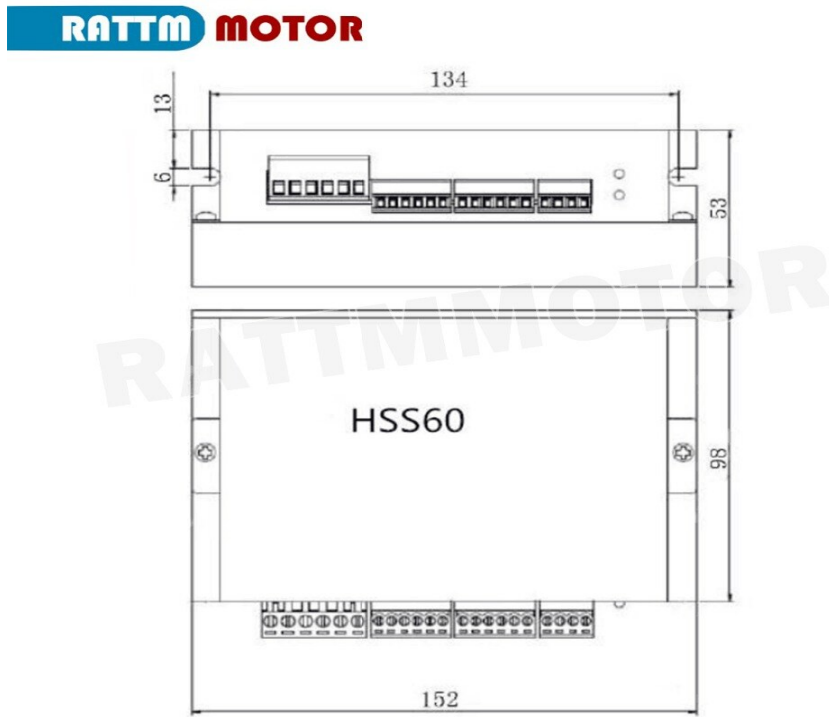


FIG. 4.3: Driver Dimension(mm)

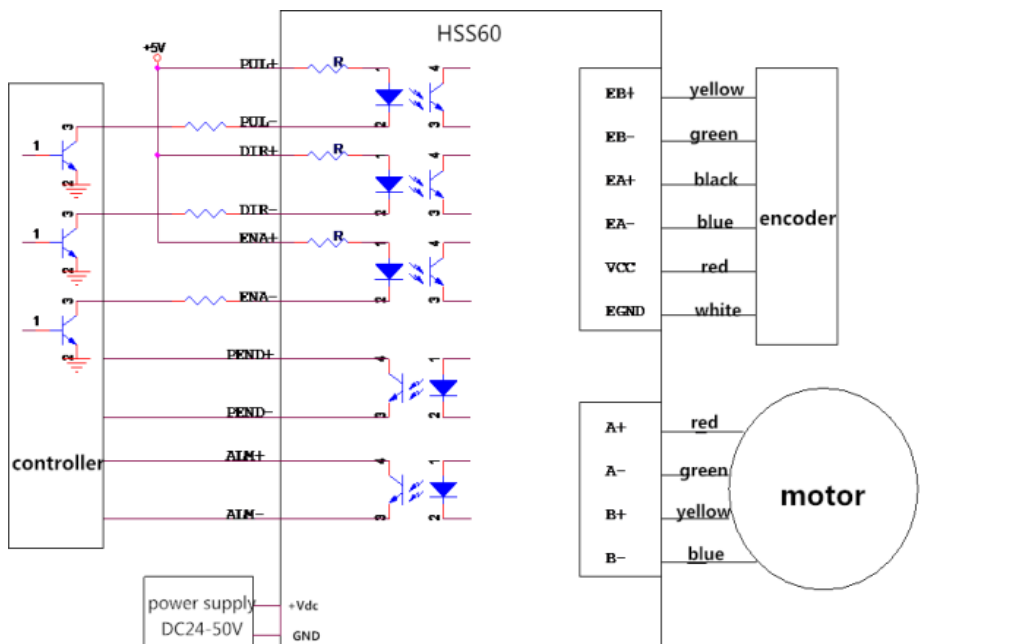


FIG. 4.4: wiring Diagram

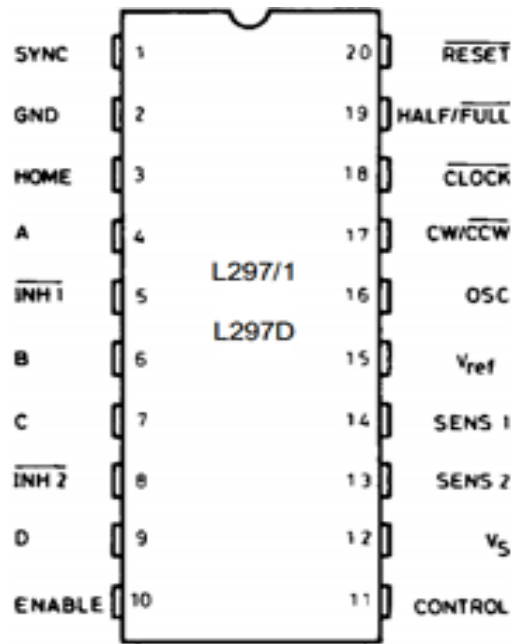


FIG. 4.5: L297 STEPPER MOTOR CONTROLLER

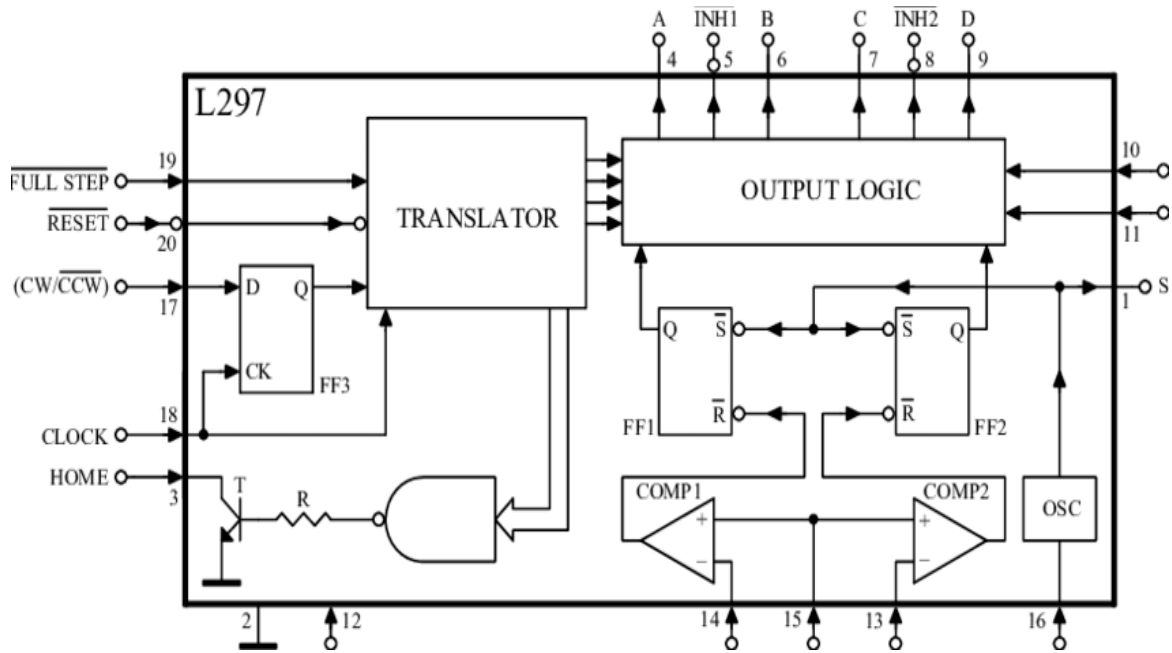


FIG. 4.6: Block Diagram(L297 /L297D)

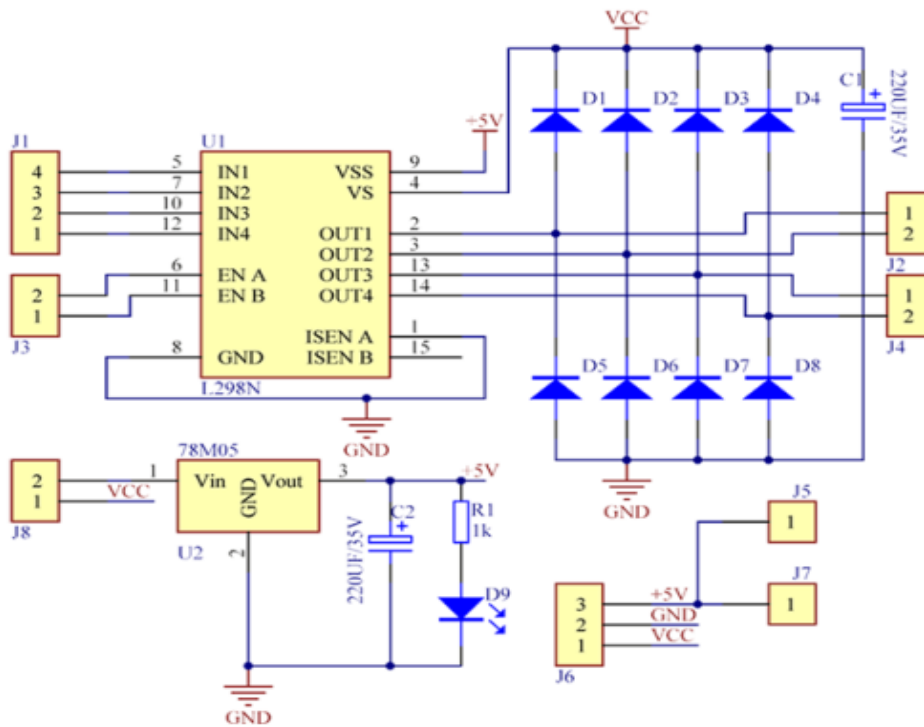


FIG. 4.7: L298 STEPPER MOTOR CONTROLLE 'Schematic Diagram'

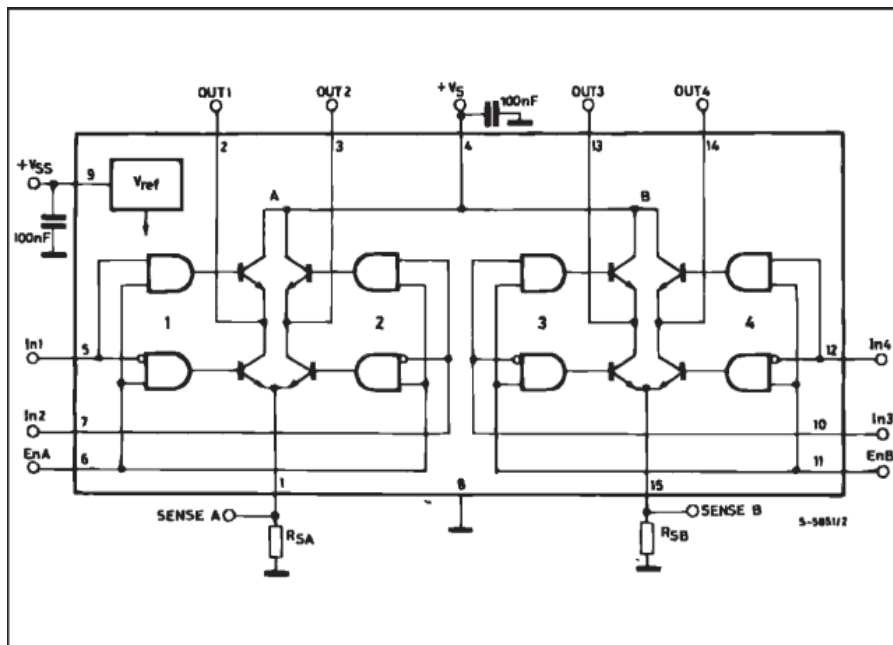
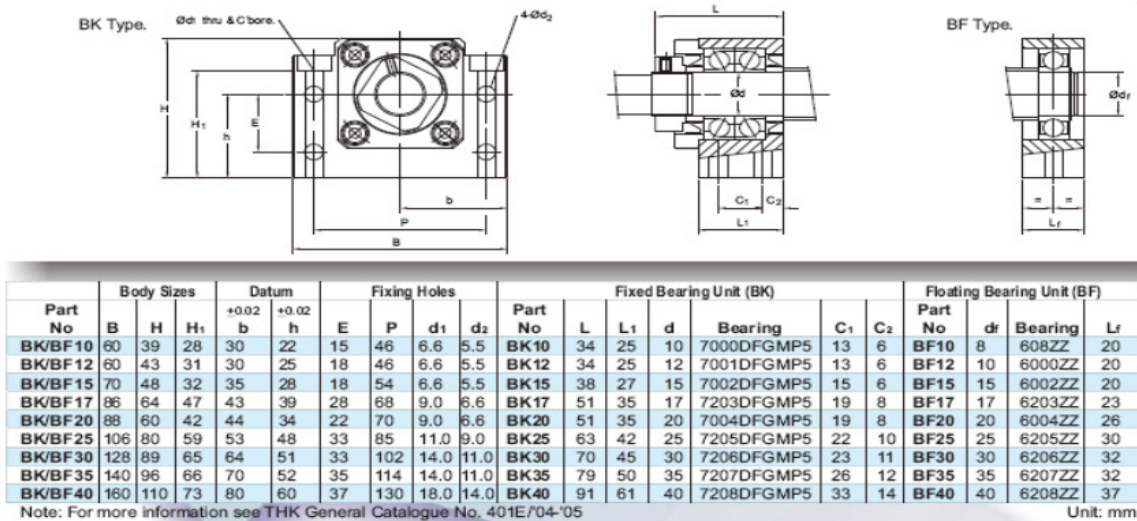
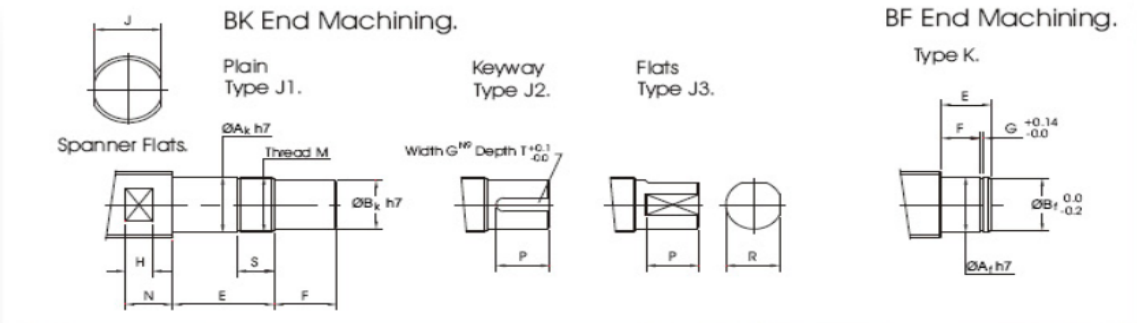


FIG. 4.8: Block Diagram



**END MACHINING FOR BK/BF**



Screw Outer Dia	Fixed	Dimensions J1										Keyway Type J2			Flats Type J3		Floating	K Dimensions				
		BK	Ak	Bk	E	F*	M	S	J	N	H	G	T	P	R	P		BF	Af	E	Bf	F
14	BK10	10	8	39	15	M10x1	16	10	12	7	2	1.2	11	7.5	11	BF10	8	10	7.6	7	0.9	
15	BK10	10	8	39	15	M10x1	16	10	12	7	2	1.2	11	7.5	11	BF10	8	10	7.6	7	0.9	
16	BK12	12	10	39	15	M12x1	14	13	14	8	3	1.8	12	9.5	12	BF12	10	11	9.6	8	1.15	
18	BK12	12	10	39	15	M12x1	14	13	14	8	3	1.8	12	9.5	12	BF12	10	11	9.6	8	1.15	
20	BK15	15	12	40	20	M15x1	12	16	15	9	4	2.5	16	11.3	16	BF15	15	13	14.3	9	1.15	
25	BK17	17	15	53	23	M17x1	17	18	17	10	5	3.0	21	14.3	21	BF17	17	16	16.2	12	1.15	
28	BK20	20	17	53	25	M20x1	15	21	19	11	5	3.0	21	16.0	21	BF20	20	16	19.0	12	1.35	
30	BK20	20	17	53	25	M20x1	15	24	20	12	5	3.0	21	16.0	21	BF20	20	16	19.0	12	1.35	
32	BK20	20	17	53	25	M20x1	15	27	22	13	5	3.0	21	16.0	21	BF20	20	16	19.0	12	1.35	
36	BK25	25	20	65	30	M25x1.5	18	27	23	13	6	3.5	25	19.0	25	BF25	25	20	23.9	15	1.35	
40	BK30	30	25	72	38	M30x1.5	25	32	25	15	8	4.0	32	23.5	32	BF30	30	21	28.6	16	1.75	
45	BK35	35	30	83	45	M35x1.5	28	36	27	15	8	4.0	40	28.5	40	BF35	35	22	33.0	17	1.75	
50	BK40	40	35	98	50	M40x1.5	35	41	33	19	10	5.0	45	33.0	45	BF40	40	23	38.0	18	1.95	
55	BK40	40	35	98	50	M40x1.5	35	46	34	20	10	5.0	45	33.0	45	BF40	40	23	38.0	18	1.95	

For BK units specify J1, J2 or J3 machining.  
\* Drive end length F may be customer specified to suit drive coupling. If not specified the length in the table will be used.

FIG. 4.9: BBK/BF Type Ball Screw and Supports(Palier)

# Bibliographie

- [1] Boulsane Mehdi, Mézâche Mohammed, Ghiti Mohamed Taher.2016. CNC machine à 2 axes. Mini projet, Université de constantine1, P.3-6.
- [2] Chanez Guerrouabi , Roza Ait Rahmane.2018. Etude et conception d'une machine CNC.(Découpeuse laser). Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou,3p.
- [3] Abdennadji Youssef, Ahmadi Anouar.juin 2010, Conception et réalisation d'une commande numérique d'une machine de découplaser , Ingénieur d'école nationale de Gabés.
- [4] D. Gelin, M. Vincent. Mars 1995. Éléments des fabrications, Edition marketing, paris.
- [5] Christopher, M. Design and Fabrication of a Low Cost 3-Axis Mini-Computer Numerical Control Milling Machine.
- [6] Smid, P. (2003). CNC programming handbook : a comprehensive guide to practical CNC programming. Industrial Press Inc..
- [7] De Lacalle, L. L., Lamikiz, A., Sanchez, J. A., & Salgado, M. A. (2007). Toolpath selection based on the minimum deflection cutting forces in the programming of complex surfaces milling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47(2), .388-400
- [8] Kudžma, I. (2017). Evaluation of blanks' quality formed by plasma cutting (Doctoral dissertation, Kaunotechnologijos universitetas). Control Milling Machine.
- [9] Kovács, A. (2016). Integrated task sequencing and path planning for robotic remote laser welding. *International Journal of Production Research*, 54(4), .1210-1224
- [10] Naboni, R., & Paoletti, I. (2015). Advanced customization in architectural design and construction. Cham : Springer International Publishing.

- 
- [11] Lewalski, A. (2012). Short Distance Telemetry for Piston Monitoring. Design and Development of Short Distance Telemetry for Engine Condition Monitoring (Doctoral dissertation, University of Bradford).
- [12] <https://fr.slideshare.net/chaymouna/met-s-23sy>.
- [13] <https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/sciences/les-mecanismes-de-transformation-du-mouvement-s1437>.
- [14] MOUZAOUI Melissa, TAZAMOUCHE Yanis. Réalisation et automatisation d'une machine à commande numérique. Mémoire de Master.. Université A. MIRA-BEJAIA ,42p.
- [15] WWW.HIWIN.Fr.
- [16] <https://www.cnclathing.com/guide/what-is-a-cnc-spindle-cnc-machine-tool-spindle-definition-types-and-uses-cnclathing>.
- [17] [http://ds.univoran2.dz:8443/bitstream/123456789/2895/1/Hamdou %20Halima.pdf](http://ds.univoran2.dz:8443/bitstream/123456789/2895/1/Hamdou%20Halima.pdf)).
- [18] <https://f.hubspotusercontent40.net/hubfs/4392290/mach3-manual.pdf>.
- [19] <http://www.ltncn.cn/static/upload/file/20180511/1525999428207575.pdf>.
- [20] <http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php> 05-05-2016 .
- [21] PDF /arduino. odtClasses de 2nde SI-CIT et de première SI.
- [22] Steve Krar, Arthur Gill, « Computer numerical control programming basics ».
- [23] Torjus Spilling « Self-Improving CNC Milling Machine »,master ,university oslo,2014.
- [24] <http://www.civade.com/post/2014/01/02/Arduino-et-GRBL-l-incontournable-solution>
- [25] <http://www.eterlogic.com/Products.VSPE.html>.
- [26] <https://inkscape.org/learn/faq/#what-inkscape>.

# Abstract

Numerical Control Machines are today considered as an important means of production in all the industries. They not only increase the production rate but they also allow us to easily obtain complex surfaces. That is why, it is necessary to provide specialized information technologies in the design, analysis, and manufacture of products (Computer-aided technologies). In our the is we aimed at providing some basic notion about CNC machines, stepper Motors as well as to present CAO/FAO. Our paper is divided into three parts, the first part deals with some generalities about the numerical control machines, where as the second part is about the operating principle of the DENZER-CNC machine as well as the different software that work on the numerical control. In the last part however, we present a simulation of the way the three stepper motors' are controlled on the ISIS PROTEUS software. Key words : Machine CNC, Numerical control, electronic, GRBL, G-code, Automatic, Stepper motors.

# Résumé

Les machines à commande numérique sont devenues des moyens de productions Incontournables dans l'industrie. Elles permettent des cadences de production importantes et facilitent l'obtention de surface complexe. Pour cela, il est nécessaire d'utiliser des systèmes d'aide informatique spécialisés pour la conception et la fabrication assistée par ordinateur. Dans notre travail, nous avons essayé de donner quelques notions fondamentales sur les machines à commande numérique, des moteurs pas à pas et une présentation de la CAO/FAO. Une autre partie est consacrée au principe de fonctionnement de la machine à commande numérique par ordinateur (CNC). Ainsi, que les différents logiciels agissant sur la commande numérique. Dans la dernière partie, nous présentons la simulation de la commande de trois moteurs pas à pas sur le logiciel ISIS PROTEUS. Mots clés : Machine CNC, commande numérique, automatisme, électronique, grbl, gcode, moteur pas à pas.

# ملخص

تعتبر آلات التحكم الرقمية اليوم وسيلة مهمة للإنتاج بشكل عام الصناعات. بحيث إنهم لا يزيدون من معدل الإنتاج فحسب ، بل يسمحون لنا أيضاً بسهولة الحصول على أسطح معقدة. لهذا السبب ، من الضروري تقديم معلومات متخصصة التقنيات في تصميم وتحليل وتصنيع المنتجات (بمساعدة تقنية الحاسوب). نهدف في مذكرتنا إلى تقديم بعض المفاهيم الأساسية حول آلات و المحركات وكذلك التعريف ب FAO/CAO مذكرتنا مقسمة إلى ثلاثة أجزاء، الجزء الأول يتناول بعض العموميات حول آلات التحكم العددي، بينما يتعلق الجزء الثاني بمبدأ التشغيل لآلتنا بالإضافة إلى مختلف البرامج التي تعمل على التحكم فيها أما في الجزء الأخير نقدم محاكاة عن طريقة التحكم في المحركات المتدرجة الثلاثة باستعمال برنامج ISIS . PROTEUS

