

Ordre :/F.S.S.A/UAMOB/2019

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA



Faculté des sciences et des sciences appliquées

Département : Génie Electrique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté par :

Boualem Abderouf

Abed Soufiane

En vue de l'obtention du diplôme de **master** en :

Filière : Electromécanique

Option : Electromécanique

Thème

Réalisation et commande d'une machine CNC

Devant le jury composé de :

Mr. BAHLOUL
Mr. HAROUNE
Mr. AIT ABBAS
Mr. MAAFA

MAA
MAB
MCB
MCB

Univ. de Bouira
Univ. de Bouira
Univ. de Bouira
Univ. de Bouira

Président
Co-Encadreur
Encadreur
Examinatrice

Année Universitaire : 2022/202

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions Dieu pour nous avoir donné le courage, la morale et la santé pour mener à terme ce projet.

Nous tenons à présenter nos vifs et sincères remerciements à Notre promoteur Mr. AIT ABBAS et Mr. HAROUNE pour son suivi, ainsi que sa disponibilité Tout au long de l'élaboration de ce modeste travail.

Nous présentons aussi nos vifs remerciements :

✚ A tous nos professeurs de la filière ELECTROMECHANIQUE.

✚ A tous les personnels de spécialiste

Nous tenons aussi à exprimer nos remerciements à tous ceux qui nous ont aidés de

Près ou de loin Durant l'élaboration de notre mémoire de fin d'étude.



DÉDICACE

Je dédier ce mémoire :

Je tiens à dédier ce mémoire :

A ma très chère Mère et à mon cher Père, en témoignage et en gratitude de leurs dévouement, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affectations sans limite.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance :

A mes chers Grands-parents. (Que Dieu les gardes pour moi)

A ma Chère Sœur MAROUA, mes deux chers Frères : YOUNES et FAYÇAL.

A toute ma famille.

A mon cher Ami et Co-binôme SOUFIANE pour tous les moments de joies et de peines qu'on a passé ensemble, A sa Famille aussi.

A mes Voisins et à mes Amis (es) surtout ceux qui ont supporté mes sauts d'humeur.

A ceux qui ont cru en moi,

A ceux qui croient en moi,

Et à ceux qui croiront toujours en moi.

A vous tous un grand merci.

Abderaouf

Table des matières

Dédicace	I
Remerciement	II
Table des matières	III
Table des figures	IV
Liste des symboles	V

Introduction générale	1
------------------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur la Fabrication par Commande numérique.

I-1-Introduction	3
I-2-Historique des machines à commande numérique	3
1-3-La commande numérique	4
I-4-Avantages et atouts de la Commande numérique	5
I-5-Structure générale d'une MOCN	6
I-5-1-Le Poste de control (Partie commande)	7
I-5-2-Le directeur de commande numérique (DCN)	7
I-5-3-La partie opérative.....	8
I-6-La chaine de conception numérique.....	8
I-6-1-La conception assistée par ordinateur CAO	9
I-6-2-La fabrication assistée par ordinateur FAO.....	10
I-6-3-Le Post-processeur	10
I-6-4-Programmation en code ISO ou code G.....	11
I-7-Les différents types de MOCN.....	11
I-8-Les machines-outils Fraiseuse.....	12
I-8-1-Principe de fonctionnement.....	12
I-8-2-Caractéristiques techniques d'une fraiseuse.....	12
I-8-3-Différents types de fraiseuses	12
I-9-Conclusion.....	14

Chapitre II : Etude de la construction d'une machine CNC a trois axes.

Table des matières

II-1-Introduction.....	15
II-2-Fraiseuse a commande numérique a trois axes	15
II-2-1-Machine Professionnelles	16
II-2-2-Machines Amateurs.....	17
II-3-Constitution d'une machine CNC à trois axes	17
II-3-1-Partir mécanique	17
II-3-1-1-Mécanisme à guidage linéaire.....	18
II-3-1-2-Système d'entraînement.....	19
II-3-1-3- Moteur d'entraînement	21
II-3-2-Partie électrique/ électronique.....	22
II-3-2-1-Interface Homme Machine IHM.....	23
II-3-2-2-Carte de commande et de pilotage des moteurs pas à pas.....	25
II-4-Conclusion	26
<i>Chapitre III : Conception et réalisation matérielle d'une Machine CNC.</i>	
III-1-Introduction	27
III-2-Description de la solution adoptée.....	27
III-3-Conception CAO de la machine à réaliser (Modélisation géométrique).....	27
III-4-Construction et réalisation de la partie mécanique	29
III-4-1-Le châssis	29
III-4-2-Les axes de travail	30
III-4-2-1-L'Axe X.....	30
III-4-2-2-L'AxeY.....	32
III-4-2-3-L'Axe Z	33
III-5-Parte électronique et électrique.....	33
III-5-1-Moteurs pas à pas.....	34
III-5-1-1-Types de moteurs pas à pas	34
III-5-1-2-Modes de fonctionnement d'un moteur pas à pas.....	35
III-5-2-Unité de commande Arduino.....	38
III-5-2-1-Carte Arduino	38
III-5-2-2-Carte Arduino UNO.....	38
III-5-2-3-Carte d'adaptation CNC Shield	39
III-5-2-4-Drivers des moteurs pas à pas.....	40
III-5-3-Capteurs de fins de courses	41

Table des matières

III-5-4-Bouton d'arrêt d'urgence	42
III-5-4-Alimentation électrique	43
III-5-5-Broche de fraisage FAR-TOOLS DC 170 115424.....	43
III-5-6-Montage du circuit et finalisation du boîtier de la commande	44
III-6-Conclusion	48
<i>Chapitre IV : Description logicielle et exemple d'application</i>	
IV-1-Introduction	49
IV-2-Environnement Logiciel De La Machine CNC	49
IV-2-1-La conception 3D/2D (La Modélisation 3D)	50
IV-2-1-1-CorelDRAW	50
IV-2-2-Elaboration des parcours-outils	51
IV-2-2-1-ArtCAM.....	51
IV-2-3-Langue de contrôleurs numériques « Gcode »	52
IV-2-3-1-Structure d'un programme	52
IV-2-4-Interprétation du Gcode et transformation en mouvement sur la machine	53
IV-2-4-1-Description du micrologiciel GRBL	53
IV-2-4-2-Logiciel de pilotage de la machine CNC (d'Universal Gcode Sender).....	54
IV-3-CAS PRATIQUE : Conception et réalisation du logo de l'université	56
IV-3-1-Préparation de design 2D du logo	56
IV-3-2-Vectorisation de l'image	57
IV-3-4-Préparation et envoi du fichier G code	62
IV-4-Conclusion.....	63
Conclusion générale	64
Bibliographie	

Table des figures

Figures 1.1 Première machine-outil à commande numérique	04
Figures 1.2 Machines à commande numérique	05
Figures 1.3 Structure d'une MOCN	07
Figures 1.4 Schéma synoptique de la chaîne numérique.....	08
Figures 1.5 La chaîne numérique dans les industries de la mécanique	09
Figures 1.6 Les différents types de MOCN.....	11
Figures 1.7 Fraiseuse horizontale	13
Figures 1.8 Fraiseuse verticale	14
Figures 2.1 Fraiseuse numérique trois axes.....	15
Figures 2.2 Ce qui est possible de faire avec une fraiseuse trois axes.....	16
Figures 2.3 Fraiseuses Numériques trois axes Professionnelles	16
Figures 2.4 Fraiseuses Numériques à trois axes Amateurs	17
Figures 2.5 Différents types de guides linéaires.....	18
Figures 2.6 Coulisses à billes télescopiques.....	18
Figures 2.7 Palier lisse.....	19
Figures 2.8 Guide avec roues de guidage.....	19
Figures 2.9 Système d'entraînement à câble, à courroie crantée, à vis ordinaire.....	20
Figures 2.10 Système d'entraînement à vis à bille, à pignon et crémaillère	20
Figures 2.11 Moteur pas à pas, Moteur à courant continu,	22
Figures 2.12 Schéma synoptique représente le circuit électrique.....	22
Figures 2.13 Unité de commande par ordinateur et par pupitre de contrôle externe	23
Figures 2.14 Connecteur RS232et câblage d'une communication série	23
Figures 2.15 Connecteur RS232et câblage d'une communication parallèle.....	24
Figures 2.16 Connecteur USB.....	24
Figures 2.17 Quelques exemples de carte de commande disponible	25
Figures 3.1 Schéma synoptique de la solution à réaliser.....	27
Figures 3.2 Vues en 3d de la conception proposée	28
Figures 3.3 Vue éclatée de la machine à réaliser.....	29

Table des figures

Figures 3.4 Vue éclatée du châssis	30
Figures 3.5 Montage d'un pair roulements reliés et fixés par un boulon	31
Figures 3.6 Différentes vues du system de guidage	31
Figures 3.7 La tige filetée et les roulements à billes montés sur les paliers.....	32
Figures 3.8 Vues en 3d de chariot mobile et l'axe Y	32
Figures 3.9 Vues en 3d de l'axe Z.....	33
Figures 3.10 Vue éclatée de l'axe Z.....	33
Figures 3.11 Le diagramme d'un moteur pas à pas.....	34
Figures 3.12 Moteur pas à pas Bipolaire.....	35
Figures 3.13 Moteur pas à pas Unipolaire.....	35
Figures 3.14 Les moteurs utilisés pour notre machine	37
Figures 3.15 Accouplements souples	38
Figures 3.16 La Carte ARDUINO UNO et sa constitution.....	39
Figures 3.17 CNC schiled V.3.....	40
Figures 3.18 Driver DRV8825 avec ses pins de branchement.....	40
Figures 3.19 Capteurs de fins de courses	41
Figures 3.20 Les emplacements des fins de course axe-X, Machine, vant et arrière.....	42
Figures 3.21 les emplacements des fins de course axe-Y, Machine, droite et gauche.....	42
Figures 3.22 l'emplacements de fins de course, unique au chariot d'axe Y	42
Figures 3.23 Bouton d'arrêt d'urgence.....	43
Figures 3.24 Alimentation électrique 12V/10A	43
Figures 3.25 La broche de fraisage FAR-TOOLS DC 170 115424.....	44
Figures 3.26 Circuit électronique	44
Figures 3.27 La disposition des pins de connexion des ports RS-232	45
Figures 3.28 Conception du boitier de Commande.....	45
Figures 3.29 Boitier réalisé par une machine CNC professionnelle	46
Figures 3.30 Face avant du boitier	46
Figures 3.31 Face arrière du boitier.....	47
Figures 3.32 Deux ventilateurs d'aérations.....	47
Figures 4.1 Schéma synoptique Environnement Logiciel De La Machine CNC.....	49
Figures 4.2 Interface de coreIDRAW	50
Figures 4.3 Interface ARTCAM.....	51
Figures 4.4 Structure d'un bloc de programme d'usinage	52
Figures 4.5 Interface Xloader.....	54

Table des figures

Figures 4.6 L'interface de UGS (Universal G-code Sender)	55
Figures 4.7 L'interface de UGS (Universal G-code Sender). On mode manuel.....	55
Figures 4.8 L'interface de UGS (Universal G-code Sender) On mode automatique.....	56
Figures 4.9 Photo du logo de l'université de Bouira	56
Figures 4.10 Importation d'image sur corelDRAW	57
Figures 4.11 Paramètre de vectorisation d'image sur corelDRAW	58
Figures 4.12 Résultat de La vectorisation	58
Figures 4.13 Résultat obtenu après traitement	59
Figures 4.14 Importation d'image sur corelDRAW	60
Figures 4.15 Choix de l'outil de coupe	60
Figures 4.16 Fenêtre des paramètres CN.....	61
Figures 4.17 Les résultats globaux concernant les parcours d'outil.....	61
Figures 4.18 Configurer et télé verser le programme GRBL	62
Figures 4.19 Initialisation des axes au point zéro.....	62
Figures 4.20 Importer le fichier G-code de la pièce à usiner dans l'interface de command .	63
Figures 4.21 Envoi du fichier G-code	63

Liste des symboles

CNC : Computer numerical control
CN : Commande numérique
MOCN : Machine-outil à commande numérique
MIT: Massachusetts institute of technology
US : Unated stait Cim
PC : Partie commande
PO : Partie opérative
DCN : Directeur de command numérique
CAO : Conception assistée par ordinateur
FAO : Fabrication assistée par ordinateur
CFAO : Consaption et fabrication assistée par ordinateur
CL : Cutter location
IGES : Initial Graphics Exchange Spécification
STEP: Standard pour l'échange de données de produit (Standard for the Exchange of Product model data en anglais)
CAM: computer assisted manufacturing
ISO: Organisation Internationale de normalisation (International Organization for Standardization)
mm: Millimetre
W: Watt
2D : Deux dimensions
3D : Trois dimensions
IHM : Interface homme machine
USB: Universel serial bus
V: Volte
MHz: Mega hertz
KB: Kilo bits
DC : Direct courant
AC : Alternative courant
DFN : Définition de formes numérisée
USG: Universal G-code sender
DXF: Drawing eXchange Format

Introduction générale

Au cours des derniers siècles, le travail traditionnel et l'artisanat ont cédé leurs places sous l'impulsion des révolutions industrielles, au profit de la production de masse : qualitative et reproductible.

De nos jours, l'homme a rattrapé l'évolution naturelle et prend conscience de ses propres limites en termes de précision d'exécution, et avec développement technologique actuel, la machine devient un prolongement de notre corps pour le suppléer dans ses activités.

A l'heure actuelle, les machines-outils à commande numérique (MOCN) permettent des réponses aux exigences de productivité modernes, vu le contrôle et la maîtrise des coûts qui restent une préoccupation importante. Le facteur de la qualité des pièces obtenues en termes de précision et qualité et un autre atout de ces machines.

La MOCN et son évolution actuelle représentent aujourd'hui le moyen de production le plus important dans la mise en forme des pièces mécaniques. La commande des machines à commande numérique 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.

Une machine 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, graver, etc.) nécessitant des gestes précis et répétitifs, sur des matériaux divers. Dans le cas d'une CNC, ces opérations seront donc commandées par un ordinateur ou un dispositif numérique.

Dans le cadre de finalisation de notre cursus de Master en Electromécanique, notre projet fin d'étude porte sur la conception, réalisation, et commande une Machine à commande numérique a trois axes.

Notre machine à réaliser est basé sur une carte de commande électronique à savoir une carte Arduino, qui permet de contrôler les mouvements des trois axes de la machine. Ces axes sont actionnés par des moteurs de type pas à pas facile à commander et assure une précision accrue. La structure mécanique de la machine sera conçue et réalisée selon les moyens disponibles.

Dans le but de présenter les principes de la commande numérique ainsi que les phases de réalisation de notre machine CNC, ce manuscrit se devise en quatre chapitres structurés comme suite :

Le Premier Chapitre s'intéresse à l'étude d'une façon générale des machines à commande numérique, ses différents types et ces différents constituants. Dans ce chapitre on présentera aussi brièvement la chaîne de conception numériques.

Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude et la description matérielle de la construction et les différentes technologies disponibles, ainsi que le principe de fonctionnement d'une machine à commande numérique a trois axes [1].

Le troisième représentera l'essentiel de notre travail, à savoir la conception et la réalisation de notre propre machine CNC. Dans ce chapitre nous allons présenter une description détaillée de la solution adoptée, ainsi que la conception de chaque partie de la machine en termes de structure et éléments qui constituent les différentes unités de notre projet.

Le quatrième et dernier chapitre porte sur la programmation et la configuration de la carte de commande, ainsi que les différentes étapes et outils informatiques utilisées pour réaliser un produit sur une fraiseuse numérique.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion sur le déroulement et les résultats du projet. Et enfin, des perspectives sont proposées sur l'amélioration et l'exploitation de la machine CNC que nous avons développé.

I-1-Introduction

Les machines à outil à commande numérique sont devenues des moyens de production incontournables dans l'industrie. Elles permettent des cadences de production importantes et facilitent l'obtention des pièces et des formes complexes.

Dans ce chapitre on s'intéresse à l'étude d'une façon générale des machines à commande numérique, ses différents types et ces différents constituants. Nous allons ensuite faire une brève présentation de la chaîne de conception numériques.

I-2-Historique des machines à commande numérique

Les travaux menés par *Falcon* et *Jacquard* à la fin du XVIII^e siècle ont montré qu'il était possible de commander les mouvements d'une machine à partir d'informations transmises par un carton perforé.

Leur métier à tisser de 1805 fut le premier équipement à être doté de cette technique et, de ce point de vue, il peut être considéré comme l'ancêtre de la commande numérique. Il faut cependant rattacher l'exploitation industrielle de la CN au développement de l'électronique. En 1945, *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 forme encore plus complexes pour ses futurs avions supersoniques, celui-ci réalise que sa méthode est trop approximative et que seul un usinage continu en trois 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 trois axes, est officiellement présentée en septembre 1952 dans le *servo mechanisms laboratory* du *MIT*.

L'information mathématique étant la base du concept, on lui donne le nom de numerical control. Il aurait pu tout aussi bien s'appeler commande symbolique ! 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 MOCN réellement opérationnelle.

Les différentes étapes de développement de la commande numérique sont les suivantes :

- 1954 : **Bendix** acquiert le brevet de Parsons et fabrique la première CN industrielle.
- 1955 : le constructeur américain **Giddins & Lewis** commercialise la première MOCN voir la figure 1.1
- 1959 : apparition de la CN en Europe (foire de Hanovre).
- 1964 : en France, la télémécanique électrique lance la CN NUM 100 conçue à base de relais *téléstatic*.
- 1968 : la CN adopte les circuits intégrés ; elle devient plus compacte et plus puissante.
- 1972 : les mini calculateurs remplacent les logiques câblées ;
- 1976 : développement des CN à microprocesseurs.
- 1984 : apparition de fonctions graphiques évoluées et du mode de programmation conversationnel.
- 1986 : les CN s'intègrent dans les réseaux de communication début de l'ère de la fabrication flexible (CIM).
- 1990 : développement des CN à microprocesseurs 32 bits.

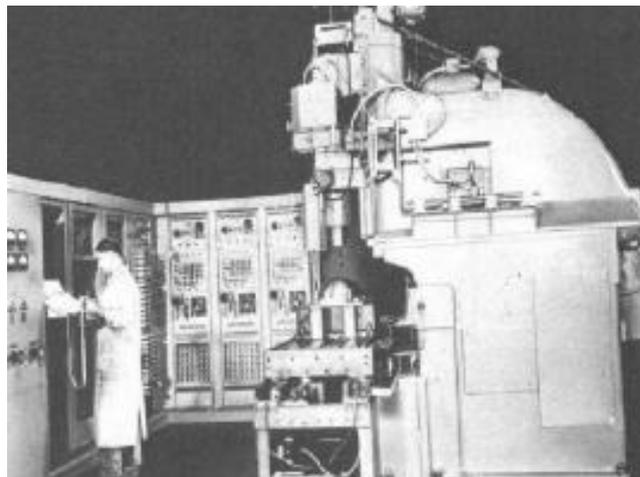


Figure 1.1 : Première machine-outil à commande numérique[3].

1-3-La commande numérique

« Le terme Numérique signifie une information qui se présente sous forme de nombres associés à une indication de la grandeur ». Les ordinateurs ont évolué à partir de machines

à calculer programmables. Ils traitent par l'arithmétique et la logique des données dans laquelle la part des nombres représentant des grandeurs n'a cessé de décroître.

Une machine-outil à commande numérique (MOCN, ou simplement CN) est une machine-outil dotée d'une commande numérique. Lorsque la commande numérique est assurée par un ordinateur, on parle parfois de machine CNC pour Computer Numerical Control, ce que veut dire « commande numérique par ordinateur » en français.

La commande numérique automatise le fonctionnement d'une machine-outil, ou d'une machine spéciale. Dans laquelle les ordres de mouvement ou de déplacement, la vitesse de ces déplacements et leur précision, sont donnés à partir d'informations numériques pour commande et contrôle les axes de l'outil, de la table ou du mandrin supportant la pièce. Ces informations sont codées sur des supports tels que : des rubans perforés, des cassettes ou disquettes magnétiques ou simplement sauvegardés en « mémoire » dans le cas des dernières générations de commandes numériques à ordinateur intégré (CNC) [2][3].

Une MOCN est donc en mesure de produire de manière autonome tout type de pièce, avec une souplesse totale, et sans aucune assistance humaine. Ce qui n'est pas le cas avec la même machine conventionnelle qui exige souvent un opérateur par machine, un chargement/déchargement manuel et ne permet pas de travailler en multiaxes continus.



Figure 1. 2 : Machines à commande numérique.

I-4-Avantages et atouts de la Commande numérique

Une commande numérique permet de réaliser des usinages inaccessibles aux machines traditionnelles avec une grande souplesse d'utilisation et des temps de réglage très courts qui répondent parfaitement aux impératifs de la production. Un seul opérateur peut gérer plusieurs

machines. Il est possible d'automatiser complètement le fonctionnement d'une unité de production. La capacité de programmer et d'appeler n'importe quel programme de pièce à tout moment permet aussi de passer rapidement d'une fabrication à une autre, Il est également possible de réaliser un seul programme pour différentes machines en tenant compte du décalage des origines de la pièce, dans ce cas, c'est la CN qui recalcule automatiquement ses trajectoires d'outils à partir de ces coordonnées [2].

En plus des atouts cités en haut, la MOCN se caractérise encore par un certain nombre non négligeable avantages [2] :

- Multiples possibilités d'usinage : Une commande numérique permet de réaliser des usinages inaccessibles aux machines traditionnelles (Balayage sur trois axes, Possibilité de réaliser des pièces complexes en gérant des déplacements simultanés sur plusieurs axes ; Usinage grande vitesse) ;
- Réduction des coûts de fabrication, Réduction des outillages et suppression des gabarits;
- Diminution du nombre d'outils spéciaux et des outils de forme ;
- Réduction des temps de préparation et de réglage du poste de travail (la plupart des réglages, en particulier des outils, étant effectués hors machine) ;
- Prise en compte rapide des modifications d'usinage (il est plus facile de modifier une ligne de programme qu'un outillage spécial ou un gabarit) ;
- Définition plus rapide et plus fiable des conditions optimales d'usinage ;
- Réduction du nombre de prises de pièces du fait de l'universalité de la machine ;

I-5-Structure générale d'une MOCN

Une machine-outil à commande numérique (Figure I.3) est composée de deux parties complémentaires : une partie commande (notée PC) : les différentes opérations, constituant la tâche d'usinage, sont gérées par l'intermédiaire d'un DCN (direct numerical control (directeur de commande numérique)).

Et d'une partie opérative (notée PO) comprenant la structure de la machine-outil, le porte-outil, l'outil et le porte-pièce ; la matière d'œuvre est la pièce.

La partie commande permet de piloter la partie opérative. Les ordres sont générés et envoyés vers la commande sous forme d'un code machine ou par action manuelle de l'opérateur. La commande va traiter ces informations et générer des consignes afin d'obtenir

les déplacements voulus par un élément électronique (cartes d'axes) capables de piloter les moteurs. La position des mobiles est détectée par un capteur de position, et leur vitesse est mesurée en permanence [2,4].

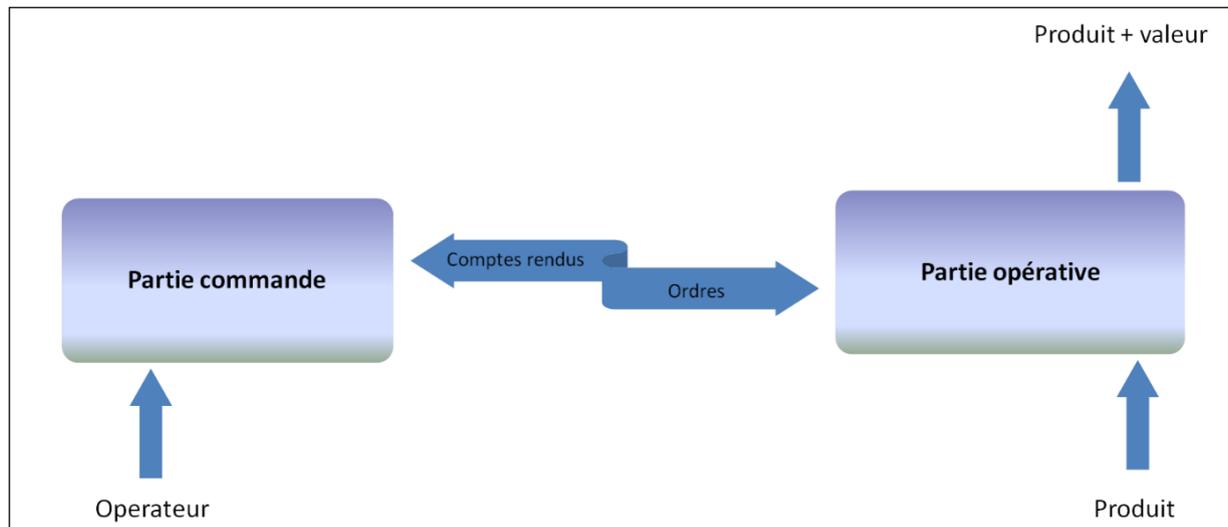


Figure 1. 3 : Structure d'une MOCN.

I-5-1-Le Poste de control (Partie commande)

La partie commande d'un automatisme est le sous-ensemble qui effectue les opérations de calcul et transmet les ordres à la partie opérative. Elle est généralement composée de microcontrôleurs et microprocesseurs, la partie commande reçoit les informations de la partie opérative, les traite et les renvoie [5].

I-5-2-Le directeur de commande numérique (DCN)

Le directeur de commande numérique est une machine informatique (associé au pupitre) permet de piloter la machine-outil. Il décode le programme, calcule les déplacements à effectuer et délivre les ordres aux cartes d'axe. Assurant principalement deux fonctions

- L'entrée des informations : Entrée du programme (manuelle au clavier ou par disquette, par liaison câblée avec ordinateur externe), analyse du programme (lecture, interprétation, contrôle syntaxe)
- Les fonctions de commande : Elaboration des valeurs de consigne (ordres) de types : informations numériques (déplacement, vitesse d'avance...), informations « tout ou rien » automatismes divers (arrosage, rotation broche...).

A partir d'un programme préalablement établi, le DCN fournit des ordres (tension électrique, suite d'impulsions...) aux commandes des moteurs d'axes et de broche[9].

I-5-3-La partie opérative

La partie opérative (notée PO) comprend principalement un ou plusieurs mobiles, appelés tables ou chariots, liés au bâti ou entre eux par des liaisons glissières ou pivots. La position des mobiles est détectée par un capteur de position, et leur vitesse est mesurée en permanence. La partie opérative comporte :

- Les axes de déplacements,
- Le système porte pièce,
- Le système porte outil.

I-6-La chaîne de conception numérique

La chaîne de conception numérique réunit l'ensemble des étapes d'usinage d'un produit, allant de l'idée à la production et la qualification, La suite des outils numériques au sein de cette chaîne peut être représentée suivant le modèle courant représenté sur la Figure 1.4.



Figure 1. 4 : Schéma synoptique de la chaîne numérique

En reprenant l'ordre de description de ce modèle, nous avons tout d'abord l'étape de conception, qui à l'aide de logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) permet de modéliser la maquette numérique du produit à fabriquer. Cette maquette est ensuite utilisée pour construire les parcours de fabrication et définir les paramètres opératoires à l'aide d'un logiciel de Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO). Ce logiciel peut lire le fichier de définition de la maquette CAO après conversion d'un format natif (propre au logiciel de CAO) ou standard (IGES, SET, STEP...) dans un format adapté. Le logiciel FAO envoie ensuite un fichier de localisations des points de passage de l'outil CL (Cutter Location) à un post- processeur. Celui-ci, traduit le fichier CL dans le langage de programmation de la majorité des machines-outils qui est le code G (ISO 6983). Ce fichier est alors interprétable par la commande numérique qui pilote les mouvements des axes de la machine [9].

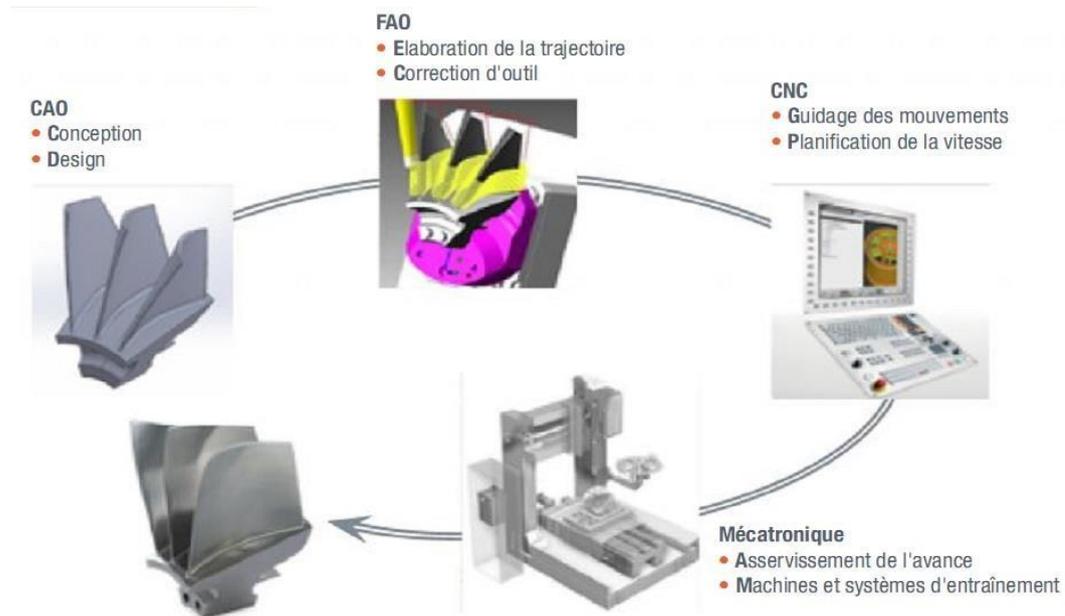


Figure 1. 5 : La chaîne numérique dans les industries de la mécanique

I-6-1-La conception assistée par ordinateur CAO

a-Définition

Ensemble d'outils et de programmes informatiques permettant d'assister l'ingénieur dans la conception d'un produit. Ces outils sont généralement spécialisés : outils aussi divers que la conception et le dessin architectural, ainsi que le calcul de la résistance des matériaux pour les structures ou les assemblages mécaniques...etc [9].

(En anglais : CAD, Computer Aided Design ou Computer Assisted Design)

b- Les outils de la CAO (logiciels)

Un grand nombre de logiciels de CAO sont disponibles en open-source ou payants [10]:

- ☞ Blender.
- ☞ FreeCAD.
- ☞ ImplicitCAD.
- ☞ QCAD.
- ☞ pythonOCC.
- ☞ OpenCASCADE.
- ☞ Solidworks

I-6-2-La fabrication assistée par ordinateur FAO

a-Définition

L'ensemble d'outils informatiques qui assistent l'ingénieur dans la mise en œuvre du processus de fabrication. Permet d'analyser la géométrie de la pièce et les données technique de fabrication associées, elle délivre de nombreuses informations pour la machine à contrôle numérique à partir de données CAD. Ces informations englobent le volume du brut, les dimensions des trous, les rayons de courbure, les différents plans d'axe, la taille des outils d'ébauche, de finition, ...etc [9].

(En anglais : CAM, Computer Assisted Manufacturing)

b-Les outils de la FAO (logiciels)

IL existe plusieurs outils de la FAO, nous citons comme exemple [10]:

- ☞ RhinosCAM.
- ☞ SolidCAM.
- ☞ Power MILL.
- ☞ Hyper MILL.
- ☞ Camworks.
- ☞ Catia.

I-6-3-Le Post-processeur

La dernière opération avant l'usinage consiste à transformer ce programme FAO en langage compréhensible par la commande numérique de la machine-outil. Ce langage peut être un code normalisé au niveau international (code ISO), ou propre au constructeur. C'est le rôle du post-processeur. Donc chaque machine comprend un post-processeur qui intègre toutes les spécificités de celle-ci. Si l'on souhaite transférer un programme d'une machine à une autre, il suffit de repasser celui-ci dans le post-processeur correspondant à la nouvelle machine.

De la même façon, chaque logiciel de FAO a lui aussi ses propriétés qui font que le post-processeur d'un logiciel A ne sera pas le même qu'un post-processeur d'un logiciel B pour la même machine-outil [3].

I-6-4-Programmation en code ISO ou code G

Les différentes opérations d'usinage d'une pièce sur une MOCN nécessite l'écriture d'un programme appelé programme CN (code G) qui est normalisé selon ISO. À l'origine, le langage de programmation était le G-code, développé par l'EIA au début des années 1960, et finalement normalisé par l'ISO en février 1980 sous la référence RS274D/ (ISO 6983)[3].

I-7-Les différents types de MOCN

Les centres d'usinage sont des machines-outils qui travaillent par enlèvement de matière et permettent de réaliser automatiquement des opérations de fraisage, alésage, perçage, taraudage. Elles possèdent un magasin d'outils avec changeur automatique et peuvent être équipées d'un dispositif automatique de chargement des pièces [4].

L'ensemble de ces fonctions est géré par un ou plusieurs systèmes électroniques programmables (commande numérique (CN), ordinateur, automate programmable...). On distingue plusieurs types de machines :

- les machines à enlèvement de copeaux : les perceuses, les tours 2 et 4 axes, les centres de tournages 5 axes, les fraiseuses 2 axes 1/2, 3 axes, les centres d'usinage, 3 à 5 axes, les rectifieuses, les affûteuses, les machines d'usinage à très grande vitesse...
- les machines à enfonçages.
- Les machines de découpes : oxycoupage, laser, jet d'eau...
- Les presses : métal, injection plastique.
- Les machines à bois : à portique ou col de cygne.
- Les machines spéciales : à panneaux, à têtes multiples, de conditionnement (Pour l'agroalimentaire) ...etc[4]



Découpe plasma



Centre d'alésage



Fraiseuses

Figure 1. 6 : Les différents types de MOCN.

I-8-Les machines-outils Fraiseuse

La fraiseuse est une machine-outil permettant de réaliser des opérations d'usinage à l'aide d'une fraise. Elle peut également être équipée d'un foret, de taraud ou d'alésoir pour réaliser des opérations de perçage et taraudage [10].

I-8-1-Principe de fonctionnement

La pièce à usiner est serrée dans l'étau (voir figure 5). L'étau est positionné par l'intermédiaire de rainures en T puis serré sur la table. La table peut se déplacer suivant les axes X, Y et Z soit manuellement (à l'aide des volants) soit automatiquement (avec des moteurs électriques). Un cône de broche est fixé sur la fraise, l'ensemble est mis en position sur la broche et serré par une visse. La broche est entraînée en rotation par un moteur électrique indépendant[10].

I-8-2-Caractéristiques techniques d'une fraiseuse

- ➔ **Courses X, Y, Z (mm)** : elles correspondent à l'amplitude des mouvements de la table suivant les directions X (longitudinale), Y (transversale) et Z (verticale).
- ➔ **Surface de la table (mm)** : elle correspond aux dimensions de la table (longueur x largeur)
- ➔ **Vitesse de broche (tr/min)** : c'est le nombre de rotations par minute que peut effectuer la broche.
- ➔ **Puissance de broche (kW ou cv)** : elle détermine la capacité de la fraiseuse à usiner des matériaux plus ou moins durs. $1 \text{ cv} = 736 \text{ W}$
- ➔ **Cône de broche** : Le cône assure un très bon centrage de l'outil, il existe différents cônes de broche (ISO 40, ISO 50, HSK 40, SK 40...). Le choix des cônes dépend de la vitesse de rotation utilisée, de la précision souhaitée, des efforts de coupe.
- ➔ **Vitesses d'avance X, Y, Z (mm/min)** : Elles correspondent aux vitesses de déplacement de la table suivant les axes X, Y et Z lors de l'usinage de la pièce.

I-8-3-Différents types de fraiseuses [10]

Suivant le type de commande, nous pouvons classer les fraiseuses de la manière suivante : fraiseuses manuelles, fraiseuses par apprentissage et fraiseuses à commande numérique.

Fraiseuse manuelle

Les différents mouvements de la machine sont commandés par l'opérateur. Il effectue les différents réglages.

Fraiseuse par apprentissage

Elle permet de mémoriser les mouvements exécutés par l'opérateur et de les reproduire ensuite automatiquement.

Fraiseuse à commande numérique

Elle dispose d'un organe de contrôle informatique (automate programmable ou base PC) où sont enregistrés les différents ordres nécessaires à la fabrication d'une pièce. Lorsque le programme est lancé, la machine effectue automatiquement toutes les opérations

En fonction de leurs formes et leurs dispositions, les fraiseuses peuvent être réparties en :

Fraiseuses horizontales

Elles sont appelées ainsi car l'axe de la broche est horizontal (figure-II-2). Ce qui permet aux coupeaux de tomber et de ne pas rester sur l'élément à usiner, de manière plus générale, avec cette technique, on obtient une pièce de meilleure qualité.

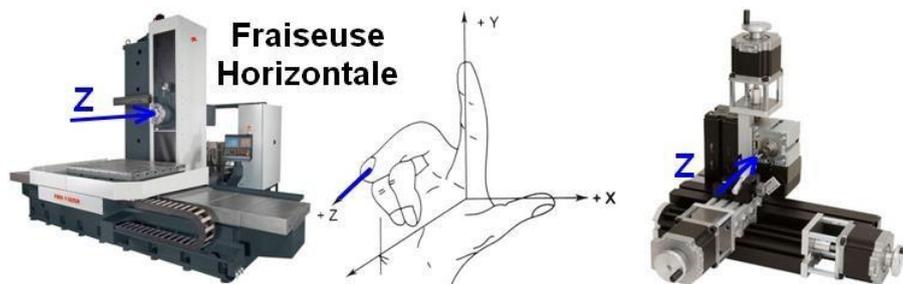


Figure 1. 7 : Fraiseuse horizontale.

Fraiseuses verticales

Ces fraiseuses quant à elles, ont une broche positionnée verticalement (figure-II-3). Le porte-outil est équipé d'un mouvement d'avance et se déplace sur deux glissières perpendiculaires.

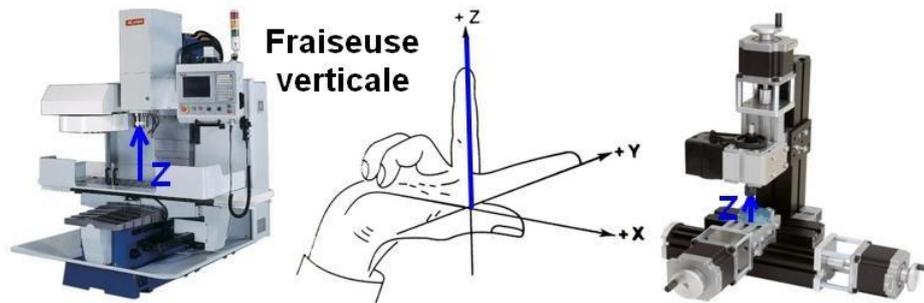


Figure 1. 8 : Fraiseuse verticale

Fraiseuses spéciales

Comme son nom l'indique, ces fraiseuses sont utilisées pour des processus particuliers, tels que la réalisation de clés, de sculptures ou de pièces avec rainures.

Fraiseuses universelles

Les fraiseuses universelles sont celles qui combinent les fonctions des fraiseuses horizontales et verticales. Dans les fraiseuses universelles, la table porte-pièces peut également être rotative.

I-9-Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre un aperçu général sur les machines –outils à commande numérique (MOCN), leurs structures et la chaîne de conception numérique, ainsi que les fraiseuses, leurs constructions et leurs types.

Ce chapitre nous a permis de comprendre la construction et le principe de fonctionnement des machines –outils à commande numérique (MOCN) en général et les fraiseuses en particulier. Cette dernière nécessite les combinaisons de plusieurs parties : mécanique, électrique, et logicielle pour assurer le bon fonctionnement de l'ensemble.

Pour mieux assimiler la relation entre les différentes parties, une étude détaillée sera présentée sur les fraiseuses à trois axes dans le chapitre suivant.

II-1-Introduction

Après avoir étudié d'une façon générale la machine-outil à commande numérique dans le chapitre précédent, ce deuxième chapitre sera consacré à l'étude et la description de la construction et le principe de fonctionnement d'une fraiseuse à commande numérique a trois axes.

II-2-Fraiseuse a commande numérique a trois axes

La plupart des fraiseuses à commande numérique sont des machines à trois (3) axes. Elles sont des machines-outils équipées au minimum de 3 axes de déplacements. De ce fait, le mouvement de l'outil de coupe est limité, ce qui rend impossible d'usiner des dépouilles négatives ou de réaliser des formes sur plusieurs plans orthogonaux [1, 2].

Une fraiseuse verticale a trois axes est présentée dans la figure 2.1.

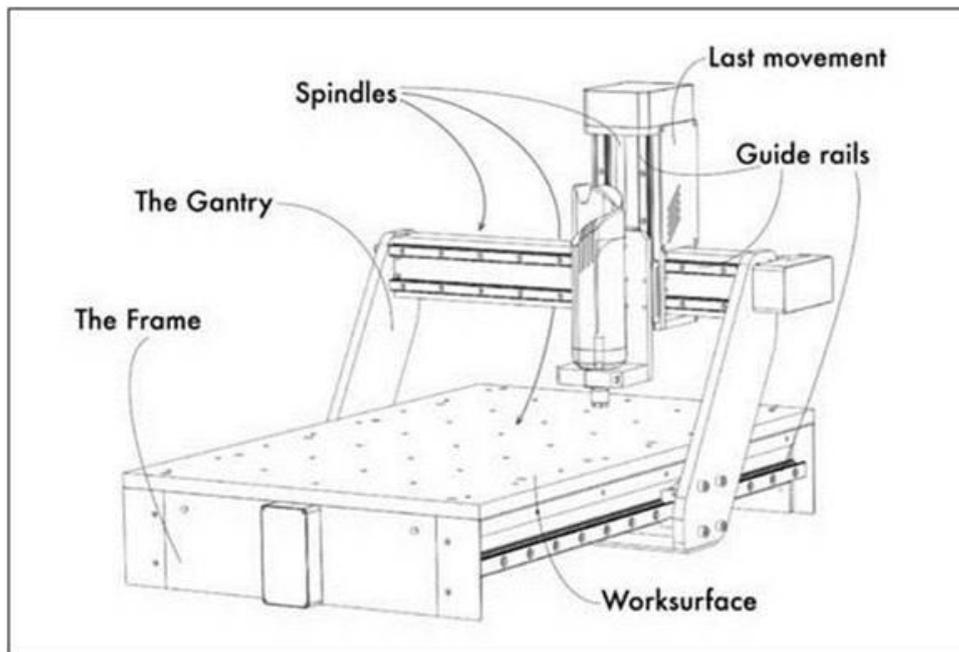


Figure 2. 1 : Fraiseuse numérique trois axes.

LA fraiseuse présentée dans cette figure permet de faire les opérations suivantes :

- Des découpes sur des surfaces 2D ou 3D.
- Des gravures sur des surfaces 2D ou 3D.
- Créer des formes 3D sans dépouilles négatives.
- Par contre cette fraiseuse est incapable de faire :

- Des usinages nécessitant un axe d'outil perpendiculaire à plusieurs plans.
- Des usinages de surfaces avec dépouilles négatives.

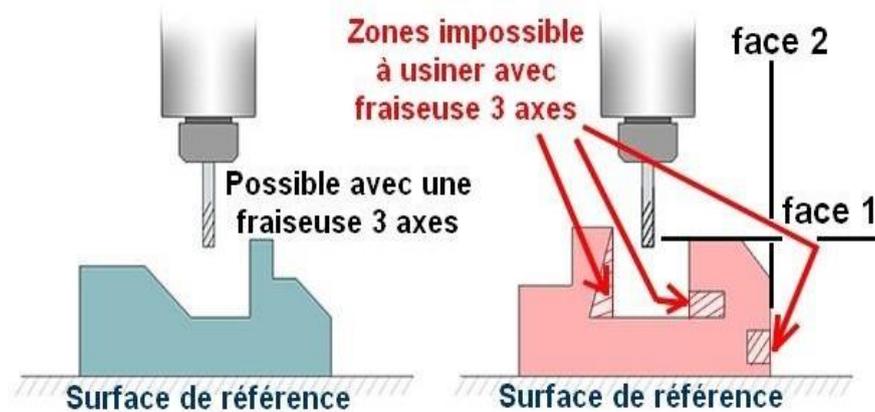


Figure 2. 2 : Ce qui est possible de faire avec une fraiseuse trois axes.

On trouve dans l'industrie plusieurs modèles de machines CNC professionnelles, comme nous pouvons aussi rencontrer des petites machines CNC réalisées par des amateurs de la commande numérique. Nous présentons ci-dessous quelques exemples de machines professionnelles et amateurs :

II-2-1-Machine Professionnelles

Les machines CNC font parties des technologies modernes les plus importantes pour les industries (du bois et du métal...), la machine est entièrement automatisée et utilise l'électronique numérique, ce qui lui permet d'effectuer des tâches très précises avec des cadences de production élevées.

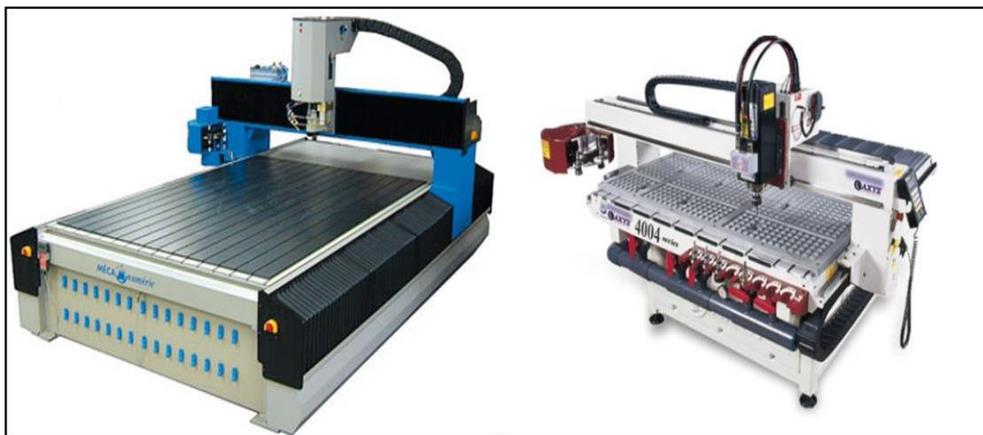


Figure 2. 3 Fraiseuses Numériques trois axes Professionnelles.

II-2-2-Machines Amateurs

Le besoin de réaliser des taches d'usinage, d'un côté et le prix relativement élevé des machines CNC professionnelles d'un autre côté, a conduit les amateurs de la commande numérique à développer leurs propre machines CNC. Ces petites machines amateurs permettent de réaliser des taches d'usinage moins fréquentes est capable de traiter différentes surfaces et matières, telles que : l'aluminium, plexiglass, le bois et le PVC...etc.

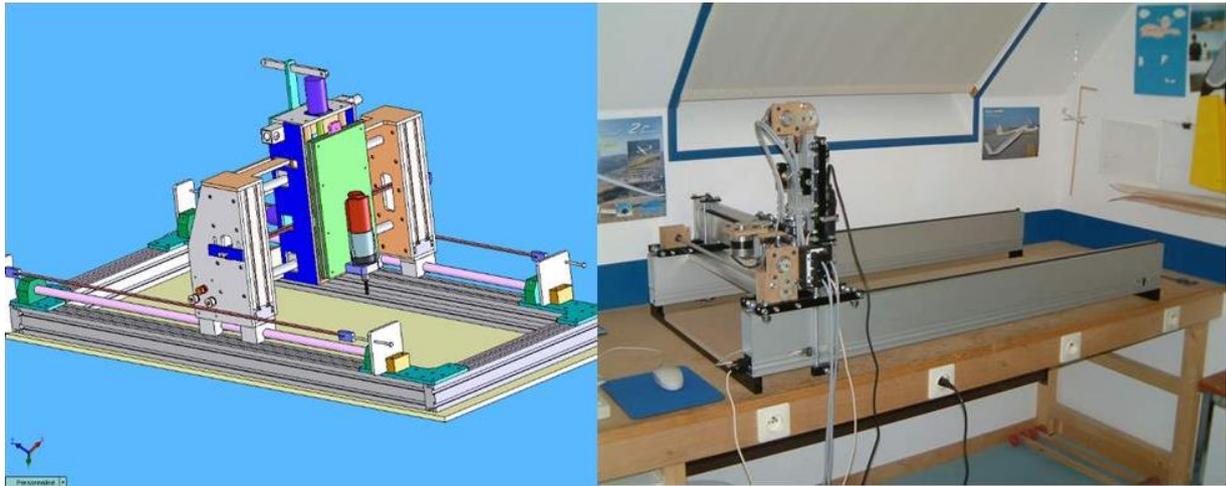


Figure 2. 4 : Fraiseuse numérique à trois axes Amateurs.

II-3-Constitution d'une machine CNC à Trois Axes

Comme indiqué dans le chapitre précédent, toute machine à commande numérique comporte plusieurs éléments essentiels pour son fonctionnement.

II-3-1-Partir mécanique

Pour qu'une machine à commande numérique puisse fonctionner, plusieurs axes sont requis pour mettre en mouvement les parties mobiles de la machine avec de fortes accélérations, (les axes des X, des Y et des z sont les axes basiques :

- Axe Z : Axe de la broche de la machine-outil. Le sens positif est donné par l'accroissement de la distance outil/pièce, la pièce étant fixe.
- Axe X : Axe du plus grand déplacement. Par défaut, le sens positif est donné vers la droite lorsque l'on fait face à la machine.
- Axe Y : Axe qui permet de former un trièdre X, Y et Z direct.

Les axes sont constitués d'un guidage, d'un système d'entraînement et d'une motorisation [6, 11].

II-3-1-1-Mécanisme à guidage linéaire

Les MOCN doit résister à des mouvements de déplacement générés par des coupes importantes et par une vitesse rapide, Il est assuré par des glissières, qui sont de plus en plus réalisées au moyen de rouleaux précontraints, afin de limiter les frottements, supporter des charges plus élevées et d'assurer une bonne précision de l'avance à grande vitesse [5]. Il existe plusieurs modèles :

1. Les glissières à éléments roulants

Ces guidages linéaires sont constitués d'un rail avec des chemins de roulement à billes ajustés par rodage et un chariot. Des billes à rotation infinie assurent un faible frottement et relie mécaniquement le chariot au rail de guidage dans les deux directions. Les billes sont maintenues dans le chemin de roulement du chariot par une baguette, permettant ainsi le montage des unités sans le moindre accessoire supplémentaire. Le chariot est protégé de tous les côtés contre toute pénétration de saleté par des racleurs. Des graisseurs pouvant se monter des deux côtés permettent de re graisser l'unité. On rencontre plusieurs types :

- Pour de lourdes charges, on utilise guide linéaire style Hiwin, Roulement cylindrique fermé, Roulement cylindrique ouvert, Figure 2.5 il génère des mouvements linéaires ultra-précis.



Guide linéaire
style Hiwin



Roulement
cylindrique fermé



Roulement
cylindrique ouvert

Figure 2. 5 : Différents types de guides linéaires.

- Pour les petites charges, pour les CNC amateurs, on peut utiliser des coulisses à billes télescopiques (figure 2.6), Ce type de guide, génère des mouvements linéaires moins précis



Figure 2. 6 : Coulisses à billes télescopiques.

2. Les glissières à contact direct (palier lisse)

La surface d'un arbre ou dans un alésage, ou pièce intercalée entre eux, permettant un glissement relatif l'un par rapport à l'autre avec un minimum d'usure et de frottement. Un palier lisse assure le guidage par glissement, Il est dépourvu d'éléments interposés, contrairement au roulement.



Figure 2. 7 : palier lisse.

3. Guide avec roues de guidage

Les Guides avec roues sont des Guides dont le déplacement est assuré par des roues équipées parfois de pneus circulant sur un arbre linéaire.

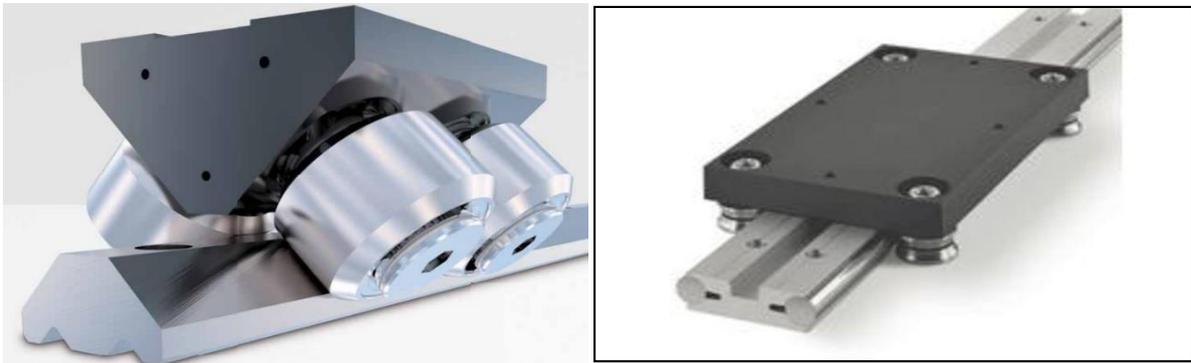


Figure 2. 8 : Guide avec roues de guidage.

II-3-1-2-Système d'entraînement

Afin d'assurer le mouvement de translation des axes et le coulissage sur les guides linéaires, on a besoin d'un système d'entraînement et de conversion du mouvement rotatif des moteurs en un mouvement de translation linéaire [5].

En cite les différentes techniques pour assurer cette fonction :

- **A câble** : économique, mais elle a tendance à dériver après un certain nombre de mouvements, et peut se glisser sous fortes charges. Le câble doit être retendu régulièrement.

- **A courroie crantée** : cette technique est plus chère, mais elle assure plus de rigidité et ne présente aucune dérive.
- **A vis ordinaire**, avec écrou laiton/bronze, cette technique a un rendement faible (20~25%) et la longueur est limitée.



Entraînement à câble



Entraînement à courroie



Entraînement à vis ordinaire

Figure 2. 9: Système d'entraînement à câble, à courroie crantée, à vis ordinaire.

- **A vis trapézoïdale** Elle dispose d'un rendement un peu meilleur qu'une vis ordinaire (30 ~ 40% , le rendement augmente quand on augmente le pas), la précision est aussi meilleure qu'une vis ordinaire. Longueurs plus grandes généralement disponibles.
- **A vis à bille** : cette solution assure un pas de jeu précis, un excellent rendement, mais elle est relativement coûteuse.
- **A pignon et crémaillère** : Relativement précis, rigide, plutôt moins cher qu'un système à courroies mais nécessite une lubrification régulière et une bonne protection contre la poussière.



Entraînement à vis à bille



Entraînement vis à ordinaire



Entraînement à vis trapézoïdale

Figure 2. 10: Système d'entraînement à vis à bille, à pignon et crémaillère, à vis trapézoïdale
A vis à bille.

II-3-1-3- Moteur d'entraînement [2, 5]

Le mouvement de translation des axes sur les guides linéaires est assuré par le système d'entraînement qui nécessite lui aussi une motorisation électrique. Les moteurs électriques convertissent l'énergie électrique en force mécanique et plus précisément en mouvement rotatif.

Dans les cas de grande productivité (tournage), on cherche à minimiser les temps de production réduits et on demande des vitesses d'exécution importantes. Le mobile doit atteindre rapidement ces vitesses, d'où des accélérations importantes. Pour assurer ces exigences, trois sortes de moteurs électriques sont utilisés :

- Moteurs à courant continu ;
- Moteurs à courant alternatif ;
- Moteurs pas à pas.

1. Moteur à courant continu

Ses deux principales caractéristiques sont les suivantes :

- La fréquence de rotation du rotor est proportionnelle à la tension d'alimentation.
- Le courant consommé est proportionnel au couple résistant appliqué au rotor.
- Pour réguler sa vitesse il faut donc faire varier la tension à ses bornes tout en maintenant une alimentation en intensité suffisante pour fournir le couple mécanique nécessaire à l'entraînement du mobile.

2. Moteurs à courant alternatif (moteur asynchrone)

Pour faire varier sa vitesse on agit sur la fréquence du courant qui l'alimente. [5]

3. Moteur pas à pas

L'asservissement de commande d'un axe motorisé par moteur à courant continu ou un moteur asynchrone est obligatoirement réalisé en boucle fermée (besoin de capteurs de vitesse et de position). Par conséquent, les moteurs pas à pas qui n'exigent pas ce type de commande paraissent la solution la plus facile à adopter.

Les moteurs pas à pas sont des convertisseurs électromécaniques spéciaux permet de transformer le signal électrique (impulsion ou train d'impulsions de pilotage) en déplacement (angulaire ou linéaire) mécanique, composés simplement d'un stator réunissent des pièces polaires et des bobinages, ce type de moteur est très courant dans tous les dispositifs où l'on

souhaite faire du contrôle de vitesse ou de position avec grande précision. Comme leur nom l'indique, ces moteurs tournent par incrément discret. Chaque incrément de rotation est provoqué par une impulsion de courant fournie à l'un des enroulements du stator Le moteur pas à pas est l'organe de positionnement et de vitesse travaillant généralement en boucle ouverte.



Figure 2. 11 : Moteur pas à pas, Moteur à courant continu, Moteurs à courant alternatif (moteur asynchrone).

II-3-2-Partie électrique/ électronique

Une machine CNC est une machine à commande numérique, ce qui veut dire que ses moteurs sont commandés par des consignes numériques fournies par l'armoire de commande et la broche qui porte les outils de coupe tourne pour usiner les objets. Ces taches de commande sont assurées par le circuit électrique représenté sur la figure 2.12

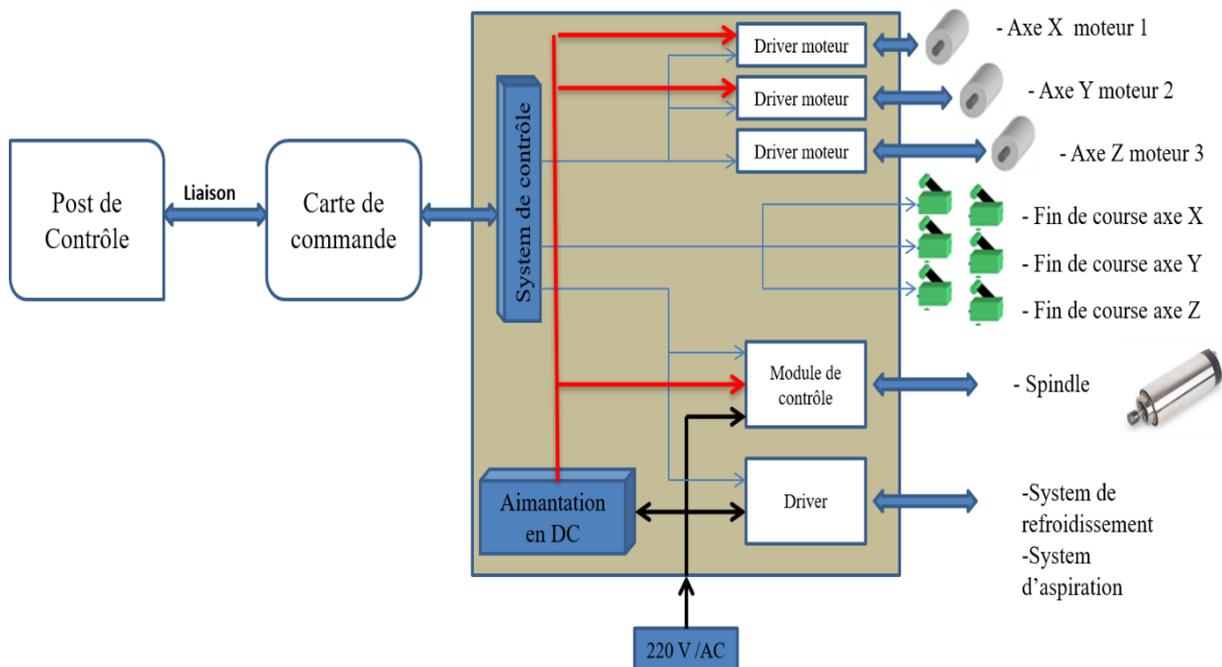


Figure 2. 12: Schéma synoptique représente le circuit électrique.

II-3-2-1-Interface Homme Machine IHM

Composé d'un clavier et d'un écran servant d'interface avec l'opérateur par un ordinateur ou un pupitre de contrôle externe. Pour la sélection des programmes, l'éditions des programmes, la saisie des paramètres de réglage, la visualisation graphique, la sélection des modes d'utilisation de la machine. C'est aussi le moyen de moduler certains paramètres tels que la vitesse d'avance ou la vitesse de broche [5].

Les IHMs nécessitent des moyens de communication pour l'envoi des paramètres et les données vers la carte de commande, ainsi que l'échange et le traitement des informations entre les organes d'entrée, les mémoires et les organes de sorties de la CN. Les ports de communication sont des éléments matériels qui permettent d'assurer cette tâche.

Il existe plusieurs types d'interfaces de communication, qui peuvent être utiliser dans les machines CNC.



Figure 2. 13: Unité de commande par ordinateur et par pupitre de contrôle externe.

Liaison série RS232

Il s'agit d'un bus facile à mettre en œuvre, il est pratiquement disponible sur tous les ordinateurs. Communément appelée « port série », elle a permis la communication de l'ordinateur avec plusieurs types de périphériques.

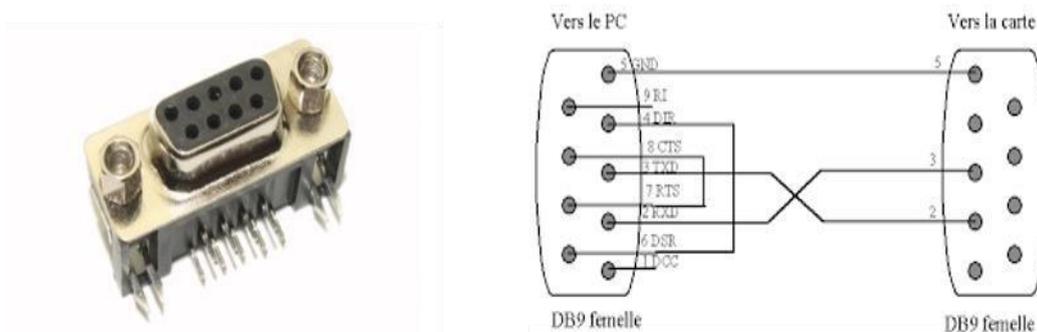


Figure 2. 14: Connecteur RS232 et câblage d'une communication série.

Liaison parallèle

Des fils mis côte à côte, généralement 8, 16, 32 ou même 64, transmettent simultanément autant de bits qu'il y a de conducteurs. L'intérêt de ce type de communication est que le débit des données est multiplié par le nombre de fils mis côte à côte. Ce type de transmission a longtemps été considéré comme plus rapide que les transmissions de type série.



Figure 2. 15: Connecteur BD 25 et câblage d'une communication parallèle.

Port USB

Le terme USB est l'acronyme d'Universal Serial Bus en anglais pour Bus Série Universel en français. C'est une norme relative à un bus informatique en transmission série qui sert à connecter des périphériques informatiques à un ordinateur. Le bus USB permet de connecter des périphériques à chaud (quand l'ordinateur est en marche) et en bénéficiant du Plug and Play (le système reconnaît automatiquement le périphérique). Il peut aussi alimenter les périphériques en par une tension électrique de 5V.

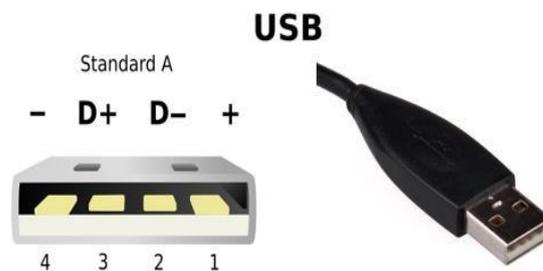


Figure 2. 16 : Connecteur USB.

II-3-2-2-Carte de commande et de pilotage des moteurs pas à pas

Ces cartes constituent le cerveau de la machine, elles sont conçues pour contrôler et piloter la machine CNC.

La conception ces cartes intègre un calculateur qui peut être un microcontrôleur ou un microprocesseur qui traite les instructions de programme préalablement établi par l'utilisateur et les consigne des informations d'automatismes divers (refroidissement, rotation broche...etc.). Puis, il délivre les ordres et les commandes des moteurs d'axes et de broche.

Le calculateur reçoit aussi les informations des capteurs (les fins de course, sonde de température...etc.) pour prendre ensuite les décisions qui s'imposent pour le bon déroulement du programme.

Il existe plusieurs types de cartes de commande. Elles peuvent être classer selon le nombre d'axes à contrôler (2, 3...5), et le type de système d'entraînement, ainsi que le types de liaison de communication (parallèle, série ou USB) avec l'IHM ou l'ordinateur.

Selon le type et les performances de la machine CNC à réaliser, on trouve une variété de cartes de commandes avec des prix plus ou moins élevés. Certaines de ces cartes ont des drivers de moteurs intégrés. Quelques exemples de cartes sont présentés sur la figure 2.17.



Figure 2. 17 : Quelques exemples de carte de commande disponible.

II-4-Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié le fonctionnement et la structure d'une fraiseuse a commande numérique a trois axes. Nous avons commencé par présenter les différents types de machines, puis nous avons détaillé la construction mécanique et électrique en présentant leurs différents composants.

Dans le chapitre suivant, Nous allons aborder la conception et la construction de notre propre machine CNC.

III-1-Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter une description détaillée de la solution adoptée, ainsi que la conception de chaque partie de la machine en termes de structure et éléments qui constituent les différentes unités de notre projet.

III-2-Description de la solution adoptée

En se basant sur l'étude effectuée dans le chapitre précédent pour la conception et la réalisation de notre CNC, nous avons opté pour la réalisation d'une Fraiseuse à commande numérique verticale à architecture ouverte à trois axes destinés à l'usinage des pièces de différentes formes.

Le schéma synoptique de la solution adoptée pour la réalisation de notre machine CNC est représenté dans la Figure 3.1.

Dans la première partie, nous avons commencé par la conception et la réalisation de la structure mécanique de notre machine. Dans cette partie, tout ce qui concerne la conception et la réalisation de la structure mécanique sera développé et détaillé, les dimensions des pièces, les matériaux utilisés et les mécanismes proposés, ainsi que les difficultés et les problèmes rencontrés durant toutes les étapes de réalisation.

Dans la deuxième partie, nous allons entamer la partie électronique qui sert à commander l'ensemble du système. On commence par une description théorique des différents matériels qu'on a utilisés. Par la suite nous détaillons le circuit du montage et la réalisation du boîtier de la commande.

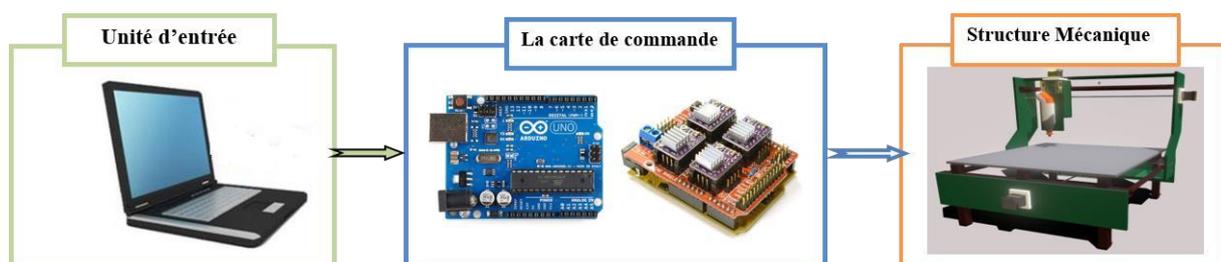


Figure 3. 1: Schéma synoptique de la solution à réaliser.

III-3-Conception CAO de la machine à réaliser (Modélisation géométrique)

Selon la possibilité de réalisation et les moyens disponibles, plusieurs solutions technologiques ont été discutées afin d'avoir la meilleure solution réalisable possible.

Une conception CAO de la solution adoptée a été concrétisée sur un logiciel de conception assistée par ordinateur qui est Blender. Le logiciel de CAO Blender est une

application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des cotes afin de produire des modèles et des mises en plan précises.

La figure 3.2 montre la vue en 3D du modèle géométrique de la machine à réaliser dont le volume de travail dépend qui directement de la course de chacun des axes est donné comme suit :

- Axe longitudinal X 550 mm
- Axe transversal : Y 620mm
- Axe vertical : Z 100 mm

La figure 3.3 montre la vue en 3D de la machine désassemblée, ou on peut voir tous ses éléments constitutants.

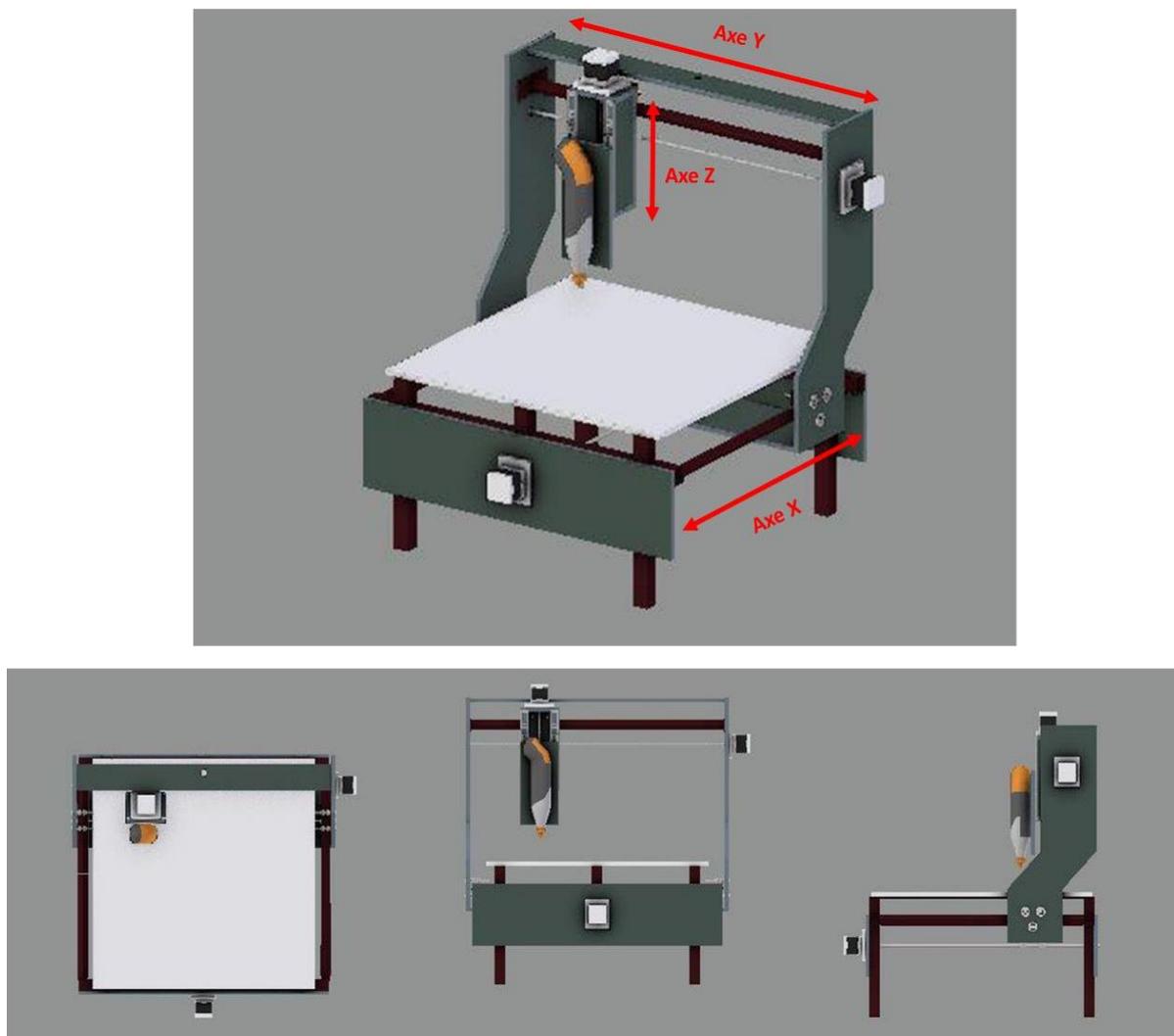


Figure 3. 2 : Vues en 3d de la conception proposée.

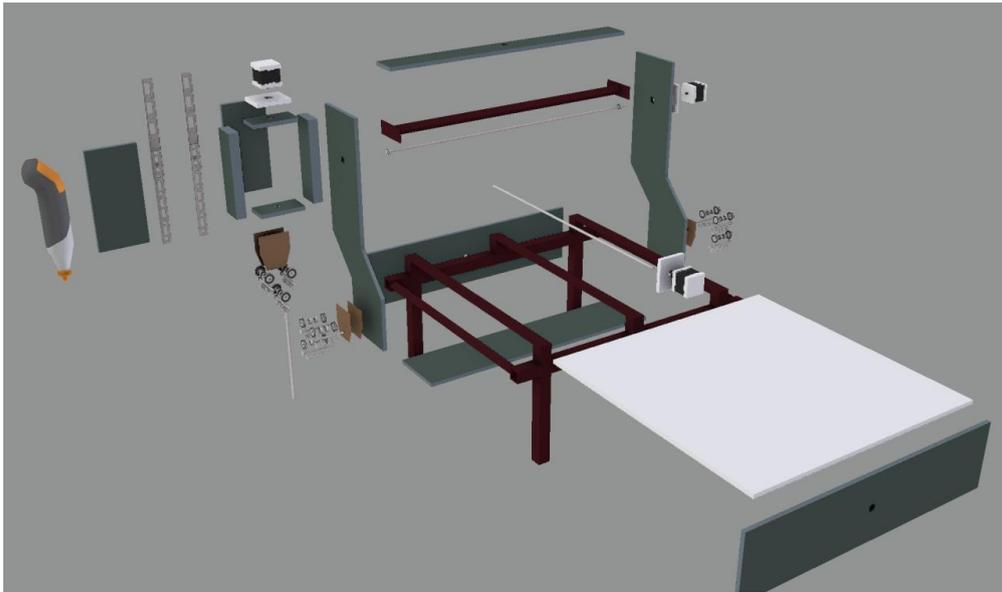


Figure 3. 3 : Vue éclatée de la machine à réaliser.

III-4-Construction et réalisation de la partie mécanique

Lors de la réalisation de la machine à partir de schéma de conception proposé, vue le budget limité qu'on dispose, nous avons rencontré des problèmes majeurs en termes de manque de la matière première et des pièces mécaniques. Par conséquent, nous avons exploité plusieurs matériaux et des pièces de récupération qu'on a pu avoir, ce qui nous a obligés de faire de nombreux ajustements sur la structure originale afin d'achever notre réalisation.

Dans ce qui suit, on présente en détaille la construction de chaque partie de la structure mécanique.

III-4-1-Le châssis

Constitué de deux tubes carrés en acier 30x30 mm latéraux qui porteront les guides linéaires et deux d'autre tube carré en acier central de 30x30 mm qui porte 2 plaques en bois de 10mm situées à l'avant et à l'arrière de la machine.

Dans le centre des deux plaques de bois, on trouve deux paliers et deux roulements qui supportent et facilitent la rotation de la vis. Le moteur d'entraînement de cette vis est fixé sur la plaque de la face arrière.

Des morceaux de fer-plat sont soudés sur les tubes carrés des côtés de la machine pour former une base de support de la table travail.

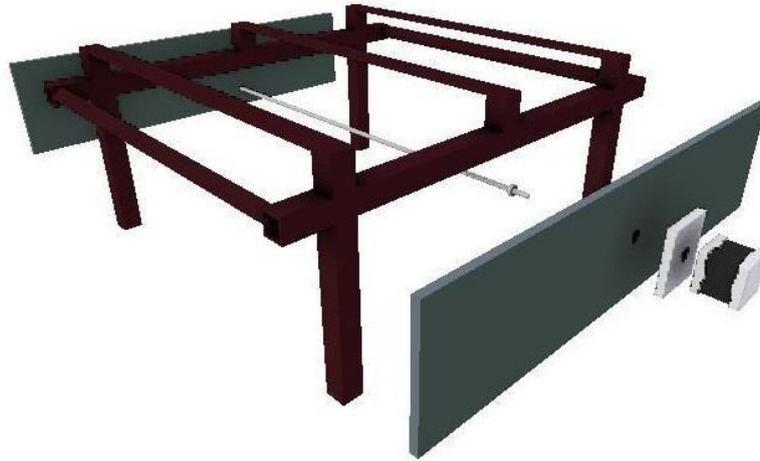


Figure 3. 4 : Vue éclatée du châssis.

III-4-2-Les axes de travail

En réalité, un Axe d'une machine CNC est composé de la façon suivante :

- Un chariot mobile assisté par des guides mécaniques.
- Un système de transmission vis-écrou (vis à billes).
- Palier à billes
- Un moteur d'entraînement.
- Accouplement souple (moteur, tige)
- Pièces de fixations

III-4-2-1-L'Axe X

L'axe X est chargé de déplacer le portique mobile supportant l'axe Y. Il se déplace du fond vers l'avant de la machine, son point "0" étant situé à l'avant de celle-ci. Sa course est de 450mm sur des rails de 570mm.

Le guidage est réalisé à l'aide de deux guides linéaires SOUDEE sur les latéraux de châssis. Chacun des deux guides est constitué de deux plaques qui porte trois paires de roulements reliés et fixés par des boulons comme indiqué sur les figures 3.5 et 3.6.

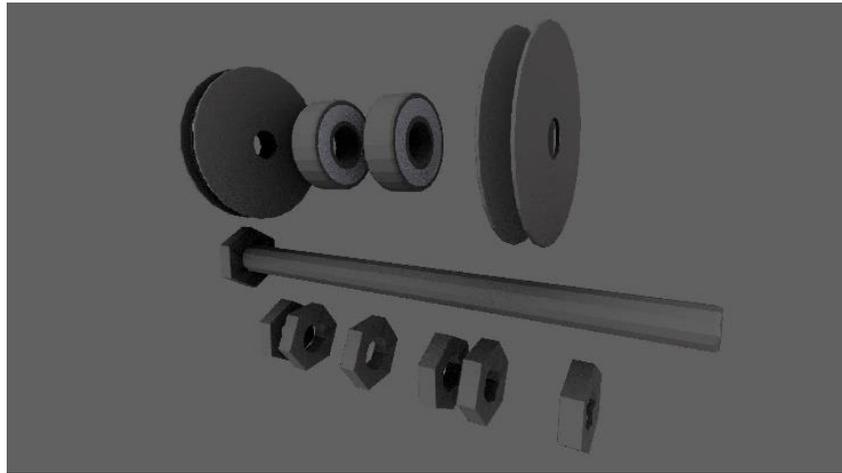


Figure 3. 5 : Montage d'un pair roulements reliés et fixés par un boulon.

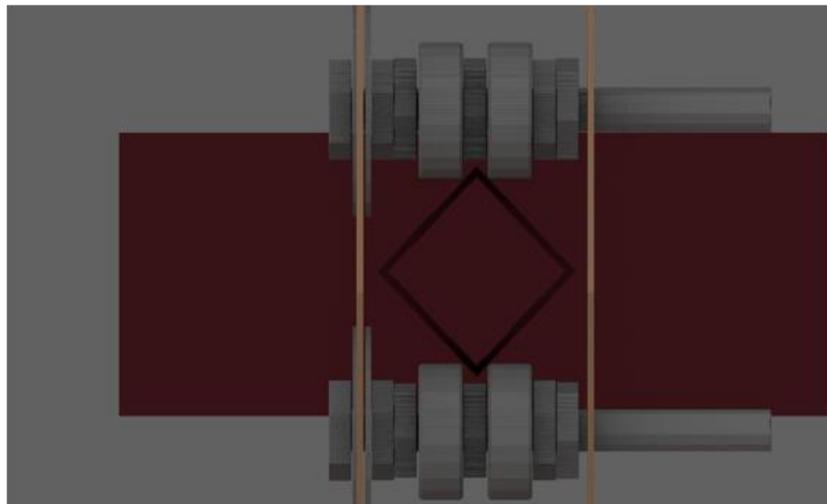
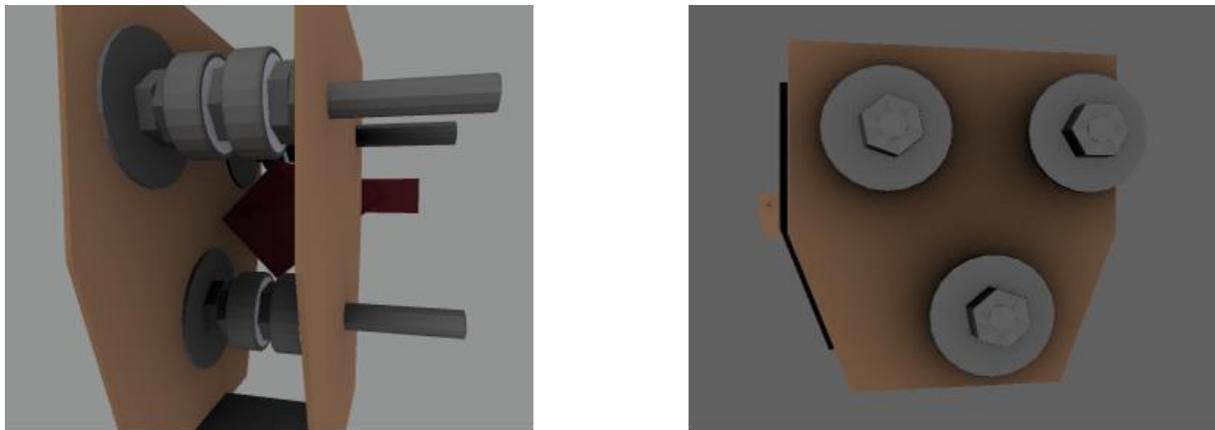


Figure 3. 6 : Différentes vues du system de guidage.

L'entraînement est réalisé par une tige filetée de 630mm qui entraînée par un moteur pas à pas par l'intermédiaire d'un coupleur flexible. Les deux extrémités de la tige sont soutenues par deux roulements à billes montés sur deux paliers réalisés en bois. Figure 3.7.

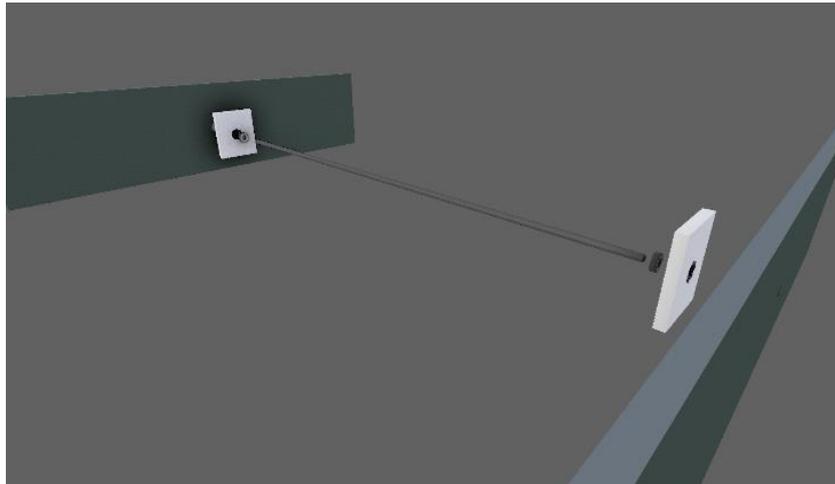


Figure 3. 7 :La tige filetée et les roulements à billes montés sur les paliers.

III-4-2-2-L'AxeY

L'axe Y est placé sur les portiques mobile entraîné par l'axe X comme indique la figure 3.8. Ce chariot mobile est réalisé en bois de 15mm.

L'axe Y se déplace de gauche à droite, son point "0" étant situé à l'extrémité gauche de la zone de travail. Sa course est de 530 mm sur des rails de 700 mm. Il sert a porté le portique coulissant de l'axe Z.



Figure 3. 8 : Vues en 3d de chariot mobile et l'axe Y.

Pour le guidage et l'entraînement de l'axe Y, nous avons adopté la même solution que celle utilisée pour l'axe X.

III-4-2-3-L'axe Z

L'axe Z se déplace de haut en bas, son point "0" étant situé à la position la plus haute de la zone de travail. Sa course sera de 150 mm sur des axes de 300 mm L'entraînement de l'axe Z est réalisé par une tige filetée de longueur de 360 mm Le guidage cette fois-ci est assuré par deux Coulisses à billes télescopiques de longueur de 300 mm.

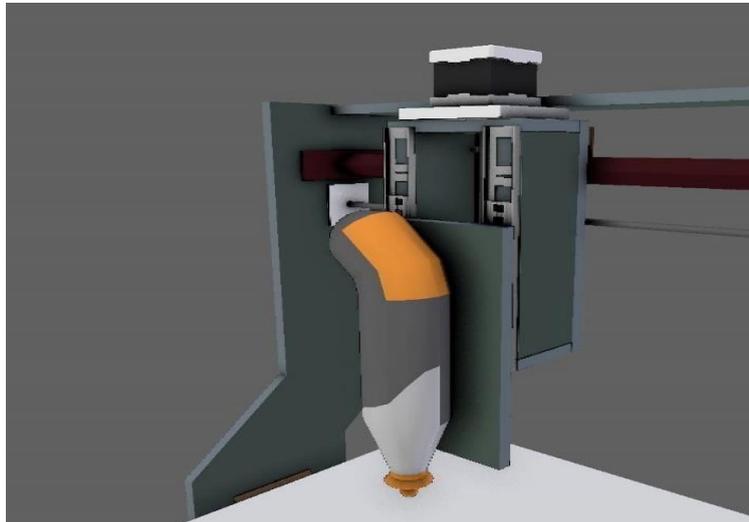


Figure 3. 9 : Vues en 3d de l'axe Z.



Figure 3. 10 : Vue éclatée de l'axe Z.

III-5-Parte électronique et électrique

Dans cette partie nous allons présenter en détail les éléments de circuit électrique que nous avons choisis avec leur spécification et leur branchement tout en respectant l'étude effectuée dans le chapitre précédent.

III-5-1-Moteurs pas à pas

Pour l'entraînement des axes de la machine, nous avons opté pour les moteurs pas à pas vue leur souplesse, simplicité de commande et de leur couple acceptable. Comme tous moteurs électriques, les moteurs pas à pas ont également un stator et un rotor, mais contrairement à un moteur à courant continu normal, le stator est constitué de jeux individuels de bobines. Le nombre de bobines différera en fonction du type de moteur pas à pas, mais dans un moteur pas à pas, le rotor est constitué de pôles métalliques et que chaque pôle est attiré par un ensemble de bobines dans le stator. Le diagramme ci-dessous montre un moteur pas à pas avec 8 pôles de stator et 6 pôles de rotor [2].

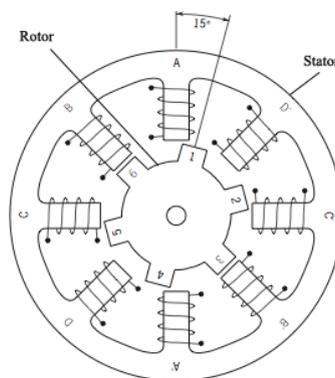


Figure 3. 11 : Le diagramme d'un moteur pas à pas.

Le bobinage statorique est disposé en paires de bobines, comme A et A' forment une paire, B et B' forment une paire et ainsi de suite. Ainsi, chacune de ces paires de bobines forme un électroaimant et peut être alimentée individuellement à l'aide d'un circuit de pilotage. Lorsqu'une bobine est mise sous tension, elle agit comme un aimant et le pôle du rotor s'y aligne (Lorsque le rotor tourne pour s'ajuster de manière à s'aligner sur le stator, on l'appelle en une étape). De même, en alimentant les bobines dans une séquence, nous pouvons faire tourner le moteur par petites étapes pour obtenir une rotation complète.

III-5-1-1-Types de moteurs pas à pas

Il existe principalement trois types de moteurs pas à pas basés sur la construction, à savoir :

- **Moteur pas à pas à réluctance variable :** ils ont un rotor à noyau de fer qui est attiré vers les pôles du stator et permet un mouvement par réluctance minimale entre le stator et le rotor.
- **Moteur pas à pas à aimants permanents :** Ils possèdent un rotor à aimants permanents et sont repoussés ou attirés vers le stator en fonction des impulsions appliquées.

- **Moteur pas à pas synchrone hybride** : Ils combinent un moteur pas à pas à réluctance variable et un aimant permanent.

Indépendamment de cela, nous pouvons également classer les moteurs pas à pas comme étant unipolaires et bipolaires en fonction du type d'enroulement de stator.

- **Moteur pas à pas bipolaire** : Les bobines de stator sur ce type de moteur n'auront pas de fil commun. La commande de ce type de moteur pas à pas est différente et complexe et le circuit de commande ne peut pas être facilement conçu sans un microcontrôleur.

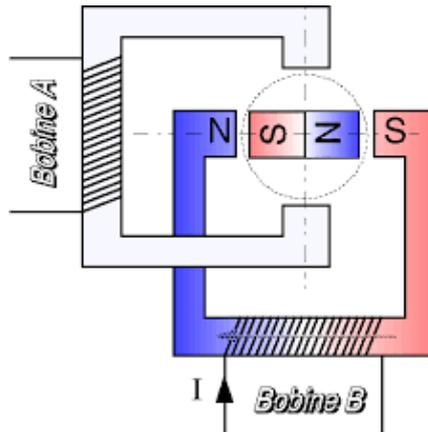


Figure 3. 12 : Moteur pas à pas Bipolaire.

- **Moteur pas à pas unipolaire** : Dans ce type de moteur pas à pas, nous pouvons prendre le taraudage central des enroulements de phase pour une terre commune ou pour une puissance commune, comme indiqué ci-dessous. Cela facilite le pilotage des moteurs, il en existe de nombreux types dans les moteurs pas à pas unipolaires

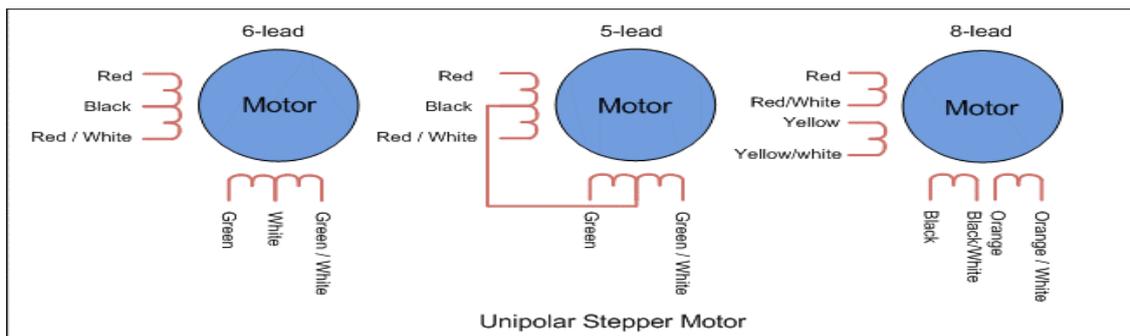


Figure 3. 13 : Moteur pas à pas Unipolaire.

III-5-1-2-Modes de fonctionnement d'un moteur pas à pas

Étant donné que le stator du moteur pas à pas est constitué de différentes paires de bobines, chaque paire de bobines peut être excitée selon différentes méthodes, ce qui permet de piloter les moteurs dans de nombreux modes différents. Voici les classifications générales

Mode pas à pas complet

En mode d'excitation à pas complet, nous pouvons réaliser une rotation complète à 360° avec un nombre de tours minimal. Mais cela entraîne moins d'inertie et la rotation ne sera pas lisse. Il existe deux autres classifications dans Full Step Excitation (excitation à pas complet): il s'agit du mode pas à pas et des phases .

✓ Pas à pas en une phase

Dans ce mode, une seule borne (phase) du moteur sera alimentée à un moment donné. Cela comporte moins d'étapes et permet donc une rotation complète de 360° . Puisque le nombre d'étapes est inférieur, le courant consommé par cette méthode est également très faible. Le tableau suivant montre la séquence de progression des vagues pour un moteur pas à pas à 4 phases

Étape	La phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

Tableau 01 : la représentation de la séquence de progression des vagues pour un moteur pas à pas à 4 phases.

✓ Pas à pas en deux phases

Comme le nom l'indique dans cette méthode, deux phases ne feront qu'une. Il a le même nombre d'étapes que le pas à pas Wave, mais étant donné que deux bobines sont alimentées à la fois, il peut fournir un meilleur couple et une meilleure vitesse par rapport à la méthode précédente. Un inconvénient, c'est que cette méthode consomme également plus d'énergie.

Étape	La phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

Tableau 02 : la représentation de la séquence de progression des vagues pour un moteur pas à pas à 2 phases.

Mode demi-pas

Le mode Half Step est la combinaison des modes monophasé et biphasé. Cette combinaison nous aidera à surmonter l'inconvénient susmentionné des deux modes. Comme vous l'avez peut-être deviné, puisque nous combinons les deux méthodes, nous devons exécuter cette

procédure en 8 étapes pour obtenir une rotation complète. La séquence de commutation pour un moteur pas à pas à 4 phases illustrée ci-dessous

Étape	La phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	1
6	0	0	0	1
7	1	0	0	1
8	1	0	0	0

Tableau 03: la représentation de la séquence de progression des vagues pour un moteur en mode demi-pas.

Mode pas à pas

Mode pas à pas Le mode pas à pas micro est complexe, mais il offre une très bonne précision ainsi qu'un bon couple et un fonctionnement en douceur. Dans cette méthode, la bobine sera excitée avec deux ondes sinusoïdales distantes de 90° . De cette manière, nous pouvons contrôler à la fois la direction et l'amplitude du courant traversant la bobine, ce qui nous aide à augmenter le nombre de pas que doit effectuer le moteur pour une rotation complète. Le micro-pas peut prendre jusqu'à 256 étapes pour effectuer une rotation complète, ce qui permet au moteur de tourner plus vite et plus doucement.

Dans notre cas nous avons utilisées des moteurs pas a pas de récupération de référence 23HY1403-01 et PK243-01BA de ces moteurs sont présentés dans la figure 3.14.



Figure 3. 14 : Les moteurs utilisés pour notre machine.

Les moteurs sont connectés mécaniquement avec les vis d'entraînement, via des accouplements souples réalisés comme indiqué sur la figure 3.15.

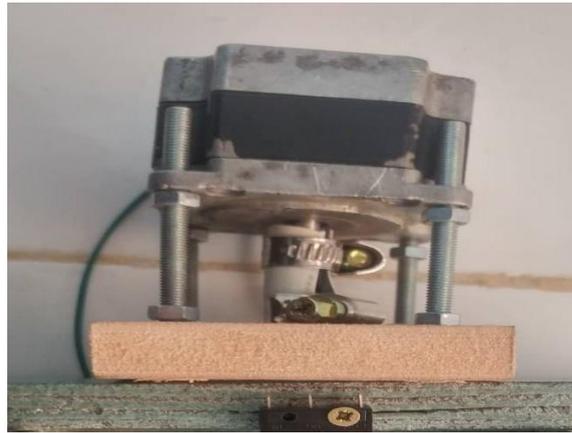


Figure 3. 15 : Accouplements souples.

III-5-2-Unité de commande Arduino

III-5-2-1-Carte Arduino

La carte Arduino fait partie de la famille des platines de développement. La carte Arduino est une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur et de composants minimum pour réaliser des fonctions plus ou moins évoluées à bas coût. Elle possède une interface USB pour la programmer. Arduino peut être utilisé pour développer des applications matérielles industrielles légères ou des objets interactifs, et il peut recevoir en entrées une très grande variété de capteurs. Les projets Arduino peuvent être autonomes, ou communiquer avec des logiciels sur un ordinateur.

Il existe différents types et modèles de cartes Arduino, allant du Nano au Mega, avec différentes caractéristiques, comme le nombre de pins et les fonctionnalités prédéfinies. Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur Atmel AVR (ATmega328 ou ATmega2560 pour les versions récentes, ATmega168 ou ATmega8 pour les plus anciennes), et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles).

III-5-2-2-Carte Arduino UNO

Dans ce projet nous avons opté pour la carte Arduino UNO. Cette dernière peut agir comme un automate de commande pour piloter la machine CNC.

La carte Arduino UNO, est une carte à microcontrôleur basée sur un Atmega328p. Elle est dotée de 14 entrées/sorties digitales (dont 6 peuvent être utilisées en tant que sortie PWM), 6

entrées analogiques, un Quartz de 16Mhz, et une connexion USB. La carte est illustrée dans la figure ci dessous.

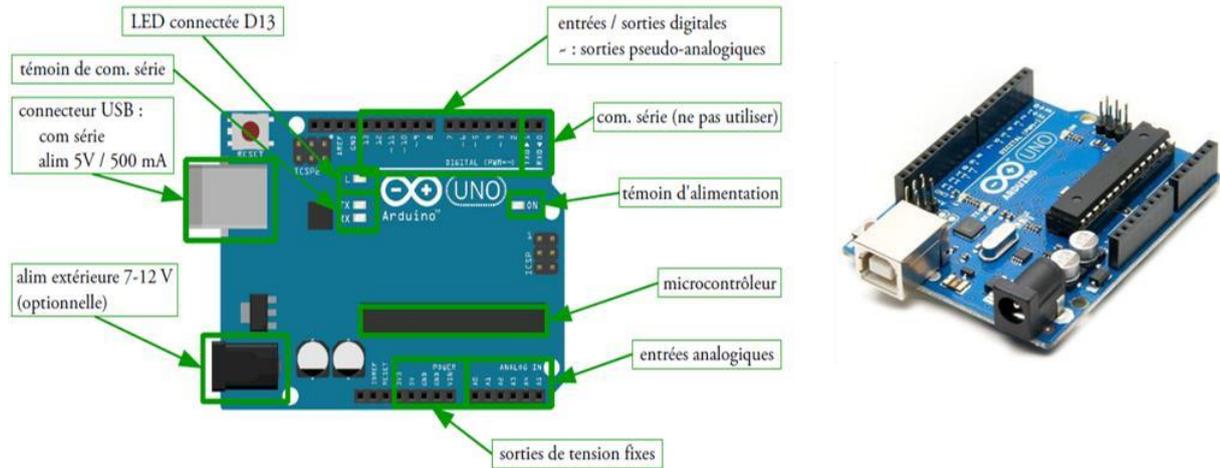


Figure 3. 16 : La Carte Arduino UNO et sa constitution.

Spécifications de l'Arduino UNO

- Microprocesseur : ATmega328, Cadencement : 16 MHz
- Mémoire Flash : 32 KB.
- Mémoire SRAM : 2 KB, mémoire EEPROM : 1 KB.
- 14 broches d'E/S dont 6 PWM, 6 entrées analogiques 10 bits.

III-5-2-3-Carte d'adaptation CNC Shield

CNC Shield est une carte d'extension d'Arduino destinée pour les machines CNC. Elle dispose d'un design compact rend le branchement et le câblage des composants. Elle s'enfiche directement sur l'Arduino UNO. Le CNC Shield contient 4 emplacements prévu pour 4 contrôleurs de moteurs pas à pas du même type à savoir le DRV8825. Il contient aussi des emplacements les capteurs de fin de course et l'arrêt d'urgences.

La carte Shield à de hautes performances et la capacité a accepté plusieurs formes du code-G. Elle est capable d'accepter une alimentation jusqu'à 36 volts et 1/32 de micro-pas,

Spécifications du CNC Shield

Comptabilité avec le GRBL (Pour logiciel a licence libre sur Arduino UNO qui transforme la commande code-G a un signal pour moteur pas à pas).

Supporte jusqu'à 4 axes X, Y, Z, et A

Double sortie d'arrêt pour chaque axe

L'activation de refroidissement

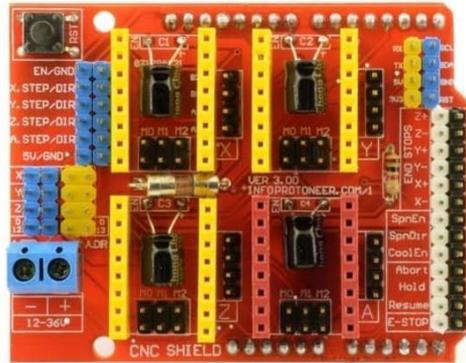


Figure 3. 17 :CNC Schiled V.3.

III-5-2-4-Drivers des moteurs pas à pas

Drivers ou contrôleur de moteur pas à pas sont des circuits spécialisés nécessaires pour transmettre une puissance à un moteur électrique suivant des consignes précises : vitesse. Position, couple, etc. Ils existent plusieurs types de drivers des moteurs pas à pas, mais notre choix est tombé sur le DRV8825 vue qu'il est compatible avec le CNC Shield.

Le DRV A4988 est driver pour moteur pas à pas est très performant et facile à manipuler. Il est compatible avec la technologie « Micro-stepping », ou il est capable de faire jusqu'à 1/32ème Micro-Pas, avec une alimenter de 12 à 36 V,

La figure ci-dessous présente le driver DRV8825 avec ses pins de branchement.

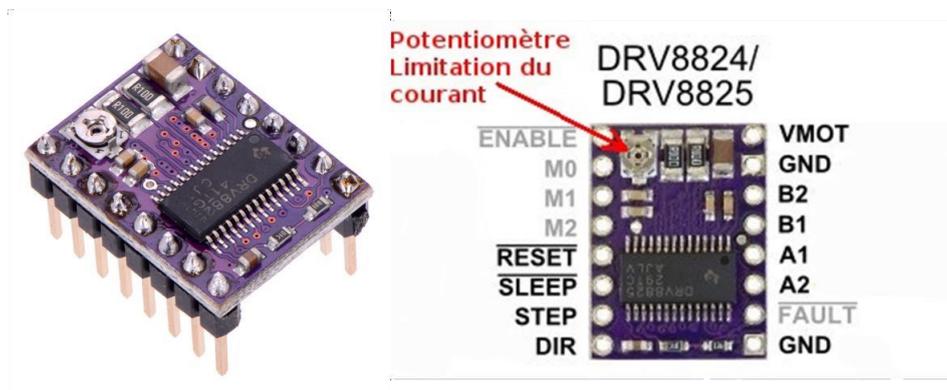


Figure 3. 18 : Driver DRV8825 avec ses pins de branchement.

Comme indique sur la figure, le driver dispose d'un potentiomètre de limitation du courant, ce qui permet de définir la limite du courant délivré vers les moteurs selon les consignes de leurs plaques signalétiques.

Le CNC Shield dispose de Jumpers (cavaliers) qui permettent de configurer le mode de fonctionnement des drivers en pas complet ou en mode micro-pas. En règle générale, plus le nombre de micro-pas est élevé, plus les mouvements sont lisses, mais le couple diminue. Inversement, moins il y a de micro-pas, plus les moteurs pas à pas ont un couple élevé.

Dans notre projet, puisque nous avons utilisé une tige filetée à pas fin, nous avons préféré de rester au mode pas complet (full-step) afin d'augmenter la vitesse des mouvements.

III-5-3-Capteurs de fins de courses

Un capteur ou interrupteur de fin de course est un dispositif électromécanique qui consiste en un actionneur relié mécaniquement à un ensemble de contacts. Lorsqu'un objet entre en contact avec l'actionneur, l'appareil actionne les contacts pour établir ou rompre une connexion électrique. Les capteurs de fins de course fournissent une information sur la position des axes de la machine afin d'empêcher tout débordement des axes.



Figure 3.19 : Capteurs de fins de courses.

Dans notre machine, deux fins de courses sont montées sur les extrémités de chaque axe de la machine.

L'interrupteur de fin de course doit être positionné de manière à être actionné entre 3 et 4 mm avant que les assemblages ne se touchent. Les figures suivantes présentent les emplacements des fins de course par rapport aux axes X, Y, et Z.

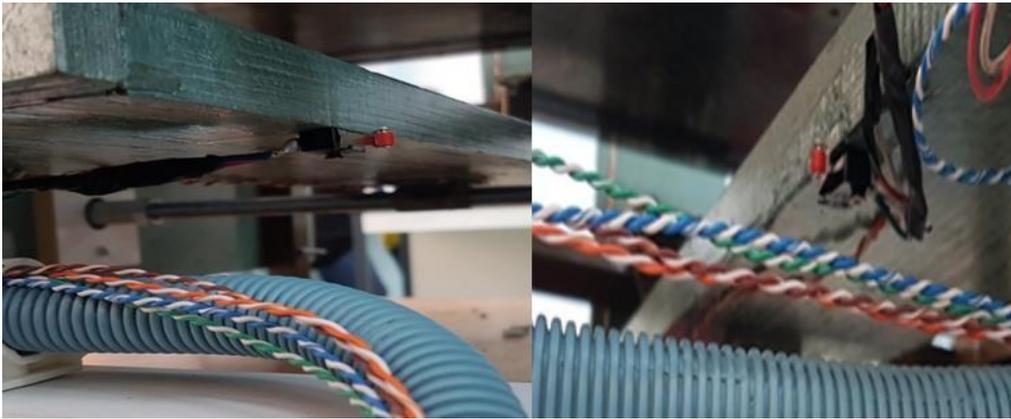


Figure 3. 20 : les emplacements des fins de course axe-X, Machine, avant et arrière.



Figure 3. 21 : Les emplacements des fins de course axe-Y, Machine, droite et gauche.



Figure 3. 22 : L'emplacements de fins de course, unique au chariot d'axe Y.

III-5-4-Bouton d'arrêt d'urgence

Comme son nom l'indique, ce bouton ne servira qu'en cas d'urgence. Une action sur ce bouton stoppe immédiatement toute opération en cours et impose une réinitialisation de la machine.

A des fins de sécurité, le bouton d'arrêt d'urgence envoie un signal d'arrêt à l'Arduino. En plus, il est placé dans le circuit d'une manière qui permet de couper physiquement et totalement, l'alimentation électrique de la machine.



Figure 3. 23 : Bouton d'arrêt d'urgence.

III-5-4-Alimentation électrique

C'est le bloc qui fournit de l'énergie à l'ensemble des éléments du système pour les mettre en marche.

Dans ce projet, au début, nous avons opté pour une alimentation ATX d'un ordinateur de bureau, Mais le fait que celle-ci n'a pas pu fournir la puissance nécessaire, nous l'avons changée par une autre alimentation qui a les caractéristiques suivantes :

- Puissance : 480W.
- Tension de sortie : 12V.
- Courant de sortie : 10A.
- Rendement > 85%.
- Carcasse en aluminium.
- Protections contre : court-circuit/surcharge/température.



Figure 3. 24 : Alimentation électrique 12V/10A.

III-5-5-Broche de fraisage FAR-TOOLS DC 170 115424

Pour les machines CNC il, existent plusieurs types de broches fraiseuses de grandes puissances avec des systèmes de refroidissements à air ou à eau. Mais pour les machines amateurs on utilise généralement des mini meuleuses et peseuses de différentes marques : Dremel, Kress, BOSCH, ...etc.

Pour notre machine nous avons utilisé une Mini-meuleuse de référence FAR-TOOLS DC 170 115424. Elle a une puissance de 170W avec variation de vitesse par curseur rotatif et blocage d'arbre pour changer facilement les accessoires. Les caractéristiques détaillées de cette Mini-meuleuse sont :

Dimensions du produit (L x l x h) 36 x 7,5 x 27 cm

Référence DC 170

Tension 230 Volts

Puissance 170 Watts

Vitesse de rotation 8000-35000TR/MIN



Figure 3. 25 : La broche de fraisage FAR-TOOLS DC 170 115424.

III-5-6-Montage du circuit et finalisation du boîtier de la commande

Après avoir présenté tous les éléments constituant le circuit électronique notre fraiseuse CNC, nous assemblons maintenant circuit global suivant la figure ci-dessous :

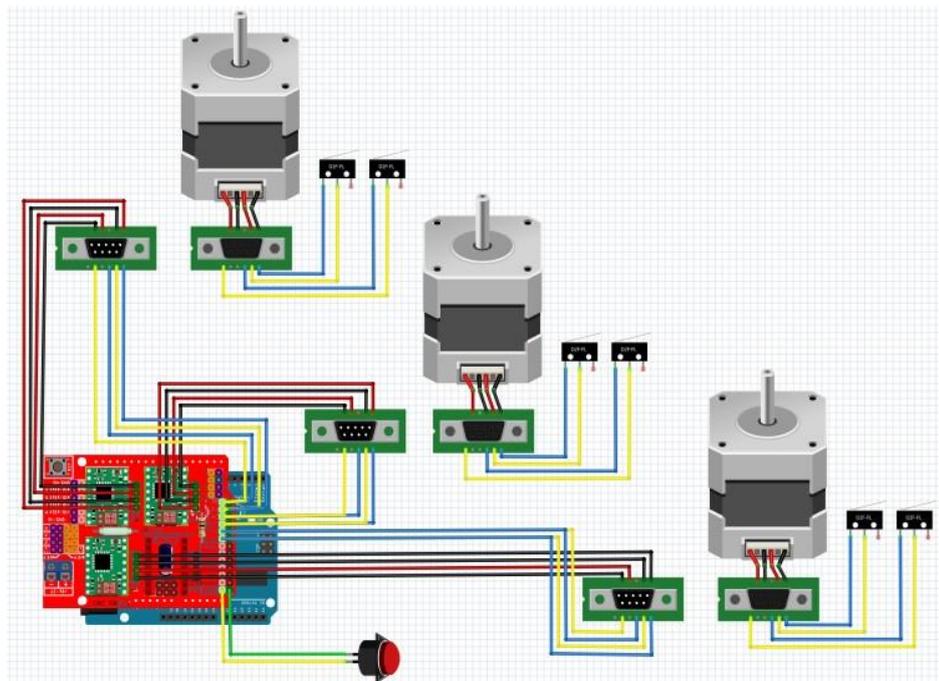


Figure 3. 26 : Circuit électronique du boîtier de la commande.

Les moteurs pas à pas, les fins de courses, et la broches étant fixés sur la structure mécanique nécessitent un câblage afin de les ramener au boîtier de commande. Les fils conducteurs de ces éléments sont ramenés vers le boîtier de commande à l'intérieure d'une gaine souple, fixé sur la carcasse de la machine avec des colliers châssis, d'une manière à ne pas gêner le coulissage des axes. Pour chacun des axes X, Y, et Z, le moteur pas à pas étant bipolaire nécessite 4 fils chacun, et les deux fins de course nécessitent aussi 4 fils. Donc pour ramener les câbles de vers le boîtier de commande, on est besoin de 3 connecteurs de 8 connexions minimum chacun. Par conséquent, Nous avons opté pour des connecteurs db9 ou RS-232 pour assurer la connexion de ces axes avec le boîtier de commande. La disposition des pins de connexion des ports RS-232 avec le moteur et les fins de course est représenté dans le schéma suivant :

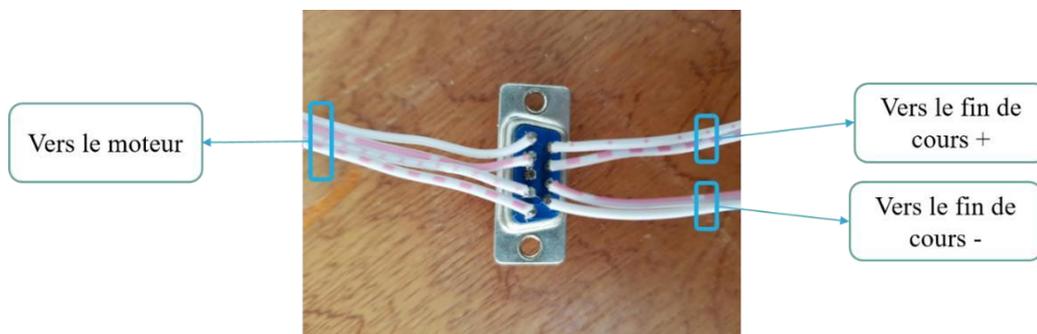


Figure 3. 27 : La disposition des pins de connexion des ports RS-232.

Appart les moteurs, les fins de course, et la broche, l'emplacement naturel de tous les autres composants est dans une armoire ou un boîtier électrique. Par conséquent, un boîtier en Forex a été conçu et réalisé pour inclure ces composants. Les croquis de ce boîtier réalisé sont décrits dans la figure 3.28.

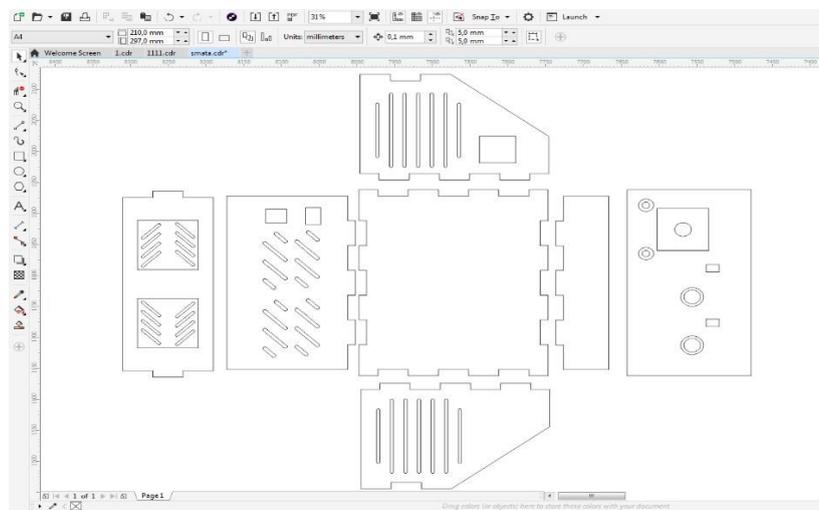


Figure 3. 28 : Conception du boîtier de commande.

Ce boîtier a été réalisé par une machine CNC professionnelle, et le résultat obtenu est illustré dans la figure suivante :

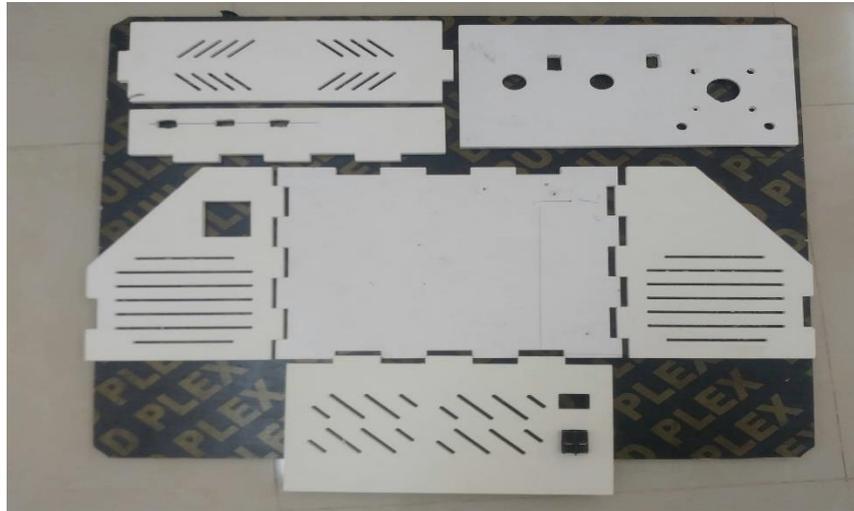


Figure 3.29 : Boîtier réalisé par une machine CNC professionnelle.

Sur la face avant du boîtier on trouve :

- En bas, les trois connecteurs RS-232 pour chacun des axes X, Y, et Z.
- En haut, une sorte de pupitre de commande qui contient :
 - ✓ Un interrupteur et son voyant pour la mise en marche de l'alimentation.
 - ✓ Un interrupteur et son voyant pour la mise en marche de la broche.
 - ✓ Le bouton d'arrêt d'urgence avec deux voyants pour indiquer l'état de la machine.

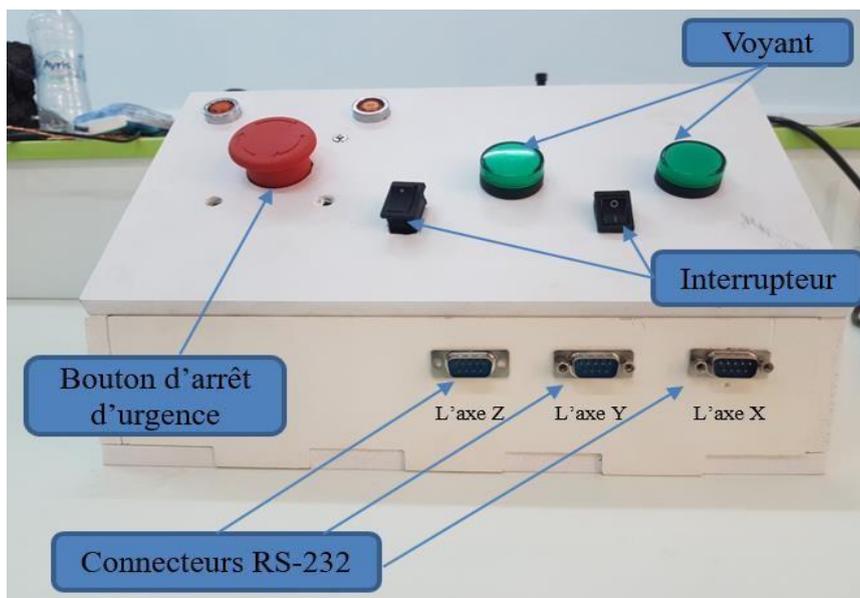


Figure 3.30 : Face avant du boîtier.

Sur la face arrière du boîtier on trouve :

- Une fiche de l'arrivée de l'alimentation électrique AC, avec un interrupteur.



Figure 3. 31 : Face arrière du boîtier.

Deux ventilateurs, et des fentes d'aérations ont été inclus dans le boîtier afin de faire circuler l'air et refroidir ainsi les driver et l'alimentation électrique.



Figure 3. 32 : Deux ventilateurs d'aérations.

III-6-Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une description détaillée de l'architecture hardware mécanique et électrique du projet, les éléments qui constituent les différentes unités, ainsi que principe de fonctionnement de chaque élément.

La mise en fonctionnement et la programmation de notre fraiseuse réalisée seront entamées dans le prochain chapitre.

IV-1-Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons abordé en détail les éléments constitutants, l'architecture, et la construction de notre machine CNC. Dans ce chapitre on s'intéresse à la programmation et la configuration de la carte de commande, ainsi que les différentes étapes et outils informatiques utilisées pour réaliser un produit sur une fraiseuse numérique.

De l'idée de départ jusqu'à la finalisation d'un produit sur une machine CNC, tout se passe sur l'ordinateur, en utilisant différents logiciels et outils informatiques pour que la machine comprenne les instructions données par l'ordinateur de contrôle. Ces instructions sont transmises de l'ordinateur vers la carte de commande sous forme d'un langage de programmation spécial qui est le G-code, ou code-G.

IV-2-Environnement Logiciel De La Machine CNC

Les étapes de conception et les logiciels utilisés dans la commande numérique de notre machine CNC sont présentés dans le schéma synoptique de la Figure suivante.

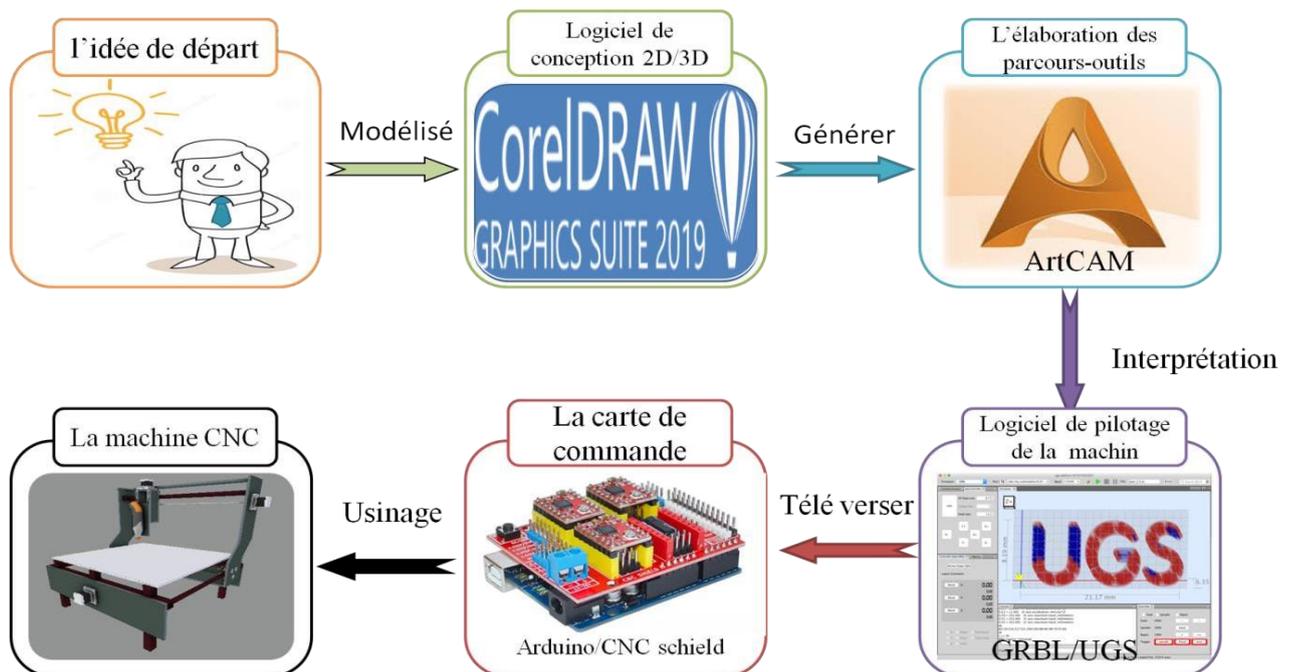


Figure 4. 1: Schéma synoptique Environnement Logiciel De La Machine CNC.

IV-2-1-La conception 3D/2D (La Modélisation 3D)

Les machines à commande numérique n'étant pas contrôlées par la main de l'homme, il est nécessaire de concevoir la pièce à fabriquer à l'aide d'un logiciel de CAO. La conception permet d'élaborer, de dessiner, et de visualiser un objet en deux ou trois dimensions. Le fichier obtenu est appelé modélisation 2D ou 3D, ou encore DFN pour Définition de Formes Numérisée. On voit de plus en plus de solution logiciel ou CAO et FAO ne font qu'un, on parle alors de CFAO [12].

Il existe plusieurs logiciels utilisés dans l'industrie suivant le produit à réaliser et le matériel utilisé, tel que le logiciel Solid Works 2D/3D qui est le plus populaire et corelDRAW pour les dessins 2D. Dans notre cas, pour le graphisme 2D, nous avons choisi le logiciel de dessin corelDRAW.

IV-2-1-1-CorelDRAW

Corel DRAW est un logiciel libre de dessin vectoriel sur Windows/Mac développée par l'éditeur de logiciels Corel depuis 1989. Ce logiciel comporte des outils de dessin flexibles permettant de créer des graphismes au format vectoriel, Traiter les objets bitmap et vectoriels, contrôle objets et Amélioration du flux de travail au niveau du pixel pour des documents parfaits au pixel près de nombreux formats de données, la figure qui suit donne l'interface du logiciel.

1-Barre d'outils/ 2- Zone d'accrochage supérieure/ 3- Démarrer /4-Tutoriaux.

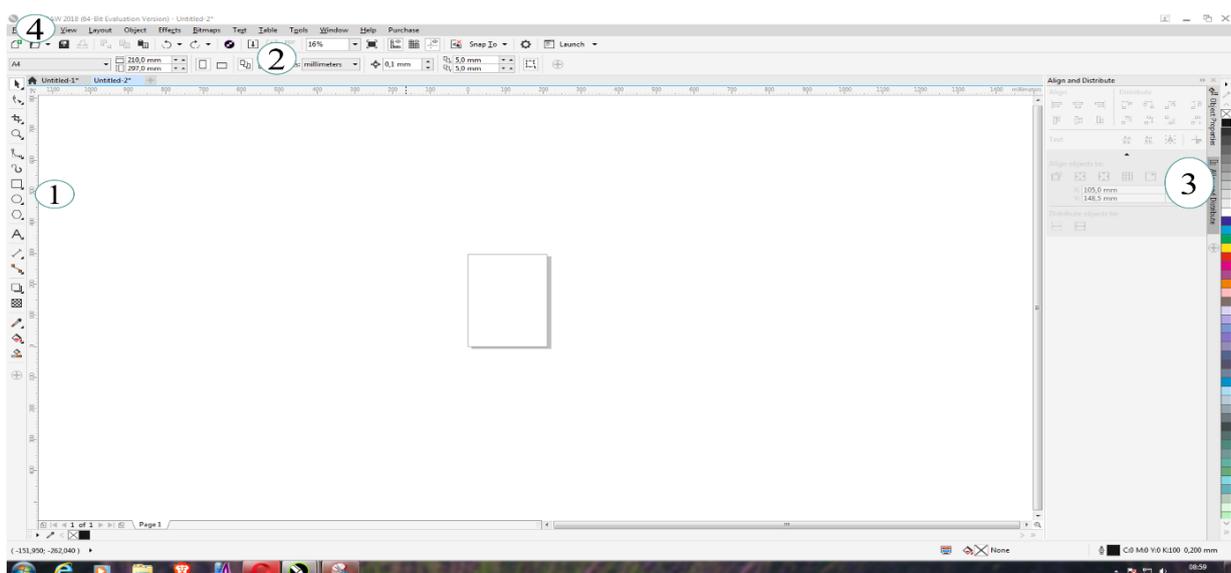


Figure 4. 2 : interface de corelDRAW.

IV-2-2-Elaboration des parcours-outils

Une fois le DFN importé, le programmeur du logiciel de FAO s'appuie sur ce dernier, à l'aide des algorithmes de déplacement intégrés, pour générer les parcours outils en fonction des outils, vitesses de coupe ainsi que les méthodes d'usinage spécifiques à mettre en œuvre. Les trajectoires des outils appliquées à la modélisation 3D sont enregistrées sous forme d'équations. Les logiciels de FAO sont dotés de moyens de simulations où l'on peut tester les méthodes d'usinage dans une machine-outil virtuelle, ce qui permet de vérifier l'absence de collisions lors des mouvements des différentes parties mobiles (table, tête, structure, axes rotatifs). Une fois les vérifications de parcours validées, les données de trajectoire sont traduites en langage machine : le G-code. Pour la génération d'un fichier G-code il existe des logiciels spécialement conçus pour cela, tel que le logiciel Slic3r, Inkscape, Charlygraal, ArtCAM et bien d'autre. Dans ce travail nous avons choisi le logiciel ArtCAM.

IV-2-2-1-ArtCAM

ArtCAM est un logiciel unique qui permet de créer des produits 3D de haute qualité à partir de dessins 2D de type bitmap ou des travaux d'art en profils. ArtCAM transforme nos idées en produits finis bien plus rapidement qu'il n'est possible en utilisant des méthodes traditionnelles. Même dans les cas où un aspect de finition à la main est désiré, ArtCAM accélère la production. Ainsi, ArtCAM et une machine à outils ou un routeur, pour usiner le plus gros de votre travail, permettent à l'artisan de consacrer plus de temps à la conception et notamment aux petits détails de ses produits [15].

1-La barre de menu / 2- Zone d'accrochage supérieure / 3-Démarrer / 4-Tutoriaux / 5-En direct / 6-Barre d'outils.

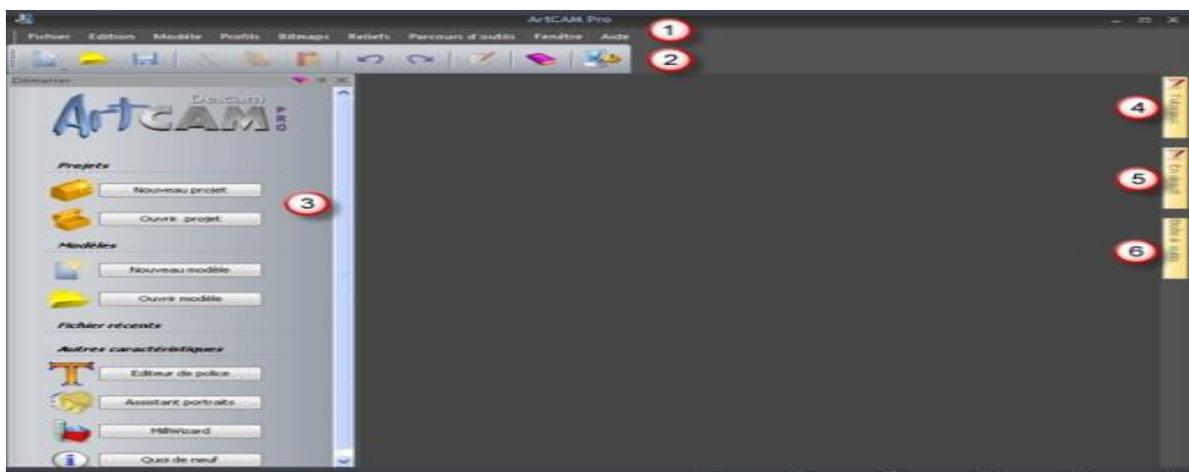


Figure 4. 3 : Interface ARTCAM.

IV-2-3-Langue de contrôleurs numériques « Gcode »

Le G-code est le langage de programmation inventé dans les années 1950 pour contrôler une machine à commande numérique. Il est basé sur des lignes de code, plusieurs de ces lignes peuvent être regroupées dans un fichier pour créer un programme G-code, qui sert à programmer les mouvements que la machine va effectuer (droite, arc de cercle, etc.). Il est à noter que le G-code est utilisé pour des fraiseuses à commande numérique, des tours, des imprimantes 3D et des lasers de découpe [14].

IV-2-3-1-Structure d'un programme [2]

- Un programme de commande numérique est formé d'un ensemble de blocs d'informations respectant une syntaxe donnée.
- Chaque bloc contient des mots ou instructions de pilotage de la machine.
- Chaque mot est formé de la même façon :

Une adresse, un signe et une valeur (Le signe+ peut être omis)

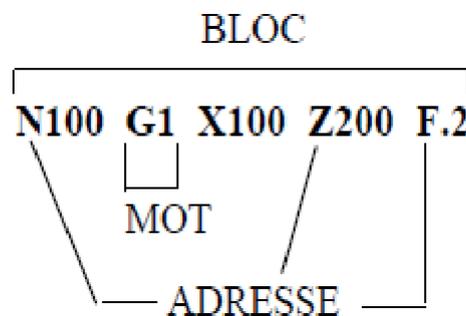


Figure 4. 4 : Structure d'un bloc de programme d'usinage.

- Un mot peut être une fonction ou un déplacement suivant un axe :

G... : fonctions préparatoires

F... : fonctions vitesse d'avance ("Fedrat" = avance)

S... : fonctions vitesse de broche ("Speed" = vitesse)

T... : fonctions outils ("Tools" = outils)

M... : Fonctions auxiliaires ("Miscellaneous" = varié, divers)

X... : mouvement suivant l'axe X

Y... : mouvement suivant l'axe Y

- Un programme commence par le caractère "%" suivi d'un numéro de programme (de 1 à 8999) et éventuellement d'un commentaire entre parenthèses (40 caractères max.).
- La numérotation s'effectue de 5 en 5 ou de 10 en 10 pour permettre une insertion éventuelle de blocs.
- Un programme principal se termine obligatoirement par la fonction auxiliaire M2 qui permet une remise à zéro du système.

IV-2-4-Interprétation du Gcode et transformation en mouvement sur la machine

Après la génération d'un fichier G-code, il reste à l'interpréter de façon à pouvoir contrôler les moteurs avec un microcontrôleur plus précisément avec une carte Arduino. Il existe des logiciels et des micrologiciels spécialement conçus pour cela, tel que le GRBL, qui est compatible avec la carte de commande de notre machine CNC [14].

IV-2-4-1-Description du micrologiciel GRBL

GRBL est un logiciel "firmware", exécuté sur un Arduino pour contrôler des graveuses CNC (Computer Numerical Control), des fraiseuses munies d'une tête mobile contrôlée en X, Y et Z par un ordinateur, GRBL interprète du G-code reçu, construit un modèle mathématique des actions à effectuer, et exécute ces mouvements en envoyant un flot continu de pulsions haute fréquence aux moteurs pas à pas afin de gérer correctement les accélérations, les trajectoires, etc. Pour pouvoir l'utiliser, le firmware- GRBL doit être chargé sur la carte Arduino, cette étape se fait par un outil qui s'appelle Xloader [16].

Xloader est un chargeur de classes Java. Il est conçu pour transmettre un fichier compilé de firmware- GRBL afin de mettre à jour facilement la carte Arduino. Comme montré sur la figure, cet outil permet de sélectionner le lien du fichier firmware- GRBL préalablement téléchargé, le type de la carte Arduino utilisée, le port utilisé, et la configuration de la communication série.

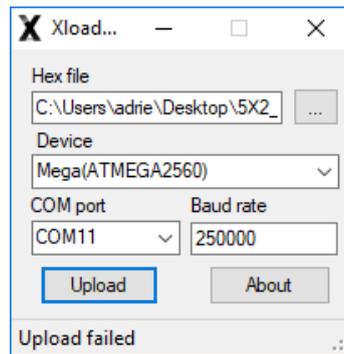


Figure 4. 5 : Interface Xloader.

Le GRBL ne dispose d'aucune interface utilisateur, donc pour pouvoir interagir avec la machine. Il faut donc se disposer d'un autre logiciel, exécuté sur l'ordinateur qui est en liaison avec l'Arduino, il existe plusieurs outils pour le faire, dans notre cas, notre choix est tombé sur l'UGS (Universal G-code Sender) [13].

IV-2-4-2-Logiciel de pilotage de la machine CNC (d'Universal Gcode Sender)

La solution la plus fonctionnelle que nous avons trouvée est une évolution d'Universal Gcode Sender (développé initialement par l'auteur de GRBL), qui est en cours de développement par *Winder*. C'est un expéditeur multiplateformes basé sur *Java* et compatible avec GRBL, qui interprète, visualise et injecte le code G vers une machine de commande numérique. Ce logiciel peut modifier les paramètres détectés sur le port USB installé sur la carte de commande de la machine CNC qu'on appelle paramètre machine.

Les paramètres machine dépendent de la version du firmware-GRBL téléchargé sur la carte de commande (Arduino UNO pour notre cas). La figure suivante donne l'interface graphique de la version 10.9 de ce logiciel (Figure 4.6).

Cette interface permet de commander la machine CNC en deux manières : manuelle ou automatique.

Le mode manuel : Ce programme est doté d'une interface pour commander les axes séparément à l'aide des boutons de mouvements dans le sens positif ou négatif pour chacun des axes X, Y, et Z (Figure 4.7).

Mode automatique (Mode Fichier) : Dans ce mode, la machine est commandée par des instructions Gcode contenu dans un fichier d'extension « .nc » qu'on charge dans l'interface de l'onglet "file mode" (Figure 4.8).

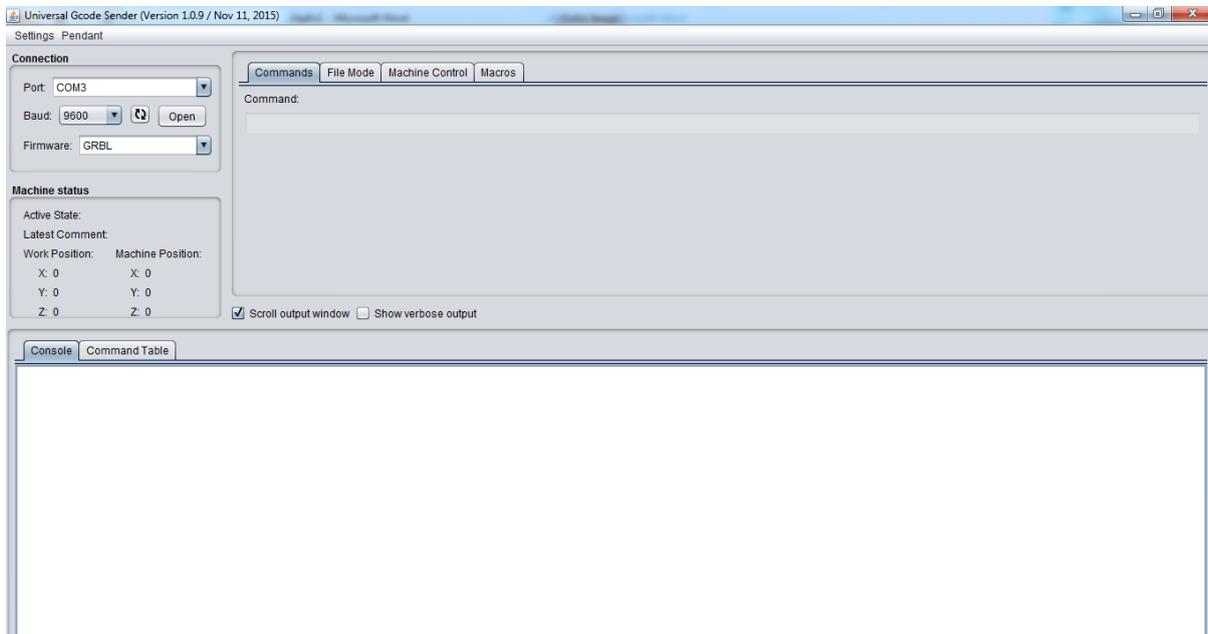


Figure 4. 6 : L'interface de UGS (Universal Gcode Sender).

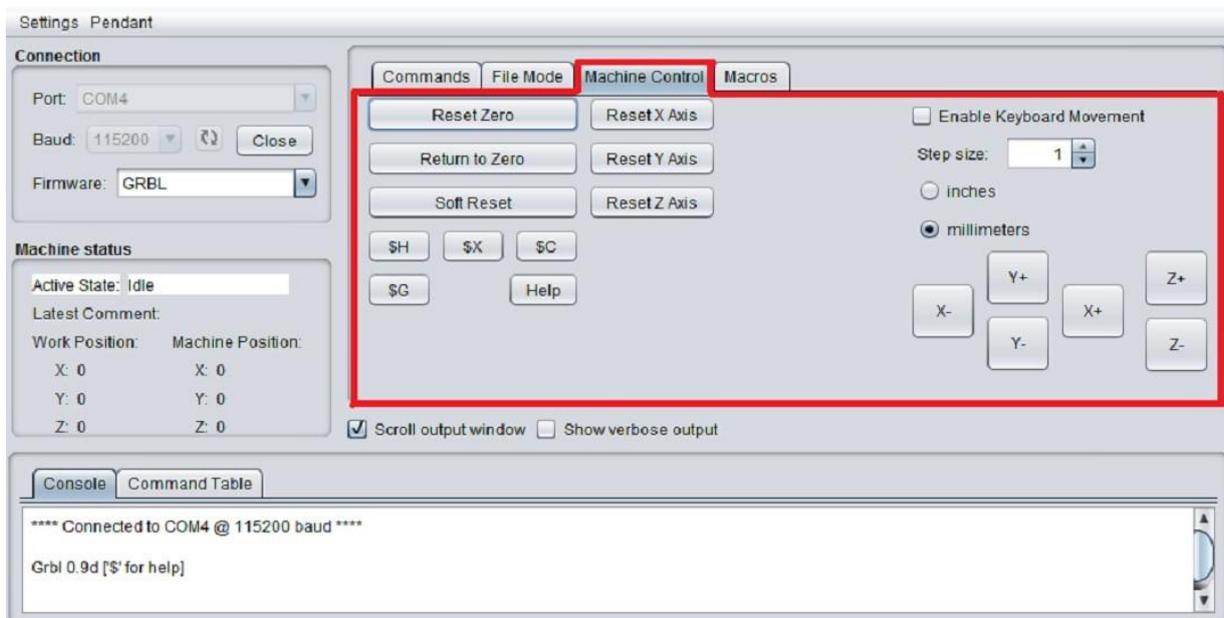


Figure 4. 7 : Interface de UGS (Universal Gcode Sender). On mode manuel.

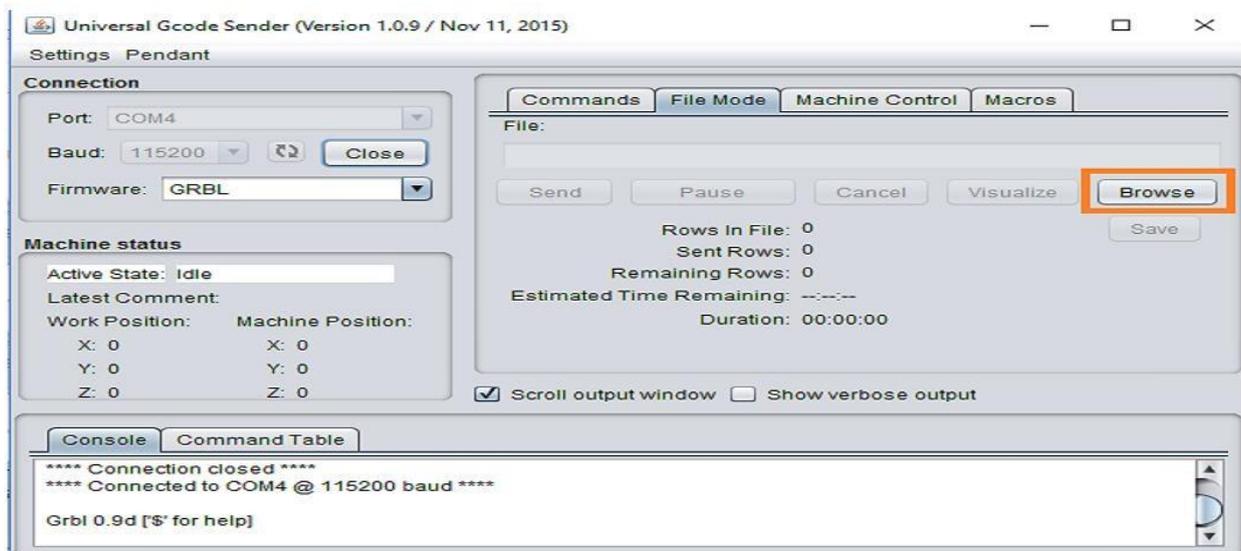


Figure 4. 8 : L'interface de UGS (Universal Gcode Sender) on mode automatique (choisir le fichier Gcode.).

IV-3-CAS PRATIQUE : Conception et réalisation du logo de l'université

Dans cette partie, nous allons présenter en détail les étapes de conception et de réalisation pratique d'un produit par une machine CNC en utilisant l'outil de conception CorelDRAW pour la conception, et ArtCAM pour générer le programme de fabrication.

Dans cette présentation, nous avons pris comme exemple la réalisation de logo de notre Université.

IV-3-1-Préparation de design 2D du logo

L'image du logo qu'on veut réaliser est représentée sur la figure 4.9.



Figure 4. 9 : Photo du logo de l'université de Bouira.

Après avoir importé l'image sur CorelDRAW, on doit apporter des réglages sur l'orientation, les dimensions, et la position de l'image sur la feuille de dessin, selon les besoins de conception.



Figure 4. 10 : Importation d'image sur corelDRAW.

IV-3-2-Vectorisation de l'image

Le CorelDRAW permet de redessiner le logo par des lignes, points, courbes...etc.) et même ajouter du texte. Mais il dispose d'un outil de vectorisation des images qui permet d'extraire des contours et des formes à partir des images. Le but de la vectorisation avec cet outil n'est pas de produire une duplication exacte de l'image originale, mais elle interprète une image matricielle en noir et blanc, et produit un ensemble de courbes, qu'on peut l'utiliser comme ressources dans notre dessin [13].

Pour utiliser l'outil de vectorisation, après avoir importé l'image, on sélectionne le menu Trace bitmap > logo > power TRACE, puis on ajuste les paramètres de vectorisation comme indiqué sur la figure 4.11.

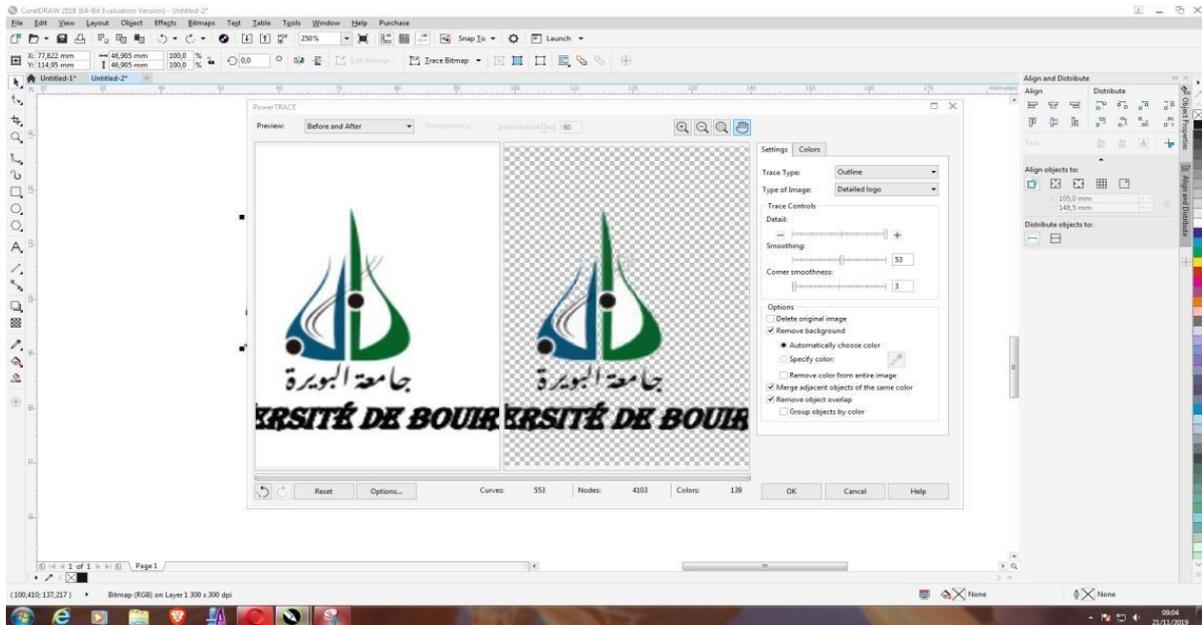


Figure 4. 11 : Paramètre de vectorisation d'image sur corelDRAW.

La vectorisation de notre logo donne le résultat indiqué sur la figure 4.12.

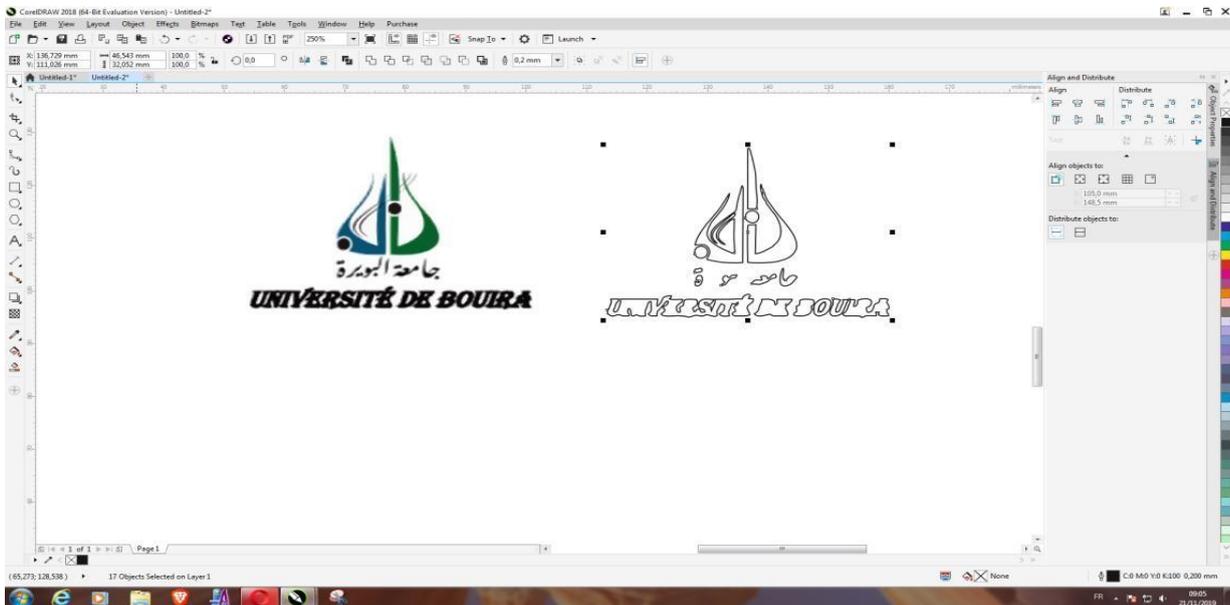


Figure 4. 12 : Résultat de La vectorisation.

Ce résultat obtenu n'est pas propre, donc il nécessite des opérations de nettoyage et de traitement ce qui donne le vecteur présenté sur la figure 4.13, qu'on exporte et enregistre sous la forme .DXF.

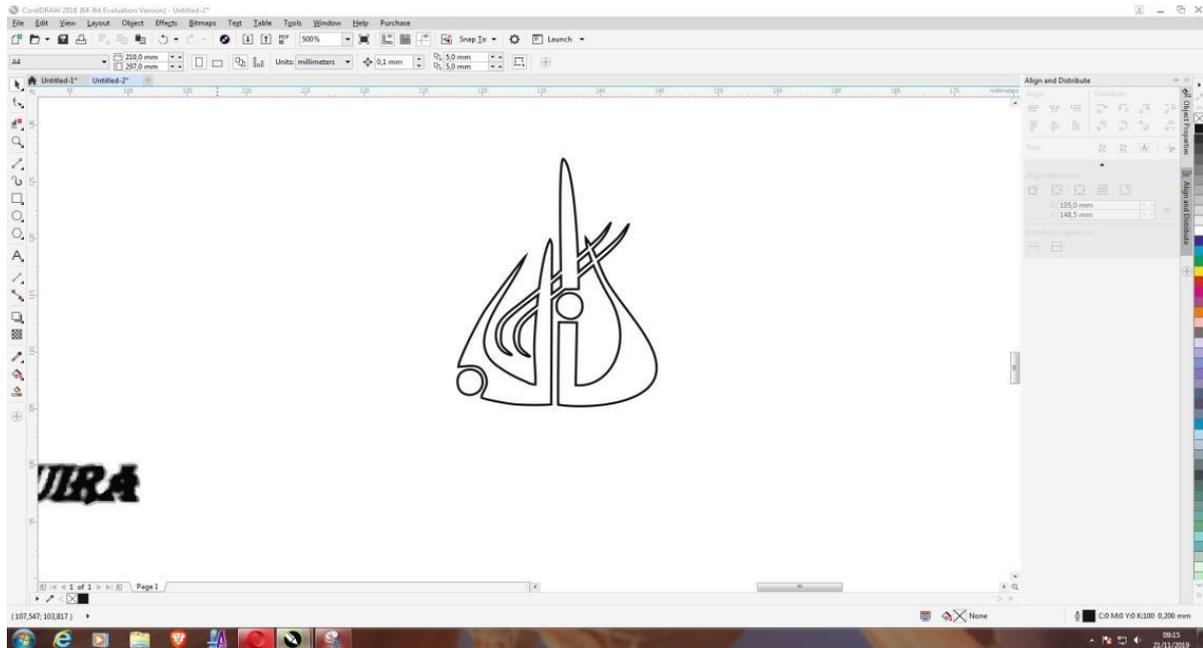


Figure 4. 13 : Résultat obtenu après traitement.

IV-3-3-Présentation de logo sur l’outil FAO et élaboration des parcours - outils :

Après avoir réalisé et sauvegardé le design 2D, on passe à l’élaboration des parcours-outils par le deuxième logiciel à savoir le ArtCAM.

Sous le logiciel ArtCAM on importe le fichier préalablement sauvegardé à partir de menu Fichier > Ouvrir, puis on sélectionne le fichier et on appuie le bouton « Ouvrir ».

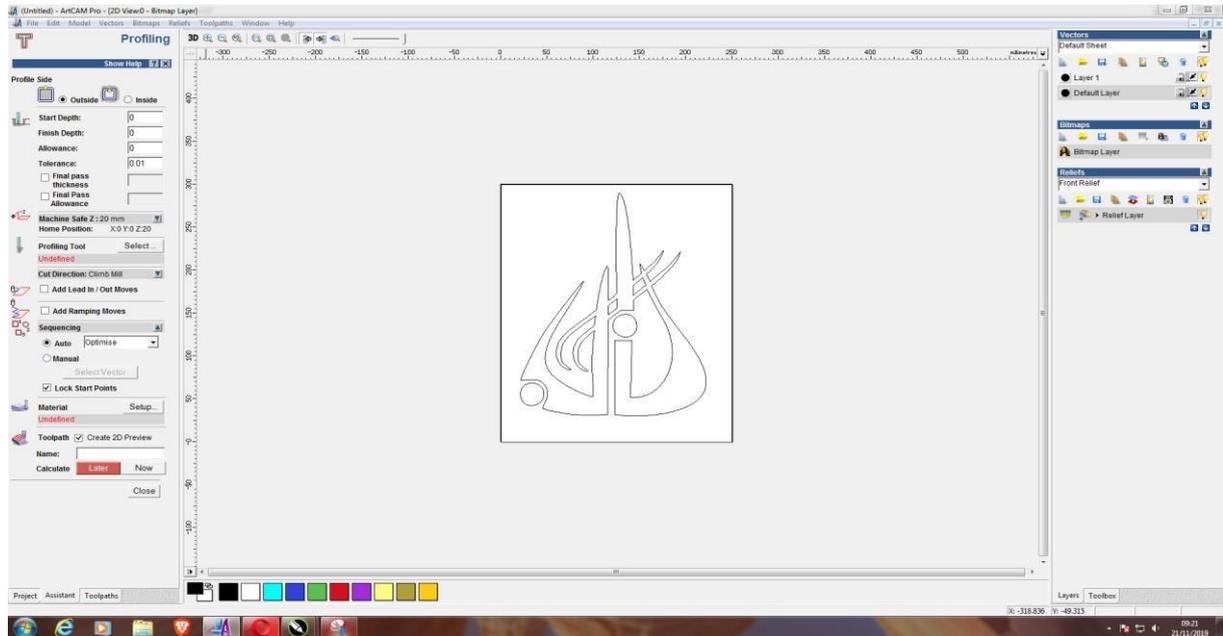


Figure 4. 14 : Importation de l’image sur ArtCAM.

A partir de la menue bibliothèque des outils (Figure 4.15) on choisit outil de type End Mill de diamètre 3 mm, puis on introduit les paramètres CN tel que la vitesse de rotation et la vitesse d’avance comme montre la figure 4.16.

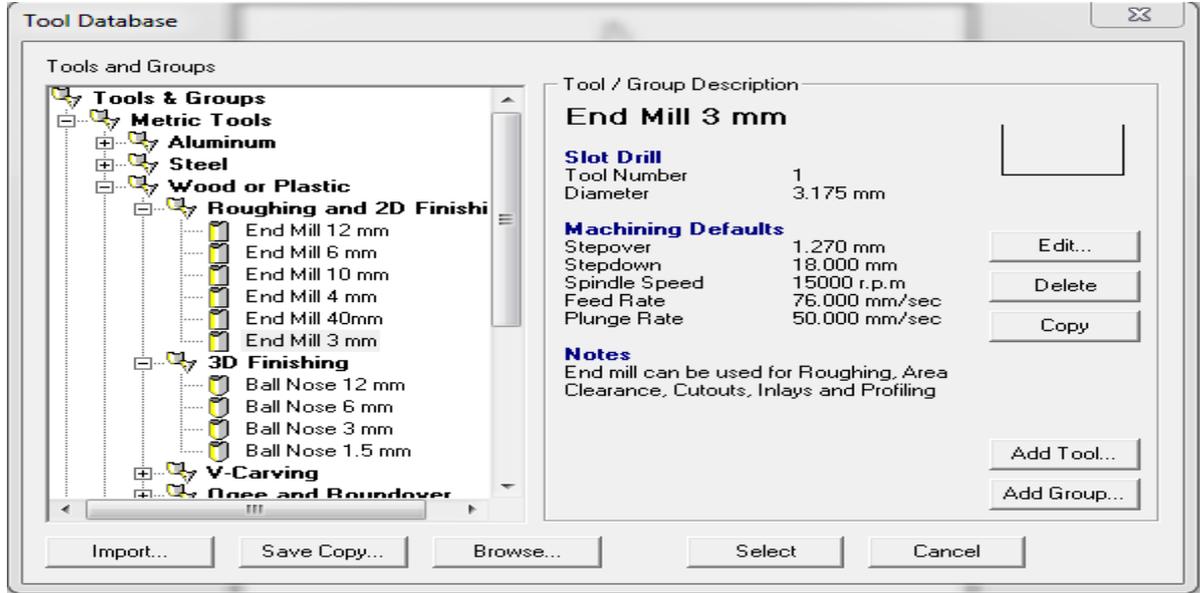


Figure 4. 15 : Choix de l’outil de coupe.

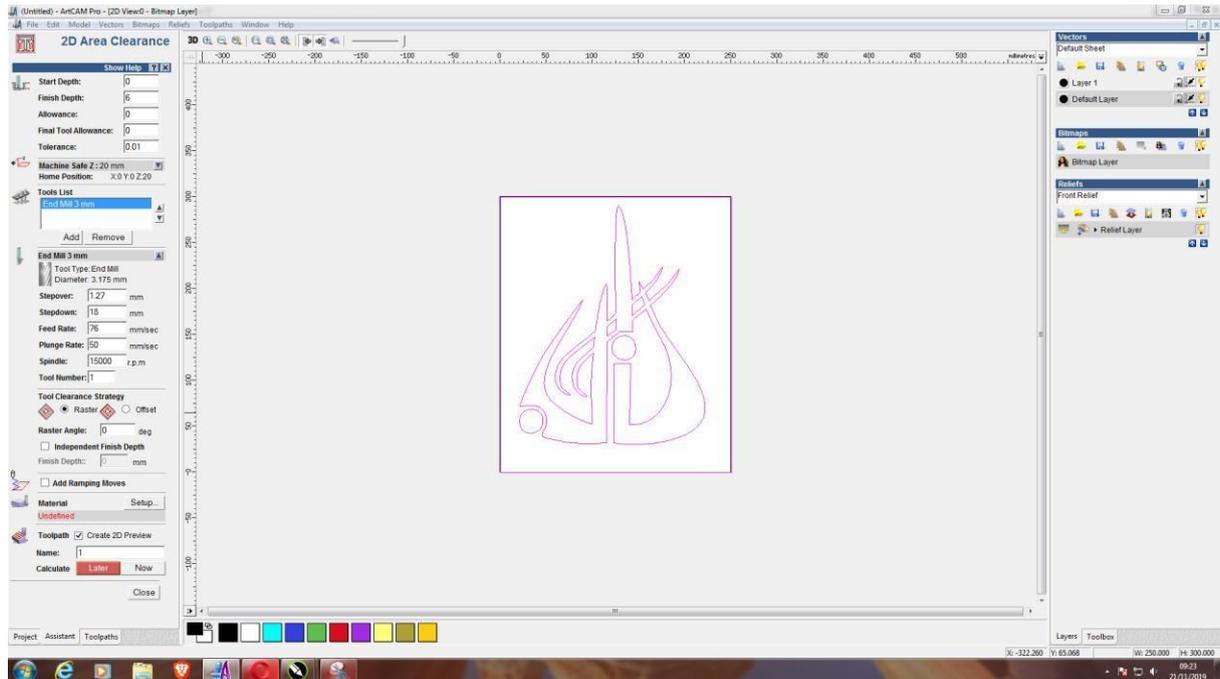


Figure 4. 16 : Fenêtre des paramètres CN.

On exécute la trajectoire suivant le tracé 2D, par conséquent l'outil génère directement sur la face horizontale les parcours d'outil en 3D. La figure qui suivre monter les résultats globaux obtenus après cette opération.

Ce parcours d'outil est sauvegardé dans un fichier code G sous l'extension « .nc » pour le control du mouvement de l'outil sur la machine CNC.

Ce parcours d'outil est sauvegardé dans un fichier code G sous l'extension « .nc » pour le control du mouvement de l'outil sur la machine CNC.

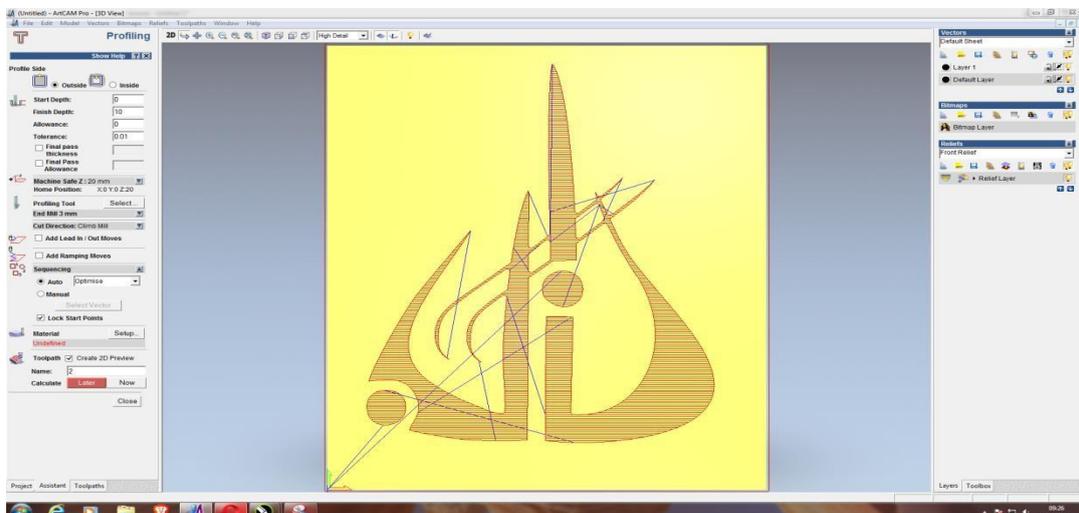


Figure 4. 17 : Les résultats globaux concernent les parcours d'outil.

IV-3-4-Préparation et envoi du fichier G code

Après les phases de conception, vectorisation et la génération du fichier de G-Code, on passe la phase de chargement et sur le contrôleur de la machine dans le but de sa réalisation.

Pour faire charger le fichier « .nc » sur l'arduino, on utilise le logiciel UGS :

Les étapes d'utilisation de ce logiciel sont les suivantes :

- Brancher L'arduino à l'ordinateur via un port USB.
- Configurer et téléverser le programme GrblUpload dans l'Arduino via port USB.
- Allumer la machine, ouvrir « Universal Gcode Sender »
- Initialisation des axes au point zéro manuellement sur logiciel G code
- Importer le fichier G-code de la pièce à usiner dans l'interface de commande
- Mise sous tension de boîtier de commande et la boîte d'alimentation.
- Envoi du fichier G-code et lancement de l'usinage.

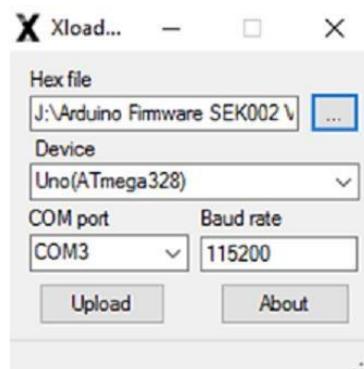


Figure 4. 18 : Configurer et téléverser le programme GRBL.



Figure 4. 19 : Initialisation des axes au point zéro.

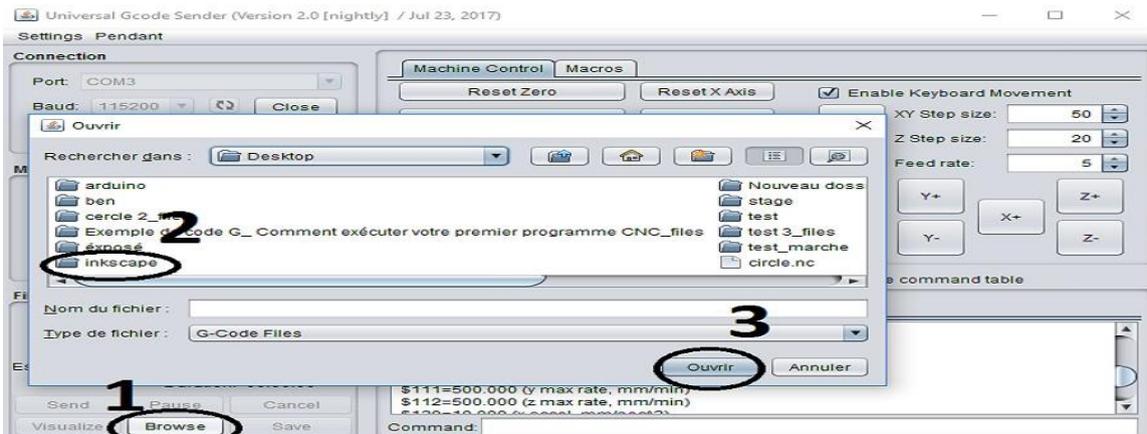


Figure 4. 20 : Importer le fichier Gcode de la pièce à usiner dans l’interface de commande.

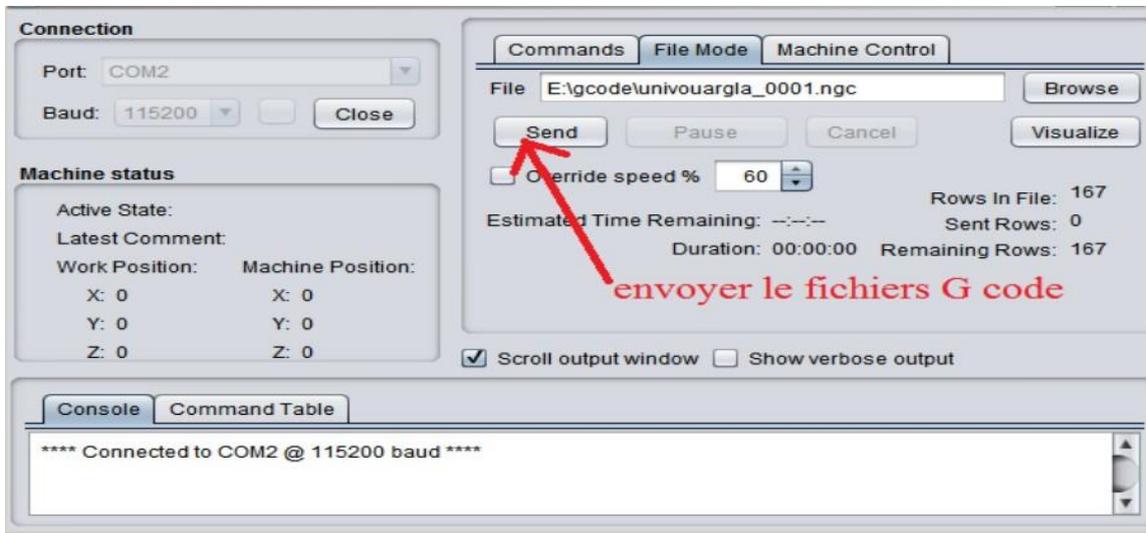


Figure 4. 21 : Envoi du fichier Gcode.

IV-4-Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les outils logiciels de conception et de réalisation d’un produit par une machine CNC. Sur l’exemple de réalisation du logo de notre université, nous avons présenté en détail toutes les étapes nécessaires de passer de l’idée initiale au produit fini.

Conclusion générale

Devenues populaire et médiatisée depuis quelques années, Les machines CNC ne sont pas récentes pour autant. La montée en puissance de cette technologie s'est effectuée aux côtés des calculateurs électroniques, et des ordinateurs, dont la puissance de calcul permet aujourd'hui d'envisager une utilisation massive des logiciels de CFAO.

Ce travail développé dans le cadre du projet de fin d'étude, est une contribution à la compréhension du fonctionnement d'une machine dans le domaine de la numérisation et l'automatisation. Il s'agit de la conception et réalisation d'une machine à commande numérique à trois axes.

Dans une première partie (Chapitres I et II), nous avons d'abord évoqués les principes et les notions globales de la MOCN et une étude détaillée des machines CNC à trois axes en termes de différents types et différentes technologies de leurs principaux composants.

Cet étude nous a permis, dans une deuxième partie (Chapitre II), de concevoir et réaliser notre propre machine CNC. La machine réalisée sert à faire des fraisages ou des dessins sur différents matériaux tel que le plastique, le bois et le Forex. Cette CNC est connectée à un ordinateur portable via un câble USB qui permet de d'envoyer un programme g-code par l'outil Universal Gcode Sender et l'exécuter sur la machine.

Dans la dernière partie (Chapitre IV), via un exemple d'application (Conception du logo de l'université), nous avons vues les différents logiciels et étapes de conception d'un produit par une machine CNC.

Cette réalisation nous a permis de mettre en pratique et d'approfondir nos connaissances théoriques acquise durant notre parcours universitaire dans plusieurs domaines (électronique et électrique, construction mécanique, et de programmation informatique). Ce projet nous a permet d'acquérir une bonne expérience au niveau de la réalisation pratique. Il a été également été une occasion précieuse d'avoir une idée générale sur les MOCN et la programmation CN assistée par ordinateur et sur les stratégies d'usinage par système FAO et CFAO.

Conclusion générale

La réalisation de cette machine a été en fonction des moyens et du budget dont nous avons disposé, et de multiples contraintes que nous rencontrées à savoir :

- L'indisponibilité ou prix élevés des équipements mécanique et électrique sur le marché national.
- Le manque des ressources humaines qualifiées pour la fabrication des pièces spéciales.
- Le manques des outils de travail e de réalisation (usinage, soudage...etc.).

Cette machine peut être améliorée lors des travaux futurs en se basant sur les perspectives suivantes :

- Utilisation des moteurs pas à pas plus puissants avec des cartes de commandes professionnelles, pour une exécution plus rapide et plus stable.
- Amélioration du système d'entraînement et du guidage plus de stabilité et de précision dans les mouvements des axes.
- L'utilisation de la communication sans fils pour la commande à distance de la machine.
- Ajout d'autres outils d'exécution (extruder, laser...torche plasma...etc), pour élargir le champ d'application de la machine.

En fin nous espérant que cette machine soit utile pour les étudiants futurs de notre université dans la réalisation des circuits imprimés, pièces mécaniques, et des boitiers dans le cadre de leurs projets de fin d'études.

Bibliographie

- [1] GUERMAT Younes « Conception et réalisation du logo de TLEMCEM Capitale Islamique en 3D ». Mémoire Master, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEM, 2011/2012.
- [2] BENTALEB mokhtar, GASMI elhadi « Réalisation et commande d'une machine cnc à base des moteurs pas à pas ». Mémoire de fin d'étude, UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA, 2015/2016
- [3] KAHOUADJI Amin « ETUDE COMPARATIVE DES STRATEGIES D'USINAGE CN :APPLICATION AU LOGO DE L'UNIVERSITE DE TLEMCEM ». Mémoire de fin d'étude, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEM, 2013
- [4] BOUANIK fouad « Simulation de l'usinage d'un guidage longitudinal sous le logiciel SINUTRAIN 828D ShopMill ». Mémoire Master professionnel, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2016/2017
- [5] DAHMANI Lotfi « Production par commande numérique ». Mémoire de fin d'étude , Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Siliana, 2017 /2018.
- [6] BELLOUFI Abderrahim « Machines-outils à commande numérique ». Mémoire de fin d'étude, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2009/2010.
- [7] ébastien CLERC « IMPRESSION 3D EN ODONTOLOGIE : PARTIE 2 Conception d'une imprimante 3D ». THÈSE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE, IUNIVERSITÉ DE LORRAINE, 2016.
- [8] Christian Gladieux « Intégrer le numérique dans votre production ». Guide-Commande Numérique, Ouvrage édité par Éditions Techniques de l'Ingénieur Saint-Denis Cedex, 2017.
- [9] A Charly « un SYSTÈME AUTOMATISÉ ». supeur de cous 4em annees, Institut Supérieur Techniques de l'Ingénieur Charlyrobot.
- [10] MOUZAOUI Melissa, TAZAMOUCHE Yanis « Réalisation et automatisation d'une machine à commande numérique ». Mémoire de fin d'étude, Université A. MIRA-BEJAIA.
- [11] E.Duc E. Lefur « MACHINES-OUTILS À COMMANDE NUMÉRIQUE ».préparation à l'agrégation, C.A.C.H.A.N, 1997.
- [12] Vincent SIMOES « génération de trajectoires pour machine a commandé numérique ouverte dans un environnement de programmation avancée step-nc ». thèse docteur, Ecole Centrale de Nantes, 2015.
- [13] Le Bear CNC & RC « Configurer et Paramétrer GRBL ». [https ://www.lebearcnc.com](https://www.lebearcnc.com)
-

Bibliographie

[14] BELAID Issam-Eddine, AZZOUZ Youcef « ETUDE ET REALISATION D'UN BRAS MANIPULATEUR DE TYPE R-P ». Mémoire Master professionnel, Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen, 2017/2018.

[15] ArtCAM « utilisation ArtCAM 2010 ». Guide d'utilisateur, Ouvrage édité par ArtCAM, 2010.

[16] [www.cours-gratuit.com-id-10672](http://www.cours-gratuit.com/id-10672), La Chaîne Logicielle. consulté le 21/09/2019.

