REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie
Département du **G**énie **M**écanique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie mécanique
Spécialité : Mécatronique

Thème :
Conception d'un système de changement d'outil pour un router CNC à 3 axes

---

Présenté par:

Dechicha Youcef

Kadri El Aiz Azzeddine

Proposé et Dirigé par :

Pr. Abdellah Abdellah el-hadj

Année Universitaire
2021-2022

Remerciements

Je tiens à remercie avant tous

« ALLAH »

Qui m’a donné la volonté, et le courage pour continuâmes études, et atteindre ce niveau, et j’exprime notre profonde gratitude.

Je tiens à remercie mon encadreur Pr. Abdellah Abdellah el-hadj pour ses conseils et sa grande assistance.

Je tiens à remercie les membres de jury d’avoir accepté l’évaluation de ce modeste travail.

Je remercie également tous enseignants du département de génie mécanique.

Je remercie tous ceux, qui de près ou de loin, qui ont contribué & participé à réaliser ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail
A mon très cher père le défunt
« SLIMAN » et à ma chère mère source de tendresse, qui m'encourage toujours.
À mes frères ;
A toute ma famille et mes amis :
A tous mes enseignants de tous les cycles ;
Mes remerciements et toute ma gratitude n'exprimeront jamais ma reconnaissance et je leur resterai éternellement redevable.

❖ **Dechicha youcef**

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents mon père et ma mère

A mes frères et sœur

A toute ma famille

Et A toute mes amis qui m`aidé pendant

5 ans et mes collèges de promo 2022

A toute les professeurs qui j`ai enseigne

tout au long de ma carrière universitaire

Et a tout personne qui m`a aidé et

accompagne financièrement et moralement

dans mes études

❖ **Kadri el aiz azzeddin**

Résume

Les machines CNC jouent un rôle important dans de nombreux domaines dans l'ingénierie à cause de leur haute précision.

Dans ce projet, nous avons conçu et réalisé une machine CNC à 3 axes. Aussi nous avons conçu Un système de changement d'outil. Pour cela, on a utilisé le logiciel GRBL PLOTTER pour commander le fonctionnement de la machine CNC.

Mots clés : Machine CNC, Microcontrôleur, G-code, moteur pas à pas, Solid Works

ملخص

تلعب ماكينات CNC دورًا مهمًا في العديد من المجالات الهندسية نظرًا لدقتها العالية.

في هذا المشروع ، قمنا بتصميم وبناء آلة CNC ذات 3 محاور. كما قمنا بتصميم نظام تغيير الأدوات.

لهذا الغرض ، استخدمنا برنامج GRBL PLOTTER للتحكم في تشغيل ماكينة CNC.

الكلمات الرئيسية: آلة CNC ، متحكم دقيق ، G-code ، محرك متدرج ،solid works

Abstract

CNC machines play an important role in many fields in engineering because of their high precision.

In this project, we designed and built a 3-axis CNC machine. Also we have designed a tool change system. For this, we used the GRBL PLOTTER software to control the operation of the CNC machine.

Keywords: CNC machine, Microcontroller, G-code, stepper motor, Solid Works

Liste des abréviations

MIT:	Massachusetts Institute of technologie
MOCN:	Machine-outil le a commandé numérique
APT:	Automatique programme Tool.
CNC:	Commande numérique par calculateur
FAO:	La fabrication assistée par ordinateur
UGS :	Universal G-code Sender
RAM:	Mémoire vive ou mémoire pc (random access memory)
ATC :	Automatique tool change
PWM:	Pulse width modulation
CAO:	Conception assistee par ordinateur
CFAO:	Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur
DNC :	Direct Numerical Control
CIM :	computer integrated manufacturing
AC :	Courant alternatif
DC :	Courant direct

Sommaire

Remerciements & Dédicaces

Résumé

Liste des Tableaux et figures .....……A

Introduction générale ……..……1

Chapitre I : Généralités sur les Machines CNC

1.1 Introduction ……..…….3

1.2. Historique …….……..…….3

1.3 Généralité sur les machines CNC …….……..…….6

1.3.1. Définition de la commande numérique …….…….....…….6

1.3.2. Origines de la commande numérique ……..…….6

1.3.3. Principe de la commande numérique ……..…….7

1.3.4. Définition d'une machine CNC ……..……..8

1.3.4.1 Partie opérative ……..8

1.3.4.2 Partie commande ……....9

1.3.5. Domaine d'utilisation ……10

1.3.6. Principe de fonctionnement ……..….10

1.3.7. Les différents types de Machines CNC …….….11

1.3.8. Classification des machines CNC ……12

1.3.8.1. Classification des CNC selon le mode de fonctionnement ……....12

1.3.8.2Classification des CNC selon le mode d'usinage ……..13

1.3.9. La structure d'une machine CNC ……...……15

1.3.9.1 Le système électronique ……..……15

1.3.9.2 Le système mécanique ……15

1.3.9.3. Le système de programmation ……16

I.10. Conclusion ……..…16

Chapitre II : Conception de Machine CNC

1.1. Introduction ……..……17

1.2. Cahier de charge ……17

1.2.1. Fonction principale ……17

1.2.2. Fonction partielles ……17

2.3. Variantes solutions proposées ……..…21

2.4. Système de guidage ……...…21

2.5. Système Vis Ecrou ……..……...22

2.6 Les moteurs pas a pas …… 26
2.6.1 Les différents types des moteurs pas à pas ……..… 26
2.6.3. Configuration interne des bobines des moteurs ……..… 33
2.7. La carte Arduino UNO …….. 34
2.7.1. Les différents éléments …….. 34
2.7.2. Les principales caractéristiques …… 35
2.7.3. L'alimentation ……. 35
2.8. La porte série USB ……..……. 35
2.9. Circuit électrique (CNC Shield V3) ……. 36
2.10. Driver de Moteurs pas à pas 'DRV8825' …….. 36
2.10.1. Brancher le DRV8825 ……. 37
2.11. Serov moteur ……..…… 37
2.12. Conclusion ……..38

Chapitre III : Changement d'Outil Automatique et sa Programmation

3.1. Introduction ……..…….. 39
3.2. Changement d'outil automatique(ATC) ……. 39
3.2.1. Définition de changement d'outil automatique ……... 39
3.2.2. Les types de changement d'outil automatique ……..39
3.2.3. Mécanisme de changement d'outil automatique ……..…….. 41
3.2.4 : Les avantages de changement d'outil automatique …….. 42
3.3 Programmation de la machine …….…… 42
3.3.1 : Organigramme ……...….. 42
3.3.2. Les fichier G-code …… 44
3.3.2.1. Le fonctionnement du G-Code ……. 44
3.3.3. Le fichier GRBL…… 46
3.3.3.1. Schéma de Pin pour Grbl ……..… 47
3.3.3.2. Fonctionnement de grbl ……..…….. 48
3.3.3.3. Le branchement ……..…… 48
3.3.4. Connecter grbl à Arduino …….. 49
3.3.5. Paramètres de grbl ……..…… 49
3.3.6. Grbl plotter ……...…. 52
3.3.7. Utilisation du frimware grbl ……..……. 54
3.3.7.1 paramétrages de la machine CNC …….. 54
3.7.2 Initialisation de la machine …… 55

3.4. Conclusion ……..……. 56

Chapitre IV : Résultats et Discussion

4.1. Introduction ……... 57

4.2. Description du projet ……..…… 57

4.3 La Conception assistée par ordinateur (CAO) ……..…….…..……. 58

4.3.1. SolidWorks ……..…….. 59

4.3.1.1. Fonctionnement ……..…… 59

4.3.1.2. Pièce ……..…….. 60

4.3.1.3. Assemblages …….. 60

4.3.1.4. Mise en plan ……...…… 61

4.3.1. La conception de notre machine CNC avec SolidWorks ……... 62

4.3.2.1. Partie pièces ……..……. 62

4.3.2.2. Partie de l'assemblage ……... 68

4.4. Réalisation de la machine ……....……..…. 71

4.4.2. Résultat de discussion …… 71

4.4.2. Circuit de montage……... 73

4.4.3. Test du fonctionnement de la machine ……..…… 74

4.4.4. Erreur mécanique ……..... 75

4.4. Recommandations ……..…. 76

4.5. Conclusion ……..……... 76

Conclusion Générale ……...…….....77

Annexe ……..……F

Bibliographie

Liste Des Figures

Figure	N° de Page
Chapitre I : Généralités sur les Machines CNC	
Figure I.1 : Le tour à pédale.	04
Figure I.2 : Première MOCN en 1952.	05
Figure I.3 : Architecture d'une MOCN.	08
Figure I.4 : Fonction originale d'une commande numérique.	09
Figure I.5 : Asservissement de la machine.	11
Figure I.6 : Fonctionnement en boucle ouvert d'un seul axe.	12
Figure I.7 : Commande adaptative.	13
FigureI.8 : Commandeenbouclefermée.	13
FigureI.9 : Commande NumériquePointAPoint.	14
Figure I.10 : CommandePar axiale.	14
Figure I.11 : Commande numérique de contournage.	15
FigureI.12: Structuremécaniqued'unemachineCNC.	16
Chapitre II : Conception de Machine CNC	
Figure II.1 : Les spécifications de la machine.	18
Figure II.2 : Diagramme de la pieuvre.	19
FigureII.3 : Douillesàbilles.	22
FigureII.4 : Moduledeguidageparallèle.	22
Figure II.5 : Transmettre Une Puissance.	23
Tableau II.6 : Schématisons Vis Ecrou.	24

Figure II.7 : Accouplement.	25
Figure II.8 : Roulement.	25
Figure II.9 : Courroie.	25
Figure II.10 : Moteur à réluctance variable.	27
Figure II.11 : Principe de fonctionnement moteur à réluctance variable.	28
Figure II.12 : Représentation schématique d'un moteur bipolaire : commande à trois modes.	29
Figure II.13 : Fonctionnement à pas complète.	29
Figure II.14 : Fonctionnement avec couple maximal.	30
Figure II.15 : Fonctionnement à demi-pas.	30
Figure II.16 : Représentation schématique d'un moteur unipolaire.	31
Figure II.17 : Fonctionnement d'un moteur pas-a-pas unipolaire.	31
Figure II.18 : Moteur hybride.	32
Figure II.19 : Lesdifférentséléments	34
Figure II.20 : Câble USB.	35
Figure II.21:CNC shield V3.	36
Figure II.22: Driver 'DRV8825	37
Figure II.23 : Schéma montage du Driver de Moteurs pas à pas.	37
Figure II.24 : Serov moteur	38
Chapitre III : Changement d'Outil Automatique et sa Programmation	
Figure III.1 : Changeur automatique d'outils à tambour (ATC).	40
Figure III.2 : Changeur d'outils automatique à chaîne (ATC).	40
Figure III.3 : Changeur d'outils automatique à même linge.	41
Figure III.4 : Changement d'outil de rotation à 180 degrés	42

Figure III.5 : programmation d'une machine CNC.	43
Figure III.6 : Schéma de Pin pour Grbl**.**	47
Figure III.7 : Branchement.	48
FigureIII.8 :XLoader.	49
FigureIII.9 : Fenêtre principal de GRBL plotter	53
FigureIII.10 : Exemple de teste**.**	53
Figure III.11: paramétrages de la machine CNC	54
Figure III.12: paramétrages de la machine CNC	55
Chapitre IV : Résultats et Discussion	
Figure IV.1 : Modèled'unefraiseuse.	57
Figure IV.2 : Logiciel SOLIDWORKS.	59
Figure IV.3: UnefenêtredulogicielSOLIDWORKS	60
Figure IV.4 : FenêtreprincipaledeSOLIDWORKS.	62
Figure IV.5 : Cadre de machine.	63
Figure IV.6 : La table du CNC.	64
Figure IV.7 : Axedeguidage.	64
Figure IV.8 : Moteur pas-à-pas Nema 17	65
Figure IV.9 : Accouplement.	65
Figure IV.10 : Vissansfin.	66
Figure IV.11 : Ecrou	66
Figure IV.12 : Palierlinéaire.	67
Figure IV.13 : Porte tête	67
Figure IV.14 : Chariot de l'outil**.**	68

Liste Des Figures

Figure IV.15: Assemblagedevis-écrou	68
Figure IV.16: Assemblagedevis-écroudansl'axeZ.	68
Figure IV.17 : Assemblagefinalsurl'axeX.	69
FigureIV.18: Assemblagefinalsurl'axe Y.	70
FigureIV.19 : Formefinale delamachineCNC.	70
Figure I.20 : la forme final de la machine**CNC**	71
Figure IV.21 : magasin de l`outil	72
Figure IV.22 : la tête de la machine	72
Figure IV.23 : Circuit de montage de la machine CNC.	73
Figure IV.24: réalisation de Circuit de montage de machine cnc.	73
Figure IV.25: Testdufonctionnementdelamachine	74
Figure IV.26: Erreur mécanique	75

Introduction Générale

Introduction général

Actuellement, les machines CNC (machines commande numérique par calculateur) permettent des réponses aux exigences de productivité modernes, vu le contrôle et la maitrise des coûts qui reste une préoccupation importante, et vu aussi la qualité des pièces obtenues en terme de précision et qualité de l'état de surface. La machine CNC et son évolution actuelle représentent aujourd'hui le moyen de production le plus important dans la mise en forme des pièces mécaniques [6].

Les machines CNC permettent de réaliser des tâches qui sont très compliquées à effectuer manuellement d'une façon économique et rentable à savoir: la fabrication des pièces mécaniques de précision (coupe, usinage), la couture et la broderie, métier du plâtre, la minisérie …etc. En analysant les machines CNC existantes dans le marché, on peut constater que [4] :

- Ces machines CNC sont des boites noires (les programmes sources ne sont pas commercialisés) ;
- Le cout de la machine CNC est élevé.
- L'indispensabilité de la machine dans le marché durant la période de besoin.
- La nécessité de quelques fonctions spécifiques qui ne sont pas disponibles dans la machine CNC existant dans le marché (selon le cahier des charges rétabli par l'industriel).
- Les raisons présentées ci-dessus nous ont motivé à réaliser une machine CNC à faible cout
- programmable directement en langage C. De ce fait, nous avons pu programmer directement notre propre algorithme, bibliothèque (library) et le programme d'interprétation et d'envoi de commande (G-code) vers le microcontrôleur.

Notre projet de fin d'études consiste à concevoir, réaliser et tester une machine CNC, dont les mouvements des axes et changement d'outil automatique ATC sont assurés par des moteurs pas à pas commandés par le microcontrôleur ATMega328.

Afin que nous puissions accéder et programmer directement les registres des périphériques de l'ATMega328, tous nos programmes sont écrits en langage C à l'aide du logiciel grbl plotter. La conception et la réalisation de la machine demande des compétences en mécanique et

électronique, des compétences acquit lors de notre cursus et qui ont été renforcées grâce à ce projet.

Ce mémoire est structuré comme suit :

- Le premier chapitre présente des généralités et les principales descriptions sur les machines CNC.
- Le deuxième chapitre est consacré à la conception de la partie électronique et la partie mécanique. la description des composants électroniques et les composants mécaniques et le changement automatique d'outil sont présents en détail dans ce chapitre.
- Le troisième chapitre concerne le changement automatique d'outil et la programmation de notre machine CNC à base de GCODE et comment l'utiliser avec le microcontrôleur ATMega328.
- Dans le quatrième chapitre nous présentons les pièces mécaniques utilisées pour la réalisation de notre machine et nous décrivons la conception et la réalisation de la dite machine en utilisant le logiciel Solid Works.

Ce mémoire comporte, en outre, une introduction générale et une conclusion générale.

Chapitre 1 :

Généralités sur les Machines CNC

1.1 Introduction [1]:

Ces dernières années, le contrôle des machines électriques a connu de grands progrès, et cela est dû à la quantité de développements technologiques que les humains ont atteints dans l'industrie mécanique et ce a travers les différentes phases et époques a commencé par la révolution industrielle qui avait débuté par la création des outils de l'industrie traditionnelle et autres, et ensuite ces outils furent développés en machines semi-automatiques puis en machines automatiques qui fonctionnaient à l'aide de ordinateur et programmes spéciaux qui faisait fonctionner l'opération (d'industrialisation) transférant les instructions de la partie commande vers la partie opérationnelle de la machine par le biais de câbles spéciaux de connexion par ordinateur (CNC), qui intègrent un ou plusieurs ordinateurs spécifiques pour réaliser tout ou partie des fonctions de commande Tous les systèmes de commande numérique commercialisés actuellement contenant au moins un microprocesseur, les termes CN et CNC peuvent être considérés comme des synonymes.

Aujourd'hui, de plus en plus étroitement associée aux progrès de la micro-électronique et de l'informatique, la CN voit ses performances et sa convenabilité augmenter régulièrement tandis que, en revanche, son prix et son encombrement ne cessent de diminuer.

Dans ce chapitre on présente un aperçu général sur la technologie des CNC, citant la Classification, l'architecture, la programmation des Machines CNC pour différentes commandes, et nous verrons également une nouvelle technologie, qui change automatiquement l'outil (ATC).

1.2 Historique[1,2] :

De simples boules d'argile sont transformées en vase par les tours des potiers 3500 ans avant Jésus-Christ, ce sont les premières machines-outils. Des rondins deviennent des quilles et des boules sur le tour à bois. Les objets uniques que les artisans fabriquent au tour à pédale ou à manivelle font place aux milliers de pièces identiques réalisées par des machines-outils de plus en plus perfectionnées.

Précises et rapides, les nouvelles machines numériques sont pilotées par ordinateur et remplacent le savoir-faire de l'ouvrier.

Les travaux menés par Falcon et Jacquard à la fin du XVIIIe siècle ont démontré qu'il était possible de commander les mouvements d'une machine à partir d'informations transmises par une carte perforée.

Cette technique fut étendue à leurs métiers à tisser de 1805 lequel équipement est considéré comme l'ancêtre de la commande numérique après quoi l'exploitation industrielle de la CN devient rattachée au développement de l'électronique.

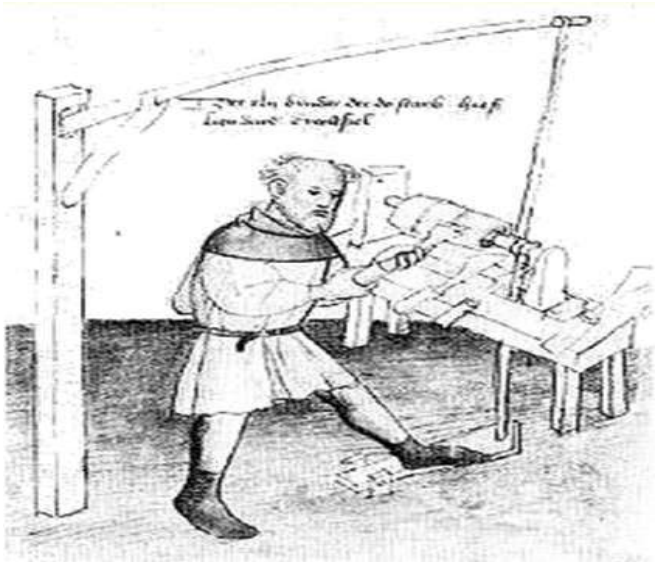


Figure 1.1 : Le tour à pédale[1].

En 1947, dans l'État du Michigan, John Parsons fabrique pour le compte de l'US Air Force des pales d'hélicoptère par reproduction. Pour façonner ses gabarits, il utilise une méthode consistant à percer plusieurs centaines de trous faiblement espacés de manière à approcher le profil théorique. Mais, lorsque l'US Air Force confie à ce même Parsons la réalisation de pièces de formes encore plus complexes pour ses futurs avions supersoniques, celui-ci réalise que sa méthode est trop approximative et que seul un usinage continu en 3 dimensions sera en mesure de donner satisfaction.

Au printemps 1949, il confie alors au Massachusetts Institute of Technology (MIT) le soin de développer des asservissements capables de piloter une machine qui recevra des instructions intermittentes à partir d'un lecteur de cartes. Cette machine, une fraiseuse prototype Cincinnati à broche verticale figure I.1, conçue pour exécuter des déplacements simultanés suivant 3 axes, est officiellement présentée en septembre 1952 figure I.1 dans le Servo mechanism Laboratory du MIT. L'information mathématique étant la base du concept, on lui donne le nom de numerical control.

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 CN sont les suivantes.

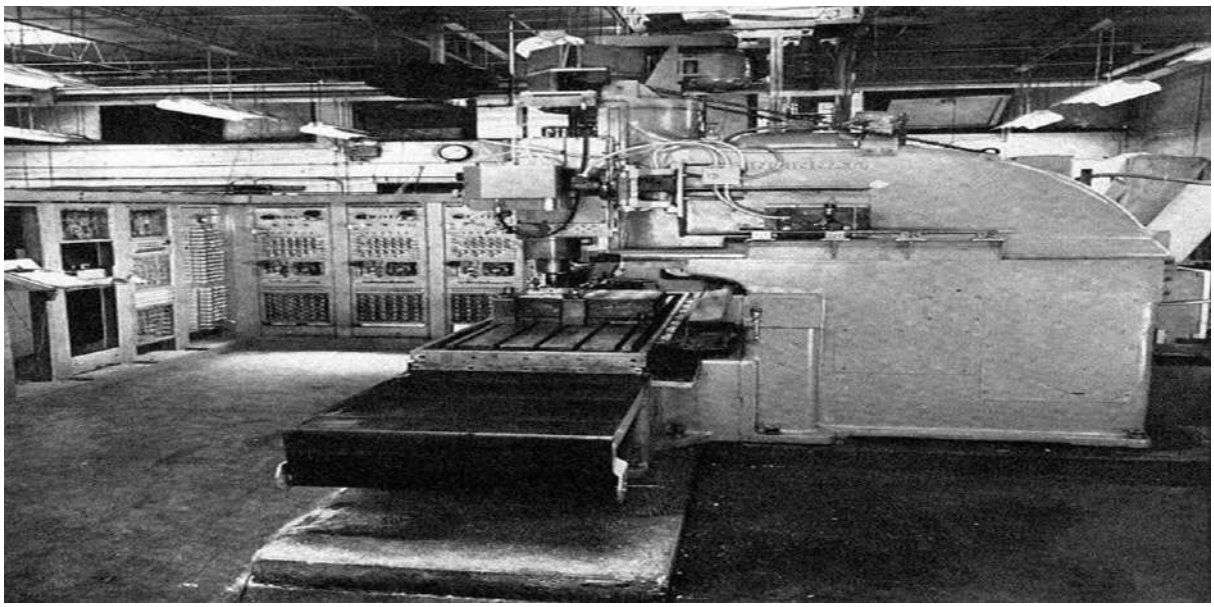


Figure I.2 : Première MOCN en 1952 [2].

Année	Les différentes étapes de développement de la CN.
1954	Bendix acquiert le brevet de Parsons et fabrique la première CN industrielle.
1955	à Font du Lac (Wisconsin), le constructeur américain Giddins & Lewis commercialise la première MOCN.
1959	apparition de la CN en Europe (foire de Hanovre). Le MIT annonce la création du langage de programmation APT (Automatic Programed Tools).
1960	apparition du système DNC (Direct Numerical Control).
1964	en France, la Télémécanique Electrique 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. Le premier centre d'usinage est mis en vente par Kearney & Trecker (USA).
1972	Les mini calculateurs remplacent les logique scâblées ; la CN devient CNC.
1976	développement des CN à microprocesseurs.
1984	apparition de fonctions graphiques évoluées et du mode de programmation conversationnel, début de l'ère de la fabrication assistée par ordinateur (FAO).
1986	les CN s'intègrent dans les réseaux de communication, début de l'ère de la fabrication flexible (CIM : computer integrated manufacturing).
1990	développement des CN à microprocesseurs 32 bits.

Tableau I.1 : Les différentes étapes de développement de la CN[2].

1.3 Généralité sur les machines CNC :

1.3.1. Définition de la commande numérique[3] :

Apparue il y a seulement quelques dizaines d'année, la commande numérique CN impose actuellement sa technologie dans le monde de l'usinage. conçue pour piloter le fonctionnement d'une machine a partir des instructions d'un programme sans intervention direct de l'operateur pendant son exécution, elle a dans un premier temps, permis de franchir un pas important dans l'automatisation des machines-outils traditionnelles comme les fraiseuses, perceuses, aléseuses…etc. et elles sont ainsi devenue capable d'assurer en qualité et en quantité une production a peine imaginable quelques année auparavant [4].

Aujourd'hui, de plus en plus étroitement associé aux progrès de la microélectronique et de l'informatique, la CN voit ses performances augmenter régulièrement tandis que, son prix et son encombrement ne cessent de diminuer.

Elle pénètre, de ce fait dans les petites entreprises et devient accessible à tous les secteurs industriels faisant appel aux procédés de positionnement ou de suivi de trajectoire. Les CN actuelles sont capables d'effectuer des mouvements en combinant simultanément les positions sur les axes X, Y et Z.

1.3.2. Origines de la commande numérique [3]:

La Seconde Guerre Mondiale est à peine terminée que les États-Unis en amorcent une autre, la « guerre froide ». L'effort de recherche/développement en matière d'armement est à nouveau relancé. Dans ce contexte, Parsons Works, se voit confier par l'US Air Force la mission d'améliorer la productivité des chaines de fabrication et plus particulièrement du long, complexe et fastidieux processus de fabrication et de contrôle des surfaces gauches des pales d'hélicoptère. John T. Parsons, aidé de son ingénieur en chef Frank Stulen mènent les études.

Ils imaginent différents concepts dont l'un consiste à motoriser les axes des machines concernées. Se pose alors le problème du pilotage de ces moteurs. Ce point les amène à faire appel aux moyens et compétences tout d'abord d'une de leurs filiales, La Parson Corp, spécialisée dans les solutions usant de calculateurs (on appelait ainsi l'ancêtre de l'ordinateur) alimentés en données par des bandes perforées et, d'autre part, à consulter le M.I.T (Massachusetts Institute of Technology). Finalité : commander par un calculateur (IBM y

participera) le déplacement d'une table sur glissières mue par une vis à billes couplée à un moteur électrique. En 1952, le Dr Richard KEGG (Milacron) et le MIT (concepteur des servocontrôleurs) présentent au gratin de l'aéronautique le résultat prometteur de leurs travaux sur une fraiseuse Cincinnati Milacron Hydrotel. Une demande de brevet est aussitôt déposée par précaution au bureau des brevets américain (USPTO) par Parson et Stulen, qui l'accepte sous le n° 2, 820,187.

Sur la base des succès précédents et après avoir travaillé pendant cinq ans à industrialiser le concept (affinage des tout premiers concepts de programmation de trajectoires avec interpolation axiale), Parson et Stulen confirment le brevet le 14 janvier 1958 par un brevet intitulé « Motor Controlled Apparatus for Positioning Machine Tool » qui sonne la naissance commerciale de cette technologie. General Electric sera historiquement le premier fabricant industriel de commandes numériques, rejoint en 1962 par son voisin japonais, FANUC.

En 1964, les États-Unis comptaient 35 000 machines à commande numérique [5].

1.3.3. Principe de la commande numérique[3] :

La commande numérique a pour tâche de générer des mouvements d'axes. Ces instructions qui viennent du programme pièce ou de l'opérateur machine consisteront en une position et une vitesse de déplacement. Le processeur de la commande numérique va alors générer une consigne afin qu'on puisse commander les moteurs d'axes. Elle aura également pour tâche, lors du déplacement des axes, de vérifier la position de ces derniers et dans certain cas, la vitesse de déplacement. Les commandes numériques actuelles sont capables d'effectuer des mouvements en combinant simultanément les positions sur les axes X, Y et Z. Elles s'appellent commande numérique par calculateur. De plus, elles sont capables de gérer plusieurs axes simultanément. On parle alors d'interpolation. Cette dernière peut être linéaire ou circulaire selon la consigne générée par le microcontrôleur de la partie commande. Le rôle de ce processeur est d'interpréter un code machine que l'on appelle un code G, puis de générer les signaux de commande des axes et de la broche [6].

1.3.4. Définition d'une machine CNC [3,5]:

C'est une machine totalement ou partiellement automatique à laquelle les ordres sont communiqués grâce à des codes qui sont portés sur un support matériel (disquette, USB, ...). Lorsque la machine-outil est équipée d'une commande numérique capable de réaliser les calculs des coordonnées des points définissant une trajectoire (interpolation), on dit qu'elle est à calculateur. Elle est appelée CNC (Commande Numérique par Calculateur).

Le premier rôle d'une machine CNC (Computerized Numerical Control), est de générer des mouvements. Elle recevra des valeurs de positionnement, de vitesse et d'accélération et générera, suite à un traitement, des consignes numériques en sortie. Elle dispose d'une grande puissance de calcul et d'une plus grande souplesse d'utilisation qu'un automate programmable.

Ce dernier est néanmoins qu'un complément de la commande CNC pour ce qui est de la gestion des entrées telles que : interrupteur, bouton d'arrêt d'urgence, …etc. En résumé, la commande CNC va générer des mouvements selon des consignes numériques [4].

La machine-outil à commande numérique forme un ensemble comprenant : une partie commande et une partie opérative, tel qu'elle est représentée dans la figure I.3.

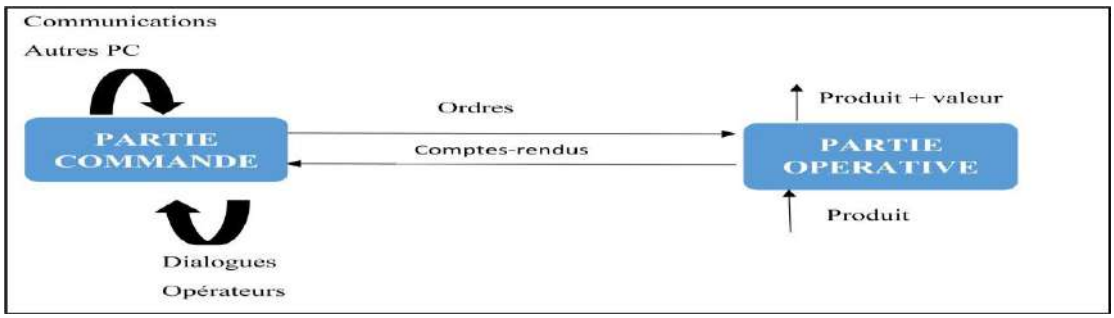


Figure I.3 : architecture d'une MOCN [5].

La machine-outil à commande numérique forme un ensemble comprenant :

1.3.4.1 Partie opérative[5] :

Les mouvements sont commandés par des moteurs presque comparables à une machine-outil classique, et elle comprend :

- Une base, assurant l'indépendance de la machine au sol,

- Un bâti, dont les larges glissières sont en acier traité,
- Un support outil (broche, torche, laser, jet d'eau ...),
- Une table support pièce, mobile selon 2 ou 3 axes, équipée de système de commande à vis et écrou à bille.
- des moteurs chargés de l'entraînement de la table,
- Un élément de mesure ou capteur de position renseignant à tout moment sur la position du mobile sur chaque axe,
- Une dynamo tachymétrique assurant la mesure de la vitesse de rotation.

1.3.4.2 Partie commande[5] :

La fonction de la partie commande est de transformer les informations codées du programme en ordres aux servomécanismes de la partie opérative, afin d'obtenir les déplacements des organes mobiles, voir Figure I.4 [6].

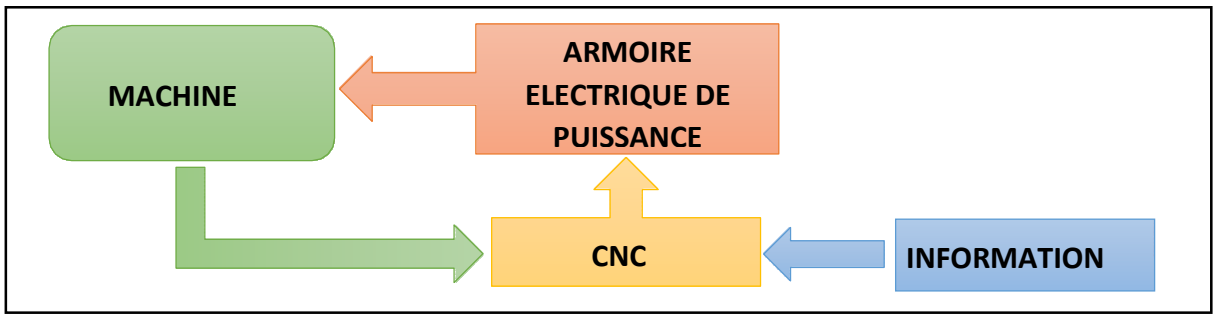


Figure I.4 : Fonction originale d'une commande numérique.

Différente d'une machine conventionnelle et constituée d'une armoire dans laquelle on trouve:

- Le pupitre permettant de rentrer les commandes à l'aide d'un clavier,
- Le lecteur de données (ce lecteur peut être une option lors de l'achat de la machine),
- La sortie RS 232 pour les liaisons avec les Périphériques externes,
- L'écran de visualisation de toutes les données enregistrées,
- Le calculateur,
- Les cartes électroniques (commandes d'axes, mémoire ...) [3].

1.3.5. Domaine d'utilisation[3] :

Les Machines CNC conviennent à la fabrication en petites et moyennes séries renouvelables.

Elles permettent la réalisation, sans démontage, de pièces complexes comportant beaucoup d'opérations d'usinage. Elles se situent entre les machines conventionnelles très "flexibles" réservées aux travaux unitaires (prototypes, maintenance) et les machines transferts, très productives, réservées aux grandes séries. Les MOCN sont employées dans de nombreux secteurs industriels (Métallurgie, Bois,Textile). Elle est aussi associée à de nouvelles technologies de façonnage (Laser, Électroérosion, Jet d'eau) [4].

Les principaux procédés de fabrication sont concernés :

- Perçage, taraudage ;
- Tournage, alésage ;
- Fraisage ;
- Rectification ;
- Oxycoupage, soudure en continu, par points
- Poinçonnage, cisaillage [3].

Utilisations personnelles :

Il y a une large application de divers amateurs dans le monde entier intéressés au concept CNC. Roboticiens, artisans, bricoleurs, machinistes à la maison, petits entrepreneurs, et artistes, le CNC peut ouvrir des portes à des nouvelles conceptions et à créations plus détaillées. Un roboticien, par exemple, utilisera une CNC pour créer les composants structurels du robot avec une précision très haute. La fabrication de ces composants à la main serait difficile et très longue [3].

1.3.6. Principe de fonctionnement [5] :

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

La commande va traiter ces informations et générer des consignes afin d'obtenir les déplacements voulus par le biais des moteurs d'axes. Des contrôles de vitesse et de position seront alors effectués de manière continue par la machine.

La position sera régulée par la commande numérique alors que la vitesse sera le plus souvent régulée par le système d'asservissement moteur. On se trouve donc en face d'un système à deux boucles et l'on parle de système asservi.

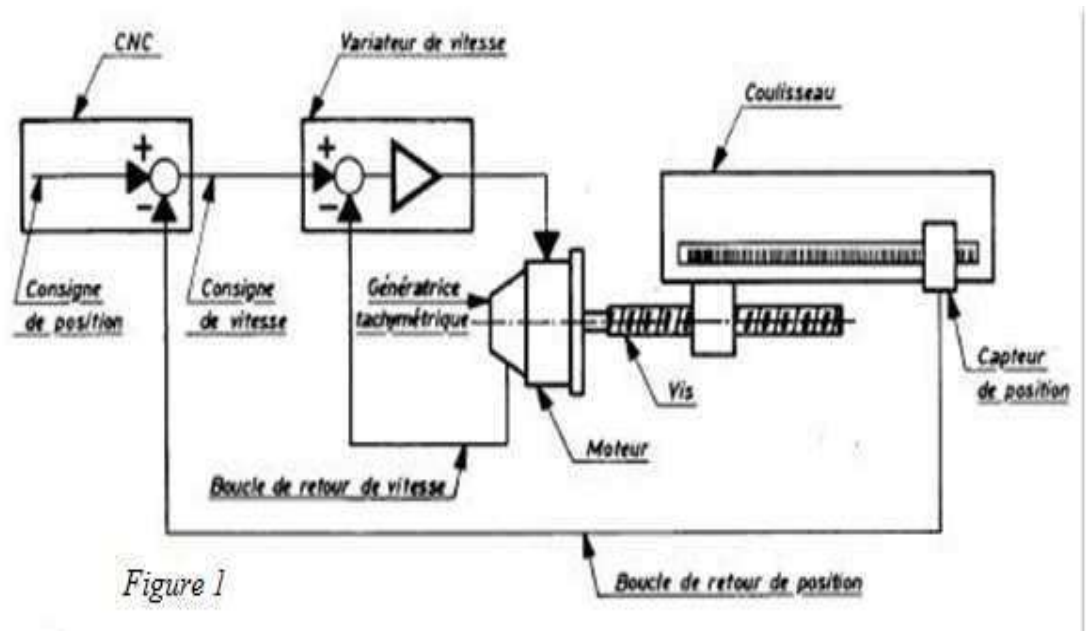


Figure. I.5 : Asservissement de la machine CNC.

Le schéma ci-dessous (figure. I.5), nous montre le flux d'informations avec ses directions, ainsi que les deux boucles de contrôles (position et vitesse).

1.3.7. Les différents types de Machines CNC[5] :

On distingue plusieurs types de machines :

- les machines à enlèvement de copeaux : les perceuses, les tours, les centres de tournages, les fraiseuses, les centres d'usinage, les rectifieuses ……etc.
- les électroérosions : les machines à enfonçages, les machines à fil.
- les machines de découpes : oxycoupage, laser, jet d'eau...
- les presses : métal, injection plastique.

- les machines spéciales : à panneaux, à têtes multiples, de conditionnement (pour l'agroalimentaire)...

1.3.8. Classification des machines CNC[4] :

Les machines-outils à commande numérique par calculateurs (CNC) sont classées suivant :

- ✓ Le mode de fonctionnement de la machine.
- ✓ Le mode d'usinage.

1.3.8.1 Classification des CNC selon le mode de fonctionnement[4,5] :

a. Fonctionnement en boucle ouvert :

En boucle ouverte, comme l'illustre la figure. I.4, le système assure le déplacement du chariot mais ne le contrôle pas.

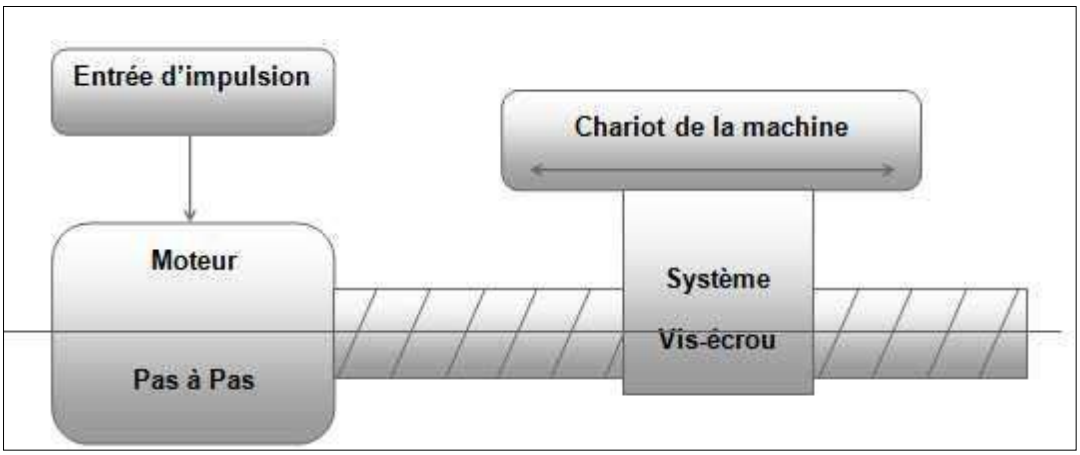


Figure .I.6 : Fonctionnement en boucle ouvert d'un seul axe[4].

b. fonctionnement avec commande adaptative :

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

La figure. I.7 illustre le fonctionnement de la commande adaptative

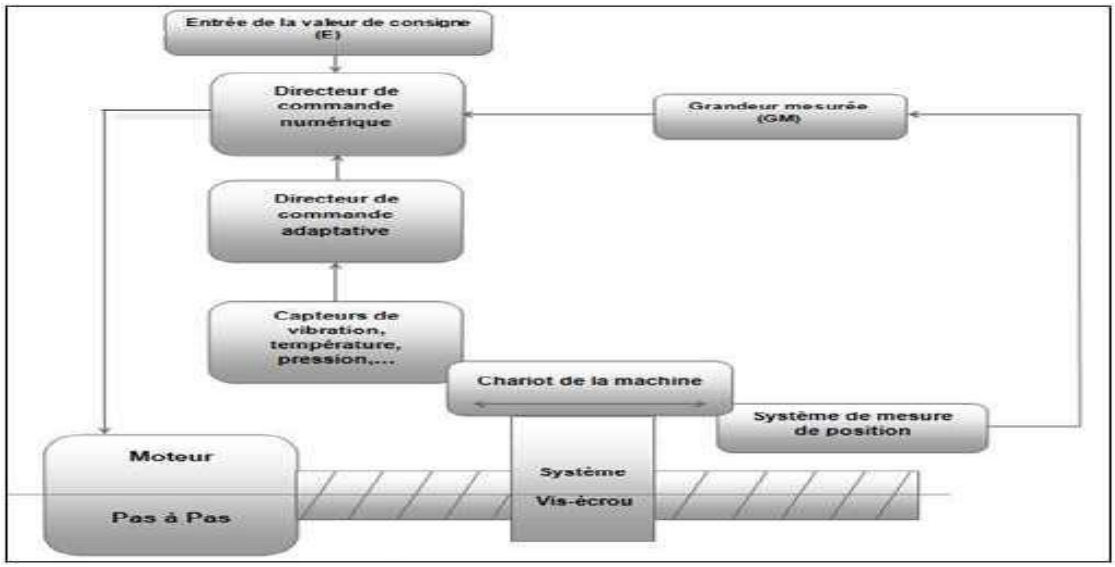


Figure .I.7 : Commande adaptative[4].

c. Fonctionnement en boucle fermé :

En boucle fermée le système contrôle le déplacement ou la position jusqu'à égalité des grandeurs entrée (E) dans le programme et celui mesuré (Gm). comme illustre la figure.I.8.

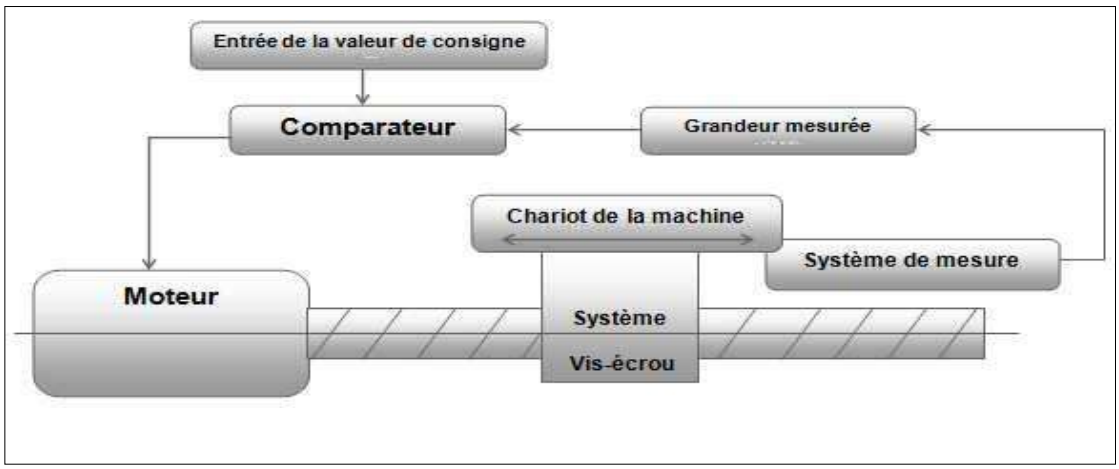


Figure I.8 : Commande en boucle fermée[4].

1.3.8.2Classification des CNC selon le mode d'usinage :

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

- ✓ Commande numérique point à point.
- ✓ Commande numérique de contournage.
- ✓ Commande numérique par axiale[4].

1. Commande numérique point à point : c'est la mise en position de l'outil ou de la pièce Par déplacements non synchronisés. Le mouvement de coupe (usinage) n'est possible que lorsque le mouvement de positionnement est effectué.

Exemples d'opération d'usinage : perçage, alésage, lamage taraudage, petit fraisage.

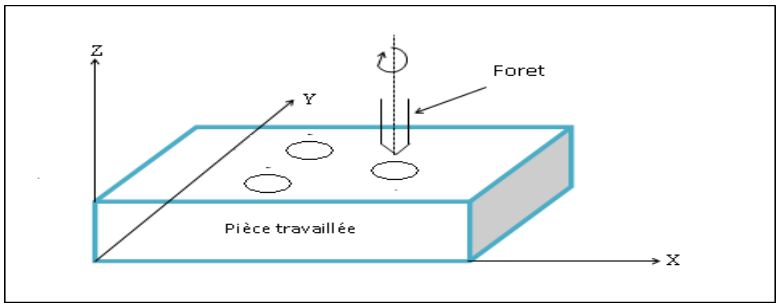


Figure I.9 : Commande Numérique Point A Point[5].

2. Commande numérique par axiale : ce sont des déplacements parallèles aux axes avec les vitesses d'avance programmée. Le mouvement de coupe et de positionnement sont synchronisés de façon à avoir un usinage selon des trajectoires parallèles aux axes de déplacement.

Exemples d'opération d'usinage : tournage, fraisage, alésage[5].

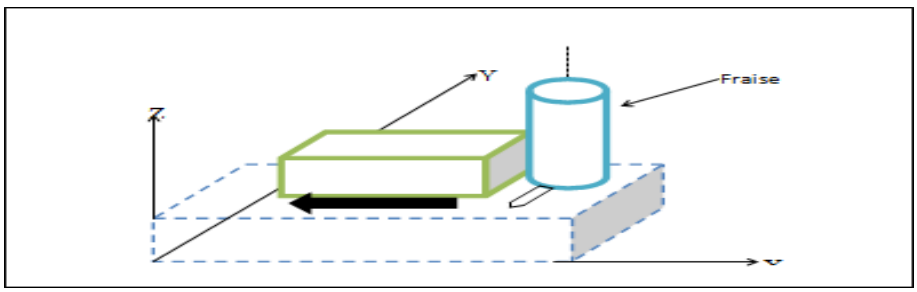


Figure I. 10 : Commande Par axiale[5].

3. Commande numérique de contournage : ce sont des déplacements qui synchronisent des divers axes avec la vitesse d'avancement programmée. Les trajectoires sont décomposées en éléments de droites ou de cercles dans un ou plusieurs plans.

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

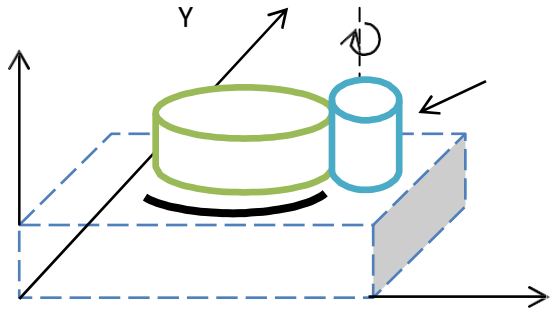


Figure 1.11 : Commande numérique de contournage [5].

1.3.9. La structure d'une machine CNC [5] :

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

1.3.9.1 Le système électronique :

Le système électronique est responsable de la génération du signal de commande pour les moteurs qui guide le mouvement de la trajectoire de l'outil dan système électronique est composé de [1] L'alimentation. [2] La carte microcontrôleur. [3] La carte de commande des moteurs pas à pas.

1.3.9.2 Le système mécanique :

Le système mécanique est assemblé de telle manière que le mouvement des 3 axes soit réalisé en utilisant des rails linéaires assemblés avec des roulements linéaires, les moteurs sont montés chacun à l'axe qui est source de mouvement agi en fonction du s partir du circuit électronique.

Chaque moteur est relié à une vis sans fin de chaque axe qui est chargé de transformer le mouvement du moteur de rotation en mouvement linéaire.

Le mouvement contrôlé de chaque axe est obtenu directement par la commande de la rotation du moteur. La vitesse du mouvement de chaque axe peut également être contrôlée par le contrôle direct de la vitesse du moteur, en donnant des signaux de commande nécessaires. Ainsi, la trajectoire de l'outil fixée à l'organe terminal est contrôlée dans chaque axe pour une

action sur la pièce à usiner.

Pour éviter que les axes sortent de la plage de fonctionnement, on utilise des fins de course pour chaque axe. Une commande manuelle de bouton d'arrêt d'urgence peut également être utilisée pour la machine.

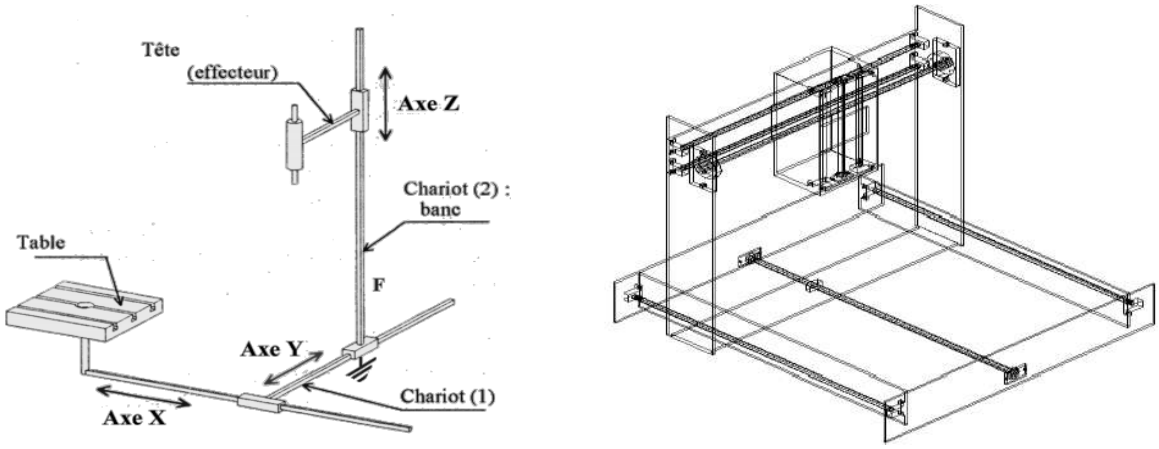


Figure 1.12 : Structure mécanique d'une machine CNC.

1.3.9.3. Le système de programmation

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

Depuis la mise en œuvre du G-code, il est nécessaire de tester de différents choix pour un interprète open source G-code pour l'Arduino, de sorte que les mouvements corrects seront obtenus par les axes de la machine par l'intermédiaire du pilote de moteur.

I.10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue générale de la commande numérique et de la machine à commande numérique et de son histoire, puis nous avons discuté en général la machine à commande numérique par ordinateur en termes de principe, d'utilisation et de structure, et nous avons parlé des classifications des machines CNC, et par conséquent après avoir acquis l'équilibre intellectuel nous traiterons une étude intensive sur la machine.

Chapitre 2 :

Conception de Machine CNC

2.1. Introduction : [5]

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

Le travail est reparti en trois parties comme suit :

La partie électronique, la partie mécanique et la partie logiciel et programmation

2.2. Cahier de charge:

Notre projet consiste à concevoir (conception et réalisation) d'une machine à commande numérique (mini fraiseuse 3 axes). Le projet s'inscrit dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude

Le cahier des charges décrit les spécifications du point de vue technique, économique etopérationnel. Il exprime les exigences relatives au produit.

2.2.1. Fonction principale :

La fonction essentielle de notre machine à commande numérique par calculateur .Cette machine a été réalisée pour travailler sur des matériaux tendres comme le bois, les matières plastiques, l'aluminium. En aucun cas, elle ne peut usiner des matériaux durs commel'acier.

2.2.2. Fonction partielles :

Il y on a quatre fonctions partielles :

- ✓ Guidage des axes (X, Y, Z).
- ✓ Variation des cordonnés suivants les trois axes.
- ✓ System de fixation des pièces.
- ✓ Partie commande.

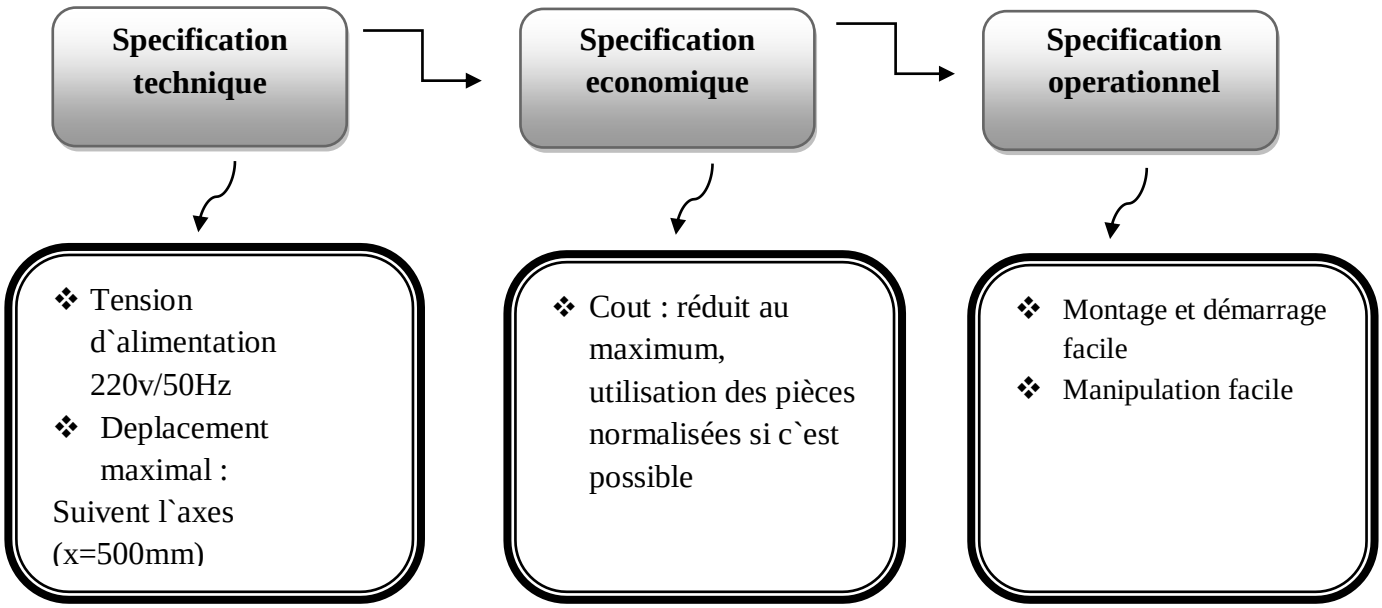


Figure II.1 : Les spécifications de la machine

Analyse fonctionnelle de la machines CNC [3]

Diagramme Pieuvre

Est une méthode universelle d'analyse fonctionnelle et d'analyse de la valeur pour la conduite de projets d'optimisation et d'innovation. L'objectif principal est d'améliorer la qualité d'un produit tout en réduisant les coûts de conception. C'est une méthode structurée, donc un outil de réflexion. Elle est simple, rapide, pragmatique et visuelle. Le premier outil utilisé dans cette méthode est le diagramme des prestations ou diagramme bête à cornes. Le but est de voir si l'objectif de l'étude, de la recherche, est valable et nécessaire.

Le deuxième outil est le cahier des charges fonctionnel. Il détermine l'utilité du produit/service pour ses utilisateurs. Pour cela il faut déterminer les différentes fonctions du produit et trouver comment elles réagissent avec leurs milieux environnants et quelles sont leurs contraintes. D'où l'utilité du diagramme pieuvre. Il met en relation les différentes fonctions avec le produit et le milieu extérieur. Deux fonctions sont nécessaires à la réalisation de ce diagramme : les fonctions principales et les fonctions contraintes

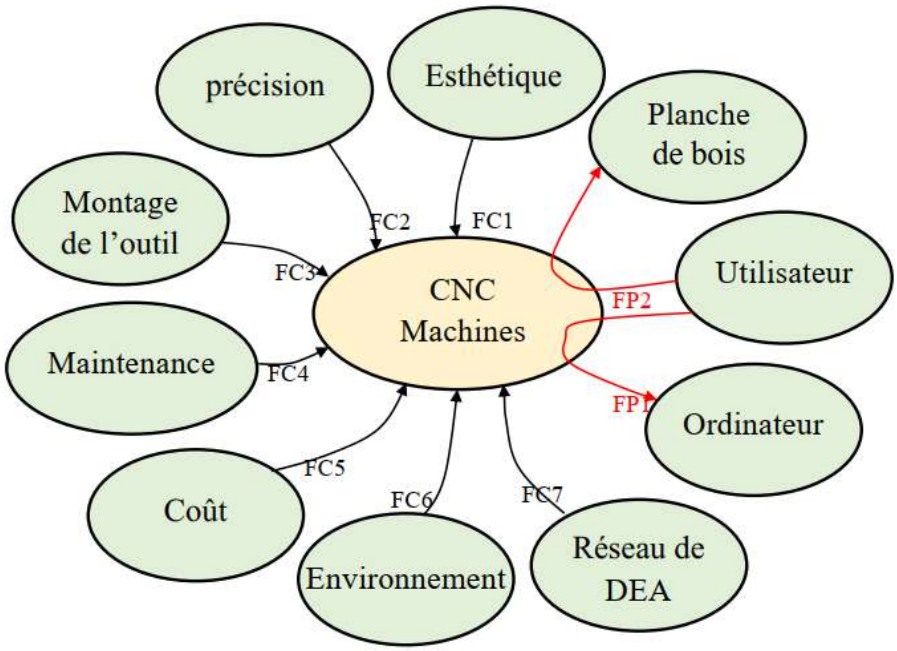


Figure II.2 : Diagramme de la pieuvre.

FP1 : faciliter la communication entre l'opérateur et l'ordinateur.

FP2 : permettre à l'utilisateur de sculpter automatiquement des panneaux de bois.

FC1 : être esthétique

FC2 : permet de fabrique des pièces avec une précision élevée.

FC3 : faciliter le montage et le démontage de l'outil.

FC4 : facilité la maintenance.

FC5 : avoir un prix raisonnable.

FC6 : pour soutenir l'environnement affecte (chaleur, poussière, humidité ...).

FC7 : s'adapter au réseau de distribution d'électricité algérien (DEA).

Tableau II.1 : Cahier des charges fonctionnel machines CNC

Type	Fonction	Critères d'appréciation	Valeur et méthode
FP1	la communication entre l'opérateur et l'ordinateur	Logiciels	Universal Gcode Sender ArtCAM 2018 Arduino IDE
		Pilotage de la Machine	Contrôle et installation de l'outil
FP2	Gravure des panneaux de bois	La vitesse rotation maximale	Plus de 12000 tr/ min
		Espace de travail	400mm*460mm*40mm
		L'outil de gravure utilisé	Outil de gravure sur bois
FC1	être esthétique	Couleur	blanche et métallique et brillant
		masse totale du La machine	Poids (kg) < 25
		forme	Forme moderne compatible
FC2	précision	Vis ecrou	Utiliser un filetage carré de (1 mm) de pas
		Système de guidage	System transition innovante, efficace, précise
		Les moteur pas a pas	Moteur M49SP-2K , Angle de pas (5.7˚/ pas)
FC3	Montage de l'outil	Changement des outil	Utilizer un mandrin
FC4	Maintenance	Système fixe et détachable	Vis et ecrou
FC5	Coût	prix total de la fraiseuse cnc	prix total ≤ 25 000DA
FC6	Environnement	Alignement avec l'environnement	Utilisation de matériaux antirouille, Et un ventilateur de refroidissement
FC7	Réseau de DEA	transformateur électrique AC/DC	Transformateur 12 volts

2.3. **Variantes solutions proposées :** [5]

Tableau suivant récapitule les différentes solutions proposées afin d'accomplir les différentes fonctions du dispositif.

Fonction principale et fonction partielles.	**Variantes solutions**
1. Guidage	✓ Douilles à billes
	✓ Rail de guidage
2. Déplacement suivant les axes	✓ Courroie
	✓ Les chaines à rouleaux
	✓ Vis à bille
3. Système de fixation despièces	✓ L'étau
	✓ Par des vis
4. Commande	✓ Moteur pas à pas
	✓ Arduino
	✓ Microcontrôleur

Tableau II.2 : Variantes solutions proposées

Composant mécanique de machine CNC :

Cette partie est pour but de dimensionner les différents éléments fonctionnels de notre dispositif pour assurer le bon fonctionnement de ce dernier.

2.4. Système de guidage : [5]

Douilles à billes : Il s'agit de roulements à billes conçus pour se déplacer le long d'une tige lisse.

- ✓ C'est à dire qu'ils ne tournent pas mais se déplacent linéairement (Guidage en translation).
- ✓ Permettent des fonctionnements sans jeux, améliorent la précision et les performances.
- ✓ Valeur du coefficient de frottement de 0,001 à 0,005.
- ✓ Utilisées sur les machines-outils, robots, systèmes automatisés…

- ✓ Vitesse de déplacement 5 m/s.
- ✓ Économiques pour arbres lisses, ne supportent que des charges radiales.

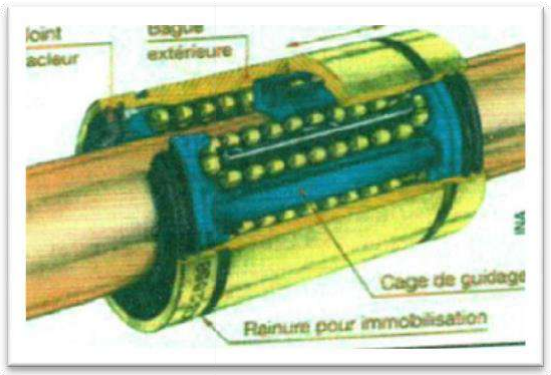


Figure II .3: Douilles à billes

Par contre, on associe toujours cette douille avec une butée angulaire qui peut être réalisée par une autre douille sur une colonne parallèle. C'est l'ensemble du montage qui les empêche de tourner sur leur axe. [….]

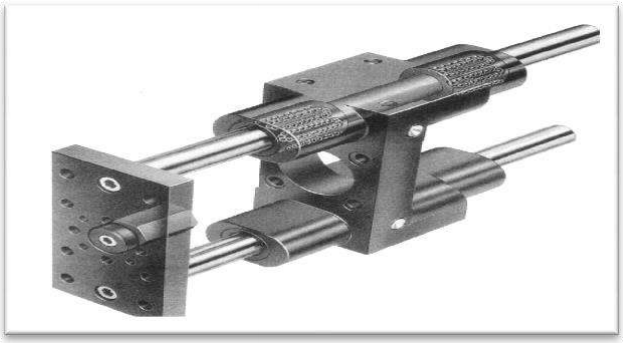


Figure II .4: Module de guidage parallèle

Déplacement suivant les axes x y z :

2.5. Système Vis Ecrou [3]

Définition : La liaison hélicoïdale entre deux corps solides permet un mouvement relatif composé :

- ➢ D'une rotation autour d'axe fixe par rapport aux deux solides.
- ➢ D'une transition rectiligne parallèle à cet axe et proportionnelle à la rotation.

Les deux solides en liaison hélicoïdale doivent être guidés en transition et en rotation.

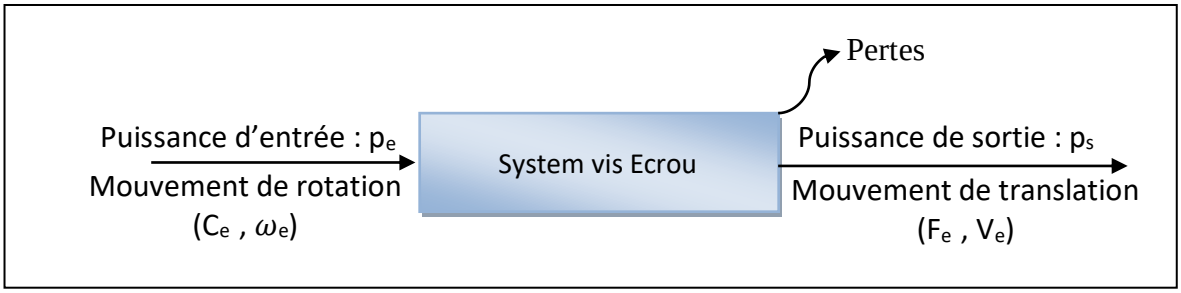


Figure II.5 : Transmettre Une Puissance.

Avec : P= puissance en watt (W) C= couple (Nm) ω= vitesse angulaire

F = force en Newtons (N) V = vitesse linéaire (m/s)

	Mouvement de rotation	Mouvement de translation
Puissance	puissance = couple × vitesse angulaire	puissance = force × vitesse linéaire
Rendement	Rendement = puissance sortie / puissance entrée	

Tableau II.3 : La relation entre Rendement et le Puissance.

Fonction

La liaison hélicoïdale étant généralement associée à d'autres liaisons, les fonctions principales qui lui incombent sont la transformation du mouvement et la transmission des efforts.

Les transmissions par système vis-écrou utilisent une liaison hélicoïdale ayant pour base une vis et un écrou à un ou plusieurs filets, et ayant des pas identiques.

Cette liaison conduit à une transformation de mouvement de rotation en transition, ou de transition en rotation, avec un élément moteur qui peut être soit la vis soit l'écrou selon le cas et selon la réversibilité de la liaison.

L'analyse des mouvements possibles de la vis et de l'écrou conduit au tableau ci-dessous:

Élément	La nature du mouvement			
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Mouvement de la vis	R et T	R et $\bar{T}$	$\bar{R}$ et T	$\bar{R}$et $\bar{T}$
Mouvement de l'écrou	$\bar{R}$et $\bar{T}$	$\bar{R}$ et T	R et $\bar{T}$	R et T

Tableau II.4 : Possibilité de mouvement Vis Ecrou.

R : mouvement de rotation

T : mouvement de translation

$\bar{R}$: Pas de mouvement de rotation

$\bar{T}$: Pas de mouvement de translation

Le type 1, qui correspond au visage d'une vis dans un taraudage, et le type 4 qui correspond par exemple à l'assemblage d'un écrou sur un goujon.

Les types 2 et 3 correspondent à des transformateurs de mouvement pour lesquels existent dissolutions industrielles.

Schématisation

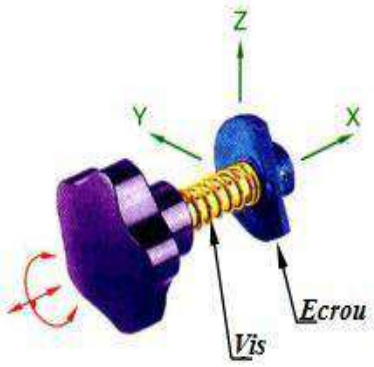
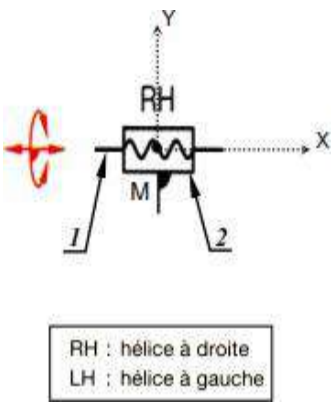
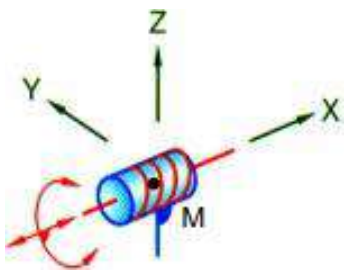
Exemple	Représentation plane	Représentation plane
		

Tableau II.6 : Schématisons Vis Ecrou .

A- Accouplement [4]

L'accouplement est un dispositif de liaison entre deux arbres rotatifs, permettant la transmission du couple. Il existe des accouplements dits « semi-élastiques » qui permettent de rattraper de petits défauts d'alignement (typiquement les défauts d'usinage). Ces accouplements sont généralement constitués de deux parties rigides solidaires des arbres et d'une partie légèrement flexible qui rattrape les défauts d'alignement.



Figure II.6 : Accouplement.

B- Les roulements [4]

Les roulements sont des organes mécaniques servant à guider un arbre de transmission en rotation (l'axe X et Y). Ils assurent principalement:

- Le positionnement de l'arbre par rapport à l'alésage.
- Une rotation précise avec un minimum de frottement



Figure II.7 : Roulement

Courroie : [5]

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



Figure II.8 : Courroie

Composant électrique de machine CNC : [3]

Dans ces paragraphes on parle des composants électriques et électroniques pratique de différentes parties de Machine CNC à trois axes

Composants	Quantité
La carte Arduino UNO	**1**
La porte série USB	**1**
CNC shield V3	**1**
Driver ‘ DRV8825'	**3**
Moteurs pas à pas	**3**
boîte d'alimentation variable	**1**
Transformateur 12 volt	**1**

Tableau II.5 : Composants électrique de la machine CNC à trois axes.

2.6 Les moteurs pas a pas [6]

Le moteur pas à pas est un convertisseur électromécanique qui assure la transformation d'un signal électrique impulsionnel en un déplacement mécanique (angulaire ou linaire). Sa structure de base se présente sous la forme de deux pièces séparées mécaniquement, le Stator et le Rotor. L’interaction électromagnétique entre ces deux parties assure la rotation.

2.6.1 Les différents types des moteurs pas à pas [4]

Il existe Trois catégories de moteurs :

- Les moteurs à aimant permanent
- Les moteurs à réluctance variable
- Les moteurs hybrides

a- Le moteur à réluctance variable

Le moteur à réluctance variable fonctionne selon un principe différent de celui des moteurs à aiment permanent. Ils possèdent bien évidemment un stator, mais ce dernier est fabriqué en acier doux non magnétique. Il n'est pas lisse et possède plusieurs dents. Ce type de moteur est représenté en (figure 5). On peut voir, dans cet exemple, que le stator est composé de 8 plots sur lesquels enroulés les bobinages, ce qui donne 4 phase. Le rotor, quant à lui, ne comporte que 6 dents .

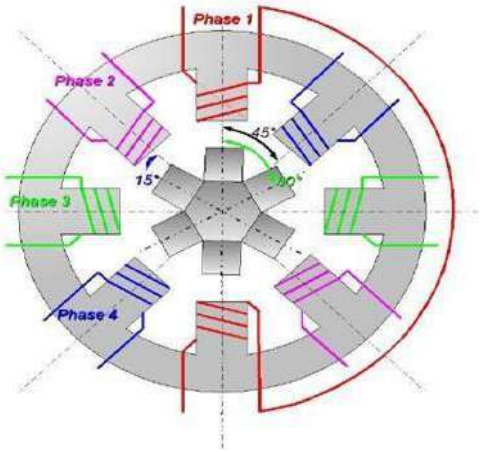


Figure II.9 : Moteur à réluctance variable.

Le principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement est très simple, ces moteurs sont composés d'un barreau de fer doux et d'un certain nombre de bobines. Lorsqu'on alimente une bobine, elle devient un électroaimant et le barreau de fer cherche naturellement à s'orienter suivant le champ magnétique. On alimente la phase 1, puis la phase 2, puis la phase 3, puis phase 4. Si on veut changer le sens du moteur, il suffit de changer l'ordre d'alimentation des bobines. Dans la pratique, le barreau de ferrite a plusieurs dents (dans notre exemple est 6). Dès qu'on alimente la phase 2, il y a une rotation de 15° (i.e. 60° - 45° = 15°), puis la phase 3, etc. Donc le moteur tourne de 15° dès qu'on alimente une phase [8]. Il faut 24 impulsions pour faire un tour complet. C'est un moteur 24 pas par tour. Comme le montre figure suivant :

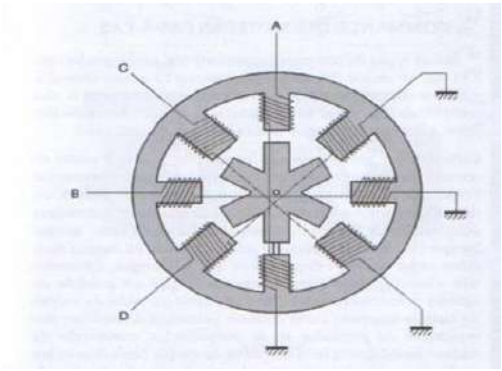


Figure II.10 : Principe de fonctionnement moteur à réluctance variable.

Le mode de commande peut dans ce cas être :

- Mode à pas entier, une phase alimentée à la fois.
- Mode à pas entier, deux phases alimentées en même temps.
- Mode demi-pas.

Les séquences de commandes sont présentées dans le tableau suivant :

b- Le moteur à aimants permanent

Mode pas entier et (Une phase On)	Mode pas entier et (Deux phases On en même temps.)	Mode demi-pas
Ph1 On **Ph2 On** **Ph3 On** **Ph4 On**	**Ph1 On et Ph 3 On** **Ph2 Onet Ph 3 On** **Ph2 Onet Ph 4 On** **Ph1 Onet Ph 4 On**	**Ph1 On et Ph 3 On** **Ph 3 On** **Ph2 On et Ph 4 On** **Ph 4 On** **Ph 1 On et Ph 4 On**

Tableau II.6 : Le mode de commande moteur réluctance variable.

Les moteurs à aimants permanents sont semblables aux moteurs à réluctance variable, sauf que le rotor possède deux pôles NORD et SUD. À cause des aimants permanents, le rotor reste freiné à sa dernière position lorsque le bloc d'alimentation cesse de fournir des impulsions.

Une façon simple de voir le système, est de placer une boussole entre deux aimants.

Suivant la bobine qui est alimentée et le sens du courant, l'aiment va s'aligner avec le champ.

c- Moteur à aimant permanent bipolaire

Le courant de commande est bidirectionnel et l'avance d'un pas s'effectue par une séquence de commutation des enroulements statorique .

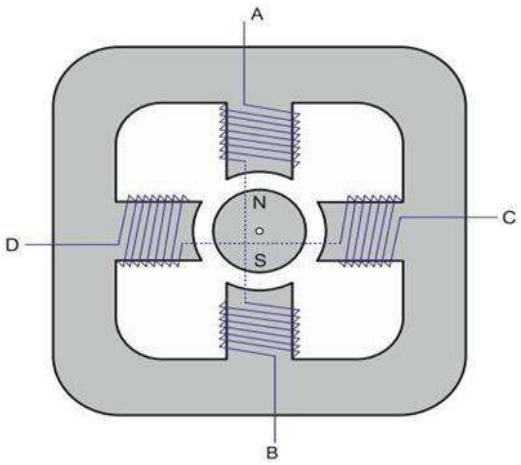


Figure II.11 : Représentation schématique d'un moteur bipolaire : commande à trois modes

Fonctionnement à pas complet

Dans ce mode de fonctionnement, les bobines sont alimentées l'une après l'autre dans un sens puis dans l'autre. L'aimant permanent suit le déplacement du champ magnétique créé par ces bobines et s'oriente selon une de ses 4 positions stables .

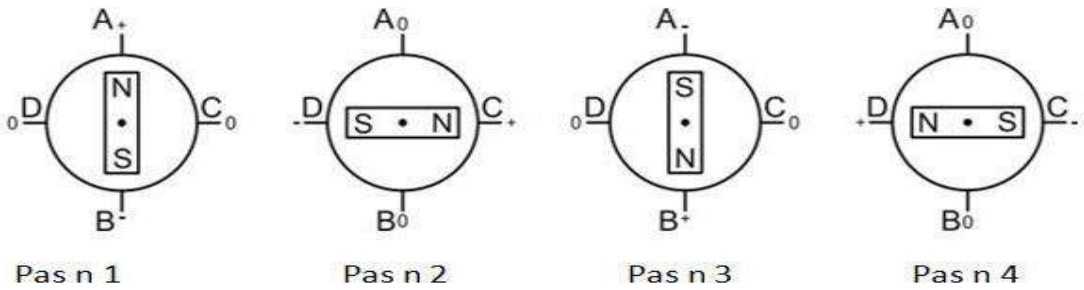


Figure II.12 : Fonctionnement à pas complète.

Fonctionnement avec couple maximal

Dans ce mode de fonctionnement, alimenter une paire de phase en même temps et donc augmentera l'intensité du flux magnétique créé par le stator et le couple moteur, Le rotor prendra donc également l'une des 4 positions de figure suivant, suivant le sens d'alimentation de chacune des bobines.

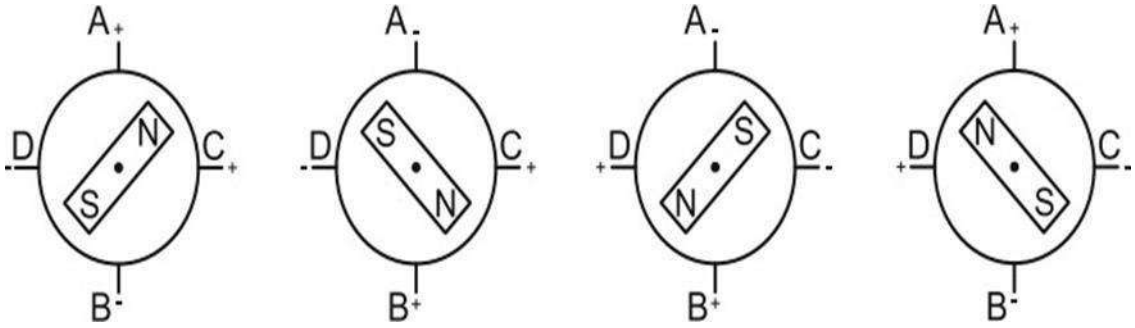


Figure II.13 : Fonctionnement avec couple maximal.

Fonctionnement à demi-pas

Le troisième mode est combine les 2 modes précédent alimenter une phase puis deux puis une, est donc augmente le nombre de positions stables et le nombre de pas par tour ce mode de commande est appelée «demi-pas». La figure suivante montre le fonctionnement de ce mode.

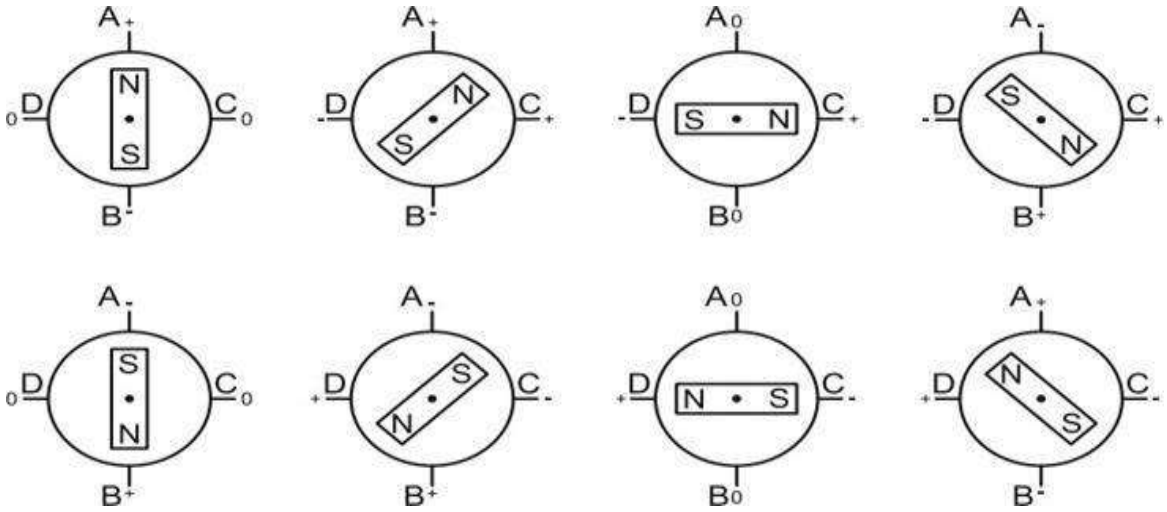


Figure II.14 : Fonctionnement à demi-pas .

Moteur à aimant permanent unipolaire

Les bobinages d'un moteur unipolaire sont alimentés toujours dans le même sens par une tension unique d'où le nom d'unipolaire. Représenté par la figure suivant

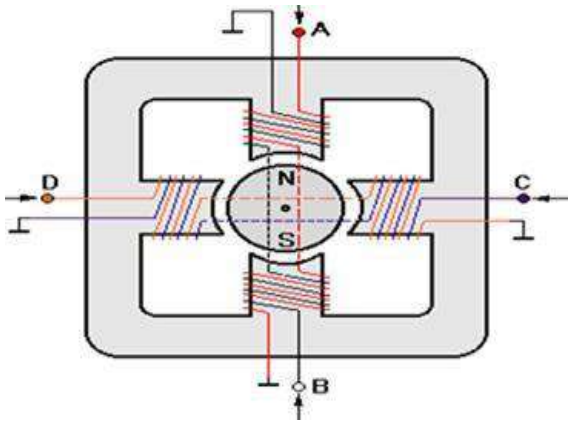


Figure II.15 : Représentation schématique d'un moteur unipolaire.

Fonctionnement d'un moteur pas-a-pas unipolaire

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

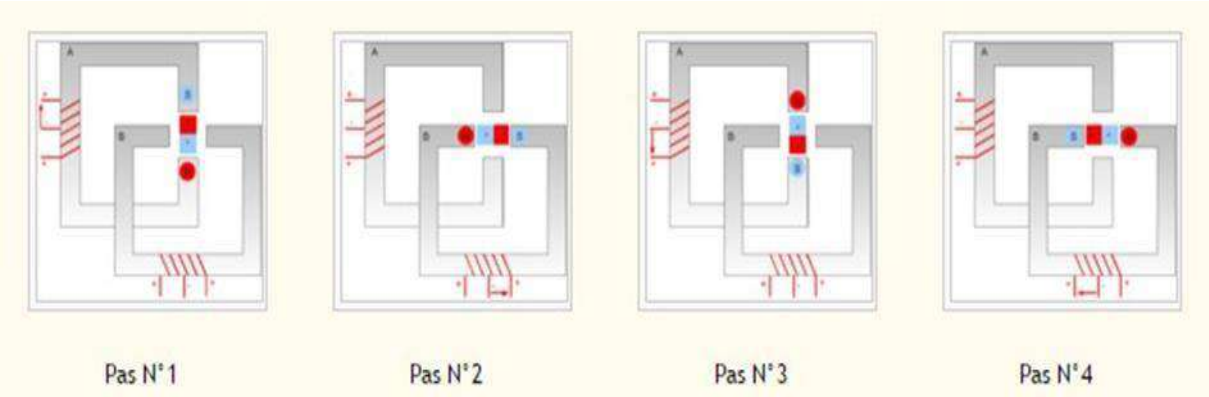


Figure II.16 : Fonctionnement d'un moteur pas-a-pas unipolaire.

c) Moteur hybride

En mélange les structures des deux moteurs précédents, c'est à dire en plaçant les aimants du moteur à aimants permanents dans un circuit ferromagnétique on crée un nouveau type de moteur appelé moteur hybride. Dans ce cas, il existe un couple réluctant provoqué par la variation de perméances propres associées à chaque aimant et à chaque bobine.

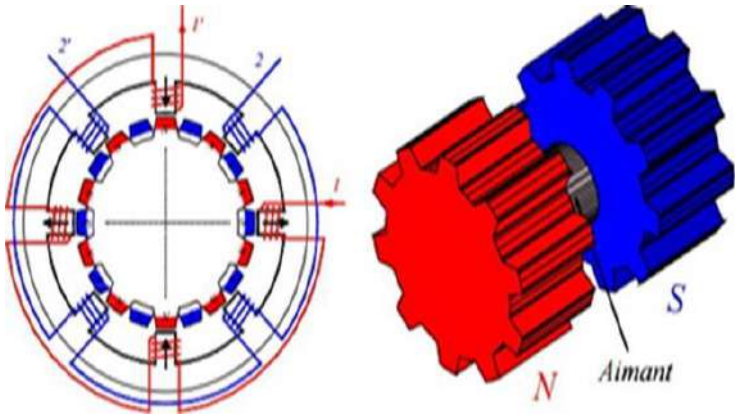


Figure II.17 : Moteur hybride.

2.6.2. Comparaison des 3 types de moteurs [4]

Le tableau ci-dessous présente les avantages de l'un par rapport à l'autre :

Type de moteur	**Moteur a aimant permanent**	**Moteur a réluctance variable**	**Moteur hybride**
Résolution (nb de pas/tour)	Moyenne	Bonne	Elevée
Sens de rotation	dépend : • du sens du courant pour les moteurs bipolaires • L'ordre d'alimentation des bobines pour les moteurs unipolaires	dépend : • uniquement de l'ordre d'alimentation des bobines	dépend : • du sens du courant pour les moteurs bipolaires • L'ordre d'alimentation des bobines pour les moteurs unipolaires

Fréquence de travail	Faible	Grande	Grande
Couple de travaille	Elevé	Faible	Elevé

Tableau II.7 : Comparaison entre les différents types des moteurs pas à pas.

Les Avantages et les inconvénients de moteur pas à pas

❖ **Avantage :**

✓ Sa facilité de mise en œuvre pour avoir un système précis et répétable.

✓ le moteur pas à pas ne nécessite pas d'entretien.

✓ Contrôle de la position, de la vitesse et synchronisation de plusieurs moteurs (de besoin de contre-réaction).

✓ Moteur sans balais.

❖ **Inconvénients :**

✓ Vitesse et couple relativement faible.

✓ Couple décroissant rapidement lorsque la vitesse augmente.

2.6.3. Configuration interne des bobines des moteurs [5]

Les moteurs à 5 fils

Le moteur comporte deux (2) bobines à point centrales, on relie le point centrale à l'alimentationet les autre fils à l'interface de puissance.

Les moteurs à 6 fils

Avec le moteur à 6fils, on a le choix d'une commande bipolaire en ignorant simplement les connexions centrales, ou une commande unipolaire en reliant les points centrales au (+) de l'alimentation.

Les moteurs à 8 fils

Avec celui-ci aussi on a le choix des deux commandes bipolaire ou unipolaire. Dans le premier cas on ignore les 4 fils centraux, et dans le deuxième cas on relie les 4 fils ensemble.

Les moteurs à 4 fils

Ce moteur est obligé d'être alimenté soit une bobine à la fois soit les deux au même temps. Donca tout moment le moteur est à la moitié ou à la totalité de ces bobines alimentées, ce qu'il a comme avantage de lui donner plus de force.

2.7. La carte Arduino UNO

Le modèle UNO de la société ARDUINO est une carte électronique dont le cœur est un microcontrôleur ATMEL de référence ATMega328. Le microcontrôleur ATMega328 est un microcontrôleur 8bits de la famille AVR dont la programmation peut être réalisée en langage C.

2.7.1. Les différents éléments

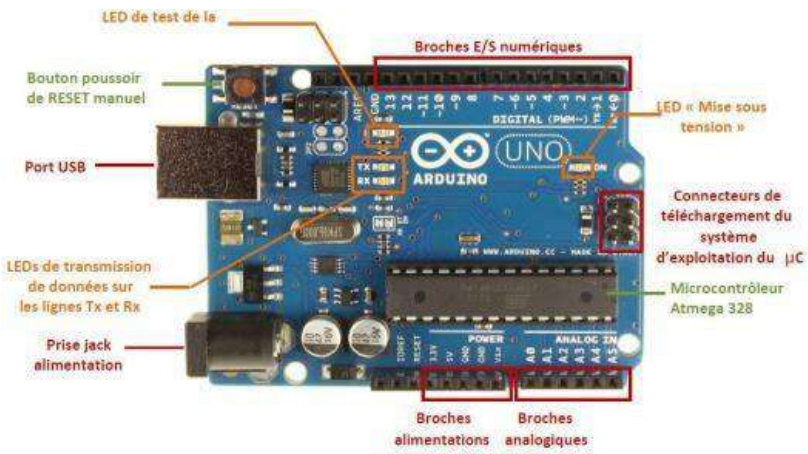


Figure II.18 : Les différents éléments

Microcontrôleur	ATMEGA 328
Tension d'alimentation interne	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7 à 12V
Tension d'alimentation (limites)	6 à 20 V
Entrées/sorties numériques	14 dont 6 sorties PWM (configurables)
Entrées analogiques	6
Courant max par broches E/S	40 mA (200mA cumulé pour l'ensemble des broches)

Mémoire programme Flash	32 Ko dont 0,5 Ko sont utilisés par le bootloader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	2 KB
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1 KB
Fréquence horloge	16 MHz
Dimensions	68.6mm x 53.3mm

Tableau II.8 : Les principales caractéristiques

2.7.2. Les principales caractéristiques

2.7.3. L'alimentation

La carte ARDUINO UNO peut être alimentée par le câble USB, par un bloc secteur externe connecté grâce à une prise « jack » de 2,1mm ou bien par un bloc de piles dont le raccordement est réalisé par l'intermédiaire des « GND » et « Vin » du connecteur d'alimentation. L'alimentation extérieure doit présenter une tension comprise entre 7 à 12V.
La carte génère, par l'intermédiaire de régulateurs intégrés, deux tensions stabilisées : 5 V et 3,3 V. Ces deux tensions permettent l'alimentation des composants électroniques de la carte ARDUINO. Étant disponibles sur connecteurs placés sur le pourtour des cartes, elles permettent également l'alimentation des modules Shields.

2.8. La porte série USB [3]

Le Universel Serial Bus (USB), en français Bus universel en série, dont le sigle, inusité, BUS 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 (quand l'ordinateur est en marche) et en bénéficiant du Plug and Play (le système reconnaît automatiquement le périphérique).



Figure II.19 : Câble USB.

2.9. Circuit électrique (CNC Shield V3) [3]

Le Shield CNC Arduino est une petite carte qui vous permet de contrôler facilement jusqu'à 4 moteurs pas à pas avec votre Arduino grâce à son format de blindage. Il prend en charge 4 contrôleurs de puissance Pololu A4988 ou Pololu DRV8825 (non inclus) et dispose de toutes les connexions nécessaires pour connecter des interrupteurs de fin de course, des sorties de relais et divers capteurs. Il est entièrement compatible avec le firmware de contrôle GRBL et peut être utilisé avec n'importe quel modèle Arduino, bien qu'il soit recommandé d'utiliser un modèle tel que Arduino UNO ou Arduino Leonardo.

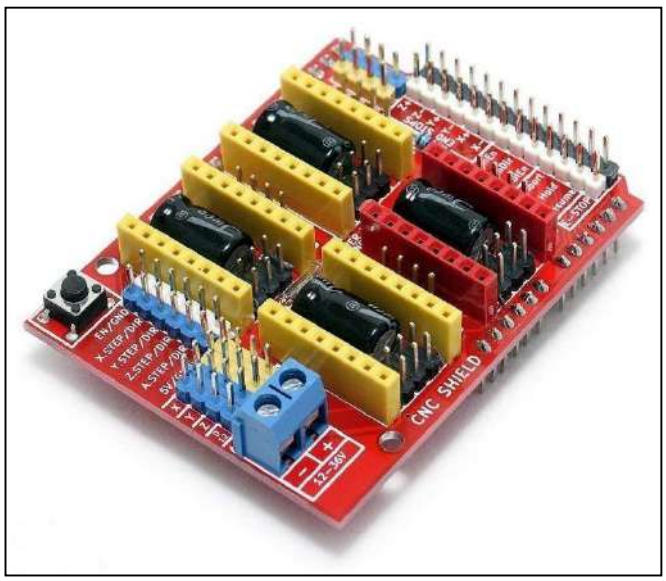


Figure II.20 : CNC shield V3.

2.10. Driver de Moteurs pas à pas 'DRV8825' [11]

Ce breakout de contrôle moteur pas-à-pas DRV8825 est basé sur le DRV8825 de Texas Instrument pouvant piloter un moteur pas-à-pas en micro-stepping (micro pas). Le module dispose d'un brochage et interface presque identique à notre contrôleur de moteur pas-à-pas A4988. Il peut donc être directement utiliser en replacement sur les différentes cartes d'interface avec ce modèle haute performance.

Le DRV8825 intègre un limiteur de courant actif et réglable. Vous disposez également d'une protection contre les surcourant, la surchauffe avec 6 résolutions de micro-stepping (jusqu'au 1/32 de pas). Il fonctionne entre 8.2 et 45 V et sait délivrer approximativement 1.5 A par phase sans refroidissement (par refroidisseur ou air forcé - conçu pour 2.2A par bobine en utilisant un système de refroidissement efficace/adéquat).

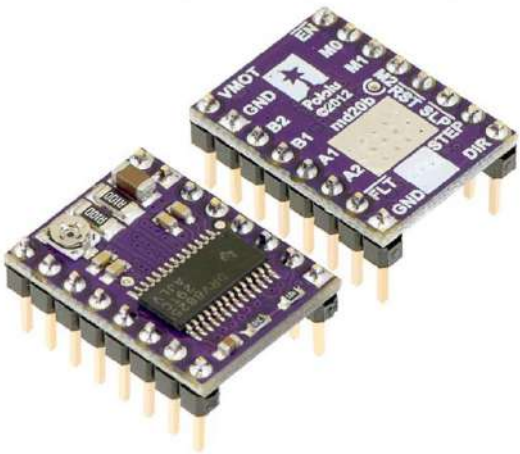


Figure II.21: Driver 'DRV8825

2.10.1. Brancher le DRV8825 : [11]

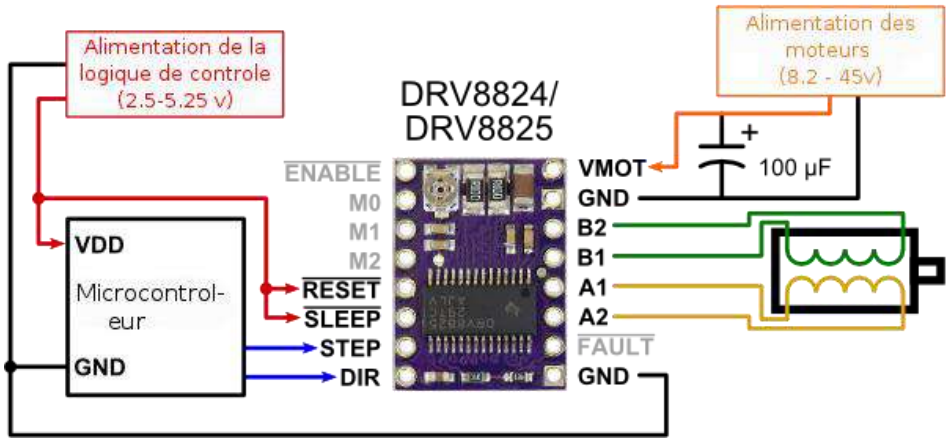


Figure II.22 : Schéma montage du Driver de Moteurs pas à pas .

2.11. Serov moteur [12]

A la différence d'un moteur continu, le Servomoteur ne tourne pas sur lui-même de façon continu. Un servomoteur tourne certes sur un axe, mais suivant un angle allant généralement de 0 à 180°. Certains peuvent également faire plusieurs tours, on les appelle parfois des servotreuils, d'autre ne vont qu'à 90° maximum ou encore jusque 360°, voir même plusieurs tours sans jamais s'arrêter, on les appelle alors servomoteur à rotation continue.En réalité un servomoteur est un moteur continu équipé d'un réducteur (des engrenages), dont

l'objectif est de réduire la vitesse et d'augmenter le couple (la puissance) ; et d'un potentiomètre qui permet au servomoteur de garder l'angle d'inclinaison choisit. En effet, l'un des intérêts des servomoteurs c'est de leur faire prendre et garder un angle.



Figure II.23 : Serov moteur

2.12. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présentés les composant électrique et mécanique utilisés dans notre projet à savoir :la carte Arduino UNO , le driver de commande de moteurs le DRV8825 , le moteur pas à pas type Nema17, Accouplement , Roulement , vis a Crous …

Nous avons réussi à contrôler les moteurs pas à pas par la commande PWM et GPIO. C'est notre premier pas vers la commande de notre machine CNC

Chapitre 3 :

Changement d'Outil Automatique et SA

3.1. Introduction:

Les machines CNC sont conçues pour effectuer un certain nombre d'opérations dans un seul cadre de travail. Plusieurs outils peuvent être nécessaires pour réaliser une pièce complexe. Dans une machine manuelle, les outils sont changés manuellement chaque fois que nécessaire. Dans une machine à commande numérique, les outils sont modifiés via des instructions de programme. Les outils sont montés dans un magasin d'outils.

Dans ce chapitre, nous connaîtrons le concept de changement d'outil automatique et ses types, ainsi que la manière de le programmer.

3.2. Changement d'outil automatique(ATC): [9]

3.2.1. Définition de changement d'outil automatique:

Les machines CNC simples fonctionnent avec un seul outil. Les tourelles peuvent fonctionner avec un grand nombre d'outils. Mais si encore plus d'outils sont nécessaires, l'ATC est fourni. Les outils sont stockés sur un magasin. Il permet à la machine de travailler avec un grand nombre d'outils sans opérateur. Les pièces principales d'un changeur d'outils automatique sont la base, le bras de préhension, le porte-outil, le bras de support et les magasins d'outils. Bien que l'ATC augmente la fiabilité, la vitesse et la précision, il crée plus de défis par rapport au changement d'outil manuel, par exemple l'outillage utilisé doit être facile à centrer, être facile à saisir pour le changeur et il devrait y avoir un moyen simple de fournir l'outil désengagement de soi. Les outils utilisés en ATC sont fixés dans des porte-outils spécialement conçus à cet effet.

3.2.2. Les types de changement d'outil automatique:

Selon la forme du magasin, l'ATC peut être de trois types :

1) Les changeurs de type de tambour sont utilisés lorsque le nombre d'outils est inférieur à 30. Les outils sont stockés sur la périphérie du tambour.

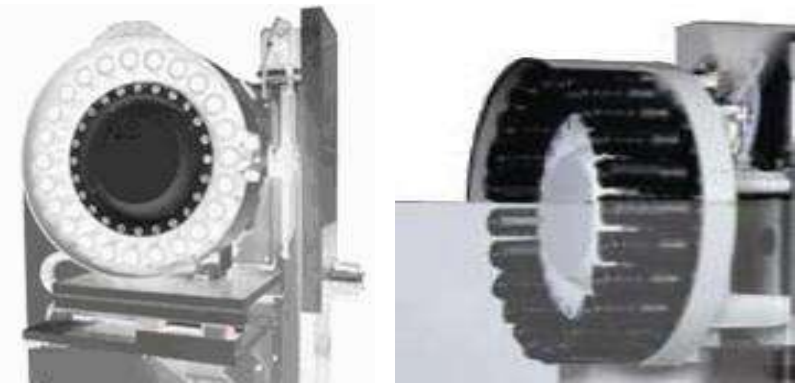


Figure III.1 : Changeur automatique d'outils à tambour (ATC)

2) Les changeurs de type chaîne sont utilisés lorsque le nombre d'outils est supérieur à 30 (le nombre est différent selon la conception et le fabricant. Il est important de noter que le nombre d'outils pour le type de tambour est inférieur à celui du type de chaîne). Mais la vitesse de recherche de l'outil sera plus faible dans ce cas.

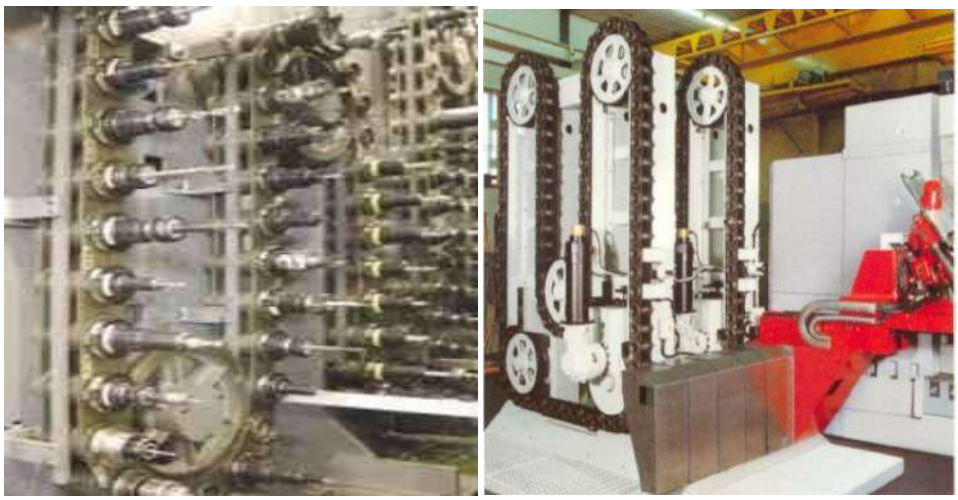


Figure III.2 : Changeur d'outils automatique à chaîne (ATC)

3) Ce type de modulateur est utilisé lorsque le nombre d'outils est inférieur à 10. Les outils sont stockés sur une seule rangée.

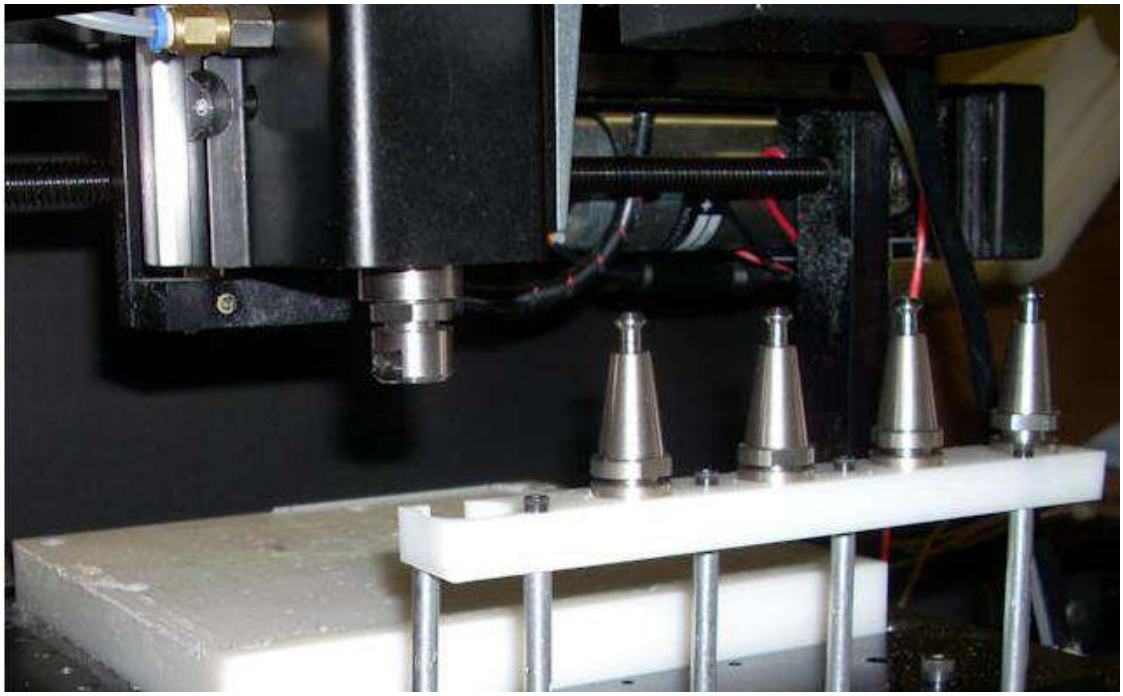


Figure III.3 : Changeur d'outils automatique à même linge

3.2.3. Mécanisme de changement d'outil automatique : [9]

Après avoir reçu la commande de changement d'outil, l'outil à changer prendra une position fixe appelée "position de changement d'outil. Pour le premier et le deuxième type Le bras ATC vient dans cette position et saisit l'outil. Le bras pivote entre la tourelle de la machine et le magasin. Il aura une pince sur chacun des deux côtés. Chaque préhenseur peut pivoter de 90°, pour déposer les outils sur la face avant de la tourelle. L'un ramassera l'ancien outil de la tourelle et l'autre ramassera le nouvel outil du magasin. Il tourne ensuite à 180° et place les outils dans leur position d'origine.

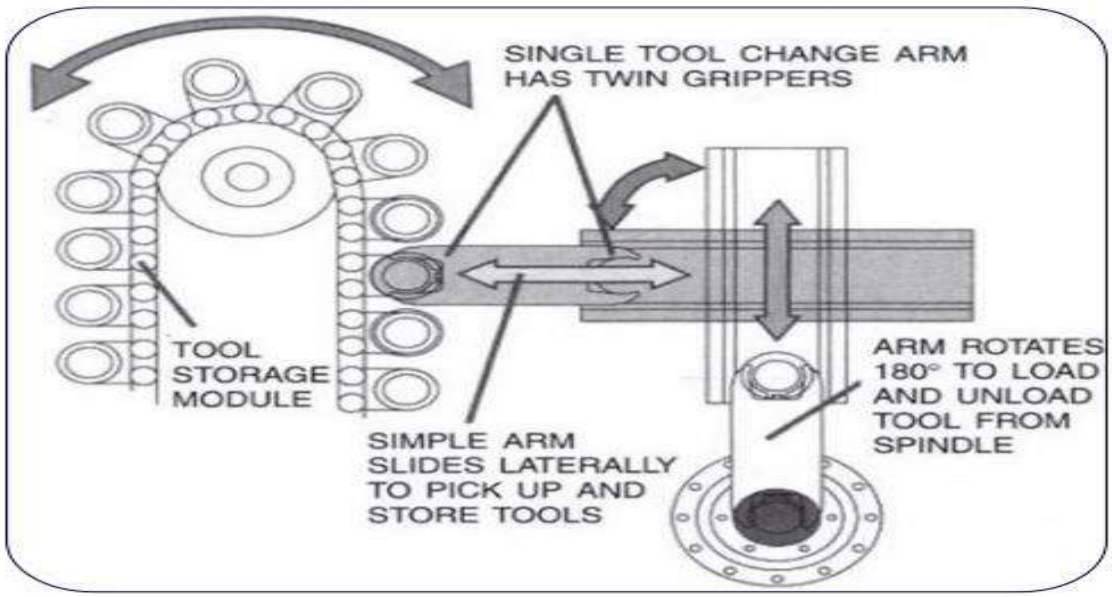


Figure III.4 : Changement d'outil de rotation à 180 degrés

Quant au troisième type, les outils sont sur une seule ligne, et lorsqu'une commande est donnée à la machine, la tour se déplace devant la position de l'outil à changer pour l'y mettre puis se dirige vers le nouvel outil à prendre ça monte.

3.2.4 : Les avantages de changement d'outil automatique : [9]

- ✓ Les lignes ont changé en quelques secondes au lieu d'heures.
- ✓ Augmentez la sécurité de l'opérateur en changeant d'outil automatiquement.
- ✓ Changez d'outils en quelques secondes pour l'entretien et la réparation.
- ✓ Augmenter la flexibilité.
- ✓ Outils multifonctions lourds et volumineux qui sont automatiquement remplacés.

3.3 Programmation de la machine :

3.3.1 : Organigramme: [5]

Il représente la parti programmation d'une machine CNC.

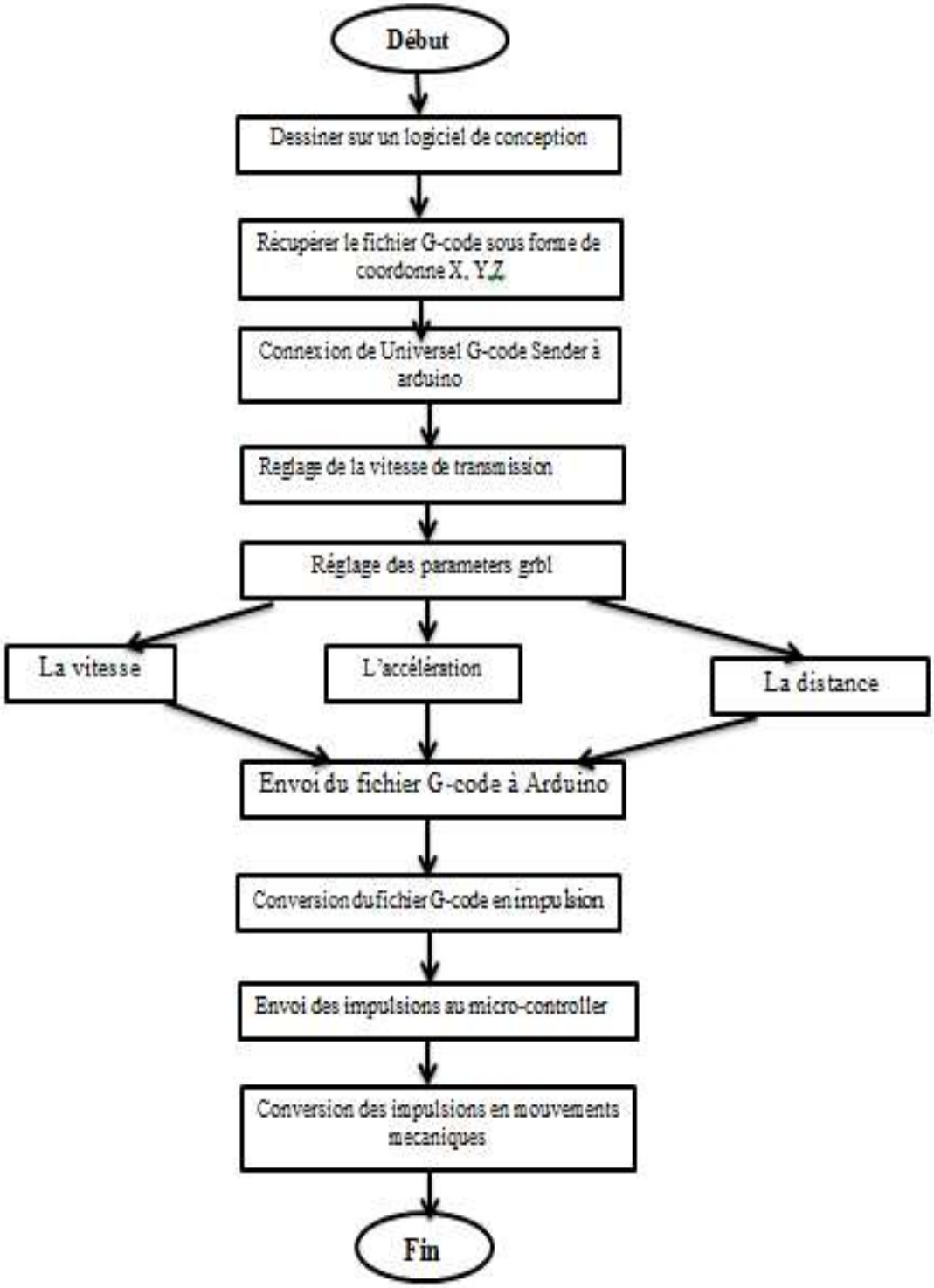


Figure III.5 : programmation d'une machine CNC.

3.3.2. Les fichier G-code : [5]

Développé par l'EIA au début des années 1960, et finalement normalisé par l'ISO en février 1980C' est un type de fonction utilisé dans le langage de programmation à commande numérique qui contient l'information pour positionner un outil dans les démentions x y z. G-code est séparé de code M et T-code, c'est des codes qui contrôlent la machine et l'outillage. La version standard de G-code est connue comme RS-274D Développé à l'origine pour des machines-outils par enlèvement de matière, le G-code est désormais utilisé dans un domaine très vaste de la fabrication, avec des adaptations :

- ✓ Usinage par enlèvement de matière: tournage, fraisage, perçage, gravure, défonçage
- ✓ Découpe avec : couteau, laser, jet d'eau, plasma, flamme/oxydation Poinçonnage
- ✓ Impression 3D: Par dépôt de matière

En résumé le G-CODE est un langage de programmation simple dédié à la programmation des machines à commandes numériques par calculateur on l'appelle G-CODE parce que toutes les lignes d'instruction commencent par une commande de type G xx (xx étant le type d'opération que on veut faire).

Il nous permit de faire des programmes simples pour les envoyer dans le contrôleur ARDUINO, il est important de connaitre quelques bases de ce langage.

3.3.2.1. Le fonctionnement du G-Code : [5]

Le principe est simple: on va écrire une suite de lignes comportant quelques instructions et commandes qui vont demander a la machine de réaliser des mouvements dans l'espace en 3 dimensions. On va pour cela utiliser un repère cartésien dont les 3 axes de référence sont les axes X - Y – Z Voici quelques codes individuels communs, que lorsqu'il est combiné, guident le

mouvement d'une machine G00: Positionnement rapide Ce code provoque un fonctionnement rapide sur la machine.

✓ G01 : Interpolation linéaire La machine se déplacera en ligne droite, effectuer l'usinage approprié (fraisage, coupe, etc.).

✓ G02: mouvement circulaire La machine se déplace vers la droite dans un mouvement circulaire ou d'effectuer le procédé d'usinage approprié.

✓ G03: mouvement circulaire antihoraire Ce code est le même que G02, mais de l'autre sens.

✓ G17: Sélection du plan XY

✓ G18: Sélection du plan XZ

✓ G19: Sélection du plan YZ Ces codes manœuvrer la machine sur des plans différents pour le mouvement coordonné.

✓ G20: Programmation en pouces

✓ G21: Programmation en mm

Voici un petit tableau récapitulatif des codes de base :

G00	Déplacement rapide
G01	Interpolation linéaire
G02	Interpolation circulaire (sens horaire)
G03	Interpolation circulaire (sens anti-horaire)
G04	Arrêt programme et ouverture carter (pour nettoyer) (temporisation - suivi de l'argument F ou X en secondes)
G10/G11	Écriture de données/Effacement de données
G17	Sélection du plan X-Y
G18	Sélection du plan X-Z
G19	Sélection du plan Y-Z
G20	Programmation en pouces
G21	Programmation en mm
G28	Retour à la position d'origine
G31	Saute la fonction (utilisé pour les capteurs et les mesures de longueur d'outil)
G33	Filetage à pas constant
G34	Filetage à pas variable
G40	Pas de compensation de rayon d'outil
G41	Compensation de rayon d'outil à gauche
G42	Compensation de rayon d'outil à droite
G90	Déplacements en coordonnées absolues
G91	Déplacements en coordonnées relatives
G94/G95	Déplacement en Pouces par minute/Pouce par tour
G96/G97	Vitesse de coupe constante (vitesse de surface constante)/Vitesse de rotation constante ou annulation de G96

Tableau III.1: tableau récapitulatif des codes de base

En général, le G-code est généré à partir de fichiers 3D ou 2D, à l'aide des programmes générateurs de G-Code.

3.3.3. Le fichier GRBL: [14]

Grbl : est un frimwar de haute performance conçue pour contrôler le mouvement des machines praticable sur un Arduino. Il a été adapté pour être utilisé dans centaines projets comme les machine CNC et les imprimantes 3D, Le programme est écrit en C hautement optimisé utilisant chaque fonctionnalité intelligente de l'AVR-puces pour atteindre un timing précis et le

fonctionnement asynchrone. Il est capable de maintenir plus de 30 kHz de la stabilité, la rapidité des impulsions de commande libres.

En 2009, Simen Svale Skogsrud a honoré la communauté open-source en écrivant et en libérant les premières versions de Grbl à tout le monde. Depuis 2011, Grbl va de l'avant comme un projet open-source mené par la communauté sous la direction pragmatique de Sonny Jeon Ph.D. (chamnit).

Le projet a d'abord été inspiré par l'interprète Arduino G-code par Mike Ellery.

3.3.3.1. Schéma de Pin pour Grbl :

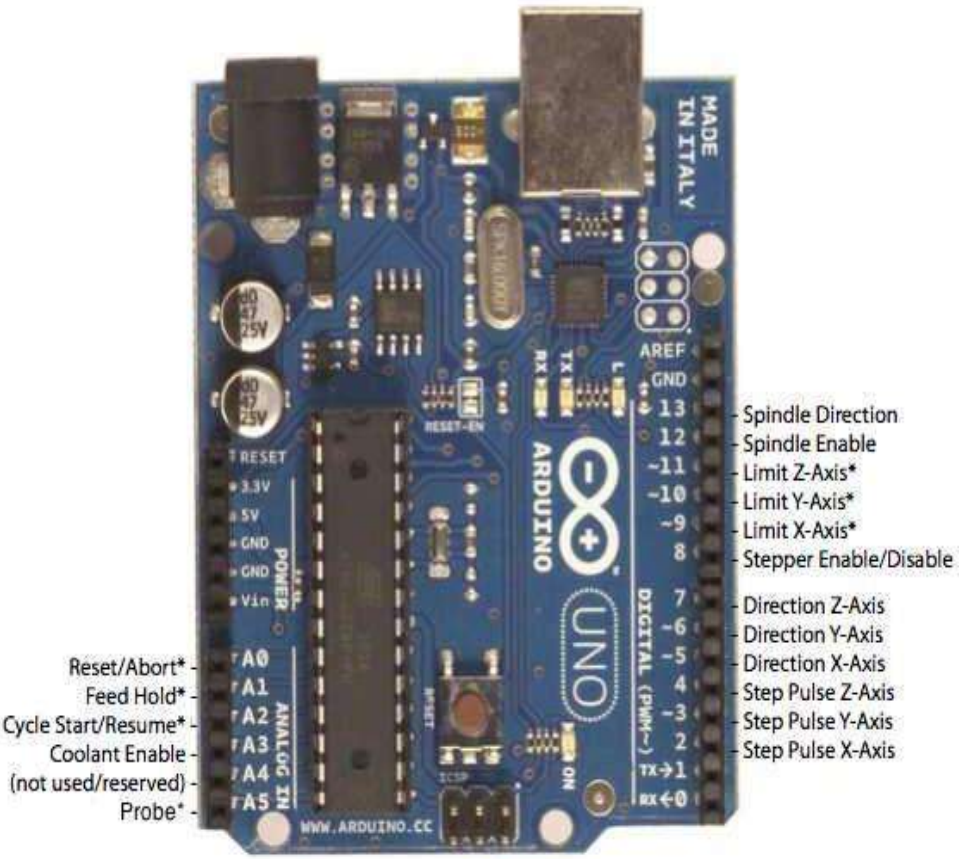


Figure III.6 : Schéma de Pin pour Grbl

3.3.3.2. Fonctionnement de grbl :

Après avoir flashé Grbl à l'Arduino, la connexion est assez simple. Il faut utiliser l'Arduino IDE lui-même pour se connecter à Grbl, ou D'autres programmes de port série, tels que DIVA ou PuTTY, Avec le Xloader on peut modifier les paramètres comme suit:

- Sélectionner le fichier HEX.
- Sélectionner la configuration dans L'Arduino.
- Sélectionner le port COM correct.
- Gardez la vitesse de transmission est que ... (Il va changer pour chaque type de carte).

3.3.3.3. Le branchement:

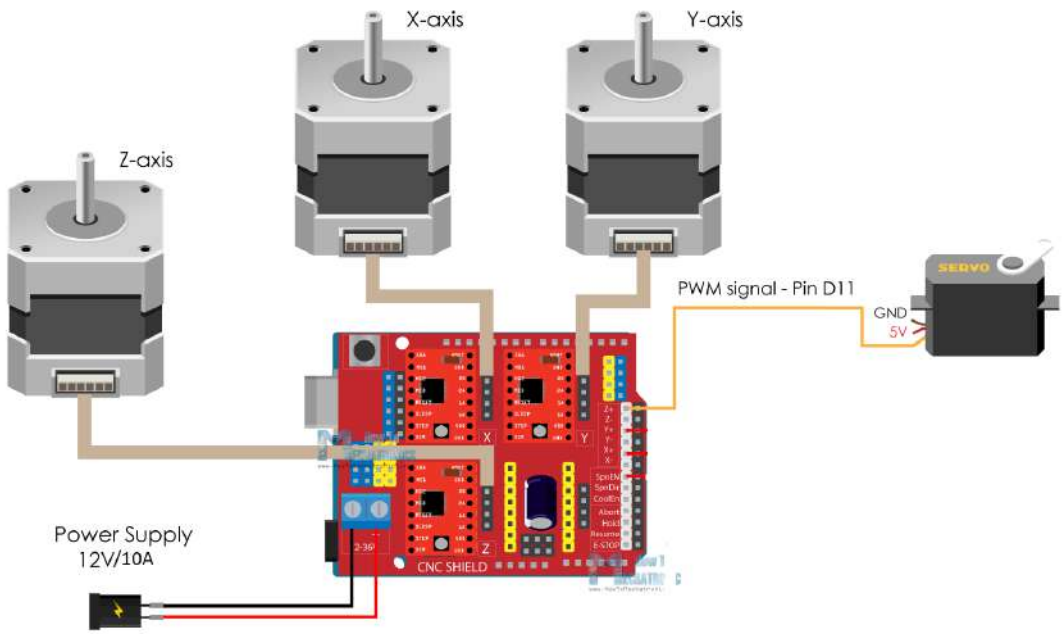


Figure III.7 : Branchement de montage électrique

3.3.4. Connecter grbl à Arduino : [5]

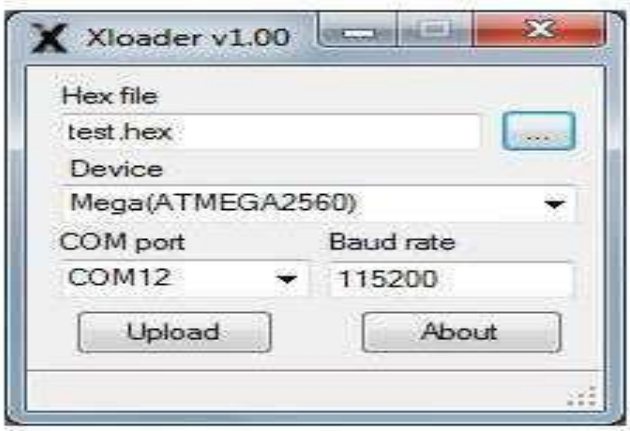


Figure III.8 : XLoader.

1. Télécharger XLoader.
2. Ouvrir XLoader et sélectionner le port COM de votre Arduino dans le menu
3. Sélectionner le périphérique approprié dans la liste «Appareil».
4. Vérifier le taux de transmission pour le périphérique est de 57600 pour (Atmega 328) et de 115200 pour Uno (Atmega 328).

3.3.5. Paramètres de grbl :

Grbl fonctionne avec un certain nombre de variables internes sauvegardées en mémoire. Pour changer la valeur d'une variable, Il suffit de taper "$suivant d'un numéro de variable =valeur.

Par exemple pour changer la résolution de l'axe X à 300 pas par millimètre, il suffit de taper : $0=300 le paramètre des pas par millimètres se calcule avec le nombre de pas par tour du moteur pas a pas et le pas de la vis.

Exemple2 pour l'axe X : si on utilise une vis d'avance avec un pas de 1mm et un moteur de 200pas, $0 = 200.

exemple : si sur les 3 axes X,Y,Z on utilise des vis sans fin de 5mm / tour + des moteurs à 200 pas par tour, et un contrôleur fonctionnant en micropas (1/16e de pas). Dans ce cas, il faudra 200 x 16 = 3200 pas pour faire 5mm. La valeur à indiquer en résolution des axes est donc de 3200 / 5mm = 640 pas / mm (paramètres $0 $1 $2).

- ✓ $3 permet de régler la largeur d'impulsion de pas, en général entre 5 et 50 microsecondes, voir la fiche de donnée du driver (A4988)
- ✓ $4 permet de régler la vitesse par défaut en usinage (G1 G2 G3)
- ✓ $5 permet de régler la vitesse en déplacement rapide (G0)
- ✓ $6 permet d'inversion les signaux de pas et de direction pour chaque axe. Pour chacun d'entre eux devant être inversé, prendre la valeur ci dessous, en faire la somme et l'envoya à $6 :

" Pas X : bit 2 = 4

" Pas Y : bit 3 = 8

" Pas Z : bit 4 = 16

" Direction X :bit 5 = 32

" Direction Y : bit 6 = 64

" Direction Z : bit 7 = 128

Les bits 0 et 1 ne sont pas utilisés Ainsi pour inverser la direction de X et Y, il suffirait de mettre 32+64 =96 soit $6=96 => en binaire : 1100000

• $7 permet de régler le délai de mise au repos après un mouvement complet. On peut le mettre simplement à zéro, ou entre 25 et 50 millisecondes. On peut également garder les valeurs axes actives tout le temps en mettant le paramètre a la valeur max soit 255=> $7=255

• $8 permet de régler l'accélération MAX.

• $9 permet de régler les problèmes dans les virages.

• $10 sert à régler la résolution des arcs. Ceux ci sont en effet transformés en une

succession de petits segments de droite.

• $11 ce paramètre doit être changé avec une extrême prudence. ne changer cette valeursi ya des problèmes avec les arcs.

• $12 permet de fixer le nombre de décimales après la virgule.

• $13 permet de changer l'unité de l'affichage de position temps réel :

• $13= 0 affichage en mm

• $13= 1 affichage en pouces

• $14 permet de changer le mode de démarrage de cycle :

• $14= 1 démarrage auto => valeur généralement retenue

• $14= 0 démarrage manuel sur bouton démarrage de cycle

• $15 change le mode d'activation du moteur. par défaut la broche d'activation du moteur est à niveau haut pour désactiver et niveau bas pour activer. si on souhaite un fonctionnement opposé, il fau inverser en changeant la valeur $15=1.

• $16 pour activer les fin de course=> $16=1

• $17 pour activer le cycle de référencement absolu (position zero machine => nécessite des capteurs sont a l'êta initial).$17=1

• $18 change le sens de direction des mouvements de référencement. par défaut, les Switch sont supposés être dans le sens des directions positives, l'axe Z puis les axes X.Y, pour inverser, taper $18=1

• $19 permet de paramétrer la vitesse d'arrivé (lente) sur les Switch de fin de course.

• $20 permet de paramétrer la vitesse de recherche rapide sur les Switch de fin de course.

• $21 permet de fixer le temps d'amortissement sur contacts de fin de course.

• $22 active le pull off des switchts de fin de course.

• $ 100 = (x, pas / mm).

• $ 101 = (y, pas / mm).

• $ 102 = (z, pas / mm).

• $ 110 = (taux maximum de x, mm / min).

- $ 111 = (taux max y, mm / min).
- $ 112 = (taux maximum de z, mm / min).
- $ 120 = (x accélérations, mm / s ^ 2).
- $ 121 = (y accélérations,, mm / s ^ 2).
- $ 122 = (z, mm / s ^ 2).
- $ 130 = (x max, mm).
- $ 131 = (y max, mm).
- $ 132 = (z max, mm).
- # $ (Voir n paramètres).
- G $ (vue de l'état de l'analyseur).
- $ I (Voir l'info de construction).
- $ N (visionner les autres blocs de démarrage).
- $ X = valeur (enregistrer les paramètres Grbl).
- $ Nx = ligne (sauvegarde bloc de démarrage).
- $ C (mode gcode à cocher).
- $ X (verrouillage de l'alarme de tuer).
- $ H (cycle de ralliement de fonctionner).
- ~ (Début de cycle).
- ! (Alimentation en attente).
- ? (statut actuel).
- Ctrl-X (réinitialiser Grbl).

3.3.6. Grbl plotter : [10]

Grbl plotter est un programme Java utilisé pour envoyer un fichier gcode vers le GRBL d'une machine à commande numérique. Avec l'expéditeur G-Code grbl plotter il est possible de contrôler le système avec des commandes G-code, comme le déplacement des moteurs pas à pas à la position initiale.

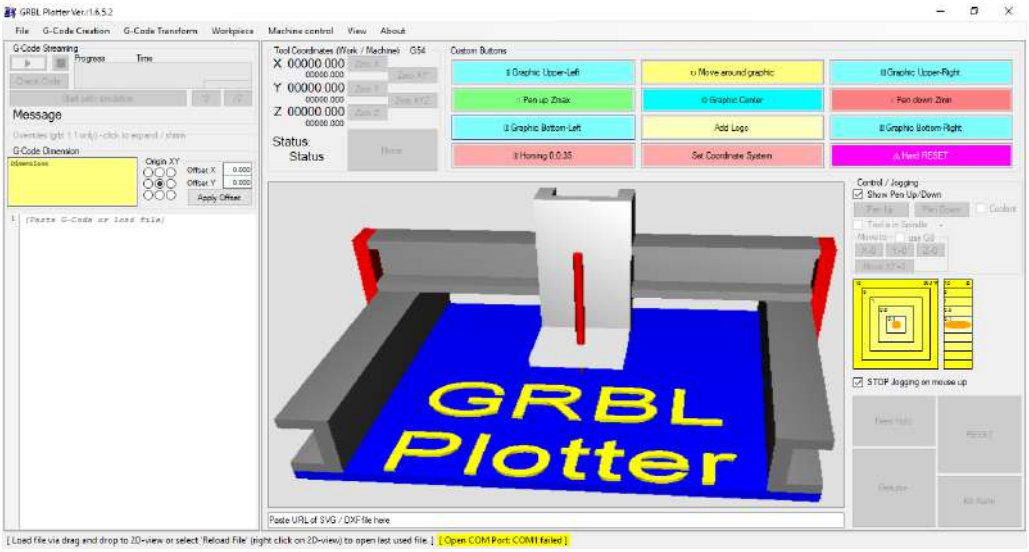


Figure III.9 : fenêtra principal de GRBL plotter

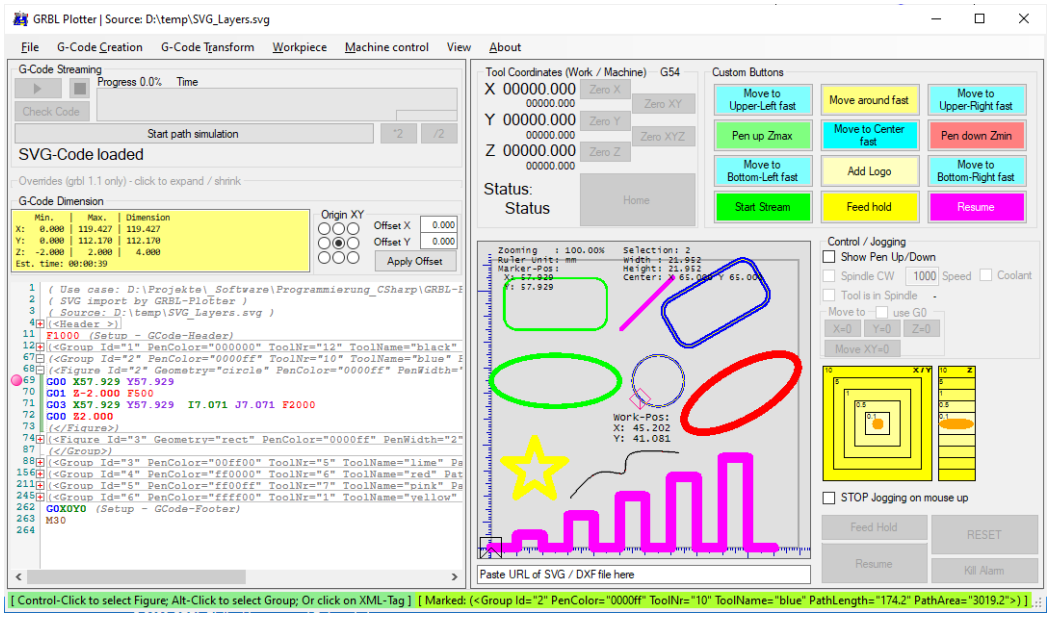


Figure III.10 : exemple de teste

3.3.7. Utilisation du frimware grbl: [5]

3.3.7.1 paramétrages de la machine CNC:

Pour le premier démarrage de la machine on doit la paramétrer afin qu'elle détecte les contacteurs de fin course et positionner les axes à leurs position initial. L'organigramme suivant nous montre les étapes à suivre.

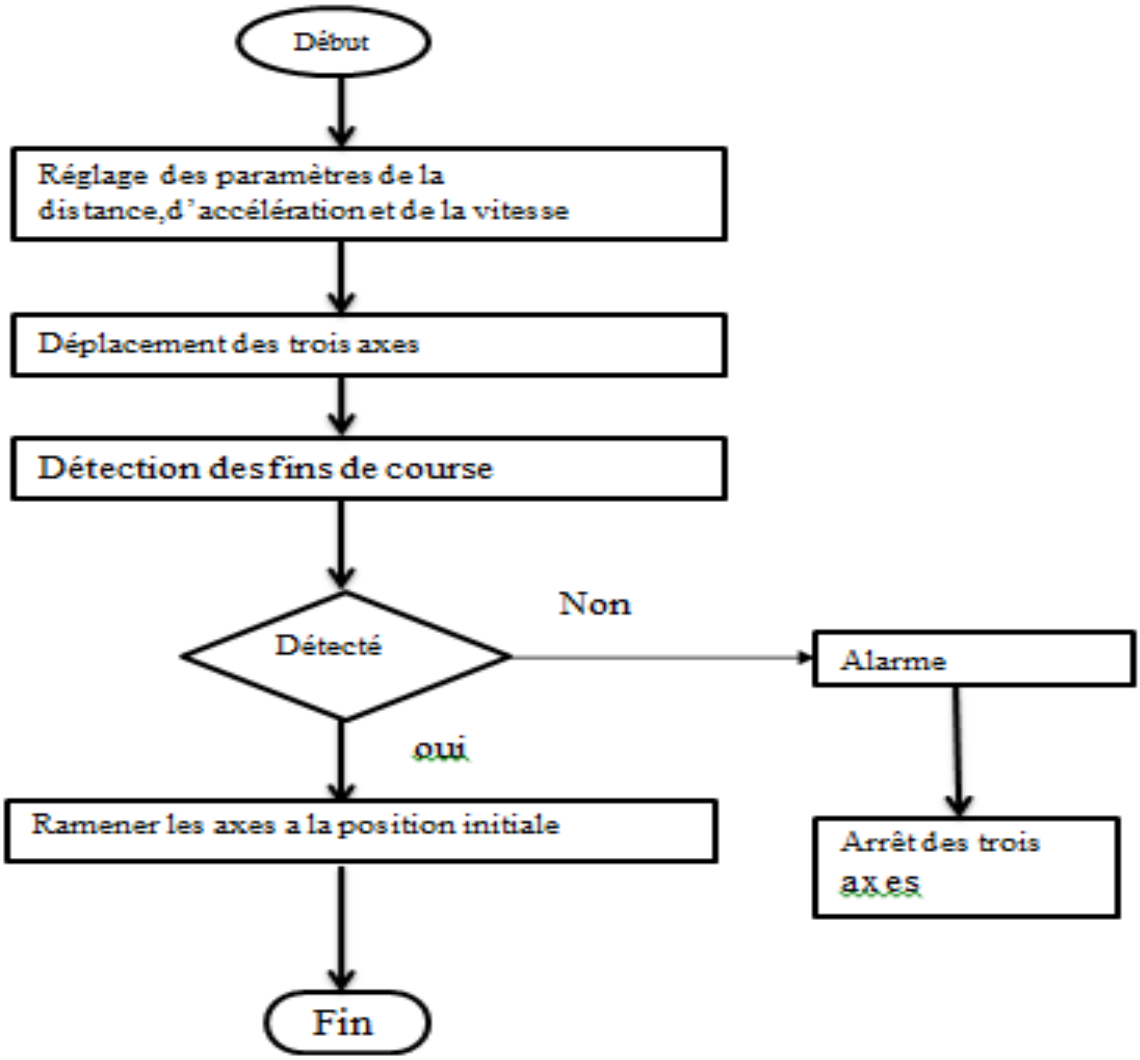


Figure III.11: paramétrages de la machine CNC

3.7.2 Initialisation de la machine: [5]

A chaque démarrage de la machine l'initialisation effectue la détection des fins de course X, Y, Zdans le cas échéant une alarme sera retentie et déclenche un arrêt des trois axes.
L'organigramme suivant nous montre les étapes à suivre

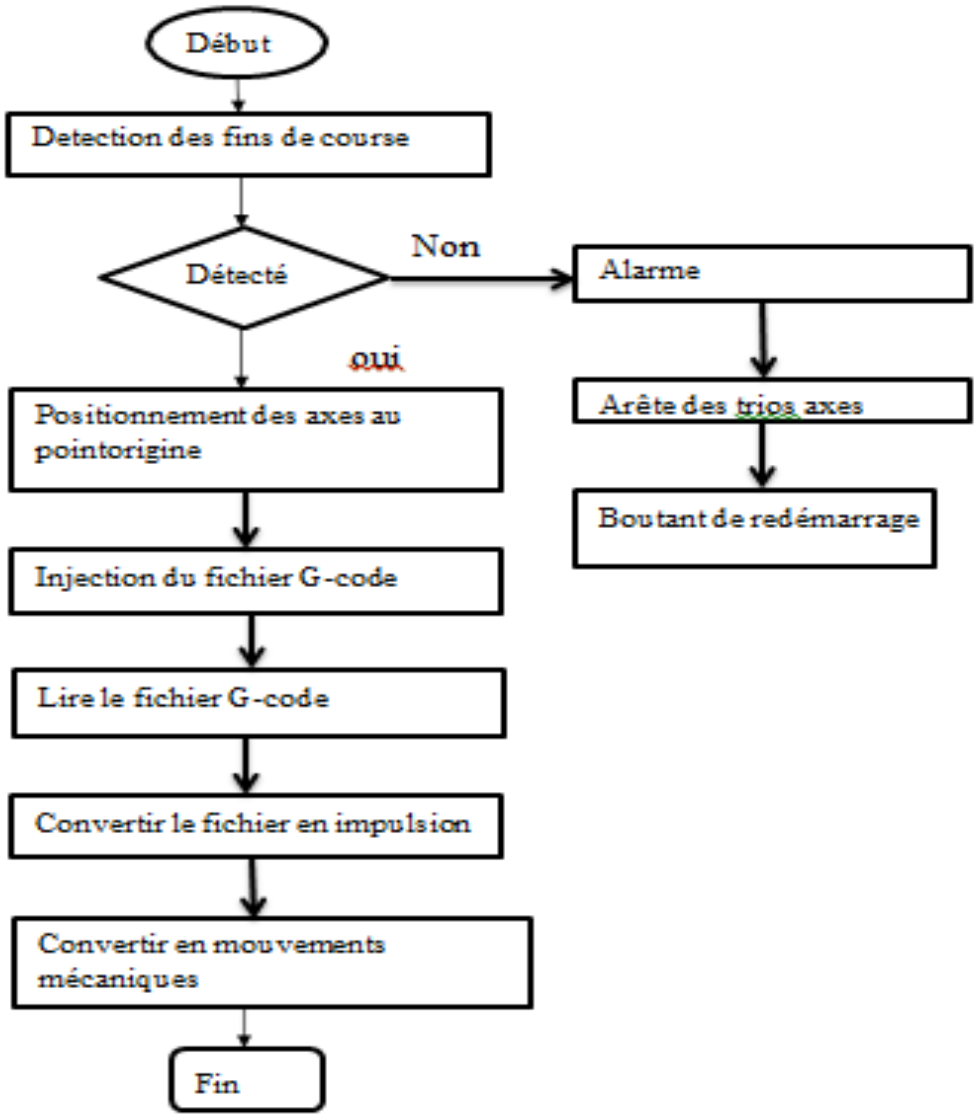


Figure III.12: paramétrages de la machine CNC

3.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous nous intéressons au changement d'outil automatique et à ses types et la programmation des machines de commandes numériques à l'aide du langage de programmation G-CODE. Nous avons expliqué la structure d'un programme et les fonctions des mots les plus utilisés. Après nous avons réussi la commande de moteurs par la génération des programmes en langage C qui contiennent des fonctions pour tracer des lignes ou des arcs. De plus une optimisation de programme final est effectuée pour surmonter le dépassement de la capacité de stockage.

Chapitre 4 :

Résultats et Discussion

4.1. Introduction:

Ce chapitre est consacré à la conception et la réalisation de la machine CNC. Nous exposerons les composants de la machine à réaliser et nous présentons la conception des modèles des pièces et leur assemblage à l'aide du logiciel **SOLIDWORKS.** Une fois la conception est vérifiée, on passe à l'étape de réalisation de la machine et des tests.

4.2. Description du projet :

Notre projet consiste à fabriquer un modèle simple à trois axes d'une machine CNC. Le travail est reparti en trois parties comme suit:

- La partie mécanique
- La partie électronique
- La partie programmation

Dans cette partie nous nous intéressons à la partie mécanique, les deux autres parties ont été détaillées dans les chapitres précédents [4].

Notre machine ressemblera à une fraiseuse CNC comme celle de la figure.

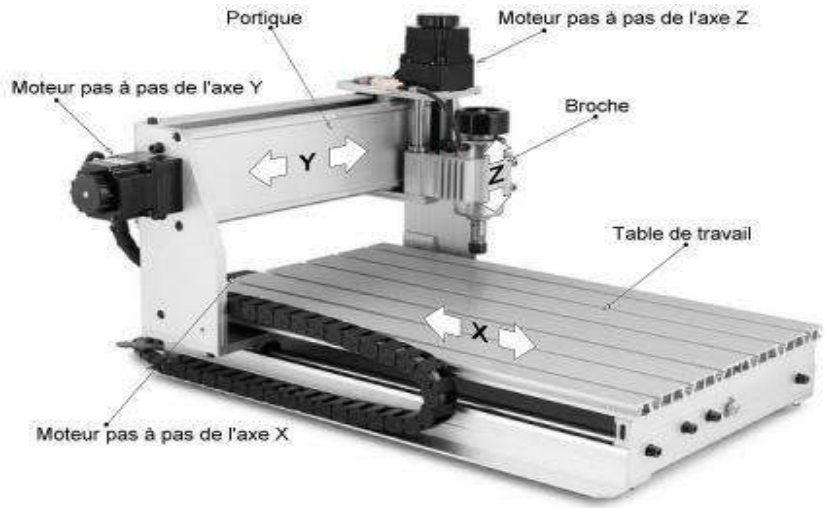


Figure IV.1 : Modèle d'une fraiseuse.

Pour nous simplifier la conception et la fabrication, notre machine fonctionnera par déplacement de la table de travail en dessous de la broche. Malheureusement, la situation de confinement à cause du covid 19 et la fermeture des commerces nous a obligés de modifier la broche par un simple stylo pour vérifier le bon fonctionnement de notre machine.

Le système mécanique est assemblé de telle manière que le mouvement des 3 axes soit réalisé en utilisant des rails linéaires assemblés avec des roulements linéaires. Les moteurs sont montés chacun à l'axe qui est source de mouvement et qui agissent en fonction du signal de commande à partir du circuit électronique. Chaque moteur est relié à une vis sans fin pour chaque axe qui est chargé de transformer le mouvement du moteur de rotation en mouvement linéaire.

Le mouvement contrôlé de chaque axe est obtenu directement par la commande de la rotation du moteur. La vitesse du mouvement de chaque axe peut également être contrôlée par le contrôle direct de la vitesse du moteur, en donnant des signaux de commande nécessaires. Ainsi, la trajectoire de l'outil fixée à l'organe terminal est contrôlée dans chaque axe pour une action bien déterminée.

4.3 La Conception assistée par ordinateur (CAO) [4] :

La CAO est un ensemble d'outils et de programmes informatiques permettant d'assister l'ingénieur dans la conception et la mise au point d'un produit. Un système de CAO permet de représenter et d'étudier le fonctionnement d'un objet sans l'avoir fabriqué réellement, c'est-à-dire en virtuel. Il existe un grand nombre de logiciels de CAO, par exemple:

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

Vu que nous somme familiarisé durant notre formation avec SolidWorks, nous avons décidé de l'utilisé

4.3.1. Solid Works [13]:

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, Solid Works a été acheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes.

Solid Works est un logiciel de CAD (computer Aided Design) très puissant et facile à manipuler, dédié au design et la modélisation 3D. Il est très utilisé dans l'industrie pour la fabrication de différentes pièces mécaniques, hydrauliques, électriques ainsi que l'assemblage des pièces et la conception des machines et des appareils de A à Z.



Figure IV.2 : Logiciel SOLIDWORKS.

4.3.1.1. Fonctionnement [13] :

SOLIDWORKS est un modeleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

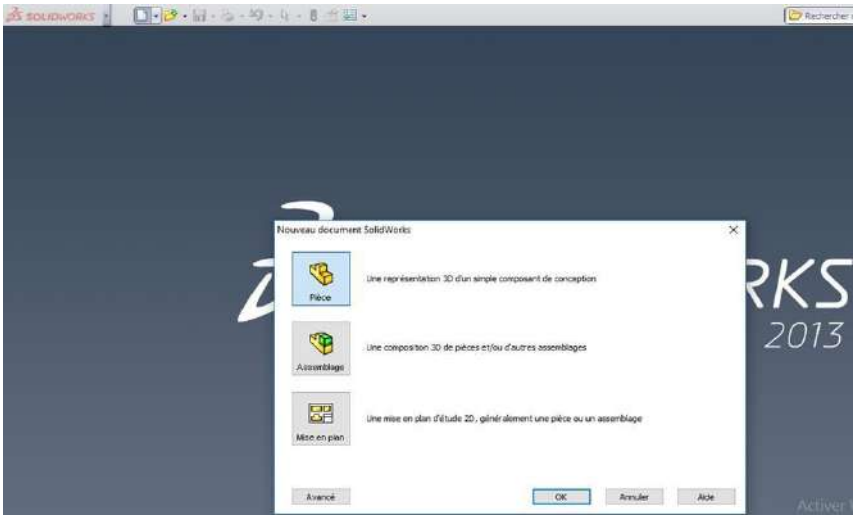


Figure IV.3 : Une fenêtre du logiciel SOLID WORKS [4]

4.3.1.2. Pièce :

La pièce est l'objet 3D monobloc. La modélisation d'une telle entité dépendra de la culture de l'utilisateur. Comme de nombreux logiciels conviviaux, Solid Works permet d'aboutir à un même résultat apparent par des voies souvent différentes. C'est lors de la retouche de ces fichiers ou de leur exploitation qu'on appréciera la bonne méthode.

Une pièce est la réunion d'un ensemble de fonctions volumiques avec des relations d'antériorité, des géométriques, des relations booléennes (ajout retrait)... Cette organisation est rappelée sur l'arbre de construction. Chaque ligne est associée à une fonction qu'on peut renommer à sa guise [13].Pour obtenir un volume, suivre les étapes :

- Définir une origine
- Choisir un plan
- Tracer une esquisse
- Générer un volume

4.3.1.3. Assemblages [13]

Les assemblages sont obtenus par la juxtaposition de pièces. La mise en position de pièces est définie par un ensemble des contraintes d'assemblage associant, deux entités respectives par une relation géométrique (coïncidence, tangence, coaxialité...).

Dans une certaine mesure, ces associations de contraintes s'apparentent aux liaisons mécaniques entre les pièces. Le mécanisme monté, s'il possède encore des mobilités, peut être manipulé virtuellement. On peut alors aisément procéder à des réglages à l'aide des différents outils disponibles (déplacement composants, détection de collision ou d'interférence, mesure des jeux, etc.) .

Étapes de l'assemblage

- Ajouter des pièces dans un assemblage
- Déplacer et faire pivoter des composants dans un assemblage
- On peut positionner et orienter les composants à l'aide de contraintes qui créent desrelations entre les composants.

4.3.1.4. Mise en plan [4,13]:

Une fois les pièces ou assemblages créés, il est possible de générer automatiquement les mises en plan (représentation 2D) avec insertion automatique des côtes et liaisons entre les vues2D et le modèle 3D. De plus, des fonctions d'habillage (texte, hachure, cotation…) permettent à l'utilisateur d'annoter rapidement un plan. Pour faire des mises en plan, il est tout d'abord nécessaire d'avoir des fonds de plan pour y projeter les dessins. Ces fonds de plans ont un format (A4, A3,…), une orientation (portrait ou paysage) et contiennent éventuellement un cartouche. Un certain nombre de fonds de plan de base sont proposés à l'origine, mais il est préférable, avant decommencer, de personnaliser les fonds de plan que l'on utilisera par la suite.

Étapes de création d'une mise en plan

- Ouvrir un modèle de mis en plan et éditer un fond de plan
- Insérer des vues standards d'un modèle de pièce
- Ajouter des annotations de modèle et de référence
- Ajouter une autre feuille de mise en plan e. insérer une vue nommée f. imprimer la miseen plan

Pour la conception de notre machine CNC nous utilisant Solid Works en modélisation 3D.On modifie

chacune des pièces afin de les assembler pour obtenir la forme finale de la machine.



Figure IV.4 : Fenêtre principale de Solid Works [4].

4.3.2. La conception de notre machine CNC avec Solid Works

4.3.2.1. Partie pièces

La conception des pièces de la machine, avec Solid Works, se déroule en 3 étapes :

- Sélection du plan de face,
- Conception de la forme en 3D en utilisant l'option « bossage extrudé »
- Création des différents détails qui caractérisent chacune de pièces.

Cadre de machine:

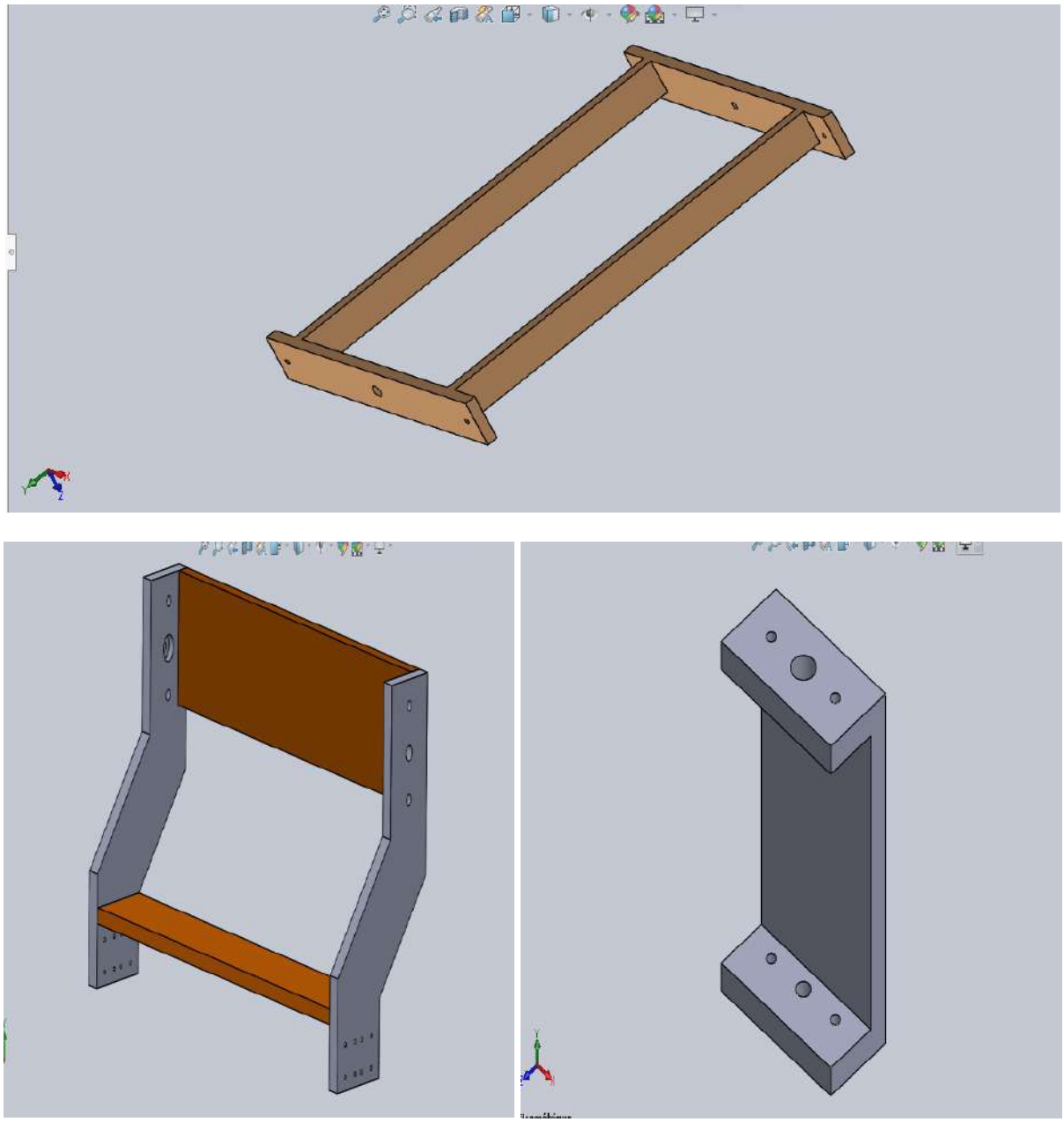


Figure IV.5 : Cadre de machine.

La table :

Pour s'assurer que la pièce à travailler est fixé.

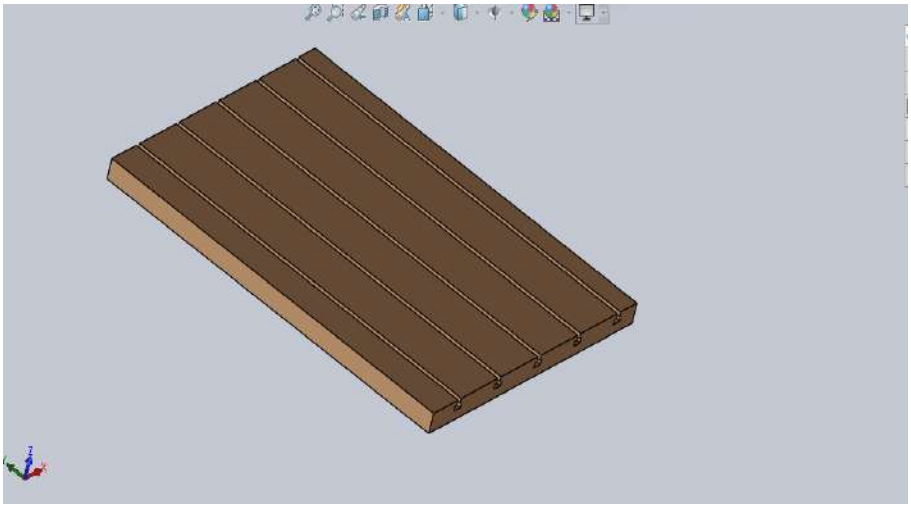


Figure IV.6 : La table du CNC.

Les axes du guidage :

Nous avons dessiné un cercle de 8mm de diamètre, après avoir défini la longueur de l'axe, nous avons obtenu la forme finale en 3D. Pour faciliter l'assemblage de la pièce avec le support, nous avons minimisé les extrémités de l'axe.

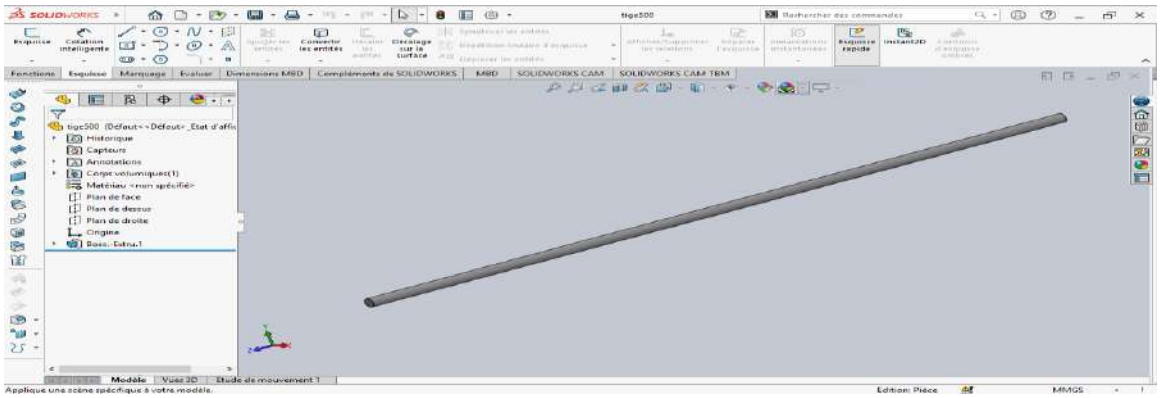


Figure IV.7 : Axe de guidage.

Moteur pas à pas Nema 17 :

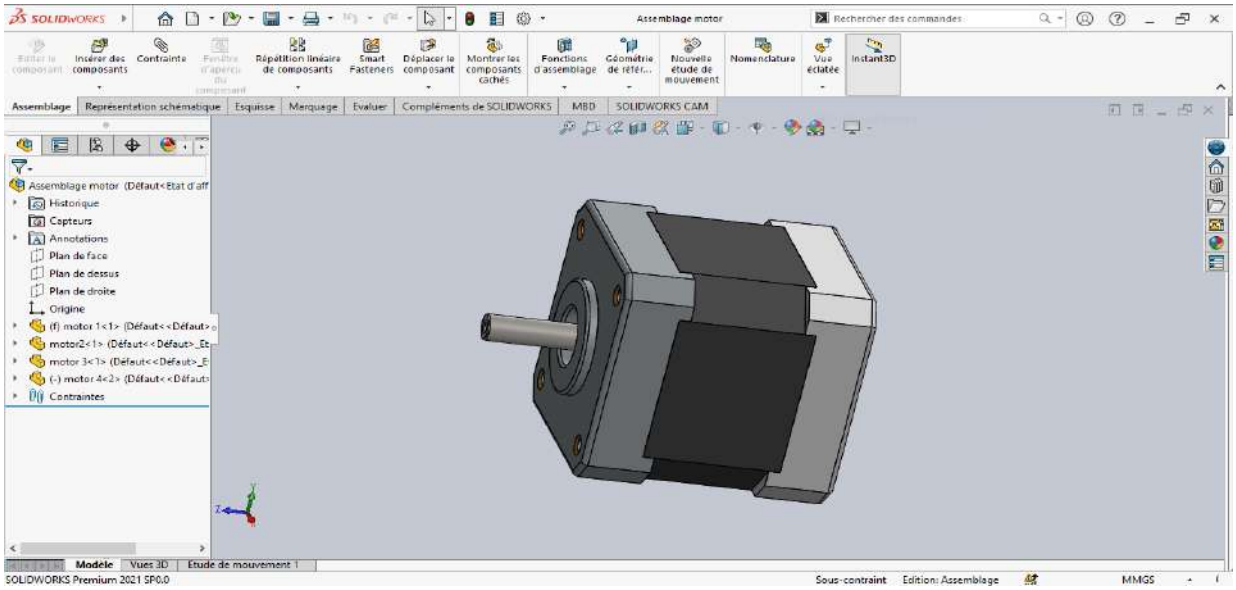


Figure IV.8 : Moteur pas-à-pas Nema 17

Accouplement :

Cette pièce cylindrique assure une liaison entre le moteur et la vis sans fin-écrou, ceci permetla transmission de rotation.

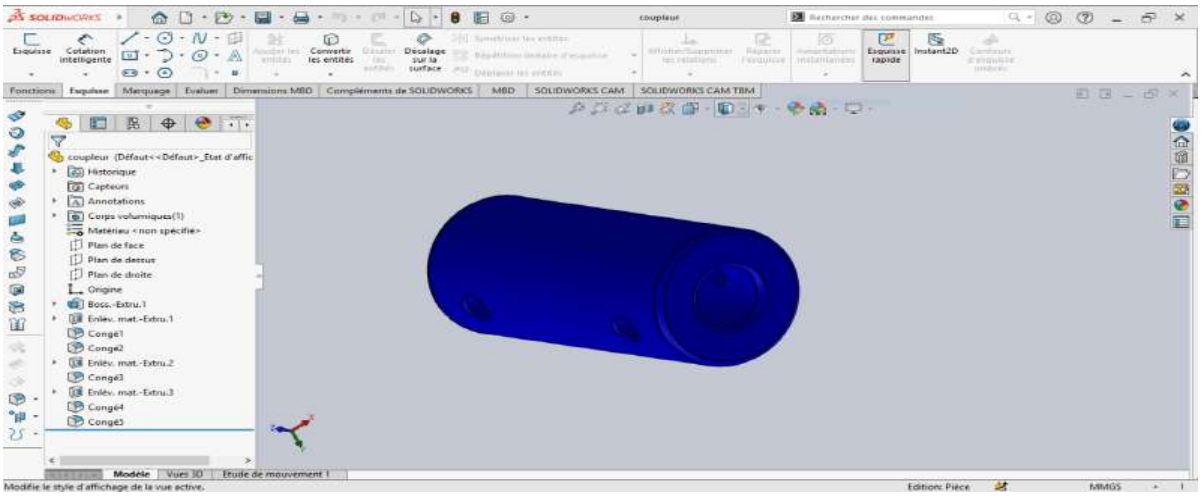


Figure IV.9 : Accouplement.

Vis sans fin (tige) :

Cette vis est dessinée selon les caractéristiques présentées dans le tableau suivant.

Type	Trapezoidal (mm)
Nombre de filet	4
Diamètre de vis	8
Pas	2
Longueur	700/500/200

Tableau 10 : Caractéristiques de la vis utilisée.

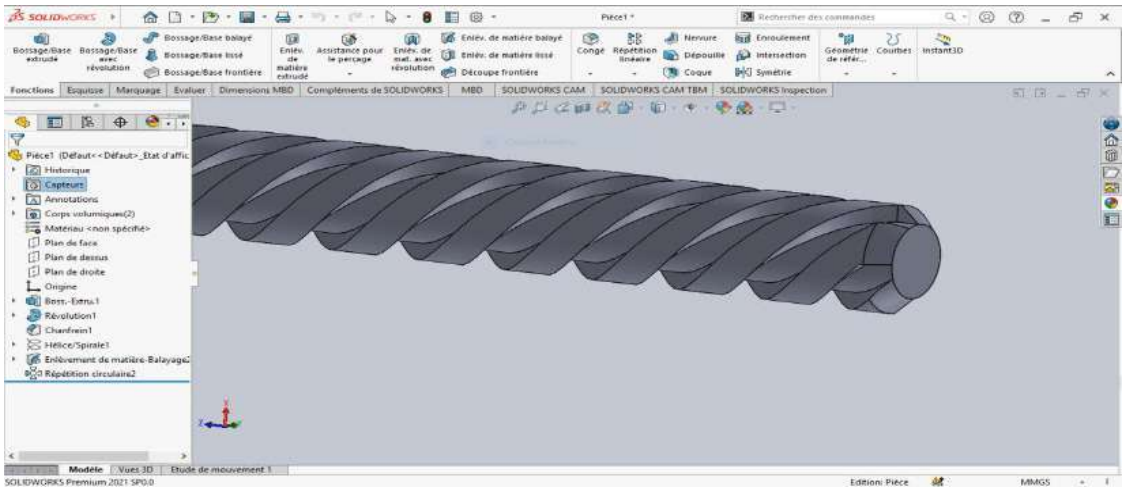


Figure IV.10 : Vis sans fin.

Conception de l'écrou a placé sur la vis sans fin.

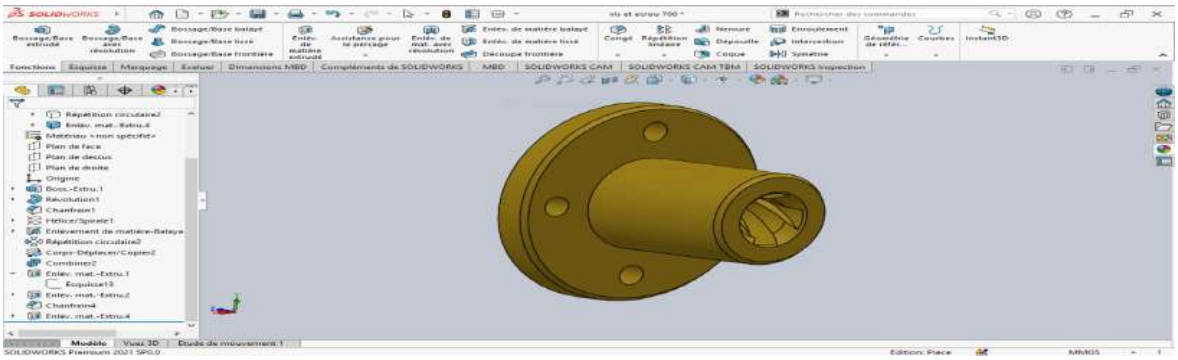


Figure IV.11: Ecrou.

Palier linéaire :

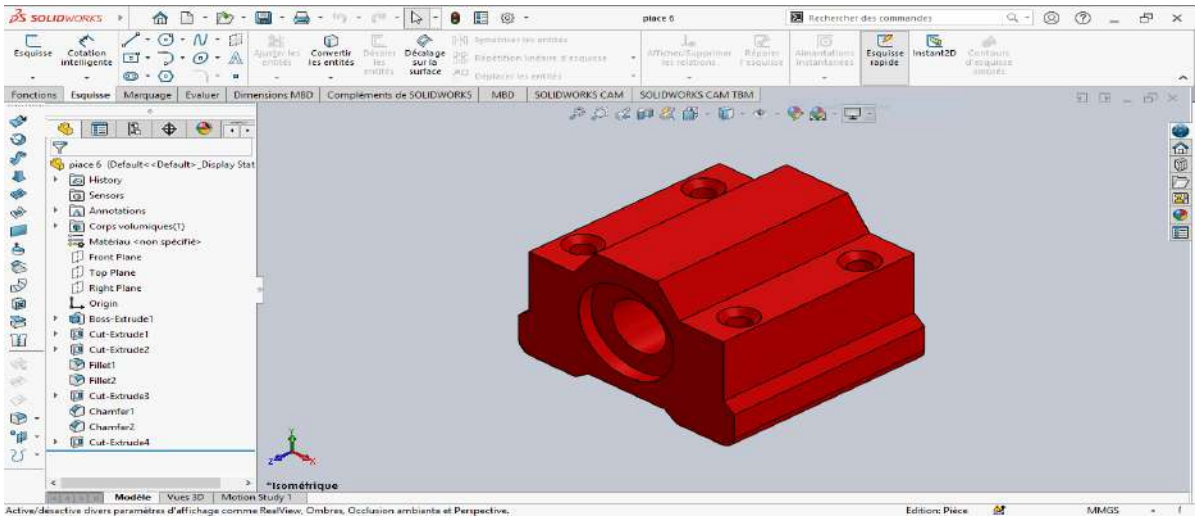


Figure IV.12 : Palier linéaire.

Porte-tête :

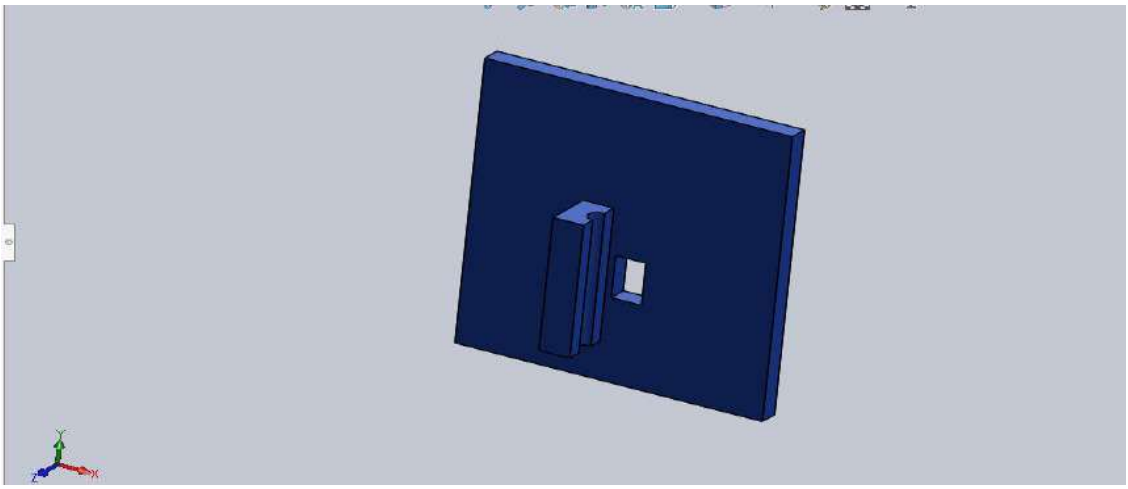


Figure IV.13 : Porte-tête.

Chariot de l'outil :

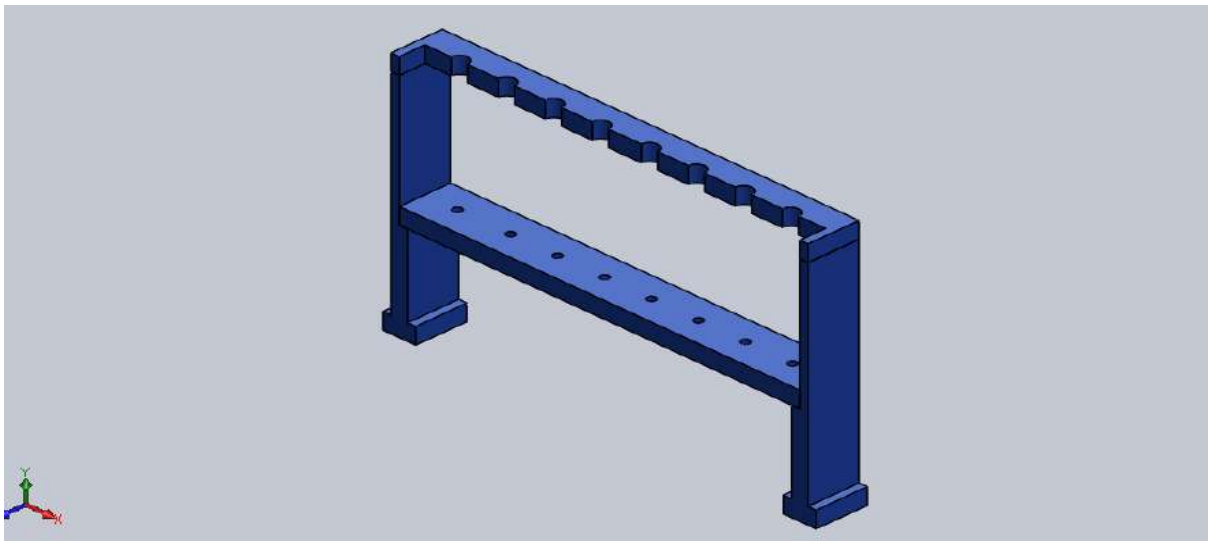


Figure IV.14 : Chariot de l'outil**.**

4.3.2.2. Partie de l'assemblage :

Etape 1 : l'assemblage de vis écrou

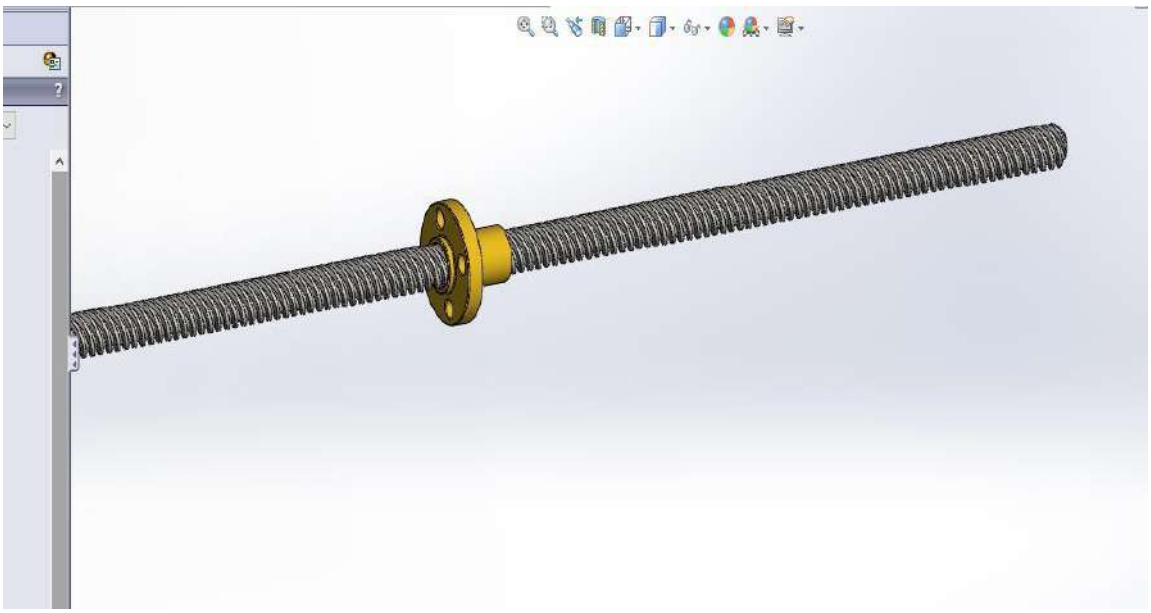


Figure IV.15 : Assemblage de vis écrou.

Etape 2 : l'assemblage sur l'axe Z.

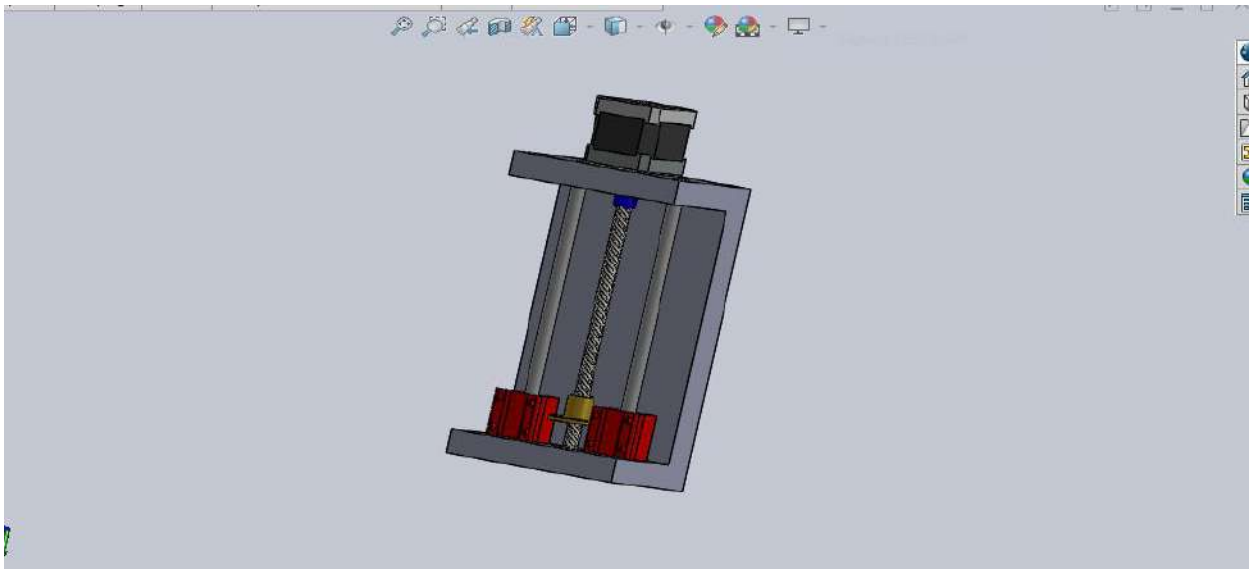


Figure IV.16 : Assemblage de vis-écrou dans l'axe Z.

Etape 3 : l'assemblage sur l'axe X.

Nous procédons comme suit

- Assemblage de vis-écrous (de même que pour l'axe Z : Figure)
- Assemblage Routeur Motion avec Palier linéaire

Le résultat final de l'assemblage sur l'axe X est illustré sur la figure suivante :

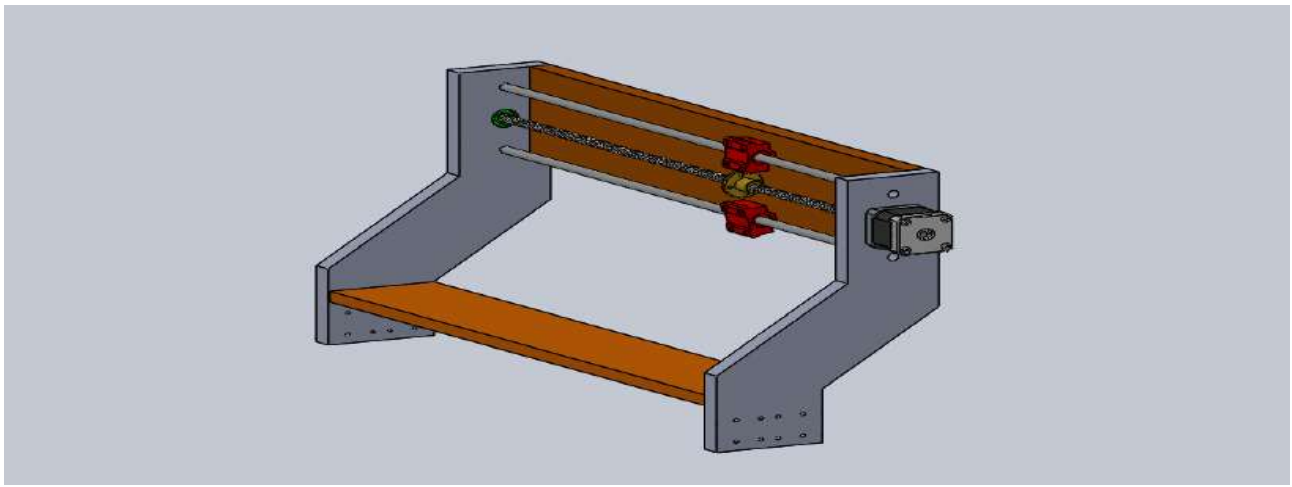


Figure IV.17 : Assemblage final sur l'axe X.

Etape 4 : l'assemblage final du l'axe Y :

Nous procédons comme suit

- Assemblage de vis-écrous (de même que pour l'axe X : Figure)
- Assemblage Routeur Motion avec Palier linéaire

Le résultat final de l'assemblage sur l'axe Y est illustré sur la figure suivante :

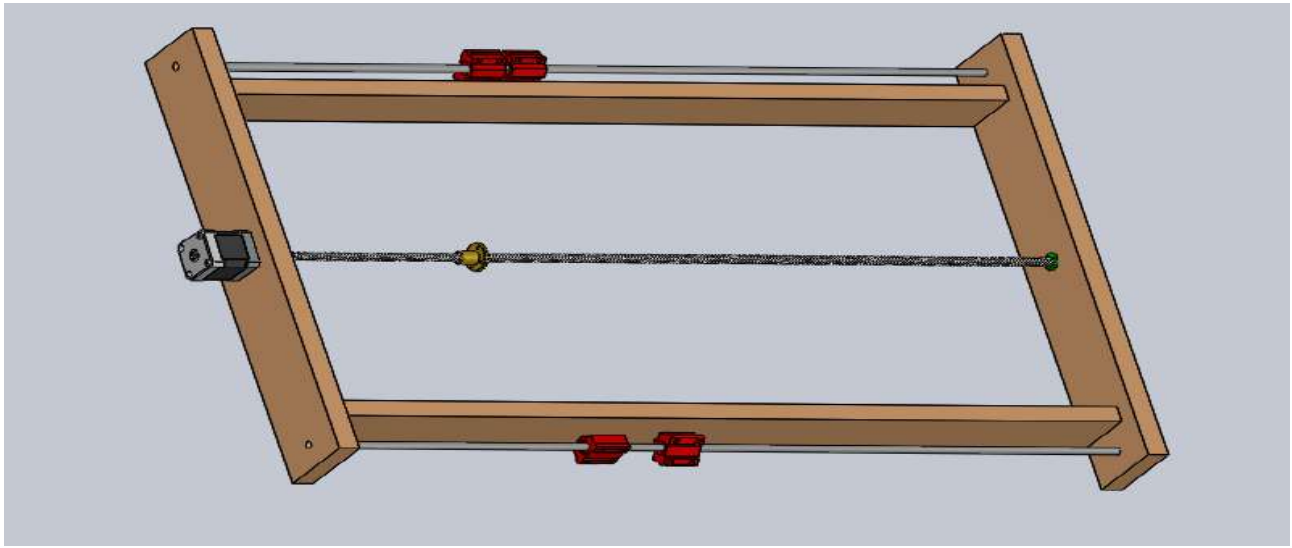


Figure IV.18 : Assemblage finale sur l'axe Y.

Etape 5 : l'assemblage final du CNC

Dans cette étape, nous plaçons la table du CNC sur l'axeY

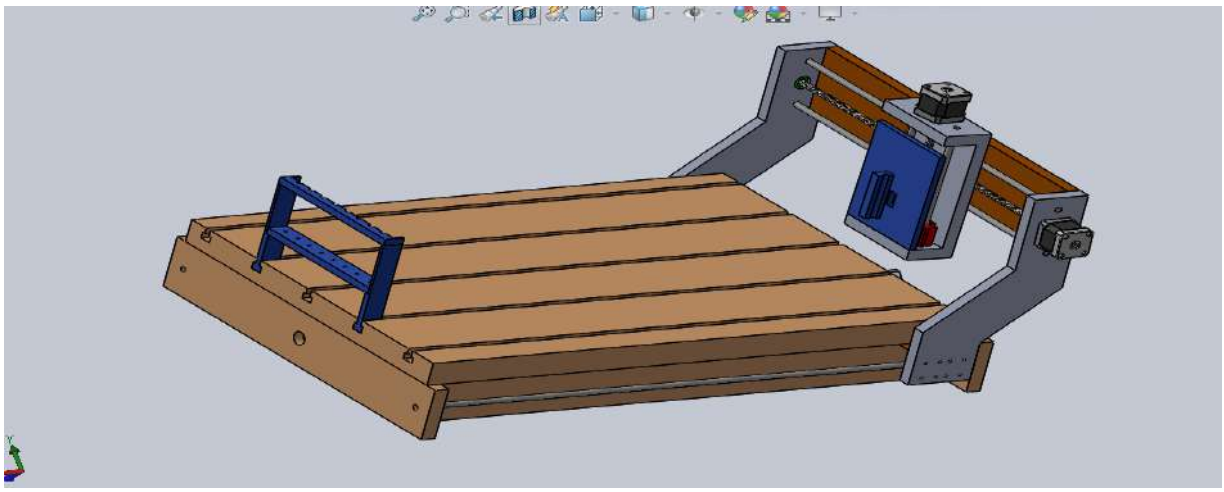


Figure IV.19 : Forme finale de la machine CNC.

4.4 Réalisation de la machine

4.4.1 Résultat de discussion :

Les principaux problèmes que nous avons rencontrés sont dus principalement à la propagation de la pandémie du covid 19. Suite au confinement nous avons rencontré différents difficultés :

- Difficulté d'obtenir les différentes pièces suite à la fermeture de commerces.
- Difficultés pour usiner nos pièces suite à la fermeture des tours et ateliers.
- Difficultés de déplacement suite à l'arrêt total des moyens du transport public.

Malgré toutes ces difficultés, nous étions déterminés à réaliser notre machine. C'est pourquoi nous avons apporté des modifications à certaines pièces pour faire face à la rareté des pièces et au budget serré.



Figure IV.20 : la forme finale de la machine CNC.

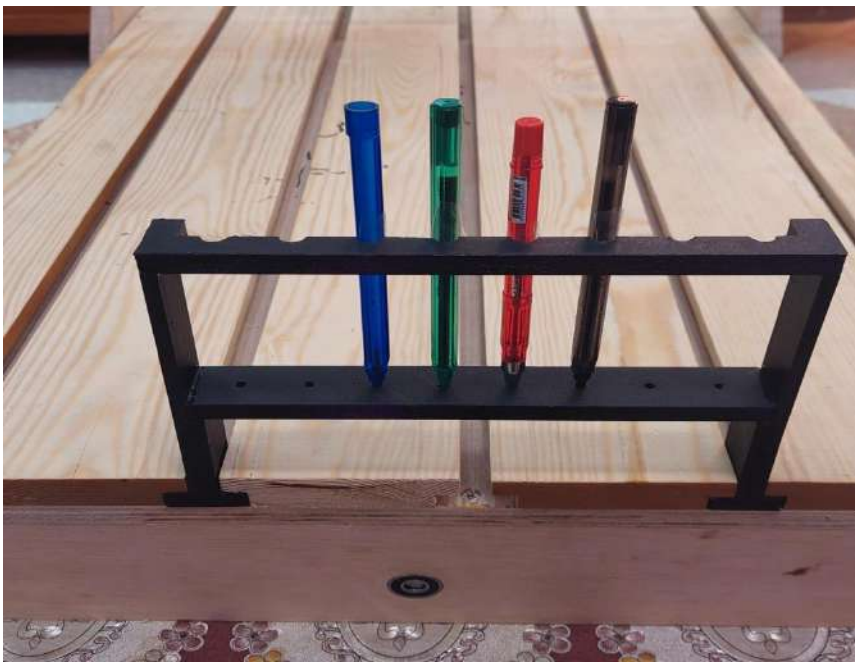


Figure IV.21 : magasin de l`outil

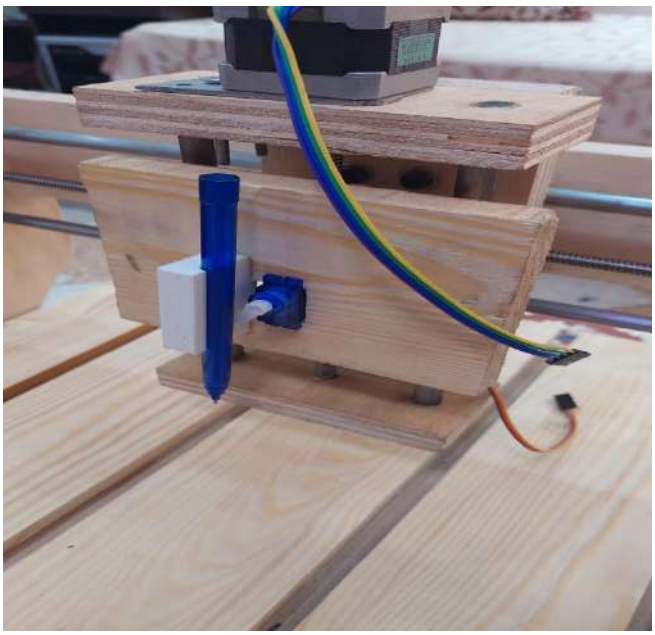


Figure IV.22 : la tête de la machine

4.4.2. Circuit de montage

La dernière phase de notre réalisation et l'assemblage de la partie mécanique et la partie électrique. Le schéma de branchement ci-dessous représente le circuit électrique qui assure le fonctionnement de la machine, via :

a) Le branchement des moteurs pas à pas avec les drivers DRV8825.

b) Le branchement de CNC shield V3 sur la carte arduino UNO.

c) Une source d'alimentation.

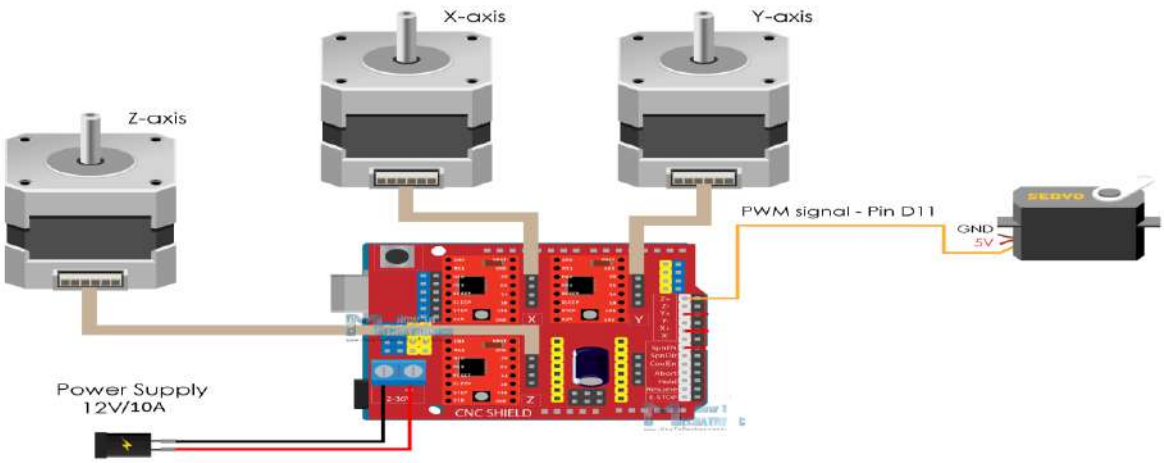


Figure IV.23 : Circuit de montage de la machine CNC.

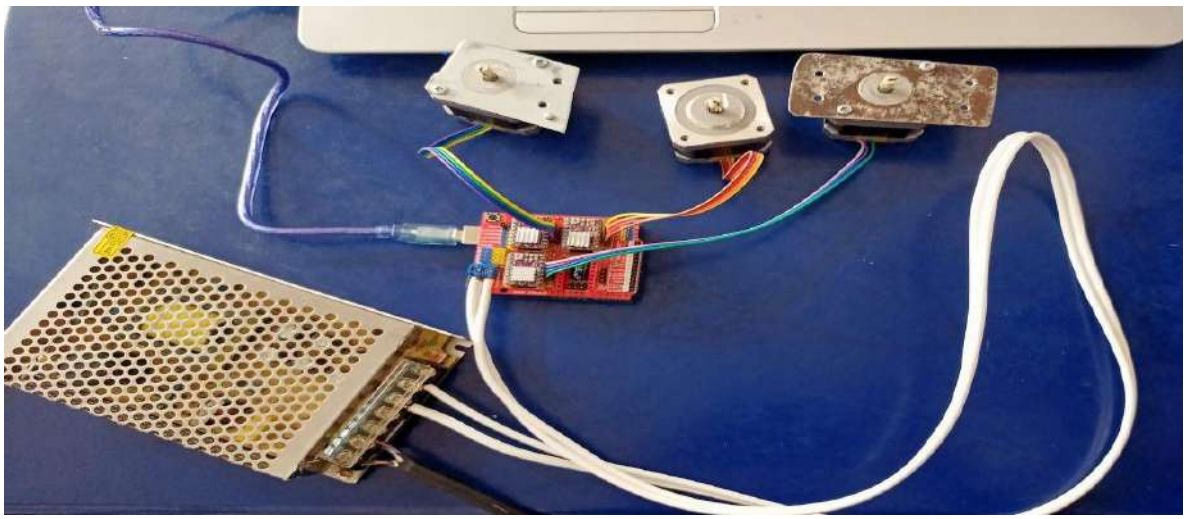


Figure IV.24: Réalisation de Circuit de montage de la machine CNC.

4.4.3. Test du fonctionnement de la machine

Cette recherche vise à étudier la machine numérique et à la programmer pour changer l'outil automatique, mais avec les contraintes de temps et le manque de ressources sur ce sujet, nous n'avons pas pu appliquer l'intégralité de la recherche et c'est pourquoi nous nous sommes limités à travailler avec un seul outil.

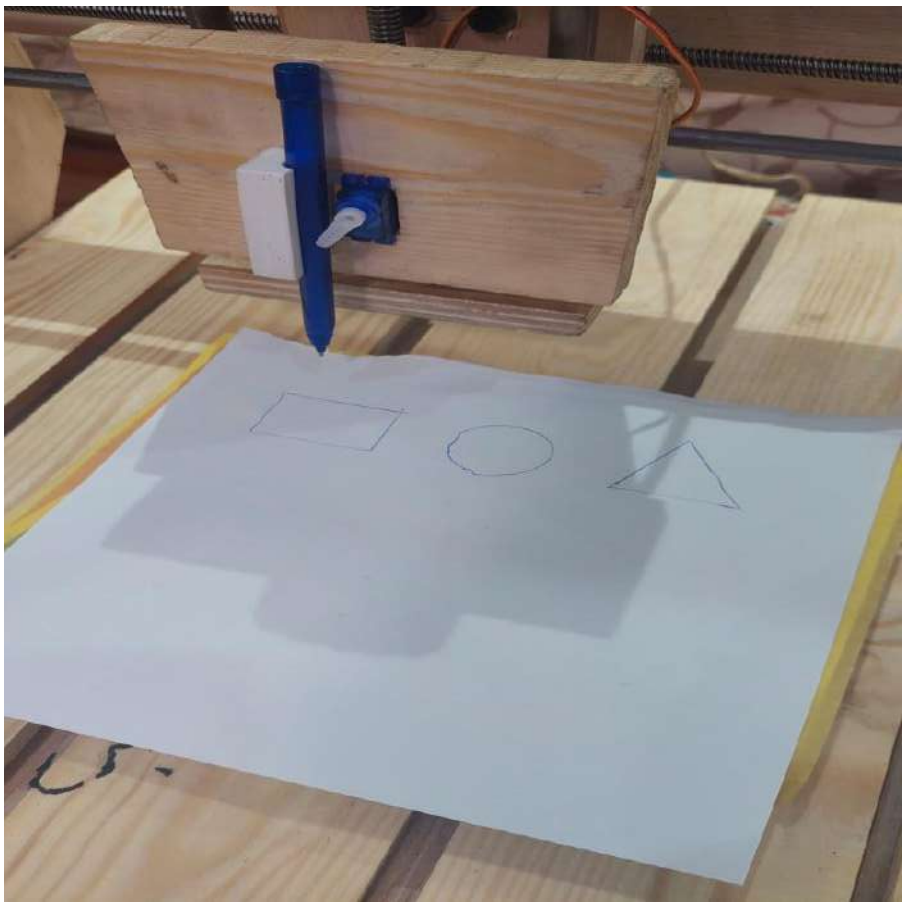


Figure IV.25 : Test du fonctionnement de la machine

4.4.4. Erreur mécanique :

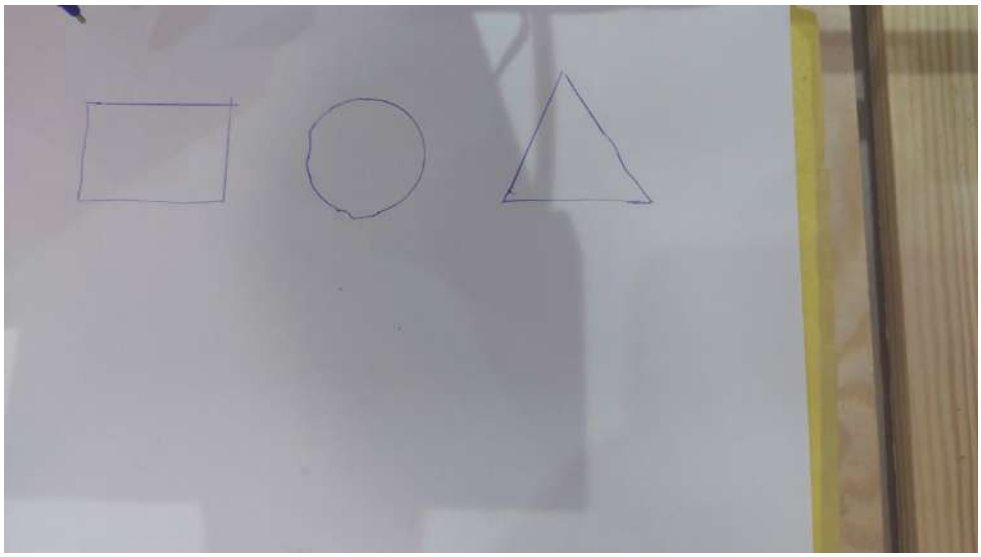


Figure IV.26: Erreur mécanique

Nous remarque que le dessin n'est pas aussi précis qu'il devrait l'être, et cela est dû à plusieurs raisons, notamment :

- l'effet de la direction du dessin à cause des mouvements du charriot qui conduit à un changement de position et cela affecte la stabilité du dessin.
- La table n'est pas parallèle à l'axe OX, à cause de l'inclinaison tout long de l'axe X à cause des erreurs de serrage ou d'équilibre entre les deux côtés.
- Les vibrations jouent également un rôle, elles affectent négativement les mouvements du charriot sur l'axe x et sur la table.
- La feuille sur laquelle la machine écrit peut possiblement glisser ou bouger causant des erreurs.

4.4. Recommandations

Ce paragraphe est destiné aux futurs étudiants ou à ceux qui s'intéressent généralement à ce sujet. Nous avons alloué un ensemble de notes et de commandements pour éviter les erreurs que nous avons rencontrées, qui sont :

- vis et écrou a un diamètre plus grand si l'axe y est long
- Il est préférable que le châssis de la machine soit en aluminium ou un meilleur matériau en bois
- Adapter la puissance du moteur à l'effort nécessaire pour se déplacer sur l`axes Y
- Ajout d'un ventilateur à côté d'armoire électrique pour éviter la surchauffe des composants électriques

4.4. Conclusion

Malgré les difficultés rencontrées, notre objectif de concevoir et réaliser une machine CNC est attient. Nous avons réussi à faire fonctionner la machine on la commandant par nos propres programmes. Des améliorations sont nécessaires pour corriger les erreurs mécaniques que nous considérons comme une perspective d'une recherche ultérieure.

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Notre projet de fin d'études a porté sur Conception d'un système de changement d'outil pour un router CNC à 3 axes en utilisant le langage de programmation numérique G-Code et le microcontrôleur ATMega 328. Cette machine est capable de réaliser un calcul des coordonnées des points définissant une Trajectoire.

En concluant, les acquis de ce projet ainsi que les étapes suivies lors de sa réalisation sont énumérées comme suit :

- La maitrise de la programmation de G-code,
- La maitrise de la programmation des microcontrôleurs de type ATMega 328 en utilisant le langage C.
- La maitrise de fonctionnement et de la commande des moteurs pas à pas,
- Résoudre quelques contraintes techniques liées à la limitation de mémoire du microcontrôleur.
- La maitrise de la conception mécanique ainsi que l'animation de la machine CNC à base du Solid Works.
- Fabrication et réalisation de la machine en regroupant déférents aspects (hardware et software).
- Il est à noter que nous avons rencontré plusieurs problèmes durant la conception de la commande et la réalisation pratique à savoir : la capacité de stockage de ram du ATMega 328.

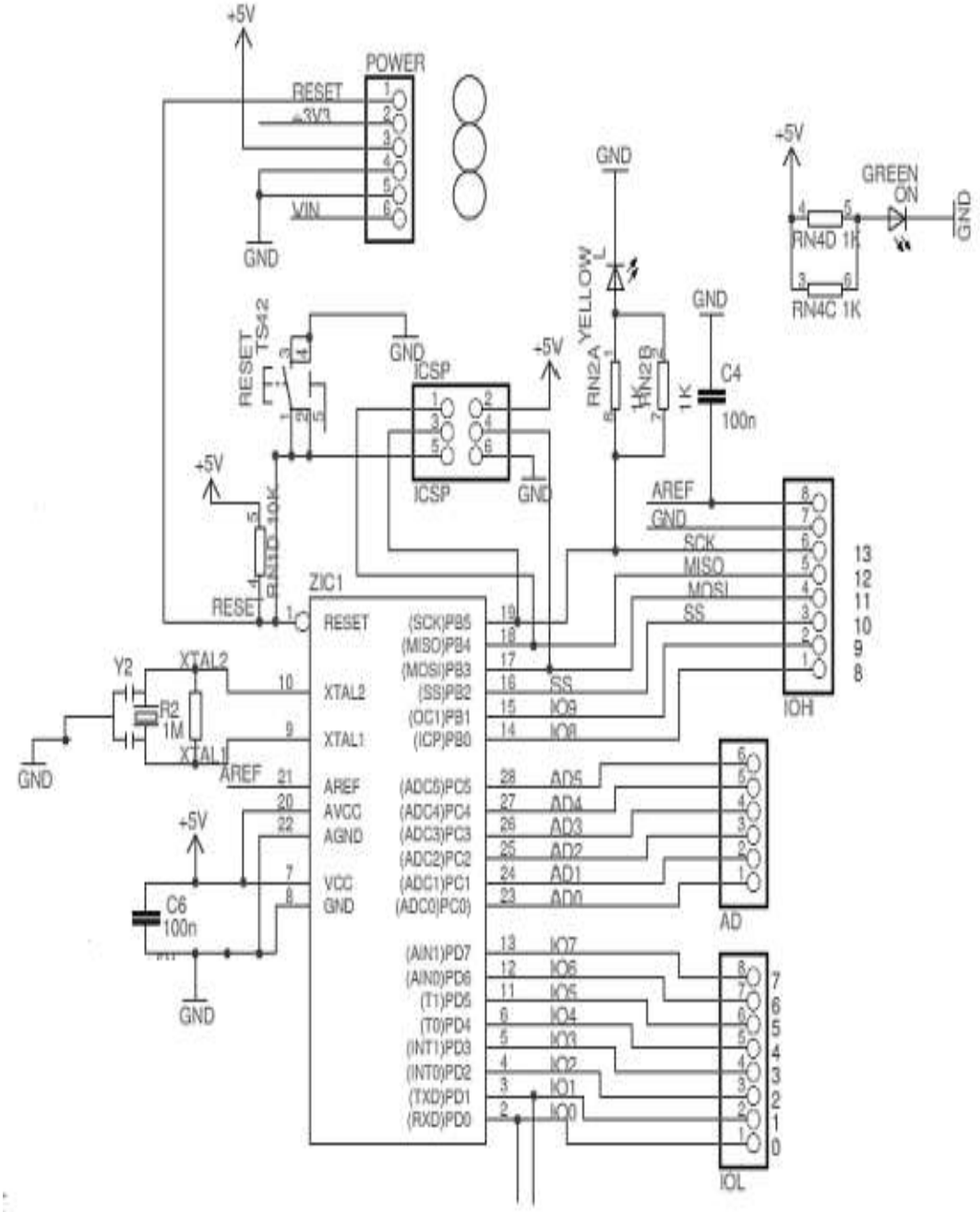
Mais grâce à ce que nous avons appris durant nos études académiques et pratiques et l'assistance de nos encadreurs, nous avons pu confronter ou surmonter ces difficultés. Ce projet a servi de source pour la découverte et l'apprentissage des plusieurs domaines d'études tels que l'informatique, la programmation langage C, la réalisation des circuits électriques, la commande des moteurs avec les microcontrôleurs, la programmation numérique avec G-code et la conception et assemblage de différentes pièces mécanique à base de SOLID WORKS.

Puisque notre projet est démarré à zéro, nous avons une source d'erreurs comme :

- La précision des mesures du modèle,
- L'arrondissement des nombres flottants,
- Les erreurs mécaniques.
- Le travail réalisé pourrait être complété en considérant les différents aspects suivants :
- Installation de notre machine CNC dans une unité de production,
- Application des algorithmes d’intelligence artificielle sur notre machine CNC

Annexe

Annexe 1 : Schéma simplifié de la carte Arduino UNO

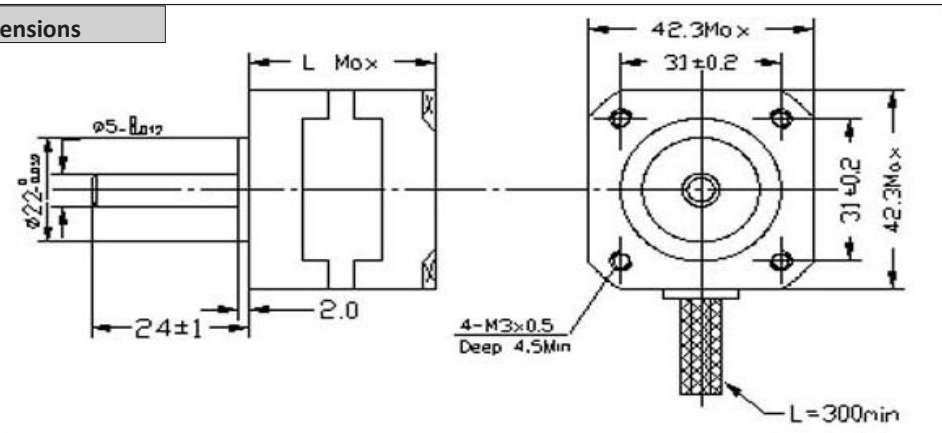


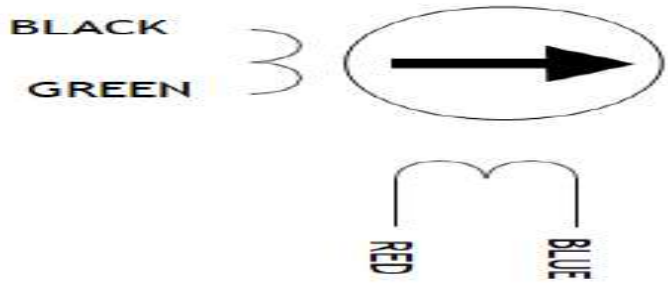
Annexe2: Moteur pas à pas Nema 17

General Spécifications	
Item	Spécification
Step Accuracy	5%
Température Rise	80°C Max
Ambient Température	-20°C~+50°C
Insulation Résistance	100MΩMin.,500VDC
Diélectrique Strength	500VACforoneminute

ElectricalSpecifications											
ModelNo.	Step Angle	Motor Length	RatedVoltage	Rated Current	PhaseRésistance	PhaseInductance	Holding Torque	# ofLeads	RotorInertia	DétenteTorque	Weight
	°	mm	V	A	Ω	mH	g-cm		g-cm^2	g-cm	kg
Stp-42d221-03	1.8	48	3.1	2.5	1.25	1.8	4800	4	68	280	0.34

MechanicalDimensions





Annexe2:Tableau G-code

Common G-Codes (avec certaines extensions non standardisées)	
G00	Déplacement rapide
G01	Interpolationlinéaire
G02	Interpolation circulaire (sens horaire, anti-trigo)
G03	Interpolation circulaire (sens anti horaire, trigo)
G04	Arrêt programme et ouverture carter (pour nettoyer) (temporisation - suivi del'argumentFou Xen secondes)
G10/G11	Écriture de données / Effacement de données (suivi de l'argument L suivant le type de données à écrire)
G17	Sélection du planX-Y
G18	Sélection du plan X-Z
G19	Sélection du plan Y-Z
G20	Programmation en pouces
G21	Programmation en mm
G28	Retouràlapositiond'origine
G31	Saute la fonction (mode Interrupt utilisé pour les capteurs et les mesures pièces et de longueur d'outil)
G33	Filetage à pas constant

G34	Filetage à pas variable
G40	Pas de compensation de rayon d'outil
G41	Compensation de rayon d'outil à gauche
G42	Compensation de rayon d'outil à droite
G54 à G59	Activation du décalage d'origine pièce (Offset)
G68 / G68.1	Activation du mode "Plan incliné" (Tilted plane working) pour les centres d'usinage 5 axes
G70	Cycle de finition
G71 / G71.7	Cycle d'ébauche suivant l'axe Z(appel de profil balisé entre les arguments PetQ)
G75	Cycle de gorge
G76 / G76.7	Cycle de filetage
G83	Cycle de perçage débourrage
G69	Annulation du mode Tilted plane working (Plan incliné)
G84	Cycle de taraudage rigide
G90	Déplacements en coordonnéesabsolues

G91	Déplacements en cordonnées relatives
G94/G95	Déplacement en pouces par minute/pouce par tour
G96 ; G97	Vitesse de coupe constante (vitesse de surface constante) ; Vitesse de rotation constante ou annulation de G96

Annexe 4: Forme finale de notre machine CNC

A)



B)



C)



Figure : différents vues de la machine CNC.

K

Reference et bibliographiques

Reference et bibliographiques

[1] KHELIFI Fateh. «Conception et réalisation d'une machine à commande numérique (fraiseuse)». Université SAAD DAHLAB de BLIDA, Algérie, 2017-2018.

[2] BOUYAHIA YESSINE. «Réalisation d'un prototype d'une machine CNC 3 axes». Université AboubakrBelkaïd Tlemcen, Algérie, 2018-2019.

[3]FAR Ismail.«Etude et réalisation d'une machine CNC à trois axes(Gravure sur bois)». Université EchahidHamma Lakhdar d'El-Oued,Algérie,2019-2020.

[4]Mohammed Raïd ABDEMEZIANE.«Conception et réalisation d'une machine CNC». Universitaire AbdelhafidBoussouf – Mila, Algérie, 2019-2020.

[5]Djamel SMAINI.«Conception et réalisation d'une machineCNC». UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU,Algérie, 2015-2016.

[6]Benabderazag Khalil.«CONTRIBUTION A LA REALISATION D'UNE MOCN». Université de M'sila,Algérie,2018-2019.

[7]http://moteur-industrie.com/moteurs-pas-a-pas/technique.html.

[8]https://fr.wikipedia.org/wiki/C_(langage).

[9]https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_tool_changer.

[10] http://svenhb.bplaced.net/?CNC___Plotter___Stiftwechsler.

[11] https://wiki.mchobby.be/index.php?title=DRV8825

[12] https://ardwinner.jimdofree.com/arduino/v-les-servomoteurs/

[13]https://fr.wikipedia.org/wiki/SolidWorks.

[14] http://www.shapeoko.com/wiki/index.php/Grbl