République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Dr. YAHIA Fares de Médéa



Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrique et de l'Informatique

Projet de Fin d'Etude Pour l'Obtention de Diplôme

De Master en Automatique Des Systèmes

Commande De Machine CNC a 3 Axes

Etude Et Réalisation

Proposé et dirigé par:

Dr. BOUHEDDA Mounir

Pr ABDELLAHLHADJ Abdellah

Présenté par :

BENTCHIKOU Mohamed Amine

STOUTAH Hamid

Année Universitaire 2013-2014

Dédicaces

Merci ALLAH de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire "Ya Kayoum"
Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, …

A ma mère

A mon père, qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide.
Que ALLAH les gardes et les protège.

A mes amis, en particulier mon binôme de ce projet en particulier
M.STOUTAH Hamid

A tous ceux qui me sont chères.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que j'aime.

Je dédie ce modeste travail.

BENTCHIKOU Mohamed



Dédicaces

Je dédie cet humble travail

A mes cher parents et je souhaite que Dieu prolonge son âge

Je souhaite aussi un prompt rétablissement pour mon père.

À tous les membres de ma famille, mes sœurs et mes frères qu'il m'a soutenu et repoussé

Pour leurs patiences et pour leurs

Encouragements.

Je dédie également à tous mes amis

Qui je connu.

STOUTAH Hamid



Remerciments

*Nous tenons tout d'abord à remercier **ALLAH** le tout Puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la Patience d'accomplir ce Modeste travail.*

*En second lieu, nous tenons à remercier tout le corps Enseignant qui a contribué à notre formation, plus Particulièrement notre encadreur **M. BOUHEDDA Mounir** pour son aide et les Précieux conseils qu'il a bien voulu nous donner.*

*Mes remerciement vont également a' monsieur le professeur **Abdellah elhadj Abdellah** pour agir avec nous et soutenir le Développement matériel, moral et intellectuel de cette recherche*

Nos vifs remerciements vont au CLS de Médéa, plus particulièrement à M. LABOUKH Diff-Allah Et M. SAIDI Madani, et M RABHI Redha pour leur soutien moral et pour réaliser une partie de notre projet.

Résumé

ملخص

الهدف من هذا العمل هو إنشاء ماكينة التحكم الرقمي عن طريق الكمبيوتر ذات ثلاث معالم.

لقد قمنا بحقيق النموذج الأولي للجهاز في المقام الأول , ثم قمنا بإنجاز بطاقة التحكم لكل محرك خطوي وهذا في كل محور مع استعمال برنامج مــاك 3

وقد أظهرت الاختبارات التي أجريت على ماكينة التحكم الرقمي المهام التي يمكن أن تقوم بها.

الكلمات الرئيسية: المحركات الخطوية- البوابات المتوازية- برنامج ماك3- آلة التحكم الرقمي-بطاقات التحكم.

Résumé

Le but de ce travail est la réalisation d'une Machine-Outil à Commande Numérique (MOCN) à trois axes. Un prototype de la machine est réalisé en premier lieu. Ensuite un circuit de commande complet est réalisé autour du logiciel MACH3 en utilisant un moteur pas à pas pour chaque axe. Les tests réalisés sur la MOCN ont montré les performances de la machine réalisée.

Mots clés : moteurs pas-à-pas , ports parallèles , Mach3, M.O.C.N carte de commande;.

Abstract:

The purpose of this work is the realization of a CNC machine of three axes. A prototype of the machine is made in the first place. Then a full command circuit is made around the software MACH3 using a stepper motor for each axis. The tests performed have shown the performances of the completed machine.

Key words. : Stepper motors, parallel ports. Mach3, M.O.C.N, Control board.

TABLE DE MATIERE

INTRODUCTION GENERALE **1**

Notion sur les machines-outils à commande numérique : **3**

I.1. Introduction **3**

I.2. Historique **3**

I.3. Définitions **5**

I.4. Domaine d'utilisation **5**

I.5. Quelques machines-outils **6**

I.5.1. Les tours 6

I.5.2. Les fraiseuses 7

I.5.3. Centre d'usinage (CU) 7

I.6. Machine-outil à commande numérique (MOCN) **8**

I.6.1. Structure physique d'une MOCN 8

I.6.2. Structure matérielle d'une MOCN 9

I.6.3. Classification des machines-outils à commande numérique 12

I.7. Exempes des Machines MOCN **13**

I.8. Conclusion **14**

Partie électrique de la machine CNC **16**

II.1. Introduction **16**

II.2. Les Moteurs Pas à Pas **16**

II.2.1. Les types de moteurs pas à pas 16

II.3. La Carte de Commande M542-05 ..... **22**

II.3.1. Caractéristiques 23

II.3.2. Applications 23

II.3.3. Spécifications et Environnement opérationnel 24

II.3.4. Brochage et description 24

II.3.5. Sélection d'alimentation 24

II.3.6. Les Paramètres du courant 25

II.3.7. Sélection de la résolution micro pas et Courant de sortie de pilote 25

II.4. Port parallèle **26**

II.4.1. Définition 26

II.4.2. Description du port 26

II.4.3. Les différentes broches du port 27

II.4.4. Élaboration d'un câble nul-modem 28
II.4.5. Protocole de transmission utilisé 29
II.5. L'interrupteur de fin de Course 29
II.6. Conclusion 30
Programmation de la machine CNC 32
III.1. Introduction 32
III.2. Langage de programmation des MOCN avec G-CODE 32
III.2.1. Format d'un mot 33
III.3. Langage G-Code 34
III.3.1. Définition de G-Code 34
III.3.2. Coordonnées de points (X, Y, Z, I, J, K, A, B, C, U, V, W) 35
III.3.3. Vitesses, avances, outils, (S, F, T, ...) 35
III.3.4. Les principales fonctions de G-code 36
III.4. Programmation de la machine MOCN avec MACH3 44
III.4.1. Vue d'ensemble du logiciel de Contrôle Mach3 44
III.4.2. Configuration de Mach3 et les contrôleurs d'axes 47
III.4.3. Les Contrôles dans Mach3 et Exécution d'un Programme D'usinage 53
III.5. Conclusion 56
Partie Mécanique Et Réalisation de la machine CNC 58
IV.1. La parte mécanique 58
IV.1.1. Introduction 58
IV.1.2. Mouvements de translation des axe (X, Y, Z) 58
IV.1.3. Direction des axes 59
IV.1.4. Calculs de transmissions 60
IV.2. La partie de la réalisation 62
IV.2.1. Modélisation d'une machine CNC 62
IV.2.2. Principe de fonctionnement d'une machine CNC avec logiciel MATLAB 62
IV.2.3.Matériel spécifique 64
IV.2.4.Motorisation de la Machine CNC 65
IV.2.5. Schéma global de raccordement des éléments d'une machine CNC avec trois axes 67
IV.2.6. schéma de câblage d'une machine CNC 68
IV.2.8. les caractéristiques de La machine 69
Conclusion générale : 75

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Première machine a-outil à commande Numérique **[1].** 5
Figure I.2. Tour traditionnel et tour à commande numérique 6
Figure I.3. Fraiseuse à broche horizontale et fraiseuse à commande numérique. 7
La **Figure I.4.** Représente Centre d'usinage 5 axes à tête rotative 1 axe et plateau tournant. 7
Figure I.4. Centre d'usinage 5 axes à tête rotative 1 axe et plateau tournant. 7
Figure I.5. Modèle de la structure d'une machine-outil. 8
Figure I.6. Système de construction modulaire pour une fraiseuse à grande vitesse 9
Figure I.7. Structure de machines, bâti de tour 9
Figure I.8. Electro-broche à palier magnétique 10
Figure I.9. Electro-broche à roulements 10
La **Figure I.10. Représenter** l'attachement d'outil HSK (Hohl Shaft Kegel) 11
Figure I.10. Attachement d'outil HSK (Hohl Shaft Kegel) 11
Figure I.11. Structure matérielle de la partie opérative d'une MOCN 12
Figure I.12. CNC a 3 axes 13
Figure II.1: Fonctionnement schématique d'un moteur pas à pas. 17
Figure II.2. Représentation schématique d'un moteur unipolaire. 18
Figure II.3. Séquence de rotation simple 18
Figure II.4. Représentation schématique d'un moteur bipolaire 19
Figure II.5. Mode monophasé 20
Figure II.6. Mode biphasé 21
Figure II.7. Mode demi-pas 21
Figure II.8. La carte LEADSHINE M542-05 22
Figure II.9. La résolution micro pas et Courant de sortie. 25
La Figure II.10. Représentée le Connecteur DB25 . 26
Figure II.10. Connecteur DB25 27
Figure II.11. Schéma de câblage du câble nul-modem 29
Figure II .12. Interrupteur de Fin de Course. 29
Figure III.1. Programme CN 33
La **Figure III.2.** Représenté le format d'un mot 33
Figure III.2. Format d'un mot 33
La **Figure III.3**. Représente un exemple avec G2 40
Figure III.3. Exemple avec G2 40
Figure III.4. Représente un Exemple avec G2-G3 41
Figure III.4. Exemple avec G2-G3 41
Figure III.5. Vue d'ensemble du logiciel de Contrôle Mach3 45
Figure III.6. Onglet configuration des Ports et des E/S 48
Figure III .7. Définition des connections pour les axes et pour la broche 49
Figure III.8. Signaux d'entrées 50
Figure III.9. Boite de dialogue choix d'unités 51
Figure III.10. Ecran de réglage des moteurs 52
Figure III.11. Pas par Unité Automatique 53
Figure III.12. Chargement le programme G-code 54

Figure III.13. Saisir un programme manuellement 55
Figure IV.1. Représentation des mouvements de tous les axes (X, Y, Z, U, V, W, A, B, C) 59
Figure IV.2. Représenté les sens de translation et rotation d'un 3 axes (X, Y, Z) 60
Figure IV.2. Les sens de translation et rotation d'un 3 axes (X, Y, Z) 60
Figure IV.3. Représentation d'entrainement a courroie crantée. 61
Figure IV.4. Représentation de l'entrainement a vise 61
Figure IV.5. Représentation de la commande d'un moteur pas a pas en boucle fermée. 62
Figure IV.6. Représenté la modélisation de fonctionnement d'une machine CNC avec MATLAB 63
Figure IV.6. Modélisation de fonctionnement d'une machine CNC avec MATLAB 63
Figure IV.7. La Représentation de résultat de simulation avec un cercle 63
Figure IV.8. Représentation de Dimension d'un Moteur pas a pas 64
La **Figure IV.9.** Représenté la connexion d'un driver de moteur pas a pas 64
Figure IV.9. Connexion d'un driver de moteur pas a pas 65
Figure IV.10. Schéma classique de fonctionnement 65
La **Figure IV.11.** Schéma de raccordement les éléments d'une machin CNC avec trois axes 67
Figure IV.11. Schéma de raccordement les éléments d'une machin CNC avec trois axes 67
Figure IV.12. Schéma de câblage de machine CNC 68
Figure IV.13. Représentation du côté droit de la machine en axe (X) 69
Figure IV.14. Représentation du côté gauche de la machine en axe (X) 70
Figure IV.15. Représentation de la face avant de la machine en axe (Y) 70
Figure IV.16. Représentation du côté arrière de la machine en axe (Y) 71
Figure IV.17. Représentation du face avant de la machine en axe (Z) 71
Figure IV.18. Représentation du côté droit de la machine en axe (Z) 72
Figure IV.19. Représentation du côté gauche de la machine en axe (Z) 72
Figure IV.20. Représentation les éliment de commande 73
Exemple de line : la **Figure IV.21.** Représenté le Dessin d'une ligne avec la machine CNC 73
Figure IV.21. Dessin d'une ligne avec la machine CNC 73
Figure IV.22. Dessin d'un carré avec la machine CNC 74
Figure IV.23. Dessin d'un cercle avec la machine CNC 74

LISTE DES TABLEAUX

Le Tableau I.1. Représentée la classification des machines-outils. 12
Tableau I.1. Classification des machines-outils. 13
Tableau II.1. Différentes commandes des phases **.** 18
Tableau II.2. Ordre des différentes commandes suivant le mode monophasé, biphasé ou demi-pas ... 19
Tableau II.3. Paramètre de carte **.** 24
Tableau II.4. Brochage des connecteurs parallèles 28
Tableau III.1. Coordonnées de points (X, Y, Z, I, J, K, A, B, C, U, V, W) 35
Tableau III.2. Vitesses, avances, outils, (S, F, T, ...) 35
Tableau III.3. Tableau d'index du G-code 36
Tableau III.4. Tableau d'index du M-code 42

LISTE DES ACRONYMES

M.O.C.N : Machine-Outil à Commande Numérique

C.N.C: computer numerical control.

C.N : Commande Numérique

M.O : Machine-Outil

I.S.O: International Standare de Organisation

DCN : Directeur de Commande Numérique

F.A.O : Fabrication Assisté par Ordinateur

Om : Origine machine

OP : Origine Programme

Oo : Origine outil

Om : Origine mesure

Op : Origine pièce

Opp : Origine porte-pièce

Opo: Origine porte-outil

DB9 : Connecteur Débit - cote DB 9-

TD : Transmission de données (TD = Transmit Data)

DTR : Équipement prêt (DTR = Data Terminal Ready)

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

INTRODUCTION GENERALE

Le monde de la machine-outil est en évolution permanente afin de répondre au marché, très réactif, des pièces usinées. De nos jours, il existe une grande demande de machines rapides à commande numérique, notamment pour l'industrie automobile.

Les premières machines-outils à architecture parallèle ont fait leur apparition sur le marché. Elles sont inspirées des mécanismes et des robots parallèles largement étudiés par les roboticiens au cours de ces 25 dernières années. Les outils proposés sont l'établissement des modèles géométrique, cinématique.

L'industrie exige des machines de plus en plus performantes en termes de vitesses, d'accélérations, de précision, de productivité, de fiabilité, ...

La conception assistée par ordinateur C.A.O. est devenue un outil privilégié en engineering. Elle permet un gain considérable en temps et en coût lors de l'élaboration d'un projet de conception d'une machine.

L'objectif principal de ce travail est l'étude et la réalisation d'une machine CNC à trois axes. Nous nous concentrerons principalement sur la partie électrique de la machine CNC et la programmation de la machine.

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

Le premier chapitre est consacré pour la présentation des machines outil à commande numérique MOCN, un aperçu général sur la technologie des MOCN, citant la classification, l'architecture et la programmation des MOCN pour différentes commandes.

Dans le second chapitre nous traitons la partie électrique par un aperçu général sur Les moteurs pas à pas, la carte de commande, les portes de communication et le capteur de fin de course.

Le troisième chapitre est consacré à la programmation de la machine-outil commande numérique (MOCN) avec le langage de programmation G-Code, l'écriture d'un programme de contrôle de la machine se fait à l'aide de mots.

Ces derniers sont composés d'une lettre et d'une valeur numérique, entière ou décimale, Dans un bloc, il peut y avoir plusieurs mots.

La programmation des machines-outils commande numérique (MOCN) est fait avec le logiciel MACH 3.

Le quatrième chapitre est consacré à la réalisation mécanique de la machines-outils commande numérique (MOCN), et en fin on va tester la machine CNC pour dessiner un cercle et un carré en utilisant MACH 3.

Chapitre I:

NOTION SUR LES MACHINES OUTILS A COMMANDE NUMERIQUE

Notion sur les machines-outils à commande numérique :

I.1. Introduction

En mécanique industrielle, la fabrication d'une pièce à partir d'une quantité de matière livrée sous forme de produits semi-finis (tôles, barres, etc.) requiert la mise en œuvre d'un ensemble de techniques. L'une d'entre elles est l'usinage, c'est-à-dire un enlèvement de matière par un outil coupant. L'usinage d'une pièce se décompose en une succession d'opérations, définie par la gamme d'usinage établie par le bureau des méthodes à partir du dessin de définition issu du bureau d'études. L'usinage traditionnel s'effectue, en respectant les règles de la coupe des métaux, sur des machines-outils classiques ou automatisées.

I.2. Historique

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

Leur métier à tisser de 1805 fut le premier équipement à être doté de cette technique et, de ce point de vue, il peut être considéré comme l'ancêtre de la commande numérique. il faut cependant rattacher l'exploitation industrielle de la CN au développement de l'électronique.

En 1945, John Parsons fabrique pour le compte de l'US air force des pales d'hélicoptère par reproduction. Pour façonner ses gabarits, il utilise une méthode consistant à percer plusieurs centaines de trous faiblement espacés de manière à approcher le profil théorique.

L'emplacement et la profondeur de chaque trou sont calculés avec précision par un ordinateur IBM à cartes perforées. La finition de la surface est obtenue par des opérations manuelles de polissage. Mais, lorsque l'US air force confie à ce même Parsons la réalisation de pièces de forme encore plus complexes pour ses futurs avions supersoniques, celui-ci réalise que sa méthode est trop approximative et que seul un usinage continu en trois dimensions sera en mesure de donner satisfaction.

Au printemps 1949, il confie alors à la technologie (MIT) le soin de développer des asservissements capables de piloter une machine qui recevra des instructions intermittentes à partir d'un lecteur de cartes. Cette machine, une fraiseuse prototype Cincinnati à broche verticale, conçue pour exécuter des déplacements simultanés suivant trois axes, est officiellement présentée en septembre 1952 dans le servomécanisme laboratoire du MIT.

L'information mathématique étant la base du concept, on lui donne le nom de control numérique. Il aurait pu tout aussi bien s'appeler commande symbolique ! Il faut encore attendre quelques années de vastes fonds de l'US air force et l'appui des chercheurs du MIT pour rendre la première MOCN réellement opérationnelle. Les différentes étapes de développement de la commande numérique sont les suivantes.

- 1954 : Bendix acquiert le brevet de Parsons et fabrique la première CN industrielle.
- 1955 : à font du lac (Wisconsin), le constructeur américain Giddins & Lewis commercialise la première MOCN voir la figure 1.2.
- 1959 : apparition de la CN en Europe (foire de Hanovre).
- 1964 : en France, la télémécanique électrique lance la CN NUM 100 conçue à base de relais téléstatic.
- 1968 : la CN adopte les circuits intégrés ; elle devient plus compacte et plus puissante.
- 1972 : les mini calculateurs remplacent les logiques câblées ; la CN devient CNC.
- 1976 : développement des CN à microprocesseurs.
- 1984 : apparition de fonctions graphiques évoluées et du mode de programmation conversationnel.
- 1986 : les CN s'intègrent dans les réseaux de communication début de l'ère de la fabrication flexible (CIM).
- 1990 : développement des CN à microprocesseurs 32 bits **[1] .**

La **Figure I.1.** Représente la Première machine a-outil à commande Numérique .

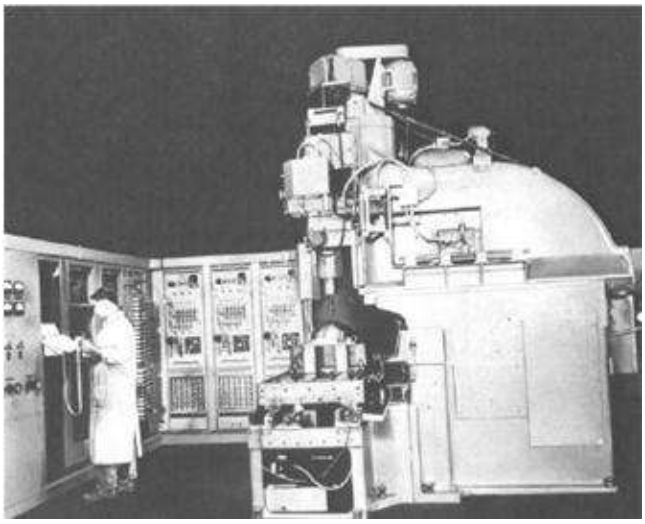


Figure I.1. Première machine a-outil à commande Numérique **[1].**

I.3. Définitions

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

Lorsque la machine-outil est équipée d'une commande numérique capable de réaliser les calculs des coordonnées des points définissant une trajectoire (interpolation), on dit qu'elle est à calculateur. Elle est appelée CNC (Commande Numérique par Calculateur). La plupart des MOCN sont des CNC **[1].**

I.4. Domaine d'utilisation

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

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

On utilise les machines CNC dans divers domaines

- Le modélisme avion ou bateau
- Les maquettes de bâtiments et les maisons de poupées
- Les meubles
- Les bateaux ou les avions en taille grandeur nature
- Les jouets
- La réalisation de cartes électroniques

I.5. Quelques machines-outils

I.5.1. *Les tours*

Les tours permettent de réaliser des surfaces hélicoïdales (filetage) et des surfaces de révolution : cylindres, cônes et plans (génératrice perpendiculaire à l'axe de révolution).

L'utilisation principale de ces machines est l'usinage des arbres. La pièce, généralement tenue par le mandrin, a un mouvement de rotation (mouvement de coupe) transmis par la broche. L'outil peut se déplacer en translation suivant deux directions. Ces deux directions, perpendiculaires entre elles, appartiennent à un plan auquel l'axe de la broche est parallèle.

Le premier mouvement de translation est parallèle à l'axe de la broche. Le deuxième mouvement de translation est perpendiculaire à l'axe de la broche **[2].**

La **Figure I.2.** Représente Tour traditionnel et tour à commande numérique



Figure I.2. Tour traditionnel et tour à commande numérique

I.5.2. *Les fraiseuses*

Les fraiseuses ont supplanté certaines machines (raboteuses, étaux limeurs) pour l'usinage de surfaces planes. Ces machines peuvent également servir pour des opérations de contournage. L'outil, une fraise, est fixé dans la broche et est animé d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe). Il peut se déplacer en translation par rapport à la pièce suivant trois directions **[2].**

La **Figure I.3.** Représente la Fraiseuse à broche horizontale

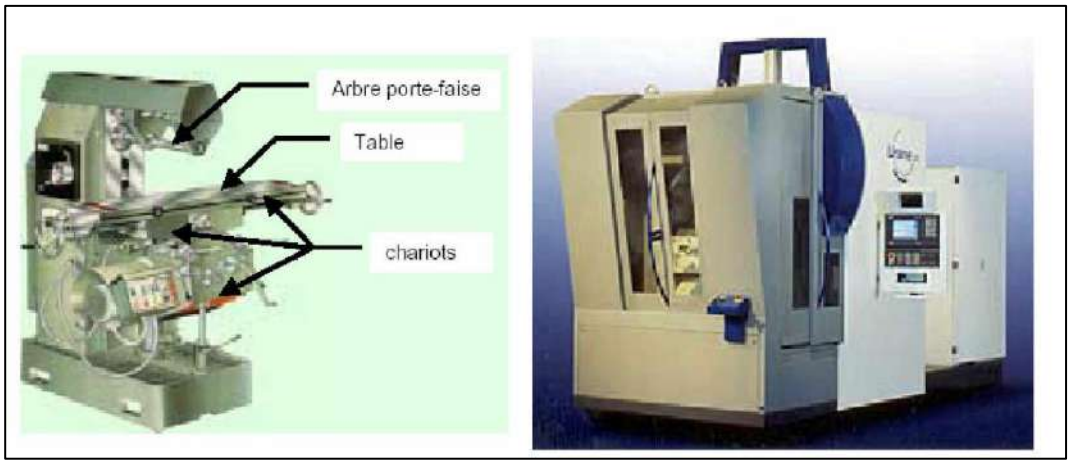


Figure I.3. Fraiseuse à broche horizontale et fraiseuse à commande numérique.

I.5.3. *Centre d'usinage (CU)*

L'appellation « fraiseuse à commande numérique » n'est pas très utilisée, on parlera plutôt de centre d'usinage 3 axes **[2].**

La **Figure I.4.** Représente Centre d'usinage 5 axes à tête rotative 1 axe et plateau tournant.



Figure I.4. Centre d'usinage 5 axes à tête rotative 1 axe et plateau tournant.

I.6. Machine-outil à commande numérique (MOCN)

Une machine-outil à commande numérique assure la réalisation automatisée des pièces, les mouvements nécessaires sont décrits dans un programme.

La **figure I.5** représente la structure d'une machine, en cours d'usinage, par un système bouclé, chaque élément contribue à la réalisation du contrat fonctionnel. Le réglage de la machine consiste à mettre en position relative ces différents éléments **[3].**

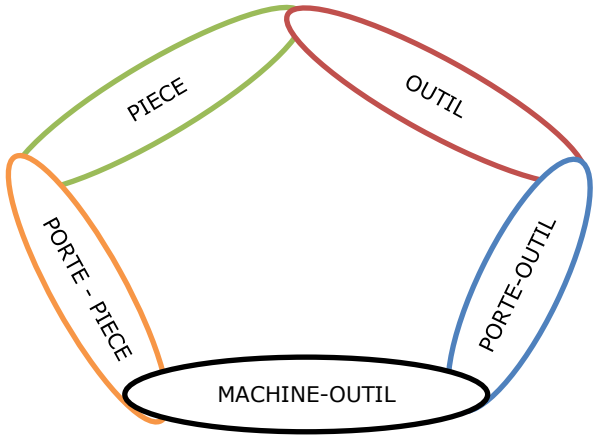


Figure I.5. Modèle de la structure d'une machine-outil.

I.6.1. *Structure physique d'une MOCN*

Si on ne s'intéresse qu'aux méthodes d'enlèvement de matière par mouvement de rotation (cas classiques du tournage, perçage, fraisage), la machine doit avoir la structure suivante:

- des systèmes, autant que nécessaire, assurant la mise en position de l'outil par rapport à la pièce et les mouvements d'avance. Ce sont les axes de la machine ;
- un système qui réalise le mouvement de coupe par mise en rotation des outils ou de la pièce : la broche ;
- un système de contrôle - commande, qui permet le suivi automatique du programme de commande de la machine ;

A cela, il faut ajouter des éléments d'interfaces spécifiques à la production permettant la mise en position les outils et des pièces sur la machine qui reprisent dans la **figure I.6.** **[3].**

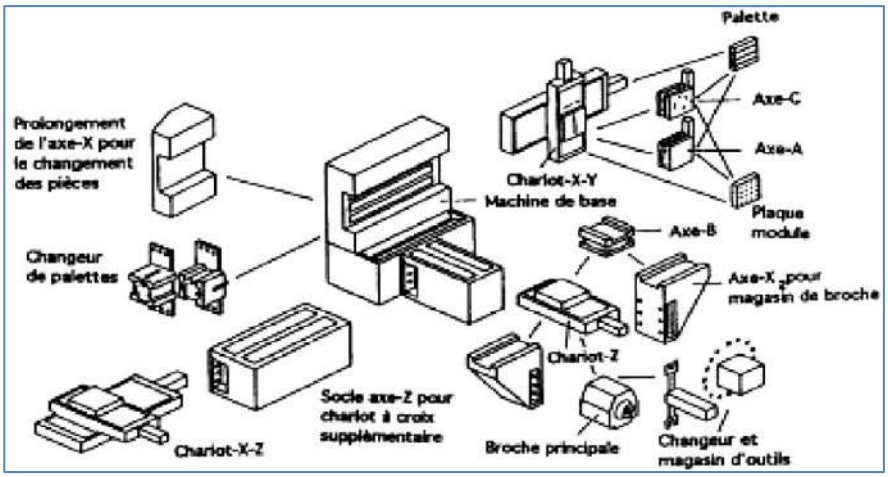


Figure I.6. Système de construction modulaire pour une fraiseuse à grande vitesse

I.6.2. *Structure matérielle d'une MOCN*

La structure matérielle de la partie opérative d'une MOCN peut être modélisée de la manière suivante:

❖ Le bâti

Le bâti assure le guidage des axes de mouvements, et l'agencement des autres organes de la machine. Pour assurer une géométrie correcte, et encaisser les actions mécaniques dues aux accélérations élevées des mobiles, le bâti doit être rigide et limiter les déformations dues à la chaleur. Les nouvelles machines intègrent de nouveaux matériaux de construction (béton), et la répartition des masses est optimisée **[3].**

La **Figure I.7.** Reprisent Structure de machines, bâti de tour.

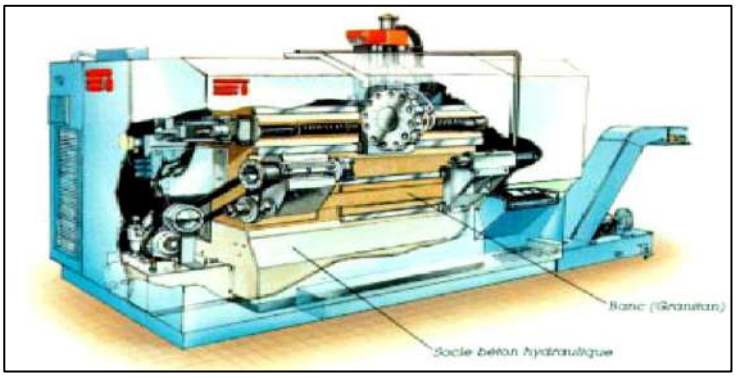


Figure I.7. Structure de machines, bâti de tour

❖ La broche

Les **Figure I.8.** et **Figure I.9.** Représente la broche qui crée le mouvement de coupe nécessaire à l'usinage. Elle assure donc la mise en rotation de la pièce ou de l'outil. Ces deux cas posent des contraintes fonctionnelles différentes. Cinématiquement, la broche est en liaison pivot avec le bâti ou un chariot.

Dynamiquement, elle doit être très rigide, et stable thermiquement de façon à garantir la position relative de l'outil par rapport à la pièce durant l'usinage.

L'augmentation des vitesses de coupe impose une augmentation des fréquences de rotation et des couples admissibles au niveau des broches. En fraisage, on cherche actuellement à ce que le couple fréquence de rotation - puissance atteigne (50 000 $tr.mn^{-1}$ - 50 kW). Industriellement, on utilise des broches atteignant (25 000 $tr.mn^{-1}$ - 30 kW). A ces fréquences de rotation, les effets dynamiques sont importants et l'équilibrage des parties tournantes est vital **[3].**



Figure I.8. Electro-broche à palier magnétique



Figure I.9. Electro-broche à roulements

❖ Le porte-outil

Les porte-outils ont pour fonction d'assurer la liaison entre l'outil et la machine, suivant le mode d'usinage, ils supportent des sollicitations dynamiques différentes, dans le cadre du tournage, le porte-outil doit essentiellement supporter un effort de coupe important, les surfaces d'appui doivent être étendues, dans le cadre du fraisage, les porte-outils assurent la liaison au moyen d'un cône normalisé.

L'augmentation des fréquences de rotation impose des contraintes dynamiques plus importantes.

Pour y remédier on assure un effort de tirage important sur le cône, ce qui a tendance à modifier la position de l'extrémité de l'outil. Enfin de nouveaux attachements sont normalisés en Allemagne, ce sont des attachements du type cône-face, dénommé HSK.

Le cône male est creux, ce qui permet une meilleure déformation par l'effet centrifuge.

De plus l'appui plan est prépondérant et autorise des efforts de serrage plus importants, au-dessus de 30 000 tr.mn-1, il est nécessaire d'équilibrer les parties tournantes, et d'ajuster parfaitement les outils dans les porte-outils. On utilise des systèmes d'emmanchement par chauffage du porte-outil **[3].**

La **Figure I.10. Représenter** l'attachement d'outil HSK (Hohl Shaft Kegel)

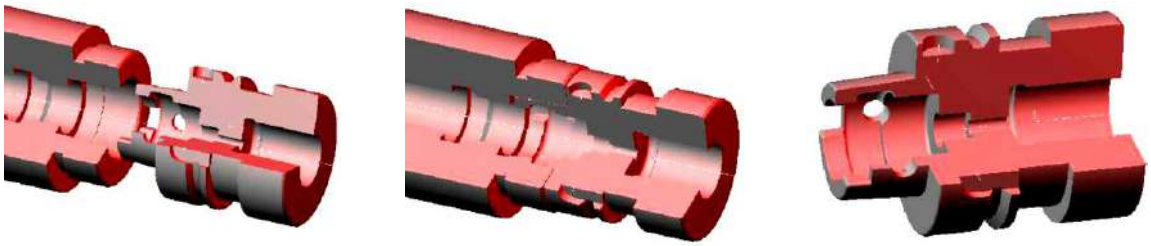


Figure I.10. Attachement d'outil HSK (Hohl Shaft Kegel)

❖ Le porte-pièce

Le porte-pièce a pour fonction d'assurer la liaison entre la pièce et la machine.

La structure matérielle de la partie opérative d'une MOCN représentée dans la **Figure I.11.**

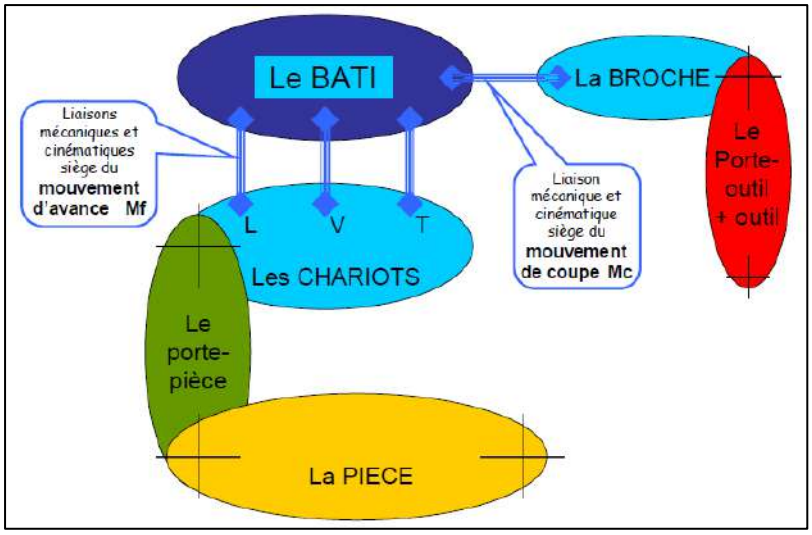


Figure I.11. Structure matérielle de la partie opérative d'une MOCN **[4].**

I.6.3. *Classification des machines-outils à commande numérique*

Le classement des machines est nécessaire car il aide au choix de machines, lors d'étude de gammes de fabrication. Traditionnellement, on a classé les machines en fonction des formes de surfaces à réaliser : cylindriques / parallélépipédiques, tournage / fraisage.

Cette classification est remise en cause, car la commande numérique et l'adaptation des structures de machine cassent le lien entre les deux couples.

On classe maintenant les machines-outils par le nombre de mouvements élémentaires qu'elles peuvent mettre en œuvre lors du déplacement de l'outil par rapport à la pièce.

Seuls les axes sont comptés. La mise en œuvre simultanée de plusieurs outils entraîne l'augmentation du nombre d'axes. Cette classification ne permet pas d'associer directement un type de forme usinable à une classe de machine, car elle ne reflète pas la cinématique de l'outil. Par exemple un tour à cinq axes ne permet pas de faire des pièces différentes par rapport à un tour à trois axes **[3].**

Le Tableau I.1. Représentée la classification des machines-outils.

Tableau I.1. Classification des machines-outils.

Nombre d'axes	Mouvement	désignation du type d'usinage et des opérations possibles
3	X, Y, Z	fraisage : surfaçage, perçage, fraisage de poches, de rainures et de surfaces gauches. L'axe outil reste parallèle à une direction fixe par rapport a la pièce.
4	X, Y, Z, A, C X, Y, Z, B, C X, Y, Z, A, B,	fraisage : surfaçage, perçage, fraisage de poches, de rainures et de surfaces gauches. L'axe outil reste contenu dans un plan fixe par rapport à la pièce.
5	X, Y, Z, A, C X, Y, Z, B, C X, Y, Z, A, B,	fraisage de formes gauches : fraisage avec le flanc de I'outil, fraisage avec de pinçage, perçage en toutes directions.

I.7. Exempes des Machines MOCN

Selon la classification des machine CNC suivant nombre d'axes , Il ya plusieurs type des machines : 2 axes ,3 axes , 4 axes , 5 axes .



Figure I.12. CNC a 3 axes

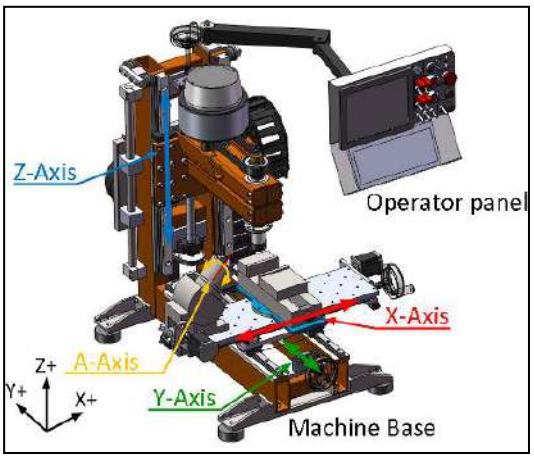


Figure I.13. CNC a 4 axes

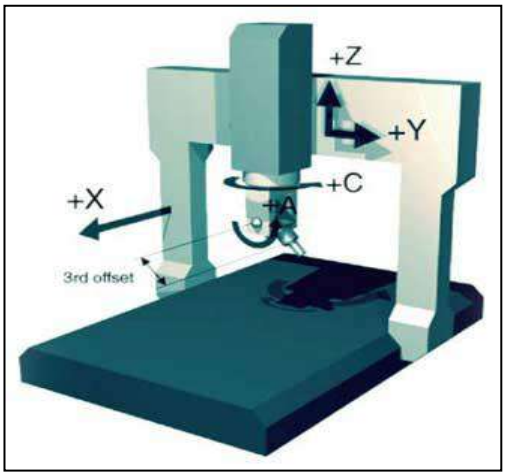


Figure I.14. CNC a 5 axes

I.8. Conclusion

Nous avons présentés dans ce chapitre l'historique, structure matérielle, domaine d'utilisation, et en fin Classification de la machine.

Chapitre II :

Partie Électrique de la machine CNC

Partie électrique de la machine CNC

II.1. Introduction

Dans ce chapitre, on présente les différents composent utiliser pour la réalisation de la machine CNC à savoir :

Le moteur pas à pas, la carte de commande électronique et les porte de communication ainsi que d'autre élément nécessaire.

Remarque :

On ce qui concerne les moteur pas à pas on a basé sur le type de moteur bipolaire (aiment permanent).

II.2. Les Moteurs Pas à Pas

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. Dans cette première partie de l'étude nous présenterons les principales caractéristiques des différents types de moteur pas à pas, et leur principe de fonctionnement.

II.2.1. *Les types de moteurs pas à pas*

Il y a trois principaux types de moteurs:

- Moteur à réluctance variable
- Moteur à aimant permanent
- Moteur hybride

II.2.1.1. Le moteur pas à pas à réluctance variable

Un moteur pas à pas à réluctance variable comporte un rotor à encoches non aimanté se positionnant dans la direction de la plus faible réluctance. Le fonctionnement du moteur est

assuré par un pilotage du type unipolaire et l'avance du rotor est obtenue en excitant tour à tour une paire de pôles du stator [5].

II.2.1.2. Le moteur pas à pas à aimant permanent

Les moteurs à aimants sont ceux que nous utiliserons dans notre projet de fin d'étude. Ils sont constitués d'un stator supportant les bobinages et d'un rotor magnétique (aimant bipolaire). Comme nous l'avons dit plus haut, cette catégorie de moteur se subdivise en deux types : le moteur unipolaire et le moteur bipolaire [6].

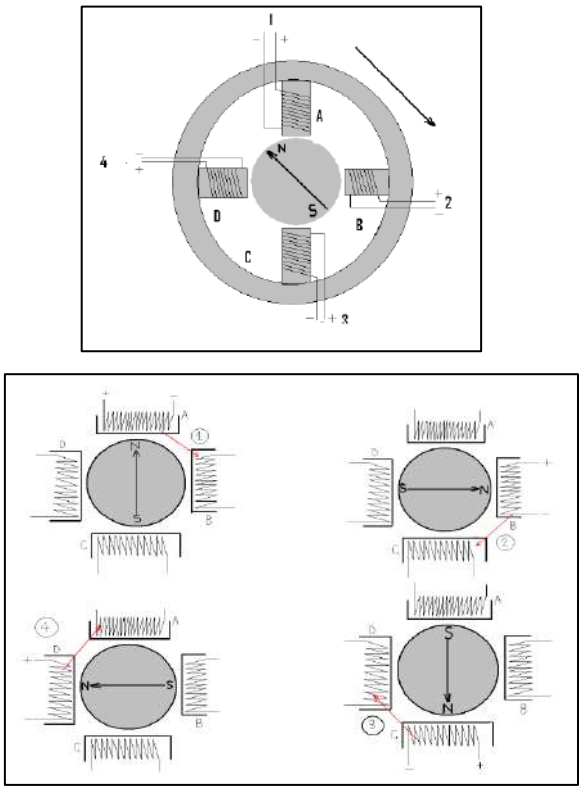


Figure II.1: Fonctionnement schématique d'un moteur pas à pas.

La Figure II.1 représente le schéma simplifié d'un moteur à aimant. Le dessin du haut de la figure représente dans sa position de repos, lorsque les bobinages ne sont traversés par aucun courant. Chacun des pôles du rotor se place devant une paire des plots de stator. Les quatre dessins du bas de la figure illustrent ce qui se passe lorsque les bobinages sont alimentés à tour de rôle : d'abord A puis B, ensuite C et enfin D. Le pôle nord du rotor sera attiré par le pôle sud du stator, pôle créé par la circulation d'un courant dans le bobinage. Cet exemple permet de comprendre la progression pas par pas du moteur. Ici, il effectuera 4 pas par tour [6].

II.2.1.2.1. Les moteurs unipolaires

Une représentation schématisée d'un moteur unipolaire est donnée en **Figure II.2**. Afin d'inverser le sens du courant, les enroulements sont réalisés au moyen de deux fils dont l'une des extrémités est reliée au pôle + ou au pôle – de l'alimentation. La commande de ce type moteur est la plus simple de tous les moteurs pas à pas puisqu'il suffira d'alimenter les bobinages à tour de rôle pour faire tourner l'axe d'un pas. La **figure II.3** résume la séquence la plus simple **[6].**

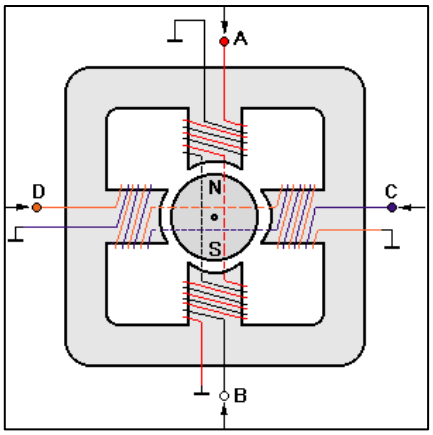


Figure II.2. Représentation schématique d'un moteur unipolaire.

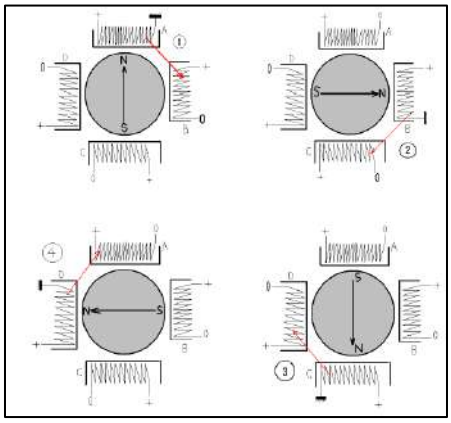


Figure II.3. Séquence de rotation simple

Comme pour chaque type de moteur, le modèle unipolaire peut être commandé en mode monophasé, biphasé ou demi-pas. Le **Tableau II.1** donne l'ordre des différentes commandes.

Tableau II.1. Différentes commandes des phases **[6].**

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi-pas
A	AB	A

B C D A etc.	BC CD DA AB etc.	AB B BC C CD D DA A etc.

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

II.2.1.2.2. Les moteurs bipolaires

La **Figure II.4.** Représentée la constitution interne d'un moteur de type bipolaire. Ce type de moteur nécessite une commande plus complexe que celle du moteur unipolaire, le courant devant changer de sens dans les enroulements à chaque pas effectué **[6].**

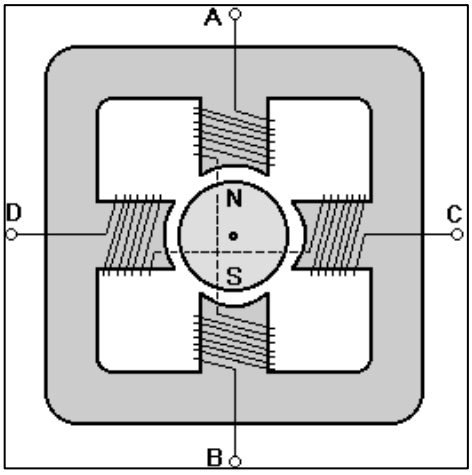


Figure II.4. Représentation schématique d'un moteur bipolaire

Comme pour le modèle précédent, ce moteur peut être alimenté sous trois séquences différentes, le **Tableau II.2,** représentées par ailleurs sur la **Figure II.5.** (Ordre des différentes commandes suivant le mode monophasé, biphasé ou demi-pas).

Tableau II.2. Ordre des différentes commandes suivant le mode monophasé, biphasé ou demi-pas

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi-pas

AB CD BA DC AB etc.	AB-CD BA-CD BA-DC AB-DC AB-CD etc.	AB AB-CD CD BA-CD BA BA-DC DC AB-DC AB etc.

Pour ce type de moteur nous avons trois possibilités de commande. La première consiste à alimenter les enroulements en suivant la séquence A vers B / C vers D / B vers A / D vers C (BA est le même enroulement que AB mais alimenté par un courant de polarité inverse). Par la suite nous simplifierons la notation pour une meilleure correspondance avec les chronogrammes des phases en indiquant uniquement la phase qui est alimentée par un courant "positif". Soit: A C B D. Cette séquence est connue sous le nom de "one phase on full step" (traduisez phase par phase ou une phase à la fois en pas entier). A tout moment il n'y a qu'une seule phase d'alimentée et nous travaillons en mode pas entier **[6].**

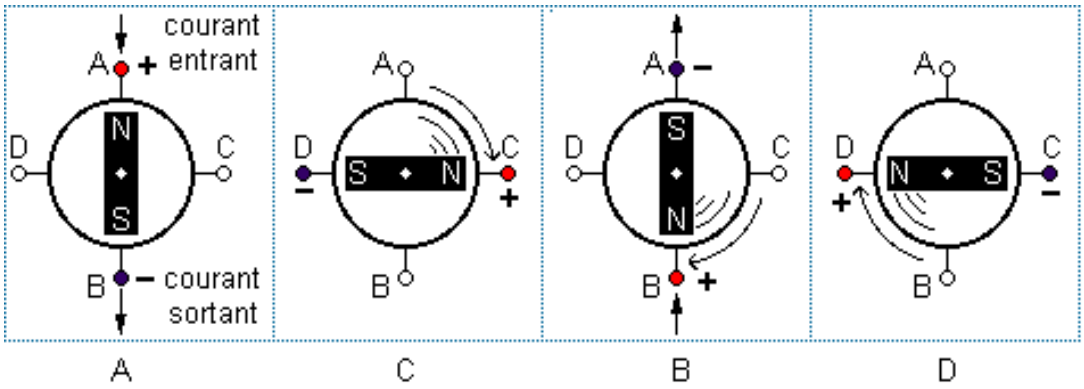


Figure II.5. Mode monophasé

La seconde possibilité est d'alimenter une paire de phase en même temps de façon à ce que le rotor se positionne entre deux pôles. Appelé " deux phases à la fois en pas entier " (two-phase-on full step) ce mode de commande est celui qui procure le couple le plus élevé. La séquence sera donc : AC / CB / BD / DA, la **Figure II.6.** Représente le Mode biphasé **[6].**

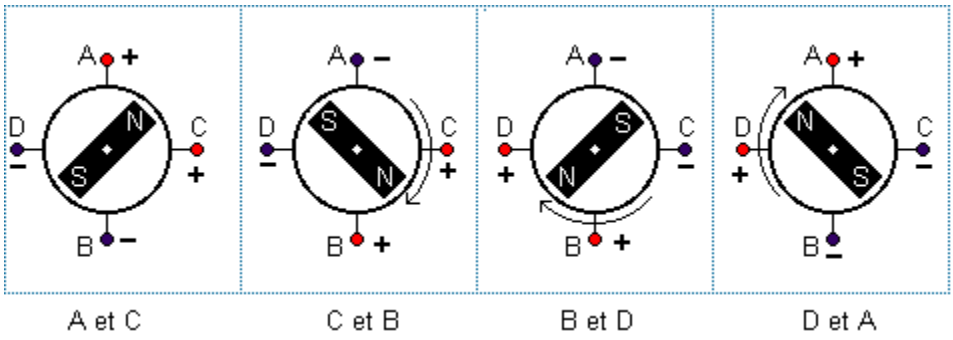


Figure II.6. Mode biphasé

La troisième option est un mélange des deux premières puisque l'on alimente tour à tour le moteur sur une phase puis deux puis une... Cette séquence connue sous le nom de mode demi-pas procure effectivement une division par 2 de l'angle d'avance d'un pas, mais aussi un couple moins régulier. La séquence qui en découle est la suivante : A / AC / C / CB / B / BD / D /DA, la **figure II.7.** Représenteé le Mode demi-pas .

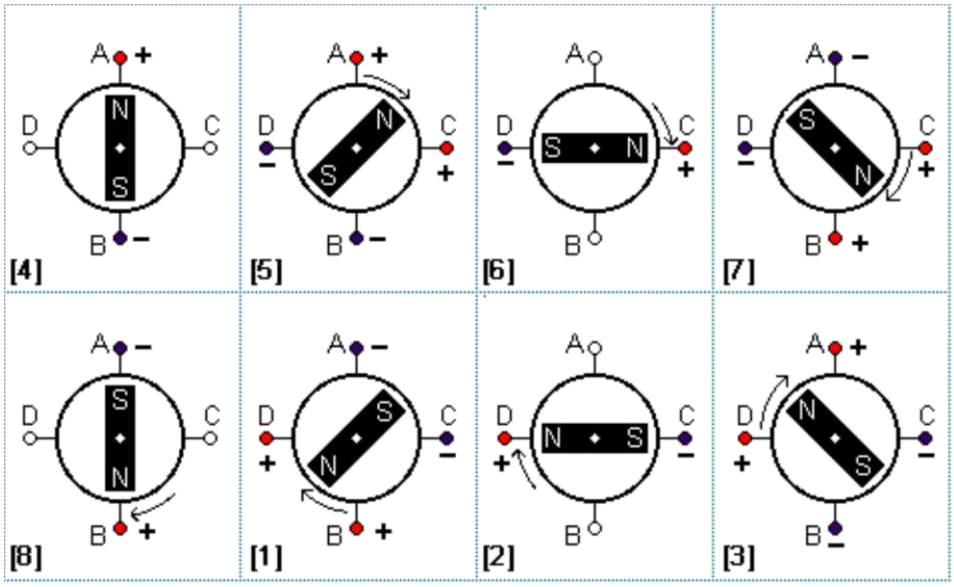


Figure II.7. Mode demi-pas

Pour obtenir une rotation dans la direction opposée les mêmes séquences sont utilisées en inversant l'ordre de défilement. Comme nous pouvons le constater sur les diagrammes, les moteurs sont représentés avec une avance de pas à 90°.

Dans les moteurs réels les nombres de pôles ont été multipliés pour réduire à quelques degrés seulement l'angle d'avance d'un pas. Le nombre d'enroulements et la séquence de commande restant, quant à eux, inchangés.

C’est dans le mode biphasé que le moteur développera la plus grande puissance (couple élevé) car les deux phases seront alimentées dans le même temps.

Le mode demi-pas permet de doubler le nombre de pas qu’un moteur peut effectuer par tour, mais cette précision supplémentaire engendre un couple irrégulier. En effet, dans ce mode, la commande du moteur est un mélange de mode biphasé et monophasé. Dans ce cas, si la charge est importante, des pas risquent de <<sauter>>, ce qui n’est pas le but recherché **[6].**

Dans notre projet, nous avons utilisé trois moteurs pas à pas bipolaires.

II.2.1.3. Le moteur pas à pas à hybride

On superposant le principe du moteur à réluctance variable et à aimant permanent on obtient un moteur hybride qui combine les avantages des deux moteurs. Le rotor est constitué de deux disques dentés décalés mécaniquement. Entre ces deux disques est inséré un aimant permanent. Le nombre de dents du rotor est différent de celui du stator. Lorsqu'on alimente une bobine, le rotor place les dents Nord et Sud de telle façon à ce que le flux traversant le rotor soit maximal **[5].**

II.3. La Carte de Commande M542-05



Figure II.8. La carte LEADSHINE M542-05

La Carte de Commande M542-05 est un driver micro-pas à hautes performances utilisant les technologies les plus modernes. Il est utilisable pour piloter des moteurs pas à pas hybrides à 2 ou 4 phases (bipolaires ou unipolaires). Grace à une technique avancée de gestion de courant

constant, il est possible d'exploiter au mieux les caractéristiques de vos moteurs. La technologie de contrôle de courant à 3 états permet un contrôle précis du courant dans les enroulements moteur avec une faible ondulation et par conséquent, un échauffement moindre **[7].**

II.3.1. *Caractéristiques*

- Technologie breveté
- Faible coût
- Couple élevé même à vitesse élevée
- Alimentation jusqu'à 50V, Courant de pointe de 4.2A max (3A RMS)
- Technologie de contrôle de courant à 3 états
- Passage automatique en mode courant réduit (configurable)
- Utilisable avec des moteurs 2 ou 4 phases (unipolaires ou bipolaires)
- Signaux d'entrées opto-isolées
- Fréquence des pulses jusqu'à 400 KHz
- 15 résolutions configurables par DIP switchs (jusqu'à 25000 pas/trs sur un moteur 200 pas/trs)
- Réglage du courant par DIP switchs (8 positions de 1A à 4.2A)
- Mode PULSE/DIRECTION ou CW/CCW configurable
- Protection contre les courts circuits, les surtensions et les sous-tensions
- Petite dimension (118x75.5x33mm)
- Connecteurs débrochables **[7].**

II.3.2. *Applications*

La Carte de Commande M542-05 est Utilisable avec une large gamme de moteurs pas à pas, les différents types d'application tel que des tables XY, des machines de marquage, de découpe laser, la gravure ou des machines de placement. Particulièrement recommandé pour des applications nécessitantes de faibles vibrations, des vitesses élevées et de la précision **[7].**

II.3.3. *Spécifications et Environnement opérationnel*

Le **Tableau II.3.** Représentée le Paramètre de carte LEADSHINE M542-05

Tableau II.3. Paramètre de carte **[7].**

Paramètres	M542 V2.0			
	Min	Typique	Max	Unité
Courant de sortie	1.0	-	4,2 (3 A RMS)	Amp
Tension d'alimentation	20	36	+50	VDC
courant de signal logique	7	10	16	mA
Fréquence signaux d'entrées	0	-	300	kHz
Résistance d'isolement	500	-	-	MΩ

II.3.4. *Brochage et description*

La Carte de Commande M542-05 possède deux connecteurs, le connecteur P1 pour les signaux de commande des connexions, et le connecteur P2 pour la puissance et les connexions du moteur. Les tableaux dans l'annexe A et B sont de brèves descriptions des deux connecteurs de la M542 **[8].**

II.3.5. *Sélection d'alimentation*

La Carte de Commande M542-05 peut correspondre à moteurs pas à pas de taille petite et moyenne (Nema de la taille 17 à 34) réalisés par Leadshine ou autre moteur fabrique dans le monde entier. Pour atteindre une très bonne performance de pilotage, il est important de choisir la tension d'alimentation et le courant de sortie correctement. D'une manière générale, la tension d'alimentation détermine la performance à haute vitesse du moteur, tandis que le courant de sortie détermine le couple de sortie de pilotage du moteur (particulièrement à une vitesse

inférieure). Tension d'alimentation plus élevée permettra une plus grande vitesse de moteur à atteindre, ce qui nous donne plus de bruit et de chauffage. Si l'exigence de vitesse de déplacement est faible, il est préférable d'utiliser la tension d'alimentation inférieure pour diminuer le bruit, de chauffage et d'améliorer la fiabilité **[8].**

II.3.6. *Les Caractéristique du courant d'un moteur pas à pas*

Pour un moteur donné, le courant de conducteur supérieur permettra de faire le moteur pour délivrer en sortie un couple plus élevé, mais, en même temps provoque plus le chauffage dans le moteur et pilote Par conséquent, le courant de sortie est généralement définie comme étant telle que le moteur ne surchauffe de fonctionnement longue durée. Depuis connexions parallèles et série de bobines du moteur vont changer considérablement l'inductance et de la résistance qui en résulte, il est donc important de définir le courant de sortie du pilote en fonction du courant de phase de moteur, fils du moteur et les méthodes de connexion. Phase note actuelle fournie par le fabricant du moteur est important dans la sélection actuelle du pilote, mais le choix dépend également de câbles et les branchements **[8].**

II.3.7. *Sélection de la résolution micro pas et Courant de sortie de pilote*

Ce pilote utilise un commutateur DIP 8-bit pour définir la résolution micro-pas, et le courant de commande de moteur, comme indiqué ci-dessous dans la figure **Figure II.9.** **[8].**

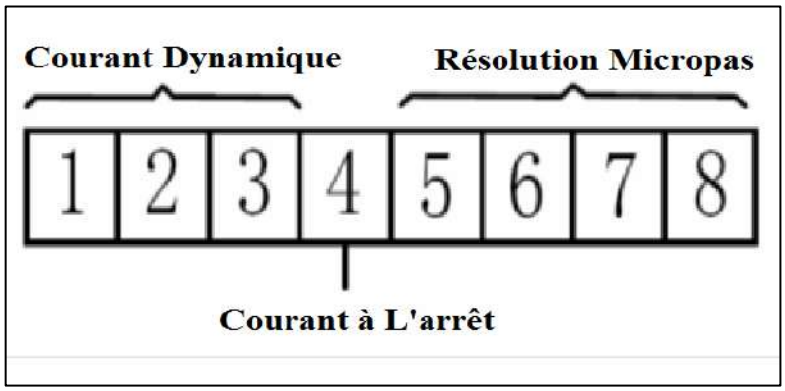


Figure II.9. La résolution micro pas et Courant de sortie.

II.4. Port parallèle

II.4.1. *Définition*

Les ports d'entrée/sortie sont des éléments matériels de l'ordinateur, permettant au système de communiquer avec le monde externe, c'est-à-dire d'échanger des données, d'où l'appellation d'interface d'entrée/sortie (noté parfois d'E/S). A son origine, le port parallèle était conçu pour recevoir une imprimante. Aujourd'hui, il peut recevoir des périphériques variés. Ainsi, il est possible d'y connecter une imprimante, un scanner, un disque dur externe, etc. Le port parallèle se présente sous la forme d'un connecteur DB25 femelle, il est aujourd'hui présent sur la totalité des ordinateurs. Le port parallèle, a subi plusieurs changements et améliorations. Il est conçu pour transmettre ou accueillir des données dans le domaine extérieur. La transmission des données consiste à envoyer des données simultanément sur plusieurs canaux (fils en parallèle), 8 bits (1 octet) par l'intermédiaire de 8 fils **[9].**

II.4.2. *Description du port*

Le port parallèle originel de l'IBM comportait en tout 25 broches, 12 sorties numériques et 5 entrées numériques accessibles via 3 ports consécutifs sur 8 bits dans l'espace d'E/S du processeur. 8 broches reliées à la masse et les 17 autres sont dédiées principalement pour une imprimante. Certaines ne fonctionnent qu'en entée, d'autres sont double sens, elles sont reparties sur 3 groupes:

1) **8** broches de sortie accessibles via le port des DONNÉES ;
2) **5** broches d'entrée (une inversée) accessibles via le port d'ÉTAT ;
3) **4** broches de sortie (trois inversées) accessibles via le port de COMMANDE **[9].**

La Figure II.10. Représentée le Connecteur DB25 .

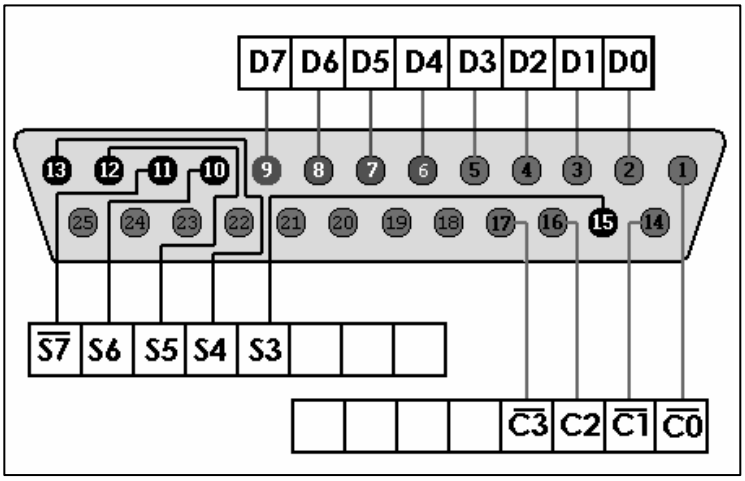


Figure II.10. Connecteur DB25

II.4.3. *Les différentes broches du port*

Les broches n° 2, 3, 4, …, 9, disponibles seulement en écriture par exemple, la broche n°1 (STROB) disponible à la fois en lecture et en écriture. Exemple texte envoyé à l'imprimante (D0, D1, D2, ….. D8). Les broches 10 (ACK), 11 (BUSY), 12 (PE), 13 (SELECT) disponibles seulement en lecture (information sur l'état du périphérique). Les broches 18, 19, ….. 25, vers la masse **[9].**

II.4.3.1. Brochage des connecteurs d'une interface parallèle :

Le tableau **Tableau II.4.** Représenter le Brochage des connecteurs parallèles.

Tableau II.4. Brochage des connecteurs parallèles **[10].**

LIGNE	Côté P.C. (25 broches)	Côté imprimante (36 broches)
STROBE	1	1
D0	2	2
D1	3	3
D2	4	4
D3	5	5
D4	6	6
D5	7	7
D6	8	8
D7	9	9
ACK	10	10
BUSY	11	11
PE	12	12
ON LINE	13	13
AUTO LF	14	14
ERROR	15	32
INIT/RESET	16	31
SELECT IN	17	36
0v/GND	18 - 25	19 - 30

II.4.4. *Élaboration d'un câble nul-modem*

D'après le schéma usuel, la transmission ne peut se faire que dans un seul sens (l'interface parallèle est utilisée principalement pour communiquer avec l'imprimante). L'émetteur ne peut pas recevoir des données sur les lignes D0 - D7. Il faut alors établir une liaison bidirectionnelle pour que les données circulent dans les deux sens librement.

On utilise à cette fin les différentes lignes d'état qui véhiculent habituellement des informations d'état en provenance de l'imprimante **[11].**

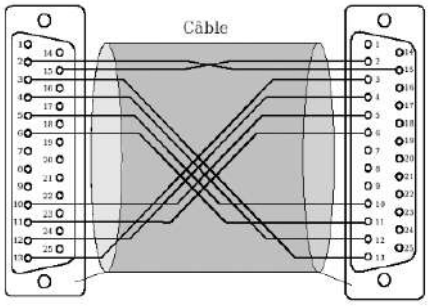


Figure II.11. Schéma de câblage du câble nul-modem

II.4.5. *Protocole de transmission utilisé*

Le câble null-modem présenté dans la **Figure II.11.** Permet d'envoyer simultanément (dans les deux sens) cinq bits par lignes de données D0 - D4 dans chaque direction. Cependant il faut réserver une ligne qui sert pour rythmer la communication. L'un des cinq lignes va être sacrifié à cette fin (le bit $\overline{\text{BUSY}}$). Nous présentons à la suite le protocole que nous allons utiliser pour le transfert d'un octet **[11].**

II.5. L'interrupteur de fin de Course

Un détecteur de position (**Figure II.12.**) est un capteur mieux connu sous le Nom d'interrupteur de fin de course. Puisque c'est un détecteur, par définition Il fournit en sortie un signal logique évoluant entre deux états (tout ou rien).

L'interrupteur de fin de course exige un contact avec l'objet a détecté. Ce contact a lieu au niveau de l'organe de commande. Divers types d'organes de commande sont disponibles sur le marché pour s'adapter aux Divers objets que le détecteur doit pouvoir détecter **[12].**



Figure II .12. Interrupteur de Fin de Course.

Ce choix est important, car un mauvais choix d'organe de commande peut entrainer des dommages sur l'objet à détecter et/ou l'interrupteur de fin de course.

De l'organe de commande, un mécanisme mécanique transmet les déplacements de l'organe de commande vers l'élément de contact.

Cet élément de Contact est un contact sec (relais) commande mécaniquement.

Ce contact a Une durée de vie limitée, car les cycles d'ouverture et fermeture du contact Provoquent à long terme une fatigue mécanique.

Selon les modèles, la durée de vie est variable, mais généralement c'est autour de 30 millions d'opérations **[12].**

II.6. Conclusion

Selon le besoin, l'utilisateur peut choisir le moteur qui lui convient a son application, avec l'alimentation et le mode d'excitation correspondant. Pour notre projet, on a opté pour trois moteurs à aimant permanant bipolaire de 3 Ampères et voltage de 24 Volt, et en fin l'interrupteur de Fin de Course pour sécuriser la machine CNC.

Chapitre III :

Programmation de la machine CNC

Programmation de la machine CNC

III.1. Introduction

Les instructions programmées doivent contenir toutes les données nécessaires à la commande et au séquencèrent des opérations à réaliser pour assurer l'usinage de la pièce sur la machine.

III.2. Langage de programmation des MOCN avec G-CODE

La programmation consiste à décrire les opérations d'usinage dans un langage codé (appelé code G) assimilable par le calculateur de la machine. C'est le langage de programmation des MOCN.

Ce langage est normalisé (Norme ISO 1056) où certains codes utilisés ont les mêmes fonctionnalités pour différents contrôleurs de machines-outils (NUM, FANUC, SIEMENS...). Les autres codes peuvent avoir une interprétation différente d'un contrôleur à un autre. Le langage de programmation des MOCN possède les caractéristiques suivantes :

- la chronologie des actions.
- l'appel des outils.
- la sélection des vitesses de coupe et d'avance.
- la formulation des trajectoires.
- la définition des coordonnées de fin de trajectoire.
- les mises en ou hors fonction d'organes de la machine.

L'ensemble des instructions nécessaire pour l'usinage d'une pièce constitue le programme CN. Ce programme est un ensemble de blocs ou lignes de programme. Chaque bloc est composé de mots (les mots clefs du langage CN) **[13].**

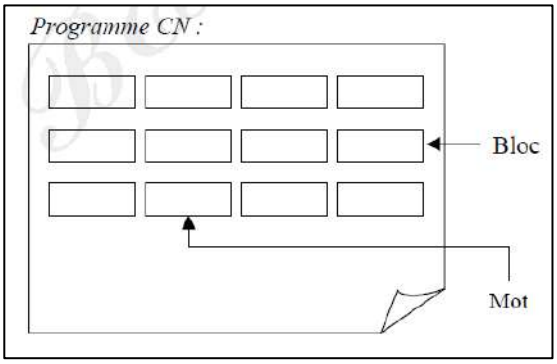


Figure III.1. Programme CN

III.2.1. *Format d'un mot*

Un mot du langage CN est constitué d'une lettre appelée adresse et d'un certain nombre

De chiffres (de 0 à 9) avec éventuellement un signe + ou - ainsi qu'un point décimal. Le format de chaque mot est l'une des caractéristiques des directeurs de commande. Il faut donc consulter le manuel pour respecter le format autorisé.

En langage G-Code, l'écriture d'un programme de contrôle d'une DNC se fait à l'aide de mots. Un mot est composé d'une lettre et d'une valeur numérique, entière ou décimale. Dans un bloc, il peut y avoir plusieurs mots. Il est fréquent d'avoir une erreur si plusieurs mots du groupe de fonctions auxiliaires sont entrés sur le même bloc **[14].**

La **Figure III.2.** Représenté le format d'un mot

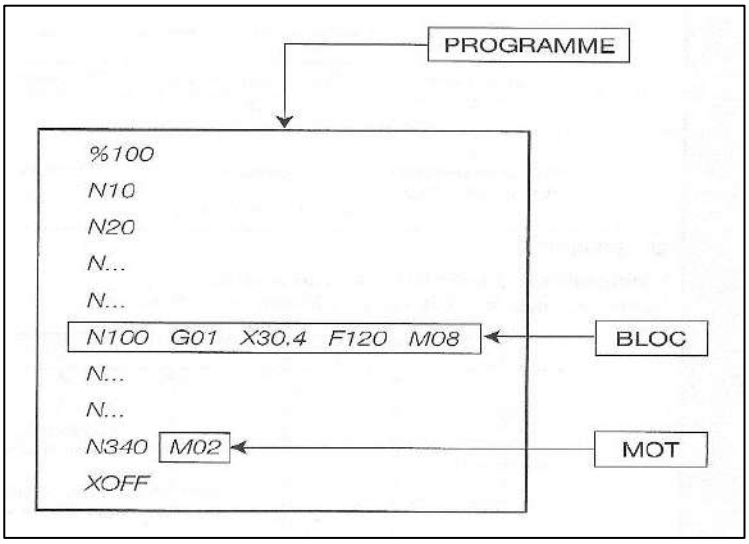


Figure III.2. Format d'un mot

Exemple :

N100 G01 X30.4 f120 M08

N340 : le mot à l'adresse N peut prendre les valeurs de N0 à N9999

X30.4 : le mot à l'adresse X peut prendre les valeurs de -9999.999 à 9999.999

III.3. Langage G-Code

III.3.1. *Définition de G-Code*

En langage G-Code, l'écriture d'un programme de contrôle d'une DNC se fait à l'aide de mots.

Un mot est composé d'une lettre et d'une valeur numérique, entière ou décimale. Dans un bloc, il peut y avoir plusieurs mots.

Il est fréquent d'avoir une erreur si plusieurs mots du groupe de fonctions auxiliaires sont entrés sur la mémé bloc **[15].**

Exemple :

N10 M03 S5000 M08

Fonctions préparatoires (G), fonctions d'appel de mode d'interpolation (G0, ...), cycles machine Fonctions auxiliaires (M) qui permettent d'enclencher la lubrification, de changer d'outil, ou de déclencher des accessoires.

III.3.2. *Coordonnées de points (X, Y, Z, I, J, K, A, B, C, U, V, W)*

Le tableau **III.1** représente les Coordonnées de points

Tableau III.1. Coordonnées de points (X, Y, Z, I, J, K, A, B, C, U, V, W) **[16].**

X	**position absolue/relative**
Y	position absolue/relative
Z	position absolue/relative
I	coordonnée de centre de cercle sur X
J	coordonnée de centre de cercle sur Y
K	coordonnée de centre de cercle sur Z
A	position angulaire (rotation autour de l'axe X)
B	position angulaire (rotation autour de l'axe Y)
C	position angulaire (rotation autour de l'axe Z)
U	position relative en tournage
V	position relative en tournage
W	position relative en tournage

III.3.3. *Vitesses, avances, outils, (S, F, T, ...)*

Le tableau **Tableau III.2.** représenter la Vitesses, avances, outils

Tableau III.2. Vitesses, avances, outils, (S, F, T, ...) **[16].**

S	vitesse de rotation de la broche ou vitesse de coupe
F	avance de travail en millimètres/minute ou en millimètres/tour
T	sélection d'un outil
H	numéro du correcteur de longueur (fraisage)
D	numéro du correcteur de rayon (fraisage)
N	numéro de bloc

III.3.4. *Les principales fonctions de G-code*

III.3.4.1. Les fonctions préparatoires, instructions G

Le tableau **Tableau III.3.** Représente Les instructions G

Tableau III.3. Tableau d'index du G-code **[15].**

G0	**Positionnement à vitesse rapide**
G1	Interpolation linéaire
G2	Interpolation circulaire/hélicoïdale en sens horaire
G3	Pause
G10	Définition de l'origine du système de coordonnées
G12	Poche circulaire en sens horaire
G13	Poche circulaire en sens antihoraire
G15/G16	Déplacement sur des coordonnées polaires selon G0/G1
G17	Sélection du plan XY
G18	Sélection du plan XZ
G19	Sélection du plan YZ
G20/G21	Unités en pouces/mm
G28	Retour à l'origine
G30	Retour à l'origine
G31	Trajectoire directe du palpeur
G40	Pas de compensation de rayon d'outil
G41/42	Démarrer compensation de rayon d'outil à gauche/droite
G43	Appliquer la compensation de longueur d'outil (positif)
G49	Désactive la compensation de longueur d'outil
G50	Réinitialise les facteurs d'échelle à 1.0
G51	Activation du facteur d'échelle pour les valeurs d'axes saisies
G52	Décalage temporaire du système de coordonnées
G53	Déplacement dans le système de coordonnées absolu machine
G54	Utilisation décalage du gabarit 1
G55	Utilisation décalage du gabarit 2
G56	Utilisation décalage du gabarit 3
G57	Utilisation décalage du gabarit 4
G58	Utilisation décalage du gabarit 5
G59	Utilisation décalage du gabarit 6 / utilisation du gabarit général
G61/G64	Arrêt précis / Vitesse constante
G68/G69	Programmer système de Coordonnée des axes rotatifs
G70/71	Unités en pouces/mm
G73	Cycle préprogrammé : perçage par à-coups
G80	Annuler les modes de déplacement (y compris les cycles préprogrammés)

G81	Cycle préprogrammé : perçage
G82	Cycle préprogrammé : perçage avec pauses
G83	Cycle préprogrammé : perçage par à-coups

III.3.4.1.1. G0 Interpolation linéaire en vitesse rapide

Pour un mouvement linéaire en vitesse rapide, programmer *G0 axes*, tous les mots d'axe sont facultatifs. Le *G0* est facultatif si le mode mouvement courant est déjà *G0*. Cela produit un mouvement linéaire vers le point de destination à la vitesse rapide courante (ou moins vite si la machine n'atteint pas cette vitesse). Il n'est pas prévu d'usiner la matière quand une commande G0 est exécutée. Un G0 seul peut être utilisé pour passer le mode de mouvement courant en G0 **[17].**

Exemple avec G0:

```
G90 (Fixe les déplacements en mode absolu)
G0 X1 Y-2.3 (mouvement linéaire en vitesse rapide du point courant à X1 Y-2.3)
M2 (fin de programme)
```

- Si la compensation d'outil est active, le mouvement sera différent de celui.
- Si *G53* est programmé sur la même ligne, le mouvement sera également différent.

C'est une erreur si:

- Un mot d'axe est indiqué sans valeur réelle.
- Un mot d'axe est indiqué qui n'est pas configuré.

III.3.4.1.2. G1 Interpolation linéaire en vitesse travail

Pour un mouvement linéaire en vitesse travail, (pour usiner ou non) programmer *G1 axes*, tous les mots d'axe sont facultatifs. Le *G1* est facultatif si le mode de mouvement courant est déjà *G1*. Cela produira un mouvement linéaire vers le point de destination à la vitesse de travail courante (ou moins vite si la machine n'atteint pas cette vitesse). Un G1 seul peut être utilisé pour passer le mode de mouvement courant en G1 **[17].**

Exemple avec G1:

```
G90 (Fixe les déplacements en mode absolu)
G1 X1.2 Y-3 F10 (mouvement linéaire à 10 unités/mn du point courant à X1.2 Y-3)
Z-2.3 (mouvement linéaire à 10 unités/mn du point courant à Z-2.3)
Z1 F25 (mouvement linéaire de l'axe Z à 25 unités/mn vers Z1)
M2 (Fin de programme)
```

III.3.4.1.3. G2, G3 Interpolation circulaire en vitesse travail

Un mouvement circulaire ou hélicoïdal est spécifié en sens horaire avec *G2* ou en sens antihoraire avec *G3*. La direction est vue depuis le côté positif de l'axe autour duquel le mouvement se produit **[17].**

Exemple avec G2 G3

```
G2 ou G3 axes décalages (format centre)
G2 ou G3 axes R- (format rayon)
G2 ou G3 décalages <P-> (cercles complet)
```

Les axes de cercle ou les hélicoïdes, doivent être parallèles aux axes X, Y ou Z du système de coordonnées machine. Les axes (ou, leurs équivalents, les plans perpendiculaires aux axes) sont sélectionnés avec *G17* (axe Z, plan XY), *G18* (axe Y, plan XZ), ou *G19* (axe X, plan YZ).

Pour programmer un hélicoïde, inclure le mot d'axe perpendiculaire au plan de l'arc. Par exemple, si nous sommes dans le plan *G17*, inclure un mot *Z*, ceci provoquera un mouvement de l'axe *Z* vers valeur programmée durant tout le mouvement circulaire *XY*.

Pour programmer un arc supérieur à un tour complet, utiliser un mot *P* spécifiant alors le nombre de tours complets en plus de l'arc. Si *P* n'est pas spécifié, le comportement sera comme si *P1* avait été donné: ceci étant, un seul tour complet ou partiel sera effectué, donnant un arc plus petit ou égal à un tour complet. Par exemple, si un arc de 180° est programmé avec P2, le mouvement résultant sera d'un tour et demi. Pour chaque incrément de P au-delà de 1, un tour complet sera ajouté à l'arc programmé. Les arcs hélicoïdaux multi-tours sont supportés ce qui donne des mouvements très intéressants pour usiner des alésages ou des filetages.

Si une ligne de G-code crée un arc et inclus le mouvement d'un axe rotatif, l'axe rotatif tournera à vitesse constante de sorte que le mouvement de l'axe rotatif commence et se termine en même temps que les autres axes XYZ. De telles lignes sont rarement programmées.

Si la compensation d'outil est active, le mouvement sera différent de celui décrit ci-dessus, voir les sections sur G40 et sur G41-G42.

Le centre de l'arc est absolu ou relatif, tel que fixé par G90.1 ou G91.1, respectivement.

C'est une erreur si:

Aucune vitesse d'avance travail n'est spécifiée.

Deux formats sont possibles pour spécifier un arc: Le format centre et le format rayon **[17].**

a. Arc au format centre (format recommandé) :

Les arcs au format centre sont plus précis que les arcs au format rayon, c'est le format à privilégier.

La distance entre la position courante et le centre de l'arc et, facultativement, le nombre de tours, sont utilisés pour programmer des arcs inférieurs au cercle complet. Il est permis d'avoir le point final de l'arc égal à la position courante.

Le décalage entre le centre de l'arc et la position courante ainsi que facultativement, le nombre de tours, sont utilisés pour programmer des cercles complets.

Une erreur d'arrondi peut se produire quand un arc est programmé avec une précision inférieure à 4 décimales (0.0000) pour les pouces et à moins de 3 décimales (0.000) pour les millimètres **[17].**

b. Arc en mode distance relative :

Les décalages par rapport au centre de l'arc sont des distances relatives au point de départ de l'arc. Le mode distance relative de l'arc est le mode par défaut.

Un ou plusieurs mots d'axe et un ou plusieurs décalages doivent être programmés pour un arc qui fait moins de 360 degrés.

Aucun mot d'axe mais un ou plusieurs décalages doivent être programmés pour un cercle complet. Le mot *P*, par défaut à 1, est facultatif **[17].**

c. Arc en mode distance absolue :

Les décalages par rapport au centre de l'arc sont des distances absolues depuis la position 0 courante des axes (origine machine).

Un ou plusieurs mots d'axe et *tous* les décalages doivent être programmés pour les arcs de moins de 360 degrés.

Aucun mots d'axe mais tous les décalages doivent être programmés pour un cercle complet. Le mot *P*, par défaut à 1, est facultatif **[17].**

G2 ou G3 <X- Y- Z- I- J- P->

Plan XZ (G18)

G2 ou G3 <X- Z- Y- I- K- P->

YZ-plane (G19)

G2 ou G3 <Y- Z- X- J- K- P->

Exemples d'arcs au format centre :

G0 X0 Y0

G2 X1 Y1 I1 F10 (arc en sens horaire dans le plan XY)

La **Figure III.3**. Représente un exemple avec G2

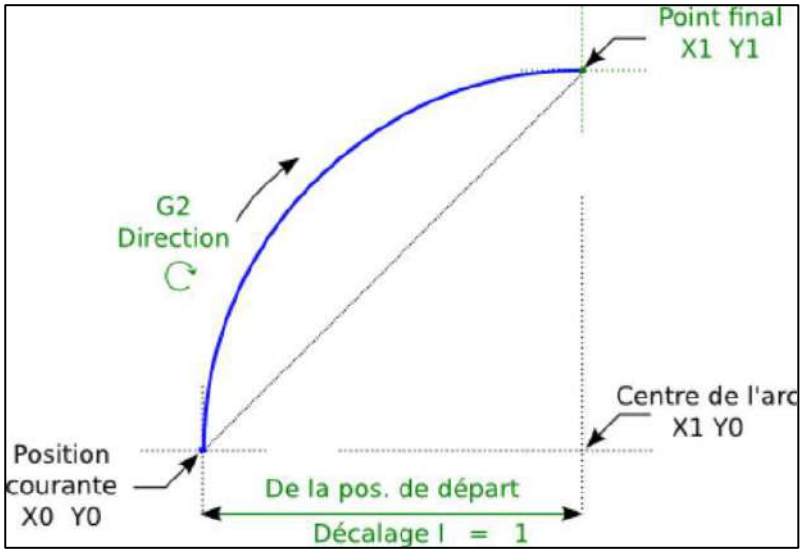


Figure III.3. Exemple avec G2

Dans cet autre exemple, nous pouvons voir les différences de décalages pour Y selon que nous faisons un mouvement G2 ou un mouvement G3. Pour le mouvement G2 la position de départ est en X0 Y0, alors que pour le mouvement G3 elle est en X0 Y1. Le centre de l'arc est en X1 Y0.5 pour les deux. Le décalage J du mouvement G2 est 0.5 alors que celui du mouvement G3 est -0.5 **[17].**

Le G-code de cet exemple serait:

```
G0 X0 Y0
G2 X0 Y1 I1 J0.5 F25 (arc en sens horaire dans le plan XY)
G3 X0 Y0 I1 J-0.5 F25 (arc en sens antihoraire dans le plan XY)
```

Figure III.4. Représente un Exemple avec G2-G3

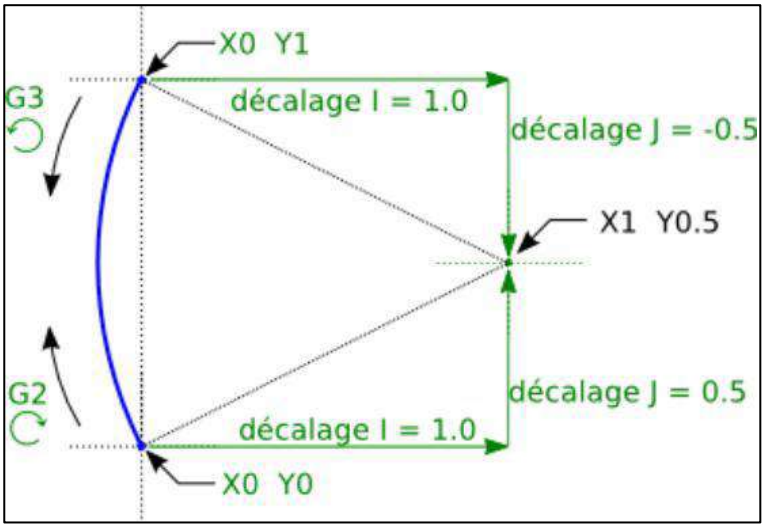


Figure III.4. Exemple avec G2-G3

Voici un exemple au format centre pour usiner une hélice:

G0 X0 Y0 Z0

G17 G2 X10 Y16 I3 J4 Z-1 (Arc hélicoïdal avec ajout de Z) **[17].**

Arcs au format rayon (format non recommandé) :

G2 ou G3 axes R

Exemple de commande pour usiner un arc au format rayon:

G17 G2 X10 Y15 R20 Z5 (arc au format rayon) **[17].**

III.3.4.2. Fonctions auxiliaires logiques M

Le tableau **Tableau III.4.** Représenté Les instructions M

Tableau III.4. Tableau d'index du M-code **[15].**

Fonction	Définition
M00	Arrêt intermédiaire
M03	Rotation de la broche à droite
M05	Arrêt de la broche
M06	Calcul de longueur d'outil, correction, Introduction du rayon de fraise
M08	Sortie logique
M09	Sortie logique
M17	Renvoie au programme principal
M20	Sortie logique
M21	Sortie logique
M22	Sortie logique
M23	Sortie logique
M26	Sortie logique – Impulsion
M30	Fin programme

Dans cette réalisation on a choisir les deux exemples suivent :

Exemple de G code pour dessiner carrée

M3 F1000

G00 X0 Y0 Z10

G01 X0 Y0 Z0

G01 X0 Y200 Z0

G01 X-200 Y200 Z0

G01 X-200 Y0 Z0

G01 x0 y0 z0

G00 Z50

M30

Exemple de G code pour dessiner cercle :

M3 F1000

G00 X0 Y0 Z10

G01 X0 Y0 Z0

G03 X50 Y50 Z0 R50

G03 X0 Y100 Z0 R50

G03 X-50 Y50 Z0 R50

G03 X0 Y0 Z0 R50

G00 Z10

M30

III.4. Programmation de la machine MOCN avec MACH3

III.4.1. *Vue d'ensemble du logiciel de Contrôle Mach3*

III.4.1.1. Définition de logiciel MACH 3

Le logiciel Mach3 est un logiciel qui permet de convertir un simple ordinateur en directeur de commande pour machine commande numérique, Le logiciel Mach3 possède un grand nombre de fonctionnalités et s'adapte avec un grand nombre de cartes CNC. Le mach 3 est personnalisable grâce à des interfaces interchangeables.

III.4.1.2. Installation

On n'avait pas besoin d'avoir une machine-outil raccordée. si on débute juste, il est préférable de ne pas en avoir une de raccordée. On a noté ou les câbles de la machine sont raccordés sur le pc, on éteint l'ordinateur, la machine-outil et les contrôleurs et on débranche la fiche db25 du connecteur au dos de l'ordinateur.

On Rallume maintenant l'ordinateur

La **Figure III.5.** Représente une vue d'ensemble du logiciel de Contrôle Mach3



Figure III.5. Vue d'ensemble du logiciel de Contrôle Mach3

Quand on exécute le fichier téléchargé, on serait alors guidés à travers les différentes étapes d'installations, tel que l'acceptation des conditions de licence ou la sélection du répertoire de destination de mach3. Sur la boite de dialogue finale de l'installation, on devez-vous assurer que la case redémarrer maintenant soit cochée, puis le pc va redémarrer afin de terminer l'installation. Cette étape est obligatoire avant toute exécution de mach3.

L'image en arrière-plan durant l'installation est l'image standard de Mach3Mill - ne vous inquiétez pas, Mach3Turn est aussi installé.

Sur la boite de dialogue finale, on devra assurer que les cases (load mach3 driver) et (Install English wizards) soient cochées, cliquez ensuite sur " terminer " . On vous demande ensuite de rebooter avant toute exécution de mach3 **[15].**

III.4.1.3. L'entrée de données manuelle MDI :

On Utilise la souris ou le raccourci clavier pour afficher l'écran manuel (MDI).

Sur cet écran il y a une ligne pour l'entrée de données manuelles. On peut cliquer sur dessus pour la sélectionner et l'utiliser. L'appuie sur Entrer la sélectionne automatiquement.

On peut taper n'importe quelle ligne valide qui apparaît dans un programme d'usinage et l'exécuter en appuyant sur Entrer. on peut annuler la ligne en appuyant sur ESC. La touche Retour arrière peut être utilisée pour corriger les erreurs dans votre ligne.

Si on connaît quelques commandes G-code, on peut les essayer. Sinon essayez ceci:

G00 X1.6 Y2.3

Ceci déplacera l'outil aux coordonnées X = 1.6 unités et Y = 2.3 unités. (C'est G zéro et non pas G lettre O). On verra dans les visuels correspondants le déplacement aux nouvelles coordonnées.

On Essaye plusieurs commandes différentes (ou G00 à différents endroits). Si on utilise les flèches haut et bas dans la ligne MDI on verra alors l'historique des commandes qu'on avait utilisé. Cela rend plus facile la répétition d'une commande sans devoir la retaper. Quand on sélectionne la ligne MDI, on remarque une fenêtre volante qui vous donne un aperçu des dernières commandes.

Une ligne de commande MDI (que l'on appelle quelquefois une ligne G-code) peut contenir plusieurs commandes qui seront exécutées dans un ordre "raisonnable". Par exemple : définir une vitesse d'avance de F2.5 va prendre effet avant n'importe quels mouvements de vitesse de coupe et ce même si F2.5 apparaît dans le milieu ou même à la fin de la ligne. Si on a un doute dans l'ordre qui sera utilisé pour exécuter plusieurs commandes, on tape les une par une **[15].**

III.4.1.4. L'exécution d'un programme G-code

Il est maintenant temps de charger et d'éditer un Programme d'usinage. On sera normalement capable de modifier des programmes sans quitter Mach3 mais, comme nous ne l'avons pas encore configuré pour savoir quel est l'éditeur à utiliser, il est plus simple de créer le programme en dehors de mach3.

On Utilise Windows Notepad pour entrer les lignes suivantes dans un fichier texte et sauvegardez le dans le répertoire de votre choix (peut être Mes Documents) sous le nom de **spiral.tap**

On doit choisir Tous les Fichiers dans le type de fichier sinon le Bloc-notes ajoutera.TXT au nom de votre fichier et Mach3 sera incapable de le trouver.

```
G20 f100
G00 x1 y0 z0
G03 x1 y0 z-0.2 i-1 j0
G03 x1 y0 z-0.4 i-1 j0
G03 x1 y0 z-0.6 i-1 j0
G03 x1 y0 z-0.8 i-1 j0
G03 x1 y0 z-1.0 i-1 j0
G03 x1 y0 z-1.2 i-1 j0
M00
```

Comme précédemment, tous les 0 sont des zéros. On N'oublie pas d'appuyer sur Entrer après le m0. On Utilise le menu fichier (file), charger G-code (load g-code) pour charger ce programme

On remarquera qu'il s'est affiché dans la fenêtre G-code.

Sur l'écran automatique (program run), on peut tester l'effet du bouton départ cycle (cycle Start), stop, pause et retour au début (rewind) ainsi que leurs raccourcis.

Quand on lance le programme, on peut remarquer que la ligne surlignée bouge d'une façon particulière dans la fenêtre G-code. Mach3 lit en avance et planifie ses mouvements pour éviter que l'outil ne doive ralentir plus que nécessaire. Cette planification est perceptible dans l'affichage du programme et quand vous faites une pause.

On peut aller à n'importe quelle ligne du programme en faisant défiler l'affichage et mettre en évidence une ligne particulière. On peut alors utiliser le bouton Démarrer d'ici (run from here) **[15].**

III.4.1.5. L'arrêt d'urgence (EStop)

Chaque machine-outil doit avoir un ou plusieurs boutons d'Arrêt d'urgence (ESTOP); généralement un champignon rouge. Ils doivent être placés de manière à ce que on puisse facilement en enclencher un où que on soit autour de la machine.

Chaque bouton d'arrêt d'urgence (EStop) doit arrêter la machine et la mettre en sécurité le plus rapidement possible; la broche doit s'arrêter de tourner et les axes doivent arrêter de bouger. Cela doit arriver sans devoir compter sur le logiciel - donc nous parlons des relais et des contacteurs. Le circuit doit signaler à Mach3 l'état d'arrêt d'urgence et il y a une entrée spéciale et obligatoire pour cela. Il ne sera généralement pas encore suffisant de couper le courant pour un arrêt d'urgence, parce que l'énergie conservée dans les condensateurs des transformateurs peut permettre aux moteurs de tourner pendant un temps plus ou moins long.

La machine ne doit pas pouvoir être redémarrée tant qu'un bouton reset n'a pas été appuyé. Si le bouton d'arrêt d'urgence (EStop) se verrouille quand on l'enclenche, la machine ne doit pas redémarrer quand vous dés-enclenché cet arrêt d'urgence.

Il n'est généralement pas possible de continuer à usiner une pièce après un arrêt d'urgence, maison et la machine serez en sécurité **[15].**

III.4.2. *Configuration de Mach3 et les contrôleurs d'axes*

III.4.2.1. Configuration initiale :

La première fenêtre à ouvrir est Configuration>Ports et E/S (config>ports and pins). Cette boite de dialogue contient plusieurs onglets, mais seul le premier est montré dans l'image.

III.4.2.1.1. Définition des adresses des ports à utiliser

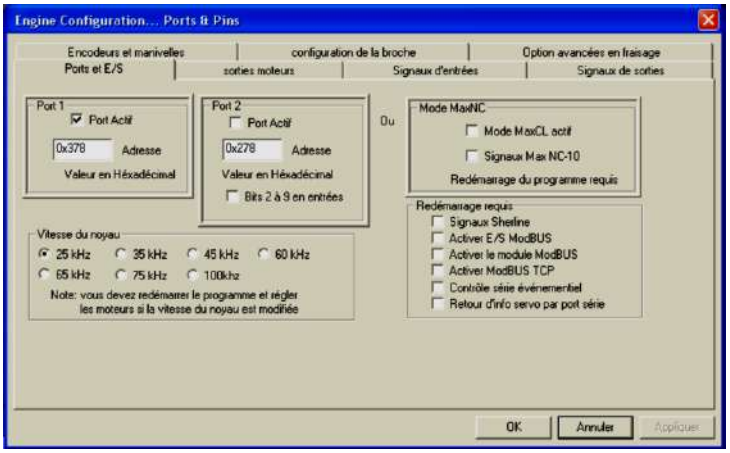


Figure III.6. Onglet configuration des Ports et des E/S

Si on allez seulement utiliser seulement un port parallèle et que c'est celui de la carte mère de votre ordinateur alors l'adresse par défaut du Port 1 est généralement 0x378 (c'est-à-dire 378 en hexadécimal) **[15].**

III.4.2.1.2. Définition de la fréquence du noyau

Le pilote de Mach3 peut travailler à une fréquence de 25 000 Hz (impulsions par seconde), 35 000 Hz , 45 000 Hz , 60000 Hz, 65000hz , 75000hz et 100000hz selon la vitesse de votre processeur et des autres charges (logiciels) lancés en même temps que Mach3.

La fréquence dont on avait besoin dépend de la fréquence d'impulsion maximale nécessaire pour amener n'importe quel axe à sa vitesse maximale. 25 000 Hz seront probablement appropriés pour les systèmes à moteur pas à pas. Avec un contrôleur d'axes 10 micro-pas comme un Gecko 201, on obtiendra une vitesse de rotation de 750 tr-min avec un moteur 200 pas par tour. Des fréquences d'impulsions supérieures sont nécessaires pour les servomoteurs munis d'encodeurs hauts résolution. Plus de détails sont fournis dans la section **[15].**

III.4.2.2. Définition des signaux d'entrées et de sorties

Maintenant que on a défini la configuration de base, il est temps de définir quels signaux d'entrées et de sorties on va utiliser et quel port parallèle ainsi que quels pins vont être utilisés

pour chacun des signaux. La documentation de votre carte d'isolation doit fournir les informations nécessaires sur les sorties à utiliser si celle-ci a été conçu pour fonctionner avec Mach3 ou alors la carte d'isolation doit être fournie avec un fichier profil (.XML) avec ces connections déjà définies **[15].**

III.4.2.2.1. Signaux de sorties utilisés pour les axes et la broche :

On ouvre d'abord l'onglet sorties moteurs (configuration>ports et E/S>sorties moteurs (config>ports and pins >motor outputs)). Cela ressemblera sur la **Figure III .7.**

On Définit où les contrôleurs de vos axes X, Y et Z sont raccordés et on clique dans la case activer (enable) pour valider l'activation de ces axes. Si on contrôleurs d'axes (par ex. Gecko 201) exigent un signal actif à l'état bas (active-lo), on assurer que ces colonnes soient correctement activées pour les signaux Pas et Direction).

Si on avait un axe rotatif ou des axes esclaves, alors on doit les activer et les configurer **[15].**

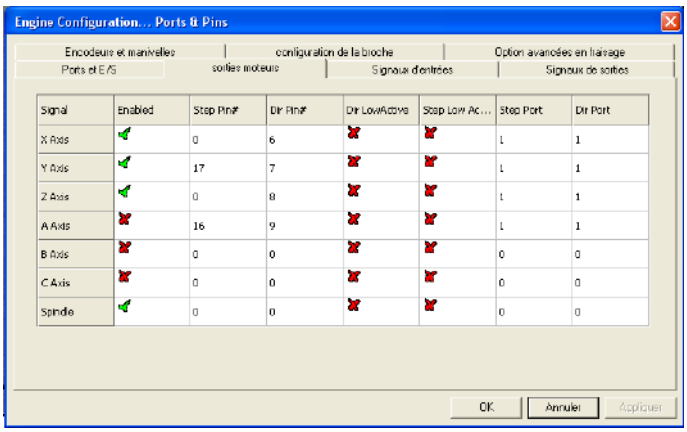


Figure III .7. Définition des connections pour les axes et pour la broche

III.4.2.2.2. Signaux d'entrées utilisés

On ouvre maintenant l'onglet signaux d'entrées (configuration>ports et E/S>signaux d'entrées (config>ports and pins >inputs signals)). Cela ressemblera dans la **Figure III.8.**

Si on a choisi la première stratégie et que les contacts de limites sont connectés ensembles et que ceux-ci déclenchent un arrêt d'urgence (Estop) ou désactivent les contrôleurs d'axes, alors on n'a pas à cocher d'entrées pour les limites **[15].**

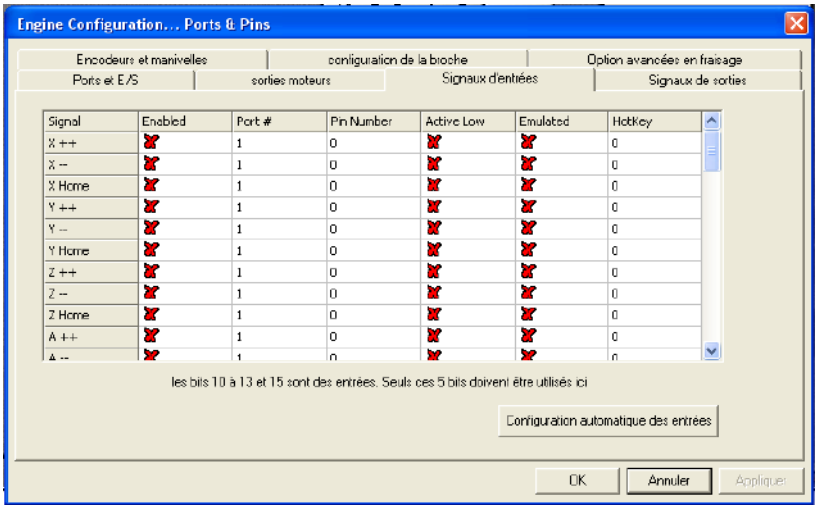


Figure III.8. Signaux d'entrées

III.4.2.3. Définition des unités

Avec les fonctions de base en état de marche, il est temps de configurer les contrôleurs d'axes. La première chose à faire est de décider si on préfère travailler en Métrique (millimètres) ou en Impérial (pouces). On sera capable d'exécuter des programmes d'usinages dans n'importe quelle unité quelle que soit l'option qu'on a choisie. Le calcul mathématique pour la configuration sera plus facile si vous choisissez le même système d'unité que votre entrainement (exemple vis à bille). Donc, une vis avec un pas de 0.2 pouce (5mm) est plus facile à configurer en pouces qu'en millimètre. De même une vis avec un pas de 2mm sera plus facile à configurer en millimètres.

La multiplication et/ou la division par 25.4 n'est pas difficile mais est juste un élément à prendre en considération.

Il Ya, d'autre part, un certain avantage à utiliser les unités qu'on utilise quotidiennement. On peut forcer les visu (DRO) à afficher dans ce système d' unités quoi que le programme fasse. (Changement d'unités avec G20 ou G21).

C'est votre choix. On Utilise **config/choix d'unités** (config/Setup units) pour choisir entre mm ou pouces (voir la **Figure III.9.**). Une fois que on a fait un choix, on ne devra pas le changer sans recommencer toutes les étapes précédentes ou alors, la plus grande confusion régnera, Un message on le rappelle quand vous utilisez configuration/choix d'unités **[15].**



Figure III.9. Boite de dialogue choix d'unités

III.4.2.4. Réglage des moteurs

III.4.2.4.1. Calcul des pas par unité

Mach3 peut automatiquement effectuer un test de déplacement sur un axe et calculer les pas par unité mais il vaudrait probablement mieux laisser cela pour un réglage fin, alors voyons la théorie globale ici. Le nombre de pas que doit envoyer Mach3 pour une unité de mouvement dépend de l'entrainement mécanique (pas de la vis à bille, engrenages entre le moteur et la vis), des propriétés du moteur pas à pas, ou de l'encodeur du servomoteur et de l'électronique (micro pas).

[Pas Mach3 par unité= Pas Mach3 par tour * tour moteur par unité]

Figure III.10. Montre la boite de dialogue config> réglage des moteurs (config>motortuning).

On Clique sur le bouton de l'axe que vous voulez configurer et entrez la valeur calculée de pas par unité. Cette valeur ne doit pas forcément être entière donc vous pouvez obtenir autant de précision que nécessaire. Pour éviter d'oublier par la suite, cliquez sur Enregistrer cet axe (save axe settings) maintenant **[15].**

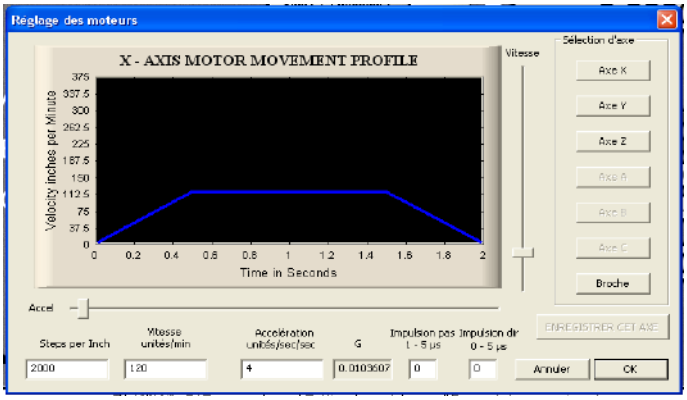


Figure III.10. Ecran de réglage des moteurs

III.4.2.4.2. Définir la vitesse maximale du moteur

En utilisant la boite de dialogue **config>réglage des moteurs** (config>motor tuning), et tout en bougeant le curseur **accel** on verra le graphe des vitesses en fonction du temps pour un déplacement fictif. L'accélération des axes, ira peut être à pleine vitesse et ensuite décélèrera. On Met la vitesse au maximum pour l'instant. On Utilise le curseur d'accélération pour modifier le taux d'accélération/décélération (ce sont toujours les mêmes valeurs).

Quand on utiliser les curseurs, les valeurs dans les cases ***vitesse*** (velocity) **et *accélération*** sont misent à jour. **Vitesse** (velocity) est en unités par minute. **Accel** est en unité par seconde². La valeur **accélération** est aussi donnée en G pour donner une impression subjective de la force qui sera appliquée à une table massive ou à la pièce.

La vitesse maximale qu'on peut afficher est limitée par la fréquence maximale d'impulsion de Mach3. En supposant qu'on a configuré celle-ci à 25 000 Hz et 2000 pas par unité alors la vitesse maximale possible sera de 750 unités par minute.

Ceci est le maximum, bien que non nécessairement prudent pour votre moteur, mécanique d'entrainement ou machine; au-delà Mach3 ne suivra plus. On peut faire les calculs nécessaires ou faire quelques tests pratiques. Passons donc aux essais **[15].**

III.4.2.4.3. Paramétrages automatiques des pas par unité

Si on n'est pas en mesure de mesurer le rapport de réduction d'un moteur ou de connaitre le pas exact d'une Vis. On peut alors mesurer précisément la distance Parcourue par un axe en utilisant un comparateur et des cales étalons, ensuite on peut dire à Mach3 de calculer le pas par unité qui doit être configuré.

La **Figure III.11** montre le bouton sur l'écran de réglages d'initialisation de ce processus. On indiquera ensuite l'axe que vous souhaitez calibrer.

Ensuite, on vous devez entrer une distance de mouvement nominale. Mach3 fera ce mouvement. Soyez prêt à appuyer sur le bouton reset (Estop) si celui-ci vous semble prêt à se cracher à cause de vos réglages trop grands.

Finalement après le déplacement, vous serez invité à mesurer le déplacement et à entrer la distance de mouvement exacte. Cela sera utilisé pour calculer le pas par unité (steps per unit) des axes de votre machine **[15].**

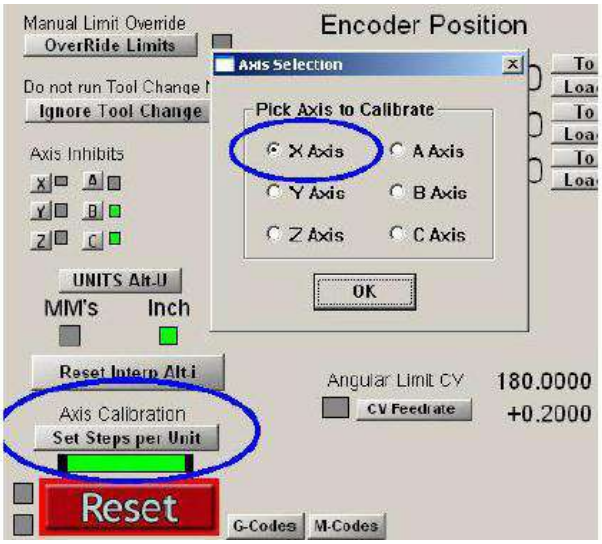


Figure III.11. Pas par Unité Automatique

III.4.3. *Les Contrôles dans Mach3 et Exécution d'un Programme D'usinage*

III.4.3.1. Chargement d'un programme G-code

Si on a un programme d'usinage écrit manuellement ou généré dans un programme CAO/DAO (CAD/CAM), on peut le charger dans Mach3 en utilisant le bouton charger G-code (Load G- Code). On choisit le fichier à charger dans une fenêtre standard de Windows ou à partir de la liste des fichiers récemment utilisés disponible par le bouton fichier récent (Recent Files). La **Figure III.12.**représenté le Chargement le programme G-code .



Figure III.12. Chargement le programme G-code

Quand le fichier a été choisi, Mach3 le charge et analyse le code. Le parcours d'outils s'affichera et établira les valeurs extrêmes de la pièce.

Le programme chargé sera affiché dans la fenêtre de G-code. On pourra faire défiler cette fenêtre et mettre en surbrillance la ligne courante avec la barre d'espace **[15].**

III.4.3.2. Editer un programme G-code

Si on a défini un programme en tant qu'éditeur de G-code dans **Configuration>configuration générale** (config>Logic), vous pouvez éditer le code en cliquant sur le bouton **éditer G-code**(Edit). Votre éditeur s'ouvrira dans une nouvelle fenêtre et le code sera accessible.

Quand on aura terminé votre édition, on pourra sauvegarder et quitter l'éditeur. Cela peut être fais facilement en utilisant la croix pour fermer la fenêtre et en cliquant sur oui à la boite de dialogue demandant si vous voulez sauvegarder.

Pendant l'édition, Mach3 est suspendu, si on clique dans sa fenêtre il apparaîtra figé. On devra quitter l'éditeur pour déverrouiller Mach3.

Après l'édition le code modifié sera ré-analysé et utilisé pour régénérer le parcours d'outils et les valeurs extrêmes. On peut forcer la régénération en cliquant sur le bouton **Rafraichir** (Regenerate) **[15].**

III.4.3.3. Préparation manuelle et lancement d'un programme d'usinage

III.4.3.3.1. Saisir un programme manuellement

Si on voulez écrire un programme on pouvez le faire en utilisant l'éditeur à l'extérieur de Mach3 et en sauvegardant le fichier ou en cliquant sur le bouton **Editer G-code** (Edit) alors qu'aucun programme d'usinage n'est chargé. Dans ce cas, on devra utiliser **enregistrer sous** pour sauvegarder votre programme et quitter l'éditeur.

Puis on devra dans mach3 cliquez sur **fichier>charger G-code** (file>load g-code) pour charger votre nouveau programme **[15].**

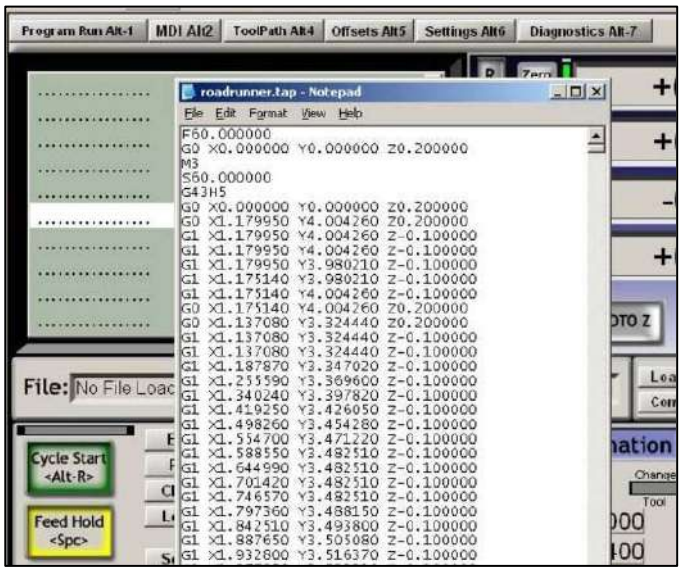


Figure III.13. Saisir un programme manuellement

III.4.3.3.2. Exécuter votre programme

On devrait surveiller avec attention la première exécution d'un nouveau programme. on pourriez avoir besoin d'augmenter la vitesse d'avance ou peut être de la broche pour minimiser les effets de bourrages ou pour optimiser la production. Ces modifications peuvent se faire à la volée ou en appuyant sur le bouton Pause avant modification puis en appuyant sur départ cycle (Cycle Start) **[15].**

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un language de programmation G-code et le logiciel MACH 3, ce dernier permet d'établir la conversion du language G-code en language machine.

Chapitre IV :

Partie Mécanique Et Réalisation de la machine CNC

Partie Mécanique Et Réalisation de la machine CNC

IV.1. La parte mécanique

IV.1.1. *Introduction*

Une machine-outil est un appareil destiné à faire fonctionner des outils mécaniquement, le mouvement étant transmis à la machine par l'intermédiaire d'un moteur. Les machines-outils employées pour le travail des métaux sont très divers êtres répandus. La machine-outil et son évolution actuelle, la machine-outil à commande numérique, représentent encore le moyen de production le plus important des pièces mécaniques. Dépars l'avancée des techniques, la machine-outil a subi des modifications, et le couple outil -machine-outil s'est adapté aux exigences de productivité moderne. Une machine-outil a pour but de réaliser physiquement les mouvements de coupe nécessaires à l'obtention d'une surface par enlèvement de matière. Elle réalise le mouvement de coupe et le mouvement d'avance de l'outil par rapport à la pièce.

IV.1.2. *Mouvements de translation des axe (X, Y, Z)*

IV.1.2.1. Les axes primaires

Le système normal de coordonnées est un trièdre orthonormé direct (X, Y, Z).

A) Axe X de mouvement : C'est un axe correspondant à un mouvement de la machine, il est perpendiculaire à l'axe Z. L'axe X est généralement porté par le mouvement qui a la plus grande amplitude.

b) Axe Y de mouvement : L'axe Y de mouvement forme avec les axes X et Z un trièdre de sens direct.

c) Axe Z de mouvement : L'axe Z est parallèle à la broche principale orientable, l'axe Z doit être parallèle à l'axe de la broche quand cette dernière est dans la position zéro. La position zéro de Référence est de préférence celle où la broche est perpendiculaire la surface de bridage de la pièce.

IV.1.2.2. Les axes secondaires

Les axes U, V et W sont parallèles à X, Y et Z donc des mouvements de translation. On ne les utilisera plus par la suite car non utilisé par les amateurs.

IV.1.2.3. Les axes rotatifs

Les axes A, B et C définissent les mouvements de rotation autour des axes X, Y et Z. Normalement ce système de coordonnées est conforme à la norme en vigueur. Remarque : la description ci-dessus correspond à la majorité des machines amateurs mais ils existent tellement de machines différentes que le référentiel peut être adapté aux exigences particulières du matériel.

La **Figure IV.1.** Représenté les mouvements de tous les axes

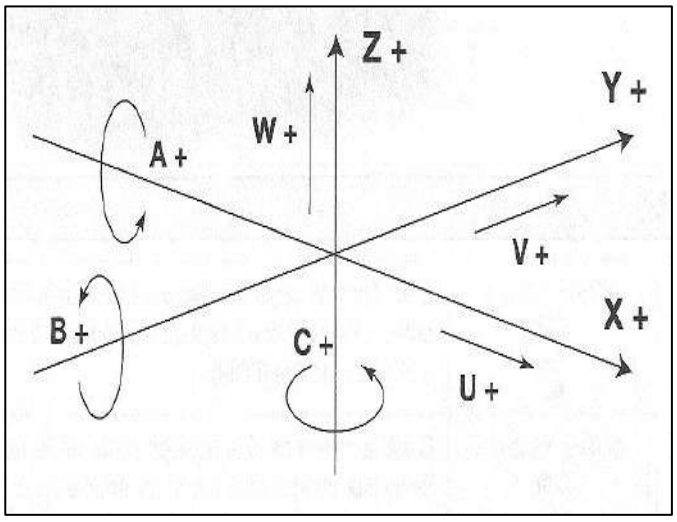


Figure IV.1. Représentation des mouvements de tous les axes (X, Y, Z, U, V, W, A, B, C)

IV.1.3. *Direction des axes*

- **Mouvements additionnels**

Le sens positif des axes est défini de manière telle qu'un mouvement dans une Direction positive d'axes de translation ou de rotation, augmente les valeurs positives de la Position de la pièce par rapport à la machine.

- **Mouvements de translation**

Quand, en plus des mouvements de translation primaire X, Y et Z, il existe des

Mouvements de translation secondaires parallèles à ceux-ci, ils seront respectivement

Désignés par U, V et W.

- **Mouvements de rotation**

Quand, en plus des mouvements de rotation primaires A, B et C, il existe des

Mouvements de rotation secondaires parallèles ou non à A, B et C, ceux-ci seront désignés

Par les lettres D ou E.

La **Figure IV.2.** Représenté les sens de translation et rotation d'un 3 axes (X, Y, Z)

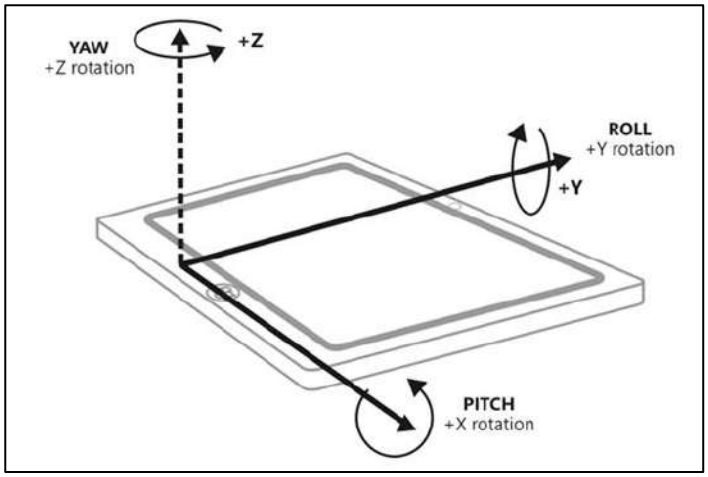


Figure IV.2. Les sens de translation et rotation d'un 3 axes (X, Y, Z)

IV.1.4. *Calculs de transmissions*

IV.1.4.1. Type d'entraînement

Il y a deux types d'entraînement

- Réducteur pour un entraînement à câble ou à courroie crantée.
- Accélérateur pour un entraînement à vis (ou en prise directe).

IV.1.4.1.1. Entraînement à câbles

Dans le cas d'une transmission à câble, c'est comparable à une transmission à courroie, mais la longueur d'enroulement est calculée différemment.

En effet, le câble s'insère dans les filets de la vis d'entraînement et y pénètre partiellement. En première approche, on peut estimer le diamètre moyen d'enroulement au diamètre extérieur

moins la moitié du pas. En pratique, ça dépend beaucoup du diamètre du câble par rapport au pas de la vis.

Exemple Application :

Système d'entraînement à courroie crantée :

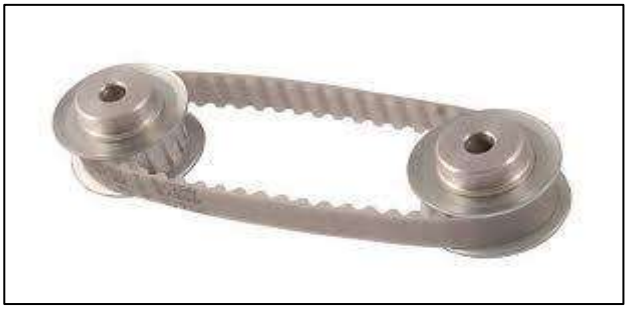


Figure IV.3. Représentation d'entrainement a courroie crantée.

- Système d'entraînement à vis :



Figure IV.4. Représentation de l'entrainement a vise

IV.2. La partie de la réalisation

IV.2.1. *Modélisation d'une machine CNC*

La **Figure IV.5.** Représenté les entrées de la valeur de consigne qui généré avec logiciel de mach 3 dans une machin CNC, et le comparateur pour comparer les entrée des signaux et nombre de pas d'un moteur pas a' pas qui assure la translation d'un chariot de la machine à une distance bien mesuré avec précision.

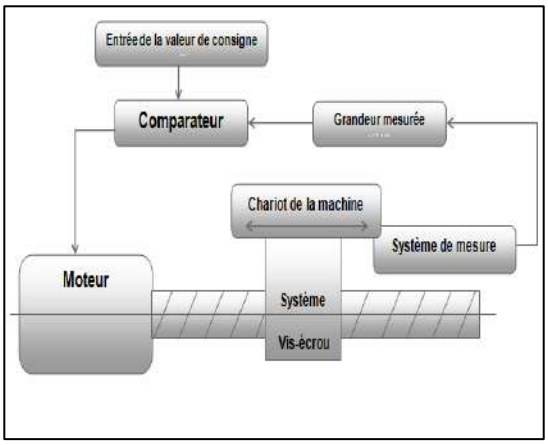


Figure IV.5. Représentation de la commande d'un moteur pas a pas en boucle fermée.

IV.2.2. *Principe de fonctionnement d'une machine CNC avec logiciel MATLAB*

Pour expliquer le principe on peut faire une simulation avec logiciel MATLAB, pour déduire la fonction d'une machine CNC, et pour définir la relation entre les signaux des entrées et les fonctions des ongles (o) d'un moteur pas à pas, pour dessiner un exemple 2D de cercle.

Figure IV.6. Représenté la modélisation de fonctionnement d'une machine CNC avec MATLAB

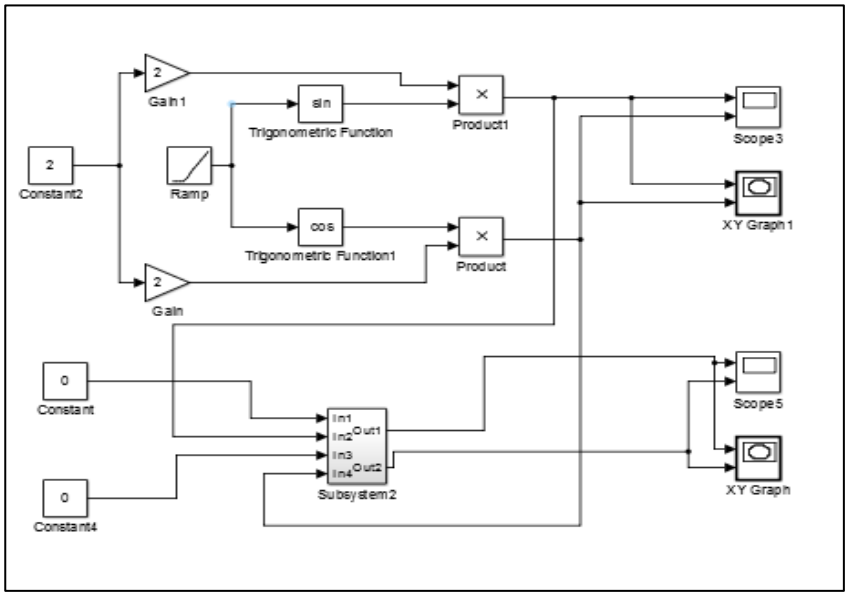


Figure IV.6. Modélisation de fonctionnement d'une machine CNC avec MATLAB

Après la simulation, Le résultat qui obtient de cette modélisation c'est un cercle représenté dans la **Figure IV.7.**

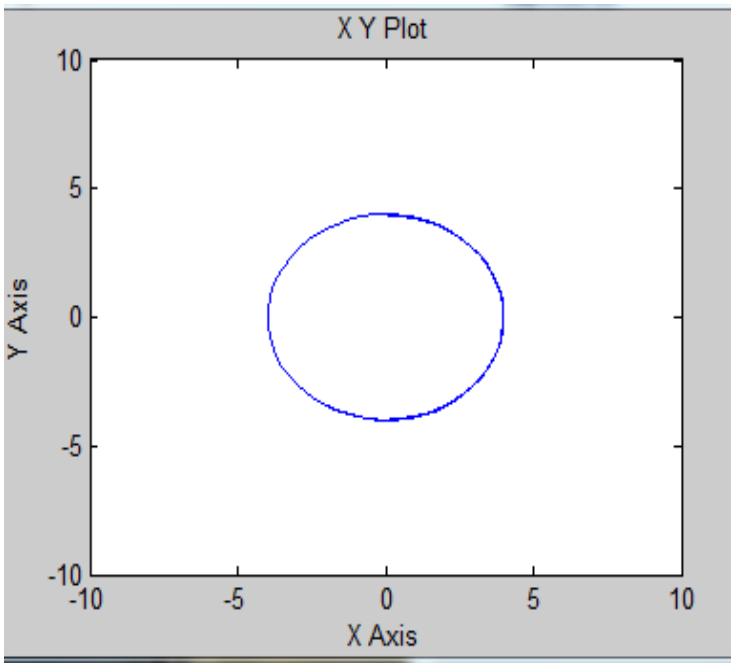


Figure IV.7. La Représentation de résultat de simulation avec un cercle.

IV.2.3.Matériel spécifique

IV.2.3.1. Caractéristique(s) du moteur pas a pas

- Moteur pas à pas bipolaire - 200 pas de 1,8°.
- Dimensions : 57x57mm.
- Axe diamètre 8mm.
- Sortie 4 fils.
- Tension: 24V.
- Courant: 3A.
- Résistance: 1 Ohms.
- Inductance: 3,5mH.
- Couple: 180N.cm.
- Poids: 1050g.
- Longueur: 76mm.

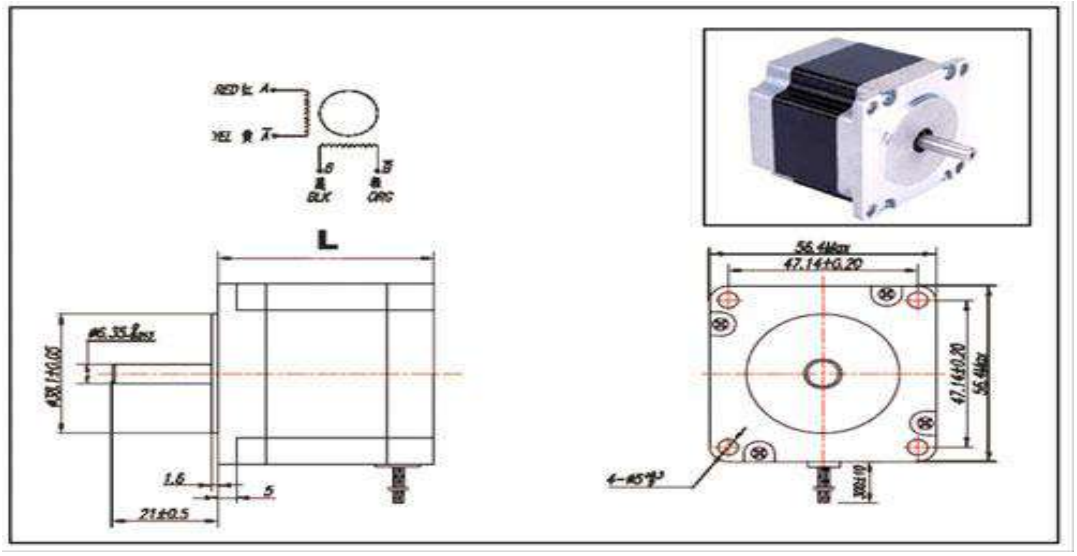


Figure IV.8. Représentation de Dimension d'un Moteur pas a pas

Porte sur la simulation des axes (X, Y, Z et/ou A). Dans les CNC les axes sont pilotés par un moteur PAP associé à son driver. Les rotations des PAP sont effectuées par l'intermédiaire des entrées des drivers (PAS, DIRECTION et ENABLE).

La **Figure IV.9.** Représenté la connexion d'un driver de moteur pas a pas



Figure IV.9. Connexion d'un driver de moteur pas a pas

IV.2.4.Motorisation de la Machine CNC

Une CNC fonctionne classiquement de la sorte : le MACH 3 communique avec Une carte d'interface qui assure la liaison entre le PC et les cartes de commande des moteurs.

Une carte d'axe qui pilote elle-même plusieurs drivers et chaque driver pilote un moteur.

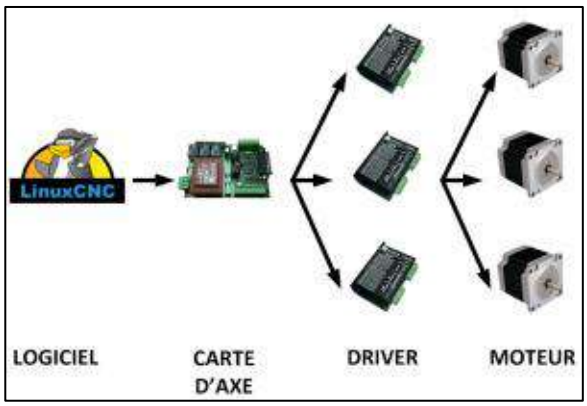


Figure IV.10. Schéma classique de fonctionnement

IV.2.4.1. Le choix de chaque élément

Le choix de chaque élément est très important et demande un peu de réflexion. Voici comment nous avons procédé pour choisir chaque élément. Tout d'abord, avec l'étude mécanique, on doit définir chaque moteur à utiliser.

Il est important de lire les documentations de chacun de ses moteurs, dedans, On trouvera l'alimentation, la consommation du moteur en fonction du câblage (pour définir la puissance de l'alimentation) et le type de driver à utiliser. Le driver permet de piloter en vitesse et direction le moteur pas à pas en fonction des ordres de la carte d'axe. Le choix du driver à son

importance, si il est sous-dimensionné, il ne fournira pas assez d'intensité à votre moteur, si il est surdimensionné, non seulement il y aura un échauffement supérieur du moteur, mais en plus vous le paierez plus cher. A noter que sur ces drivers on peut limiter le courant maxi pour éviter un échauffement important.

IV.2.5. Schéma global de raccordement des éléments d'une machine CNC avec trois axes

La **Figure IV.11.** Schéma de raccordement les éléments d'une machin CNC avec trois axes .

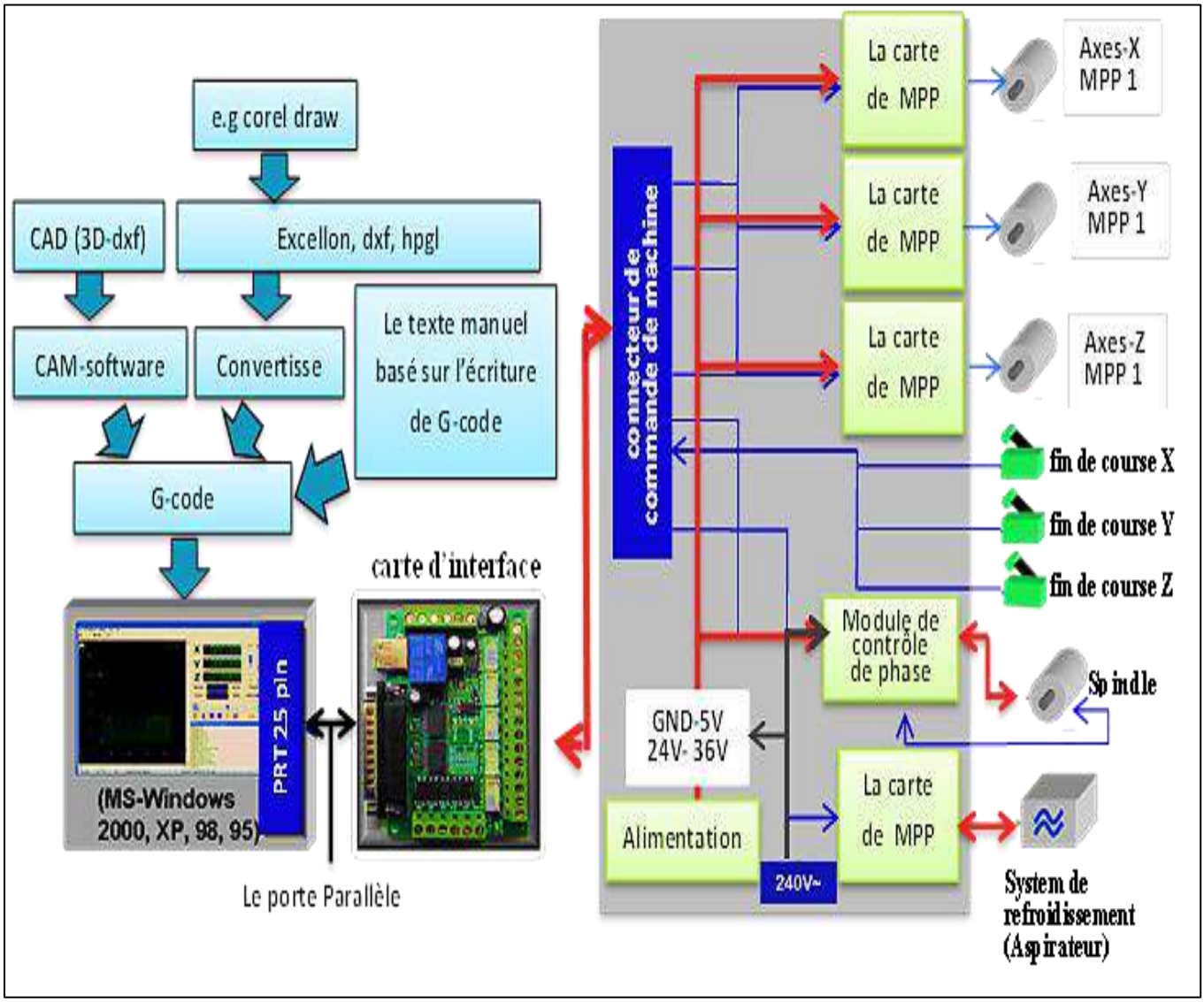


Figure IV.11. Schéma de raccordement les éléments d'une machin CNC avec trois axes

IV.2.6. schéma de câblage d'une machine CNC

La **Figure IV.12.** est représenter le circuit de raccordement des éléments d'une machine CNC qui utilise.

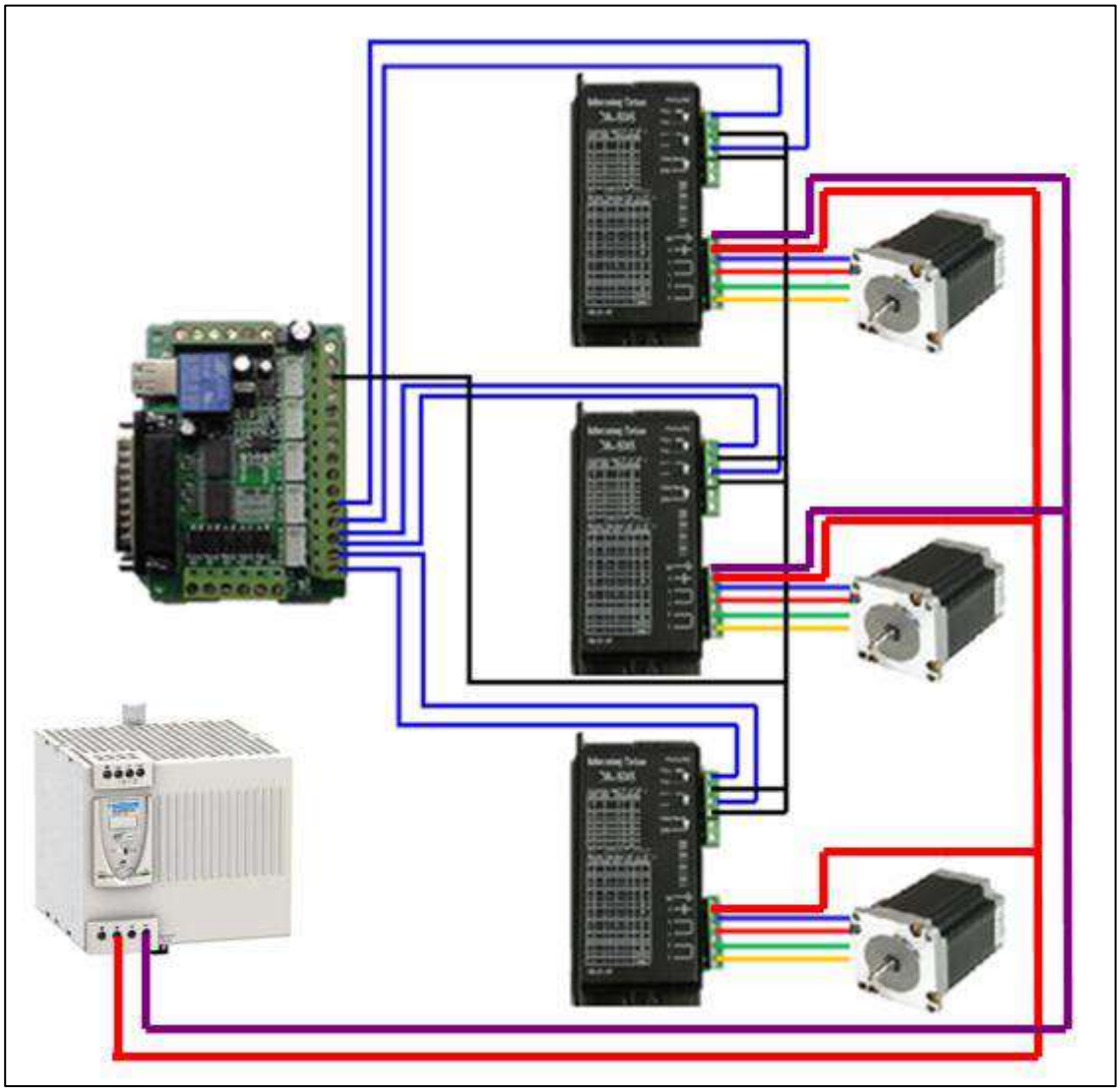


Figure IV.12. Schéma de câblage de machine CNC

IV.2.7. Les capteurs de fin de course

Afin de ne rien casser, il est plus prudent de disposer des capteurs de fin de course sur les différents axes. Ainsi, si le logiciel commande des coordonnées hors limite, les moteurs seront stoppés avant un éventuel incident. Nous avons utilisons des interrupteurs de fin de course classiques, pour éviter ce problème.

IV.2.8. les caractéristiques de La machine

Dans Cette réalisation en va utiliser le boit, les systèmes vis-écrous.

Et pour l'entraînement en utilisons un entraînement direct des mobiles par une vis pour la translation. Pour les raisons économiques nous installons des tiges filetées de diamètre 12mm au pas métrique de 2mm.

IV.2.8.1. Dimensions de la machine CNC

IV.2.8.2. PHOTOGRAPHIES DE LA MACHINE

- **Photographies en (x)**

Dans l'axe (X) en utiliser la longueur de 60 cm et largeur de 40 cm pour les deux coté et en ajout les trous pour fixer les pièces sur la table.

La configuration du positon de l'interrupteur fin de course et leurs supports pour sécuriser la translation dans l'axe (X).

Les figures **IV.13.** Et **IV.14.** Représenté les 2 côté de la machine en axe (X)

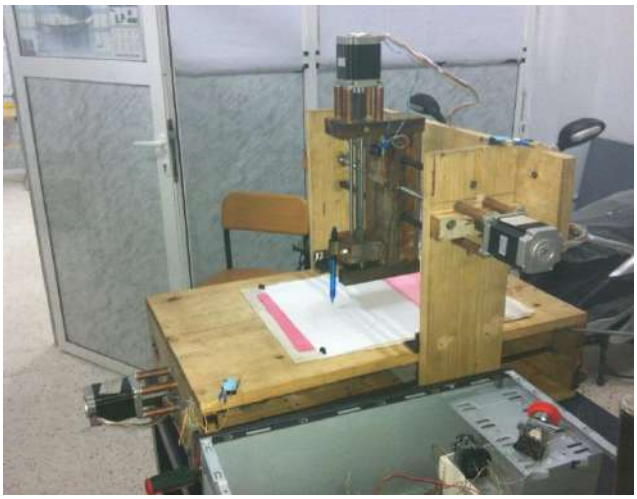


Figure IV.13. Représentation du côté droit de la machine en axe (X)



Figure IV.14. Représentation du côté gauche de la machine en axe (X)

❖ **Photographies-en (y)**

Dans l'axe (Y) en utiliser la longueur de 40 cm et largeur de 14 cm pour les deux

Coté du table, et le coté mobil la longueur de 50 cm et largeur de 14 cm pour deux coté.

La configuration du positon des fins de course ou interrupteurs et leurs supports pour éviter les accidents dans l'axe (Y).

Les figures **IV.15.** Et **IV.16.** Représenté les 2 côté de la machine en axe (Y)

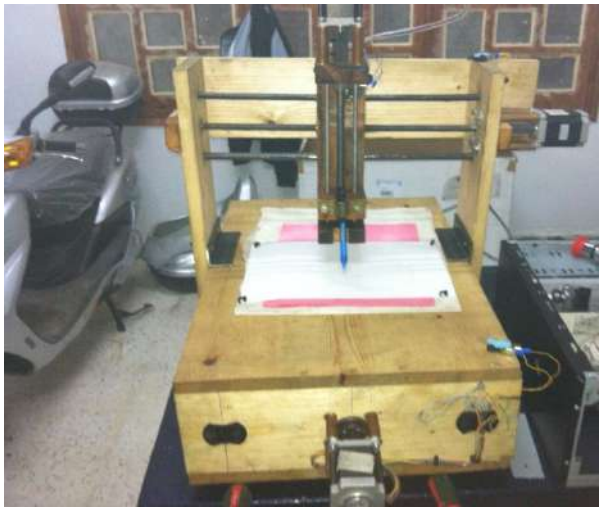


Figure IV.15. Représentation de la face avant de la machine en axe (Y)

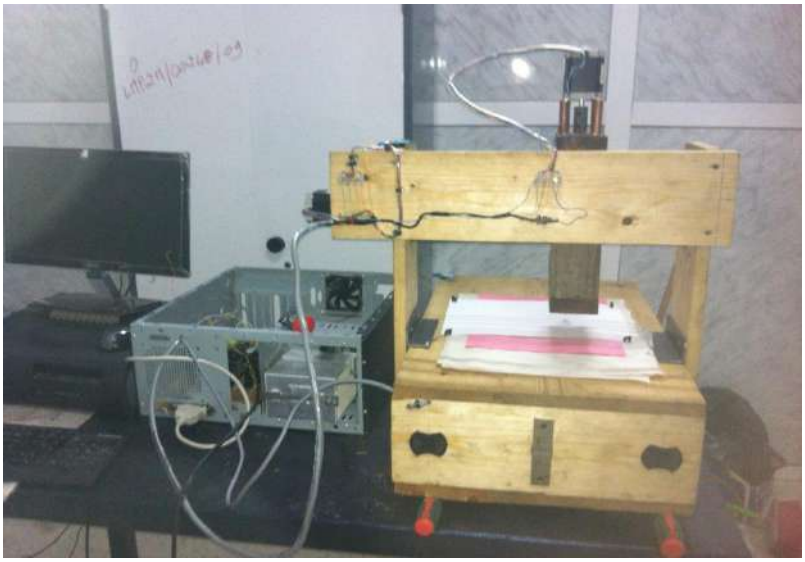


Figure IV.16. Représentation du côté arrière de la machine en axe (Y)

- **Photographies en (z)**

Dans l'axe (Z) en utiliser la longueur de 30 cm et largeur de 7 cm.

La configuration du positon des fins de course ou interrupteurs et leurs supports pour sécuriser la translation dans l'axe (Z).

Les figures **IV.17.** Et **IV.18.** Représenté les 2 côté de la machine en axe (Z)

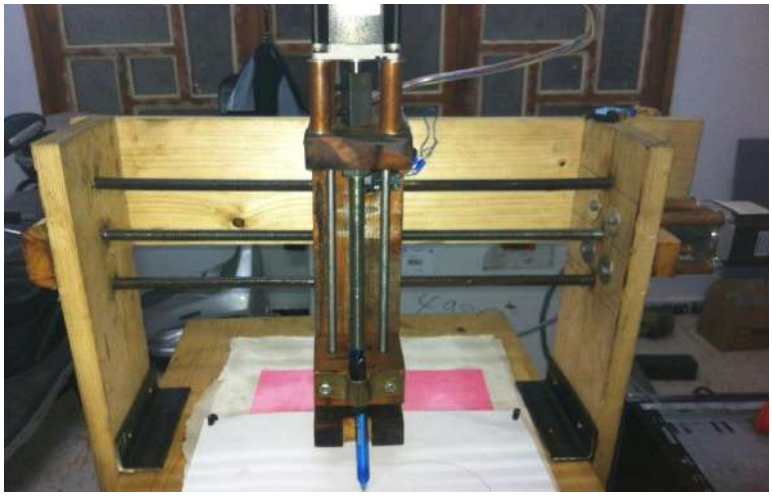


Figure IV.17. Représentation du face avant de la machine en axe (Z)



Figure IV.18. Représentation du côté droit de la machine en axe (Z)

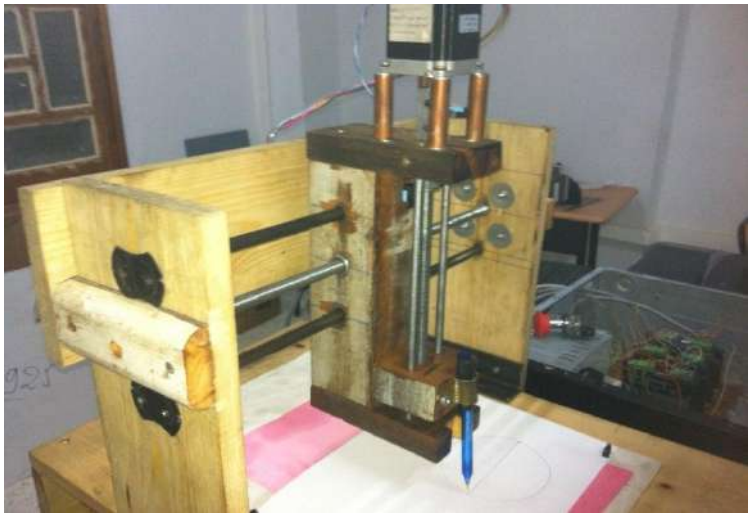


Figure IV.19. Représentation du côté gauche de la machine en axe (Z)

IV.2.9.L'emballage des composant électrique

La **Figure IV.20.** Représenté les éléments après le montage sur la boite. Les éléments des driver et l'alimentation et le contacteur et Bouton d'urgence et carte d'interface, le tout est placé dans un boitier.

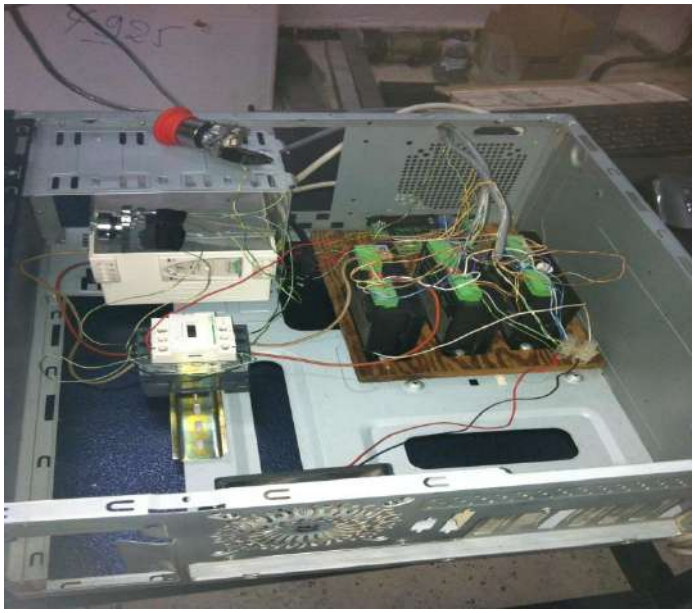


Figure IV.20. Représentation les éliment de commande

IV.2.10. La table de fraisage

Comme on peut le voir sur la photo suivante, nous avons placé une feuille

A 4 sur la table et en désignés des exemples de (line ou carré ou cercle).

Exemple de line : la **Figure IV.21.** Représenté le Dessin d'une ligne avec la machine CNC

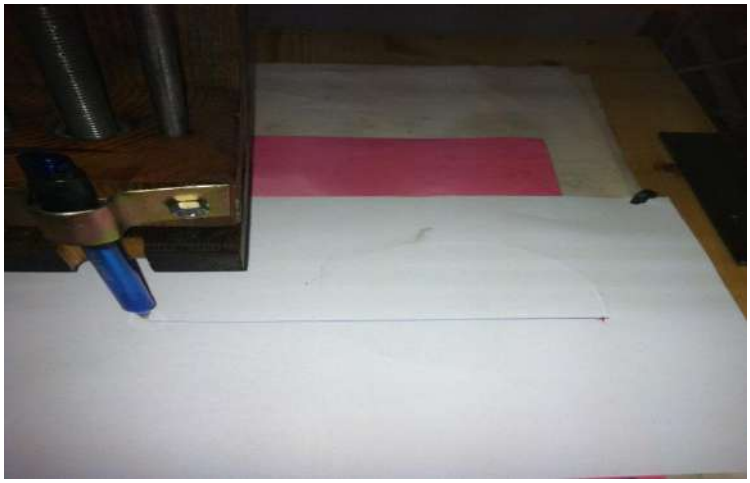


Figure IV.21. Dessin d'une ligne avec la machine CNC

❖ **Exemple de carré :** la **Figure IV.22.** Représenté le Dessin d'un carré avec la machine CNC

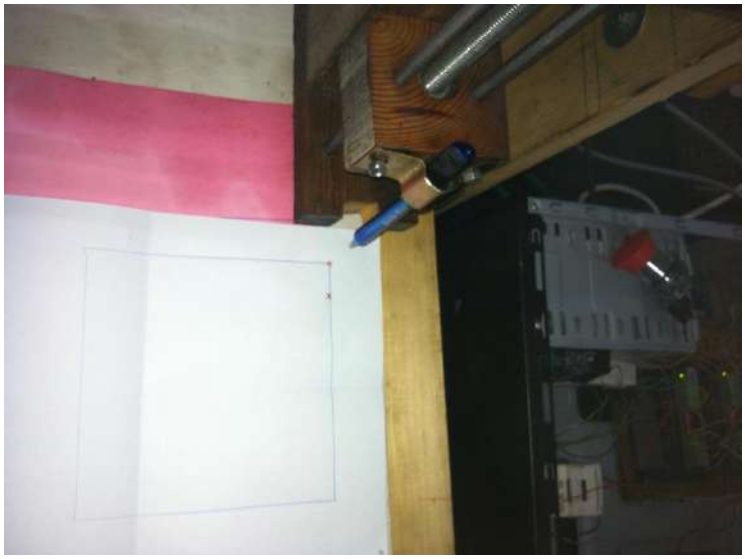


Figure IV.22. Dessin d'un carré avec la machine CNC

Exemple de cercle : la **Figure IV.23.** Représenté Dessin d'un cercle avec la machine CNC

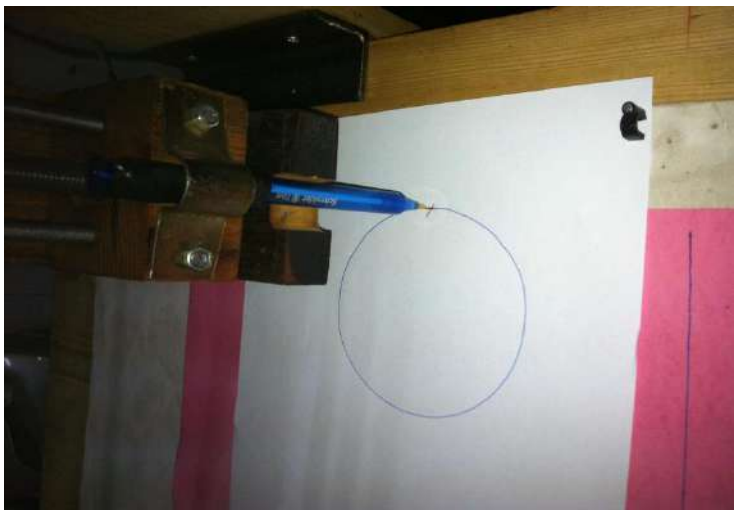


Figure IV.23. Dessin d'un cercle avec la machine CNC

IV.3. Conclusion

A partir de cette réalisation on a monté et installer la machine, et on a traite cette dernière en détail on a étudié chaque élément séparément.

On a travaillé également le câblage de la machine, ainsi qu'on a proposé trois exemples simples pour expliquer le fonctionnement de la machine CNC.

Conclusion générale :

Le domaine des machines CNC est très riche et très demandé dans le marché la machine CNC à 3 axes. Cela est dû à la grande importance des MOCN car ces dernières permettent de faire des multitudes d'opérations sur les matériaux come le sculptage, fraisage, moulage …etc.

L'objectif de ce travail est l'étude et réalisation de la machines à outil à commande numérique MOCN. Pour cela nous avons utilisé 3 moteur pas à pas bipolaire, 3 carte de driver, une alimentation, et l'interrupteur de fin de course et la commande est réalisé autour du logiciel MACH3.

Ce travail, nous a permis d'avoir une idée approfondie sur les machines outil à commande numérique MOCN ainsi qu'un aperçu sur la programmation software des MOCN

Après la réalisation pratique et partir des résultats obtenus après les tests avec MACH 3, on peut conclure que la précision de la machine peut être améliorée car cette dernière dépend de plusieurs paramètres parmi lesquelles :

- La qualité du matériau de construction :
  - Notre prototype est réalisé en bois, nous aurons surement obtenu des résultats encore plus précis en utilisant par exemple de l'aluminium.
- La fixation du moteur pas à pas :
  - La fixation adoptée des moteurs présents problèmes et en résultent des vibrations ce qui influe sur la précision de la machine (fraisage /perçage..).

Enfin pour terminer, on peut dire que de nombreuses perspectives peuvent être envisagées pour faire suite à ce travail, dans les deux volets :

- Soit au niveau du matériel, donc de préférence utilise l'aluminium ;
- Soit au niveau du software pour l'amélioration et prévoir d'autre mode de conduite; et Enfin au niveau de nombre d'axes, il est possible d'ajouter une axes ou plus.

References bibliographique

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

[2] Philippe DEPEYRE, Fabrication mécanique, Université de la Réunion, Année 2004-2005

[3] AFNOR - Commande numérique des machines, format de programme et description des mots adresses, partie 3 : codage des fonctions auxiliaires M - octobre 1988

[4] A. Capiliez, Le Mémotech de « génie mécanique » (collection Educalivre, éditions Casteilla, 1993)

[5] Site web: http://www.moteur-industrie.com/moteurs-pas-a-pas/technique.html

[6] Livre : Moteur pas à pas et PC 2eme Edition, Patrice OGUIC, Edition Dunod, Paris 2004.

[7] site web : http://www.soprolec.com/catalog/commande-moteur-driver-pas-pas-driver-micro-pas-50v42a-p-31.html 19 août 2006 [consulté le 19 août 2006]

[8] Manuel: Economical Microstepping Driver Manual

[9] Livre : Architecture et technologie des ordinateurs, P.ZENELLA et Y.LIGIER, Edition Dunod, 1998.

[10] Site web : http://sitelec.org/cours/abati/centronic.htm

[11] Livre : Fascicule de travaux pratiques: Communication entre deux ordinateurs

[12] cour pdf :La détection de position/proximit_ http://www.etsmtl.ca

[13] Programmation des Machines-Outils à Commande Numérique Université De Tunis I

[14] site web : http://forum.arduino.cc/index.php?topic=234008.0

[15] MACH 3 Un guide utilisateur pour l'installation, la configuration et les opérations

[16] http://www.kitcnc.com/content/9-le-g-code

[17] http://www.linuxcnc.org/docs/devel/html/gcode/gcode_fr.html#sec:Table-des-index-du-G-code

ANNEXES

Annexes A: Configurations du connecteur P1 : tableaux A

Broche Fonction	Détails
PUL + (+5V) **PUL -**	Signal d'impulsion En mode simple impulsion, chaque front montant sur cette entrée provoque l'avance d'un pas. Suivant l'application du signal sur l'entrée PUL+ ou PUL-, l'entrée sera active de 4 à 5V ou de 0 à 0.5V. En mode CW/CCW, l'entrée est utilisée pour avancer d'un pas dans le sens CW. La durée minimum des impulsions est de 1.5µs. Pour une utilisation avec des signaux de commande supérieure à 5V, une résistance série additionnelle est nécessaire.
DIR + (+5V) **DIR -**	Entrée DIR: En mode mono-impulsion, cette entrée permet de sélectionner le sens de rotation. En mode CW/CCW (configuration du mode par le cavalier J3 dans le boîtier), , l'entrée est utilisée pour avancer d'un pas dans le sens CCW. Pour assurer des mouvements de qualité, un changement de direction doit être suivi d'une temporisation de 5ms minimum avant l'envoie des impulsions.
ENA + (+5V) **ENA -**	Entrée Enable: Cette entrée est utilisée pour activer/désactiver l'alimentation du moteur. A +5V, la puissance est activée. A 0V, la puissance est désactivée. Si cette entrée n'est pas raccordée, la puissance est activée.

Remarque: Par défaut, les drivers sont configurés en mode PULSE/DIRECTION.

Annexes B: Configurations du Connecteur P2 tableaux b

Broche Fonction	Détails
+ V	Alimentation moteur DC, +20VDC à +50VDC.
GND	Masse de l'alimentation.
A +, A-	Phase Moteur A
B +, B-	Moteur Phase B

Annexes C: Sélection de la résolution micro pas .

La résolution micro pas et spécifiée par les DIP Switch 5, 6, 7, et 8 suivant la table ci-dessous:

Micro pas	Pas / tour. (Pour 1,8 ° moteur)	SW5	SW6	SW7	SW8
2	**400**	OFF	ON	ON	ON
4	**800**	ON	OFF	ON	ON
8	**1600**	OFF	OFF	ON	ON
16	**3200**	ON	ON	OFF	ON
32	**6400**	OFF	ON	OFF	ON
64	**12800**	ON	OFF	OFF	ON
128	**25600**	OFF	OFF	OFF	ON
5	**1000**	ON	ON	ON	OFF
10	**2000**	OFF	ON	ON	OFF
20	**4000**	ON	OFF	ON	OFF
25	**5000**	OFF	OFF	ON	OFF
40	**8000**	ON	ON	OFF	OFF
50	**10000**	OFF	ON	OFF	OFF
100	**20000**	ON	OFF	OFF	OFF
125	**25000**	OFF	OFF	OFF	OFF

Annexes D: Réglage du courant

courant de crête (A)	Courant RMS (A)	SW1	SW2	SW3
1.0	**0.71**	ON	ON	ON
1.46	**1.04**	OFF	ON	ON
1.91	**1.36**	ON	OFF	ON
2.37	**1.69**	OFF	OFF	ON
2.84	**2.03**	ON	ON	OFF
3.31	**2.36**	OFF	ON	OFF
3.76	**2.69**	ON	OFF	OFF
4.20	**3.00**	OFF	OFF	OFF