

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

FILIERE : ELECTRONIQUE

OPTION : INSTRUMENTATION

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: Abahri wafa

Rebhi wissal

Intitulé

ETUDE ET REALISATION D'UNE MACHINE
OUTIL « MOCN »

Soutenu devant le jury composé de:

BAKHTI Elhadi	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
TABBAKH Mostefa	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
DJERIOUI Mohamed	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année universitaire : 2021 / 2022

REMERCIEMENTS

« *Au nom d'Allah le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux* »

Nous remercions **Allah**, le tout puissant de nous avoir Pour nous avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce mémoire. Symbole de notre accomplissement scientifique.

Nous adressons nos sincères remerciements à Monsieur **TABBAKH Mostefa**, notre encadreur, pour ses conseils et ses recommandations tous le long de la rédaction et des recherches de ce manuscrit.

Nous sommes très reconnaissantes aux membres du jury, le professeur Mr. **BAKHTI Elhadi**, et Mr **DJERIOUI Mohamed**, qui nous ont fait l'honneur d'examiner notre travail. Nous les remercions pour le temps et l'attention qu'ils ont consacrée à la lecture de notre manuscrit et pour les nombreuses améliorations qu'ils y ont apportées.

Nous plus sincères remerciements à tous nos enseignants de la spécialité instrumentation chacun par son nom.

Nos vifs remerciements à nos collègues du département d'électronique et plus spécialement ceux de la spécialité **instrumentation** de l'université de Mohamed Boudiaf de M'sila promotion **2022**.

Pour finir, nous tenons à remercier toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Wafa & Wissal

Dédicace

A mes très chers parents.

A mes frères et sœurs

*A toute Ma famille **ABAHRI**,*

A tous Mes camarades

A tous ceux que je connais et qui me sont chers

Je dédie ce travail.

ABAHRI Wafa

Dédicace

A mes très chers parents.

A mes frères et sœurs

*A toute Ma famille **REBHI**,*

A tous Mes camarades

A tous ceux que je connais et qui me sont chers

Je dédie ce travail.

REBHI WISSAL

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : GENERALITES SUR L'ASSERVISSEMET	3
I.1. INTRODUCTION	3
I.2. PRINCIPE.....	3
Notion de système asservi.....	4
I.3.Principaux éléments d'une chaîne d'asservissement.....	5
I.4.Les système en boucle ouverte et boucle ferméeI.....	5
4.1. Système en boucle ouverte.....	5
I.4.2. Système en boucle fermée	6
I.5. Schéma fonctionnel d'un système de commande en boucle fermée	7
I.6. Performance d'un système	8
I.6.1. La rapidité.....	8
I.6.2. La stabilité	10
a) Système stable.....	10
b) Système oscillant	10
c) Système instable.....	11
I.6.3. La précision.....	11
CONCLUSION.....	12
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES MACHINES-OUTILS A COMMAN NUMERIQUE	
II.1. INTRODUCTION.....	14
II.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE MACHINE NUMERIQUE.....	14
II.3. PROCESSUS D'ELABORATION D'UNE PIECE.....	14
II.4. NOTION SUR LES SYSTEMES CAO/FAO	15
II.4.1. Conception assisté par ordinateur CAO	15
4.1.1. Définition	15
4.1.2. Technique de représentation en CAO.....	16
4.1.2.1. Modélisation fil de fer	16
4.1.2.2. Modélisation surfacique	16
4.1.2.3 Modélisation solide	16
II.4.2. Fabrication assisté par ordinateur FAO	16
4.2.1. Définition	16
4.2.2. Les avantages de la FAO.....	16
4.2.3. Les outils de la FAO	17
II.5. Les différents types de MOCN	17
II.5.1. Le perçage.....	17
II.5.2. Le fraisage	17
II.5.3. Le tournage.....	17
II.5.4. Le filetage	18
II.5.5. L'alésage.....	18

II .6. Classification des MOCN.....	18
II .6.1. Classification de MOCN selon le mode de fonctionnement.....	18
II .6.1.1. Fonctionnement de boucle ouvert	18
II .6.1.2. Fonctionnement en boucle fermé.....	19
II .6.2. Classification des MOCN selon le mode d'usinage.....	19
II .6.2.1. Commande numérique point à point.....	19
II .6.2.2. Commande numérique par axiale	20
II .6.2.3. Commande numérique de contournage.....	20
II .6.3 Classification des MOCN selon le nombre d'axe.....	21
II .7 Définitions et structure physique de la MOCN	21
II .7.1 Partie opérative.....	22
II .7.2 Partie commande	23
II .8 CONCLUSION	23

CHAPITRE III : LES MOTEURS PAS A PAS

III. INTRODUCTION.....	25
III. I. Les Moteurs pas à pas.....	25
III. I.1. Définition.....	25
III. I.2. Les différents types de moteur pas à pas.....	27
III. I.2.1. Moteur pas à pas à aimants permanent	27
III. I.2.1.1. Moteur à aimant permanent bipolaire.....	27
III. I.2.1.2. Moteur à aimant permanent unipolaire	28
Avantages du moteur à aimant permanent	28
Inconvénients du moteur à aimant permanent.....	28
III. I.2.2 Moteur pas à pas à reluctance variable	29
Caractéristiques principales	29
III. I.2.3. Moteur pas à pas hybrides	30
Avantages du moteur pas à pas hybride	30
Inconvénients du moteur pas à pas hybride	30
III. I.3 Comparaison des performances des 3 types de moteurs pas à pas.....	30
III. I.4 Schéma bloc du contrôle d'un moteur pas à pas.....	32
III. I. 5. Principe de commande d'un moteur pas à pas	33
III. I.6. Commande PWM	34
III. I.6.1. PWM.....	34
III. I.6.2 Principe générale	34
III. I.7. Modélisation d'un moteur pas à pas	34
III. CONCLUSION.....	35

CHAPITRE IV : REALISATION DE L'IMPRIMANT CNC

IV.1 INTRODUCTION	37
IV.2 CONSTITUTION DE LA MACHINE-OUTIL.....	37
IV.3. Paramétrages de la machine CNC.....	39
IV.4. GRBL	40
IV.5 INKSCAPE ET L'EXTENSION G-CODETOOLS	40

IV.6. UNIVERSAL G-CODE SENDER	40
IV.7. Simulation et test du programme sous porteuse.....	41
IV.8 Fabrication de l'imprimante CNC.....	42
IV .9. ASSEMBLAGE FINAL DE L'IMPRIMANTE CNC.....	44
IV .9.1. TEST D'IMPRESSION	45
IV .9.2. Résultats d'impression.....	46
IV. Conclusion.....	48
CONCLUSION GENERALE	49
BIBLIOGRAPHIE.....	52
<u>Abstract</u>.....	55

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Schéma bloc élémentaire.....	4
Figure I.2. Schéma fonctionnel d'un système asservi.....	4
Figure I.3. Schéma bloc d'un système en boucle ouverte.....	6
Figure I.4. Schéma bloc d'un système en boucle fermée avec un retour unitaire	6
Figure I.5. Schéma fonctionnel d'un système de commande.....	7
Figure I.6. Diagramme montrant la consigne et la réponse du système.....	8
Figure I.7. Diagramme montrant le temps de réponse du système.....	9
Figure I.8. Diagramme montrant la stabilité.....	10
Figure I.9. Diagramme montrant la stabilité.....	10
Figure I.10. Diagramme montrant un système oscillant.....	10
Figure I.11. Diagramme montrant un système instable.....	11
Figure I.12. Diagramme montrant la précision d'un système.....	11
Figure II.1. Fonctionnement en boucle ouvert	18
Figure II.2. Commande en boucle fermée.....	19
Figure II.3. Commande Numérique Point A Point	20
Figure II.4. Commande Praxiale... ..	20
Figure II.5. Commande numérique de contournage.....	21
Figure II.6. Structure d'une machine à commande numérique.....	22
Figure II.7. Eléments de partie opérative	23
Figure. III.1. Moteur pas à pas... ..	26
Figure III.2. Piloter un moteur pas à pas par ARDUINO... ..	26
Figure. III.3. schéma d'un moteur PAP bipolaire à aimant permanent	27
Figure. III.4. schéma moteur pas à pas unipolaire.....	28
Figure. III.5. schéma de base moteur à reluctance variable.....	29
Figure III.6. Schéma bloc du contrôle d'un moteur pas à pas	32
Figure III.7. Principe de commande d'un moteur pas à pas	34
Figure. IV.1. architecture d'une machine-outil à commande numérique.....	37
Figure IV .2. Fonctionnement d'une Commande Numérique.....	38
Figure IV .3. Chaîne d'information d'une machine CNC	38
Figure IV.4. Organigramme d'un programme ARDUINO pour la commande des moteurs	39
Figure IV.5. Interface inkscape.....	40
Figure: IV.6. Universal Gcode sender	41
Figure IV.7. Montage électronique de la partie ARDUINO-MOTEURS dans Proteus... ..	41
Figure IV.8. Schème synoptique de la partie électronique de l'imprimante CNC	42
Figure IV.9. Photo d'assemblage les éléments nécessaires à la réalisation du projet.....	42
Figure IV.10. Photo d'assemblage de la partie électronique de l'imprimante CNC	43
Figure IV.11. Photo de différentes parties mécaniques de l'imprimante CNC	44
Figure : IV.12. Début de l'assemblage de l'imprimante CNC	44
Figure IV.13. Assemblage final de l'imprimante CNC	45

Figure IV.14. Simulation d'usinage avec UNIVERSAL G-CODE SENDER.....	46
Figure. IV.15. Programme Gcode pour tracer un Dessin.....	46
Figure IV.16. Résultat d'usinage.....	47

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU III 1. Caractéristique type de moteur pas à pas	31
--	-----------

Liste des abréviations

CNC : Commande numérique par ordinateur

MOCN : Machine outil à commande numérique

BF : Boucle fermée

BO : Boucle ouverte

FAO : La fabrication assistée par ordinateur

CAO : Conception assistée par ordinateur

BAP : Bipolaire à aimant permanent

UGS: universal G-code sender

PWM: Pulse width modulation

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'automatisation consiste à *rendre automatique* les opérations qui exigeaient auparavant l'intervention humaine. Un automatisme est un sous-ensemble d'une machine destinée à remplacer l'action de l'être humain dans des tâches en générales simples et répétitives, réclamant précision et rigueur. Dans l'industrie, les automatismes sont devenus indispensables, elles sont rapides, précises et réalisent des actions difficile ou dangereuse pour un être humain [1].

Les machines-outils sont un exemple parfait de l'industrie automatisé. Leurs utilisations demandent répétitivité, rapidité, précision et rigueur. Les machines-outils à commande numérique sont maintenant utilisées dans toutes les usines de fabrications mécaniques et sont accessibles aux petites et moyennes entreprises. La connaissance de ces machines est devenue nécessaire dans l'industrie en générale [1, 2].

De nos jours, les machines-outils à commande numérique ou par ordinateur (MOCN ou CNC) permettent une production économique et rentable. Le contrôle des coûts reste une préoccupation importante. La diminution des quantités des séries et le raccourcissement de la longévité des produits finaux demandent des déroulements de production de plus en plus flexibles [1-4].

L'idée principale derrière ce mémoire est d'étudier les principes de commande et de fabrication de la machine-outil, dans le but de concevoir et de mettre en œuvre un système accessible et peu coûteux dans des dimensions raisonnable et une interface facile à utiliser. Basé sur l'utilisation de l'ordinateur, un ARDUINO et trois moteurs pas à pas. Pour permettre à notre étude d'être logique et pédagogique, ce mémoire est structure comme suit :

Le premier chapitre donne un aperçu théorique sur les systèmes à commande. On illustre les principes de l'asservissement tel que les systèmes en boucle ouvert et en boucle fermé, les notions de stabilité de précision et de rapidité des critères indispensable lors de la réalisation d'un système commandable.

Le second chapitre, est consacré aux machines-outils à commande numérique (MOCN). On met en évidence les différents types de machines MOCN, leur principe et la structure générale de la machine ainsi que, les éléments nécessaire pour sa réalisation et sa commande.

L'avant dernier chapitre illustre un élément clé de la machine MOCN, nous voulons parler du moteur pas à pas. Un élément moteur indispensable pour assurer la rapidité, la précision et la rigueur. Assurant ainsi les critères de base de l'automatisme.

Le quatrième et dernier chapitre est dédié à la machine Imprimante CNC réalisé après étude et conception. Ce chapitre est divisé en deux parties. La première partie est consacrée aux différents

INTRODUCTION GENERALE

softwares utilisés pour la commande de la machine. La seconde partie illustre la machine imprimante CNC réalisé. On archive cette réalisation par des photos mettant en évidence les différentes étapes qui était nécessaire à la réalisation de l'imprimante CNC.

CHAPITRE I

GENERALITES

SUR

L'ASSERVISSEMET

I.1. INTRODUCTION

Un système est une structure composée d'éléments (physique) qui interagissent pour accomplir une fonction particulière. De la conception à la réalisation, le système contient ses particularités. Les grandeurs physiques que vous contrôlez ou ajustez sont appelées grandeurs de base ou variables.

Lorsqu'un système est asservi, il est forcé d'effectuer des tâches liées à cette fonction, et aucune autre tâche n'est effectuée. Pour obtenir les performances souhaitées, vous devez envoyer une commande (point de consigne) au système. L'accès au système s'effectue via des variables ou des variables d'entrée.

L'environnement du système affecte le comportement du système et donc sa sortie. Ces perturbations sont considérées comme entrées par le système. Celles-ci sont appelées entrées secondaires ou simplement perturbations. [5]

Dans ce chapitre nous allons décrire les bases de la commande et de l'asservissement ainsi que et les différents principes permettant de commander une machine MOCN avec précision.

I.2. PRINCIPE DE SYSTEME ASSERVISSEMENT

Le principe de base de l'asservissement est de mesurer l'écart entre la valeur réelle de la grandeur physique à contrôler et la valeur de consigne à atteindre, et de calculer la commande correspondante appliquée à un ou plusieurs actionneurs pour réduire l'écart. [5] Le contrôle affecte certaines propriétés de la quantité contrôlée, tel que :

- Position : contrôle de position
- Vitesse : contrôle de la vitesse

Un système asservi est un système capable d'effectuer plusieurs opérations sans intervention de l'homme, et qui ne peuvent lui être confié pour les raisons suivantes :

- Précision
- Caractère pénible des tâches à effectuer dans certains environnements.
- Complexité.
- Répétitivité

L'automatisation est également souvent une réponse de besoin d'amélioration de la productivité d'un produit. [10]

NOTION DE SYSTEME ASSERVI

Un système peut être défini comme un ensemble d'éléments exerçant collectivement une fonction déterminée. Il est caractérisé par ses grandeurs d'entrée et de sortie.

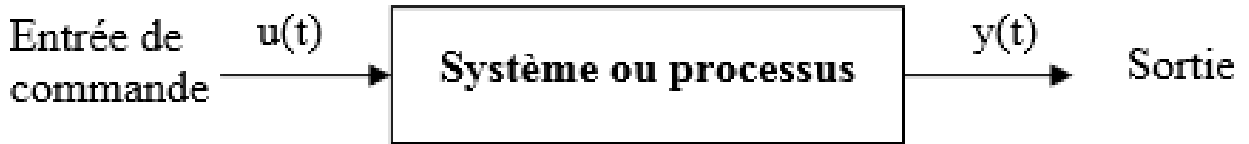


Figure I.1. Schéma bloc élémentaire

Un système est dit asservi lorsqu'une grandeur de sortie suit la grandeur d'entrée (consigne) quelque soient les effets perturbateurs extérieurs.

- Lorsque la consigne d'un système asservi est indépendante du temps, on parle de régulation.
- Lorsque la consigne d'un système asservi dépend du temps, on parle d'asservissement (poursuite). [8]

Le système asservi le plus simple correspond au schéma de la figure 1.2.

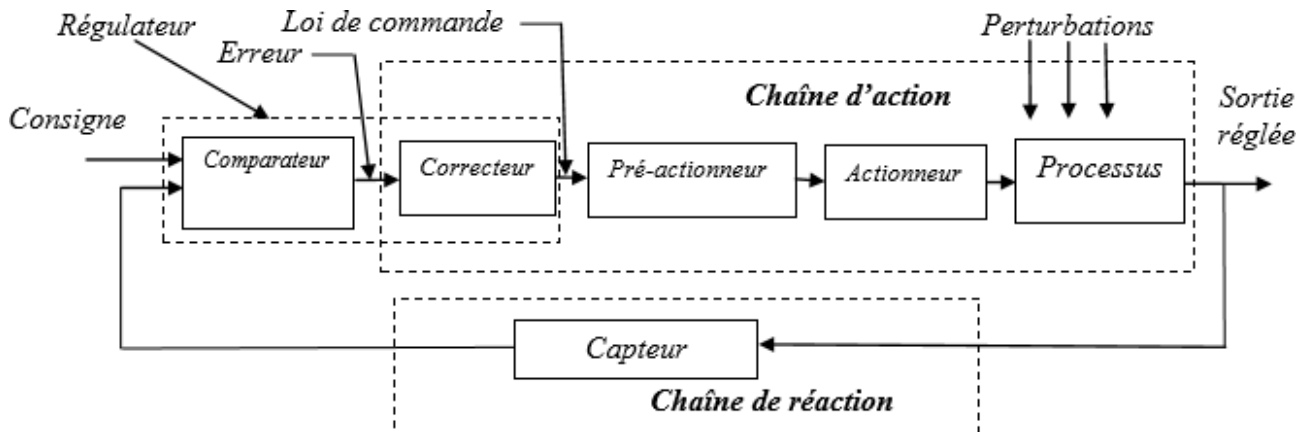


Figure I.2. Schéma fonctionnel d'un système asservi

On distingue le processus, un actionneur qui est l'organe fournissant la puissance à partir du signal de commande élaboré par le correcteur, et un comparateur qui compare la valeur de la variable de sortie du processus mesurée par un capteur à la valeur de la consigne.

Cette structure fait intervenir deux chaînes, une chaîne d'action et une chaîne de retour. Ce type de système est appelé aussi système bouclé ou système en boucle fermée (BF). Dans le cas contraire, il a aucune rétroaction de la sortie du système sur son entrée, On parle de système non bouclé ou système en boucle ouverte (BO). [8]

La boucle fermée est capable de :

- Stabiliser un système instable en BO ;
- Compenser les perturbations externes ;
- Compenser les incertitudes internes au processus lui-même. La figure suivante présente le schéma fonctionnel d'un système asservi.

I.3 PRINCIPAUX ELEMENTS D'UNE CHAINE D'ASSERVISSEMENT

Partie commande ou régulateur : le régulateur e compose d'un comparateur qui détermine l'écart entre la consigne et la sortie mesurée et d'un correcteur élabore à partir d'un signal d'erreur $\varepsilon(t)$ l'ordre de commande de $u(t)$: C'est l'organe intelligent du système.

Actionneur : c'est l'organe d'action qui apporte l'énergie au système pour produire l'effet souhaité

Capteur : c'est l'organe qui prélève sur le système la grandeur asservie et la transforme en un signal compréhensible par le régulateur.

Entrée consigne : La consigne et l'entrée de référence, c'est la grandeur régulant du système.

Sortie régulée (asservie) : la sortie régulée représente le phénomène que doit réguler. C'est la grandeur physique pour laquelle la sortie a été conçue.

Perturbation : on appelle perturbation tout phénomène physique intervenant sur le système qui modifie l'état de la sortie un système régulé doit pouvoir maintenir la sortie à son niveau indépendamment de la perturbation.

Ecart (erreur) : c'est la différence entre la consigne et la sortie. Cette mesure ne peut être réalisée que sur les grandeurs comparables. On la réalisera donc en général entre la consigne et la mesure de sortie. [9]

I.4 SYSTEME EN BOUCLE OUVERTE ET BOUCLE FERMEE

I.4.1. Système en boucle ouverte

Un système en boucle ouvert est un système entrée/sortie (E/S). On applique une consigne au système sans pouvoir le commander. Dans le cas de l'apparition d'un défaut, le système à boucle ouvert est non commandable et ne peut corriger les erreurs ou les écarts apparues et affecte la précision. Enfin, le système en boucle ouverte ne compense pas les signaux parasites, et la figure montre un schéma fonctionnel du système en boucle ouverte [6].

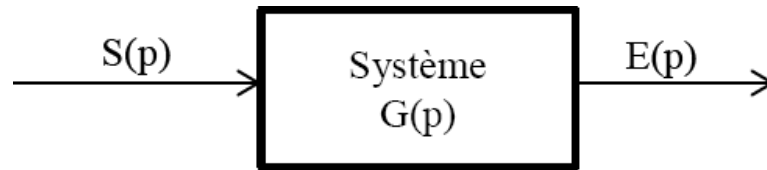


Figure. I. 3. Schéma bloc d'un système en boucle ouverte

Dans ce dernier cas, le comportement du processus est décrit par la relation :

$$S(p) = G(p) E(p)$$

S : grandeur réglée (sortie)

E : grandeur réglant (entrée)

$G(p)$: fonction de transfert

La figure I.3 donne une structure de commande en boucle ouverte, cette structure présente les inconvénients suivants :

- Correction impossible : n'ayant aucune information sur les sorties, l'opérateur ne peut élaborer aucune stratégie d'ajustement pour obtenir la sortie désirée.
- Sensibilité aux perturbations : en admettant que la sortie soit conforme à la consigne. La perturbation peut, à un moment donné, affecter la sortie. [10]

I.4.2. Système en boucle fermée

Un système boucle fermée est un système à réaction suite à une action. Il permet de stabiliser un système instable en boucle ouverte. Avec le contrôle en boucle fermée, une grande partie de la perturbation est automatiquement compensée par le retour du processus. L'utilisation de la rétroaction est un principe de base de l'automatisation. Les commandes appliquées au système sont exécutées en fonction des paramètres et de la sortie. [6]

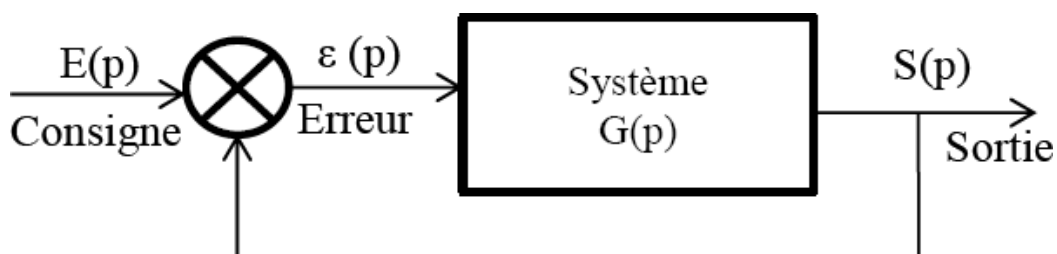


Figure. I.4 Schéma bloc d'un système en boucle fermée avec un retour unitaire

Dans ce dernier cas, le comportement du processus est décrit par la relation :

$$HBF(p) = G(p) / 1 + G(p)$$

HBF : fonction de transfert en boucle fermée

E : grandeur réglant (consigne)

S : grandeur réglée: erreur

$$\varepsilon : \text{erreur} = E(p) - S(p)$$

I.5 SCHEMA FONCTIONNEL D'UN SYSTEME DE COMMANDE EN BOUCLE FERMEE

La structure générale d'un système de commande est donnée par la figure (I.5) :

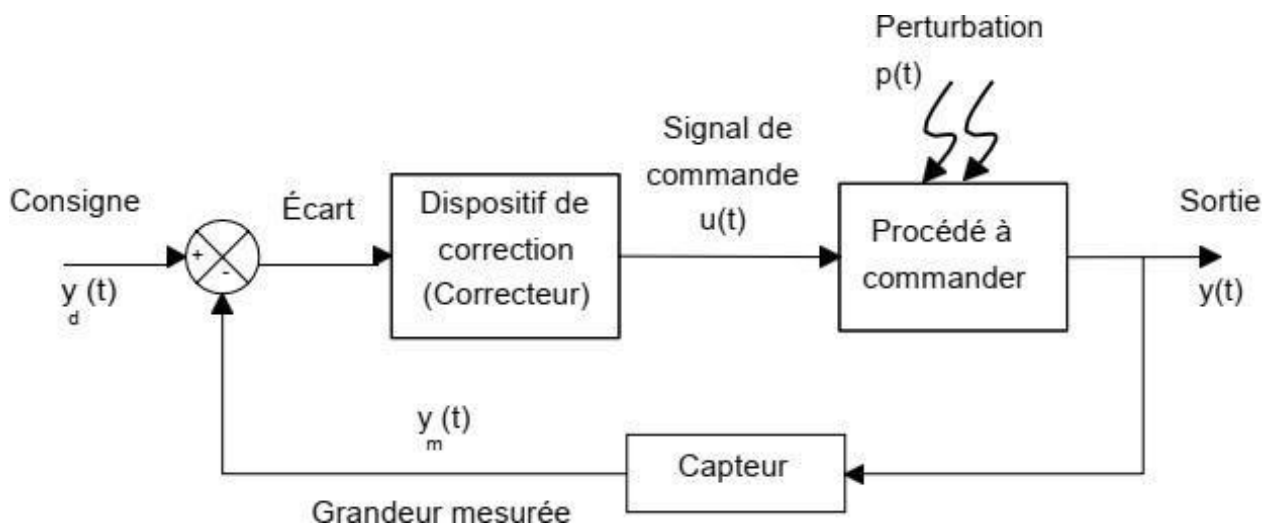


Figure I.5. Schéma fonctionnel d'un système de commande.

Comme l'indique le schéma, la commande d'un système fait appel à une diversité de composants qui sont :

- Correcteur : élabore le signal de commande $u(t)$ à partir de la consigne d'entrée $y_d(t)$ et de la mesure $y_m(t)$. C'est l'organe "intelligent".

- Capteur : délivre à partir de la sortie une grandeur caractérisant l'observation. Organe de transformation d'une grandeur physique à une grandeur de type électrique (capteur de température, de position, de vitesse, ...).

- Procédé à commander : évolue suivant des lois qui lui sont propres. Sa sortie peut fluctuer en fonctions des perturbations extérieures, en général imprévisibles.

– Perturbation: grandeur physique modifiant la sortie indépendamment de l'entrée. La chaîne faisant passer de la consigne à la sortie est appelé chaîne d'action, la chaîne de retour permettent d'aller de la sortie au comparateur s'appelle chaîne de retour ou boucle de retour. [10]

Un objectif majeur de l'automatique est la conception des lois de commande destinées à élaborer le signal de commande $u(t)$ et ceci pour maîtriser un certain nombre de sorties de grandeurs physiques :

- Le courant ou la tension de sortie d'une source.
- La vitesse de rotation d'un moteur.
- La température d'un local.
- Le pilotage d'un navire.
- Ces lois sont mises en œuvre par des systèmes concrets analogiques numériques représentés par des schémas blocs.
- Un bloc de commande a pour sortie le signal de commande $u(t)$ il a pour entrer d'une part le signal de consigne (référence) d'autre part le signal de sortie mesuré $y(t)$.

Le système global constitué du processus à contrôler et de système de commande constitue un système en boucle fermée. [9]

I.6. PERFORMANCE D'UN SYSTEME

I.6.1. La rapidité

C'est la capacité du système à atteindre l'état d'équilibre le plus rapidement possible. La vitesse du système est définie par son temps de réaction t_r (plus t_r est petit, plus le système est rapide). La Figure I.6 représente le diagramme des réglages et la réponse du système.

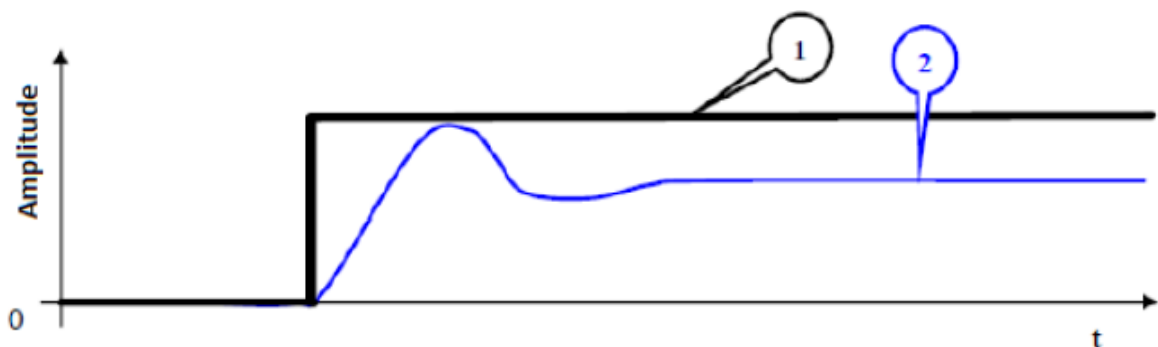


Figure.I.6. Diagramme montrant la consigne et la réponse du système

La courbe (1) représente les réglages et la courbe (2) représente la réponse du système.

Pour déterminer le temps de réponse d'un système :

- on trace une droite à 95% de la valeur finale (3);
- on trace ensuite une droite à 105% de la valeur finale (4).

La figure I.6 représente le diagramme du temps de réponse du système. [7]

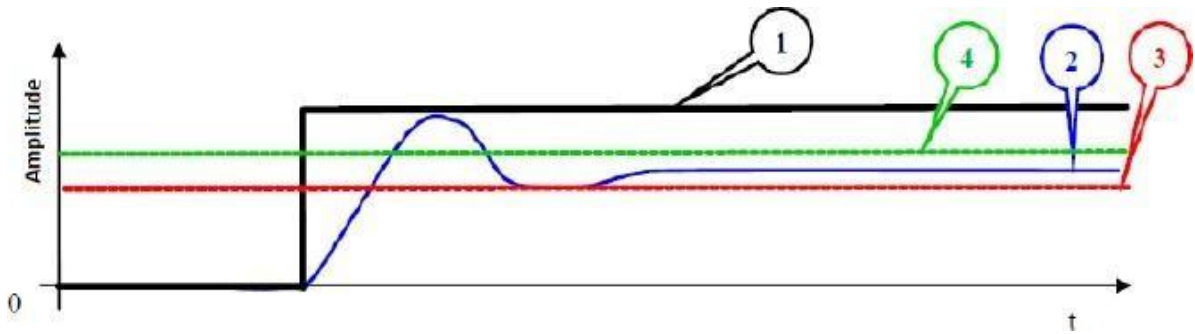


Figure I.7. Diagramme montrant le temps de réponse du système

1 : consigne.

2 : valeur finale du système.

3 : droite à 95% de la valeur finale.

4 : droite à 105% de la valeur finale.

Le temps de réponse à 5 % correspond à la différence entre le temps t_2 (temps à partir duquel la courbe entre dans l'intervalle [95% ; 105%] sans en sortir) et le temps t_1 (temps à partir duquel la consigne est active). La figure I.8 représente le diagramme du temps de réponse.

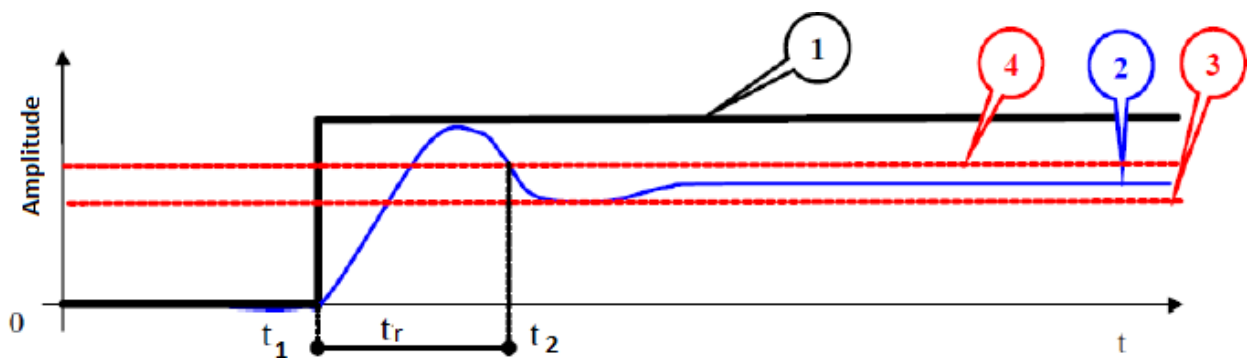


Figure I. 8. Diagramme représentant le temps de réponse

I.6.2 La stabilité

a) Système stable

Le système est stable si les entrées restreintes correspondent aux sorties restreintes, c'est-à-dire si les réglages sont constants. La sortie tend à se rapprocher de la constante. C'est dans la Figure I.9 ci-dessous.

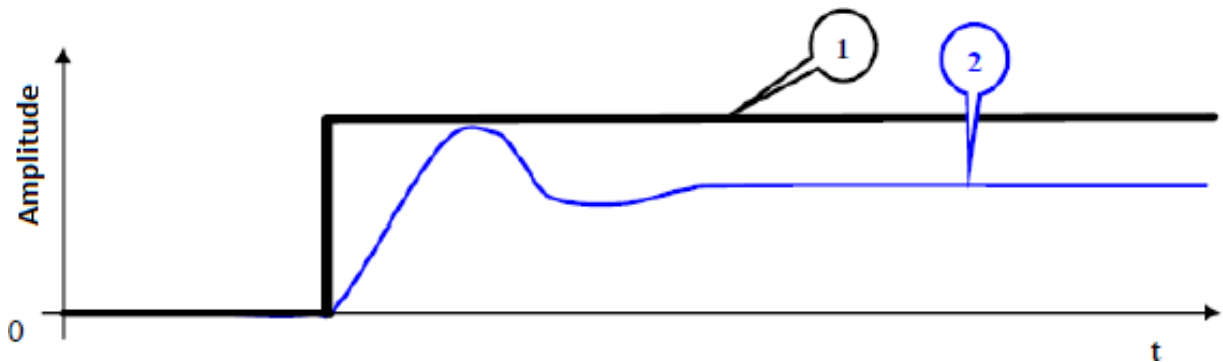


Figure I.9. Diagramme montrant la stabilité

1 : consigne. 2 : système stable.

b) Système oscillant

Un système oscillant est un système pouvant évoluer alternativement de part et d'autre d'une position d'équilibre représenté sur la Fig. I.10 ci-dessous. [7]

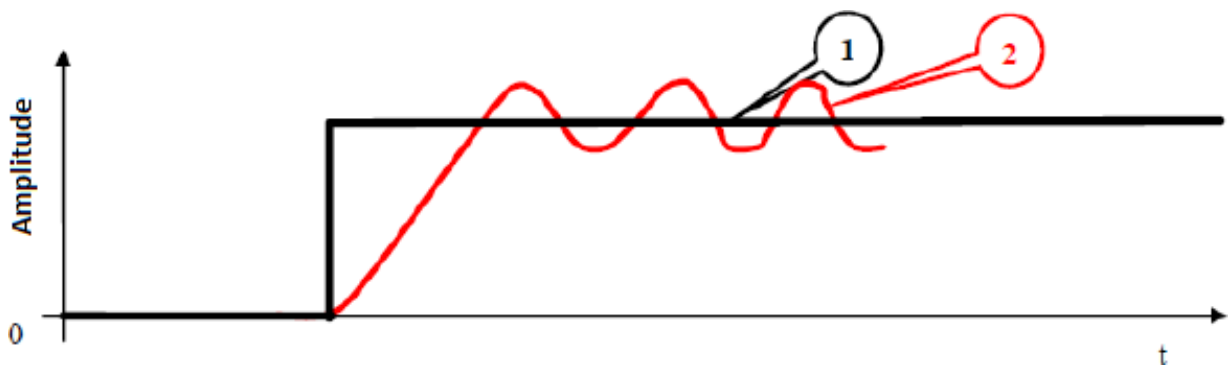


Figure I. 10. Diagramme montrant un système oscillant

1 : consigne. ; 2 : Système oscillant.

c) Système instable

Le système instable est représenté sur la Figure. I.11 ci-dessous.

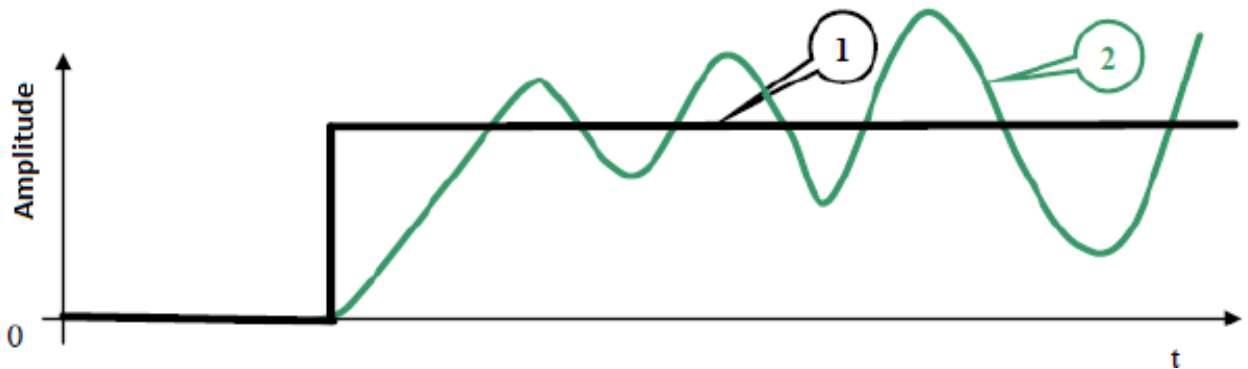


Figure I.11. Diagramme montrant un système instable

1 : consigne ; 2 : système instable.

I.6.3 La précision

C'est la capacité du système à se rapprocher le plus possible de la valeur de consigne. L'erreur s'exprime en pourcentage de la valeur de consigne représenté sur la Figure. I.12. [7]

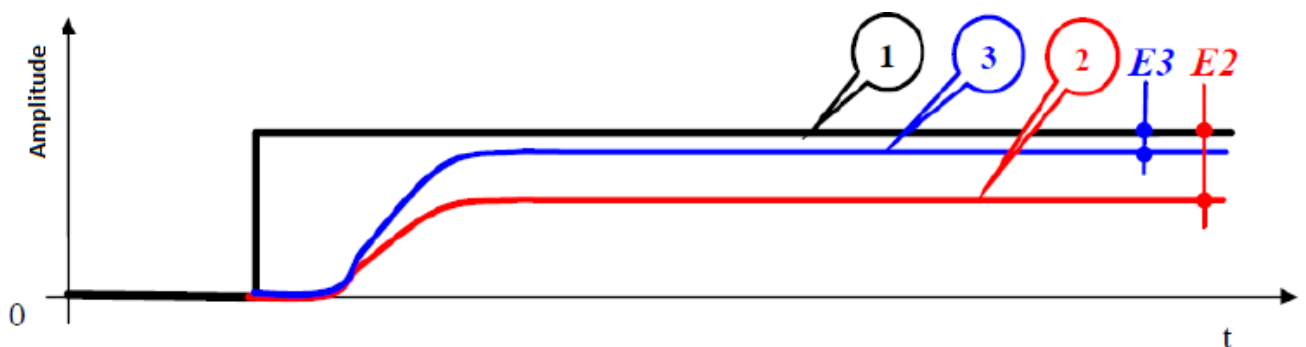


Figure I.12. Diagramme montrant la précision d'un système

1 : consigne

2 : système peu précis.

3 : système précis.

E2 : erreur statique liée à la courbe 2.

E3 : erreur statique liée à la courbe 3.

I. CONCLUSION

La régulation regroupe l'ensemble des techniques utilisées visant à maintenir constante une grandeur physique appelée *grandeur réglée*. Sa valeur doit être égale à une valeur désirée appelée *consigne* sous l'effet de *perturbations*. Ceci, en agissant sur une autre grandeur physique appelée *grandeur réglant*. La qualité de cette régulation se résume en un *minimum d'écart possible* et le plus *rapidement possible* (économie d'énergie) sans *déstabiliser* la réponse (qualité du produit).

Dans ce chapitre nous avons vu la notion de système de commandes, les notions de système en boucle ouvert et en boucle fermé, les performances, et les objectifs d'un système de commande afin de s'initier à l'identification aussi à la commande des systèmes.

Dans le chapitre qui suit, on aura à décrire les machines-outils à commande numérique MOCN ainsi que les différents types de machines.

CHAPITRE II

GENERALITES SUR LES

MACHINES-OUTILS A

COMMANDE NUMERIQUE

II.1 INTRODUCTION

Les machines-outils sont des machines conçues pour effectuer l'usinage et d'autres tâches répétitives avec une précision et une puissance raisonnables. C'est un moyen de production destiné à tenir des outils fixes, mobiles ou tournants et à donner du mouvement à des machines ou à déformer des pièces ou des ensembles fixes ou fixés à une table mobile.

Les machines-outils à commande numérique sont entraînées par des moteurs pas à pas. Ce dernier permet de convertir directement des signaux électriques numériques en positionnement angulaire de nature incrémentale.

Ce deuxième chapitre donnera un aperçu sur les machines-outils ainsi que leur principe de fonctionnement et les différents types de Machines-outils à commande numérique MOCN (machines-outils à commande numérique)

II .2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE MACHINE NUMERIQUE

Les machines CNC sont devenues un moyen de production indispensable dans l'industrie. Ils permettent des cadences de production élevées et permettent d'obtenir facilement des surfaces complexes (comme des formes arrondies). [4]

II.3. PROCESSUS D'ELABORATION D'UNE PIECE

Le développement de pièces usinées nécessite de fortes interactions entre de nombreuses activités, et à chaque étape il est nécessaire de pouvoir assurer la conformité des composants et le respect des spécifications. Comme nous le verrons plus loin, ce processus est particulièrement intéressant dans son ensemble car il combine une activité numérique et physique sophistiquée. [12]

Phase 1 – Analyse et approbation des dessins techniques de la pièce à usiner

Avant d'entamer l'usinage d'une pièce, il est important de s'assurer de la qualité des plans ou dessins techniques sur lesquels se baseront les machinistes.

L'atelier d'usinage auquel le mandat est confié doit donc valider, avec son client, les différentes données figurant sur les dessins techniques qui lui sont fournis. Il doit vérifier que les dimensions, formes, matériaux ou degrés de précision choisis pour chaque partie de la pièce à usiner soient bien indiqués et valides.

Phase 2 – Modélisation ou prototypage de la pièce à fabriquer

Lors de la fabrication de pièces usinées aux formes complexes, il peut être intéressant de réaliser une modélisation informatique ou un prototype de celles-ci. Cela permet d'avoir une

meilleure idée de l'apparence finale qu'aura la pièce à usiner.

Phase 3 – Sélection des techniques d’usinage qui seront utilisées

Selon le matériau choisi pour la pièce et le niveau de complexité de celle-ci, certaines techniques d’usinage peuvent s’avérer plus efficaces que d’autres pour arriver au résultat souhaité.

Divers procédés d’usinage peuvent d’ailleurs être utilisés par les machinistes :

- Le fraisage
- L’alésage
- Le mortaisage
- Le perçage
- La rectification, ...

Phase 4 – Le choix de la machine-outil à utiliser

Les machines-outils manuelles ou CNC qui seront utilisées pour créer une nouvelle pièce doivent être choisies en fonction du niveau de complexité de la pièce et du degré de précision à atteindre.

Phase 5 – Usinage de la pièce par le machiniste

Si toutes les phases précédant celles-ci ont été effectuées correctement, l’usinage de la pièce devrait se faire sans problème. Le machiniste pourra recourir aux outils de coupe manuels et informatiques pour créer sa pièce à partir d’un bloc du matériau choisi et lui donner la finition voulue.

Phase 6 – Le contrôle qualité

Pour s’assurer que la pièce fabriquée correspond en tout point avec les spécifications d’origine de la machine dont elle est une composante mécanique, il est essentiel de contrôler sa qualité. Cela se fait à l’aide de différents tests auxquels peuvent être soumises les pièces et d’outils de mesure comme un micromètre.

II.4. NOTION SUR LES SYSTEMES CAO/FAO**II .4.1 CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR CAO****4.1.1 Définition**

La conception assistée par ordinateur est un ensemble d’outils et de programmes informatiques conçus pour aider les ingénieurs à concevoir des produits. Ces outils sont généralement spécialisés. Il existe une variété d’outils pour la conception et le dessin de bâtiments, le calcul de la résistance des matériaux dans les structures et les assemblages mécaniques, etc. [14]

4.1.2 Technique de représentation en CAO

L'approche CAO consiste à essayer de représenter la pièce ou l'ensemble de pièces en question dans l'espace et en 3D. Cette expression peut être faite en utilisant trois techniques.

4.1.2.1 Modélisation fil de fer

Historiquement, c'est la première modélisation d'un objet 3D qui est apparue. La géométrie est définie uniquement par des éléments de géométrie 2D (lignes, cercles, arcs, courbes, etc.).

4.1.2.2 Modélisation surfacique

C'est historiquement la deuxième méthode sur le marché, mais c'est en fait la première à permettre une approche 3D plus profonde que le rendu filaire. En effet, en modélisation surfacique, les pièces sont décrites à l'aide des surfaces qui composent leur enveloppe.

4.1.2.3 Modélisation solide

Ainsi, si cette technique de définition d'objets est la plus récente sur le marché des systèmes de CAO, les recherches dans ce domaine remontent à la fin des années 1960. Le corps a une apparence 3D homogène, des limites (le corps occupe une quantité finie d'espace) et des limites qui définissent l'intérieur et l'extérieur du volume.

II .4.2 FABRICATIO ASSISTE PAR ORDINATEUR FAO

4.2.1 Définition

La FAO est un outil qui permet la programmation et le contrôle des machines-outils. Il s'agit certainement du même type de machine. Si le post-processeur est bien documenté, le programmeur FAO n'a pas besoin de connaître toutes les fonctionnalités de la commande numérique (MOCN). Pour passer du langage informatique au langage machine, ou post-processeur, chaque machine a besoin d'un programme. L'un des avantages de CAM est que le même programme peut être exécuté sur plusieurs MOCN si les MOCN sont correctement déployés, mais au minimum, cela est recommandé. Lors de la conception d'un post-processeur, vous devez tenir compte des habitudes de travail de votre entreprise. C'est souvent la cause de l'échec, car les éditeurs de publications ne veulent pas toujours être exposés à la culture de l'entreprise. [14]

4.2.2 Les avantages de la FAO

- Réduit le temps de programmation en éliminant la nécessité pour les techniciens d'effectuer des calculs mathématiques.
- Programmation pour l'usinage de pièces complexes réalisées en combinant tours et fraiseuses.

- Prend en charge le développement de programmes et le calcul d'orbite.
- Visualisation fine de l'usinage de la machine-outil pour déterminer l'amplitude de mouvement avant une collision et calculer des temps de cycle très proches des temps de cycle effectués par la machine.

4.2.3 Les outils de la FAO

Parmi les outils de la FAO, nous citons :

- Rhinocam
- Camworks
- Power Mill
- Hyper MILL
- Catia

II.5. LES DIFFERENTS TYPE DE MOCN

De nombreuses techniques complémentaires comme le perçage, le fraisage, le tournage et le filetage, et le L'alésage, pour donner à la matière première une forme précise. [3]

II.5.1. Le perçage

Le forage consiste à percer des trous dans le matériau à l'aide d'un outil de coupe rotatif. Le perçage est un usinage fondamental et stratégique en mécanique. 25% de l'usinage est du perçage. Les trous de perçage peuvent être réalisés avec une perceuse ou une fraise. L'outil est plus ou moins précis, selon le diamètre du trou que vous percez.

II.5.2. Le fraisage

Le fraisage est l'enlèvement de matière de pièces mécaniques pour créer tout type de forme creuse, y compris des rainures, des trous cylindriques et des formes généralement complexes. Moulin avec la fraiseuse attachée à la fraiseuse. Cette machine-outil spéciale est l'un des éléments essentiels de tout atelier d'usinage. Le couteau coupe le matériau en formant des copeaux. La fraiseuse combine les deux mouvements de rotation de la fraise et d'alimentation des pièces à usiner. Les fraiseuses et les tours sont des techniques complémentaires couramment utilisées dans les fraiseuses à tour.

II.5.3. Le tournage

A l'instar d'une fraiseuse, le tournage nécessite l'enlèvement de matière des pièces mécaniques. Cependant, les tours diffèrent des fraiseuses en ce sens qu'ils ne peuvent que tourner. Le produit moulé est fixé avec un mandrin ou une pince. C'est elle qui regarde en arrière. Les outils de

coupe peuvent couper l'intérieur ou l'extérieur d'une pièce en fonction du mouvement d'avance. Les outils utilisés dans les tours permettent le plus souvent d'obtenir des cylindres pleins ou creux, mais on peut aussi obtenir tout type de forme, y compris complexes. Par exemple, les tours peuvent fabriquer des vis, des boulons, etc.

II.5.4. Le filetage

Le filetage consiste à faire une empreinte de fil en spirale dans le trou. En particulier, les filetages permettent de préparer des pièces pour recevoir des assemblages de tiges filetées ou filetés.

II.5.5. L'alésage

L'alésage est la finition précise de l'intérieur d'un cylindre ou d'un corps creux pour obtenir une surface lisse. Le perçage est l'étape de finition la plus courante après le perçage. Le perçage forme une ébauche et les alésoirs égalisent la surface percée, en éliminant notamment les bavures et les défauts existants. La précision de l'uniformité de surface obtenue dépend de l'outil utilisé (foret, alésoir ou outil spécial).

II .6. CLASSIFICATION DES MOCN

II .6.1 CLASSIFICATION DES MOCN SELON LES MODE DE

FONCTIONNEMENT

II .6.1.1 Fonctionnement en boucle ouvert

En boucle ouverte, comme l'illustre la figure. II.1, le système assure le déplacement du chariot mais ne le contrôle pas. [13]

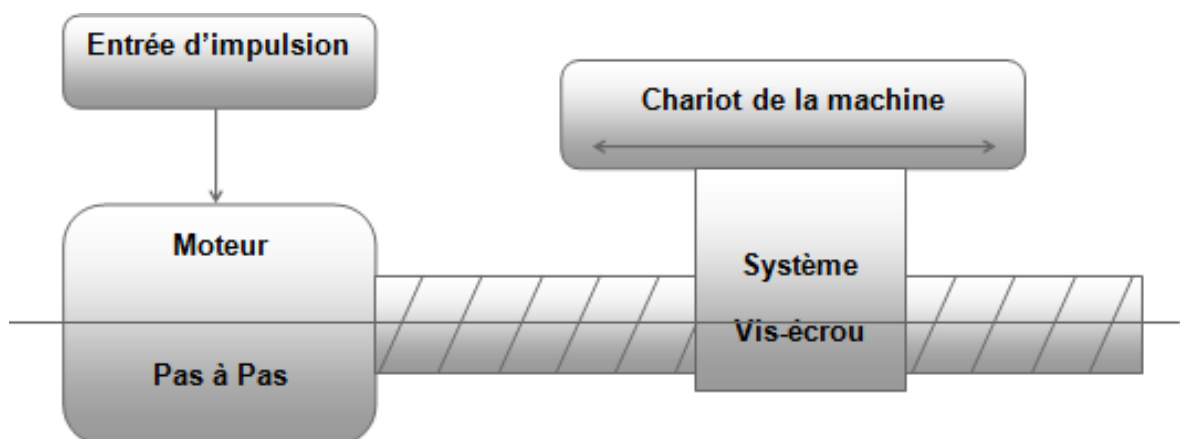


Figure. II.1.Fonctionnement en boucle ouvert.

II .6.1.2. Fonctionnement en boucle fermé

En boucle fermée le système contrôle le déplacement ou la position jusqu'à égalité des grandeurs entrée (E) dans le programme et celui mesuré (Gm).comme illustre (la figure. II.2).

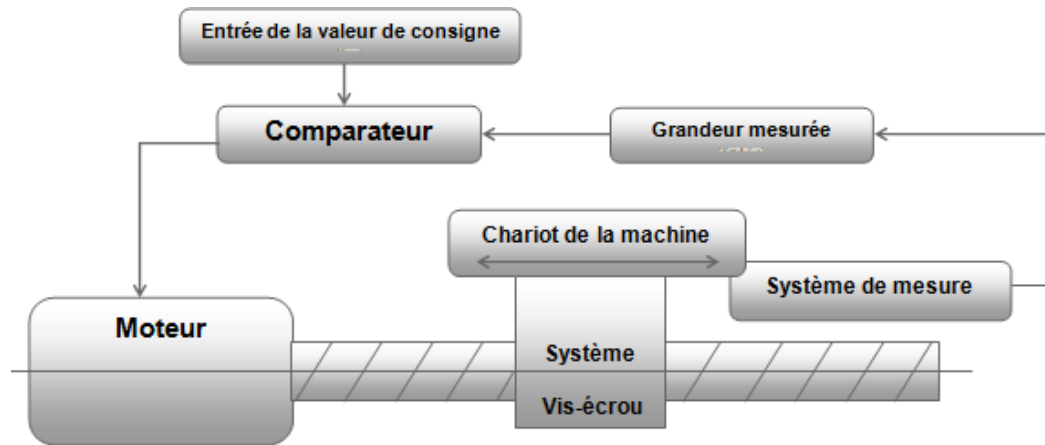


Figure. II.2.Commande en boucle fermée.

II .6.2 CLASSIFICATION DES MOCN SELON LES MODE D'USINAGE

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

1. Commande numérique point à point
2. Commande numérique par axiale
3. Commande numérique de contournage [13]

II .6.2.1 Commande numérique point à point

Il s'agit du positionnement d'outils ou de pièces avec des mouvements asynchrones. L'opération de coupe (usinage) n'est possible que par une opération de positionnement. Exemples d'opération d'usinage : perçage, alésage, lamage taraudage, petit fraisage.

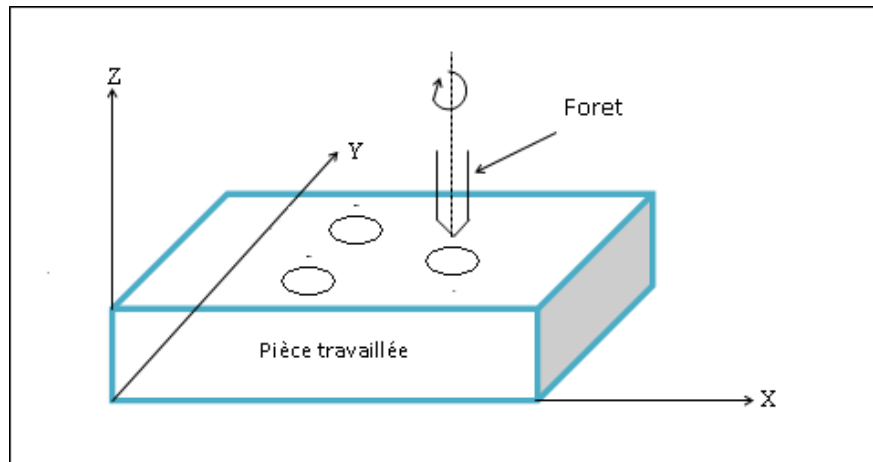


Figure. II.3.Commande Numérique Point A Point.

II .6.2.2 Commande numérique par axiale

Ce sont des translations axiales avec une avance programmée. Les mouvements de coupe et de positionnement sont synchronisés et usinés selon une trajectoire parallèle à l'axe de déplacement. Exemples d'opération d'usinage : tournage, fraisage, alésage.

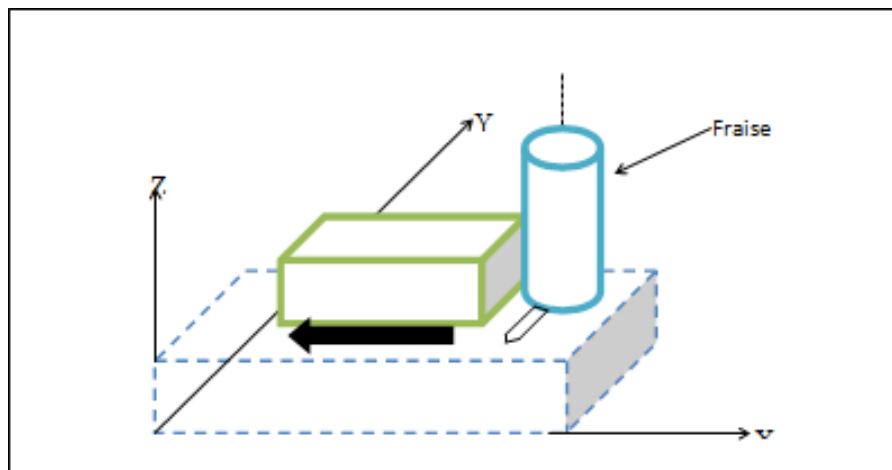


Figure. II.4.Commande par axiale

II .6.2.3 Commande numérique de contournage

Ce sont des translations axiales avec une avance programmée. Les mouvements de coupe et de positionnement sont synchronisés et usinés selon une trajectoire parallèle à l'axe de déplacement. Exemples d'opération d'usinage : toute opération possible sur un centre de tournage ou centre d'usinage.

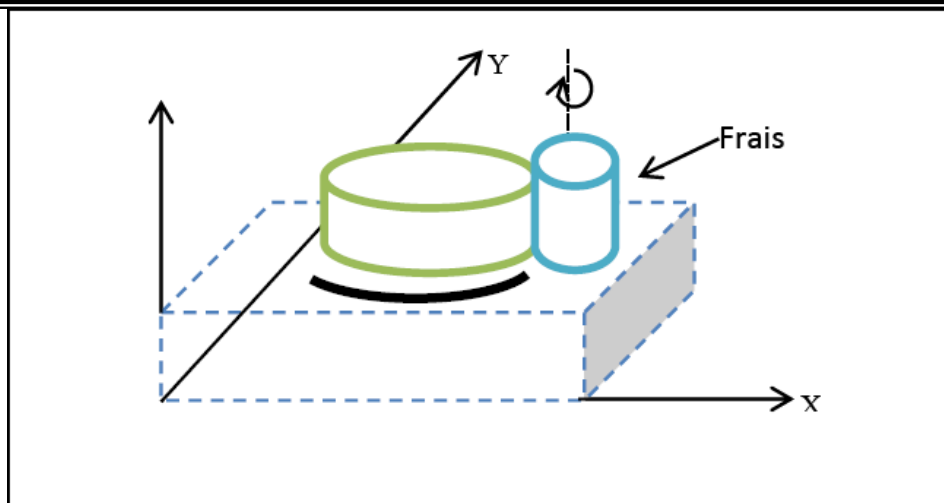


Figure. II.5.Commande numérique de contournage.

II .6.3 Classification des MOCN selon le nombre d'axe

La possibilité de fonctionnement MOCN est exprimée par le nombre d'axes de fonctionnement. L'axe définit chaque direction principale dans laquelle le mouvement relatif de l'outil et de la pièce se produit lorsqu'un seul des moteurs de mouvement à commande numérique continue fonctionne.

Le demi-axe définit la direction dans laquelle l'avance ne peut pas être contrôlée numériquement, mais est contrôlée par la trajectoire, la courbe ou le disque d'indexation. [13]

II .7 DEFINITIONS ET STRUCTURE PHYSIQUE DE LA MOCN

MOCN est une machine entièrement ou partiellement automatisée où les commandes sont envoyées grâce au code inclus dans le support matériel (disques, cassettes, USB, etc.). Si la machine-outil est équipée de commandes numériques capables d'effectuer le calcul (interpolation) des coordonnées des points définissant la trajectoire, elle est dite informatisée. Il s'appelle CNC (Computer Numerical Control). La plupart des MOCN sont des CNC.[11]

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

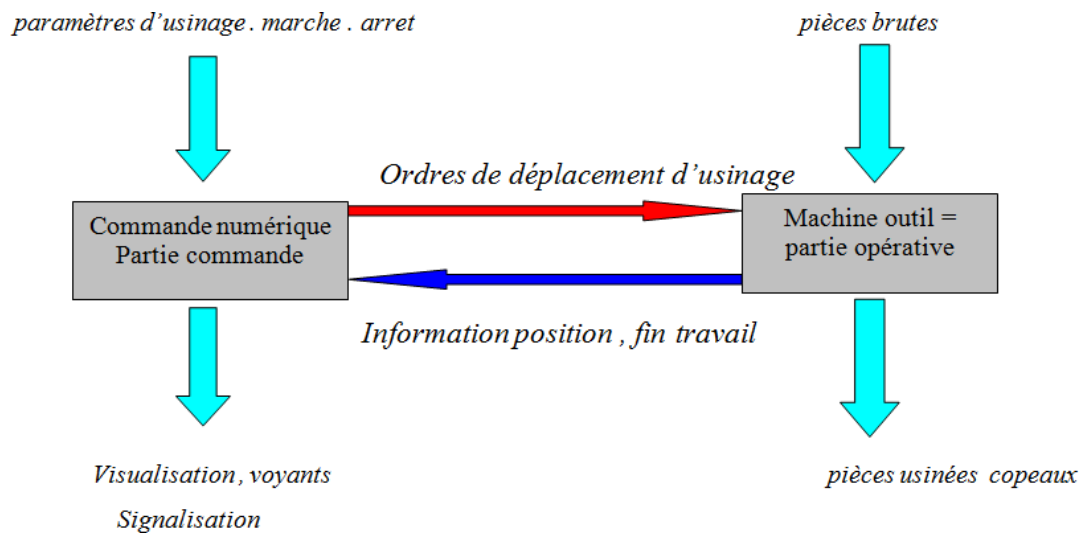


Figure II.6. Structure d'une machine à commande numérique.

La partie opérative comporte les axes de déplacement et la tête. La partie commande permet de piloter la partie opérative.

II .7.1 Partie opérative

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

- Un socle, très souvent en béton hydraulique vibré, assurant l'indépendance de la machine au sol,
- Un bâti, un banc, dont les larges glissières sont en acier traité,
- Un support outil (broche, torche, laser, jet d'eau ...),
- Une table support pièce, mobile selon 2 ou 3 axes, équipée de système de commande à vis et écrou à bille. Le granit, ou le granit reconstitué, est utilisé pour la fabrication des tables et des bâtis des machines à mesurer tridimensionnelles des rectifieuses et de certains tours,
- Des moteurs chargés de l'entraînement de la table,
- Un élément de mesure ou capteur de position renseignant à tout moment sur la position du mobile sur chaque axe,
- Une dynamo tachymétrique assurant la mesure de la vitesse de rotation.

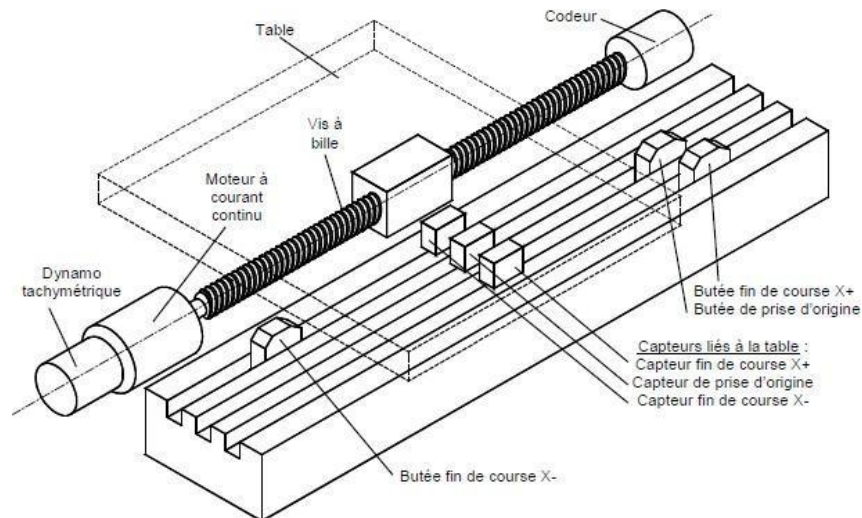


Figure II.7.Eléments de partie opérative.

II .7.2 Partie commande

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

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

II .8 CONCLUSION

L'utilisation des MOCN présente un grand intérêt pour la fabrication en petite et moyenne série ainsi que pour les formes complexes des pièces à usiner.

Dans ce chapitre on a présenté une recherche bibliographique sur Les machines-outils à commande numérique (MOCN), les commandes les plus utilisées et les Classifications des MOCN, le Décalage et la géométrie d'outil.

CHAPITRE III
LES MOTEURS
PAS A PAS

III. INTRODUCTION

Pour piloter le système de la machine tel que les moteurs, les capteurs de fin de course, l'outil on a besoin une carte de commande tel que la carte Arduino, et parmes les avantages de cette carte la facilité de programmation et on peut développer et modifier les programmes facilement car c'est une matérielle open source et extensible.

Dans ce chapitre nous allons présenter le moteur pas à pas est un convertisseur électromécanique qui assure la transformation d'un signal électrique impulsionnel en un déplacement mécanique (angulaire ou linéaire). 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.

III. I LES MOTEURS PAS à PAS

Il existe différents types de moteurs pas à pas. Cependant, le problème se pose de savoir comment commander ces moteurs, c'est-à-dire comment changer le sens et l'angle de rotation des moteurs. Ce problème peut être facilement résolu en utilisant un circuit intégré spécialisé dans le contrôle des moteurs pas à pas. Il existe plusieurs de ces circuits, et vous choisissez celui qui fonctionne le mieux.

III. I.1 DEFINITION

Le moteur pas à pas (Figure. III.1) est un moteur électrique qui convertit les impulsions électriques en mouvement rotatif par pas égaux au nombre d'impulsions de commande. Le moteur pas à pas a été inventé par Marius Lavet en 1936. Développé pour la fabrication de montres, on le retrouve sur presque tous les modèles à quartz. Les moteurs pas à pas sont également utilisés dans le domaine de l'informatique, notamment les imprimantes connectées aux ordinateurs et les lecteurs de DVD. Il est également utilisé dans le domaine des caméras robotiques et de surveillance.

Les moteurs pas à pas sont des moteurs spéciaux constitués uniquement de stators, de pièces polaires et d'enroulements et sont utilisés pour contrôler très précisément le mouvement et la position des objets. Comme leur nom l'indique, ces moteurs tournent par incréments discrets. Chaque incrément de rotation est déclenché par une impulsion de courant appliquée à l'un des enroulements du stator. Les moteurs pas à pas sont des dispositifs de positionnement et de vitesse qui fonctionnent généralement en boucle ouverte. Le principe de base est toujours la génération d'un champ magnétique tournant, comme les moteurs triphasés industriels et les petits moteurs pour

programmateurs mécaniques. Les pôles du même nom se repoussent et les pôles opposés s'attirent. Entraîne le rotor entraîné par champ magnétique dans la même direction. Cela signifie que nous convertissons des grandeurs numériques en grandeurs analogiques. Par conséquent, la fréquence ou la vitesse de rotation est contrôlée par l'impulsion (commande de rotation) et l'impulsion elle-même est contrôlée par un dispositif électronique à technologie de câble programmé. [15]



Figure. III.1. Moteur pas à pas.

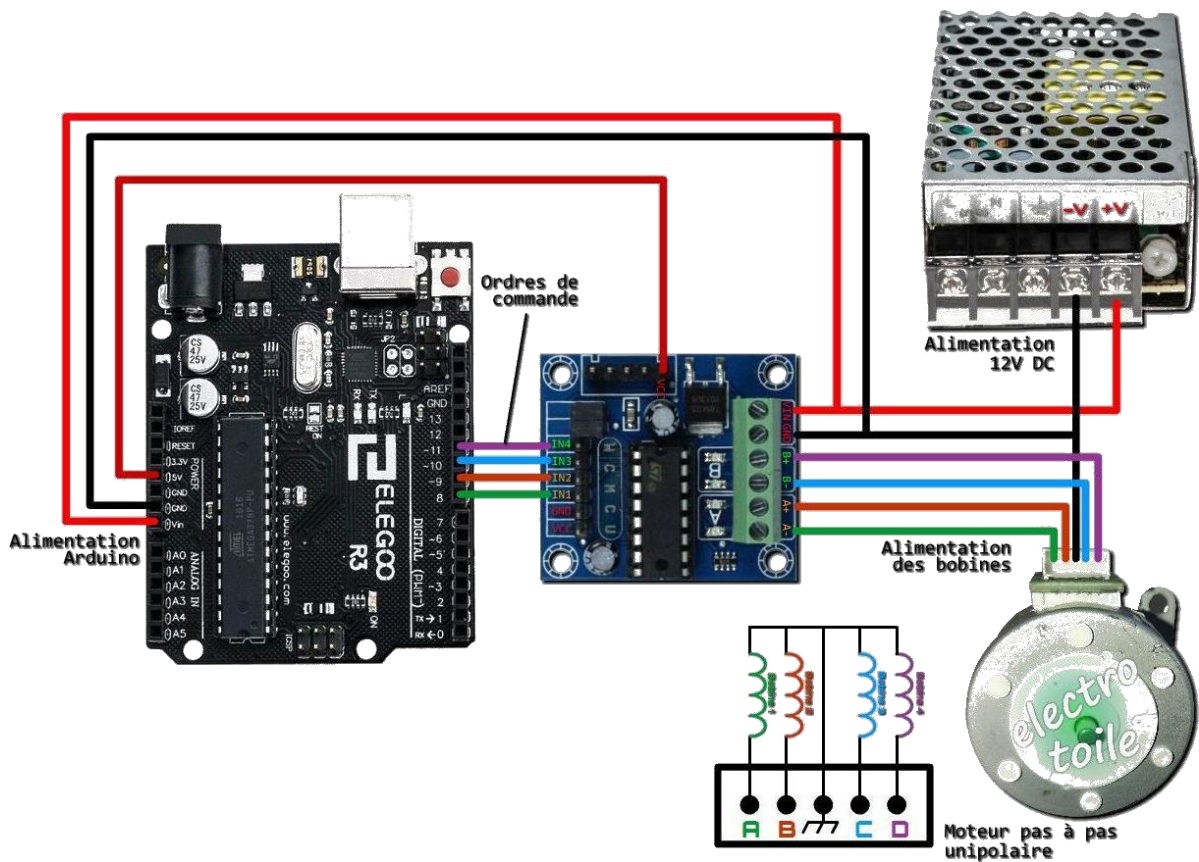


Figure III.2. Piloter un moteur pas à pas par ARDUINO

III. I.2 LES DIFFERENTS TYOES DE MOTEUR PAS à PAS

Les moteurs pas à pas sont largement utilisés dans toutes les applications mécaniques où seule la position ou la vitesse d'un système en boucle ouverte doit être contrôlée. Ces moteurs sont utilisés, par exemple, dans les imprimantes à jet d'encre ou laser pour placer les têtes d'impression et faire avancer le papier. Il existe trois types de moteurs pas à pas,[16]

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

III. I.2.1 Moteur pas à pas à aimants permanent

C'est le modèle le plus simple pour cette opération. Sa structure est très simple et sa rotation est obtenue en contrôlant le sens de la puissance délivrée à la bobine et le courant traversant la bobine. Le rotor est constitué d'un aimant permanent et le stator comporte deux enroulements (ou deux groupes d'enroulements) (Figure III.3). En contrôlant l'alimentation de la bobine et la direction du courant de la bobine, le champ magnétique du moteur peut être modifié. [16]

III. I.2.1.1 Moteur à aimant permanent bipolaire

Le courant de commande est bidirectionnel et une commutation en une étape se produit à travers la séquence de commutation des enroulements du stator.

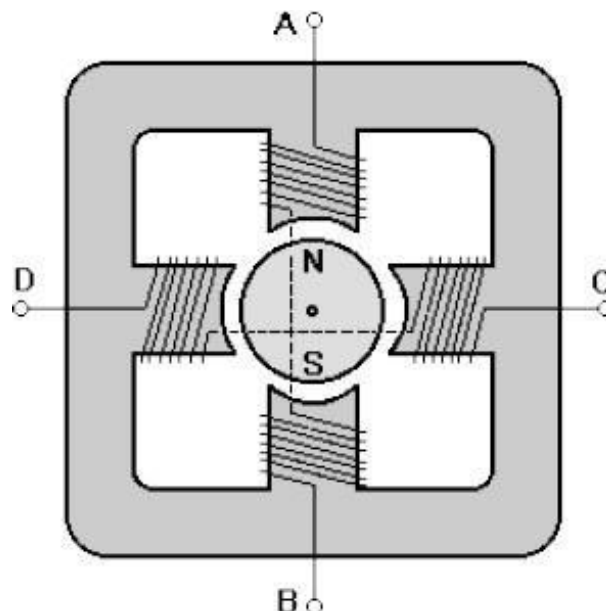


Figure. III.3. schéma d'un moteur PAP bipolaire à aimant permanent.

III. I.2.1.2 Moteur à aimant permanent unipolaire

Les moteurs unipolaires (Figure.III.4) diffèrent en ce qu'ils ont des enroulements doubles. Des enroulements doubles sont utilisés pour inverser le flux du stator et le moteur est commandé de la même manière qu'un moteur bipolaire, mais dans l'étage de puissance, un transistor suffit pour chaque enroulement.

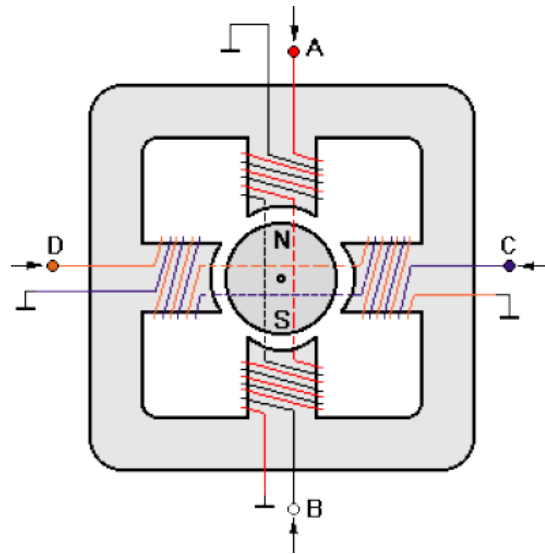


Figure. III.4 : schéma moteur pas à pas unipolaire.

Avantages du moteur à aimant permanent

- Bon marché
- Dimensions réduites
- Bon rendement
- Bon amortissement des oscillations
- Grand angle de pas (nombre de pas faible : 48)

Inconvénients du moteur à aimant permanent

- Puissance faible
- Paliers en bronze ou plastique (pas de roulement)
- Couple résiduel sans courant
- Vitesse faible

III. I .2.2 Moteur pas à pas à réluctance variable

Les moteurs pas à pas à réluctance variable ont un rotor avec une fente qui n'est pas aimantée et qui est elle-même positionnée vers la réluctance la plus faible. Le fonctionnement du moteur est garanti par une commande unipolaire et l'avancement du rotor est obtenu en excitant alternativement une paire de pôles dans le stator. Le rotor est en fer doux et a un nombre de pôles différent de celui du stator. Le rotor se déplace de sorte que le flux magnétique traversant le rotor soit maximisé. Lorsque les bobines ne sont pas alimentées, ces moteurs n'ont pas de couple de maintien (Figure III.5). [16]

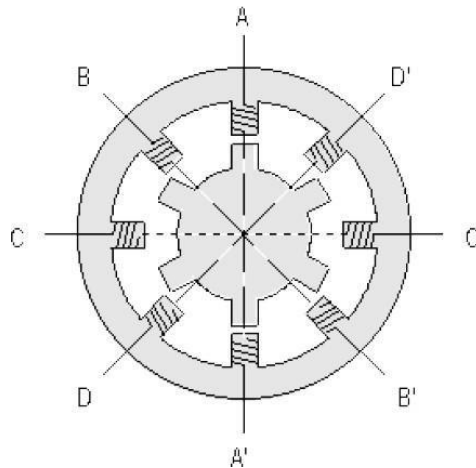


Figure. III.5 : schéma de base moteur à réluctance variable.

Globalement le nombre de pas (en fonctionnement pas entier) d'un moteur pas à pas à réluctance variable est donné par la formule suivante :

Avec:

$$Np = \frac{Ns * Nr}{Ns - Nr}$$

Np : nombre de pas,

Ns : nombre de dents du stator,

Nr : nombre de dents du rotor

Caractéristiques principales

- Les fréquences de fonctionnement peuvent être élevées.
- Bonne résolution.
- Construction simple mais délicate. Couple développé.
- Absence de couple résiduel avec le moteur hors tension.

III. I.2.3 Moteur pas à pas hybrides

En superposant le principe du moteur à réluctance variable et à aimant permanent, on peut obtenir un moteur hybride qui cumule les avantages des deux moteurs. Le rotor est composé de deux disques dentés décalés mécaniquement. Un aimant permanent est inséré entre ces deux disques. Le nombre de dents du rotor est différent du nombre de dents du stator. Lors de la mise sous tension de la bobine, le rotor dispose les dents nord et sud de sorte que le flux magnétique traversant le rotor soit maximisé. [16]

.Avantages du moteur pas à pas hybride

- Couple important
- Plus de puissance
- Rendement assez bon
- Courbe start/stop assez élevée
- Bon amortissement
- Adapté au fonctionnement micropas
- Roulement à billes pour une meilleure charge radiale et plus longue durée de vie
- Petit angle de pas

Inconvénients du moteur pas à pas hybride

- Inertie élevée
- Couple résiduel sans courant
- Plus couteux
- Plus volumineux

III. I .3 COMPARAISON DES PERFORMANCES DES 3 TYPES DE MOTEURS PAS à PAS

Nous effectuons une étude comparative entre les moteurs à aimant et le moteur à réluctance variable (les moteurs les plus utilisés). Le tableau ci-dessous présente les avantages de l'un par rapport à l'autre : **Tableau III. 1.**

Tableau III .1. Caractéristique type de moteur pas à pas

Type	Moteur a	Moteur a	Moteur hybride
de moteur	aimant permanent	réductance variable	
Résolution (nb de pas/tour)	Moyenne	Bonne	Elevée
Couple moteur	Elevé	Faible	Elevé
Sens de rotation	Il dépend : — du sens du courant pour les moteurs bipolaires — L'ordre d'alimentation des bobines	Il dépend uniquement de l'ordre d'alimentation des bobines	Il dépend : — du sens du courant pour les moteurs bipolaires — L'ordre d'alimentation des bobines
Fréquence de travail	Faible	Grande	Grande

III. I.4 SCHEMA BLOC DU CONTROLE D'UN MOTEUR PAS à PAS

Trois éléments importants sont insérés entre le moteur et son alimentation (Figure. III.6).

1. Unité de calcul (1) qui génère des impulsions de commande.
2. Un modulateur PWM qui génère des commandes pour des contacteurs électroniques (2).
3. Un dispositif de commutation (alimentation électrique) qui fournit de l'énergie à partir d'un bloc d'alimentation à l'enroulement correspondant d'un moteur. Lorsqu'une tension spécifique est appliquée à chaque enroulement d'un moteur, un courant électrique est généré et un champ magnétique dans la bonne direction est généré. En modifiant séquentiellement la tension propre à chaque enroulement, la position du champ statorique peut être décalée selon une résolution de base appelée pas. [19]

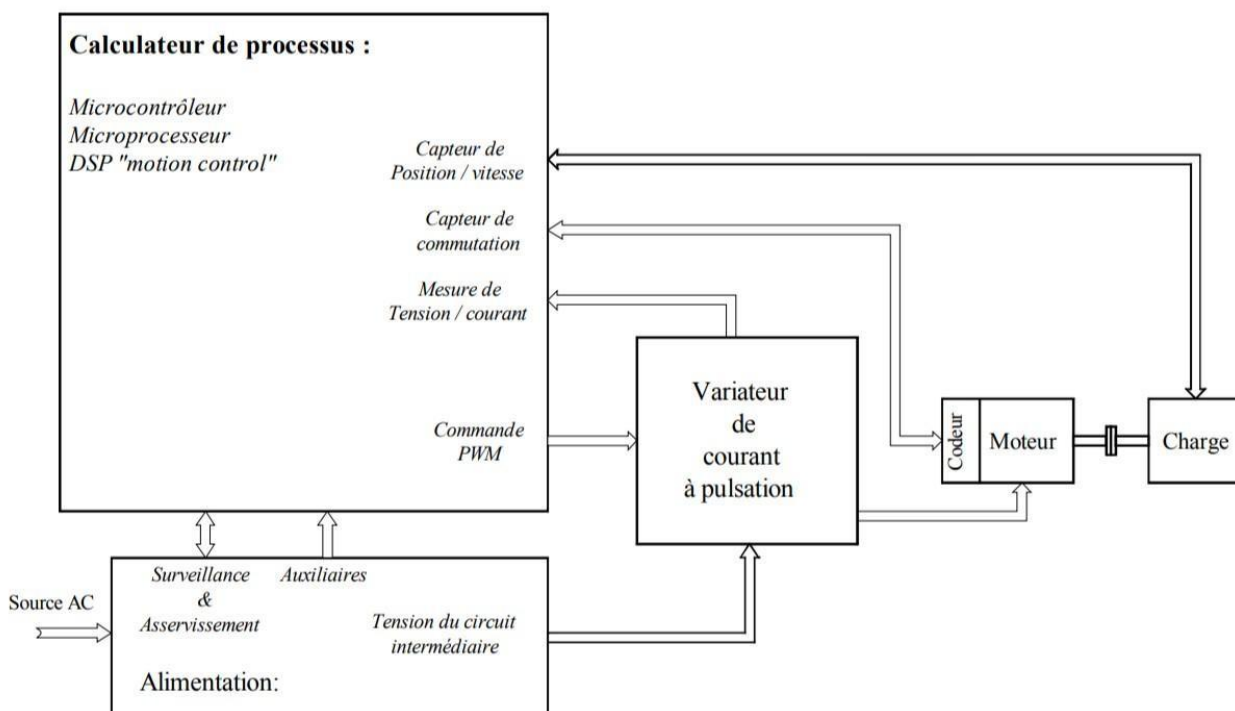


Figure III.6. Schéma bloc du contrôle d'un moteur pas à pas

En modifiant séquentiellement la tension propre à chaque enroulement, la position du champ statorique peut être décalée selon une résolution de base appelée pas. En d'autres termes, toutes les configurations de la tension aux bornes de l'enroulement correspondent à un décalage de position stable du rotor. Si la plage de tension de commutation est bien définie, elle fonctionnera avec le nombre de pas correspondant. La continuité de la configuration d'alimentation produit un champ de stator qui tourne à une fréquence spécifique avec une résolution micropas, demi-pas ou pas complet. Le rotor qui reçoit le couple synchrone suit le mouvement discret du champ d'entrefer. Le type de paire a les résultats suivants, [17] :

- Soit d'interaction champ (courant) du stator - fer du rotor, lorsque ce dernier présente une structure dentée passive (MRV).
- soit d'interaction champ (courant) du stator - champ (aimant) du rotor, lorsque le rotor comporte un aimant (MAP).
- soit les deux interactions précédentes simultanément (MH).

III. I. 5 PRINCIPE DE COMMNDE D'UN MOTEUR PAS à PAS

Le système est beaucoup plus simple et vous pouvez voir que chaque impulsion du signal de commande correspond au niveau du rotor et a un déplacement angulaire défini appelé "pas" ou "incrément mécanique". La vitesse est fonction de la fréquence des impulsions. [18]

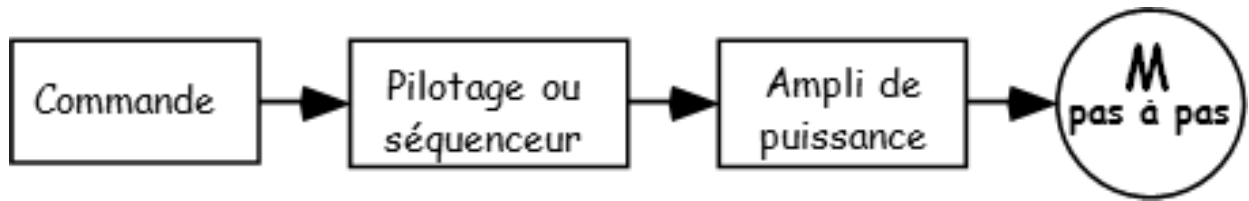


Figure III.7. Principe de commande d'un moteur pas à pas

L'électronique pilotant un moteur pas à pas peut se diviser en 3 fonctions :

1. L'alimentation du moteur avec ses contraintes de tensions, courants et puissances à dissiper. C'est l'électronique de puissance.
2. Le séquenceur qui gère la chronologie des impulsions : Il gère la chronologie des impulsions.

III. I .6 COMMANDE PWM

III. I .6.1 PWM

La modulation de largeur d'impulsion est une méthode d'utilisation d'un système marche/arrêt pour générer un signal analogique continu.

III. I.6.2 PRINCIPES GÉNÉRAUX

L'intérêt du PWM est de pouvoir générer des signaux continus à partir de systèmes tout ou rien. Le principe est d'utiliser le filtre passe-bas naturel du système, par exemple l'inertie du moteur. Par conséquent, à partir d'une séquence discrète sur le temps T , vous pouvez obtenir la moyenne continue sur ce temps T . [2]

III. I .7 MODELISATION D'UN MOTEUR PAS à PAS

La modélisation multiphysique permet de modéliser relativement facilement un moteur pas à pas. Chaque phase est modélisée par une combinaison d'inductance, de résistance et de FEM spécifique. L'induction crée deux relations, d'une part, entre la vitesse du rotor (indiquée par ω) et la tension induite e , et d'autre part, entre le courant de phase i et le couple magnétique appliqué C . Pour la phase A, la relation est : $e_A = k\omega \sin(n\phi)$ et $C_A = k_i A \sin(n\phi)$, ϕ est l'angle de rotation du rotor, k est la constante EMF, n est le nombre de paires de pôles aimantés (en NEMA17 avec deux paires de bobines A et B), 200 pas par tour si n est égal à 50). Pour la Phase B, la relation est déphasée de 90° : $e_B = k\omega \sin(n\phi + \pi/2)$ et $C_B = k_i B \sin(n\phi + \pi/2)$. L'effet exercé par ces deux phases s'exerce sur le rotor modélisé par l'inertie (axe de rotation) auquel s'ajoutent les frottements visqueux (et secs).

III. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents types de moteurs pas à pas. Cette seconde fonction les différencie des autres types de moteurs électriques et les destine plus particulièrement à des utilisations en tant qu'actuateurs d'informations délivrées sous forme digitale. Leur champ d'application et leur importance se sont considérablement accrus au cours de ces dix dernières années, en relation avec l'extension de la digitalisation des systèmes de calcul, d'information, de commande, etc.

CHAPITRE

IV

**REALISATION DE
L'IMPRIMANTE CNC**

IV.1 INTRODUCTION

La réalisation d'une machine outils MOCN est de nos jours une tâche très importante, que ce soit pour l'usinage 3D ou pour l'Impression 3D, la maîtrise du déplacement d'un outil dans les 3 dimensions de l'espace est devenue primordiale. Ce déplacement dans les 3 axes de l'espace (X, Y, Z) nécessite de maîtriser 3 grands domaines techniques « électronique, mécanique et informatique ».

Dans ce chapitre nous allons décrire les solutions adoptées par détail pour répondre aux spécifications de notre cahier de charge et ce en abordant la conception détaillée de chaque partie du système

IV.2 CONSTITUTION DE LA MACHINE-OUTIL [3]

La configuration machine (Figure IV.1) composants, axes, fonctions programmables.

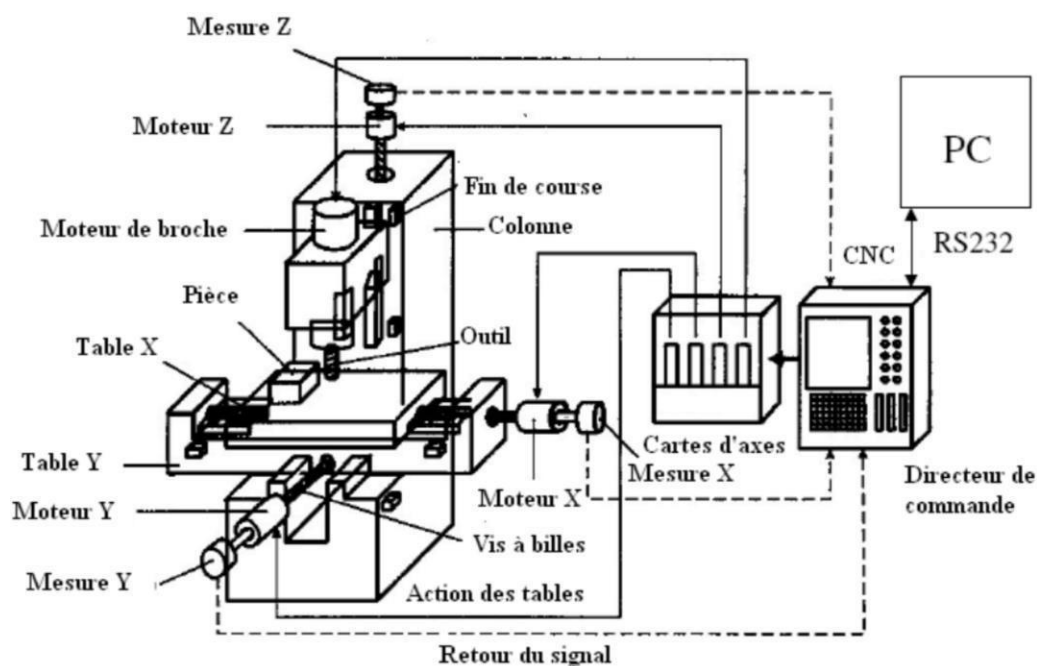


Figure IV.1.architecture d'une machine-outil à commande numérique.

Les machines-outils sont équipées généralement de 3 axes de déplacements. Bien que le nombre d'axe ne soit pas en théorie limité, les constructeurs se limitent en général à un maximum de 5 axes. Les 3 axes « basiques » sont les axes X, Y et Z. Ces 3 axes sont définis par la norme NF Z68-020 (Figure IV .2). [3]

✓ Axe Z : Axe de la broche de la machine-outil. Le sens positif est donné par l'accroissement de la distance outil/pièce, la pièce étant fixe.

- ✓ Axe X : Axe du plus grand déplacement. Par défaut, le sens positif est donné vers la droite lorsque l'on fait face à la machine.
- ✓ Axes Y : Axe qui permet de former un trièdre X, Y et Z direct.
- ✓ Les axes de rotations correspondent au sens trigonométrique. Norme NF ISO 841.

A autour de X, sens A+ de Y vers Z

B autour de Y, sens B+ de Z vers X

C autour de Z, sens C+ de X vers Y

En utilisant un ordinateur, on utilise un logiciel FAO et un calculateur numérique ou Directeur de Commande Numérique (DCN) d'où le terme de Commande Numérique par Calculateur (CNC). Le logiciel lit les codes qui sont de type code géométrique (G-code) et l'envoi au Directeur de Commande Numérique.

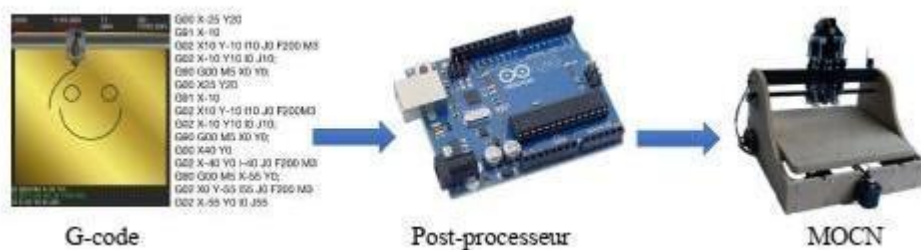


Figure IV .2 Fonctionnement d'une Commande Numérique

Le logiciel en FAO sert à transcrire les modèles conçus lors de la CAO en code géométrique ou G-code et de les exécuter. Il y a une large gamme de logiciel FAO ; il y en a qui sont des logiciels libres, commerciaux, professionnels et même à exécuter en ligne sur internet. Sont présentés ci- dessous quelques exemples.

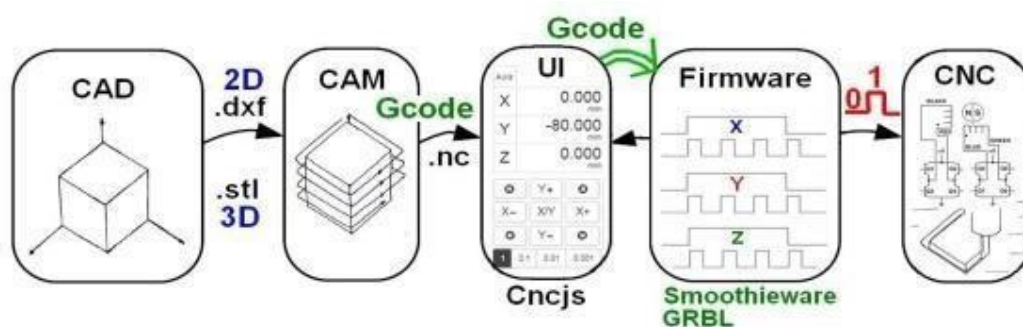


Figure IV .3 Chaine d'information d'une machine CNC

IV.3. PARAMETRAGES DE LA MACHINE CNC

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

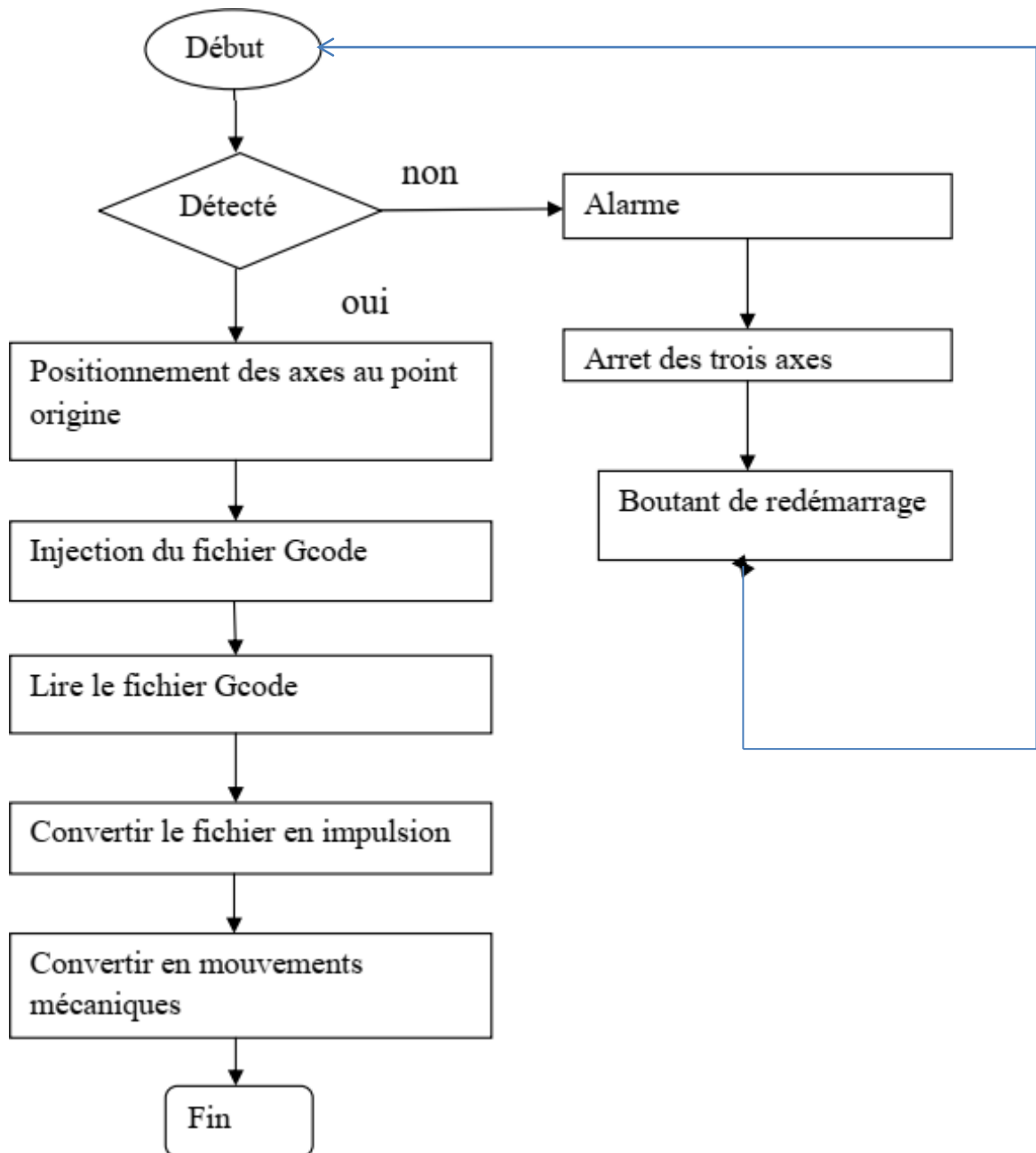


Figure IV.4 Organigramme d'un programme ARDUINO pour la commande des moteurs

IV .4 GRBL

GRBL est un logiciel pour contrôler le mouvement de machines qui font des gravures. La plupart des imprimantes 3D Open-Source sont basées sur GRBL. Il a été adapté pour être utilisé dans des centaines de projets, comprenant des machines à découpe laser, des écritoires manuel automatisés, perceuses, peintre de graffiti et machines à dessins bizarroïdes... En raison de ses performances, de sa simplicité et de sa frugalité en besoins matériels, GRBL a grossi en un vrai petit phénomène Open Source. [20]

IV.5 INKSCAPE ET L'EXTENSION G-CODETOOLS

Inkscape est un logiciel libre de dessin vectoriel. C'est un outil extrêmement puissant permettant de créer des graphismes au format vectoriel.svg. L'intégration de l'extension " Gcode-tools " à Inkscape permet de convertir des chemins obtenus dans Inkscape en langage Gcode afin de piloter des machines à commandes numériques. [13]

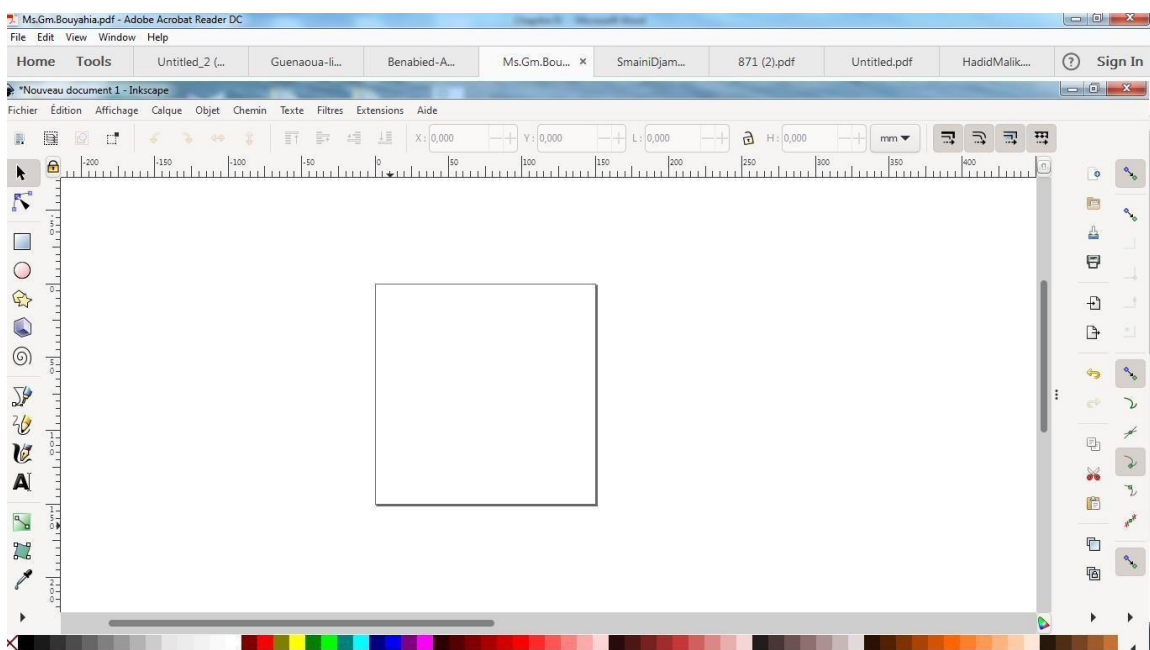


Figure IV.5. Interface inkscape

IV .6 UNIVERSAL G-CODE SENDER

UNIVERSAL GCODE SENDER (UGS) est un programme Java utilisé pour envoyer un fichier gcode vers le GRBL d'une machine à commande numérique. Avec l'expéditeur G-Code Universel il est possible de contrôler le système avec des commandes G-code, comme le déplacement des moteurs pas à pas à la position initiale. C'est un logiciel qui fera l'interface avec l'ordinateur et qui permettra d'envoyer le G-Code à la carte ARDUINO qui lui-même sera interprété par le GRBL [23]. Il y'a deux modes utilisée dans ce programme soit mode manuel ou mode automatique. [19]

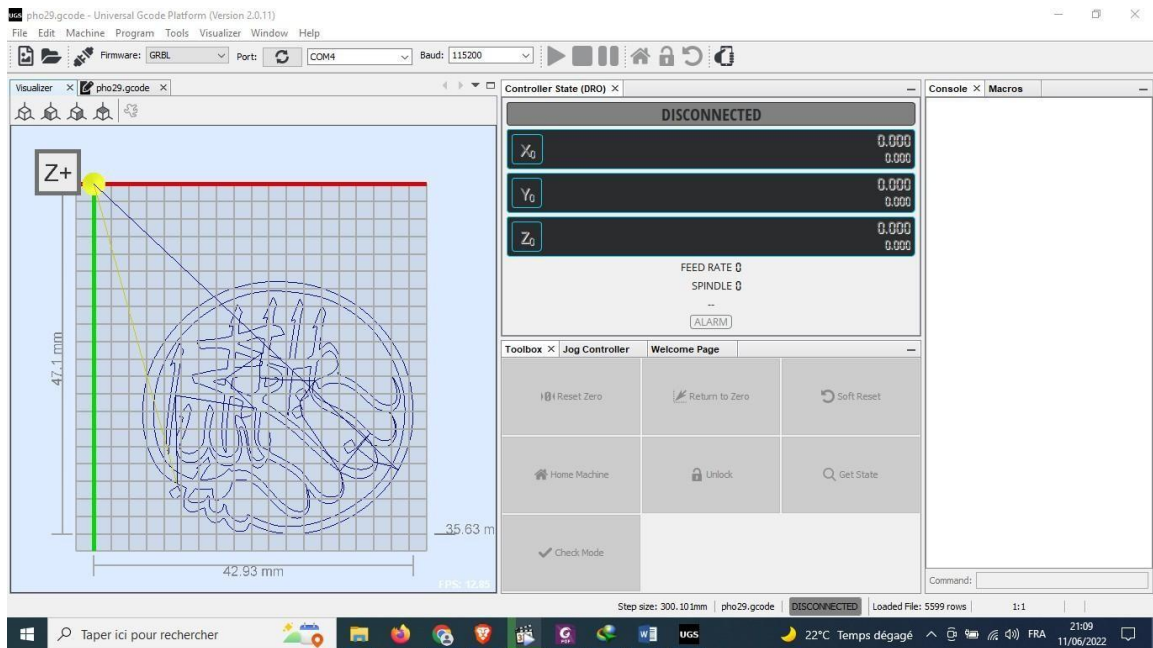


Figure IV.6. Universal Gcode sender

IV.7 SIMULATION ET TEST DU PROGRAMME SOUS PORTEUSE

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels inclus dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logiciel : ISIS, ARES. Pour saisir le schéma, il faut créer un nouveau projet puis placer les composants qui doivent être sélectionné à partir de la bibliothèque des composants.

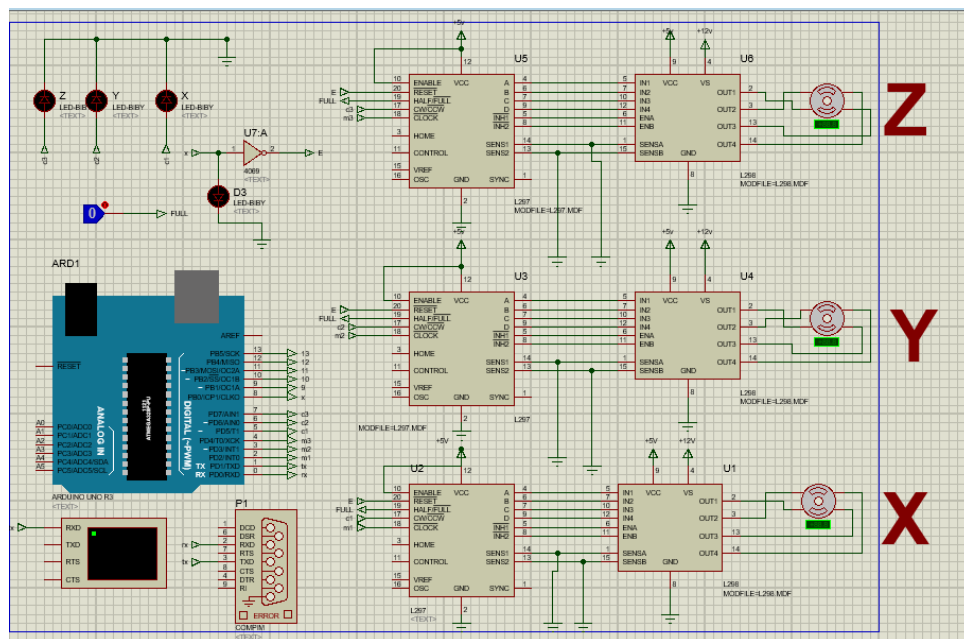


Figure IV.7. Montage électronique de la partie ARDUINO-MOTEURS dans Proteus.

IV.8 FABRICATION DE L'IMPRIMANTE CNC

Cette partie regroupe plusieurs composants électroniques et mécaniques qui apparaissent dans le schéma synoptique et les figures qui suivent.

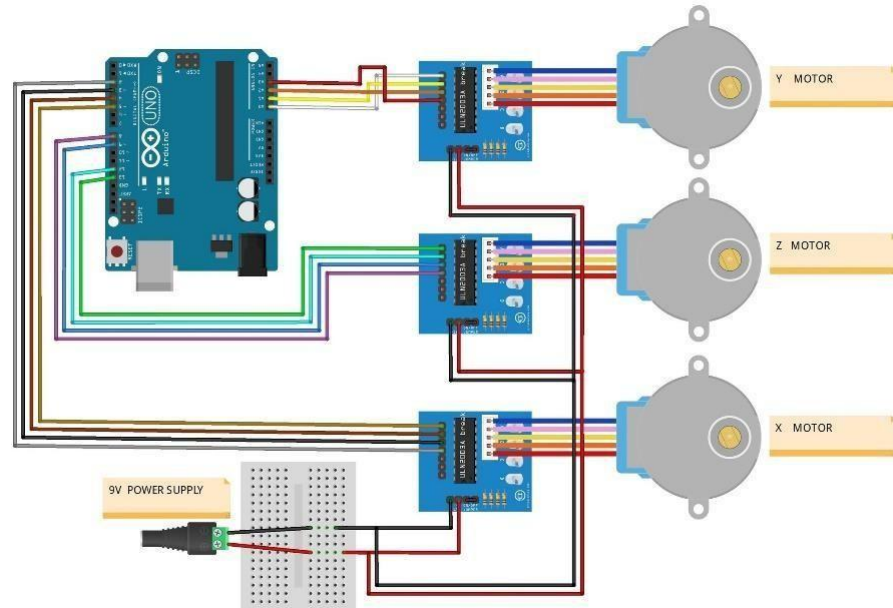


Figure IV.8. Schème synoptique de la partie électronique de l'imprimante CNC.



Figure IV.9. Photo d'assemblage des éléments nécessaires à la réalisation du projet

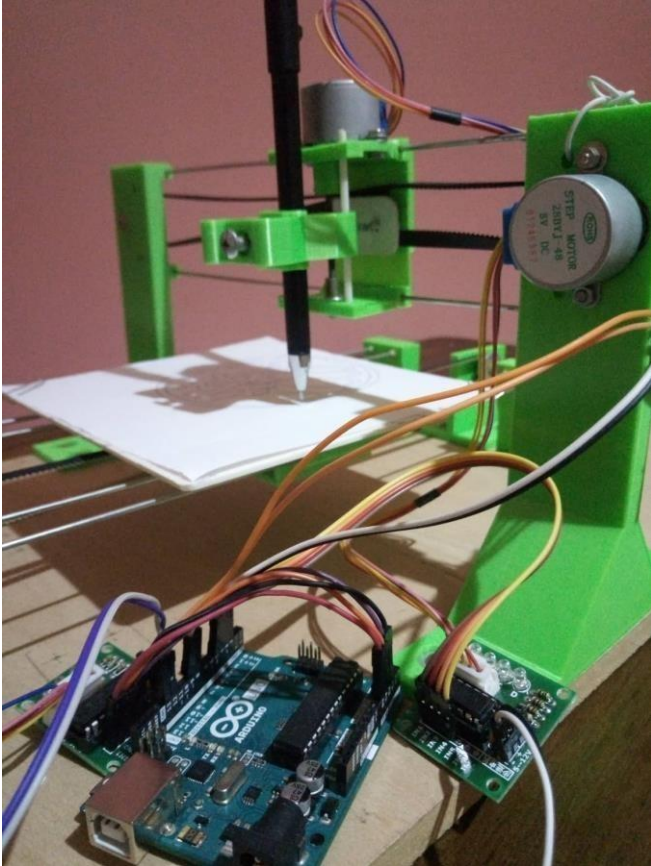


Figure IV.10. Photo d'assemblage de la partie électronique de l'imprimante CNC.

La partie mécanique est représentée sur les figures suivantes

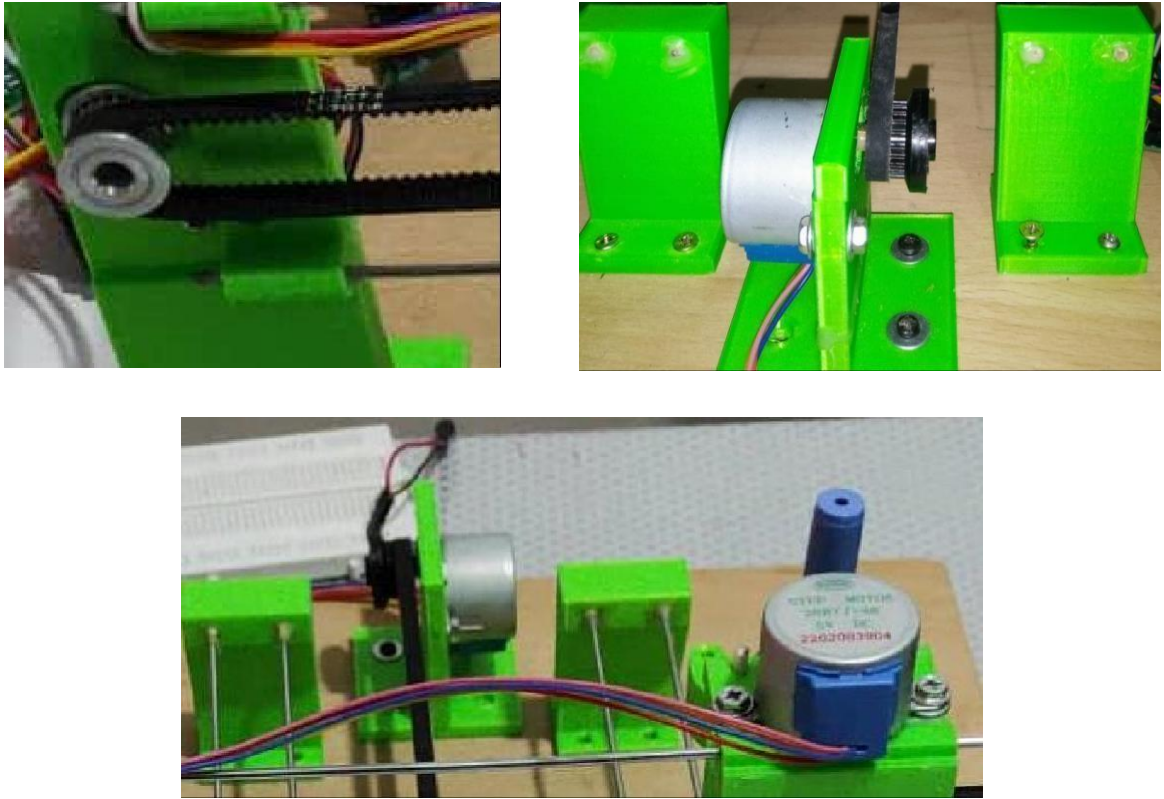


Figure IV.11. Photo de différentes parties mécaniques de l'imprimante CNC

IV .9 ASSEMBLAGE FINAL DE L'IMPRIMANTE CNC

L'assemblage final avec le bâti est donne par les Figures suivantes :

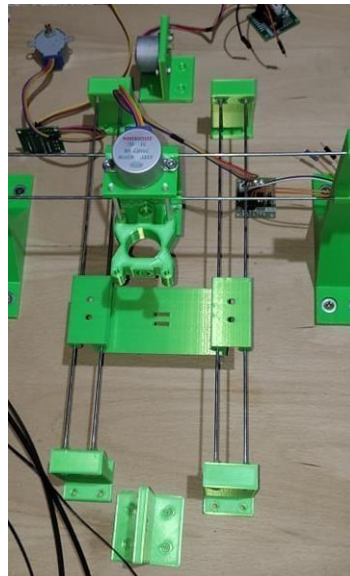


Figure IV.12. Début de l'assemblage de l'imprimante CNC.

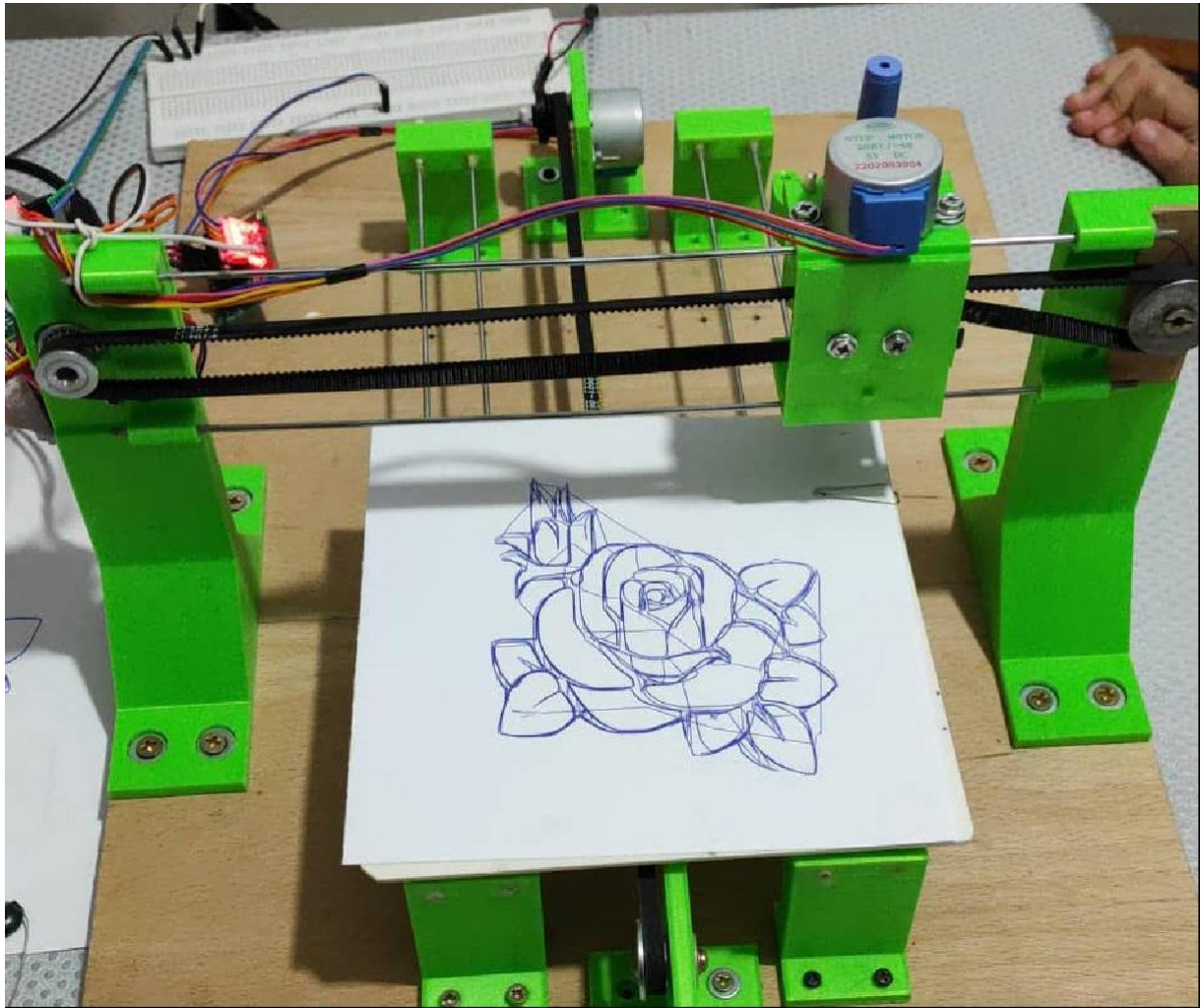


Figure IV.13. Assemblage final de l'imprimante CNC.

IV .9.1 TEST D'IMPRESSION

Le câblage et l'assemblage est réalisé, nous pouvons tester le bon fonctionnement de mouvements des axes X, Y et Z, et pour cela, on a besoin de créer un fichier G-code simple qui permet de déplacé le stylo sur le plan (x, y et z). Pour tester notre imprimante CNC, on a imprimé une forme simple, générée par le logiciel UNIVERSAL G-CODE SENDER sur une feuille de papier. Le résultat de simulation virtuelle est donné par la figure suivante :

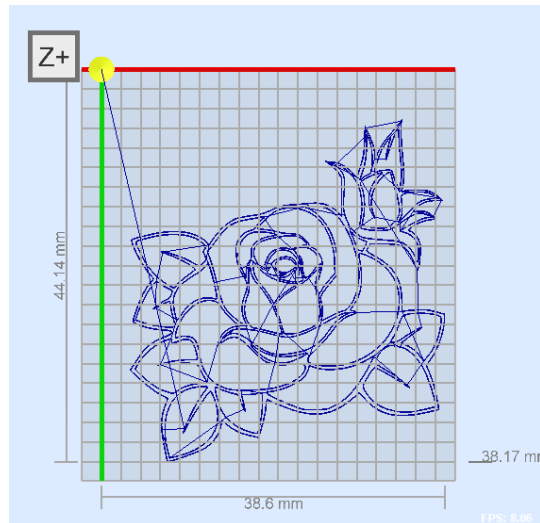


Figure IV.14. Simulation d'usinage avec UNIVERSAL G-CODE SENDER.

Le programme créé lors de la création du dessin est affiché sur une figure séparée de la modélisation et peut être illustré sur la figure IV.14

```

salzer x | pho31gcode x
; Set units to mm
M21
; Absolute positioning
G90
; Move to clearance level
G1 Z35 F2540

;
; Operation: 0
; Name:
; Type: Pocket
; Paths: 192
; Direction: Conventional
; Cut Depth: 0.635
; Pass Depth: 4.175
; Plunge rate: 127
; Cut rate: 1016
;
; Path 0
; Rapid to initial position
G1 X31.8323 Y-29.8882 F2540
G1 Z0.0000
; plunge
G1 Z-0.6350 F127
; cut
G1 X31.7952 Y-29.8752 F1016
G1 X31.8277 Y-29.8600
G1 X31.8323 Y-29.8882
G1 X31.8315 Y-29.9283
G1 X31.7508 Y-29.8999
G1 X31.7322 Y-29.8922
G1 X31.7055 Y-29.8823
G1 X31.6992 Y-29.8803
G1 X31.7637 Y-29.8478

```

Figure IV.15. Programme Gcode pour tracer un Dessin.

IV.9.2 RESULTATS d'IMPRESSION

Le résultat d'impression réel du dessin est donné par la figure ci-dessous :

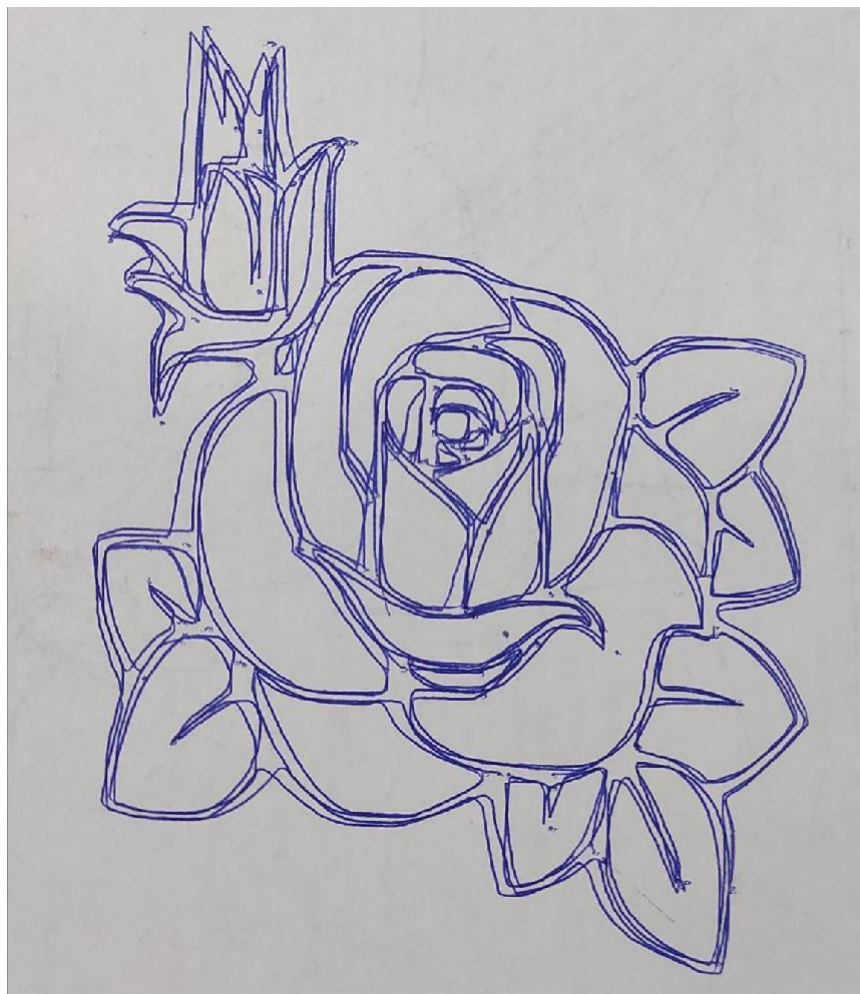
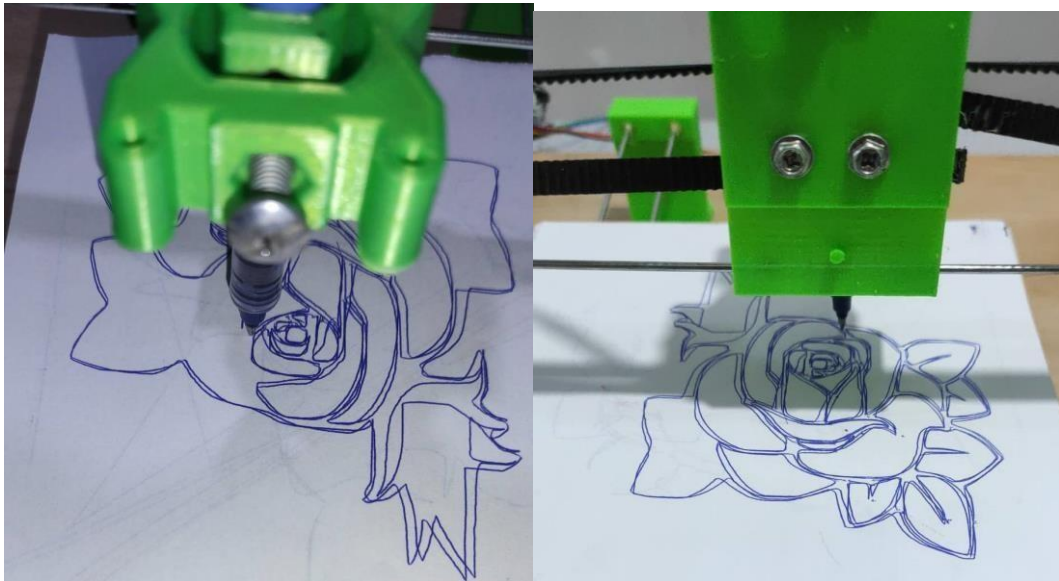


Figure IV.16. Résultat d'impression

IV. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons montré les étapes de conception que nous avons répartie en trois parties partie mécanique, partie électrique et partie informatique (programmation). Nous avons mis en évidence les différentes parties lors de la fabrication du prototype suivant la démarche de conception présentée dans ce chapitre. Après cela nous avons testé notre prototype après réalisation, l'impression obtenu permet de valider le prototype et le système de commande.

CONCLUSION GENERALE

PERSPECTIVES

L'objectif de notre projet est la « conception et réalisation d'une machine-outil à commande numérique (imprimante CNC) Ce travail que nous avons élaboré, nous a permis d'une part d'avoir une idée sur le résultat que peut donner l'association de l'outil informatique et de l'électronique, et d'autre part la possibilité offerte à un ordinateur de communiquer avec des périphérique extérieur via une liaison série qui est le USB. Grace à ce projet on a compris la philosophie d'une commande ou autrement dit l'automatisation d'un processus. Il nous a permis également de nos familiariser avec l'utilisation de multiples langages de programmation, tels que (G-code, logiciel Arduino,GRBL ,universal G-code et Inkscape) ainsi que l'utilisation d'une communication série entre le PC et une carte Arduino à base d'un microcontrôleur. La carte utilisé, représente un facteur très important pour l'adapter à d'autres applications pour cela, il suffit de charger un programme adéquat correspond à l'application désir pour Optimisation du code source du programme en termes de temps d'exécution (réduire le temps de calcul).

Ce mémoire est le résultat d'un travail de recherche dans le domaine de la commande des machines électriques La machine CNC réalisé peut servir comme outils pédagogique, et permettre aux étudiants d'approfondir leurs connaissances en qui concerne les machine CNC par :

- La découverte d'un système automatisé ;
- L'initiation à la programmation d'une machine robotisée
- La réalisation dessins et écrits sur papier

Ce travail, qui a bien abouti à la réalisation d'une machine-outil à commande numérique, mérite d'être approfondi et étendu à d'autres types d'applications En perspective, plusieurs points sont à approfondir et ouvrent la voie à de nouveaux axes de travaux :

- Contrôle des autres axes (imprimante cnc).
- Application de la commande avec modèle intelligent.
- L'utilisation de la communication sans fils entre le système d'acquisition et le PC.

PERSPECTIVES

Les études futures s'appuient fortement sur la conception du contrôleur de mouvement. Afin de réduire les coûts, un Le contrôleur de mouvement doit être conçu et fabriqué par nous-mêmes. Cela nécessite de créer le matériel, faire les connexions, écrire le programme de la boucle pas à pas, l'interpolation programme. Nous avons utilisé le module Arduino Uno comme contrôleur mais il a certaines limitations, il ne peut pas fonctionner avec IHM. Nous devons donc trouver ou créer un autre micrologiciel pouvant fonctionner avec l'IHM. La meilleur solution possible est d'utiliser Raspberry Pi comme terminal "PC" du contrôleur qui permette à l'utilisateur plus d'options pour le fonctionnement en mode manuel et automatique. Cela permet à l'ensemble contrôleur à faire dans quelques boîtes de pouces carrés. Puisque Raspberry Pi a le sien système d'exploitation Linux intégré, l'utilisateur peut facilement transférer le fichier G-Code dans le système à l'aide d'une clé USB.

Ici, nous utilisons un système de contrôle en boucle ouverte dans lequel il n'y a pas de rétroaction et utilise un moteur pas à pas dont l'angle de sortie tourne d'un angle fixe conformément à une entrée. Nous n'avons pas système de surveillance qui peut accuser réception de la mise en œuvre de la commande. Nous pouvons utiliser certaine échelle linéaire qui peut surveiller le mouvement du moteur de l'axe mais cela augmentera la machine coût de fabrication. Une autre chose qui peut être faite à l'avenir est l'optimisation du processus de fabrication pour la production de masse. Le composant de la machine doit être acheté du marché local afin que le coût de fabrication puisse être très inférieur.

Le stylo de la machine peut être remplacé par un laser à faites-le fonctionner comme une gravure de machine de découpe laser la machine peut être utilisée sur du bois le stylo peut également être remplacé avec une perceuse puissante afin qu'il puisse être utilisé à la fois pour le forage et à des fins de fraisage, le servo peut être remplacé par un moteur pas à pas et stylo avec un stylo 3D pour en faire un 3D imprimante qui peut imprimer un objet avec une dimension en extrapolation de l'axe la zone de travail de la machine peut être étendu en gardant l'algorithme inchangé les applications du dessinateur CNC 2D proposé peuvent également être étendue dans le domaine des circuits imprimés PCB étirage et perçage usinage par décharge électrique (EDM), enlèvement de métal et lettrage et logo de fabrication Dessins ou gravures également.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] OUCHEFOUN D. TALHI M., Contribution à la conception et à la réalisation d'un système à base d'une commande numérique pour la fabrication des canaux micro fluidiques. Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira, 2017.
- [2] D. SMANI, R. BEN KADI, Conception et réalisation d'une machine CNC, UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2015.
- [3] CHATBI H. réalisation d'une commande pour une machine (SNC, 3D), Master, UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ BOUIRA, 2017
- [4] BENTALEB M., GASMI E., Réalisation et commande d'une machine cnc à base des moteurs pas à pas, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2016.
- [5] <http://bts.crsa.rascol.free.fr>
- [6] GUENAOUA, L. Commande en position du a MCC par Arduino. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA 2017
- [7] RAMAMONJISOA R. MODELISATION ET REGULATION D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU APPLIQUEE A UNE SCIE. UNIVERSITE D'ANTANANARIVO 2019
- [8] KAHLOUL MOHAMED LAMINE, Un contrôleur PID pour la stabilisation de la température dans une machine industrielle, Master, Université Mohamed Khider – BISKRA, 2019.
- [9] V.Boitier. 2005. Asservissement linéaires continus. Université Paule Sabatier Toulouse.
- [10] Lyes SADOR, Koussaïla MOULOUEL, Implémentation d'algorithmes d'identification et de commande des systèmes linéaires sur un banc d'essai, UNIVERSITÉ MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2018
- [11] BENKORICH, H .BELHADRI, T. ETUDE ET REALISATION D'UNE MACHINE A GRAVER SUR BOIS. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem 2019
- [12] Monsieur Xavier BEUDAERT. Commande numérique ouverte : interpolation optimisée pour l'usinage 5 axes grande vitesse des surfaces complexes. THESE DE DOCTORAT DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE CACHAN 2013
- [13] SOUALMI, A. MEDDOUR, M. Conception et réalisation d'une machine à commande numérique à trois axes au sein de l'entreprise DENZR Technologies. Université A .Mira – BEJAIA 2018
- [14] BENBEKHTI, A. Etude de réalisation d'un support pour affutage des forets sur une machine à commande numérique. UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN 2013
- [15] M.R, ABDEMEZIANE. D, BENABIED. Conception et réalisation d'une machine CNC. Universitaire Abdelhafid Boussouf – Mila 2020
- [16] BOUSFOT y. Conception et commande des trois axes d'une machine outil à commande numérique.

Université Mohammed Seddik BEN YAHIA – JIJEL 2018

[17] HAMDOUN, H. COMMANDE D'UN MOTEUR PAS A PAS AVEC UNE CARTE D'ACQUISITION. UNIVERSITE D'ORAN ES-SENIA

[18] LEMSADFA H. Contribution et réalisation d'une imprimante 3d. Université SAAD DAHLAB de BLIDA 2018

[19] BOUYAHIA, Y. Réalisation d'un prototype d'une machine CNC 3 axes. Université Aboubakr Belkaïd–Tlemcen, 2019

[20] Guerrouabi, ch . ROZA, Ait R. Etude et conception d'une machine CNC, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2018

الملخص :

هذا المشروع عبارة عن دراسة وتحقيق آلة CNC. الهدف من هذا العمل هو تعميق المعرفة في مجال تصنيع الآلات، حيث يهدف هذا المشروع على جزأين الأول هو الدراسة والثاني متعلق بجزء نمذجة مبدئية بجزء التطبيق.

Résumé :

Ce projet est une étude et réalisation d'une machine cnc. Ce travail a pour objectif d'approfondir les connaissances dans les domaines de fabrication numérique. Ce projet contient deux parties la première c'est l'étude et la deuxième se divise en une partie de modélisation suivie par une partie de réalisation.

Abstract :

This project is a study and realization of a cnc machine. The objective of this work is to deepen knowledge in the fields of digital manufacturing. This project contains two parts the first is the study and the second is divided into a modelling part followed by a realization part.