

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre nivercitaire belhadj bouchaib ain temouchant

Faculté de technologie
Département de genie électrique

Mémoire de fin d'étude

En vue d'obtention du Diplôme de Master

Filière : électronique
Option : instrumentation

THEME

Étude de réalisation de système de commande d'une machine cnc

Présenté par : benbekhti hamza

Soutenu en Septembre 2020 devant le Jury :

Dr BEMMOUSSAT Chems-eddine	M.C.B C.U.A.T	Président
Dr DEBEL Mohammed	M.C.A C.U.A.T	Examineur
Dr BENOSMAN Mohammed Mourad	M.C.B C.U.A.T	Encadrant

Année universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS :

Je remercie Allah qui m'a aidé pour bien confectionner ce travail et je j'adresse également mes vifs remerciements à mes parents qui s'intéressaient à mon éducation, à mes frères et à toute ma famille. Tous les enseignants qui m'ont enseigné tout au long de l'année scolaire, de l'école primaire à la fin des études universitaires, et j'espère ajouter ce que j'ai appris au service de la communauté et de mon pays. Je remercie également tous mes amis et collègues qui ont partagé cette étape de ma vie. Et à tous ceux qui m'ont aidé à atteindre mon objectif.

DEDICACES :

Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents pour leurs sacrifices et leurs encouragements durant toutes mes études. Mes sœurs, Mes frères.

Mon encadreur Mr. Mourad benosman pour ses orientations, son encouragement et son aide.

Mes amies, et Mes collègues.

SOMMAIRE

liste des figures	
liste des tableau	
Introduction générale	1

Chapitre 1 : généralité sur le principe de fonctionnement des machines cnc.	
<i>1.1-Généralités sur le système a commande numérique</i>	2
1.1.1 -Définition d'un système a outil a commande numérique	4
1.1.2- définition d'une fraiseuse numérique	4
1.1.3- avantages d'utilisation d'une machine cnc	5
1.1.4- domaines d'utilisation d'une machine cnc	5
1.2- principe de fonctionnement d'une machine cnc	7
1.2.1-structure générale d'une machine a outil a commande numérique	7
1.2.2-chaîne d'information d'une machine a outil a commande numérique	8
1.3- les éléments d'une machine cnc	10
<i>Chapitre 2 : les moteurs pas à pas</i>	
<i>2.1 – les moteurs pas a pas</i>	12
<i>2.1.1- généralités</i>	12
<i>2.1.2 – avantages</i>	12
<i>2.1.3- les inconvénient</i>	13
2.1.4- applications	13
2.2- différents types des moteurs pas a pas	13
2.2.1- moteurs pas a pas bipolaires	13
<i>2.2.2- moteurs pas a pas unipolaires</i>	14
2.2.3- moteurs à aimant permanents	16
2.2.4- moteurs à reluctance variable	21

2.2.5- moteurs hybrides	22
2.2.6- couple et vitesse d'un moteur pas a pas	23
Chapitre 3 : système de commande et réalisation	
3.1 –généralités sur le système de commande	25
3.1.1 –fonctionnement générale du système de commande	25
3.2 – Etude de système de commande	26
3.2.1- la carte de commande	26
3.2.2-Microcontrolleurs	26
3.2.3-Architecteur des microcontrolleurs	28
3.2.4-ARDUINO UNO	30
3.2.5- caractéristiques de microcontrolleur ATMEGA 328	32
3.2.6 – programmation arduino	33
3.3- circuit de puissance pour moteur pas a pas	34
3.3.1- driver a4889	35
3.3.2- le séquenceur	38
3.3.3- commande moteur pas a pas bipolaire avec arduino et driver a4889	38
3.3.4- contrôleur software	45
3.3.5-réalisation	45
Conclusion générale	48
Bibliographie	49

LISTE DES FIGURES :

<i>Figure1 : fraiseuse cnc</i>	3
Figure2 : structure générale d'une machine cnc	4
Figure3 : chaine d'information d'une machine cnc	5
<i>Figure 4 : ligne de g-code</i>	7
<i>Figure 5 : -symbol generale d'un moteur pas a pas-</i>	9
Figure 6 : moteur pas à pas bipolaire	11
Figure 7 : moteur pas à pas unipolaire	12
Figure 8 : commutation moteurs pas à pas 4 phases unipolaire	14
Figure 9 : rotation d'un tour complet pour un moteur pas à pas bipolaire	15
Figure 10 : rotation d'un tour complet pour un moteur pas à pas bipolaire	
Figure 11 : fonctionnement en mode alimentation demi pas	17
Figure 12 : moteur pas à pas a reluctance variable	19
Figure 13 : moteur hybride	20
Figure 14 : éléments de commande d'une machine cnc	22
Figure 15 : microcontrolleur pic 18F67K40	24
Figure 16 : Architecture des microcontrôleurs	24
Figure 17 : Schéma d'une carte ardui	28

Figure 18 : vue d'une carte arduino uno	28
Figure 19 : Schéma d'une carte arduino uno	29
Figure 20 : vue d'une carte arduino uno	29
Figure21 : arduino IDE	31
Figure 22 : position de driver pour piloter un moteur pas à pas	32
Figure 23 : broches d'un driver a4988	33
Figure24: synoptique illustre le fonctionnement interne d'un driver a4988	34
Figure 25 : montage moteur pas à pas avec arduino et driver a4988	37

LISTE DES TABLEAU

Tableau :1 – séquences d'un moteur pas à pas unipolaire	14
Tableau N°2 des séquences de commutation pour moteur pas à pas alimentation bidirectionnelle	16
Table 3 : séquences d'alimentation de moteur pas à pas en mode demi pas	18

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui avec le grande révolution de la technologie et spécialement l'électronique numérique. la machine occupe une grande palace pour la vie humaine . la majorité des taches de notre vie se réaliser a l'aide des machines (systèmes) . après des visites pour des ateliers de fabrication et construction des objets comme : bois ,plastique ,aluminium ,métal Et après discussions avec ces gens on est trouve que la commande numérique c'est la manilleur solution pour un travail précis et avec une bonne vitesse de réalisation. La majorité des centres d'usinage et de transformation des matières sont équipée par des Systems a commandes numérique.

Dans ce projet on parle sur les principaux éléments de commande qui assurent la commande numérique d'une outil .exactement on parle de système de commande d'une machine CNC.

Chapitre 1 : généralités sur l'usage et le fonctionnement des machines cnc

1.1 – généralités sur les systèmes a commande numérique :

Tous nos objets de vie quotidienne sont fabriqués par des pièces mécaniques avec différents matières (métal, aluminium, bois, plastique.....etc.), cet procédure de fabrication s'appelle l'usinage.

La majorité des centres d'usinage sont équipés de nombreuses systèmes à commande numérique tels que :

- *Les fraiseuses*
- *Les découpes laser*
- *Les imprimantes 3d*
- *Les machines à graver*

1.1.1 –définition d'un système a outil a commande numérique :

Un système a outil a commande numérique (computer numerical control en anglais) ou (CNC) est somme d'automatismes dans laquelle les ordres de mouvements ou déplacements ,la vitesse de ses déplacements et leur précisions est données par des informations numériques.

Ces information son sauvegardés sur la mémoire de la carte de commande de la machine ou bien sont transférés en temps réel a l'aide d'une communication industriel .il est possible de piloter la machine suivant des trajectoires plus au moins complexes en vitesse et position.

1.1.2- Définition d'une fraiseuse numérique :

Est une machine à commande numérique qui nous permet la réalisation des pièces par enlèvement de la matière .on peut l'utiliser pour le métal, le bois, aluminium, le plastique. Différentes outils sont adaptables : forets, points, mèchesEtc. Pour obtenir des coupes et des finitions différentes.

La conception des pièces se fait à l'aide d'un logiciel (CAO) (conception assistée par un ordinateur) .

Chapitre 1 : généralités sur l'usage et le fonctionnements des machines cnc



Figure1 : fraiseuse cnc

1.1.3- avantages d'utilisation d'une machine cnc :

Dans le domaine de l'usinage, le but de cette technique est de réaliser la préparation et l'exécution du travail par des procédés tels que l'intervention humaine est pratiquement supprimée.

Les avantages de cette technique sont de deux sortes : d'une part, les données relatives à un usinage déterminé sont enregistrées et peuvent être rappelées au moment désiré et d'autre part, des usinages extrêmement difficiles sont réalisables sur ce type de machines sans avoir recours à un travail manuel complémentaire grâce au guidage automatique de tous les déplacements relatifs des outils par rapport à la pièce.

L'emploi de la commande numérique représente une véritable escalade dans le domaine de l'usinage. Elle a conduit, d'une part, à une suppression presque totale des ouvriers qualifiés auprès des machines et d'autre part, elle exige l'intervention d'un personnel dont la qualification est de plus en plus proche à celle des Ingénieurs pour préparer les programmes de fabrication.

1.1.4- domaines d'utilisation d'une machine cnc :

le domaine d'application des machines cnc est très large telle que :

- les industries de fabrication mécanique
- les industries d'automobile
- le industries de construction de bois ,décoration ,sculptage
- les industries de transformation des matière comme argile, plastique ...

Chapitre 1 : généralités sur l'usage et le fonctionnements des machines cnc

Chapitre 1 : généralités sur l'usage et le fonctionnements des machines cnc

1.2 - principe de fonctionnement d'une machine outil à commande numérique :

1.2.1 - structure générale d'une machine outil a commande numérique :

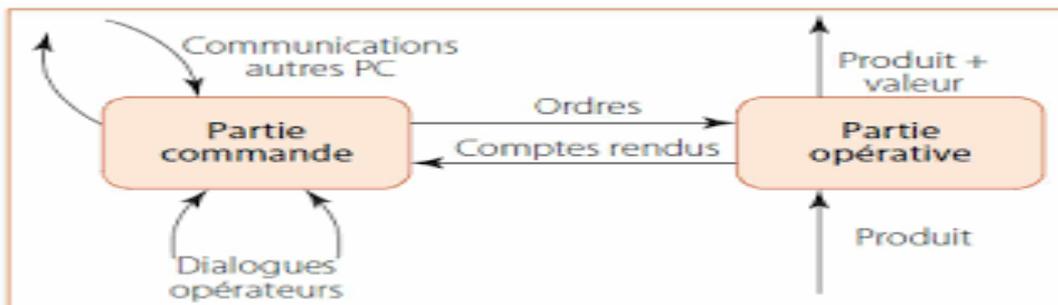


Figure2 : structure générale d'une machine cnc

Une machine outille à commande numérique est composée généralement en deux parties :

- *Partie opérative : contient les actionneurs, ceux sont des moteurs pas à pas qui assurent le déplacement de l'outil sur les trois axes(X,Y,Z). Contient aussi des pré-actionneurs, ceux sont des pilotes (drivers) ; ces pilotes reçoivent des informations numériques depuis la carte de commande et les transforment sous forme de courante électrique vers les moteurs pas à pas.*
- *Partie commande : contient une interface graphique qui est un logiciel software qui assure la transmission des équations de trajectoire vers la carte de commande sous forme des données numériques. Une carte de commande : qui reçoit les ordres et les données depuis le contrôleur, faire l'interprétation à l'aide d'un firmware et les transforme vers les pilotes sous forme des impulsions électriques.*

Chapitre 1 : généralités sur l'usage et le fonctionnements des machines cnc

1.2.2 - chaine d'information d'une machine outille à commande numérique :

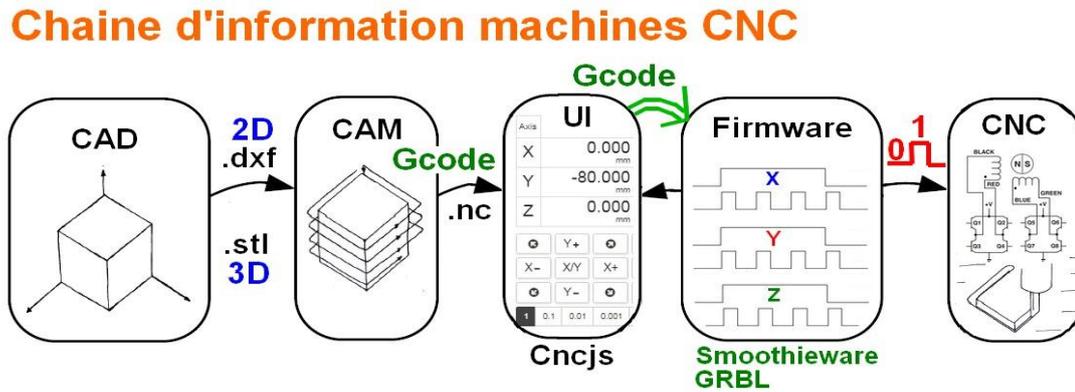


Figure3 : chaine d'information d'une machine cnc

1) CAD :

En anglais, c'est le terme (computer assisted design). en français (CAO) est la conception assistée par ordinateur. La CAO ressemble à des outils informatiques (logiciels et matériels) qui permette de réaliser une modélisation géométrique d'un objet afin de pouvoir simuler des tests en vue d'une fabrication.

Elle est employée pour la conception de circuits électroniques et de processeurs. Les logiciels permettent d'affecter le comportement correspondant à chaque composant de telle sorte qu'il est ensuite possible d'en simuler le fonctionnement. La CAO est très utile pour optimiser l'implantation des composants sur un circuit imprimé dont les schémas souvent complexes s'échelonnent sur plusieurs couches.

Après modélisation d'un objet on obtient un fichier avec extension (.dxf) si l'objet est en 2d ou bien un fichier avec extension (.stl) si l'objet est en 3d.

Logiciels de CAD :

- solide works
- autocad
- inkspace
- drafsight

Chapitre 1 : généralités sur l'usage et le fonctionnements des machines cnc

- *fusion 360*

2) CAM :

En anglais, (computer assisted manufacturing) .en français FAO (fabrication assistée par ordinateur). C'est l'ensemble des logiciels pour la préparation de l'usinage, elle convertie les fichiers de modélisation (.stl , .dxf) sous forme d'un fichier texte en G-code .

Ce fichier est un ensemble des ordres de commande de déplacement de l'outil de la machine cnc.

1) G-code :

Le g-code est un langage de commande, il donne des ordres de déplacements à la machine telle que aller vers le point (x y z), tracer un cercle de rayon r, etc.

Développer à l'origine pour des machines-outils par enlèvement de matière, le G-code est désormais utilisé dans un domaine très vaste de la fabrication, avec des adaptations :

- Usinage par enlèvement de matière :
Tournage, fraisage, perçage, gravure, défonçage ;
- Découpe avec :
Couteau, laser, jet d'eau, plasma, flamme ou oxydation ;
- Poinçonnage
- Impression 3D :
 - *par dépôt de matière, durcissement d'une résine, solidification de poudre*
- *Chaque ligne de G-code peut contenir un maximum de 256 caractères.*
- *Une ligne est souvent précédée par un numéro de ligne. Celle ci est optionnelle, mais importante pour pouvoir identifier une ligne particulière. Le numéro de ligne doit être un nombre entier positif, et doit être précédé de la lettre N.*
- *Le numéro de ligne est suivi d'un/ou plusieurs « mots ». En réalité il ne s'agit pas de mots composés de plusieurs lettres, mais d'une lettre suivie d'un nombre. Par exemple « **G1 X50** » comporte deux mots **G1** et **X50**, et signifie « se déplacer en ligne droite sur 50mm à vitesse normale sur l'axe X ».*

Chapitre 1 : généralités sur l'usage et le fonctionnements des machines cnc

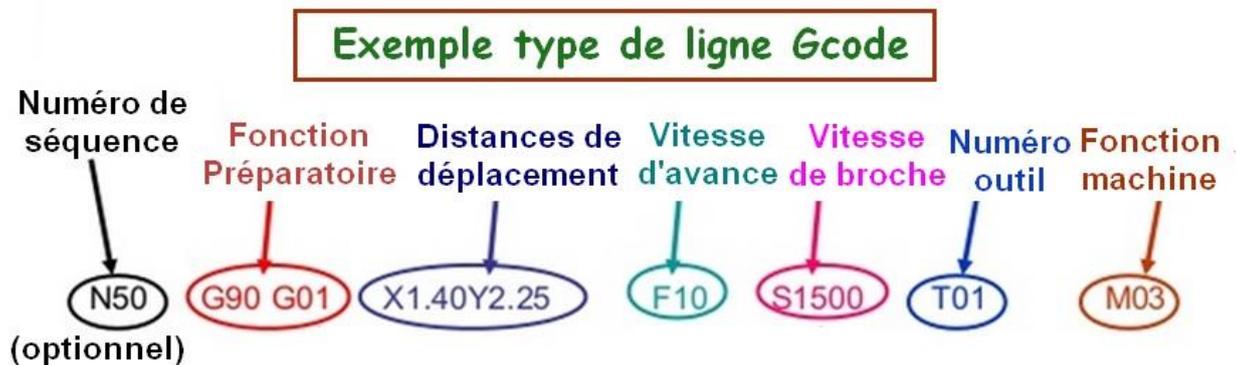


Figure 4 : ligne de g-code

2) UI :

En anglais, (user interface), c'est l'interface humaine machine qui permet à l'opérateur l'interaction avec la machine. **est** (C'est/et) un contrôleur software qui assure la communication avec la carte de contrôle et la génération de g-code en plus la réception des information depuis la carte de contrôle et l'affichage des positions des axes de l'outil

Exemples des contrôleurs :

- Mach3
- Grbl controller

3) Firmware :

Est un programme intégré dans le contrôleur de la carte de commande de la machine pour l'interprétation de G-code. Le firmware est l'intermédiaire entre le hardware et software de la machine.

4) La carte de commande :

Est un circuit électronique basé essentiellement sur un contrôleur (microcontrôleur, microprocesseur) et des entrées/sorties. Son rôle est de recevoir le g-code transmit de contrôleur software et le convertir vers des impulsions électriques pour le déplacement des moteurs pas à pas.

1.3- éléments d'une machine cnc :

Une machine cnc est composé principalement d'une outil .

Cette outil a le rôle d'effectuer une tache précis telle que le fraisage ,le perçage ,le remplissage..... .cette outil est fixé sur un système mécanique qui lui donne la possibilité de mouvement linéaire sur les 3 axes de l'espace (X,Y,Z).ces mouvement se fait a l'aide des moteurs pas a pas .

La commande se fait par une carte de commande ,et les calculs des trajectoires se fraisent a l'aide une calculateur (ordinateurs).

Chapitre 1 : généralités sur l'usage et le fonctionnements des machines cnc

1.4- Conclusion :

la commande numérique d'une outil de réalisation de quelque tache offre plusieurs avantage telle que :la précision et la vitesse de réalisation ,ainsi que la réalisation des taches complexes pour l'humaine .

Chapitre 2 : les moteurs pas a pas

2.1-les moteurs pas à pas :

le principe des moteurs pas à pas est connu de longue date , mais son développement est commencé dans les années 1960 grâce à l'avènement de l'électronique numérique.

2.1.1 – généralités :

Le moteur pas à pas est une machine tournante dont le rotor se déplace d'un angle élémentaire(α) appelé pas chaque fois que sont circuit de commande effectue une commutation de courant dans un ou plusieurs enroulements toutes fois une succession rapproché de commutation permet d'obtenir une rotation continue.

La commande de la position et la vitesse d'un moteur pas à pas se fait sans asservissement. C'est-à-dire, ne nécessite pas une chaine de retour pour vérifier les résultats qui correspond exactement aux ordres donnés à condition à respecter certaines limites de fonctionnement.

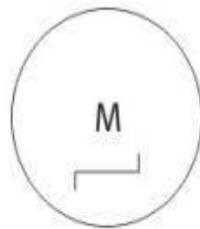


Figure 5 : -symbol generale d'un moteur pas a pas-

2.1.2- avantage :

Le moteur pas à pas constitue une solution simple et bon marché pour les commandes en position. Il est parfaitement adapté à une commande par un signal numérique et ne nécessite pas un asservissement.

2.1.3- inconvénients :

*Les rendements des moteurs pas à pas est en générale déplorable dans certaines conditions.
Le risque de perde de pas.*

2.1.4- applications :

Les moteurs pas à pas utilisés de longue date dans l'horlogerie (montres et pendules), de façon générale les moteurs pas à pas sont particulièrement indiqués pour obtenir un positionnement précis : antennes et satellites, télescopes, machines cnc, imprimantes 3d, scanners, quelques accessoires automobiles

2.2- différents types des moteurs pas à pas :

Tous les moteurs pas-à-pas comprennent un stator portant des bobines dans lesquelles; Le courant est commute par l'électronique de commande. Par contre, les différences apparaissent au niveau du rotor.

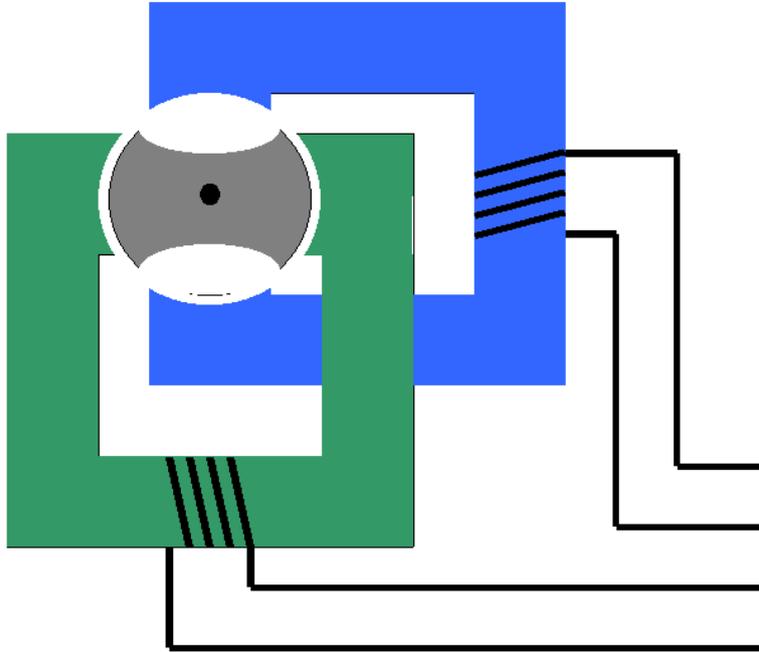
-----Selon l'alimentation des bobines, on distingue deux types----- :

2.2.1-Moteurs bipolaires:

les phases d'un moteur bipolaire sont alimentées une fois dans un sens et d'une autre fois dans le sens inverse. Ils créent une fois un pole nord et l'autre fois un pole sud d'où le nom de bipolaire.

Figure 6 : moteur pas à pas bipolaire

Moteur bipolaire



2.2.2-Moteurs unipolaires :

les phases sont alimentées dans un seul sens

Moteur unipolaire

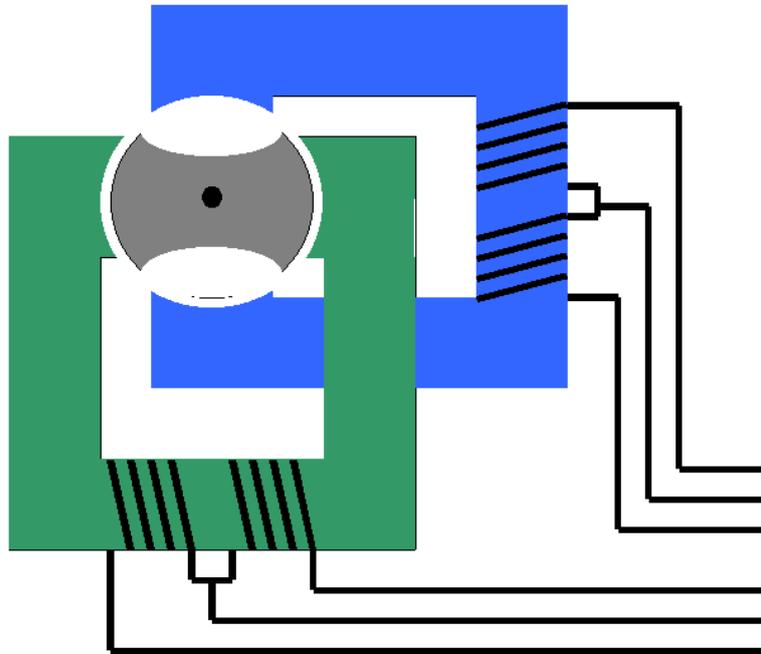


Figure 7 : moteur pas à pas unipolaire

Généralement les moteurs bipolaires possèdent 2 phases et les moteurs unipolaires possèdent 4 phases.

-----selon la conception on distingue 3 types : -----

- moteurs à aimant permanent
- moteurs à reluctance variable
- moteurs hybrides

2.2.3- moteurs à aimant permanent :

Principe :

Le rotor porte des aimant permanents et considérons le stator comporte quatre bobines et le rotor est un aimant bipolaire

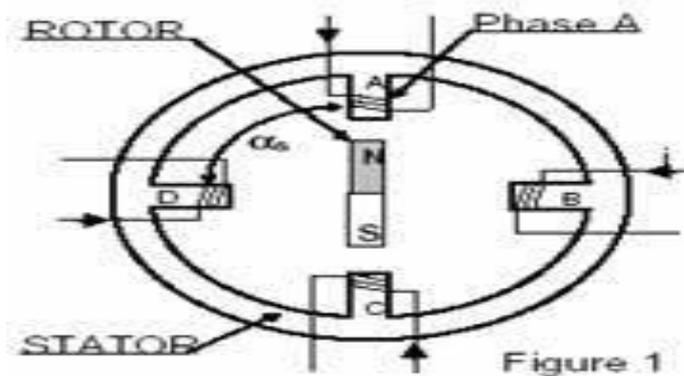


Figure 8 : moteur pas a pas a aimant permanente

En l'absence de courant électrique dans les enroulements, le rotor se positionne dans une position d'équilibre stable, sa paire de phase est en face de paire de plots de rotor. Pour écarter le rotor de sa position de repos, il faut exercer un couple appelé couple de détente. On peut alimenter les quatre bobines de diverses manières. La plus simple est d'imposer un courant, toujours de même sens, dans une seule bobine a la fois. Les positions d'équilibre stable correspondent donne à l'axe magnétique du rotor en face de l'axe des bobines, pole nord associe à pole sud. Il y a ainsi quatre positions d'équilibre.

Pour obtenir une rotation d'un tour, il faut effectuer quatre commutations.

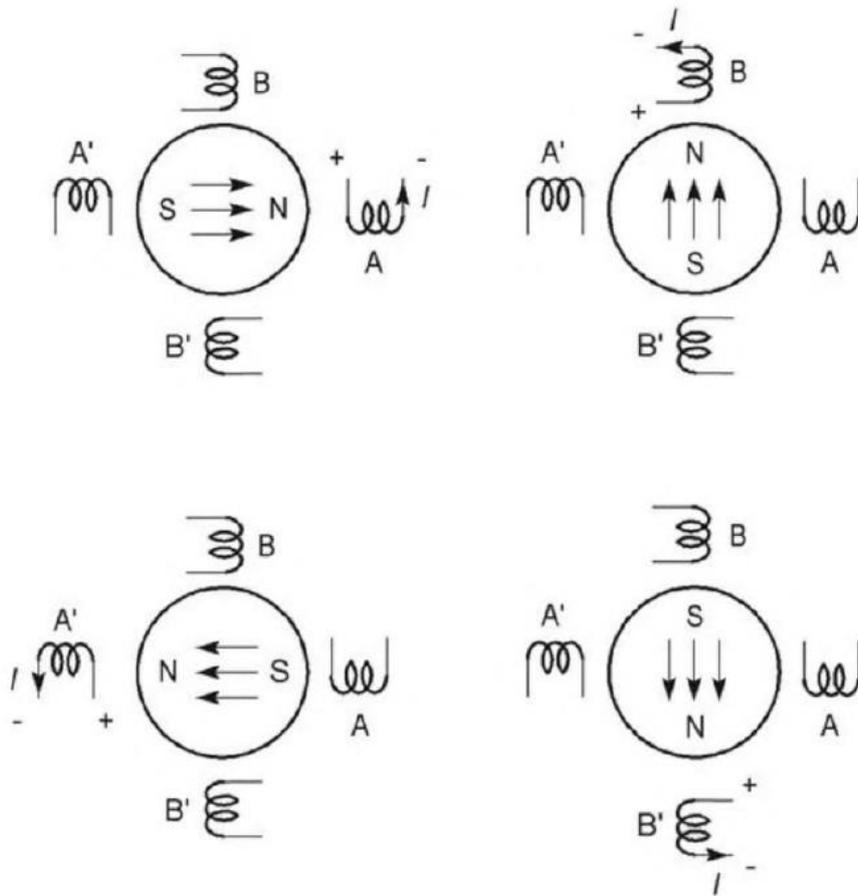


Figure 9 : commutation moteurs pas à pas 4 phases unipolaire

Position du rotor	Courants dans les phases			
	A	B	A'	B'
1	I	0	0	0
2	0	I	0	0
3	0	0	I	0
4	0	0	0	I

Tableau :1 – séquences d'un moteur pas à pas unipolaire

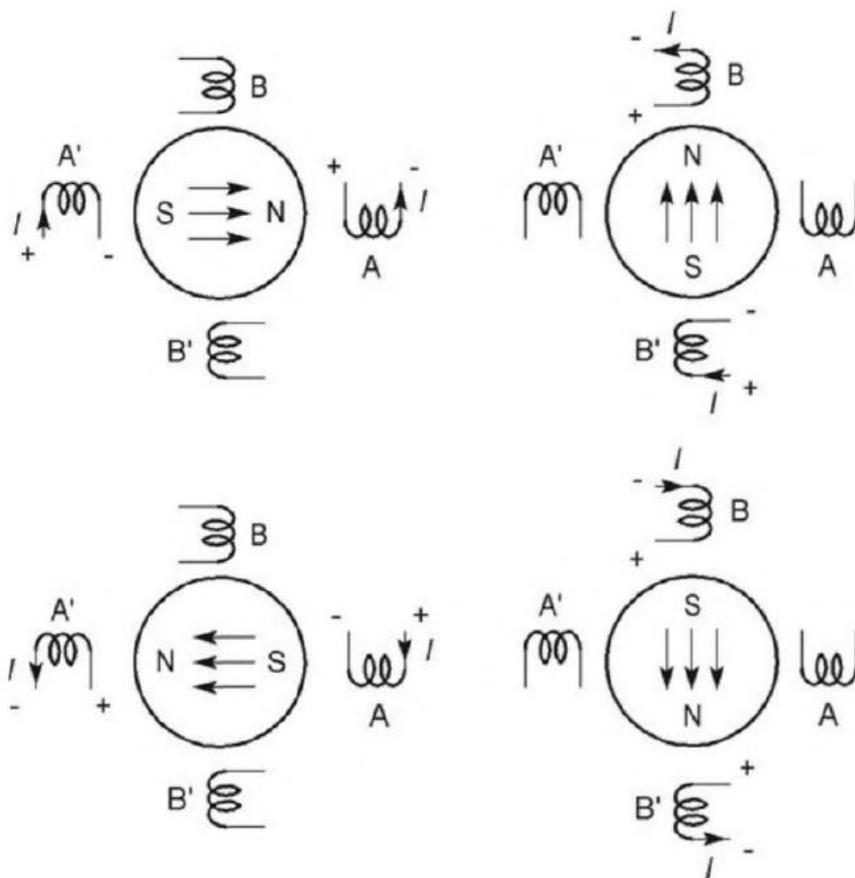
Chapitre 2: les moteurs pas à pas.

L'angle de déplacement de rotor d'une phase à l'autre appelé le pas dans notre cas le moteur se fait 4 pas pour un tour complet. Donc, le moteur se déplace par un angle de 90° pour faire un autre tour, il suffit de repeter les impulsions électriques des phases successivement.. Donc, on peut asservir la position de déplacement d'un moteur pas à pas à l'aide des impultions électriques vers les bobines de ce moteur.

-Pour inverser le sens de rotation de moteur, il suffit d'inverser l'ordre d'alimentation des phases successivement de 4 à 1.

-Pour une alimentation bidirectionnelle, on couple deux phases à la fois et on applique une alimentation inversé dans les enroulements.

-Pour obtenir un tour complet de rotor, il faut quatre commutations * la figure 8 illustre le fonctionnement :



**Figure 10 : rotation d'un tour complet pour un moteur pas à pas
bipolaire**

Position du rotor	Courants dans les phases	
	AA'	BB'
1	I	0
2	0	I
3	$-I$	0
4	0	$-I$

Tableau N°2 :

des séquences de commutation pour moteur pas à pas alimentation bidirectionnelle

Le pas est toujours 90° , ce mode est appelé pas complet pour améliorer la résolution, on alimente deux phases à la fois et ce mode d'alimentation est appelé demi pas.

Il est possible de se servir des deux types de positions d'équilibre, celles dans Γ axe des plots et celles sur les bissectrices, en alimentant alternativement une phase puis deux : on parle alors de fonctionnement en demi pas (figure 9) et (table 3) précise la séquence de commutation dans ce cas.

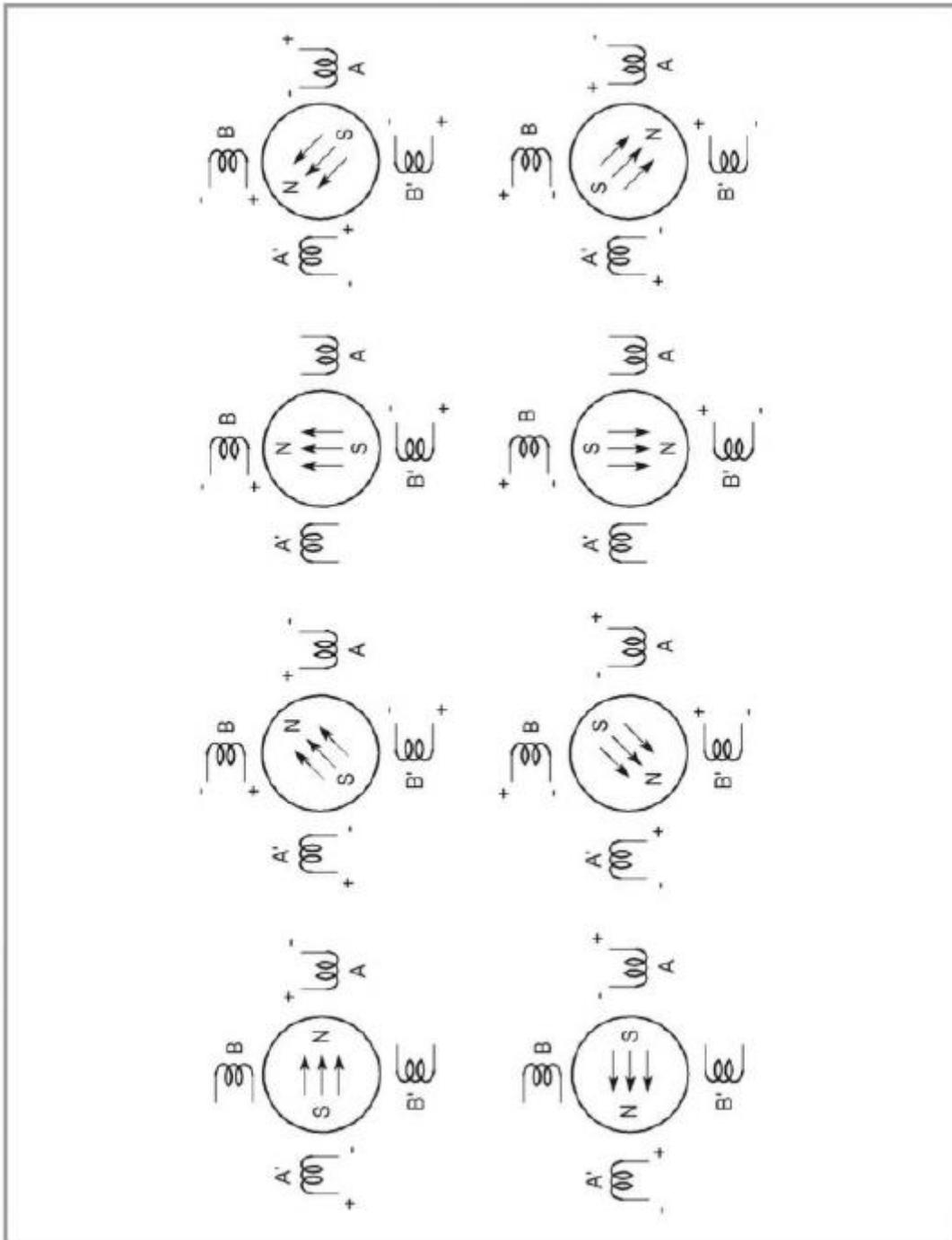


Figure 11 : fonctionnement en mode alimentation demi pas

Position du rotor	Courants dans les phases	
	AA'	BB'
1	I	0
2	I	I
3	0	I
4	$-I$	I
5	$-I$	0
6	$-I$	$-I$
7	0	$-I$
8	I	$-I$

Table 3 : séquences d'alimentation de moteur pas à pas en mode demi pas .

Cette fois l'angle de pas est 45° donc 8 pas par tour pour plus de précision, on peut alimenter le moteur en mode micro pas grâce aux pilotes intégrés (drivers), on les parle dans le chapitre 3 dans la partie commande.

2.2.4- moteurs à reluctance variable :

Le moteur pas-à-pas **réductant** (Variable reluctance motor VR) comporte nb bobines distinctes au stator et un rotor ferromagnétique sans aimant ($n_a=0$). Sans courant dans les bobinages statoriques, ce type de moteur ne présente pas de couple réductant.

Les circuits magnétiques du rotor et du stator sont assemblés à partir de tôles magnétiques de haute perméabilité (fer-silicium ou même fer-cobalt). Certaines machines, destinées au positionnement ou à une rotation très lente, peuvent avoir un rotor ou/et un stator en fer massif. Il existe un grand nombre d'astuces de construction pour augmenter le nombre de pas par tour, comme par exemple les structures bifilaires qui ne seront pas étudiées dans cette recherche. Pour minimiser la force magnétomotrice et augmenter la puissance massique, l'entrefer des moteurs pas à pas à reluctance variable doit être aussi petit que possible. Plusieurs géométries du rotor et du stator ont été ainsi imaginées par les

Chapitre 2: les moteurs pas à pas.

constructeurs pour remplir des cahiers des charges particuliers. On distingue trois géométries de base, à savoir : - Les moteurs pas à pas à réluctance variable à plots statoriques non dentés - Les moteurs pas à pas à réluctance variable à plots statoriques dentés - Les moteurs pas à pas à réluctance variable à plots statoriques non dentés décalés

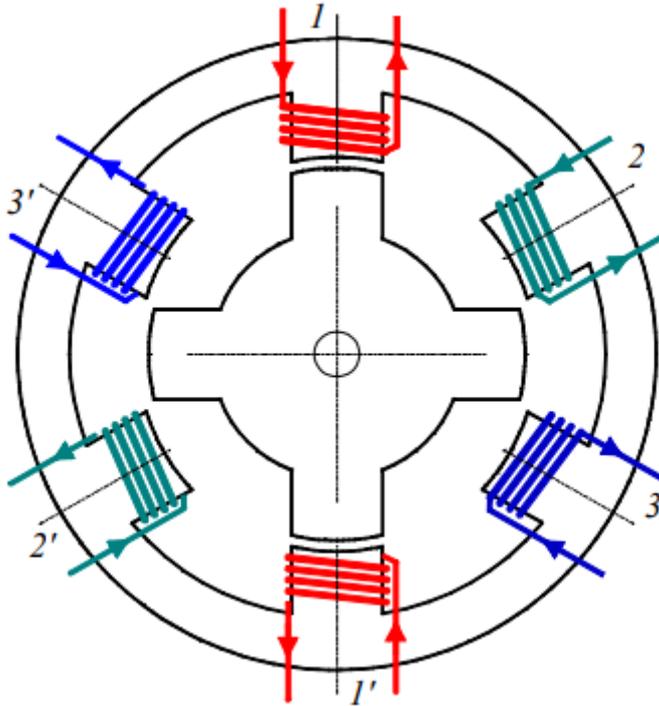


Figure 12 : moteur pas à pas a reluctance variable

2.2.5- moteurs hybrides :

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

p : nombre de pôles magnétiques vu par le stator

Ndr Nombre de dents sur une couronne rotorique

m : nombre de phases (doit être pair)

L'augmentation du nombre de plots statoriques alimentés simultanément permet d'augmenter le nombre de dents du rotor, et donc de diminuer le pas angulaire du rotor. Le même résultat s'obtient par la subdivision des plots en plusieurs dents. Les moteurs pas à

Chapitre 2: les moteurs pas à pas.

pas hybrides comptent parmi les moteurs pas à pas les plus fabriqués. Ils existent aussi bien en structure aux circuits simples (single stack), qu'en structure multiple (multi stack). Dans presque tous les cas, les plots dentés du stator présentent le même pas que les dents aimantées du rotor L.

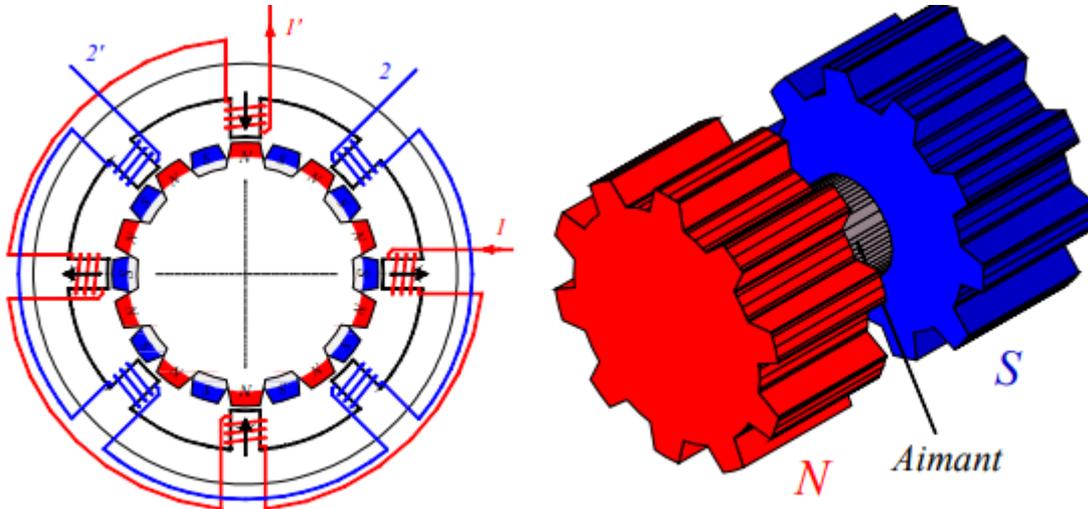


Figure 13 : moteur hybride

2.2.6- le couple et la vitesse d'un moteur pas a pas :

Le couple du moteur dépend

- de l'intensité traversant les bobines
- de sa position angulaire à un instant donné quand il passe d'une bobine à l'autre
- de la vitesse de pilotage

On définit une vitesse limite au démarrage et une vitesse limite de fonctionnement, vitesses au-delà desquelles le moteur décroche. Cette limitation de vitesse est surtout due à l'effet de self des bobines.

La valeur du couple est généralement donnée pour 5 pas à la seconde

Le couple de maintien est le couple mesuré à l'arrêt, les bobines étant alimentées.

Le couple de détente est le couple quand les bobines ne sont pas alimentées.

Le couple dépend aussi du mode fonctionnement. En mode biphasé, le champ créé dans les bobines est 1,4 fois plus grand quand mode monophasé, le couple résultant est donc plus grand.

Chapitre 2: *les moteurs pas à pas.*

Le positionnement angulaire présente une oscillation à chaque pas. Le rotor dépasse la position souhaitée puis revient en oscillant de part et d'autre de la position. Ce défaut est gênant à certaines vitesses.

En astronomie, le moteur doit tourner à 2 vitesses pour permettre le suivi des étoiles et se positionner rapidement sur un astre. Le fonctionnement rapide doit se trouver dans la zone de démarrage.

2.2.6-conclusion :

Le moteur pas à pas est l'élément responsable sur le déplacement des axes pour la machine cnc grâce à ces propriétés de rotation par une simple impulsion électrique, et son facilité de positionnement son assurissement par une chaîne de retour en plus nous offre la possibilité de contrôler la vitesse.

Chapitre 3: système de commande et réalisation

3.1 –généralités sur le système de commande :

Le système de commande généralement se compose de trois (3) parties :

- une carte de commande qui est basée sur un microcontrôleur
- une carte de puissance (driver) qui est basée sur un séquenceur.
- un contrôleur software.
-

3.1.1 –fonctionnement générale du système de commande :

Le contrôle numérique sert à piloter un outil dans un plan (3d) comme notre cas. Pour piloter cet outil, il faut bien contrôler les axes de déplacement de l'outil. Pour bien contrôler les déplacements avec une précision déterminée il faut :

- réaliser les équation des trajets de l'outil grâce à un logiciel de FAO, on obtient un fichier G-code.
- Le contrôleursoftware, c'est lui qui transmet cette forme de g-code vers la carte de commande grâce à une communication série .
- la carte de commande grâce au microcontrolleur reçoit les impulsions ,interpréter le code reçu et le transmettre vers la carte de puissance des moteurs pas à pas sous forme des impulsions numériques.
- La carte de puissance reçoit les impulsions et grâce au séquenceur intégré interprète ces impulsions électroniques et les convertit vers des courants électriques pour alimenter les moteurs.

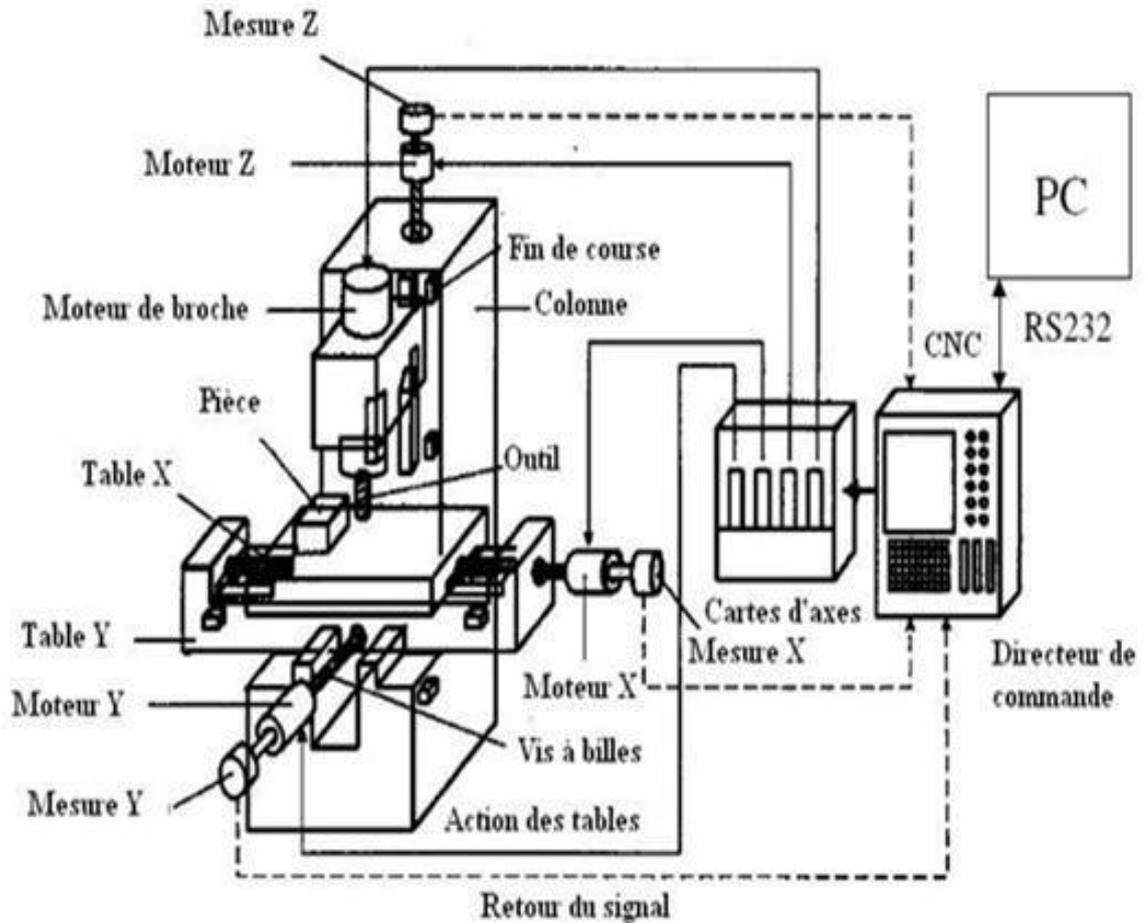


Figure 14 : éléments de commande d'une machine cnc

3.2 – Etude de système de commande :

3.2.1- la carte de commande :

La carte de commande est basée sur un circuit intégré qui s'appelle le microcontrôleur.

3.2.2 -Microcontrôleurs :

Sa notation abrégée est μc est un circuit intégré qui ressemble aux éléments essentiels d'un ordinateur (processeur, mémoires (RAM et ROM), unités, périphériques et interface entrées /sorties).

- Les microcontrôleurs sont des circuits programmables qui nous permettent de gérer les fonctions d'un système embarqué. Il existe de différentes familles dans le marché mondiale telles que : pic de la famille microship , ATMEL AT91,c 167 de la famille siemens / infineon ,ATMEL avr (utilisé dans les cartes arduino on les voit dans ce chapitre).

Chapitre 3 : le système de commande

- Le langage de programmation de ce type des circuits c'est le langage C en générale , et chaque famille de ces microcontrôleurs possède un environnement de développement (IDE).

- **Avantages :**

- Diminution de l'encombrement du matériel et du circuit imprimé.
- Simplification du tracé du circuit imprimé (plus besoin de tracer de bus !)
- Augmentation de la fiabilité du système
- Intégration en technologie MOS, CMOS, ou HCMOS diminution de la consommation.
- Le microcontrôleur contribue à réduire les coûts à plusieurs niveaux : moins cher que les composants qu'il remplace. Diminution des coûts de main d'œuvre (conception et montage)
- Environnement de programmation et de simulation évoluée

- **Inconvénients :**

- le microcontrôleur est souvent surdimensionné devant les besoins de l'application.
- Investissement dans les outils de développement.
- Écrire les programmes, les tester et tester leur mise en place sur le matériel qui entoure le microcontrôleur.
- Incompatibilité possible des outils de développement pour des microcontrôleurs de même marque.
- Les microcontrôleurs les plus intégrés et les moins coûteux sont ceux disposant de ROM programmables par masque. Fabrication uniquement en grande série >1000
- Défaut relatif car il existe maintenant un système des versions OTPROM un peu plus cher.



Figure 15 : microcontrôleur pic 18F67K40

3.2.3- Architecture des microcontrôleurs :

On peut définir un microcontrôleur comme une unité de traitement de l'information de type microprocesseur à laquelle on a ajouté des périphériques internes permettant de réaliser des montages sans nécessiter l'ajout de composants externes.

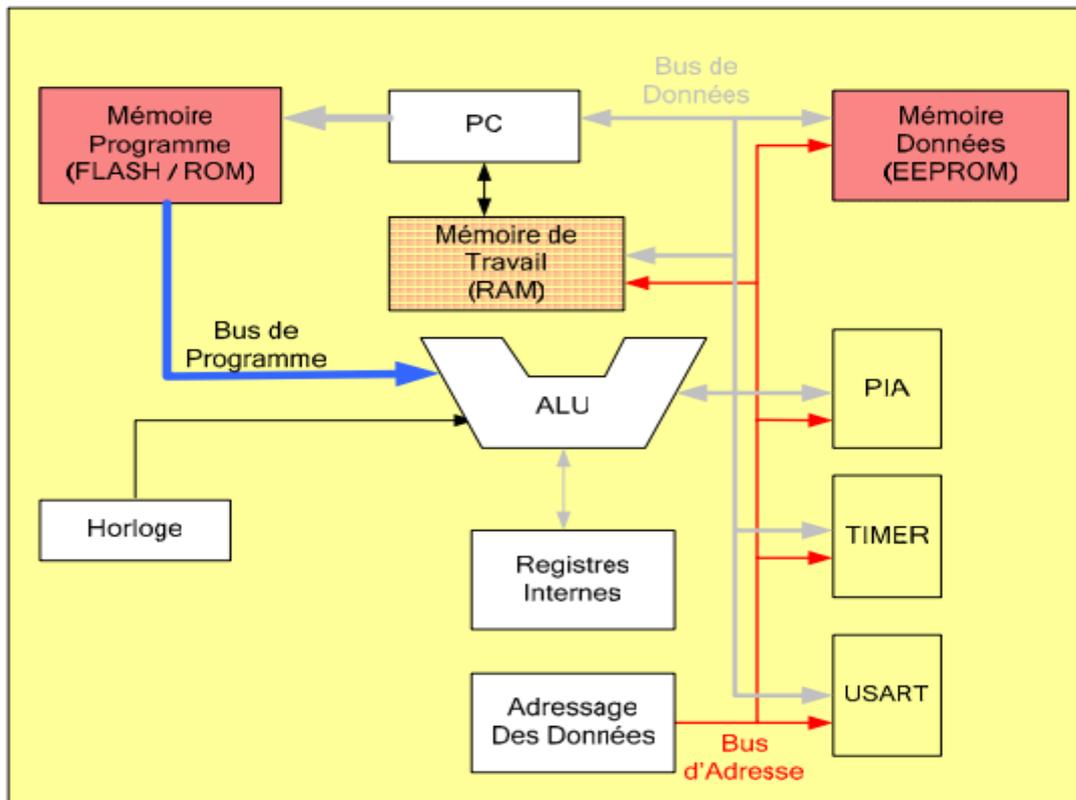


Figure 16 : Architecture des microcontrôleurs

Chapitre 3 : le système de commande

PC : Compteur Programme

ALU : Unité Arithmétique et Logique.

PIA : Interface Parallèle Programmable (Parallel Interface Adaptor)

TIMER : Générateur de signaux d'horloge

USART : Transmetteur Série Synchrones - Asynchrones (Universal Synchronous - Asynchronous Receiver/Transmitter)

BUS d'Adresse : Permet d'activer le circuit pour lequel les données sont envoyées ou lues.

BUS de Données : Contient l'information binaire devant être traitée par l'ALU ou le circuit adressé.

Chaque constructeur fournit un fichier appelé datasheet contenant toutes les caractéristiques techniques du circuit.

Mémoire vive (RAM : random access memory) :

Il s'agit d'un espace de stockage où va se dérouler l'exécution d'un programme. Elle doit être rapide en lecture et écriture. Elle est généralement volatile, c'est-à-dire qu'elle est remise à zéro lorsqu'elle n'est plus sous tension.

Ses caractéristiques la rendent chère, c'est pourquoi elle est en disponibilité de façon très limitée au sein d'un microcontrôleur (de quelques dizaines d'octets à plusieurs kilo-octets pour l'entrée de gamme). Cette limitation encourage particulièrement l'optimisation du code afin de l'utiliser et la nettoyer efficacement.

En utilisant un compilateur, le développeur n'a pas à s'occuper de la RAM, il doit seulement veiller à ne pas la gaspiller. En revanche, si on souhaite écrire un programme en assembleur, il devient nécessaire de se familiariser avec les instructions d'écriture et lecture en RAM, ainsi qu'avec l'adressage de ses secteurs.

Mémoire morte (ROM : read only memory) :

Cette mémoire est beaucoup plus lente mais permet de rester persistante même hors-tension. Un microcontrôleur va utiliser deux types de mémoire morte :

- la mémoire « programme », qui va contenir le code assembleur à exécuter sur le processeur lors de la mise sous tension

Chapitre 3 : le système de commande

- la mémoire « données », où le programme pourra stocker des données de façon persistante. Elle est souvent appelée EEPROM pour Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory (mémoire effaçable électriquement, programmable en lecture seule). Les mémoires peuvent être stockées sur un même composant ; on distingue ensuite deux architectures :
- *Harvard*, qui va séparer l'accès (par les instructions) à la mémoire programme de la mémoire données, au point que les bus utilisés soient séparés. On peut ainsi transférer simultanément des instructions depuis la mémoire programme et des données vers la mémoire données
- *Von Neumann*, où une unité de contrôle gère les entrées et sorties vers une mémoire unifiée. Les instructions y sont donc des données manipulables comme celles-ci (il y a bien entendu d'autres subtilités, mais on restera sur celles-ci)
Bien que ROM signifie à l'origine « Read-Only Memory » (soit mémoire en lecture seule), il est possible d'y écrire et y réécrire, même depuis le programme lui-même. Sa taille varie beaucoup en fonction de la gamme, et peut aller de quelques centaines d'octets à plusieurs millions.

Il est possible d'utiliser également des mémoires externes, à travers des bus de communication. Celle-ci sont très lentes comparées à la ROM interne, mais permettent d'étendre la mémoire disponible pour des programmes très gourmands. Il faudra, par contre, gérer au niveau du logiciel l'écriture et la lecture depuis ces composants.

3.2.4 ARDUINO UNO :

Pour notre système de commande de la machine cnc, on utilise l'interface arduino qui est une carte électronique conçue spécialement pour le contrôle des systèmes embarqués. Cette carte est basée sur un microcontrôleur ATMEL de référence ATmega 328 qui un microcontrôleur 8 bits de la famille AVR dont la programmation peut être réalisée par le langage c/c++.

L'intérêt principale des cartes arduino est leur facilité de mise en œuvre. Un environnement de développement (IDE), s'appuyant sur des outils open-source, est fourni. En outre, charger le programme compilé dans la mémoire du microcontrôleur se fait très simplement (via par port USB) dans cet IDE. Enfin, beaucoup de bibliothèques de fonctions sont également fournies pour l'exploitation des entrées-sorties courantes : E/S TOR, gestion des convertisseurs ADC, génération de signaux PWM, exploitation de bus TWI/I2C, exploitation de servomoteurs, d'afficheurs LCD

-Schéma simplifié d une carte arduino uno :

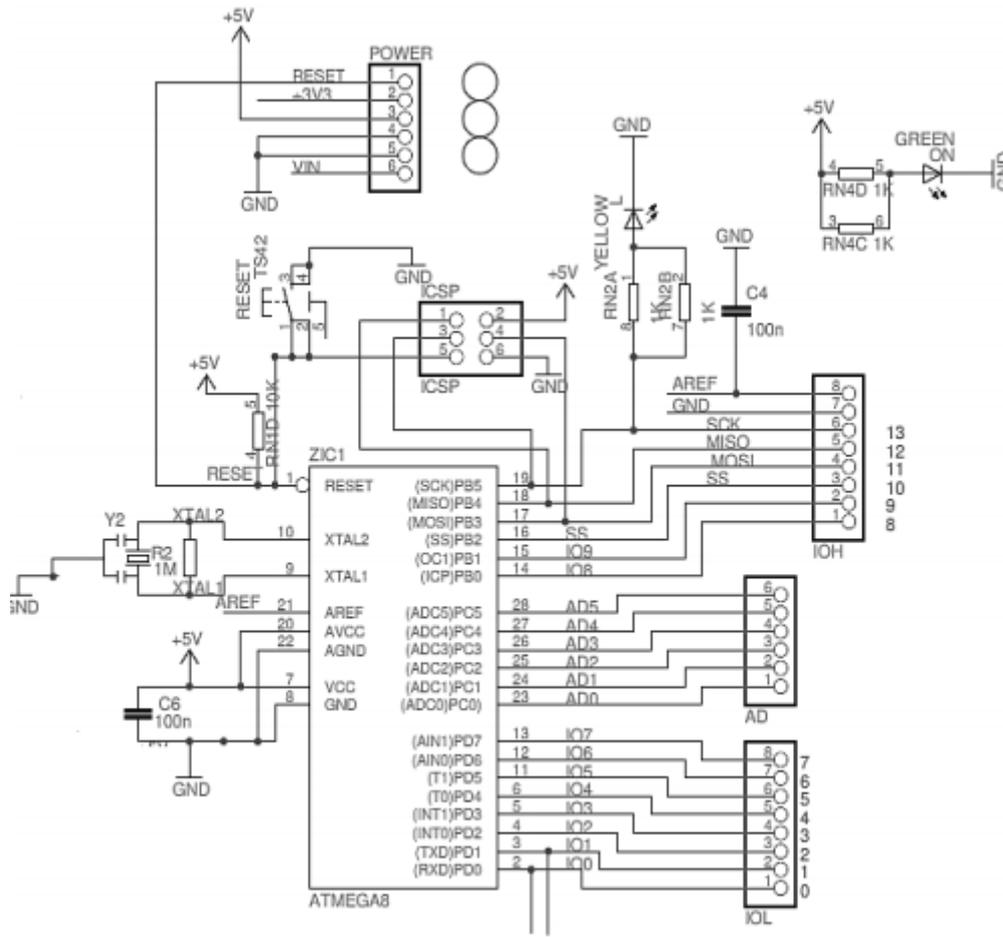


Figure 17 :
Schéma
a
d'une
carte
arduino
o uno

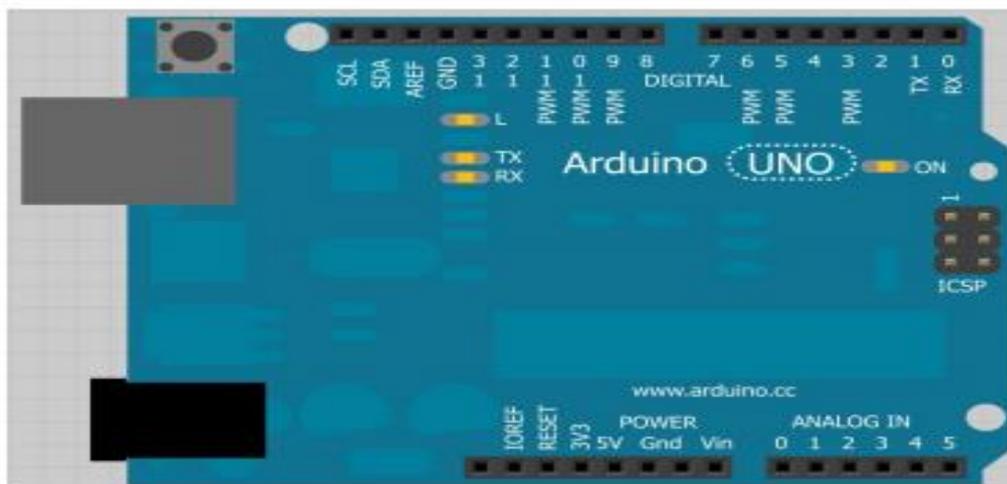


Figure 18 : vue d'un arduino uno

(Connecteur) Numéros 0 à 7 ↔ Broches PD0 à PD7 (microcontrôleur)

(Connecteur) Numéros 8 à 13 ↔ Broches PB0 à PB5 (microcontrôleur)

(Connecteur) ANALOG IN 0 à 5 ↔ Broches PC0 à PC5 (microcontrôleur)

3.2.5-caractéristiques de microcontrôleur ATMEGA 328 :

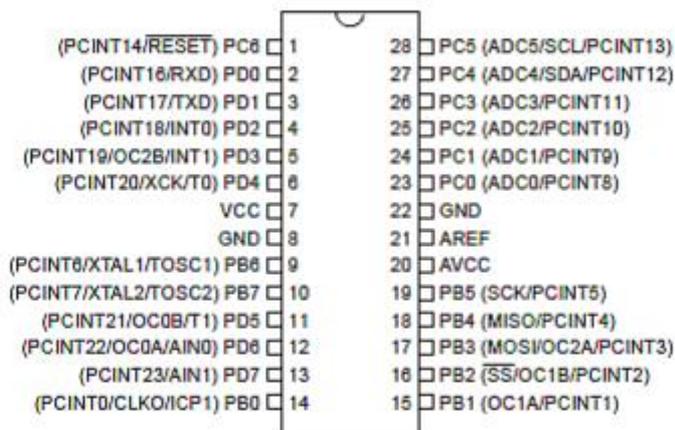


Figure 19 : broches de microcontrôleur atmega 328

FLASH = mémoire programme de 32Ko

SRAM = données (volatiles) 2Ko

EEPROM = données (non volatiles) 1Ko

Digital I/O (entrées-sorties Tout Ou Rien) = 3 ports PortB, PortC, PortD (soit 23 broches en tout I/O)

Chapitre 3 : le système de commande

Timers/Counters : Timer0 et Timer2 (comptage 8 bits),

Timer1 (comptage 16bits) Chaque timer peut être utilisé pour générer deux signaux PWM. (6 broches OCxA/OCxB)

Plusieurs broches multi-fonctions : certaines broches peuvent avoir plusieurs fonctions différentes, choisies par programmation. Elles ont alors plusieurs noms sur le brochage.

Par exemple, les broches **PB1, PB2, PB3, PD3, PD5, PD6** peuvent servir de sortie **PWM** (Pulse Width Modulation), c'est-à-dire des sorties qui joueront le rôle de sorties analogiques. Elles correspondent aux broches des connecteurs **3, 5, 6, 9, 10 et 11**. Cet autre rôle possible est lié aux **timers** et ces broches sont alors appelées **OCxA** ou **OcxB** dans la documentation. Ce sont les mêmes broches, mais pour une autre fonction. Si vous regardez à nouveau le brochage, vous constaterez que toutes les broches sont multifonctions. **PWM = 6 broches OC0A(PD6), OC0B(PD5), OC1A(PB1), OC1B(PB2), OC2A(PB3), OC2B(PD3)**

Les broches du **PORTC** peuvent être converties par un convertisseur Analog toDigital. Analog to Digital Converter (résolution 10bits) = 6 entrées multiplexées **ADC0(PC0)** à **ADC5(PC5)**

Gestion bus **I2C** (TWI Two Wire Interface) = le bus est exploité via les broches **SDA(PC5)/SCL(PC4)**.

Port série (USART) = émission/réception série via les broches **TXD(PD1)/RXD(PD0)**

Comparateur Analogique = broches **AIN0(PD6)** et **AIN1 (PD7)** peut déclencher interruption Watchdog Timer programmable.

Gestion d'interruptions (24 sources possibles (cf interrupt vectors))

3.2.6-Programmation d'arduino :

Le plateforme arduino offre des outils de développement pour l'utilisation de ces cartes.

IDE : l'environnement de développement intégré, c'est un logiciel arduino multiplateforme comprend un éditeur du texte, il a quelque préparation de code source. L'éditeur est également en mesure de compiler et charger le programme de travail et exécutable sur la carte, en plus contient des bibliothèques intégrées (plus d'une douzaine).

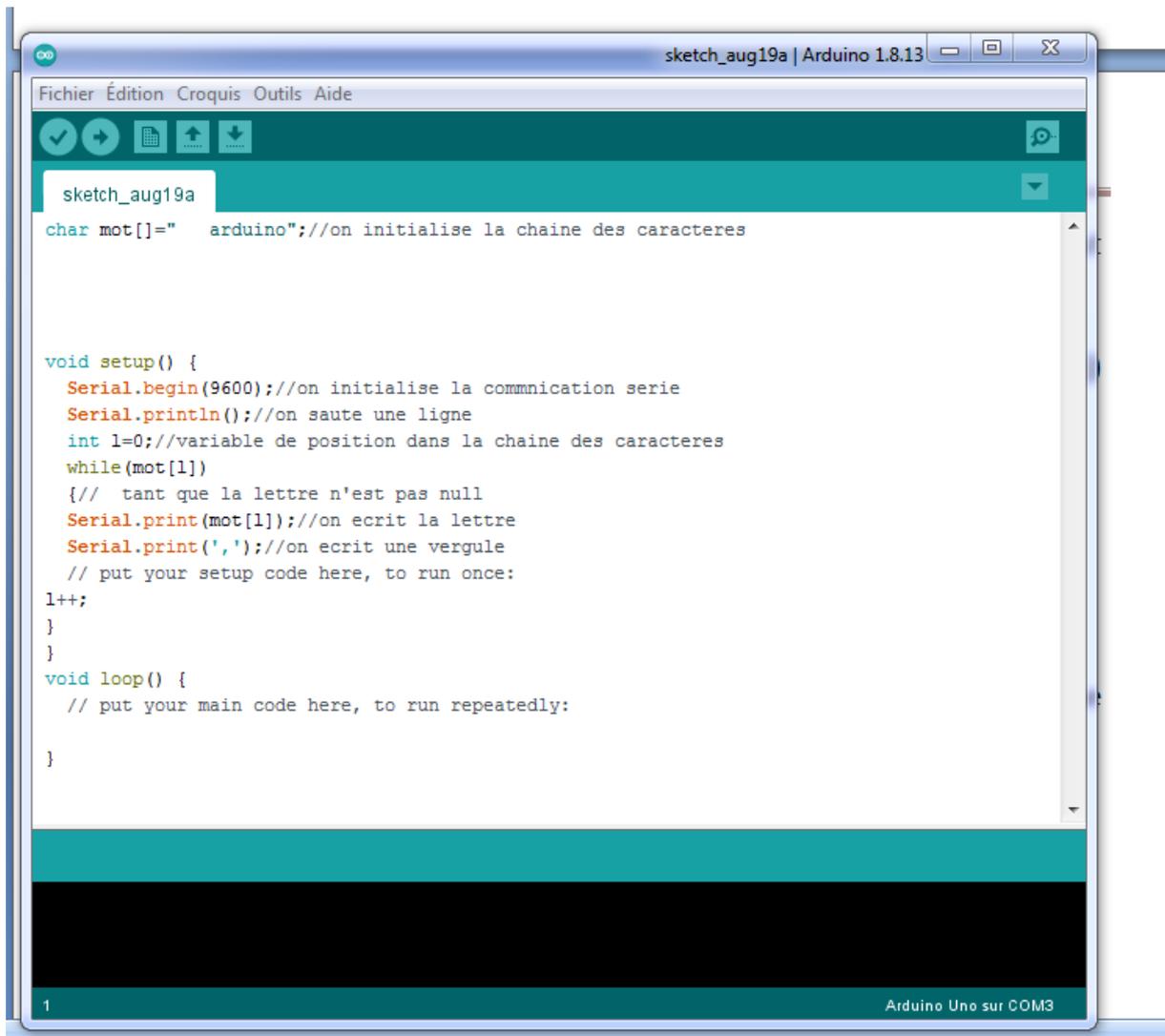


Figure20 : arduino IDE

3.3. -Circuit de puissance d'un moteur pas à pas (driver) :

Pour faire piloter un moteur pas à pas on a besoin d'un électronique de puissance pour :

- L'alimentation des moteurs avec ses contraintes de tensions, courants et puissances à dissiper.
- Le séquenceur qui gère les impulsions.
- L'oscillateur

Chapitre 3 : le système de commande

Le principe de fonctionnement c'est qu'il permettra d'appliquer les signaux électriques nécessaires au moteur par le biais d'un simple signal d'horloge. Généré par un microcontrôleur.

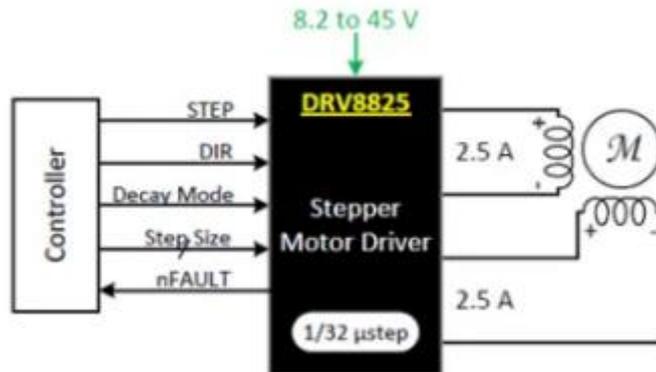


Figure 21 : position de driver pour piloter un moteur pas à pas.

-pour notre machine on utilise un circuit de puissance (driver A4889)

3.3.1-driver A4889 :

Le a4988 est une petite carte électronique constituée de plusieurs circuits pour un objectif de contrôler des moteurs pas à pas de type bipolaire.



Figure 22 : broches d'un driver a4988

Chapitre 3 : le système de commande

V mot : alimentation moteur.

Gnd: masse

1A,1B : pour la première enroulement de moteur.

2A,2B : pour le second enroulement de moteur.

Vdd : alimentation pour le circuit logique de driver.

Reset : pour remis à zéro

Step : pour commande de position.

Dir : pour le sens de rotation de moteur.

Enable : pour mise en marche ou arrêt de driver.

Ms1, ms2, ms3: pour choisir le mode de pas (pas complet, demi pas, micro pas)

La synoptique ci-dessous représente la constitution de driver a4988 :

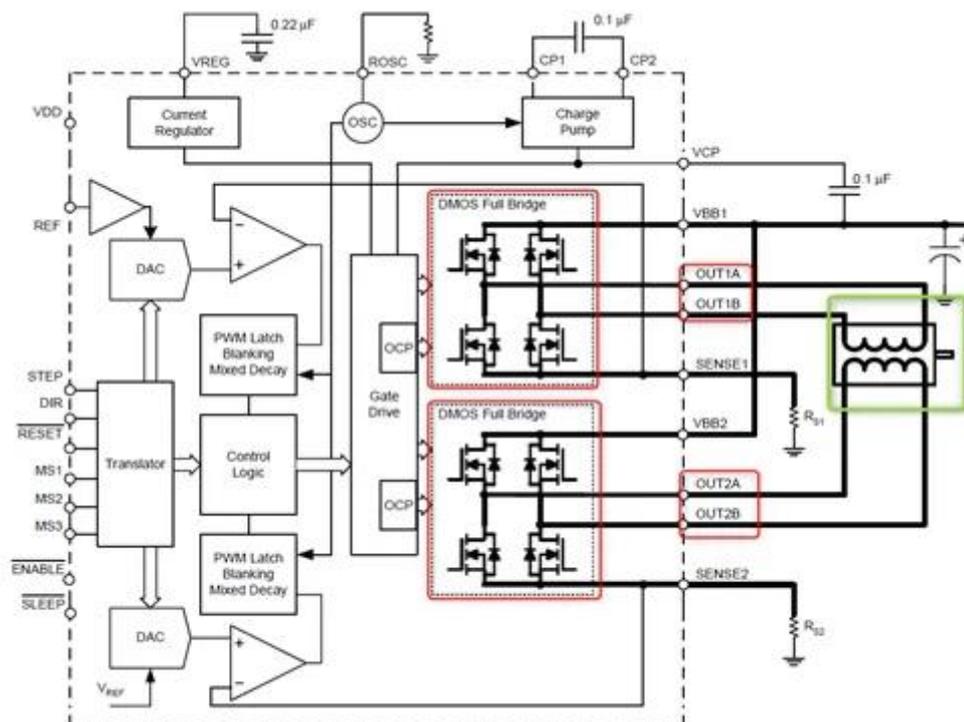
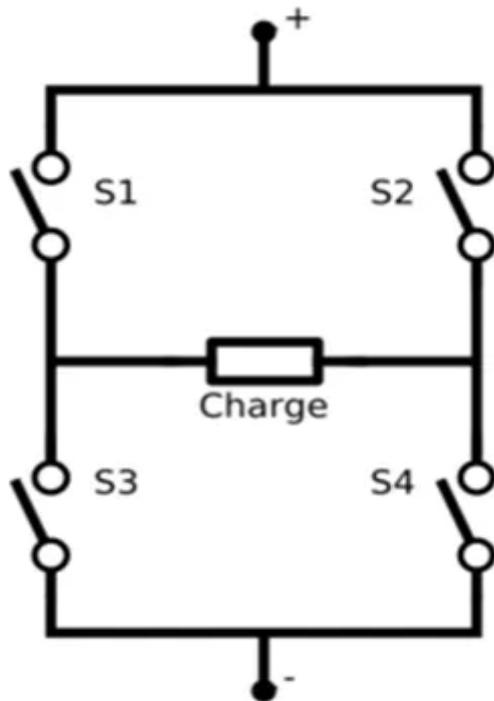
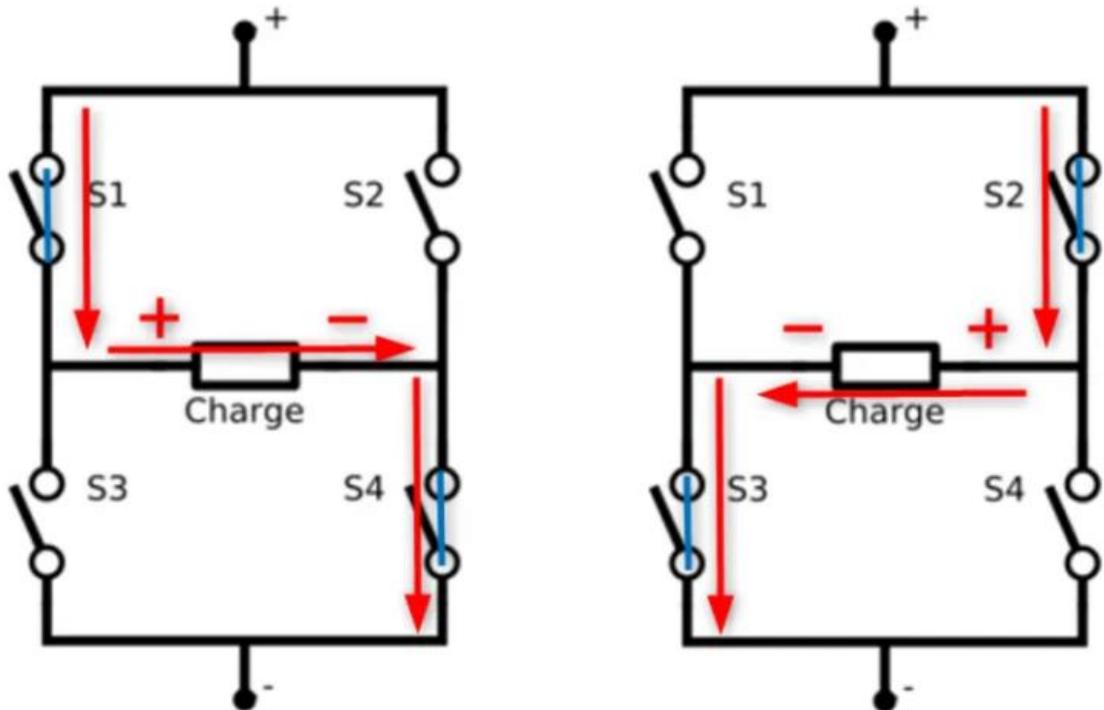


Figure23: synoptique illustre le fonctionnement interne d'un driver a4988

Il est constitué principalement de deux blocs illustrés en cadre rouge, ce sont deux ponts en H qui sont constitués de quatre transistors MOSFETs qui nous permettent de contrôler deux bobines du moteur. Ce type de montage permet d'alimenter les bobines dans les deux sens avec simplement une seule alimentation.



Pour mieux comprendre le fonctionnement on représente les transistors par les quatre interrupteurs s1, s2, s3, et s4. Ces quatre interrupteurs se travaillent en diagonale.



Les deux figures montrent l'inversion de courant à la borne de la charge.

Si on parle de notre driver a4988 l'alimentation de pont en H correspond aux broches **V mot** et **gnd** et elle est différente de l'alimentation de circuit logique.

3.2.2-Le séquenceur :

Il gère la chronologie des impulsions, ces chronologies sont dépend de :

Les signaux de commande sont de type logique c'est-à-dire tension – pas de tension

De mode de fonctionnement (pas, demi pas ,micro pas)

La création des signaux est obtenue par des circuits logiques généralement intégrée sur une puce.

3.3.3 – commande moteur bipolaire avec arduino et driver a4988 :

Maintenant on est arrivé à notre but de recherche puisque le grand principe d'une machine outille à commande numérique c'est le pilotage de l'outil de

Chapitre 3 : le système de commande

travail. Le pilotage de cet outil avec vitesse et position contrôlée c'est grâce aux moteurs pas à pas.

- schéma de montage :

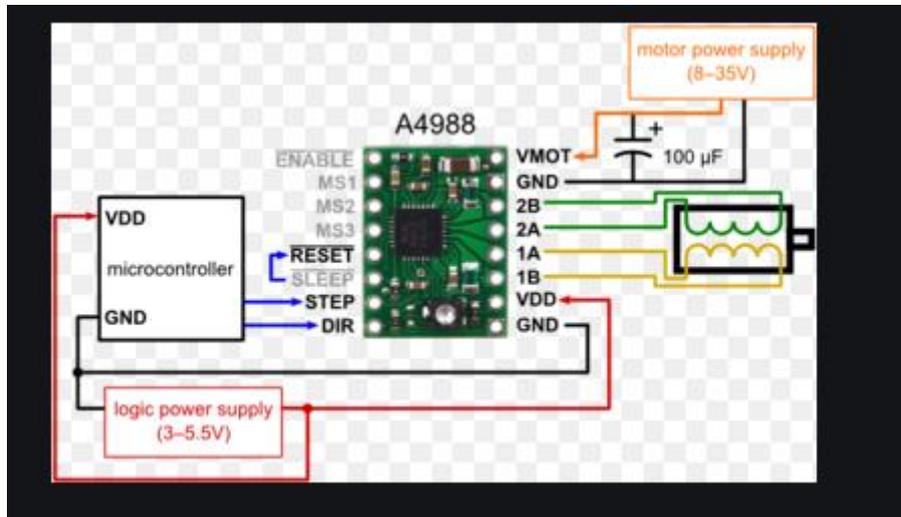
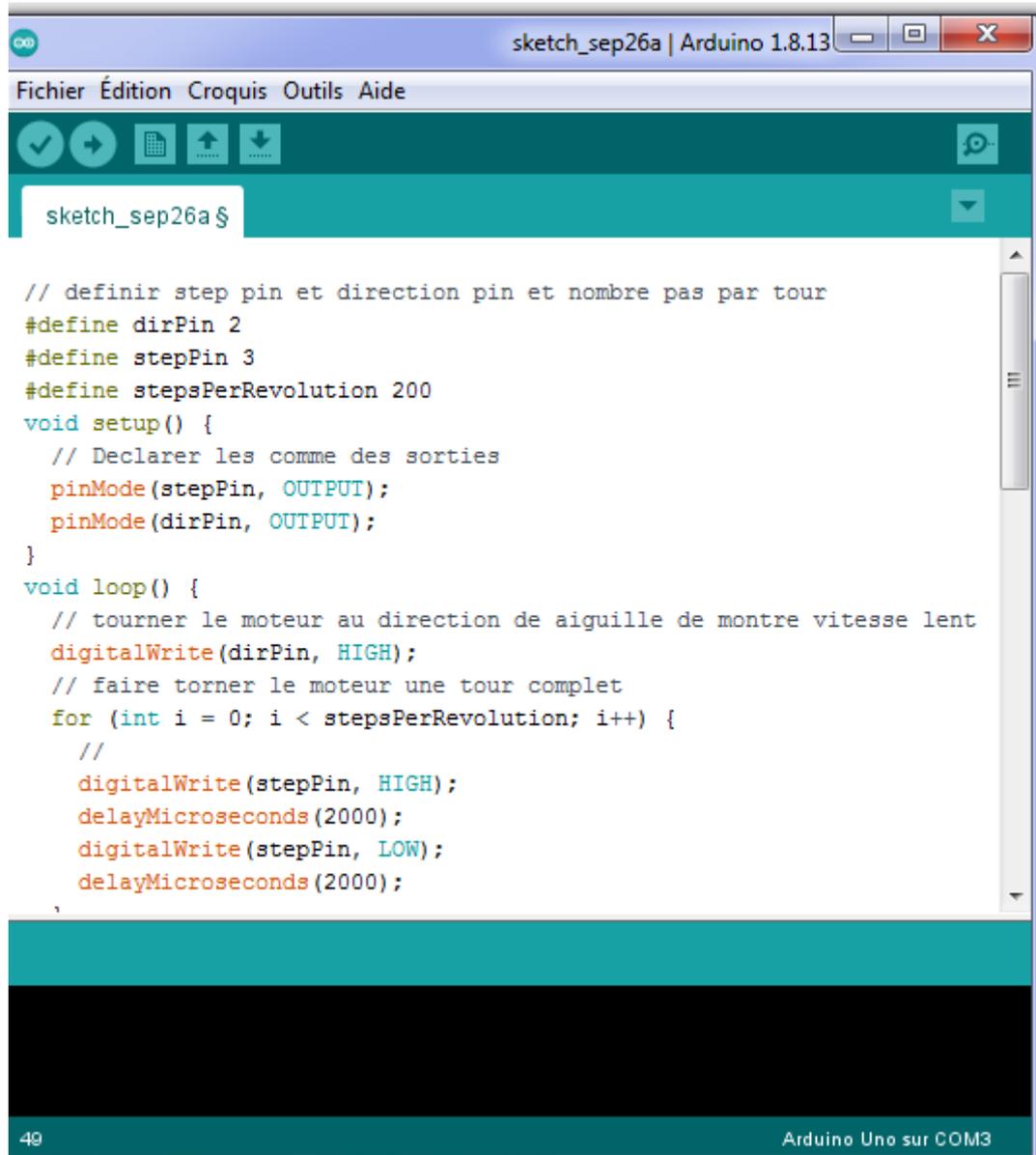


Figure 24 : montage moteur pas à pas avec arduino et driver a4988

Programme :

Chapitre 3 : le système de commande

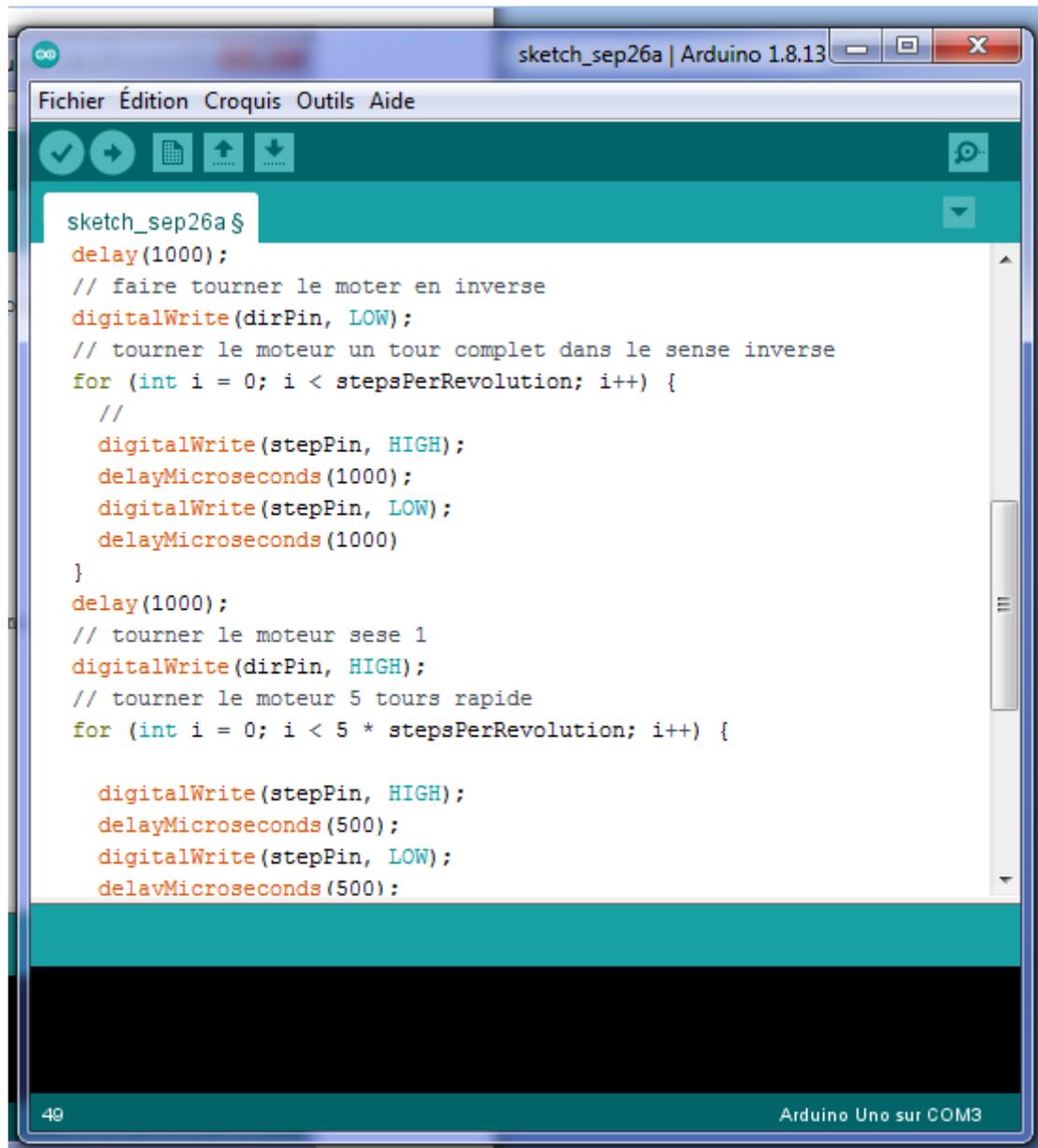


```
sketch_sep26a | Arduino 1.8.13
Fichier Édition Croquis Outils Aide
sketch_sep26a $

// definir step pin et direction pin et nombre pas par tour
#define dirPin 2
#define stepPin 3
#define stepsPerRevolution 200
void setup() {
  // Declarer les comme des sorties
  pinMode(stepPin, OUTPUT);
  pinMode(dirPin, OUTPUT);
}
void loop() {
  // tourner le moteur au direction de aiguille de montre vitesse lent
  digitalWrite(dirPin, HIGH);
  // faire torner le moteur une tour complet
  for (int i = 0; i < stepsPerRevolution; i++) {
    //
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(2000);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(2000);
  }
}
```

40 Arduino Uno sur COM3

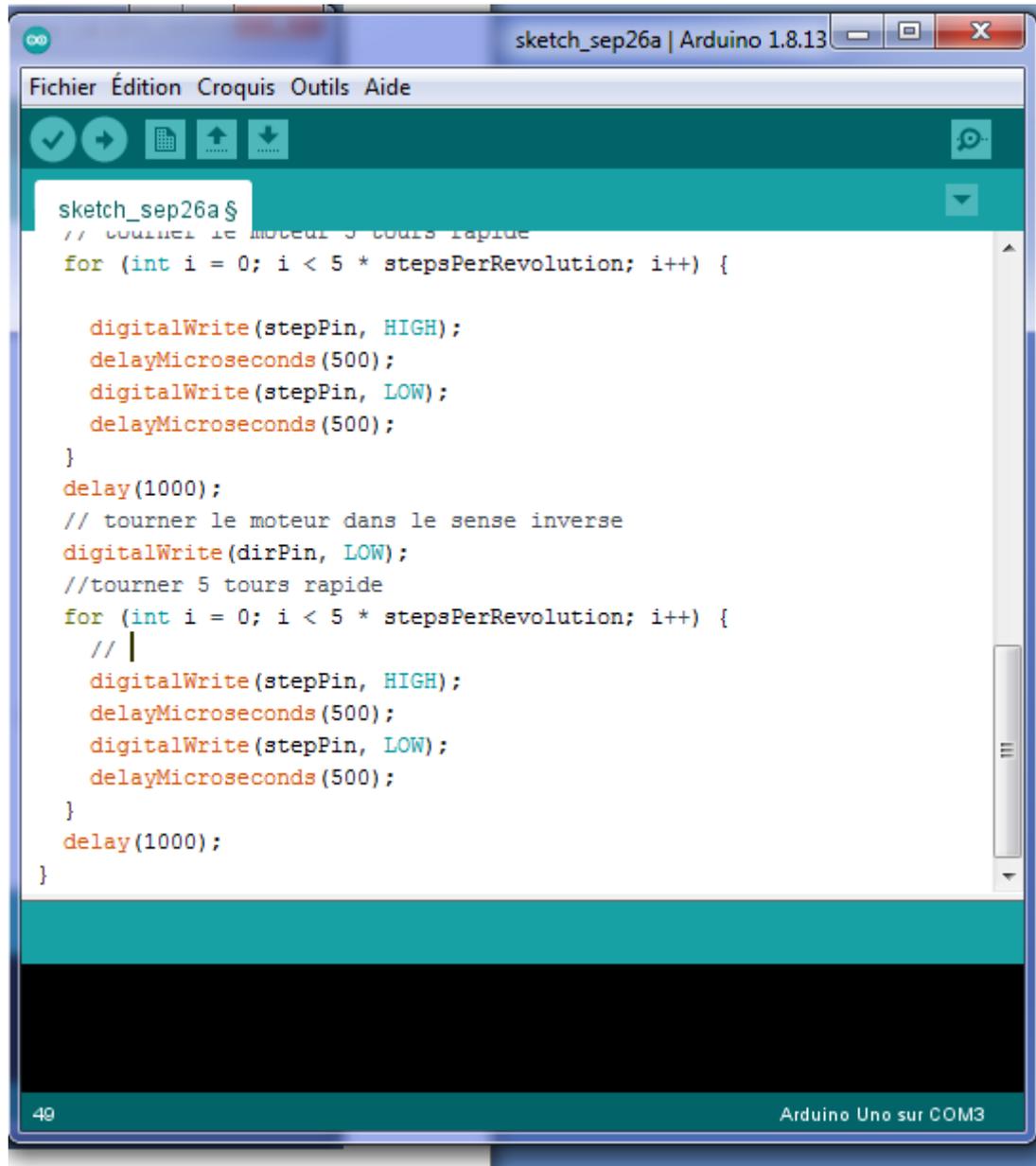
Chapitre 3 : le système de commande



```
sketch_sep26a | Arduino 1.8.13
Fichier Édition Croquis Outils Aide
sketch_sep26a $
delay(1000);
// faire tourner le moteur en inverse
digitalWrite(dirPin, LOW);
// tourner le moteur un tour complet dans le sense inverse
for (int i = 0; i < stepsPerRevolution; i++) {
  //
  digitalWrite(stepPin, HIGH);
  delayMicroseconds(1000);
  digitalWrite(stepPin, LOW);
  delayMicroseconds(1000)
}
delay(1000);
// tourner le moteur sese 1
digitalWrite(dirPin, HIGH);
// tourner le moteur 5 tours rapide
for (int i = 0; i < 5 * stepsPerRevolution; i++) {

  digitalWrite(stepPin, HIGH);
  delayMicroseconds(500);
  digitalWrite(stepPin, LOW);
  delavMicroseconds(500):
}
49 Arduino Uno sur COM3
```

Chapitre 3 : le système de commande

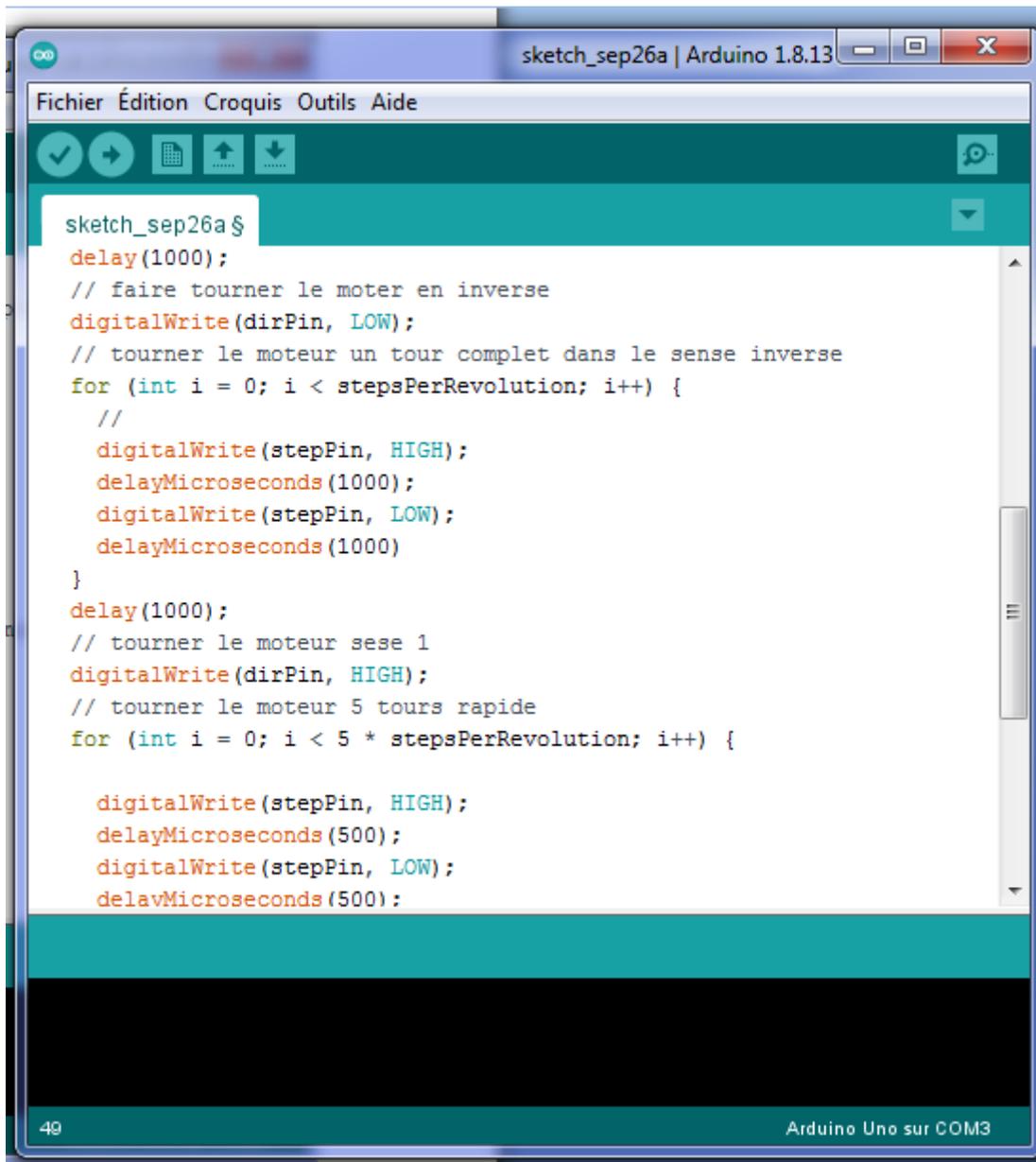


```
sketch_sep26a | Arduino 1.8.13
Fichier Édition Croquis Outils Aide
sketch_sep26a $
// tourner le moteur 5 tours rapide
for (int i = 0; i < 5 * stepsPerRevolution; i++) {

    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);
// tourner le moteur dans le sense inverse
digitalWrite(dirPin, LOW);
//tourner 5 tours rapide
for (int i = 0; i < 5 * stepsPerRevolution; i++) {
    // |
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);
}

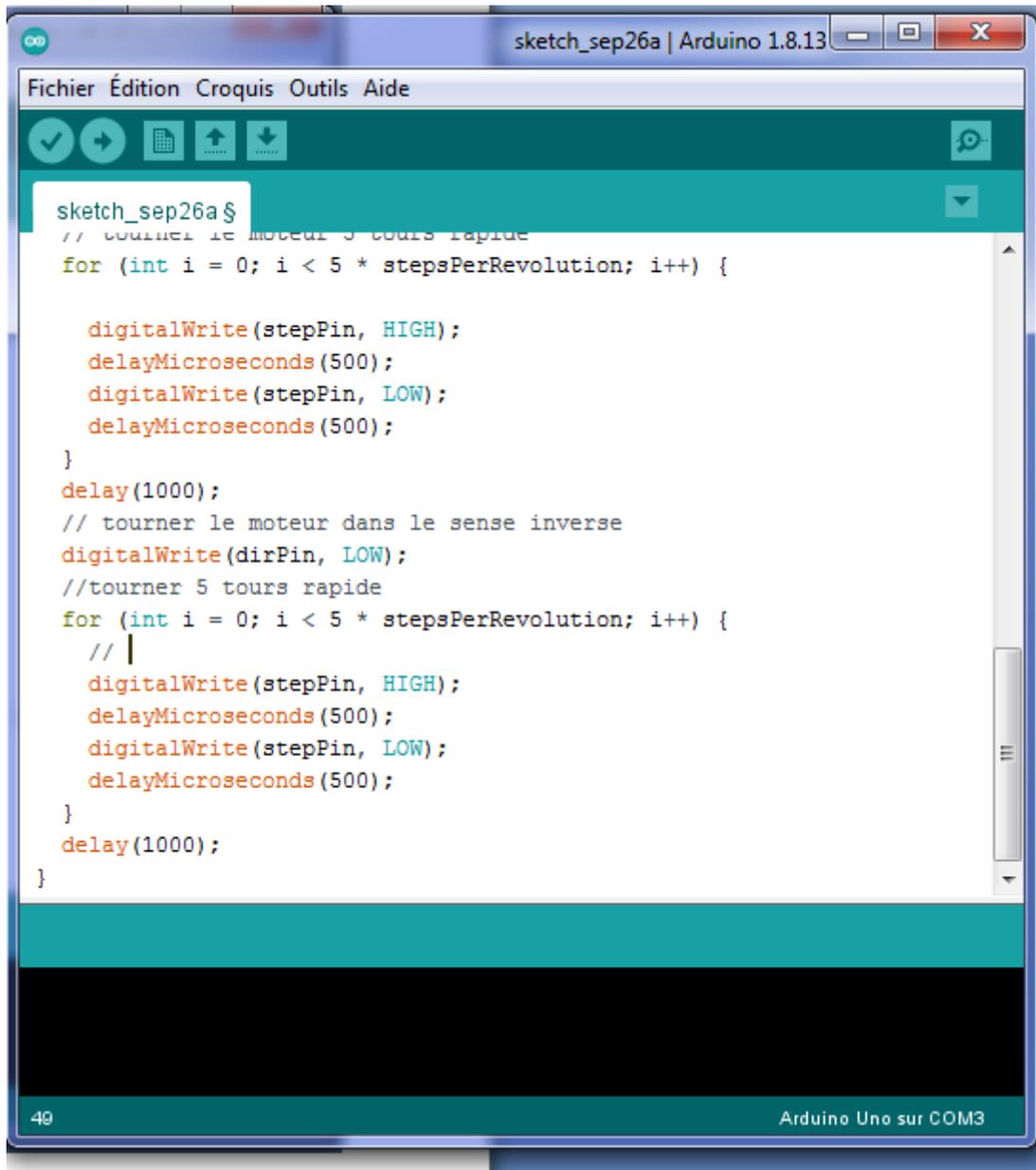
49 Arduino Uno sur COM3
```

Chapitre 3 : le système de commande



```
sketch_sep26a | Arduino 1.8.13
Fichier Édition Croquis Outils Aide
sketch_sep26a $
delay(1000);
// faire tourner le moter en inverse
digitalWrite(dirPin, LOW);
// tourner le moteur un tour complet dans le sense inverse
for (int i = 0; i < stepsPerRevolution; i++) {
  //
  digitalWrite(stepPin, HIGH);
  delayMicroseconds(1000);
  digitalWrite(stepPin, LOW);
  delayMicroseconds(1000)
}
delay(1000);
// tourner le moteur sese 1
digitalWrite(dirPin, HIGH);
// tourner le moteur 5 tours rapide
for (int i = 0; i < 5 * stepsPerRevolution; i++) {

  digitalWrite(stepPin, HIGH);
  delayMicroseconds(500);
  digitalWrite(stepPin, LOW);
  delavMicroseconds(500):
}
49 Arduino Uno sur COM3
```



```
sketch_sep26a | Arduino 1.8.13
Fichier Édition Croquis Outils Aide
sketch_sep26a $
// tourner le moteur 5 tours rapide
for (int i = 0; i < 5 * stepsPerRevolution; i++) {

    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);
// tourner le moteur dans le sense inverse
digitalWrite(dirPin, LOW);
//tourner 5 tours rapide
for (int i = 0; i < 5 * stepsPerRevolution; i++) {
    // |
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);
}

49 Arduino Uno sur COM3
```

Explication de code :

Le programme est écrit en langage c et on le divise en trois parties :

- 1- la première partie est une déclaration des variables, et on lui associe avec le nom de pin.
- 2-void setup : qui une fonction qui se répète une seule fois dans cette fonction on fait l'initialisation des pins comme 2,3 comme des sorties.
- 1- Void loop : c'est la fonction principale qui est une fonction qui se répète tous le déroulement du programme.

Chapitre 3 : le système de commande

- 2- Dans cette fonction, on fait le contrôle de notre moteur en choisissant le sens de rotation avec pindir en high ou law .

On contrôle la vitesse de rotation avec la variation du délai entre les impulsions (steppin entre high et law).

Le contrôle de nombre de pas ce fait à l'aide de création d'une boucle for (variable stepsperRevolution).

-Notre système (cnc) est composé de 3 moteurs pas à pas, donc, on a besoin d'un circuit de puissance pour chacun de ces moteurs .

3.3.4- le contrôleur software :

Est un logiciel qui peut faire la communication en temps réel avec la carte de commande, ce contrôleur transmet le G-code vers la carte de commande. Le g-code comprend les coordonnées géométriques de déplacement des moteurs et la vitesse de déplacement.

Il existe plusieurs contrôleurs tels que : mach3 .

3.2.5- conclusion :

Le système de commande d'une machine cnc est la partie principale de cette machine, pour le réaliser, on a besoin d'un processeur, driver, un contrôleur software et une communication ente ces éléments.

3.3.5-réalisation :

Pour la réalisation on décompose notre travail sur n3 parties :

1-partie mécanique :

construction d un système mécanique assure le mouvements sur 3 axes (X,Y ,Z)).

On utilise des rais pour le déplacement linéaire grâce à des roues ,la transmission de mouvement se fait a l'aide des courroies .

Chapitre 3 : le système de commande

2-Partie électronique :

on utilise une carte arduino uno comme carte de commande de notre machine .cette carte contrôle le mouvement de l'outil pour chaque axe .chaque axe prend un mouvement linéaire grâce la rotation d'un moteur pas à pas et chaque moteur alimenté grâce un circuit de puissance (driver).

On utilise une alimentation continue (5v dc) pour alimenter les circuits logiques (pour arduino et drivers).

On utilise une alimentation continue (12v dc) pour alimenter les enroulements des moteurs.

On utilise un moteur électrique (220 v , 300 watt) comme outil de fraisage.

On utilise un capteur magnétique par effet hall pour position de référence .

On utilise trois interrupteurs de fin de course pour limiter le déplacement de chacun des axes.

Un ensemble des fils et connecteurs pour l'assemblage.

Une communication série (usb) pour la communication de la carte arduino et le pc (partie sotware).

3-Partie informatique (software) :

Pour le contrôle de la machine on utilise GRBL contrôleur pour la transmission de Gcode vers la carte arduino .

Pour l'interprétation de g-cod on utilise le frimware GRBL.

Conclusion générale :

Dans ce projet on est parlé sur la machine cnc et son système de commande ,ce système qui basé principalement sur la commande numérique ,grace a cette commande on peut controler la procédure d'usinage ou bien la fabrication de certain elements mécaniques avec une bonne precision et a temps reduit .

Ce système diminue les couts et augmente la production et permet de realiser des opérations complexes.on peut généraliser cette solution dans la majorité des ateliers de fabrication des bois (meubles) c'est-à-dire cette machine peuve faire des decoupes de bois et autres matieres comme mdf,forex et peut faire de decoration et sculptage .

En plus on peut la réaliser cette machine avec des prix moin chères .

Bibliographie :

[1] Livre :moteurs electriques pour la robotique /pirre mayé 2 éme edition

[2] livre construisez votre machine cnc /13 janvier 2016 de patrice oguic

Wobographie :

- <https://eduscol.education.fr/>

consulter le 03/10/2019

- <http://sam.electroastro.pagesperso-orange.fr/>

consulter le 13/02/2020

- <https://elbarnas.wordpress.com/>

- Cnc.plant.com

- <https://iknowvations.in/fr>

- <https://devenez-pro-en-electronique.com/>

- <https://prototechasia.com/usinage-plastique-cnc/avantages-limites-usinage-cnc>

-
- <https://telum.umc.edu.dz/course/>