

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BENYAHIA JIJEL

Faculté des sciences et de la technologie

Département d'Électrotechnique

N° :...../2022

## **MEMOIRE DE MASTER**

**DOMAINE: Sciences et Technologies**

**FILIERE: Electromécanique**

**SPECIALITE: Electromécanique**

### **Thème**

**Conception et réalisation d'une machine CNC à  
deux axes**

**Présenté Par : NIMOUR Aissa**

**Encadré Par : HAMANE Ahmed**

**BENCHAREF Saaden-Toufik**

**Date de soutenance : 13/07/2022**

#### **Jury de Soutenance**

**Président : BOUCHEKHOUCHE Hocine**

**Grade MCA**

**Univ MSB jijel**

**Encadreur : HAMANE Ahmed**

**Grade MAA**

**Univ MSB jijel**

**Examinateur 1 : KECHICHEB Mehieddine**

**Grade MCB**

**Univ MSB jijel**

**Promotion : 2021 /2022**

# *Dédicace*

*C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie  
ce modeste travail de fin d'étude*

*À mes très chers parents ; qui ont sacrifié leur vie pour ma  
réussite et ils ont éclairé le chemin par leurs conseils  
judicieux.*

*Je dédie aussi ce travail à mes chères sœurs et leurs époux.*

*Tous mes adorables amis.*

*Ainsi qu'à toute personne qui m'a soutenu.*

*BENCHAREF Saaden-Toufik*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*À la mémoire de mon cher père*

*À ma chère mère*

*À mes chers frères et mes chères sœurs*

*À toute ma famille,*

*À tous mes amies.*

*NIMOUR Aissa*

# *Remerciements*

*Tout d'abord, nous remercions DIEU tout puissant, de nous avoir donné la volonté et la patience d'arriver à terme de ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos remerciements vifs à Monsieur, **Ahmed HAMANE**, d'avoir encadré ce mémoire, pour l'aide et pour ses conseils précieux qu'il nous a donné durant notre étude et la réalisation de ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent ainsi à : **M. Abdennour KHEDIMALLAH**, notre guide dans ce travail concernant le côté pratique, pour l'aide et pour les conseils précieux durant la réalisation de ce travail.*

*Dans l'impossibilité de citer tous les noms, nous adressons nos plus sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation et l'aboutissement de ce travail.*

# Sommaire

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES MACHINES A COMMANDES NUMERIQUES PAR CALCULATEUR .....</b>	<b>3</b>
I.1 Introduction .....	3
I.2 Historique .....	3
I.3 Définition de la commande numérique .....	4
I.4 Définition d'une machine à commande numérique par calculateur.....	5
I.5 Caractéristiques des Machines-outils à commande numérique.....	5
I.5.1 Fonctions .....	5
I.5.2 Qualité mécanique générale .....	5
I.5.3 Caractéristiques principales des Machines-outils à commande numérique découlant de leurs structures.....	6
I.6 Principe de fonctionnement des machines à commande numérique.....	6
I.6.1 La partie opérative.....	7
I.6.2 Partie commande .....	8
I.7 Domaine d'utilisation.....	9
I.8 Les familles des machines à commande numérique: .....	10
I.9 Classification des Machines-outils à commande numérique .....	11
I.9.1 Classification des Machines-outils à commande numérique selon le mode de fonctionnement .....	11
I.9.1.1 Fonctionnement en boucle ouvert .....	11
I.9.1.2 Fonctionnement en boucle fermée .....	11
I.9.1.3 Fonctionnement avec commande adaptative .....	12
I.10 La machine à commande numérique a deux axes .....	13
I.11 La structure d'une machine à commande numérique par calculateur .....	13

I.11.1	Le système électronique .....	14
I.11.2	Le système mécanique.....	14
I.11.3	Le système de programmation .....	15
I.12	Conclusion.....	15

**CHAPITRE II: CONCEPTION D'UNE MACHINE A COMMANDE NUMERIQUE  
PAR CALCULATEUR (CNC)..... 16**

II.1	Introduction .....	16
II.2	Description du projet .....	16
II.3	Composants mécaniques de la machine à commande numérique par ordinateur .....	16
II.3.1	Système vis-écrou .....	16
II.3.2	Système poulie-courroie .....	17
II.3.3	Moteur pas à pas.....	17
II.3.4	Accouplement.....	18
II.3.5	L'axe de guidage .....	18
II.3.6	Glissière.....	18
II.4	Conception d'une machine à commande numérique par ordinateur (CNC).....	19
II.4.1	Conception Assistée par Ordinateur (CAO) .....	19
II.4.2	Fabrication assistée par ordinateur .....	19
II.4.3	Logiciel SOLIDWORKS .....	20
II.4.4	Conception des pièces .....	20
II.5	Conclusion.....	28

**CHAPITRE III: PARTIE ELECTRONIQUE ..... 29**

III.1	Introduction .....	29
III.2	La carte de commande Arduino Uno (R3) .....	29
III.2.1	Définition .....	29
III.2.2	La connectique .....	30
III.2.3	Exploration des broches Arduino .....	30
III.2.4	Intérêt d'investir dans une carte Arduino .....	30
III.2.5	Synthèse des caractéristiques Microcontrôleur .....	31

III.3	Contrôleur du moteur pas à pas (driver TB 6600)	31
III.3.1	Définition	31
III.3.2	Fonctionnalité	33
III.3.3	Spécification	33
III.3.4	Dimension	33
III.3.5	Positions des commutateurs DIP	34
III.4	Capteur de fin de course	34
III.5	Alimentation	35
III.6	Moteur pas à pas	35
III.6.1	Définition	35
III.6.2	Pourquoi des moteurs Pas à Pas	36
III.6.3	Les différents types des moteurs pas à pas	36
III.6.3.1	Les moteurs à aimant permanent	37
III.6.3.2	Les moteurs à réluctance variable	38
III.6.3.3	Les moteurs hybrides	38
III.6.4	Comparaison entre les trois types des moteurs pas à pas	39
III.6.5	Les caractéristiques des moteurs pas à pas	40
III.6.6	Moteur pas à pas (Nema 23)	40
III.6.7	Caractéristiques	41
III.7	Conclusion	41

**CHAPITRE IV: REALISATION ET PROGRAMMATION DE LA MACHINE A  
COMMANDE NUMERIQUE PAR CALCULATEUR (CNC) ..... 42**

IV.1	Introduction	42
IV.2	Description de la machine	42
IV.3	La réalisation	42
IV.3.1	Partie mécanique	42
IV.3.2	Partie électronique	42
IV.3.3	Partie informatique (logiciel Arduino)	42
IV.4	Les différentes parties de la machine à commande numérique par ordinateur (CNC)	43
IV.4.1	L'axe X	43

IV.4.2 L'axe Y.....	43
IV.4.3 Assemblage complet de la machine CNC .....	44
IV.5 Carte de commande pour la machine CNC .....	44
IV.6 Branchement du circuit .....	45
IV.7 Logiciel Arduino .....	46
IV.8 Le programme .....	46
IV.9 Conclusion.....	49
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>50</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>51</b>



# Listes des Figures

Figure I.1 : Caractéristiques principales des MOCN .....	6
Figure I.2 : Décomposition d'une machine numérique. [3] .....	7
Figure I.3 : Les éléments de la partie opérative [1] .....	7
Figure I.4 : Fonction originale d'une commande numérique [4] .....	8
Figure I.5 : Schéma général d'un processus de Spray pyrolyse .....	10
Figure I.6 : Fonctionnement en boucle ouverte.....	11
Figure I.7 : Fonctionnement en boucle fermée.....	12
Figure I.8 : Fonctionnement avec commande adaptative.....	12
Figure I.9 : Représentation simplifiée des deux axes .....	13
Figure I.10 : Schéma théorique CNC (2 axes) .....	13
Figure I.11 : Structure mécanique d'une machine CNC .....	14
Figure II.1 : Vis et écrou .....	16
Figure II.2 : Système poulie-courroie.....	17
Figure II.3 : Moteur pas à pas (NEMA 23) .....	17
Figure II.4 : Accouplement .....	18
Figure II.5 : Axe de guidage.....	18
Figure II.6 : Glissière.....	19
Figure II.7 : Le logo du logiciel SolidWorks. ....	20
Figure II.8 : Moteur pas à pas.....	20
Figure II.9 : Tige filetée .....	21
Figure II.10 : Ecou .....	21
Figure II.11 : Support pour l'axe X.....	22
Figure II.12 : Assemblage de vis-écrou dans l'axe X. ....	22
Figure II.13 : Accouplement .....	23
Figure II.14 : Support de tige .....	23
Figure II.15 : Poulie-courroie.....	24

Figure II.16 : Axe de guidage.....	24
Figure II.17 : Glissière.....	25
Figure II.18 : Le bâti.....	25
Figure II.19 : La table.....	26
Figure II.20 : Assemblage sur l'axe X .....	26
Figure II.21 : Assemblage sur l'axe Y .....	27
Figure II.22 : Moteur pas à pas dans l'axe Y .....	27
Figure II.23 : Moteur pas à pas dans l'axe X .....	27
Figure II.24 : Forme finale de la machine CNC.....	28
Figure III.1 : Schéma d'une platine Arduino Uno .....	29
Figure III.2 : Ensemble des fils et connecteurs .....	30
Figure III.3 : Driver TB6600.....	32
Figure III.4 : Les dimensions du pilote TB6600 .....	33
Figure III.5 : Fin de course.....	35
Figure III.6 : Alimentation .....	35
Figure III.7 : Moteur pas à pas bipolaire « NEMA » classique.....	36
Figure III.8 : Différents types de moteur.....	37
Figure III.9 : Vue d'un moteur à aimants permanents .....	37
Figure III.10 : Vue d'un moteur à reluctance variable .....	38
Figure III.11 : Vue d'un moteur hybride.....	39
Figure III.12 : Nema 23.....	40
Figure IV.1 : Réalisation de l'axe X.....	43
Figure IV.2 : Réalisation de l'axe Y.....	43
Figure IV.3 : Réalisation final de la machine CNC. ....	44
Figure IV.4 : Carte de commande de la machine CNC.....	45
Figure IV.5 : Branchement de la commande des deux moteurs.....	45
Figure IV.6 : L'interface de l'IDE Arduino en détail.....	46

# Liste des Tableaux

Tableau II.1 : les caractéristiques de la tige .....	21
Tableau III.1 : Caractéristique de l'Arduino .....	31
Tableau III.2 : Description des pins du contrôleur .....	32
Tableau III.3 : Positions des commutateurs pour les micros pas .....	34
Tableau III.4 : Positions des commutateurs pour le courant .....	34
Tableau III.5 : Comparaison des performances pour les trois types de moteurs pas à pas. ....	39
Tableau III.6 : Spécifications du moteur .....	41

# **Introduction générale**

## Introduction générale

Durant ces dernières années, la commande des machines électriques a subi des progrès significatifs. Ces progrès sont essentiellement dus à la révolution technologique en informatique industriel, ce qui a permis le développement de solutions numériques efficaces avec une possibilité d'implanter des algorithmes plus complexes.

Aujourd'hui, les machines à commande numérique par ordinateur (CNC), permettent une grande flexibilité de la production industrielle.

La révolution industrielle qui avait débuté par la création des outils de l'industrie traditionnelle et autres, ensuite ces outils furent développés en machines semi-automatiques puis en machines automatiques qui fonctionnaient à l'aide d'ordinateur et de programmes spéciaux en transférant les instructions de la partie commande vers la partie opérationnelle de la machine.

L'existence des cartes électroniques programmables comme l'Arduino, le DSP, FPGA...etc. permet de commander et de contrôler n'importe quel système ou machine tel que les CNC.

Notre projet est basé sur la programmation de la carte Arduino qui facilite la commande des axes des machines à commande numérique.

Le projet en question, concerne en premier lieu la conception et la réalisation d'une machine CNC à deux axes d'une manière simple et performante pour un prototype de la méthode de dépôt des films minces dite Spray pyrolyse. Ce type d'appareillage est très important dans le domaine de la science des matériaux et surtout dans la synthèse des films minces nanostructures pour différentes applications telles que: le photovoltaïque, l'optoélectronique, la catalyse, la photocatalyse et l'électrocatalyse. Ce type d'appareillage permet à tous les chercheurs de l'université de Jijel (électroniciens, physiciens, chimistes, électrochimistes, mécaniciens... etc.) qui travaillent dans le domaine des nanomatériaux et des matériaux 2D de bénéficier de ce type de matériel au sein de leurs laboratoires de recherche. L'acquisition de ce type d'appareillage facilite la proposition de différents sujets de thèses de doctorats et des projets de fin d'études.

Dans le but de présenter ce travail nous avons divisé ce mémoire en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente des généralités et les principales descriptions sur les machines CNC.

Dans le deuxième chapitre nous abordons la conception de notre machine et le choix des composants. On utilise le logiciel SolidWorks.

## **Introduction générale**

---

Le troisième chapitre est consacré pour la partie électronique. Cette partie est dédiée à la description des composants électroniques et leur utilisation pour pouvoir réaliser notre commande de la machine (commande de deux moteurs pas à pas).

Le quatrième chapitre est consacré à la réalisation pratique, et les essais de la machine.

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

# **Chapitre1 : Généralités sur les machines à commandes numériques par calculateur**





## **Chapitre I: Généralités sur les machines CNC**

### **I.1 Introduction**

Après une première génération de commandes numériques à logique câblée sont apparues les commandes numériques par calculateur (CNC), ou par ordinateur, qui intègrent un ou plusieurs ordinateurs spécifiques pour réaliser une partie ou toutes les fonctions de commande.

Tous les systèmes de commande numérique commercialisés actuellement contenant au moins un microprocesseur, les termes CN et CNC peuvent être considérés comme des synonymes.

La commande numérique désigne, dans le domaine de la fabrication mécanique, l'ensemble des matériels et logiciels ayant pour fonction de donner les instructions de mouvements à tous les éléments d'une machine-outil. La programmation de commande numérique (CN) permet de définir des séquences d'instructions permettant de piloter des machines-outils.

Dans ce chapitre on présente un aperçu général sur la technologie des CNC, citant la classification, l'architecture, la programmation des machines CNC pour différentes commandes.

### **I.2 Historique :**

L'introduction des techniques CN en Europe ne date que des années cinquante. À l'époque, personne ne soupçonnait la révolution que cela allait entraîner dans la construction des machines-outils et dans la production. C'était le début d'une histoire fascinante dans la technique. Mais les débuts furent très difficiles.

Les facteurs suivants freinaient d'abord le développement :

Des commandes et une programmation des machines trop compliquées,

Nécessitant de grands investissements (achat de machines, formation des collaborateurs, développement, mise en service et entretien).

Futur incertain concernant le développement des techniques.

Le pas décisif dans le développement est venu en 1972. C'était le passage des techniques CN vers la CNC. La puissance des nouveaux processeurs était de 32 Ko et la fréquence d'horloge de 16kHz. Mais, à côté de leurs dérangements fréquents, le manque de puissance de ces ordinateurs restait le problème principal.

Les développements suivants ont apporté des améliorations sur :

- Les mémoires RAM.
- Les moniteurs en couleur.
- Les systèmes de mesure de chemin.
- Les systèmes de production flexibles.

- Les moteurs linéaires.
- Les systèmes de programmation.
- Les systèmes de fabrication assistée par ordinateur FAO.
- La mise en réseau des données.
- Le développement des ordinateurs.

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. Les dates clés dans le développement CN [1].

Date	Évènement
1954	première machine NC produite industriellement,
1958	développement du premier langage de programmation symbolique,
1965	premier changement d'outils automatique,
1969	première installation DNC,
1972	première machine CNC avec microprocesseur intégré,
1984	première machine CNC avec aide à la programmation graphique,
1994	bouclage de la chaîne de processus entre CAO, FAO et CNC,
2000	des interfaces par Internet permettent un échange de données au niveau mondial et un diagnostic de défauts intelligent.

### I.3 Définition de la commande numérique

La commande numérique est un mode de commande dans lequel les valeurs désirées d'une variable commandée sont définies selon un code numérique (la machine-outil constitue le principal domaine d'application de la commande numérique). C'est une somme d'automatismes dans laquelle les ordres de mouvement ou de déplacement, la vitesse de ces déplacements et leur précision, sont donnés à partir d'informations numériques. Ces informations sont codées sur des supports tels que : rubans perforés, cassettes ou disquettes magnétiques ou simplement sauvegardés en « mémoire » dans le cas des dernières générations de commandes numériques à calculateur intégré (CNC). L'ensemble de ces informations de pilotage des machines - outil (MO) est élaboré sous forme de programme à exécution séquentielle. Les temps de réponse de telles commandes avoisinant la dizaine de microsecondes, il sera tout naturellement possible d'espérer piloter la machine suivant des trajectoires plus ou moins complexes, en vitesse et en position [2].

**I.4 Définition d'une machine CNC**

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

- Les machines à commande numérique (MOCN) sont des machines partiellement ou totalement automatisées.
- Les ordres de mouvement des différents organes sont donnés par programmation.
- En particulier, les positions successives de l'outil par rapport à la pièce sont exprimées sous forme numérique [1].

**I.5 Caractéristiques des MOCN****I.5.1 Fonctions**

Les fonctions remplies sont les mêmes que pour une machine conventionnelle :

- Positionner et maintenir la pièce,
- Positionner et maintenir l'outil,
- Assurer un mouvement relatif entre la pièce et l'outil [1].

**I.5.2 Qualité mécanique générale**

La qualité mécanique générale de ces machines est beaucoup plus supérieure aux MO conventionnelles:

- Motorisation plus puissante,
- Chaîne cinématique plus simple et plus robuste à variation continue capable d'encaisser des accélérations et décélérations importantes.
- Commande des chariots par vis à bille avec système automatique de rattrapage du jeu.
- Glissière sans frottement, utilisation de glissières à galets, à billes, hydrostatiques, aérostatiques, les garnitures sont rapportées.
- Bâtis largement dimensionnés, très rigides avec un excellent amortissement.

### I.5.3 Caractéristiques principales des MOCN découlant de leurs structures

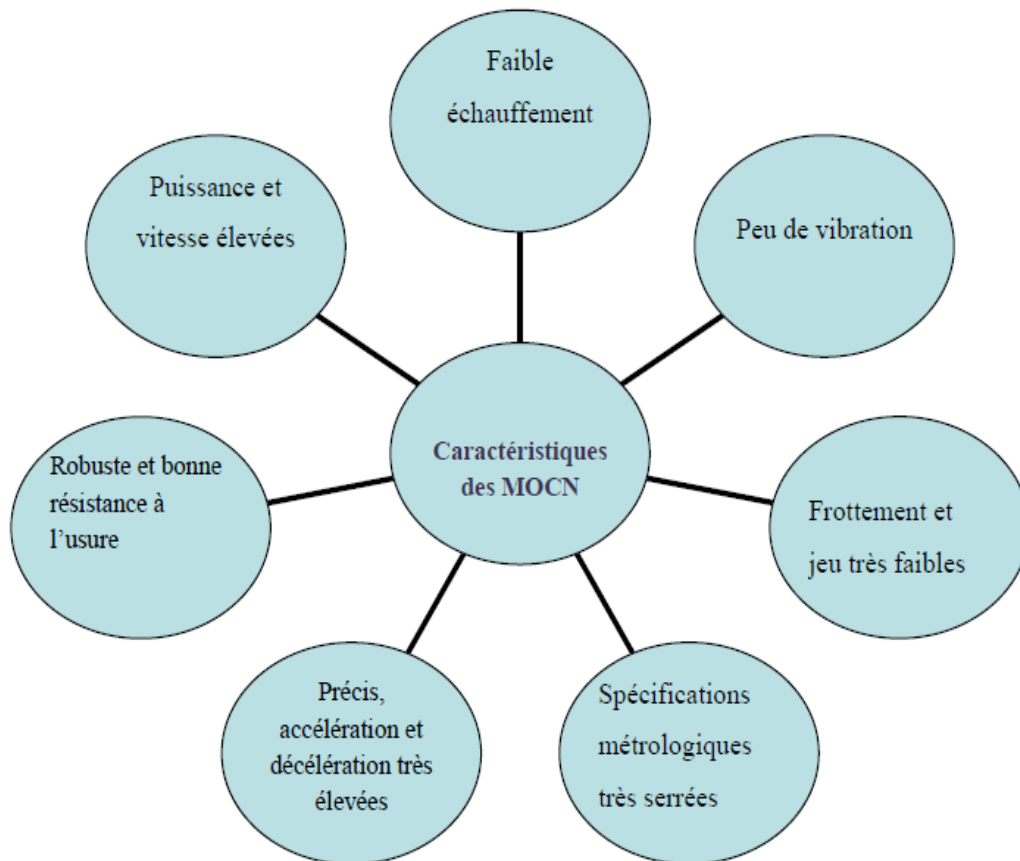


Figure I.1 : Caractéristiques principales des MOCN

### I.6 Principe de fonctionnement des machines à commande numérique

Les machines à commande numérique sont devenues des moyens de production incontournables dans l'industrie. Elles permettent des cadences de production importantes et facilitent l'obtention de surfaces complexes (formes arrondies ...etc).

Ce type de machine se compose ainsi de deux parties complémentaires (Figure I.2):

- La partie opérative
- La partie commande

La partie opérative comporte les axes de déplacement et la tête. La partie commande permet de piloter la partie opérative. Elle est composée d'un calculateur (CNC) et d'éléments électroniques capables de piloter les moteurs : Les cartes d'axes.

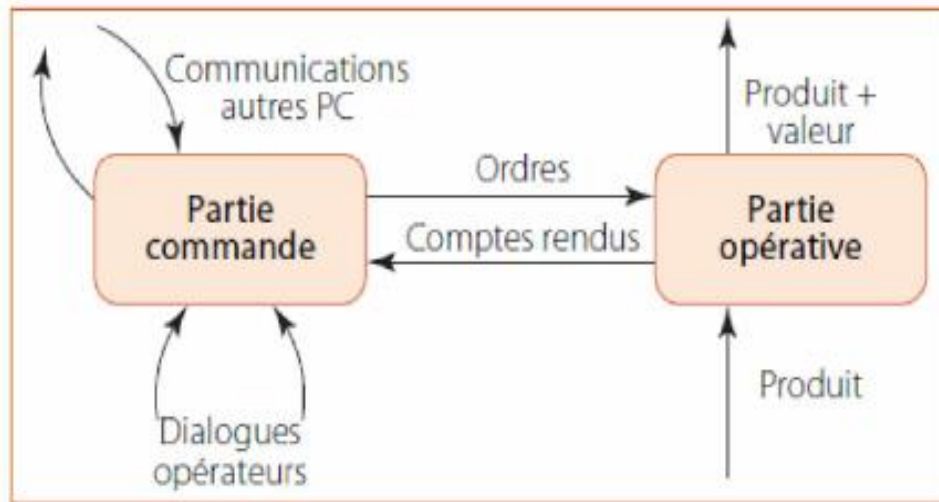


Figure I.2 : Décomposition d'une machine numérique. [3]

### I.6.1 La partie opérative

La partie opérative (notée PO) comprend principalement un ou plusieurs mobiles, appelés tables ou chariots, liés au bâti ou entre eux par des liaisons glissières ou pivots.

La position des mobiles est détectée par un capteur de position, et leur vitesse est mesurée en permanence.

On donne à ce sous-ensemble de partie opérative le nom d'axe numérique (Figure I.3).

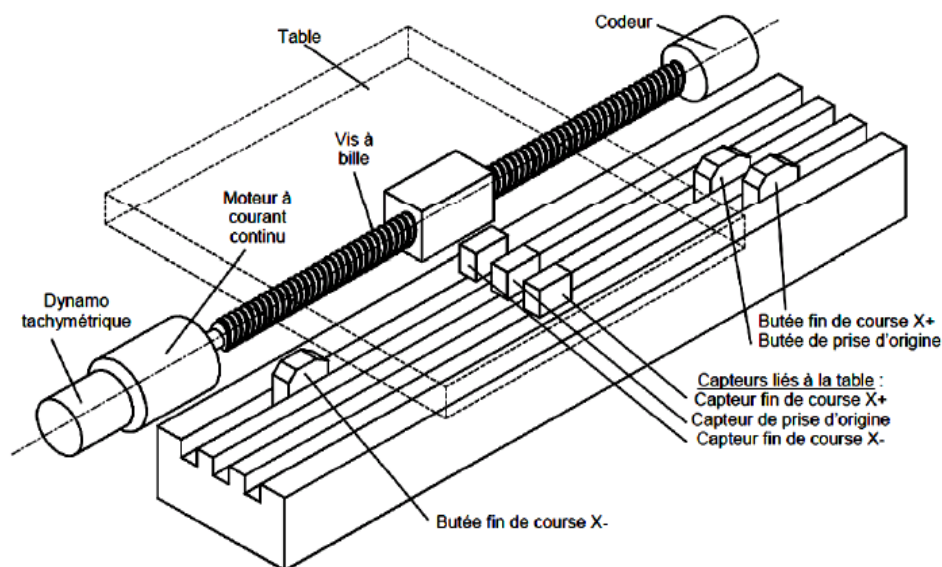


Figure I.3 : Les éléments de la partie opérative [1]

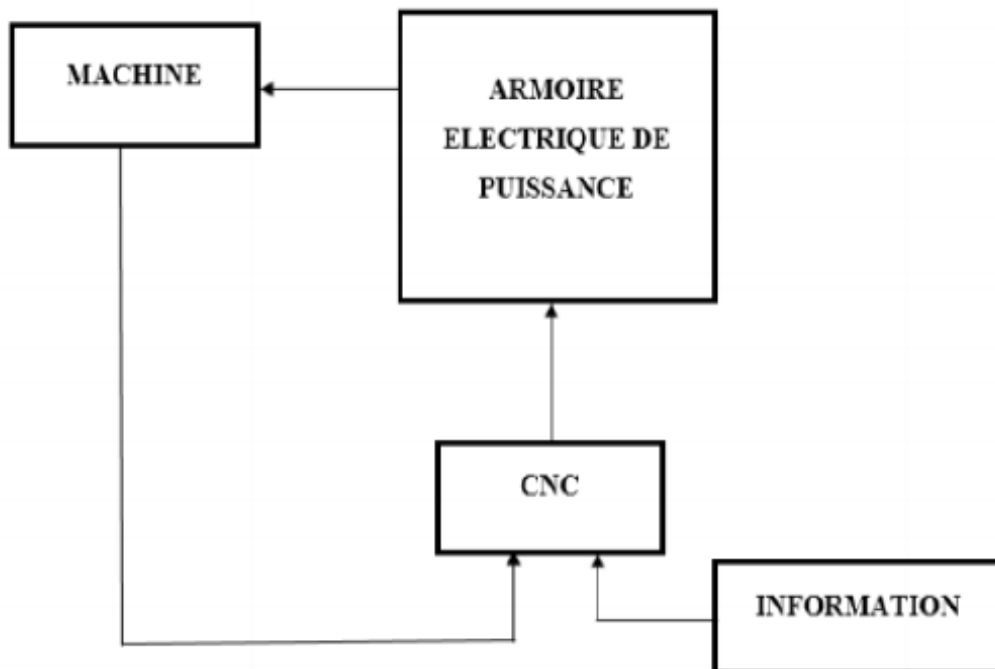
### I.6.2 Partie commande

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

Elle est 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 ...).
- La partie commande est alimentée par un courant faible et ne peut donc pas alimenter en direct les moteurs de la machine.

La (Figure I.4) montre la fonction originale d'une commande numérique.



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

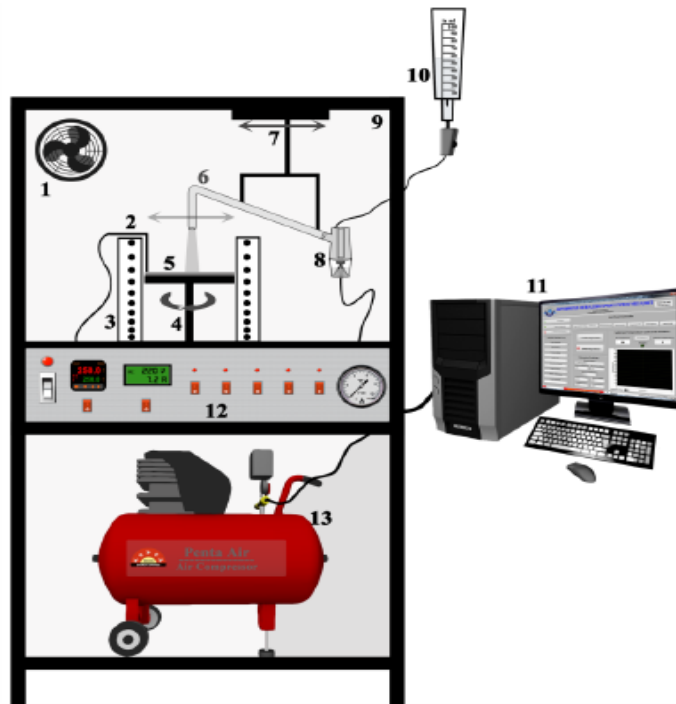
**I.7 Domaine d'utilisation**

L'utilisation de la commande numérique ne se limite pas aux machines-outils travaillant par enlèvement de la matière avec des outils coupants. Elle est présente sur des installations de découpe par faisceau laser, en électroérosion que ce soit en défonçage ou en découpe par fil, en poinçonnage ou pliage de produits en feuille, pour la mise en place des composants, lors des opérations d'assemblage, elle sert aussi à piloter des tables traçantes, les machines à mesurer tridimensionnelles, les robots. La machine à outil à commande numérique représente le moyen de production le plus important des pièces mécaniques. Elle nécessite des gestes précis et/ou répétitifs pour effectuer diverses opérations : percer, scier, rectifier, découper, fraiser, plier, graver, tarauder, souder, visser, déposer un matériau. Les matériaux qui peuvent être usinés sont très divers, la caractéristique principale qui les différencie est la dureté. Plus le matériau est dur, plus il faudra que la CNC, ainsi que l'outil qui l'équipe aient la qualité et la puissance nécessaires pour usiner le matériau. D'où de nombreux dispositifs CNC diffèrent entre eux principalement par l'outil qui est utilisé. Les machines CNC sont employées dans de nombreux secteurs industriels : métallurgies, bois, textiles...etc. Elles sont associées à des nouvelles technologies ; laser, électroérosion, jet d'eau.

Dans notre travail, nous abordons le processus de spray pyrolyse pour déposer des couches minces. Le principe du procédé spray est de vaporiser une solution de différents composés réactifs à l'aide d'un atomiseur puis projeté, sur un substrat chauffé. La température du substrat permet l'activation de la réaction chimique entre les composés. L'expérience peut être réalisée à l'air, et peut être préparée dans une enceinte ou bien dans une chambre de réaction sous atmosphère contrôlée.

Les étages de translation X-Y contrôlés absorbent la majeure partie du coût de l'équipement. Aussi, en le processus de spray pyrolyse, les paramètres de spray sont complexes et doivent être contrôlés avec précision.

Le diagramme schématisant la configuration de spray pyrolyse de nébuliseur développée est illustré à la figure I.5 [5].



**Figure I.5 :** Schéma général d'un processus de Spray pyrolyse

1) Echappement des fumées, 2) Thermocouple de type k, 3) Four à gradient résistif, 4) Porte-substrat rotatif, 5) Substrats, 6) Tube de guidage d'aérosol, 7) Étape de translation linéaire, 8) Nébuliseur Aeroneb, 9) Hotte isolée, 10) Réservoir de solution précurseur, 11) Ordinateur Windows exécutant un logiciel de contrôle, 12) Panneau de commande, avec interrupteur secteur, régulateur de température, compteur de puissance du four, manomètre et interrupteurs manuels de priorité, 13) Compresseur d'air avec réservoir de stockage.

### **I.8 Les familles des machines à commande numérique:**

La CN est appliquée dans diverses familles. Dans chaque famille, les méthodes de montage et de travail sont totalement différentes, mais elles se rejoignent sur le principe de programmation, la grande majorité des machines utilisant un langage ISO. La notion de commande numérique s'étend aussi au domaine de la chaudronnerie : découpage plasma, presse plieuse [1].

On peut découper la famille des commandes numériques en quatre sous familles de machines:

- Fraisage à commande numérique (FCN).
- Tournage à commande numérique (TCN).
- Rectification à commande numérique.
- électroérosion à commande numérique.



## I.9 Classification des MOCN:

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) sont classées comme suit :

- Le mode de fonctionnement de la machine.
- Le nombre d'axes de la machine.
- Le mode d'usinage.
- Le mode de fonctionnement du système de mesure.
- Le mode d'entrée des informations.

### I.9.1 Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement

Les MOCN sont classifiées selon les modes de fonctionnement suivants :

#### I.9.1.1 Fonctionnement en boucle ouverte

En boucle ouverte (Figure I.6), le système assure le déplacement du chariot mais ne le contrôle pas.

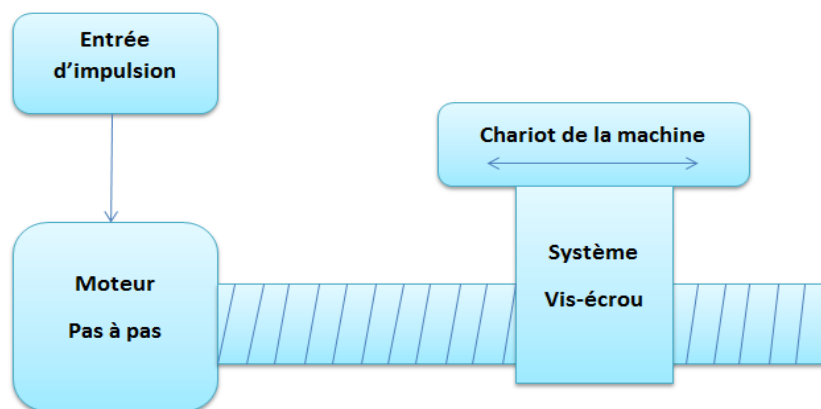


Figure I.6 : Fonctionnement en boucle ouverte

#### I.9.1.2 Fonctionnement en boucle fermée

En boucle fermée (Figure I.7), le système contrôle le déplacement ou la position jusqu'à égalité des grandeurs entrée (E) dans le programme et celui mesuré (Gm).

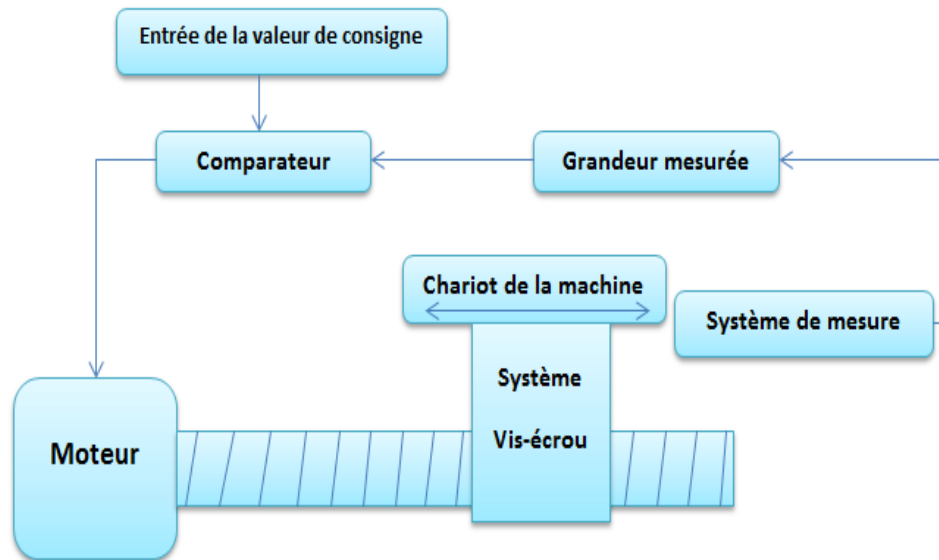


Figure I.7 : Fonctionnement en boucle fermée

### I.9.1.3 Fonctionnement avec commande adaptative

La commande adaptative (Figure I.8), réalise d'une façon continue et automatique l'adaptation des conditions de coupe. Des capteurs relèvent les valeurs de couple de la broche, l'amplitude de vibration de la broche, la température au point de coupe. Ces informations sont transmises à une unité spéciale qui les envoie vers le directeur de commande numérique qui agit selon l'analyse des informations sur les conditions de coupe pour permettre une meilleure qualité de travail, une meilleure productivité et une plus grande sécurité.

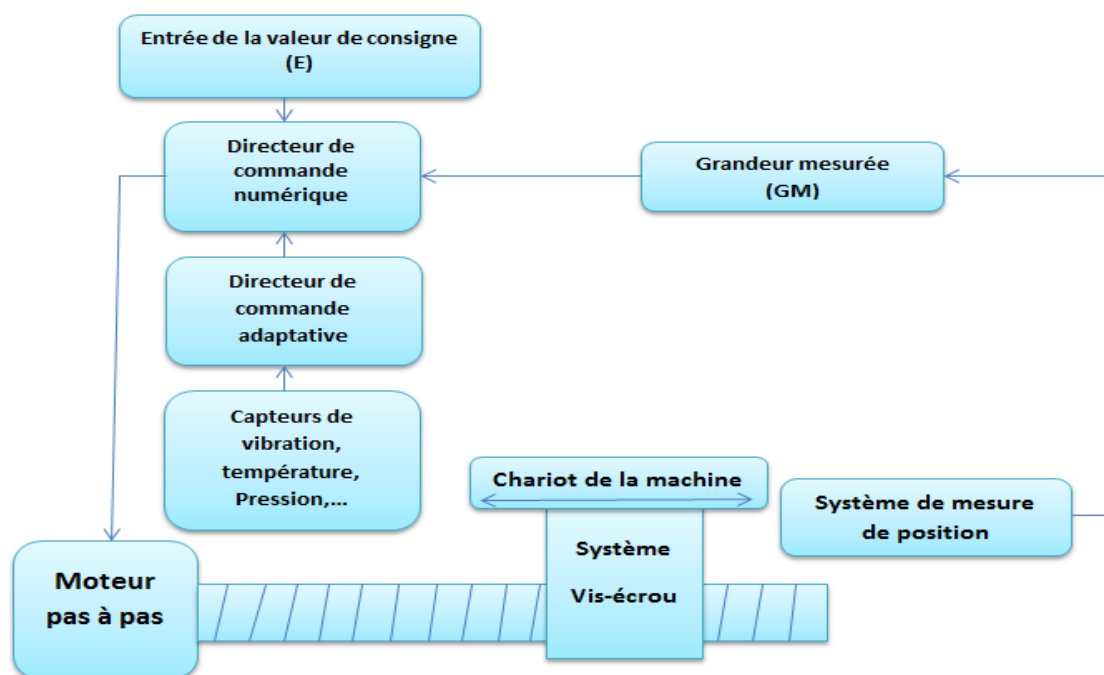


Figure I.8 : Fonctionnement avec commande adaptative.

### I.10 La machine à commande numérique a deux axes

Toutes les machines-outils mettent en mouvement, un outil, une pièce, soit les deux.

Afin de définir ces déplacements, on définit pour chaque machine, un système d'axe normalisé (X,Y) en fonction des mouvements qu'elle peut effectuer.

Pour y voir plus clair nous mettons :

Axe Y : Est l'axe de l'outil principal

Axe X : Est l'axe de la table horizontale sur lequel l'échantillon est placé pour effectuer le prototype.

En effet nous pouvez programmer une seule cote ou plusieurs enchaines grâce à notre commande numérique.

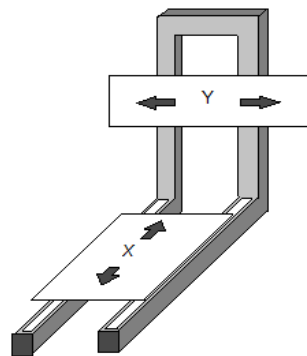


Figure I.9 : Représentation simplifiée des deux axes

### I.11 La structure d'une machine CNC

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

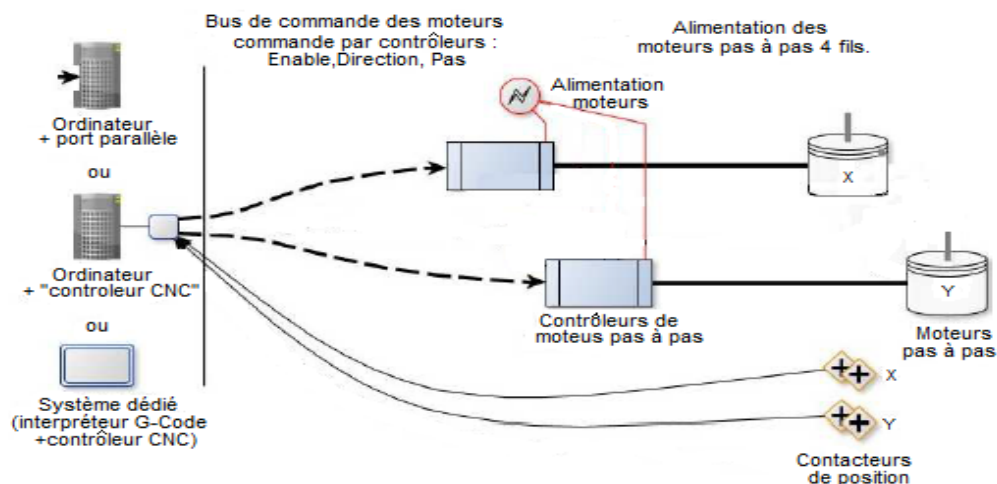


Figure I.10 : Schéma théorique CNC deux axes

### I.11.1 Le système électronique

Le système électronique est responsable de la génération du signal de commande pour les moteurs qui guide le mouvement de la trajectoire de l'outil dans chaque axe. Le système électronique est composé de :

- L'alimentation.
- La carte microcontrôleur.
- La carte de commande des moteurs pas à pas.

### I.11.2 Le système mécanique

Le système mécanique est assemblé de telle manière que le mouvement des 2 axes soit réalisé en utilisant des rails linéaires assemblés avec des roulements linéaires, les moteurs sont montés chacun à l'axe qui est source de mouvement agit en fonction du signal de commande généré à partir du circuit électronique.

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

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

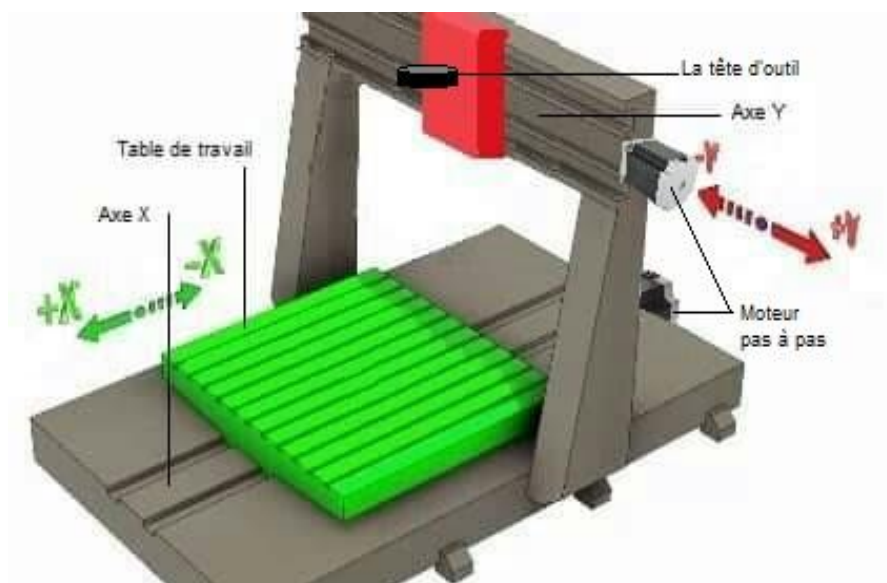


Figure I.11 : Structure mécanique d'une machine CNC

**I.11.3 Le système de programmation**

Le logiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO), dont la sortie est le code lisible par une machine utilisée pour la commande numérique de la machine.

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

Ainsi que la structuration d'un programme écrit en Arduino, le langage permettant à un être humain d'écrire un ensemble d'instructions (code source) qui seront directement converties en langage machine grâce à un compilateur (c'est la compilation). L'exécution d'un programme Arduino s'effectue de manière séquentielle, c'est-à-dire que les instructions sont exécutées les unes à la suite des autres.

**I.12 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue générale de la commande numérique et de la machine à commande numérique et de son histoire, puis nous avons discuté en général de la machine à commande numérique par ordinateur en termes de principe, d'utilisation et de structure, et nous avons parlé des classifications des machines CNC, Nous pouvons ainsi entamer la prochaine étape qui consiste à présenter la phase de conception.

## **Chapitre II : Conception d'une machine CNC**

## Chapitre II: Conception d'une machine CNC

### II.1 Introduction

Ce chapitre concerné sur la partie mécanique qui décrit le cadre de la conception mécanique de la machine CNC. Nous exposerons les composants de la machine à réaliser et nous présentons la conception des modèles des pièces et leurs assemblages à l'aide du logiciel **SolidWorks**.

### II.2 Description du projet

Pour appliquer la technologie de Spray pyrolyse et déposer une large gamme de films minces, qui sont utilisés dans divers dispositifs tels que les cellules solaires, les capteurs et les piles à combustible à oxyde solide. Et pour piloter ce mécanisme de manière numérique nécessite la création d'une machine CNC à deux axes, c'est sur quoi nous allons travailler dans ce chapitre, qui est la conception d'une machine CNC à deux axes.

### II.3 Composants mécaniques de la machine CNC

Dans cette partie, nous passons en revue les différents éléments fonctionnels de notre machine qui assurent son bon fonctionnement.

#### II.3.1 Système vis-écrou

Les deux axes X et Y, permettant le déplacement de l'outil dans les quatre directions, sont entraînés grâce à la rotation de vis tournant dans l'un ou l'autre sens, selon la direction désirée. Le système vis-écrou permet de transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation (association avec une glissière).

La (Figure II.1) représente un système vis-écrou :

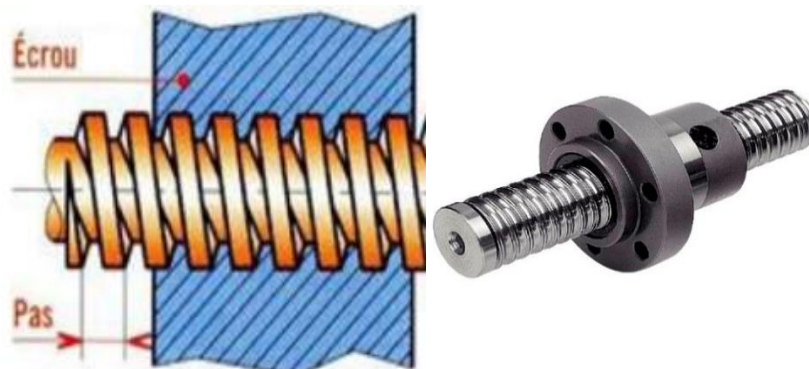


Figure II.1 : Vis et écrou

### II.3.2 Système poulie-courroie

Le système à poulies-courroie permet de transmettre un mouvement de rotation. Ce type de mécanisme sert à transmettre le mouvement entre des organes dont les axes sont éloignés.

L'inconvénient du système est le glissement de la courroie et sa durée de vie limitée.

La (Figure II.2) représente un poulie-courroie :



**Figure II.2 :** Système poulie-courroie

### II.3.3 Moteur pas à pas

Les moteurs pas à pas permettent de transformer un signal électrique numérique en un mouvement angulaire. Chaque impulsion envoyée par le système de commande au module de puissance se traduit par la rotation d'un pas du moteur.



**Figure II.3 :** Moteur pas à pas (NEMA 23)



### II.3.4 Accouplement

En mécanique, un accouplement ou joint de transmission est un dispositif de liaison entre deux arbres en rotation, permettant la transmission du couple.

Un accouplement mécanique peut être un accouplement élastique, un accouplement à membranes, un accouplement à denture métallique ou encore un accouplement à soufflet.

On a utilisé l'accouplement pour accoupler les moteurs pas à pas et la vis-écrou dans notre système.



Figure II.4 : Accouplement

### II.3.5 L'axe de guidage

L'arbre de guidage est un guidage linéaire performant et économique. C'est en particulier la combinaison de l'arbre de guidage trempé par induction et de différents éléments de guidage tels que les roulements à billes linéaires, les paliers lisses en plastique ou en céramique et les galets de roulement qui préservent aujourd'hui comme avant l'intérêt de l'arbre de guidage en tant qu'élément de conception [6].



Figure II.5 : Axe de guidage

### II.3.6 Glissière

Les glissières industrielles et rails coulissants ne se limitent pas à une seule utilisation. Ces derniers peuvent être utilisés comme glissière de tiroir, guidage en translation, rail suspendu, coulisse de tiroir, glissière de porte, tiroir clavier, rail de manutention, coulisse de meuble, pied télescopique, glissière pour table télescopique, de guidage horizontal ou dans certains cas, en guidage vertical pour un guidage de porte notamment ou pour un carter de protection de machine-outil.



**Figure II.6 :** Glissière

## **II.4 Conception d'une machine CNC**

### **II.4.1 Conception Assistée par Ordinateur (CAO) :**

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, de tester virtuellement à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique et de réaliser des produits manufacturés et les outils pour les fabriquer. Il existe un grand nombre de logiciels de CAO, par exemple [7]:

- SolidWorks.
- CATIA.
- FreeCAD.
- Kompas 3D.
- PythonOCC...

### **II.4.2 Fabrication assistée par ordinateur :**

La fabrication assistée par ordinateur ou FAO est d'écrire le fichier contenant le programme de pilotage d'une machine-outil à commande numérique. Ce fichier va décrire précisément les mouvements que doit exécuter la machine-outil pour réaliser la pièce demandée. On appelle également ce type de fichiers : programme ISO ou blocs ISO. Les logiciels de FAO utilisent les modèles et les ensembles créés dans les logiciels de CAO pour générer des trajectoires d'usinage sur lesquelles s'appuient les machines qui convertissent les conceptions en pièces physiques.

### II.4.3 Logiciel SOLIDWORKS:

Le logiciel SOLIDWORKS est un modéleur volumique permettant de créer des pièces complexes en 3 dimensions. Ces pièces peuvent être ensuite utilisées pour créer des mises en plan en 2D et des assemblages de plusieurs pièces entre elles.

Le modèle SolidWorks est constitué de pièces, d'assemblages et de mise en plan. Les pièces, les assemblages et les mises en plan affichent le même modèle dans des documents différents. Les changements opérés sur le modèle dans l'un des documents se propagent aux autres documents contenant ce modèle.

Le logiciel SolidWorks comprend trois modules élémentaires : Pièce, Assemblage, Mise en plan. En fonction du type de licence, d'autres compléments peuvent être implémentés. Dans la version SolidWorks Premium sont disponibles les compléments suivants : SolidWorks Simulation, SolidWorks FlowSimulation, PhotoView 360, SolidWorks Motion [8].



Figure II.7 : Le logo du logiciel SolidWorks.

### II.4.4 Conception des pièces

La conception des différentes pièces de la machine CNC, a été faite à l'aide de logiciel CAO SolidWorks.

- **Moteur pas à pas**

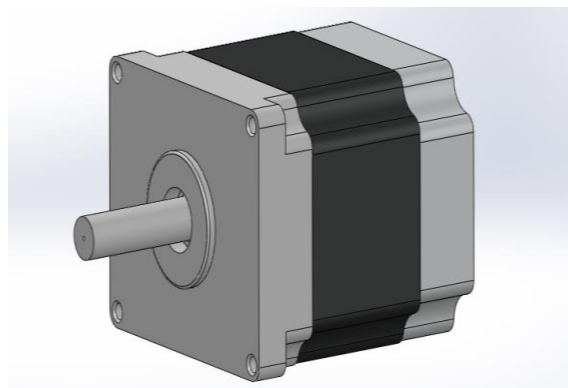


Figure II.8 : Moteur pas à pas

- La tige filetée (trapézoïdale)

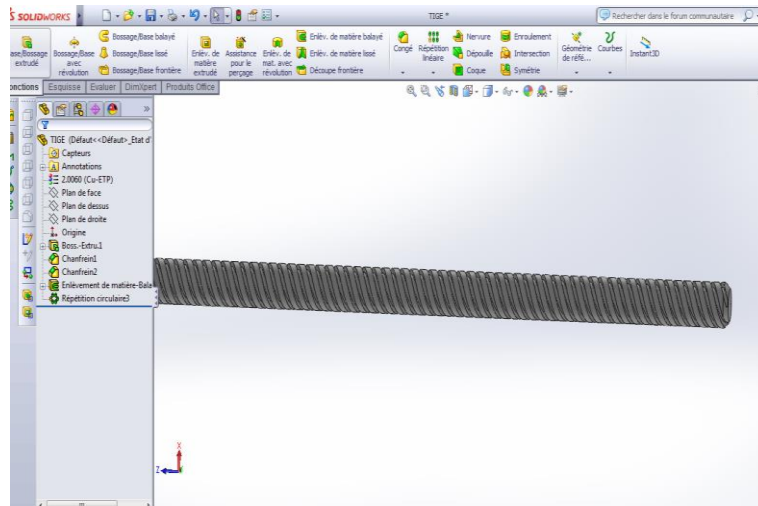


Figure II.9 : Tige filetée

Nous avons dessiné cette tige selon les caractéristiques présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : les caractéristiques de la tige

Type	Trapézoïdal (mm)
Longueur	400
Diamètre	8
Nombre de filet	4
Pas	2

- Écrou

Conception de l'écrou a placé sur la tige.

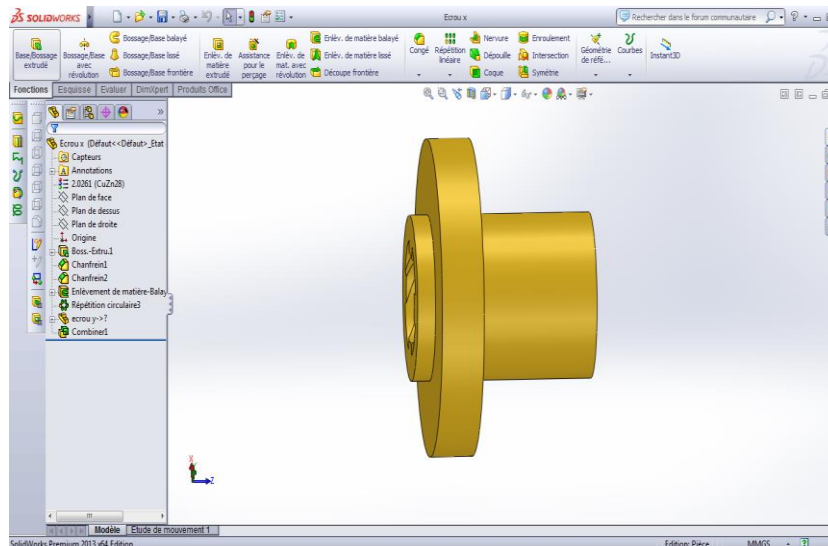


Figure II.10 : Ecrou

Nous avons fixé l'écrou sur un support pour l'axe X, On obtient donc la figure suivante :

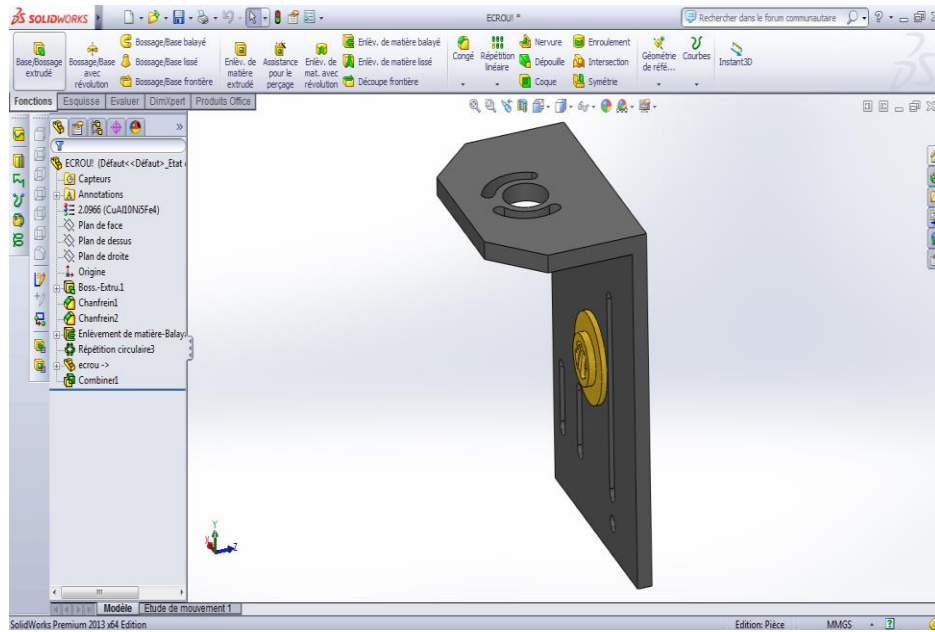


Figure II.11 : Support pour l'axe X

Et voici l'assemblage de vis-écrou dans l'axe X

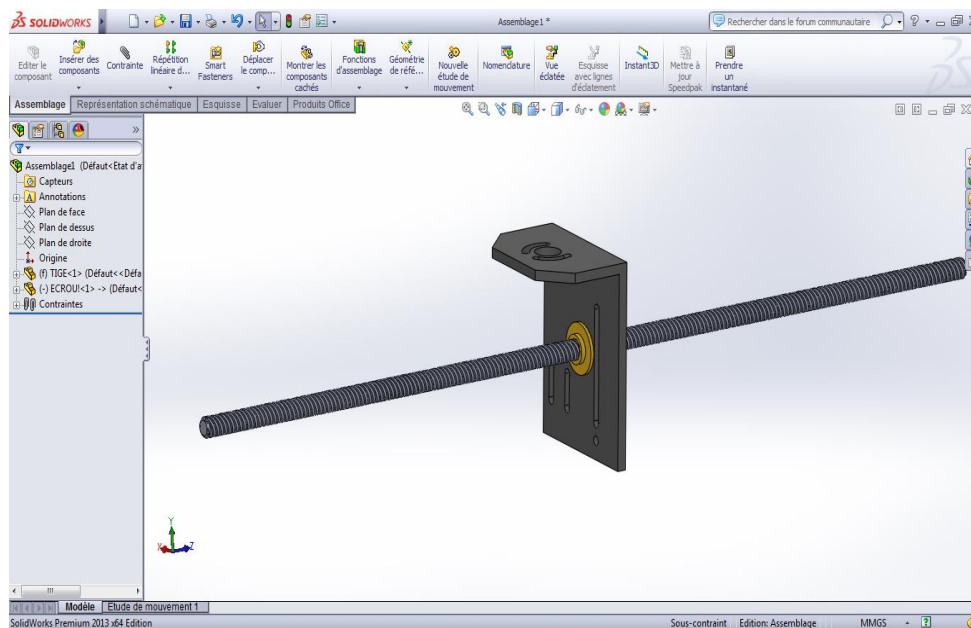


Figure II.12 : Assemblage de vis-écrou dans l'axe X.

On a utilisé le système vis-écrou sur l'axe X.

- **Accouplement**

Cette pièce représente la liaison entre le moteur et la tige fileté, ceci permet la transmission de rotation.

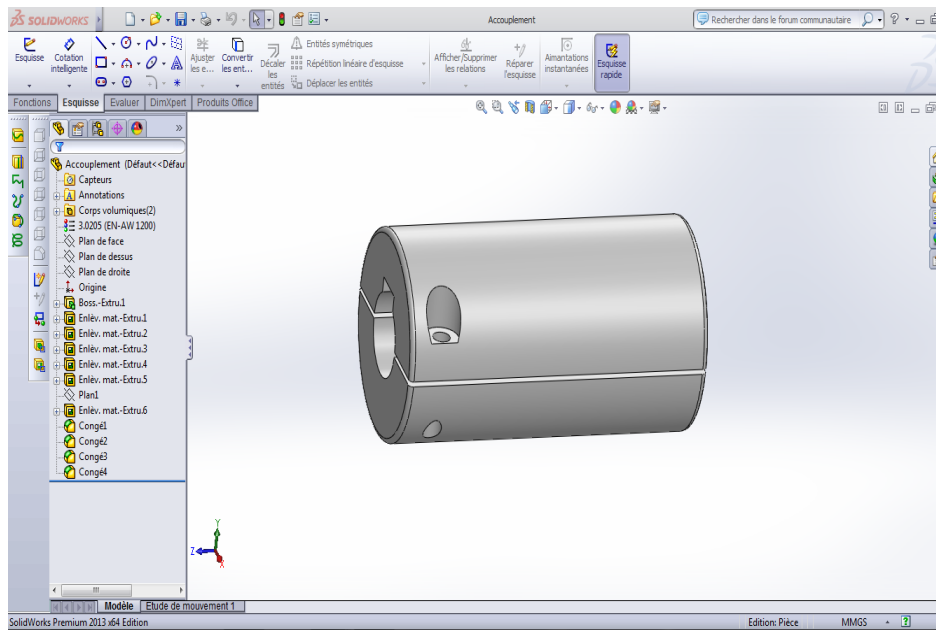


Figure II.13 : Accouplement

- **Support de tige**

Conçu de manière à se fixer sur le bâti et contient une entrée afin de fixer l'ensemble vis-écrou sur l'axe X.

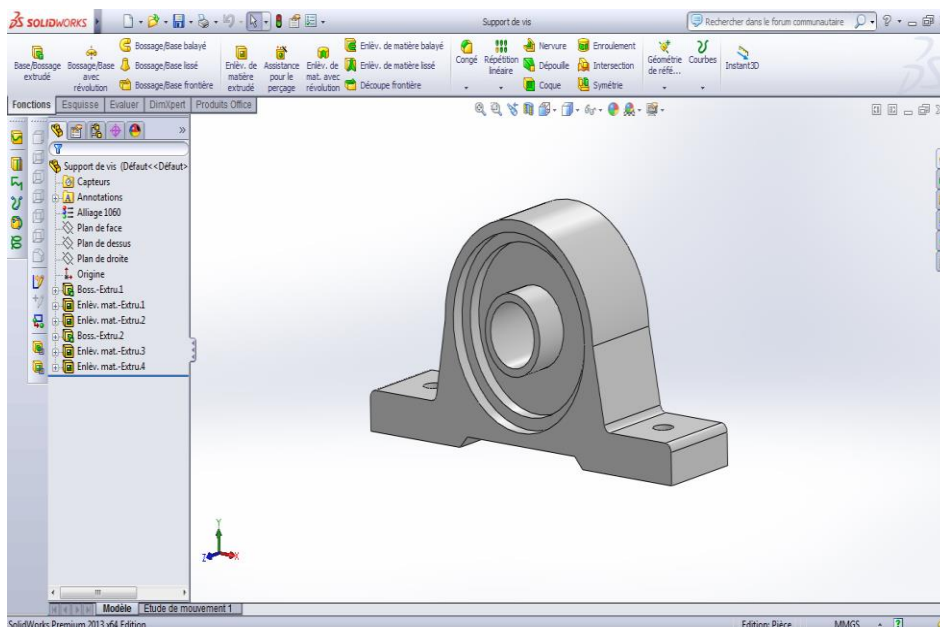


Figure II.14 : Support de tige

- **Poulie-courroie**

Nous avons créé les deux poulies, après l'assemblage de la courroie, nous obtenons la forme finale montrée dans la (Figure II.5) suivante :

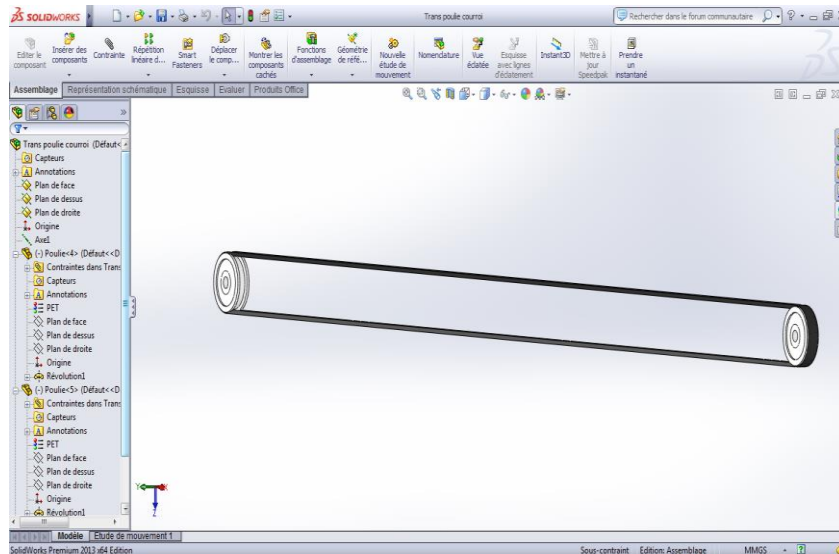


Figure II.15 : Poulie-courroie

Nous avons utilisé le système poulie-courroie sur l'axe Y.

- **L'axe du guidage**

Nous dessinons un cercle d'un diamètre de 8 mm et après avoir déterminé la longueur de l'axe (400mm), nous obtenons la forme finale.

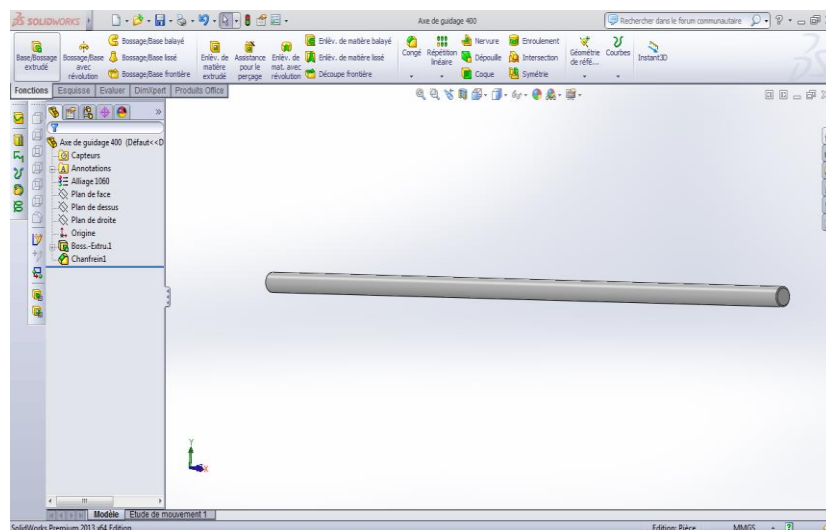


Figure II.16 : Axe de guidage



- **Glissière**

Glissière, rail ou coulisse sont un seul et même élément, mais appelé de différentes manières. Ils permettent tous de faire coulisser un axe.

Et voici le détail des éléments constitutifs d'une glissière :

- La partie fixe est appelée « extérieur »
- La partie mobile fixée sur la table de la machine est appelé « curseur »
- La partie assurant le complément d'extension est appelé « intermédiaire »

La (Figure II.17) montre la conception de ces pièces :

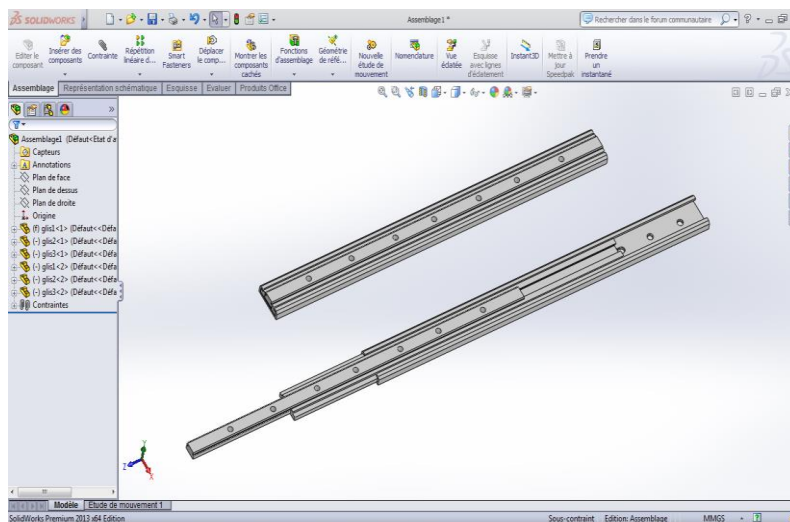


Figure II.17 : Glissière

- **Le cadre de CNC (le bâti)**

Cette pièce va porter l'ensemble des éléments des axes X et Y.

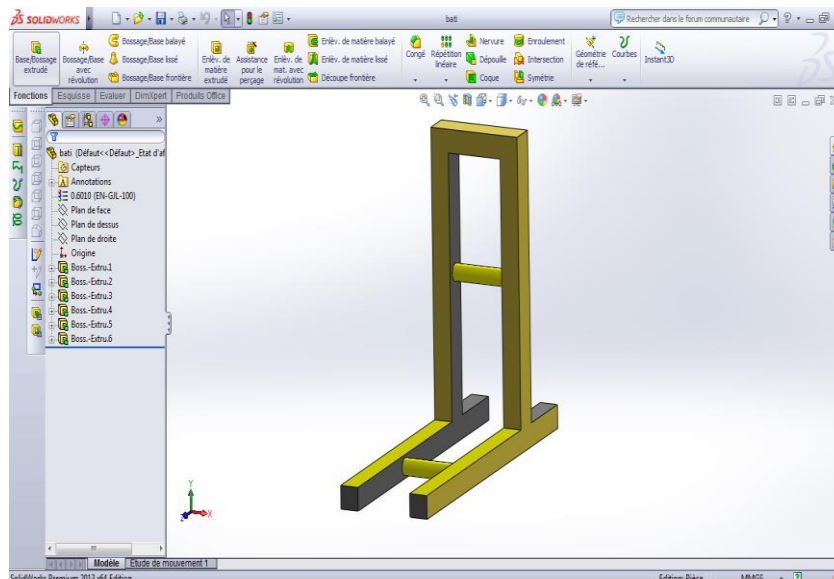


Figure II.18 : Le bâti



- **La table**

C'est une des pièces qui constituent le chariot de l'axe de X. Pour qu'elle assure un mouvement d'axe.

Cette pièce va porter l'échantillon que va utiliser la CNC dans le processus.

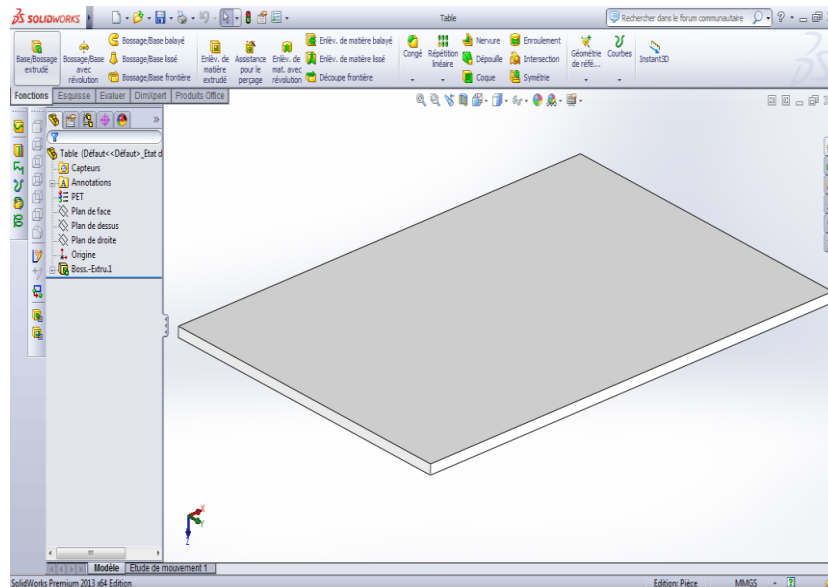


Figure II.19 : La table

- **Assemblage sur l'axe X**

Nous procédons comme suit :

- Assemblage de vis-écrous avec le support de vis.
- Assemblage des glissières.

Le résultat final de l'assemblage sur l'axe X est illustré sur la (Figure II.20) :

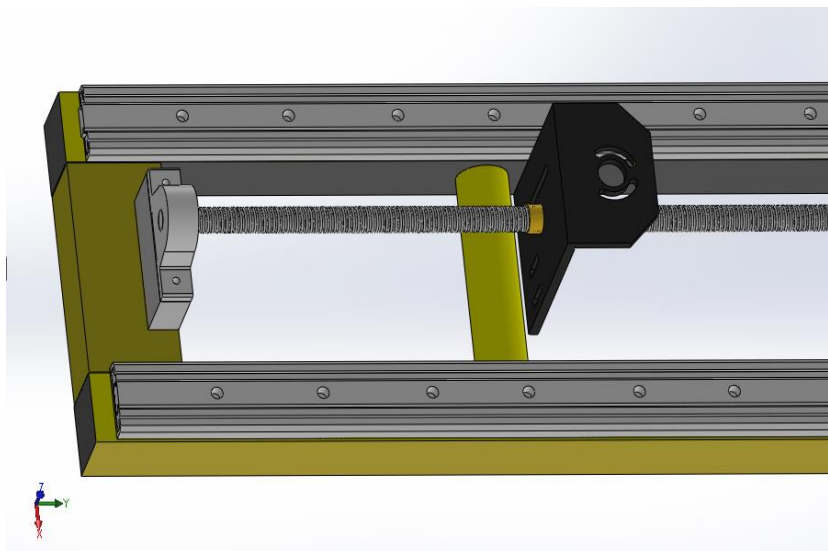


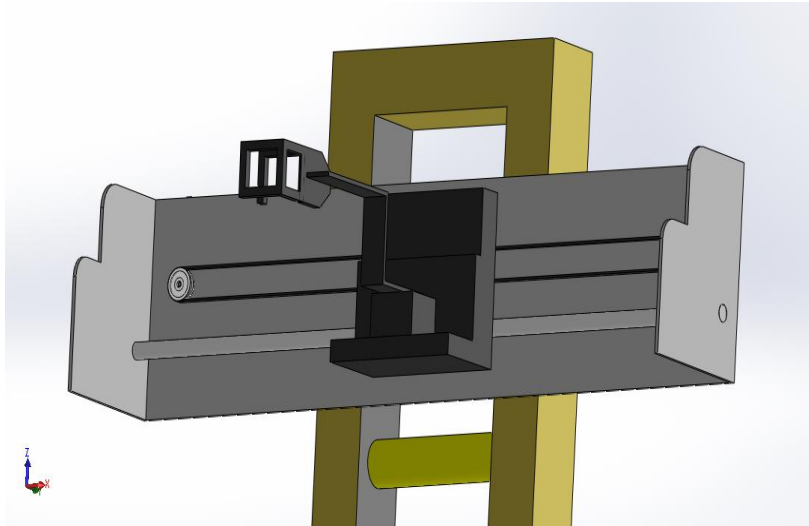
Figure II.20 : Assemblage sur l'axe X

- **Assemblage sur l'axe Y**

Nous procédons comme suit :

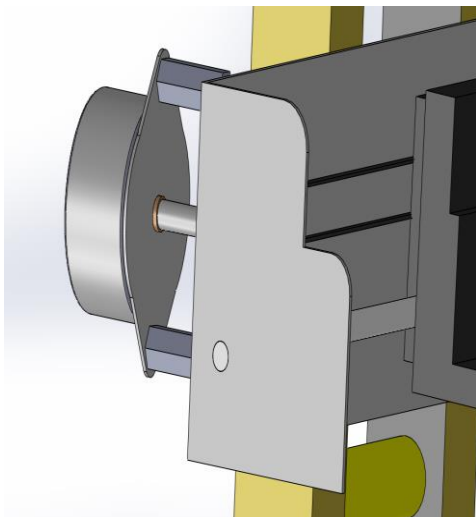
- Assemblage de poulie-courroie
- Assemblage de de porte-outil sur l'axe de guidage

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

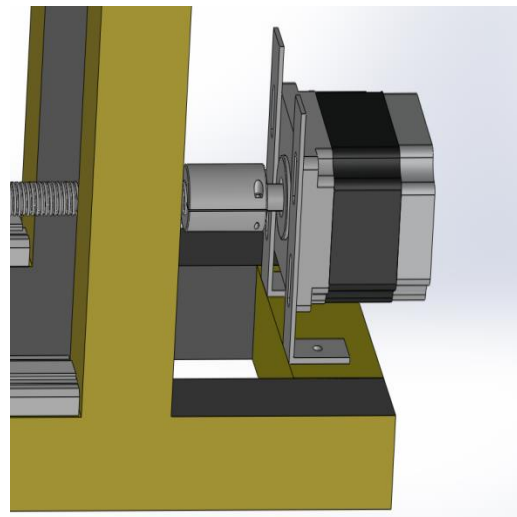


**Figure II.21** : Assemblage sur l'axe Y

- **Assemblage du Moteur pas à pas**



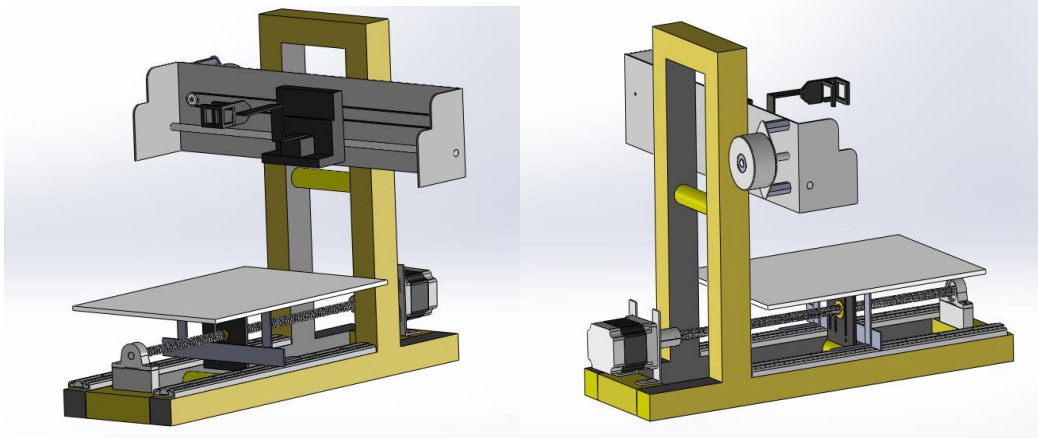
**Figure II.22** : Moteur pas à pas dans l'axe Y



**Figure II.23** : Moteur pas à pas dans l'axe X

- **Assemblage final du CNC**

Dans cette étape, nous plaçons la table du CNC sur l'axe X soutenu par des équerres qui se fixent au niveau des glissières pour permettre le déplacement de la table sur l'axe X.



**Figure II.24** : Forme finale de la machine CNC

## II.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons réalisé les différentes pièces constituant notre machine en utilisant le logiciel SolidWorks ainsi nous avons expliqué l'utilité de chacune de ces pièces et vérifié la structure globale de la machine, puis nous avons assemblé les pièces pour obtenir la forme finale de la machine.

## **Chapitre III : Partie électronique**

## Chapitre III: Partie électronique

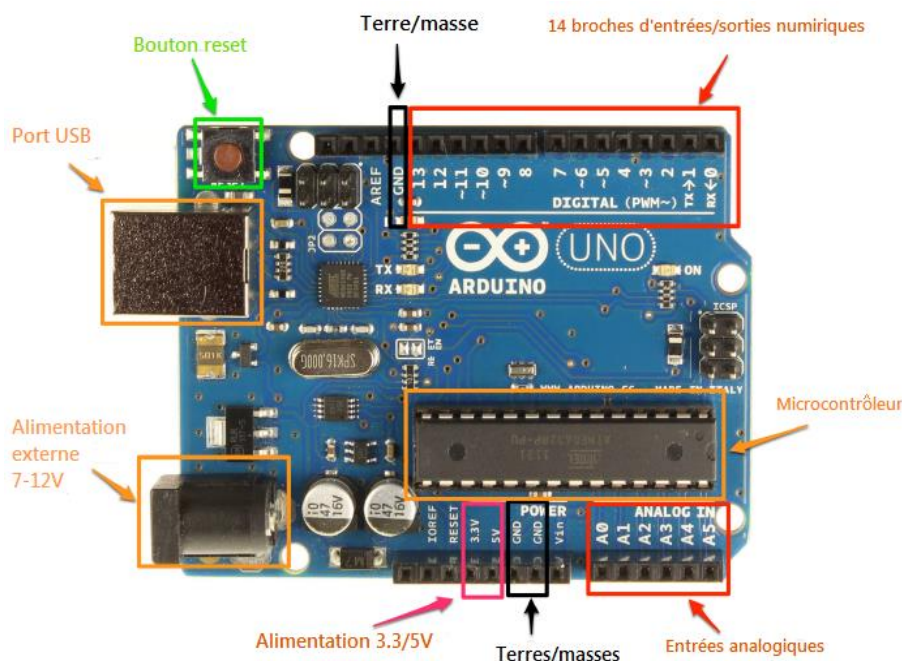
### III.1 Introduction

Nous allons maintenant entamer la partie électronique qui va commander tout le système. Commençons tout d'abord par une description théorique des différents composants qu'on a utilisés pour pouvoir réaliser notre commande.

### III.2 La carte de commande Arduino Uno (R3)

#### III.2.1 Définition

L'Arduino est un circuit électronique sur lequel se trouve un microcontrôleur qui peut jouer le rôle d'un directeur de fonctionnement automatique des appareils électroniques et d'autre composants électroniques (Led, port USB,...etc.). Il se programme à l'aide d'un langage informatique (c/c++) afin de réaliser des tâches très diverses dans plusieurs domaines comme le contrôle des appareils domestiques, et aussi au domaine robotiques.



**Figure III.1 :** Schéma d'une platine Arduino Uno

Pour fonctionner, une carte Arduino a besoin d'une alimentation. Le microcontrôleur fonctionnant sous 5V, la carte peut être alimentée en 5V par le port USB ou bien par une alimentation externe qui est comprise entre 7V et 12V. Un régulateur se charge ensuite de réduire la tension à 5V pour le bon fonctionnement de la carte [9].

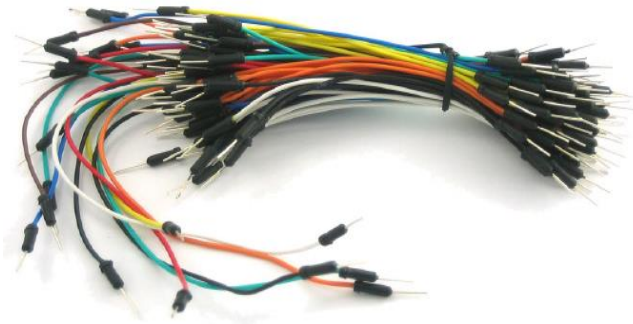
### III.2.2 La connectique

A part une LED sur la broche 13, la carte Arduino ne possède pas de composants (résistances, diodes, moteurs...) qui peuvent être utilisés pour un programme. Il est nécessaire de les rajouter. Mais pour cela, il faut les connecter à la carte. C'est là qu'interviennent les connecteurs, aussi appelés **broches** (*pins*, en anglais).

### III.2.3 Exploration des broches Arduino

- **0 à 13** Entrées/sorties numériques
- **A0 à A5** Entrées/sorties analogiques
- **GND** Terre ou masse (0V)
- **5V** Alimentation +5V
- **3.3V** Alimentation +3.3V
- **Vin** Alimentation non stabilisée (= le même voltage que celui à l'entrée de la carte)

Les connexions entre les composants sont réalisées par des *jumpers*, sortes de petits câbles.



**Figure III.2 :** Ensemble des fils et connecteurs

### III.2.4 Intérêt d'investir dans une carte Arduino

Les cartes Arduino donnent vraiment un potentiel de création quasi infini pourvu de disposer du matériel approprié.

Le système Arduino permet de :

- contrôler les appareils domestiques
- fabriquer votre propre robot
- faire un jeu de lumières
- communiquer avec l'ordinateur
- télécommander un appareil mobile (modélisme)
- commander une CNC
- etc.

### III.2.5 Synthèse des caractéristiques Microcontrôleur

**Tableau III.1 :** Caractéristique de l'Arduino

Microcontrôleur	ATmega328
ATmega328	Tension de fonctionnement 5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Consommation maxi admise sur port USB (5V)	500 mA avant déclenchement d'un fusible
Broches E/S numériques	14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM pour commander les moteurs)
Broches d'entrées analogiques	6 (utilisables aussi en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA par sortie, mais ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
Mémoire Programme Flash	<b>32 ko</b>
Mémoire RAM (mémoire volatile)	<b>2 ko</b>
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	<b>1 ko</b>
Vitesse d'horloge	<b>16 MHz</b>

### III.3 Contrôleur du moteur pas à pas (driver TB 6600) :

#### III.3.1 Définition :

Le contrôleur est un circuit spécialisé nécessaires pour transmettre de la puissance au moteur pas à pas. Le contrôleur qu'on a utilisé (TB6600) est un pilote de moteur pas à pas professionnel facile à utiliser, qui peut contrôler un moteur pas à pas biphasé. Il est compatible avec Arduino et d'autres microcontrôleurs pouvant émettre un signal d'impulsion numérique de 5 V avec une entrée d'alimentation à large plage, de 9 ~ 42V DC. Et il est capable de produire un courant de crête de 4A, ce qui est suffisant pour la plupart des moteurs pas à pas. Il prend en charge le contrôle de la vitesse et de la direction. On peut régler son micro pas et son courant de sortie avec 6 commutateurs DIP.

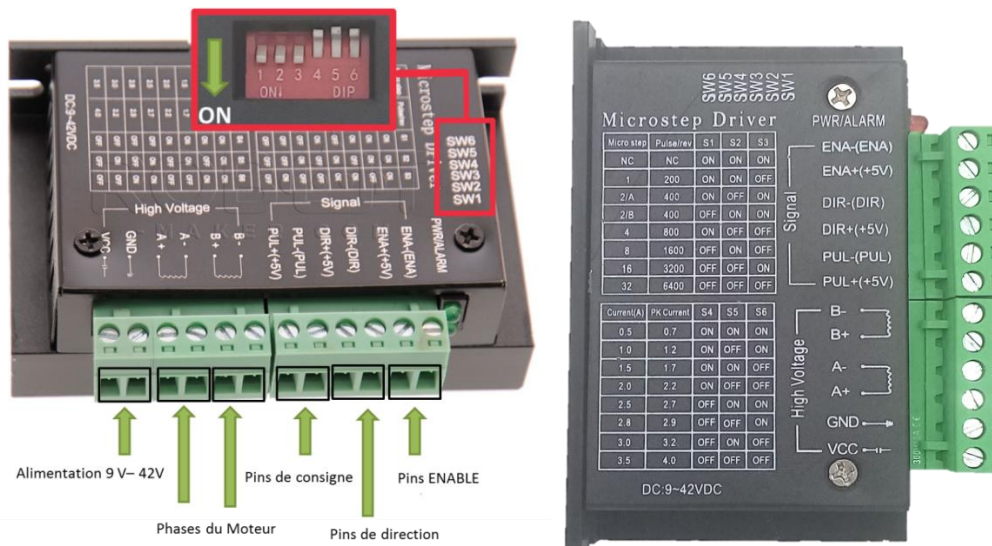


Figure III.3 : Driver TB6600

Tableau III.2 : Description des pins du contrôleur

Broche	Informations sur la broche
PUL+ PUL-	Une impulsion montante sur cette entrée fait avancer le moteur d'un pas. La tension de l'impulsion doit être de 4,5 à 5 V pour un état HAUT et 0 à 0,5 V pour un état BAS.
DIR + DIR -	Ce signal représente les deux directions de rotation du moteur. La tension du signal DIR doit être de 4,5 à 5 V pour un état HAUT et 0 à 0,5 V pour un état BAS. La rotation dépend également du câblage du moteur.
ENA+ ENA-	Ce signal est utilisé pour permettre ou interdire l'utilisation du contrôleur. Un signal HAUT permet de l'utiliser tandis qu'un signal BAS le bloque. Ces broches sont habituellement laissées déconnectées.
+Vcc	Tension d'alimentation : 9 à 42 Vcc
GND	Masse
A+ A-	Phase A du moteur
B+ B-	Phase B du moteur



**III.3.2 Fonctionnalité :**

- Prend en charge 8 types de contrôle de courant
- Prend en charge 7 types de micro pas réglables
- L'interface adopte une isolation optocoupleur à grande vitesse
- Semi-flux automatique pour réduire la chaleur
- Dissipateur thermique de grande surface
- Capacité d'interférence anti-haute fréquence
- Protection anti-retour d'entrée
- Protection contre la surchauffe, les surintensités et les court-circuités

**III.3.3 Spécification :**

- Courant d'entrée : 0 ~ 5 A
- Courant de sortie : 0,5 ~ 4,0 A
- Signal de contrôle : 3,3 ~ 24 V
- Puissance (MAX): 160W
- Micro-pas : 1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32
- Température : -10~45°C
- Poids : 0,2 kg

**III.3.4 Dimension**

**Figure III.4 :** Les dimensions du pilote TB6600

### III.3.5 Positions des commutateurs DIP

- Réglage de micro pas :

**Tableau III.3 :** Positions des commutateurs pour les micros pas

Micro Step	Pulse/Rev	S1	S2	S3
NC	NC	ON	ON	ON
1	200	ON	ON	OFF
2/A	400	ON	OFF	ON
2/B	400	OFF	ON	ON
4	800	ON	OFF	OFF
8	1600	OFF	ON	OFF
16	3200	OFF	OFF	ON
32	6400	OFF	OFF	OFF

- Réglage du courant de sortie :

**Tableau III.4 :** Positions des commutateurs pour le courant

Current(A)	PK Current	S4	S5	S6
0.5	0.7	ON	ON	ON
1.0	1.2	ON	OFF	ON
1.5	1.7	ON	ON	OFF
2.0	2.2	ON	OFF	OFF
2.5	2.7	OFF	ON	ON
2.8	2.9	OFF	OFF	ON
3.0	3.2	OFF	ON	OFF
3.5	4	OFF	OFF	OFF

### III.4 Capteur de fin de course :

Un capteur de fin de course est un bouton poussoir actionné par un mouvement mécanique. Il est utilisé dans les CNC pour connaître les limites des trajectoires.

Ce capteur peut prendre alors deux états (aussi appelés états logiques) :

- Enfoncé (en logique positive l'interrupteur est fermé).
- Relâché (en logique positive l'interrupteur est ouvert). [13]



Figure III.5 : Fin de course

### III.5 Alimentation :

Une alimentation électrique est un système qui alimente un équipement électrique. Quels que soient les paramètres du réseau, le système garantit que l'alimentation électrique des appareils correspond à leurs besoins, pour cela nous avons choisi une avec les caractéristiques (10A/24V)



Figure III.6 : Alimentation

### III.6 Moteur pas à pas

#### III.6.1 Définition

Le moteur pas à pas constitue un convertisseur électromécanique destiné à transformer le signal électrique (impulsion ou train d'impulsions de pilotage) en déplacement (angulaire ou linéaire) mécanique [10].

Les moteurs pas à pas sont des moteurs spéciaux, composés simplement d'un stator réunissent des pièces polaires et des bobinages, et utilisés pour commander avec grande précision le déplacement et la position d'un objet.

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

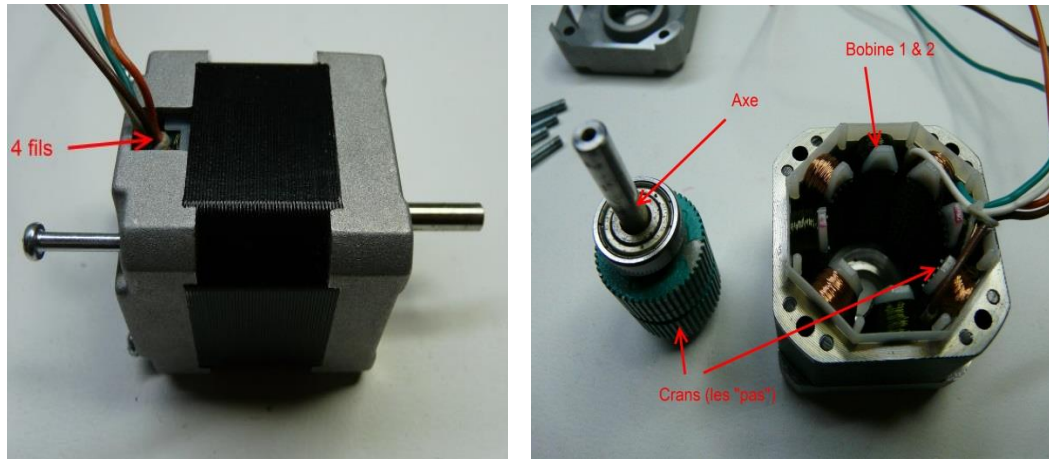


Figure III.7 : Moteur pas à pas bipolaire « NEMA » classique

### III.6.2 Pourquoi des moteurs Pas à Pas

#### • Avantages:

- Rotation constante pour chaque commande (précision meilleure que 5% d'un pas).
- Existence de couple à l'arrêt.
- Contrôle de la position, de la vitesse et synchronisation de plusieurs moteurs (pas besoin de contre-réaction).
- Moteur sans balais.

#### • Inconvénients:

- Plus difficile à faire fonctionner qu'un moteur à courant continu.
- Vitesse et couple relativement faible.
- Couple décroissant rapidement lorsque la vitesse augmente.
- Résonance mécanique [12].

### III.6.3 Les différents types des moteurs pas à pas

Il y a trois principaux types de moteurs pas à pas:

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

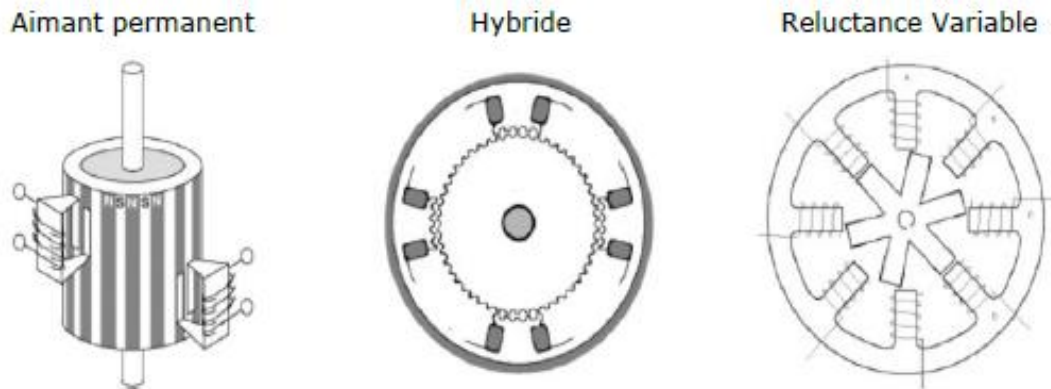


Figure III.8 : Différents types de moteur

### III.6.3.1 Les moteurs à aimant permanent

Des aimants permanents sont incorporés dans la structure du moteur pas à pas à aimant permanent. Le changement de position du rotor sera provoqué par un changement de sens du courant dans les bobines, modifiant les pôles magnétiques. Le rotor tournera de  $90^\circ$  lorsque la direction du courant est correctement modifiée. Ce pas unique du moteur, bien qu'utile dans certaines applications, serait très important et imprécis. Par conséquent, les moteurs à aimants permanents réellement existants ont plus de pôles de rotor et plusieurs aimants montés sur le rotor pour augmenter le nombre de pas et la précision de positionnement.

Les pôles de rotor magnétisés fournissent une plus grande force de flux magnétique, de sorte que les moteurs à aimants permanents présentent de meilleures caractéristiques de couple que les moteurs pas à pas à réluctance variable. La construction simple donne un moteur abordable avec une résolution assez faible [11].

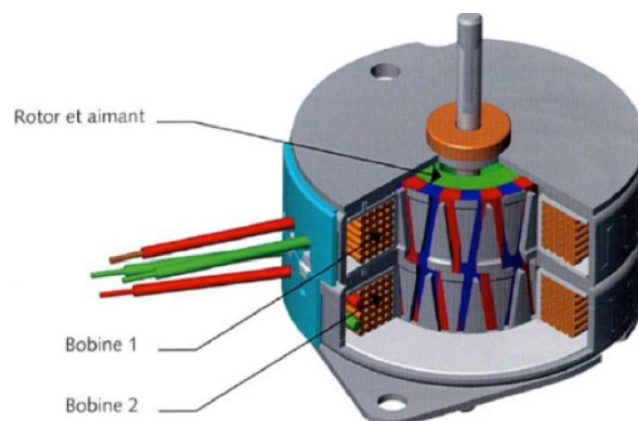


Figure III.9 : Vue d'un moteur à aimants permanents

### III.6.3.2 Les moteurs à réluctance variable

Les moteurs pas à pas à réluctance variable sont le type de moteur pas à pas le plus simple et sont constitués d'un rotor à plusieurs dents en fer doux et d'un stator bobiné. Les deux pôles sont magnétisés lorsqu'un courant continu est appliqué à l'enroulement du stator.

Lorsque les dents du rotor sont attirées vers les pôles du stator sous tension, une rotation se produit. Comme les aimants des moteurs pas à pas à réluctance variable sont plus petits et plus légers que ceux des moteurs pas à pas à aimants permanents, ils sont plus rapides. Plus la zone entre les engrenages du rotor et du stator d'un moteur pas à pas à résistance variable est petite, plus la perte de force magnétique est faible.

Pour ce type de moteur pas à pas, bien que la structure soit simple et facile à contrôler, la résolution est faible et le couple est faible [11].

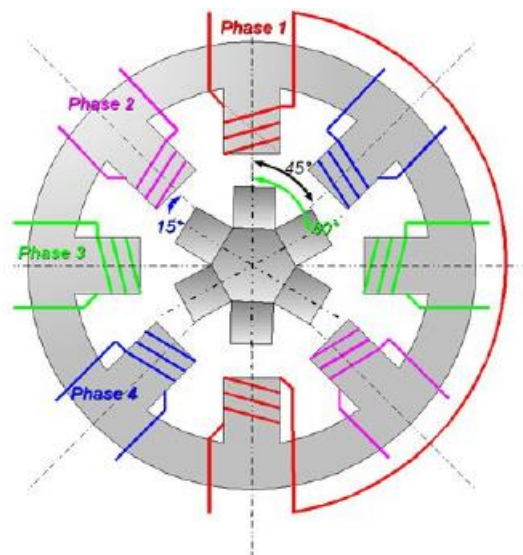


Figure III.10 : Vue d'un moteur à réluctance variable

### III.6.3.3 Les moteurs hybrides

Les moteurs pas à pas hybrides sont l'un des types de moteurs pas à pas les plus largement utilisés dans l'industrie. Les moteurs pas à pas hybrides combinent les meilleures caractéristiques des moteurs pas à pas à réluctance variable et à aimant permanent, ils sont donc plus chers. Les moteurs pas à pas hybrides offrent de meilleures performances en termes de résolution de pas, de couple et de vitesse.

Le rotor d'un moteur pas à pas hybride est constitués d'aimants permanents, mais contrairement aux modèles évoqués précédemment, les aimants ne sont pas montés radialement mais aimantés axialement. Normalement, le rotor est constitué de deux anneaux aimantés opposés placés sur l'arbre du moteur. Il a des rainures fendues dans chaque anneau pour former les dents du rotor [11].

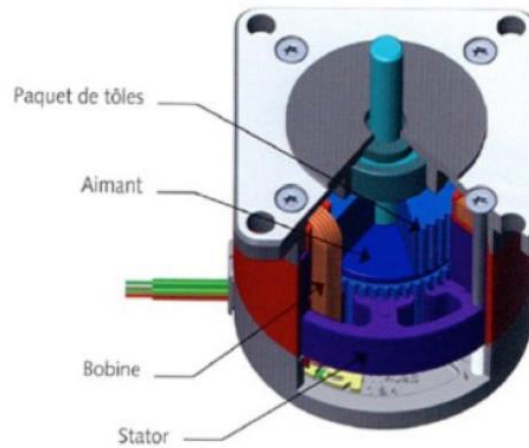


Figure III.11 : Vue d'un moteur hybride

### III.6.4 Comparaison entre les trois types des moteurs pas à pas

Tableau III.5 : Comparaison des performances pour les trois types de moteurs pas à pas.

Type de moteur pas à pas	Moteurs à réluctance variable	Moteurs à aimants permanents	Moteurs hybride
Résolution (nbre de tours par pas)	Bonne	Moyenne	Elevée
Couple moteur	Faible	Elevée	Elevée
Sens de rotation	Dépend de l'ordre d'alimentation des phases	Dépend de : -L'ordre d'alimentation des phases -Du sens du courant dans les bobines	Dépend de : -L'ordre d'alimentation des phases -Du sens du courant dans les bobines
Fréquence de travail	Grande	Faible	Grande
Puissance	Quelques Watts	Quelques dizaines de Watts	Quelques KWatts



**Remarque :**

Les moteurs les plus courants sont ceux à aimants permanents et les hybrides.

**III.6.5 Les caractéristiques des moteurs pas à pas****• Electrique :**

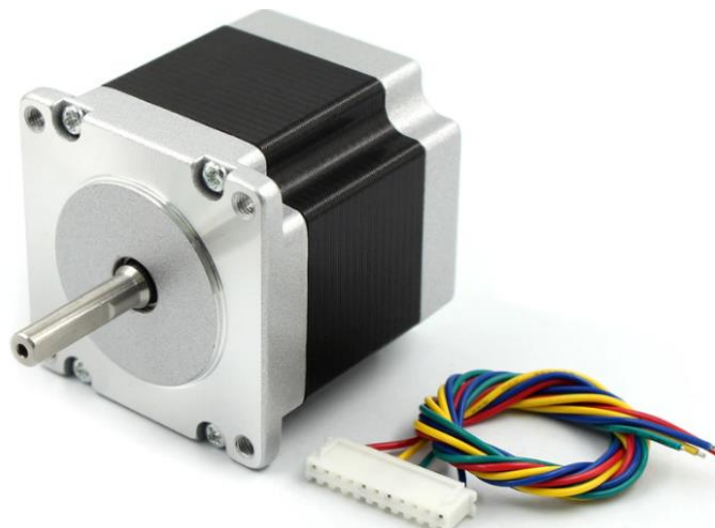
- Définies par le voltage le courant et la résistance de chaque bobine. Le paramètre important est le courant! A ne jamais dépasser.
- Pour l'amateur, la valeur de la self du moteur n'est pas indiquée.

**• Mécanique :**

- Pas par tour (valeurs classiques: 12, 24, 48, 100, 200).
- Parfois la taille, c'est le diamètre en 1/10 de pouce.
- Dans le monde amateur les paramètres suivants sont rarement indiqués:
  - Le couple
  - La vitesse de rotation maximum
  - La fréquence de résonance, rarement indiquée [12].

**III.6.6 Moteur pas à pas (Nema 23) :**

Pour un fonctionnement correct de la machine, nous avons choisi les moteurs pas à pas hybrides NEMA 23, ce sont des moteurs adaptés pour l'utilisation dans les machines CNC.



**Figure III.12 :** Nema 23



## III.6.7 Caractéristiques :

Tableau III.6 : Spécifications du moteur

Désignation	Valeur
Largeur	57mm
Hauteur	57mm
Longueur	56mm
Diamètre de l'axe	6.35mm
Poids	700g
Type du moteur	Pas-à-pas bipolaire
Nombre de fils	4
Angle de pas	1.8°
Nombre de pas par révolution	200
Résistance de la phase	3.6 ohms
Couple moteur	1.16Nm
Courant par phase	1.5A
Tension recommandée	24-48V
Inductance	13mH±20%(1KHz)
Numéro du modèle	23HS22-1504S

## III.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé des différents composants électrique (carte arduino, contrôleur, fin de course, moteur pas à pas, alimentation) qu'on a utilisés, nous avons fait une étude sur les choix des moteurs et des circuits de puissance à utiliser.

Cette partie est nécessaire pour l'étape suivante qui consiste à réaliser l'ensemble de la machine et sa commande.

# **Chapitre IV : Réalisation et programmation de la machine CNC**

## **Chapitre IV: Réalisation et programmation de la machine CNC**

### **IV.1 Introduction**

Le déplacement dans les deux axes (X, Y) nécessite de maîtriser trois grands domaines techniques « électronique, mécanique et informatique ».

Notre objectif est la réalisation et la programmation d'une machine à commande numérique.

Dans ce chapitre nous présentons quelque phase de la réalisation.

### **IV.2 Description de la machine**

Notre projet consiste à réaliser une machine à commande numérique à deux axes destinés à la technique de Spray pyrolyse.

### **IV.3 La réalisation**

Pour la réalisation on décompose notre travail en trois parties :

#### **IV.3.1 Partie mécanique**

Construction d'un système mécanique qui assure le mouvement sur les deux axes (X, Y).

#### **IV.3.2 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 pour alimenter les circuits logiques (pour Arduino et drivers).

On utilise une alimentation continue 24V pour alimenter les enroulements des moteurs.

On utilise deux 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.

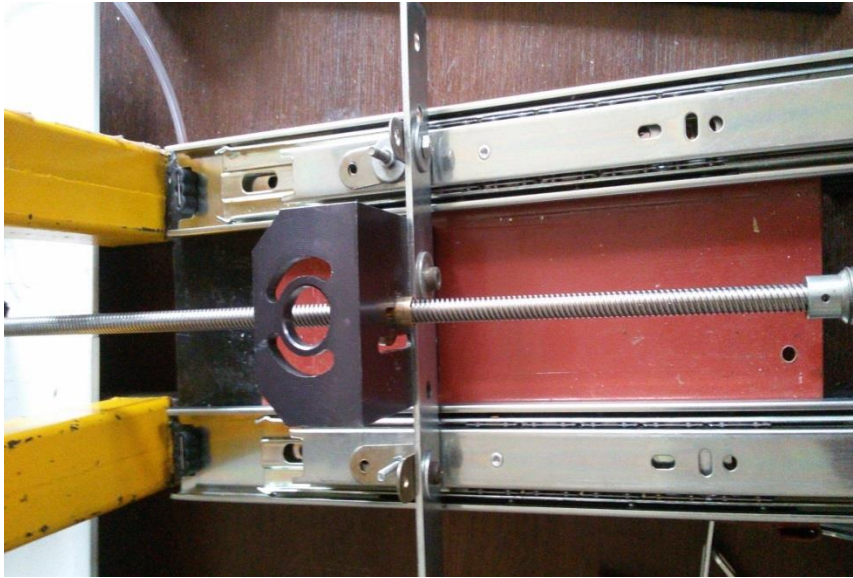
#### **IV.3.3 Partie informatique (logiciel Arduino)**

Pour le contrôle de la machine on utilise logiciel Arduino pour la transmission de programme vers la carte Arduino.

#### IV.4 Les différentes parties de la machine CNC

##### IV.4.1 L'axe X

L'axe X est constitué de deux glissières comme le montre la (Figure IV.1) il est entraîné par une vis-écrou.



**Figure IV.1** : Réalisation de l'axe X

##### IV.4.2 L'axe Y

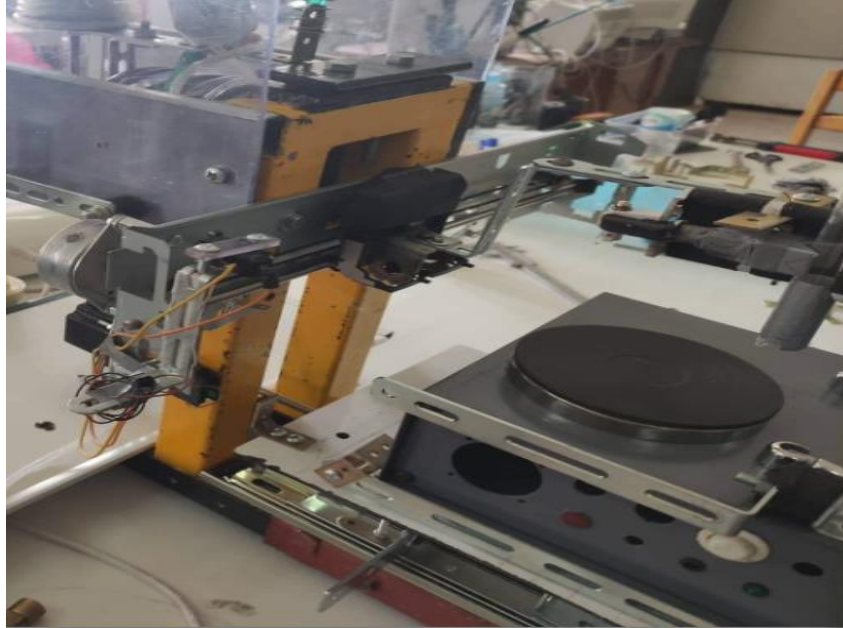
L'axe Y est constitué d'une plaque et d'axe guidage entraîné par une courroie.



**Figure IV.2** : Réalisation de l'axe Y

**IV.4.3 Assemblage complet de la machine CNC**

Après avoir cité les différentes parties de la machine CNC, nous allons les assembler pour avoir une CNC complète, la (Figure IV.3) ci-dessous la montre.



**Figure IV.3 :** Réalisation final de la machine CNC.

**IV.5 Carte de commande pour la machine CNC**

La carte de commande est constituée d'une carte Arduino UNO, alimentée par l'ordinateur, et de deux drivers de moteurs pas à pas.

La carte Arduino délivre les signaux PWM aux drivers de moteurs pas à pas pour commander les différents moteurs qui contrôlent les axes de la machine CNC, qui sont de leurs côtés alimentés avec une tension de 12volts délivré par un générateur de tension,

La (Figure IV.4) ci-dessous montre le schéma de branchement.



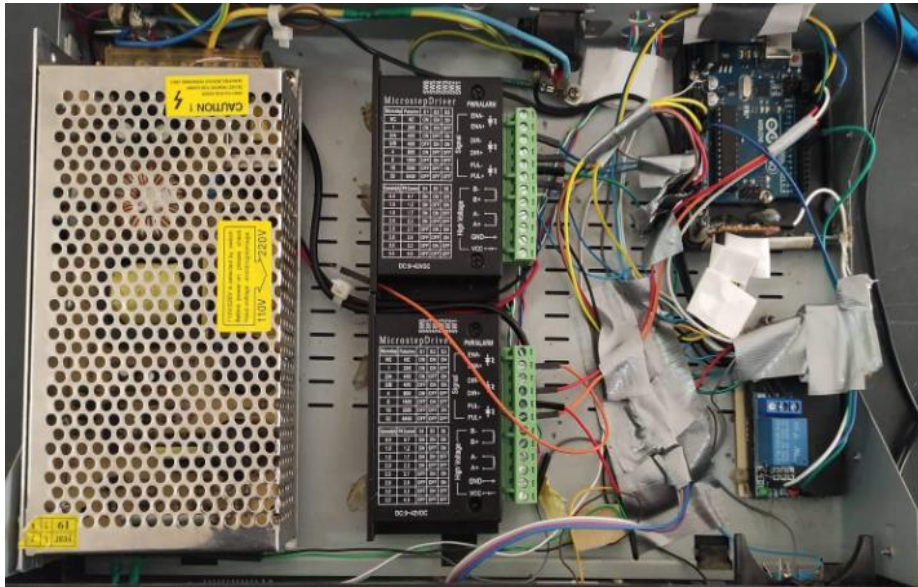


Figure IV.4 : Carte de commande de la machine CNC.

#### IV.6 Branchement du circuit

La broche "step" pour les axes X, Y sont broches sur les pins 9 et 8.

La broche "Dir" pour les axes X, Y sont broches sur les pins 10 et 7.

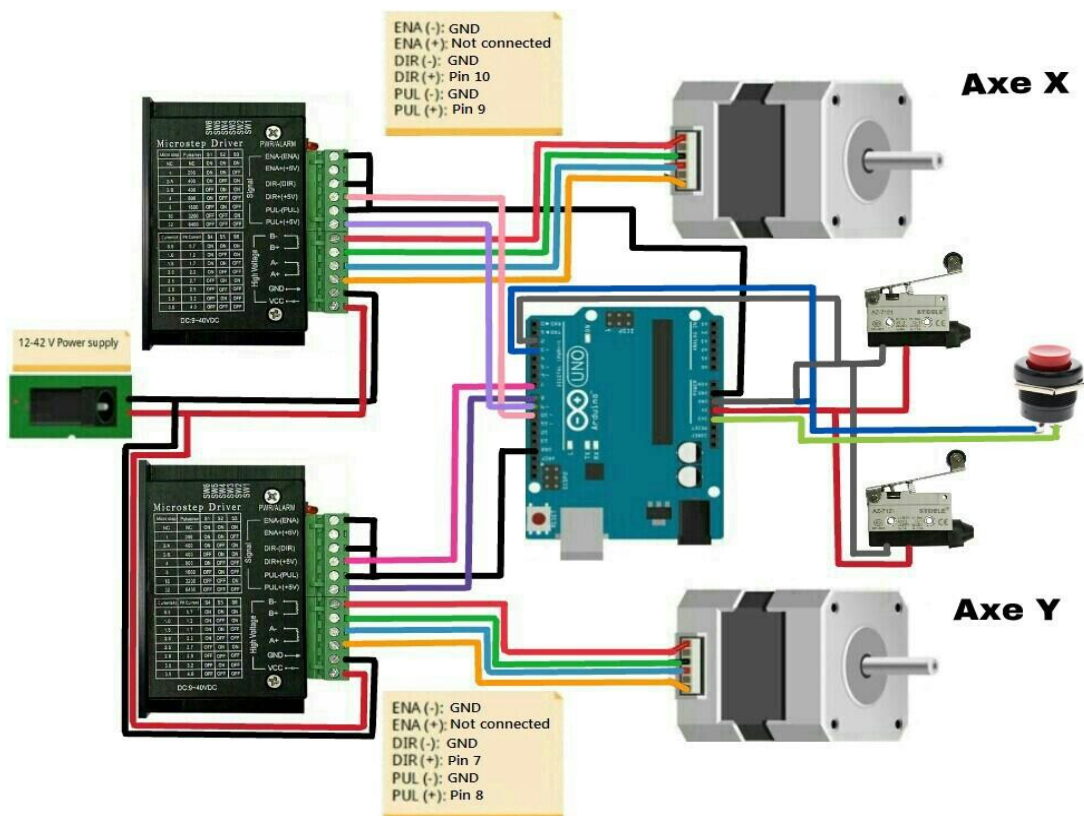


Figure IV.5 : Branchement de la commande des deux moteurs

## IV.7 Logiciel Arduino

L'environnement de programmation Arduino (IDE) permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série d'instructions compréhensibles pour la carte [14].

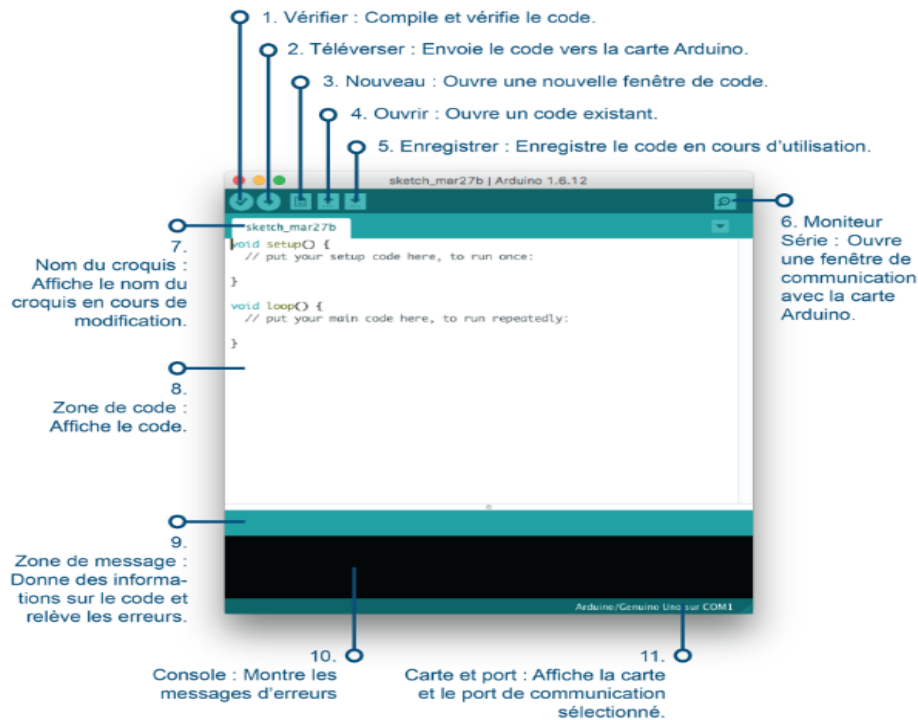


Figure IV.6 : L'interface de l'IDE Arduino en détail.

## IV.8 Le programme

- Dans la première partie du programme nous avons déclaré les variables, les broches d'alimentation, la bibliothèque utilisé, la vitesse de chaque moteur et le rôle des broches (Entree/sortie).

```
int repeat=3; //Nombre de répétition
```

```
int n=1; //La valeur de n
```

```
// Définir les numéros des bronches
```

```
const int choix=3;
```

```
const int stepPin =8;
```

```
const int dirPin = 7;
```

```
const int stepPin2 =9;
```

```
const int dirPin2 =10;
```

```
const int homeSwitchPin = 2;
```

```
// Inclure la bibliothèque Arduino Stepper
```

```
#include <Stepper.h>
```

```
// Nombre de pas par rotation de sortie
const int stepsPerRevolution = 800;
// Créer une instance de la bibliothèque Stepper
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 8, 5);
Stepper myStepper2(stepsPerRevolution, 9, 4);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
// Régler la vitesse à 60 rpm
myStepper.setSpeed(4*60);//Réglage de la vitesse du moteur de l'axe Y
myStepper2.setSpeed(4*60);//Réglage de la vitesse du moteur de l'axe X
// Définit les broches comme (Sorties/Entrée)
pinMode(stepPin,OUTPUT);
pinMode(dirPin,OUTPUT);
pinMode(stepPin2,OUTPUT);
pinMode(dirPin2,OUTPUT);
pinMode(homeSwitchPin , INPUT);
pinMode(choix,INPUT);
// Réglez direction sur le commutateur d'accueil
digitalWrite(dirPin,LOW);
digitalWrite(dirPin2,HIGH);
}
```

- La seconde partie était consacrée à détecter les fins de course et se positionner au point de départ.

```
void loop() {
  int homeSw = digitalRead(homeSwitchPin);
  if( homeSw == LOW && (digitalRead(dirPin) == LOW) ){
    motorStep(1);
  }
  else if( homeSw == HIGH && (digitalRead(dirPin) == LOW) ) //Détecter le fin de course
de l'axe Y
{
  digitalWrite(dirPin,HIGH);
  myStepper.step(-2*stepsPerRevolution); // Positionnement de l'axe Y
}
```



```

    delay(2000); //Attendre 2 seconds
    digitalWrite(dirPin2,LOW);
    int homeSw = LOW;
}
else if( homeSw == LOW && (digitalRead(dirPin2) == LOW) ){
    motorStep2(1); //Démarrage du moteur de l'axe X
}
else if( homeSw == HIGH && (digitalRead(dirPin2) == LOW) ) //Détecter le fin de course
de l'axe X
{

```

```

    digitalWrite(dirPin2,HIGH);
    myStepper2.step(-2*stepsPerRevolution); // Positionnement de l'axe X
    delay(2000); //Attendre 2 seconds
    bool cas = digitalRead (choix) ;

```

- A cette partie, nous avons traité l'intégration de deux cas : (Balayage de l'axe Y /Balayage des deux axes X et Y)

```

    do{
switch (cas){
case 1:
//Balayage de l'axe Y, (utiliser pour le dépôt des couche mince d'une taille 75*25 mm)
    digitalWrite(dirPin,HIGH);
    myStepper.step(30*stepsPerRevolution);
    digitalWrite(dirPin,LOW);
    myStepper.step(30*stepsPerRevolution);
break;
case 0:
//Balayage des deux l'axes X et Y, (utiliser pour le dépôt des couche mince d'une taille
75*75mm)
    digitalWrite(dirPin,HIGH);
    myStepper.step(60*stepsPerRevolution);
    digitalWrite(dirPin2,HIGH);
    myStepper2.step(10*stepsPerRevolution);

```

```
digitalWrite(dirPin,LOW);
myStepper.step(60*stepsPerRevolution);
digitalWrite(dirPin2,HIGH);
myStepper2.step(10*stepsPerRevolution);
break;}
    n++; // incrémentation de n (n=n+1)
}
while (n<=repeat); // Repetition
exit(0); }}
```

- Cette dernière partie est utilisée pour appeler la commande des moteurs avant le positionnement.

```
void motorStep( int MAX){
    for(int i = 0; i < MAX; i++) {
        digitalWrite(stepPin,HIGH);
        delayMicroseconds(500);
        digitalWrite(stepPin,LOW);
        delayMicroseconds(500);
    }
}
void motorStep2( int MAX){
    for(int i = 0; i < MAX; i++) {
        digitalWrite(stepPin2,HIGH);
        delayMicroseconds(500);
        digitalWrite(stepPin2,LOW);
        delayMicroseconds(500);
    }
}
```

## IV.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons achevé l'assemblage et la concrétisation finale de la machine CNC, y compris sa commande, ainsi que l'injection du programme dans la carte Arduino UNO, pour commander les axes de la machine, ce qui nous a permis en final de visionner son fonctionnement lorsqu'elle effectue ses tâches.

## **Conclusion générale**

### Conclusion générale

Notre projet de fin d'étude consiste à la réalisation pratique d'une machine CNC basé à la carte Arduino et l'emploi de l'expérience académique et professionnel le savoir-faire dans le domaine électromécanique.

Nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques en électronique et d'acquérir une bonne expérience au niveau de la réalisation pratique.

Lors de cette manipulation, on a essayé de fournir l'automatisation de commande de deux moteurs pas à pas et les appliques à la machine CNC.

Ce projet nous donné une meilleure idée sur la complémentarité entre le volet théorique et le volet pratique.

Comme perspectives, nous proposons ce que suit :

Amélioration de la structure mécanique pour réduire le bruit et avoir plus de fluidité et moins de consommation d'énergie.

Remplacement de guidage par un autre plus précis.

Développement de ladite machine, en passant d'une simple machine à deux axes à plusieurs axes.

Perfectionnement de la machine par l'ajout d'un afficheur, le potentiomètre contenant les diverses données et paramètres pour le fonctionnement de la machine, notamment, la répétition, ou le nombre de couche de dopage, les dimensions de balayage.

Maitrise de la vitesse des axes (variateur de vitesse).

En conclusion, nous espérons que ce modeste travail pourrait servir de référence aux projets futurs des prochaines promotions et les inciter à s'intéresser d'avantage au côté pratique de l'automatique.

## Bibliographie

- [1] : DAHMANI L. & HADJ BRAHIM B, ISET SILIANA, Production par CN, «Les machines outils à commande numérique : définitions, structure et caractéristiques».
- [2] : Dr : Zahia HESSAINIA, Chapitre 1 «Machines outils à commande numérique», Université Des Frères Mentouri Constantine 1, 15-05-2016
- [3] : BELLOUFI Abderrahim, Machines outils à commande numérique, Chapitre II : Eléments d'une MOCN, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2010
- [4] : KASMI Sidi Mohamed, Développement d'un module de programmation des instructions d'usinage en mode conversationnel dans un environnement CAO, Mémoire MASTER, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen-, 2019 -2020
- [5] : M. A. Munjer\*, M.F. Hossain\*\*, M. H. Rahman, M. Z Mahmud, Department of Electrical and Electronic Engineering, Rajshahi University of Engineering & Technology(RUET), Rajshahi-6204, Bangladesh.
- [6] : DRECKSHAGE, DAS PARADIES FUR MASCHINENBAUER , August Dreckshage GmbH & Co. KG.  
<https://dreckshage.de/fr/techniques-lineaires/arbres-de-guidage>
- [7] : Techno-Science.net ; Conception assistée par ordinateur - Définition et Explications ; consulté (03/04/2022)  
<https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Conception-assistee-par-ordinateur.html>
- [8] : BTS AMCR, Présentation du logiciel SOLIDWORKS, Lycée Bel Air, 2019
- [9] : Frédéric Genevey & Jean-Pierre Dulex, Arduino à l'école, Cours pour l'apprentissage des bases de l'électronique et de la programmation sur Arduino, Édition février 2018
- [10] : M. Correvon, Systèmes électromécaniques, Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion Du Canton du Vaud, CD\SEM\Cours\Chap07.

[11] : stepperonline, <https://www.omc-stepperonline.com/fr/support/qu-est-ce-qu-un-moteur-pas-a-pas>

[12] : Gerard Yvraut , Copyright 99, Les Moteurs Pas à Pas ,Séminaire Bellegarde Nov 99.

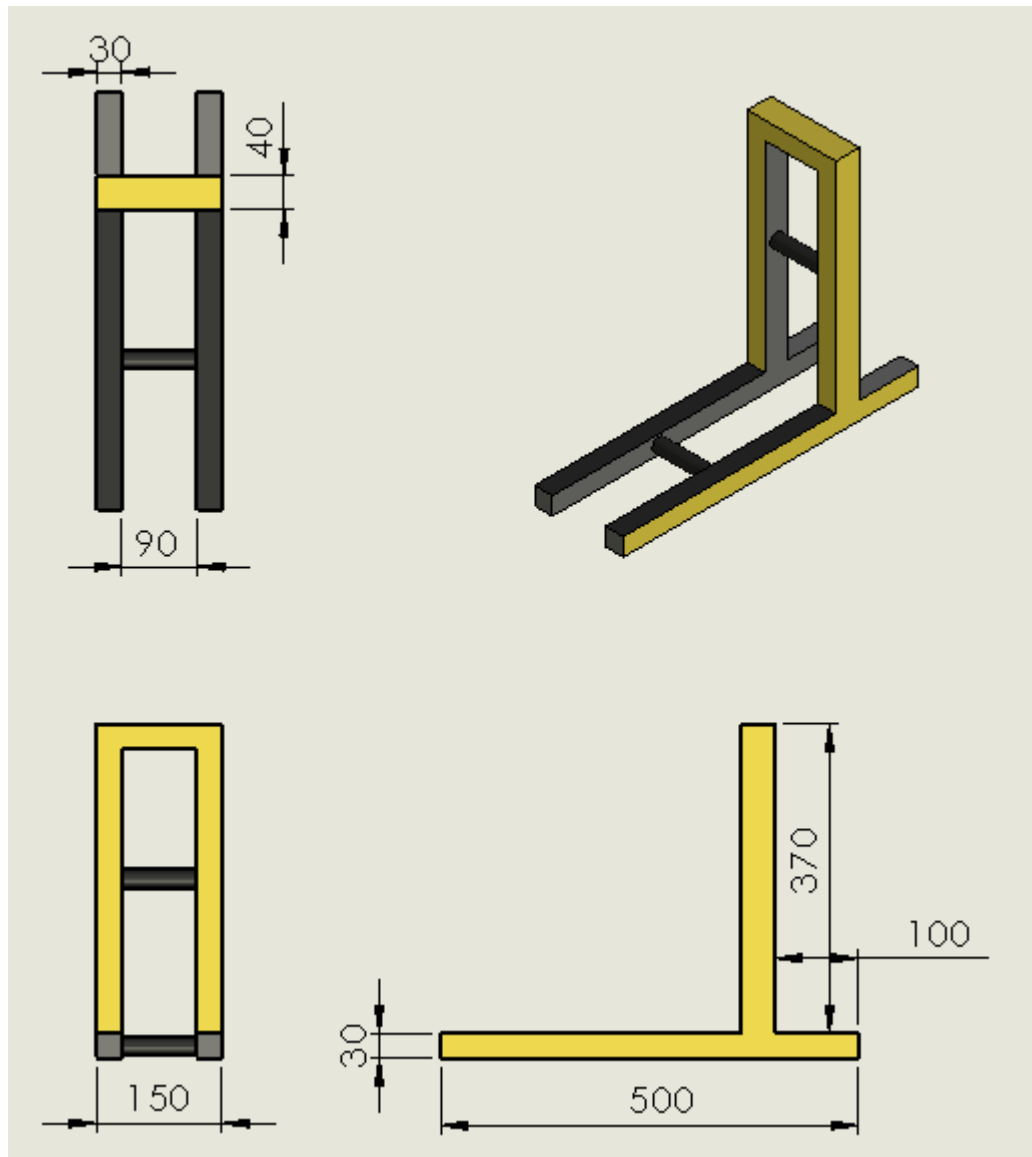
[13] : SEQ25-S2-Ressource\_Capteurs\_Fin\_de\_course.

[14 ] : PLAYHOOKY.FR, article, Comment programmer une carte Arduino ?, Posté le 6 octobre 2019, consulté le 10/06/2022.

<https://www.playhooky.fr/technologie/arduino/>

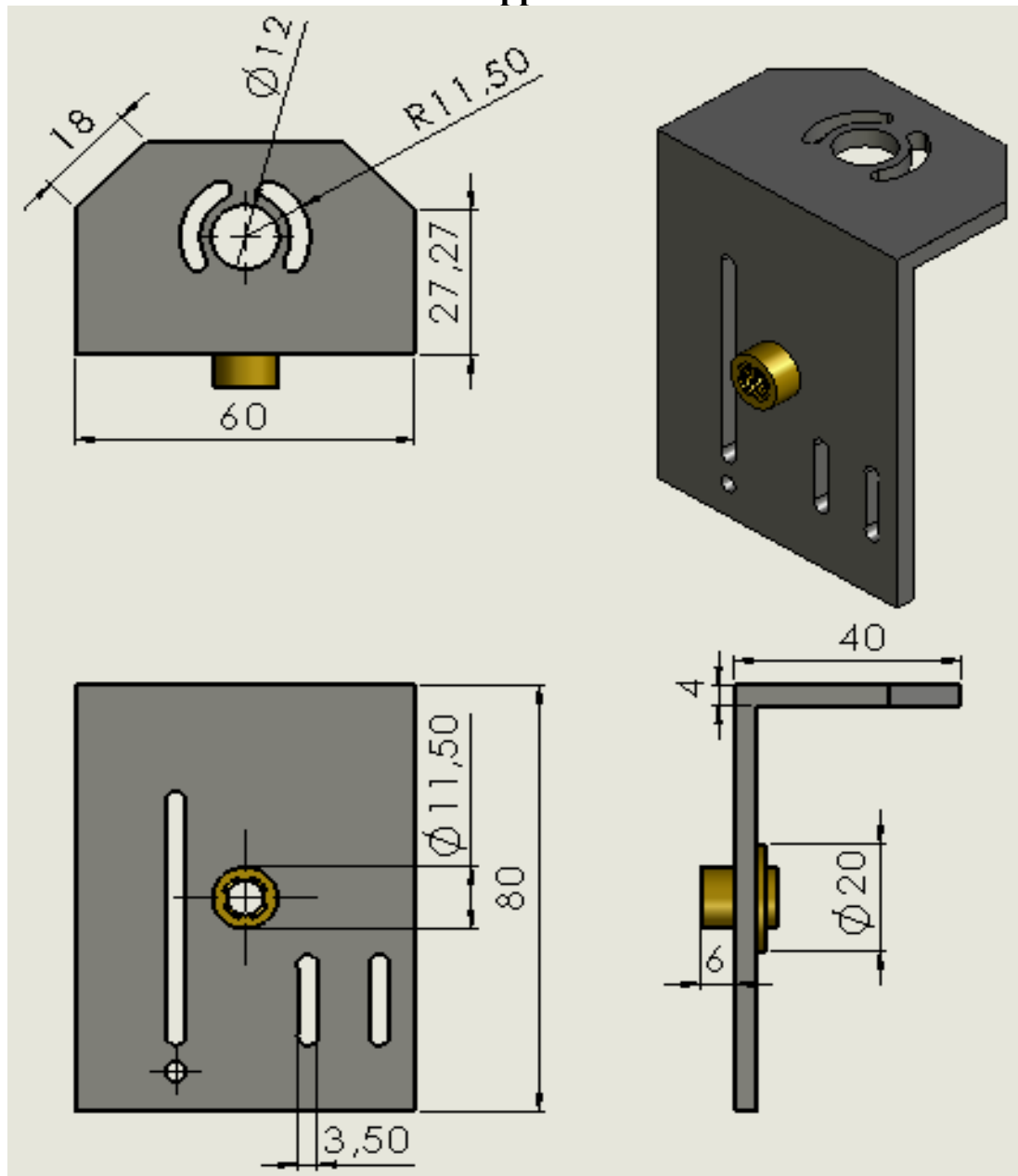
# **Annexes**

## Annexe 1 : Le bâti

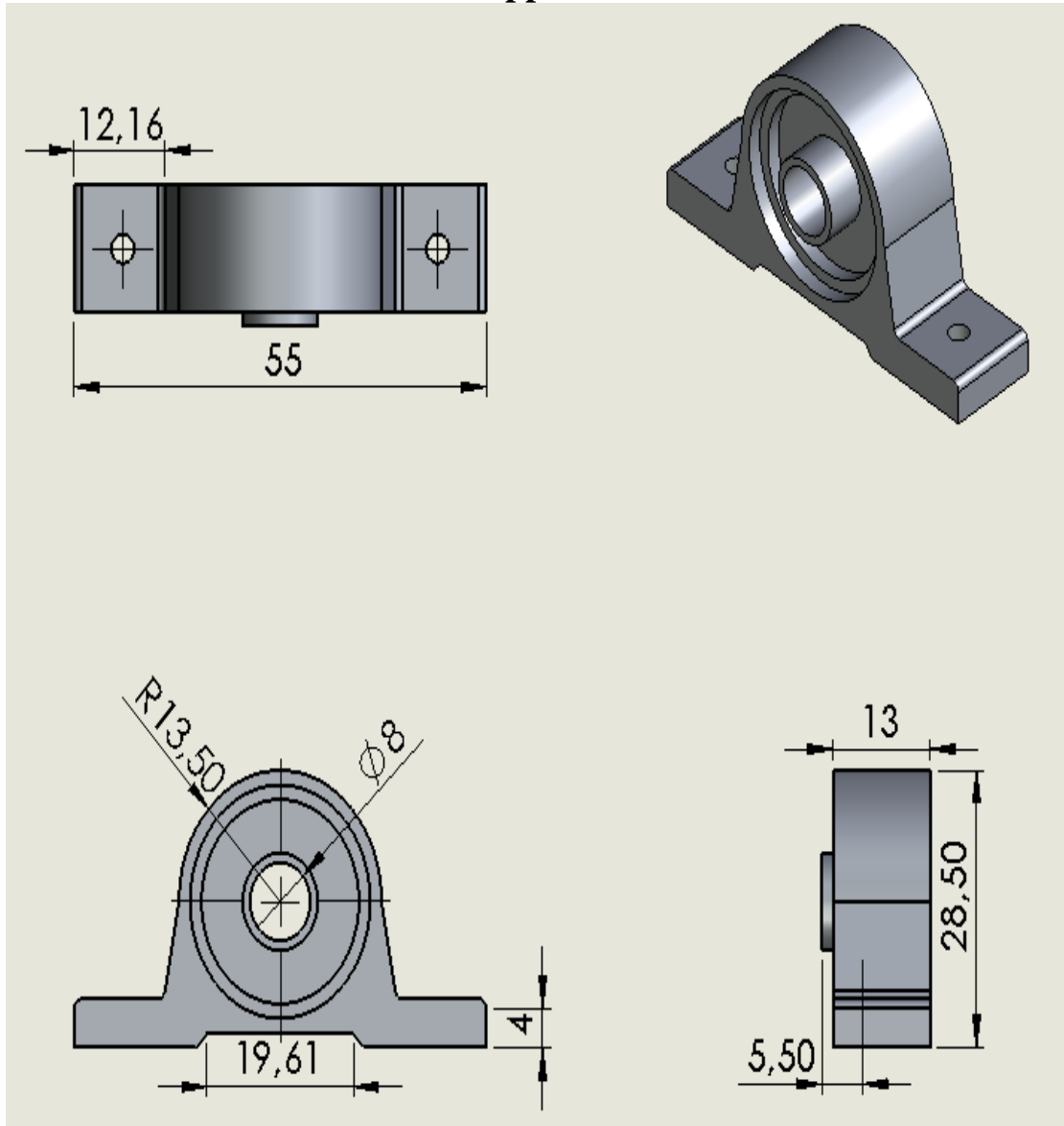




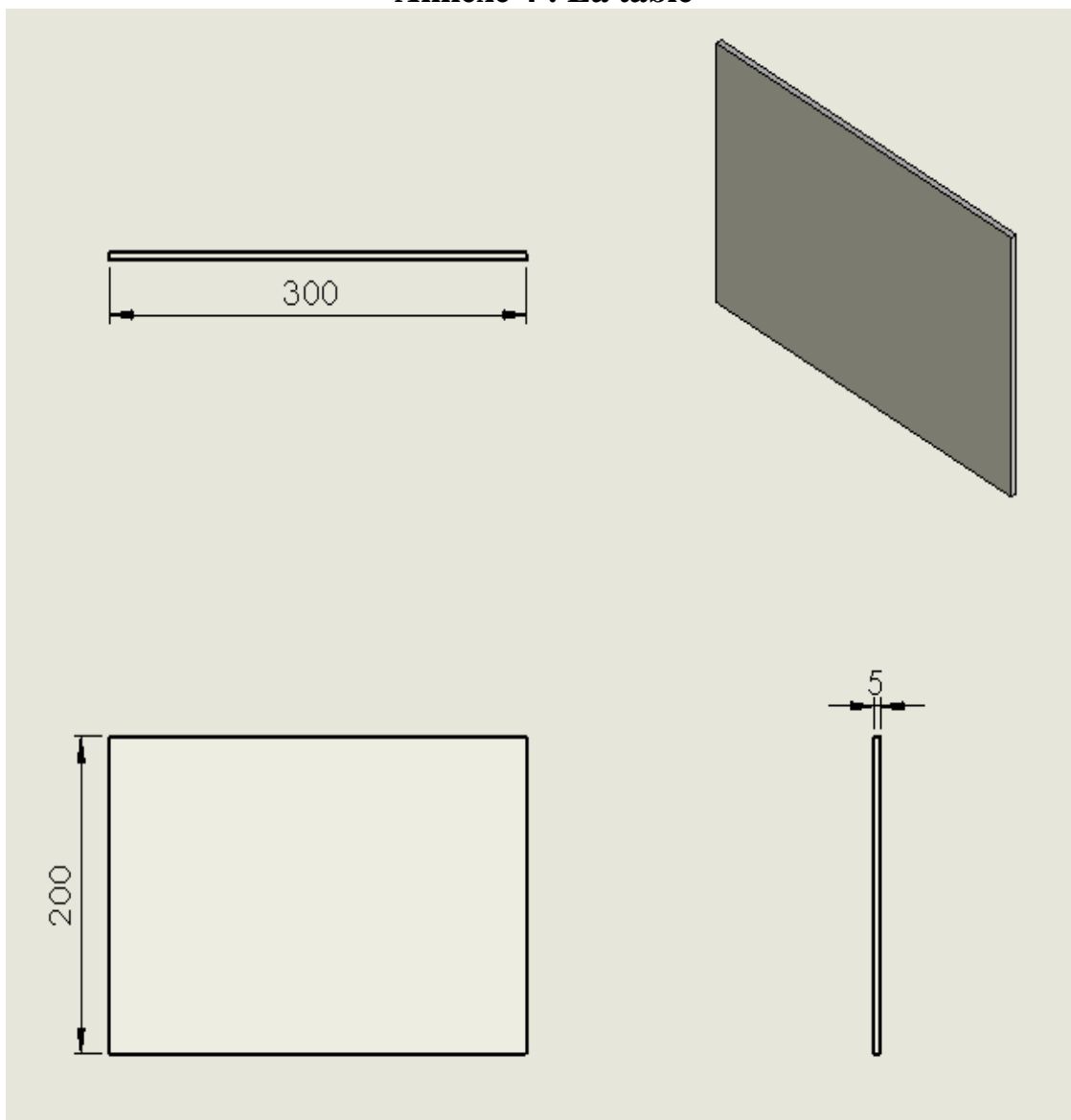
## Annexe 2 : Support de l'axe X



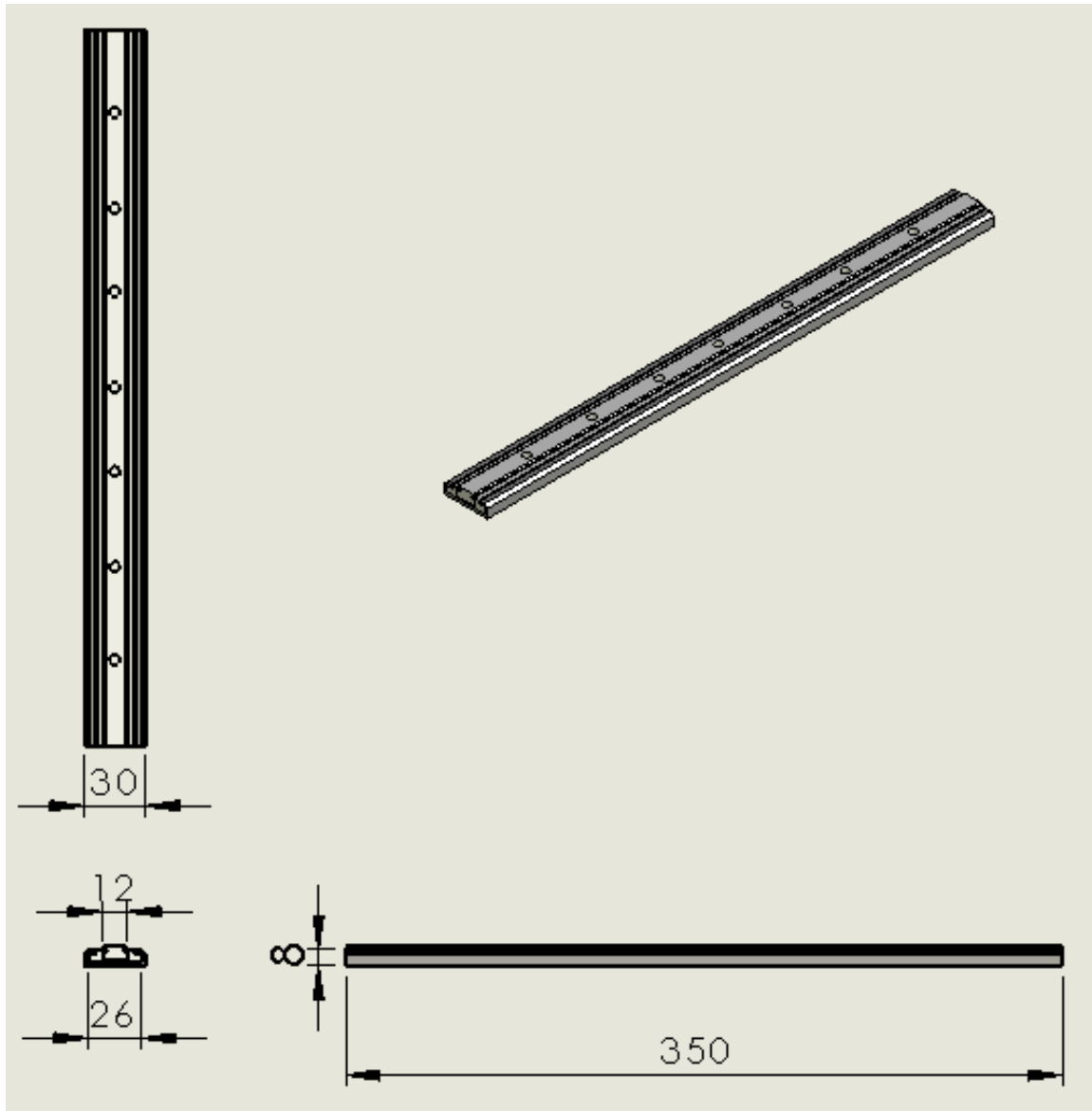
## Annexe 3 : Support de vis-écrou



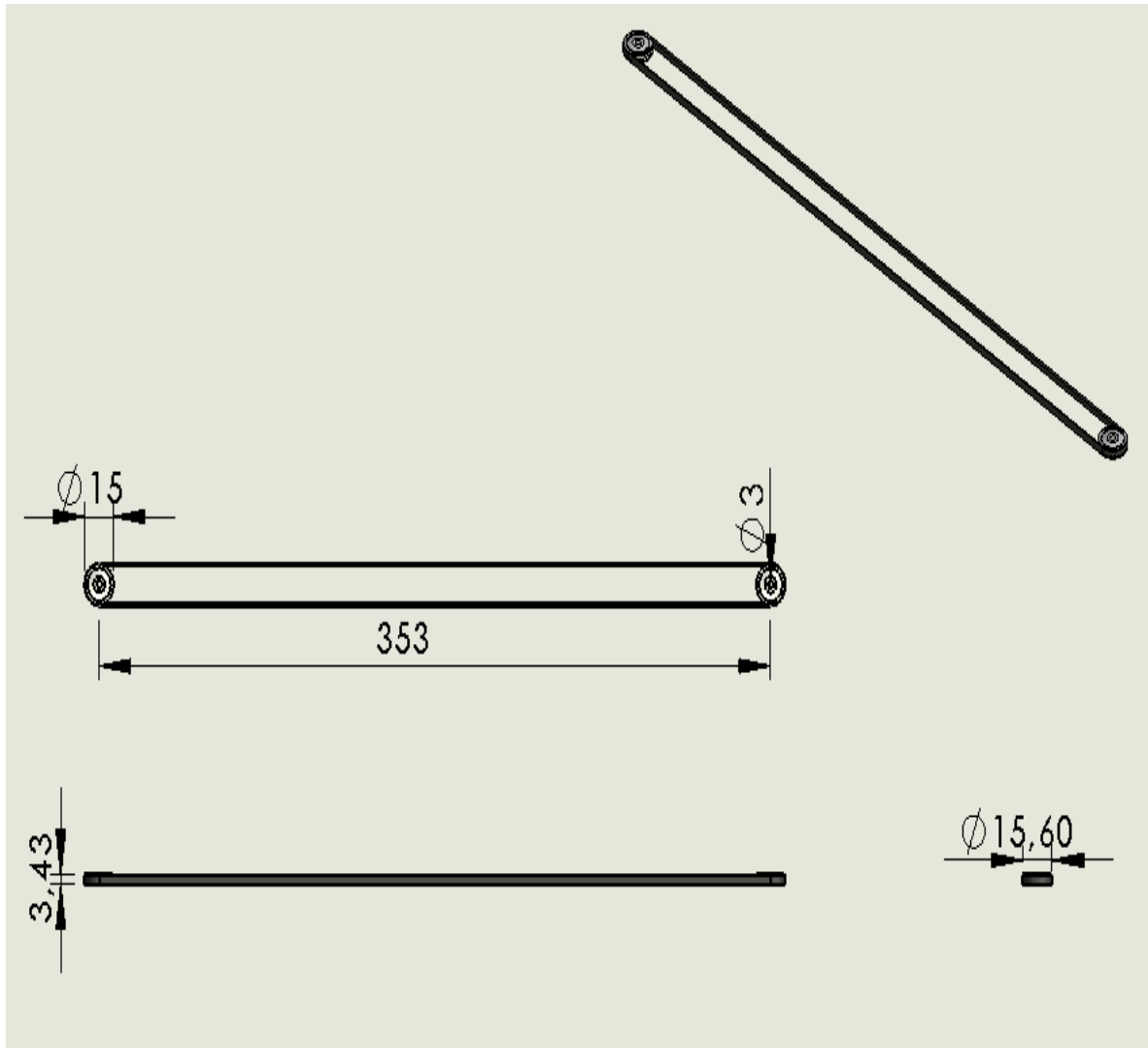
**Annexe 4 : La table**



## Annexe 5 : Glissière



## Annexe 6 : Poulie-courroie



**Annexe 7 : Dispositif final**



---

## Résumé

La technologie CNC est devenue une exigence incontournable dans le monde de l'industrie. Dans notre travail, nous avons introduit quelques concepts de base et la structure générale des machines à commande numérique, la deuxième partie dédiée à la conception de la machine est constituée du logiciel de conception mécanique SolidWorks, suivi d'une réalisation d'une machine CNC à deux axes d'une manière simple et efficace pour un prototype de la méthode de déposition des films minces dite Spray pyrolyse.

Cette machine est commandée par un logiciel connecte a une carte de commande Arduino Uno, qui a été programmé, et la mise en marche.

**Mots clés :** Machine CNC, Conception, SolidWorks, Arduino Uno, Spray pyrolyse.

## Abstract

CNC technology has become a necessary requirement in the world of industry.

In our work, we presented some basic concepts and a general structure on CNC machines, the second part devoted to the design of the machine is made with SolidWorks mechanical design software, followed by a realization of a CNC machine with two axes in a simple and efficient way for a prototype of the thin film deposition method called Spray pyrolysis.

This machine is controlled by software connected to an Arduino Uno control board, which has been programmed, and turned on.

**Keywords:** CNC machine, SolidWorks, Arduino Uno, Spray pyrolysis.

## ملخص

أصبحت تقنية CNC من المتطلبات الضرورية في عالم الصناعة. في عملنا ، قدمنا بعض المفاهيم الأساسية والهيكل العام لآلات CNC ، الجزء الثاني المخصص لتصميم الماكينة مصنوع من برنامج SolidWorks للتصميم الميكانيكي ، متبوعاً بإدراك آلة CNC ذات محورين بطريقة بسيطة وفعالة لنموذج أولي لطريقة ترسيب الأغشية الرقيقة تسمى الانحلال الحراري بالرش.

يتم التحكم في هذا الجهاز عن طريق برنامج متصل بلوحة تحكم Arduino Uno ، والتي تمت برمجتها وتشغيلها.

**الكلمات المفتاحية :** آلة CNC ، التصميم الميكانيكي ، SolidWorks ، Arduino Uno ، الانحلال الحراري بالرش.

---