

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE de Technologie  
DEPARTEMENT de Génie électrique  
N° :.....

FILIERE : Génie électrique  
Spécialité : Electromécanique



Mémoire  
MASTER ACADEMIQUE

Présenté par :

HEDJERCI ZOUHEYR

KOUIDRI OUSSAMA

Thème :

**Conception et réalisation d'une machine  
(CNC, 2D) piloter par Arduino**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. ABDOU Abdelhak	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
Dr. ZOUGGAR El Oualid	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Rapporteur
Dr. HERIZI Abdelghafour	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

**Année universitaire : 2021/2022**

# شكر ونقماير

العالمين والصلاة الحمد لله رب

والسلام على أشرف المرسلين سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين.  
نحمد الله سبحانه وتعالى أن وفقنا على إنجاز هذا العمل المتواضع سائلينه  
عز وجل أن يبارك لنا فيه وينفعنا به .

تتسابق الكلمات وتتزاحم العبارات لتتنظم عقد الشكر إلى من شرفنا بقبوله  
للإشراف على مذكرة تخرجنا الأستاذ " زوغار الوليد " الذي لم يبخل علينا  
بالنصائح والتوجيهات طيلة مدة بحثنا ، فلك منا جزيل الشكر والعرفان..

كما يسرنا أن نوجه أسمى عبارات التقدير والعرفان إلى كل

## أساتذتنا ومعلمينا

من الطور الابتدائي إلى الجامعي على جهودهم الثمينة والقيمة من أجل الرقي  
بالتربية والتعليم .

كما نشكر كل زملائنا الطلبة الذي أمضينا معهم حياتنا الجامعية فكانوا سببا  
في استمرار واستكمال مسيرتنا العلمية ، فنسأل الله تعالى أن يمنحنا ويمنحهم  
التوفيق والسداد في الحياة العملية .

## إهداء

، إلى بسمة الحياة وسر  
لوجود ، إلى التي صبرت على كل شيء ولا زالت نقطة قوتي أرجو من الله  
أن يمد في عمرها لتري ثمارا قد حان قطافها بعد طول انتظار، أُمي العزيزة

### حميدة سعيداني .

إلى من كله هيبة ووقار إلى من تعلمت منه العطاء بدون انتظار إلى من  
جدته دائما في مواجهة الصعاب أطال الله في عمره أبي الغالي هجرسي جديد

إلى كل إخوتي يونس والياس و بر عما العائلة ورمزا التفاؤل بلال وهديل .

إلى إخوة جمعنتي معهم الحياة ، وتعلمت منهم معنى الوفاء إلى من تشاركت  
معهم الذكريات حلوها ومرها ، إلى " بن نوة رمضان ، قويدري خالد،  
قويدري هشام ، جوادي رامي ، بن عامر صابر، الشيخ بو عزة ، هجرسي  
رياض ، دلهوم أسامة ، معمري محمد ، سويب علي ، مداني حسام ، قويدري  
هيثم ، حاجي محمد ، بن نويوة أمير ... والقائمة طويلة "

إلى أخي وحببي سعيد عزي الذي لم يبخل علينا بنصائحه وارشاداته النيرة .  
إلى من أعانني على الترجمة في هذا العمل كل الشكر والتقدير لك .  
إلى من شاطرنني المذكرة وتعب معي لأجلها صديقي و أخي الغالي أسامة .  
إلى كل أستاذ أضاء لي طريق العلم والمعرفة ولم يبخل علي بحرف ، جعلها الله في  
ميزان حسناتكم .

زهير هجرسي

## إهداء

إلى بسمة الحياة وسر الوجود ، إلى قرّة العين وجوهر الفؤاد جدتي نجيم  
خضرة إلى التي وهبتني كل العطاء والحنان التي صبرت على كل شيء  
ولازلت نقطة قوتي أمي دلهوم سهام  
أرجو من الله تعالى أن يمد في عمرهما ليريا ثمارا قد حان قطافها بعد طول  
انتظار..

لى من كله هيبة ووقار إلى من تعلمت منه العطاء بدون انتظار جدي دلهوم  
بوجمة

إلى من وجدته دائما في مواجهة الصعاب إلى صاحب القلب الكبير إليك يا  
من بذلت وتحملت المشاق من أجلي أبي الغالي قويدري حميد أطل الله في  
عمرهما.

إلى كل إخوتي وأخواتي و براعم العائلة ورموز التفاؤل ميلود ، نور ،  
أميمة.

إلى إخوة جمعتي معهم الحياة ، وتعلمت منهم معنى الوفاء إلى من تشاركت  
معهم الذكريات حلوها ومرها ، إلى " بن نوة رمضان ، قويدري خالد ،  
قويدري هشام ، بن عامر صابر، الشيخ بوعزة ، هجرسي رياض ، قويدري  
محمد ، سويب علي ، مداني حسام ، قويدري هيثم، سويب أسامة ، قويدري  
رمزي ، قويدري حسني، قويدري يوسف ... والقائمة طويلة "

إلى أخي وصديقي صاحب الوجه البشوش الذي قاسمني تعب مذكرتي زهير

إلى كل أستاذ أضاء لي طريق العلم والمعرفة ولم يبخل علي بحرف ، جعلها  
الله في ميزان حسناتكم .

أسامة قويدري

## SOMMAIRE

Liste des figures .....	
Liste des tableaux .....	
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE .....</b>	<b>13</b>
<b>Introduction générale.....</b>	<b>14</b>
<b>I CHAPITRE I :.....</b>	<b>15</b>
<b>I.1 Introduction.....</b>	<b>16</b>
<b>I.2 Définition d'un moteur pas à pas: .....</b>	<b>16</b>
<b>I.3 Structure d'un actionneur pas à pas:.....</b>	<b>17</b>
<b>I.4 Types de moteurs pas à pas: [3].....</b>	<b>17</b>
I.4.1 Le moteur bipolaire : .....	17
I.4.2 Le moteur unipolaire : .....	18
I.4.3 Moteur pas à pas à aimants permanent MP:.....	19
I.4.4 Moteur pas à pas à reluctance variable MRV : .....	22
I.4.5 Moteur pas à pas hybrides MH : .....	22
<b>I.5 Propriétés et applications d'un moteur pas à pas:.....</b>	<b>24</b>
<b>I.6 Comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas: .....</b>	<b>25</b>
<b>I.7 Les Avantages et les inconvénients de moteur pas à pas [7]:.....</b>	<b>26</b>
<b>I.8 Généralités sur les machines CNC :.....</b>	<b>26</b>
I.8.1 Historique de la Commande Numérique :.....	26
I.8.2 Définition d'une machine CNC : .....	27
I.8.3 Domaine d'utilisation :.....	27
I.8.4 Principe de fonctionnement d'une machine CNC :.....	28
I.8.5 Les différents types du machine CNC :.....	29
I.8.6 Classification des MOCN [13]......	29
I.8.7 Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement [13]......	30
I.8.8 Classification des MOCN selon le nombre d'axe [13] : .....	32

---

I.8.9	Classification des MOCN selon le mode d'usinage [13] : .....	33
<b>I.9</b>	<b>les avantages et les inconvénients des CNC [5] : .....</b>	<b>34</b>
I.9.1	les avantages : .....	34
I.9.2	les inconvénients : .....	35
<b>I.10</b>	<b>Conclusion : .....</b>	<b>35</b>
<b>II</b>	<b>CHAPITRE II : .....</b>	<b>37</b>
<b>II.1</b>	<b>Introduction : .....</b>	<b>38</b>
<b>II.2</b>	<b>Carte Arduino : .....</b>	<b>38</b>
II.2.1	Définition du module Arduino : .....	38
<b>II.3</b>	<b>Historique du projet arduino : .....</b>	<b>39</b>
<b>II.4</b>	<b>Les gammes de la carte Arduino : .....</b>	<b>40</b>
<b>II.5</b>	<b>Pourquoi Arduino UNO : .....</b>	<b>41</b>
<b>II.6</b>	<b>Schéma simplifié de la carte Arduino UNO : .....</b>	<b>43</b>
<b>II.7</b>	<b>La constitution de la carte Arduino UNO : .....</b>	<b>43</b>
<b>II.8</b>	<b><i>Caractéristiques du module Arduino Uno</i> : .....</b>	<b>43</b>
<b>II.9</b>	<b>Caractéristiques techniques de la carte Arduino ATmega328 : .....</b>	<b>45</b>
<b>II.10</b>	<b>Le logiciel : .....</b>	<b>45</b>
II.10.1	Définition Arduino IDE : .....	45
II.10.2	L'interface l'Arduino IDE : .....	45
II.10.3	Le programmation avec l'IDE Arduino : .....	47
<b>II.11</b>	<b>matérielle d'un arduino : .....</b>	<b>49</b>
II.11.1	Le Microcontrôleur ATmega328 : .....	50
II.11.2	Les sources de l'alimentation de la carte Arduino : .....	51
II.11.3	Les entrées & les sorties : .....	51
II.11.4	Les ports de communications : .....	52
<b>II.12</b>	<b>Conclusion : .....</b>	<b>53</b>
<b>III</b>	<b>Chapitre III .....</b>	<b>54</b>
<b>III.1</b>	<b>Introduction : .....</b>	<b>55</b>

---

<b>III.2 Les Outils utilisés pour installer une machine CNC 2D :</b>	<b>55</b>
III.2.1 Carte Arduino Uno :	55
III.2.2 Shield moteur L293D :	55
III.2.3 la porte série USB [5]	57
III.2.4 Servo moteur [29]	57
III.2.5 Moteur pas a pas :	59
<b>III.3 Les programmes utilisés dans le projet :</b>	<b>60</b>
III.3.1 programme Arduino IDE :	60
III.3.2 programme inkscape :	61
III.3.3 programme Gctrl :	63
<b>III.4 circuit de projet :</b>	<b>63</b>
<b>III.5 Étapes de réalisation du projet :</b>	<b>64</b>
<b>III.6 Comment utiliser le logiciel :</b>	<b>68</b>
III.6.1 . Le programme Arduino IDE :	68
III.6.2 Programme Inkscape :	72
III.6.3 Programme Gctrl :	77
<b>III.7 Dessins finaux par machine CNC 2D :</b>	<b>80</b>
<b>III.8 Conclusion :</b>	<b>84</b>
<b>CONCLUSION :</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>88</b>
<b>Références</b>	<b>89</b>

Figure 1: Schéma bloc de principe du contrôle d'un moteur pas-à-pas	16
Figure 2: Structure d'un Moteur pas à pas	17
Figure 3: Schéma d'un moteur pas à pas bipolaire.	18
Figure 4: Circuit de commande d'un moteur pas à pas bipolaire.	18
Figure 5: Schéma d'un moteur pas à pas unipolaire.	19
Figure 6: Circuit de commande d'un moteur pas à pas unipolaire.	19
Figure 7: schéma d'un moteur PAP bipolaire à aimant permanent.	20
Figure 8: fonctionnement en pas entier.	20
Figure 9: fonctionnement « high torque ».	21
Figure 10: fonctionnement mode demi pas.	21
Figure 11: schéma de base moteur a reluctance variable.	22
Figure 12: Schéma d'un moteur pas à pas hybride (MH).	23
Figure 13: Schéma d'un moteur pas à pas hybride en fonctionnement.	23
Figure 14: La première MOCN type fraiseuse prototype Cincinnati à broche Verticale.	27
Figure 15 : Décomposition d'une machine numérique [10].	28
Figure 16: Fonctionnement en boucle ouvert. [14]	31
Figure 17: Commande adaptative. [14]	32
Figure 18: Commande en boucle fermée. [14]	32
Figure 19: Commande Numérique Point A Point. [15]	33
Figure 20: Commande Praxiale. [15]	33
Figure 21: Commande numérique de contournage. [15]	34
Figure 22: La carte Arduino UNO	41
Figure 23: Schéma simplifié de la carte Arduino UNO	43
Figure 24: Module ARDUINO UNO [24]	44
Figure 25: Caractéristiques techniques de la carte Arduino ATmega328	45
Figure 26: Interface IDE Arduino	46
Figure 27: Boutons de contrôle	47
Figure 28: Structure d'un projet ARDUINO	48
Figure 29: Exemple Blink (Arduino)	49
Figure 30: Microcontrôleur ATmega328 (Le composant CMS)	50
Figure 31: Microcontrôleur ATmega328 (Le composant classique)	50
Figure 32: carte arduino uno.	55

Figure 33: Shield L293D [28]	56
Figure 34: Exemple de Shield.	57
Figure 35: un câble USB [16].	57
Figure 36: servo moteurs [29].	58
Figure 37: image 3D de vue de l'extérieur et de l'intérieur d'un servo moteur [29].	58
Figure 38: Fils de connexion d'un servo moteur [29 ].	59
Figure 39: moteur pas à pas M35SP- 11TK LF.	59
Figure 40: Dossier des codes (chiffres) CNC.CODE.ino	61
Figure 41: interface du programme inkscape	62
Figure 42: interface du programme gctrl.	63
Figure 43: schéma de circuit de projet.	63
Figure 44: Comment connecter des appareils avec shield L293D.	64
Figure 45: les éléments de la structure.	65
Figure46 : l' axe de guidage.	65
Figure47 : courroie et poulie.	65
Figure48 : L'axe x.	66
Figure 49: Table de base.	66
Figure 50: L'axe y.	66
Figure 51: La forme de l'axe Z.	67
Figure 52: Le montage final de l'axe Z.	67
Figure 53: La forme finale du machine CNC.	67
Figure 54 : Cliquez sur Sketch, puis include library , puis cliquez sur le bouton ajouter	69
Figure 55:Sélectionnez le fichier de bibliothèque et appuyez sur le bouton Ajouter	69
Figure 56:ajouter une bibliothèque Adafruit	70
Figure 57:Ouverture du fichier de code	71
Figure 58:Télécharger le fichier sur la carte Arduino	71
Figure 59:Définir l'espace de travail	72
Figure 60:Ajuster les propriétés de la zone de dessin	73
Figure 61:Agrandir l'espace de travail	73
Figure 62:Placer l'image dans le cadre sélectionné	74
Figure 63:En appuyant sur Path, puis sur Trace Bitmap , puis en ajustant l'image avec certaines valeurs	75
Figure 64:Faire un deuxième dessin de la voiture	75
Figure 65:Supprimer l'image d'origine et mettre la deuxième image	76

Figure 66:Une deuxième écriture est identique à la première écriture	76
Figure 67:interface du programme GCTRL	77
Figure 68:Sélectionnez le port de communication	78
Figure 69:Le port est sélectionné COM3	79
Figure 70:Sélectionnez le fichier graphique	80
Figure 71:début de dessin de voiture	81
Figure 72:dessin du milieu	81
Figure 73:Dessin de voiture terminé	81

Tableau 1: Comparaison des performances pour les trois types de moteurs pas à pas [1].	25
Tableau 2: Axe des différents mouvements possibles. [14]	33
Tableau 3: Caractéristique du moteur pas a pas M35SP-11TK LF	60
Tableau 4: Exemples dessinés à la machine CNC	83
Tableau 5 : Exemples dessinés à la machine CNC	83

**LISTE DES SYMBOLES**

CNC : commande numérique par ordinateur.

PWM : Pulse width modulation.

GPIO : General purpose input/output.

CN : commande numérique .

MIT : Massachusetts Institute of Technology.

MOCN : machines-outils à commande numérique.

US : United States of America.

SPI : Interface Série Périphérique

USB : Universal Serial Bus.

LED : Light Emitting Diode.

I2C : Inter-integrated circuit.

# ***INTRODUCTION GÉNÉRALE***

## Introduction générale

L'automatisation des machines industrielles permet : l'amélioration de la qualité des produits, la simplification du travail humain et l'amélioration de la vitesse de production. Parmi les machines automatisées on trouve les machines CNC (machines commande numérique par ordinateur).

Les machines CNC permettent de réaliser des tâches qui sont très compliquées à effectuer manuellement d'une façon économique et rentable à savoir: la fabrication des pièces mécaniques de précision (coupe, usinage), la couture et la broderie, métier du plâtre, la miniserie ...etc.

En analysant les machines CNC existantes dans le marché, on peut constater que :

- Ces machines CNC sont des boîtes noires (les programmes sources ne sont pas commercialisés)
- Le coût de la machine CNC est élevé.
- L'indispensabilité de la machine dans le marché durant la période de besoin.
- La nécessité de quelques fonctions spécifiques qui ne sont pas disponibles dans la machine CNC existant dans le marché (selon le cahier des charges rétabli par l'industriel).

Les raisons présentées ci-dessus nous ont motivé à réaliser une machine CNC à faible coût programmable directement en langage C. De ce fait, nous avons pu programmer directement notre propre algorithme, bibliothèque (Library) et le programme d'interprétation et d'envoi de commande(G-code) vers le microcontrôleur.

Notre projet de fin d'études consiste à concevoir, réaliser et tester une machine CNC G-code, dont les mouvements des axes sont assurés par des moteurs pas à pas commandés par le microcontrôleur ATmega328. La commande de moteur pas à pas sera assurée par PWM et GPIO, tous. Nos programmes seront écrits en langage C .

Ce mémoire sera structuré comme suit :

- Le premier chapitre présentera des généralités sur les moteurs pas à pas et les principales descriptions sur les machines CNC .
- Le deuxième chapitre sera consacré pour la partie électronique. Cette partie sera dédiée à la description des composants électroniques et leurs utilisations pour pouvoir réaliser notre commande de la machine (commande de deux moteurs pas à pas).
- Le troisième chapitre concernera la partie pratique de la machine CNC , et comment elle sera fabriquée cette machine .

# ***CHAPITRE 01***

## I.1 Introduction

Une machine CNC c'est une machine qui peut être pilotée par les moteurs pas à pas, Ces derniers permettent de convertir directement un signal électrique numérique en un positionnement angulaire de caractère incrémental.

Dans ce chapitre nous présentons un aperçu général sur les moteurs pas à pas et les machines CNC.

## I.2 Définition d'un moteur pas à pas:

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.

Au point de vue électrotechnique, le moteur classique ressemble à la machine synchrone, dont le stator (le plus souvent à pôles saillants) porte les enroulements de pilotage et le rotor (presque toujours à pôles saillants) est soit muni d'aimants permanents (structure dite polarisée ou active), soit constitué par une pièce ferromagnétique dentée (structure dite réluctance ou passive).

Entre le moteur et son alimentation, sont intercalés trois éléments essentiels (Figure 1)

- une unité de calcul, qui élabore les impulsions de commande .
- un modulateur PWM, qui génère les commandes des contacteurs électroniques de commutation .
- une électronique de commutation (puissance), qui à partir d'une alimentation, fourni l'énergie vers les enroulements appropriés du moteur.[1]

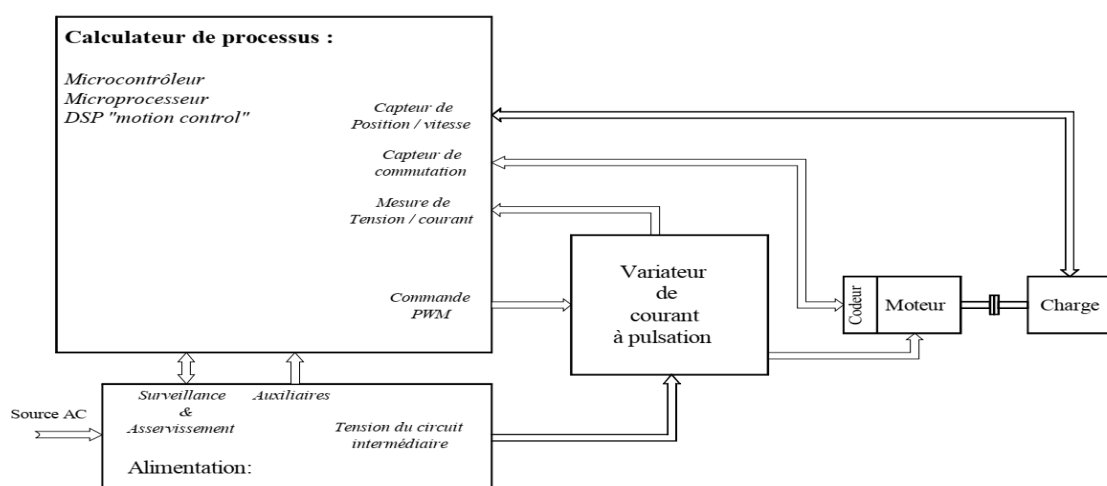


Figure 1: Schéma bloc de principe du contrôle d'un moteur pas-à-pas

### I.3 Structure d'un actionneur pas à pas:

Le moteur pas à pas est un moteur qui tourne en fonction des impulsions électriques reçues dans ses bobinages, L'angle de rotation minimal entre deux modifications des impulsions électriques s'appelle un pas , On caractérise un moteur par le nombre de pas par tour (c'est à dire pour 360°), Les valeurs courantes sont 48, 100 ou 200 pas par tour, Analyse d'un moteur théorique composé d'un aimant permanent (boussole) et de 2 bobinages constitués chacun de 2 bobines, Le passage d'un courant, successivement dans chaque bobinage, fait tourner l'aimant. [2]

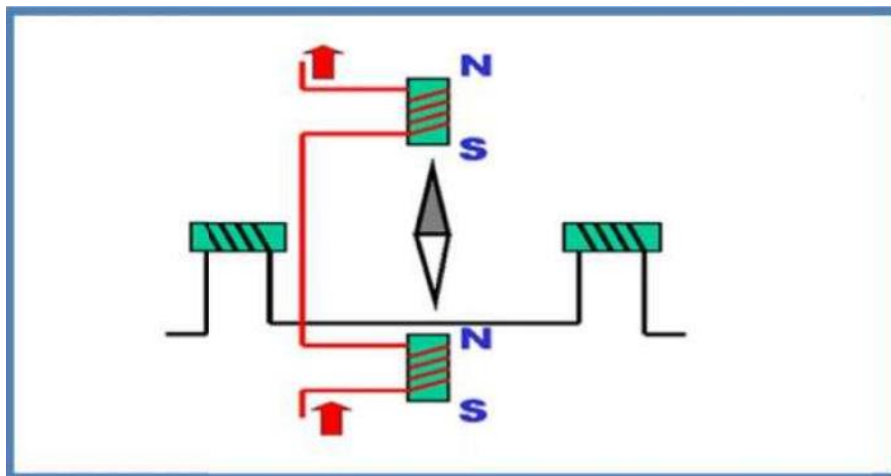


Figure 2: Structure d'un Moteur pas à pas

### I.4 Types de moteurs pas à pas: [3]

Les moteurs pas à pas peuvent être classés selon :

➤ L'alimentation des bobinages :

- Bipolaire
- unipolaire

➤ La conception de son rotor, le moteur pas à pas se divise en trois types :

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

#### I.4.1 Le moteur bipolaire :

Lorsque chaque enroulement est accessible par ses 2 connexions, le sens du courant peut être inversé : le moteur est bipolaire.

### Moteur bipolaire

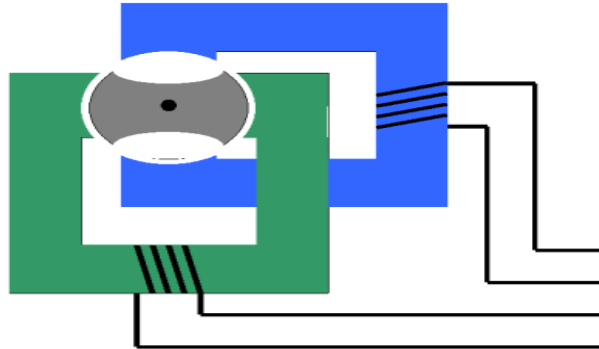


Figure 3: Schéma d'un moteur pas à pas bipolaire.

L'électronique de commande associée doit permettre la réversibilité du courant d'alimentation, La structure adaptée est celle du hacheur en pont double.

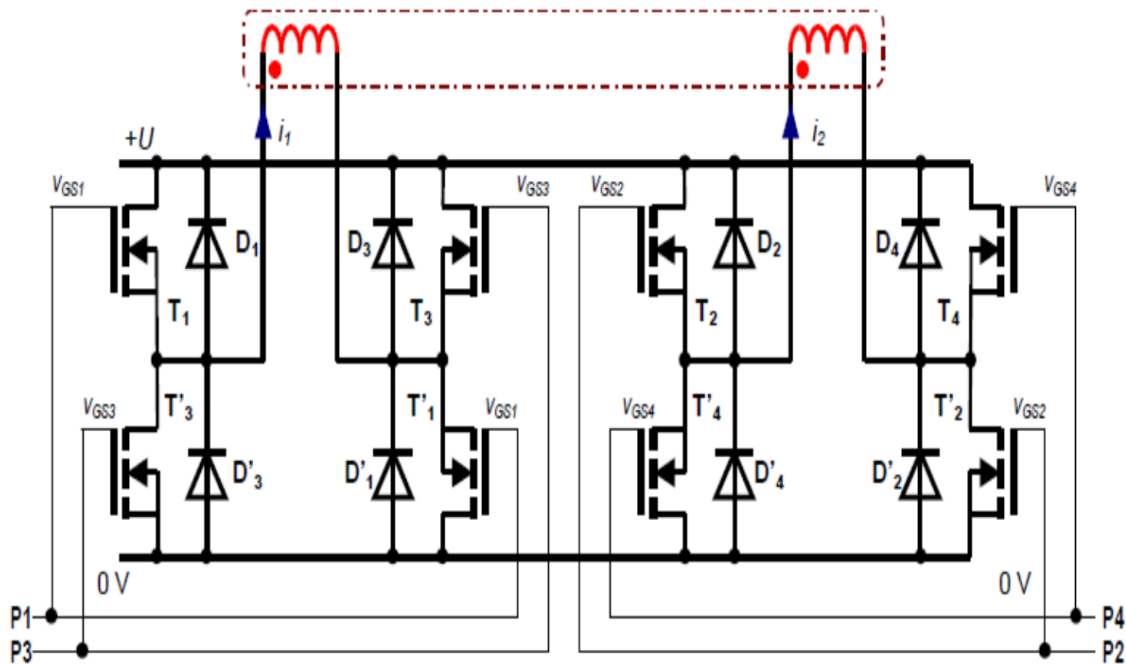


Figure 4: Circuit de commande d'un moteur pas à pas bipolaire.

#### I.4.2 Le moteur unipolaire :

Les phases peuvent être réalisées avec un seul enroulement scindé en deux, Pour optimiser les connexions, Il est accessible par 3 fils (Figure 5). La borne commune impose le sens de parcours unique pour le courant.

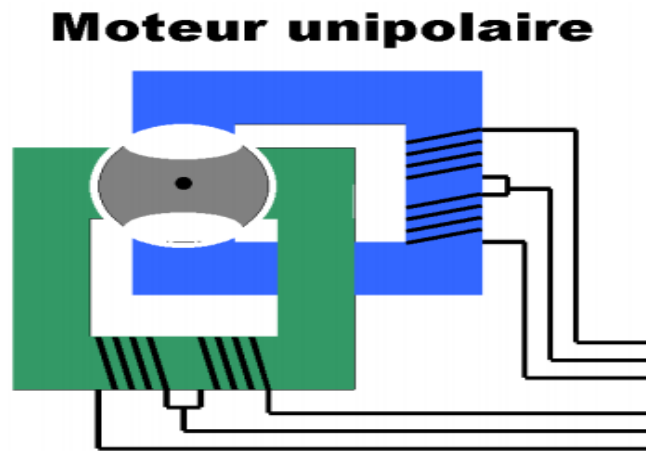


Figure 5: Schéma d'un moteur pas à pas unipolaire.

Il s'agit alors d'un moteur unipolaire, Il faut donc l'associer à une électronique de commande unidirectionnelle des courants, Pour cela, on utilise une structure de hacheur série.

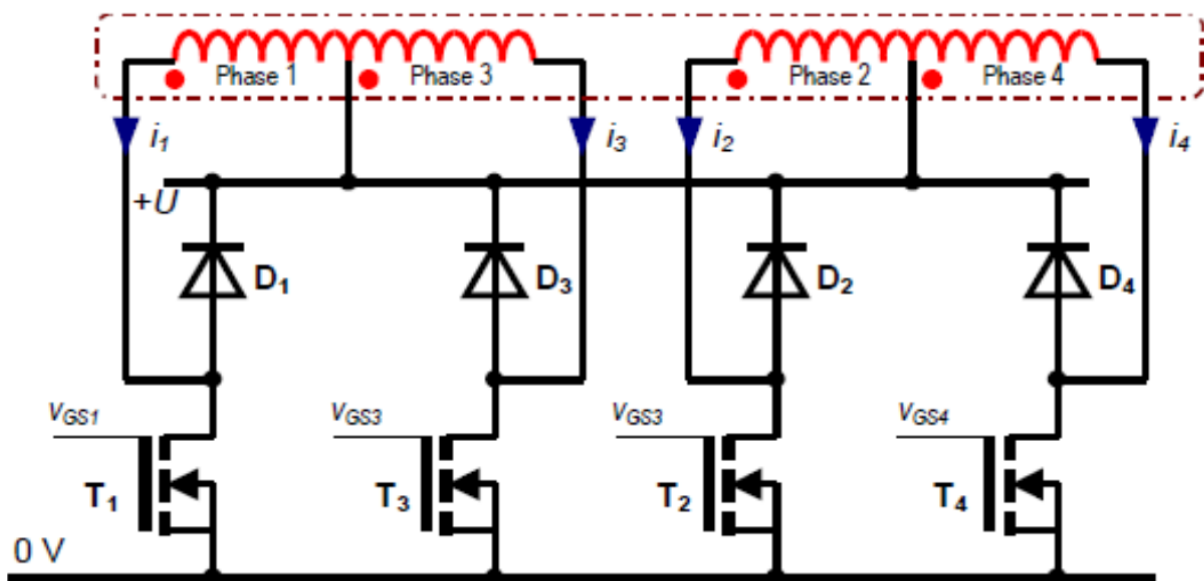


Figure 6: Circuit de commande d'un moteur pas à pas unipolaire.

C'est le modèle le plus simple dans son fonctionnement. Sa constitution est très simple, et la rotation est obtenue en contrôlant l'alimentation des bobines ainsi que le sens du courant dans celles-ci. Le rotor est constitué d'un aimant permanent, et le stator comporte 2 bobinages (ou 2 groupes de bobinages) (Figure 7). En contrôlant l'alimentation des bobines, et le sens du courant dans celles-ci, on peut faire varier le champ dans le moteur.

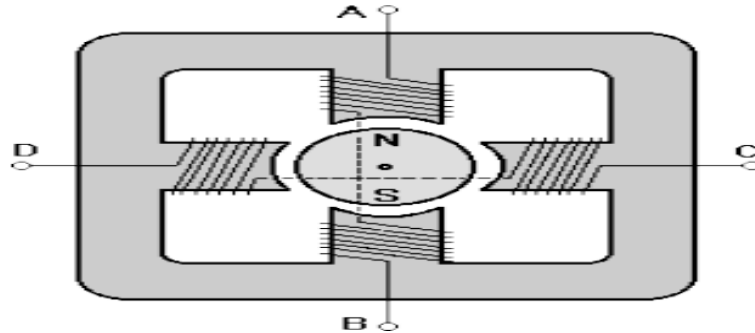


Figure 7: schéma d'un moteur PAP bipolaire à aimant permanent.

**a. modes de fonctionnement :**

**–Fonctionnement en pas entier :**

Dans ce mode de fonctionnement, les bobines sont alimentées l'une après l'autre dans un sens puis dans l'autre. L'aimant permanent suit le déplacement du champ magnétique créé par ces bobines et s'oriente selon une de ses 4 positions stables. Comme le rotor est aimanté, lorsque le moteur n'est pas alimenté le flux magnétique dû à l'aimant permanent va à lui seul créer un couple résiduel ou couple de détente, en se mettant dans l'axe de l'une des bobines.

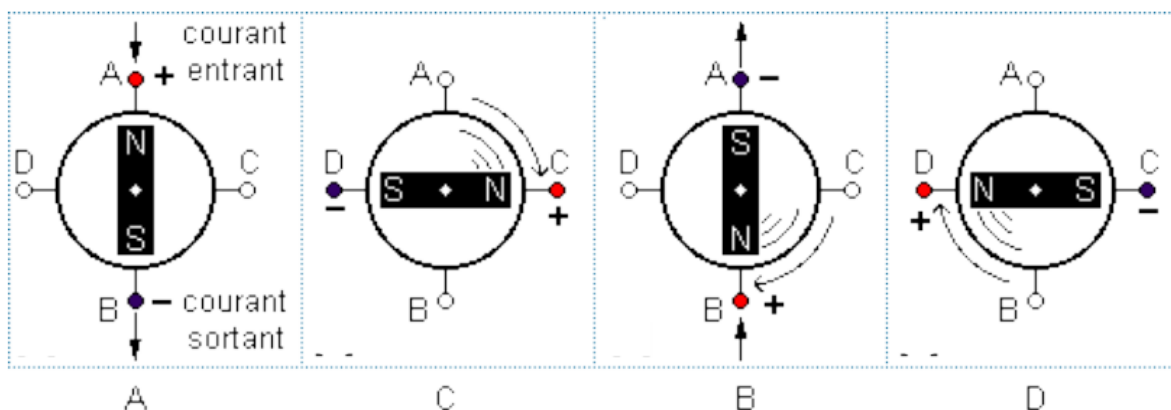


Figure 8: fonctionnement en pas entier.

**–Fonctionnement en mode fort couple (high torque) :**

Pour augmenter l'intensité du flux magnétique créé par le stator, et donc le couple moteur, on peut alimenter les deux bobines en même temps, en faisant varier uniquement le sens du courant dans chacune d'entre elles. Le rotor prendra donc également l'une des 4 positions (Figure 9) suivant le sens d'alimentation de chacune des bobines.

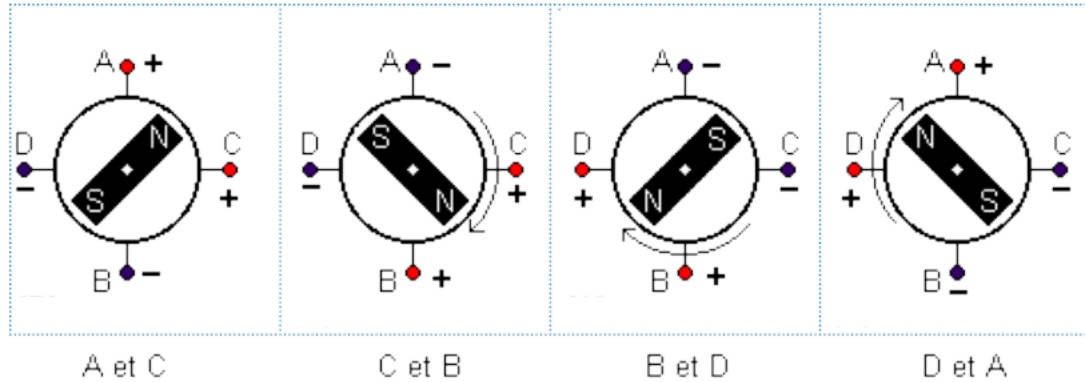


Figure 9: fonctionnement « high torque ».

**-Fonctionnement en mode demi pas :**

Pour augmenter le nombre de positions stables et donc réduire le pas moteur, on peut combiner les 2 modes précédents dans un mode de commande appelé « demi pas » (Figure. 10).

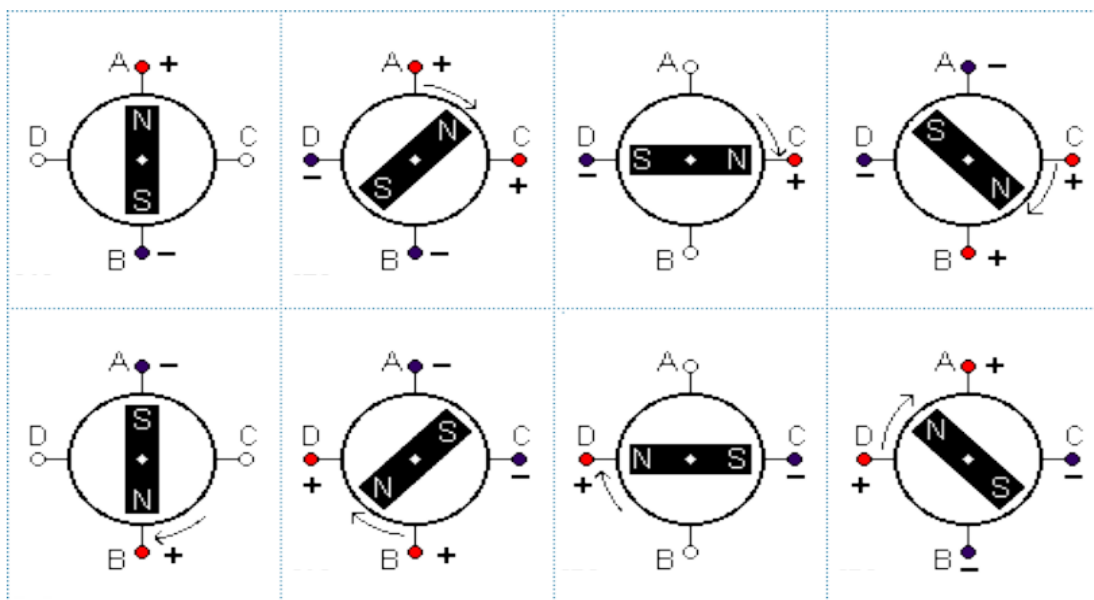


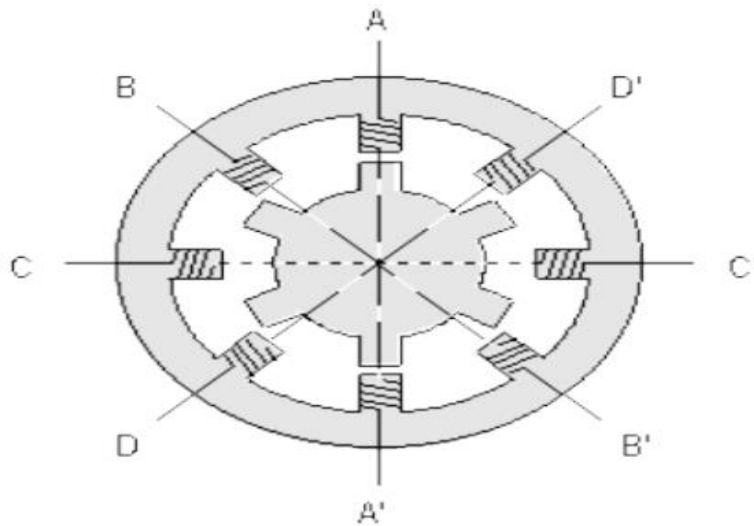
Figure 10: fonctionnement mode demi pas.

**- Fonctionnement en mode micro pas :**

Le fonctionnement en de+mi-pas implique que les courants traversant les deux pôles sont de même intensité. Le rotor prend donc une position intermédiaire. Si les courants ne sont pas de même intensité, l'angle du rotor sera fonction du rapport entre ces deux courants. C'est le mode micro-pas.

#### I.4.4 Moteur pas à pas à réluctance variable MRV :

Un moteur pas à pas à réluctance variable comporte un rotor à encoches non aimanté se positionnant dans la direction de la plus faible réluctance. Le fonctionnement du moteur est assuré par un pilotage du type unipolaire et l'avance du rotor est obtenue en excitant tour à tour une paire de pôles du stator. Le rotor est en fer doux et comporte un nombre de pôles différent du stator. Le rotor se déplace pour que le flux le traversant soit maximum. Ces moteurs n'ont de couple de maintien si aucune bobine n'est alimentée (Figure11).



*Figure 11: schéma de base moteur a réluctance variable.*

#### I.4.5 Moteur pas à pas hybrides MH :

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. [5]

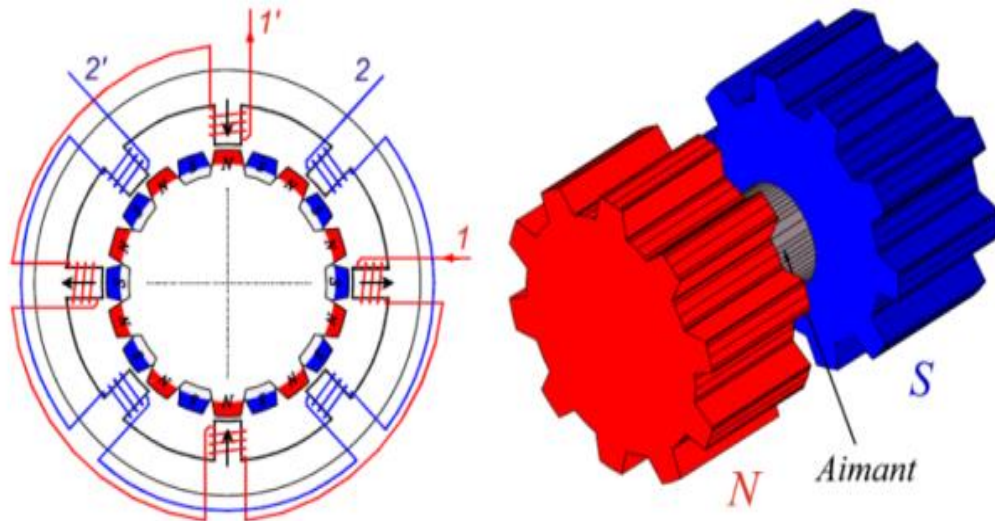


Figure 12: Schéma d'un moteur pas à pas hybride (MH).

#### I.4.5.1 Fonctionnement d'un moteur pas à pas hybride:

En mode pas entier, les bobines sont alimentées une par une alternativement, dans un sens puis dans l'autre, On voit bien ici l'intérêt d'avoir un rotor polarisé : quand on coupe l'alimentation de la bobine verte et qu'on alimente la bobine rose, en l'absence de polarisation du rotor on n'aurait aucun contrôle sur le sens de rotation, les deux dents bleues et rouges étant attirés de la même façon par la bobine. Avec un rotor polarisé, on peut choisir une de ces deux dents en agissant sur le sens du courant dans la bobine. Il en résulte le mouvement décrit sur l'animation suivante.[6]

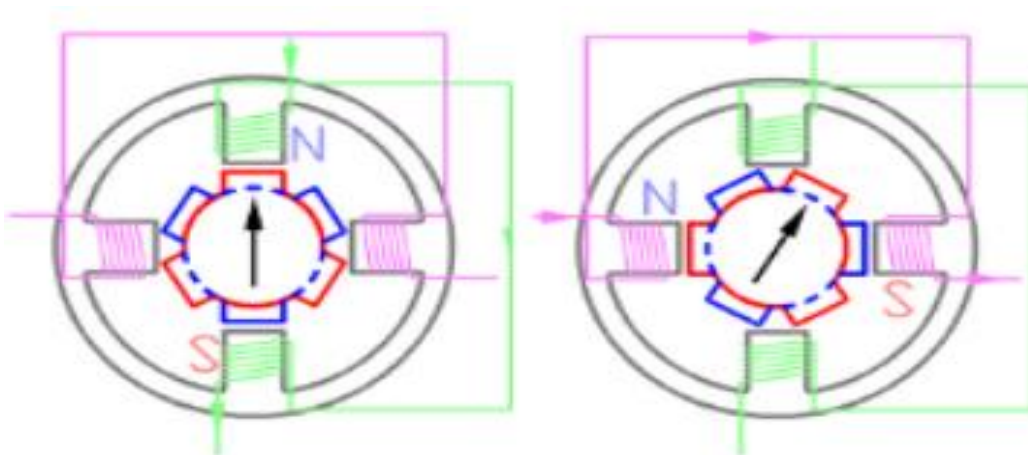


Figure 13: Schéma d'un moteur pas à pas hybride en fonctionnement.

### **I.4.5.2 Technologie des moteurs pas à pas hybrides :**

Les moteurs pas à pas hybrides réunissent, au moins en partie, les avantages des moteurs pas à pas à réluctance variable et à aimants permanents, à savoir :

- un grand nombre de pas par tour.
- une fréquence propre mécanique importante.
- un couple massique élevé.
- un amortissement interne important.
- une mémoire de position.

Dans sa configuration de base le moteur pas à pas hybride comporte un stator en fer feuilleté à plots saillants et deux couronnes rotoriques dentées en matériau ferromagnétique, géométriquement identiques et réunies par un aimant permanent cylindrique magnétisé axialement. Les lignes de champs de l'aimant se ferment à travers les dents du rotor. Vu du stator, le rotor présente autant de pôles magnétiques actifs qu'il possède de dents. Les dents sur une des couronnes sont décalées par rapport aux dents de l'autre d'un demi pas dentaire  $1/2\tau_{dr}$ . [4]

## **I.5 Propriétés et applications d'un moteur pas à pas:**

Le moteur pas à pas a été conçu à partir de deux démarches logiques très différentes

- d'une part, on a cherché un moteur capable de développer un couple important à faible vitesse, voire même à l'arrêt .

- d'autre part, on a étudié un dispositif capable de convertir des informations de caractère discret. Le convertisseur d'énergie à basse vitesse et le transmetteur de l'information sont devenus un moteur pas à pas moderne vers les années 1970, grâce au développement conjugué de l'électronique de puissance et, surtout, grâce à l'apparition de l'électronique numérique à forte intégration.

Le moteur pas à pas est actuellement le principal élément intermédiaire entre les dispositifs de traitement d'information et le monde électromécanique extérieur. Par ailleurs, ses capacités à contrôler la position et la vitesse, par un train d'impulsions de commande, assurent à ce convertisseur des applications comme

- la traction des robots mobiles.
- le fonctionnement en moteur couple de grande puissance.
- l'indexage rotatif ou linéaire.

Dans sa version classique, le moteur pas à pas est alimenté à partir d'une source (de courant ou de tension) continue et le contrôle de la vitesse ou/et de la position s'effectue en boucle ouverte. Le pilotage en boucle ouverte, qui constitue un des principaux avantages du moteur pas à pas, aussi bien du point de vue économique (coût et fiabilité d'installation) que fonctionnel (commande naturelle par "tout ou rien" à partir d'une horloge séparée ou intégrée dans un microprocesseur), présente un certain nombre d'inconvénients comme

- la limitation du couple de démarrage
- des instabilités de fonctionnement à certaines fréquences. [1]

## I.6 Comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas:

Cette comparaison peut se résumer selon le tableau suivant :

Type de moteur pas à pas	Moteur à réluctance variable	Moteur à aimants permanents	Moteur hybride
<b>Résolution (nb de pas par tour)</b>	<i>Bonne</i>	<i>Moyenne</i>	Elevée
<b>Couple moteur</b>	Faible	Elevée	Elevée
<b>Sens de rotation</b>	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
<b>Fréquence de travail</b>	Grande	Faible	Grande
<b>Puissance Quelques</b>	Quelques Watts	dizaines de Watts	Quelques Watts
<b>Inconvénients</b>	Pas de mémoire de position		

*Tableau 1: Comparaison des performances pour les trois types de moteurs pas à pas [1].*

---

## I.7 Les Avantages et les inconvénients de moteur pas à pas [7]:

### Avantage :

- 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 (de besoin de contre-réaction).
- Moteur sans balais.

### Inconvénients:

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

## I.8 Généralités sur les machines CNC :

### I.8.1 Historique de la Commande Numérique :

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

Au printemps 1949, il confie alors au Massachusetts Institute of Technologie (MIT) le soin de développer des asservissements capables de piloter une machine qui recevra des instructions intermittentes à partir d'un lecteur de cartes. Cette machine, une fraiseuse prototype Cincinnati à broche verticale (figure I.2), conçue pour exécuter des déplacements simultanés suivant 3 axes, est officiellement présentée en septembre 1952 dans le servo mécanisme Laboratoire du MIT. L'information mathématique étant la base du concept, on lui donne le nom de numérique control. [8]

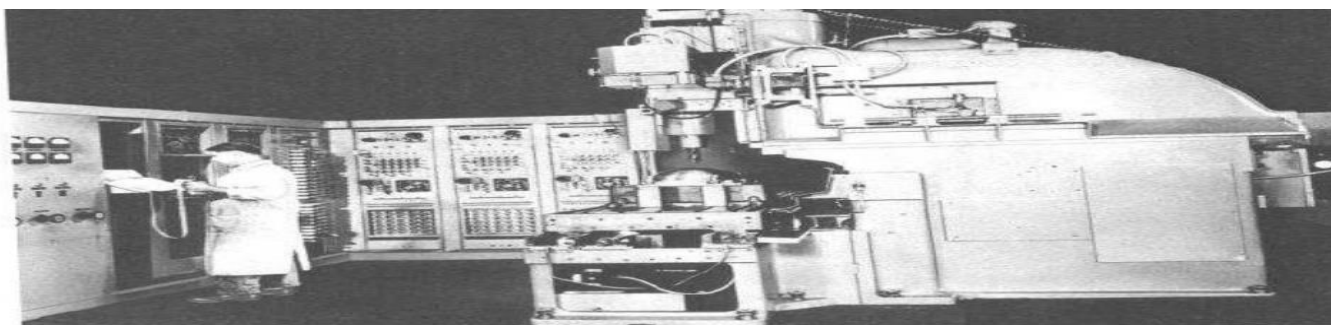
Il faut encore attendre quelques années de vastes fonds de l'US Air Force et l'appui des chercheurs du MIT pour rendre la première MOCN réellement opérationnelle.

---

**Les différentes étapes de développement de la CN sont les suivantes :**

- 1954: Bendix acquiert le brevet de Parsons et fabrique la première CN industrielle.
- 1955: Le constructeur Américain Giddins & Lewis commercialise la première MOCN.
- 1959 : Apparition de la CN en Europe.
- 1964 : En France, la Télémécanique Electrique lance la CN NUM 100 conçue à base de relais Téléstatice.
- 1968 : La CN adopte les circuits intégrés ; elle devient plus compacte et plus puissante
- 1972 : Les mini-calculateurs remplacent les logiques câblées ; la CN devient CNC.
- 1976 : Développements des CN à microprocesseurs.
- 1984 : Apparition de fonctions graphiques évoluées et du mode de programmation conversationnel.
- 1986 : Les CN s'intègrent dans les réseaux de communication, début de l'ère de la fabrication flexible.
- 1990 : Développement des CN à microprocesseurs 32 bits. [9]

**Figure 14: La première MOCN type fraiseuse prototype Cincinnati à broche Verticale.**

**I.8.2 Définition d'une machine CNC :**

La machine-outil à commande numérique CNC (Computer Numerical Control en anglais) est une machine-outil dotée d'une commande numérique assurée par un ordinateur. C'est une machine totalement ou partiellement automatique à laquelle les ordres sont communiqués grâce à des codes qui sont portés sur un support matériel. Le premier rôle d'une machine CNC est de générer des mouvements, elle recevra des valeurs de positionnement de vitesse et d'accélération et générera suite à un traitement des consignes numériques en sortie. [10]

**I.8.3 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.

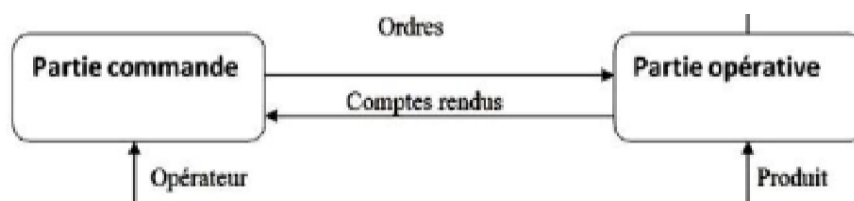
Les machines CNC sont employées dans de nombreux secteurs industriels : métallurgies, bois, textiles... Elles sont associées à des nouvelles technologies, laser, électroérosion, jet d'eau.

#### I.8.4 Principe de fonctionnement d'une machine CNC :

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 ...) [11].

Ce type de machine se compose ainsi de deux parties complémentaires (figure 15) :

- La partie opérative.
- La partie commande.



: Décomposition d'une machine numérique [10].15 Figure

La partie commande est composée d'un calculateur ou d'un ordinateur et d'éléments électroniques capables de piloter les moteurs, cette partie permet de piloter la partie opérative.

---

La partie opérative comporte des axes de déplacement, la tête de l'outil et les actionneurs (les moteurs).

Des ordres vont être générés vers la commande par le biais d'un code machine ou par action manuelle de l'opérateur. La commande va traiter ces informations et générer des consignes afin d'obtenir les déplacements voulus par le biais des moteurs d'axes. Des contrôles de vitesse et de position seront alors effectués de manière continue par la machine.

### **I.8.5 Les différents types du machine CNC :**

Les centres d'usinage sont des machines-outils qui travaillent par enlèvement de matière et permettent de réaliser automatiquement des opérations de fraisage, alésage, perçage, taraudage. Elles possèdent un magasin d'outils avec changeur automatique et peuvent être équipées d'un dispositif automatique de chargement des pièces. [12]

L'ensemble de ces fonctions est géré par un ou plusieurs systèmes électroniques programmables (commande numérique (CN), ordinateur, automate programmable...). On distingue plusieurs types de machines :

- les machines à enlèvement de copeaux : les perceuses, les tours 2 et 4 axes, les centres de  
- tournages 5 axes, les fraiseuses 2 axes 1/2, 3 axes, les centres d'usinage, 3 à 5 axes, les rectifieuses, les affûteuses, les machines d'usinage à très grande vitesse...
- les électroérosions : les machines à enfonçages, les machines à fil.  
- les machines de découpes : oxycoupage, laser, jet d'eau...
- les presses : métal, injection plastique.
- les machines à bois : à portique ou col de cygne.
- les machines spéciales : à panneaux, à têtes multiples, de conditionnement.
- (Pour l'agroalimentaire)...

### **I.8.6 Classification des MOCN [13].**

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

- 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.

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) peuvent être assistées d'une programmation extérieure et de mécanismes tendant à les rendre encore plus performantes, tels que :

- ordinateur et ses périphériques
- commande adaptative
- pré réglage des outils
- codage des outils
- chargeur d'outils et magasin.
- chargeur et convoyeur de pièces.
- combinaison de type d'usinages (centre de tournage, centre d'usinage).
- table de montage.
- évacuateur de copeaux.
- dispositifs de contrôle de pièces.

### I.8.7 Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement [13].

#### a. Fonctionnement en boucle ouvert :

En boucle ouverte, comme l'illustre la figure 15, le système assure le déplacement du chariot mais ne le contrôle pas.

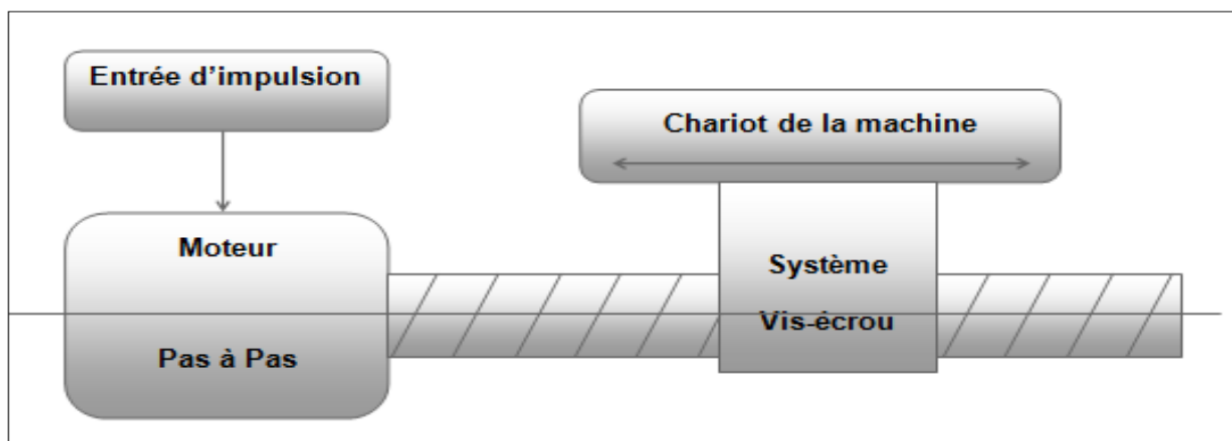


Figure 16: Fonctionnement en boucle ouvert. [14]

**b. Fonctionnement avec commande adaptative :**

La commande adaptative 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.

La figure 17 illustre le fonctionnement de la commande adaptative

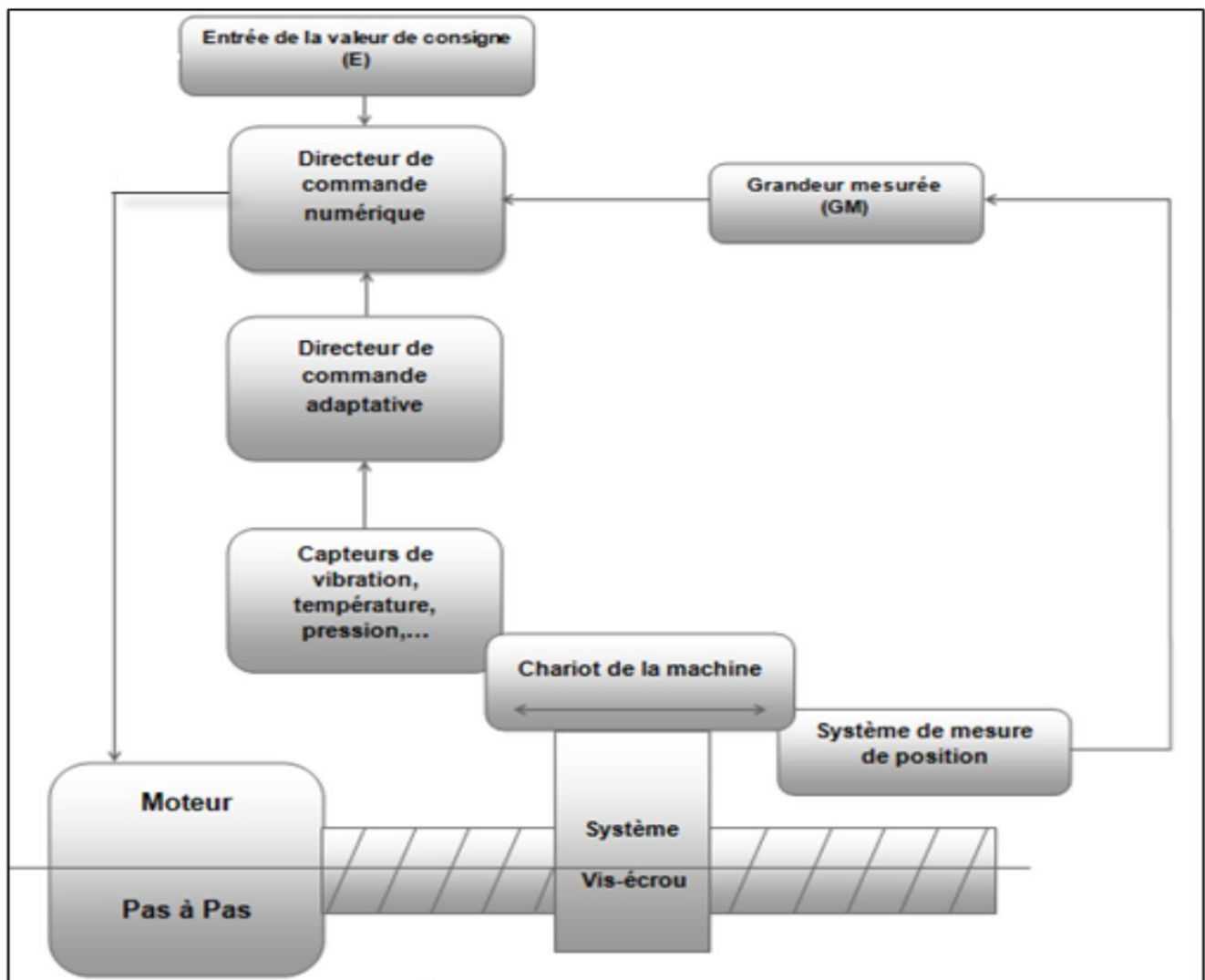


Figure 17: Commande adaptative. [14]

**c. Fonctionnement en boucle fermé :**

En boucle fermée le système contrôle le déplacement ou la position jusqu'à égalité des grandeurs entrée (E) dans le programme et celui mesuré (Gm).comme illustre la figure 17.

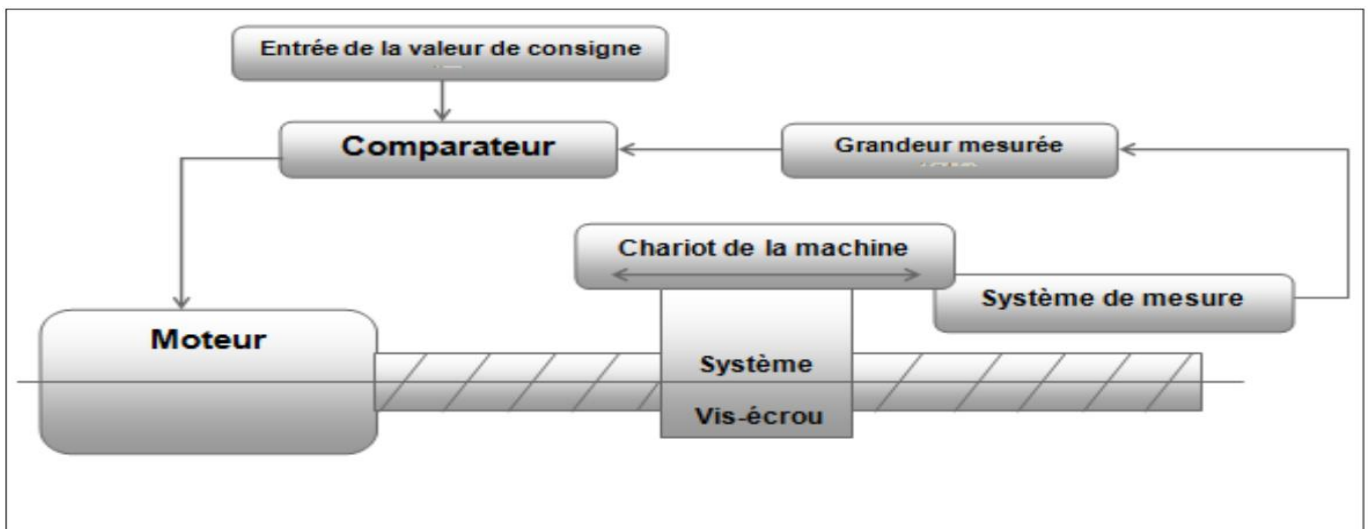


Figure 18: Commande en boucle fermée. [14]

**I.8.8 Classification des MOCN selon le nombre d'axe [13] :**

Les possibilités de travail des MOCN s'expriment en nombre d'axes de travail. Un axe définit toute direction principale suivant laquelle le mouvement relatif de l'outil et de la pièce a lieu lorsqu'un seul des moteurs de déplacement fonctionne avec contrôle numérique continu. Un demi-axe définit la direction dans laquelle l'avance n'est pas contrôlable numériquement mais contrôlé par pistes, cames ou plateaux diviseurs.

Le tableau 2 donne les différents axes utilisés en CN.

translation			rotation	
primaire	secondaire	tertiaire	primaire	secondaire
X	U	P	A	D
Y	V	Q	B	E

Z	W	R	C	
---	---	---	---	--

Tableau 2: Axe des différents mouvements possibles. [14]

### I.8.9 Classification des MOCN selon le mode d'usinage [13] :

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

1. Commande numérique point à point.
2. Commande numérique paraxiale.
3. Commande numérique de contournage.

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

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

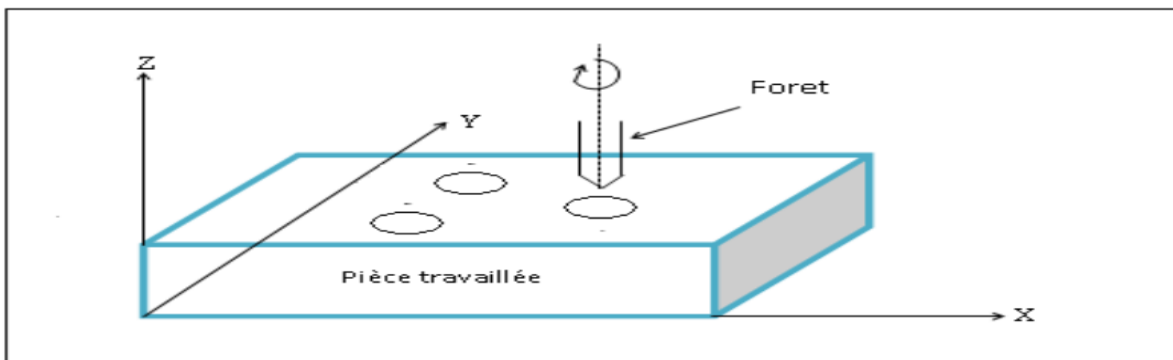


Figure 19: Commande Numérique Point A Point. [15]

• **Commande numérique par axiale** : ce sont des déplacements parallèles aux axes avec les vitesses d'avance programmée. Le mouvement de coupe et de positionnement sont synchronisés de façon à avoir

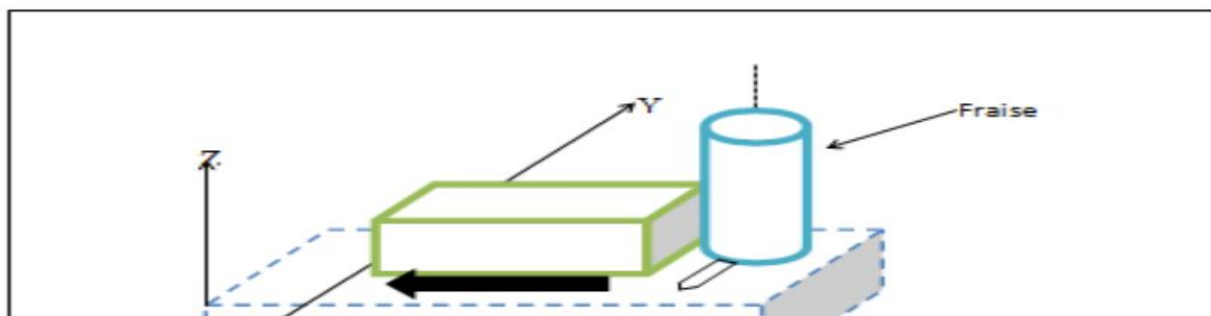


Figure 20: Commande Praxiale. [15]

usinage selon des trajectoires parallèles aux axes de déplacement.

- Exemples d'opération d'usinage : tournage, fraisage, alésage.

• **Commande numérique de contournage** : ce sont des déplacements synchronisés des divers axes avec la vitesse d'avance programmée. Les trajectoires sont décomposées en éléments de droites ou de cercles dans un ou plusieurs plans.

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

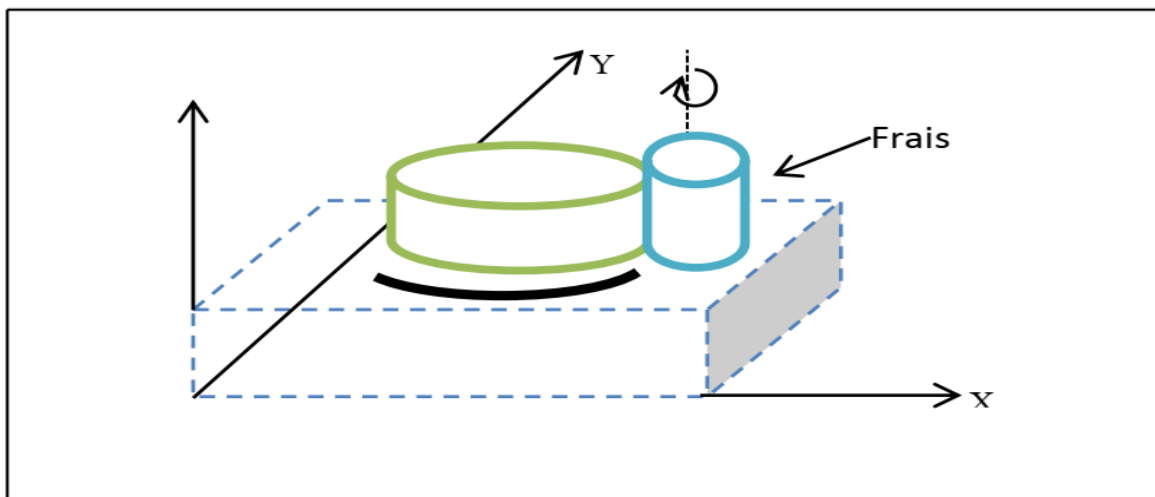


Figure 21: Commande numérique de contournage. [15]

## I.9 les avantages et les inconvénients des CNC [5] :

### I.9.1 les avantages :

- Réduction du temps improductif.

- Accroissement du degré de précision et de répétabilité.
- Réduction des taux de rebuts.
- Réduction de la nécessité de contrôle.
- Possibilité de traiter des géométries complexes.
- Facilité d'adapter les changements techniques.
- Réduction des temps de mise en production Réduction des stocks.
- Réduction des espaces requis.
- Réduction du niveau de qualification des opérateurs.

### **I.9.2 les inconvénients :**

- Coûts d'investissement élevés.
- Plus d'effort doit être fourni pour la maintenance.
- Nécessité de programmation des équipements de CN.
- Une plus grande utilisation des équipements à CN doit être faite pour maximiser leur rentabilité.

### **I.10 Conclusion :**

Le premier chapitre est principalement basé sur quelques notions sur la machine numériques, moteurs pas à pas et commande numérique, ils sont indispensables pour tenir compte des limites que devrait avoir toute prise de conscience de ces études Il existe différents types de moteurs pas à pas. Cependant le problème se présente maintenant comment contrôler ces moteurs, autrement dit comment on peut changer le sens de rotation du moteur, l'angle de rotation, etc...

L'utilisateur peut choisir le moteur qui lui convient pour l'application, avec l'alimentation et la méthode d'excitation correspondante. Pour notre projet, nous avons choisi deux moteurs pas à pas, bipolaire.



# ***JJ CHAPITRE 02***

## II.1 Introduction :

La machine CNC peut être divisée en trois parties. Le système mécanique qui reçoit des signaux de commande nécessaire du système électronique qui permet finalement à actionnement souhaité des moteurs. Les systèmes électroniques obtiennent une commande ou un ensemble de commandes du système logiciel et génère des commandes pour le système mécanique.

Les principes et les généralités sur des machines à commande numérique et les moteurs pas à pas avaient été décrit dans le chapitre précédent. Dans ce chapitre nous allons détailler le système électronique qui est responsable de la génération du signal de commande pour les moteurs qui guide le mouvement de la trajectoire de l'outil dans chaque direction ou axe.

Le système électronique est composé de :

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

Nous allons décrire les composants électroniques utilisés dans notre projet à savoir L'Arduino UNO, et en utilisé le microcontrôleur ATmega328. et le driver L293D pour la commande de moteur et nous montrons comment brancher ces composants ensemble pour pouvoir réaliser notre commande de machine.

## II.2 Carte Arduino :

### II.2.1 Définition du module Arduino :

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants de la carte : comme le microcontrôleur et les composants complémentaires qui ne sont pas en licence libre. Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses. Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme).

Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Pour programmer cette carte, on utilise l'logiciel IDE Arduino. [16]

### II.3 Historique du projet arduino :

Le projets Arduino est né en hiver 2005 il a été créé par une équipe de développeurs composée de Massimo Banzi (enseignant dans une école de Design), David Cuartielles (Ingénieur espagnol spécialisé sur les micro-contrôleurs), Tom Igoe, Gianluca Martino, David Mellis et Nicholas Zambetti , de l'Interaction Design Institute d'Ivrea, en Italie . cette équipe a imaginé un projet répondant au doux et mettant en œuvre une petite carte électronique programmable et un logiciel multiplateforme, qui puisse être accessible à tous a pour but de créer facilement des systèmes électroniques.. Sous le nom de Arduino.

Le nom Arduino trouve son origine dans le nom du bar dans lequel l'équipe avait l'habitude de se retrouver. Arduino est aussi le nom d'un roi italien, personnage historique de la ville « Arduin d'Ivrée», ou encore un prénom italien masculin qui signifie « l'ami fort ». [17]

Cette équipes est partie sur une « philosophie » et L'idée c'était d'utiliser la carte Arduino comme un macro-composant dans des applications de prototypage électronique. Le concepteur n'a plus qu'à développer des interfaces e programmer le macro-composant pour réaliser son application ! l'Arduino a été conçu aux étudiants de pouvoir disposer d'une plate forme valant un prix bas pour réaliser des projets interactifs et aussi pour être bon marché , et destiné aussi aux artistes, designers, et des amateurs et à n'importe qu'elle personne intéressé à créer des objets ou environnements interactifs.

Et vu sa simplicité d'utilisation, Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électronique

industrielle et embarquée, le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain ou le spectacle ! Ca devient un hit tout de suite auprès des étudiants. Tout le monde arrive à en faire quelque chose très rapidement sans même avoir de connaissances particulière ni en électronique ni en informatique : réponse à des capteurs, faire clignoter des leds, contrôler des moteurs . . . . Ils publient les schémas, investissent 3000 euros pour créer le premier lots de cartes : 200. Les 50 premières partent directement à des élèves de l'école. En 2006, 5 000 cartes ont été vendue. [18]

## II.4 Les gammes de la carte Arduino :

Actuellement, il existe plus de 20 versions de module Arduino, nous citons quelques un afin d'éclaircir l'évaluation de ce produit scientifique et académique:

- Le NG d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega8.
- L'extrémité d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un Microcontrôleur ATmega8
- L'Arduino Mini, une version miniature de l'Arduino en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Nano, une petite carte programme à l'aide porte USB cette version utilisant un microcontrôleur ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version).
- Le LilyPad Arduino, une conception de minimaliste pour l'application wearable en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- Le NG d'Arduino plus, avec une interface d' USB pour programmer et usage d'un ATmega168.
- L'Arduino Bluetooth, avec une interface de Bluetooth pour programmer en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Diecimila, avec une interface d'USB et utilise un microcontrôleur ATmega168 .
- L'Arduino Duemilanove ("2009"), en utilisant un microcontrôleur l'ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version) et actionné par l'intermédiaire de la puissance d'USB/DC.
- L'Arduino Mega, en utilisant un microcontrôleur ATmega1280 pour I/O additionnel et mémoire.
- L'Arduino UNO, utilisations microcontrôleur ATmega328.
- L'Arduino Mega2560, utilisations un microcontrôleur ATmega2560, et possède toute la mémoire à 256 KBS. Elle incorpore également le nouvel ATmega8U2 (ATmega16U2 dans le jeu de puces d'USB de révision 3).
- L'Arduino Leonardo, avec un morceau ATmega32U4 qui élimine le besoin de raccordement d'USB et peut être employé comme clavier .
- L'Arduino Esplora : ressemblant à un contrôleur visuel de jeu, avec un manche et des sondes intégrées pour le bruit, la lumière, la température, et l'accélération. [19]

Parmi ces types, nous avons choisi une carte Arduino UNO (carte Basique). L'intérêt principal de cette carte est de faciliter la mise en œuvre d'une telle commande qui sera détaillée par la suite.



*Figure 22: La carte Arduino UNO*

L'Arduino fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils open source comme interface de programmation. L'injection du programme déjà converti par l'environnement sous forme d'un code « HEX » dans la mémoire du microcontrôleur se fait d'une façon très simple par la liaison USB. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties. Cette carte est basée sur un microcontrôleur ATmega 328 et des composants complémentaires. La carte Arduino contient une mémoire morte de 1 kilo. Elle est dotée de 14 entrées/sorties digitales (dont 6 peuvent être utilisées en tant que sortie PWM), 6 entrées analogiques et un cristal à 16 MHz, une connexion USB et Possède un bouton de remise à zéro et une prise jack d'alimentation. La carte est illustrée dans la figure si dessous. [20]

## **II.5 Pourquoi Arduino UNO :**

Il ya de nombreuses cartes électroniques qui possèdent des plateformes basées sur des microcontrôleurs disponibles pour l'électronique programmée. Tous ces outils prennent en charge les détails compliqués de la programmation et les intègrent dans une présentation facile à utiliser. De la même façon, le système Arduino simplifie la façon de travailler avec les microcontrôleurs tout en offrant à personnes intéressées plusieurs avantages cités comme suit:

- **Le prix (réduits) :**

les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plates-formes. La moins chère des versions du module Arduino peut être assemblée à la main, (les cartes Arduino pré-assemblées coûtent moins de 2500 Dinars)

- **Multi plateforme :**

le logiciel Arduino, écrit en JAVA, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.

- **Un environnement de programmation clair et simple :**

l'environnement de programmation Arduino (le logiciel Arduino IDE) est facile à utiliser pour les débutants, tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.

- **Logiciel Open Source et extensible :**

le logiciel Arduino et le langage Arduino sont publiés sous licence open source, disponible pour être complété par des programmeurs expérimentés.

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application JAVA multi plateformes (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).

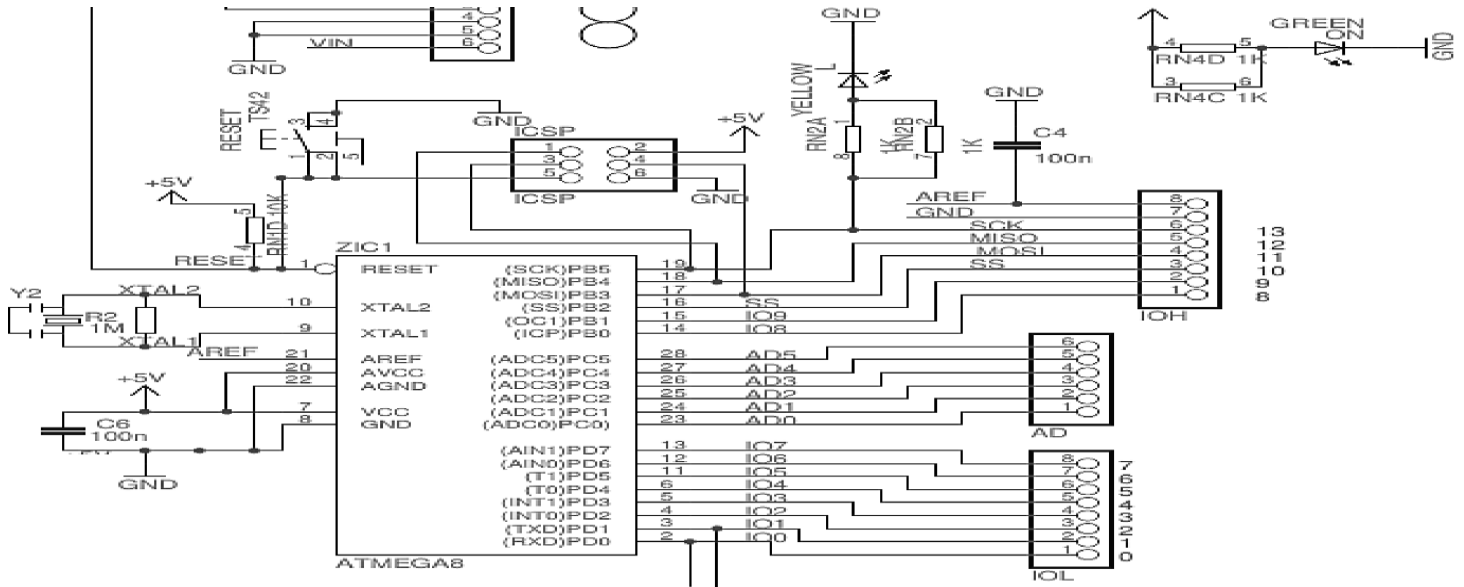
- **Matériel Open source et extensible :**

les cartes Arduino sont basées sur les Microcontrôleurs Atmel ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328, les schémas des modules sont publiés sous une licence créative Commons, et les concepteurs des circuits expérimentés peuvent réaliser leur propre version des cartes Arduino, en les complétant et en les améliorant. Même les utilisateurs relativement inexpérimentés peuvent fabriquer la version sur plaque d'essai de la carte Arduino, dont le but est de comprendre comment elle fonctionne pour économiser le coût.[21]

## II.6 Schéma simplifié de la carte Arduino UNO :

Les broches du microcontrôleur sont reliées à des connecteurs selon le schéma ci-dessous :

Figure 23: Schéma simplifié de la carte Arduino UNO



## II.7 La constitution de la carte Arduino UNO :

La carte Arduino Uno est basée sur un ATmega328 cadencé à 16 MHz. C'est la plus récente et la plus économique carte à microcontrôleur d'Arduino. Des connecteurs situés sur les bords extérieurs du circuit imprimé permettent d'enfiler une série de modules complémentaires. [22]

## II.8 Caractéristiques du module Arduino Uno :

- La carte Arduino Uno, prêtée est une carte à microcontrôleur basée sur un Atmega328p.
- Cette carte dispose
- Broches numériques d'entrées/sorties.
- Entrées analogiques.
- Quatre UART (port série matériel).
- Quartz 16Mhz.
- Connexion USB.

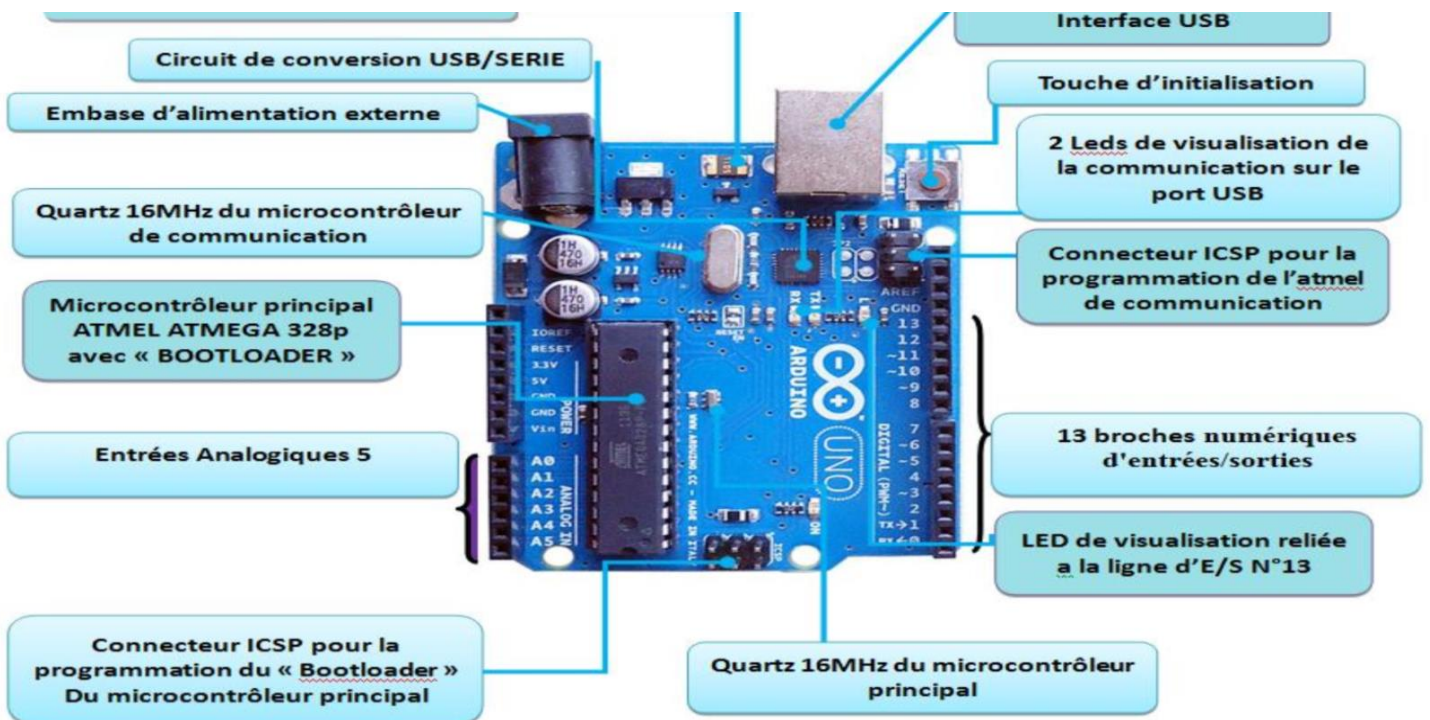
- Bouton de réinitialisation.
- Connecteur d'alimentation jack.

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur. Pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation est fournie par le port USB).

La carte Arduino Uno dispose de toute une série de facilités pour communiquer avec un ordinateur, une autre carte Arduino, ou avec d'autres microcontrôleurs. L'Arduino Uno se dispose de quatre UARTs (Universal Asynchrones Receiver Transmitter ou émetteur-récepteur asynchrone universel en français) pour une communication en série de niveau TTL (5V) et qui est disponible sur les broches 0 (RX) et 1 (TX).

Un circuit intégré Atmega16U2 sur la carte assure la connexion entre cette communication série de l'un des ports série de l'Atmega Uno vers le port USB de l'ordinateur qui apparaît comme un port COM virtuel pour les logiciels de l'ordinateur. Le code utilisé pour programmer l'Atmega8U2 utilise le driver standard USB COM, et aucun autre driver externe n'est pas nécessaire.[23]

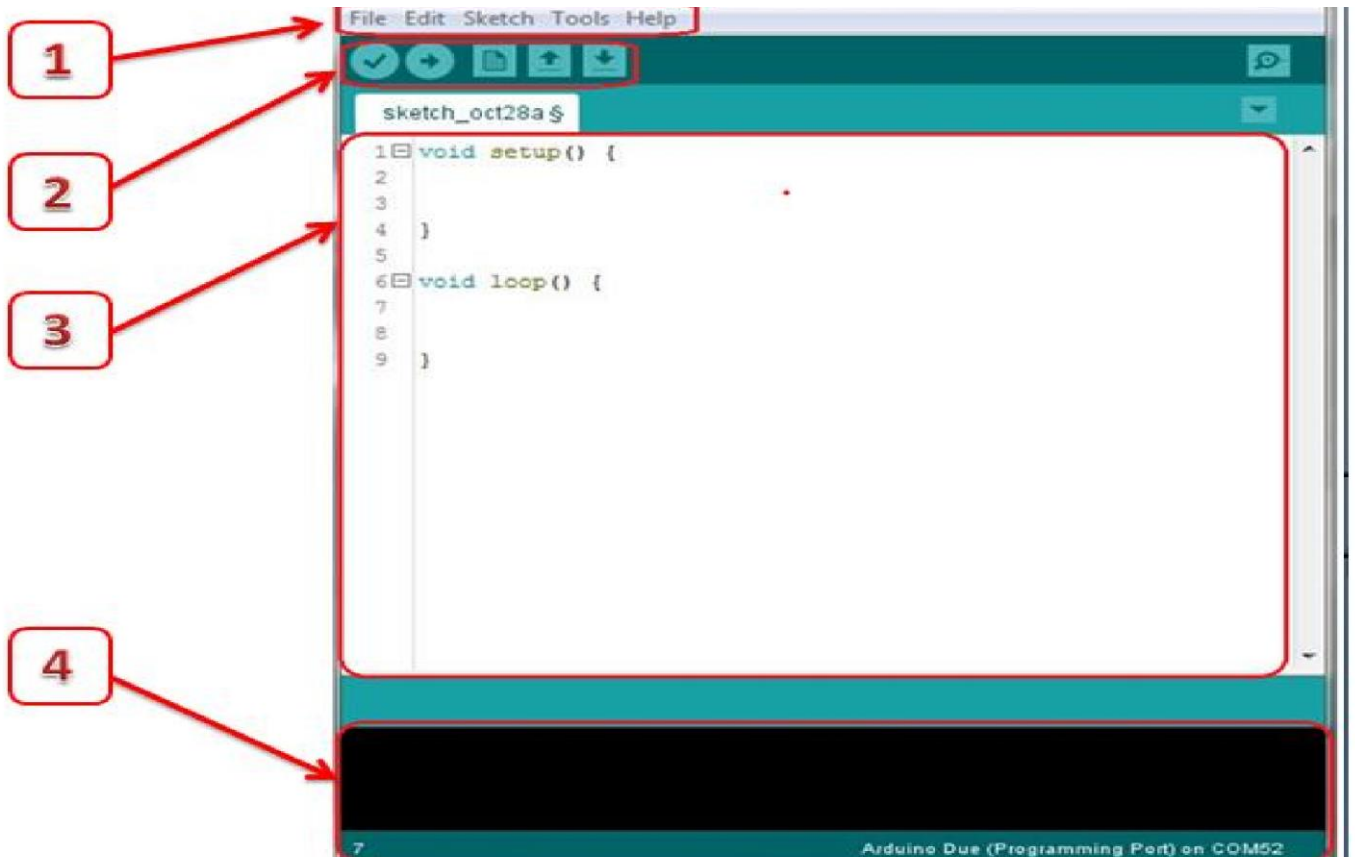
Figure 24: Module ARDUINO UNO [24]





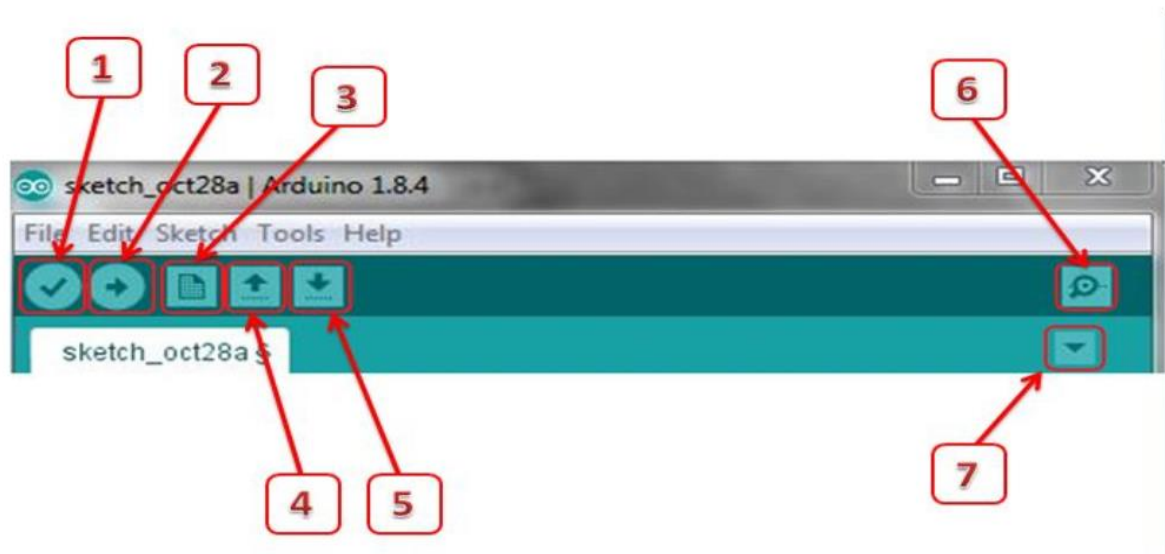
L'interface du logiciel Arduino se présente de la façon suivante :

**Figure 26: Interface IDE Arduino**



1. options de configuration du logiciel
2. boutons pour la programmation des cartes.
3. programme à créer.
4. débogueur (affichage des erreurs de programmation).[25]

**Les boutons:**



*Figure 27: Boutons de contrôle*

1. permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans le programme.
2. Compiler et envoyer le programme vers la carte.
3. Créer un nouveau fichier .
4. Charger un programme existant.
5. Sauvegarder le programme en cours.
6. Recevoir et envoyez les données entre la carte et l'ordinateur.
7. Liste d'ajouter ou supprimer ou renommer page. [25]

### II.10.3 Le programmation avec l'IDE Arduino :

#### II.10.3.1 Caractéristiques du développement ARDUINO :

**ARDUINO** fournit un environnement de développement (IDE) avec un éditeur de source, les opérations de compilation et de chargement dans la mémoire du microcontrôleur étant ramenées à des clics sur des boutons dans l'IDE(très simple). La communication entre le PC et la carte se fait via le port USB, moyennant installation d'un driver adapté sur le PC(fourni par ARDUINO)

#### II.10.3.2 Structure d'un projet ARDUINO :

L'outil impose de structurer l'application de façon spécifique. Le compilateur utilisé est AVR GCC (compilateur C/C++ pour processeur AVR).

Le programme principal (fonction main) est imposé et décrit ci-dessous.

Les seules parties que l'on développe spécifiquement sont :

- la fonction **setup()** : doit contenir les initialisations (times, interrupts...)
- la fonction **loop()** : fonction répétée indéfiniment.

**// PROGRAMME ARDUINO IMPOSE**

**#include <WProgram.h>**

**Int main (void)**

```
{  init();  // initializations ARDUINO pour fonctions
      // utiles : delays, PWM ...

  setup();

  for ( ; ; ) loop ( ) ; // répète indéfiniment loop ( )

  return 0; }
```

**UN PROGRAMME ARDUINO = une fonction setup() + une fonction loop()**

*Figure 28: Structure d'un projet ARDUINO*



### II.10.3.3 Langage C pour ARDUINO UNO :

Variables Types/Taille :

**boolean** : true/false (8 bits)

**char** = entier 8 bits signé [-128,+127] (stocke aussi des codes ASCII)

**byte / unsigned char** : entiers 8 bits non signés [0,255]

**Note:** des constantes sont définies et permettent d'écrire **byte b = B10010;**

**int** : entiers 16 bits signés [-32768,+32767]

**word / unsigned int** : entier 16 bits non signé [0,65535]

**long** : entiers 32 bits signé

**unsigned long** : entiers 32 bits non signés

**float /double** : flottant format IEEE 32 bits (float et double = même type ici)

//Exemple Blink (Arduino)

```
void setup()
{
    pinMode(13, OUTPUT); //broche PB5 en sortie
}
void loop()
{
    digitalWrite(13,HIGH); // set PB5
    delay(200); // délai 200 ms
    digitalWrite(13,LOW); // clear PB5
    delay(1000); // délai 1 s
}
```

```
//Exemple Blink (Arduino)
void setup()
{
    pinMode(13, OUTPUT); //broche PB5 en sortie
}

void loop()
{
    digitalWrite(13,HIGH); // set PB5
    delay(200); // délai 200 ms
    digitalWrite(13,LOW); // clear PB5
    delay(1000); // délai 1 s
}
```

*Figure 29: Exemple Blink (Arduino)*

Généralement tout module électronique qui possède une interface de programmation est basé toujours dans sa construction sur un circuit programmable ou plus.

### II.11.1 Le Microcontrôleur ATmega328 :

Un microcontrôleur ATmega328 est un circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes dans un espace réduit au temps des pionniers de l'électronique. Aujourd'hui, en soudant un grand nombre de composants encombrants ; tels que les transistors; les résistances et les condensateurs tout peut être logé dans un petit boîtier en plastique noir muni d'un certain nombre de broches dont la programmation peut être réalisée en langage C. la figure I.2 montre un microcontrôleur ATmega 328, qu'on trouve sur la carte Arduino.[17]



Figure 30: Microcontrôleur ATmega328 (Le composant classique)

Figure 31: Microcontrôleur ATmega328 (Le composant classique)

#### II.11.1.1 Les Caractéristiques de Microcontrôleur ATmega328 :

Le microcontrôleur ATmega328 est constitué par un ensemble d'éléments qui ont une fonction bien déterminée. Il est en fait constitué des mêmes éléments que sur la carte mère d'un ordinateur. Globalement, l'architecture interne de ce circuit programmable se compose essentiellement sur :

- **La mémoire Flash:** C'est celle qui contiendra le programme à exécuter. Cette mémoire est effaçable et réinscriptible mémoire programme de 32Ko (dont bootloader de 0.5 ko).

- **RAM :** c'est la mémoire dite "vive", elle va contenir les variables du programme. Elle est dite "volatile" car elle s'efface si on coupe l'alimentation du microcontrôleur. Sa capacité est 2 ko.
- **EEPROM :** C'est le disque dur du microcontrôleur. On y enregistre des infos qui ont besoin de survivre

dans le temps, même si la carte doit être arrêtée. Cette mémoire ne s'efface pas lorsque l'on éteint le microcontrôleur ou lorsqu'on le reprogramme. [26]

### **II.11.2 Les sources de l'alimentation de la carte Arduino :**

On peut distinguer deux genres de sources d'alimentation (Entrée Sortie) et cela comme suit :

- **VIN** : La tension d'entrée positive lorsque la carte Arduino est utilisée avec une source de tension externe (à distinguer du 5V de la connexion USB ou autre source 5V régulée). On peut alimenter la carte à l'aide de cette broche, ou, si l'alimentation est fournie par le jack d'alimentation, accéder à la tension d'alimentation sur cette broche.
- **5V** : La tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres composants de la carte (pour info : les circuits électroniques numériques nécessitent une tension d'alimentation parfaitement stable dite "tension régulée" obtenue à l'aide d'un composant appelé un régulateur et qui est intégré à la carte Arduino). Le 5V régulé fourni par cette broche peut donc provenir soit de la tension d'alimentation VIN via le régulateur de la carte, ou bien de la connexion USB (qui fournit du 5V régulé) ou de toute autre source d'alimentation régulée.
- **3.3V** : Une alimentation de 3.3V fournie par le circuit intégré FTDI (circuit intégré faisant l'adaptation du signal entre le port USB de votre ordinateur et le port série de l'ATmega) de la carte est : ceci est intéressant pour certains circuits externes nécessitant cette tension au lieu du 5V. L'intensité maximale disponible sur cette broche est de 50mA. [21]

### **II.11.3 Les entrées & les sorties :**

Cette carte possède 14 broches numériques (numérotée de 0 à 13) peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique, en utilisant les instructions `pinMode()`, `digitalWrite()` et `digitalRead()` du langage Arduino. Ces broches fonctionnent en 5V. Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité et dispose d'une résistance interne de "rappel au plus" (pull-up) (déconnectée par défaut) de 20-50 KOhms. Cette résistance interne s'active sur une broche en entrée à l'aide de l'instruction `digitalWrite(broche, HIGH)`.

En plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

- **Interruptions Externes:** Broches 2 et 3. Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant ou descendant, ou sur un changement de valeur.  
-Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée):  
Broches 3, 5, 6, 9, 10, et 11. Fournissent une impulsion PWM 8-bits à l'aide de l'instruction `analogWrite()`.
- **SPI (Interface Série Périphérique):** Broches 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ces broches supportent la communication SPI (Interface Série Périphérique) disponible avec la librairie pour communication SPI. Les broches SPI sont également connectées sur le connecteur ICSP qui est mécaniquement compatible avec les cartes Mega.
- **I2C:** Broches 4 (SDA) et 5 (SCL). Supportent les communications de protocole I2C (ou interface TWI (Two Wire Interface - Interface "2 fils"), disponible en utilisant la librairie `Wire/I2C` (ou TWI - Two-Wire interface - interface "2 fils").
- **LED:** Broche 13. Il y a une LED incluse dans la carte connectée à la broche 13. Lorsque la broche est au niveau HAUT, la LED est allumée, lorsque la broche est au niveau BAS, la LED est éteinte.

La carte UNO dispose 6 entrées analogiques (numérotées de 0 à 5), chacune pouvant fournir une mesure d'une résolution de 10 bits (càd sur 1024 niveaux soit de 0 à 1023) à l'aide de la très utile fonction `analogRead()` du langage Arduino. Par défaut, ces broches mesurent entre le 0V (valeur 0) et le 5V (valeur 1023), mais il est possible de modifier la référence supérieure de la plage de mesure en utilisant la broche AREF et l'instruction `analogReference()` du langage Arduino.

La carte Arduino UNO intègre un fusible qui protège le port USB de l'ordinateur contre les surcharges en intensité (le port USB est généralement limité à 500mA en intensité). Bien que la plupart des ordinateurs aient leur propre protection interne, le fusible de la carte fournit une couche supplémentaire de protection. Si plus de 500mA sont appliqués au port USB, le fusible de la carte coupera automatiquement la connexion jusqu'à ce que le court circuit ou la surcharge soit stoppé. [27]

La carte Arduino UNO a de nombreuses possibilités de communications avec l'extérieur. L'Atmega328 possède une communication série UART TTL (5V), grâce aux broches numériques 0 (RX) et 1 (TX). On utilise (RX) pour recevoir et (TX) transmettre (les données séries de niveau TTL).

Ces broches sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega328 programmé en convertisseur USB – vers – série de la carte, composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur. Comme un port de communication virtuel pour le logiciel sur l'ordinateur, La connexion série de l'Arduino est très pratique pour communiquer avec un PC, mais son inconvénient est le câble USB, pour éviter cela, il existe différentes méthodes pour utiliser ce dernier sans fil:

## **II.12 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu général sur les différents types de carte Arduino, ainsi que leurs modes de fonctionnement et leurs caractéristiques. Dans ce projet de fin d'étude, nous avons privilégié la carte Arduino UNO, ses performances étant suffisantes pour le projet envisagé. Ce qui prime dans Arduino, c'est sa simplicité qui permet de mettre en œuvre de nombreux objets numériques à moindre coût sans être un spécialiste en électronique ou en programmation des microcontrôleurs, cela nécessite juste des petites connaissances en électronique. C'est cette qualité là qui donne à Arduino le succès qu'on lui connaît.

# **JJJ Chapitre 03**

### III.1 Introduction :

Ce chapitre sera consacré à la Fabrication et la commande de la machine CNC Nous dévoilerons les composants de la machine à fabriquer puis, nous passerons à l'étape de fabrication de la machine et d'explication des programmes de commande et de test de celle-ci

### III.2 Les Outils utilisés pour installer une machine CNC 2D :

Pour réaliser ce projet, nous sommes appuyés sur 5 éléments fondamentaux :

#### III.2.1 Carte Arduino Uno :

C'est une carte électronique open source, conçue pour développer de nombreux projets et idées liés au contrôle automatique de manière simple et facile en utilisant la programmation open source **Arduino C** , Ce microcontrôleur sur la carte est programmé à l'aide du programme **Arduino IDE**, qui est disponible gratuitement sur le site officiel Arduino.

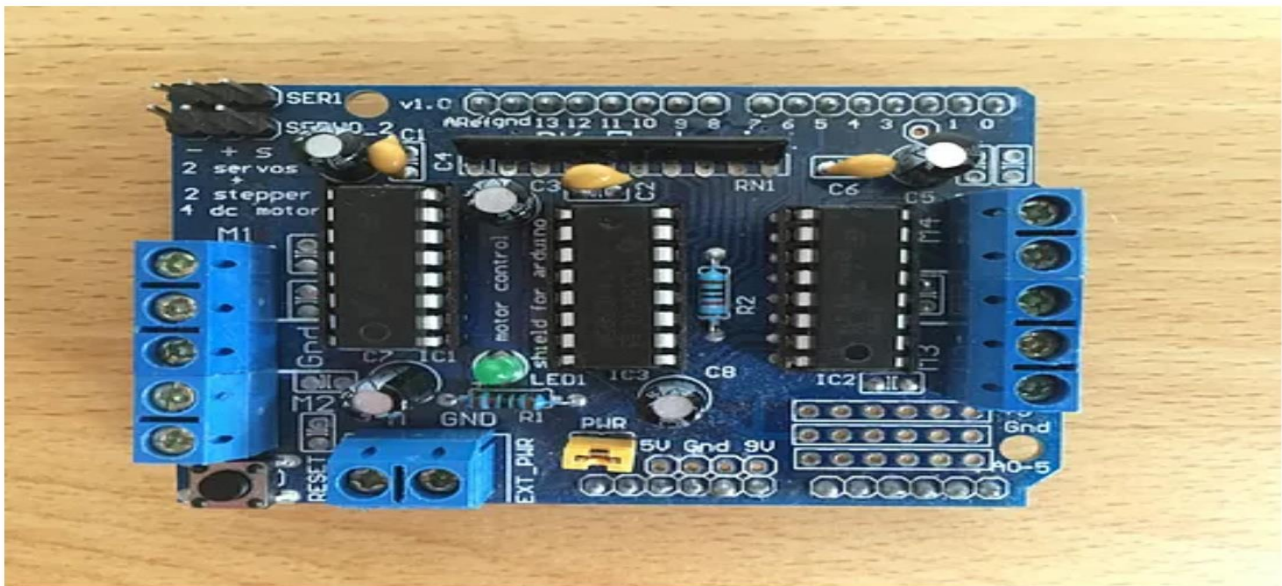


*Figure 32: carte arduino uno.*

#### III.2.2 Shield moteur L293D :

Lorsque l'on souhaite utiliser une motorisation dans un projet utilisant la technologie Arduino, on se rend compte qu'il existe de nombreuses solutions techniques pour mener à bien son projet.

Dans le cas du projet de la commande du système numérique, on propose d'étudier différentes solutions techniques pour la motorisation, comme l'utilisation de servomoteurs à rotation continue ou l'utilisation de moto-réducteurs à courant continu. Très vite, on s'aperçoit que si la solution du servomoteur est très facile à mettre en œuvre avec les élèves, la solution du moteur à courant continu est bien plus difficile à mettre en œuvre avec une carte Arduino. En effet, elle nécessite des connaissances (pont en H entre autre) qui ne sont pas à la portée des élèves. D'où l'utilisation d'un shield moteur comme celui présenté ici qui permet de s'affranchir de ces connaissances et rend la mise en œuvre très simple. [28]



*Figure 33: Shield L293D [28]*

### III.2.2.1 principe de fonctionnement :

Ce shield s'enfiche directement sur une carte Arduino UNO. Il permet de piloter en même temps grâce à quatre ponts en H :

- 4 moteurs à courant continu ou 2 moteurs pas à pas.
- 2 servomoteurs standards (Utilité limitée, sachant que l'on peut piloter directement les servomoteurs depuis la carte Uno )

Pour l'alimentation électrique des moteurs, il existe deux possibilités, soit en passant par l'alimentation de la carte Arduino ou soit par une alimentation séparée [28]



*Figure 34: Exemple de Shield.*

### III.2.3 la porte série USB [5]

#### III.2.3.1 Définition :

Le Universal Serial Bus (USB), en français Bus universel en série, dont le sigle, inusité, BUS est une norme relative à un bus informatique en transmission série qui sert à connecter des périphériques informatiques à un ordinateur. Le bus USB permet de connecter des périphériques à chaud (quand l'ordinateur est en marche) et en bénéficiant du Plug and Play (le système reconnaît automatiquement le périphérique). Il peut alimenter les périphériques peu gourmands en énergie (disques SSD en particulier).



*Figure 35: un câble USB [16].*

### III.2.4 Servo moteur [29]

le Servomoteur (abrégé : “servo”). C’est un moteur un peu particulier, puisqu’il confond un ensemble de mécanique et d’électronique, mais son principe de fonctionnement reste assez simple. Les parties seront donc assez courtes dans l’ensemble car les servomoteurs contiennent dans leur “ventre” des moteurs à courant continu que vous connaissez à présent. Cela m’évitera des explications supplémentaires.



Figure 36: servo moteurs [29].

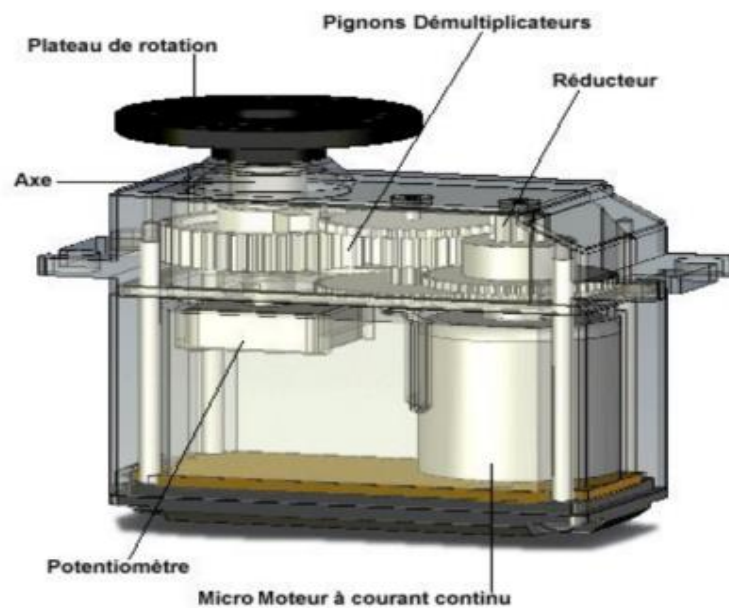


Figure 37: image 3D de vue de l’extérieur et de l’intérieur d’un servo moteur [29].

### III.2.4.1 Connectique :

Le servomoteur a besoin de trois fils de connexion pour fonctionner. Deux fils servent à son alimentation, le dernier étant celui qui reçoit le signal de commande :

- **rouge** : pour l'alimentation positive (4.5V à 6V en général).
- **noir ou marron** : pour la masse (0V).
- **orange, jaune, blanc, ...** : entrée du signal de commande.

Nous verrons tout à l'heure ce que nous devons entrer sur le dernier fil utilisation avec Arduino.



*Figure 38: Fils de connexion d'un servo moteur [29 ].*

### III.2.5 Moteur pas a pas :



*Figure 39: moteur pas à pas M35SP- 11TK LF.*

- Les Caractéristique du moteur pas a pas :

Items	<b>M35SP-11TK LF</b>	
Rated Voltage	DC 12V	DC 24V
Working Voltage	DC 10.8-13.2V	DC 21.6-26.4V
Rated Current/Phase	200mA(PEAK)	300mA(PEAK)
No. of Phase	2 Phase	2 Phase
Coil DC Resistance	25Ω/phase±7%	25Ω/phase±7%
Step Angle	3.75°/step	3.75°/step
Excitation Method	2-2 Phase excitation(Bipolar driving)	
Insulation Class	Class E insulation	Class E insulation
Holding Torque	14.7mN·m	20mN·m
Pull-out Torque	8.9mN·m/1200pps	12.1mN·m/1800pps
Pull-in Torque	10.8mN·m/400pps	13.8mN·m/600pps
Max. Pull-out Pulse Rate	1900pps	3300pps
Max. Pull-in Pulse Rate	920pps	1250pps

*Tableau 3: Caractéristique du moteur pas a pas M35SP-11TK LF*

### III.3 Les programmes utilisés dans le projet :

Dans ce mémoire, on a utilisé 3 programmes essentiels qui sont :

#### III.3.1 programme Arduino IDE :

C'est un programme dont nous avons parlé plus tôt, qui relie entre l'ordinateur et la carte Arduino, où il reçoit les chiffres du programme pour bien fonctionner le projet.

##### III.3.1.1 Les codes (chiffres) nécessaires au projet :

###### III.3.1.1.1 Bibliothèques :

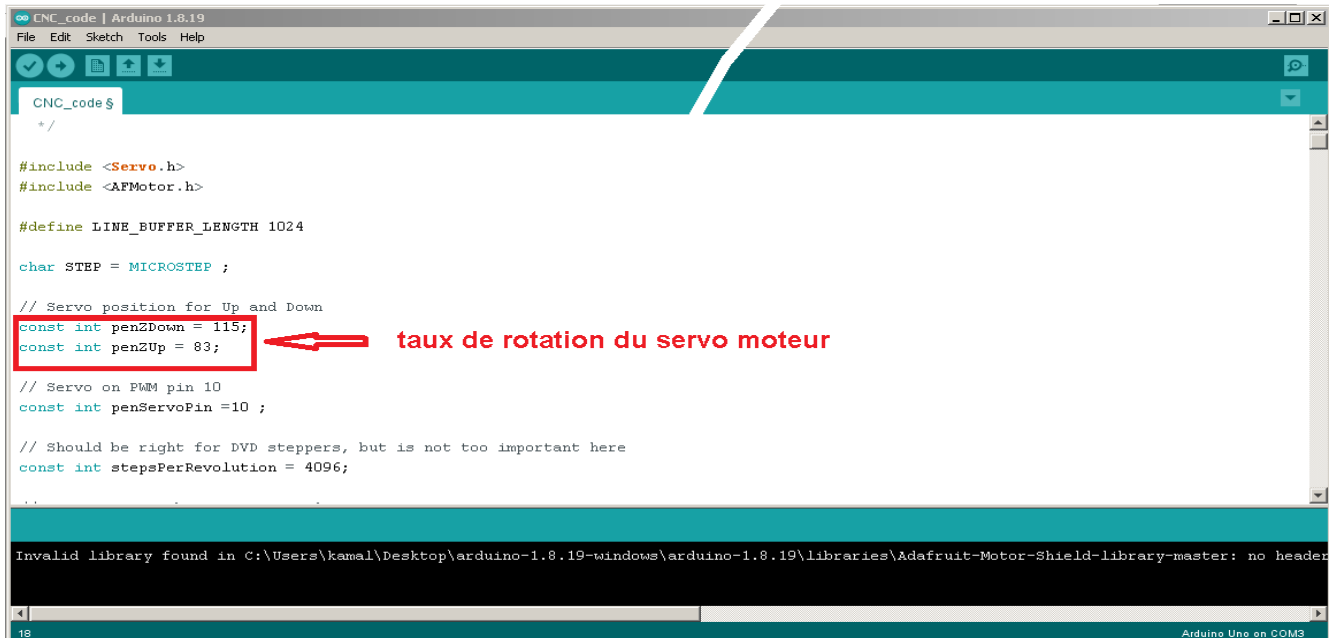
Ce sont des chiffres nous facilité l'opération de la communication avec les écrous et les capteurs ...etc.

Et pour utiliser un bibliothèque supplémentaire, il faut la télécharger de son site officiel puis, on l'installe comme on fait dans ce présent mémoire, comme il nous faut d'aborde télécharger la bibliothèque de **AF MOTOR** spécialisée au moteurs Shield L293D en suite on l'installe.

### III.3.1.1.2 Dossier des codes (chiffres) CNC.CODE.ino :

C'est un dossier contient des codes ouverts et qui est fait spécialement pour fonctionner avec le petit appareil CNC et le circuit du moteur Shield L293D.

On n'aura pas besoin à changer sauf si nous voulons, changer la taux de rotation du servo moteur.



```
CNC_code | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help

CNC_code $
*/

#include <Servo.h>
#include <AFMotor.h>

#define LINE_BUFFER_LENGTH 1024

char STEP = MICROSTEP ;

// Servo position for Up and Down
const int penZDown = 115;
const int penZUp = 83;

// Servo on PWM pin 10
const int penServoPin =10 ;

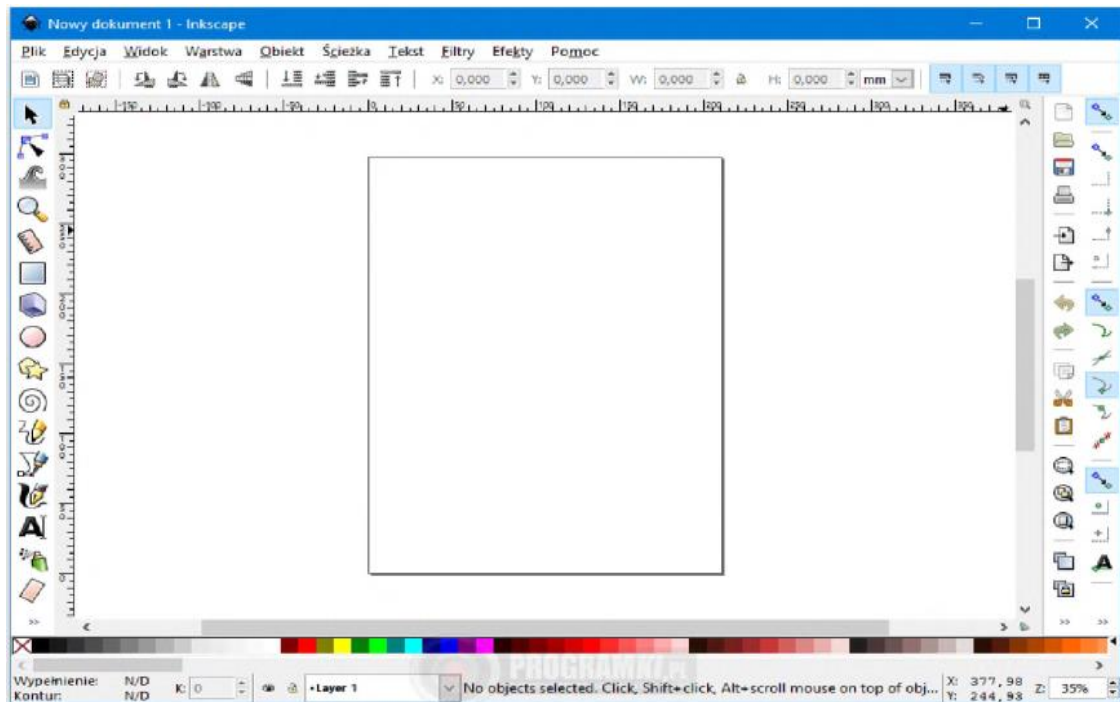
// Should be right for DVD steppers, but is not too important here
const int stepsPerRevolution = 4096;

Invalid library found in C:\Users\kamal\Desktop\arduino-1.8.19-windows\arduino-1.8.19\libraries\Adafruit-Motor-Shield-library-master: no header
18 Arduino Uno on COM3
```

Figure 40: Dossier des codes (chiffres) CNC.CODE.ino

### III.3.2 programme inkscape :

C' est un programme spécialisé à la conception graphique professionnel et qui contient des larges gammes de fonctions et des outils qui permettent une conception les graphies une précision extraordinaire , elle c' est caractérisé par la bon précision de sa conception et la capacité de dessiner les détails les plus fin aux photo, comme le programme inkscape , il peut transforme tout les photos et les phrase de mots ou graphie puis au dossier G Code , par la suite , nous téléchargeons le programme de son site officiel [www.inkscape.com](http://www.inkscape.com)



*Figure 41: interface du programme inkscape*

### III.3.2.1 Dossier G Code :

G Code c'est une formule de fichier qui contient des codes sous forme de coordonnées successives et que le programme ARDUINO qui la reçoit de l'ordinateur comme ordre pour l'appliquer entraînant des moteurs aux coordonnées qui lui sont transmises l'un après l'autre .

### III.3.2.2 Bibliothèque de G Code :

Le programme G Code enregistré les graphies en plusieurs extensions ( enf , eps , svg ) ce qui nous intéressé est G Code le programma inkscape est capable de produire des fichiers de G Code et il faut ajouter bibliothèque Maker boat g-code unicorne spatialisé à l'extensions G code aux bibliothèque du programme en copiant le contenu du dossier « src » spécial de la bibliothèque après l'avoir

Téléchargé du site [www.github.com](http://www.github.com) comme suit :

"C:/ Program Files / inkscape /share/extensions"

### III.3.3 programme Gctrl :

C'est un simple programme dont sa tâche principale est envoyer les dossiers gcode de l'ordinateur à la carte Arduino via un port spécifique.



Figure 42: interface du programme gctrl.

### III.4 circuit de projet :

Nous connectons les différents éléments du circuit de projet comme indiqué sur la (Figure 11), puis nous installons Shield L293D sur la carte Arduino.

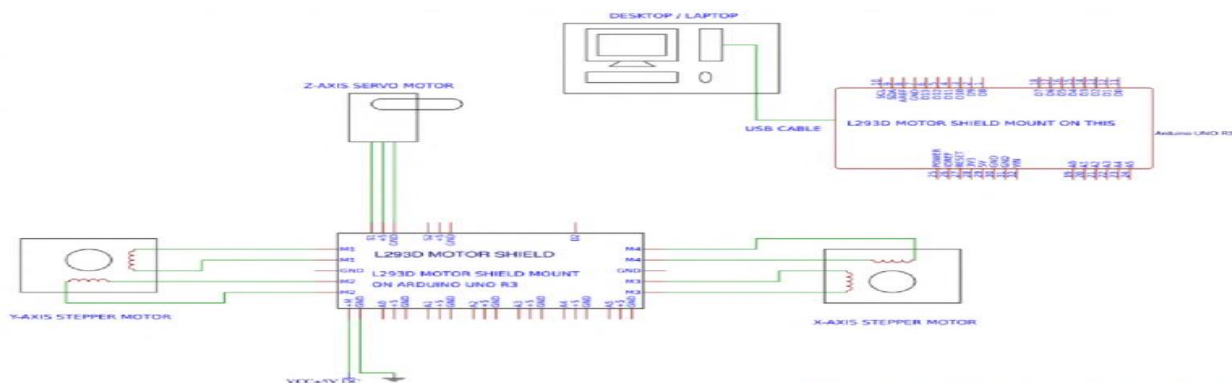


Figure 43: schéma de circuit de projet.

Après avoir connecté les moteurs et le chargeur à Shield L293D maintenant nous éliminons la goupille jaune comme indiqué sur la Figure 33, dont sa fonction est d'économiser l'énergie à la carte Arduino.

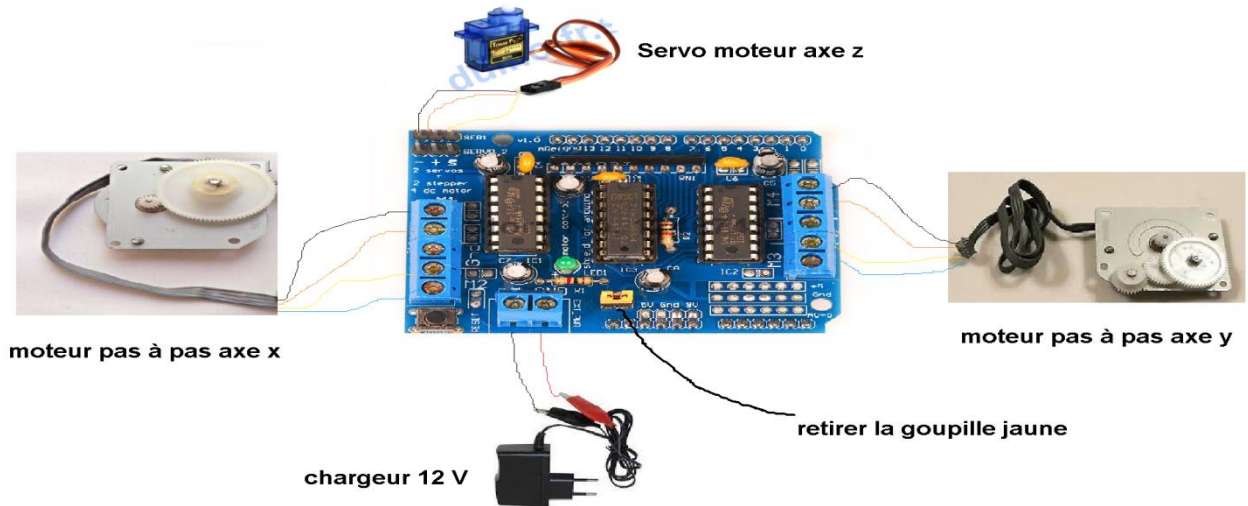


Figure 44: Comment connecter des appareils avec shield L293D.

### III.5 Étapes de réalisation du projet :

Pour confectionné notre machine CNC, on a eu recours à différentes étapes qui sont les suivantes :

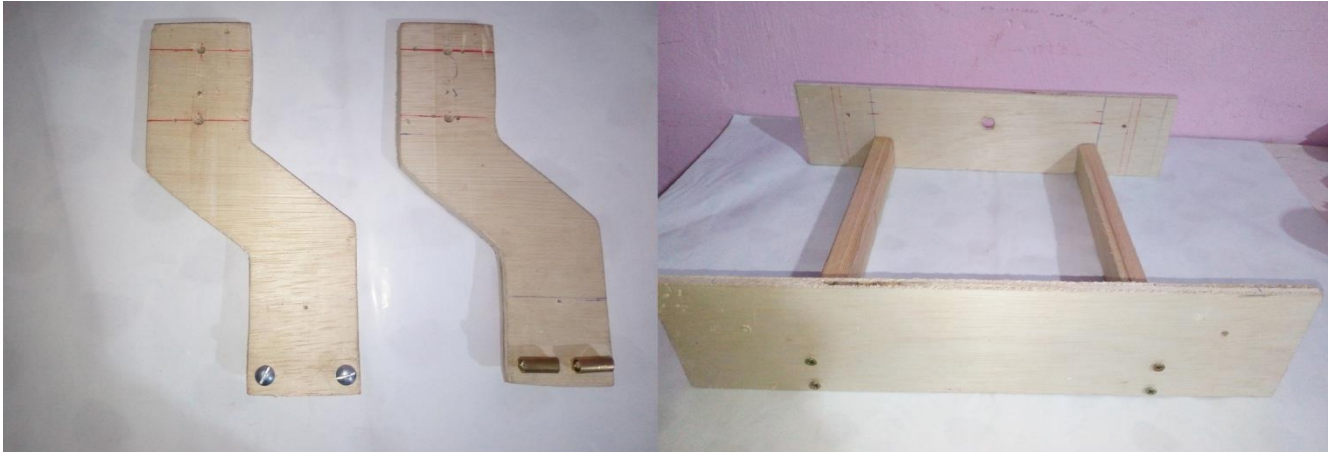
#### Etape 1 : Les éléments nécessaires pour le fonctionnement de notre machine CNC :

Pour commencer à installer une machine CNC, les éléments de base suivants doivent être fournis :

- \* Carte Arduino UNO
- \* Motor Driver Shield L293D
- \* Servo moteur
- \* 2 moteur pas à pas
- \* Fils de connexion
- \* Stylo pour dessiner
- \* Porte-stylo
- \* 2 poulie
- \* Les vis
- \* Base de dessin
- \* Porte USB
- \* 2 courroie
- \* 4 axe de guidage
- \* Structure de la machine
- \* chargeur 12v

#### Etape 2 : Fabrication de la structure de machine CNC :

La première étape que nous commençons dans la fabrication de la machine CNC est la fabrication du cadre, pour réduire le coût du projet, nous avons choisi de fournir le cadre en bois d'une épaisseur de 1 cm du menuisier. La fabrication est très simple. Il n'y a que 6 planches qui peuvent être coupées Comme indiqué sur la figure 34.



*Figure 45: les éléments de la structure.*

**Etape 3 : Installation des deux moteurs pas à pas sur deux embases orthogonales x et y avec l'outillage nécessaire :**

**sur l'axe x** : On installe le moteur pas à pas n°1 avec 2 axe de guidage, 1 courroie et poulie.

- L'axe de guidage



*: l'axe de guidage. 46 Figure*

- Courroie et poulie



*: courroie et poulie. 47 Figure*

- Assemblage



: L'axe x. 48 Figure

sur l'axe y : de même avec le moteur pas à pas n°2 on l'installe avec 2 axe de guidage, 1 courroie, poulie et table de base.

- Table de base



Figure 49: Table de base.

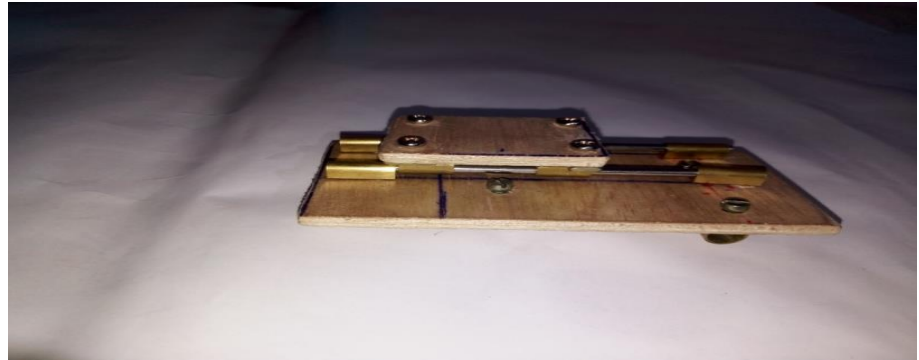
- Assemblage



Figure 50: L'axe y.

**Étape 4 : Le montage de l'axe Z** est perpendiculaire à la base de dessin Cet axe est le plus difficile à installer, il n'y a pas de conception spécifique pour cela, nous l'avons installé en deux tiges et son travail principal est de permettre au stylo de monter et descendre par un servo connecté moteur il-elle.

- L'axe Z



*Figure 51: La forme de l'axe Z.*

- Assemblage



*Figure 52: Le montage final de l'axe Z.*

- La forme finale



du machine CNC :

*Figure 53: La forme finale du machine CNC.*

## **III.6 Comment utiliser le logiciel :**

### **III.6.1 . Le programme Arduino IDE :**

Après avoir connecté l'imprimante CNC à l'ordinateur via le port USB, nous téléchargeons le fichier de code de programmation CNC\_CODE.ino modifié pour travailler avec la petite machine CNC et le variateur de vitesse L293D circuit sur la carte Arduino, mais pour passer le fichier sur la carte Arduino, il faut d'abord ajouter la bibliothèque de fruits Shield Ad (L293D) aux bibliothèques sur l'IDE Arduino et cela se fait à travers les étapes suivantes :

**Étape 01 :** Après en ouvrant l'IDE Arduino, nous allons dans le menu Sketch, puis choisissons la bibliothèque d'inclusion, puis cliquez sur le bouton pour ajouter des bibliothèques au format zip, comme illustré à la figure 54.

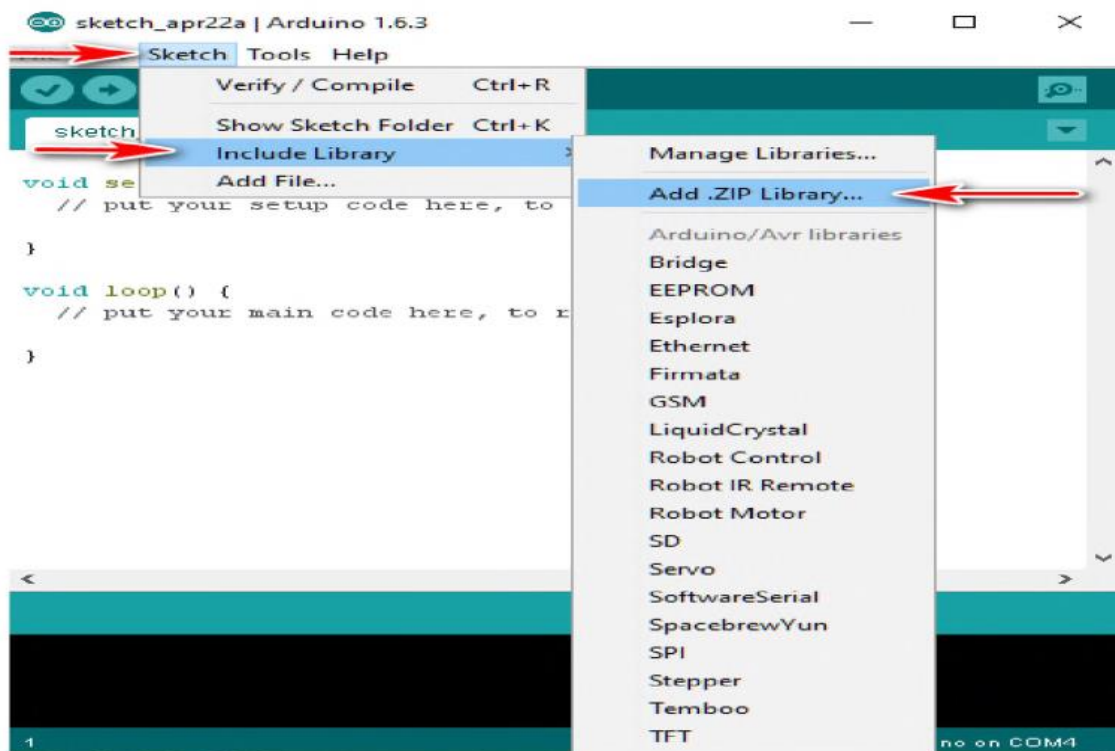


Figure 54 : Cliquez sur Sketch, puis include library , puis cliquez sur le bouton ajouter

**Étape 02 :** Après cela, la fenêtre illustrée à la figure 55 apparaît. Nous allons dans le fichier qui contient la bibliothèque, puis sélectionnez-le et appuyez sur le bouton Ajouter.

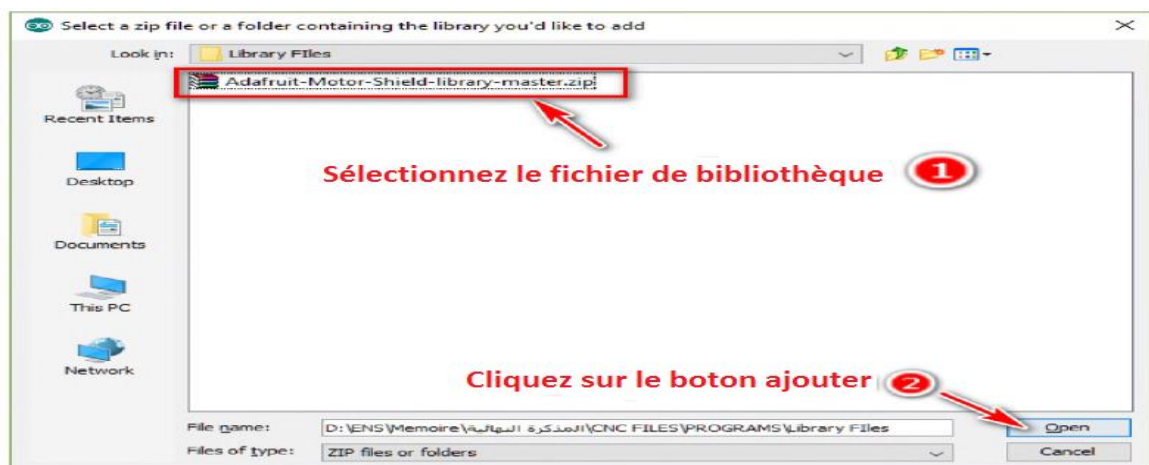


Figure 55: Sélectionnez le fichier de bibliothèque et appuyez sur le bouton Ajouter

- On note que la librairie Ada fruit a été ajoutée en fin de liste des bibliothèques Figure 56.

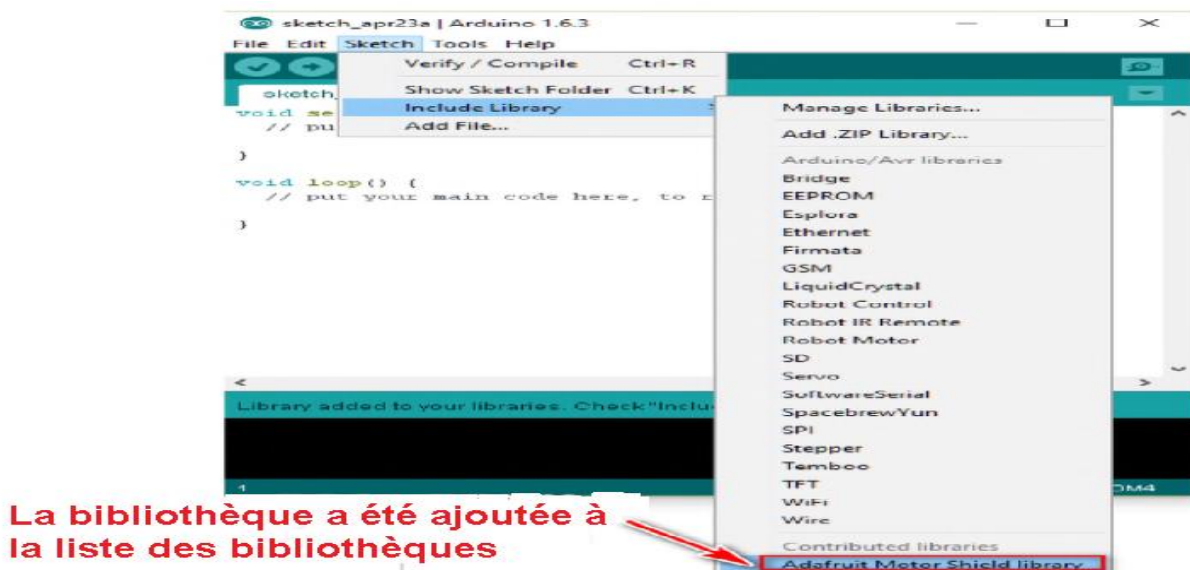


Figure 56:ajouter une bibliothèque Adafruit

Après avoir ajouté la bibliothèque de Shield L 298D , nous ouvrons maintenant le fichier de code, puis vérifions d'abord sa validité et son absence d'erreur avant de le transmettre à la carte Arduino à exécuter et c'est-à-dire en appuyant sur le bouton Vérifier comme indiqué sur la figure 57.

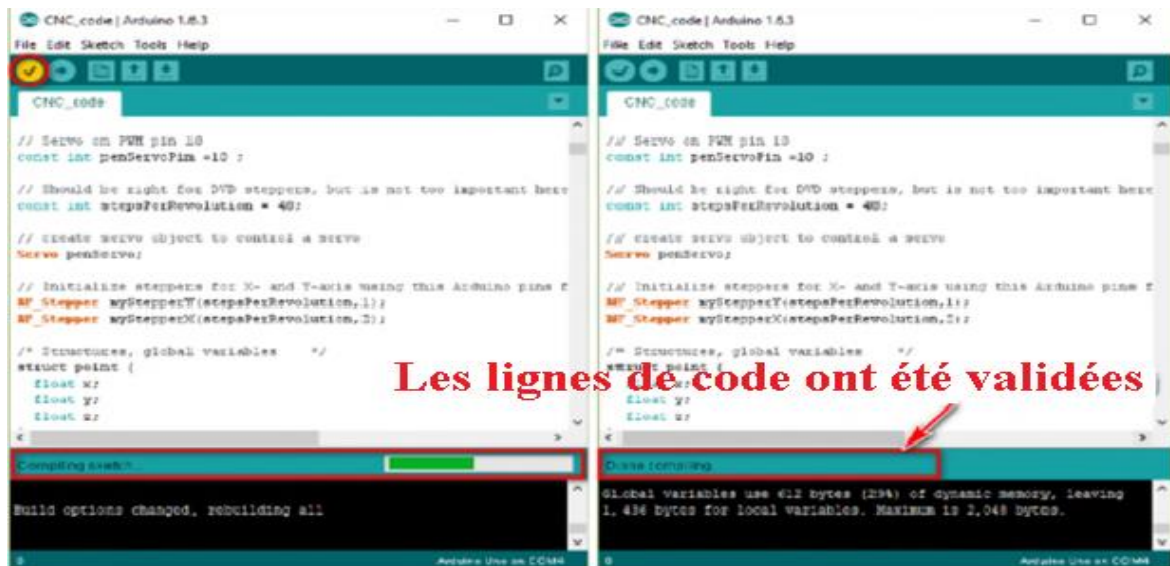


Figure 57: Ouverture du fichier de code

Après avoir vérifié l'exactitude du code, nous cliquons sur le bouton de téléchargement, attendons quelques secondes, jusqu'à ce que les LED RX et TX clignotent sur la carte Arduino. Si le téléchargement réussit, le message "Téléchargé" apparaîtra dans le message barre Figure 58.

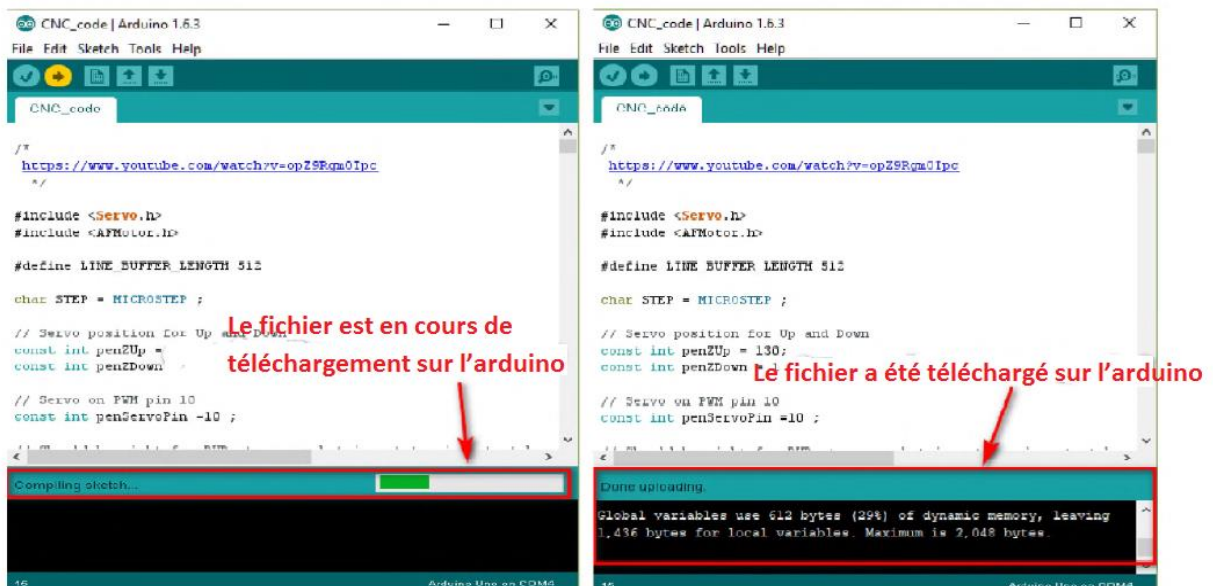
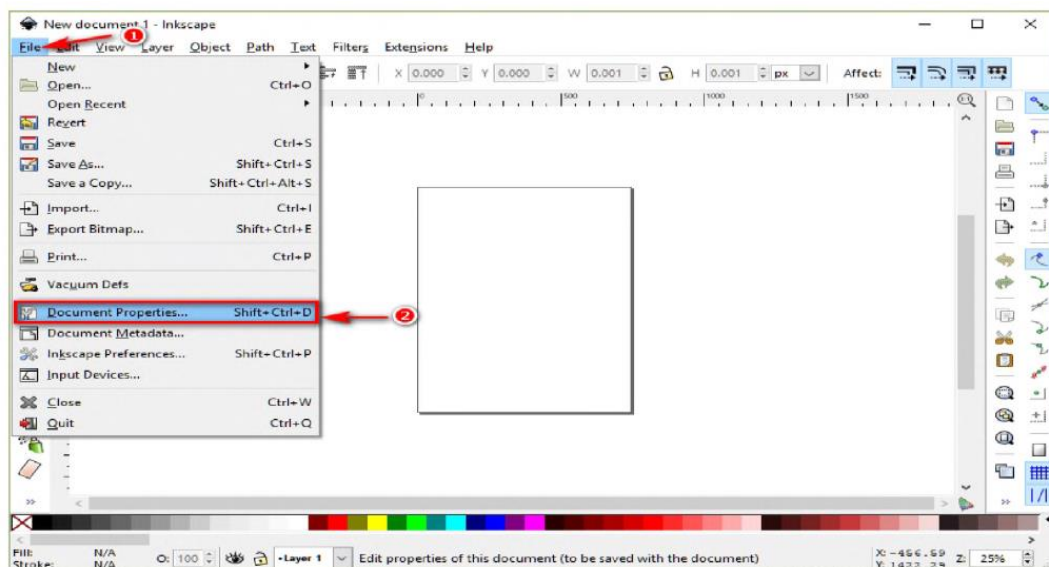


Figure 58: Télécharger le fichier sur la carte Arduino

## III.6.2 Programme Inkscape :

### III.6.2.1 Définir l'espace de travail :

La première étape consiste à sélectionner l'espace de travail en cliquant sur Fichier puis sur Propriétés du document, Figure 59.



*Figure 59: Définir l'espace de travail*

Après cela nous choisissons l'unité de la règle horizontale et verticale, puis l'unité de dimensions comme indiqué dans les flèches 1 et 2, qui est le millimètre, puis nous spécifions les dimensions appropriées pour notre projet 200 x 150 comme indiqué dans la flèche n° 3 Figure 60

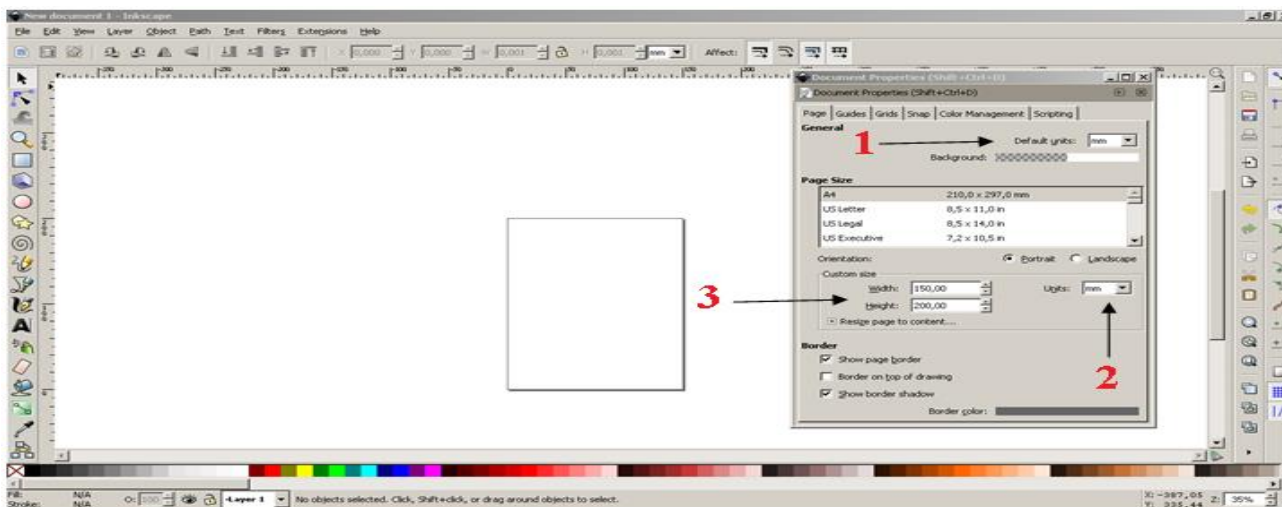


Figure 60: Ajuster les propriétés de la zone de dessin

Maintenant, nous agrandissons l'espace de travail, puis traitons le dessin ou l'écriture dans le cadre, comme illustré à la Figure 61

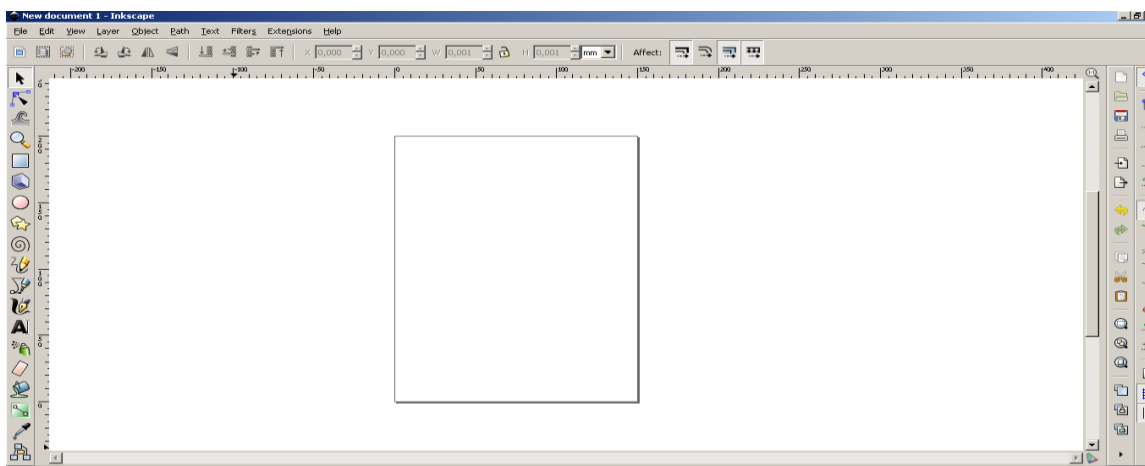
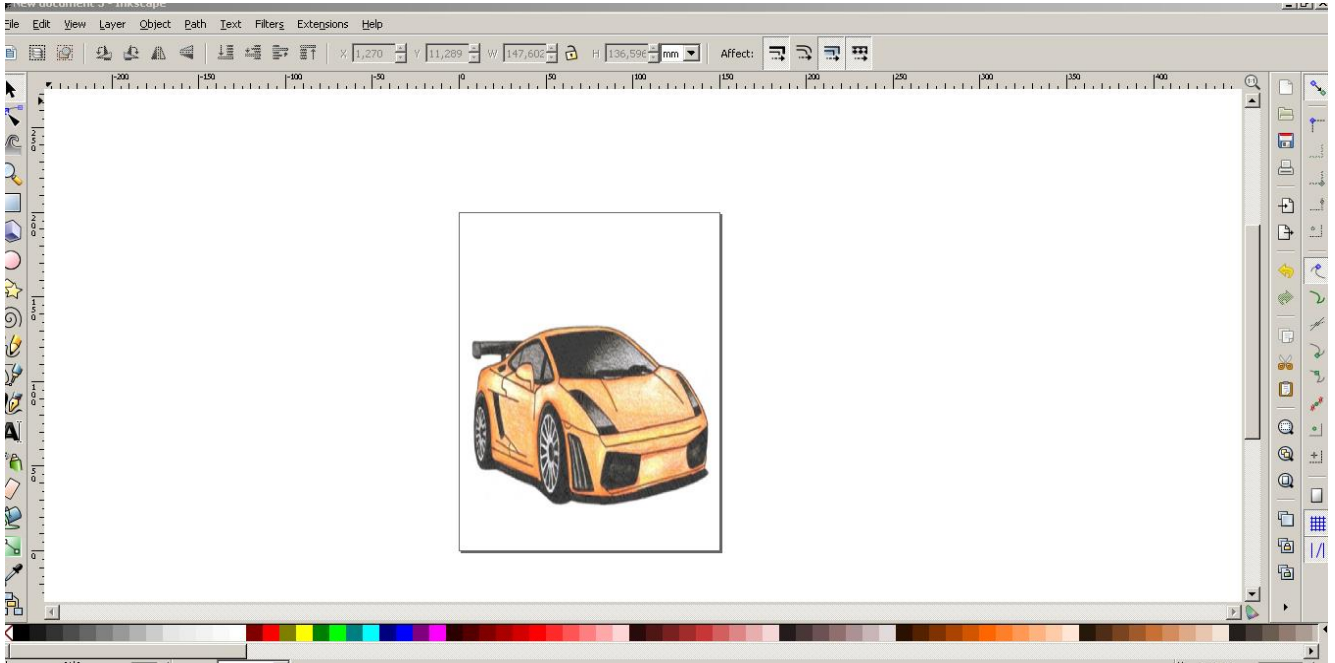


Figure 61: Agrandir l'espace de travail

### III.6.2.2 Traitement d'une image ou écriture et conversion en fichier Gcode :

**1) Traitement d'image :** Après avoir préparé l'espace approprié pour le dessin, nous ajoutons l'image que vous souhaitez convertir en fichier **G code**, par exemple en cliquant sur **File** puis **import**, puis nous ajoutons l'image, puis changeons sa taille Et faites-le glisser dans le cadre spécifié (**Figure 62**).



*Figure 62:Placer l'image dans le cadre sélectionné*

Puis nous le traitons à travers les étapes suivantes :

**Étape 01 :** Vous sélectionnez l'image du logo, puis allez à le menu **Path**, puis choisissez **Trace Bitmap**, après cela une fenêtre apparaît qui contient de nombreux effets. Nous choisissons **Edge Détection** des bords et changeons sa valeur en 0.75 pour que les lignes du dessin nous soient clairement visibles, puis nous appuyons sur OK comme le montre la **Figure 63**

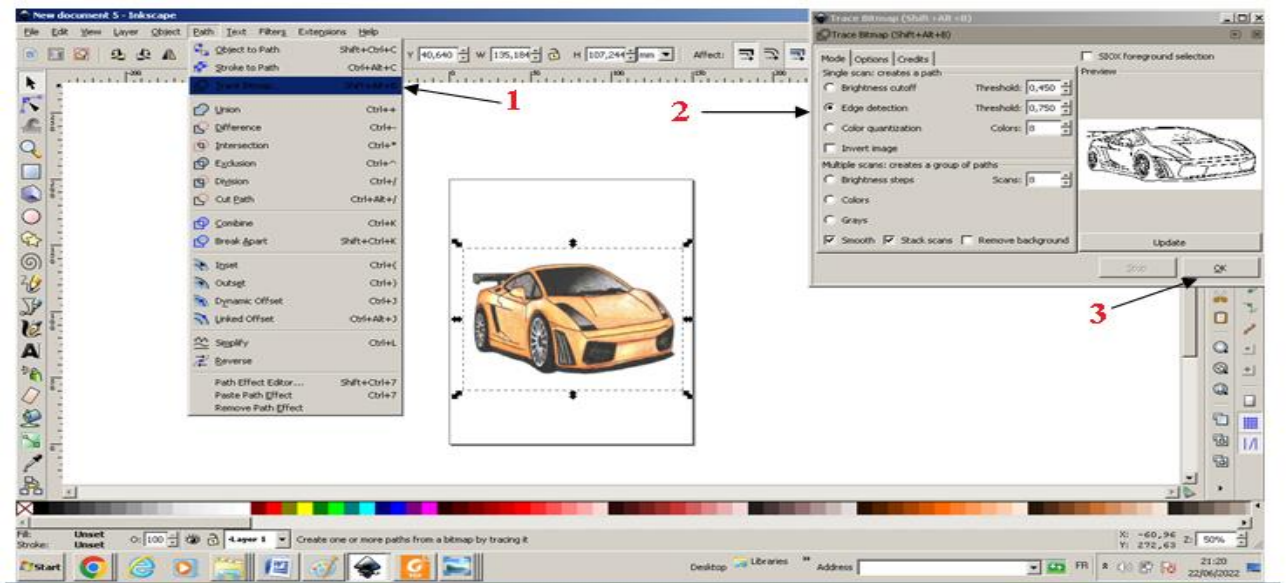
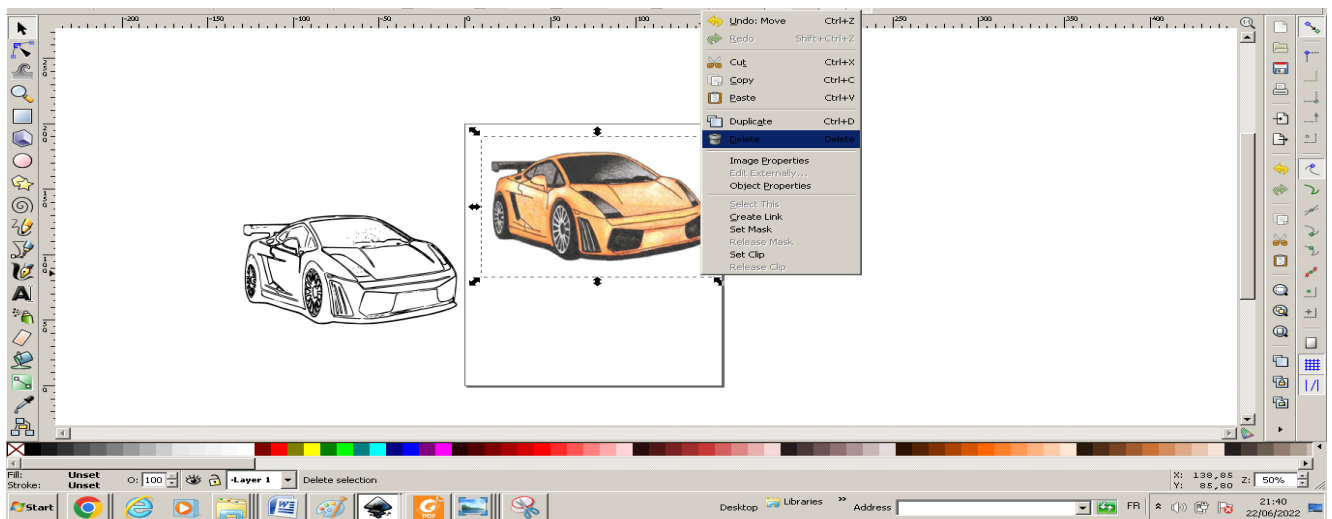


Figure 63: En appuyant sur Path, puis sur Trace Bitmap, puis en ajustant l'image avec certaines valeurs

**Étape 2 :** Après avoir ajouté l'effet, nous remarquons la formation d'un graphique au-dessus de l'image

Figure 64: Faire un deuxième dessin de la voiture



de la voiture, nous le faisons glisser puis supprimons l'image d'origine de la voiture, Figure 64 -65

**Étape3 :** Maintenant, nous faisons glisser le graphique formé à partir de l'image vers le cadre sélectionné, puis nous l'enregistrons à un endroit spécifique sous la forme d'un fichier de **G code** via le **File**, puis choisissons **Save as** Ensuite, nous nommons le fichier et choisir un format **G code** puis on clique sur enregistrer Figure 65.

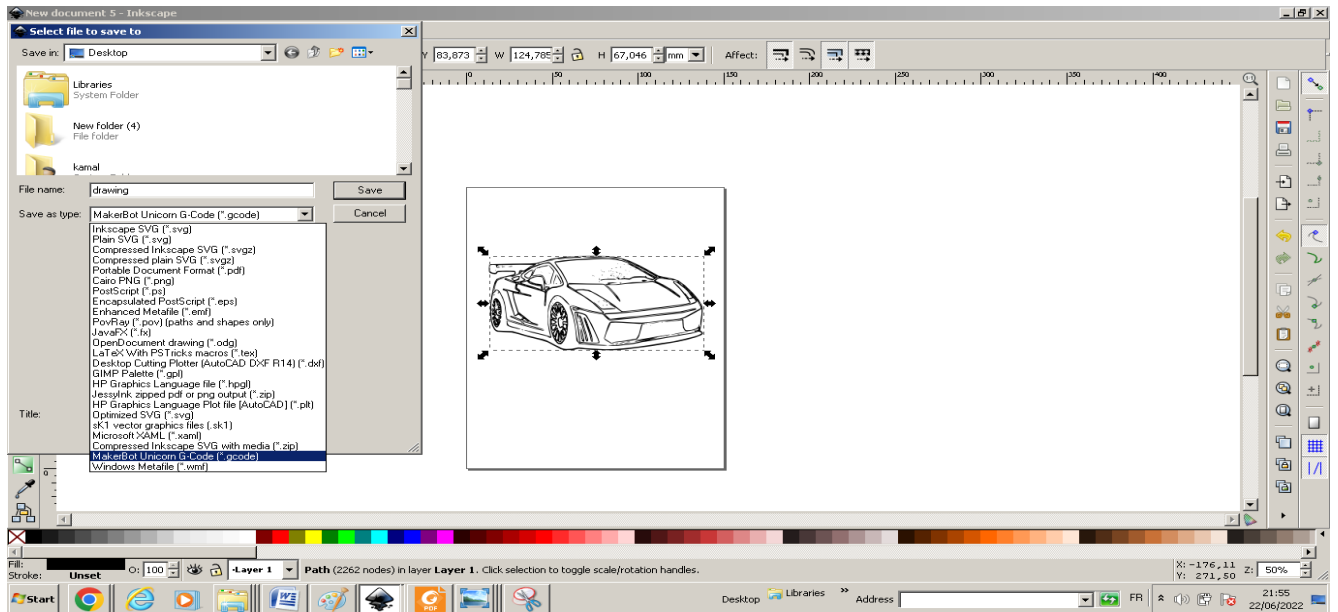


Figure 65: Supprimer l'image d'origine et mettre la deuxième image

**2) Traitement de texte :** Nous écrivons le texte puis le convertissons en image à l'aide du programme Paint .Selon les mêmes méthodes précédentes en traitement d'image, nous enregistrons le texte sous la forme d'un fichier **G code** Figure 66.

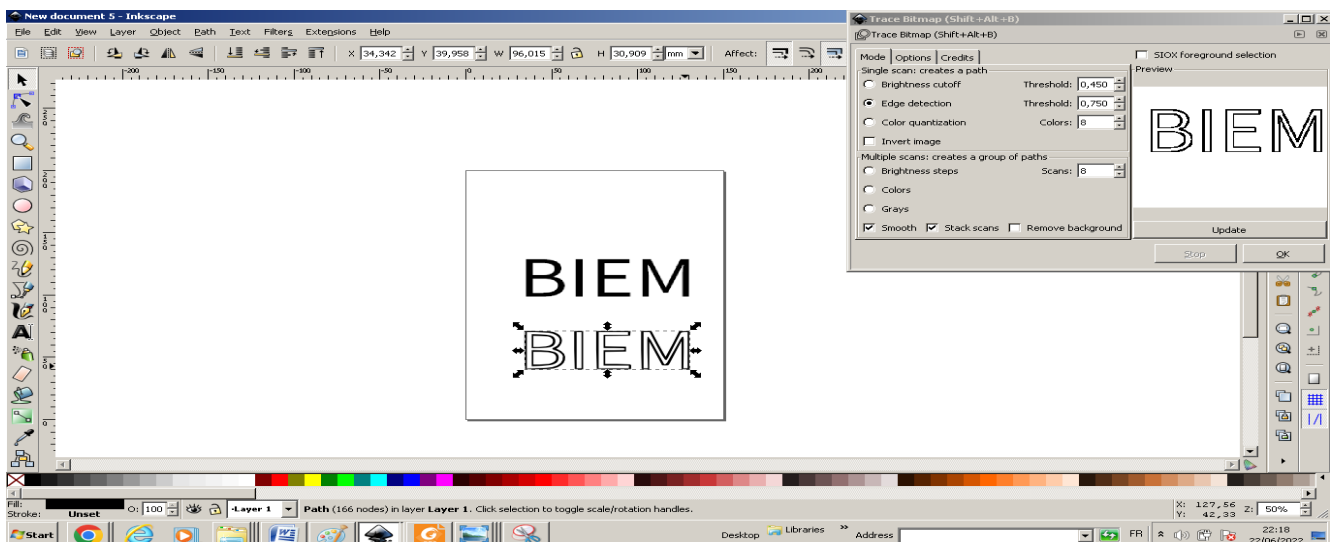


Figure 66: Une deuxième écriture est identique à la première écriture

### III.6.3 Programme Gctrl :

#### III.6.3.1 Explication de l'interface du programme :

La figure 67 montre l'interface simple du programme, qui contient cinq commandes importantes comme suit :

- 1) spécifier le port de communication en appuyant sur la lettre **p** du clavier.
- 2) La descente et la remontée du stylo **2 et 5**
- 3) Lorsque vous appuyez sur la lettre **h**, le stylet de l'imprimante revient à la position initiale, c'est-à-dire aux coordonnées (0,0).
- 4) Ramenez le stylo à l'état initial
- 5) Pour télécharger le fichier **Gcode** à envoyer à l'imprimante, en appuyant sur la lettre **g**.
- 6) Affichez le numéro du port connecté et la précision du dessin sélectionné.

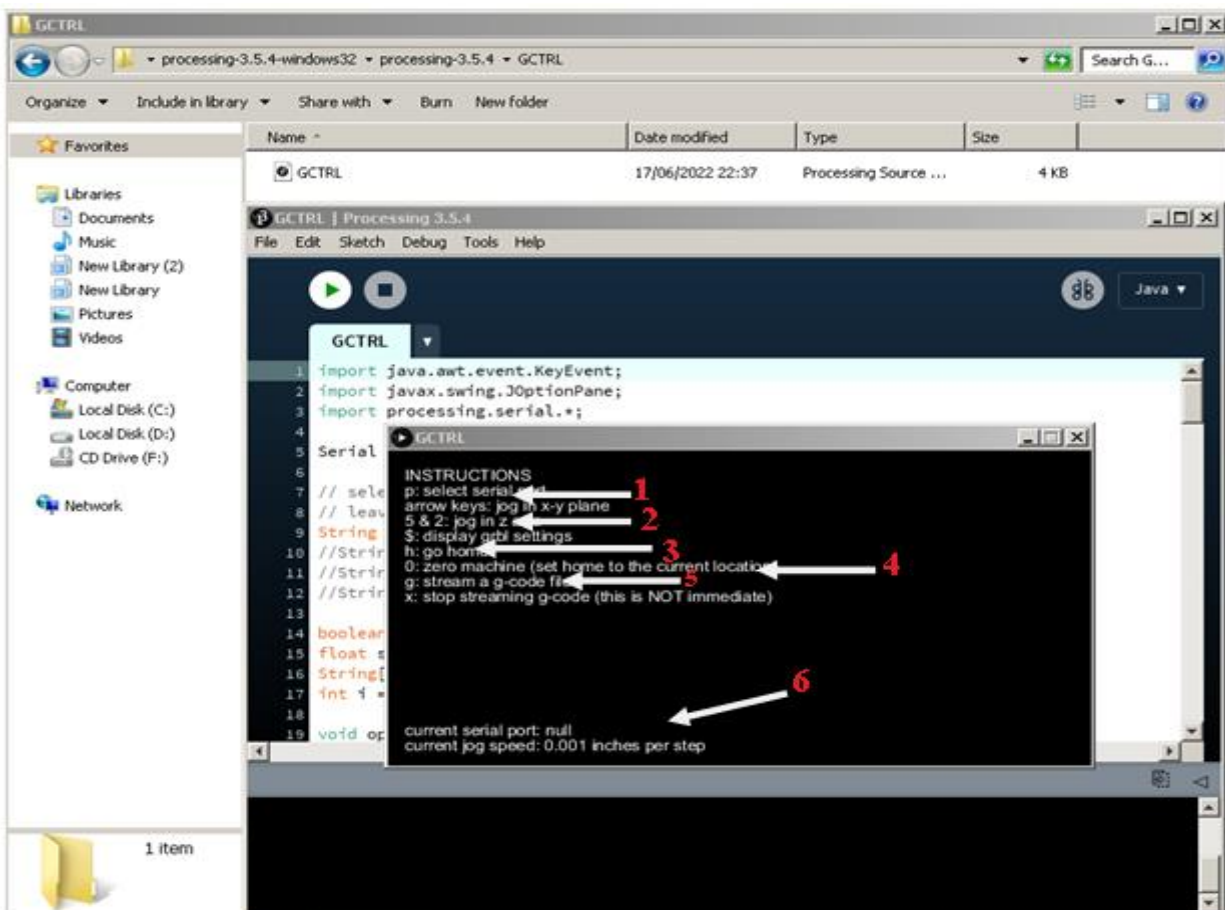


Figure 67: interface du programme GCTRL

### III.6.3.2 Envoi des fichiers Gcode :

Pour envoyer les fichiers **G code** que nous avons préparés précédemment, nous suivons les étapes suivantes :

**Étape 01 :** Nous spécifions le port de communication en appuyant sur la lettre **p** puis choisissons le numéro de port connecté à la carte Arduino **Figure 68 - 69**

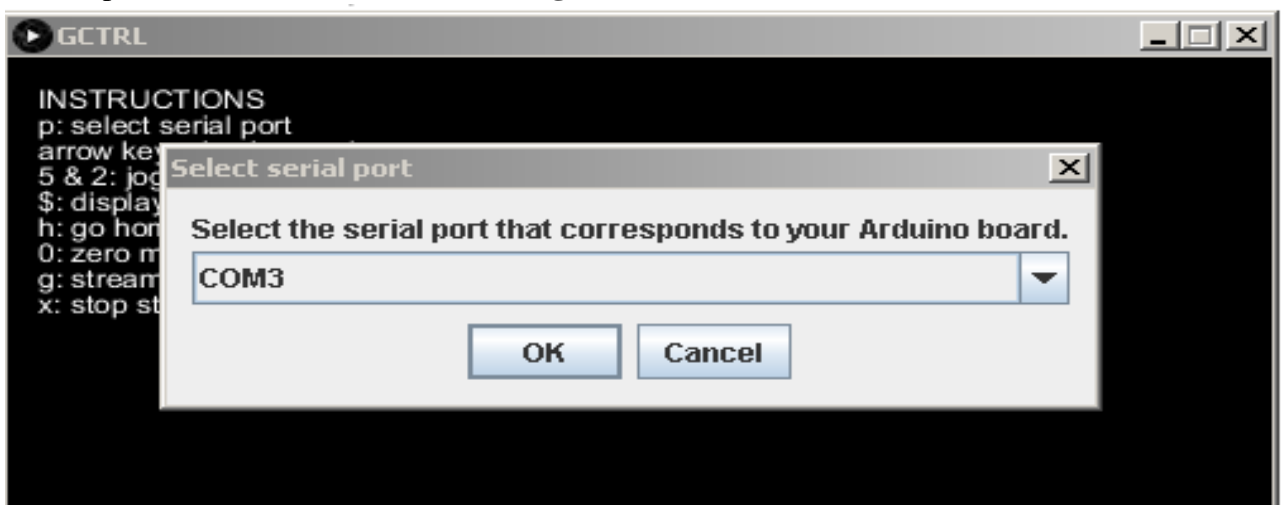
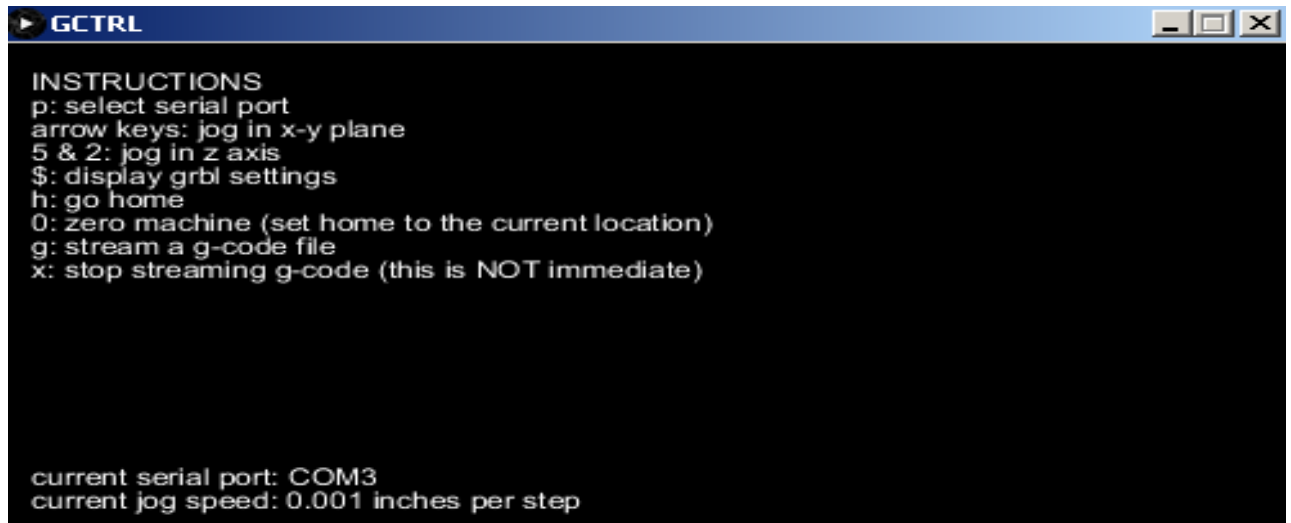


Figure 68: Sélectionnez le port de communication



The screenshot shows a window titled 'GCTRL' with a black background and white text. The text is organized into two sections. The first section, 'INSTRUCTIONS', lists several commands: 'p: select serial port', 'arrow keys: jog in x-y plane', '5 & 2: jog in z axis', '\$: display grbl settings', 'h: go home', '0: zero machine (set home to the current location)', 'g: stream a g-code file', and 'x: stop streaming g-code (this is NOT immediate)'. The second section, located at the bottom left, displays the current settings: 'current serial port: COM3' and 'current jog speed: 0.001 inches per step'.

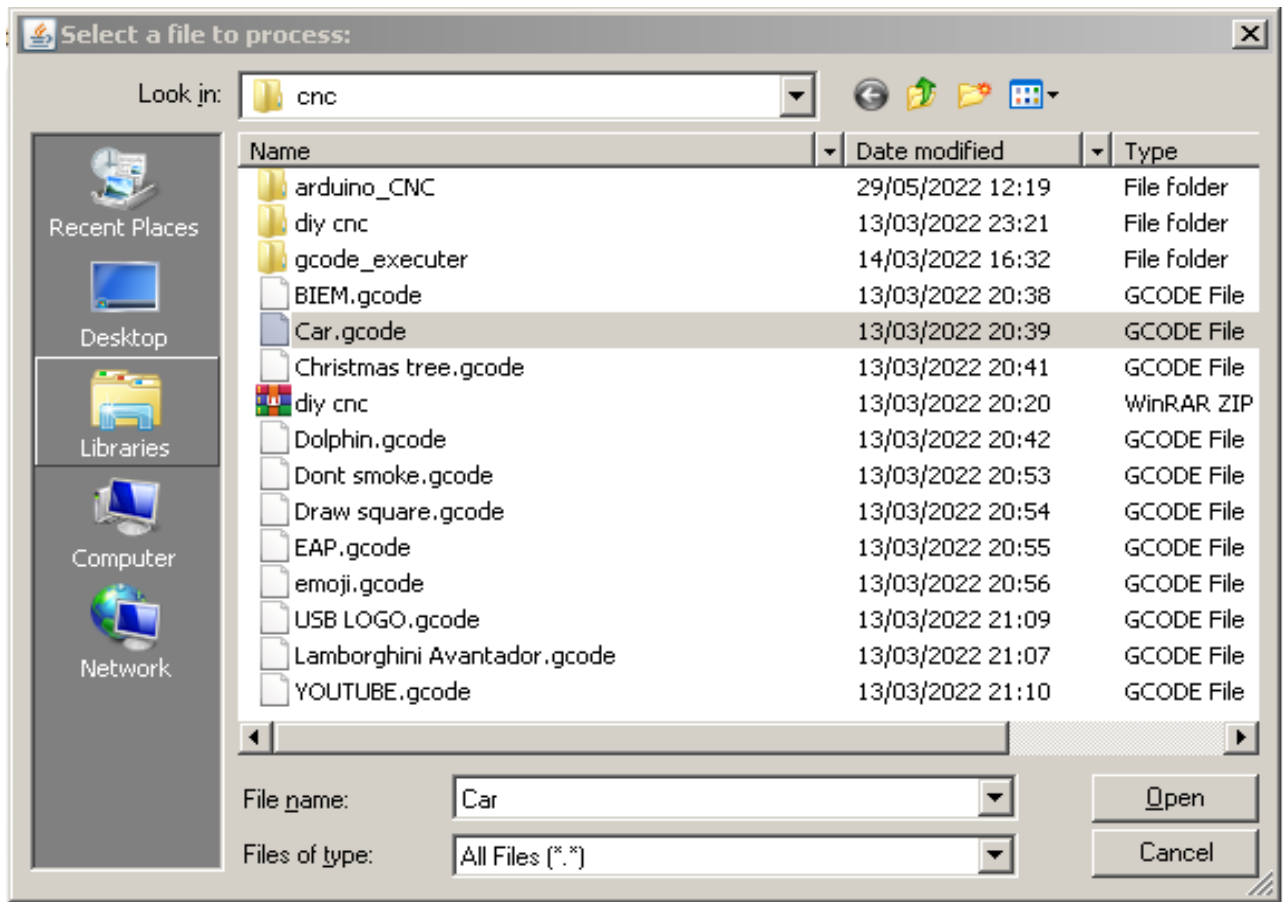
```
INSTRUCTIONS
p: select serial port
arrow keys: jog in x-y plane
5 & 2: jog in z axis
$: display grbl settings
h: go home
0: zero machine (set home to the current location)
g: stream a g-code file
x: stop streaming g-code (this is NOT immediate)

current serial port: COM3
current jog speed: 0.001 inches per step
```

*Figure 69: Le port est sélectionné COM3*

**Étape 2 :** Nous envoyons le fichier **G code** à la carte Arduino en appuyant sur la lettre **g** sur le c

lavier puis en spécifiant le fichier à envoyer **Figure 70**.



*Figure 70: Sélectionnez le fichier graphique*

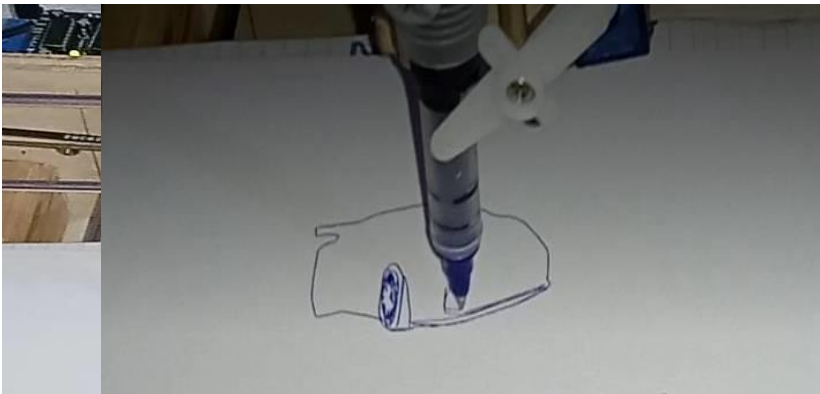
Avant de commencer le premier dessin avec une machine CNC 2D, il faut d'abord effectuer les étapes suivantes :

1) Remettre manuellement les moteurs pas à pas en position initiale afin que les axes x et y soient dans les coordonnées ( 0,0 ).

2) Assurez-vous qu'il n'y en a pas qui gênent le mouvement des essieux ou entraînent des frottements lors de leur mouvement.

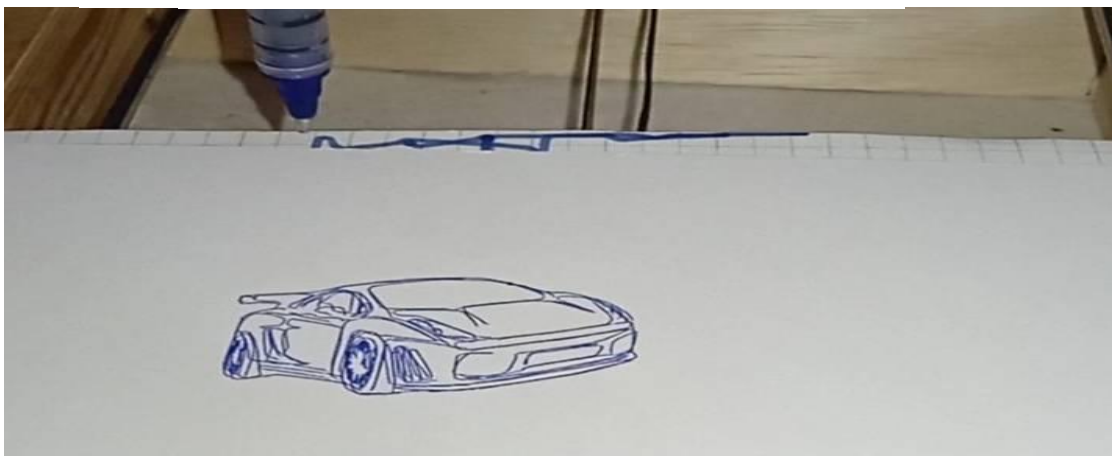
3) Nous posons une feuille de papier sur la zone de dessin, puis nous la fixons fermement avec deux clips.

Après avoir effectué les étapes précédentes, nous envoyons successivement les fichiers **G code** que nous avons préparés à la carte Arduino. Vous remarquez que le stylo de machine CNC a commencé à bouger et à dessiner sur le papier, **Figure 71 – 72 -73**.

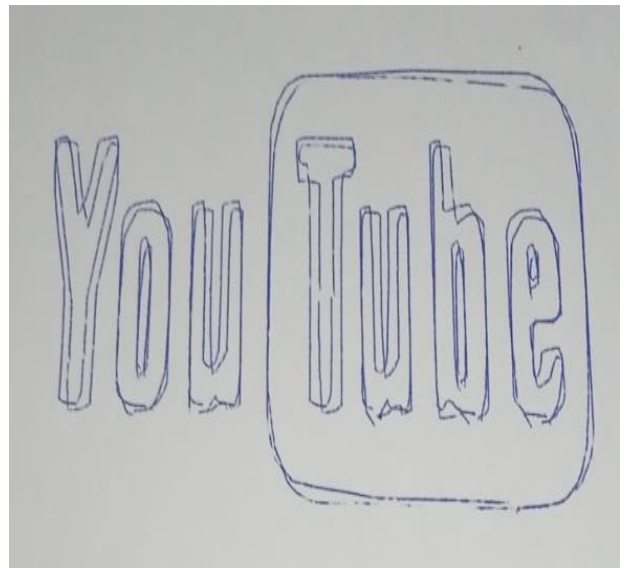
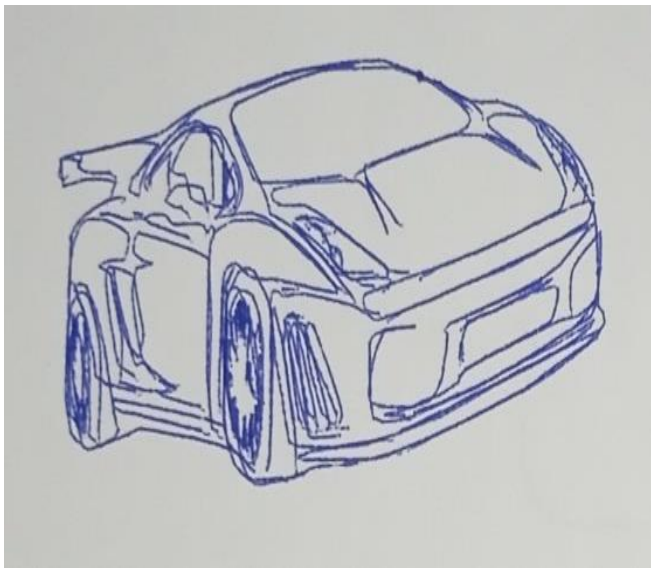


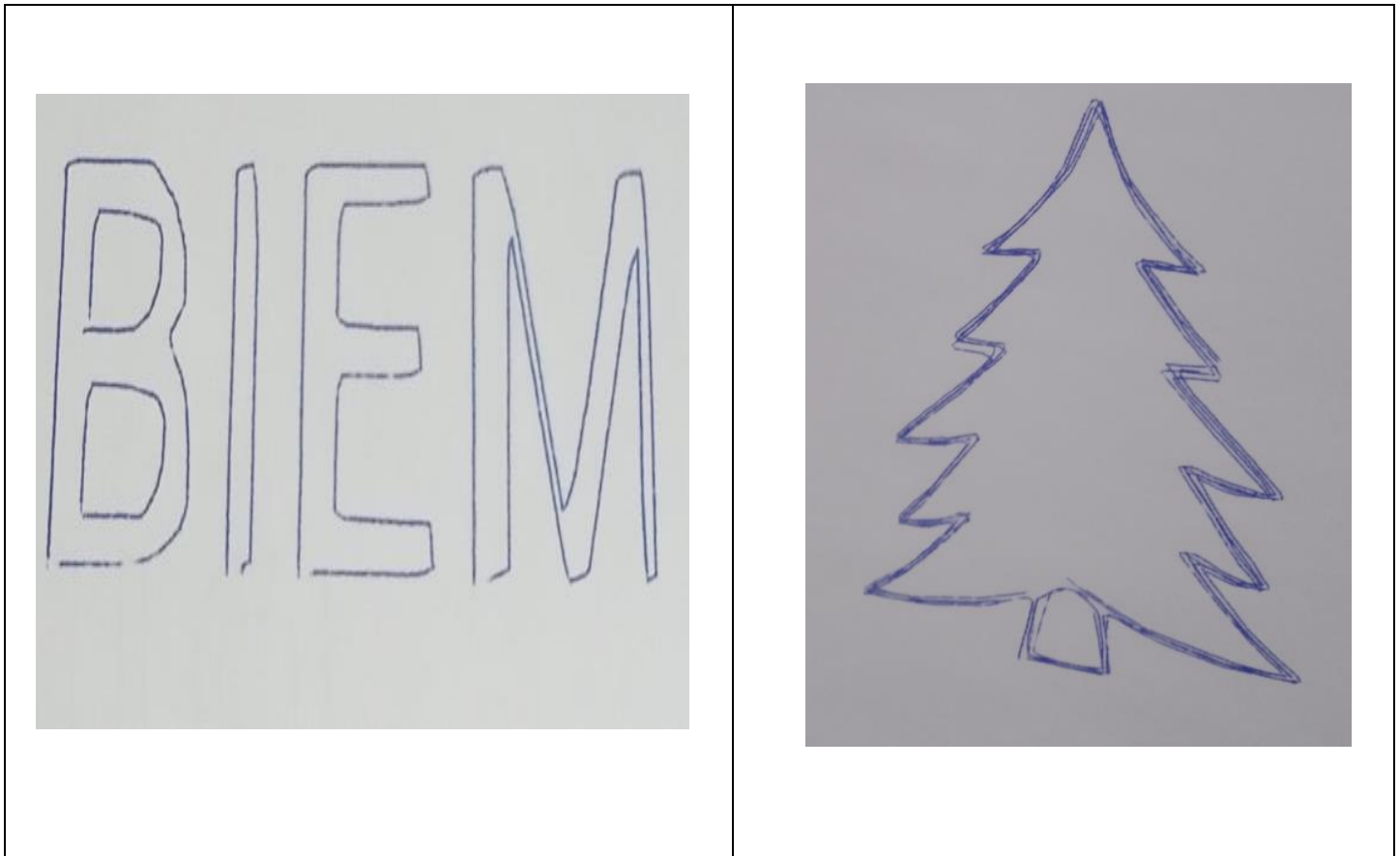
*Figure 71: début de dessin de voiture*

*n de voiture terminé*

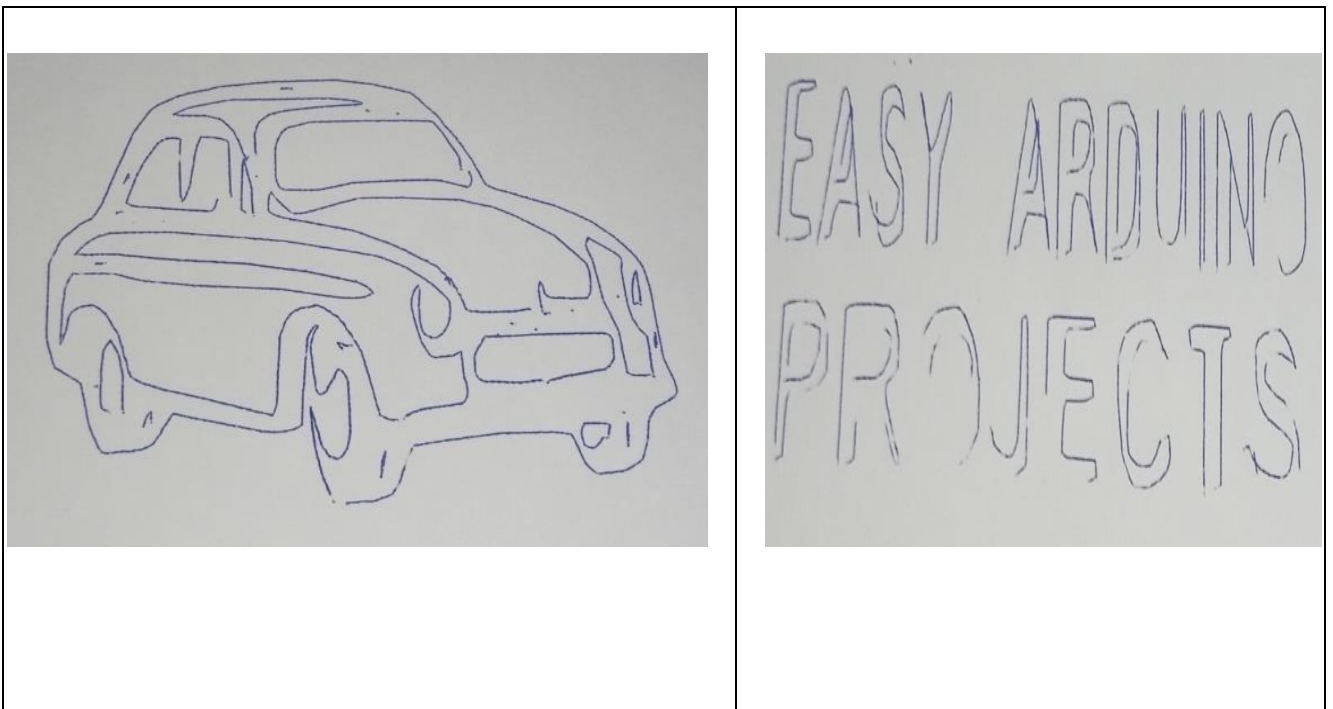


**Dessins à la machine CNC 2D**





**Tableau 4: Exemples dessinés à la machine CNC**



**Tableau 5 : Exemples dessinés à la machine CNC**

### **III.8 Conclusion :**

Malgré les difficultés rencontrés lors de la réalisation, notre objectif de concevoir et construire une machine CNC a été atteint. Nous avons pu faire fonctionner la machine en la commandant avec notre propre programme. Des améliorations sont nécessaires pour corriger les erreurs mécaniques que nous considérons comme un potentiel pour de nouvelles recherches.

# ***Conclusion générale***

## Conclusion général :

Notre projet de fin d'études porté sur la conception et la réalisation d'un modèle de machine CNC utilisant le langage de programmation numérique G-Code et le contrôleur ATmega328.

En conclusion, voici les réalisations de ce projet et les étapes qui ont été suivies lors de sa mise en œuvre :

- Maîtrise de la programmation G-code.
- Capacité à faire fonctionner et à contrôler des moteurs pas à pas et des servomoteurs.
- Fabrication et production de machines en assemblant différents aspects (hardware et software).

Il convient de noter que nous avons rencontré de nombreux problèmes lors de la conception du contrôle et de la mise en œuvre pratique, mais grâce à ce que nous avons appris au cours de nos études académiques et pratiques, représentés par la difficulté de sélectionner les pièces électroniques nécessaires au projet et leur disponibilité uniquement dans des états spécifiques, mais cela ne nous a pas dissuadé de continuer faire des efforts et s'efforcer d'obtenir ce que nous voulons. Le mécanisme n'a pas été facile d'installer les pièces de la machine avec la précision nécessaire, car après de nombreuses tentatives, nous avons pu les installer correctement, ce qui est l'une des conditions nécessaires pour la précision du dessin. Quant aux programmes qui contrôlent la machine à commande numérique, nous avons essayé de les simplifier au maximum pour être accessible à tous malgré toutes les difficultés , mais grâce à ce que nous avons appris au cours de nos études académiques et pratiques, et selon Le devoir de recherche et d'étude, et avec l'aide de notre professeur, nous avons su affronter toutes les difficultés et atteindre notre objectif.

Lors de la réalisation de ce projet, nous avons appris le principe de fonctionnement des machines CNC, un type de machine commandée par ordinateur qui exécute certains processus industriels et fonctionne sur trois axes, X, Y, Z... et plus encore.

Notre succès dans la réalisation de notre projet nous a ouvert à la compréhension de nombreuses technologies modernes, notamment celles liées au monde de l'électronique numérique.

Ce projet était une situation intégrative que nous avons pu résoudre, et cela nous a permis d'acquérir de nombreuses connaissances et compétences.

La conception et la réalisation de la machine demande des compétences en mécanique et électronique, des compétences acquit lors de notre cursus et qui ont été renforcées grâce à ce projet. De plus, la commande des moteurs en langage C demande des connaissances en informatique.

Il a été pour nous un grand plaisir de travailler sur une activité possédant des enjeux aussi passionnants et pluridisciplinaire, et nous à donner la motivation pour mener à terme ce projet qui est conforme avec notre formation d'électromécanicien.

# **BIBLIOGRAPHIE**

## Références

- [1] M. Correvon. « LES MOTEURS PAS À PAS ». (CD\SEM\Cours\Chap7,doc).
- [2] IDDIR Hayet, « ETUDE ET REALISATION D'UN KIT ELECTRONIQUE DU TYPE SYSTEME EMBARQUE A BASE DE MICROCONTROLEUR APPLICATION AU CONTROLE D'UN BRAS DE ROBOT A 4 DEGRES DE LIBERTES », Université M'Hamed BOGUERRA, Boumerdes Option Commande des Procédés Industriels , (2013).
- [3] CHATBI Hamid 2017, Réalisation d'une commande pour une machine (SNC, 3D), Mémoire de Master, Université akli mohand oulhadj bouira.
- [4] *Takashi Kenjo and Akira Sugawara* , «*stepping motors and their microprocessor controls* » Oxford University Press , ISBN 0-19-859385-6.
- [5] Chaia.H et Ledouali.N. « Etude et réalisation d'un table CNC ». Mémoire Master .Univmhamed bougerra- Boumerdès. Année : 2015/2016.
- [6] <http://moteur-industrie.com/moteurs-pas-a-pas/technique.html>.
- [7] Gerard Yvraut : Les moteurs pas a pas. In Séminaire Bellegarde Nov 99, 1999.
- [8] Gilles,P.(1996).Commande numériquedesmachines-outils.Ed.Techniques d'ingénieur. Génie mécanique, Usinage, B7, France.
- [9] Gilles,P.(1996).Commande numérique des machines-outils.Ed.Techniques d'ingénieur. Génie mécanique, Usinage, B7, France.
- [10] Chanez Guerrouabi , Roza Ait Rahmane.2018. Etude et conception d'une machine CNC (Découpeuse laser). Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.
- [11] Abdennadji Youssef, Ahmadi Anouar.juin 2010, Conception et réalisation d'une commande numérique d'une machine de decouplaser , Ingénieur d'école nationale de Gabés.
- [12] BELLOUFI Abderrahim, Université Kasdi Merbah Ouargla,, <https://elearn.univ ouargla.dz/2013-2014/courses/MOCN/.../CHAPITREIV.pdf>: «Machines-outils à commande numérique», Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 2010.
- [13] A. Cheikh, N. Cheikh, 2011, cours de CFAO1, Université de Tlemcen, Algérie.

- [14] D. Gelin, M. Vincent « éléments des fabrications », Edition marketing, paris, Mars 1995.
- [15] Y. GUERMAT. Conception et réalisation du logo Tlemcen capitale de la Culture islamique en 3D, 2011/2012.
- [16] <http://www.generationrobots.com/fr/152-arduino>. consulter le: 04/2022.
- [17] Arduino. Mémoire de D.E.A., 2011-12-22
- [18] Jean-Noël Montagné : Initiation à la mise en oeuvre matérielle et logicielle de l'arduino. Centre de Ressources Art Sensitif
- [19] S.V.D.Reyvanth, G.Shirish, « PID controller using Arduino ».
- [20] C. Tavernier, « Arduino applications avancées ». Version Dunod.
- [21] X.HINAULT. [www.mon-club-elec.fr](http://www.mon-club-elec.fr)
- [22] <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- [23] <http://www.ELECTRONIQUEPRATIQUE.com>
- [24] <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- [25] [26/03/2022] Documentation Arduino ,  
<http://web.csulb.edu/~hill/ee400d/Technical%20Training%20Series/02%20Intro%20to%20Arduino.pdf>
- [26] <http://www.acm.uiuc.edu/sigbot/tutorials/2009-11-17-arduino-basics>.
- [27] <http://www.generationrobots.com/fr/152-arduino>. Consulter le: mars 2015. Téléchargé le 30/04/2022.
- [28] <https://www.cf-techno.com/shield-moteur-l293d>, téléchargé le : 03/2022.
- [29] Simon landrault ,hippoltye weisslinger, « Arduino : Premiers pas en informatique embarquée » ; déposé le : 19 juin 2014, Le blog d'Eskimon

## Résumé :

Les machines CNC jouent un rôle important dans plusieurs domaines de l'industrie moderne. Elles sont largement utilisées dans la production grâce à leurs précisions et hautes qualités, ce qui nous a encouragés à choisir ce projet. Nous avons présenté certaines notions principales à propos des machines CNC et du moteur pas à pas. C'est ce dernier que nous contrôlons via la carte Arduino UNO.

Côté pratique, nous avons fabriqué notre propre machine CNC 2D et choisi une des applications de la carte Arduino UNO pour la programmer et la piloter. Nous l'avons testée avec plusieurs dessins et les résultats ont été très satisfaisants.

**Mots clés :** Machine CNC, la carte Arduino UNO, moteur pas à pas.

## ملخص :

تلعب آلات CNC دوراً مهماً في العديد من مجالات الصناعة الحديثة. تستخدم على نطاق واسع في الإنتاج بفضل دقتها وجودتها العالية، وهذا ما شجعنا على اختيار هذا المشروع. قدمنا من خلاله بعض المفاهيم الرئيسية حول آلات CNC والمحرك الخطوي.

هذا الأخير الذي نتحكم به عن طريق بطاقة أريونو UNO .

أما الجزء العملي فقمنا بصناعة آلة CNC 2D الخاصة بنا واخترنا أحد تطبيقات بطاقة أريونو UNO لبرمجتها والتحكم بها. في الأخير قمنا بتجريبها بعدة رسومات.

**الكلمات المفتاحية :** آلة CNC ، بطاقة أريونو UNO ، المحرك الخطوي.

## Abstract :

CNC machines play an important role in several areas of modern industry. They are widely used in production due to their precision and high quality, which encouraged us to choose this project. We presented some main notions about CNC machines and stepper motor.

This is the last one we control through the Arduino UNO board.

On the practical side, we built our own 2D CNC machine and chose one of the Arduino UNO board applications to program and control it. For good, we tested it with several designs.

**Keywords:** CNC machine, Arduino UNO board, stepper motor.

