

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان -

**Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –**

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

**En : ELECTRONIQUE**

**Spécialité : INSTRUMENTATION**

**Par : BERRAH Sid Ahmed et DEKMOUS Adel Walid**

### **Sujet**

**Réalisation d'une table traçante commandée par PC**

Soutenu publiquement, le **08/10/2025**, devant le jury composé de :

M. MOULAY KHATIR AHMED NASSIM	MCA	Université de Tlemcen	Président
Mme BENBEKHTI FATIHA	MCA	Université de Tlemcen	Examineur
M. NEMMICHE AHMED	MCB	Université de Tlemcen	Encadrant

Année Universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **Remerciements**

D'abord, on remercie notre dieu pour la santé et la volonté de compléter ce mémoire.

Ce travail a été possible grâce à l'encadrement de M. NEMMICHE AHMED. Nous le remercions pour son encadrement exceptionnel et professionnel, pour sa patience et sa solidarité tout au long de la préparation de ce travail.

Nous tenons également à remercier Monsieur MOULAY KHATIR AHMED NASSIM d'avoir accepté de présider le jury.

Nos remerciements vont aussi à Madame BENBEKHTI FATIHA pour son acceptation d'examiner notre simple travail.

De plus, nous disons merci beaucoup à nos familles pour leur soutien continu durant cette période, leurs encouragements et leur confiance en nous. Tout ceci nous a permis d'avancer et de surmonter les difficultés rencontrées.

Enfin, nous remercions l'ensemble de nos professeurs pour leur générosité, leur leçons éducatives et scientifiques tout au long de ce parcours.

## Résumé

Ce projet consiste à réaliser un prototype de table traçante (CNC Plotter) permettant de reproduire automatiquement des graphiques, des dessins ou des images sur un plan en deux dimensions (axes X et Y). La commande de la table peut se faire directement depuis un ordinateur (PC), où une image est convertie en instructions numériques (G-code), ou bien par le biais de commandes via le clavier et la souris. Ces instructions sont ensuite interprétées par une carte de contrôle (Arduino UNO) qui pilote les moteurs pas à pas responsables du déplacement du stylo dans les deux axes. L'intégration d'un servomoteur permet de gérer les mouvements de montée et de descente du stylo afin d'assurer un tracé précis. La conception mécanique repose en partie sur la récupération de composants de lecteurs DVD et sur l'impression 3D pour les pièces de support. Ce projet illustre l'association de plusieurs domaines (électronique, mécanique, informatique et programmation) aboutissant à une machine fonctionnelle, éducative et économique pouvant être utilisée pour l'apprentissage des systèmes CNC à petite échelle.

### Mots clés :

- Table traçante
- Arduino UNO
- Microcontrôleur
- Moteur pas à pas
- Servomoteur
- Motor Driver Shield (L293D)

## **Abstract**

This project involves creating a prototype plotter (CNC Plotter) that can automatically reproduce graphics, drawings or images on a two-dimensional plane (X and Y axes). The plotter can be controlled directly from a computer (PC), where an image is converted into digital instructions (G-code), or via keyboard and mouse commands. These instructions are then interpreted by a control board (Arduino UNO) which drives the stepper motors responsible for moving the pen along the two axes. The integration of a servomotor allows the pen's up and down movements to be controlled to ensure precise tracing. The mechanical design is based in part on recycled DVD player components and 3D printing for the support parts. This project illustrates the combination of several fields (electronics, mechanics, computer science and programming) resulting in a functional, educational and economical machine that can be used for learning about small-scale CNC systems.

### **Keywords:**

CNC Plotter

Arduino UNO

Microcontroller

Stepper motor

Servomotor

Motor Driver Shield (L293D)

## ملخص

يتكون هذا المشروع من إنشاء نموذج أولي لطاولة رسم تسمح بنسخ الرسوم البيانية أو الرسومات أو الصور تلقائيًا على مستوى ثنائي الأبعاد. يمكن التحكم في الطاولة مباشرة من جهاز كمبيوتر، حيث يتم تحويل الصورة إلى تعليمات رقمية، أو عن طريق الأوامر الصادرة من لوحة المفاتيح والماوس. ثم يتم تفسير هذه التعليمات بواسطة بطاقة تحكم تتحكم في المحركات الخطوة بخطوة المسؤولة عن تحريك القلم في المحورين. يتيح دمج محرك مؤازر إدارة حركات صعود وهبوط القلم لضمان رسم دقيق. يعتمد التصميم الميكانيكي جزئيًا على استعادة مكونات مشغلات الاقراص والطباعة ثلاثية الأبعاد لقطع الدعم. يوضح هذا المشروع الجمع بين عدة مجالات (الإلكترونيات والميكانيكا والكمبيوتر والبرمجة) مما أدى إلى إنتاج آلة وظيفية وتعليمية واقتصادية يمكن استخدامها لتعلم أنظمة رسم على نطاق صغير.

### الكلمات الرئيسية :

طاولة رسم

ميكروكونترولر

محرك متدرج

محرك مؤازر

Arduino UNO

Motor Driver Shield (L293D)

# Table des matières

<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>TABLE DES FIGURES.....</b>	<b>- 8 -</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>- 10 -</b>
<b>I. DESCRIPTION DES COMPOSANTS .....</b>	<b>- 12 -</b>
<b>1. Introduction.....</b>	<b>- 12 -</b>
<b>2. Composants Utilisés .....</b>	<b>- 13 -</b>
<b>2.1. Arduino UNO .....</b>	<b>- 13 -</b>
2.1.1. Description .....	- 13 -
2.1.2. Schéma simplifié de la carte Arduino UNO.....	- 14 -
2.1.3. Microcontrôleur ATMEL ATmega328 .....	- 14 -
2.1.4. Broches d'alimentation.....	- 15 -
2.1.5. Broches Analogiques .....	- 15 -
2.1.6. Broches Numériques .....	- 16 -
2.1.7. Port USB .....	- 16 -
2.1.8. Prise d'alimentation.....	- 17 -
<b>2.2. Motor Driver Shield.....</b>	<b>- 17 -</b>
2.2.1. Description .....	- 17 -
2.2.2. Caractéristiques.....	- 18 -
2.2.3. Circuit Intégré L293D .....	- 18 -
2.2.4. Registre a décalage 74HC595.....	- 18 -
2.2.5. Alimentation .....	- 19 -
2.2.6. Branchement des moteurs DC .....	- 20 -
2.2.7. Branchement des moteurs pas à pas .....	- 20 -
2.2.8. Branchement des servomoteurs.....	- 21 -
<b>2.3. Moteur pas à pas .....</b>	<b>- 21 -</b>
2.3.1. Description .....	- 21 -
2.3.2. Principe de Fonctionnement .....	- 22 -
2.3.3. Modes de Fonctionnement .....	- 22 -
2.3.4. Différents Types des Moteurs pas à pas .....	- 23 -
2.3.5. Composants Principaux d'un Moteur pas à pas .....	- 24 -
<b>2.4. Servomoteur SG90 .....</b>	<b>- 25 -</b>

2.4.1.	Description .....	- 25 -
2.4.2.	Principe de Fonctionnement .....	- 25 -
2.4.3.	Composition du servomoteur.....	- 26 -
<b>2.5.</b>	<b>Impression 3D .....</b>	<b>- 27 -</b>
2.5.1.	Description .....	- 27 -
2.5.2.	Principe de Fonctionnement .....	- 27 -
<b>3.</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>- 28 -</b>
<b>II.</b>	<b>CONCEPTION ET REALISATION.....</b>	<b>- 29 -</b>
<b>1.</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>- 29 -</b>
<b>2.</b>	<b>Démontage et récupération des composants du lecteur DVD .....</b>	<b>- 30 -</b>
2.1.	Identification des composants utiles .....	- 30 -
2.2.	Méthodologie de démontage .....	- 31 -
2.3.	Avantages et limites des composants récupérés.....	- 33 -
<b>3.</b>	<b>Réalisation de la structure pour la base du montage .....</b>	<b>- 33 -</b>
<b>4.</b>	<b>Conception et impression des pièces en 3D .....</b>	<b>- 35 -</b>
<b>5.</b>	<b>Assemblage finale de la table traçante.....</b>	<b>- 36 -</b>
<b>6.</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>- 40 -</b>
<b>III.</b>	<b>PROGRAMMATION.....</b>	<b>- 41 -</b>
<b>1.</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>- 41 -</b>
<b>2.</b>	<b>Présentation des logiciels utilisés.....</b>	<b>- 41 -</b>
2.1.	Le logiciel Arduino IDE.....	- 41 -
2.2.	Le logiciel Processing.....	- 42 -
2.3.	Le logiciel Inkscape.....	- 43 -
<b>3.</b>	<b>Principe de fonctionnement .....</b>	<b>- 44 -</b>
<b>4.</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>- 45 -</b>
	<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>- 46 -</b>



## Table des figures

FIGURE I-1 : CARTE ARDUINO UNO .....	- 13 -
FIGURE I-2 : SCHEMA SIMPLIFIE DE LA CARTE ARDUINO UNO .....	- 14 -
FIGURE I-3 : LE MICROCONTROLEUR ATMEGA328 .....	- 14 -
FIGURE I-4 : LES PINS POWER DE L'ARDUINO UNO .....	- 15 -
FIGURE I-5 : LES PINS ANALOG IN DE L'ARDUINO UNO.....	- 15 -
FIGURE I-6 : LES PINS DIGITAL - PWM~ DE L'ARDUINO UNO .....	- 16 -
FIGURE I-7 : LE PORT USB DE L'ARDUINO UNO .....	- 16 -
FIGURE I-8 : LA PRISE D'ALIMENTATION DE L'ARDUINO UNO .....	- 17 -
FIGURE I-9 : MOTOR DRIVER SHIELD POUR ARDUINO UNO .....	- 17 -
FIGURE I-10 : L293D ET 74HC595 DANS UN MOTOR DRIVER SHIELD .....	- 18 -
FIGURE I-11 : LES DIFFERENTS MODES D'ALIMENTATION DU MOTOR DRIVER SHIELD .....	- 19 -
FIGURE I-12 : LE BRANCHEMENT DES 4 MOTEURS DC DANS LE MOTOR DRIVER SHIELD .....	- 20 -
FIGURE I-13 : LE BRANCHEMENT DES 2 MOTEURS PAS A PAS DANS LE MOTOR DRIVER SHIELD .....	- 20 -
FIGURE I-14 : LE DEUX BRANCHEMENT POUR LES SERVOMOTEURS DANS LE MOTOR DRIVER SHIELD.....	- 21 -
FIGURE I-15 : UN MOTEUR PAS A PAS.....	- 22 -
FIGURE I-16 : UN MOTEUR PAS A PAS A RELUCTANCE VARIABLE .....	- 23 -
FIGURE I-17 : UN MOTEUR PAS A PAS A AIMANT PERMANENT .....	- 23 -
FIGURE I-18 : UN MOTEUR PAS A PAS HYBRIDE .....	- 24 -
FIGURE I-19 : LE SCHEMA D'UN MOTEUR PAS A PAS .....	- 24 -
FIGURE I-20 : UN SERVOMOTEUR SG90 .....	- 25 -
FIGURE I-21 : FONCTIONNEMENT D'UN SERVOMOTEUR.....	- 26 -
FIGURE I-22 : LES COMPOSANTS D'UN SERVOMOTEUR.....	- 26 -
FIGURE I-23 : EXEMPLE D'UNE CONCEPTION DES OBJETS 3D.....	- 27 -
FIGURE II-1 : LECTEUR DVD AVANT ET APRES DEMONTAGE.....	- 31 -
FIGURE II-2 : LES MOTEURS PAS A PAS APRES LA SOUDURE .....	- 31 -
FIGURE II-3 : MULTIMETRE RELIE AVEC LE MOTEUR PAS A PAS .....	- 32 -
FIGURE II-4 : MULTIMETRE EN POSITION COURT-CIRCUIT .....	- 32 -
FIGURE II-5 : LES DEUX PHASES DU MOTEUR PAS A PAS .....	- 33 -
FIGURE II-6 : LA STRUCTURE DU SUPPORT POUR NOTRE TABLE TRAÇANTE.....	- 34 -
FIGURE II-7 : LES FIXATIONS SUR LE REVERS DE LA PLANCHE.....	- 34 -
FIGURE II-8 : SUPPORT DU SERVOMOTEUR ET DU STYLO .....	- 35 -
FIGURE II-9 : SUPPORT FINALE POUR L'AXE Z.....	- 35 -
FIGURE II-10 : MECANISMES DES AXES X ET Y.....	- 36 -
FIGURE II-11 : L'AXE X AVEC LE SUPPORT DU STYLO ET DU SERVOMOTEUR .....	- 37 -
FIGURE II-12 : LE BOUT DE LA PLANCHE EN BOIS COLLE AVEC LA SURFACE EN PLASTIQUE .....	- 37 -
FIGURE II-13 : LES FIXATIONS EN AIMANTS POUR LA FEUILLE .....	- 38 -

FIGURE II-14 : LA SURFACE DE TRAÇAGE FIXEE SUR L'AXE X .....	- 38 -
FIGURE II-15 : LA CARTE ARDUINO AVEC LE MOTOR DRIVER SHIELD APRES RESOLUTION DU COURT-CIRCUIT.....	- 39 -
FIGURE II-16 : LA TABLE TRAÇANTE APRES ASSEMBLAGE FINALE.....	- 39 -
FIGURE III-1 : L'INTERFACE D'ARDUINO IDE.....	- 42 -
FIGURE III-2 : L'INTERFACE DU LOGICIEL PROCESSING .....	- 43 -
FIGURE III-3 : L'INTERFACE DU LOGICIEL INKSCAPE.....	- 43 -

## Introduction Générale

Dans un contexte de développement technologique exponentiel, l'évolution des composants s'articule autour de deux axes principaux : la miniaturisation et l'optimisation de la finesse des dispositifs technologiques.

Les avancées technologiques contemporaines offrent aux êtres humains la possibilité de vivre dans un confort accru, en minimisant les efforts physiques requis. Dans cette perspective, plusieurs moyens ont été élaborés dans le but de réduire la part de l'intervention humaine dans les processus de production. L'accomplissement de ces objectifs peut être atteint grâce à des machines dont le contrôle est assuré par le biais d'un ordinateur. De nos jours, des dispositifs ont pris place pour tracer des images, des circuits, ou simplement des dessins, ainsi que ce que l'on nomme la « *table traçante* ». [1]

Un traceur peut être défini comme un type d'appareil spécialisé servant à l'impression d'un dessin élaboré à l'aide d'un stylo, d'un crayon, ou d'un outil de dessin. Son avantage réside dans sa capacité à assurer une efficacité accrue, une flexibilité optimisée ainsi qu'un coût de production réduit, associé à une diminution significative des temps de travail et des pertes de production. Son processus se déroule principalement en trois étapes. Dans un premier temps, un ensemble de données doit être réceptionné. Puis, ces données doivent faire l'objet d'une interprétation. Enfin, une réaction adaptée doit être mise en œuvre à la suite de cette interprétation. [2]

La gestion du fonctionnement de la machine est assurée par des codes et des nombres spécifiques qui forment des commandes séquentielles, communément appelées « *programme* ». Ces dernières sont utilisées pour assurer un contrôle automatisé de la machine, ainsi que la production d'une pièce spécifique avec des caractéristiques dimensionnelles prédéfinies.

La conception de ce système nécessite un dispositif de contrôle à trois axes, permettant de réguler les mouvements selon les axes X, Y et Z. Dans le cadre de la modélisation mécanique, il est essentiel de comprendre la manière dont les différents axes du

systeme sont contrôlés. En effet, les axes X et Y peuvent être pilotés par l'intermédiaire de deux moteurs pas à pas, tandis que l'axe Z est géré par un servomoteur qui permet d'élever ou d'abaisser le stylo. [3]

## Chapitre I

### I. Description des Composants

#### 1. Introduction

L'emploi de la technologie des traceurs s'est affirmé comme une solution performante et avantageuse pour convertir des conceptions numériques en résultats physiques avec une précision remarquable. Ces systèmes s'appuient sur des moteurs pas à pas, des contrôleurs et une structure mécanique destinée à guider un outil, souvent un stylo, sur une surface définie. Ils permettent la reproduction de tracés vectoriels. Les traceurs sont généralement conçus pour fonctionner avec des interpréteurs « *G-Code* » incorporés au « *firmware* » ou avec des logiciels de contrôle qui gèrent les séquences de mouvement, dans notre cas, nous avons utilisé une carte « Arduino UNO ». En comparaison avec les méthodes de traçage manuelles traditionnelles, les systèmes de « *plotter* » présentent plusieurs avantages, notamment en termes de répétabilité, de précision et de capacité à automatiser des motifs complexes avec une intervention humaine minimale. [4]

L'Arduino, une plateforme électronique open-source, a été conçue dans l'optique de démocratiser l'apprentissage et la pratique de l'électronique. Elle s'adresse aussi bien aux débutants qu'aux passionnés souhaitant approfondir leurs compétences. L'objet de cette étude est une plateforme qui se distingue par sa simplicité d'utilisation et sa grande flexibilité. Ces caractéristiques lui confèrent la capacité de concevoir et de réaliser une multitude de projets, couvrant un large éventail de domaines, tels que la domotique, la robotique et les systèmes embarqués. La carte se caractérise par la présence de deux types de connexions, à savoir les entrées et les sorties numériques et analogiques, dont la programmation permet l'interaction avec une vaste gamme de composants électroniques. Ces derniers incluent notamment les moteurs DC, les servomoteurs, les capteurs de lumière, les capteurs de distance, les boutons-poussoirs, les télécommandes, et bien d'autres encore.

# Chapitre I

## 2. Composants Utilisés

### 2.1. Arduino UNO

#### 2.1.1. Description

La carte « *Arduino UNO* », développée par la société « ARDUINO », repose sur un microcontrôleur « ATMEL » de type « ATmega328 », un composant 8 bits appartenant à la famille des « AVR ». Ce microcontrôleur peut être programmé en langage « C » ou « C++ », ce qui en fait un excellent support pour l'apprentissage de la programmation embarquée.

L'un des atouts majeurs des cartes Arduino (parmi lesquelles on trouve aussi les modèles « *Mega* », « *Nano* », etc.) réside dans leur simplicité d'utilisation. Un environnement de développement intégré (IDE Arduino), basé sur des outils open-source, est mis à disposition. Le transfert du programme compilé vers la mémoire du microcontrôleur se fait de manière très intuitive, généralement via le port USB.

De plus, un grand nombre de bibliothèques de fonctions sont proposées pour faciliter la gestion des entrées/sorties classiques : entrées/sorties numériques (TOR), conversion analogique/numérique (ADC), génération de signaux PWM, communication via les bus I2C/TWI, contrôle de servomoteurs, utilisation d'afficheurs LCD, etc.

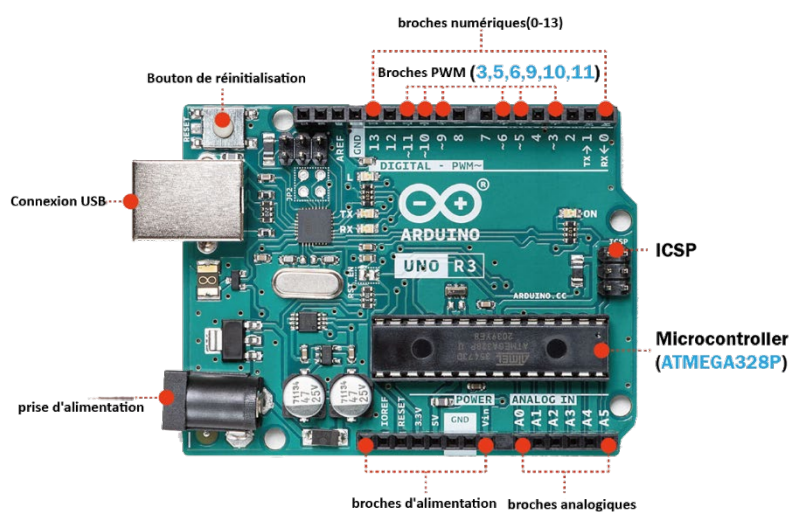


Figure I-1 : Carte Arduino UNO

# Chapitre I

## 2.1.2. Schéma simplifié de la carte Arduino UNO

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

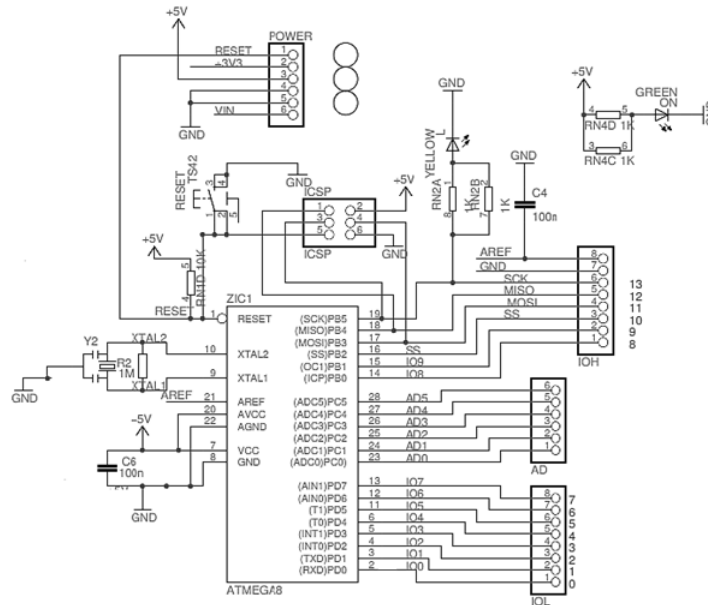


Figure I-2 : Schéma simplifié de la carte Arduino UNO

## 2.1.3. Microcontrôleur ATMEL ATmega328

Le microcontrôleur « ATmega328 » de 8 bits constitue le cœur de la carte « Arduino UNO ». Il dispose de trois puces de mémoires ; Une mémoire « Flash » pour le « programme », une mémoire volatile « SRAM » et une mémoire non volatile « EEPROM ».

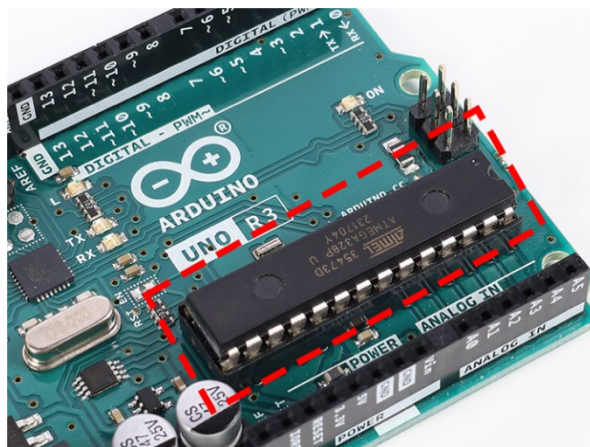


Figure I-3 : Le microcontrôleur ATmega328

## Chapitre I

Il est doté de : 23 broches d'entrées et sorties numériques, chaque broche peut réaliser plusieurs fonctions selon la configuration logicielle. Trois minuteries qui permettent de générer jusqu'à 6 sorties « PWM ». Six entrées analogiques converties via un convertisseur « ADC » de 10 bits. Et des broches de communications et des interruptions.

### 2.1.4. Broches d'alimentation

Les broches « 3,3V », « 5V » et « GND » délivrent chacun un niveau de tension spécifique adapté aux besoins du circuit. La broche « Reset » remplit la fonction d'un interrupteur de redémarrage, permettant ainsi à la carte de retrouver son état initial.

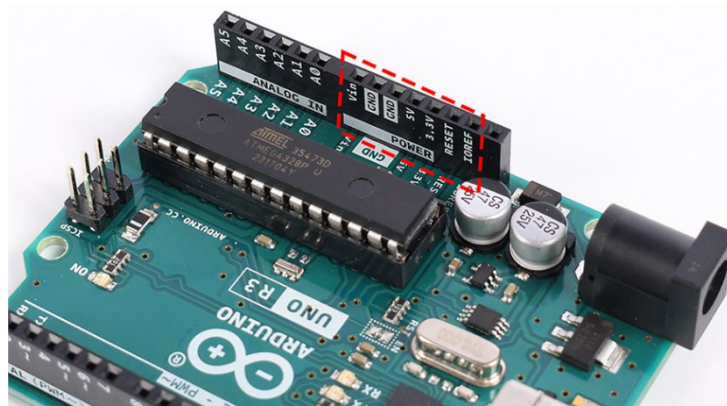


Figure I-4 : Les PINs POWER de l'Arduino UNO

### 2.1.5. Broches Analogiques

Ces broches sont conçues pour lire des niveaux de tension variables, ce qui les rend idéales pour recueillir des données provenant de capteurs. Elles permettent de mesurer des grandeurs physiques telles que la luminosité, la température ou encore la pression exercée sur un capteur.

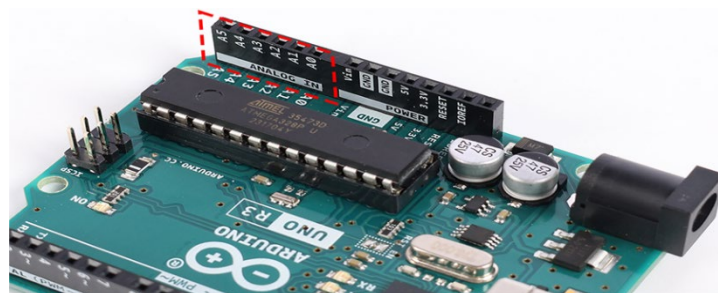


Figure I-5 : Les PINs ANALOG IN de l'Arduino UNO

## Chapitre I

### 2.1.6. Broches Numériques

Les broches numériques, quant à elles, sont des composants électroniques qui agissent comme de petits commutateurs, permettant ainsi leur activation ou leur désactivation. Ces interfaces servent à la gestion de composants tels que des diodes électroluminescentes ou à la détection de l'état de boutons. Il est à noter que certaines de ces unités disposent de la fonction « PWM », qui permet de moduler la puissance électrique envoyée. Cette fonction est particulièrement adaptée pour la variation de l'intensité lumineuse ou l'ajustement de la vitesse d'un moteur.

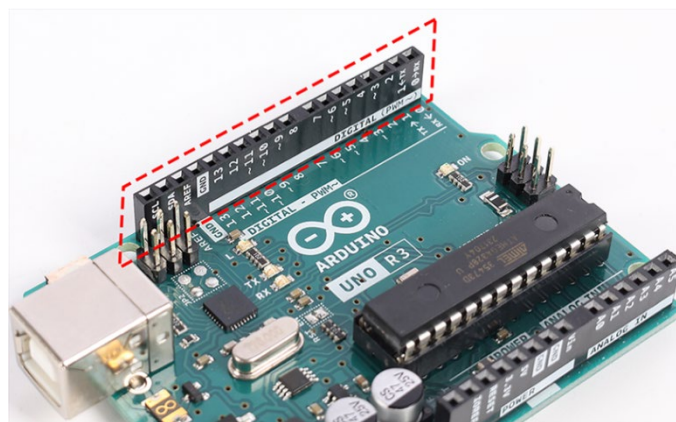


Figure I-6 : Les PINs DIGITAL - PWM~ de l'Arduino UNO

### 2.1.7. Port USB

Ce port assure la connexion entre l'appareil « Arduino » et l'ordinateur, permettant ainsi le téléchargement de programmes et la définition des fonctionnalités de la carte.

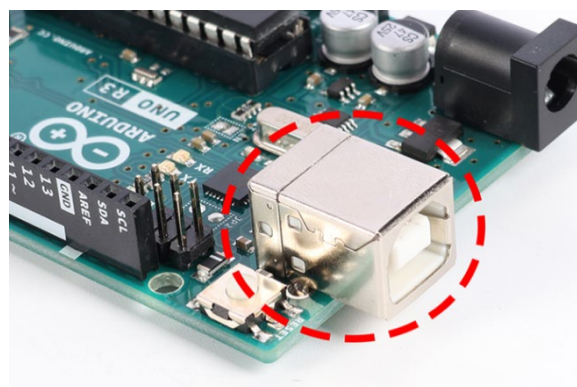


Figure I-7 : Le Port USB de l'Arduino UNO

# Chapitre I

## 2.1.8. Prise d'alimentation

Il s'agit de l'interface permettant l'alimentation d'une source d'énergie externe, telle qu'une batterie, de manière à garantir le fonctionnement autonome de l'appareil « *Arduino* », sans nécessiter une connexion physique à un ordinateur.

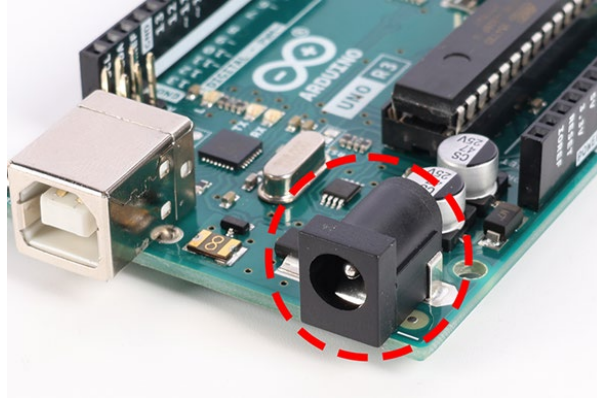


Figure I-8 : La prise d'alimentation de l'Arduino UNO

## 2.2. Motor Driver Shield

### 2.2.1. Description

Le « *Motor Driver Shield* » se présente comme une carte d'extension qui se connecte directement sur une carte *Arduino*. Son objectif est de permettre le contrôle de moteurs requérant une puissance ou un courant supérieur à la capacité des pins de l'*Arduino*. Il agit comme une interface entre l'*Arduino* et les moteurs, permettant de gérer la direction, la vitesse et, occasionnellement, le freinage des moteurs. Ces « *shields* » sont couramment employés dans des projets de robotique, de véhicules radiocommandés ou d'automatisation. [5]

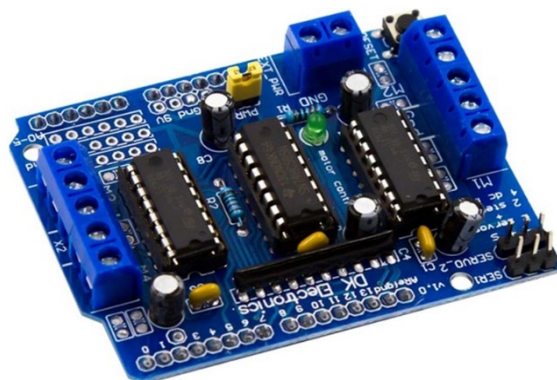


Figure I-9 : Motor Driver Shield pour Arduino UNO

# Chapitre I

## 2.2.2. Caractéristiques

Un « *Motor Driver Shield* » intègre deux circuits intégrés « L293D » et un registre de décalage « 74HC595 », ce qui lui permet de contrôler jusqu'à quatre moteurs DC ou deux moteurs pas à pas et peut supporter deux servomoteurs.

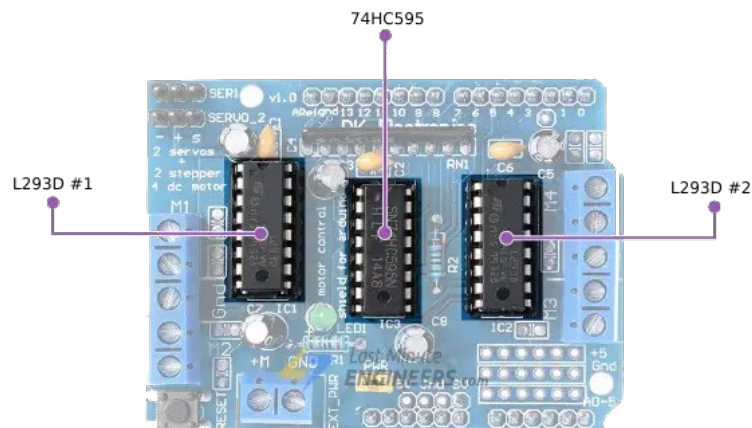


Figure I-10 : L293D et 74HC595 dans un Motor Driver Shield

## 2.2.3. Circuit Intégré L293D

Le « *L293D* » est un pilote de moteur en pont en H à double canal. Un seul circuit intégré permet de contrôler deux moteurs à courant continu ou un moteur pas à pas. Il est conçu pour fournir des courants bidirectionnels allant jusqu'à  $600\text{mA}$  sous des tensions de  $4,5\text{V}$  à  $25\text{V}$ , avec un courant de sortie en pointe de  $1,2\text{A}$  par canal. Ce circuit intégré dispose de deux entrées d'activation permettant d'activer ou de désactiver le dispositif indépendamment des signaux d'entrée.

## 2.2.4. Registre a décalage 74HC595

Le « *74HC595* » est un circuit intégré de registre à décalage. L'appareil se compose d'un registre à décalage de 8 bits et d'un verrou de type D de 8 bits, pourvus de sorties parallèles à trois états. Ce registre est conçu pour recevoir des données en série et fournir une sortie en parallèle. En outre, il est à noter que le dispositif est également capable de transférer les données en parallèle vers le verrou de 8 bits. Il est à noter que le registre à décalage et le verrou sont dotés d'entrées d'horloge indépendantes.

## Chapitre I

Le « *shield* » fait usage d'un registre à décalage 74HC595 afin d'étendre les quatre broches numériques de l'*Arduino* et par là même de contrôler les huit broches de direction des deux circuits L293D.

### 2.2.5. Alimentation

Le « *shield* » est conçu pour fonctionner avec une plage de tension s'étendant de 4,5 à 25 volts, ce qui le rend compatible avec une large gamme de moteurs. Cette alimentation peut être utilisée conjointement avec l'*Arduino* ou de manière indépendante. Afin de sélectionner l'une de ces deux options, un cavalier spécial (*jumper*) étiqueté « *PWR* » est positionné à proximité du connecteur d'alimentation à deux bornes.

Lorsque le cavalier est en place, l'alimentation des moteurs s'effectue par l'intermédiaire de la prise d'alimentation DC de l'*Arduino*. Dans cette configuration, il est important de noter que les moteurs et l'*Arduino* ne sont pas isolés électriquement l'un de l'autre. Cette approche présente l'avantage d'une simplicité d'utilisation, car elle ne requiert qu'une seule source d'alimentation. Néanmoins, son utilisation est conditionnée à une tension d'alimentation des moteurs inférieure à 12 volts. Quand le cavalier est retiré, l'alimentation des moteurs est déconnectée de l'*Arduino*, ce qui permet une isolation électrique entre les moteurs et l'*Arduino*. Dans cette configuration, il est impératif de fournir une alimentation séparée pour les moteurs. Cette alimentation doit être connectée au bornier à deux broches étiqueté « *EXT\_PWR* ». [6]

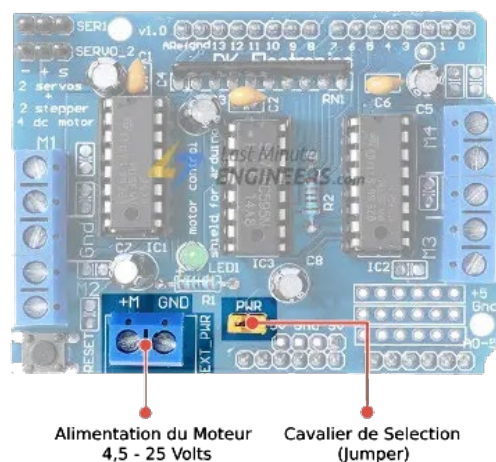


Figure I-11 : Les différents modes d'alimentation du Motor Driver Shield

# Chapitre I

## 2.2.6. Branchement des moteurs DC

Les canaux de sorties des deux circuits intégrés *L293D* sont connectés à la shield via deux borniers à vis à 5 broches, étiquetés M1, M2, M3 et M4. Il est donc possible de connecter jusqu'à quatre moteurs à courant continu (DC) fonctionnant sous une tension de 4,5 à 25 Volts à ces bornes. Chaque canal du module est capable de fournir jusqu'à 600mA en continu (1,2A en pointe) à un moteur à courant continu. Cependant, il convient de noter que la quantité de courant réellement fournie est tributaire de la capacité de l'alimentation des moteurs.

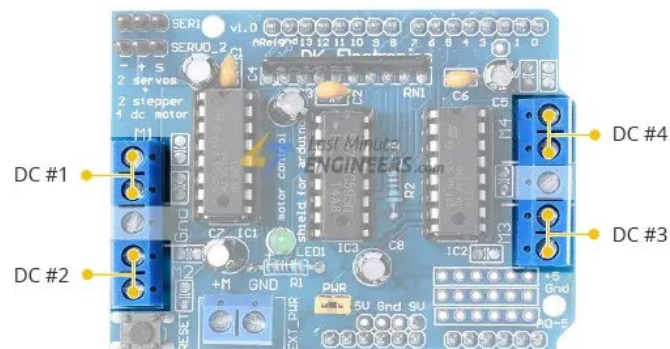


Figure I-12 : Le branchement des 4 Moteurs DC dans le Motor Driver Shield

## 2.2.7. Branchement des moteurs pas à pas

Il est également possible de connecter deux moteurs pas à pas aux bornes de sortie du shield. Un moteur pas à pas se connecte entre M1 et M2, et l'autre entre M3 et M4.

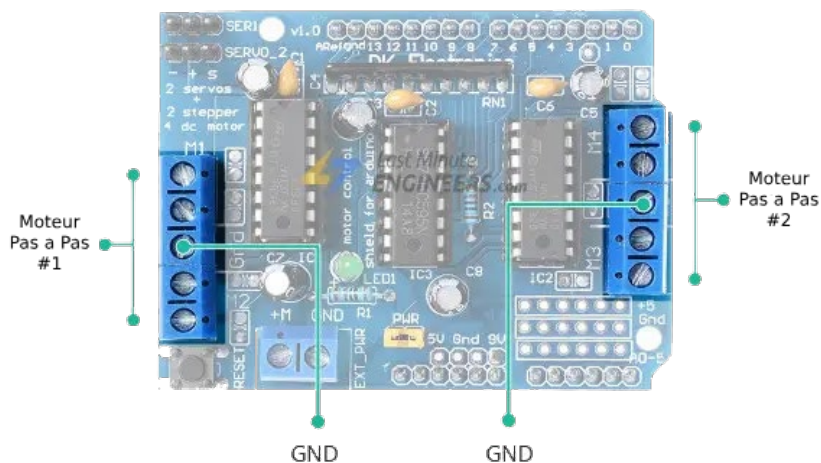


Figure I-13 : Le branchement des 2 Moteurs pas à pas dans le Motor Driver Shield



## Chapitre I

imprimantes 3D, les machines CNC, les robots ou encore les systèmes d'automatisation.

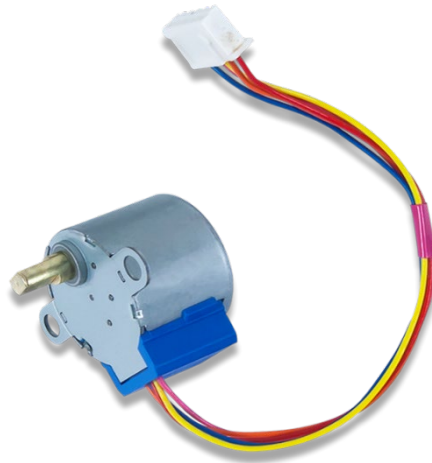


Figure I-15 : Un moteur pas à pas

### 2.3.2. Principe de Fonctionnement

Un moteur pas à pas est un dispositif qui convertit un mouvement rotatif en une succession de mouvements plus discrets et plus mesurés. Il est essentiel de noter que la correspondance entre le pas et l'angle est déterminée de manière spécifique par le design du moteur, un aspect qui doit être pris en compte pour une compréhension approfondie du système. Le fonctionnement du moteur est assuré par l'émission d'impulsions électriques, qui sont transmises aux bobines internes selon une séquence prédéfinie. Cette séquence détermine la rotation du rotor par incréments. [7]

Le terme « *pas* » fait référence à l'angle de rotation par impulsion, un concept essentiel dans le domaine de la mécanique. A titre d'illustration, un moteur dont le pas est de  $1,8^\circ$  effectue 200 pas pour un tour complet ( $360^\circ / 1,8^\circ = 200$  pas).

### 2.3.3. Modes de Fonctionnement

- *Plein pas (Full Step)* : Chaque impulsion fait tourner le moteur d'un pas complet, offrant un couple maximal.
- *Demi pas (Half Step)* : Alterne entre l'activation d'une seule phase et de deux phases, doublant la résolution (par exemple, 400 pas par tour pour un moteur de  $1,8^\circ$ ).

## Chapitre I

- Micro pas (Microstepping) : Divise chaque pas en sous-pas plus petits grâce à un contrôle précis du courant dans les bobines, augmentant la fluidité et la précision, mais réduisant parfois le couple.

### 2.3.4. Différents Types des Moteurs pas à pas

Il existe trois principaux types de moteurs pas à pas, chacun ayant des caractéristiques spécifiques :

- Moteur à réluctance variable : Fonctionne grâce à la variation de réluctance magnétique. Simple, mais moins précis et avec un couple limité.

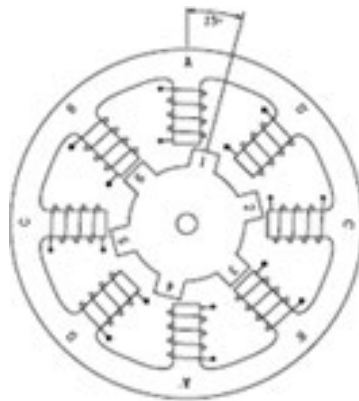


Figure I-16 : Un moteur pas à pas à réluctance variable

- Moteur à aimant permanent : Utilise un rotor magnétisé. Offre un bon couple et une bonne précision à un coût abordable.

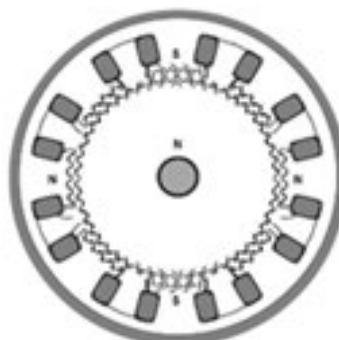


Figure I-17 : Un moteur pas à pas à aimant permanent

- Moteur hybride : Combine les avantages des deux types précédents. C'est le type le plus courant, offrant une excellente précision et un couple élevé.

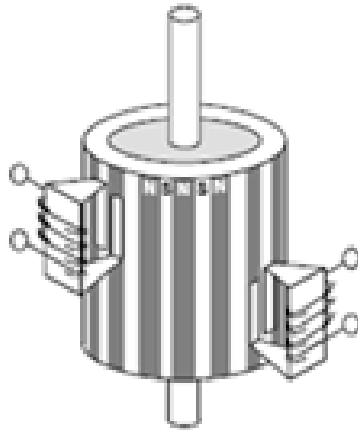


Figure I-18 : Un moteur pas à pas hybride

### 2.3.5. Composants Principaux d'un Moteur pas à pas

- **Rotor** : La partie mobile du moteur, qui peut être un aimant permanent ou un matériau ferromagnétique.
- **Stator** : La partie fixe, composée de bobines électromagnétiques disposées en phases (généralement 2 ou 4 phases).
- **Driver** : Un circuit électronique qui envoie des impulsions aux bobines dans un ordre précis pour contrôler la rotation. Les drivers modernes permettent le micro-pas et la gestion du courant pour optimiser les performances.

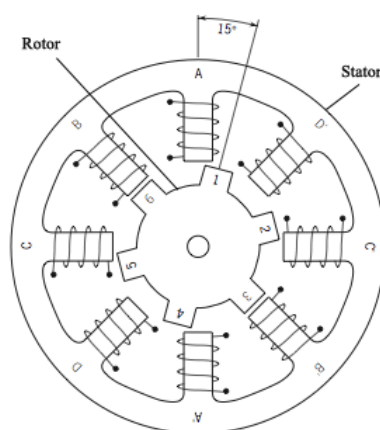


Figure I-19 : Le schéma d'un moteur pas à pas

## Chapitre I

### 2.4. Servomoteur SG90

#### 2.4.1. Description

Le « SG90 » est un servomoteur caractérisé par sa compacité et son faible coût. Il trouve son application dans divers projets relevant de l'électronique, de la robotique et du modélisme. Ce micro-servomoteur se distingue par ses caractéristiques notables, notamment son ergonomie, sa fiabilité et son accessibilité économique. [8]

Il est conçu pour des mouvements angulaires précis, généralement dans une plage de 0 à 180 degrés, et fonctionne à courant continu (DC). À la différence d'un moteur pas à pas, qui effectue des rotations par incréments discrets, le « SG90 » est conçu pour atteindre une position angulaire spécifique et la maintenir avec précision grâce à un système de contrôle en boucle fermée. [9]



Figure I-20 : Un servomoteur SG90

#### 2.4.2. Principe de Fonctionnement

Un servomoteur désigne un système motorisé apte à atteindre la position angulaire requise, puis à la conserver. Il s'agit d'un système asservi doté d'un potentiomètre interne qui lui permet de déterminer sa position angulaire de manière continue.

Dans le cadre de la modélisation du système, il est essentiel de comprendre le fonctionnement du circuit électronique de contrôle. Lors de la réception d'une consigne de position, telle que 40°, le circuit alimente le moteur électrique. Ce dernier entraîne une série d'engrenages en rotation, induisant une réduction de la vitesse de rotation et une augmentation de la force. L'objectif de cette dynamique est de positionner

## Chapitre I

précisément le palonnier à l'angle souhaité, soit 40°. La précision de cette manœuvre est assurée par le retour d'information en temps réel du potentiomètre, qui indique sa position angulaire.

Il a été constaté que, en raison des modalités de leur conception, un certain nombre de servomoteurs sont dans l'incapacité de tourner plus d'un demi-tour, soit 180 degrés. Par ailleurs, il a été observé que d'autres servomoteurs sont aptes à accomplir un tour complet, soit 360 degrés. [10]

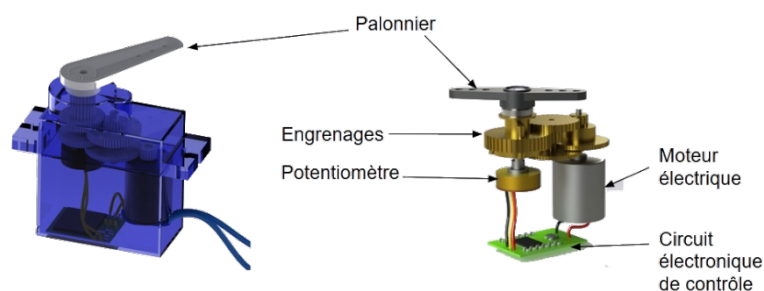


Figure I-21 : Fonctionnement d'un servomoteur

### 2.4.3. Composition du servomoteur

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.

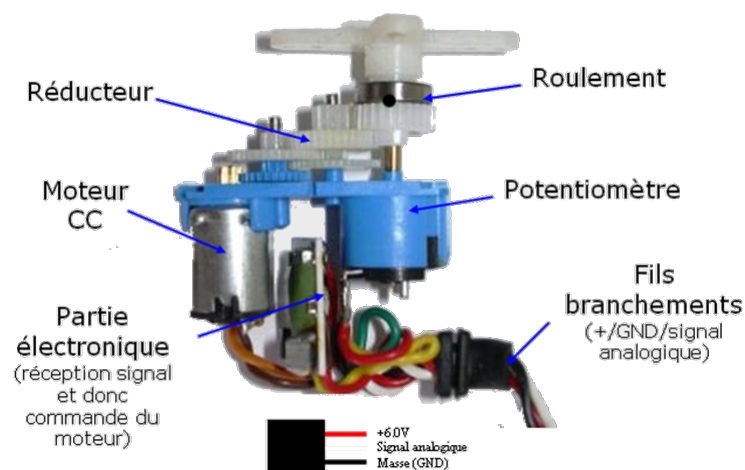


Figure I-22 : Les composants d'un servomoteur

## Chapitre I

### 2.5. Impression 3D

#### 2.5.1. Description

L'impression 3D désigne une technologie de fabrication d'objets physiques par superposition de couches de matériau (le plus souvent du plastique, mais aussi du métal, de la résine ou d'autres matériaux) selon un modèle numérique en trois dimensions.

#### 2.5.2. Principe de Fonctionnement

L'initiation du processus créatif s'initie par la conception d'un fichier numérique, le plus souvent au format « STL », élaboré à l'aide d'un logiciel de modélisation tridimensionnelle tel que « Fusion 360 ». Dans le cadre de la modélisation et de la fabrication additive, le modèle est importé dans un logiciel de tranchage, également appelé « slicer », tel que « Cura » ou « PrusaSlicer ». Ce logiciel effectue une découpe du modèle en couches et génère des instructions, ou G-code, qui sont ensuite transmises à l'imprimante 3D pour leur réalisation. Dans le cadre de la fabrication additive par impression tridimensionnelle, la machine s'assure de la montée de la température du matériau, en l'occurrence un filament plastique, afin de le faire couler par couche successives, à l'aide d'une buse, et ainsi aboutir à la forme de l'objet désiré. Une fois le processus d'impression achevé, il est possible que l'objet requière une étape de nettoyage, de ponçage ou de finition, selon les objectifs esthétiques souhaités.

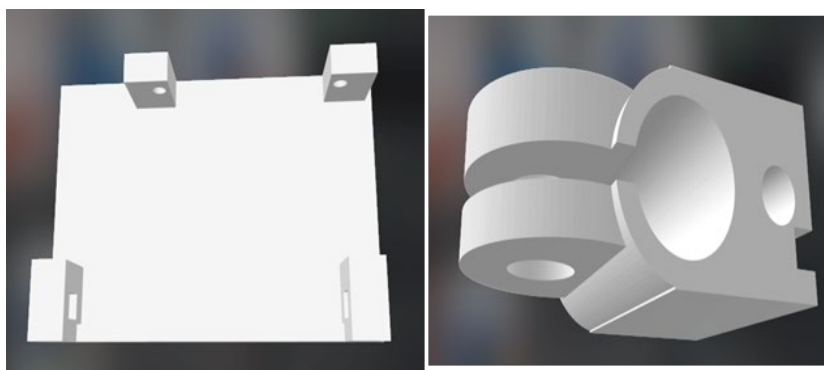


Figure I-23 : Exemple d'une conception des objets 3D

### 3. Conclusion

Dans le cadre de ce chapitre, une exploration approfondie du principe de fonctionnement d'une table traçante a été entreprise, en mettant l'accent sur les composants essentiels à sa conception. Ces composants comprennent notamment l'Arduino UNO, les moteurs pas à pas, les Motor Driver Shield, les servomoteurs, ainsi que les éléments imprimés en 3D. Chaque élément de ce système remplit un rôle spécifique et complémentaire, contribuant ainsi à la précision et à la coordination du mouvement de la table. Cette approche méthodique, qui associe l'électronique, la mécanique et la conception assistée par ordinateur, s'avère déterminante dans la réussite des projets de traçage automatisé.

Dans le chapitre suivant, nous aborderons de manière méthodique les différentes étapes de la conception d'une table traçante à partir de la récupération d'un lecteur DVD, en intégrant les composants qui ont été présentés au préalable. Cette démarche illustrera de manière pratique la mise en œuvre du système et les choix techniques effectués tout au long du projet.

## Chapitre II

### II. Conception et Réalisation

#### 1. Introduction

Dans la première partie de ce mémoire, nous avons exposé les fondements théoriques et les composants indispensables à la conception d'une table traçante. La deuxième partie se concentre donc sur la description des différentes étapes de réalisation d'un prototype fonctionnel. Cette démarche s'inscrit dans une approche économique et novatrice, qui consiste à recycler les mécanismes internes d'un lecteur DVD, plus précisément ses systèmes de déplacement, afin d'en faire la base mécanique d'une table traçante.

Ce choix s'inscrit dans une démarche d'optimisation des ressources. Cette démarche allie réduction des coûts, facilité d'accès aux composants et valorisation du matériel électronique obsolète. En effet, les lecteurs DVD sont équipés de chariots de déplacement motorisés d'une précision remarquable. Ces chariots peuvent être détournés pour servir d'axes de mouvement X et Y. Ces mécanismes sont dotés d'un système de commande par moteurs pas à pas, ce qui leur confère une grande flexibilité et les rend adaptés aux exigences d'un traçage automatisé à faible encombrement.

Ce chapitre abordera dans un premier temps la phase de démontage et d'identification des composants réutilisables du lecteur DVD. Il détaillera ensuite l'intégration des éléments électroniques tels que l'Arduino UNO, les drivers de puissance et les servomoteurs, en insistant sur le câblage, la compatibilité électrique et les tests de fonctionnement. Enfin, une attention particulière sera accordée à l'assemblage mécanique global, notamment par l'utilisation de pièces imprimées en 3D pour l'adaptation des supports, le montage du stylo traceur et la fixation des axes.

Cette étude de cas pratique met en lumière la faisabilité technique du projet et démontre comment une méthodologie rigoureuse, alliée à une exploitation ingénieuse des ressources existantes, peut conduire à la mise en œuvre d'un système automatisé qui soit à la fois fonctionnel, reproductible et économiquement viable.

### 2. Démontage et récupération des composants du lecteur DVD

Dans une perspective de conception économique et durable, l'utilisation d'un lecteur DVD en tant que base mécanique pour la table traçante s'est révélée une solution pertinente. En effet, ce type d'appareil est doté de composants électromécaniques conçus pour des déplacements linéaires de faible amplitude, mais à haute précision, répondant ainsi parfaitement aux exigences d'un système de traçage bidimensionnel. Ainsi, le démontage du lecteur DVD représente une étape initiale et fondamentale dans le processus de récupération des pièces utilisables pour la fabrication de la table. [11]

#### 2.1. *Identification des composants utiles*

Les lecteurs DVD sont, par conception, équipés d'un système de positionnement du bloc optique. Ce système est intégré à un ensemble de rails de guidage qui permettent le déplacement du lecteur selon des axes spécifiques. Ce système est commandé par un moteur pas à pas miniature.

Le chariot mobile est un dispositif qui permet le déplacement du bloc optique sur un axe linéaire. Dans notre cas, cet axe est réutilisé pour les axes X et Y.

Les rails de guidage, constitués de métal, garantissent une translation fluide et stable du chariot.

Le moteur de déplacement, qui est un élément crucial du système, est généralement un moteur pas à pas à deux phases. Il est essentiel pour garantir un positionnement précis.

En ce qui concerne la réutilisation de certaines pièces du châssis, celles-ci peuvent être employées comme support mécanique.

## Chapitre II

### 2.2. Méthodologie de démontage

Le démontage du lecteur DVD a été effectué avec précaution afin d'éviter d'endommager les pièces sensibles. La première étape consiste à démonter les lecteurs DVD et à retirer les moteurs pas à pas. L'ouverture et le retrait des rails doivent être effectués à l'aide d'un tournevis, comme illustré dans l'image ci-dessous.

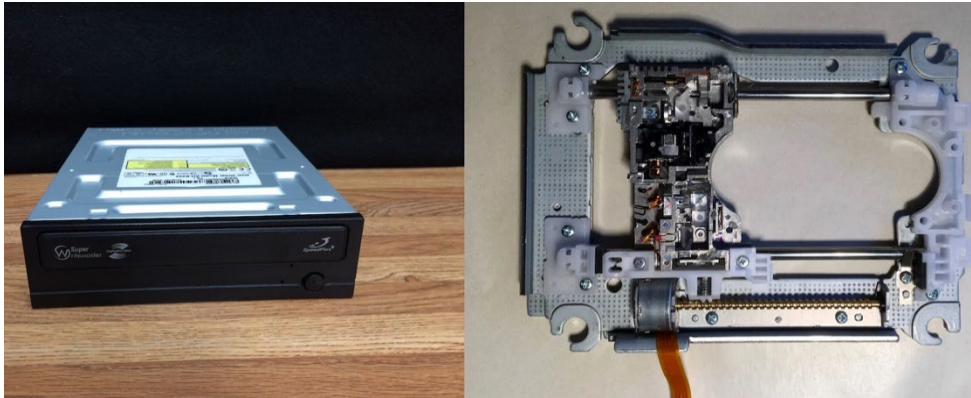


Figure II-1 : Lecteur DVD avant et après démontage

À présent que nous disposons des deux moteurs pas à pas, il convient de procéder à la soudure des câbles sur ceux-ci. Il est impératif de procéder avec précaution, comme l'illustre la deuxième image ci-dessous.

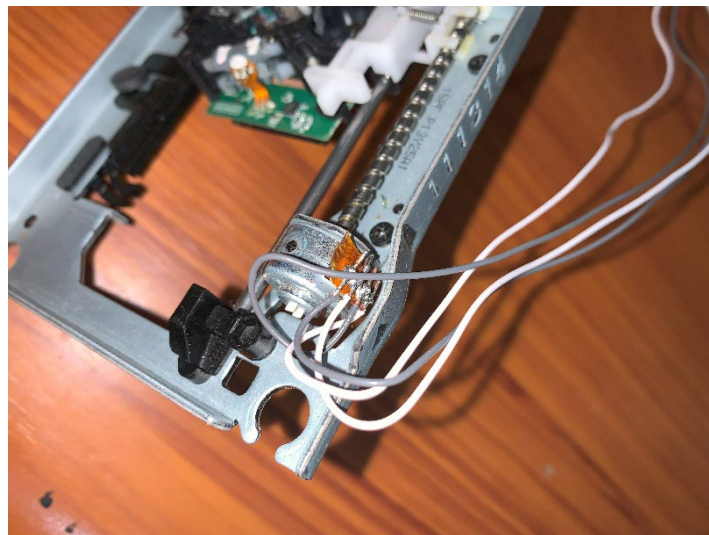


Figure II-2 : Les moteurs pas à pas après la soudure

## Chapitre II

Il est maintenant nécessaire de déterminer la combinaison adéquate pour la gestion et l'utilisation appropriées de ces moteurs. Pour ce faire, il est impératif de se procurer un multimètre équipé de câbles pour le test, comme illustré à la Figure II-3.



Figure II-3 : Multimètre relié avec le moteur pas à pas

Une fois cet équipement en main, on le calibre en le positionnant sur la fonction « court-circuit », comme montré à la Figure II-4.



Figure II-4 : Multimètre en position court-circuit

Selon la configuration standard, l'actionnement des deux câbles induit une fermeture du circuit. Cette manœuvre est signalée par l'allumage d'un voyant et l'émission d'un signal sonore. L'identification de la première phase du moteur pas à pas est alors validée. Les deux autres câbles, le troisième et le quatrième, sont reliés à la deuxième phase du moteur pas à pas.

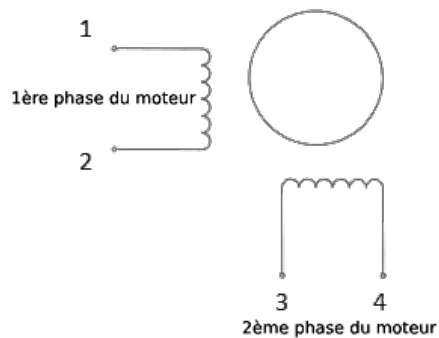


Figure II-5 : Les deux phases du moteur pas à pas

### 2.3. Avantages et limites des composants récupérés

Les avantages majeurs de cette approche sont à chercher dans la précision mécanique du chariot optique, la compacité du système, ainsi que la facilité d'accès aux lecteurs DVD d'occasion. En outre, la conception de ces mécanismes pour un usage répétitif et précis les destine spécifiquement à un système de traçage. Cependant, il convient de prendre en considération certaines limitations : la course de déplacement est relativement courte (environ 4 à 6 cm), ce qui restreint la taille des dessins possibles ; par ailleurs, les moteurs récupérés peuvent nécessiter une étude de compatibilité avec les drivers disponibles (tension, courant, type de commande).

### 3. Réalisation de la structure pour la base du montage

Afin d'obtenir un support pour notre montage, il est préférable de commencer par la construction du plan Y, qui correspond à la plaque de base. Dans le cadre de la réalisation de cette tâche, il est impératif de disposer d'une planche de bois d'une épaisseur suffisante, afin d'assurer la stabilité de l'ensemble. Par la suite, l'axe X sera fixé à angle droit sur cette même planche de bois. En outre, il sera nécessaire de fixer le mécanisme d'entraînement, garantissant ainsi une fixation optimale.



Figure II-6 : La structure du support pour notre table traçante

Pour assurer une stabilité optimale du support, une conception spécifique a été mise en œuvre, incluant l'intégration de quatre embouts en caoutchouc sur le revers de la planche, comme le montre la Figure II-7. Ces embouts remplissent la fonction d'amortisseurs des vibrations générées par les moteurs en fonctionnement.



Figure II-7 : Les fixations sur le revers de la planche

## Chapitre II

### 4. Conception et impression des pièces en 3D

Comme illustré dans la Figure I-23, les conceptions présentées servent de support pour le servomoteur et le stylo, et doivent être fixées sur l'axe X. Il est à noter que le stylo doit être capable de se mouvoir verticalement grâce à l'action du servomoteur. Cette étape s'avère être la plus complexe du projet, et se concentre sur l'élaboration de l'axe Z.

Une fois le processus de conception achevé, les deux pièces ont été imprimées par le biais d'une imprimante 3D. Dans un second temps, les pièces ont été poncées et ajustées si nécessaire, notamment au niveau des trous de vis et des interfaces de fixation.

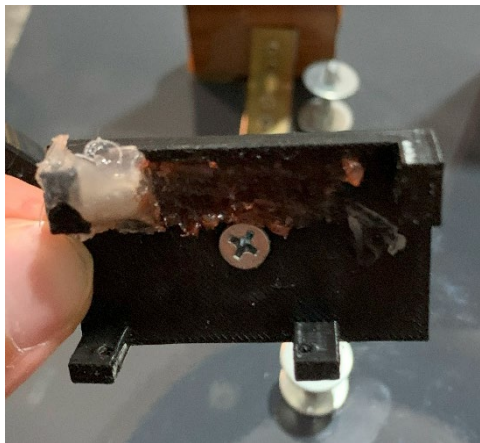


Figure II-8 : Support du servomoteur et du stylo

En outre, cette intégration a facilité le processus d'assemblage. Un test mécanique exhaustif a été réalisé afin de vérifier l'alignement des axes, la liberté de mouvement du chariot, ainsi que la stabilité du support de stylo.



Figure II-9 : Support finale pour l'axe Z

## Chapitre II

Les résultats obtenus ont permis de constater une adaptation réussie, validant ainsi l'efficacité de l'intégration de pièces fabriquées par impression tridimensionnelle dans le cadre de ce projet spécifique.

### 5. Assemblage finale de la table traçante

L'assemblage final représente une étape cruciale dans la fabrication de la table traçante. L'objectif principal est de procéder à l'intégration de tous les sous-systèmes préalablement élaborés. Ces sous-systèmes concernent notamment les domaines de la mécanique, de l'électronique et de la structure. L'approche proposée réside dans leur combinaison afin d'aboutir à la création d'un ensemble global. La caractéristique essentielle de cet ensemble réside dans sa capacité à opérer de manière fonctionnelle, tout en se distinguant par sa stabilité et sa précision.

La procédure de montage a été initiée par la fixation des deux mécanismes de déplacement, préalablement extraits des lecteurs DVD, sur la base en contreplaqué. L'un des mécanismes a été orienté horizontalement pour former l'axe Y, tandis que l'autre a été monté perpendiculairement en hauteur, formant l'axe X.

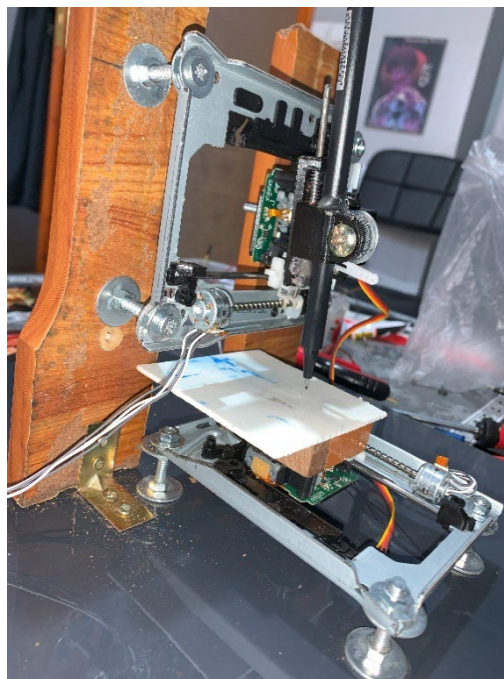


Figure II-10 : Mécanismes des axes X et Y

## Chapitre II

Le support du stylo et du servomoteur a été fixé sur le chariot mobile de l'axe X.

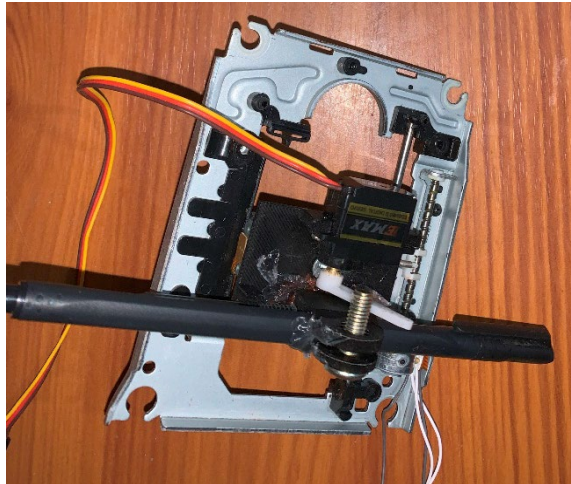


Figure II-11 : L'axe X avec le support du stylo et du servomoteur

En ce qui concerne la surface de traçage, nous avons apporté une modification. Il s'agit de l'ajout d'un bout d'une planche en bois restante qu'on a collé avec une surface lisse en plastique, comme dans la Figure II-12.



Figure II-12 : Le bout de la planche en bois collé avec la surface en plastique

L'objectif de ce dispositif est de permettre l'apposition d'une feuille, fixée à l'aide d'aimants, sur une surface plane.

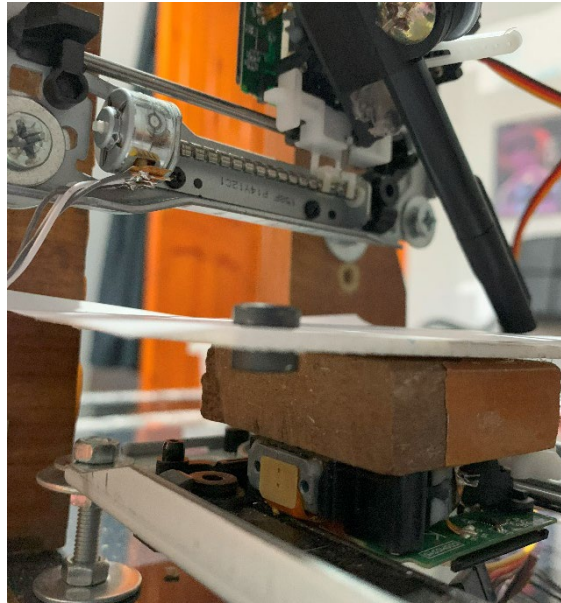


Figure II-13 : Les fixations en aimants pour la feuille

La surface en question a été fixée sur le mécanisme de l'axe Y, à l'aide d'une vis, comme le montre la Figure II-14.

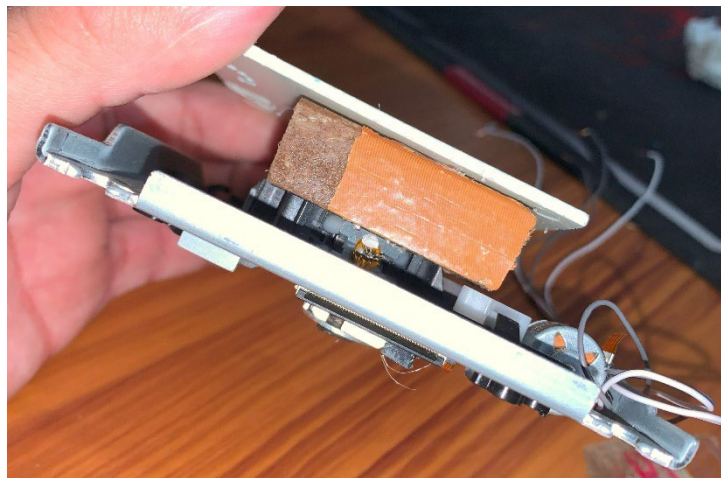


Figure II-14 : La surface de traçage fixée sur l'axe X

Dans un second temps, le raccordement électrique a été effectué entre la carte Arduino et le Motor Driver Shield, dans le souci de préserver une organisation optimale afin d'éviter toute interférence indésirable. En effet, il a été constaté une défaillance du Motor Driver Shield, ayant provoqué un court-circuit avec l'arduino. Cette défaillance a pu être identifiée et résolue par la mise en œuvre de mesures correctives appropriées.

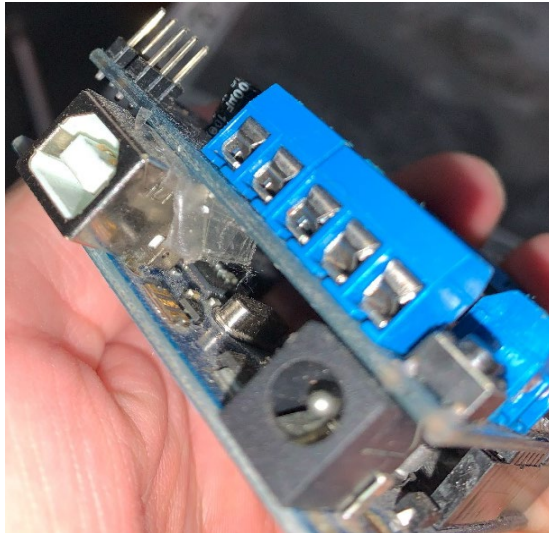


Figure II-15 : La carte Arduino avec le Motor Driver Shield après résolution du court-circuit

Finalement, l'assemblage du système a été réalisé. Une procédure de vérification a par la suite été effectuée afin de s'assurer du bon fonctionnement des différents éléments.

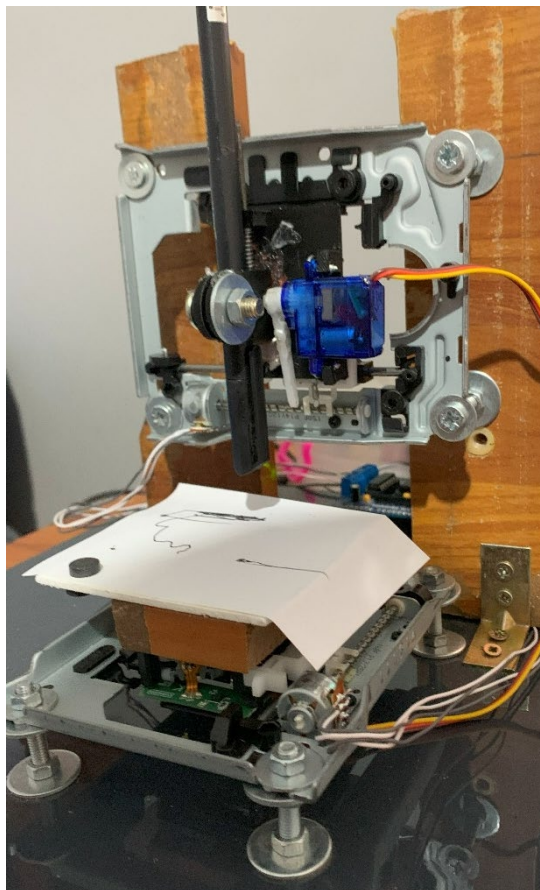


Figure II-16 : La table traçante après assemblage finale

### 6. Conclusion

La table traçante présentée dans ce chapitre est un exemple concret de la mise en œuvre d'un projet combinant récupération, prototypage et automatisation. En combinant des composants issus de lecteurs DVD, une structure en contreplaqué et des pièces sur mesure imprimées en 3D, il a été possible de concevoir un système de traçage à la fois fonctionnel, précis et économique.

L'intégration de la carte Arduino UNO avec un Motor Driver Shield a permis d'assurer un pilotage fiable des moteurs pas à pas ainsi que du servomoteur. En outre, l'ensemble du câblage et du support mécanique a été conçu pour garantir stabilité, rigidité et modularité. Chaque étape du processus, depuis le démontage initial jusqu'à l'assemblage final, a fait l'objet de tests rigoureux visant à garantir la cohérence globale du système.

Ce projet met en exergue l'importance de l'intégration de l'électronique embarquée et de la fabrication numérique dans la conception de dispositifs mécatroniques accessibles. La méthodologie mise en œuvre, s'inspirant de projets open source et enrichie de spécificités adaptées, laisse entrevoir la possibilité d'extensions futures. Celles-ci pourraient inclure l'augmentation de la surface de travail, l'amélioration de la précision ou encore l'intégration de fonctionnalités additionnelles.

Dans le chapitre suivant, nous aborderons l'étalonnage, la programmation et les essais expérimentaux de la table traçante. L'objectif de ces expérimentations sera d'analyser ses performances en conditions réelles et d'évaluer sa capacité à exécuter des tracés complexes avec fiabilité.

## Chapitre III

### III. Programmation

#### 1. Introduction

Dans le cadre de la conception d'une table traçante CNC, la partie logicielle joue un rôle crucial. Elle assure la communication entre l'ordinateur et le microcontrôleur, ainsi que le contrôle précis des différents actionneurs. Pour ce faire, nous mettons en œuvre deux environnements complémentaires : Arduino, qui permet la programmation et le pilotage direct du microcontrôleur, et Processing, utilisé comme interface graphique et comme outil d'envoi des instructions. Dans ce chapitre, nous allons aborder deux sujets principaux. Tout d'abord, nous nous pencherons sur les caractéristiques et l'importance de ces deux environnements. Ensuite, nous procéderons à une description du programme développé. Ce dernier assure la réception et l'interprétation des commandes G-code émises par l'ordinateur, ainsi que leur conversion en mouvements coordonnés des moteurs pas à pas et en actions du servomoteur. Cette conversion permet à la machine de tracer automatiquement des formes ou du texte sur papier.

#### 2. Présentation des logiciels utilisés

##### 2.1. *Le logiciel Arduino IDE*

Arduino constitue une plateforme open source innovante, qui allie avec cohérence matériel et logiciel afin de concrétiser des projets électroniques interactifs. Qu'il s'agisse d'amateurs, d'étudiants ou de professionnels, la plate-forme Arduino facilite la conception de systèmes embarqués. Ces systèmes peuvent être aussi bien des capteurs élémentaires que des robots ou des objets connectés. Au centre de cette plateforme, le logiciel Arduino IDE, qui est compatible avec les systèmes d'exploitation Mac, Windows et Linux, joue un rôle crucial dans le processus de création, de test et de téléversement des programmes sur les cartes Arduino. Ces programmes, dénommés « sketches », sont rédigés dans un langage dérivé de la plateforme Wiring et basé sur le C/C++. Cette implémentation a pour effet de simplifier les opérations d'entrée/sortie grâce à une bibliothèque intuitive, rendant ainsi la programmation accessible même aux débutants.

## Chapitre III

L'environnement Arduino, par l'entremise d'un processus créatif librement exprimé, permet la conception de projets innovants et fonctionnels.

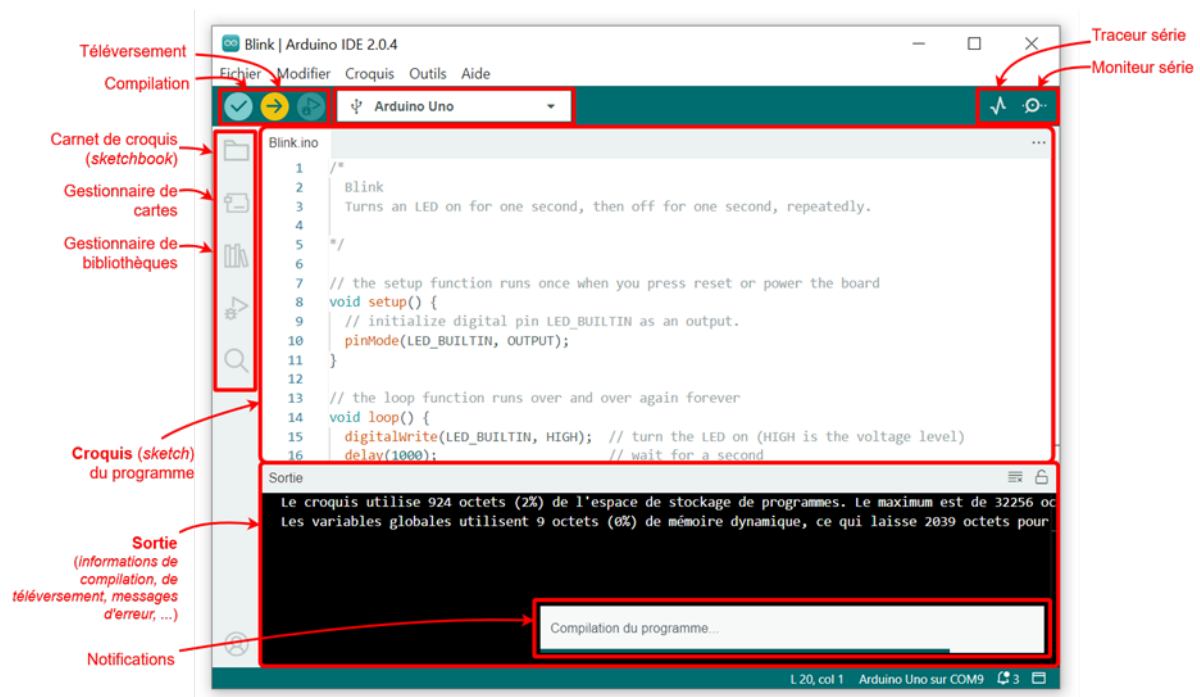


Figure III-1 : L'interface d'Arduino IDE

### 2.2. Le logiciel Processing

Processing est un langage de programmation et un environnement de développement open source basé sur Java. Conçu pour les artistes, les concepteurs et les créateurs souhaitant développer des graphiques interactifs, des animations et des applications visuelles, Processing s'inscrit dans une démarche de démocratisation des outils informatiques. L'outil informatique dont il est question ici a été développé en 2001 par Ben Fry et Casey Reas au MIT. Son objectif est de rendre la programmation accessible aux non-développeurs grâce à une syntaxe simple et des bibliothèques prédéfinies facilitant la création d'effets visuels complexes. L'environnement de développement intégré (IDE) fournit des outils tels que la mise en évidence du code, l'autocomplétion et un débogueur visuel, visant à faciliter l'écriture et les tests du code. Il convient de noter que Processing est compatible avec les bibliothèques Java. En outre, cet outil informatique permet de créer des applications de traitement de données, et ainsi d'aller au-delà des seules réalisations visuelles.

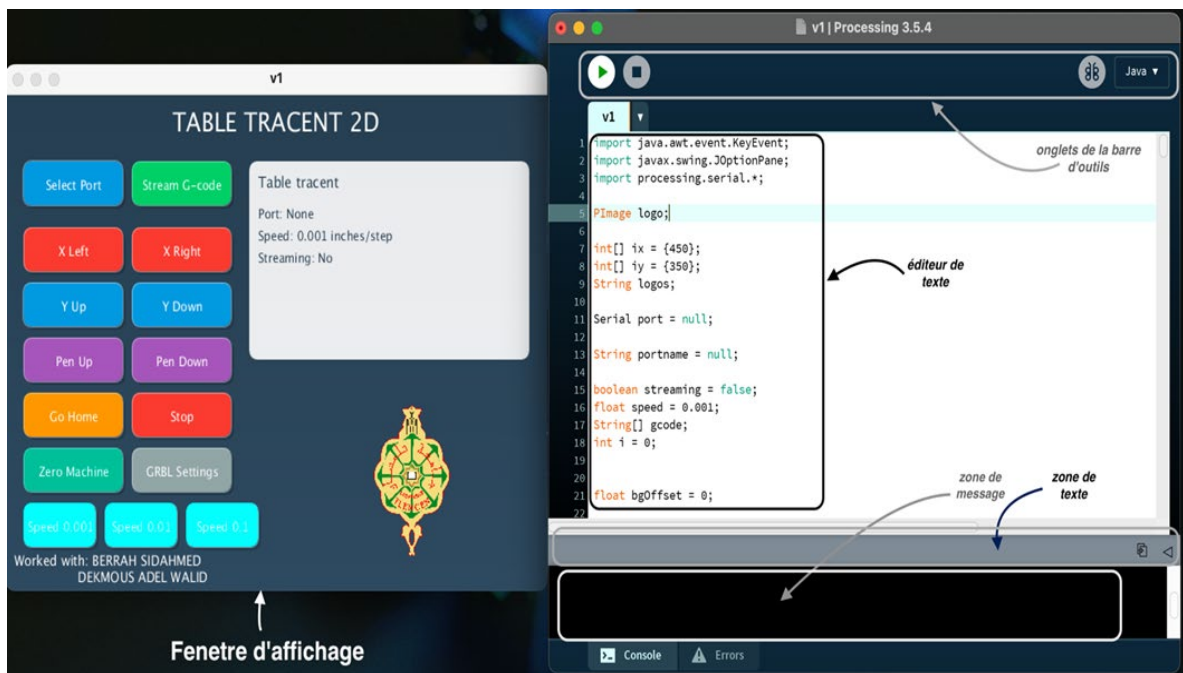


Figure III-2 : L'interface du logiciel Processing

### 2.3. Le logiciel Inkscape

Inkscape se présente comme un logiciel de dessin vectoriel de qualité professionnelle fonctionnant sur les systèmes d'exploitation Windows, macOS et Linux. Inkscape est un logiciel de création graphique utilisé par des designers professionnels et amateurs partout dans le monde. Il permet de créer une grande variété de graphismes, tels que des illustrations, des icônes, des logos, des diagrammes, des cartes et des rendus pour le web. Inkscape est un logiciel dont le format natif est le SVG (Scalable Vector Graphic), un standard ouvert. Il s'agit d'un logiciel libre et open source.

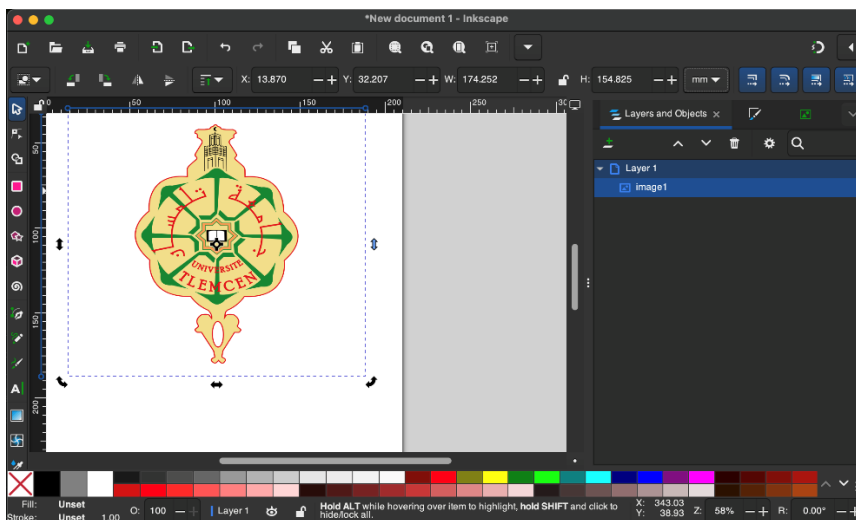


Figure III-3 : L'interface du logiciel Inkscape

### 3. Principe de fonctionnement

Dans un premier temps, nous avons ajouté les bibliothèques nécessaires au pilotage du servo-moteur et des moteurs pas à pas. Puis, définit les broches d'entrée utilisées. Le moteur est configuré en mode microstep, ce qui permet d'améliorer la précision, et le nombre de pas nécessaires pour effectuer un tour complet est fixé à 48. Pour notre projet, nous avons procédé à des calculs, permettant ainsi de déterminer avec précision le nombre de pas requis pour parcourir une distance de 1 mm. En outre, nous avons établi les paramètres de dessin, ainsi que les limites de la zone de travail et du mouvement du servo. Un tampon de 512 caractères est spécifiquement alloué pour le stockage des commandes reçues, éliminant ainsi le risque d'overflow. Dans le cadre de la programmation des servomécanismes, il est essentiel d'initialiser le servo à une position de départ spécifique. Cette étape est suivie par la création d'un objet Servo, conçu pour réguler les mouvements de montée et de descente. Parallèlement, les axes X et Y sont initialisés à l'aide des broches de l'Arduino, qui sont connectées au L293D, un composant électronique essentiel pour la gestion des mouvements. Des variables pour les positions x, y et z sont définies afin de détecter et de mettre à jour en permanence la position actuelle du stylo. Par la suite, le programme informatique reçoit de manière continue des instructions G-code, qui sont envoyées par le logiciel Processing via le port série. Ces instructions sont analysées, puis converties en mouvements coordonnés des moteurs et en actions du servo. Dans le cadre de la modélisation du mouvement, un algorithme de tracé permet de convertir les coordonnées en pas moteurs. Cette conversion s'accompagne d'une synchronisation des déplacements, visant à générer des lignes droites. Par conséquent, il a été démontré que la table traçante est en mesure de reproduire de manière autonome des dessins ou du texte sur papier à partir de commandes numériques élémentaires.

Pour pouvoir contrôler manuellement les mouvements des moteurs, nous avons créé une interface à l'aide du logiciel Processing. Ce dernier se compose, d'une partie affichant les boutons de commandes pour les mouvements et des boutons de réglages pour configurer les différents paramètres. Une autre partie, qui affiche les résultats du programme, appelé la console de commande.

Afin de pouvoir dessiner des images, il faut d'abord les convertir en gcode. Pour le faire, on utilise le logiciel Inkscape avec l'extension « MakerBot Unicorn ». Il faut importer l'image dans Inkscape et la mettre dans le quart supérieur droit pour pouvoir l'adapter aux dimensions de la zone de dessin, pour notre cas c'est : 4 x 4 cm. Enfin, on enregistre notre travail en format « gcode » et on peut ainsi l'utiliser dans notre programme.

### 4. Conclusion

Dans le présent chapitre, nous avons procédé à la présentation de l'environnement Arduino et du logiciel Processing. Ces deux outils, que nous avons identifiés comme complémentaires, visent à faciliter le développement d'applications interactives associant matériel et logiciel. L'utilisation d'Arduino facilite le pilotage des actionneurs, tels que les moteurs pas à pas et les servomoteurs. Processing, quant à lui, fournit une interface de programmation graphique permettant la génération et la transmission des instructions requises. Nous avons en outre spécifié le programme élaboré pour la table traçante CNC, laquelle a pour fonction la réception et l'interprétation des commandes G-code, en y convertissant ces dernières en mouvements coordonnés des moteurs et du stylo. L'étude menée a permis de mettre en œuvre l'architecture logicielle du système, et de mettre en lumière son rôle crucial dans le fonctionnement global de la machine.

## **Conclusion Générale**

Au terme de ce travail, nous avons conçu et réalisé avec succès une table traçante CNC, en alliant des compétences en électronique, en mécanique et en informatique. L'analyse des composants essentiels, à savoir l'Arduino UNO, les moteurs pas à pas, le Motor Driver Shield, le servomoteur, ainsi que les pièces fabriquées par impression 3D, a révélé les rôles fondamentaux de chaque élément dans la coordination et la précision des mouvements.

La phase de conception et de réalisation a mis en évidence l'importance d'une démarche méthodique alliant récupération de composants, prototypage mécanique et intégration électronique. Dans le cadre de cette étude, nous avons mis en œuvre un système fonctionnel, économique et adaptable. Ce système a été rendu possible grâce à l'utilisation d'éléments récupérés (lecteurs DVD) et de structures conçues sur mesure. L'analyse de ce cas nous permet de conclure en faveur de la pertinence de la réutilisation de ressources dans les projets techniques.

Dans ce projet, la partie programmation a constitué le socle logiciel. Cette étape a impliqué l'utilisation conjointe d'Arduino IDE et de Processing, deux outils de développement logiciel open source. Cette intégration logicielle a permis de transformer des instructions G-code en mouvements coordonnés, validant ainsi le fonctionnement global de la table traçante et confirmant la synergie entre matériel et logiciel.

En somme, ce projet illustre la capacité de l'électronique embarquée et de la fabrication numérique à aboutir à des systèmes mécatroniques accessibles et performants. En outre, il ouvre des perspectives d'amélioration et d'extension, telles que l'augmentation de la surface de travail, l'optimisation de la précision ou encore l'intégration de nouvelles fonctionnalités. Ces éléments témoignent du potentiel évolutif et éducatif de ce type de réalisation.

## Bibliographie

- [1] Hasan, M. Md, R. K. Md, N. Abu Tayab, R. Humayun, A. Nawsher et T. R. SM, «Design and implementation of a microcontroller based low cost computer numerical control (CNC) plotter using motor driver controller,» chez *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, 2019.
- [2] J. D. Sieber et J. S. Sieber. United States Brevet 4736211, 1988.
- [3] Hasan, M. Yousif, Shakir, F. Layth, Naji et H. Hassan, «Implementation and manufacturing of a 3-axes plotter machine by Arduino and CNC shield,» chez *2018 International Conference on Engineering Technology and their Applications (IICETA)*, 2018.
- [4] Setyaningsih, Y. D. R. Noor, W. Moh et C. Budi, «Cnc plotter printed circuit board,» *Jurnal Media Elektrik*, vol. 21, n° 12, pp. 116-122, 2024.
- [5] «Arduino Motor Shield L293D,» [En ligne]. Available: <https://arduinoocia.com.br/arduino-motor-shield-l293d/>.
- [6] «L293D Motor Driver Shield Arduino Tutorial,» [En ligne]. Available: <https://lastminuteengineers.com/l293d-motor-driver-shield-arduino-tutorial/>.
- [7] Jabri, S. Mahmoud, Q. As'ad et Raed, *CNC plotter*, 2022.
- [8] «Servo Motor Module (SG90 etc.),» [En ligne]. Available: <https://www.electronicwings.com/sensors-modules/servo-motor>.
- [9] «Servo Motor With Quarky - Technical Specifications,» [En ligne]. Available: <https://ai.thestempedia.com/docs/quarky/quarky-technical-specifications/servo-motor-with-quarky/>.
- [10] «How Servo Motors Work,» [En ligne]. Available: <https://www.jameco.com/Jameco/workshop/Howitworks/how-servo-motors-work.html>.
- [11] «DIY-Mini-Plotter,» [En ligne]. Available: <https://www.instructables.com/DIY-Mini-Plotter/>.

- [12] Hyder, F. Syed, Ibrahim, Mohammed, Adan, Z. Mohd, Mohammed et Fazal, «CNC PLOTTER MACHINE,» *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 7, n° 15, pp. 5300-5305, 2020.
- [13] Girhe, Y. Puja, C. Shubham et Arpita, «Arduino based cost effective CNC plotter machine,» *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research*, vol. 6, n° 12, pp. 6-9, 2018.
- [14] Persson, Z. Linus et Natalija, *Picasso: CNC plotter*, 2018.
- [15] R. Raashika et S. Elangovan, «Design and Development of a Low-Cost Multipurpose Arduino CNC plotter for Industrial Applications,» chez *ICAMDMS 2024: Proceedings of the International Conference on Advancements in Materials, Design and Manufacturing for Sustainable Development*, Coimbatore, Tamil Nadu, India, European Alliance for Innovation, 2024, pp. 56-64.
- [16] «CNCplotterblackbook,» [En ligne]. Available: <https://fr.slideshare.net/slideshow/cnc-plotter-black-book/84301184>.
- [17] «CNC Plotter: 10 Steps with Pictures,» [En ligne]. Available: <https://fr.scribd.com/document/737594643/CNC-Plotter-10-Steps-with-Pictures-Instructables>.
- [18] «Dual DC Motor Shield,» [En ligne]. Available: <https://boutique.semageek.com/fr/477-dual-dc-motor-shield-3005434147151.html>.
- [19] «Arduino L293D Motor Driver Shield Tutorial,» [En ligne]. Available: <https://www.engineersgarage.com/arduino-l293d-motor-driver-shield-tutorial/>.
- [20] «Servo moteur SG90 (Angle de controle 180),» [En ligne]. Available: <https://powertech-dz.net/products/single/servo-moteur-sg90-angle-de-contrele-180-vente-composants-electronique-blida-algerie-221.html>.