

Populaire Et Démocratique Algérienne République

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Scientifique Recherche La De Et Supérieur l'Enseignement De Ministère

جامعة جيلالي بونعامة خميس مليانة

Université de Djilali Bounaama Khemis Miliana

Faculté : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Département de Génie Electrique



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention d'un diplôme de master en Automatique et informatique industrielle

Spécialité : Automatique et informatique industrielle

Thème

Conception et réalisation d'une machine à découper et dénuder le fil électrique à base d'ESPduino-32

Encadré par :

MR. BENTCHIKOU Ibrahim

Co-Encadré par :

Mr. N.O. CHERCHALI

Présenté par :

LAZALI Halima

SETRA Doudja

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

A Mon Encadreur Dr. Bentchikou Ibrahim

J'ai eu l'honneur d'être parmi vos étudiantes et de bénéficier de votre riche enseignement. Vos qualités pédagogiques et humaines sont pour moi un modèle. Votre gentillesse, et votre disponibilité permanente ont toujours suscité mon admiration.

Veillez bien monsieur recevoir mes remerciements pour le grand honneur que vous m'avez fait d'accepter l'encadrement de ce travail. Votre compétence, votre encadrement ont toujours suscité mon profond respect. Je vous remercie pour votre accueil et vos conseils. Veuillez trouver ici, l'expression de mes gratitude et de ma grande estime. Pour ses conseils et son support permanent, ainsi que tout le personnel de l'université Djilali Bouaama.

Afin de n'oublier personne, mes vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui m'ont aidée à la réalisation de ce modeste mémoire.

DEDICACE

A

Ma Père Maman Sadouki Bakhta

Mon Père Ahmed

Dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines m'ont permis de vivre ce jour.

Mes frères et mes sœurs Belkacem et Abdelkader, Hanane, Douaa El-kheir, Amina Hour.

Ma sœur Amira et son mari Salim et leur fille Saraà Hour.

Toute la famille Sadouki

Tous les gens m'aiment chakib Abdi, Zerouati Said, Mezghou Ahlem, Larbi Bouamrane Marwa, Farah Guerabene, Nada Sahraoui, Hiba, Amal, Fatima Allili, Doudja Setra.

Halima Lazali

DEDICACE

A

Ma Phère Maman et Mon Phère Père

*Dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines m'ont permis de
vivre ce jour.*

Mes Frères Mohammed et Housseem, et mes sœurs

Et pour les meilleur enfant Mohammed Djouad et Fasmine

Ma cher binome Halima Lazali et tout la famille Lazali

Tous les gens m'aiment Ishak Saadia, Chakib Abdi.

Doudja Setra

ملخص:

الهدف من هذا المشروع هو تحويل عملية فصل وقطع الأسلاك اليدوية إلى آلية أوتوماتيكية فعالة، مما يؤدي إلى توفير الوقت وجعل عملية فصل الأسلاك متنسقة. تم تصميم الجهاز كجهاز سطح مكتبي مزود بكماشة لفصل وقطع الأسلاك، ويمكن برمجته بالكامل. يستطيع الجهاز قياس وقطع وفصل وعد مجموعة واسعة من أنواع الأسلاك وأحجامها بدقة.

الكلمات المفتاحية: اردوينو، محركات مؤازرة، قواطع للأسلاك، محرك خطوة بخطوة.

Résumé :

Le but de ce projet était de transformer d'une machine manuelle à découper et dénuder les fils électriques en un mécanisme automatique efficace, permettant de gagner du temps et d'obtenir un dénudage uniforme. La machine est conçue comme un dispositif de table équipé de pinces de dénudage et de découpe de fils, entièrement programmable. Elle est capable de mesurer, découper, dénuder et compter avec précision une large gamme de types et de tailles de fils.

Les Mots clés : Arduino, servomoteurs, coupe-fil, moteur pas à pas.

Abstract:

The goal of this project was to transform a manual machine used for cutting and stripping electrical wires into an efficient automatic mechanism that saves time and provides uniform stripping. The machine is designed as a table-top device equipped with wire stripping and cutting pliers, and it is fully programmable. It is capable of accurately measuring, cutting, stripping, and counting a wide range of wire types and sizes with precision.

Keywords: Arduino, servomotors, wire cutters, stepper motor.

Liste des Figures

Figure 1.1 Machines manuelles de dénuder de fils électriques [4]	16
Figure 1.2 Machines semi-automatous [6]	17
Figure 1.3 Machines automatiques [2]	17
Figure 1.4 Machines à couteaux rotatifs [9]	17
Figure 1.5 Machines à lames droites [11]	18
Figure 1.6 MACHINE DE DÉNUDAGE LASER GEMINI-2 [13]	18
Figure 1.7 découpe-câble hydraulique (750) [15].....	18
Figure 1.8 Dénuder de câble à lame rotative [17]	19
Figure 1.9 Dénuder de câble électrique [21]	19
Figure 1.10 Machine à découper les fils en biais [17].....	20
Figure 1.11 CrimpCenter 36 S [29]	29
Figure 1.12 Le CS370 [30].....	29
Figure 1.13 Kappa 320 [31]	30
Figure 1.14 Iota 330 [32].....	30
Figure 1.15 EcoStrip 9380 [33]	30
Figure 1.16 Machine de coupe, dénudage MultiStrip 9480 [34]	31
Figure 1.17 MegaStrip 9680 [35]	31
Figure 1.18 Machine de coupe dénudage câble AM2000[36]	31
Figure 2.19 fils électriques	34
Figure 2.20 Carte Arduino Uno Rev3	35
Figure 2.21 Arduino - Uno Rev3 board [41]	37
Figure 2.22 Arduino Nano [42].....	38
Figure 2.23 Arduino Leonardo [43]	38
Figure 2.24 Arduino due [44]	38
Figure 2.25 Arduino Mega [45]	39
Figure 2.26 Arduino Zero [46].....	39
Figure 2.27 Espduino32 [47]	39
Figure 2.28 Arduino LilyPad [49].....	40
Figure 2.29 Arduino Esplora [51]	40
Figure 2.30 ESPDuino-32 [52]	41
Figure 2.31 Microcontrôleur [54]	42
Figure 2.32 Microprocesseur (ESP32) [55].....	43
Figure 2.33 Servo [56]	44
Figure 2.34 Stepper Motor [57]	45
Figure 2.35 Rotor à aimant permanent [59]	46
Figure 2.36 Moteur pas à pas à réluctance variable.[59]	46
Figure 2.37 Rotor hybride. [59].....	47
Figure 2.38 Circuit de commande de moteur pas à pas unipolaire [59].....	48
Figure 2.39 Circuit de commande de moteur pas à pas bipolaire. [59].....	48
Figure 2.40 L298N Stepper Motor Driver [63]	49
Figure 2.41 Moteur alternatif [65].....	50
Figure 2.42 Un joystick [67]	50

Figure 2.43 interface de logiciel MicroPython	52
Figure 2.44 Les boutons de logiciel MicroPython	52
Figure 2.45 Les boutons de logiciel MicroPython	53
Figure 2.46 L'algorithme de fonctionnement	54
Figure 3.47 Représentation schématique du prototype.....	57
Figure 3.48 représentation de circuit avec composants électroniques.....	58
Figure 3.49 l'interface de easyeda	59
Figure 3.50 représentation schématique de circuit.....	60
Figure 3.51 représentation de circuit imprimé.....	61
Figure 3.52 branchement de moteur pas à pas avec la carte ESPduino-32	61
Figure 3.53 branchement de dénuder avec la carte ESPduino-32.....	62
Figure 54 Aperçu globale du notre prototype sous WOKIWI	62
Figure 3.55 Organigramme principale du projet	63
Figure 3.56 Vue 3d mécanique	64
Figure 3.57 Vue 2d mécanique	66
Figure 3.58 Schéma détails de paramètres de fil électrique	66
Figure 3.59 l'interface général de thoney	67
Figure 3.60 barre d'outils	68
Figure 3.61 l'interface de commande	70
Figure 3.62 Organigramme de télécommunication.....	72
Figure 3.63 Schéma de structure de projet	72
Figure 3.64 la carte ESP32.....	73
Figure 3.65 moteur pas à pas driver	73
Figure 3.66 moteur pas à pas.....	74
Figure 3.67 moteur servo.....	74
Figure 3.68 mécanismes de montage	75
Figure 3.69 relais	75
Figure 3.70 pince.....	75
Figure 3.71 joystick	76
Figure 3.72 Sentier de fil électrique.....	76
Figure 3.73 mécanisme de guidage	76

Table de matières

Introduction général	13
----------------------------	----

Chapitre 1

I.1	Introduction	16
I.2	Définition	16
I.3	Différents types de machine à dénuder et découper les fils électriques	16
I.3.1	Machines manuelles	16
I.3.2	Machines semi-automatiques.....	17
I.3.3	Machines automatiques	17
I.3.4	Machines à couteaux rotatifs.....	17
I.3.5	Machines à lames droites	18
I.3.6	Machine à dénuder laser	18
I.3.7	Découpe-fils hydrauliques	18
I.3.8	Dénuder de câble à lame rotative.....	19
I.3.9	Machine à dénuder les fils à air chaud	19
I.3.10	Dénuder de câble électrique.....	19
I.3.11	Machine à découpe les fils en biais.....	20
I.4	Principe de fonctionnement des machines à dénuder et découper les fils.....	20
I.5	Fonctionnement des machines de découpe et de dénudage de fils électriques	20
I.6	Les éléments constitutifs des machines de découpe et de dénudage de fils électriques	21
I.6.1	La structure	21
I.6.2	Le système de guidage	21
I.6.3	Le mécanisme de découpe.....	21
I.6.4	Le système de dénudage.....	21
I.6.5	Le système d'entraînement	21
I.6.6	Le système de contrôle	22
I.7	Les éléments constitutifs des machines de découpe et de dénudage de fils électriques	22
I.8	Caractéristiques des machines de découpe et de dénudage de fils électriques	22
I.8.1	Capacité de découpe.....	22
I.8.2	Vitesse de découpe	23
I.8.3	Diamètre du fil	23

I.8.4	Précision.....	23
I.8.5	Contrôle de la longueur	23
I.8.6	Sécurité	23
I.8.7	Source d'alimentation.....	23
I.8.8	Maintenance et entretien.....	23
I.8.9	Vitesse de production	23
I.8.10	Coût.....	23
I.8.11	Les options supplémentaires	24
I.8.12	Présence de capteurs.....	24
I.8.13	Fonction de détection de la longueur.....	24
I.8.14	Éjection automatique.....	24
I.8.15	Système de contrôle de la tension.....	24
I.8.16	Fonction d'inspection de la qualité.....	24
I.8.17	Option de connexion réseau.....	24
I.9	Utilisation des machines de découpe et de dénudage de fils électriques.....	25
I.9.1	Fabrication de câbles	25
I.9.2	Réparation et maintenance électrique	25
I.9.3	Construction.....	25
I.9.4	Recyclage.....	25
I.10	Les précautions à prendre	25
I.11	Les étapes à suivre pour assurer une utilisation optimale	26
I.12	Les éventuels problèmes rencontrés.....	26
I.12.1	Des découpe inégales	26
I.12.2	Des dénudages inappropriés	26
I.12.3	Des blocages.....	26
I.12.4	Des dysfonctionnements électriques.....	26
I.12.5	Des blessures corporelles	27
I.13	Réduire les risques de problèmes.....	27
I.13.1	Formation.....	27
I.13.2	Utilisation correcte de la machine	27
I.13.3	Inspectez la machine.....	27
I.14	Utilisez les équipements de protection	27

I.15	Les plus importantes entreprises productrices de machines pour découper et dénuder les fils électriques	27
I.15.1	Schleuniger.....	28
I.15.2	Komax.....	28
I.15.3	Eraser	28
I.15.4	Carpenter Manufacturing	28
I.15.5	Artos Engineering.....	28
I.16	Les machines les plus importantes et leurs caractéristiques.....	28
I.16.1	CrimpCenter	28
I.16.2	CS370.....	29
I.16.3	Kappa 320	30
I.16.4	Iota 330	30
I.16.5	Machine De découpe Et Dénudage Es9380	30
I.16.6	Machine de découpe, dénudage MultiStrip 9480	31
I.16.7	Machine De Découpe Et Dégainage Ms9680.....	31
I.16.8	Machine de découpe dénudage câble AM2000	31
I.17	Conclusion.....	32

Chapitre 2

II.1	Introduction	34
II.2	Définitions.....	34
II.2.1	Un fil électrique.....	34
II.2.2	La carte arduino	35
II.2.3	Historique de l'Arduino	35
II.2.4	Présentation générale.....	36
II.2.5	Description technique.....	36
II.2.6	Les gammes de la carte Arduino	37
II.3	La carte espduino 32.....	41
II.3.1	Présentation de l'Arduino espduino 32	41
II.3.2	Les composants de carte esp 32	41
II.4	Microcontrôleur	42
II.4.1	Broche numérique	42
II.4.2	Broch PWM	42

II.4.3	Bouton de réinitialisation.....	42
II.4.4	Port mini-USB.....	42
II.4.5	Module Wi-fi	43
II.5	Microprocesseur (ESP32).....	43
II.5.1	Définition.....	43
II.5.2	Utilisation	43
II.5.3	Interface de commande	44
II.5.4	Puissance de traitement	44
II.6	Servo	44
II.5.5	Définition :.....	44
II.5.6	Utilisation :	44
II.7	Stepper motor.....	45
II.7.1	Définition :.....	45
II.7.2	Utilisation :	45
II.7.3	Types et constructions de moteur pas à pas	46
II.7.4	Les caractéristiques de ce moteur	48
II.8	Le Mini L298N stepper motor driver.....	49
II.8.1	Définition.....	49
II.8.2	Utilisation	49
II.9	Moteur alternatif	50
II.9.1	Un joystick analogique.....	50
II.10	Le logiciel.....	51
II.10.1	MicroPython.....	51
II.10.2	L'interface	52
II.10.3	Les boutons	52
II.11	L'algorithme de fonctionnement	54
II.12	Conclusion.....	55

Chapitre 3

III.1	Introduction	57
III.2	Partie de conception.....	58
III.2.1	Conception électronique (hardware).....	58
III.2.2	L'interface de easyeda	59

III.2.3	Représentation Schématique de circuit.....	60
III.2.4	Bloc de convoyeur.....	61
III.2.5	Montage générale.....	62
III.2.6	Montage finale.....	62
III.3	Organigramme générale du programme principal	63
III.4	Conception mécanique	64
III.5	Conception informatique.....	66
III.5.1	Logiciel micropython & thoney.....	67
III.5.2	Organigramme générale du programme principal	69
III.6	Partie commande.....	70
III.6.1	Description de l'interface.....	70
III.7	Partie télécommunication	71
III.8	Partie de réalisation	72
III.8.1	Le mode de fonctionnement de l'appareil	73
III.8.2	Partie d'entraînement des fils électriques.....	75
III.9	Le Source Code de notre machine (programmation en Micropython)	77
III.10	Conclusion.....	80
	Conclusion générale.....	81
	BIBLIOGRAPHIE	82

Introduction Générale

Ce projet implique la conception et la construction d'une machine qui automatise le processus de découpe et de dénudée des fils électriques, ce qui peut grandement augmenter l'efficacité et réduire les coûts de main-d'œuvre pour les sociétés de câblage et de fabrication électronique. La machine est conçue à l'aide de plusieurs composants électroniques et mécaniques, notamment un microcontrôleur ESP32 des servomoteurs et des pinces coupantes.

Dans ce travail nous avons fait la conception et réalisation d'une machine à découper et dénuder des fils électriques et la définition des éléments principaux de conception de cette machine.

- Le premier chapitre du projet fournit un aperçu de la machine dénudée et découper de fils électriques, y compris ses applications et ses avantages.
- Le deuxième chapitre propose une discussion détaillée des composants mécaniques et électroniques du projet.
- Le troisième chapitre est consacré à l'aspect pratique du projet, couvrant la construction et la programmation de la machine.
- Enfin, la conclusion résume les points clés du projet et souligne l'importance de l'automatisation du processus de dénudée et découper de fils.

Dans l'ensemble, ce projet a un potentiel significatif pour améliorer les processus de fabrication et la documentation fournie pourrait être utile aux ingénieurs et aux techniciens souhaitant concevoir des machines similaires.

Chapitre 1

Généralité sur les machines à découper et dénuder les fils électriques

I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons explorer le domaine des machines industrielles, avec une attention particulière portée sur les machines de dénudage et de découpe de fils électriques. Nous avons accordé une grande importance à cette thématique en raison de son lien étroit avec le projet que nous allons développer. [1]

I.2 Définition

La machine de dénudage et coupage de fils électriques est un équipement industriel utilisé pour automatiser le processus de dénudage et de découpe de fils électriques. Cette machine est conçue pour fonctionner avec différents types de fils électriques, qu'ils soient en cuivre, en aluminium ou en acier. [2] [3]

La machine de dénudage et coupage de fils électriques peut être programmée pour dénuder les fils sur une certaine longueur et les découper à une longueur spécifique. Elle peut également être équipée de capteurs pour détecter la longueur et le diamètre des fils et ajuster automatiquement la découpe en conséquence.

L'utilisation de cette machine permet d'augmenter la productivité en réduisant les temps d'arrêt pour le changement de bobines et en évitant les erreurs humaines de découpe et de dénudage. Elle est souvent utilisée dans l'industrie électrique pour la fabrication de câbles, de faisceaux de câbles, de harnais électriques et d'autres produits similaires.

I.3 Différents types de machine à dénuder et découper les fils électriques

Il existe plusieurs types de machines à dénuder et découper les fils électriques. Les différents types de machines peuvent être classés en fonction de leur capacité de production, de leur degré d'automatisation, de leur méthode de découpe et de dénudage, ainsi que de la taille et du type de fil électrique qu'elles peuvent traiter. Voici une liste non exhaustive des types de machines les plus courants :

I.3.1 Machines manuelles

Ces machines sont actionnées manuellement et sont généralement utilisées pour des tâches de découpe et de dénudage de fils électriques à petite échelle. Elles sont souvent utilisées pour des travaux de réparation et de maintenance. [2]



Figure 1.1 Machines manuelles de dénuder de fils électriques [4]

I.3.2 Machines semi-automatiques

Ces machines ont une capacité de production plus élevée que les machines manuelles et peuvent être utilisées pour des tâches découpe et de dénudage de fils électriques à moyenne échelle. Elles nécessitent souvent une intervention humaine pour charger et décharger les fils. [2] [5]



Figure 1.2 Machines semi-automatous [6]

I.3.3 Machines automatiques

Ces machines sont entièrement automatisées et peuvent fonctionner en continu avec peu ou pas d'intervention humaine. Elles sont utilisées pour des tâches de découpe et de dénudage de fils électriques à grande échelle et sont souvent intégrées dans des chaînes de production automatisées. [2] [5] [7]



Figure 1.3 Machines automatiques [2]

I.3.4 Machines à couteaux rotatifs

Ces machines utilisent des couteaux rotatifs pour découper l'isolation des fils électriques. Elles sont efficaces pour traiter des fils électriques de petite et moyenne taille. [2] [8]



Figure 1.4 Machines à couteaux rotatifs [9]

I.3.5 Machines à lames droites

Ces machines utilisent des lames droites pour découper l'isolation des fils électriques. Elles sont efficaces pour traiter des fils électriques de grande taille. [2] [10]



Figure 1.5 Machines à lames droites [11]

I.3.6 Machine à dénuder laser

Utilise un laser pour retirer l'isolation des fils électriques. [12]



Figure 1.6 MACHINE DE DÉNUDAGE LASER GEMINI-2 [13]

I.3.7 Découpe-fils hydrauliques

Une pince coupante qui utilise la pression hydraulique pour découper des fils électriques de grande taille. [14] [15]



Figure 1.7 découpe-câble hydraulique (750) [15]

I.3.8 Dénuder de câble à lame rotative

Une machine qui utilise une lame rotative pour retirer l'isolation des câbles. [16]



Figure 1.8 Dénuder de câble à lame rotative [17]

I.3.9 Machine à dénuder les fils à air chaud

Utilise une source d'air chaud pour ramollir l'isolation des fils électriques afin de la retirer facilement. [18] [19]

I.3.10 Dénuder de câble électrique

Une machine qui peut dénuder des câbles électriques de grande taille en une seule opération. [20]



Figure 1.9 Dénuder de câble électrique [21]

I.3.11 Machine à découpe les fils en biais

Une machine qui découpe les fils électriques en biais pour éviter les dommages aux fils.

Il existe de nombreuses autres machines et outils spécialisés pour découper et dénuder les fils électriques qui peuvent être utilisés dans diverses applications. Il est important de choisir la machine ou l'outil approprié pour chaque tâche afin d'assurer une production efficace et précise. [22]



Figure 1.10 Machine à découper les fils en biais [17]

I.4 Principe de fonctionnement des machines à dénuder et découper les fils

Les machines à dénuder et découper les fils électriques sont des équipements utilisés pour retirer l'isolation des fils électriques et les découper à la longueur requise. Le principe de fonctionnement de ces machines est relativement simple :

Tout d'abord, le fil électrique est inséré dans la machine à travers une fente ou une ouverture conçue à cet effet.

La machine serre alors le fil à l'aide de deux roues ou de pinces, en fonction du modèle de la machine.

La machine découpe ensuite l'extrémité du fil à la longueur désirée. Cette opération peut être effectuée à l'aide d'une lame ou d'un couteau, ou à l'aide d'un outil de découpe spécialisé.

Enfin, la machine dénude le fil électrique en retirant l'isolation qui recouvre le fil. Cela peut être accompli de plusieurs façons, notamment en utilisant des lames spéciales pour découper l'isolation et la retirer de manière précise. [23]

I.5 Fonctionnement des machines de découpe et de dénudage de fils électriques

Les machines de découpe et de dénudage de fils électriques sont des outils utilisés pour découper et enlever la gaine isolante des fils électriques. Le fonctionnement de ces machines est relativement simple.

Tout d'abord, le fil électrique est introduit dans la machine à travers une fente ou un guide-fil. Ensuite, la machine découpe la gaine isolante du fil selon une longueur prédéfinie. Certains

modèles de machines de découpe peuvent également effectuer un dénudage partiel ou total de l'isolant.

Le mécanisme de découpe est généralement constitué d'une paire de lames, qui sont actionnées par un moteur électrique ou pneumatique. La précision de la découpe dépend de la qualité de ces lames et de leur affûtage.

Certaines machines de découpe et de dénudage de fils électriques peuvent être programmées pour découper et dénuder des fils de différentes longueurs et diamètres. Les paramètres de découper peuvent être ajustés à l'aide d'un écran tactile ou de boutons de réglage. [2] [24]

I.6 Les éléments constitutifs des machines de découpe et de dénudage de fils électriques

Les machines de découpe et de dénudage de fils électriques sont généralement constituées des éléments suivants :

I.6.1 La structure

C'est le corps principal de la machine, qui supporte tous les autres éléments. Elle peut être en métal ou en plastique renforcé.

I.6.2 Le système de guidage

Il permet de diriger le fil électrique vers la zone de découpe. Il est souvent composé d'un guide-fil, d'un étau et d'un bras support.

I.6.3 Le mécanisme de découpe

C'est l'élément qui découpe la gaine isolante du fil. Il est composé d'une ou plusieurs lames en acier trempé, fixées sur un arbre et actionnées par un moteur électrique ou pneumatique. Les lames peuvent être droites, en V ou en U, selon le type de découpe souhaiter.

I.6.4 Le système de dénudage

Il permet d'enlever la gaine isolante du fil après la découpe. Ce système peut être manuel ou automatique, selon le modèle de machine. Les machines de dénudage automatiques sont souvent équipées de lames spéciales qui retirent la gaine isolante sans endommager le fil.

I.6.5 Le système d'entraînement

Il permet de faire avancer le fil électrique dans la machine, en le maintenant fermement pour éviter les déformations ou les torsions. Ce système est souvent constitué de rouleaux crantés ou d'un système de pincement.

I.6.6 Le système de contrôle

Il permet de régler la longueur de découper et la force de serrage du fil. Les machines de découper et de dénudage de fils électriques peuvent être équipées d'un écran tactile ou de boutons de réglage pour faciliter leur utilisation.

I.7 Les éléments constitutifs des machines de découpe et de dénudage de fils électriques

Les machines de découpe et de dénudage de fils électriques sont généralement constituées des éléments suivants :

- Alimentation électrique : La machine est alimentée par une source d'énergie électrique, généralement une prise murale standard.
- Réglage des paramètres : Les paramètres de la machine sont ajustés en fonction des spécifications requises pour les fils à traiter, tels que la longueur de découpe, la longueur de dénudage, la profondeur de dénudage et la vitesse de fonctionnement.
- Chargement des fils : Les fils électriques sont placés dans la machine, soit manuellement, soit par un système d'alimentation automatique.
- Découpe des fils : La machine effectue une découpe précise des fils à la longueur spécifiée à l'aide d'une lame tranchante ou d'un dispositif de coupe.
- Dénudage de l'isolation : Après la découpe, la machine retire l'isolation externe des fils pour révéler le conducteur métallique. Cela peut être réalisé avec des lames spéciales, des lames rotatives ou des pinces.
- Collecte des fils : Les fils coupés et dénudés sont collectés dans un bac ou un plateau prévu à cet effet. [25] [26]

I.8 Caractéristiques des machines de découpe et de dénudage de fils électriques

Les machines de découpe et de dénudage de fils électriques sont disponibles dans une variété de tailles, de modèles et de spécifications pour répondre aux besoins spécifiques de diverses applications. Les caractéristiques communes de ces machines sont :

I.8.1 Capacité de découpe

La capacité de découpe est la taille maximale du fil électrique que la machine peut découper avec précision. Les machines de découpe et de dénudage de fils électriques sont disponibles dans une gamme de capacités de découpe allant de quelques millimètres à plusieurs centimètres de diamètre.

I.8.2 Vitesse de découpe

La vitesse de découpe est le temps nécessaire pour découper chaque fil électrique. Les machines de découpe et de dénudage de fils électriques sont disponibles dans une gamme de vitesses de découpe pour répondre aux exigences de production.

I.8.3 Diamètre du fil

Le diamètre du fil est la taille du fil électrique qui peut être dénudé par la machine. Les machines de dénudage sont disponibles pour les fils de différentes tailles allant de quelques millimètres à plusieurs centimètres de diamètre.

I.8.4 Précision

La précision est la capacité de la machine à découper ou dénuder les fils électriques avec une grande précision. Les machines de découpe et de dénudage de fils électriques sont équipées de lames de haute qualité pour garantir une découpe et un dénudage précis.

I.8.5 Contrôle de la longueur

Certaines machines de découpe sont équipées d'un contrôle de la longueur pour découper les fils électriques à des longueurs précises et répétables.

I.8.6 Sécurité

Les machines de découper et de dénudage de fils électriques doivent être équipées de dispositifs de sécurité pour minimiser les risques de blessures et de dommages aux fils électriques. Les dispositifs de sécurité comprennent des capteurs de pression, des interrupteurs de sécurité et des barrières de sécurité.

I.8.7 Source d'alimentation

Le choix de la source d'alimentation de la machine, qu'elle soit électrique ou mécanique.

I.8.8 Maintenance et entretien

Il est important de considérer la facilité de maintenance et d'entretien de la machine. Les machines qui sont faciles à entretenir peuvent prolonger leur durée de vie et minimiser les temps d'arrêt de production.

I.8.9 Vitesse de production

La vitesse de production est un autre critère important. Les machines sont disponibles dans une gamme de vitesses de découpe et de dénudage pour répondre aux exigences de production de l'atelier.

I.8.10 Coût

Le coût de la machine est également un critère important à prendre en compte. Il est important de trouver un équilibre entre les fonctionnalités nécessaires et le budget disponible.

I.9 Les options supplémentaires

En plus des caractéristiques techniques de base, il existe plusieurs options supplémentaires que l'on peut trouver sur une machine de découpe et de dénudage de fils électriques. Voici quelques exemples d'options supplémentaires :

I.9.1 Présence de capteurs

Les capteurs peuvent être utilisés pour détecter la présence de fils électriques et pour déterminer leur position exacte. Cette option est utile pour les applications où les fils sont difficiles à voir ou sont très petits.

I.9.2 Fonction de détection de la longueur

Cette option permet à la machine de détecter la longueur exacte du fil électrique à découper ou à dénuder. Cette fonction est particulièrement utile pour les applications nécessitant des fils électriques de longueurs précises.

I.9.3 Éjection automatique

Cette option permet à la machine d'éjecter automatiquement les fils électriques coupés ou dénudés. Cette fonction est utile pour les applications nécessitant une production à haut volume.

I.9.4 Système de contrôle de la tension

Cette option permet à la machine de maintenir une tension constante sur le fil électrique lors de la découpe ou du dénudage. Cette fonction est utile pour les applications nécessitant une grande précision et une qualité de découpe élevée.

I.9.5 Fonction d'inspection de la qualité

Cette option permet à la machine d'inspecter automatiquement la qualité de découpe ou de dénudage des fils électriques. Cette fonction est utile pour garantir la qualité et la fiabilité des produits finis.

I.9.6 Option de connexion réseau

Cette option permet à la machine d'être connectée à un réseau informatique, ce qui facilite la collecte de données de production et la surveillance à distance.

En fonction des besoins spécifiques de l'application, il peut être judicieux de choisir une machine avec certaines de ces options supplémentaires. Cela peut aider à améliorer la productivité, la qualité et la fiabilité du processus de découpe et de dénudage des fils électriques. [2]

I.10 Utilisation des machines de découpe et de dénudage de fils électriques

Les machines à dénuder et découper les fils électriques sont largement utilisées dans l'industrie électrique et dans d'autres secteurs qui utilisent des fils électriques. Voici quelques-unes des utilisations les plus courantes de ces machines :

I.10.1 Fabrication des câbles

Les machines à dénuder et découper les fils électriques sont utilisées dans la fabrication de câbles pour retirer l'isolation des fils et les découper à la bonne longueur.

I.10.2 Réparation et maintenance électrique

Ces machines sont utilisées pour dénuder et découper les fils électriques lors de la réparation ou de la maintenance d'équipements électriques.

I.10.3 Construction

Les électriciens et les installateurs utilisent ces machines pour dénuder et découper les fils électriques lors de la construction de bâtiments ou d'autres projets de construction.

I.10.4 Recyclage

Les machines à dénuder et découper les fils électriques sont également utilisées dans le recyclage des fils électriques et des câbles.

I.11 Les précautions à prendre

L'utilisation de machines de découpe et de dénudage de fils électriques nécessite des précautions particulières pour éviter tout risque d'accident ou de blessure. Voici quelques précautions à prendre pour utiliser ces machines en toute sécurité :

L'utilisation de machines de découpe et de dénudage de fils électriques nécessite des précautions particulières pour éviter tout risque d'accident ou de blessure. Voici quelques précautions à prendre pour utiliser ces machines en toute sécurité :

- Assurez-vous que la machine est correctement installée et fixée avant de l'utiliser. Une machine mal fixée peut se déplacer pendant son utilisation, ce qui peut causer des accidents.
- Portez des équipements de protection personnelle tels que des lunettes de sécurité, des gants et des vêtements appropriés pour éviter les blessures.
- Vérifiez que les fils électriques sont correctement fixés dans la machine avant de commencer à les découper ou à les dénuder.
- Réglez la machine en fonction de la taille des fils à découper et à dénuder pour éviter tout incident.
- Utilisez des fils électriques de qualité pour éviter les ruptures ou les cassures pendant l'utilisation de la machine.
- Ne découpez ou ne dénudez pas de fils électriques sous tension.
- Nettoyez régulièrement la machine pour éviter les obstructions et les dysfonctionnements.

En respectant ces précautions, vous pouvez utiliser les machines de découper et de dénudage de fils électriques en toute sécurité et efficacité.

I.12 Les étapes à suivre pour assurer une utilisation optimale

Pour une utilisation optimale des machines de découpe et de dénudage de fils électriques, il est important de :

- Bien entretenir la machine.
- Utiliser la machine pour les types de fils appropriés.
- Suivre les instructions du fabricant.
- Porter des équipements de protection individuelle.
- Vérifier la tension et la fréquence d'alimentation.
- Nettoyer et ranger la machine après chaque utilisation.

En suivant ces étapes, vous pouvez garantir une utilisation efficace et sécurisée de la machine.

I.13 Les éventuels problèmes rencontrés

Les machines de découper et de dénudage de fils électriques peuvent rencontrer divers problèmes, notamment :

I.13.1 Des découpe inégales

Si les lames de la machine ne sont pas bien affûtées ou si les fils ne sont pas correctement positionnés, les découpe peuvent être inégales, ce qui peut compromettre la qualité de la connexion électrique.

I.13.2 Des dénudages inappropriés

Si la machine n'est pas adaptée au type de fil utilisé ou si elle est mal réglée, elle peut ne pas enlever suffisamment de revêtement isolant, ou en enlever trop, ce qui peut endommager le fil.

I.13.3 Des blocages

Des débris ou des résidus peuvent s'accumuler dans la machine, ce qui peut entraîner des blocages, des coupures ou des dommages à la machine.

I.13.4 Des dysfonctionnements électriques

Si la machine est mal branchée ou si elle ne fonctionne pas correctement en raison d'une défaillance électrique, elle peut ne pas découper ou dénuder les fils de manière appropriée, ou ne pas fonctionner du tout.

I.13.5 Des blessures corporelles

Si la machine est utilisée de manière inappropriée ou si les équipements de protection individuelle ne sont pas portés, il y a un risque de blessure corporelle, tels que des coupures ou des brûlures.

Il est important de bien entretenir la machine, de la régler correctement, de l'utiliser pour les types de fils appropriés, de suivre les instructions du fabricant, de porter les équipements de protection individuelle, de vérifier la tension et la fréquence d'alimentation et de nettoyer et ranger la machine après chaque utilisation pour minimiser les risques de problèmes et de blessures.

I.14 Réduire les risques de problèmes

Il est possible de réduire les risques de problèmes lors de la découper et du dénudage des fils électriques en prenant les mesures suivantes :

I.14.1 Formation

Assurez-vous que les opérateurs sont correctement formés et informés des mesures de sécurité pour l'utilisation de la machine.

I.14.2 Utilisation correcte de la machine

Utilisez la machine correctement en suivant les instructions du fabricant. Utilisez les réglages appropriés pour le fil et la gaine et ne forcez pas la machine. [27]

I.14.3 Inspectez la machine

Vérifiez régulièrement que la machine est en bon état de fonctionnement, que les lames sont bien affûtées et que toutes les pièces sont en bon état. [27]

I.15 Utilisez les équipements de protection

Assurez-vous que les opérateurs portent les équipements de protection appropriés, tels que des gants et des lunettes de sécurité.

Vérifiez la qualité de la découpe et du dénudage : Vérifiez que les fils sont correctement coupés et dénudés avant de les utiliser. Si nécessaire, utilisez une pince ou un couteau pour enlever les fils endommagés ou mal dénudés. [28]

I.16 Les plus importantes entreprises productrices de machines pour découper et dénuder les fils électriques

Il existe plusieurs grandes entreprises productrices de machines pour découper et dénuder les fils électriques, chacune avec ses propres avantages et spécifications. Voici quelques-unes des plus importantes :

I.16.1 Schleuniger

Une entreprise suisse spécialisée dans la production de machines de traitement de câbles et de fils pour l'industrie de l'électronique.

I.16.2 Komax

Une entreprise suisse qui propose des machines pour la production automatisée de câbles, y compris des machines pour découper et dénuder les fils électriques.

I.16.3 Eraser

Une entreprise américaine qui fabrique des machines de traitement de fils, y compris des machines pour découper, dénuder et torsader les fils.

I.16.4 Carpenter Manufacturing

Une entreprise américaine qui produit des machines de traitement de fils pour l'industrie électronique, y compris des machines pour découper et dénuder les fils électriques.

I.16.5 Artos Engineering

Une entreprise américaine qui propose une gamme de machines de traitement de fils, y compris des machines pour découper, dénuder et marquer les fils électriques.

Ces entreprises sont des acteurs importants dans l'industrie des machines de traitement de fils électriques, offrant une large gamme de machines adaptées aux besoins des clients.

I.17 Les machines les plus importantes et leurs caractéristiques**I.17.1 CrimpCenter**

Le CrimpCenter 36 S est une machine polyvalente et de haute précision équipée d'une technologie fiable de haute qualité. Son design modulaire compact peut accueillir jusqu'à six stations de traitement et peut gérer une variété d'applications avec des sections transversales de 0,13 à 6 mm². [29]



Figure 1.11 CrimpCenter 36 S [29]

I.17.2 CS370

Le CS370 de Komax est une machine de traitement de câbles capable de découper et dénuder des câbles lourds. Elle peut traiter des fils allant jusqu'à 35 mm de diamètre et aussi courts que 50 mm de longueur. La machine dispose d'une lame rotative qui permet de dénuder les câbles à plusieurs couches et blindés, ainsi que d'options de fente de fil et de marquage à jet d'encre.

Le CS370 de Komax présente plusieurs avantages :

- Il est puissant, précis et rapide pour le traitement de câbles lourds.
- Il est capable de traiter des câbles spéciaux tels que les câbles à plusieurs couches et blindés.
- Il peut traiter des fils courts jusqu'à 50 mm de longueur.
- Il est robuste et offre plusieurs options de capacité, telles que la fente de fil et le marquage à jet d'encre.
- Les guides peuvent être changés rapidement et facilement pour minimiser les temps d'arrêt.
- La collecte de fil polyvalente garantit un flux de travail fluide. [30]



Figure 1.12 Le CS370 [30]

I.17.3 Kappa 320

La machine de découper et de dénudage Kappa 320 est robuste et rapide, capable de traiter des câbles jusqu'à 10 mm² à une vitesse de 4 m/s. [31]



Figure 1.13 Kappa 320 [31]

I.17.4 Iota 330

L'appareil Cut & strippe Iota 330 découpe avec précision des matériaux en continu jusqu'à 1000 mètres, tels que les gaines thermo rétractables, les gaines à air comprimé, les câbles et les rubans en plastique. [32]



Figure 1.14 Iota 330 [32]

I.17.5 Machine De découpe Et Dénudage Es9380

➤ Description

- Machine de découpe-dénudage EcoStrip 9380 : électrique haute performance entièrement programmable
- Transport du fil par rouleaux et courroies
- Simple d'utilisation grâce à l'interface utilisateur Schleuniger S.On avec écran couleur
- Section maximum 10 mm²
- Diamètre du tube maxi. : 10 mm. [33]



Figure 1.15 EcoStrip 9380 [33]

I.17.6 Machine de découpe, dénudage MultiStrip 9480

➤ Description

- Machine de découpe, dénudage MultiStrip 9480 entièrement programmable
- Couteaux système à cassette
- Ecran tactile couleur
- Multiples applications (refente, découpe de la nappe, découpe tube...)
- Section maximum du câble 20 mm² (25 mm² en option)
- Diamètre extérieur du tube : 14 mm
- Existe avec boîte rotative (modèles MR et RS)
- Existe avec boîte rotative microcoax (modèles RSX et RX). [34]



Figure 1.16 Machine de coupe, dénudage MultiStrip 9480 [34]

I.17.7 Machine De Découpe Et Dégainage Ms9680

➤ Description

- Machine de découpe, dégainage, dénudage MegaStrip 9680 électropneumatique entièrement programmable
- Couteaux système à cassette
- Ecran tactile couleur
- Multiples applications (refente, découpe de la nappe, découpe tube...)
- Section maximum en câble multibrin 120 mm² (240-300 mm² en option)
- Diamètre tube maxi. : 39 mm
- Existe avec boîte rotative (modèle MR). [35]



Figure 1.17 MegaStrip 9680 [35]

I.17.8 Machine de découpe dénudage câble AM2000

La machine AM 2000 découpe et dénude automatiquement les câbles jusqu'à 6 mm² et les fils jusqu'à 1,5 mm² avec précision et fiabilité. Elle est adaptée pour les câbles et les fils de taille moyenne à petite. [36]



Figure 1.18 Machine de coupe dénudage câble AM2000[36]

I.18 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents types de dénudage et de découpe de fils électriques. Avec les évolutions du domaine industriel, il est devenu nécessaire d'utiliser une machine à dénuder et découper les fils automatiquement pour suivre le rythme de production.

Dans le prochain chapitre nous présentons Les Principaux constituants de la machine afin de concevoir un système identique à base d'ESPduino-32.

Chapitre 2

Les principaux constituants de la machine

II.1 Introduction

La machine de découpe et dénudage de fils électriques est un outil indispensable dans les industries qui produisent des câbles et des fils électriques. Cette machine est conçue pour couper les fils à la longueur désirée et retirer leur gaine isolante pour permettre une connexion électrique fiable et sécurisée. Les machines modernes de découpe et dénudage de fils électriques sont équipées de plusieurs composants qui fonctionnent en synergie pour fournir une performance précise et fiable. Ces composants incluent une unité de coupe, une unité de dénudage, une unité de traction, une unité de contrôle et une unité d'alimentation en fil. Dans cette étude, nous examinerons de près chacun de ces composants pour comprendre leur rôle et leur fonctionnement dans la machine de découpe et dénudage de fils électriques.

II.2 Définitions

II.2.1 Un fil électrique

C'est un conducteur électrique servant à transporter l'électricité d'un point à un autre. Les fils électriques peuvent être fabriqués à partir de différents matériaux, tels que le cuivre, l'aluminium, l'argent et l'or, en fonction de leurs propriétés conductrices. Les fils électriques peuvent également être isolés avec différents matériaux pour empêcher les pertes d'énergie et prévenir les chocs électriques. Les normes et spécifications pour la fabrication et l'utilisation de fils électriques sont définies par des organismes tels que l'International Electrotechnical Commission (IEC) et l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). [37]

Se réfère à la manière dont les fils électriques sont coupés de manière efficace et en toute sécurité pour assurer le bon fonctionnement d'un circuit électrique et la sécurité de l'utilisateur. Les fils électriques sont souvent coupés pour une variété de raisons, telles que la réparation ou le remplacement d'un équipement électrique, l'installation d'un nouveau circuit électrique ou la modification d'un circuit existant. [38]

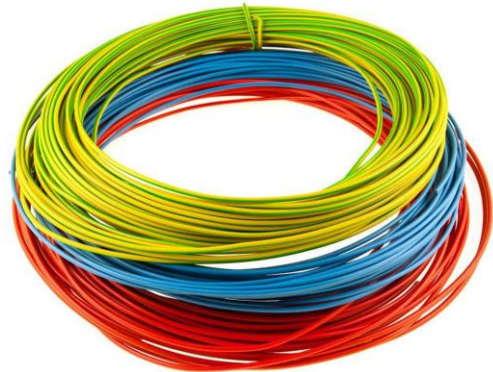


Figure 2.19 fils électriques

II.2.2 La carte Arduino

Les cartes Arduino sont conçues pour réaliser des prototypes et des maquettes de cartes électroniques pour l'informatique embarquée. Ces cartes permettent un accès simple et peu coûteux à l'informatique embarquée. De plus, elles sont entièrement libres de droit, autant sur l'aspect du code source (Open Source) que sur l'aspect matériel (Open Hardware). Ainsi, il est possible de refaire sa propre carte Arduino dans le but de l'améliorer ou d'enlever des fonctionnalités inutiles au projet. Le langage Arduino se distingue des langages utilisés dans l'industrie de l'informatique embarquée de par sa simplicité. En effet, beaucoup de bibliothèques et de fonctionnalités de base occultent certains aspects de la programmation de logiciel embarquée afin de gagner en simplicité. Cela en fait un langage parfait pour réaliser des prototypes ou des petites applications dans le cadre de hobby [48].

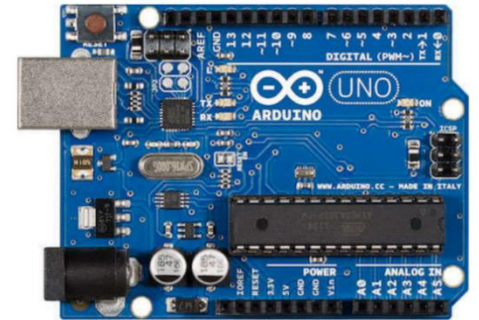


Figure 2.20 Carte Arduino Uno Rev3

Le système Arduino permet de :

- Contrôler les appareils domestiques
- Fabriquer notre propre robot
- Faire un jeu de lumières
- Communiquer avec l'ordinateur
- Télécommander un appareil mobile (modélisme)
- etc... [39]

II.2.3 Historique de l'Arduino

L'Arduino est à l'origine d'un projet d'étudiants de l'école de Design d'Interaction d'Ivrea en Italie. Au début des années 2000, les outils de conception de projets dans le domaine du design d'interaction étaient onéreux, proches d'une centaine d'euros. Ces outils étaient pour la plupart des modèles pour le domaine de l'ingénierie et de la robotique. [40]

Maîtriser et utiliser ces composants demandait beaucoup de temps et d'apprentissage et ralentissait fortement le processus de création pour ces jeunes étudiants.

Il leur vient alors à l'idée de créer une plateforme plus abordable et plus simple à utiliser, reposant sur l'environnement de développement de traitement mis au point en 2001 par des étudiants du MIT. [3] C'est donc en 2003 que, pour un projet de fin d'études, fut conçue la carte Wiring, ancêtre de l'Arduino. Visant à rendre la plateforme toujours moins chère et plus accessible, une équipe d'étudiants et de professeurs finirent par concevoir la toute première Arduino en 2005. Entièrement open source, l'Arduino multiforme d'être en perpétuelle optimisation par la communauté d'utilisateurs.

II.2.4 Présentation générale

Arduino est une gamme de circuits électroniques open source qui simplifient la création et la programmation d'objets interactifs en utilisant des microcontrôleurs Atmel.

Les cartes Arduino intègrent tous les composants nécessaires et sont équipées de connecteurs standardisés pour brancher des modules d'extension appelés shields.

Les cartes possèdent également une connectique USB pour programmer facilement le microcontrôleur. Arduino propose un environnement de développement intuitif et compatible avec Windows, Mac OS et Linux. [40]

Il existe une variété de cartes Arduino pour répondre aux différents besoins de projets.

II.2.5 Description technique

Comme énoncé précédemment, il existe beaucoup de cartes Arduino différentes, mais elles possèdent toutes des éléments en commun.

II.2.5.1 Alimentation

Les cartes Arduino ont généralement un microcontrôleur qui fonctionne avec une tension d'alimentation de 5V. Selon le modèle de la carte, cette tension peut être fournie soit par une des prises d'alimentation présentes sur la carte, soit par la prise USB utilisée pour la connecter à un ordinateur.[39]

Les prises d'alimentation sur les cartes Arduino nécessitent une tension d'entrée entre 7 et 12V. Cependant, cette tension n'a pas besoin d'être stabilisée car la carte est équipée d'un régulateur de tension interne.

Les cartes Arduino peuvent avoir deux prises d'alimentation différentes.

- La première est une prise jack standard présente sur les modèles Uno et Mega, qui permet de brancher un bloc d'alimentation externe. Cette prise n'est pas disponible sur toutes les cartes, en particulier les plus petites.
- La seconde prise, Vin, est présente sur tous les modèles et permet de connecter la branche positive de l'alimentation à cette broche.

La carte dispose également de deux broches de tension stabilisées de 3,3V et 5V, principalement utilisées pour alimenter les shields ou d'autres circuits.

II.2.5.2 Horloge

L'horloge sur un microcontrôleur détermine la vitesse à laquelle les instructions sont exécutées, mesurée en hertz (Hz), et est déterminée par un oscillateur à quartz ou résonateur céramique. Les microcontrôleurs ont des fréquences plus faibles que les PC et Mac, avec une

moyenne de quelques mégahertz. Les cartes Arduino ont une fréquence d'horloge généralement cadencée à 16 MHz.[39]

II.2.5.3 Reset

Le Reset est une fonctionnalité physique qui permet au microcontrôleur de réinitialiser son état. Comme le microcontrôleur exécute les instructions contenues dans sa mémoire de manière cyclique et infinie, il peut arriver que des erreurs bloquent le bon déroulement du programme, en particulier lors de la conception du circuit. Dans ce cas, la fonction reset permet de redémarrer le microcontrôleur et de reprendre le programme depuis le début. [39]

II.2.5.4 Entrées / sorties

Les entrées/sorties sont les connexions permettant au microcontrôleur de communiquer avec le monde extérieur. Les pattes métalliques de la puce électronique sont utilisées pour recevoir ou émettre des signaux logiques, qui peuvent être interprétés par le microcontrôleur ou d'autres circuits. Les cartes Arduino facilitent l'accès à ces entrées/sorties en les reportant sur le pourtour du circuit avec des connecteurs femelles standards d'un pas de 2,54mm. [39]

II.2.6 Les gammes de la carte Arduino

Il existe actuellement un grand nombre de cartes Arduino différentes disponibles sur le marché. Nous allons énumérer quelques-uns de ces modules afin de mieux comprendre l'évaluation de ce produit à la fois scientifique et académique.

II.2.5.5 Arduino Uno

L'Arduino UNO est une carte électronique programmable qui utilise comme microcontrôleur l'ATmega328.



Figure 2.21 Arduino - Uno Rev3 board [41]

II.2.5.6 Arduino Nano

L'Arduino Nano est une petite carte programmable qui utilise une connexion USB pour le téléversement du code. Cette version de l'Arduino est équipée d'un microcontrôleur ATmega168 (ou ATmega328 pour une version plus récente).

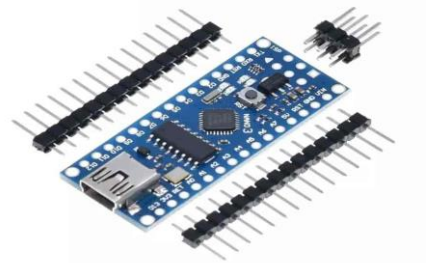


Figure 2.22 Arduino Nano [42]

II.2.5.7 Arduino Leonardo

L'Arduino Leonardo est équipé d'un microcontrôleur ATmega32U4 qui élimine le besoin de connecter un câble USB pour le téléversement du code. De plus, il peut être utilisé comme un clavier grâce à cette fonctionnalité.



Figure 2.23 Arduino Leonardo [43]

II.2.5.8 Arduino due

Arduino Due est une carte de développement avancée basée sur un microcontrôleur ARM Cortex-M3 SAM3X8E. Elle offre une grande puissance de traitement avec un microcontrôleur 32 bits cadencé à 84 MHz et dispose de fonctionnalités supplémentaires telles que des ports USB, de communication série et Ethernet.



Figure 2.24 Arduino due [44]

II.2.5.9 Arduino Mega

La carte Arduino Mega dispose d'un microcontrôleur ATmega1280 qui offre davantage d'E/S et une plus grande capacité de mémoire que l'Arduino UNO, ce qui la rend adaptée à des projets nécessitant plus de ressources.

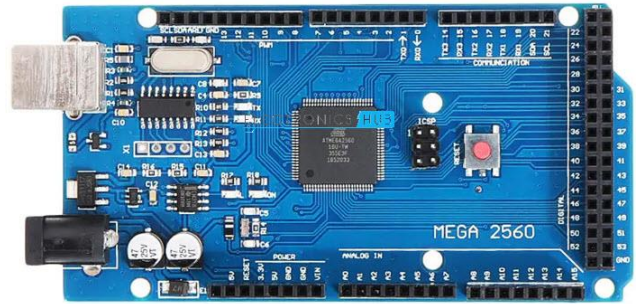


Figure 2.25 Arduino Mega [45]

II.2.5.10 Arduino Zero

La carte Arduino Zero est une carte microcontrôleur basée sur le CPU ARM Cortex-M0+ Atmel SAMD21G18A. Elle fait partie de la famille de cartes Arduino et est conçue pour être compatible avec les boucliers existants qui fonctionnent avec d'autres cartes Arduino.



Figure 2.26 Arduino Zero [46]

II.2.5.11 Espduino32

L'ESPduino32 est une carte compacte basée sur l'ESP32 avec une connectivité WiFi et Bluetooth à faible consommation d'énergie. Compatible avec Arduino, elle dispose de 34 broches et est idéale pour les projets IoT et de domotique.

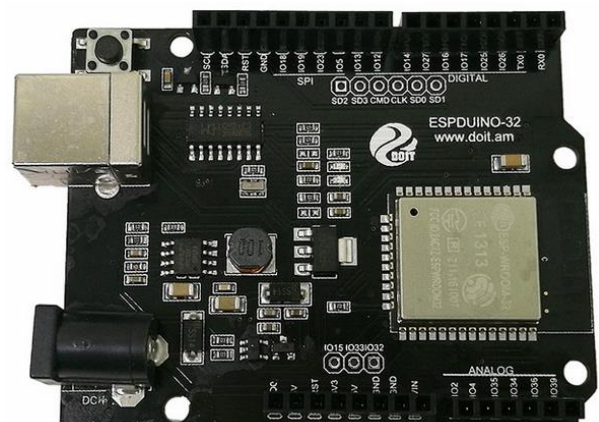


Figure 2.27 Espduino32 [47]

II.2.5.12 Le LilyPad Arduino

Le LilyPad Arduino est une petite carte de développement électronique conçue pour les projets portables et la couture électronique. Il est compatible avec différents composants électroniques et des modules de communication sans fil tels que le Bluetooth et le Wi-Fi. Sa taille compacte lui permet d'être facilement intégré dans des vêtements et autres projets portables.

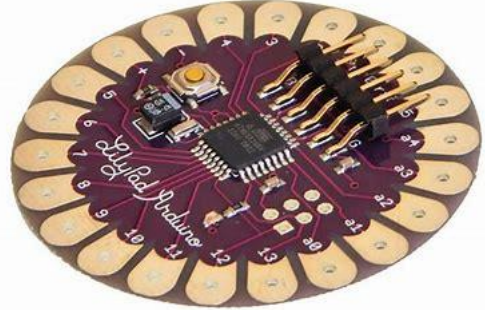


Figure 2.28 Arduino LilyPad [49]

II.2.5.13 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.

Il y a également de nombreux autres types de cartes Arduino disponibles, chacun ayant des spécifications et des fonctionnalités uniques.



Figure 2.29 Arduino Esplora [51]

Dans notre projet, nous avons utilisé **esduino-32**

II.3 La carte espduino 32

II.3.1 Présentation de l'Arduino espduino 32

L'ESPDuino32 est une carte de développement compacte basée sur l'ESP32 et compatible avec l'environnement Arduino. Elle dispose de 34 broches, dont 18 entrées analogiques, une interface USB, un régulateur de tension et une connectivité WiFi et Bluetooth à faible consommation d'énergie. [50]

II.3.2 Les composants de carte esp 32

La carte Arduino ESP32 est équipée de plusieurs composants, notamment :

- **Microcontrôleur ESP32** : le cœur de la carte, qui est un microcontrôleur à double cœur Tensilica LX6 avec une fréquence d'horloge pouvant atteindre 240 MHz.
- **Module Wi-Fi et Bluetooth intégré** : permettant la communication sans fil avec d'autres périphériques.
- **Antenne** : pour recevoir et émettre des signaux Wi-Fi et Bluetooth.
- **Régulateur de tension** : régule la tension d'entrée pour que le microcontrôleur fonctionne correctement.
- **Connecteur USB** : utilisé pour téléverser le code sur la carte Arduino et pour communiquer avec un ordinateur.
- **Connecteurs d'entrée/sortie** : permettent de connecter des capteurs, des actionneurs et d'autres périphériques à la carte Arduino.
- **LED d'alimentation** : indique que la carte Arduino est sous tension.
- **Bouton de réinitialisation** : permet de redémarrer le microcontrôleur et de relancer le code.

Il existe également d'autres composants tels que des convertisseurs analogique-numérique et numérique-analogique, des interfaces de communication série, des broches GPIO Les ports GPIO (anglais : General Purpose Input/Output, littéralement Entrée-sortie à usage général), etc. [53]



Figure 2.30 ESPDuino-32 [52]

II.4 Microcontrôleur

Un microcontrôleur est un circuit intégré compact conçu pour régir une opération spécifique dans un système embarqué. Un microcontrôleur typique comprend un processeur, une mémoire et des périphériques d'entrée/sortie (E/S) sur une seule puce¹².



Figure 2.31 Microcontrôleur [54]

II.4.1 Broche numérique

Une broche numérique sur une carte Arduino est une entrée ou une sortie qui permet de manipuler des signaux numériques, c'est-à-dire des signaux qui ne peuvent prendre que deux états logiques différents (0 ou 1). Les broches numériques peuvent être configurées en tant qu'entrées pour lire des signaux numériques provenant d'autres composants électroniques ou en tant que sorties pour émettre des signaux numériques à d'autres composants électroniques. Les broches numériques sur une carte Arduino sont identifiées par un numéro, qui peut être utilisé pour interagir avec ces broches dans le code du programme.

II.4.2 Broch PWM

Une broche PWM sur une carte Arduino est une broche numérique capable de générer un signal de modulation de largeur d'impulsion (PWM). Elle peut être utilisée pour contrôler la vitesse de rotation d'un moteur, la luminosité d'une LED ou pour générer des signaux analogiques à partir de signaux numériques. Les broches PWM sur une carte Arduino sont généralement identifiées par un tilde (~) à côté du numéro de broche sur la carte.

II.4.3 Bouton de réinitialisation

Le bouton de réinitialisation sur une carte Arduino est un bouton poussoir qui permet de réinitialiser le microcontrôleur. Lorsqu'il est enfoncé, le bouton de réinitialisation envoie une impulsion de signal au microcontrôleur, ce qui provoque une remise à zéro de tous les paramètres du programme. Cela permet de redémarrer le programme à partir du début et d'effacer toutes les variables qui ont été stockées en mémoire. Le bouton de réinitialisation est généralement situé près du port USB ou de l'alimentation de la carte Arduino.

II.4.4 Port mini-USB

Le port mini-USB est un connecteur qui permet de connecter la carte Arduino à un ordinateur ou à un autre périphérique via un câble USB. Il est utilisé pour transférer

des données entre la carte Arduino et l'ordinateur, pour alimenter la carte Arduino et les périphériques externes connectés à la carte Arduino. Le port mini-USB est également utilisé pour programmer la carte Arduino à l'aide de l'IDE Arduino. [54]

II.4.5 Module Wi-fi

Contrôler le projet en utilisant le WiFi signifie que nous pouvons envoyer des commandes ou des instructions au microcontrôleur ESP32 sans fil via un réseau WiFi, sans avoir besoin de fils ou de câbles physiques. Cela nous permet de contrôler à distance notre coupe-fil et de le dénuder à partir d'une interface web ou d'une application mobile, tant que l'ESP32 et l'appareil de contrôle sont connectés au même réseau WiFi. Le contrôle WiFi peut être mis en œuvre à l'aide de protocoles tels que HTTP ou MQTT, et peut fournir un retour d'information en temps réel et des mises à jour d'état à l'appareil de contrôle, ce qui nous permet de surveiller le fonctionnement de notre coupe-fil et de le dénuder à distance.

II.5 Microprocesseur (ESP32)

II.5.1 Définition

L'ESP32 est un microcontrôleur (32 bits – 240 MHz – 3,3 V) à bas prix d'Espressif Systems intégrant la gestion du Wi-Fi et du Bluetooth. Tout comme la Pyboard, ce microcontrôleur est programmable en MicroPython. [55]

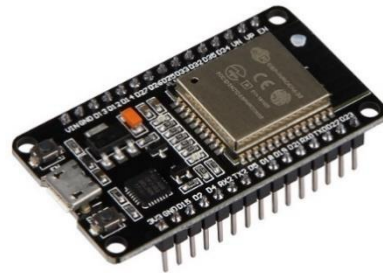


Figure 2.32 Microprocesseur (ESP32) [55]

II.5.2 Utilisation

L'ESP32 joue un rôle crucial car c'est le microcontrôleur principal responsable de la commande de la machine de coupe de fil et de la communication avec le téléphone via Wi-Fi. Voici quelques-uns des rôles spécifiques de l'ESP32 dans ce projet :

Connectivité Wi-Fi : L'ESP32 fournit une connectivité Wi-Fi intégrée, ce qui lui permet de se connecter à un réseau Wi-Fi local et de communiquer avec d'autres dispositifs via Internet. Cela permet au téléphone de se connecter à l'ESP32 sans fil et d'envoyer des commandes de commande à la machine de coupe de fil.

II.5.3 Interface de commande

L'ESP32 interagit avec le système de commande de la machine de découpe de fil, lui permettant d'envoyer de commande aux moteurs, capteurs et autres composants de la machine. En programmant l'ESP32 pour interpréter les commandes du téléphone, nous pouvons contrôler la machine de découpe de fil à distance.

II.5.4 Puissance de traitement

L'ESP32 est un microcontrôleur puissant avec un processeur double cœur, ce qui fournit la puissance de traitement nécessaire pour exécuter nos programmes de commande et gérer la connectivité Wi-Fi. Cela permet à l'ESP32 de gérer les tâches de commande complexes requises pour couper automatiquement les fils.

II.6 Servo

II.6.1 Définition :

Un servomécanisme (servo) peut faire référence à un certain nombre de machines différentes qui existent depuis plus longtemps que la plupart des sociétés les réalisent. Essentiellement, un servo est tout système entraîné par un moteur avec un élément de retour intégré. Les servos se trouvent partout, des machines lourdes à la direction assistée des véhicules en passant par la robotique et une grande variété d'électronique.

II.6.2 Utilisation :

Le servo-moteur dans notre projet est utilisé comme guide-fil pour assurer que le fil est alimenté à travers la lame de coupe à l'angle et à la position corrects. En contrôlant le mouvement du servo-moteur avec

L'ESP32, nous pouvons ajuster précisément la position du guide-fil pour assurer que le fil est alimenté à travers la lame de coupe correctement.

Car il contribue à assurer que le fil est coupé de manière précise et cohérente. Sans le servo-moteur pour guider le fil, il serait beaucoup plus difficile de garantir que le fil est positionné correctement pour la coupe, ce qui pourrait entraîner des erreurs et des incohérences dans le processus de coupe.



Figure 2.33 Servo [56]

II.7 Stepper motor

II.7.1 Définition :

Un moteur pas à pas, également connu sous le nom de moteur à pas ou moteur à pas, est un moteur électrique DC sans balais qui divise une rotation complète en un certain nombre de pas égaux. La position du moteur peut être commandée pour se déplacer et se maintenir à l'un de ces moteurs, sans aucun capteur de position pour la rétroaction (un contrôleur en boucle ouverte), tant que le moteur est correctement dimensionné pour l'application. Les moteurs pas à pas sont des moteurs DC qui se déplacent par étapes discrètes avec ce qui est, un moteur synchrone sans balais qui peut diviser une rotation complète en un grand nombre d'étapes. Ils ont plusieurs bobines organisées en groupes appelés "phases". En alimentant chaque phase en séquence, le moteur tournera une étape au plusieurs étapes à la fois. Avec un ordinateur contrôlant ces étapes.



Figure 2.34 Stepper Motor [57]

II.7.2 Utilisation :

Utilisez deux moteurs pas à pas, l'un pour pousser le câble vers l'avant et l'autre pour le couper. Les moteurs pas à pas sont largement utilisés dans l'automatisation et la robotique car ils offrent un contrôle précis et répétable de la position et de la vitesse de rotation.

Le moteur pas à pas qui pousse le câble vers l'avant est probablement utilisé pour contrôler la vitesse et la position du câble alors qu'il se déplace à travers la machine. En programmant l'ESP32 pour envoyer des signaux de commande au moteur pas à pas, nous pouvons contrôler précisément la vitesse et la position du câble, en veillant à ce qu'il soit alimenté à travers la machine à la vitesse désirée.

Le moteur pas à pas qui découpe le câble est utilisé pour contrôler la lame de coupe. En programmant l'ESP32 pour envoyer des signaux de commande au moteur pas à pas, nous pouvons contrôler précisément la position et la vitesse de la lame de découpe, en veillant à ce qu'elle découpe le câble à la longueur désirée de ce type de moteurs.

II.7.3 Types et constructions de moteur pas à pas

II.7.3.1 Rotor

Pour un moteur pas à pas, il existe essentiellement trois types de rotors :

Le rotor à aimant permanent

Le rotor à aimant permanent est un type de rotor utilisé dans les moteurs électriques, qui comporte des aimants permanents disposés sur sa surface. Ces aimants créent un champ magnétique qui interagit avec le champ magnétique généré par le stator, ce qui permet la rotation du rotor. Cette configuration offre des avantages tels qu'un couple de démarrage élevé et une efficacité énergétique supérieure. [58]

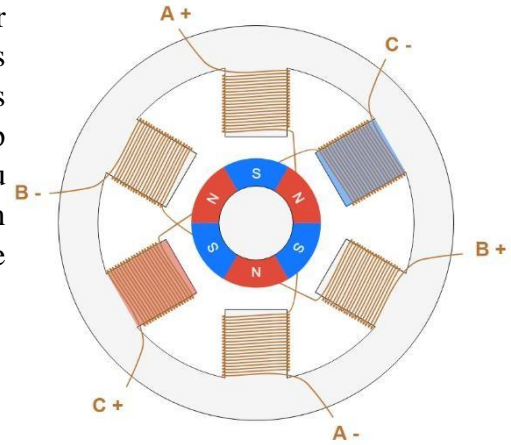


Figure 2.35 Rotor à aimant permanent [59]

Rotor à réluctance variable

Le rotor est composé d'un noyau en fer avec une forme spécifique qui lui permet de s'aligner sur le champ magnétique généré par le stator. Cette conception permet d'atteindre plus facilement des vitesses et des résolutions plus élevées. [58]

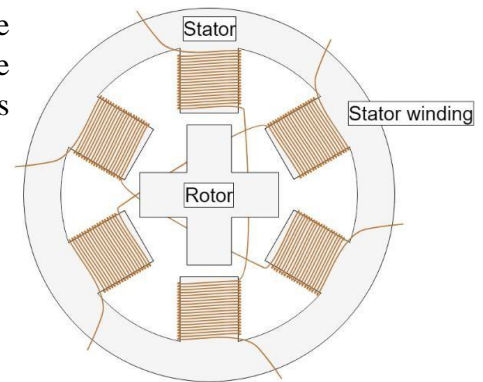


Figure 2.36 Moteur pas à pas à réluctance variable.[59]

Rotor hybride

Le rotor hybride est une version particulière qui combine les caractéristiques des rotors à aimant permanent et des rotors à réluctance variable. Il est constitué de deux calottes à dents alternées et est aimanté axialement. Cette configuration permet au moteur de bénéficier des avantages de ces deux types de rotors, notamment une résolution, une vitesse et un couple élevés. Toutefois, pour atteindre ces performances supérieures, une construction plus complexe est nécessaire, entraînant un coût plus élevé.[58]

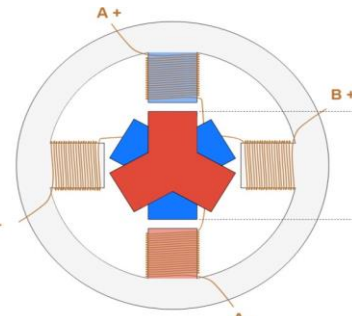


Figure 2.37 Rotor hybride. [59]

II.7.3.2 Stator

Le stator est la partie du moteur électrique qui génère le champ magnétique nécessaire à l'alignement du rotor. Les principales caractéristiques du circuit du stator incluent son nombre de phases et de paires de pôles, ainsi que la configuration des fils. Le nombre de phases correspond au nombre de bobines indépendantes, tandis que le nombre de paires de pôles indique comment les paires de dents principales sont occupées par chaque phase. Les moteurs pas à pas biphasés sont les plus couramment utilisés, tandis que les moteurs triphasés et à cinq phases sont moins courants. [58]

II.7.3.3 Unipolar/Bipolar Motors

Outre le nombre de phases et de paires de pôles, la disposition des bobines du stator est une autre caractéristique importante qui influe sur le contrôle du moteur pas à pas. En effet, elle détermine la manière dont la direction du courant est modifiée, ce qui est crucial pour obtenir le mouvement du rotor. Pour cela, il est nécessaire de non seulement alimenter les bobines, mais également contrôler la direction du courant, qui influe directement sur la direction du champ magnétique généré par la bobine elle-même. [58]

II.7.3.4 Les moteurs pas à pas unipolaires

La configuration des bobines du stator est un élément important pour le contrôle du moteur pas à pas. Dans une configuration en pont en H, l'un des conducteurs est connecté au point central de la bobine. Cette disposition permet de contrôler la direction du courant en utilisant des composants relativement simples. Le conducteur central (AM) est connecté à la tension d'entrée V_{in} . Si le MOSFET 1 est activé, le courant circule de AM à A+. Si le MOSFET 2 est activé, le courant circule de AM à A-, ce qui génère un champ magnétique dans la direction opposée. [58].

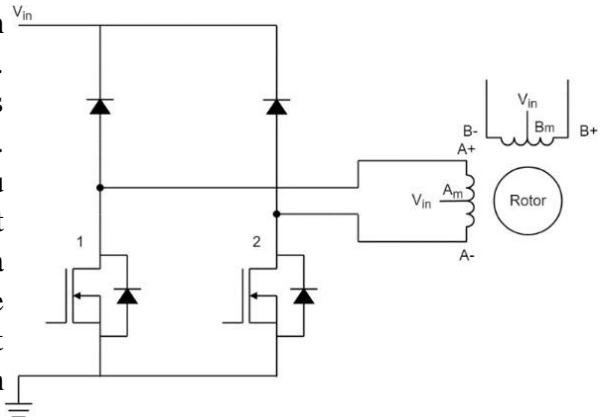


Figure 2.38 Circuit de commande de moteur pas à pas unipolaire [59]

II.7.3.5 Les moteurs pas à pas bipolaires

La disposition des bobines à deux conducteurs nécessite l'utilisation d'un pont en H pour contrôler la direction du courant. Lorsque les MOSFET 1 et 4 sont activés, le courant circule de A+ vers A-, tandis que si les MOSFET 2 et 3 sont activés, le courant circule de A- vers A+, produisant ainsi un champ magnétique dans la direction opposée. [58]

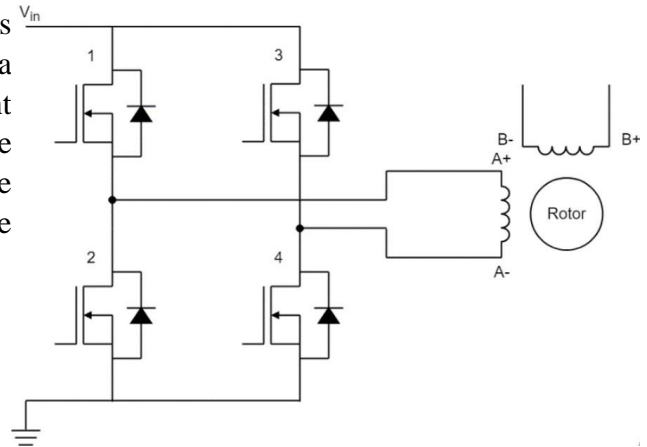


Figure 2.39 Circuit de commande de moteur pas à pas bipolaire. [59]

II.7.4 Les caractéristiques de ce moteur

Les moteurs pas à pas sont caractérisés comme bipolaires ou unipolaires. Les moteurs pas à pas bipolaires ont quatre fils conducteurs et nécessitent un total de huit transistors d'entraînement (c'est-à-dire deux ponts en H complets). Unipolaire a une prise centrale supplémentaire sur chaque phase pour un total de six fils conducteurs. [60] [61]

Les moteurs pas à pas bipolaires ont un enroulement par phase de stator. Un moteur pas à pas bipolaire biphasé aura 4 fils. Dans un moteur pas à pas bipolaire, nous n'avons pas de fil commun comme dans un moteur pas à pas unipolaire. Par conséquent, il n'y a pas d'inversion naturelle de la direction du courant à travers l'enroulement. [60]

Les moteurs pas à pas unipolaires sont très similaires aux moteurs à pas bipolaires, mais sont fabriqués avec un connecteur central qui se connecte à la source d'alimentation, divisant essentiellement chaque bobine en deux bobines plus petites qui peuvent être alimentées indépendamment. [60] [62]

II.8 Le Mini L298N stepper motor driver

II.8.1 Définition

Le mini L298N est un pilote de moteur H-Bridge à deux canaux capables de piloter deux moteurs à courant continu et un moteur pas à pas. Il peut piloter individuellement jusqu'à deux moteurs à courant continu pour toutes les applications telles que les robots 2WD, les petites perceuses, les vannes solénoïdes, les verrous DC etc. Le module peut piloter des moteurs à courant continu ayant des tensions comprises entre 3 et 5 v, avec un courant de crête allant jusqu'à 1.4 A.

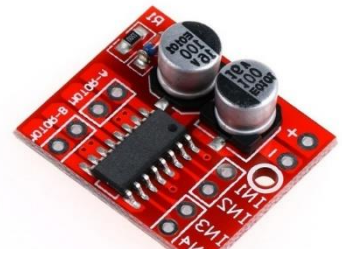


Figure 2.40 L298N Stepper Motor Driver [63]

II.8.2 Utilisation

Utilisez le pilote de moteur pas à pas mini L298N dans le projet. Le mini L298N est un circuit intégré de commande de moteur populaire qui peut contrôler à la fois des moteurs à courant continu et des moteurs pas à pas. Il dispose de deux circuits en pont en H, ce qui lui permet de contrôler la direction et la vitesse de deux moteurs de manière indépendante.

En utilisant le pilote de moteur pas à pas mini L298N dans le projet, nous pouvons facilement interfacer notre ESP32 avec les moteurs pas à pas. Le pilote mini L298N se chargera de fournir le courant nécessaire aux bobines des moteurs pas à pas et peut également gérer la séquence des bobines pour atteindre le mouvement désiré.

Pour utiliser le pilote mini L298N, connecter à l'ESP32 et aux moteurs pas à pas. Nous devons également configurer l'ESP32 pour envoyer des signaux de commande appropriés au pilote mini L298N pour obtenir le mouvement désiré des moteurs pas à pas.

II.9 Moteur alternatif

Un moteur alternatif est un moteur électrique qui fonctionne sur un courant alternatif de 230 volts (VAC). Il est disponible en version monophasée ou triphasée et nécessite une connexion électrique telle que celle utilisée pour alimenter un sèche-linge. Ces moteurs peuvent faire le lien entre le secteur résidentiel et le secteur industriel. Les moteurs 460V sont idéaux pour les environnements plus industriels, car ils permettent de fournir la même quantité de puissance à un moteur avec un courant réduit. [64]



Figure 2.41 Moteur alternatif [65]

II.10 Un joystick analogique

Un joystick est un capteur de position qui renvoie deux valeurs analogiques représentant sa position X, Y. Il peut être utilisé comme interface pour naviguer dans un menu ou pour contrôler un objet en direction ou en vitesse. Il peut être utilisé comme interface pour naviguer dans un menu ou pour contrôler la direction ou la vitesse d'un objet. On le trouve couramment sur les manettes de jeux vidéo, les télécommandes de modélisme ou même sur les tableaux de bord des machines industrielles. [66]



Figure 2.42 Un joystick [67]

Dans Arduino, un joystick est composé de deux potentiomètres carrés l'un par rapport à l'autre et d'un bouton poussoir. Il fournit donc les sorties suivantes :

Une valeur analogique (de 0 à 1023) correspondant à la position horizontale (appelée coordonnée X).

Une valeur analogique (de 0 à 1023) correspondant à la position verticale (appelée coordonnée Y). [67]

II.11 Le logiciel

II.11.1 MicroPython

MicroPython est une version du langage de programmation Python spécialement conçue pour fonctionner sur des microcontrôleurs et d'autres systèmes ayant des ressources limitées. Il fournit une version simplifiée de Python optimisée pour les appareils à faible consommation d'énergie avec une mémoire et des capacités de traitement limitées. Avec MicroPython, les développeurs peuvent écrire du code en Python et l'exécuter sur des petits appareils tels que des microcontrôleurs, permettant le développement d'une large gamme d'applications intégrées.

MicroPython est une implémentation légère et efficace du langage de programmation Python 3 qui inclut un petit sous-ensemble de la bibliothèque standard Python et est optimisé pour fonctionner sur des microcontrôleurs et dans des environnements contraints.

Le pyboard MicroPython est une carte de circuit électronique compacte qui exécute MicroPython sur le matériel nu, nous donne un système d'exploitation Python de bas niveau qui peut être utilisé pour contrôler toutes sortes de projets électroniques.

MicroPython est doté de nombreuses fonctionnalités avancées telles qu'une invite interactive, des entiers de précision arbitraire, des fermetures, des compréhensions de liste, des générateurs, la gestion des interruptions enlever et plus encore. Pourtant, il est suffisamment compact pour s'adapter et s'exécuter dans seulement 256ko d'espace de code et 16ko de RAM.

MicroPython vise à être aussi compatible que possible avec le Python normal pour permettrez-nous de transférer facilement du code du bureau à un microcontrôleur ou un système embarqué. [68]

II.11.2 L'interface

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

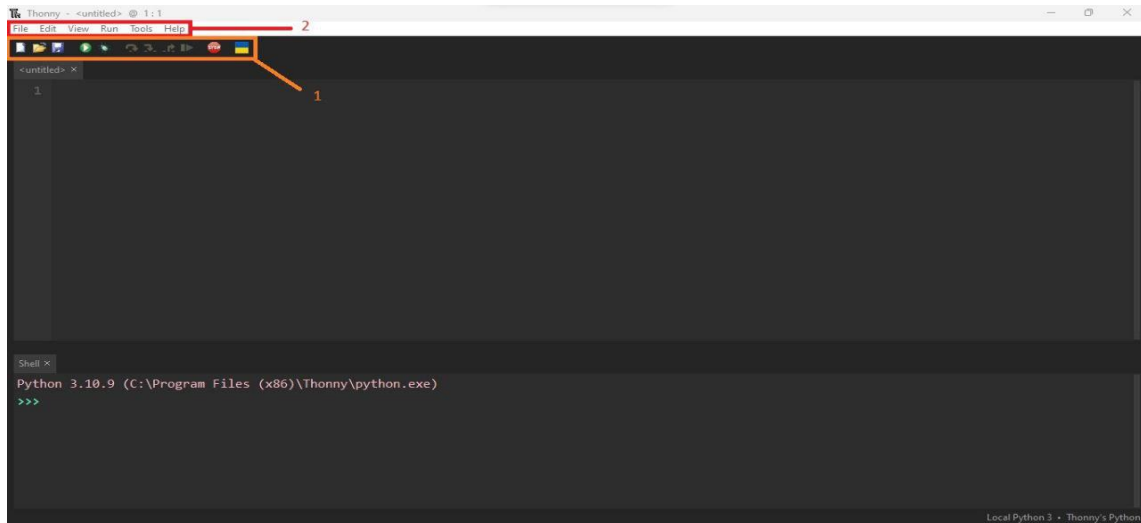


Figure 2.43 interface de logiciel MicroPython

1. Tool bar
2. Options bar

II.11.3 Les boutons



Figure 2.44 Les boutons de logiciel MicroPython

1. New project
2. Open project
3. Save project
4. Upload code
5. Debug
6. Edit options
7. Stop/restart



Figure 2.45 Les boutons de logiciel MicroPython

II.12 L'algorithme de fonctionnement

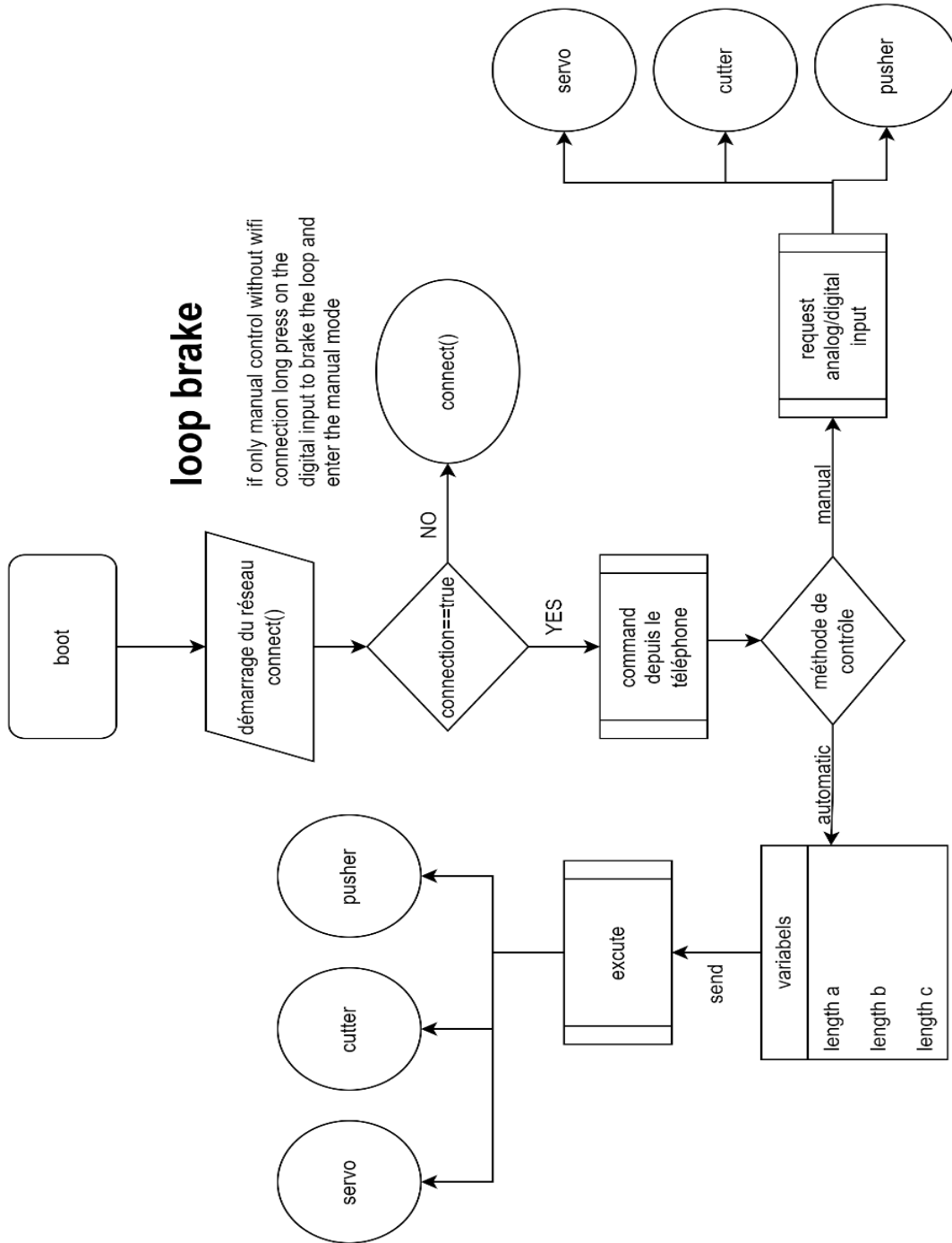


Figure 2.46 L'algorithme de fonctionnement

II.13 Conclusion

En conclusion, on peut dire que les composants électroniques sont nombreux et peuvent être utilisés à grande échelle en fonction de l'objectif souhaité.

Dans notre chapitre, nous avons limité notre présentation aux outils spécifiques que nous avons utilisés pour mener à bien notre projet, en donnant une brève explication de leur fonctionnement.

Chapitre 3

Conception et réalisation

III.1 Introduction

Notre projet consiste à concevoir une machine capable de couper et dénuder des fils électriques. Pour ce faire, nous avons divisé la conception en trois parties clés : l'électronique, la mécanique et l'informatique. Avant de présenter chacune de ces conceptions, il est important de décrire l'architecture de l'application principale en utilisant différentes vues dynamiques.

Nous pouvons résumer les étapes de notre projet dans ce schéma :

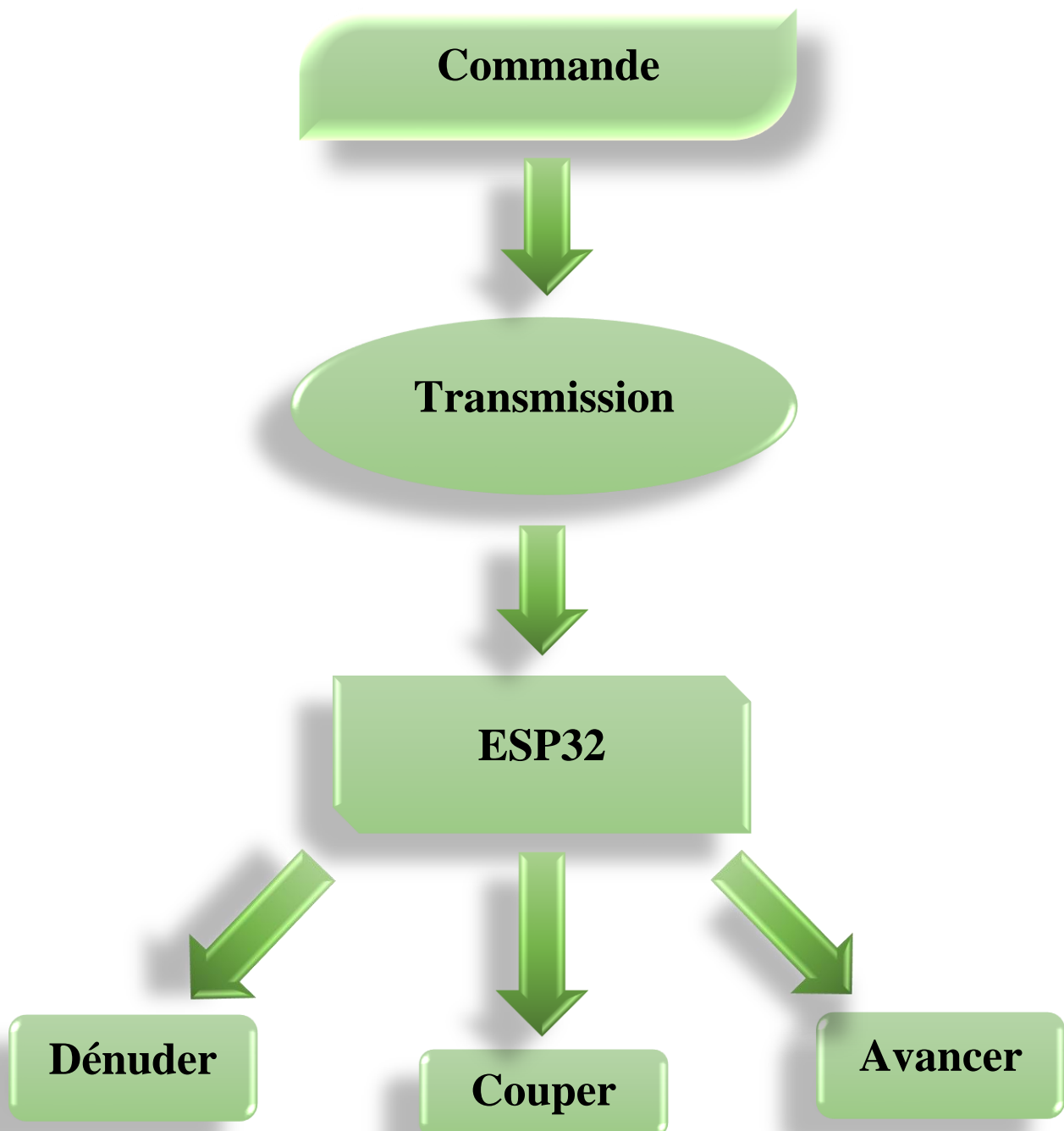


Figure 3.47 Représentation schématique du prototype

III.2 Partie de conception

III.2.1 Conception électronique (hardware)

Dans ce type de conception, nous examinons les circuits des cartes et les composants utilisés dans le projet à l'aide de l'application web "wokwi". En fin de compte, nous présentons le schéma électronique final pour illustrer la configuration complète des composants.

III.2.1.1 Application web WOKWI

"Wokwi" est une plateforme en ligne permettant de simuler des circuits électroniques. Elle permet aux utilisateurs de concevoir et tester des circuits électroniques virtuels en utilisant une variété de composants électroniques et de microcontrôleurs. Wokwi prend en charge plusieurs types de projets électroniques, tels que les projets Arduino, les projets avec des microcontrôleurs circuits/ESP32, les projets basés sur des FPGA, et bien d'autres encore. Les utilisateurs peuvent concevoir leur circuit en utilisant l'interface graphique ou le langage de programmation de leur choix, et tester le fonctionnement du circuit en temps réel. Wokwi est une ressource utile pour les ingénieurs et les étudiants en électronique qui souhaitent concevoir et tester des circuits avant de les mettre en œuvre dans la vie réelle. [69]

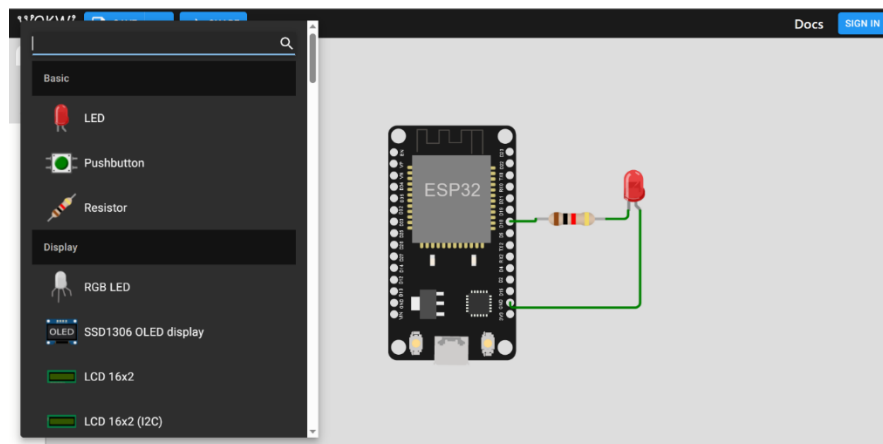


Figure 3.48 représentation de circuit avec composants électroniques

III.2.1.2 Application web easyeda

EasyEDA est une application de conception de circuits électroniques en ligne, basée sur le Cloud. Elle permet aux utilisateurs de concevoir des schémas de circuits électroniques, de dessiner des circuits imprimés, de simuler des circuits et de générer des fichiers de fabrication pour la production de circuits imprimés. EasyEDA est connu pour sa facilité d'utilisation, sa vaste bibliothèque de composants électroniques et sa capacité à collaborer avec d'autres utilisateurs en temps réel. Il est accessible gratuitement en ligne via un navigateur web et propose également des fonctionnalités premium payantes pour les utilisateurs avancés. [70]

III.2.2 L'interface de easyeda

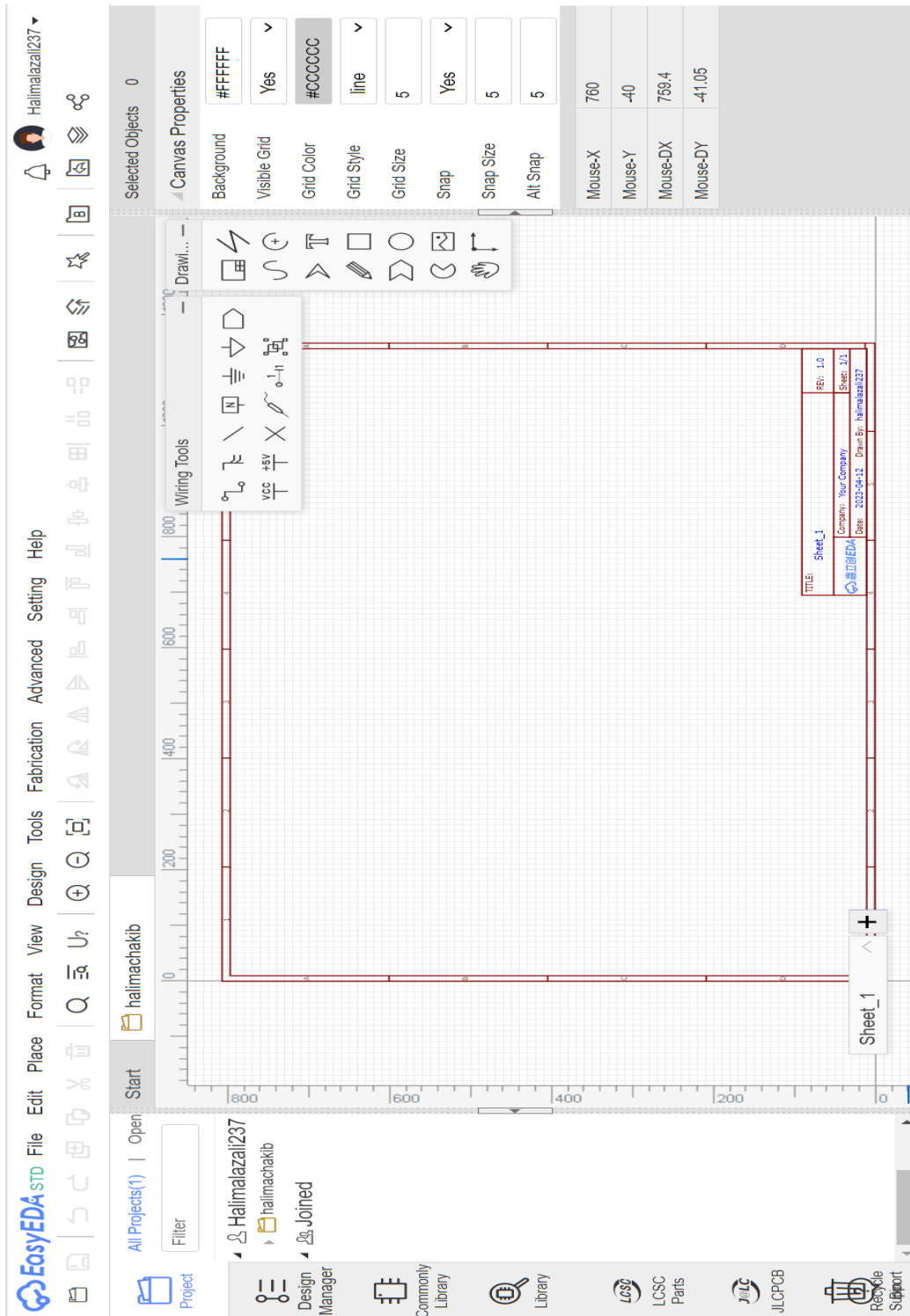
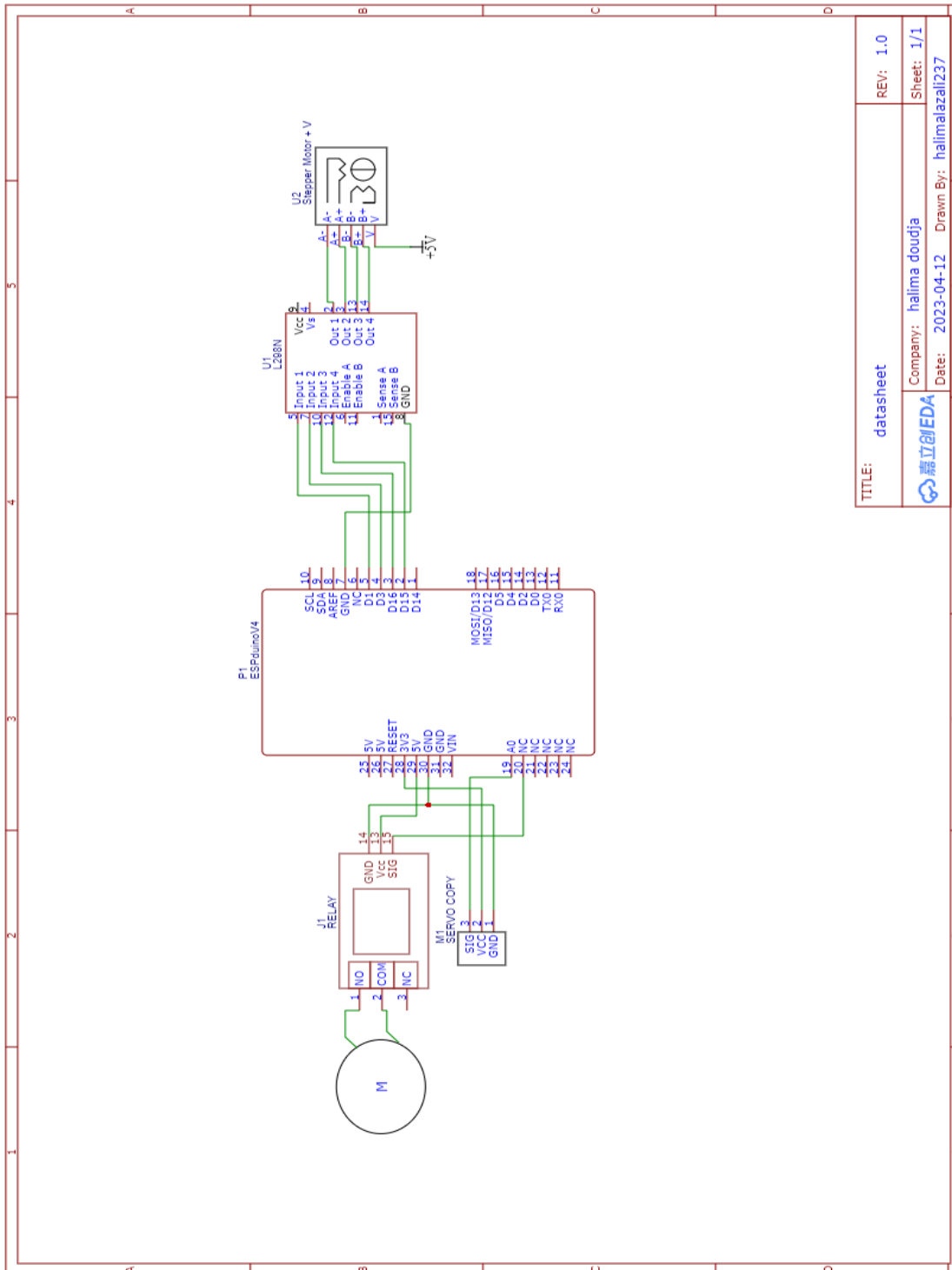


Figure 3.49 l'interface de easyeda

III.2.3 Représentation Schématique de circuit



TITLE:	datasheet	REV:	1.0
Company:	halima doudja	Sheet:	1/1
Date:	2023-04-12	Drawn By:	halimalazali237

Figure 3.50 représentation schématique de circuit

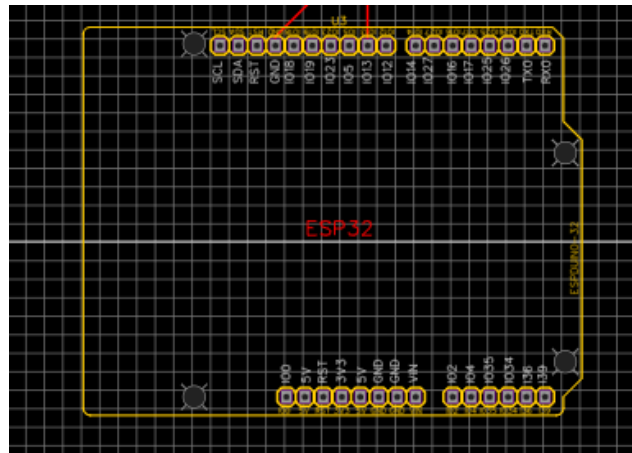


Figure 3.51 représentation de circuit imprimé

III.2.4 Bloc de convoyeur

III.2.4.1 Moteur pas à pas

Nous avons utilisé ce type de moteur pour faciliter le contrôle précis de la rotation et du positionnement angulaire. Grâce à l'utilisation du module L298N, nous pouvons contrôler le voltage et le courant provenant de l'alimentation, ce qui nous permet de passage du fil électrique.

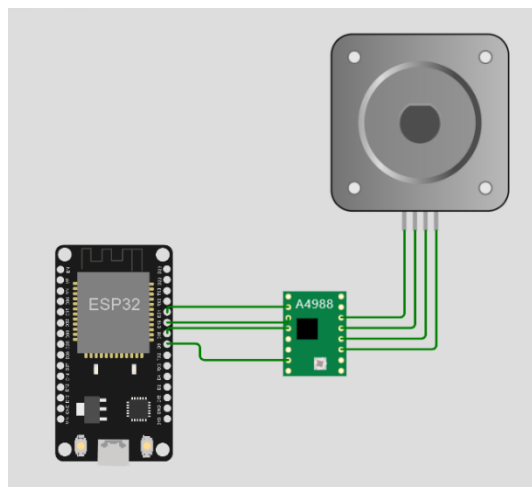


Figure 3.52 branchement de moteur pas à pas avec la carte ESPduino-32

III.2.5 Montage générale

Après le montage de chaque élément de notre projet, nous allons présenter Maintenant le prototype électronique final de notre machine.

III.2.5.1 Bloc d'action

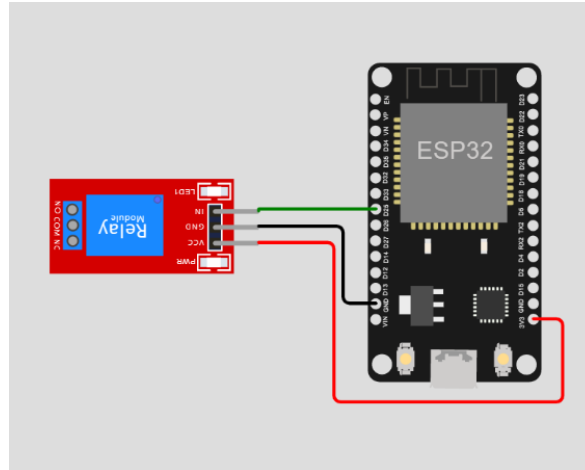


Figure 3.53 branchement de dénuder avec la carte ESPduino-32

III.2.6 Montage finale

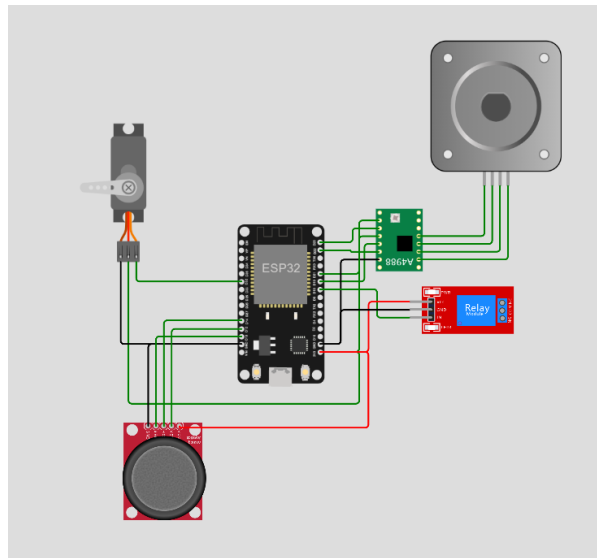


Figure 54 Aperçu globale du notre prototype sous WOKIWI

III.3 Organigramme générale du programme principal

Ce diagramme décrit la relation entre les différentes parties du logiciel et les fonctions chargées de contrôler les différentes parties car il montre que résout les variables du dispositif de commande puis les adapte pour réguler les différents mécanismes et le software a deux modes, Mode manuel et mode automatique pour le mode manuel, il suffit des différentes entrées de l'utilisateur pour contrôler l'appareil, mais le mode automatique prend les variables que nous avons envoyées précédemment et exécute le code.

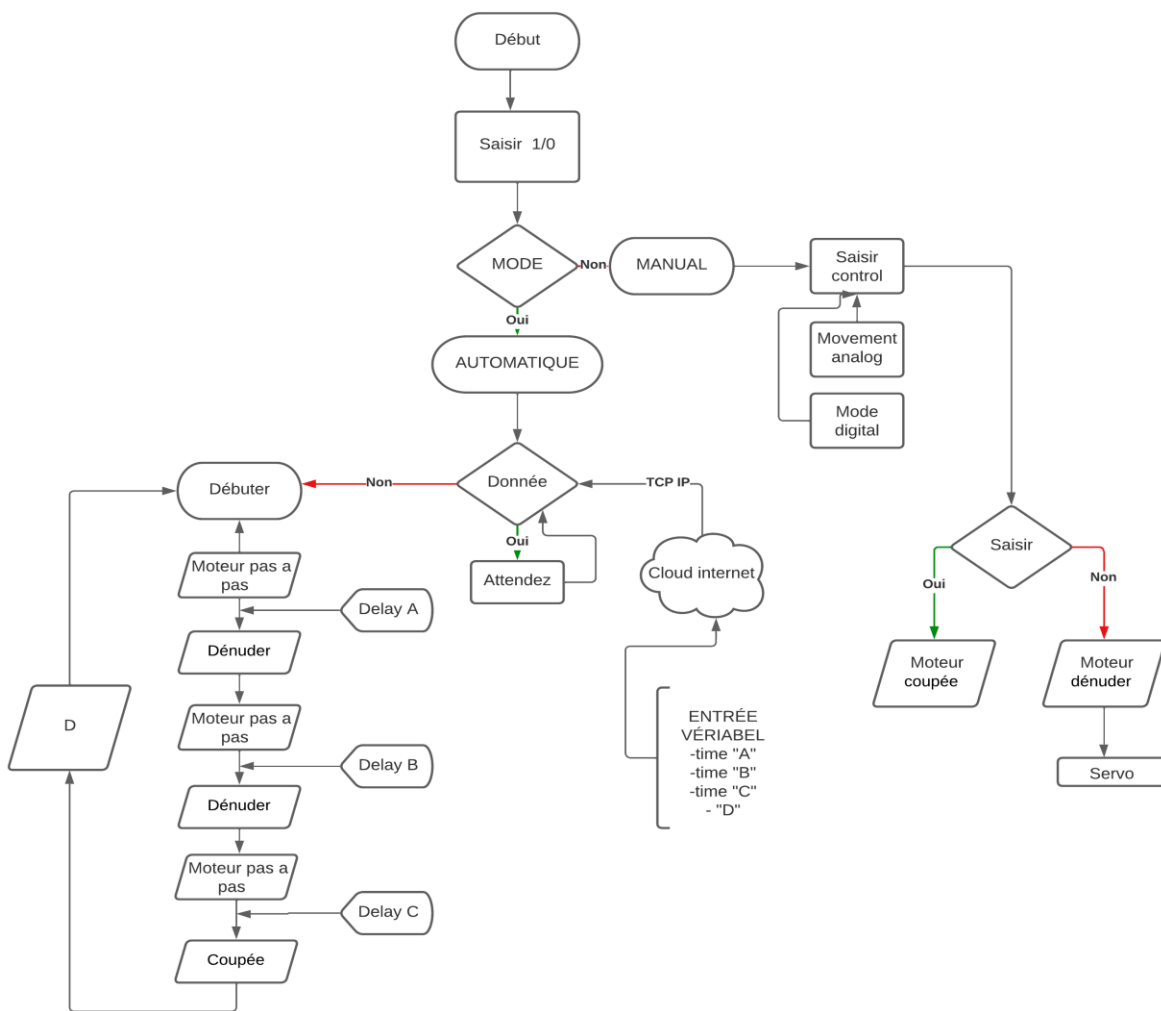


Figure 3.55 Organigramme principale du projet

III.4 Conception mécanique

Dans la partie mécanique nous avons utilisé une méthode simple mais efficace pour couper et dénuder le câble en utilisant seulement une pince coupante traditionnelle et en contrôlant l'angle d'interaction entre le fil et la pince coupante nous pouvons dénuder le plastique sur le côté du câble sans toucher le copieur et nous contrôlons l'angle à l'aide d'un servomoteur que nous envoyons un signal PWM (modulation d'onde d'impulsion) pour prendre l'angle approprié.

Ensuite le coupe fil agit via le moteur électrique par un simple mécanisme qui est un petit bouton attaché à un levier qui est connecté à l'extrémité du coupe fil pour nous donner la force maximale.

Et pour l'insertion automatique du câble dans la section de coupe et le point de contrôle de l'angle servo nous avons utilisé un moteur pas à pas que nous avons aussi conçu un mécanisme plastique qui pousse le câble à la partie engrenage du moteur et en tournant le moteur avec une vitesse et une force spécifique nous pouvons appliquer une force mécanique sur le câble pour avancer vers le point d'insertion

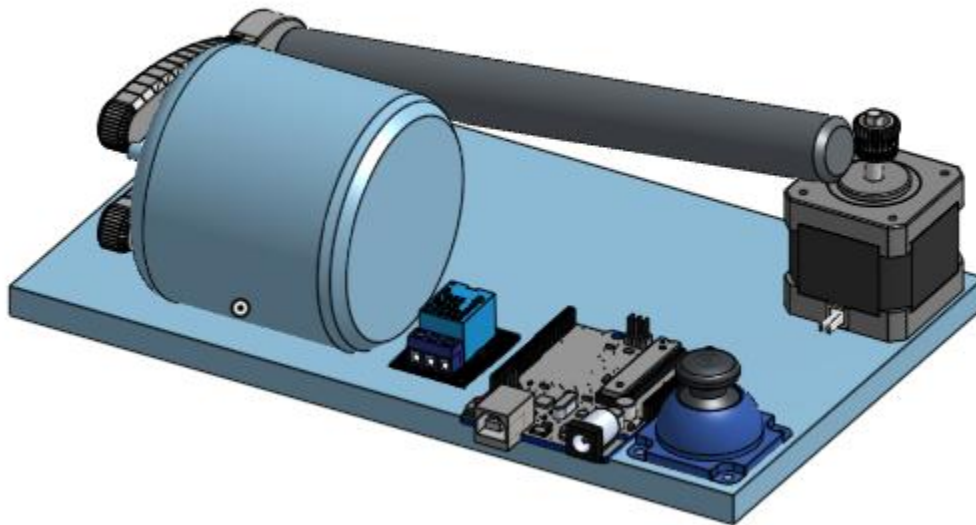


Figure 3.56 Vue 3d mécanique

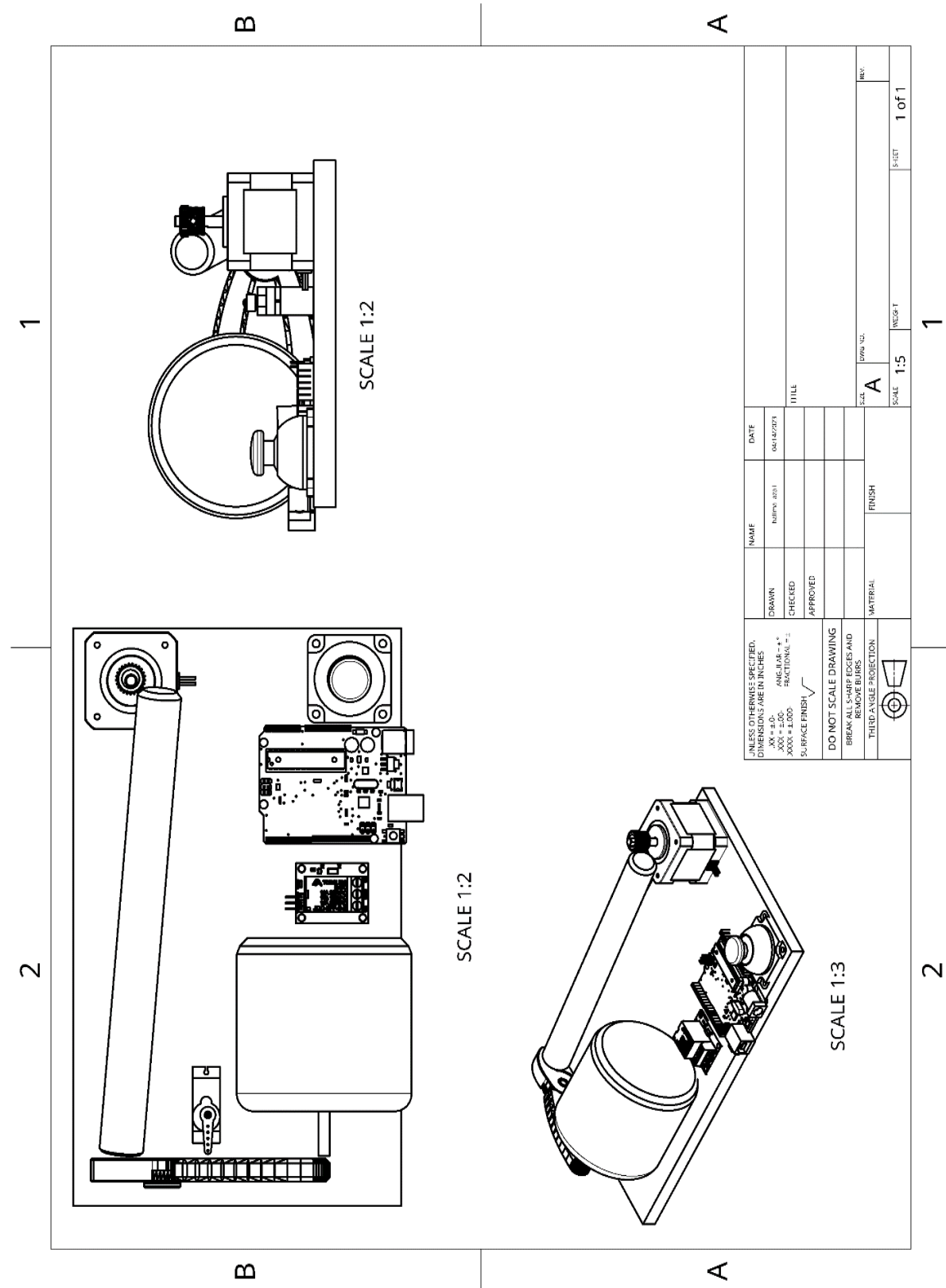


Figure 3.57 Vue 2d mécanique

La machine sera à son état initial, Ensuite, nous configurons les paramètres de A (longueur de dénudage en cm), B (longueur de la gaine en cm entre les deux parties de dénudage), C (longueur de dénudage en cm) et Q (quantité demandée) à travers les boutons sur l'interface, comme montré dans la figure 12. Ensuite, nous appuyons sur le bouton "ON" pour démarrer la machine, qui exécute alors les étapes nécessaires pour réaliser le travail demandé.

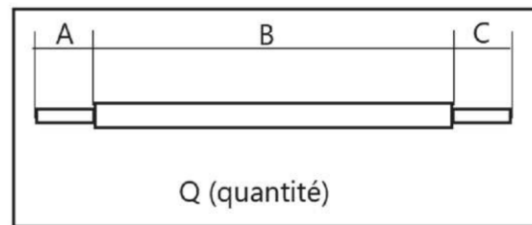


Figure 3.58 Schéma détails de paramètres de fil électrique

Le programme comporte plusieurs étapes, certaines étapes sont répétées et pour faciliter la compréhension du programme, deux fonctions principales ont été créées. Une fonction est utilisée pour effectuer le dénudage, tandis qu'une autre fonction est utilisée pour effectuer le coupage. Ensuite, le programme vérifie si la quantité produite est égale à la quantité demandée. Si c'est le cas, la machine s'arrête. Sinon, elle boucle jusqu'à ce que la quantité demandée soit atteinte. [71]

III.5 Conception informatique

Pour notre projet de coupe-fil et de dénudage, nous avons développé un logiciel pour contrôler notre à l'aide d'un microcontrôleur ESP32. Le logiciel devra communiquer via Wi-Fi et contrôler un moteur pas à pas pour pousser le câble, un relais pour allumer la fraise et un servo pour diriger le câble à l'angle approprié.

Pour écrire le logiciel, nous avons utilisé MicroPython, une variante du langage de programmation Python conçu pour les microcontrôleurs. Je devrai écrire du code pour configurer l'ESP32 pour la communication Wi-Fi, contrôler le moteur pas à pas à l'aide de broches GPIO, contrôler le relais à l'aide d'une autre broche GPIO et contrôler le servo à l'aide de la sortie PWM. Enfin, je peux implémenter le contrôle Wi-Fi à l'aide d'une interface Web ou d'une application mobile.

Pour développer le logiciel, j'aurai besoin d'un IDE ou d'un éditeur de texte prenant en charge MicroPython, ainsi que du micrologiciel MicroPython pour l'ESP32. Les tests constitueront une partie importante du processus de développement pour s'assurer que le coupe-fil et le dénuder fonctionnent de manière sûre et efficace.

III.5.1 Logiciel micropython & thonny

Thonny est un environnement de développement intégré (IDE) pour MicroPython qui fournit une interface conviviale pour développer et tester du code MicroPython. Thonny comprend une gamme de fonctionnalités, notamment un éditeur de code avec coloration syntaxique, un environnement d'exécution de code et un débogueur pour le dépannage et le test du code.

Thonny est conçu pour être facile à utiliser, même pour les débutants. Il comprend un certain nombre de fonctionnalités utiles, telles que la complétion de code, la mise en évidence des erreurs et un Shell interactif, qui facilitent l'écriture et le test du code. De plus, Thonny possède une interface simple qui facilite la navigation et l'utilisation.

Dans l'ensemble, Thonny fournit une interface conviviale et puissante pour développer et tester du code MicroPython. Ses fonctionnalités et sa facilité d'utilisation en font un excellent outil pour tous ceux qui souhaitent se lancer dans la programmation MicroPython pour les microcontrôleurs.

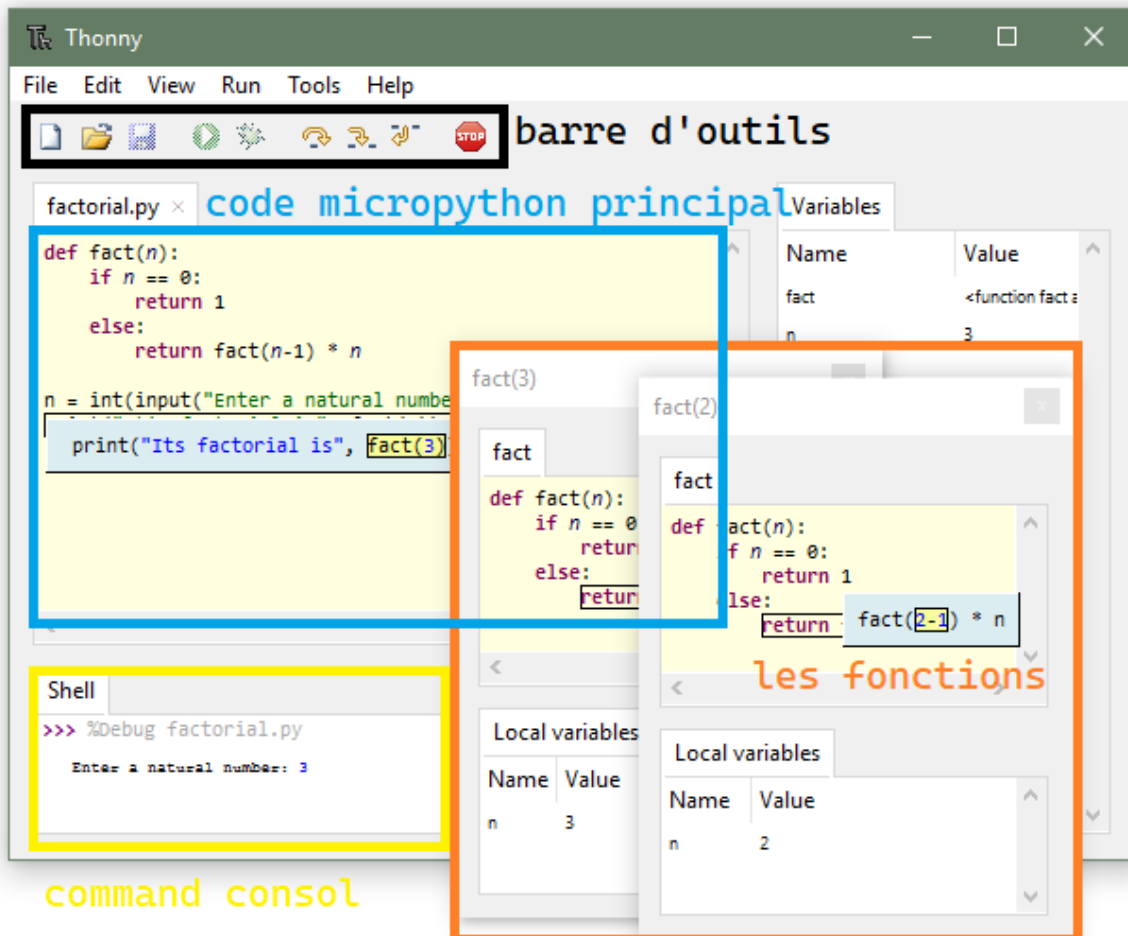


Figure 3.59 l'interface général de thoney



Figure 3.60 barre d'outils

1-La première icône qui montre un papier sert à créer un nouveau fichier. En utilisant ce bouton, nous pouvons créer plusieurs fichiers différents et travailler dessus en même temps.

2- Il s'agit du dossier Ouvrir. Cela nous aide à ouvrir un fichier qui a déjà été enregistré sur notre PC.

3- C'est le bouton de sauvegarde. En cliquant sur cette icône, nous pouvons enregistrer notre code à n'importe quelle étape.

4-C'est le bouton Exécuter. Lorsque nous cliquons dessus, le code s'exécute et est exécuté.

5-Ce bouton est utilisé dans le débogage. Cela nous aide à détecter les erreurs, qu'elles soient syntaxiques ou logiques

6-Ce bouton fléché (Step Over) est utilisé après le bouton de débogage. Avec ce bouton, on peut sauter d'une ligne ou d'un bloc de code à l'autre.

7-Ce bouton fléché (Step Into) est utilisé après le bouton de débogage. Avec ce bouton, nous faisons un pas plus petit que le bouton précédent et travaillons en profondeur.

8-Ce bouton fléché (Step Out) est également utilisé après le bouton de débogage. Avec ce bouton, nous pouvons quitter le débogage.

9-C'est le bouton Reprendre. Cela nous permet de revenir en mode lecture au lieu du mode débogage.

10-C'est le bouton Arrêter. En cliquant dessus, le code du programme s'arrête quelle que soit la ligne où il se trouve actuellement.

III.5.2 Organigramme générale du programme principal

Le programme principal de notre projet de coupe et dénudage de fils utilisant un ESP32, un moteur pas à pas, un relais et un servo :

Initialisation :

- a. Configuration de l'ESP32 pour la communication Wi-Fi
- b. Configuration des broches GPIO pour le moteur pas à pas, le relais et le servo
- c. Configuration de la PWM pour le servo

Boucle principale :

- Attente d'une commande Wi-Fi
- Analyse de la commande reçue
- Si la commande est "coupée", activer le relais pendant une durée prédéfinie pour couper le fil
- Si la commande est "dénudée", activer le moteur pas à pas pour pousser le fil à travers le servo à l'angle approprié pendant une durée prédéfinie pour dénuder le fil
- Si la commande est autre chose, renvoyer un message d'erreur

Fonctions de contrôle du moteur pas à pas :

- Avancer le moteur d'un certain nombre de pas
- Reculer le moteur d'un certain nombre de pas

Fonctions de contrôle du servo :

- Définir l'angle du servo en fonction de la commande reçue
- Définir la vitesse de rotation du servo

Fonctions de contrôle du relais :

- Activer le relais pour une durée prédéfinie
- Désactiver le relais

Fonctions de communication Wi-Fi :

- Se connecter au réseau Wi-Fi
- Établir une connexion TCP/IP
- Envoyer des commandes et recevoir des réponses

Cet organigramme général peut être ajusté en fonction de nos besoins spécifiques et des détails de notre projet. Il est important de bien planifier notre programme avant de commencer à coder pour nous assurer que toutes les fonctionnalités sont bien couvertes.

III.6 Partie commande

III.6.1 Description de l'interface

L'interface affiche plusieurs options d'entrée la longueur 1 et 2 et 3 sont responsables de la définition des dimensions de fil chacune responsable d'un variable différent a b et c dans le script principal et il n'y a que la valeur représente le nombre de câbles dont la machine va produire, et le bouton marche/arrêt sert uniquement à démarrer l'usinage en mode automatique et la barre de progression indique le nombre de câbles restant à produire en pourcentage

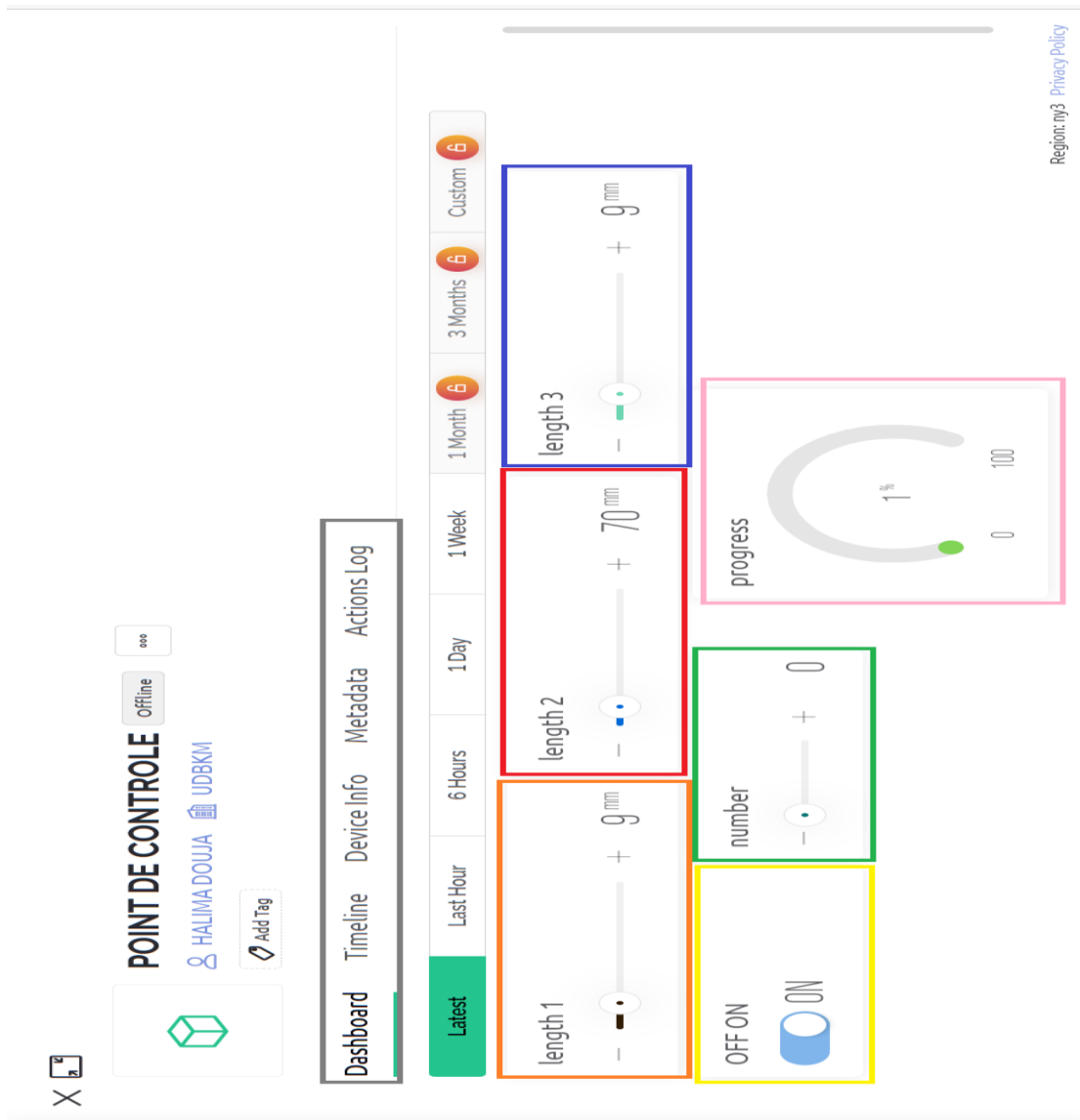


Figure 3.61 l'interface de commande

- **ON/OFF** : ce bouton a une entrée de fonction qui envoie 0 ou 1 via la ligne de transmission à l'instruction if pour déclarer l'état du logiciel.
- **Length 1** : la longueur A est la première valeur qui doit être envoyée à la machine est responsable du rayage de la première partie du câble elle est envoyée sous forme d'entier de 1 à 50 en cm.
- **Length 2** : la longueur B est la deuxième valeur qui doit être envoyée à la machine qui est chargée de rayer la première partie du câble, elle est envoyée sous forme d'entier de 1 à 100 en cm.
- **Length 3** : la longueur C c'est la dernière variable qui détermine la dimension de la cabale elle est également envoyée sous forme d'entier de 1 à 50 cm.
- **Number** : et cette valeur est faite pour déterminer combien de câbles nous allons faire envoyer sous forme d'entier de 0 à 100.
- **Progress** : la valeur de progression est calculée et envoyée du microcontrôleur au serveur sous forme d'entier non signé de 1 à 100 %.
- **Barre d'outils**.

III.7 Partie télécommunication

la communication entre ESP32 et le serveur Blynk implique les étapes suivantes :

➤ **Établissement d'une connexion**

L'ESP32 se connecte au serveur Blynk via une connexion Internet. Cela peut être fait en utilisant le Wi-Fi ou Ethernet.

➤ **Authentification de l'appareil**

Une fois connecté, l'ESP32 doit s'authentifier auprès du serveur Blynk. Cela implique l'envoi d'un jeton généré dans l'application Blynk à l'ESP32. Ce jeton est unique pour chaque appareil et garantit que seuls les appareils autorisés peuvent communiquer avec le serveur.

➤ **Envoi et réception de données**

Une fois la connexion établie et l'authentification terminée, l'ESP32 peut maintenant envoyer des données au serveur Blynk. Cela peut inclure les lectures des capteurs, l'état de l'appareil ou toute autre information pertinente. L'application Blynk peut également envoyer des commandes ou des requêtes à l'ESP32, comme allumer une lumière ou régler un thermostat.

➤ **Mise à jour de l'application**

L'application Blynk peut afficher les données reçues de l'ESP32 en temps réel, permettant aux utilisateurs de surveiller l'état de leurs appareils. L'application peut également envoyer des notifications ou des alertes à l'utilisateur en fonction de certains événements, comme une batterie faible ou une porte laissée ouverte.

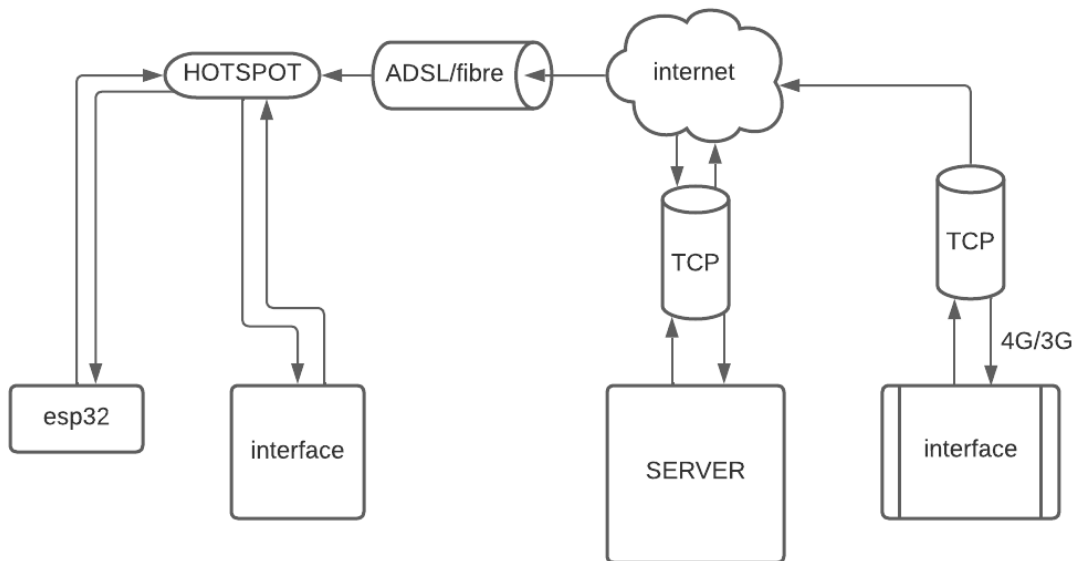


Figure 3.62 Organigramme de télécommunication

III.8 Partie de réalisation

Le projet est conçu sur une base plane en bois pour une installation facile.

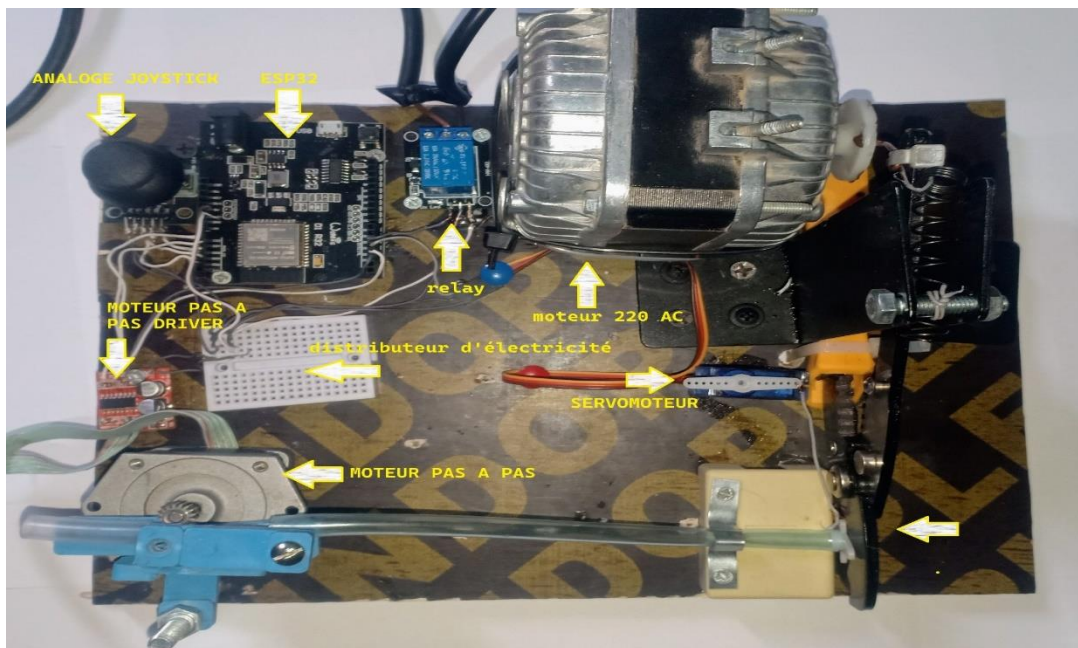


Figure 3.63 Schéma de structure de projet

III.8.1 Le mode de fonctionnement de l'appareil

Après avoir alimenté le microcontrôleur et le moteur pas à pas, la machine démarre en mode veille

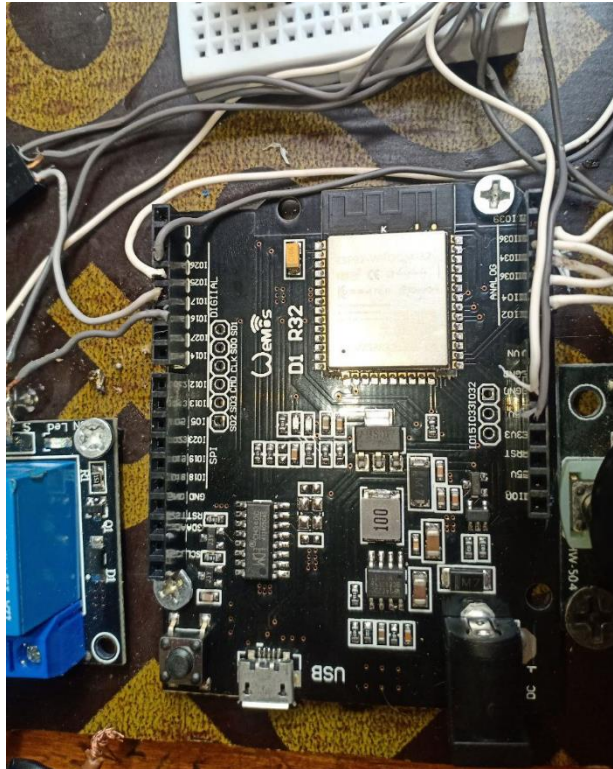


Figure 3.64 la carte ESP32

En l'allumant à l'aide de l'interface à distance et en insérant les variables, la machine envoie une commande via le moteur plus raide

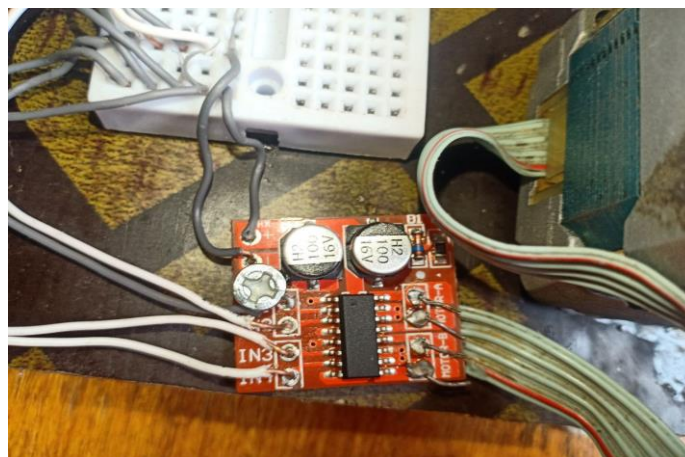


Figure 3.65 moteur pas à pas driver

Ensuite, le moteur pas à pas démarre et fait passer le câble travers le mécanisme d'insertion



Figure 3.66 moteur pas à pas

Puis le microcontrôleur envoie une autre commande au servomoteur dans un angle spécifique pour déterminer l'angle de coupe de la cabale



Figure 3.67 moteur servo

Lorsque le microcontrôleur donne l'ordre au moteur à courant alternatif de démarrer en envoyant

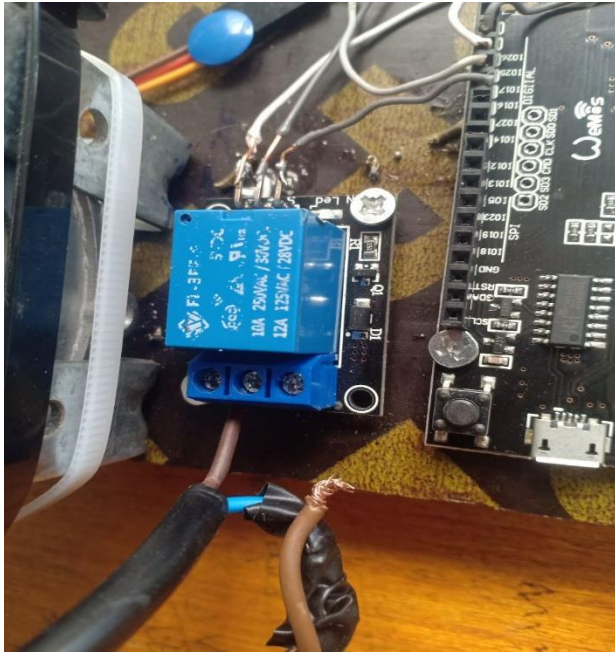


Figure 3.69 relais



Figure 3.68 mécanismes de montage

une commande au relais qui démarre le moteur et déplace l'instrument mécanique

III.8.2 Partie d'entraînement des fils électriques

La partie d'entraînement des fils électriques est composée d'une poulie fixée sur un support, qui est relié à un ressort pour exercer une pression sur le fil électrique et le maintenir en contact avec le pignon. Ce pignon est à son tour connecté à un servomoteur qui effectue une rotation complète de 360 degrés pour garantir un entraînement précis du fil électrique. Une bobine de fil est fixée avant le système d'entraînement. Le schéma de branchement du servomoteur est présenté dans la figure suivante.



Figure 3.70 pince

Pour calibrer la position du câble et la position du moteur, nous avons ajouté un joystick avec chaque direction responsable de l'activation d'un certain élément

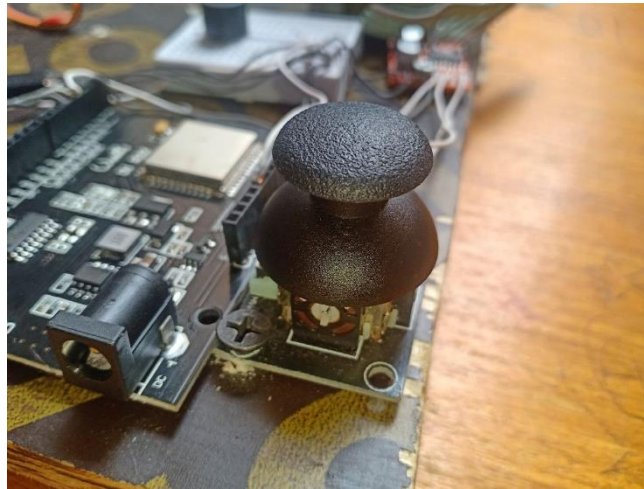


Figure 3.71 joystick

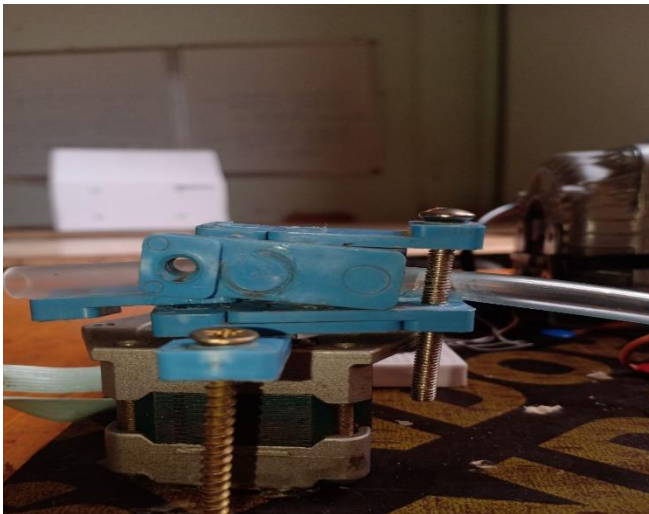


Figure 3.73 mécanisme de guidage

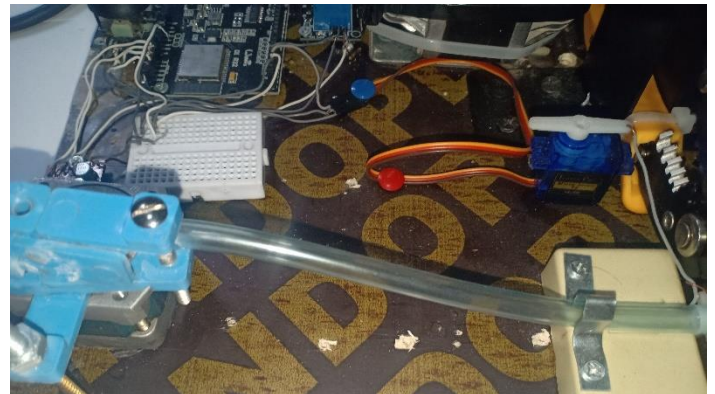


Figure 3.72 Sentier de fil électrique

III.9 Le Source Code de notre machine (programmation en Micropython)

```
import wifi
from machine import Pin, PWM
import BlynkLib
import time

BLYNK_TEMPLATE_ID = "TMPL2Q3qpcj9"
BLYNK_AUTH_TOKEN = "vJavvKNovQigGb_x4M3KNXqu1mc6o8Tg"
BLYNK_PRINT = Serial

auth = "vJavvKNovQigGb_x4M3KNXqu1mc6o8Tg"
ssid = "halima"
password = "halimadoudja7"

a = 0
b = 0
c = 0
status = 0
n = 0
i = 0
p = 0
r = 0
t1 = 0
t2 = 0
t3 = 0

terminal = WidgetTerminal(6)

def on_a_write_handler(value):
    global a
    a = int(value[0])

def on_b_write_handler(value):
    global b
    b = int(value[0])

def on_c_write_handler(value):
    global c
    c = int(value[0])

def on_status_write_handler(value):
```

```
global status
status = int(value[0])

def on_n_write_handler(value):
    global n
    n = int(value[0])

BLYNK = BlynkLib.Blynk(BLYNK_AUTH_TOKEN, server='blynk-cloud.com',
port=80)

BLYNK.on("writeV0", on_a_write_handler)
BLYNK.on("writeV1", on_b_write_handler)
BLYNK.on("writeV2", on_c_write_handler)
BLYNK.on("writeV3", on_status_write_handler)
BLYNK.on("writeV5", on_n_write_handler)

motor = Stepper(513, Pin(2), Pin(3), Pin(4), Pin(5), delay=10)

def setup():
    global r, t1, t2, t3
    wifi.connect(ssid, password)
    while not wifi.isconnected():
        pass
    print('Wifi connected')
    motor.set_speed(10)
    r = 1
    t1 = (a/r)*60*1000
    t2 = (b/r)*60*1000
    t3 = (c/r)*60*1000

def loop():
    global i, p
    i = 0
    p = 0
    BLYNK.virtual_write(4, p)
    if status == 1:
        while i < n:
            work()
            progress(i, n)
            i += 1
    else:
        i = 0
        p = 0
```

```
        BLYNK.virtual_write(4, p)
    time.sleep_ms(5000)

def work():
    global p
    x = a/r
    motor.step(513 * x)
    time.sleep_ms(t1)
    strip()
    time.sleep_ms(3000)
    x = b/r
    motor.step(513 * x)
    time.sleep_ms(t2)
    strip()
    time.sleep_ms(3000)
    x = c/r
    motor.step(513 * x)
    time.sleep_ms(t3)
    cut()
    time.sleep_ms(3000)

def progress(i, n):
    global p
    p = int(i*100/n)
    BLYNK.virtual_write(4, p)

def cut():
    pass

def strip():
    pass

while True:
    BLYNK.run()
    loop()
```

III.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit comment nous avons construit notre projet étape par étape pour créer la meilleure machine automatique possible. Nous avons examiné chaque partie de notre travail en détail, notamment la programmation, la construction, les problèmes et les solutions, ainsi que les recommandations pour l'avenir.

Notre objectif était de créer une machine automatique qui puisse dénuder et découper des câbles électriques de différentes sections, tout en améliorant la vie des opérateurs dans divers domaines électriques tels que l'industrie et la construction.

Conclusion générale

Au cours de ce projet, nous avons acquis une expérience précieuse dans la conception et la réalisation de différents types de machines de découpe et de dénudage des fils électriques. Nous avons développé une méthode de découpe et de dénudage manuel avec une pince en un système de découpe et de dénudage automatique très efficace, permettant d'optimiser la productivité industrielle et de gagner du temps.

Au début, nous avons présenté les machines à dénuder et à découper les fils électriques, ainsi que quelques types de découpe et dénudage. Ensuite, nous avons détaillé le matériel utilisé, que ce soit pour la partie mécanique ou électronique. Enfin, nous avons exposé la partie programmation et la réalisation concrète de ce projet.

Notre travail nous a permis d'acquérir des connaissances solides dans le domaine du dénudage des fils électriques, ainsi que l'utilisation de systèmes de commande tels que la carte ESP32 et le langage de programmation Micropython.

Ce travail nous a ouvert l'appétit et d'autres horizons pour entrer dans le monde de l'automatisation dans son sens le plus large, et pourquoi pas, réaliser d'autres machines selon la demande.



BIBLIOGRAPHIE

[1] article : Goran Vasilic, S. Z. (2020). "Configuring and analysis of complex multi-axis reconfigurable machine for wire cutting process." [elsevier](#).

[2] article: Patil, N. (2017). "Design and Development of Automatic Wire Cutting Machine: A Case Study in Small Scale Industry." [IJRASET](#) 5(3).

[3] article: Jaksan D Patel, K. D. M. (2013). "A Review on: Wire cut electrical discharge machining process for metal matrix composite." sciencedirect 20.

[4] Site web [VEVOR Wire Stripping Tool 0.06-0.98 Inch Cable Wire Stripping | Machine, Cable wire, Wire \(pinterest.com\)](#)

[5] Site web <https://www.directindustry.fr/fabricant-industriel/denudeuse-automatique-148277.html>

[6] Site web [Apex Auctions \(Hong Kong\) - Used Machinery and Industrial Equipment \(apex86.com\)](#)

[7] Site web <https://www.orion-industry.com/cable-fil/coupe-denudage/machine-de-coupe-denudage-fil-cable.html>

[8] Site web <https://cdsmachines.com/fr/des-produits/couteaux-rotatifs/couteaux-rotatifs-servo/>

[9] Site web [Machine de découpe à couteau rotatif - GRT10L - Rasor Elettromeccanica - électrique / textile / pour chantier naval \(nauticexpo.fr\)](#)

[10] Site web <https://www.manomano.fr/cat/denudeur+cable+electrique>

[11] Site web [Mf1115 Timberline Chainsaw Sharpener Carbide Saw Blade Sharpening Machines - China Saw Blade Sharpening Machine and Steel Saw Blade Sharpening Machine \(made-in-china.com\)](#)

[12] Site web <https://www.directindustry.fr/fabricant-industriel/denudeuse-79775.html>

[13] Site web [All Wire Stripping Solutions | Laser Wire Solutions](#)

- [14] Site web <https://www.klauke.com/fr/fr/ebs-12-coupe-boulons-hydrauliques-a-batterie-o-12-mm>
- [15] Site web <https://www.greenlee.com/ca/fr/remote-hydraulic-cutters>
- [16] Site web <https://www.directindustry.fr/prod/copper-rec/product-204553-2177823.html>
- [17] Site <https://www.directindustry.fr/fabricant-industriel/denudeuse-fils-electriques-223524.html>
- [18] Site web <https://www.directindustry.fr/fabricant-industriel/denudeuse-79775.html>
- [19] Site web <https://www.amazon.fr/machine-a-denuder/s?k=machine+a+denuder>
- [20] Site web <https://www.amazon.fr/denudeur-cable-electrique/s?k=denudeur+cable+electrique>
- [21] Site web [Electrical cable stripping machine - SB50 - Torneria Bergamini - rotary blade / electric \(directindustry.com\)](#)
- [22] Site web <https://www.directindustry.fr/fabricant-industriel/denudeuse-electrique-148274.html>
- [23] Site web <https://carpentermfg.com/>
- [24] Site web <https://www.orion-industry.com/preformage/machine-de-coupe-denudage-fil-cable.html>
- [25] Site web <https://www.directindustry.fr/fabricant-industriel/denudeuse-cables-250467.html>
- [26] Site web <https://installation-electrique.ooreka.fr/fiche/voir/365745/denuder-un-fil-electrique>
- [27] Site web <https://www.inrs.fr/risques/utilisation-machines/prevention-risques-utilisation-machines.html>
- [28] Site web <https://www.inrs.fr/risques/equipements-protection-individuelle.html>
- [29] Site web <https://www.schleuniger.com/en-us/products/cut-strip-terminate/crimpcenter/>
- [30] Site web <https://www2.eecs.berkeley.edu/Courses/CS370/>
- [31] Site web <https://www.komaxgroup.com/en/products/cut-and-strip/kappa-320>
- [32] Site web <https://cablespeed.co.uk/product/komax-iota-330/>
- [33] Site web <https://www.lintech.fr/produit/cable-fil/coupe-denudage/machine-de-coupe-denudage-es9380/>
- [34] Site web <https://www.schleuniger.com/en-us/products/cut-strip/multistrip-9480/>
- [35] Site web <https://www.lintech.fr/produit/cable-fil/coupe-denudage/machine-de-coupe-degainage-ms9650/>
- [36] Site web <https://vario-technologies.com/nos-produits/coupe-denudage-cable/am2000/>
- [37] Site web <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-fil-electrique-10693/>
- [38] Site web <https://professionnels.promotelec.com/fiche-faq/quelle-est-la-section-du-cable-d'alimentation-qui-doit-etre-pose-entre-le-coffret-erdf-en-limite-de-propriete-et-le-logement/>

- [39] Nicolas GOILAV Geoffrey LOI,2016, « Arduino » page (12-18.)
- [40] Eskimon, Olyte, aout 2012, « Arduino pour bien commencer en électronique et en programmation ».
- [41] Site web https://jeulin.com/jeulin_en/275601.html
- [42]: Site web <https://www.zazootek.com.ng/product/arduino-nano-3-0/>
- [43] Site web <https://www.amazon.com/Arduino-A000057-Leonardo-with-Headers/dp/B008FZJC74>
- [44] Site web <https://int.rsdelivers.com/product/arduino/a000062/arduino-due-development-board/7697412>
- [45] Site web <https://toboids.com/product/arduino-mega-2560/>
- [46] Site web <https://www.i-programmer.info/news/91-hardware/8369-arduino-zero-pro-released-amid-legal-dispute.html>
- [47] Site web <https://redmine.laas.fr/projects/esp32/wiki/ARDUINO>
- [48] Agus Kurniawan, Paru en juillet 2019, Lilypad Arduino USB Development for Beginner.
- [49] Site web [Arduino LilyPad Main Board \(gravitech.us\)](https://www.gravitech.us/arduino-lilypad-main-board)
- [50] Moe long, Featured, Avril 2019, 1. Arduino for Beginners: Step-by-Step Guide to Arduino (Arduino Hardware & Software)
- [51] Massimo banzi, December 2012, « Arduino Esplora ».
- [52] Site web <https://www.amazon.com/CANADUINO-ESPduino-32-Bluetooth-Dual-Core-Processor/dp/B07P1L7839>
- [53] Developing IoT Projects with ESP32 by Vedat Ozan Oner
- [54] Site web <https://www.downloadclipart.net/microcontroller-clip-arts>
- [55] Site web <https://physique.david-therincourt.fr/microcontrolleurs/esp32/>
- [56] Site web <https://www.pololu.com/product/2820>
- [57] Site web <https://ram-e-shop.com/product/step-42hz417/>
- [58] Bentchikou Ibrahim et Merabet Samir, juin 1999, conception d'un positionneur XY à commande numérique par PC, centre universitaire de Médéa, faculté d'électrotechnique.
- [59] Site web [Basic knowledge of stepper motors \(dientuviet.com\)](https://www.dientuviet.com/basic-knowledge-of-stepper-motors)
- [60] Jean-Paul Louis, publié chez Dunod en 2010, "Technologie des moteurs électriques".
- [61] Site web <https://accu-components.com/fr/p/95-unipolar-stepper-motors-vs-bipolar-stepper-motors>
- [62] Site web Moteurs pas à pas Unipolaire vs Moteurs pas à pas bipolaires - Accu. <https://accu-components.com/fr/p/95-unipolar-stepper-motors-vs-bipolar-stepper-motors> Accessed 4/5/2023.

- [63] Site web [Mini Driver L298N - AV Electronics](#)
- [64] Site web <https://www.marchpump.com/blog/which-motor-voltage-do-you-need/>
- [65] Site web <https://www.directindustry.fr/prod/shenzhen-power-motor-industrial-co-ltd/product-223207-2284049.html>
- [66] Site web <https://www.aranacorp.com/en/using-a-joystick-with-arduino/>
- [67] Site web <https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-joystick>
- [68] Site web [Micro Python - Python for microcontrollers](#)
- [69] Site web <https://docs.wokwi.com/>
- [70] Site web <https://pro.easyeda.com/>
- [71] Mr. El Mehdi Hedjala Mustapha Mr. Yahi Ali, 2020-2021, Conception et réalisation d'une machine à couper et dénuder fils électrique, universite yahia fares medea.