



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Électrique



N° d'ordre : M/GE/2024

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN ELECTRONIQUE

Option : électronique des systèmes embarqués

Par

Benati Mohamed Nadjib

Et

Khaled Raho

**Développement d'un Système de Tri Automatisé Intégré : Étude et
Implémentation**

Soutenu le 30/06/2024

Devant le jury composé de :

Présidente : M ^{elle} BENOUDNINE Hadjira	Professeur	Université de Mostaganem
Examinatrice : M ^{me} BENCHELLAL Amel	MCB	Université de Mostaganem
Encadreur : Mr LARBI BEKLAOUZ Hadj	MCB	Université de Mostaganem
Co-Encadreur : Mr BENTOUMI Mohamed	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2023-2024

DEDICACE

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A ma chère mère

Qui a toujours été ma source de réconfort et d'inspiration. Ta bienveillance infinie et ton amour inconditionnel m'ont soutenu dans les moments difficiles et ont enrichi les moments heureux. Ce travail est dédié à toi, en témoignage de mon amour et de ma gratitude éternelle.

A mon chère père

Dont le soutien indéfectible et les conseils avisés ont été une source constante d'inspiration tout au long de ce parcours. Ta sagesse et ton amour inconditionnel m'ont donné la force de poursuivre mes rêves. Merci pour tout ce que tu as fait pour moi. Tu resteras toujours mon modèle et ma plus grande source de motivation.

A mon frère et ma sœur

Pour leurs soutiens et leurs présences précieuses tout au long de ce parcours, merci d'être toujours là

A ma chère grand-mère

Dont l'amour et la sagesse ont été un phare dans ma vie. Ta gentillesse, ta douceur et tes conseils resteront toujours gravés dans mon cœur. Merci pour tout ce que tu m'as apporté. Tu es une source d'inspiration et de bonheur infinie

A nos amis *kadour* et *Mouad* et *Djalil*

Pour leur soutien et leur présence précieuse dans cette étape importante de nos vies.

A nos collègues *sidéhmed* et *ilyes* et *madjid* et *kacem*

Votre collaboration et votre soutien sont inestimables

À mon binôme *khaled*

Complice de mes réussites et soutien dans les épreuves. Notre collaboration et notre amitié ont rendu ce travail possible. Cette dédicace témoigne de notre complicité et de mon appréciation pour tout ce que nous avons accompli ensemble.

DEDICACE

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A ma chère mère

Qui a toujours été ma source de réconfort et d'inspiration. Ta bienveillance infinie et ton amour inconditionnel m'ont soutenu dans les moments difficiles et ont enrichi les moments heureux. Ce travail est dédié à toi, en témoignage de mon amour et de ma gratitude éternelle.

A mes chères frères

Pour leurs soutiens et leur présence précieuse tout au long de ce parcours, merci d'être toujours là

A nos collègues *sídehmed* et *ílyes* et *madjid* et *kacem*

Votre collaboration et votre soutien sont inestimables

À mon binôme *nadjib*

Complice de mes réussites et soutien dans les épreuves. Notre collaboration et notre amitié ont rendu ce travail possible. Cette dédicace témoigne de notre complicité et de mon appréciation pour tout ce que nous avons accompli ensemble.

Remerciement

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes et institutions qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Tout d'abord, nous souhaitons remercier chaleureusement notre encadreur, M. Larbi Beklaouz Hadj, pour sa supervision, ses conseils précieux et son soutien constant tout au long de ce projet. Ses encouragements et ses remarques constructives ont été d'une grande aide dans l'aboutissement de cette étude.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude à notre co-encadreur, M. Bentoumi Mohamed, pour ses précieux conseils et son accompagnement tout au long de notre travail. Sa disponibilité et ses suggestions avisées ont grandement enrichi cette recherche.

Nous adressons nos sincères remerciements aux membres du jury, Prof. Benoudnine H. et Mme Benchellal A., pour leur temps, leur expertise et leurs remarques judicieuses qui ont permis d'améliorer la qualité de ce travail.

Nous exprimons notre reconnaissance à tous nos collègues et amis qui nous ont apporté leur aide et leur soutien moral. Leur camaraderie et leurs encouragements ont été une source de motivation constante.

Enfin, nous souhaitons adresser nos remerciements les plus chaleureux à nos familles pour leur soutien inconditionnel, leur patience et leur compréhension tout au long de ce parcours. Leur présence à nos côtés a été une force indéfectible.

À tous, nous exprimons notre plus profonde reconnaissance.

Sommaire

Dedicace

Remerciment

Sommaire

Liste des figures

ملخص

Introduction général

- 1 Chapitre I : Généralités sur les systèmes de tri robotisé1
 - 1.1 Introduction1
 - 1.2 Historique1
 - 1.3 Définition du système de tri robotise1
 - 1.4 Composants d'un système de tri robotisé2
 - 1.4.1 Système de contrôle2
 - 1.4.2 Tapis roulant2
 - 1.4.3 Capteurs3
 - 1.4.4 Bras robotique5
 - 1.5 Fonctionnement général du système10
 - 1.6 Types de robots utilisés en tri robotisé10
 - 1.7 Le rôle des systèmes de tri robotisés dans le domaine environnemental11
 - 1.8 Domain d'application de system de tri robotise12
 - 1.9 Systèmes de tri automatisés et méthodes traditionnelles12
 - 1.10 Avantages et inconvénients des systèmes de tri robotisés12
 - 1.11 Conclusion13
- 2 Chapitre II : Etude du système de tri robotisé14
 - 2.1 Introduction14
 - 2.2 Étudier différents angles et mouvements14
 - 2.2.1 La base14
 - 2.2.2 Articulation de l'épaule14
 - 2.2.3 Articulation du coude15
 - 2.2.4 La pince16

2.3	Intégration d'un capteur à ultrasons avec tapis roulant et bras robotisé	17
2.4	Servomoteur	:18
2.5	Synchronisation entre bras et tapis roulant	19
2.6	Programmation et contrôle du système	19
2.6.1	Description de l'unité de traitement (ESP32)	19
2.6.2	Opérations de contrôle dans le système de tri automatisé	20
2.7	Conclusion	21
3	Chapitre III : Réalisation du système de tri robotisé	22
3.1	Introduction	22
3.2	Programmation et fonctionnement du système de tri robotisé	22
3.2.1	Étude appliquée utilisant la carte ESP32	22
3.2.2	Schéma électrique	23
3.2.3	Fonctionnement du bras robotique : un exemple appliqué	24
3.2.4	Fonctionnement et contrôle de convoyeur avec ESP32 et capteur ultrasonore	25
3.3	Fonctionnement d'un afficheur LCD 2X16	28
3.4	Modes de fonctionnement du système de tri automatisé	29
3.4.1	Mode automatique	29
3.4.2	Mode manuel (mode maintenance)	29
3.5	Partie programmation	29
3.5.1	Programmation de la carte ESP 32	29
3.5.2	Programme principal du projet	51
3.6	Scénarios de fonctionnement	36
3.7	Les défis	39
3.8	Conclusion	40
4	Bibliographique	38
5	Annexes	:40

List des figures

- Figure 1.1 : Dessin schématique du système de tri automatisé2
- Figure 1.2 : Tapis roulant3
- Figure 1.3 : Capteur ultrason4
- Figure 1.4 : Afficheur LCD 2x16 [9]5
- Figure 1.5 : Bras robotique6
- Figure 1.6 : Structure d'un robot cartésien [1, 2]6
- Figure 1.7 : Structure d'un robot cylindrique7
- Figure 1.8 : Structure sphériques7
- Figure 1.9 : Structure SCARA8
- Figure 1.10 : Diagramme de mouvement des articulations linéaires9
- Figure 1.11 : Schéma du joint rotatif9
- Figure 1.12 : Schéma de mouvement de l'articulation sphérique9
- Figure 1.13 : Robots articulés10
- Figure 1.14 : Robots collaboratifs11
- Figure 1.15 : Robots de tri11
- Figure 2.1 : la base et l'amplitude de mouvement de la bas14
- Figure 2.2 : Angles d'épaule lors du déplacement A) vers l'arrière B) vers l'avant15
- Figure 2.3 : Angles de Coude lors d'un déplacement a) vers l'arrière b) vers l'avant16
- Figure 2.4 : Diagramme schématique du mouvement de la pince.16
- Figure 2.5 : Capteur à ultrasons17
- Figure 2.6 : Fonctionnement du capteur à ultrasons et Signaux du capteur à ultrasons17
- Figure 2.7 : Un diagramme illustratif de la relation entre le capteur et tapis roulant18
- Figure 2.8 : un servomoteur et un moteur DC18
- Figure 2.9 : Un schéma montrant le fonctionnement d'un servomoteur19
- Figure 2.10 : Brochage de la carte d'ESP3220
- Figure 3.1 : Schéma bloc du système de tri robotisé réalisé.22
- Figure 3.2 : Connexion des broches ESP32 pour le capteur à ultrason22
- Figure 3.3 : capteur à ultrasons23
- Figure 3.4 : photos exemples des tests.23
- Figure 3.5 : schéma de câblage électrique24
- Figure 3.6 : Fonctionnement des servomoteurs dans le bras robotique24
- Figure 3.7 : Fonctionnement et contrôle de convoyeur avec ESP32 et capteur ultrasonore26
- Figure 3.8 : le moteur DC du tapis roulant26
- Figure 3.9 : Produit final du système de tri robotisé utilisant ESP32 et capteur ultrasonore27
- Figure 3.10 : Démonstration de la luminosité de la LED en fonction de la distance de l'objet27
- Figure 3.11 : Démonstration de la luminosité de la LED en fonction de la distance de l'objet28

- Figure 3.12 : fonctionnement de l'afficheur LCD 2X16.28
- Figure 3.13 : connexion et schéma électrique du bouton poussoir.29
- Figure 3.14 : l'organigramme du programme principal.31
- Figure 3.15 : organigramme du bras robotique lors du ramassage de l'objet32
- Figure 3.16 : Organigramme du bras robotique lors du placement d'un objet34
- Figure 3.17 : Organigramme du fonctionnement du tapis roulant35
- Figure 3.18 : l'initialisation du bras robotisé (scénario 1)36
- Figure 3.19 : fonctionnement normal (scénario 2).37
- Figure 3.20 : mode ralenti (scénario 3).39

Résumé

Ce mémoire porte sur la réalisation d'un système de tri robotisé utilisant la carte ESP32, qui intègre des composants tels que des capteurs à ultrasons, des servomoteurs, et un tapis roulant pour automatiser le tri des matériaux. Le projet met en avant les avantages de l'automatisation dans divers secteurs industriels, en améliorant l'efficacité, la précision, et en réduisant les coûts et les erreurs humaines. Le travail est divisé en plusieurs chapitres, couvrant les généralités sur le système de tri robotisé, l'étude des différents composants et leur intégration, et la réalisation pratique du système avec des tests et des scénarios d'application. Ce mémoire contribue à la compréhension et à l'optimisation des systèmes de tri automatisés, offrant des perspectives pour de futures innovations.

Mots-clés : Bras robot, ESP32, tapis roulant, servomoteurs, programmation.

ملخص

هذا البحث يتناول إنشاء نظام فرز آلي باستخدام لوحة ESP32، والتي تتكامل مع مكونات مثل أجهزة استشعار الموجات فوق الصوتية، ومحركات السيرفو، وحزام النقل لتشغيل عملية الفرز تلقائياً. يبرز المشروع فوائد الأتمتة في مختلف القطاعات الصناعية من خلال تحسين الكفاءة والدقة وتقليل التكاليف والأخطاء البشرية. ينقسم العمل إلى عدة فصول تغطي المبادئ العامة لنظام الفرز الآلي، ودراسة المكونات المختلفة ودمجها، والتطبيق العملي للنظام مع اختبارات وسيناريوهات تطبيق. يساهم هذا البحث في فهم وتحسين أنظمة الفرز الآلي، مقدماً أفقاً للابتكارات المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: الذراع الروبوتية ESP32، حزام النقل، محركات السيرفو، البرمجة.

Abstract

This thesis focuses on the implementation of a roboticsorting system using the ESP32 board, which integrates components such as ultrasonic sensors, servomotors, and a conveyor belt to automate the sorting process. The project highlights the benefits of automation in various industrial sectors by improving efficiency, accuracy, and reducing costs and human errors. The work is divided into several chapters, covering the general principles of the roboticsorting system, the study of different components and their integration, and the practical implementation of the system with tests and application scenarios. This thesis contributes to the understanding and optimization of automated sortingsystems, offering perspectives for future innovations.

Keywords: Robotic arm, ESP32, conveyor belt, servomotors, programming.

Introduction Générale

L'évolution rapide de la technologie a transformé de nombreux aspects de notre vie quotidienne et professionnelle. L'automatisation, en particulier, a révolutionné le secteur industriel, augmentant l'efficacité, réduisant les coûts et améliorant la qualité des produits. Parmi les technologies d'automatisation, les systèmes de tri robotisé se démarquent par leur capacité à optimiser les processus de tri et de gestion des matériaux.

Le tri des matériaux est une tâche essentielle dans diverses industries telles que la logistique, la gestion des déchets, l'agroalimentaire, et bien d'autres. Traditionnellement, ces tâches étaient effectuées manuellement, impliquant une main-d'œuvre importante et sujette à des erreurs. L'introduction de systèmes de tri robotisé a permis d'automatiser ces processus, offrant une précision et une rapidité accrues, tout en réduisant les risques liés aux erreurs humaines.

Ce mémoire se concentre sur la réalisation d'un système de tri robotisé utilisant la carte ESP32. L'ESP32, avec ses capacités avancées de traitement et de communication sans fil, s'avère être un choix idéal pour le contrôle des différents composants du système de tri, tels que les servomoteurs, les capteurs à ultrasons, et le tapis roulant. Ce projet vise à concevoir, développer, et tester un système intégré capable de trier automatiquement des objets en fonction de leurs caractéristiques détectées par les capteurs.

Le premier chapitre de ce mémoire présente une vue d'ensemble des systèmes de tri robotisé, en discutant de leur historique, de leur définition, et des composants clés. Le second chapitre se penche sur l'étude détaillée des différents éléments constituant ce système, en mettant l'accent sur l'intégration et la synchronisation entre le capteur à ultrasons, le tapis roulant, et le bras robotique. Enfin, le troisième chapitre décrit la réalisation pratique du système, incluant la programmation de l'ESP32, les tests effectués, et les résultats obtenus.

Ce travail se veut une contribution à l'amélioration des systèmes de tri automatisé, en exploitant les technologies modernes pour proposer des solutions plus efficaces et adaptées aux besoins industriels contemporains. Nous espérons que les résultats de cette recherche offriront des perspectives nouvelles pour l'automatisation industrielle et inspireront de futures innovations dans le domaine.

Chapitre I

Généralités sur les systèmes de tri robotisé

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de tri robotisé

1.1 Introduction

La technologie de tri automatisé avancée repose sur des robots équipés de technologies de pointe, améliorant ainsi l'efficacité des opérations de tri, augmentant la productivité et réduisant les coûts. Elle contribue également à soutenir les initiatives de durabilité telles que le recyclage et la protection de l'environnement en réduisant les déchets et en fournissant des ressources renouvelables, préservant ainsi l'environnement et réduisant l'impact négatif des déchets industriels. Dans ce chapitre, nous aborderons les composants essentiels de ce système, son fonctionnement ainsi que les différentes applications dans une variété d'industries.

1.2 Historique

Dans l'histoire du développement technologique, les systèmes de tri automatisés sont considérés comme l'une des stations les plus importantes. Alors qu'il faisait partie des processus d'amélioration de la production et d'augmentation de la capacité de production dans tous les secteurs industriels, et avec la fin de la Seconde Guerre mondiale, les systèmes de tri automatisés ont connu leurs étapes les plus importantes, car cette période a coïncidé avec le boom technique des capteurs. Cela contribue à améliorer l'efficacité et la mise en œuvre précise des tâches des systèmes de tri et ainsi à répondre aux besoins industriels.

1956 : Apparition du premier système de tri automatisé utilisant la technologie numérique pour classer les matériaux.

1965 : Développement du premier système de tri automatisé utilisant des systèmes de capteurs.

1973 : Développement du premier système de tri automatisé utilisant des techniques d'intelligence artificielle pour améliorer la précision des opérations de tri.

1985 : Apparition du premier système de tri automatisé utilisant des robots dans toutes les opérations de tri.

1998 : Développement du premier système de tri automatisé utilisant des techniques d'apprentissage automatique et des réseaux de neurones pour augmenter l'efficacité du tri.[1]

1.3 Définition du système de tri robotisé

Un système de tri robotisé est un système qui utilise la technologie pour séparer et classer automatiquement des objets sans l'intervention humaine. Ce système est considéré comme intégré car il comprend un groupe d'éléments, tels que des capteurs, des processeurs et des robots, qui s'intègrent à chacun. Autre exemple de tâche spécifique, on cite de tri d'objets en fonction de leurs formes, de leurs tailles ou de leurs couleurs.

1.4 Composants d'un système de tri robotisé

Un système de tri automatisé se compose de plusieurs composants principaux, chacun remplissant une fonction spécifique contribuant à l'intégrité du système. Parmi ces composants, nous mentionnons les suivants :

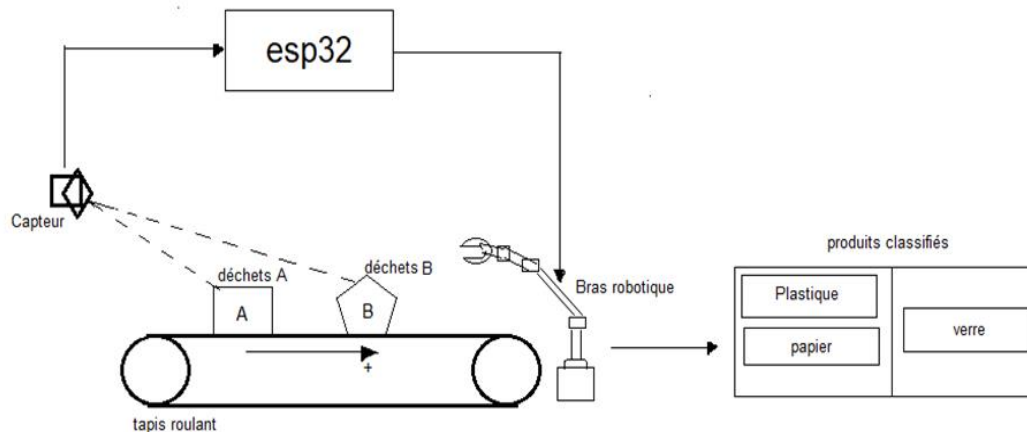


Figure 0.1 : Dessin schématique du système de tri automatisé

1.4.1 Système de contrôle

L'unité de traitement des systèmes de tri automatisés est considérée comme la partie fondamentale et vitale du processus de tri, car elle analyse et traite les différentes données reçues des capteurs pour comprendre les caractéristiques des articles à trier et prendre les décisions appropriées sur la base de ces données. Qui détermine le fonctionnement de l'ensemble du système et communique avec le reste des composants du système pour ajuster et coordonner les opérations de manière cohérente entre les capteurs, le bras robotique et le tapis convoyeur, et cela en envoyant des signaux et des commandes aux moteurs et les actionneurs pour contrôler le mouvement des éléments correctement et avec précision.

1.4.2 Tapis roulant

Les tapis roulants jouent un rôle essentiel dans les systèmes de tri robotisés, assurant le transport efficace et rapide des matériaux d'un point à un autre. Leur utilisation dans divers secteurs industriels permet d'automatiser le déplacement des objets, réduisant ainsi la main-d'œuvre et augmentant la productivité. Ces tapis se composent de plusieurs composants principaux : une structure métallique soutenant les autres éléments, une courroie continue pour transporter les matériaux, des rouleaux cylindriques soutenant et faisant tourner la courroie, un moteur fournissant l'énergie nécessaire au déplacement de la courroie, et un système de contrôle régulant la vitesse et la direction du tapis

roulant. Leur fonctionnement repose sur un principe simple : un moteur entraîne les rouleaux qui, à leur tour, font tourner la courroie, permettant ainsi le transport des matériaux. La vitesse et la direction du mouvement peuvent être contrôlées via un système de contrôle, offrant ainsi une adaptation aux besoins spécifiques de chaque application.



Figure 0.2 : Tapis roulant

L'utilisation des tapis roulants présente de nombreux avantages : ils augmentent l'efficacité en permettant un déplacement rapide et précis des matériaux, réduisent la charge de travail grâce à leur automatisation, offrent une flexibilité pour s'adapter à différents types de matériaux et améliorent la sécurité en diminuant les risques d'accidents manuels. Avec les avancées technologiques dans le domaine industriel, les performances des bandes transporteuses ont été optimisées par l'intégration de diverses technologies modernes, notamment des capteurs sophistiqués, ce qui a renforcé la précision et l'efficacité des opérations de tri.

1.4.3 Capteurs

Les capteurs jouent un rôle essentiel dans les fonctions des systèmes robotiques, car ils améliorent la capacité des robots à interagir avec l'environnement environnant et à collecter les données nécessaires pour prendre des décisions appropriées. Dans le cas des robots utilisés dans les processus de dépistage automatisés, les capteurs collectent différentes données des matériaux à tri, tels que leur forme, leurs propriétés chimiques et autres. Grâce à ces données, le robot responsable du processus de tri peut prendre les bonnes décisions.

Lors du processus de collecte de données provenant de divers capteurs, ce dernier envoie les données collectées au CPU pour analyse et traitement. Des instructions sont ensuite envoyées depuis ceux-ci vers les différents composants du système de tri. Grâce à ce processus, des décisions appropriées sont prises sur la base des données collectées. Parmi les capteurs utilisés, on peut citer :



Figure 0.3 : Capteur ultrason

- **Capteurs ultrason** : Dans les systèmes de tri automatisés, les capteurs sonores à ultrasons sont l'un des facteurs clés pour améliorer l'efficacité des opérations de tri. Ces capteurs s'appuient sur des ondes sonores ultrasonores pour mesurer les distances avec une grande précision, leur permettant ainsi de détecter des objets même à de longues distances.

La technologie ultrasonique est également utilisée pour localiser avec précision des objets et mesurer leurs dimensions, ce qui contribue à augmenter la productivité et à améliorer la qualité des produits finaux.

- **Capteur de caméra** : Les capteurs de caméra sont considérés comme l'un des types de capteurs les plus importants, et cela réside dans leur efficacité et la méthode de collecte des données. Son travail repose donc sur un principe à la fois simple et complexe, qui consiste à prendre des photos d'un objet devant lui et à le classer en fonction d'informations visuelles.
- **Capteurs de couleur** : Ces appareils jouent un rôle important dans les systèmes de tri automatisés, car ils sont utilisés pour identifier et classer des objets ou des matériaux en fonction de leurs couleurs. Ces appareils mesurent le spectre de la lumière provenant de l'échantillon à trier et sont donc utilisés pour distinguer les couleurs et séparer les objets en fonction des caractéristiques de couleur.
- **Capteurs infrarouges** : ils jouent un rôle important dans les systèmes de tri automatisés en détectant des objets ou des matériaux en fonction des changements de rayonnement thermique ou de rayonnement émis. Ces capteurs sont utilisés dans les opérations de tri pour identifier les objets en fonction des niveaux de température uniques de chaque objet.

Afficheur LCD 2x16

Un écran LCD est un type d'affichage à cristaux liquides utilisé pour afficher un nombre spécifique de lettres, de symboles et de chiffres. L'écran LCD 16*2 se compose de 16 colonnes et 2 rangées de cellules pouvant afficher des lettres, des chiffres et des symboles.

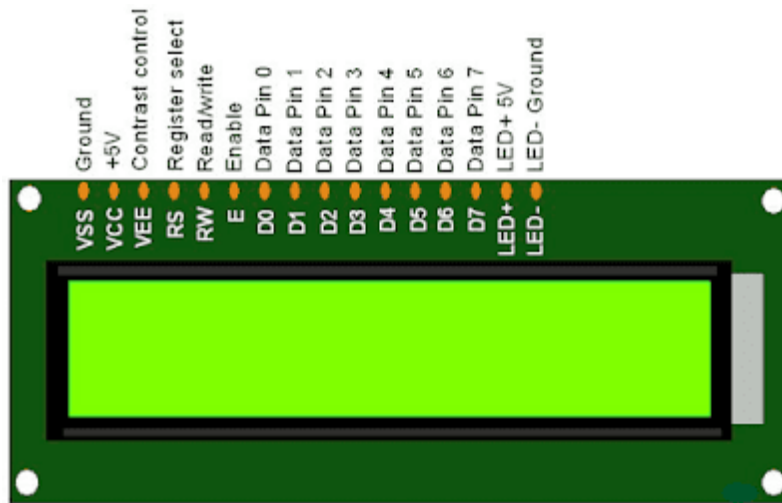


Figure 0.4 : Afficheur LCD 2x16 [9]

Cet élément est facile à utiliser avec divers microcontrôleurs. Une interface I2C est souvent ajoutée à cet élément, ce qui facilite grandement l'utilisation de l'écran LCD, réduisant le nombre de broches et facilitant le processus de programmation.

-Un écran LCD 16*2 est composé de 16 broches, représentées comme suit :

- ◆ Broches d'alimentation (VSS, VDD)
- ◆ Broche de contraste (V0)
- ◆ Broches de contrôle (E, RW, RS)
- ◆ Broches de données (D0...D7)

1.4.4 Bras robotique

Le bras robotique est un élément essentiel du processus de tri automatisé, car sa responsabilité est d'effectuer le processus de tri avec précision et efficacité. Le processus de tri repose sur la capacité du bras robotique à reconnaître et séparer différents articles selon leurs caractéristiques prédéterminées. Des capteurs spécialisés déterminent les propriétés de divers matériaux, comme le plastique, le verre, le métal, etc., et fournissent ces informations au bras robotique.

Grâce à des technologies avancées telles que la vision artificielle et l'intelligence artificielle, le bras robotique du système de tri identifie avec précision les matériaux et les dirige vers les emplacements appropriés. Les applications des bras robotiques sont diversifiées en fonction des structures robotiques utilisées, ce qui contribue à améliorer l'efficacité des processus.



Figure 0.5 : Bras robotique

1.4.4.1 Différentes structures du bras robotisé

Parmi les différentes structures du bras robotisé dans le système de tri, nous mentionnons les suivantes :

➤ **Structure cartésienne (PPP) :**

Il représente un type important de structure utilisé dans l'industrie robotique. Cette structure se caractérise par sa composition de trois axes linéaires perpendiculaires (X, Y, Z), donnant au robot la capacité de se déplacer dans plusieurs directions, notamment vers l'avant, vers l'arrière, latéralement et verticalement. Il est donc couramment utilisé pour des tâches qui nécessitent précision et répétition, comme le tri et le regroupement.

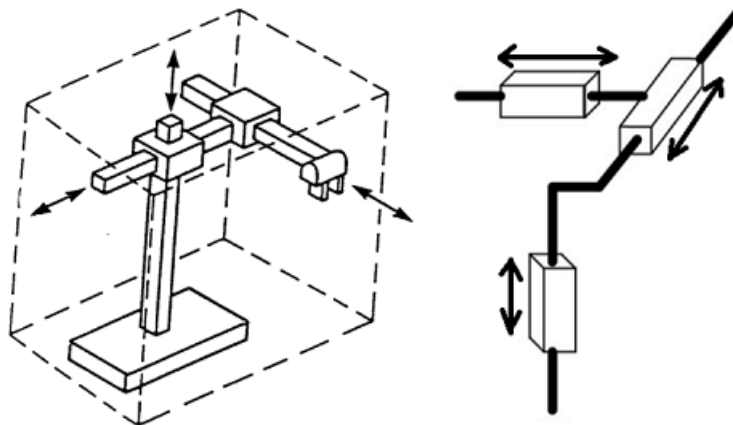


Figure 0.6 : Structure d'un robot cartésien [1, 2]

(PPP): linéaires (P) / linéaires (P) / linéaires (P)

Avec : **R** : Rotation ; **P** : Prismatic (en anglais).

➤ **Structure cylindriques (RPP) ou (PRP):**

Ce type de structure se compose d'un axe de rotation vertical et d'un bras horizontal, ce qui lui permet de se déplacer le long de cet axe, ce qui comprend la rotation autour d'un axe vertical et le déplacement horizontal du bras vers l'avant et vers l'arrière. Ce type de structure est utilisé pour des tâches nécessitant des mouvements complexes. Cependant, il est devenu peu utilisé aujourd'hui en raison de sa capacité limitée à fournir un espace de travail. [2]



Figure 0.7 : Structure d'un robot cylindrique

(RPP):rotation (R) / linéaires (P) / linéaires (P)

(PRP) :linéaires (P) / rotation (R) /linéaires (P)

➤ **Structure sphériques (RRP) :**

Il s'agit d'un type de structure robotique comportant un axe de rotation et deux axes de pivotement. Un seul axe peut permettre des mouvements de rotation autour de lui, tandis que deux axes peuvent réaliser différents mouvements du robot dans l'espace. Ce type de structure est utilisé pour des tâches qui nécessitent une grande liberté de mouvement, comme la manipulation d'objets dans des environnements complexes tels que des entrepôts étroits et des environnements industriels variables.

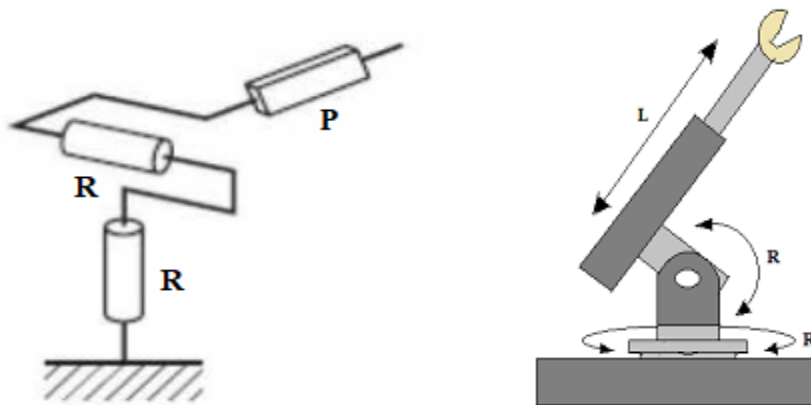


Figure 0.8 : Structure sphériques

(RRP) : rotation (R) / rotation (R) / linéaires (P)

➤ **Structure dite SCARA:**

La structure SCARA est considérée comme l'une des structures robotiques industrielles les plus distinctives, car elle se compose de deux axes rotatifs parallèles et d'un axe linéaire vertical. Cette conception permet au robot d'effectuer des mouvements rapides et précis dans le plan horizontal, ce qui le rend idéal pour les applications nécessitant des mouvements précis.

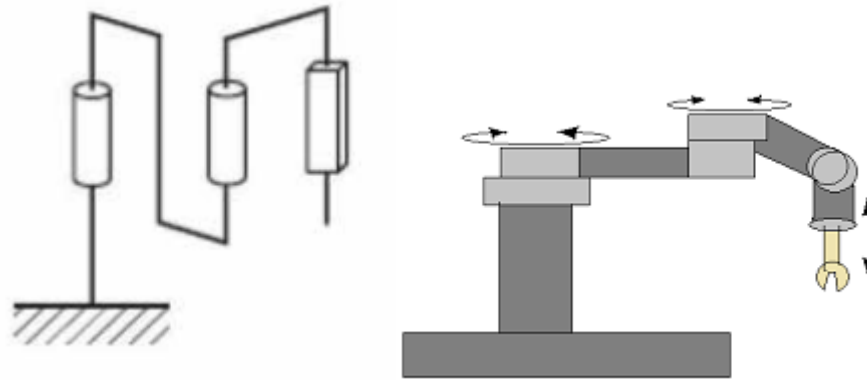


Figure 0.9 : Structure SCARA

Ces robots ont la capacité d'atteindre des vitesses élevées et d'effectuer des tâches avec une excellente précision, ce qui en fait un choix populaire dans les opérations de fabrication qui nécessitent une efficacité et une précision d'exécution élevées.

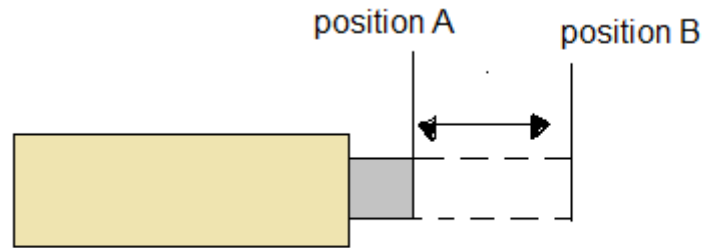
1.4.4.2 Articulations

Une articulation relie deux corps successifs en spécifiant un certain nombre de degrés de liberté appelés mouvement de l'articulation, qui représentent la plage dans laquelle l'articulation peut se déplacer. Typiquement, le nombre de degrés de liberté d'une articulation (représenté par m) est $0 < m < 6$. Lorsque $m = 1$, cela signifie qu'il n'y a qu'un seul degré de liberté. [3]

Dans ce cas, il est souvent classé de deux manières fondamentales soit rotoïde soit prismatique. Dans une articulation rotoïde, les deux corps joints ne peuvent tourner qu'autour d'un axe commun, tandis qu'une articulation prismatique peut dévier dans une certaine direction sans tourner. Parmi les types d'articulations les plus courants dans les robots, nous mentionnons les suivants :

➤ **Articulation prismatique (linéaires) :**

Ce type d'articulation permet de réaliser des mouvements linéaires simples. C'est un type d'articulation linéaire qui permet un mouvement linéaire entre deux corps par une seule translation le long d'un axe commun. Il est symbolisé par (p). Il se caractérise par sa simplicité et son efficacité dans la réalisation d'un mouvement linéaire droit, ce qui le rend idéal pour les systèmes nécessitant un mouvement direct dans une direction spécifique.



Articulation prismatique

Figure 0.10 : Diagramme de mouvement des articulations linéaires

- **Articulation rotoïde :** Ce type d'articulation permet au bras de tourner autour d'un axe précis pour effectuer un simple mouvement de rotation [28] (voir figure).

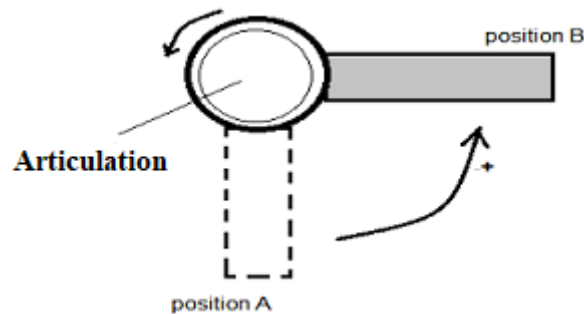


Figure 0.11 : Schéma du joint rotatif

- **Articulation rotule :**

La rotule permet un mouvement de rotation complet dans toutes les directions, car elle est constituée d'une rotule et d'une poignée. La boule est fixée à l'arbre de manière à pouvoir tourner autour de la poignée dans n'importe quelle direction, comme indiqué sur la figure.

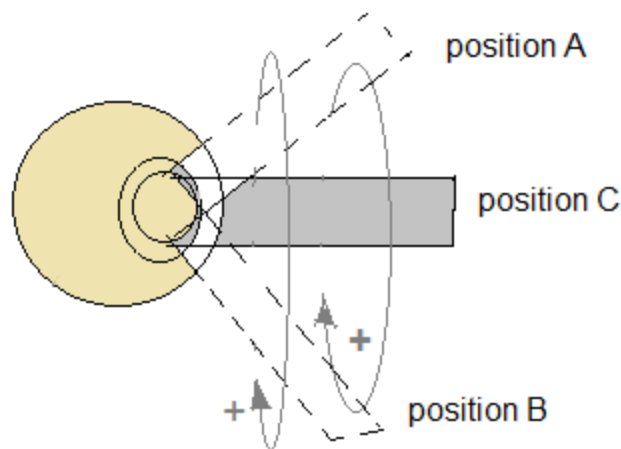


Figure 0.12 : Schéma de mouvement de l'articulation sphérique

1.5 Fonctionnement général du système

Les articles sont transportés sur le tapis roulant jusqu'à la zone de tri, où un capteur à ultrasons détecte la présence des objets ou des articles. Le microcontrôleur ESP32 reçoit des données de capteurs pour déterminer l'emplacement des objets et contrôle les bras robotiques et la bande transporteuse en fonction de ces données.

1.6 Types de robots utilisés en tri robotisé

Les systèmes de tri automatisés utilisent différents types de robots, chacun étant conçu pour effectuer des tâches spécifiques lors des opérations de tri. Les types courants incluent :

➤ Robots articulés

Les robots articulés se distinguent par leurs articulations rotatives qui offrent une grande flexibilité de mouvement et sont conçus pour imiter les mouvements du bras humain avec précision et dextérité. Ce type de robot est utilisé dans l'industrie manufacturière et dans d'autres industries, car il contribue à augmenter la productivité et à améliorer les produits. qualité et sécurité sur le lieu de travail. Grâce à son développement continu, il est devenu un élément essentiel des processus de fabrication modernes, offrant des solutions efficaces pour améliorer l'efficacité, la sécurité et la qualité de la production industrielle.



Figure 0.13 : Robots articulés

➤ Robots collaboratifs (Cobots)

Les robots collaboratifs sont conçus pour travailler en toute sécurité aux côtés des travailleurs humains et sont équipés de capteurs avancés et de fonctionnalités de sécurité pour détecter et réagir à la présence humaine. Ces robots sont faciles à programmer, ce qui les rend adaptés à une variété de tâches. Utilisés dans de nombreux secteurs sensibles tels que la santé, les robots partagent des tâches avec les travailleurs humains, augmentant considérablement la productivité en automatisant les tâches répétitives ou fastidieuses et permettant aux travailleurs humains de se concentrer sur des activités plus complexes.



Figure 0.14 : Robots collaboratifs

➤ **Robots de tri sur bande**

Ces robots disposent d'un tapis roulant qui permet d'automatiser le tri des articles en temps réel en fonction de critères tels que la taille, le poids, la forme et la couleur. Ils sont largement utilisés dans la logistique, la fabrication et le recyclage, grâce à leur rapidité et leur précision dans l'acheminement des articles. Ces robots améliorent la productivité et l'efficacité, réduisent le travail manuel, réduisent les coûts d'exploitation et améliorent la sécurité grâce à des capteurs, des caméras et des logiciels avancés.



Figure 0.15 : Robots de tri

1.7 Le rôle des systèmes de tri robotisés dans le domaine environnemental

Les systèmes automatisés représentent l'épine dorsale de la technologie pour améliorer les processus de tri et de gestion environnementale des déchets, car ils combinent diverses technologies modernes pour atteindre une efficacité et une précision maximales dans les processus de tri et diriger les déchets vers la destination appropriée grâce à leur capacité à reconnaître différents types et catégories. Des déchets, les systèmes contribuent. Le mécanisme réduit les erreurs humaines et améliore la précision des opérations de tri, ce qui améliore considérablement la gestion des déchets et réduit les impacts négatifs sur l'environnement et la santé publique.

1.8 Domain d'application de system de tri robotise

- **Domaine environnemental**
 - Séparation des matières recyclables
 - Identification des matières dangereuses
 - Recyclage et réutilisation
 - Inspection de la qualité de l'environnement
- -Domaine Industrie alimentaire
 - Classification et séparation
 - Assurance qualité des produits
 - Réduire les pertes et le gaspillage
- -**Domaine Logistique**
 - Automatisation du tri des colis et des produits
 - Détermination du chemin optimal, En déterminant le chemin optimal pour chaque expédition, permettant ainsi de gagner du temps.
- **Domaine Pharmaceutique**
 - Classification des médicaments et produits
 - Emballage
 - Séparation et stockage automatisés
- **Domaine Manufacturing**
 - Inspection des ingrédients et des matières premières
 - Classification des produits et des matériaux
 - Séparation et assemblage
 - Contrôle qualité et efficacité
- **Domaine Agriculture**
 - Supprimer les matériaux indésirables
 - Classification des produits agricoles
 - Tri des cultures agricoles [4]

1.9 Systèmes de tri automatisés et méthodes traditionnelles

Les systèmes de tri automatisés sont plus efficaces et plus précis que les méthodes traditionnelles, car ils peuvent traiter de grandes quantités d'articles à grande vitesse et réduire les erreurs humaines. En revanche, les processus de tri traditionnels sont moins efficaces et plus sensibles aux erreurs humaines. Avec l'expansion des usines et des entreprises, les systèmes automatisés sont devenus plus largement utilisés car ils améliorent l'environnement de travail et augmentent la vitesse et la précision de l'exécution des tâches, contrairement aux méthodes traditionnelles qui souffrent souvent de nombreuses erreurs et de lenteurs dans l'exécution des tâches.

1.10 Avantages et inconvénients des systèmes de tri robotisés

- ✓ **Les avantages :**

- Augmentation de l'efficacité des opérations de tri grâce à la rapidité dans l'exécution des tâches et à la haute précision offerte par les technologies modernes.
 - Réduction des erreurs causées par la main-d'œuvre humaine et des risques auxquels elle était exposée.
 - Dans les applications environnementales, une contribution significative à la réduction des déchets nuisibles à l'environnement, grâce à la précision dans l'exécution des opérations de tri et à la réduction des matériaux nocifs pour l'environnement.
 - Augmentation des matériaux recyclables grâce à l'efficacité dans les opérations de tri et de classification.
- ✓ **Les inconvénients :**
- Difficulté à manipuler certains éléments non homogènes et incapacité à les classer.
 - Un impact important sur les emplois et une augmentation du chômage en raison de la suppression des postes occupés par les humains et de leur remplacement par des robots.
 - Une grande consommation d'énergie entraînant un impact négatif sur l'environnement.

1.11 Conclusion

Ce chapitre a présenté les bases des systèmes de tri robotisé, incluant leur historique, définition, et composants principaux comme l'ESP32, les tapis roulants, et les capteurs. Nous avons exploré les différents types de robots utilisés et leurs applications variées dans des secteurs tels que l'industrie, l'environnement, et la logistique. En soulignant les avantages de l'automatisation, ce chapitre pose les fondations pour une compréhension approfondie et la mise en œuvre pratique des systèmes de tri robotisé dans les chapitres suivants.

Chapitre II

Etude du système de tri robotisé

Chapitre II : Etude du système de tri robotisé

1.12 Introduction

Dans ce chapitre, nous étudierons en détail le système de tri automatisé, en nous concentrant sur le rôle de la carte ESP32 dans le contrôle des composants du système. Nous commencerons par expliquer comment le capteur à ultrasons est intégré au tapis roulant et au bras robotique, où l'ESP32 joue un rôle central dans le traitement des données et dans la prise des décisions nécessaires pour coordonner le mouvement des différents éléments. Nous étudierons également les différents angles et mouvements du bras robotique pour garantir la précision et la fluidité des opérations. Cette étude vise à clarifier l'importance de la synchronisation entre les différents composants du système de tri automatisé pour atteindre une performance optimale et efficace.

1.13 Étudier différents angles et mouvements

1.13.1 La base

La base est considérée comme l'une des parties les plus importantes du bras robotique, car elle dirige le bras et détermine son mouvement. Le mouvement de la base est représenté par la rotation du bras autour d'un axe horizontal, ce qui permet de changer la direction du bras et en le dirigeant vers différents endroits.

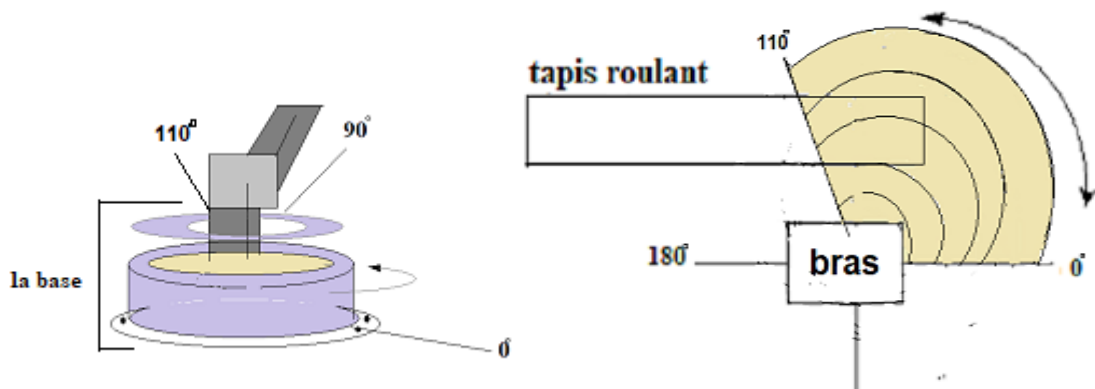


Figure 0.16 : la base et l'amplitude de mouvement de la base

Pour notre bras, nous avons réduit l'amplitude de mouvement de la base et l'avons limitée entre 0 et 110 degrés. L'objectif est d'augmenter la stabilité du bras, ce qui permet d'obtenir des performances plus précises et plus stables pendant le mouvement. La (figure 3.9) montre précisément la plage dans laquelle le bras fonctionne.

1.13.2 Articulation de l'épaule

Le mouvement et l'angle de l'épaule sont un élément essentiel de la structure du bras robotique, jouant un rôle essentiel dans la détermination de la précision et de l'efficacité avec laquelle le bras peut atteindre les points cibles. Notre objectif est de permettre au bras de serrage d'atteindre

l'emplacement souhaité, qui est l'emplacement de l'objet à trier, qui se trouve au niveau du tapis transporteur.

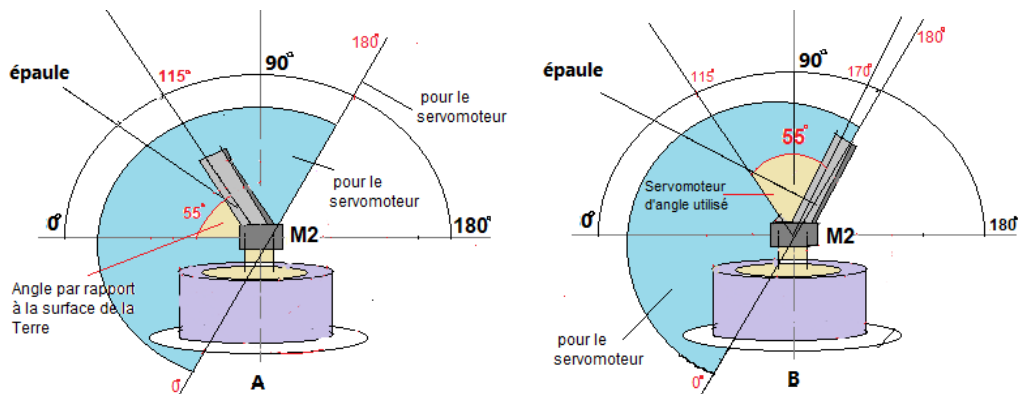


Figure 0.17 : Angles d'épaule lors du déplacement A) vers l'arrière B) vers l'avant

A et B sur la figure 3.10 sont une illustration précise du mouvement et de l'angle de fonctionnement de l'épaule pendant la flexion et l'extension (mouvement vers l'avant et vers l'arrière). Dans le document A, l'état de l'épaule est représenté en position de repos (c'est-à-dire avec le bras plié), où l'angle formé avec la surface du sol est représenté avec précision (cette donnée est représentée en noir). Alors que le demi-cercle bleu indique l'angle total que peut fonctionner le servomoteur utilisé dans ce projet, cette donnée apparaît en rouge et est définie entre 0 et 180 degrés.

Dans le document B, le mouvement de l'épaule est représenté lorsque le bras est étendu, montrant une pente comprise entre 115 et 170 degrés (ces données sont affichées en noir). Cette expansion permet à la pince d'avancer et d'atteindre la position souhaitée, facilitant ainsi les opérations de tri et de contrôle efficaces.[5]

1.13.3 Articulation du coude

Le coude joue un rôle crucial dans la réalisation du mouvement et de diverses fonctions du bras robotique. L'articulation du coude est utilisée pour permettre la déviation et l'extension du bras, permettant ainsi de contrôler la direction et l'angle de flexion du bras. Le rôle principal du coude dépend de la direction du bras et de la réalisation du mouvement requis dans le processus de tri des déchets à recycler, que ce soit lors du levage ou de l'extension pour atteindre les objectifs spécifiés. Nous réglons l'angle occupé par l'articulation du coude dans le bras robotique entre 65° et 80°, ce qui signifie que le mouvement autorisé du bras va de la flexion à 65° et de l'extension à 80°. Cette amplitude de mouvement offre une grande flexibilité pour l'utilisation du bras robotique dans le processus de tri.

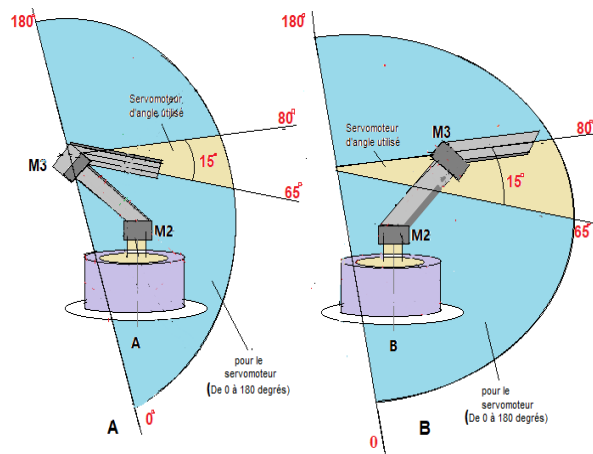


Figure 0.18 : Angles de Coude lors d'un déplacement a) vers l'arrière b) vers l'avant

La figure ci-dessus montre le mouvement du coude dans les deux positions : extension et flexion du bras robotique. Dans le dessin A, le coude est au repos, marqué à un angle de 65 degrés, représenté en rouge. Quant à la figure b, elle montre la position du coude lorsque le bras effectue le processus de capture (extension). Dans ce cas, l'angle du coude est d'environ 15 degrés, ce qui signifie que l'angle d'extension maximum lors de la capture est d'environ 80 degrés, comme le montre la figure b. [6]

1.13.4 La pince

La pince à bras robotique est un élément essentiel du système de tri automatisé, car elle effectue la tâche essentielle de maintien des articles à trier. La pince du bras robotisé permet de maintenir l'article de manière stable pendant le processus de tri et lorsque le bras lui-même est déplacé. L'angle de maintien de la pince du bras robotique est réglé entre 20° et 80°, garantissant une stabilisation efficace des objets pendant le fonctionnement.

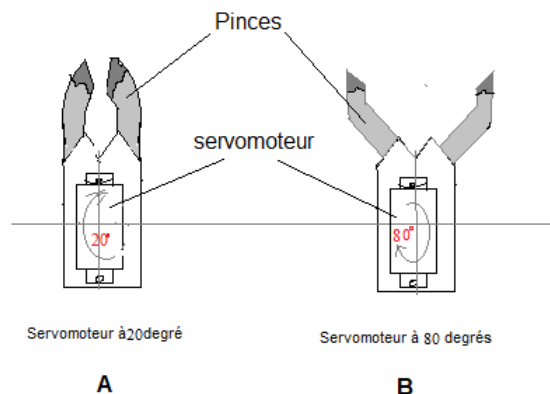


Figure 0.19 : Diagramme schématique du mouvement de la pince.

La figure (2.4) montre le mouvement de la pince dans les deux positions : ouverte et fermée. Sur la figure A, la pince est en position fermée, réglée à un angle de 20 degrés, comme illustré. La figure (B), la position de la pince est indiquée pendant le processus de capture (ouverture). Dans ce cas, l'angle de préhension est d'environ 80 degrés, ce qui signifie que l'angle d'ouverture maximal pendant la préhension est d'environ 80 degrés, comme le montre la figure (B).

1.14 Intégration d'un capteur à ultrasons avec tapis roulant et bras robotisé

Ce processus repose sur l'utilisation d'un capteur précis pour détecter la présence d'objets et mesurer les distances, ce qui permet un contrôle précis du mouvement du tapis roulant et du bras robotique, afin d'améliorer la rapidité et la précision des opérations de tri et de transport et de réduire les erreurs.

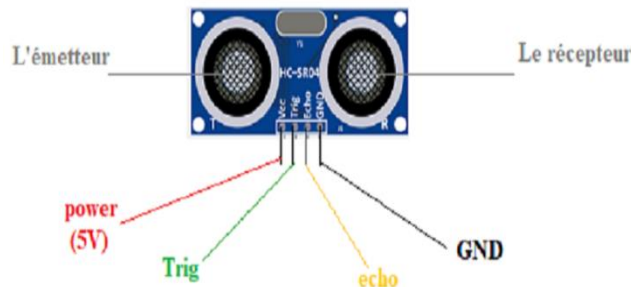


Figure 0.20 : Capteur à ultrasons

Le capteur à ultrasons est l'élément clé de ce processus, car il collecte les données et les envoie à l'unité de traitement pour contrôler à la fois le bras robotique et la bande transporteuse de la manière requise. Le capteur envoie une impulsion audio qui dure environ 10 μ s. Ces ondes se propagent dans l'air et lorsqu'un objet se trouve devant le capteur, ces ondes entrent en collision avec la surface de l'objet et sont réfléchies vers le capteur. L'unité de réception du capteur capte ces signaux réfléchis.

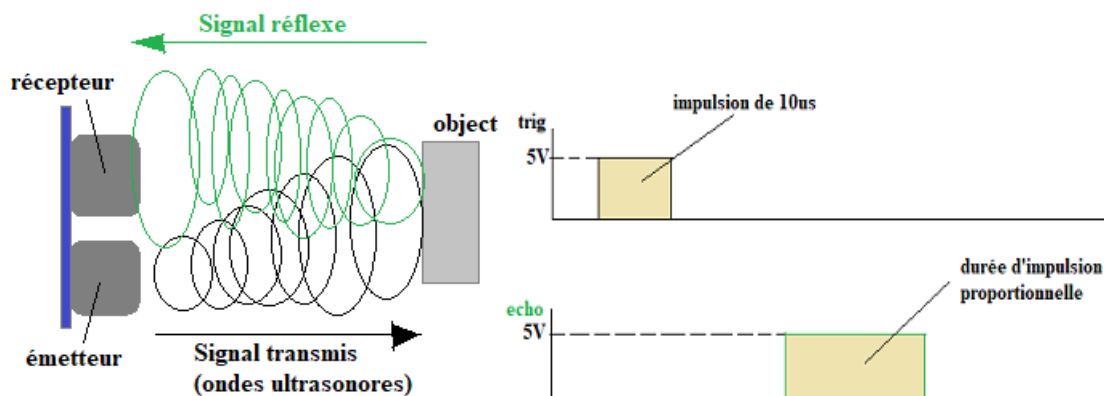


Figure 0.21 : Fonctionnement du capteur à ultrasons et Signaux du capteur à ultrasons

La seule tâche de la bande transporteuse est de déplacer les objets d'une zone à une autre, où se déroule le processus de tri et où le mouvement de la bande transporteuse est contrôlé par un moteur à courant continu (moteur DC). Il fonctionne à une vitesse de rotation spécifique et constante.

Le capteur est stratégiquement placé de sorte que lorsque l'article à trier entre dans la plage de détection du capteur à ultrasons, il envoie un signal au système. Ce signal conduit à :

- 1) Envoyer un signal au tapis roulant pour effectuer la tâche requise, car le tapis roulant peut arrêter ou ralentir son mouvement en fonction des commandes envoyées.

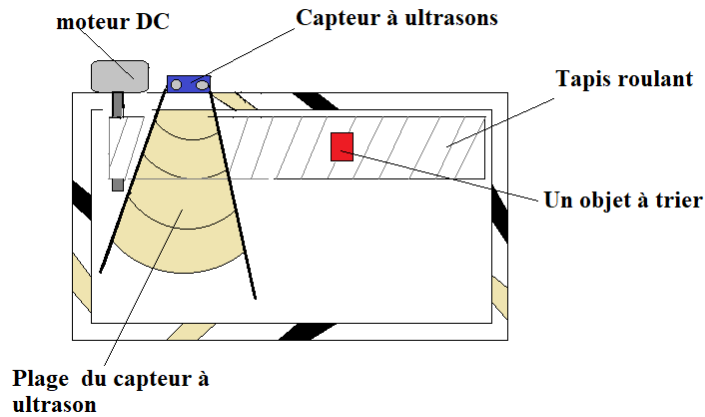


Figure 0.22 : Un diagramme illustratif de la relation entre le capteur et tapis roulant

- 2) Envoyer un signal au bras robotique, qui reçoit ce signal et commence à effectuer des tâches spécifiques, telles que ramasser l'objet, le déplacer et le placer à un endroit spécifique. Le bras robotique est programmé pour répondre aux signaux avec précision et efficacité, car divers actionneurs sont actionnés dans le bras robotique pour exécuter des mouvements complexes et précis.[7]

1.15 Servomoteur :

Les actionneurs du bras robotique jouent un rôle similaire aux muscles du corps humain, car ils génèrent du mouvement pour le bras robotique en déplaçant les liens et les articulations. Les moteurs réalisent divers mouvements en fonction des signaux envoyés par le système de contrôle, ce qui permet d'exécuter diverses fonctions du bras robotique avec précision et fluidité. Parmi les actionneurs couramment utilisés figurent les servomoteurs, en raison de leur capacité et de leur grande précision dans l'exécution des mouvements. Les moteurs pas à pas sont également utilisés, notamment pour les tâches qui nécessitent une grande précision.

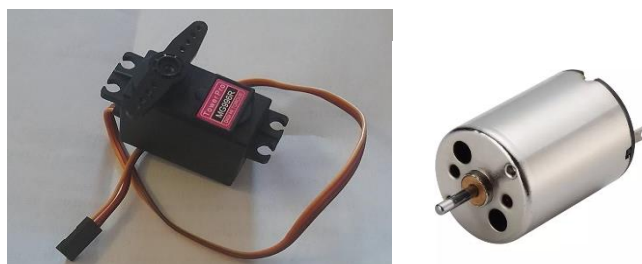


Figure 0.23 : un servomoteur et un moteur DC

Les servomoteurs sont des appareils complexes. Il s'agit d'un appareil électromécanique qui effectue des mouvements mécaniques basés sur certains signaux électriques. L'angle et la vitesse de rotation sont contrôlés par certaines impulsions électriques. Dans le cas de notre bras de projet, il comprend quatre moteurs, et chaque moteur est contrôlé par des impulsions électriques spécifiques.

Par exemple, pour faire pivoter la base d'un certain angle, on envoie une impulsion électrique proportionnelle à cet angle à atteindre, c'est-à-dire 90 degrés dans ce cas.

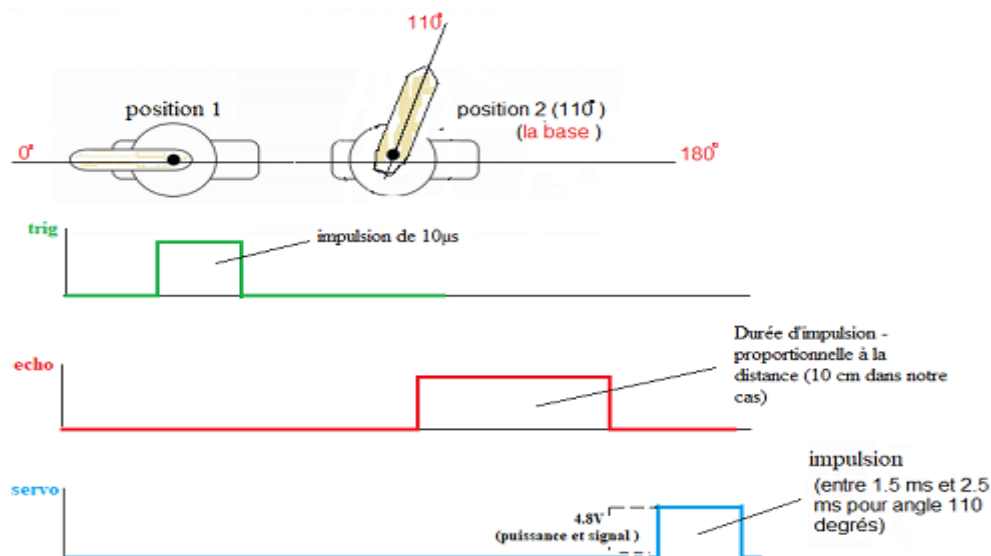


Figure 0.24 : Un schéma montrant le fonctionnement d'un servomoteur

Un signal électrique est envoyé au servomoteur sous la forme d'un signal PWM. Ce signal envoyé est analysé pour déterminer la quantité de mouvement du bras requise. Ensuite, le moteur électrique situé au niveau du moteur servomoteur le couple nécessaire à cet effet. Le capteur détermine également en permanence la position et envoie des données à l'unité de commande (En savoir plus voir [30]).

1.16 Synchronisation entre bras et tapis roulant

La synchronisation entre le bras robotique et le tapis convoyeur dans un système de tri automatisé est essentielle pour améliorer l'efficacité et la précision du processus. Cette synchronisation repose sur des techniques de contrôle avancées, qui permettent au système de s'adapter aux changements environnementaux et d'atteindre des performances constantes. Des systèmes de capteurs avancés sont utilisés pour surveiller avec précision le mouvement des composants et les orienter correctement, réduisant ainsi les erreurs et augmentant la productivité du système.

1.17 Programmation et contrôle du système

1.17.1 Description de l'unité de traitement (ESP32)

Il s'agit d'une unité de développement compacte contenant un processeur *dual-core* avec une fréquence allant jusqu'à 240 MHz. Elle a été développée par *Espressif Systems*. Cette unité est utilisée dans une large gamme d'applications, en raison de sa grande capacité à traiter les données plus efficacement et son développement. Il prend en charge la connexion aux réseaux sans fil (Wi-Fi, Bluetooth) et sa faible consommation électrique [29].

➤ Brochage de la carte ESP32 :

La carte ESP32 contient 30 broches externes. La figure suivante montre tous les ports d'entrée/sortie de la carte.

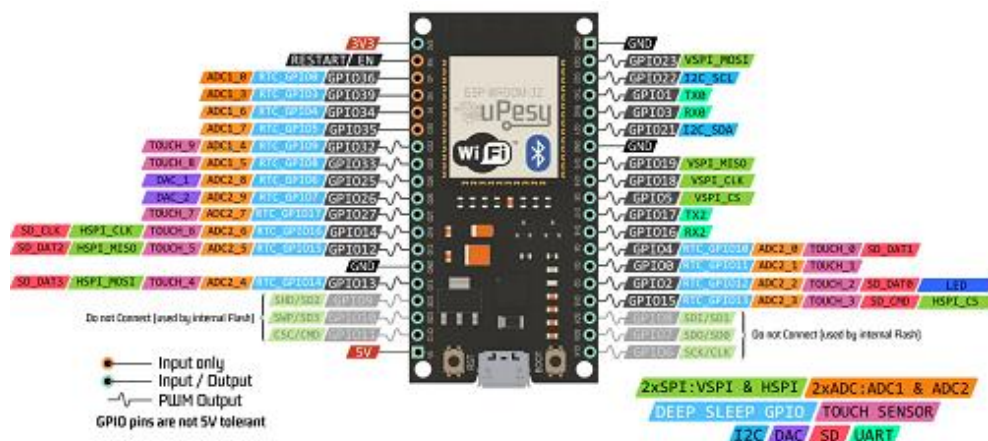


Figure 0.25 : Brochage de la carte d'ESP32

➤ Programmation de la carte ESP32

La carte ESP32 est programmée à l'aide de l'IDE d'Arduino, une interface de programmation développée par l'équipe arduino.cc dans le but de faciliter l'interaction avec divers appareils utilisant des cartes Arduino ou ESP32. Le code est écrit en langage C++, et ce programme convertit le code dans un langage que le processeur peut comprendre, qui est le langage binaire (0et1).

➤ Initialisation des bibliothèques de la carte ESP32

En initialisant les bibliothèques de cartes ESP32, la bibliothèque spéciale qui comprend tous les types de cartes ESP32 est initialement chargée. Après cela, allez dans le menu « Outils », où « Card Manager » est sélectionné pour accéder à une autre fenêtre. "esp32" est tapé, suivi d'appuyer sur "Installer". Après avoir suivi ces étapes, la carte appropriée est sélectionnée pour le projet, avec le type par défaut "ESP32 DEV MODULE" suggéré.

1.17.2 Opérations de contrôle dans le système de tri automatisé

La carte ESP32 joue un rôle essentiel dans les systèmes de tri automatisés grâce à ses capacités avancées de traitement et de contrôle des données. Cette carte est utilisée comme unité de contrôle centrale qui gère toutes les opérations au sein du système. Ces opérations comprennent le contrôle de divers composants du système tels que la bande transporteuse, les capteurs et le bras robotique.

➤ Contrôle du tapis roulant :

La carte ESP32 joue un rôle essentiel dans le système de tri automatisé, car elle reçoit les données du capteur à ultrasons et les traite pour prendre les décisions appropriées. Grâce à la technologie PWM, la carte contrôle avec précision la vitesse de la bande transporteuse et émet des instructions pour modifier sa vitesse en fonction des sorties du capteur. Par exemple, lorsqu'un objet particulier est détecté dans la portée du capteur, le système peut mettre le tapis en pause pour

permettre au bras robotique de le récupérer. De cette manière, l'ESP32 garantit une efficacité et une précision élevées dans les opérations de tri.

➤ **Contrôle du bras robotique :**

L'ESP32 est programmé pour que le bras robotique effectue des tâches spécifiques, telles que ramasser des objets sur un tapis roulant et les déplacer vers des emplacements spécifiques. Cette programmation dépend des signaux que le bras reçoit de la carte ESP32 via le capteur à ultrasons, qui déterminent le timing et le mouvement requis pour chaque opération. Grâce à la capacité de l'ESP32 à traiter les données en temps réel, le bras robotique peut réagir rapidement aux changements dans l'environnement du système et garantir une grande précision dans l'exécution des tâches.

1.18 Conclusion

Dans ce chapitre, nous étudions le système de tri robotisé en examinant ses principaux composants tels que le bras robotique et le tapis roulant. Nous avons appris comment ces pièces fonctionnent ensemble, le bras robotique et le tapis roulant jouant un rôle essentiel dans le processus de tri. Nous avons également examiné le rôle de la carte ESP32 dans le contrôle précis de divers aspects du système, depuis la réception des données des capteurs et leur traitement jusqu'à l'envoi de signaux aux différentes parties pour assurer la synchronisation et l'harmonie des performances. Grâce à cette étude, il est devenu clair comment un système de tri automatisé peut atteindre une efficacité et une précision élevées dans les opérations grâce à l'intégration entre ses différents composants.

Chapitre III

Réalisation du système de tri robotisé

Chapitre III : Réalisation du système de tri robotisé

1.19 Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons en détail la programmation et le fonctionnement de notre système de tri robotisé, basé sur la carte ESP32. Cette carte a été choisie pour sa rapidité de traitement des données et sa capacité à gérer diverses tâches, tout en coordonnant efficacement les différents composants du système, notamment le bras robotisé, les capteurs et le tapis roulant. Nous présenterons l'architecture du système, suivie d'une étude appliquée de la carte ESP32 et de son rôle central dans le fonctionnement du système. Ensuite, nous examinerons les exemples pratiques de l'application, y compris le contrôle du bras robotique et du tapis roulant, et conclurons par une discussion sur les modes de fonctionnement et les aspects de programmation spécifiques du système.

1.20 Programmation et fonctionnement du système de tri robotisé

Notre système est basé sur une unité de traitement basée sur une carte ESP32. Nous avons choisi cette carte en raison de sa rapidité de traitement des données et de sa puissance à réaliser diverses tâches avec les différents composants du système, en plus de sa capacité de coordination entre le bras, le capteur et le tapis roulant. Le schéma suivant explique cela

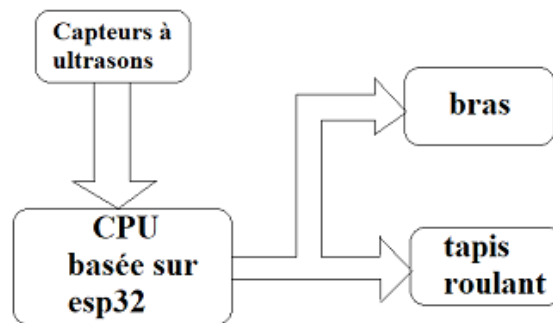


Figure 0.26 : Schéma bloc du système de tri robotisé réalisé.

1.20.1 Étude appliquée utilisant la carte ESP32

La carte ESP32 dispose de 30 broches externes utilisées comme ports d'E/S. Dans notre projet, nous avons utilisé des ports (G12, G13, G14, G25, G26, G27) ainsi que des ports GND et Vcc.

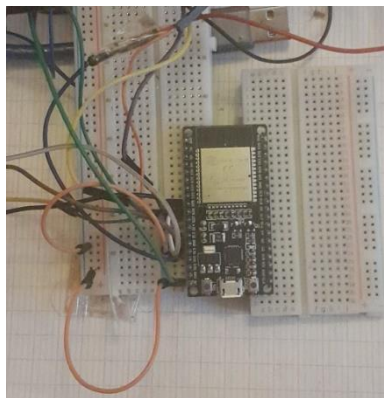


Figure 0.27 : Connexion des broches ESP32 pour le capteur à ultrason

Les broches G25 et G26 sont utilisées pour connecter le capteur à ultrasons à la carte ESP32. Nous avons donc défini le port G25 comme port d'entrée pour le signal Echo provenant du capteur vers la carte ESP32. Ce signal exprime le temps nécessaire au retour de l'impulsion sonore après avoir rebondi sur l'objet correspondant. Quant au port G26, il a été défini comme le port de sortie du signal Trig envoyé de la carte ESP32 vers le capteur. Ce signal est utilisé pour activer le capteur et émettre des ondes ultrasonores.

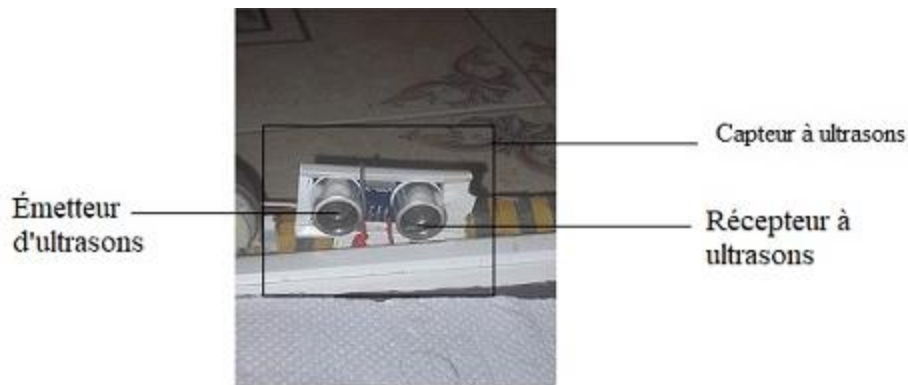


Figure 0.28 : capteur à ultrasons

➤ Exemple de test de l'ensemble ESP32-Capteur US-Servomoteur

Nous avons mis en œuvre une expérience simple pour faire fonctionner un servomoteur lorsqu'un objet est détecté à l'aide d'un capteur à ultrasons, à l'aide d'un module ESP32. Le capteur à ultrasons était utilisé pour mesurer la distance jusqu'à l'objet détecté, et lorsque la distance était inférieure à une certaine valeur, par exemple inférieure à 30 cm, le servomoteur était déplacé à titre d'illustration simple. Le module ESP32 est programmé à l'aide de l'Arduino IDE pour lire les signaux du capteur à ultrasons et contrôler automatiquement le servomoteur.

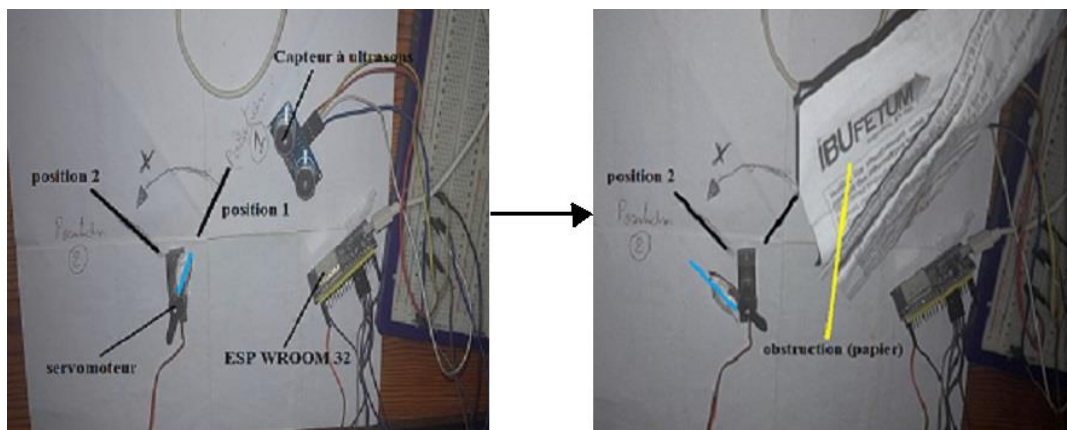


Figure 0.29 : photos exemples des tests.

1.20.2 Schéma électrique

Nous avons utilisé la plateforme *Wokwi* pour créer le schéma électrique de l'ensemble du système de contrôle.

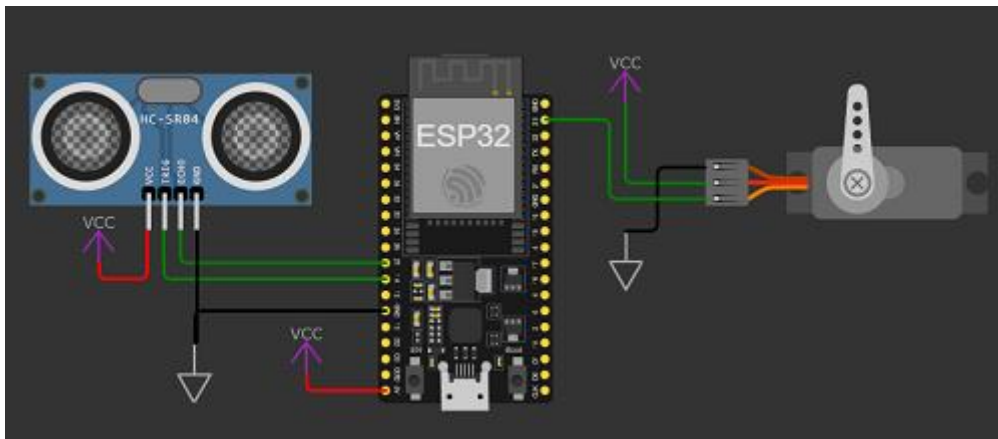


Figure 0.30 : schéma de câblage électrique

1.20.3 Fonctionnement du bras robotique : un exemple appliqué

Dans cette expérience, nous avons simulé le mouvement du bras robotique et étudié la rotation de chacun de ses éléments. Le rôle fonctionnel de chaque servomoteur est expliqué à travers un document complet contenant le degré de rotation, le mouvement de chaque moteur et son emplacement précis dans le bras. Le modèle comprend quatre servomoteurs, chacun étant placé dans une partie spécifique du bras pour réaliser le mouvement souhaité.

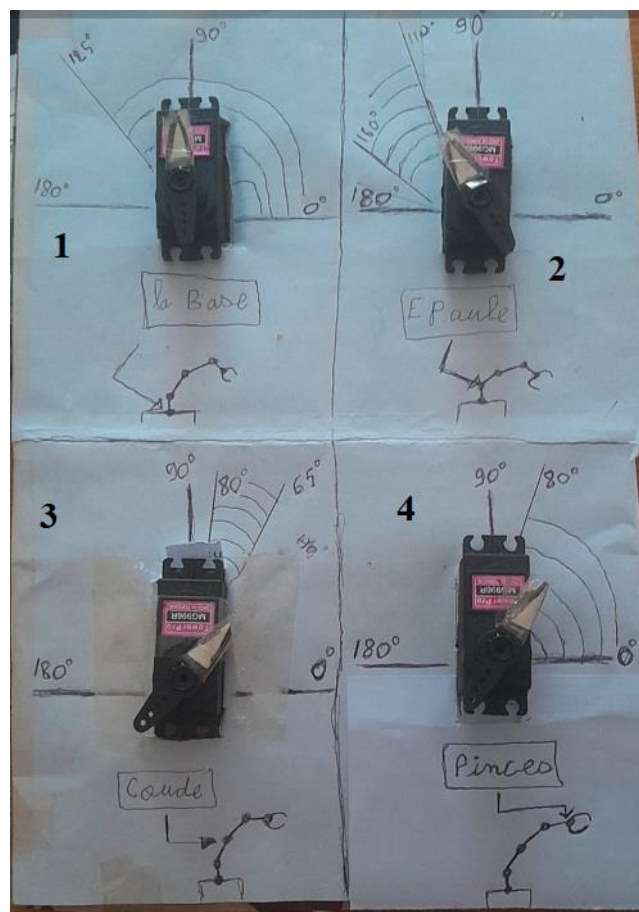


Figure 0.31 : Fonctionnement des servomoteurs dans le bras robotique

• Le premier moteur (base du bras) :

Le moteur principal est situé à la base du bras et est considéré comme le principal responsable de diriger l'ensemble de la structure du bras vers la destination souhaitée. Ce moteur est programmé pour permettre un mouvement circulaire entre 0° et 125° . Ce mouvement circulaire permet au bras de tourner de manière flexible et efficace, améliorant ainsi sa capacité à atteindre diverses directions et emplacements de manière fluide et précise. Le moteur était donc connecté au port n°G12 de la carte ESP32.

• Deuxième moteur (épaule) :

Le deuxième moteur déplace l'épaule du bras, permettant au bras d'avancer et de reculer. Ce mouvement est nécessaire pour élargir l'amplitude de mouvement du bras et lui permettre d'atteindre efficacement des points spécifiques. L'angle de mouvement de ce moteur varie entre 110 degrés et 160 degrés, ce qui donne au bras suffisamment de flexibilité pour gérer diverses tâches requises. La broche de signal du servomoteur était connectée au port n° G13 du port sur la broche ESP32.

• Le troisième moteur (coude) :

Le troisième moteur est dédié au déplacement du coude, et c'est une pièce essentielle qui contribue à monter et descendre la pince. En déplaçant le coude en coordination avec l'épaule, le bras peut effectuer des mouvements verticaux qui permettent d'atteindre des positions plus hautes ou plus basses. L'angle de mouvement de ce moteur est réglé entre 65° et 80° , assurant le parfait équilibre entre flexibilité et stabilité lors des opérations de tri. Le port de signal du servomoteur était connecté à la broche G14 de la carte ESP32.

• Quatrième moteur (pince) :

Le quatrième moteur est le moteur qui contrôle l'embrayage et est responsable du processus d'ouverture et de fermeture. Ce moteur se déplace entre 20 degrés et 80 degrés, permettant à la pince d'ouvrir et de fermer les mâchoires selon un angle suffisant pour saisir les différents matériaux à trier. Ce mouvement garantit que le bras est capable de saisir les objets avec précision et stabilité. Le port de signal de ce servomoteur est connecté à la broche G27 de la carte ESP32.

Chacun de ces moteurs joue un rôle essentiel dans l'exécution des différentes tâches du bras robotique. Le mouvement simultané et précis de chacun des quatre moteurs permet au bras d'effectuer une variété de mouvements complexes, ce qui en fait un outil efficace et puissant pour diverses applications, notamment dans les opérations de tri, qui font l'objet de nos recherches. Grâce à une programmation précise et à un contrôle cohérent de ces moteurs, le bras peut effectuer plusieurs tâches avec une grande précision et efficacité.

1.20.4 Fonctionnement et contrôle de convoyeur avec ESP32 et capteur ultrasonore

Dans cette expérience, nous avons étudié et mis en œuvre un système de contrôle de vitesse de bande transporteuse utilisant une carte ESP32 et un capteur à ultrasons. Le circuit a été conçu et

Chapitre III : Réalisation du système de tri robotisé

préparé à l'aide de ces deux appareils, et programmé à l'aide de l'IDE Arduino pour contrôler la vitesse de la bande transporteuse en fonction des lectures des capteurs.

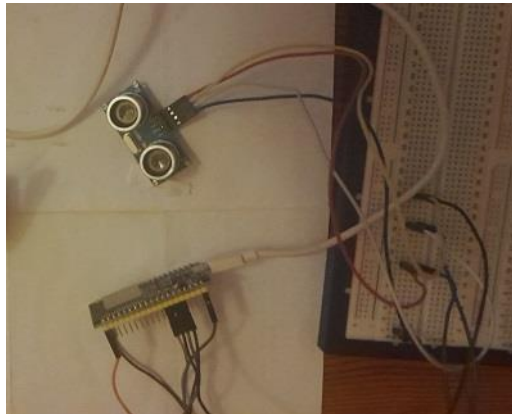


Figure 0.32 : Fonctionnement et contrôle de convoyeur avec ESP32 et capteur ultrasonore

L'objectif principal de l'expérience est de contrôler la vitesse de déplacement de la bande transporteuse en fonction de la distance entre l'objet détecté et le capteur à ultrasons. Ceci est fait pour déterminer et tester la cohérence du tapis convoyeur avec le capteur.



Figure 0.33 : le moteur DC du tapis roulant

Après cela, des tests et une optimisation des performances du système ont été effectués, où la vitesse et la réponse ont été surveillées lors de la modification de la distance entre le capteur et l'objet détecté. Au final, nous avons obtenu des résultats qui montrent l'efficacité du système à contrôler la vitesse de la bande transporteuse avec précision et efficacité.

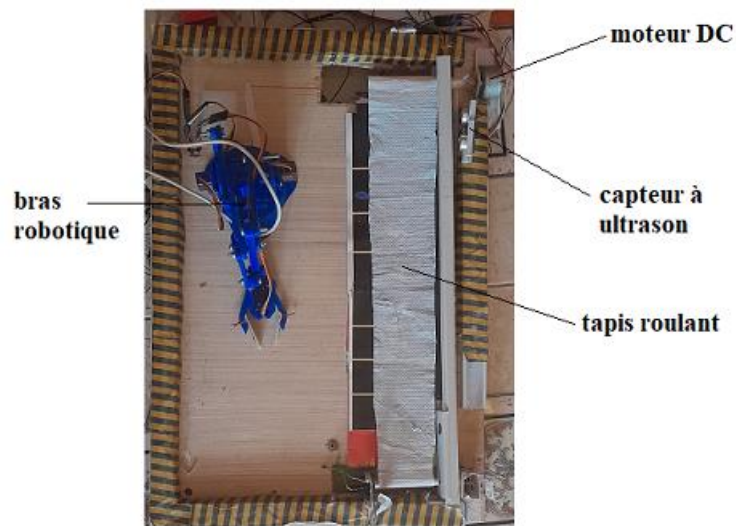


Figure 0.34 : Produit final du système de tri robotisé utilisant ESP32 et capteur ultrasonore

Nous avons effectué une simulation en utilisant le site Web **Wokwi**, qui fournit une interface interactive pour simuler des circuits électroniques. Dans cette simulation, nous avons créé un circuit électronique qui intègre les éléments mentionnés précédemment, mais nous avons remplacé le moteur DC par une LED.

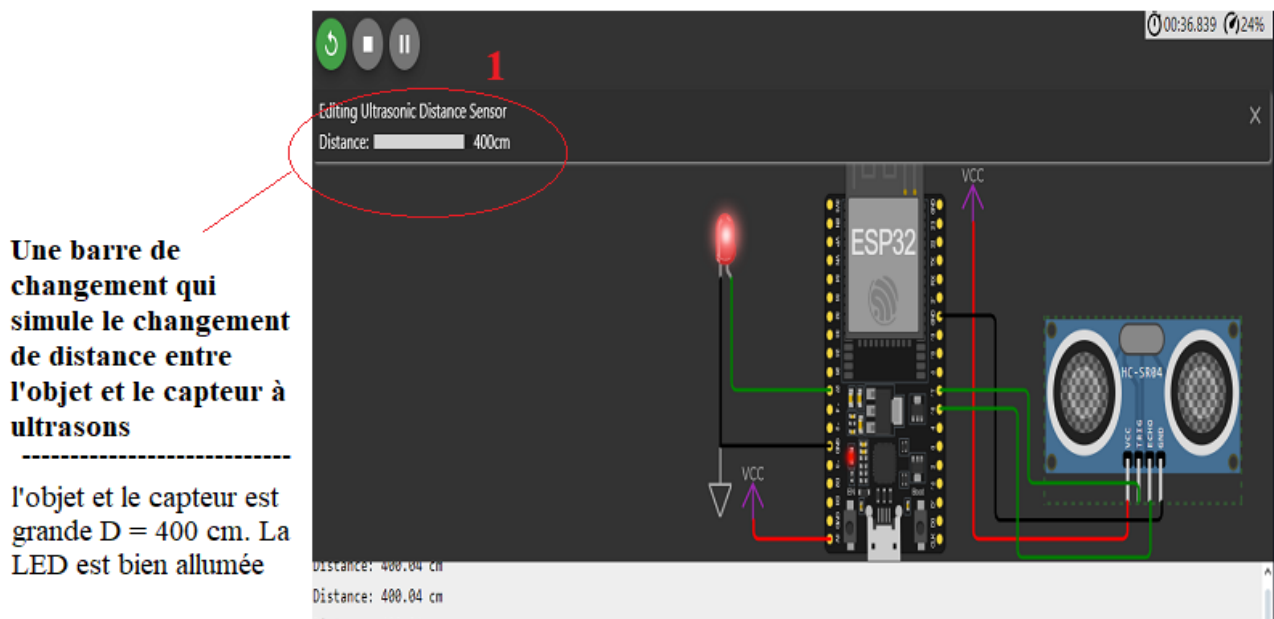


Figure 0.35 : Démonstration de la luminosité de la LED en fonction de la distance de l'objet

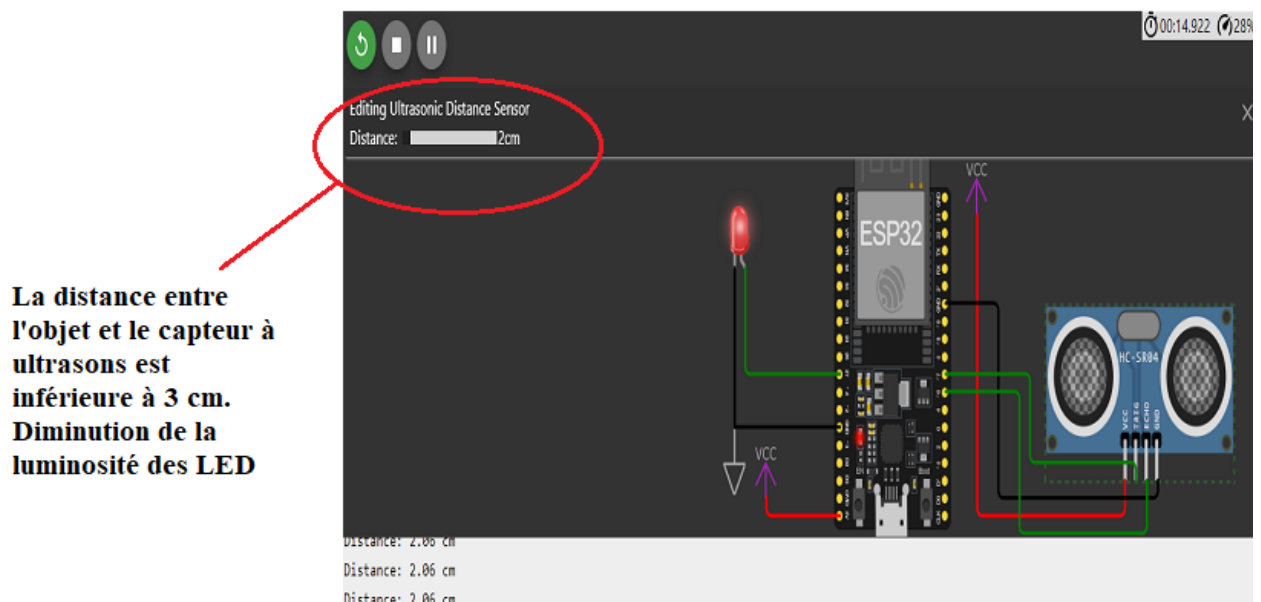


Figure 0.36 : Démonstration de la luminosité de la LED en fonction de la distance de l'objet

La luminosité de la lampe diminue avec la diminution de la distance entre l'objet et le capteur, et ceci uniquement pour clarifier le travail de la bande mobile du système de tri automatique, de sorte que lorsque le capteur détermine la présence d'un objet, il envoie un signal au tapis transporteur, qui effectue une action spécifique en fonction des commandes qui lui sont envoyées par l'unité de traitement. Le chiffre (1) en rouge sur le dessin représente la mesure du changement de distance entre l'objet et le capteur. Nous remarquons une diminution de la luminosité de la lampe à chaque fois que la distance diminue, et l'intensité de la luminosité de la LED représente dans notre système une augmentation de la vitesse du moteur dont la valeur maximale est déterminée à l'avance, et lorsque la distance diminue, la luminosité de la LED diminue, ce qui représente une diminution de la vitesse du tapis convoyeur dans le système de tri spécial. Chez nous, c'est ce qu'il faut.

1.21 Fonctionnement d'un afficheur LCD 2X16

Dans notre projet, nous avons utilisé un afficheur pour afficher les données du système, telles que chaque moteur testé et également pour afficher chaque mode du système.

Lorsque le système est allumé, tous les moteurs du bras robotique sont initialement testés avant que le système ne fonctionne normalement. Dans ce cas, le moteur testé est affiché à l'écran.

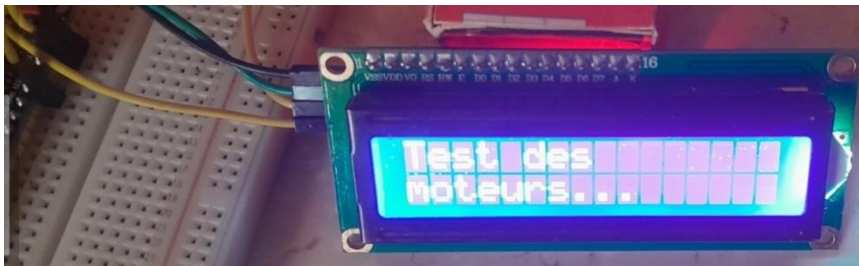


Figure 0.37 : fonctionnement de l'afficheur LCD 2X16.

1.22 Modes de fonctionnement du système de tri automatisé

1.22.1 Mode automatique

Dans ce mode, toutes les tâches sont automatiques. Ainsi, une fois le système activé, tous les moteurs sont automatiquement testés.

Une fois tous les moteurs testés, le bras robotique attend un signal du capteur. Ainsi, si le tapis roulant amène un objet, le capteur à ultrasons envoie un signal au bras pour que celui-ci trie l'objet.

1.22.2 Mode manuel (mode maintenance)

Nous avons ajouté le mode manuel à notre projet, notamment pour la partie du bras robotique, comme une autre option pour contrôler et tester les moteurs dans des situations telles que la maintenance ou l'installation. Par mode manuel, nous entendons le contrôle du bras à distance, comme depuis une salle de contrôle via le réseau Wi-Fi.

Nous avons également séparé le mode automatique du mode manuel en utilisant un bouton-poussoir comme solution simple pour basculer entre les deux modes, car il bascule entre eux à chaque pression sur le bouton.

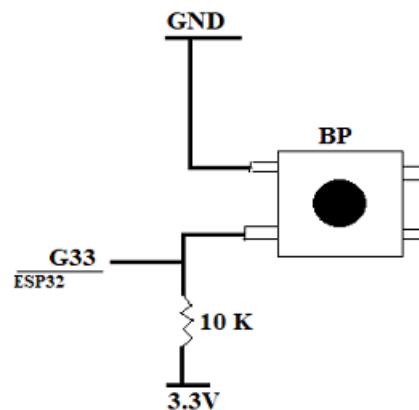
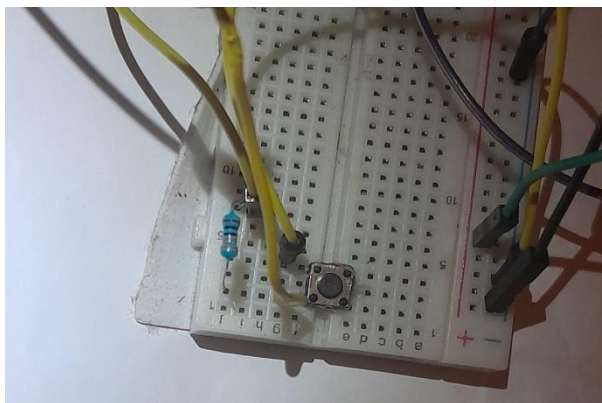


Figure 0.38 : connexion et schéma électrique du bouton poussoir.

1.23 Partie programmation

1.23.1 Programmation de la carte ESP 32

La carte ESP 32 est programmée à l'aide de l'IDE Arduino, un programme simple et gratuit développé par l'équipe arduino.cc pour faciliter l'interaction avec divers appareils utilisant des cartes Arduino ou ESP32. Cet environnement intégré vous permet d'écrire du code en C++, de le compiler et de le télécharger facilement sur la carte. L'IDE Arduino possède une interface facile à utiliser et comprend un éditeur de texte pour modifier le code ainsi que des outils pour vous aider à détecter les erreurs. De plus, le programme inclut des bibliothèques prêtes à l'emploi pour faciliter le travail avec

divers composants électroniques et convertit le code dans un langage compréhensible par le processeur, qui est le langage binaire (0 et 1).

1.23.1.1 L'organigramme du programme développé pour l'ESP32 :

Nous avons divisé l'organigramme principal du programme en plusieurs organigrammes. Il s'agit simplement de clarifier plus précisément le travail du programme. L'organigramme du programme principal est donné par la **figure 3.14**.

➤ Organigramme du bras robotique lors du ramassage de l'objet (figure 3.15)

Lorsque le capteur détecte la présence d'un objet, il envoie un signal à l'armure automatique pour effectuer le processus de capture de l'objet détecté.

➤ Organigramme du bras robotique lors du placement d'un objet (figure 3.16)

Une fois le processus de sélection des objets effectué comme indiqué dans l'organigramme précédent, le processus de placement et de tri des objets est effectué dans cet organigramme. Les mouvements entre les servomoteurs du bras robotique sont coordonnés pour effectuer l'opération avec précision.

➤ Organigramme du fonctionnement du tapis roulant (figure 3.17)

Dans ce schéma organisationnel, les mouvements du tapis convoyeur sont effectués. Lorsque l'objet est identifié par le capteur, un signal est envoyé au tapis transporteur pour qu'il s'arrête pendant une certaine période tant que l'objet est à portée du capteur. Si le temps s'est écoulé et qu'il n'y a aucun objet dans la portée du capteur, le tapis bougera à nouveau.

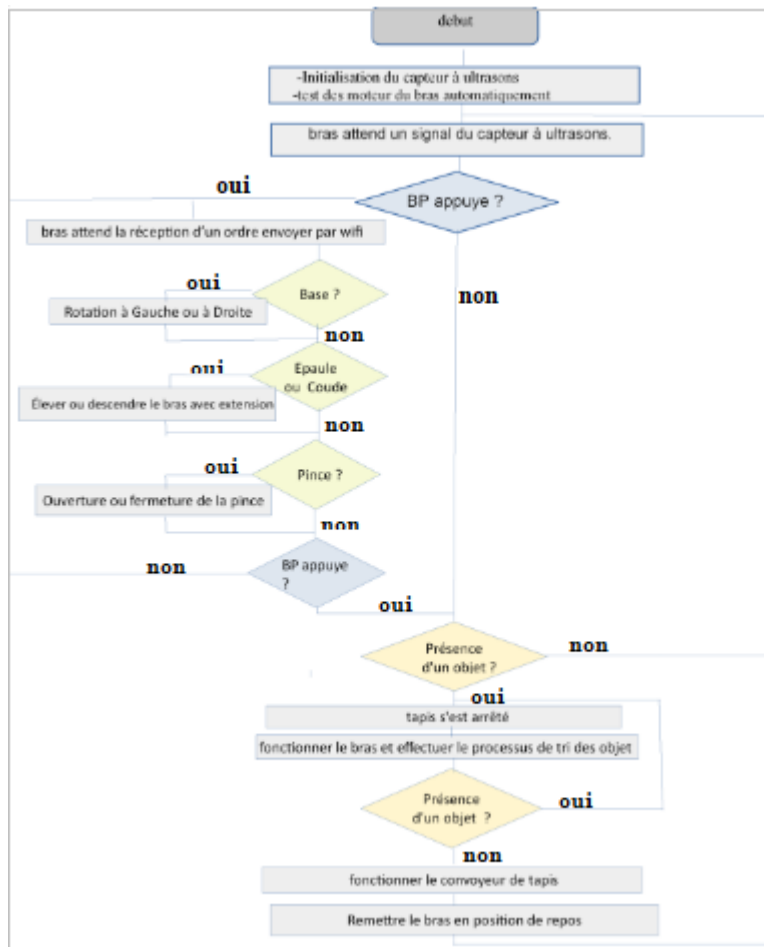


Figure 0.39 : l'organigramme du programme principal.

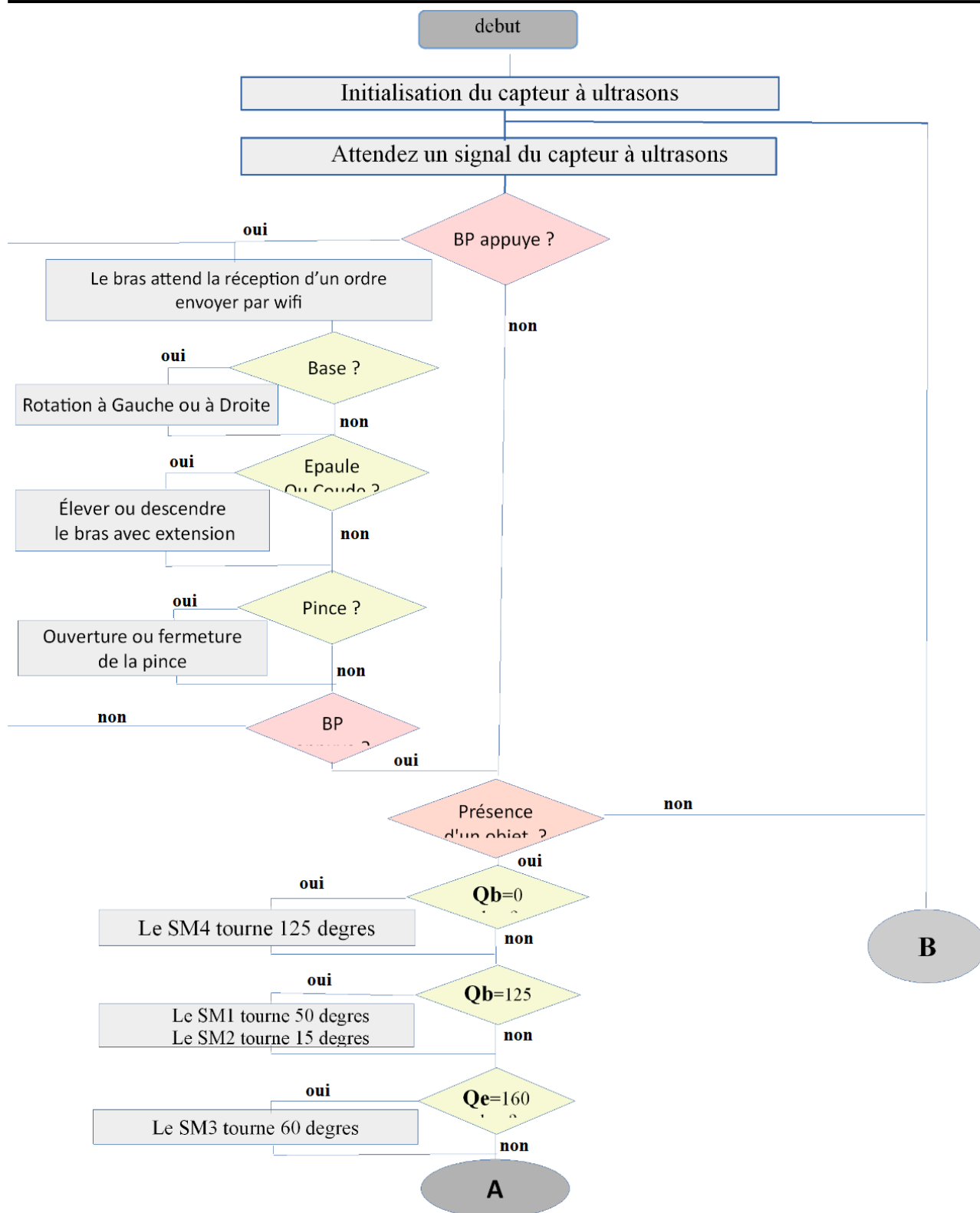


Figure 0.40 : organigramme du bras robotique lors du ramassage de l'objet

avec :

Qb ⇒ Angle de base

Qe ⇒ Angle d'épaule

SM1 ⇒ servomoteur 1

SM2 ⇒ servomoteur 2

SM3⇒ servomoteur 3

SM4⇒ servomoteur 4

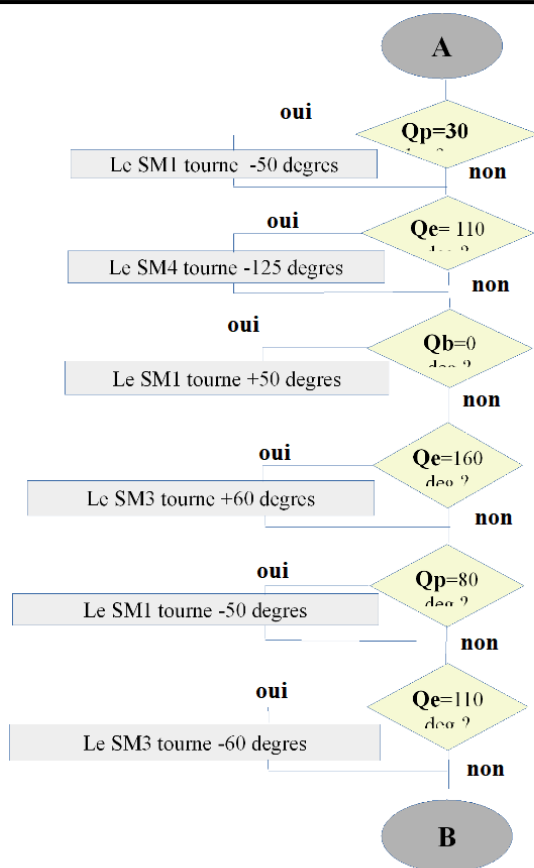


Figure 0.41 : Organigramme du bras robotique lors du placement d'un objet

avec :

QP ⇒ Le degré d'ouverture et de fermeture de pince

Qe ⇒ Angle d'épaule

Qb ⇒ Angle de base

SM1 ⇒ servomoteur 1

SM2 ⇒ servomoteur 2

SM3 ⇒ servomoteur 3

SM4 ⇒ servomoteur 4

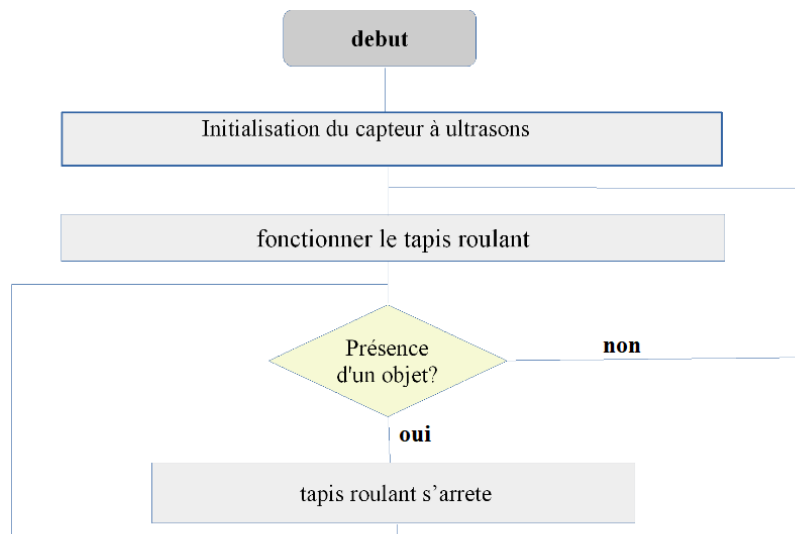


Figure 0.42 : Organigramme du fonctionnement du tapis roulant

1.24 Scénarios de fonctionnement

Nous avons mis en œuvre trois scénarios différents, chacun représentant une situation spécifique :

➤ **Scénario 1** : (test des moteurs servo dans le bras robotique)

Dans ce scénario, nous mènerons une expérience pour tester les performances des servomoteurs dans les armures robotiques, en les déplaçant selon des angles spécifiques. Ce test vise à examiner la capacité des moteurs à contrôler le mouvement du bouclier avec précision et douceur, et à déterminer l'étendue de leur réponse aux signaux et commandes envoyés par l'unité de contrôle. Les résultats de cette expérience fourniront des données vitales qui contribueront à améliorer la conception et les performances du système automatisé du processus de tri.

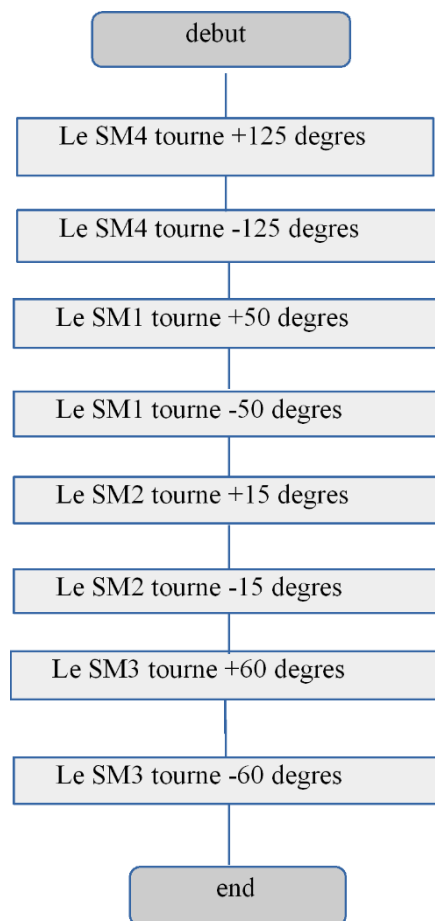


Figure 0.43 : l'initialisation du bras robotisé (scénario 1)

➤ Scénario 2: (Tri en mettant en pause le mouvement du tapis roulant)

Dans notre système, un capteur à ultrasons est utilisé qui génère des ondes ultrasonores pour déterminer la présence ou l'absence de divers composants (déchets) sur le tapis convoyeur. Le processus commence par le placement des différents composants (déchets) sur le tapis transporteur, où le capteur envoie en continu des ondes ultrasonores. Lorsqu'un article est détecté, le capteur envoie un signal au convoyeur pour le mettre en pause. Le convoyeur s'arrête à un point précis qui permet au bras robotique de récupérer le composant (déchet) à trier.

Le bras robotique commence à tourner vers le point précis où se trouve l'objet (déchet). Le bras soulève le composant et le déplace avec précaution vers l'emplacement désigné. Une fois le processus de transport terminé, le bras robotique revient à sa position d'origine et le tapis convoyeur reprend son mouvement pour transporter les composants suivants.

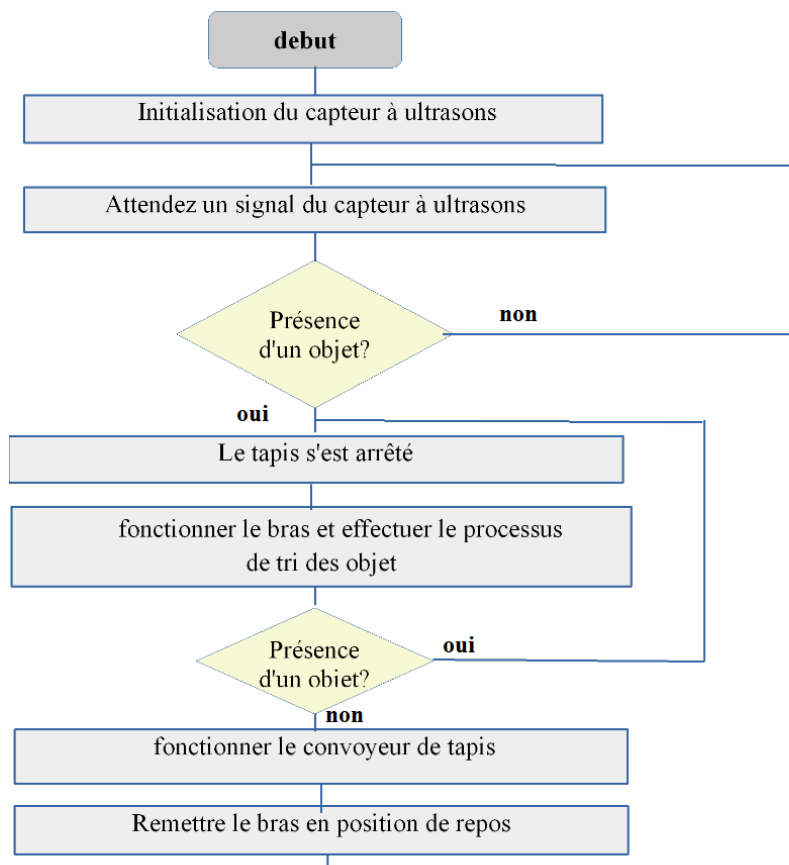


Figure 0.44 : fonctionnement normal (scénario 2).

➤ Scénario 3 :(Tri en ralentissant temporairement le mouvement du tapis roulant)

Chapitre III : Réalisation du système de tri robotisé

Dans ce scénario, nous nous concentrerons sur le ralentissement temporaire du mouvement du tapis convoyeur au lieu de l'arrêter complètement, dans le but de rendre le processus de tri plus rapide, plus flexible et plus fluide.

Dans ce scénario, la technologie consistant à ralentir temporairement le mouvement de la bande transporteuse est appliquée pour trier les déchets de manière plus efficace. Le processus commence par le déplacement d'objets (déchets) sur le tapis roulant à une vitesse constante. Le système est équipé d'un capteur à ultrasons qui génère en permanence des ondes ultrasonores pour déterminer la présence d'articles sur la bande transporteuse. Lorsqu'un article est détecté, le capteur envoie un signal au système de commande du tapis roulant pour réduire temporairement sa vitesse.

Le mouvement de la bande transporteuse ralentit progressivement, laissant au bras robotique suffisamment de temps pour atteindre et ramasser le composant (déchet). Le bras robotique tourne vers l'objet détecté avec un angle de rotation supérieur à l'angle qu'il aurait eu lorsque le tapis était complètement arrêté (premier scénario), ce qui garantit que le bras atteint l'objet avec précision. Le bras récupère les déchets et les transporte soigneusement jusqu'à l'endroit désigné.

Une fois le transfert terminé, le bras robotique revient à sa position d'origine en vue de récupérer l'élément suivant. Dans le même temps, la bande transporteuse reprend sa vitesse d'origine, garantissant ainsi que les objets continuent de circuler de manière fluide et efficace le long de la chaîne de production.

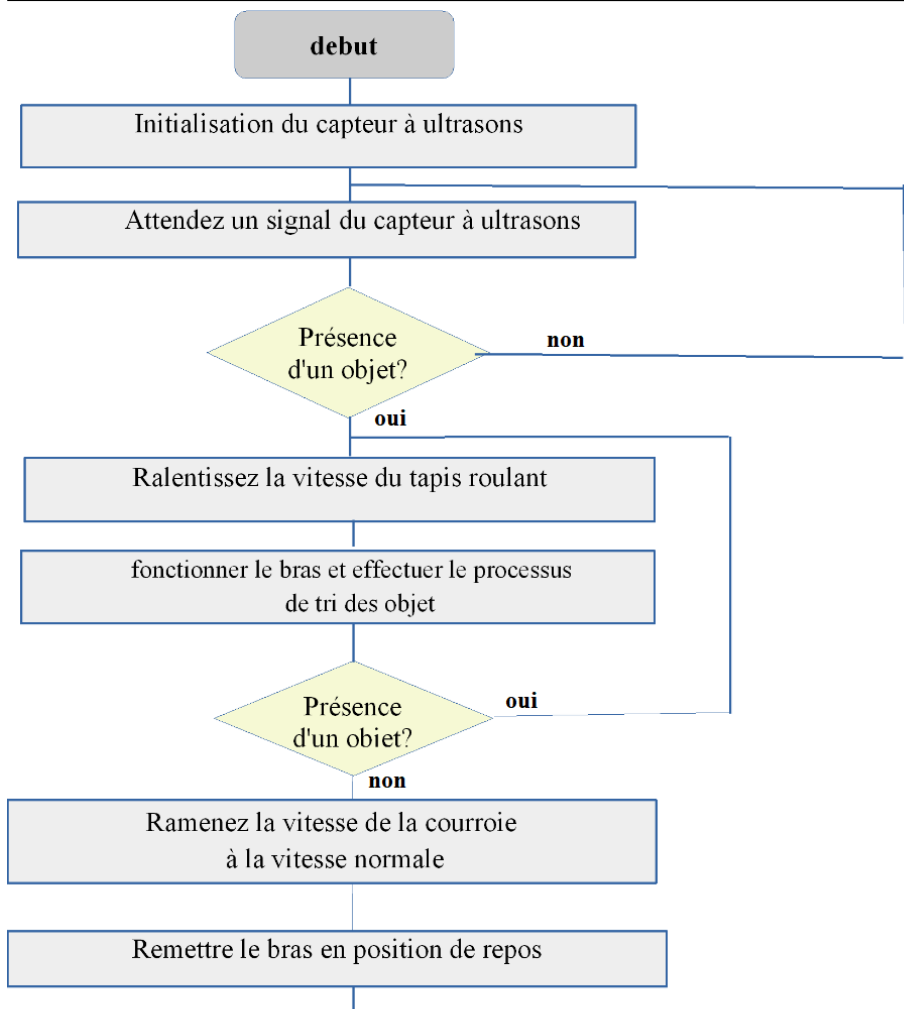


Figure 0.45 : mode ralenti (scénario 3).

1.25 Les défis

Nous avons rencontré de nombreux défis liés à la stabilité du système, en particulier en ce qui concerne la compatibilité entre le bras mécanique et le capteur ultrasonique. Souvent, il y avait des mouvements indésirables et aléatoires, ainsi que des oscillations continues dans le mouvement de manière excessive.

Lors de la programmation de la carte ESP32, nous avons rencontré plusieurs problèmes liés à la reconnaissance de la carte ESP32 par l'ordinateur, ainsi qu'un problème de "delay" dans le

programme chargé sur la carte. Cela a conduit à une instabilité dans la communication entre l'ESP32 et l'ordinateur.

Dans la phase de création du tapis roulant, tous les défis auxquels nous avons été confrontés étaient liés à la vitesse du moteur, qui était la cause de l'incapacité du capteur ultrasonique à détecter les éléments en raison de la grande vitesse du tapis roulant.

1.26 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons créé un système de tri robotisé qui utilise une carte ESP32, pour contrôler précisément les servomoteurs du bras robotique. L'ESP32 est programmé à l'aide de l'Arduino IDE, permettant la création de codes logiciels sophistiqués permettant une interaction fluide et précise avec les moteurs. Grâce à des expériences pratiques, nous avons analysé et testé différentes fonctionnalités du système, telles que le déplacement précis des servomoteurs pour exécuter des mouvements spécifiques du bras robotique et le contrôle du tapis roulant en fonction des données reçues des capteurs à ultrasons.

Nous avons également profité d'outils de simulation tels que Wokwi, une plateforme qui fournit une interface interactive pour simuler des circuits électroniques. Nous avons utilisé ces outils pour concevoir et tester divers circuits électroniques connectés au système.

Conclusion générale

Au cours de cette thèse, nous avons exploré la complexité et la mise en œuvre d'un système de tri automatique en utilisant le microcontrôleur ESP32. Notre étude a débuté par un aperçu des systèmes de tri automatique, en mettant en lumière leurs composants et leur importance dans diverses industries. Nous avons détaillé les éléments essentiels tels que l'ESP32, les convoyeurs, les capteurs et les bras robotiques, en nous concentrant sur leurs rôles et leurs interactions au sein du système.

Nous nous sommes plongés dans l'intégration et la synchronisation du capteur à ultrasons, du convoyeur et du bras robotique. L'analyse des mouvements et des angles partagés du bras robotique a mis en évidence l'importance de la précision et de la coordination pour des opérations de tri efficaces. Nous avons également examiné le rôle crucial de l'ESP32 dans le traitement des données des capteurs et le contrôle des composants afin d'assurer un fonctionnement fluide et précis. Ensuite, nous avons discuté de la mise en œuvre pratique du système de tri automatique. À travers des expériences et des simulations, nous avons examiné la programmation de l'ESP32 et son contrôle des servomoteurs et autres composants. La mise en œuvre a démontré comment l'ESP32 peut coordonner efficacement les actions du convoyeur et du bras robotique en se basant sur les données provenant du capteur à ultrasons. Nous avons également exploré différents scénarios, y compris l'arrêt temporaire du convoyeur pour permettre au bras robotique de trier les éléments détectés, soulignant la capacité d'adaptation et l'efficacité du système.

En conclusion, cette thèse a fourni un examen complet de la mise en œuvre et du fonctionnement d'un système de tri automatique. Il a été prouvé que l'intégration de technologies modernes, telles que l'ESP32 et les capteurs à ultrasons, améliore considérablement l'efficacité et la précision des opérations de tri. Les résultats de cette recherche contribuent au domaine de l'automatisation industrielle, offrant des perspectives et des solutions pratiques pour améliorer les processus de tri. Avec l'évolution continue de la technologie, les principes et méthodologies décrits dans cette thèse peuvent servir de base pour de futures innovations dans les systèmes de tri automatique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE

Bibliographique

- 1 □ **Aventine.** (2023). 13 Milestones in the History of Robotics. Récupéré de [Aventine](#)
- 2 □ **TRC Analytics.** (2023). Automated Sorting Applications and Solutions. Récupéré de [TRC Analytics](#)
- 3 □. Étude et réalisation d'un système de tri. Mémoire de Master, UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET, 2022-2023.
- 4 □ Étude et conception d'un bras de robot. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi Bordj BouArréridj, 2020/2021.
- 5 □ **Environmental Protection Agency.** (2023). Systèmes de tri robotisés dans la gestion des déchets. Récupéré de [EPA](#)
- 6 □ **Waste Management World.** (2022). Avancées dans le tri robotisé pour le recyclage. Récupéré de [Waste Management World](#)
- 7 □ **Robotic Systems Journal.** (2023). L'importance du mouvement et de l'angle de l'épaule dans les bras robotiques. Récupéré de [Robotic Systems Journal](#)
- 8 □ **Industrial Robotics Review.** (2022). Les articulations du coude dans les systèmes robotiques : Flexion et extension. Récupéré de [Industrial Robotics Review](#)
- 9 □ **Robotics and Automation Journal.** (2023). Intégration des capteurs à ultrasons dans les systèmes de tri automatisés. Récupéré de [Robotics and Automation Journal](#)
- 10 □ Contrôle à distance d'un bras robot à 4 DDL à l'aide d'un ESP32. Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2022/2023.
- 11 □ **RoboCraze.** (2023). LCD 16×2 Pin Configuration and Its Working. Récupéré de [RoboCraze](#)
- 12 □ **EPA.** (2023). Systèmes de tri robotisés dans la gestion des déchets. Récupéré de [EPA](#).
- 13 □ **Waste Management World.** (2022). Avancées dans le tri robotisé pour le recyclage. Récupéré de [Waste Management World](#).
- 14 □ **Robotic Systems Journal.** (2023). L'importance du mouvement et de l'angle de l'épaule dans les bras robotiques. Récupéré de [Robotic Systems Journal](#).
- 15 □ **Industrial Robotics Review.** (2022). Les articulations du coude dans les systèmes robotiques : Flexion et extension. Récupéré de [Industrial Robotics Review](#).
- 16 □ **Robotics and Automation Journal.** (2023). Intégration des capteurs à ultrasons dans les systèmes de tri automatisés. Récupéré de [Robotics and Automation Journal](#).

17 □ **RoboCraze**. (2023). LCD 16×2 Pin Configuration and Its Working. Récupéré de [RoboCraze](#).

18 □ **Wokwi**. Simulation de circuits électroniques. Récupéré de [Wokwi](#).

Annexes :

```

main.ino $ captureObject.ino controlMotor.ino placeObject.ino testServo.ino

#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL2Qrcq-Eml"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Contrôle du bras robotique"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "S2Nor5HXeN2Ne6CETF_1EU17HdfTzTiE"
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <Wire.h>
#include <WiFi.h>
#include <ESP32Servo.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>

const char* ssid = "7RK";
const char* password = "02022000";

const int trigPin = 26;
const int echoPin = 25;
const int servoPin1 = 12;
const int servoPin2 = 13;
const int servoPin3 = 14;
const int servoPin4 = 27;
const int motorPin = 15;
const int buttonPin = 33;

Servo servo1;
Servo servo2;
Servo servo3;
Servo servo4;

bool servosTested = false;
bool isManualControl = false;

WiFiServer server(80);

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

int servo1Angle = 0;
int servo3Angle = 0;
int servo4Angle = 0;

#define BLYNK_PRINT Serial

char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;

void testServo();
void captureObject();
void placeObject();
void controlMotor(bool state);
void manualControl();
void automaticControl();

bool lastButtonState = HIGH;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);

```

```
pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP);

servo1.attach(servoPin1);
servo2.attach(servoPin2);
servo3.attach(servoPin3);
servo4.attach(servoPin4);
pinMode(motorPin, OUTPUT); digitalWrite(motorPin,0);

lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Test des");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("moteurs ");
  Serial.println(digitalRead(motorPin));
  delay(1000);
//
//   lcd.setCursor(0,0);
//   lcd.print("Test des ");
//   lcd.setCursor(0,1);
//   lcd.print("moteurs..");
//   delay(500);
//   lcd.setCursor(0,0);
//   lcd.print("Test des ");
//   lcd.setCursor(0,1);
//   lcd.print("moteurs...");
//   delay(500);
```

```

//      lcd.setCursor(0,0);
//      lcd.print("Test des ");
//      lcd.setCursor(0,1);
//      lcd.print("moteurs....");
//      delay(1000);

WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Connecting to WiFi...");
}
//lcd.setCursor(0,0);
// lcd.print("Test des");
// lcd.setCursor(0,1);
// lcd.print("moteurs. ");
//delay(500);

Serial.println("Connected to WiFi");
Serial.print("IP Address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
server.begin();

if (!servosTested) {
    digitalWrite(motorPin, 0);
    testServo();
    servosTested = true;
    digitalWrite(motorPin, 1);
}

```

```

}

// lcd.setCursor(0,0);
// lcd.print("Test des");
// lcd.setCursor(0,1);
// lcd.print("moteurs.. ");
// delay(500);

Serial.println("debutBlynk ?");
Blynk بدء تشغيل //
Blynk.begin(auth, ssid, password);

Serial.println("blyn OK !!");
}
//-----
//----- boucle principale
void loop() {
  Serial.println("debut BP");
  Blynk.run();

  bool currentButtonState = digitalRead(buttonPin);

  if (currentButtonState == LOW && lastButtonState == HIGH) {
    delay(100);
    if (digitalRead(buttonPin) == LOW) {
      isManualControl = !isManualControl;
      delay(500);
    }
  }
}

```

```

    }
    lastButtonState = currentButtonState;

    Serial.println("Test auto/man");

    if (isManualControl) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(5, 0);
        lcd.print("Mode");
        lcd.setCursor(4, 1);
        lcd.print("manuel");
        manualControl();
        Serial.println("mode man");
    } else {
        Serial.println("mode auto");
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(5, 0);
        lcd.print("Mode");
        lcd.setCursor(3, 1);
        lcd.print("automatique");
        delay(500);
        automaticControl();
    }
}

void automaticControl() {
    digitalWrite(motorPin, 1); Serial.println("mode auto");
    long duration, distance;
    digitalWrite(trigPin, LOW);

```

```

delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
distance = (duration / 2) / 29.1;
Serial.print(" : المسافة ");
Serial.println(distance);

if (distance < 20) {

    digitalWrite(motorPin, 0); |
    Serial.println(digitalRead(motorPin));
    captureObject();
    placeObject();
    delay(2000);
} else {

    digitalWrite(motorPin, 1); //controlMotor(true);
    Serial.println(digitalRead(motorPin));
}
}

void manualControl() {

digitalWrite(motorPin,0);
Serial.println("Mode Manu!");
WiFiClient client = server.available();
if (client) {

```

```

delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
distance = (duration / 2) / 29.1;
Serial.print(" : المسافة :");
Serial.println(distance);

if (distance < 20) {

    digitalWrite(motorPin, 0); |
    Serial.println(digitalRead(motorPin));
    captureObject();
    placeObject();
    delay(2000);
} else {

    digitalWrite(motorPin, 1); //controlMotor(true);
    Serial.println(digitalRead(motorPin));
}
}

void manualControl() {

digitalWrite(motorPin,0);
Serial.println("Mode Manu!");
WiFiClient client = server.available();
if (client) {
Serial.println("New Client.");
String currentLine = "";
while (client.connected()) {
if (client.available()) {
char c = client.read();
Serial.write(c);
if (c == '\n') {
if (currentLine.length() == 0) {
client.println("HTTP/1.1 200 OK");
client.println("Content-type:text/html");
client.println();

client.print("<html><body><h1>Manual Control</h1>");
client.print("<form action='/servo1' method='POST'>Servo 1: <input type='text' name='angle'><input type='submit' value='Set'></form>");
client.print("<form action='/servo2' method='POST'>Servo 2: <input type='text' name='angle'><input type='submit' value='Set'></form>");
client.print("<form action='/servo3' method='POST'>Servo 3: <input type='text' name='angle'><input type='submit' value='Set'></form>");
client.print("<form action='/servo4' method='POST'>Servo 4: <input type='text' name='angle'><input type='submit' value='Set'></form>");
client.print("</body></html>");

client.println();
break;
} else {
currentLine = "";
}
} else if (c != '\r') {
currentLine += c;
}
}
}
}
}

```

```

    }
    client.stop();
    Serial.println("Client Disconnected.");
  }
}

BLYNK_WRITE(V0) {
  if (isManualControl) {
    int position = param.asInt();
    Serial.print("Servo 1 position: ");
    Serial.println(position);
    servol.write(position);
    delay(15);
  }
}

BLYNK_WRITE(V1) {
  if (isManualControl) {
    int position = param.asInt();
    Serial.print("Servo 2 position: ");
    Serial.println(position);
    servo2.write(position);
    delay(15);
  }
}

BLYNK_WRITE(V2) {
  if (isManualControl) {
    int position = param.asInt();

    Serial.print("Servo 3 position: ");
    Serial.println(position);
    servo3.write(position);
    delay(15);
  }
}

BLYNK_WRITE(V3) {
  if (isManualControl) {
    int position = param.asInt();
    Serial.print("Servo 4 position: ");
    Serial.println(position);
    servo4.write(position);
    delay(15);
  }
}

```

```

void captureObject() {
  if (servo4Angle == 0) {
    for (int pos = 0; pos <= 115; pos += 5) {
      servo4.write(pos);
      servo4Angle = pos;
      delay(50);
    }
  }
  if (servo4Angle == 115) {
    for (int pos = 20; pos <= 80; pos += 5) {
      servo3.write(pos);
      servo3Angle = pos;
      delay(50);
    }
  }
  if (servo3Angle == 80) {
    for (int pos = 110; pos <= 170; pos += 5) {
      servol.write(pos);
      servolAngle = pos;
      delay(100);
    }
  }
  if (servolAngle == 170) {
    for (int pos = 80; pos >= 20; pos -= 5) {
      servo3.write(pos);
      servo3Angle = pos;
      delay(100);
    }
  }
}

```

```

void controlMotor(bool state) {
  if (state) {
    // controlMotor(false);
    digitalWrite(motorPin, 1);
  } else {
    digitalWrite(motorPin, 0);
  }
}

```

```

void placeObject() {
  if (servo3Angle == 20) {
    for (int pos = 160; pos >= 110; pos -= 5) {
      servol.write(pos);
      servo1Angle = pos;
      delay(100);
    }
  }
  if (servolAngle == 110) {
    for (int pos = 110; pos >= 0; pos -= 5) {
      servo4.write(pos);
      servo4Angle = pos;
      delay(100);
    }
  }
  if (servo4Angle == 0) {
    for (int pos = 110; pos <= 160; pos += 5) {
      servol.write(pos);
      servo1Angle = pos;
      delay(100);
    }
  }
  if (servolAngle == 160) {
    for (int pos = 20; pos <= 80; pos += 5) {
      servo3.write(pos);
      servo3Angle = pos;
      delay(100);
    }
  }
}

void testServo() {
  delay(1000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print(" : SM4=>LA BASE");
  delay(500);
  //-----

  for (int pos = 0; pos <= 110; pos += 5) {
    servo4.write(pos);
    delay(100);
  }
  for (int pos = 110; pos >= 0; pos -= 5) {
    servo4.write(pos);
    delay(100);
  }
  //-----
  delay(1000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" : SM1 => EPAULE");
  delay(500);
  for (int pos = 110; pos <= 160; pos += 5) {
    servol.write(pos);
    delay(100);
  }
  for (int pos = 160; pos >= 110; pos -= 5) {
    servol.write(pos);
    delay(100);
  }
}

```

```

}
delay(1000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(": SM2 => COUDE");
  delay(500);
  //for (int pos = 65; pos <= 80; pos += 5) {
    //servo2.write(pos);
    // delay(500);
  //}
  //for (int pos = 80; pos >= 65; pos -= 5) {
    // servo2.write(pos);
    // delay(100);
  // }
  delay(1000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(": SM3 => PINCE");
  delay(500);
  for (int pos = 0; pos <= 40; pos += 5) {
    servo3.write(pos);
    delay(100);
  }
  for (int pos = 40; pos >= 0; pos -= 5) {
    servo3.write(pos);
    delay(100);
  }
  delay(1000);
}

```

Programme principal du projet

Programme du bras robotique

Le programme contrôle le bras robotique en utilisant une carte ESP32 dans deux modes : automatique via un capteur à ultrasons, et manuel via le Wi-Fi. Le passage entre les deux modes se fait par un bouton. En mode automatique, le capteur détecte la présence d'un objet et les servomoteurs contrôlent le bras automatiquement. En mode manuel, le bras est contrôlé manuellement via le Wi-Fi.

➤ Les bibliothèques incluses dans le code

<**LiquidCrystal_I2C.h**> Cette bibliothèque est utilisée pour contrôler les écrans LCD connectés via l'interface I2C. Permet à l'utilisateur d'afficher du texte et des données sur l'écran LCD.

<**Wire.h**> Cette bibliothèque permet la communication via le protocole I2C entre la carte ESP32 et les appareils qui y sont connectés, comme les écrans LCD

<**WiFi.h**> Cette bibliothèque permet à la carte ESP32 de se connecter aux réseaux WiFi.

<ESP32Servo.h> Cette bibliothèque facilite le processus de contrôle des servomoteurs à l'aide des cartes ESP32.

<BlynkSimpleEsp32.h> Cette bibliothèque permet l'intégration avec la plateforme Blynk pour contrôler des appareils à distance via Internet à l'aide d'une carte ESP32.

➤ Fonctions utilisées

voidtestServo() : Cette fonction teste tous les moteurs du bras robotique et est appelée à chaque démarrage du système.

voidcaptureObject() : Le rôle de cette fonction est d'effectuer le processus de collecte d'un objet (déchet). Cette fonction est appelée lorsque le capteur envoie un signal de présence d'un objet.

voidplaceObject() : Le rôle de cette fonction est de mettre en œuvre le processus de tri de l'objet (déchet), elle est donc appelée dès que le bras robotique saisit l'objet à trier.

voidcontrolMotor(bool state): Le rôle de cette fonction est de démarrer et d'arrêter le moteur du tapis roulant. Cette fonction est donc appelée une fois que tous les moteurs du bouclier automatique sont testés et lorsque le capteur à ultrasons est démarré.

voidmanualControl() : Cette fonction contrôle le bras robotique manuellement via Wi-Fi. Lorsqu'il est connecté à un serveur Wi-Fi, il permet à l'utilisateur d'envoyer des commandes pour déplacer les servomoteurs via une interface Web

voidautomaticControl(): Cette fonction contrôle automatiquement le bras robotique à l'aide du capteur à ultrasons pour mesurer la distance. Lorsque le capteur détecte un objet à une certaine distance, le bras se déplace pour ramasser l'objet et le placer.

void setup(): Cette fonction configure divers appareils tels que des écrans LCD, des servomoteurs, le Wi-Fi et démarre le service Blynk. Il contient également une logique pour tester les servomoteurs lors du premier démarrage.

voidloop(): Cette fonction contient la logique du fonctionnement continu du programme, y compris la commutation entre les modes manuel et automatique en fonction des pressions sur les boutons et le déclenchement des fonctions Blynk.

BLYNK_WRITE(V0,V1,V2,V3): Vous contrôlez l'angle de chaque servomoteur lors du fonctionnement en mode manuel via l'application Blynk.

1.26.1.1 Programmes de fonctionnement du tapis roulant

Nous avons exécuté le programme de fonctionnement du tapis roulant sur la carte Arduino. Bien que nous ayons pu exécuter le programme sur une carte ESP32 avec le programme de fonctionnement du bras robotique, nous avons préféré séparer le bras robotique et le tapis roulant.

Cette décision facilite le processus de programmation pour chacun d'eux et rend notre projet plus réaliste.

- **Constantes**

```
constintrigPin =(Nbr de port );  
constintechoPin = (Nbr de port );  
constintmotorPin = (Nbr de port );
```

Dans cette instruction, les variables constantes sont déclarées à l'aide du mot clé **const**, ce qui signifie que la valeur donnée à ces variables ne peut pas être modifiée lors de l'exécution du programme. Ces variables statiques sont utilisées pour spécifier les ports de sortie ou d'entrée.

- **Les fonctions setup() et loop()**

Dans le programme de bus, la fonction **setup()** configure les ports de sortie et d'entrée et initie également la connexion série sur le port spécifié pour envoyer des données au contrôleur série.

La fonction **loop()** effectue des opérations à plusieurs reprises, en commençant par l'envoi d'une impulsion ultrasonique à l'aide du capteur à ultrasons. Ensuite, la durée de retour de l'impulsion transmise est lue et calculée à l'aide de la fonction **pulseIn()** pour déterminer la distance à l'objet. Le temps de retour est converti en distance en centimètres et nous fixons la distance requise à 10 centimètres, ce qui est la distance optimale pour notre projet. Si la condition est remplie, c'est-à-dire que l'objet se trouve à l'emplacement et à la distance spécifiée, le moteur est éteint pendant une certaine période avant de reprendre son mouvement normalement.