REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE Dr. YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Electronique.

Spécialité : Instrumentation.

Conception et implémentation d'un chariot de supermarché intelligent équipé d'un lecteur RFID.

Présenté par :

- DEHBINE OTHMANE.
- LAIDI TAHAR.

Proposé et Dirigé par :

- Dr. TOUBAL Abdelmoughni.
- Dr. MAAZOUZ Mohamed.

Promotion 2025

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS PREMIÈREMENT, NOUS REMERCIONS DIEU, LE TOUT PUISSANT, DE NOUS AVOIR DONNER LA SANTÉ ET LA VOLONTÉ POUR FAIRE CET HUMBLE TRAVAIL. JE TIENS À REMERCIER ET GLORIFIER LE TOUT PUISSANT ET MISÉRICORDIEUX D'AVOIR GUIDÉ MES PAS AVEC CLAIRVOYANCE POUR ACCOMPLIR CE TRAVAIL ET DE LE MENER À TERME.

NOUS TENONS À EXPRIMER NOUS PLUS PROFONDE RECONNAISSANCE À :

NOS PARENTS QUI M'ONT TOUJOURS ENTOURÉ ET MOTIVÉ À SANS CESSE DEVENIR MEILLEUR.

NOS FRÈRES ET SŒURS QUI M'ONT ASSISTÉ DANS CES MOMENTS ET M'ONT SERVI D'EXEMPLE.

NOS PROMOTEURS **Dr TOUBAL** ET **Dr MAAZOUZ** POUR LEUR AIDE ET LEUR PRÉCIEUSE ATTENTION.

NOS COLLÈGUES QUI N'ONT CESSÉ DE M'ENCOURAGER.

NOS PROFESSEURS QUI DOIVENT VOIR DANS CE TRAVAIL LA FIERTÉ D'UN SAVOIR BIEN ACQUIS.

DÉDICACES

NOUS DÉDIONS CE MODESTE TRAVAIL

À

NOS TRÈS CHERS PARENTS QUI ONT FAIT DE MOI CE QUE JE SUIS AUJOURD'HUI ET QUI ONT VEILLÉ À GUIDER MES PAS DURANT TOUTE MA VIE PAR LEURS AIDES, LEURS GRANDES ÉMOTIONS, LEURS SACRIFICES, ET LEUR SOUTIEN ET ENCOURAGEMENT PENDANT LA RÉALISATION DU PROJET DE FIN D'ÉTUDE.

NOUS DÉDIONS CE TRAVAIL À NOS AMIS DE LA PROMOTION ; NOS PROFS ET NOS AMIS

TOUTE LA PROMOTION 2025

الملخص

يهدف هذا المشروع إلى تصميم وتنفيذ نظام عربة تسوق ذكية يُسهم في تحسين تجربة التسوق داخل المتاجر الكبرى من خلال توظيف تقنيات مدمجة وفعّالة. تم تزويد العربة بوحدة ESP32 للتحكم، وقارئ RFID للتعرف على المنتجات، وشاشة LCD لعرض المعلومات، إضافة إلى زرين للتحكم في محتوى السلة: أحدهما لإعادة ضبط العربة، والآخر لحذف المنتجات عند الحاجة.

في مرحلة التهيئة، تُرسل قاعدة بيانات المنتجات بصيغة CSV من الحاسوب إلى وحدة ESP32 المتصلة به عبر منفذUSB ، ثم تُحوّل هذه البيانات إلى وحدة ESP32 داخل العربة عبر بروتوكول ESP-NOW اللاسلكي. عند تمرير بطاقةRFID ، تقوم العربة بالبحث محليًا ضمن قاعدة البيانات، ثم تعرض اسم المنتج وسعره، وتقوم تلقائيًا بتحديث الكمية والفاتورة.

كما يتضمن النظام واجهة على الحاسوب لتتبع العربات الذكية داخل المتجر، مما يساعد في تحسين التنظيم والتوجيه. ويتميز هذا النظام باستقلاليته عن الاتصال الدائم بالشبكة، مما يجعله حلاً ذكياً، سريعاً وفعالاً لكل من الزبائن وإدارة المتجر.

الكلمات المفتاحية :عربة تسوق ذكية، ESP32، RFID، شاشة LCD ، ESP-NOW، قاعدة بيانات، الاتصال اللاسلكي.

Abstract

This project aims to design and implement a smart shopping cart system to enhance the customer experience in large retail stores by integrating efficient embedded technologies. The cart is equipped with an ESP32 microcontroller, an RFID reader for product identification, an LCD screen for displaying information, and two buttons: one for resetting the cart, and another for deleting items when needed.

At startup, a product database in CSV format is sent from the computer to the ESP32 via USB, and then transmitted to the cart's ESP32 using the wireless ESP-NOW protocol. When an RFID tag is scanned, the cart locally searches the stored database, displays the product name and price, and automatically updates the quantity and total invoice.

Additionally, a computer interface is included to track the smart carts in real time within the store, helping improve organization and navigation. This system is independent of continuous network connectivity and offers a smart, fast, and efficient shopping solution for both customers and store managers.

Keywords: Smart shopping cart, ESP32, RFID, LCD screen, ESP-NOW, Product database, Wireless communication.

Résumé

Ce projet consiste à concevoir et à implémenter un système de chariot de supermarché intelligent destiné à optimiser l'expérience d'achat dans les grandes surfaces grâce à l'intégration de technologies embarquées performantes. Le chariot est équipé d'un microcontrôleur ESP32, d'un lecteur RFID pour l'identification des produits, d'un écran LCD pour l'affichage des informations, ainsi que de deux boutons: l'un pour réinitialiser le chariot, et l'autre pour supprimer un produit si nécessaire.

Lors de l'initialisation, une base de données de produits au format CSV est transférée depuis un ordinateur vers l'ESP32 via USB, puis transmise à l'ESP32 du chariot via le protocole sans fil ESP-NOW. Lorsqu'un produit est scanné à l'aide d'une carte RFID, le chariot effectue une recherche locale dans la base de données stockée, affiche le nom et le prix du produit, et met automatiquement à jour la quantité et le total.

En complément, une interface sur ordinateur permet de suivre les chariots intelligents en temps réel dans le magasin, facilitant ainsi leur gestion. Le système se distingue par son autonomie vis-à-vis du réseau, offrant une solution intelligente, rapide et efficace pour les clients comme pour les gestionnaires.

Mots-clés : Chariot intelligent, ESP32, RFID, Écran LCD, ESP-NOW, Base de données, Communication sans fil.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE **1**

CHAPITRE I: **3**

I.1. INTRODUCTION : 4

I.2. HISTORIQUE : 5

I.3. CONTEXTE ET MOTIVATION : 5

I.4. PROBLEMATIQUE : 6

I.5. FONCTIONNEMENT DES SUPERMARCHES EN ALGERIE AUJOURD'HUI : 6

I.6. OBJECTIFS DU PROJET ET PROBLEMATIQUES ADRESSEES : 6

I .7. APPROCHE METHODOLOGIQUE GENERALE: 7

I.8. PORTEE DU PROJET: 8

I.9. TECHNOLOGIES EXISTANTES DANS LES SUPERMARCHES : 9

I.9.1. CODES-BARRES ET SYSTEMES TRADITIONNELS : 9

I.9.2. LES CAISSES LIBRE-SERVICE: 10

I.9.3. UTILISATION DE LA RFID DANS LA GRANDE DISTRIBUTION: 10

I.9.4. COMPARATIF ENTRE CODE-BARRES ET RFID : 11

I.10. POSITIONNEMENT DE NOTRE SOLUTION : 12

I.10.1. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES : 12

I.11. CONCLUSION : 13

CHAPITRE II: **14**

II.1. INTRODUCTION : 15

II.2. PRESENTATION GENERALE DE L'ARCHITECTURE MATERIELLE: 15

II.3. LE MCU ESP32 « ESP32-WROOM-32 » : 16

II.3.1. CARACTERISTIQUES DE LA CARTE ESP32 : 17

II.3.2. DOMAINES D'APPLICATIONS DE LA CARTE ESP32 : 18

II.3.3. CHOIX DE L'ESP32 : 19

II.4. Les technologies RFID : 19
II.4.1 Les type de RFID: 20
II.4.2. Choix du lecteur RFID RC522: 22
II.5. Technologies de communication sans fil: 23
II.5.1. Le Wi-Fi et le BLE (Bluetooth Low Energy): 23
II.5.2. ESP-NOW : le protocole choisi : 23
II.6. Les afficheur LCD, I2C : 26
II.6.1. Adaptateur LCD I2C : 26
II.6.2. Brochage d'un afficheur LCD : 27
II.6.3. Raison du choix de LCD 16x4 : 27
II.7. Consommation energetique : 27
II.8. Conclusion: 28
CHAPITRE III: 29
III.1. Introduction : 30
III.2 Les principales etapes du projet : 30
III.3. Autres difficultes techniques : 31
III.3.1. Solutions adoptees : 31
III.4. Developpement d'un Chariot Intelligent : Étapes, Defis et Solutions Techniques : 31
III.4.1. Test de la connexion entre le lecteur RFID et l'ESP32 : 31
III.4.2. Connexion entre deux modules ESP32 32
III.4.3. Test de communication entre deux ESP32 avec le lecteur RFID : 33
III.4.4. Integration d'un ecran LCD 16x2 pour l'affichage des messages : 35
III.4.5. Amelioration de l'affichage et de l'interaction : 35
III.4.6. Systeme de surveillance du niveau de la batterie 37
III.4.7. Developpement d'une interface PC intelligente pour la reception des donnees du chariot : 38
III.4.8. Transmission des donnees du PC vers les chariots via le protocole ESP-NOW : 39
III.4.9. Stockage de la base de donnees et interface graphique : 40
III.4.10. Motivations de l'ajout du buzzer : 42
III.5 Bibliotheques logicielles utilisees : 42
III.6 Arduino IDE et les codes : 43

III.6.1 Introduction a l'environnement Arduino IDE : 43
III.8 Prototype du projet : 43
III. 10 Affectation des broches de l'ESP32 et justification technique 45
III. 11 Conception du circuit imprime (PCB) : 45
III.12 Conception du circuit imprime (PCB) avec EasyEDA : 46
III.13 Conception et impression des boitiers en plastique pour les composants electroniques : 47
III.13.1. Impression du circuit electronique et soudage des composants (Fabrication du circuit imprime – PCB) :47
III.14 Algorithme de fonctionnement du chariot intelligent : 49
III.15 Algorithme de fonctionnement du module ESP32 connecte au PC : 51
III.16 Architecture de communication entre l'interface utilisateur, l'ESP32 et le chariot intelligent : 53
III.17 Debut de l'impression avec l'imprimante 3D : 55
III.18 Assemblage final du projet et integration des composants electroniques : 55
La verification de l'alignement des ouvertures avec les ports (USB, alimentation, boutons...). 55
III.19 Perspectives d'amelioration du projet apres la soutenance : 56
III.20 Conclusion : 57
CONCLUSION GENERALE 58
Conclusion generale : 59
BIBLIOGRAPHIE 60
GUIDE STARTUP 60

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: un supermarché 4
Figure I.2: Codes-barres 9
Figure I.3: carte RFID 10

Figure II. 1: Schéma synoptique du system ……..16
Figure II. 2: ESP32-WROOM-32 17
Figure II. 3: ESP32-WROOM-32 18
Figure II. 4: domaines d'application de la carte esp 32..... 19
Figure II. 5: une carte RFID..... 20
Figure II. 6: différents types des étiquettes RFID 22
Figure II. 7: les diffèrent types de lecteurs 22
Figure II. 8: Wi-Fi 23
Figure II. 9: Bluetooth 23
Figure II. 10: Protocol ESP-NOW 24
Figure II. 11: Afficheur LCD 16x4 26
Figure II. 12: Adaptateur LCD I2C. 26
Figure II. 13: Manuel d'utilisation de l'écran LCD I2C..... 27

Figure III. 1: Schéma de câblage : ESP32 et lecteur RFID RC522……..32
Figure III. 2 : Connexion entre deux modules ESP32 33
Figure III. 3 : Connexion entre deux modules ESP32 33
Figure III. 4: communication entre deux ESP32 avec le lecteur RFID 34
Figure III. 5 : écran d'un LCD 16x4 36
Figure III. 6: Schéma de câblage : ESP32, LCD 16X4 et I2C 37
Figure III. 7: niveau de la batterie..... 38
Figure III. 8: Interface graphique avancée en Python 41
Figure III. 9: Le prototype expérimental du projet chariot Intelligent 44
Figure III. 11: Schéma de câblage électronique réalisé avec Fritzing 44
Figure III. 12: Le logiciel Easy EDA 46
Figure III. 14: circuit principal sans les boutons et circuit dédié aux boutons 47
Figure III. 15: La plaque de cuivre est immergée dans une solution de chlorure ferrique ... 48
Figure III. 16 : fixés Les composants sur la carte 48
Figure III. 17 : assemblage des composants et test du circuit 49
Figure III. 18 : Organigramme de fonctionnement du chariot intelligent basé sur ESP32….50

Figure III. 19 : Organigramme de fonctionnement du module ESP32 connecté à un ordinateur ……52
Figure III. 20 : Organigramme de fonctionnement de l'interface utilisateur…….53
Figure III. 21: boîtier de module ESP32 connecté à l'ordinateur 54
Figure III. 22: Conception finale en 3D du boîtier avec SolidWorks 54
Figure III. 23 : L'impression 3D. 55
Figure III. 24: Aspect extérieur final après assemblage. 56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. 1: Comparatif entre le Code-barres et la Technologie RFID 12
Tableau II. 1: Comparatif des Protocoles de Communication Sans Fil : Wi-Fi, Bluetooth …..25
Tableau II. 2: : Consommation Électrique Estimée des Composants du Système 28

LISTE DES NOMENCLATURES

RFID: Radio Frequency Identification

ESP: Espressif Systems Platform

MAC: Media Access Control

CSV: Comma Separated Values

LCD: Liquid Crystal Display

I2C: Inter-Integrated Circuit

SPI: Serial Peripheral Interface

GUI: Graphical User Interface

UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter

ESP-NOW: Espressif Now Communication Protocol

SPIFFS: SPI Flash File System

GPIO: General Purpose Input/Output

IDE: Integrated Development Environment

PWM: Pulse Width Modulation

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

Dans un contexte de développement technologique accéléré, les systèmes embarqués et l'automatisation occupent une place centrale dans l'amélioration de l'expérience utilisateur et l'optimisation des processus du quotidien. Le secteur de la grande distribution n'échappe pas à cette tendance, cherchant constamment à innover pour fidéliser les clients et améliorer l'efficacité interne.

Ce mémoire s'inscrit dans cette dynamique d'innovation pragmatique en proposant une solution concrète : un système de chariot intelligent basé sur un microcontrôleur ESP32. Ce dernier permet de faciliter le parcours d'achat en détectant automatiquement les articles ajoutés au chariot grâce à un lecteur RFID, qui lit l'identifiant unique (UID) de chaque produit. L'UID est ensuite transmis, via le protocole sans fil ESP-NOW, à un second ESP32 connecté à un ordinateur.

Un programme développé en Python s'exécute sur ce dernier pour consulter une base de données locale (fichier Excel), récupérer le nom et le prix de l'article, afin qu'elles soient affichées sur un écran LCD intégré au chariot. Ce processus permet de suivre en temps réel les achats sans intervention manuelle, réduisant ainsi les files d'attente et augmentant l'autonomie du client.

Contrairement aux solutions complexes et coûteuses basées sur le Cloud ou l'intelligence artificielle, le système proposé est local, économique, et facile à déployer. Il repose sur des modules ESP32, des lecteurs RFID, des écrans LCD, et un protocole de communication performant : ESP-NOW.

L'objectif de ce projet est double : démontrer la faisabilité technique de ce système, et en évaluer l'impact potentiel sur l'expérience utilisateur et la gestion du personnel en caisse.

La structure de ce mémoire s'articule autour de trois axes :

- Une étude de l'état de l'art, pour situer le projet dans son environnement technologique.
- Une description détaillée du système développé, au niveau matériel et logiciel.
- Une phase d'expérimentation et d'analyse visant à valider les choix techniques et à identifier les pistes d'amélioration.

Ainsi, ce travail propose une contribution concrète et réaliste à l'évolution du parcours client en grande surface, grâce à une intégration réfléchie de technologies embarquées.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres principaux :

Le chapitre I : Analyse du contexte et choix de la solution intelligente

Présentation du contexte, de la problématique, des objectifs, des limites, et de la méthodologie générale.

Le chapitre II : Conception et mise en œuvre technique

Analyse des technologies existantes dans le secteur de la distribution (code-barres, RFID, chariots connectés), comparaison des solutions, choix technologiques et justification.

Le chapitre III : Mise en œuvre du chariot intelligent : architecture, programmation et résultats .

Description détaillée de l'architecture matérielle et logicielle, des étapes de programmation, de l'intégration des différents modules (RFID, LCD, ESP-NOW), ainsi que des tests réalisés. Ce chapitre met en lumière les résultats obtenus et les ajustements opérés afin d'améliorer les performances du système dans un environnement réel.

CHAPITRE I :

Analyse du contexte et choix de la solution intelligente

I.1. Introduction :

Le mot "supermarché" désigne un magasin de vente au détail en libre-service, dont la superficie varie selon les pays :

- En Belgique, à titre d'exemple, un supermarché a une surface comprise entre 400 et 2 499 m².
    - En dessous de 400 m² : ce sont des supérettes.
    - Au-delà de 2 499 m² : ce sont des hypermarchés.
    - Petits supermarchés (400 à 1 000 m²) : axés sur l'alimentaire, situés en zones urbaines.
    - Grands supermarchés (1 000 à 2 500 m²) : plus courants en zone rurale, avec une offre non-alimentaire plus large.
- En Espagne, au Danemark, en Italie et au Luxembourg, la surface varie entre 400 et 4 000 m².
- Au Canada, un supermarché désigne un grand magasin d'alimentation. Les petits magasins sont appelés "dépanneurs", et les magasins spécialisés "épiceries fines". [1]



Figure I.1: un supermarché

I.2. Historique :

Le concept du libre-service est né aux États-Unis en 1916. Le premier supermarché a ouvert ses portes à New York en 1930.

L'apparition de l'hypermarché en Europe en 1963 correspond à un changement de mode de vie, l'explosion urbaine et l'auto mobilisation. Les distributeurs européens se sont inspirés du "self-service" américain pour créer des structures adaptées au marché européen.

À partir des années 70, l'évolution du comportement des consommateurs a modifié l'organisation de la distribution. Les centres commerciaux ont progressivement remplacé les petits détaillants traditionnels. [1] [2]

I.3. Contexte et motivation :

Dans un contexte économique et technologique en constante évolution, les supermarchés cherchent à améliorer à la fois l'expérience client et la gestion opérationnelle. L'un des moments clés du parcours client reste le passage en caisse, qui concentre plusieurs enjeux : satisfaction, rapidité, précision et organisation du personnel. Actuellement, les clients remplissent leur chariot sans connaître précisément le montant cumulé de leurs achats. Ce manque de visibilité peut entraîner de la frustration ou des surprises désagréables lors du paiement.

Parallèlement, les caissiers et responsables de rayon ont peu de moyens pour anticiper l'affluence ou ajuster en temps réel les ressources humaines nécessaires en fonction du nombre d'articles transportés par les clients. Le renforcement ou l'orientation du personnel aux caisses repose souvent sur une observation visuelle tardive, ce qui nuit à l'efficacité du service.

Dans ce contexte, l'utilisation de technologies simples, économiques et embarquées apparaît comme une solution pertinente pour répondre à ces deux besoins. En particulier, la technologie RFID permet d'identifier automatiquement les articles placés dans un chariot sans intervention manuelle. Combinée à un microcontrôleur et un petit écran d'affichage, elle ouvre la voie à la conception d'un chariot intelligent, capable d'informer en temps réel le client du montant de ses achats, tout en transmettant au personnel une estimation du volume d'articles circulant dans le magasin.

Le projet présenté dans ce mémoire vise donc à développer un système local, sans infrastructure Internet, dans lequel chaque chariot communique avec une unité centrale, elle-même connectée à un PC, dans le but d'améliorer à la fois le confort client et l'organisation en magasin. [3]

I.4. Problématique :

Actuellement, ni les clients ni le personnel des magasins ne disposent d'une visibilité en temps réel sur le contenu des chariots d'achat. Les consommateurs effectuent leurs courses sans avoir une estimation claire du montant qu'ils devront payer, n'en prenant connaissance qu'à la caisse, ce qui limite leur capacité à gérer leur budget de manière proactive. En parallèle, les responsables de caisse ne disposent pas d'outils efficaces pour anticiper le volume de travail, faute de données sur le nombre d'articles transportés par chaque chariot.

Les dispositifs existants, tels que les caisses automatiques ou la surveillance classique des rayons, ne permettent pas une collecte d'informations fluide ni en temps réel. Quant aux solutions basées sur le Cloud Ou l'Internet des objets (IoT), elles sont souvent onéreuses, tributaires d'une connexion Internet stable, et peu adaptées aux environnements à infrastructure limitée.

Dès lors, la problématique centrale à laquelle ce projet cherche à répondre peut être formulée ainsi :

Comment concevoir un système local, autonome et économe en énergie, capable de fournir au client une estimation en temps réel du montant de ses achats, tout en offrant au personnel du magasin des données utiles pour anticiper les besoins en caisse ?

I.5. Fonctionnement des supermarchés en Algérie aujourd'hui :

En Algérie, la majorité des supermarchés fonctionnent de manière traditionnelle. Le parcours client repose sur un processus classique de sélection libre des produits, suivi d'un passage en caisse traditionnel. Bien que certains utilisent des lecteurs de codes-barres, plusieurs limitations subsistent:

- Peu d'automatisation ou d'outils intelligents.
- Absence de suivi en temps réel des achats sur le chariot.
- Peu d'informations disponibles pour les clients pendant leurs courses.
- Attentes longues aux caisses, avec un risque d'erreurs dans les tickets.

I.6. Objectifs du projet et problématiques adressées :

Ce projet a pour objectif de développer une solution innovante et complète sous la forme d'un chariot de supermarché intelligent, équipé d'un système embarqué comprenant un lecteur RFID permettant la détection automatique des produits sans recourir aux codes-barres, un

microcontrôleur ESP32 pour la gestion locale des données, un écran LCD affichant instantanément le nom et le prix de chaque article, ainsi qu'une batterie rechargeable garantissant l'autonomie du dispositif. Cette solution technologique a été pensée pour répondre aux principales difficultés rencontrées par les clients dans les magasins traditionnels, telles que les longues files d'attente aux caisses, l'impossibilité de suivre en temps réel le montant total des achats, l'absence d'interaction personnalisée et l'incapacité de consulter la facture avant le paiement.

Pour y remédier, le système propose plusieurs fonctionnalités intelligentes, notamment l'affichage en continu du total des achats, le calcul automatique du montant cumulé, la possibilité de consulter la facture à tout moment durant les courses, ainsi qu'un processus de passage en caisse plus fluide, voire autonome. Il permet également d'estimer le nombre d'articles dans le chariot, afin d'orienter les clients vers la caisse la plus adaptée à leur situation, qu'il s'agisse d'une caisse rapide ou complète. De plus, l'intégration avec un système de gestion centralisé favorise un meilleur suivi des stocks et une optimisation des ventes.

Le système repose entièrement sur une communication locale grâce au protocole ESP-NOW intégré au microcontrôleur ESP32, ce qui garantit un échange de données rapide, efficace et économe en énergie, sans dépendance à une connexion Internet.

I .7. Approche méthodologique générale :

La réalisation de ce projet suit une approche par étapes successives, articulée autour de plusieurs phases :

1. Analyse des besoins :

Étude des attentes des clients et du personnel en magasin. Observation des pratiques actuelles et des contraintes réelles sur le terrain.

2. Choix des composants :

Sélection de technologies simples, robustes et abordables : lecteur RFID, écran LCD basse consommation, microcontrôleur ESP32, batterie rechargeable, protocole ESP-NOW.

3. Conception du système :

Définition de l'architecture fonctionnelle : interaction entre les modules embarqués, échange d'informations avec l'unité centrale, logique d'affichage.

4. Développement logiciel :

Programmation du microcontrôleur (ESP32) pour la lecture RFID, le calcul local des

montants, l'affichage sur l'écran, et la communication vers la centrale.

5. Communication locale via ESP-NOW :

Mise en place d'une transmission sans fil entre les chariots et une ESP32 centrale, permettant une réception efficace et économe en énergie des données d'achats.

6. Développement de l'interface de supervision :

Une application simple sur PC central reçoit les données, les stocke localement, et propose une vue synthétique du nombre de chariots actifs et de leurs volumes d'articles.

7. Tests et validation :

Vérification du bon fonctionnement dans un environnement de test. Évaluation de la stabilité, de la précision, de l'autonomie énergétique, et de la satisfaction utilisateur.

I.8. Portée du projet:

Le secteur de la grande distribution connaît une évolution rapide, stimulée par les innovations technologiques et les exigences croissantes des clients. L'expérience d'achat ne se limite plus à l'acquisition de produits, elle devient un levier stratégique de fidélisation et de différenciation pour les enseignes.

Les tendances actuelles visent à :

- Automatiser le parcours d'achat pour limiter l'intervention humaine.
- Réduire le temps d'attente aux caisses.
- Offrir une assistance budgétaire en temps réel au client.
- Fluidifier les flux dans les magasins.

Pour répondre à ces enjeux, plusieurs solutions innovantes ont vu le jour, notamment :

- Les technologies d'identification automatique telles que la RFID.
- Les systèmes de paiement intelligents (Smart Check out).
- Les chariots connectés capables de détecter les articles et d'enregistrer les données.
- Les interfaces de supervision pour une gestion centralisée efficace.

Notre projet s'inscrit dans cette dynamique, avec une approche axée sur la simplicité, l'autonomie locale et l'économie d'énergie. À la fin de ce chapitre, une comparaison des solutions existantes sera présentée, en termes de coût, de complexité, et d'usage, afin de démontrer la

pertinence et la faisabilité de notre solution.

Ce projet est conçu pour fonctionner sans connexion Internet. Toute la communication est assurée en local, entre les chariots et l'unité centrale. La base de données des articles est dupliquée dans chaque chariot et mise à jour périodiquement depuis le PC central. Cela permet de limiter les communications, de réduire la charge réseau et de garantir une continuité de service même en cas de défaillance temporaire de la liaison.

- **Portée :**

- Système déployé localement dans un supermarché.
- Communication sans fil locale (ESP-NOW).
- Suivi en temps réel du montant d'achats pour le client.
- Transmission du nombre d'articles par chariot à un poste central.
- Aide à l'organisation du personnel en caisse.

I.9. Technologies existantes dans les supermarchés :

I.9.1. Codes-barres et systèmes traditionnels :

Le code-barres demeure aujourd'hui la technologie d'identification prédominante dans le secteur de la grande distribution. Utilisé dans la majorité des systèmes de caisse, il repose sur une lecture optique d'un identifiant unique imprimé sur chaque article. [5]



Figure I.2: Codes-barres

- **Avantage :**

- Coût très faible tant pour l'impression des étiquettes que pour les lecteurs.
- Technologie mature, stable et largement déployée.
- Facilité d'intégration dans les infrastructures existantes.

- **Limite :**

- Lecture manuelle et individuelle de chaque produit, ce qui ralentit le processus.

- Exige une ligne de vue directe entre le lecteur et le code.
- Sensibilité aux dommages ou usures des étiquettes.
- Inadapté aux systèmes automatisés modernes, car il ne permet ni lecture groupée ni traitement en temps réel.

I.9.2. Les caisses libre-service :

Les caisses libre-service permettent aux clients de scanner eux-mêmes leurs articles et de procéder au paiement sans intervention directe d'un caissier. Cette solution favorise une certaine autonomie, mais présente des limites notables.

➢ **Avantage :**

- Réduction significative des besoins en personnel.
- Fluidification des files d'attente en magasin.
- Expérience accélérée pour les paniers légers.

➢ **Inconvénients :**

- Nécessité d'un apprentissage préalable de l'interface.
- Taux d'erreurs ou de vols plus élevé.
- Une surveillance humaine reste indispensable.

I.9.3. Utilisation de la RFID dans la grande distribution :

La technologie RFID (Radio Frequency Identification) repose sur des tags électroniques, actifs ou passifs, lisibles à distance sans contact visuel. Chaque étiquette embarque un identifiant unique, facilitant le suivi automatisé.



Figure I.3: carte RFID

➢ **Avantage :**

- Lecture multiple et simultanée des produits.
- Aucune contrainte de contact ou d'alignement.
- Optimisation du passage en caisse et des processus logistiques.

➢ **Inconvénients :**

- Coût supérieur au code-barres, tant au niveau des tags que de l'infrastructure.
- Nécessité d'un matériel de lecture dédié.
- Sensibilité aux perturbations dues aux métaux ou liquides.

I.9.4. Comparatif entre code-barres et RFID :

Le code-barres repose sur une lecture optique nécessitant une ligne de vue directe, ce qui limite sa vitesse, sa fiabilité et sa flexibilité. Il est cependant très économique, ce qui en fait une solution largement utilisée dans des contextes simples où la traçabilité de masse n'est pas critique. À l'inverse, la RFID utilise la radiofréquence, permettant une lecture sans contact visuel, rapide et simultanée de plusieurs objets. Elle offre également une meilleure robustesse, une capacité de stockage plus riche (ID unique avec données supplémentaires) et une traçabilité beaucoup plus précise. Toutefois, cette technologie implique un coût plus élevé lié aux étiquettes RFID et à l'infrastructure nécessaire. En somme, le choix entre ces deux solutions dépend des besoins en automatisation, en précision et du budget disponible.

Le tableau **I. 1** met en évidence les différences majeures entre les technologies de traçabilité code-barres et RFID.

Tableau I. 2: Comparatif entre le Code-barres et la Technologie RFID [6] [7] [8]

Protocole / Critère	Code-barres	RFID
Mode de lecture	Optique (Ligne de vue)	Radiofréquence (Sans contact visuel)
Vitesse	Relativement lente	Rapide (Lecture simultanée)
Coût	Très faible	Élevé (Tag et infrastructure)
Traçabilité	Limitée	Élevée et précise
Fiabilité	Sensible aux dommages	Plus résistant
Stockage de données	Numérique simple	ID unique + Données
Lecture groupée	Impossible	Possible
Confidentialité	Pas de données sensibles	Suivi potentiel précis
Flexibilité	Limitée	Élevée

I.10. Positionnement de notre solution :

Notre projet se positionne comme une alternative intermédiaire entre les systèmes traditionnels (code-barres, caisses automatiques) et les solutions hautement technologiques et coûteuses (Dash Cart, etc.).

I.10.1. Caractéristiques principales :

- Technologie embarquée simple et robuste : ESP32, lecteur RFID, écran LCD.
- Communication locale par ESP-NOW, sans Internet.
- Double base de données (dans chaque chariot et sur le PC) pour limiter les échanges.
- Mise à jour locale des données au démarrage ou à intervalles programmés.
- Consommation énergétique optimisée, autonomie sur batterie rechargeable.

I.11. Conclusion :

Ce premier chapitre a posé les fondations du projet en analysant en profondeur le contexte d'usage, les difficultés rencontrées dans les supermarchés, ainsi que les solutions actuellement disponibles. Il en ressort que les clients manquent d'une visibilité instantanée sur le montant de leurs achats, tandis que les responsables de magasin sont souvent dépourvus d'outils efficaces pour anticiper et fluidifier les files d'attente en caisse.

L'étude des solutions existantes a mis en évidence les limites des systèmes classiques, peu interactifs, ainsi que le coût élevé et la complexité des solutions avancées, souvent tributaires d'une connexion Internet continue. C'est dans cette optique que notre projet se positionne comme une alternative intermédiaire : accessible, robuste et autonome, basé sur des technologies embarquées Comme l'ESP32 et la RFID, sans nécessiter d'infrastructure lourde.

L'objectif n'est pas de supprimer les caisses traditionnelles, mais de les accompagner intelligemment : fournir au client une information fiable et continue sur ses dépenses, tout en offrant au personnel une meilleure visibilité sur les flux en magasin pour optimiser la gestion.

Le prochain chapitre décrira en détail l'architecture du système, les choix technologiques réalisés, les composants matériels utilisés, ainsi que les protocoles de communication et les stratégies d'alimentation énergétique.

CHAPITRE II :

Chariot intelligent : composants et choix des protocoles

II.1. Introduction :

Les systèmes embarqués sont aujourd'hui une composante essentielle de la technologie moderne, présents dans une multitude d'applications allant des smartphones aux dispositifs médicaux, en passant par les véhicules intelligents. Conçus pour accomplir des tâches spécifiques avec efficacité et fiabilité en temps réel, ces systèmes reposent sur des microcontrôleurs performants. **L'**ESP32 se distingue particulièrement par sa puissance, sa faible consommation énergétique, et ses capacités avancées de communication sans fil, notamment grâce au protocole ESP-NOW, qui permet des échanges rapides de données sans infrastructure réseau complexe. [9]

Dans ce contexte, la technologie RFID (Radio Frequency Identification) joue un rôle fondamental dans l'identification rapide et automatique des produits. Contrairement au code-barres, la RFID ne nécessite pas de ligne de vue directe et permet la lecture simultanée de plusieurs étiquettes, tout en stockant davantage d'informations. Cette technologie se révèle donc particulièrement adaptée aux environnements dynamiques comme celui des chariots intelligents en supermarché.

Ce chapitre présente en détail les choix technologiques, les composants utilisés**,** et leur intégration dans le système proposé. Chaque élément du chariot — lecteur RFID, microcontrôleur ESP32, écran LCD, modules de communication — est étudié sous l'angle de ses fonctionnalités, de son rôle dans le système, et de son interconnexion avec les autres modules. L'objectif est de montrer comment ces composants interagissent pour constituer une solution embarquée fiable, autonome, énergétiquement optimisée, et sans dépendance à Internet. [10]

II.2. Présentation générale de l'architecture matérielle**:**

Come illustre la figure suivante, Le système est composé de trois blocs principaux :

- Des chariots intelligents, embarquant tous les capteurs et interfaces ;
- Une unité centrale ESP32, connecté au PC, qui joue le rôle de récepteur local ;
- Un PC qui supervise et enregistre les données.

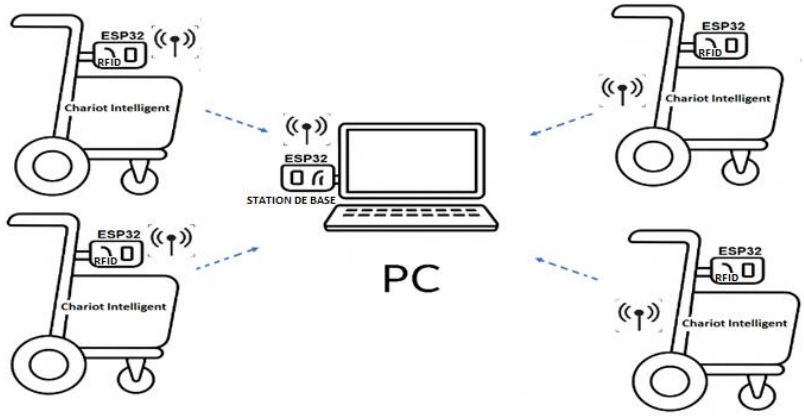


Figure II. 1: Schéma synoptique du system.

II.3. Le MCU ESP32 « ESP32-WROOM-32 » :

ESP32-WROOM-32 est un puissant module MCU générique Wi-Fi+BT+BLE. C'est une série de microcontrôleurs de type système sur une puce (Soc) d'Expressif System, basé sur l'architecture Xtensa LX6 de Tensilica, intégrant la gestion du Wi-Fi et du Bluetooth en mode double, et un DSP. C'est une évolution d'ESP8266. Il est conçu pour l'électronique portable et mobile, et les Applications de l'Internet des objets (IoT). Allant des réseaux de capteurs bas puissance aux tâches les plus exigeantes, telles que l'encodage de la voix, la diffusion de musique en continu et le décodage MP3. Au cœur de ce module se trouve la puce ESP32-D0WDQ6*.

La puce intégrée est conçue pour être évolutive et adaptative. Il y a deux cœurs de CPU qui peuvent être contrôlés individuellement, et la fréquence d'horloge de CPU est réglable de 80 MHz à 240 MHz. L'utilisateur peut également éteindre l'unité centrale et utiliser le coprocesseur à faible consommation d'énergie pour surveiller en permanence les périphériques à la recherche de changements ou de franchissements de seuils. ESP32 intègre un ensemble riche de périphériques, allant de capteurs tactiles capacitifs, capteurs Hall, interface de carte SD, Ethernet, SPI haute vitesse, UART, I^2S et I^2C. [11]

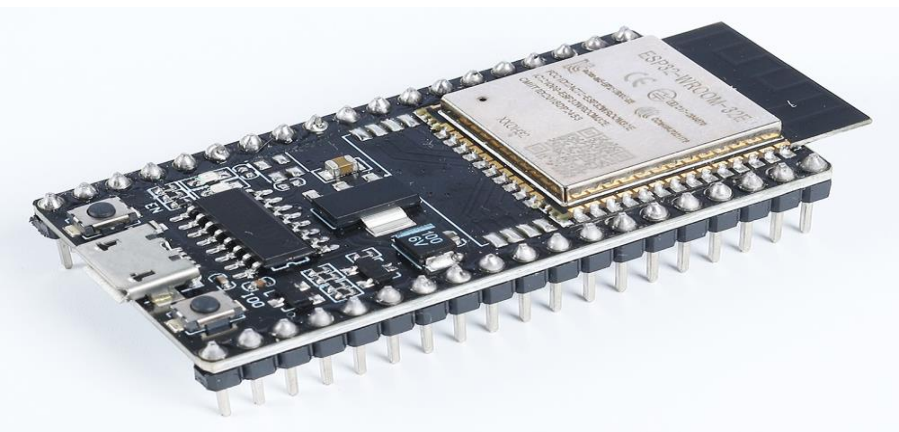


Figure II. 2: ESP32-WROOM-32

II.3.1. Caractéristiques de la carte ESP32 :

Les caractéristiques principales de la carte ESP32 sont les suivantes :

a) Le microcontrôleur :

Utilise un microcontrôleur à processeur à double-cœur Xtensa LX6 32 bits cadencé jusqu'à 240 MHz.

b) La mémoire :

Dispose de mémoire flash entre 4 MB et 16 MB selon les modèles et 520 Ko de RAM pour les instructions et les données.

Les broches d'E/S : Offre 23 Entrées/sorties numériques GPIO, et 18 Entrées/sorties Analogiques GPIO.

c) **Les interfaces :** Possède :

- Une interface à connecteur micro USB (type-C) pour la connexion à un ordinateur et pour l'alimentation externe de 2.2 V à 3.6 V, et des broches d'alimentation 3.3V.
- Bluetooth Low Energy (BLE, BT4.0, Bluetooth Smart) intégré.
- Puce Wifi 2.4 GHz (802.11 b/g/n) avec antenne intégré.

d) **Compatibilité :**

Compatible avec la plupart des Shields Arduino et des accessoires comme mentionné précédemment dans la partie de la carte Arduino.

e) **Les dimensions :**

Ses dimensions sont d'environ 51 mm x 25.4 mm

f) **Logiciel de programmation** :

Programmable avec le logiciel Arduino IDE, compatible avec les systèmes D'exploitation Windows, MacOs et Linux.

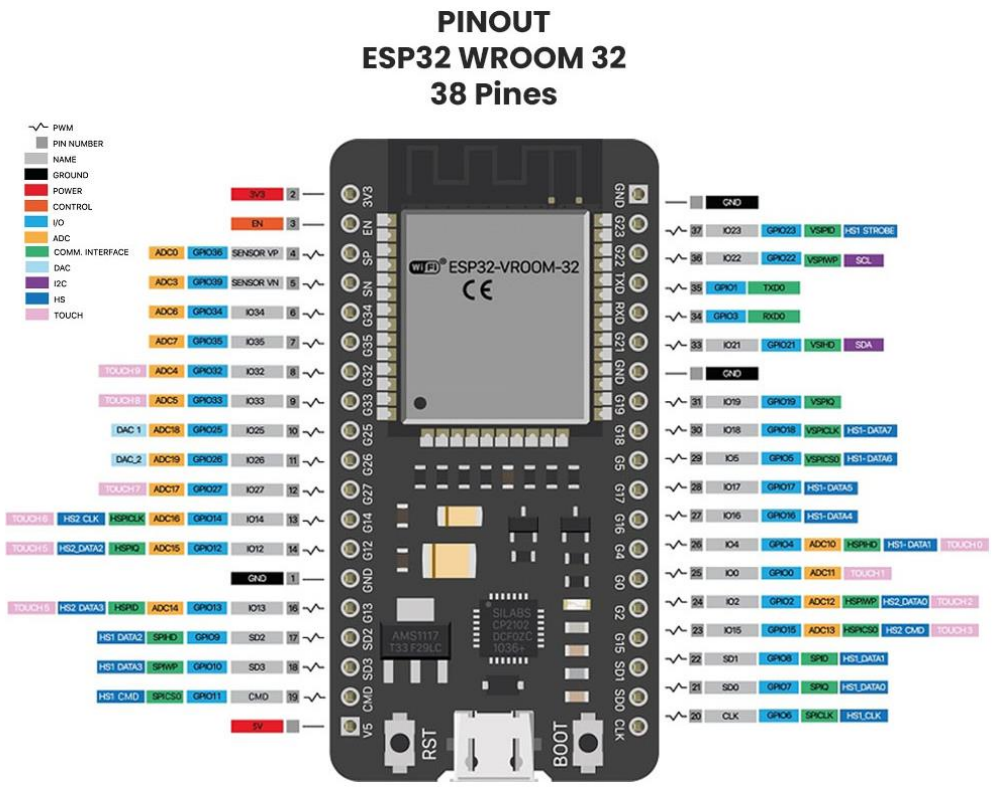


Figure II. 3: ESP32-WROOM-32

II.3.2. Domaines d'applications de la carte ESP32 :

La figure suivante illustre les multiples domaines d'application du module ESP32, un microcontrôleur doté de connectivité Wi-Fi et Bluetooth. Grâce à sa polyvalence, sa faible consommation énergétique et sa capacité à communiquer sans fil, l'ESP32 est au cœur de nombreuses solutions intelligentes. Il est utilisé dans des secteurs variés tels que les villes intelligentes, les véhicules connectés, les réseaux intelligents, la santé, l'agriculture, la logistique, l'industrie, et les maisons intelligentes. Ce schéma met en évidence le rôle central de l'ESP32 dans l'Internet des objets (IoT) et son intégration dans des systèmes automatisés et interconnectés. [12]

II.3.3. Choix de l'ESP32 :

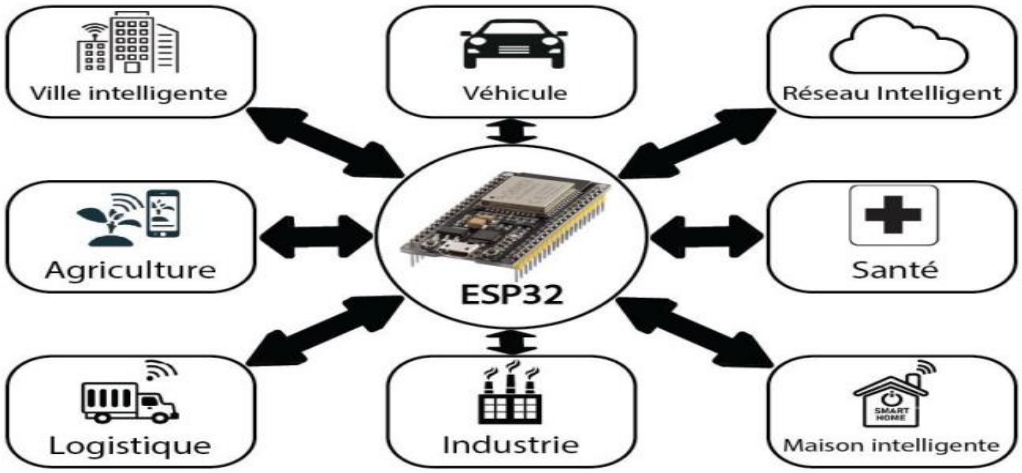


Figure II. 4: domaines d'application de la carte esp 32

Le microcontrôleur ESP32 a été choisi pour ce projet en raison de ses performances élevées, de sa faible consommation énergétique et de sa grande polyvalence. Intégrant à la fois le Wi-Fi, le Bluetooth Low Energy (BLE) et surtout le protocole ESP-NOW, il permet une communication directe entre appareils sans nécessiter d'infrastructure réseau, ce qui est idéal pour une solution mobile et autonome comme le chariot intelligent. Doté d'un processeur double cœur cadencé jusqu'à 240 MHz, l'ESP32 est capable de gérer efficacement plusieurs tâches en temps réel, tout en offrant de nombreuses interfaces de communication (SPI, I2C, UART, ADC, etc.), facilitant ainsi l'intégration de capteurs et périphériques tels que le lecteur RFID, l'écran LCD et le clavier. Compact, économique et largement documenté, l'ESP32 constitue donc une plateforme idéale pour développer un système embarqué fiable, évolutif et à faible coût.

II.4. Les technologies RFID :

La RFID (Radio Frequency Identification) est une technologie de communication sans fil utilisée pour capturer des données, qui peuvent être liées à différents attributs d'identification (numéro de série, position, couleur, date d'achat, etc.) d'entités portant des étiquettes RFID (tags).

Le processus de collecte des données est basé sur un échange d'ondes électromagnétiques entre les étiquettes RFID et les interrogateurs RFID (lecteurs).

Cette technologie d'identification automatique et de capture de données est capable de fournir une plus grande granularité d'étiquetage par rapport aux codes à barres et aux technologies Auto-ID précédentes. Par exemple, avec la RFID, il est possible d'attribuer des codes d'identification différents pour des articles similaires, et différents niveaux d'identification permettant une

meilleure visibilité et une meilleure traçabilité dans les processus logistiques et de fabrication. Au cours des cinq dernières années, plusieurs groupes (économiques, sociaux, militaires, sanitaires et politiques) ont pris conscience du potentiel d'innovation et d'amélioration de l'efficacité de leurs processus grâce à la technologie RFID. Les étiquettes RFID sont de plus en plus utilisées et leurs performances de communication, ainsi que leur niveau de normalisation, sont continuellement améliorés. [13]

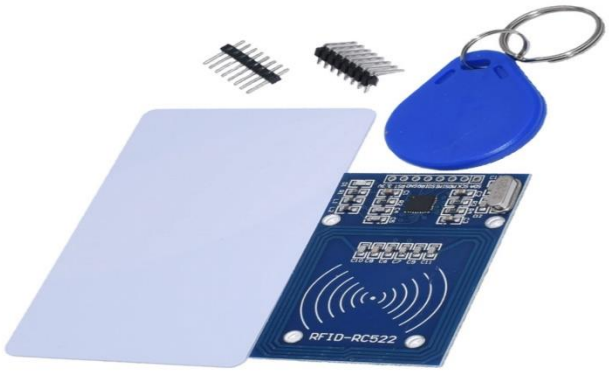


Figure II. 5: une carte RFID

II.4.1 Les type de RFID:

1. Étiquette/transpondeur (étiquette électronique) :

Une étiquette RFID est un petit appareil électronique également appelé transpondeur. L'étiquette se compose d'une simple puce en silicium et d'une antenne. La balise peut être attachée à un objet, généralement un élément, une boîte. Les informations sont collectées par puce et peuvent être transmises sans fil. L'étiquette RFID peut être active (avec batteries), passive (sans batteries) et semi-passive (hybride). L'étiquette possède un code d'identification qui peut être transmis vers le lecteur. Voici dans la (Figure II.6) quelques différents types des étiquettes RFID :[14]



Figure II. 6: différents types des étiquettes RFID

2. Antenne (support pour la lecture d'étiquettes) :

Les antennes RFID sont utilisées pour collecter des informations sur n'importe quel élément. Il existe de nombreux types d'antenne RFID comme les antennes patch, les antennes polarisées linéaires, les antennes bâton et les antennes adaptatives, les antennes grille et les antennes omnidirectionnelles. Les types d'antenne RFID sont illustrés à la figure Figure II.6.

Selon les chercheurs, une antenne RFID doit satisfaire aux exigences suivantes : (i) sa taille doit être petite, (ii) doit avoir une couverture omnidirectionnelle ou hémisphérique, (iii) doit fournir le signal maximum possible à la puce électronique, (iv) être robuste et (v) être très bon marché. Le concepteur d'antennes fabrique d'abord une antenne connue puis modifie ses paramètres physiques pour obtenir une bande passante optimale.

Ces dernières années, des chercheurs se sont penchés sur la conception d'antennes à polarisation circulaire. [14]

3. Lecteur/Interrogateur (lire les informations de l'étiquette) :

Le lecteur parfois appelé interrogateur ou scanner envoie et reçoit des données RF vers et depuis l'étiquette via des antennes. Un lecteur peut avoir plusieurs antennes chargées d'envoyer et de recevoir des ondes radio. Le lecteur informe le système de traitement des données de la présence d'un élément étiqueté. Il se compose de trois parties principales : la section de contrôle, l'interface haute fréquence et l'antenne. La portée de lecture du lecteur est affectée par un certain nombre de facteurs. Le gain d'antenne, la fréquence utilisée, l'orientation de l'antenne affecteront la portée de lecture.



Figure II. 7: les diffèrent types de lecteurs

II.4.2. Choix du lecteur RFID RC522:

Dans le cadre du développement du système de chariot intelligent, le lecteur RFID RC522 a été choisi comme solution pratique et économique, parfaitement compatible avec le module ESP32. Ce lecteur est conforme à la norme ISO/IEC 14443 A et prend en charge la lecture des cartes MIFARE à une fréquence de 13,56 MHz, couramment utilisée dans les applications commerciales.

Le choix du RC522 repose sur plusieurs critères :

- Faible coût, ce qui le rend adapté à une application à grande échelle dans des environnements à budget limité, comme les supermarchés.
- Faible consommation énergétique**,** essentielle pour un système alimenté par une batterie rechargeable.
- Facilité d'intégration avec l'ESP32 via le protocole SPI, permettant une lecture rapide des UIDs avec un temps de réponse réduit.
- Disponibilité de bibliothèques logicielles et un large support communautaire**,** ce qui a facilité les phases de programmation et de tests.

Bien que sa portée de lecture soit limitée (environ 5 cm), cela ne constitue pas un inconvénient dans notre projet, car la carte est scannée volontairement à proximité immédiate du lecteur. Ainsi, le RC522 représente un choix judicieux et équilibré en termes de performance, de coût et d'efficacité énergétique. [14]

II.5. Technologies de communication sans fil:

Un élément central de tout système embarqué est le choix du protocole de communication. Celui-ci doit assurer :

- Une fiabilité des échanges entre les modules ;
- Une faible consommation d'énergie ;
- Une simplicité de déploiement sans infrastructure complexe.

II.5.1. Le Wi-Fi et le BLE (Bluetooth Low Energy):

- **Wi-Fi :** haut débit mais énergivore, nécessite une infrastructure (routeur).



Figure II. 8: Wi-Fi

- **Bluetooth :** basse consommation mais débit limité, faible portée.



Figure II. 9: Bluetooth

Ces deux technologies sont efficaces dans certains cas mais peuvent s'avérer sous-optimales pour un système mobile sur batterie, devant fonctionner sans réseau Internet.

II.5.2. ESP-NOW : le protocole choisi :

ESP-NOW est un protocole de communication sans fil, développé par la société **Espressif**, qui permet la transmission de données entre plusieurs dispositifs ESP32 (et ESP8266) sans passer par un point d'accès Wi-Fi traditionnel. Il repose sur un modèle de communication pair-à-pair (peer-to-peer) et ne nécessite pas de connexion préalable à un réseau Wi-Fi, ce qui le rend idéal pour les applications embarquées et l'Internet des Objets (IoT). [4]



Figure II. 10: Protocol ESP-NOW

Le protocole ESP-NOW, développé par Espressif, est une solution de communication sans fil innovante, parfaitement adaptée aux systèmes embarqués nécessitant des échanges rapides, fiables et à faible consommation énergétique, sans dépendre d'une infrastructure Wi-Fi classique. [4]

a) Caractéristiques fonctionnelles :

- Communication sans infrastructure : permet à plusieurs dispositifs ESP32 de communiquer directement entre eux, sans avoir recours à un routeur ou point d'accès Wi-Fi, ce qui simplifie l'architecture du système.
- Faible latence : avec un temps de transmission d'environ 2 millisecondes, ce protocole est idéal pour les systèmes réactifs qui nécessitent des échanges quasi instantanés.
- Faible consommation d'énergie : conçu pour les appareils alimentés par batterie, ESP-NOW optimise la consommation d'énergie pour prolonger l'autonomie des dispositifs.
- Transmission sans connexion permanente : en tant que protocole "connectionless", il n'a pas besoin d'établissement de session ou de liaison constante, ce qui réduit les coûts énergétiques et les délais de communication.
- Sécurité renforcée : le chiffrement AES intégré assure la confidentialité et la sécurité des données échangées entre les nœuds.
    - Communication multi-nœuds : un ESP32 peut envoyer des données simultanément à plusieurs destinataires (one-to-many) ou établir des échanges entre plusieurs modules (many-to-many), favorisant une architecture de réseau souple et évolutive.

b) Caractéristiques techniques supplémentaires :

- Connexion point-à-point supportée.
- Échange de paquets de données jusqu'à 250 octets.
- Possibilité de gérer entre 10 et 20 nœuds en parallèle.

- Conception optimisée pour une faible consommation d'énergie**.**

Ce protocole constitue ainsi une solution idéale pour les systèmes autonomes et communicants.[15]

c) <u>Comparaison des protocoles :</u>

Ce tableau met en évidence les principales différences entre les protocoles Wi-Fi, Bluetooth et ESP-NOW en termes de performance, d'efficacité énergétique, de portée et de facilité d'utilisation.

Tableau II. 1: Comparatif des Protocoles de Communication Sans Fil : Wi-Fi, Bluetooth [15]

Critère	Wi-Fi	Bluetooth	ESP-NOW
Consommation d'énergie	Élevée	Très faible à moyenne	Très faible
Facilité d'installation	Relativement simple	Complexe (appairage requis)	Facile et efficace
Vitesse de réponse	Rapide	Moins rapide	Très rapide
Latence	Moyenne à élevée	Moyenne	Très faible (~2 ms)
Nombre d'appareils	Grand nombre (via un réseau local)	Limité (~7 appareils)	Jusqu'à 20 appareils
Portée	Élevée (+100 m)	Faible à moyenne (10–50 m)	Moyenne (≈100 m)
Remarques	Haute consommation, peu adapté aux batteries	Appairage difficile, parfois instable	Pas besoin de Wi-Fi ni d'appairage

Le Wi-Fi est idéal pour les environnements où la bande passante est cruciale et le réseau est déjà établi, mais il est énergivore et moins adapté aux dispositifs sur batterie. Le Bluetooth, quant à lui, est économe en énergie mais limité en portée et en nombre de connexions stables, ce qui le rend moins adapté aux systèmes complexes. Enfin, ESP-NOW, bien que moins connu, se distingue par sa très faible consommation d'énergie, sa latence extrêmement faible, et sa simplicité de mise en œuvre sans réseau centralisé. Il est particulièrement adapté aux projets embarqués ou aux réseaux de capteurs autonomes.

Notre projet repose sur ESP-NOW, qui permet :

- Une communication point-à-point sans routeur.
- Un débit rapide (latence de quelques ms).
- Une faible consommation d'énergie.

- La connexion de plusieurs chariots simultanément à un nœud central.

II.6. Les afficheur LCD, I2C :

L'afficheur LCD (L'afficheur à cristaux liquides), est un appareil qui affiche des caractères tout en consommant relativement peu d'électricité (1-5mA). L'écran LCD utilisé est composé de deux lignes rétroéclairées de 16 caractères reliées par un bus I2C sur Arduino, il permet de réduire le nombre de fils nécessaire au raccordement de 16 à 2. [16]

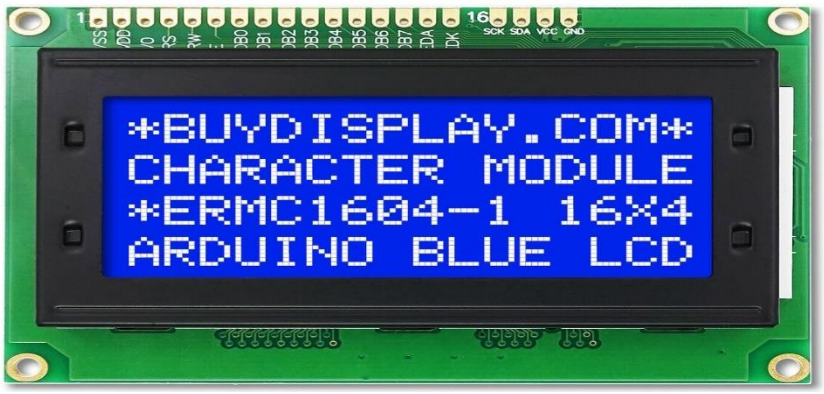


Figure II. 11: Afficheur LCD 16x4

II.6.1. Adaptateur LCD I2C :

Au cœur de l'adaptateur se trouve une puce 8-Bit I/O Expandre - PCF8574. Cette puce convertit les données I2C d'un Arduino en données parallèles requises par l'écran LCD.

La carte est également équipée d'un petit bouton permettant d'ajuster le contraste de l'écran. En outre, il y a un cavalier sur la carte qui alimente le rétro-éclairage. Pour contrôler l'intensité du rétro-éclairage, vous pouvez retirer le cavalier et appliquer une tension externe à la broche du connecteur marquée "LED".

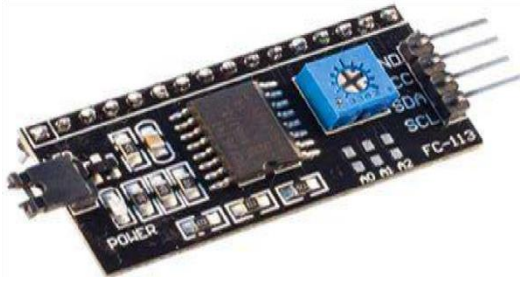


Figure II. 12: Adaptateur LCD I2C.

II.6.2. Brochage d'un afficheur LCD :

- **GND :** est une broche de masse et doit être connectée à la masse de l'Arduino.
- **VCC :** fournit l'alimentation au module et au LCD. Connectez-la à la sortie 5V de l'Arduino ou à une alimentation séparée.
- **SDA :** est une broche de données en série. Cette ligne est utilisée à la fois pour la transmission et la réception. Connectez-la à la broche SDA de l'Arduino.
- **SCL** : est une broche d'horloge série. Il s'agit d'un signal de synchronisation fourni par le dispositif Bus Master. Connectez-le à la broche SCL de l'Arduino. [17]

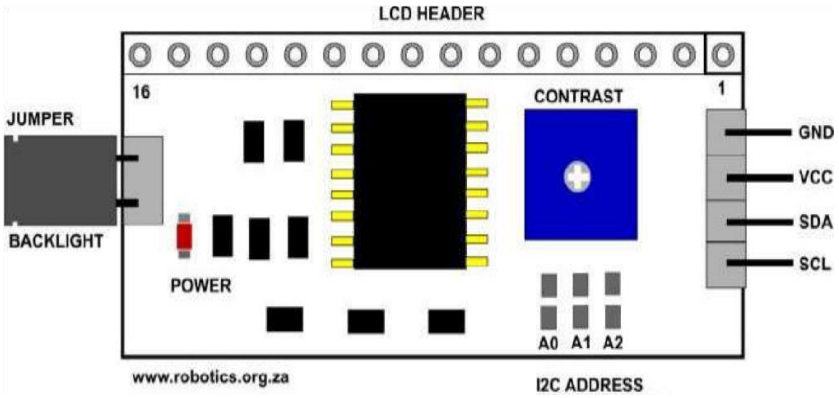


Figure II. 13: Manuel d'utilisation de l'écran LCD I2C.

II.6.3. Raison du choix de LCD 16x4 :

Le choix de l'écran LCD 16x4 pour notre projet s'explique par plusieurs avantages techniques et pratiques. Contrairement au modèle 16x2, l'écran 16x4 offre quatre lignes d'affichage, ce qui permet de présenter simultanément plus d'informations de manière claire et structurée. Cette capacité est particulièrement utile pour notre application, où il est nécessaire d'afficher le nom du produit, son prix, la quantité, ainsi que le total cumulé des achats en temps réel.

De plus, l'écran LCD 16x4 est économique, simple à interfacer avec l'ESP32 via le protocole I2C, et consomme peu d'énergie, ce qui est parfaitement adapté à un système embarqué fonctionnant sur batterie. Sa lisibilité, même dans des environnements lumineux, en fait un choix idéal pour une utilisation dans un chariot intelligent destiné à un supermarché.

II.7. Consommation énergétique :

L'autonomie du chariot est un facteur clé. Chaque composant a été choisi pour sa faible consommation.

Le chapitre suivant abordera la phase de tests, de validation et présentera les résultats expérimentaux obtenus.

Tableau II. 2: : Consommation Électrique Estimée des Composants du Système. [18] [19] [20]

Composant	Consommation estimée
ESP32 (veille)	~0.01 mA
ESP32 (actif)	~80–100 mA
Lecteur RFID	~20–30 mA
Écran LCD (I²C)	~2 mA
Moyenne système	~120 mA en activité

II.8. Conclusion :

Ce chapitre a présenté en détail les composants clés du système de chariot intelligent. L'ESP32 joue le rôle d'un processeur central chargé du traitement, du contrôle et de la communication. Le choix de la technologie RFID permet une identification rapide et fiable des articles. L'écran LCD constitue une interface utilisateur simple mais efficace pour fournir les informations essentielles.

Enfin, l'utilisation du protocole ESP-NOW permet une communication rapide et autonome, sans dépendre d'une infrastructure réseau complexe, ce qui le rend idéal pour un usage en environnement local.

CHAPITRE III :

Mise en œuvre du chariot intelligent : architecture, programmation et résultats

III.1. Introduction :

Le présent chapitre décrit en détail la phase de mise en œuvre du chariot intelligent, en s'appuyant sur l'architecture matérielle et logicielle développée précédemment. Il expose les choix technologiques adoptés, les étapes de programmation du microcontrôleur ESP32, ainsi que l'intégration des différents modules (lecteur RFID, écran LCD, protocole ESP-NOW). Cette partie présente également les procédures de test, les résultats expérimentaux obtenus et les ajustements réalisés pour améliorer les performances du système. L'objectif est de démontrer la faisabilité du projet dans un environnement réel et d'évaluer son efficacité en termes de réactivité, d'autonomie énergétique et d'expérience utilisateur.

III.2 Les principales étapes du projet :

1. **Première étape : Recherche et analyse :**

Nous avons commencé par une étude approfondie du problème des longues files d'attente aux caisses des supermarchés. L'analyse des causes et des solutions traditionnelles nous a permis de fixer des objectifs clairs et de proposer une première architecture du système intelligent.

2. **Deuxième étape : Choix des composants et définition de l'architecture :**

Nous avons rencontré des difficultés dans le choix des composants électroniques compatibles tels que le lecteur RFID, l'écran LCD et le module ESP32. Après plusieurs essais, nous avons opté pour l'ESP32 pour ses capacités de communication (Wi-Fi, Bluetooth, ESP-NOW), le lecteur RFID-RC522 et un écran LCD I2C pour faciliter l'intégration.

3. **Troisième étape : Conception et programmation du système :**

Nous avons commencé par développer un code pour lire l'UID depuis une carte RFID, puis l'envoyer à un autre ESP32 via ESP-NOW. La synchronisation des données posait problème, que nous avons résolu en ajustant la séquence d'envoi/réception et les délais.

4. **Quatrième étape : Communication avec l'ordinateur et traitement des données :**

Nous avons connecté l'ESP32 récepteur à un ordinateur via USB afin d'échanger les données avec un programme Python. Malgré quelques soucis initiaux liés à la communication série, nous avons réussi à établir un protocole efficace pour envoyer l'UID et recevoir les informations depuis un fichier CSV.

5. **Cinquième étape : Interaction avec l'utilisateur (LCD, quantités, facture)**

Nous avons conçu une interface d'affichage conviviale, divisée en quatre lignes : nom et prix du produit, quantité, nombre total d'articles, et montant de la facture. Cette étape a nécessité une gestion rigoureuse de la mémoire et de l'actualisation de l'affichage.

III.3. Autres difficultés techniques :

- Fournir une alimentation électrique stable et portable pour le chariot.
- Éviter les interférences RFID dans l'environnement du supermarché.
- Réduire la consommation énergétique pour prolonger l'autonomie.
- Gérer la mémoire de l'ESP32 face aux données dynamiques.

III.3.1. Solutions adoptées :

- Répartition des tâches selon les spécialités (programmation, conception, assemblage...).
- Adoption du protocole ESP-NOW pour une communication sans internet.
- Utilisation de fichiers CSV au lieu de bases de données complexes.
- Utilisation de bibliothèques stables pour la gestion de l'écran et du RFID.
    - Test de chaque module séparément avant l'intégration finale.

III.4. Développement d'un Chariot Intelligent : Étapes, Défis et Solutions Techniques :

III.4.1. Test de la connexion entre le lecteur RFID et l'ESP32 :

Au début de la phase d'implémentation du projet, notre premier essai pratique consistait à établir une connexion fonctionnelle entre le lecteur RFID RC522 et le microcontrôleur ESP32. Cette étape était cruciale, car l'ensemble du système de reconnaissance des produits repose sur cette communication.

Nous avons commencé par connecter les broches SPI du module RFID aux ports correspondants de l'ESP32, tout en veillant à une alimentation correcte en reliant les broches VCC et GND. Ensuite, nous avons utilisé la bibliothèque "MFRC522" compatible avec Arduino pour gérer ce type de lecteur, et nous avons rédigé un programme simple permettant de lire l'UID de chaque carte RFID.

Après avoir ajusté le circuit et installé correctement la bibliothèque, nous avons réussi à lire l'UID de chaque carte passée devant le lecteur.

Cette phase représente le premier test réel du projet et nous a donné la certitude que le système pouvait identifier les produits de manière fiable grâce à la technologie RFID.

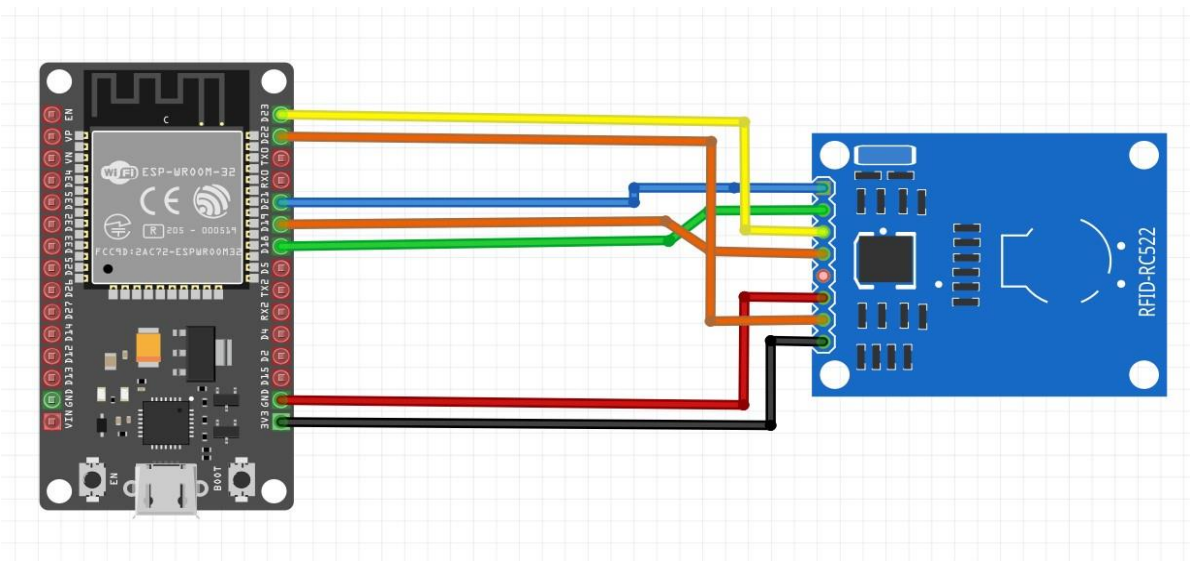


Figure III. 1: Schéma de câblage : ESP32 et lecteur RFID RC522

III.4.2. Connexion entre deux modules ESP32

Après avoir validé le bon fonctionnement du lecteur RFID avec l'ESP32, nous sommes passés à la deuxième étape du projet : établir une communication entre deux modules ESP32 afin qu'ils puissent échanger des données. Cette étape est essentielle, car l'un des modules lit les cartes RFID tandis que l'autre traite les informations et communique avec l'ordinateur ou la base de données.

Dans un premier temps, nous avons tenté d'utiliser la technologie Bluetooth Classique pour connecter les deux ESP32. Cependant, nous avons rapidement été confrontés à plusieurs difficultés.

L'établissement d'une connexion bidirectionnelle via Bluetooth entre deux ESP32 s'est avéré complexe, nécessitant une configuration technique avancée et une gestion soignée des échanges de données. De plus, le processus d'appairage est relativement lent et peut introduire des délais indésirables.

Comme solution alternative, nous avons expérimenté la connexion de l'un des ESP32 à l'ordinateur via WIFI, en utilisant ce dernier comme relais de communication. Bien que cette méthode fût plus simple à implémenter, elle s'est révélée peu adaptée à notre projet mobile en raison de sa consommation énergétique excessive**,** incompatible avec une autonomie limitée.

Finalement, après avoir exploré différentes options, Le professeur nous a proposé le protocole ESP-NOW, développé par Espressif. Il s'agit d'une méthode de communication sans fil permettant aux modules ESP32 d'échanger des données directement, sans nécessiter de réseau Wi-Fi ni d'appairage préalable. Après des essais concluants, nous avons jugé cette technologie parfaitement adaptée à notre projet : elle est rapide, fiable, économe en énergie et ne requiert ni matériel

additionnel ni configuration compliquée.

Grâce à l'adoption d'ESP-NOW, nous avons pu établir une liaison stable et efficace entre les deux modules ESP32, marquant ainsi une avancée décisive dans le développement du système.



Figure III. 2 : Connexion entre deux modules ESP32

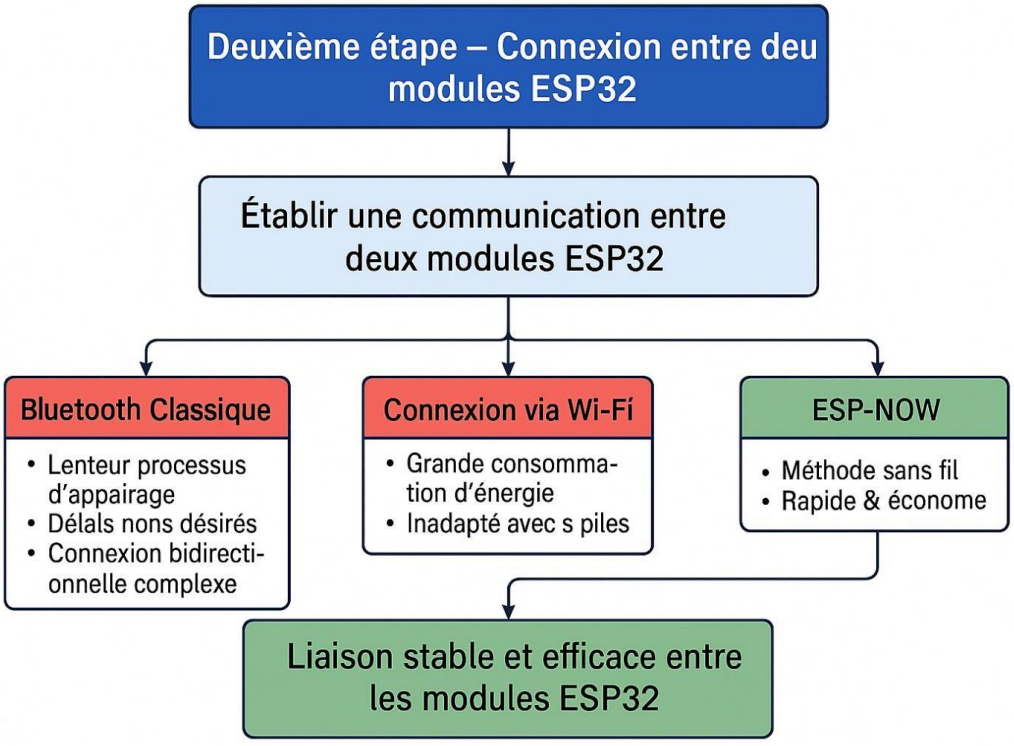


Figure III. 3 : Connexion entre deux modules ESP32

III.4.3. Test de communication entre deux ESP32 avec le lecteur RFID :

Après avoir établi la connexion entre un module ESP32 et le lecteur RFID, puis réussi la communication entre deux ESP32 via le protocole ESP-NOW, nous avons entamé la troisième étape essentielle du projet est tester l'envoi de l'UID d'une carte RFID depuis le premier ESP32

vers le second.

Dans ce test, le premier module ESP32 était connecté au lecteur RFID (RC522), chargé de lire l'UID de chaque carte présentée. Le second module ESP32, quant à lui, était programmé pour recevoir ces données via ESP-NOW.

Cette phase nous a posé plusieurs difficultés, notamment l'incompatibilité entre certaines bibliothèques selon les versions de l'environnement Arduino et des cartes ESP32. Nous avons également constaté des problèmes d'instabilité et des retards dans la réception des données, ce qui a nécessité beaucoup de temps pour identifier et corriger les erreurs.

Après de nombreux ajustements du code et des essais de versions différentes des bibliothèques (en particulier MFRC522 et ESP-NOW), nous avons finalement réussi à obtenir une communication fluide.

Nous avons pu vérifier le bon fonctionnement de l'envoi et de la réception à travers le moniteur série (Serial Monitor) d'Arduino, où l'UID était bien transmis par le premier ESP32 et immédiatement affiché par le second.

Cette étape a représenté un jalon fondamental dans la structuration du système, validant la faisabilité technique du transfert des données RFID vers le module de traitement.

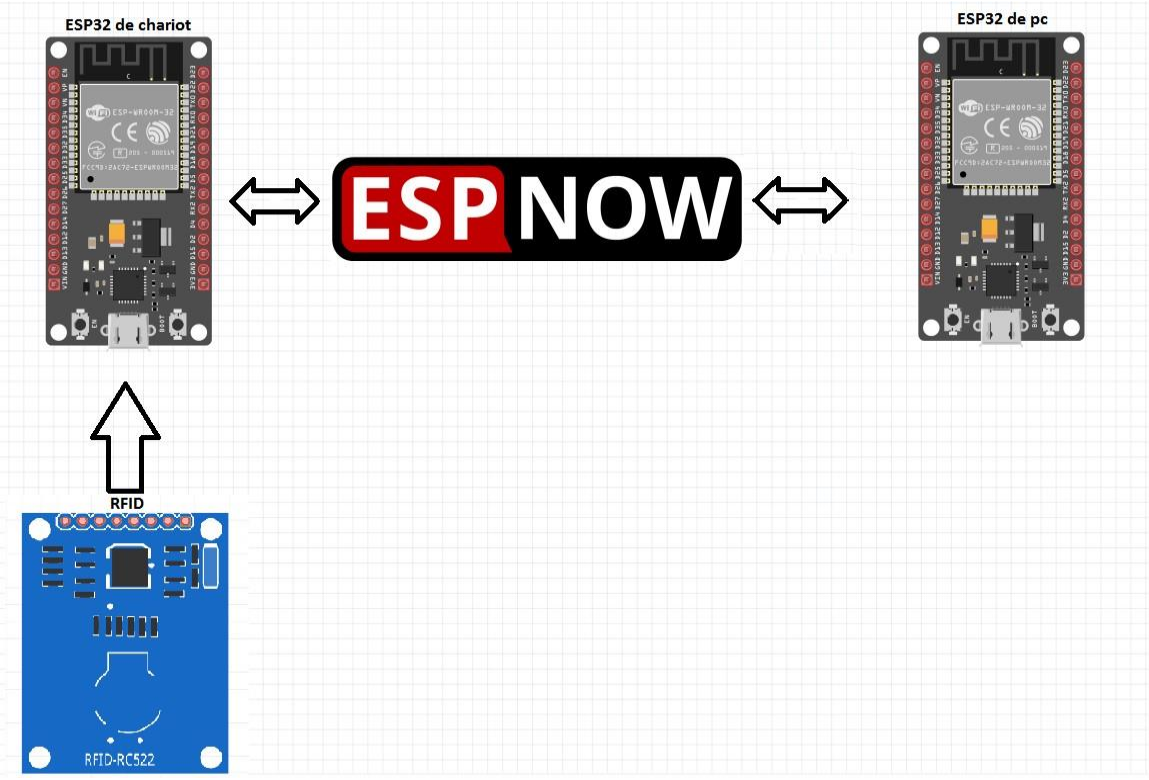


Figure III. 4: communication entre deux ESP32 avec le lecteur RFID

III.4.4. Intégration d'un écran LCD 16x2 pour l'affichage des messages :

Après avoir validé la transmission et la réception de l'UID entre les deux modules ESP32, nous sommes passés à la quatrième étape du projet, qui consistait à ajouter un écran LCD 16x2 au système, afin d'afficher en temps réel les informations utiles à l'utilisateur.

L'écran a été connecté au premier module ESP32 (celui équipé du lecteur RFID), en utilisant l'interface I2C, ce qui nous a permis de réduire le nombre de fils et de simplifier le câblage. Ce choix a facilité l'implémentation tout en réduisant les risques d'erreurs techniques.

Nous avons programmé l'ESP32 pour qu'il affiche sur l'écran les messages dès qu'une carte RFID est détectée. L'écran montre le nom du produit, son prix**,** et dans les étapes suivantes, la quantité, le nombre d'articles, et le total de la facture**.**

Nous avons rencontré quelques défis liés à la compatibilité de la bibliothèque LCD avec notre carte ESP32, mais nous avons pu les surmonter en sélectionnant une bibliothèque fiable et adaptée.

L'ajout de l'écran LCD a apporté une dimension interactive au système, améliorant considérablement l'expérience utilisateur et rendant la communication avec la "chariot intelligent" plus fluide et intuitive.

III.4.5. Amélioration de l'affichage et de l'interaction :

Dans cette étape, nous avons travaillé sur l'optimisation de l'affichage et du contrôle du chariot intelligent afin de le rendre plus fluide, à la fois pour l'utilisateur final et pour l'agent responsable.

Les Principales améliorations apportées sont :

- **Remplacement de l'écran LCD 16x2 par un LCD 16x4 :**

Après plusieurs tests, nous avons constaté que l'écran LCD 16x2 ne permettait pas d'afficher toutes les informations nécessaires de manière claire.

Nous avons donc remplacé cet écran par un **LCD 16x4**, capable d'afficher :

- Ligne 1 : Nom du produit et son prix et le niveau de la batterie.
- Ligne 2 : Quantité actuelle.
- Ligne 3 : Nombre total de produits différents.
- Ligne 4 : Total de la facture.

Ce changement a permis une lecture plus complète et immédiate des informations par l'utilisateur.



Figure III. 5 : écran d'un LCD 16x4

- **<u>Ajout de deux boutons fonctionnels :</u>**

- Premier bouton (Réinitialisation du système) : Ce bouton est destiné à l'agent. Lorsqu'il est pressé, il **réinitialise le chariot** : toutes les données sont effacées et le système revient à son **état initial**, prêt pour une nouvelle utilisation.

-Deuxième bouton (Suppression de produit) :

Ce bouton sert à supprimer un produit spécifique. Le fonctionnement est simple :

- Si l'utilisateur maintient le bouton appuyé et scanne un produit, ce dernier est automatiquement retiré de la liste**.**
- Dès que le bouton est relâché, le système revient à son comportement normal**,** et le passage de la carte est interprété comme une nouvelle addition.

Les Résultats obtenus sont :

- Contrôle plus intuitif du système, sans recours à un ordinateur.
- Possibilité de corriger facilement les erreurs d'entrée.
- Gestion efficace de la session d'achat.

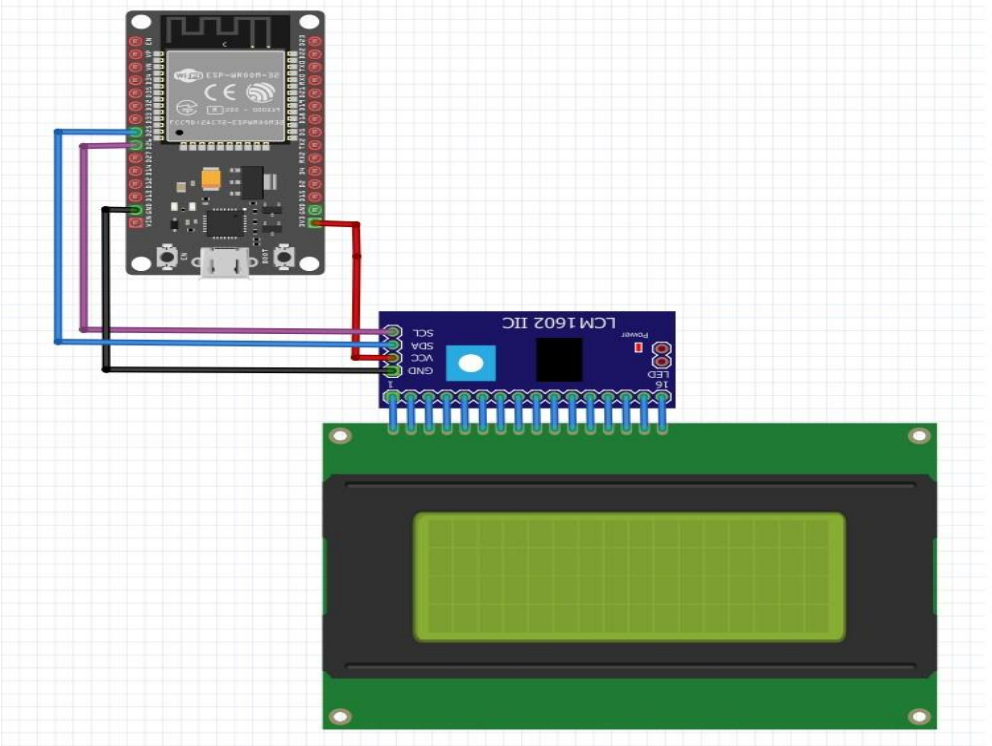


Figure III. 6: Schéma de câblage : ESP32, LCD 16X4 et I2C

III.4.6. Système de surveillance du niveau de la batterie

Étant donné que le chariot intelligent fonctionne à l'aide d'une batterie rechargeable, nous avons intégré un système de surveillance de l'état de la batterie à deux niveaux : au niveau du chariot lui-même et au niveau de l'interface de l'agent superviseur. Sur le chariot, l'état de la batterie est représenté par une icône simple indiquant visuellement le niveau de charge restant, ce qui permet au client d'avoir une idée rapide sans complexité. En revanche, sur l'interface de l'agent, le pourcentage exact de charge est affiché, offrant ainsi une visibilité précise et permettant une intervention rapide en cas de besoin.

Ce choix vise à éviter les situations où le chariot s'éteindrait soudainement pendant son utilisation, ce qui pourrait perturber l'expérience du client ou entraîner une perte de données. Ce système permet donc d'assurer une continuité de service et une efficacité optimale au sein du magasin.



Figure III. 7: niveau de la batterie

III.4.7. Développement d'une interface PC intelligente pour la réception des données du chariot :

Au cours de cette étape, une interface graphique interactive a été développée sur ordinateur en utilisant le langage Python, afin d'afficher les informations des produits et l'état de la batterie envoyées par les chariots intelligents via le port série **(**USB**).** Ce système permet une supervision en temps réel du contenu et de l'état de chaque chariot.

a. Fonctions du module ESP32 embarqué :

- Lecture de l'UID du produit à l'aide du lecteur **RFID**.
- Recherche locale du nom et du prix du produit dans un fichier **CSV** stocké sur la mémoire interne via **SPIFFS**.
- Envoi d'une chaîne de données au format suivant : <MAC_CART> ;< Product Name> ;< Price> ;< Battery Level> **Avec :**

- <MAC_CART> : adresse MAC du chariot.
- <Product Name> : nom du produit.
- <Price> : prix du produit.
- < Battery Level> : niveau de charge de la batterie.

b. Fonctions de l'interface PC :

L'interface a été développée à l'aide des bibliothèques suivantes :

- **pyserial** : pour lire les données du port série.
- **customtkinter** : pour une interface moderne et intuitive.

c. Fonctionnement :

- Réception et analyse automatique de chaque ligne de données.
- Extraction des informations (nom, prix, batterie).
- Affichage des produits pour chaque chariot identifié par son MAC.
- Indication visuelle du niveau de batterie à côté de chaque chariot.

d. Prise en charge de plusieurs chariots :

- Chaque chariot envoie ses données avec une adresse MAC unique.
- Le système traite chaque chariot indépendamment et affiche ses données de manière structurée.
- Cette architecture permet de superviser un nombre illimité de chariots simultanément.

Pourquoi ce choix est-il important ?

- Il permet de suivre facilement les achats réalisés par chaque chariot.
- Il offre un moyen efficace de surveiller l'état de la batterie et d'anticiper les besoins de recharge. Il rend le système plus interactif, évolutif et adapté aux magasins intelligents de demain.

III.4.8. Transmission des données du PC vers les chariots via le protocole ESP-NOW :

Lors de cette phase, nous avons développé un mécanisme de communication efficace entre l'ordinateur et les chariots intelligents, en utilisant le protocole **ESP-NOW**, qui permet une connexion directe entre les modules **ESP32** sans nécessiter de réseau Wi-Fi traditionnel. Ce système permet l'envoi de commandes individuelles ou collectives, en temps réel, vers les chariots.

Rôle de l'ordinateur est :

L'interface graphique inclut des outils de contrôle permettant :

- D'envoyer des commandes telles que **"Reset"** pour vider le panier.
- D'appliquer des remises ou des paramètres spécifiques selon les besoins.

Lorsqu'une commande est activée, un message texte est généré selon le format suivant : <MAC_CART> ;<Command Type> ;<Command Value>

Exemple : :

A4:CF:12:34:56:78;RESET;0

Ce message est transmis via **USB** au module ESP32 intermédiaire connecté à l'ordinateur, qui le relaye ensuite au chariot concerné via ESP-NOW.

Le Rôle du module ESP32 intermédiaire est :

- Il reçoit les données depuis le port série (**Serial**) de l'ordinateur.
- Il analyse la ligne reçue pour extraire l'adresse MAC, le type de commande et sa valeur.
- Il transmet la commande via **ESP-NOW** vers le chariot cible.

Réaction du chariot à la réception :

- Le chariot reçoit la commande via ESP-NOW et identifie son origine.
- Il interprète le type d'ordre et exécute l'action correspondante :
  - **"RESET"** : réinitialisation de la liste des produits.
  - **"DISCOUNT"** : application d'une remise sur le montant total.
  - Et d'autres commandes personnalisables selon les besoins du système.

Cette solution est essentielle pour :

- Elle assure une **communication bidirectionnelle** entre le système central et les chariots.
- Elle permet l'envoi rapide et ciblé de commandes sans infrastructure réseau complexe.
- Elle facilite la **gestion centralisée** et l'**évolution dynamique** du système dans un environnement de commerce intelligent.

III.4.9. Stockage de la base de données et interface graphique :

Dans cette étape, nous avons optimisé la gestion de la base de données des produits et facilité

sa mise à jour sur tous les chariots intelligents.

- Stockage local sur le chariot

La base de données des produits, sous forme de fichier CSV, est stockée dans la mémoire de l'ESP32 grâce au système de fichiers SPIFFS. Cela permet au chariot de traiter les produits localement sans solliciter l'ordinateur, ce qui réduit les délais et les communications.

- **Interface graphique avancée en Python**

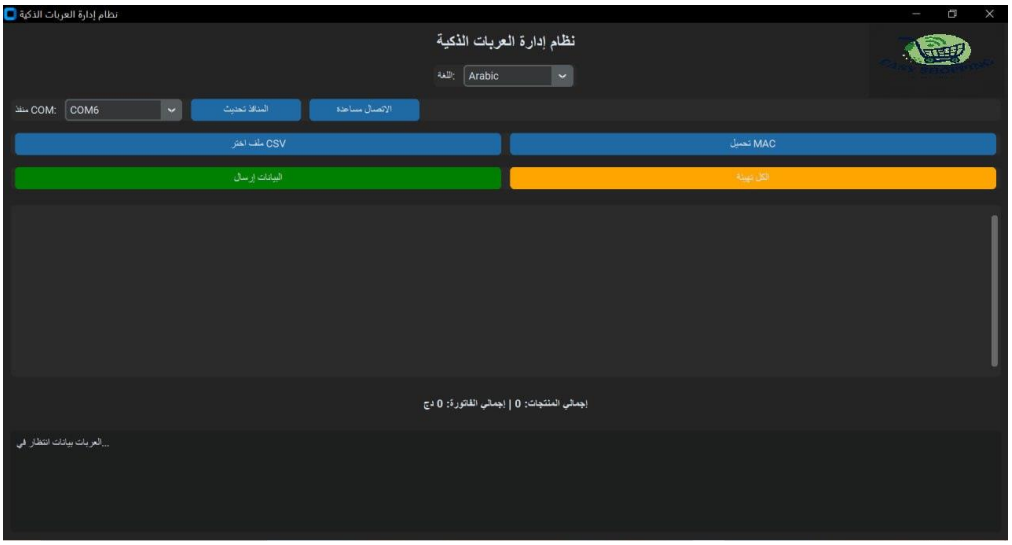


Figure III. 8: Interface graphique avancée en Python

Une interface graphique GUI en Python a été développée pour une gestion complète et centralisée des chariots. Elle offre les fonctionnalités suivantes :

- **1 : Connexion série Bouton :**

Port COM : Sélection du port série (COM) auquel l'ESP32 est connecté.

Bouton Lancer la mise à jour : Rafraîchir la liste des ports disponibles pour détecter les nouvelles connexions.

Bouton Connexion assistée : Établir la communication série avec le module ESP32.

- **2 : Chargement des fichiers :**

Bouton Choisir un fichier CSV : Description : Permet de sélectionner un fichier CSV contenant les données des produits (UID, nom, prix).

Bouton Charger les adresses MAC : Importer les adresses MAC des chariots intelligents pour les identifier plus facilement.

- **3 : Gestion des données :**

Bouton Envoyer les données : Transférer les données (comme le fichier CSV) vers le module ESP32 via la communication série.

Bouton Réinitialiser tout : Description : Effacer toutes les données actuelles et réinitialiser le système à l'état initial.

Barre d'état : Affiche un message d'attente tel que « Les chariots attendent les données… »

Zone de résumé : Affiche le nombre total de produits, le nombre de factures, et le montant total en dinars.

Cette étape a permis de franchir un cap important vers un système plus autonome, rapide et contrôlable à distance, tout en garantissant une synchronisation efficace des données.

III.4.10. Motivations de l'ajout du buzzer :

Un buzzer piézoélectrique a été ajouté au système comme moyen de signalisation sonore afin d'améliorer l'expérience utilisateur et de renforcer l'interaction avec le chariot intelligent. Bien que le système affiche des informations sur l'écran LCD, ces signaux visuels peuvent ne pas être suffisants dans des environnements bruyants ou lorsque l'utilisateur n'est pas attentif à l'affichage.

- Avertir l'utilisateur lors du passage d'une carte RFID, que ce soit une reconnaissance réussie ou une erreur.
- Confirmer les actions comme l'ajout ou la suppression d'un produit, ou encore l'envoi de la facture.
- Signaler les erreurs possibles, telles que l'utilisation d'une carte non enregistrée ou une double lecture accidentelle.
- Faciliter l'utilisation pour les personnes âgées ou malvoyantes, qui peuvent ne pas remarquer les messages affichés à l'écran.

Cet ajout contribue à une interaction plus fluide et intuitive avec le système, en cohérence avec les objectifs du projet visant à offrir une solution de chariot intelligent simple, rapide et accessible.

III.5 Bibliothèques logicielles utilisées :

Dans ce projet, plusieurs bibliothèques logicielles ont été intégrées afin de permettre le bon fonctionnement du système de chariot intelligent. Voici une brève description du rôle de chaque bibliothèque :

- **SPI.h :** Permet d'activer le protocole de communication SPI, utilisé notamment pour le lecteur RFID MFRC522.

- **MFRC522.h :** Fournit une interface de contrôle du lecteur de cartes RFID MFRC522, permettant la lecture et la gestion des UID des cartes.
- **Wire.h :** Active la communication via le protocole I2C, nécessaire pour l'écran LCD.
- **LiquidCrystal_I2C.h :** Permet de contrôler un écran LCD 16x2 ou 16x4 via I2C afin d'afficher des informations à l'utilisateur.
- **WiFi.h :** Configure la connexion sans fil de l'ESP32 et est indispensable pour l'accès au protocole ESP-NOW.
- **esp_now.h :** Une bibliothèque intégrée qui permet la communication directe entre modules ESP32 via le protocole ESP-NOW, sans avoir besoin d'un réseau Wi-Fi.
- **FS.h :** Fournit une interface générique pour manipuler les systèmes de fichiers dans l'ESP32.
- **SPIFFS.h :** Permet l'utilisation du système de fichiers SPIFFS, qui stocke les données (comme les fichiers CSV) dans la mémoire flash interne.
- **vector** : Une bibliothèque de la STL en C++ utilisée pour manipuler des tableaux dynamiques flexibles durant l'exécution, utile pour gérer les données de manière efficace.

III.6 Arduino IDE et les codes :

III.6.1 Introduction à l'environnement Arduino IDE :

Arduino IDE est l'environnement de développement officiel pour programmer des microcontrôleurs comme l'ESP32. Il permet d'écrire, de compiler et de téléverser des codes sur la carte.

III.8 Prototype du projet :

Les images suivantes montrent le prototype expérimental du projet chariot Intelligent, représentant la première étape de la mise en œuvre pratique. Ce modèle a été conçu pour tester les fonctionnalités de base, telles que la lecture des cartes RFID, l'affichage des données sur un écran LCD, et la communication entre les composants via l'ESP32. Cette phase nous a permis de valider les concepts techniques et d'identifier les points à améliorer avant de passer à la version finale.

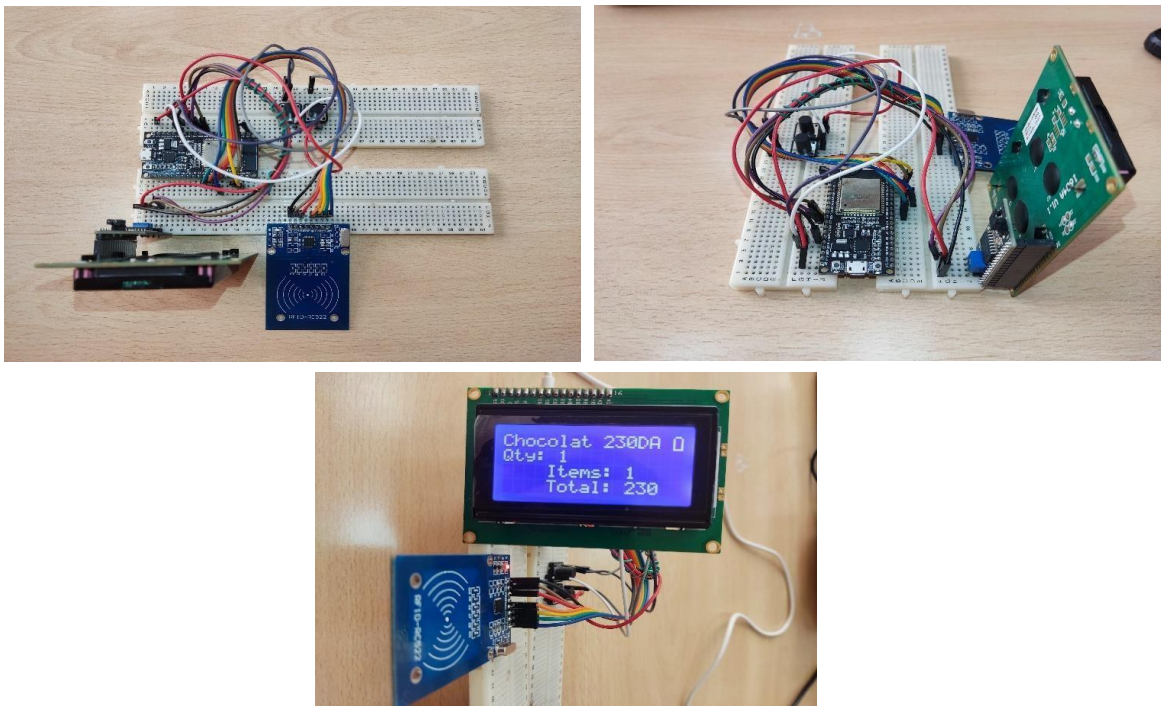


Figure III. 9: Le prototype expérimental du projet chariot Intelligent

Pour illustrer de manière claire et ordonnée le raccordement des différents composants électroniques, nous avons utilisé le logiciel **Fritzing** pour créer un schéma détaillé représentant les connexions entre l'ESP32, l'écran LCD, le lecteur RFID et les boutons de commande. Ce schéma facilite la compréhension de l'architecture du système.

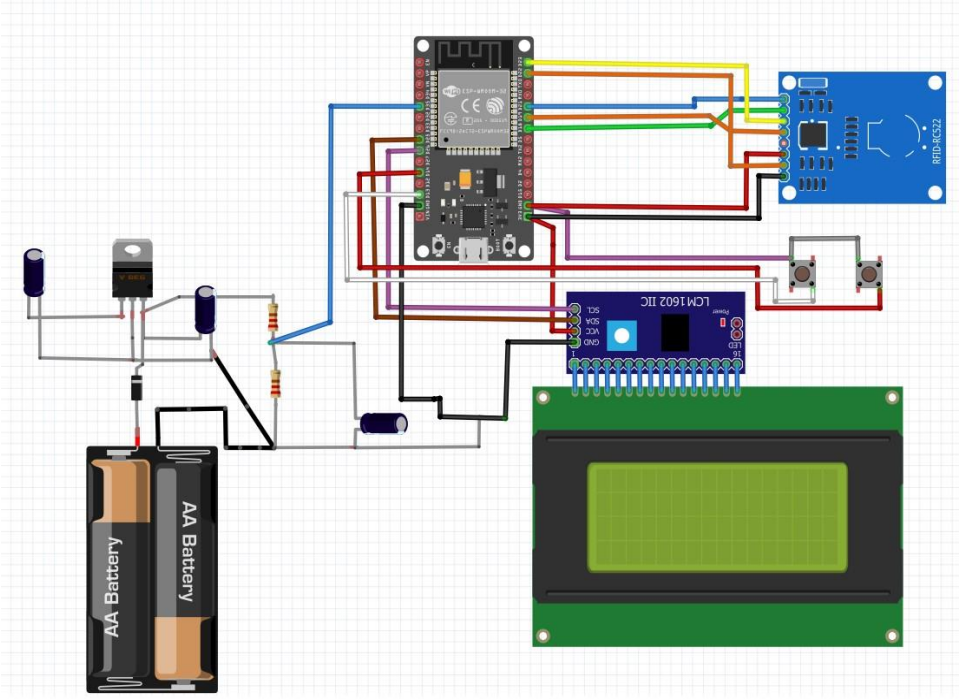


Figure III. 10: Schéma de câblage électronique réalisé avec Fritzing

III. 10 Affectation des broches de l'ESP32 et justification technique

Les broches de l'ESP32 ont été soigneusement sélectionnées afin de répondre aux exigences fonctionnelles du projet, tout en assurant la compatibilité avec les protocoles SPI et I2C, et en évitant tout conflit potentiel.

- **GPIO 21** : Utilisée comme SDA (ou CS) pour le lecteur RFID. Ce choix permet d'éviter les conflits avec les lignes SPI standards et est recommandé par la bibliothèque MFRC522.
- **GPIO 18, 23, 19** : Affectées respectivement aux lignes SCK, MOSI et MISO du protocole SPI.

Ces broches sont par défaut prises en charge par l'ESP32 et la bibliothèque SPI.

- **GPIO 22** : Dédiée au signal de réinitialisation (RST) du module RFID. C'est une broche numérique simple, sans conflit avec SPI ou I2C.
- **GPIO 25 et GPIO 26** : Affectées à l'écran LCD via le bus I2C (SDA et SCL). Ces broches sont fiables pour I2C et n'interfèrent pas avec les autres fonctions (ADC, SPI).
- **GPIO 35** : Utilisée pour la lecture de la batterie. C'est une entrée uniquement, compatible avec l'ADC1, ce qui garantit une lecture stable même en présence de Wi-Fi.
- **GPIO 13 et GPIO 14** : Affectées aux boutons de commande (reset et suppression). Ces broches acceptent INPUT_PULLUP et sont idéales pour les entrées utilisateur simples.
- **ESP-NOW** : Fonctionne en mode Wi-Fi Station. Les GPIO 1 et 3 ont été évités pour prévenir tout conflit avec l'interface série.

III. 11 Conception du circuit imprimé (PCB) :

Dans le cadre du développement de la partie électronique du projet, **le logiciel Easy EDA** a été utilisé pour concevoir le schéma électronique détaillé et le convertir en une carte de circuit imprimé (PCB). Ce logiciel permet une conception précise et bien structurée du circuit, avec une vérification des connexions et des pistes avant l'impression. Une fois le design finalisé, la carte a été imprimée sur une **plaque en cuivre (Cuivre)** à l'aide de techniques adaptées, facilitant ainsi le montage professionnel des composants et renforçant la fiabilité du système. Cette étape était cruciale pour passer d'un prototype câblé à un modèle plus stable et abouti.

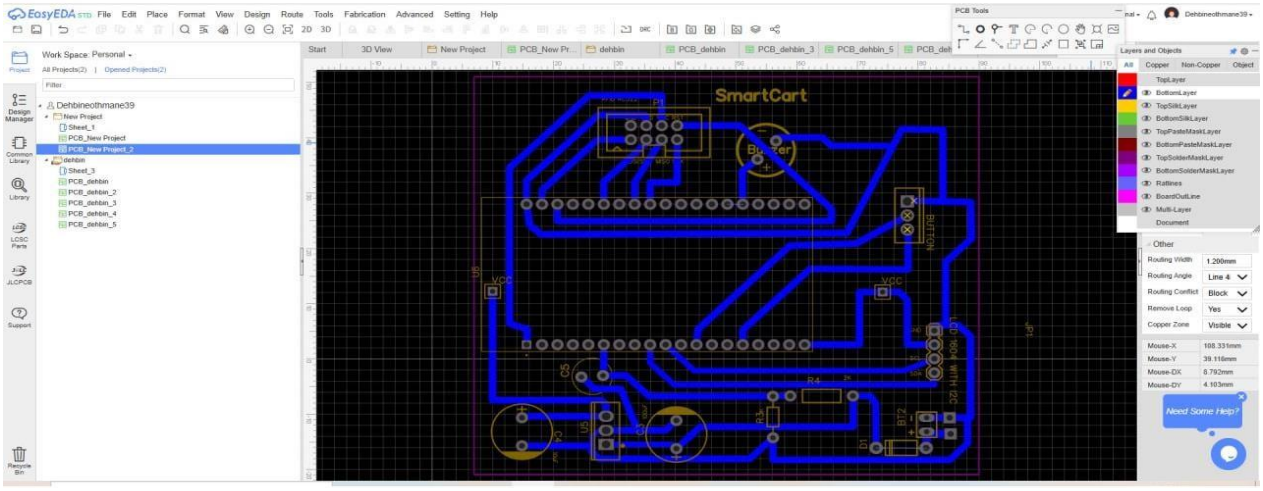


Figure III. 11: Le logiciel Easy EDA

III.12 Conception du circuit imprimé (PCB) avec EasyEDA :

Dans le but d'assurer une organisation précise et professionnelle des composants électroniques sur le chariot intelligent, nous avons conçu des circuits imprimés à l'aide du logiciel EasyEDA. Cette méthode garantit une connectivité fiable et réduit les erreurs liées aux connexions manuelles.

Deux **schémas électriques distincts** ont été réalisés :

- **Premier schéma** : correspond au **circuit principal complet**, intégrant les composants essentiels tels que le **module ESP32, le lecteur RFID, l'écran LCD, le module audio et l'alimentation**, **sans inclure** les boutons de commande.
- **Deuxième schéma** : dédié à la **carte des boutons de commande**, utilisée pour interagir avec le système (valider les achats, modifier les quantités, etc.), et reliée à la carte principale.

Les éléments fournis comprennent :

- Les schémas électriques (Schématique) des deux circuits.
- Le routage final de la carte PCB avec l'emplacement précis des composants.

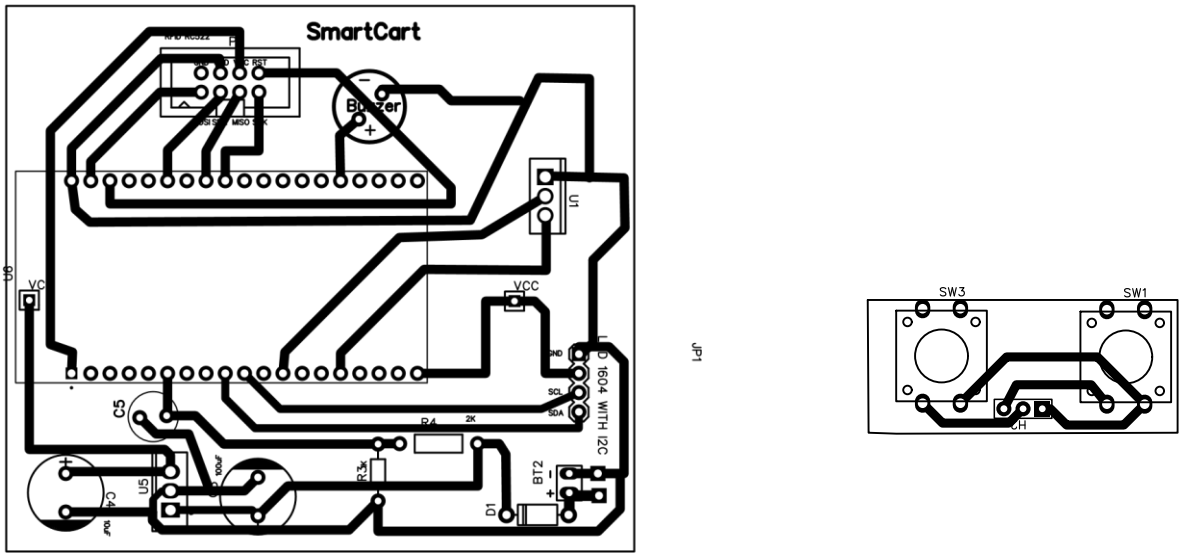


Figure III. 12: Les typons du système conçu

III.13 Conception et impression des boîtiers en plastique pour les composants électroniques :

Afin d'assurer une intégration sûre et ordonnée des composants électroniques, deux boîtiers en plastique ont été modélisés en 3D à l'aide du logiciel **SolidWorks**, puis imprimés à l'aide d'une **imprimante 3D**. Cette démarche a permis de vérifier les dimensions et d'assurer l'ajustement parfait des composants avant l'assemblage final.

III.13.1. Impression du circuit électronique et soudage des composants (Fabrication du circuit imprimé – PCB) :

Après avoir finalisé la conception du schéma électronique à l'aide d'un logiciel de CAO EasyEDA, nous sommes passés à la réalisation physique du circuit imprimé (PCB). Cette étape essentielle s'est déroulée selon les phases suivantes :

- **Préparation de la plaque en cuivre :**

Une plaque cuivrée adaptée a été sélectionnée. Le circuit a ensuite été transféré thermiquement sur la plaque.

- **Gravure à l'aide du perchlorure de fer ($FeCl_3$) :**

La plaque a été immergée dans une solution de perchlorure de fer pour éliminer le cuivre inutile, en ne conservant que les pistes du circuit protégées par le masque. Des mesures de sécurité ont été rigoureusement respectées lors de cette opération chimique.



Figure III. 13: La plaque de cuivre est immergée dans une solution de chlorure ferrique

- **Découpage et perçage de la plaque :**

Une fois la gravure terminée, la plaque a été nettoyée, découpée aux dimensions souhaitées, puis percée à l'aide d'une mini-perceuse pour accueillir les broches des composants électroniques tels que les résistances, les condensateurs, les diodes ou encore le module ESP32.

- **Soudage des composants :**

Les composants ont été fixés sur la carte puis soudés manuellement à l'aide d'un fer à souder et d'un fil d'étain, en veillant à la qualité des soudures pour éviter les courts-circuits et garantir la continuité des connexions.

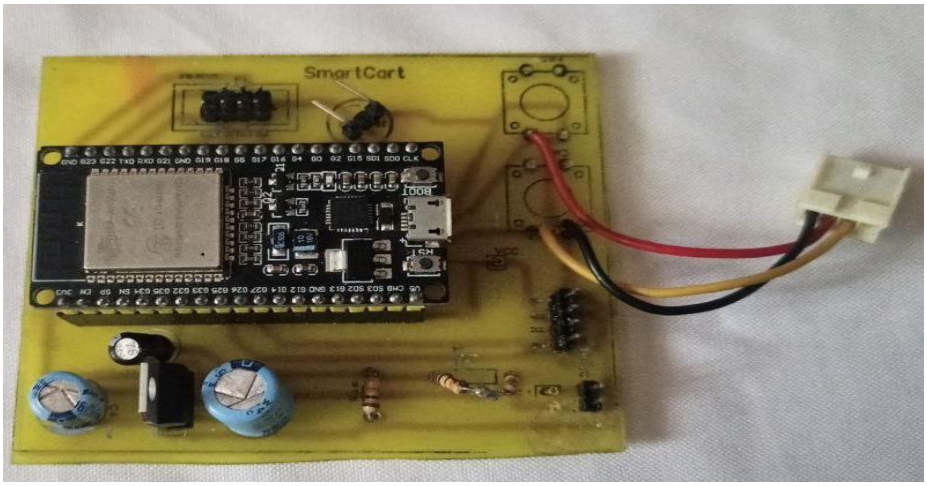


Figure III. 14 : fixés Les composants sur la carte

✓ **Test du circuit :**

Après assemblage, un test de fonctionnement a été réalisé pour vérifier la bonne conductivité des pistes et le bon comportement électrique de la carte avant son intégration dans la structure finale du chariot intelligent.

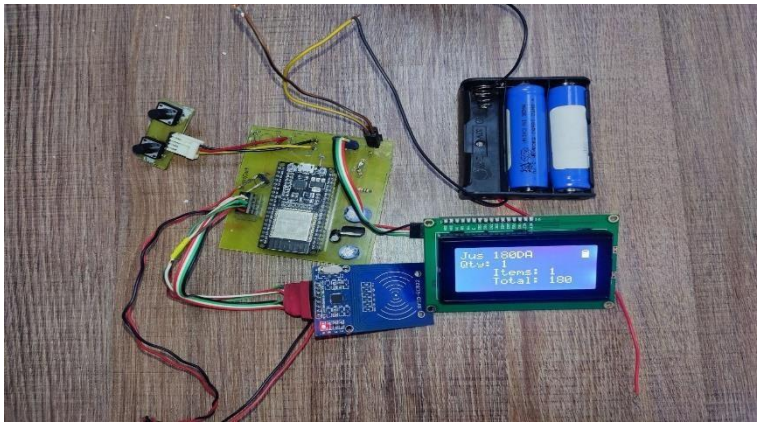


Figure III. 15 : assemblage des composants et test du circuit

III.14 Algorithme de fonctionnement du chariot intelligent :

L'organigramme suivant illustre le fonctionnement général du chariot intelligent.

Le processus commence par l'initialisation des composants (écran LCD, lecteur RFID, connexion WiFi…). Ensuite, le chariot lit les étiquettes RFID pour identifier les produits. Si un produit est détecté, il est ajouté à la liste et un résumé (nombre d'articles, coût total, niveau de batterie) est envoyé automatiquement. Si le bouton de suppression est enfoncé, le produit correspondant est retiré de la liste et un nouveau résumé est envoyé. Enfin, si le bouton de réinitialisation est activé, la liste est vidée et le système est remis à zéro

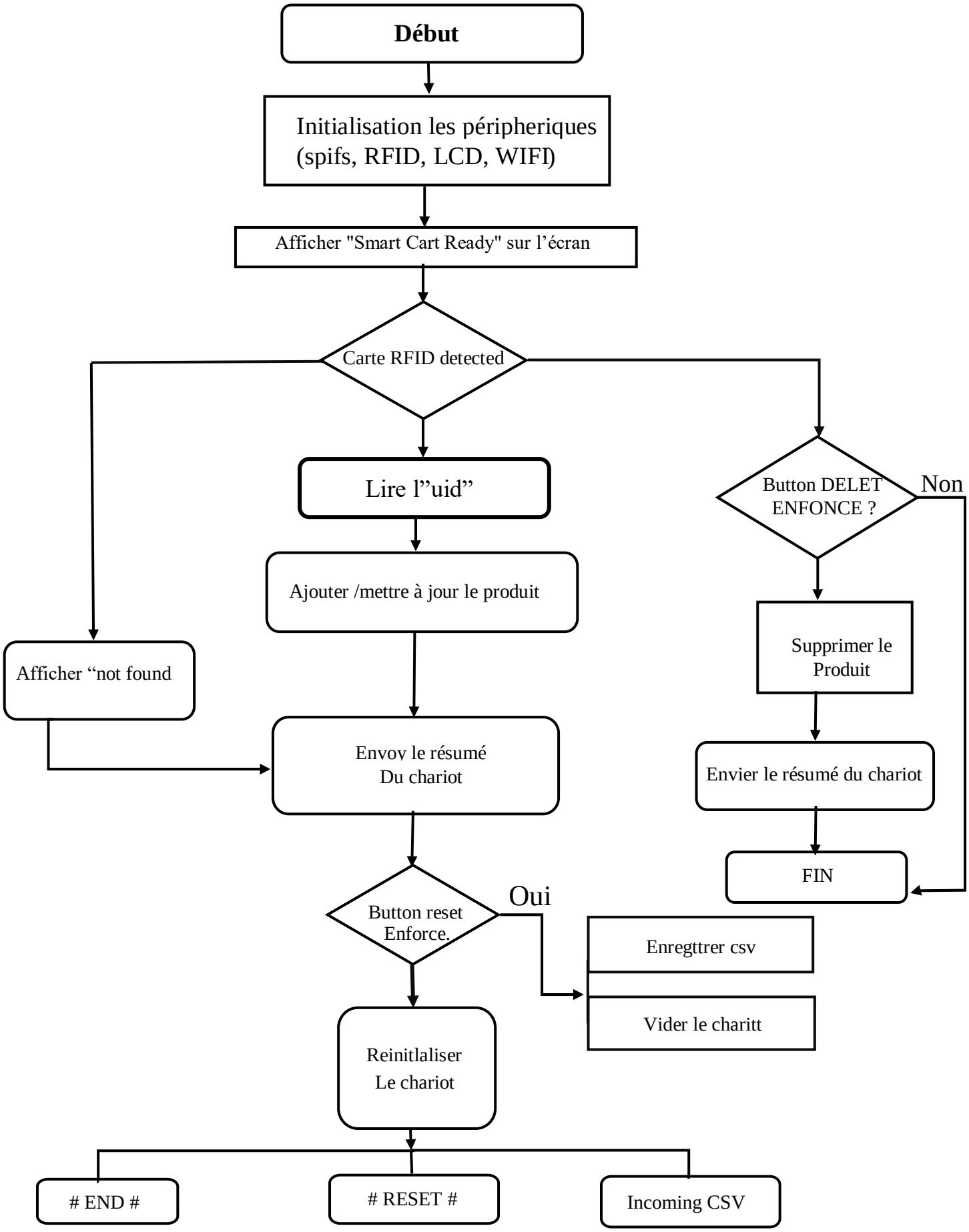


Figure III. 16 : Organigramme de fonctionnement du chariot intelligent basé sur ESP32

III.15 Algorithme de fonctionnement du module ESP32 connecté au PC :

Ce diagramme représente l'algorithme de fonctionnement du module ESP32 connecté à l'ordinateur. Le processus commence par la configuration de la liaison série et l'initialisation des entrées. Ensuite, l'ESP32 vérifie en boucle si des données sont disponibles sur le port série. Si des données sont détectées, elles sont lues, stockées dans des variables, et l'écran est mis à jour avec les nouvelles informations. Enfin, un résumé est envoyé automatiquement au module ESP-NOW distant.

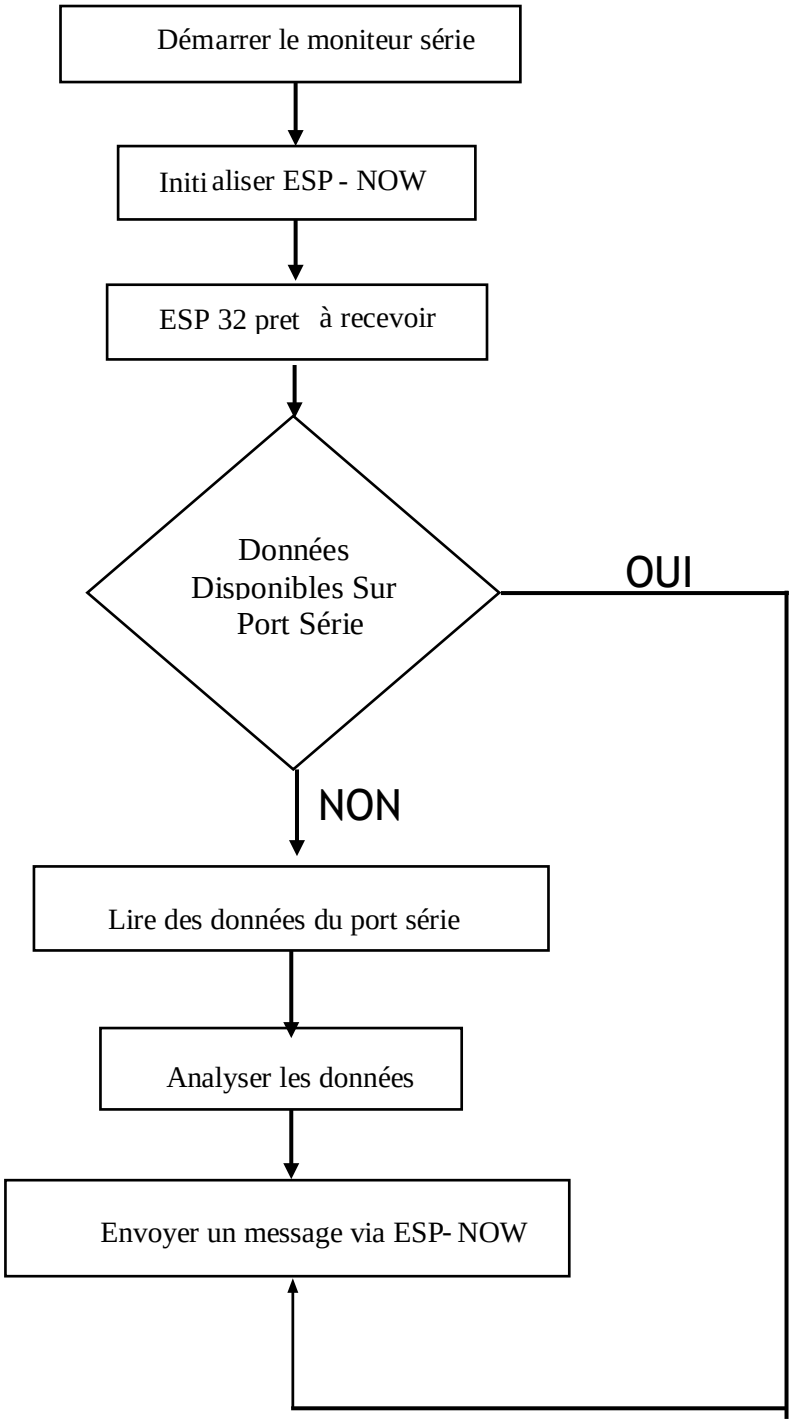


Figure III. 17 : Organigramme de fonctionnement du module ESP32

Connecté à l'ordinateur

III.16 Architecture de communication entre l'interface utilisateur, l'ESP32 et le chariot intelligent :

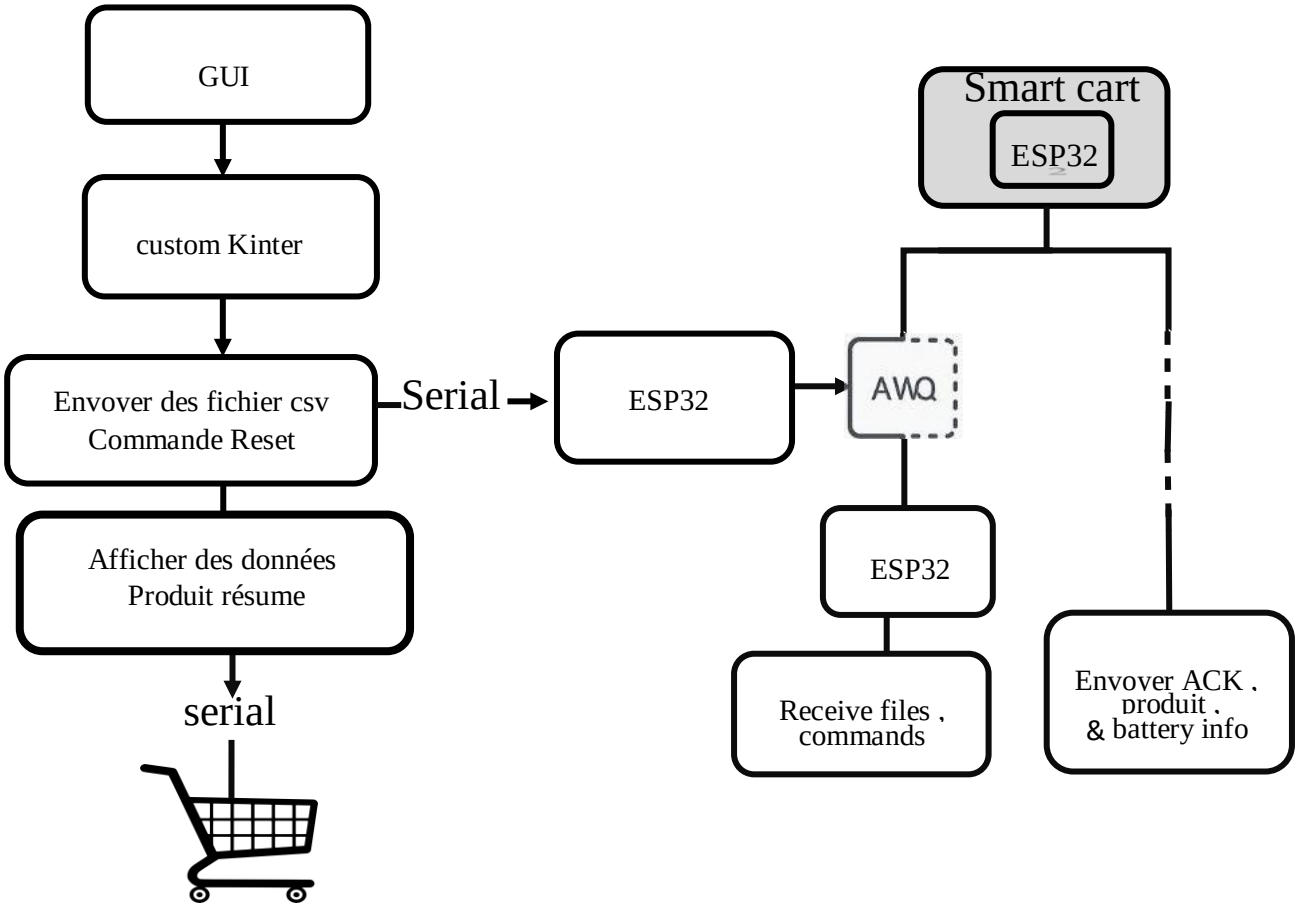


Figure III. 18 : Organigramme de fonctionnement de l'interface utilisateur.

Ce diagramme illustre l'architecture générale du système de gestion des chariots intelligents. L'interface graphique (GUI), développée en Python avec une bibliothèque comme Tkinter, permet à l'utilisateur de sélectionner un fichier CSV contenant les produits, puis d'envoyer ce fichier aux chariots via un module ESP32 connecté par port série.

Ce premier ESP32 transmet les données via ESP-NOW à un ou plusieurs modules ESP32 intégrés dans les chariots intelligents. Ces derniers reçoivent les fichiers, affichent les produits lus par le lecteur RFID, mettent à jour l'écran LCD et renvoient un résumé contenant le nombre de produits, le coût total et le niveau de batterie.

Le processus permet une communication fluide et sans fil entre l'application et les chariots, tout en assurant un retour d'information en temps réel vers l'interface.

- **Premier boîtier : pour le module connecté à l'ordinateur :**

Ce boîtier a été conçu pour accueillir le module ESP32 connecté à l'ordinateur. Il permet un accès facile aux ports USB et d'alimentation, tout en intégrant des fentes de ventilation pour la dissipation thermique. Sa forme compacte facilite son positionnement sur un bureau ou à proximité de l'ordinateur.



Figure III. 21: boîtier de module ESP32 connecté à l'ordinateur

- **Deuxième boîtier : monté sur le chariot intelligent**

Fixé directement sur le chariot, ce boîtier regroupe l'écran LCD, le lecteur RFID et les boutons

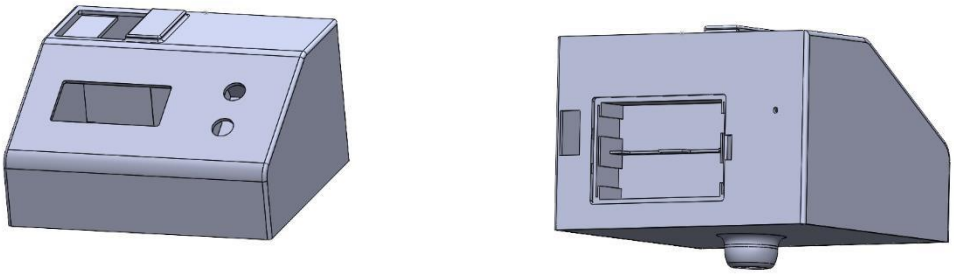


Figure III.22: Conception finale en 3D du boîtier avec SolidWorks

de commande. Il est précisément dimensionné pour s'adapter aux composants internes, avec des ouvertures pour le passage des câbles et un montage sécurisé. Il offre également une protection contre les vibrations et les conditions environnementales en magasin.

III.17 Début de l'impression avec l'imprimante 3D :

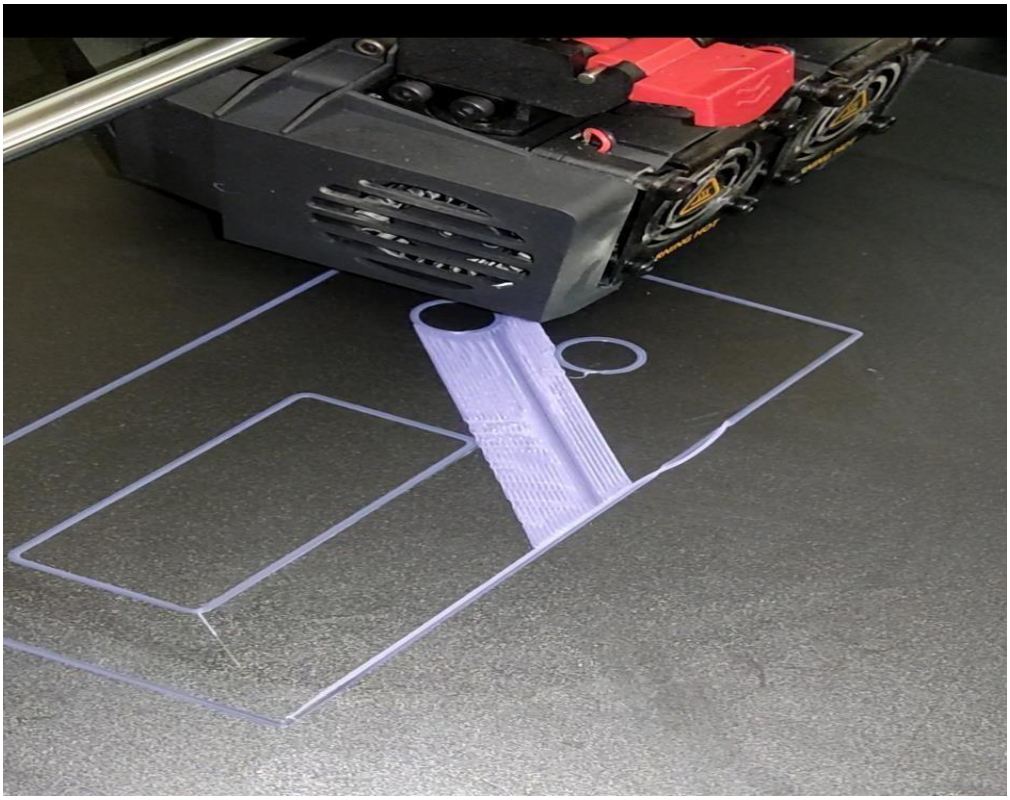


Figure III.23 : L'impression 3D.

III.18 Assemblage final du projet et intégration des composants électroniques :

Après la conception et l'impression 3D du boîtier, nous sommes passés à la phase d'**assemblage final**, consistant à intégrer et connecter tous les composants électroniques dans leur boîtier respectif, selon les schémas réalisés précédemment.

Cette étape comprenait :

- L'installation du module **ESP32**, de l'écran **LCD, circuit imprimé** et du lecteur **RFID** dans le boîtier du chariot.
- Le câblage et la fixation de la carte des boutons de commande de manière accessible et ergonomique.

La vérification de l'alignement des ouvertures avec les ports (USB, alimentation, boutons...).

- Les tests finaux pour assurer le bon fonctionnement du système.



Figure III. 24: Aspect extérieur final après assemblage.

III.19 Perspectives d'amélioration du projet après la soutenance :

À la fin du projet et après sa réussite dans le cadre académique, nous avons commencé à réfléchir à des perspectives d'amélioration pour le rendre plus performant et adapté à une utilisation réelle dans les grandes surfaces. Parmi les idées futures envisageables :

- Intégration d'un système de positionnement en intérieur (IPS) basé sur des balises pour localiser avec précision chaque chariot dans l'espace de vente.
- Développement d'une application mobile permettant au client de suivre ses achats en temps réel et de recevoir des notifications sur les promotions ou les dépassements de budget.
- Remplacement de l'écran LCD classique par un écran tactile interactif, offrant une meilleure expérience utilisateur.
- Intégration d'un système de paiement électronique directement sur le chariot afin de fluidifier le processus d'achat.

Optimisation de la gestion énergétique via l'utilisation de batteries rechargeables par énergie solaire, prolongeant ainsi l'autonomie du chariot.

Ces pistes d'amélioration représentent une vision future visant à faire de notre prototype un produit commercialisable.

III.20 Conclusion :

En conclusion de ce chapitre, nous avons pu constater que la conception technique du projet a constitué la pierre angulaire de la transformation de l'idée du chariot intelligent en un prototype fonctionnel et efficace. Les composants électroniques ont été sélectionnés avec soin en fonction des besoins du système, et leur intégration harmonieuse a permis d'assurer une performance stable. Par ailleurs, la programmation des modules ESP32 et l'utilisation du protocole ESP-NOW ont permis d'établir une structure de communication souple et fiable, sans nécessiter une infrastructure lourde. Cette réalisation marque une étape cruciale dans le développement du système et prépare solidement la voie vers la phase de tests et d'optimisation présentée dans le chapitre suivant.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Au terme de ce travail, nous avons pu concevoir et réaliser un système de gestion de chariots intelligents basé sur la technologie RFID, la communication ESP-NOW et une interface graphique conviviale. Ce projet a été mené dans le but d'améliorer l'expérience d'achat et de faciliter la gestion en temps réel des produits ajoutés ou retirés d'un chariot.

Grâce à l'intégration de composants tels que l'ESP32, l'écran LCD, le lecteur RFID et les boutons de contrôle, chaque chariot est devenu autonome, capable de détecter les produits, d'afficher les informations et de communiquer avec le système central. L'utilisation du protocole ESP-NOW a permis une communication sans fil rapide et fiable entre les chariots et le module de contrôle connecté au PC.

L'application développée en Python a permis d'envoyer les listes de produits aux chariots, de recevoir les données en retour (résumés, niveau de batterie, etc.) et d'assurer une interaction simple et efficace pour l'utilisateur.

Ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances en électronique embarquée, programmation embarquée (Arduino / ESP32), communication sans fil, et développement logiciel. Il ouvre également la voie à plusieurs perspectives futures, telles que l'intégration d'un système de paiement automatisé, une application mobile, ou encore une gestion centralisée via le cloud.

Enfin, cette expérience a été pour nous une opportunité précieuse pour mettre en pratique les connaissances acquises durant notre formation, tout en développant un système concret et utile, en phase avec les besoins actuels du marché.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

[1] A. Chikhaoui and C. Tellier, *Les nouvelles formes de commerce*, Paris, France : Dunod, 2015.

[2] R. Tedlow, *New and Improved: The Story of Mass Marketing in America*, Boston, MA, USA: Harvard Business Press, 1996.

[3] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, 2nd ed., New York, NY, USA: Wiley, 2003.

[4] Espressif Systems, "ESP-NOW User Guide," [Online].

https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/network/esp_now.html [Accessed: mar 03 2025]

[5] G. Bhuvaneswari and R. Uma, "Barcode and RFID based product movement tracking system," *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 3, no. 2, pp. 455–459, Mar. 2013.

[6] Peak Technologies, "RFID vs Barcode: Comparison, Advantages & Disadvantages," blog,

[7] G. White et al., "A Comparison of Barcoding and RFID Technologies in Practice," ResearchGate, 2007.

[8] "Cost of RFID Tags vs Barcodes: Comparison & Analysis," CPCON Group, 2024.

[9] Espressif Systems, "ESP32-WROOM-32 Datasheet," [Online]. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf [Accessed: mar 08 2025]

[10] F. Chetouane, "An Overview on RFID Technology Instruction and Application," Université de Moncton, Canada.

[11] Soltani Mohamed nadir, « wsn pour le monitoring des feux de forêt », Mémoire de Master en Génie Electrique, spécialité Electronique, Faculté de technologie, Université de badj-mokhtar, de annaba, Algérie, 2022.

[12] BENDJARA Mohamed et BOUALEM mustafa, « Automatisation et le Smart Farming en Elevage Cunicole », Mémoire de Master en Génie Electrique, spécialité Electronique des systèmes embarqués, Faculté des sciences appliquées, Université de ibzn –khaldoun, de tiaret, Algérie, 2024.

[13] Fatah Chetouane « An Overview on RFID Technology Instruction and Application », Faculty of Engineering, Université de Moncton, Moncton, E1A 3E9, New Brunswick canada.

[14] Mohamed ayachi, «développement d'un système de reconnaissance des produits d'un chariot

intelligent basé sur la technologie RFID», Mémoire de Master en mathematiqes-informatique, spécialité systèmes embarqués et mobilité, Faculté de sciences de l'ingeniorat, Université de badj-mokhtar, de annaba, Algérie, 2021.

[15] A. Alarifi, A. Al-Salman, M. Alsaleh et al., "Ultra wideband indoor positioning technologies: Analysis and recent advances," *Sensors*, vol. 16, no. 5, p. 707, 2016.

[16] EFY Editors, "16x2 LCD Pinout Diagram," *Electronics For You*, Oct. 9, 2021. [Online]. Available: https://www.electronicsforu.com/technology-trends/learn-electronics/16x2-lcd-pinout-diagram. [Accessed: Avr. 25, 2025].

[17] NXP Semiconductors, "UM10204: I2C-bus specification and user manual," Rev. 6, Apr. 2014. [Online]. Available: https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf [Accessed: Mai. 07, 2025].

[18] Espressif Systems, ESP32 Series Datasheet, Version 3.5, Aug. 2020. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf [Accessed: jun. 07, 2025].

[**19]** NXP Semiconductors, MFRC522 – Standard performance MIFARE and NTAG frontend, Rev. 3.9, Mar. 2018. [Online]. Available: https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MFRC522.pdf [Accessed: jun. 07, 2025].

[20] Arduino Forum, "How much current does I2C LCD 1602 use?", [Online]. Available: https://forum.arduino.cc/t/how-much-current-does-i2c-lcd-1602-use/406098 [Accessed: jun. 07, 2025].

GUIDE STARTUP

Guide du projet

Pour obtenir un diplôme/startup
Dans le cadre de l'Arrêté Ministériel 1275

Décembre
2022

CNCSIIU — MHESR — ALGERIA

Fiche d'information :

À propos de l'équipe de gestion du groupe de travail

1- Équipe de gestion :

Équipe de gestion	
Encadrant principal : **Dr.** TOUBAL Abdelmoughni	Spécialité : Electronique
Co-encadrant : **Dr.** MAAZOUZ Mohamed	Spécialité : Electronique



2- Équipe de projet :

Équipe de projet	Département	Spécialité
Étudiant 01 : DEHBINE OTHMANE	Technologie	Instumentation
Étudiant 02 : Laid Tahir	Technologie	Instumentation



Table des Matières



Table des matières

Introduction 1

Premier axe : Presentation su projet.....3

1. L'idée de projet (solution proposée).....3

2. Les valeurs proposées :.....3

3. L'Équipe de travail :.....4

4. Les objectifs du projet :.....5

5. Le planning de réalisation du projet :.....6

Deuxième axe : aspects innovants 8

1. La nature des innovations :.....8

2. Les domaines d'innovation :.....8

Troisième axe : Analyse strategique du marchè 11

1. Le segment du marché :.....11

2. Mesure de l'intensité de la concurrence.....12

3. La stratégie marketing :.....13

Quatrième axe : Plan de production et organisation 16

1. Le Processus de production: 16

2. L'Approvisionnement.....17

3. La main d'œuvre :.....18

4. Les Principaux partenaires :.....18

Cinquième axe : Plan financier.....21

1.Les Coûts et charges.....21

A. Coût des composants électroniques.....21

B. Coût des outils et consommables 21

C. Coût total estimé 23

2. Modes et sources de financement.....23

3.Chiffre d'affaires prévisionnel 23

4. Compte de résultat prévisionnel.....23

5. Plan de trésorerie :.....24

6. Le local et les coûts associés au lancement du projet :.....24

Sixième axe : Prototype exprimental 27

1. Présentation du prototype tangible :.....27

2. Démonstration visuelle :.....27

3. Explication des étapes de réalisation.....27

4. Prototype numérique 28

5. Photos du prototype :.....28

Introduction

Dans un contexte de développement technologique accéléré, les systèmes embarqués et l'automatisation occupent une place centrale dans l'amélioration de l'expérience utilisateur et l'optimisation des processus du quotidien. Le secteur de la grande distribution n'échappe pas à cette tendance, cherchant constamment à innover pour fidéliser les clients et améliorer l'efficacité interne.

Ce mémoire s'inscrit dans cette dynamique d'innovation pragmatique en proposant une solution concrète : un système de chariot intelligent basé sur un microcontrôleur ESP32. Ce dernier permet de faciliter le parcours d'achat en détectant automatiquement les articles ajoutés au chariot grâce à un lecteur RFID, qui lit l'identifiant unique (UID) de chaque produit. L'UID est ensuite transmis, via le protocole sans fil ESP-NOW, à un second ESP32 connecté à un ordinateur.

Un programme développé en Python s'exécute sur ce dernier pour consulter une base de données locale (fichier Excel), récupérer le nom et le prix de l'article, afin qu'elles soient affichées sur un écran LCD intégré au chariot. Ce processus permet de suivre en temps réel les achats sans intervention manuelle, réduisant ainsi les files d'attente et augmentant l'autonomie du client.

Contrairement aux solutions complexes et coûteuses basées sur le Cloud ou l'intelligence artificielle, le système proposé est local, économique, et facile à déployer. Il repose sur des modules ESP32, des lecteurs RFID, des écrans LCD, et un protocole de communication performant : ESP-NOW.

L'objectif de ce projet est double : démontrer la faisabilité technique de ce système, et en évaluer l'impact potentiel sur l'expérience utilisateur et la gestion du personnel en caisse.

Le premier axe
Présentation
Du projet



Premier axe

Présentation du projet

1. L'idée de projet (solution proposée)

Notre projet consiste à concevoir et réaliser un **chariot intelligent** basé sur des technologies modernes telles que **le RFID**, **les modules ESP32** et un écran LCD. Ce projet s'inscrit dans le domaine **des applications technologiques innovantes** destinées à moderniser le secteur du commerce de détail.

L'idée est née de notre observation des longues files d'attente aux caisses dans les supermarchés, surtout en période de forte affluence. De plus, ce type de chariot n'est pas encore disponible sur le marché algérien, ce qui nous a motivés à proposer une solution intelligente pour faciliter les achats et accélérer le passage en caisse.

Le concept repose sur le développement d'un chariot capable de lire automatiquement les produits via un lecteur RFID et d'afficher le nom et le prix de chaque article sur un écran, tout en calculant la facture en temps réel. Une fois les achats terminés, toutes les informations sont envoyées à la caisse ou à un serveur central.

Notre équipe, composée de deux étudiants universitaires, se chargera du développement du prototype en utilisant des composants électroniques embarqués et des technologies de communication avancées. Le projet sera réalisé dans un laboratoire universitaire, avec la possibilité de le tester dans un environnement simulé proche de la réalité.

2. Les valeurs proposées :

Notre projet propose plusieurs valeurs ajoutées innovantes, répondant aux besoins des clients et des utilisateurs finaux. Les principales sont :

- **La nouveauté :** Il s'agit du premier projet de ce type sur le marché algérien, où aucune solution similaire basée sur un chariot intelligent équipé de la technologie RFID n'a encore été introduite.
- **La facilité d'utilisation :** L'interface est simple, il suffit de passer un produit devant le lecteur pour afficher automatiquement son nom et son prix.

- **L'accomplissement de la tâche :** Le chariot permet au client de suivre la facture en temps réel et de gagner du temps en évitant les longues files d'attente aux caisses.
- **La réduction des coûts :** À long terme, cette solution permet aux magasins de diminuer le nombre de caisses et d'optimiser les ressources humaines.
- **L'adaptation :** Le design du système prend en compte les conditions locales en matière d'énergie, de composants disponibles et de configuration des magasins.
- **La réduction des risques :** Grâce à l'identification automatique des produits, les erreurs de facturation sont réduites, améliorant ainsi l'expérience client.

À travers ces valeurs, notre projet vise à transformer l'expérience d'achat quotidienne en une expérience plus fluide, efficace et agréable.

3. L'Équipe de travail :

Notre équipe est composée de deux étudiants en dernière année de formation universitaire, unis par une passion commune pour la technologie et l'innovation, avec une répartition des tâches complémentaire et efficace.

L'équipe du projet est composée des membres suivants :

Étudiant 01 : LAIDI TAHAR.

Étudiant 02 : DEHBINE OTHMANE.

- **Le premier Étudiant** possède une expertise technique en programmation de microcontrôleurs (notamment l'ESP32) avec des langages comme C++ et Micro Python. Il maîtrise également les protocoles de communication comme ESP-NOW, SPI et I2C. Il a participé à plusieurs ateliers de formation en électronique embarquée.
- **Le second Étudiant** se distingue par ses compétences en conception d'interfaces et en expérience utilisateur, ainsi que par sa maîtrise de la programmation en Python et des bases de données, ce qui lui permet de développer des interfaces de traitement de données et d'interagir avec les dispositifs via ordinateur.

La répartition des responsabilités est clairement définie :

- Un membre est chargé du développement électronique et de l'intégration des composants (RFID, LCD, ESP32…).

- L'autre est responsable du développement logiciel, de l'intégration avec l'ordinateur et de la gestion de la base de données (Python).

4. Les objectifs du projet :

Notre projet vise à introduire une solution technologique innovante dans le secteur de la vente au détail en Algérie, à travers la conception d'un **chariot intelligent** qui améliore l'expérience client et facilite le passage en caisse. Les principaux objectifs commerciaux du projet sont les suivants :

- **À court terme (6 à 12 mois) :**
  - Développer un prototype fonctionnel et le tester dans un environnement simulé au sein d'un établissement universitaire ou d'un petit magasin.
  - Présenter le projet dans des événements d'innovation et des concours académiques pour attirer l'intérêt et le soutien.
- **À moyen terme (1 à 2 ans) :**
  - Lancer une production limitée des chariots intelligents et les proposer comme solution innovante aux grandes surfaces à Alger et dans les grandes villes.
  - Établir des partenariats pilotes avec 3 à 5 magasins pour tester le système dans un contexte réel.
- **À long terme (3 à 5 ans) :**
  - Étendre la présence du produit sur le marché national en visant les grandes chaînes de magasins dans tout le pays.
  - Améliorer le design et intégrer des fonctionnalités supplémentaires telles que le paiement électronique et la connexion au compte client.
  - Envisager la commercialisation du modèle dans d'autres pays du Maghreb après avoir validé sa performance en Algérie.

L'objectif est de gagner progressivement une part de marché, en commençant par un déploiement pilote jusqu'à une adoption généralisée dans les années à venir.

5. Le planning de réalisation du projet :

Mois	Tâches
1	Étude de faisabilité technique, définition des besoins fonctionnels, choix des capteurs (RFID, LCD, ESP32, etc.).
2	Conception du schéma électronique de la carte principale (ESP32 + RFID + écran LCD + clavier matriciel).
3	Développement du code embarqué pour la lecture RFID, affichage sur LCD, et communication ESP-NOW (module émetteur).
4	Développement du code embarqué pour le module récepteur (réception ESP-NOW, communication avec le PC via Serial).
5	Création d'une base de données CSV et développement d'un programme Python pour la recherche produit + affichage.
6	Test d'intégration entre les deux ESP32 et le programme Python (communication bidirectionnelle + affichage LCD).
7	Ajout de la gestion de quantité, du calcul de facture, et test de la logique de validation de panier.
8	Conception du boîtier physique de la carte (3D), intégration des composants dans la maquette du chariot.
9	Développement d'une interface utilisateur sur PC pour visualisation, validation ou suivi des achats (optionnelle).
10	Phase de tests en conditions réelles (simulation de parcours client, passage de produits, calculs totaux).
11	Optimisation logicielle et matérielle du système (temps de réponse, robustesse, affichage clair, alimentation).
12	Préparation à la démonstration finale, documentation technique, et rédaction du dossier de valorisation.

Deuxième axe

Aspects Innovants



Deuxième axe

Aspects innovants

1. La nature des innovations :

Notre projet repose sur l'intégration de plusieurs technologies modernes afin de proposer une solution intelligente et complète dans le secteur de la vente au détail. L'innovation se manifeste à travers les éléments suivants :

- **Intégration de la technologie RFID** dans les chariots de supermarché, permettant l'identification automatique et instantanée des produits sans scan manuel ni passage à la caisse.
- **Utilisation du microcontrôleur ESP32**, un choix stratégique grâce à sa capacité à gérer des protocoles comme ESP-NOW et à communiquer avec un ordinateur sans nécessiter une connexion Wifi permanente.
- **Affichage instantané de données produites** sur un écran LCD 16x4, offrant au client un suivi en temps réel de ses achats.
- **Développement d'un système interactif entre le chariot et l'ordinateur** via une communication série, où l'ESP 32 consulte une base de données et retourne automatiquement les informations.
- **Exploitation du langage Python** pour le traitement et la gestion rapide des données produits.

L'innovation dépasse l'aspect technique pour proposer une **réinvention de l'expérience d'achat classique**, en l'adaptant aux exigences modernes de confort, de rapidité et de précision, notamment dans un contexte algérien où ce type de solution est encore inexistant.

2. Les domaines d'innovation :

Le projet de « chariot intelligent » intègre plusieurs axes d'innovation, lui conférant une dimension à la fois technologique et commerciale :

- **Nouvelles opérations :** Grâce à l'automatisation et à l'interconnexion des dispositifs (ESP32, RFID, LCD, Python), nous augmentons l'efficacité des opérations en magasin, tout en réduisant le besoin d'intervention humaine pour la lecture des produits ou l'établissement de la facture.
- **Nouvelles expériences :** Le projet transforme l'expérience client en magasin en une interaction intelligente, où le client visualise sa facture en temps réel, ce qui renforce la transparence et la satisfaction.
- **Nouvelles fonctionnalités :** L'innovation réside dans une méthode inédite de suivi des achats et de calcul instantané, sans file d'attente, grâce à la lecture directe des cartes RFID.
- **Nouveaux clients :** Cette solution cible les grandes surfaces à la recherche d'outils technologiques pour améliorer leur efficacité, ainsi qu'une clientèle moderne en quête de confort et de rapidité.
- **Nouvelles offres :** Le projet représente une offre complètement nouvelle sur le marché algérien, où il n'existe actuellement aucune solution équivalente reposant sur RFID et ESP32.
- **Nouveaux modèles :** Nous proposons un nouveau modèle de gestion des ventes en magasin, où le chariot devient un outil intelligent de facturation et de suivi, réduisant potentiellement le besoin d'un caissier traditionnel.

Troisième axe Analyse Stratégique Du Marché



Troisième axe

Analyse stratégique du marché

1. Le segment du marché :

- **Marché potentiel :**

Le marché potentiel regroupe toutes les grandes surfaces, centres commerciaux et enseignes de distribution en Algérie, qui souhaitent moderniser l'expérience client grâce à des solutions intelligentes. Cela inclut également les consommateurs individuels à la recherche de confort et de rapidité, notamment dans les grandes villes telles qu'Alger, Oran, Constantine, Sétif, etc. et Surtout notre wilaya de MÉDÉA.

Ce besoin devient de plus en plus pressant avec la généralisation des technologies d'automatisation.

- **Marché cible (segment visé) :**

Nous ciblons en priorité les grandes chaînes de distribution (Hypermarchés) désireuses d'optimiser le parcours client et de réduire les files d'attente, telles que :

• ARDIS

• UNO

• ATLAS

• Centres commerciaux privés

Ces enseignes disposent de moyens financiers et logistiques pour adopter des solutions technologiques valorisantes.

- **Justification du choix de ce marché cible :**
  - Forte affluence quotidienne, nécessitant une amélioration du temps de passage en caisse.
  - Recherche de différenciation entre enseignes concurrentes.
  - Absence actuelle de solutions similaires sur le marché national, offrant ainsi une opportunité d'innovation pionnière.

- **Possibilité de conclure des contrats d'achat avec des clients clés :** Nous envisageons des démonstrations sur site dans certaines enseignes partenaires pour valider l'efficacité du système.

  Si les résultats sont convaincants, nous visons à signer 1 à 2 contrats de vente dans la première année, avec un déploiement élargi à d'autres centres commerciaux à partir de la deuxième année.

2. Mesure de l'intensité de la concurrence

- **Concurrents directs :**

Actuellement, il n'existe pas de concurrents directs sur le marché algérien proposant une solution technologique similaire à notre « chariot intelligent » basé sur RFID, ESP32 et écran LCD. Nous sommes donc parmi les premiers à initier ce type d'innovation.

- **Concurrents indirects :**

  Les formes de concurrence indirecte comprennent :

  - Les systèmes de caisse traditionnels utilisés dans la quasi-totalité des commerces.
  - Les bornes de paiement automatiques, présentes uniquement dans quelques enseignes internationales.
  - Les applications mobiles personnelles permettant de calculer manuellement le total des achats.

- **Leur nombre et parts de marché :**
  - Les systèmes de caisse classiques sont présents dans 100 % des points de vente.
  - Les bornes automatiques sont extrêmement rares en Algérie.
  - Les applications mobiles ne représentent qu'un usage marginal et individuel.
- **Leurs points forts :**
  - Systèmes traditionnels : Simples, économiques, bien connus des commerçants.
  - Bornes automatiques : Modernes et efficaces dans les pays développés.
- **Leurs points faibles :**

- Systèmes traditionnels : Fortement dépendants du personnel, causent des files d'attente et ralentissent le processus d'achat.
- Bornes automatiques : Coûteuses, peu accessibles en Algérie.
- Aucune solution ne propose actuellement une interaction directe avec le client au niveau du chariot lui-même, ce qui représente notre avantage clé.

3. La stratégie marketing :

Étant donné que notre projet s'inscrit dans le domaine technologique B2B (Business to Business), notre stratégie marketing repose sur un **mix marketing équilibré** prenant en compte nos ressources financières limitées.

- **Produit**

Nous proposons un « caddie intelligent » basé sur la technologie RFID et ESP32, permettant aux clients de suivre leurs achats en temps réel via un écran LCD. Cette solution améliore l'expérience utilisateur et réduit considérablement le temps d'attente. Le système est modulable selon les besoins du magasin.

- **Prix**

Notre stratégie de prix s'appuie sur :

- L'offre d'un prototype gratuit aux premiers partenaires pour tester la solution.
- Une tarification flexible selon le nombre de caddies commandés et leurs spécificités.
- Des réductions pour les commandes en volume ou les contrats annuels.

- **Distribution**

Nous privilégions la distribution directe via :

- Des prises de contact ciblées avec les responsables d'enseignes.
- La participation à des salons commerciaux et expositions technologiques.
- La présentation de démonstrations sur site.

- **Promotion**

Nos actions promotionnelles, adaptées à nos moyens, incluent :

- La création d’une page professionnelle sur Facebook.
- Des vidéos courtes illustrant le fonctionnement du chariot.
- Des rencontres en face-à-face avec les décideurs.
- La publication d’articles sur le commerce intelligent en Algérie.

L’innovation et **la démonstration réelle** sont nos principaux leviers d’attraction, avant d’adopter une stratégie de **croissance par recommandation** pour étendre notre présence.

Quatriemme axe
Plan d'Organisation
Et de Production



Quatrième axe :

Plan de production et d'organisation

1. Le Processus de production:

La mise en place du « caddie intelligent » passe par plusieurs étapes techniques visant à garantir la qualité du produit final :

- **Étape 1 : Conception du prototype :**

  - Analyse des besoins spécifiques du magasin (taille, nature des produits, volume de clients...).
  - Élaboration d'un prototype basé sur un microcontrôleur ESP32, un lecteur RFID, un écran LCD, une batterie rechargeable et la structure du chariot.
  - Développement logiciel sous Arduino IDE avec base de données intégrée.

- **Étape 2 : Approvisionnement en composants :**

  - Achat des composants électroniques auprès de fournisseurs fiables : ESP32, lecteur RFID RC522, écrans LCD, batteries 18650, câblage...
  - Acquisition ou réaménagement de chariots de supermarché existants.

- **Étape 3 : Assemblage et installation :**

  - Intégration des composants dans le chariot en veillant à la sécurité et à l'ergonomie.
  - Montage dans un boîtier plastique protégé.
  - Organisation et fixation des câbles.

- **Étape 4 : Tests et adaptation :**

  - Tests de performance : lecture RFID, affichage des données, autonomie, communication entre modules.
  - Personnalisation de l'interface selon la langue et le contexte local.
  - Amélioration du code selon les retours d'utilisation.

- **Étape 5 : Livraison et déploiement :**

  - Présentation du produit fini à l'enseigne partenaire.
  - Formation des utilisateurs à la manipulation du chariot intelligent.
  - Support technique après installation pour garantir un bon fonctionnement.

2. L'Approvisionnement

L'approvisionnement dans le cadre du projet de « caddie intelligent » repose sur une stratégie d'achat bien structurée pour garantir la disponibilité des composants essentiels en temps voulu et à un coût maîtrisé.

- **Politique d'achat :**

Les achats sont effectués auprès de distributeurs agréés, en ligne ou localement. Les éléments requis incluent :

  - Microcontrôleurs ESP32.
  - Lecteurs RFID RC522.
  - Écrans LCD 16x4.
  - Batteries rechargeables (18650).
  - Câbles, résistances, breadboards, boîtiers de protection.
  - Chariots de supermarché adaptables.

- **Principaux fournisseurs :**

  - Plateformes internationales : **Ali Express**… etc.
  - Fournisseurs locaux basés à Alger ou Blida.
  - Fabricants partenaires pour la conception des structures physiques.

- **Politique de paiement et délais de livraison :**

  - Fournisseurs locaux : paiement en espèces ou par virement bancaire, livraison entre 3 et 5 jours.

- Fournisseurs étrangers : paiement par carte bancaire, délais de réception entre 15 et 30 jours selon la méthode d'expédition.

3. La main d'œuvre :

Le projet du « chariot intelligent » permet la création de plusieurs postes directs et indirects, en raison de sa nature technologique.

● **Nombre de postes :**

Dans une première phase :

- **2 postes permanents** au sein de l'équipe fondatrice (développement et intégration).
- **2 à 4 postes temporaires** selon la demande (montage sur site, support technique).

● **Type de main-d'œuvre recherchée :**

- **Ingénieurs en électronique / mécatronique** : pour l'assemblage des composants et la mise en œuvre des systèmes embarqués.
- **Développeurs Arduino / ESP32** : pour la programmation et l'évolution logicielle.
- **Techniciens de maintenance** : pour assurer un suivi après installation.
- **Commerciaux** : pour la prospection et la relation client.

Cette main-d'œuvre peut être recrutée localement, notamment auprès des universités techniques.

● **Possibilité de sous-traitance :**

Oui, certaines tâches peuvent être externalisées :

- Fabrication des boîtiers électroniques sur mesure.
- Impression de circuits imprimés (**PCB**).
- Installation en magasin**,** à travers des équipes partenaires formées.

4. Les Principaux partenaires :

Les partenariats représentent un levier stratégique pour le succès du projet de « chariot intelligent ». Ils offrent un appui technique, logistique ou financier selon les besoins du projet.

- **Fournisseurs :**

- Distributeurs de composants électroniques (ESP32, RFID, écrans LCD...).
- Entreprises spécialisées dans l'impression 3D ou la fabrication de structures physiques.

- **Organismes publics :**

- **ANADE (Agence nationale de soutien à l'entrepreneuriat)** : soutien financier et accompagnement administratif.
- **Ministère de la Poste et des Télécommunications** : appui à l'innovation numérique.
- **CFPA (Centres de formation professionnelle)** : source potentielle de techniciens spécialisés.

- **Incubateurs et laboratoires :**

- **Incubateurs universitaires** : espaces de travail, mentorat, réseautage.
- **Laboratoires de recherche** en IA ou systèmes embarqués : pour l'amélioration technique de la solution.

- **Banques et institutions financières :**

- Offres de financement adaptées aux startups technologiques (prêts, subventions...).

- **Partenaires distributeurs :**

- Grandes surfaces ou chaînes de distribution : cibles potentielles pour un premier déploiement.

Cinquième axe
Plan Financier



Cinquième axe :

Plan financier

1.Les Coûts et charges

A. Coût des composants électroniques

Composant	quantité	Prix unitaire estimé (DZD)
ESP32 – WROOM-32	2	1500 × 2 = 3000 DA
Écran LCD 16x4 + Interface I2C	1	2000 DA
Lecteur RFID RC522	1	500 DA
Bouton tactile	2	45 × 2 = 90 DA
Capuchon de bouton tactile	2	10× 2= 20 DA
Plaque PCB 8 cm /7 cm	1	62,5 DA
condensateur	3	60 DA
résistance	2	20 DA
TOTAL	5752,5 DA	

B. Coût des outils et consommables

Outil	Utilisation	Prix estimé (DZD)
Fer à souder (30–60 W) + support	Souder les composants électroniques	4000 DA × 2 = 8000 DA
Étain à souder (fil d'étain 0.8mm)	Consommable pour les soudures	1000DA× 10 = 10000 DA
Multimètre numérique	Tester tensions, continuité, résistance, etc.	3500DA× 2 =7000DA
Station de soudage (si budget élevé)	Pour plus de précision et de sécurité	14000DA× 2 = 28000DA
Casse a outil 51 pcs	Découpe et manipulation des fils	20500DA× 2 = 41000 DA
Tapis antistatique / tapis de travail	Surface sécurisée pour l'électronique	1500DA× 2 = 3000DA
Ordinateur portable / PC (déjà possédé)	Programmation de l'ESP32, gestion base de données	70000DA× 1 = 70000DA 100000 DA ×2 = 200000DA
Câble USB de programmation	Connexion ESP32 au PC	500DA × 2 = 1000DA
Pistolet à colle chaude (et bâtons)	Fixation de composants dans le boîtier	1650DA× 2 = 3300DA
Boîte à de rangement32 ps 25cm /38cm /12cm 8ps 25cm/38cm/20cm 16ps 25cm/38cm/12cm	Rangement et organisation du matériel	2900DA× 1+3000DA× 1+2500× 1 = 8400DA
perceuse visseuse rechargeable	Pour percer la carte électronique et les boîtiers	11500DA× 2 = 23000DA
TOTAL	402700 DA	

C. Coût total estimé

Coût total = 5752,5 + 402700 = 408452,5 DA

2. Modes et sources de financement

- **Sources internes :** Fonds propres, apports des associés.
- **Sources externes possibles :**
  - Crédit bancaire.
  - Programmes de soutien gouvernementaux (ANGEM, ANSEJ).
  - Partenaires ou investisseurs privés.

Remboursement :

- Échelonné sur 2 ou 3 ans selon les bénéfices réalisés.
- Tableau d'amortissement lié à l'évolution du chiffre d'affaires.

3.Chiffre d'affaires prévisionnel

Année	Nombre Des clients	Chariot equipé	Revenu mensuel (DZD)	Revenu annuel (DZD)
1re année	4	55	27500	330000
2e année	16	250	125000	1500000
3e année	60	1000	500000	6000000

Scénario pessimiste (50 % du scénario optimiste)

Année	Nombres des clients	Chariot equipé	Revenu mensuel (DZD)	Revenu annuel (DZD)
1re année	2	27	13500	162000
2e année	8	125	63500	750000
3e année	30	500	250000	3000000

4. Compte de résultat prévisionnel

année	CA annuel	Charges totales	Résultat net
1ère	330 000 DA	117 552 DA	+212 448 DA
2ème	1 500 000 DA	250 000 DA	+1 250 000 DA
3ème	6 000 000 DA	500 000 DA	+5 500 000 DA

Besoin en fonds de roulement (BFR)

À calculer ultérieurement selon :

- Stock nécessaire.
- Ventes à crédit.
- Achats à crédit.
- Durée du cycle d'exploitation.

5. Plan de trésorerie :

Exemple simplifié – 1ère année :

Mois	Recettes (DA)	Dépenses (DA)	Solde cumulé (DA)
Janvier	0	117 552	-117 552
Février	25 000	10 000	-102 552
Mars	27 500	5 000	-80 052
…	…	…	…
Décembre	27 500	1 000	+XXXX DA

6. Le local et les coûts associés au lancement du projet :

Afin d'assurer un démarrage concret du projet de « chariot intelligent » dans le cadre d'une entreprise innovante, il est indispensable de disposer d'un local adéquat permettant le développement des prototypes, la réalisation des tests, ainsi que le stockage des composants électroniques et des structures physiques.

. Emplacement et superficie du local :

- Emplacement suggéré : dans la ville
- Superficie : Entre 25 et 40 m², suffisante pour un petit atelier d'électronique, un bureau administratif et un coin de stockage.

. Coût estimatif du loyer :

• Loyer mensuel : Entre 40 000 DA et 70 000 DA, selon l'emplacement et l'état du local.

• Aménagement initial (peinture, éclairage, étagères…) : Environ 250 000 DA (coût ponctuel).

. Équipements de base à prévoir :

Equipement	Quantités	Cout estimatif (DA)
Table de travail électronique	2	40 000
Armoire de logement	2	25 000
Fournitures du bureau	/	5 000
Chaise de bureau	2	10 000

. Services de base à inclure :

• Électricité : Environ 3 000 DA par mois, selon la consommation.

• Connexion Internet (ADSL/FIBRE OPTIQUE) : Entre 3 000 DA et 5 000 DA par mois.

• **Total estimatif des équipements :** Entre 170 000 DA et 200 000 DA

Sixième thème :

Prototype expérimental





Sixième axe

Prototype expérimental

1. Présentation du prototype tangible :

Nous présentons un prototype tangible, entièrement fonctionnel, intégrant les éléments suivants :

- Deux modules ESP32-WROOM-32
- Un écran LCD 16x4 avec interface I2C
- Un lecteur RFID RC522
- Des boutons tactiles avec capuchons
- Une plaque PCB de 8 cm sur 7 cm
- Condensateurs et résistances nécessaires

2. Démonstration visuelle :

Nous prévoyons de soumettre ce prototype physique au jury. En complément, nous disposons :

- D'une vidéo de démonstration illustrant le fonctionnement de la solution,
- Ainsi qu'une série de photos montrant chaque étape de l'assemblage et le résultat final.

3. Explication des étapes de réalisation

Nous pouvons également expliquer en détail les étapes suivies pour réaliser le prototype, notamment :

- Le montage des composants électroniques sur la carte PCB,
- La programmation des modules ESP32 pour gérer l'écran LCD, le lecteur RFID et les boutons tactiles,
- La création de l'interface utilisateur affichant le nom du produit, le prix, la quantité et le total des achats,
- La communication sans fil entre les deux ESP32 via la technologie ESP-NOW.

4. Prototype numérique

Enfin, pour la partie numérique, nous avons développé un prototype logiciel permettant :

- De gérer la base de données des produits,
- De synchroniser les informations entre le PC et le chariot intelligent.
- Ce prototype numérique sera également présenté au jury en complément du prototype physique.

5. Photos du prototype :




Guide du projet
Pour obtenir un diplôme/startup
Dans le cadre de l'Arrêté Ministériel 1275
Décembre
2022
CNCSIIU
MHESR
ALGERIA