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

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj
Faculté *des Sciences et de la technologie*
Département électromécanique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : **électrotechnique**

Spécialité : commande électrique

Par

- **SILINI ABDELOUADOUD**
- **BENKADDOUR ABDERRAOUF**
- **OULED OMRAN AYMEN**

Intitulé

Distributeur de Boisson Automatique et Smart

Soutenu le : 21/06/2026

Devant le Jury composé de :

Nom & Prénom	*Grade*	*Qualité*	*Etablissement*
Mr F. ZEBIRI	*Pr*	*Président*	*Univ-BBA*
Mr. I.BELGASMI	*MCA*	*Encadreur*	*Univ-BBA*
Mr. M.MEDAD	*MCA*	*Encadreur*	*Univ-BBA*
Mr. R.KHANFAR	*MCB*	*Examinateur*	*Univ-BBA*
Mr. T.BENSIDHOM	*MCB*	*Examinateur*	*Univ-BBA*

Année Universitaire 2025/2026

Dédicace aux encadrants

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à nos encadrants, Madame Belgassmi Ibtisem et Monsieur Medad Mounir, pour leur encadrement rigoureux, leur disponibilité constante et leurs précieux conseils tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Leur expérience, leurs orientations pertinentes et leur soutien indéfectible ont constitué une source de motivation et ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail dans les meilleures conditions.

Nous leur témoignons notre profonde reconnaissance pour la confiance qu'ils nous ont accordée, ainsi que pour les connaissances et les compétences qu'ils nous ont permis d'acquérir au cours de cette expérience enrichissante.

Qu'ils trouvent ici l'expression de notre plus grand respect, de notre haute considération et de notre sincère gratitude.

Les étudiants — Promotion 2025/2026

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail, fruit de plusieurs mois d'efforts et de persévérance, à nos chers parents, qui n'ont jamais cessé de nous encourager et de nous soutenir tout au long de notre parcours universitaire. Que ce travail soit le témoignage de notre reconnaissance envers leurs sacrifices et leur amour inconditionnel.

Nous le dédions également à nos familles respectives, à nos enseignants qui ont éclairé notre chemin par leur savoir et leur expérience, ainsi qu'à nos amis et collègues qui nous ont accompagnés tout au long de cette aventure académique.

À toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet, nous adressons nos sincères remerciements et notre profonde gratitude.

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nos vifs remerciements s'adressent à notre encadreur pour sa disponibilité, ses conseils précieux et son accompagnement constant durant toutes les étapes de ce projet de fin d'études.

Nous remercions également l'ensemble des enseignants du Département d'Électromécanique de l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arréridj pour la qualité de la formation dispensée durant notre cursus.

Nos remerciements vont aussi aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail, ainsi qu'à toute personne ayant contribué, de quelque manière que ce soit, à la réussite de ce mémoire.

Résumé :

Résumé

Ce mémoire présente la conception et la réalisation d'un prototype de distributeur intelligent de boissons gazeuses, destiné à automatiser la distribution de boissons au sein d'espaces tels que les cafétérias et les restaurants universitaires. Le système repose sur un microcontrôleur ESP8266 qui pilote un ensemble de capteurs (niveau, débit) et d'actionneurs (pompe, électrovannes) afin de délivrer une quantité précise de boisson choisie et payée par l'utilisateur au moyen d'un monnayeur électronique.

Une étude bibliographique sur l'historique et les solutions existantes de distribution automatique a permis d'établir un cahier des charges adapté. La conception mécanique, hydraulique et électronique du système est ensuite détaillée, suivie de la réalisation du prototype, de sa programmation et des tests expérimentaux menés pour valider la précision du dosage. Les résultats obtenus montrent une erreur relative moyenne inférieure à 5 %, confirmant la viabilité de la solution proposée.

Mots-clés : distributeur automatique, boissons , ESP8266, Internet des objets, automatisation, capteur de débit, électrovanne.

Abstract

This dissertation presents the design and implementation of a smart carbonated beverage dispenser intended to automate drink distribution in spaces such as university cafeterias and restaurants. The system relies on an ESP8266 microcontroller that drives a set of sensors (level, flow) and actuators (pump, solenoid valves) in order to deliver a precise quantity of beverage selected and paid for by the user through an electronic coin acceptor.

A literature review on the history and existing automatic dispensing solutions led to the definition of a suitable set of specifications. The mechanical, hydraulic and electronic design of the system is then detailed, followed by the construction of the prototype, its programming and the experimental tests carried out to validate dosing accuracy. The results obtained show an average relative error below 5%, confirming the feasibility of the proposed solution.

Keywords: automatic dispenser, carbonated beverages, ESP8266, Internet of Things, automation, flow sensor, solenoid valve.

Table des Matières

DEDICACE AUX ENCADRANTS....3

DEDICACE....4

REMERCIEMENTS....5

RESUME....7

ABSTRACT....8

LISTE DES FIGURES....12

LISTE DES TABLEAUX....12

LISTE DES ABREVIATIONS....14

CHAPITRE I: CONTEXTE GENERAL, HISTORIQUE ET ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE....21

I.1. INTRODUCTION GENERALE....21

I.2. PROBLEMATIQUE....21

I.3. OBJECTIFS DU PROJET....22

I.4. HISTORIQUE DES DISTRIBUTEURS AUTOMATIQUES....23

I.4.1. Des origines antiques à la révolution industrielle....23

I.4.2. L'âge d'or des distributeurs de boissons (XXe siècle)....24

I.4.3. L'intégration de l'électronique (années 1970–2000)....25

I.4.4. L'ère des distributeurs intelligents et connectés (2000 à aujourd'hui)....25

I.5. PRESENTATION DES SYSTEMES DE DISTRIBUTION DE BOISSONS....26

I.6. ÉTUDE DES SOLUTIONS EXISTANTES....27

I.7. CAHIER DES CHARGES DU PROJET....28

I.8. CONCLUSION DU CHAPITRE....29

CHAPITRE II : DEFINITION, ROLE DES COMPOSANTS ET CONCEPTION DU SYSTEME....31

II.1. INTRODUCTION 31
II.2. DEFINITION ET ROLE DES COMPOSANTS PRINCIPAUX 31
II.2.1. Microcontrôleur ESP8266 (NodeMCU) 31
II.2.2. Capteur de débit YF-S201 31
II.2.3. Capteurs de niveau (bas et haut) 32
II.2.4. Capteur DHT11 (température et humidité) 32
II.2.5. Capteur ultrason HC-SR04 33
II.2.6. Écran LCD 16x2 avec interface I2C 33
II.2.7. Clavier 4x4 avec interface I2C (PCF8574) 34
II.2.8. Monnayeur électronique CH-926 35
II.2.9. Transistor MOSFET IRLZ44N 35
II.2.10. Pompe et électrovanne 12 V 36
II.2.11. Carte PCB (Printed Circuit Board) 36
II.2.12. Composants passifs de protection 37
II.3. TABLEAU RECAPITULATIF DES COMPOSANTS 38
II.4. ARCHITECTURE GLOBALE DU DISTRIBUTEUR 39
II.5. PARTIE MECANIQUE 40
II.6. PARTIE HYDRAULIQUE 40
II.7. PARTIE ELECTRONIQUE 41
II.8. SCHEMA FONCTIONNEL 41
II.9. MODELISATION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT 42
II.10. PRESENTATION DU PROTOTYPE REALISE — GOCCIA DEL TORET 43
II.11. CONCLUSION DU CHAPITRE 46
CHAPITRE III : REALISATION, TESTS ET VALIDATION DU PROTOTYPE 48
III.1. INTRODUCTION 48
III.2. MONTAGE MECANIQUE 48
III.3. CABLAGE ELECTRONIQUE ET CARTE PCB 48

III.4. PROGRAMMATION DU SYSTEME 51
III.4.1. Environnement de développement 51
III.4.2. Architecture logicielle 51
III.4.3. Extrait commenté du code source.....52
III.5. INTERFACE UTILISATEUR.....52
III.6. TESTS EXPERIMENTAUX 53
III.7. ANALYSE DES RESULTATS 53
III.8. ÉTUDE ECONOMIQUE.....54
III.9. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....56
CONCLUSION GENERALE.....59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 62
ANNEXES 63
ANNEXE A : EXTRAIT COMPLET DU CODE SOURCE DU PROGRAMME DE COMMANDE.....63
.....66

Liste des figures

FIGURE I.1 — ÉVOLUTION HISTORIQUE DES DISTRIBUTEURS AUTOMATIQUES DE L'ANTIQUITE AUX SYSTEMES CONNECTES MODERNES 24
FIGURE I.2 — ORGANIGRAMME DE LA DEMARCHE METHODOLOGIQUE DU PROJET (PROBLEME → ÉTUDE → CONCEPTION → REALISATION → VALIDATION) 26
TABLEAU I.1 — COMPARAISON DES PRINCIPALES SOLUTIONS DE DISTRIBUTION DE BOISSONS 27
TABLEAU I.2 — CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL DU DISTRIBUTEUR INTELLIGENT 29
FIGURE II.1 ESP 8266 31
FIGURE II.2 CAPTEUR DE DEBIT YF-S201 32
FIGURE II.3 CAPTEUR DE NIVEAU HAUT 32
FIGURE II.4 CAPTEUR DHT11 33
FIGURE II.5 CAPTEUR ULTRASON HC-SR04 33
FIGURE II.6 ÉCRAN LCD 16X2 AVEC INTERFACE I2C 34
FIGURE II.7 CLAVIER 4X4 AVEC INTERFACE I2C (PCF8574) 34
FIGURE II.8 MONNAYEUR ELECTRONIQUE 35
FIGURE II.9 MOSFET IRLZ44N 35
FIGURE II.10 POMPE 12 V 36
FIGURE II.11 ELECTROVANNE 24 V 36
FIGURE II.12 LA CARTE PCB 37
FIGURE II.13 RESISTANCE 10 KΩ FIGURE II.14 RESISTANCE 220 Ω
FIGURE II.15DIODE1N4007 38
TABLEAU II.1 — RECAPITULATIF DES COMPOSANTS DU DISTRIBUTEUR INTELLIGENT 39
FIGURE II.16 — ARCHITECTURE GLOBALE DU DISTRIBUTEUR INTELLIGENT DE BOISSONS GAZEUSES 40

FIGURE II.17 — SCHEMA FONCTIONNEL ENTREES-TRAITEMENT-SORTIES DU DISTRIBUTEUR INTELLIGENT 42
FIGURE II.18 — ORGANIGRAMME DU PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU DISTRIBUTEUR INTELLIGENT 43
FIGURE II.19 — PROTOTYPE GOCCIA DEL TORET : VUE DE FACE (PANNEAU DE COMMANDE ET ECRAN) 44
FIGURE II.20 — PROTOTYPE GOCCIA DEL TORET : VUE LATERALE (BUSE DE DISTRIBUTION ET BRAS SUPPORT).....45
FIGURE II.21 — PROTOTYPE GOCCIA DEL TORET : FACE ARRIERE MONTRANT LE MONNAYEUR CH-926 ET LE PANNEAU DE COMMANDE.....45
TABLEAU III.1 — AFFECTATION DES BROCHES GPIO DE L'ESP8266.....49
FIGURE III.1 — SCHEMA DE LA CARTE PCB (PRINTED CIRCUIT BOARD) DU DISTRIBUTEUR INTELLIGENT. 50
50
FIGURE III.2 — VUE 3D ILLUSTRATIVE DE LA CARTE PCB DU DISTRIBUTEUR INTELLIGENT 50
FIGURE III.3 — ORGANIGRAMME DE LA MACHINE A ETATS FINIS (FSM) DU PROGRAMME EMBARQUE.....52
EXTRAIT A — CODE SOURCE PRINCIPAL DE LA MACHINE A ETATS DU DISTRIBUTEUR INTELLIGENT 52
FIGURE III.4 — SEQUENCE DES ECRANS DE L'INTERFACE UTILISATEUR (AFFICHAGE LCD) 53
TABLEAU III.2 — RESULTATS DES ESSAIS DE PRECISION VOLUMETRIQUE 53
FIGURE III.5 — COMPARAISON ENTRE LE VOLUME DEMANDE ET LE VOLUME REELLEMENT DISTRIBUE.....54
TABLEAU III.3 — REPARTITION ESTIMEE DES COUTS DE REALISATION DU PROTOTYPE 55
FIGURE III.6 — REPARTITION DES COUTS DE REALISATION DU PROTOTYPE (DIAGRAMME CIRCULAIRE) 55

Liste des tableaux

TABLEAU I.1 — COMPARAISON DES PRINCIPALES SOLUTIONS DE DISTRIBUTION DE BOISSONS 27
TABLEAU I.2 — CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL DU DISTRIBUTEUR INTELLIGENT 29
TABLEAU II.1 — RECAPITULATIF DES COMPOSANTS DU DISTRIBUTEUR INTELLIGENT 39
TABLEAU III.1 — AFFECTATION DES BROCHES GPIO DE L'ESP8266 49
TABLEAU III.2 — RESULTATS DES ESSAIS DE PRECISION VOLUMETRIQUE 53
TABLEAU III.3 — REPARTITION ESTIMEE DES COUTS DE REALISATION DU PROTOTYPE 55

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
IoT	Internet of Things (Internet des objets)
ESP8266	Microcontrôleur Wi-Fi de la famille ESP d'Espressif Systems
GPIO	General Purpose Input/Output (Entrée/Sortie à usage général)
I2C	Inter-Integrated Circuit (protocole de communication série)
LCD	Liquid Crystal Display (Écran à cristaux liquides)
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor
PCB	Printed Circuit Board (Carte de circuit imprimé)
PWM	Pulse Width Modulation (Modulation de largeur d'impulsion)
DC	Direct Current (Courant continu)
SDA	Serial Data (ligne de données du bus I2C)
SCL	Serial Clock (ligne d'horloge du bus I2C)
YF-S201	Modèle de capteur de débit à effet Hall
CH-926	Modèle de monnayeur électronique multi-pièces
ADC	Analog-to-Digital Converter (Convertisseur analogique-numérique)

Introduction Générale

Introduction Générale

Dans un contexte marqué par l'augmentation continue de la consommation d'eau et de boissons rafraîchissantes, ainsi que par une prise de conscience croissante des enjeux environnementaux, la réduction du gaspillage et l'optimisation de l'utilisation des ressources sont devenues des préoccupations majeures. La recherche de solutions innovantes permettant de concilier confort, économie et préservation de l'environnement constitue aujourd'hui un défi important pour les chercheurs et les industriels.

Durant les périodes de forte chaleur, notamment en été, de nombreuses personnes consomment régulièrement des boissons fraîches et des boissons gazeuses afin de se désaltérer. Cependant, dans de nombreux cas, les consommateurs achètent des bouteilles ou des canettes dont seule une partie est réellement consommée. Le reste du contenu est souvent abandonné après avoir perdu sa fraîcheur ou sa température idéale de consommation. Cette situation entraîne non seulement un gaspillage considérable de boissons, mais également une augmentation importante des déchets plastiques et métalliques générés par les emballages à usage unique.

Par ailleurs, l'utilisation massive de bouteilles en plastique représente une menace sérieuse pour l'environnement. Malgré les efforts de recyclage mis en place dans plusieurs pays, une quantité importante de déchets finit dans la nature, contribuant ainsi à la pollution des sols, des cours d'eau et des océans. Cette problématique encourage le développement de solutions alternatives visant à réduire la consommation d'emballages jetables et à promouvoir des habitudes de consommation plus responsables.

Face à ces constats, l'automatisation et les technologies intelligentes offrent aujourd'hui des perspectives particulièrement intéressantes. Grâce aux progrès réalisés dans le domaine des systèmes embarqués, des

microcontrôleurs et des objets connectés, il est désormais possible de concevoir des équipements capables d'assurer une gestion précise et efficace de la distribution des liquides tout en améliorant l'expérience utilisateur.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre projet intitulé **« Conception et réalisation d'un distributeur intelligent de boissons gazeuses »**. Ce système a été conçu dans le but de fournir aux utilisateurs une solution moderne permettant d'obtenir exactement la quantité de boisson souhaitée tout en payant uniquement la quantité réellement consommée. Contrairement aux systèmes traditionnels basés sur la vente de bouteilles ou de canettes préremplies, notre distributeur permet une distribution flexible et personnalisée selon les besoins de chaque utilisateur.

Le principe de fonctionnement repose sur l'introduction d'une pièce de monnaie dans un monnayeur électronique qui convertit automatiquement le montant inséré en un crédit correspondant à un volume déterminé de boisson. L'utilisateur peut ensuite sélectionner la quantité désirée grâce à une interface simple et intuitive. Le système contrôle avec précision le volume distribué à l'aide d'un capteur de débit, garantissant ainsi une mesure fiable de la quantité servie. De plus, le crédit restant demeure disponible et peut être utilisé ultérieurement jusqu'à son épuisement, offrant ainsi davantage de flexibilité et de confort à l'utilisateur.

Afin d'assurer un fonctionnement intelligent et automatisé, le distributeur intègre plusieurs composants électroniques et capteurs. Un microcontrôleur ESP8266 (NodeMCU) constitue l'unité centrale de traitement et assure la gestion des différentes opérations du système. Plusieurs capteurs permettent de surveiller l'état du distributeur, notamment le niveau des liquides, le débit distribué, la température interne ainsi que la présence éventuelle d'un récipient. Les actionneurs tels que la pompe et les électrovannes sont commandés électroniquement afin de garantir une distribution précise et sécurisée des boissons.

L’intégration de modules de communication sans fil, tels que le Wi-Fi ou le Bluetooth, permet également d’envisager des fonctionnalités avancées de supervision et de contrôle à distance. Cette approche s’inscrit dans le cadre des technologies de l’Internet des Objets (IoT), qui occupent aujourd’hui une place importante dans les systèmes intelligents modernes.

Au-delà de son aspect technologique, ce projet présente également un intérêt économique et environnemental significatif. En permettant aux utilisateurs de remplir leurs propres bouteilles ou récipients réutilisables, le système contribue directement à la réduction de la consommation d’emballages jetables. Il participe ainsi à la diminution des déchets plastiques et favorise l’adoption de comportements plus respectueux de l’environnement. En outre, la possibilité de distribuer uniquement la quantité nécessaire permet de limiter le gaspillage des boissons et d’optimiser leur utilisation.

L’objectif principal de ce travail est donc de concevoir, réaliser et tester un prototype fonctionnel capable d’assurer une distribution intelligente, précise et économique de boissons gazeuses. Cette étude englobe la conception mécanique, électronique et logicielle du système, ainsi que l’analyse de ses performances et de sa faisabilité technique.

Le présent mémoire est organisé en trois chapitres principaux. Le premier chapitre présente les généralités relatives aux distributeurs automatiques et aux technologies utilisées dans les systèmes intelligents de distribution. Le deuxième chapitre est consacré à l’étude et à la conception détaillée du système proposé, ainsi qu’au choix des composants matériels et logiciels. Enfin, le troisième chapitre décrit la réalisation pratique du prototype, son montage, sa programmation et les différents tests effectués afin de valider son fonctionnement et d’évaluer ses performances.

CHAPITRE I

Chapitre I: Contexte général, historique et étude bibliographique

I.1. Introduction générale

Les distributeurs automatiques occupent aujourd'hui une place de plus en plus importante dans notre quotidien. Qu'il s'agisse de la vente de boissons, de snacks ou de divers produits de consommation courante, ces systèmes offrent aux utilisateurs un accès rapide et autonome aux produits sans nécessiter l'intervention d'un vendeur. Avec l'essor de l'Internet des objets (IoT) et la miniaturisation des microcontrôleurs, ces équipements connaissent une évolution profonde : ils deviennent plus intelligents, plus précis et davantage connectés.

Dans ce contexte, le présent travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de fin d'études de Master portant sur la conception et la réalisation d'un distributeur intelligent de boissons gazeuses. L'objectif est de proposer un système automatisé, économique et fiable, capable de délivrer une quantité précise de boisson en échange d'un paiement par pièces de monnaie, tout en assurant une supervision simple de son fonctionnement.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres principaux. Le premier chapitre présente le contexte général du projet, la problématique, les objectifs visés ainsi qu'une étude bibliographique approfondie sur l'historique des distributeurs automatiques et les solutions existantes. Le deuxième chapitre est consacré à la définition des composants, à la conception et à la modélisation du système. Enfin, le troisième chapitre décrit la réalisation pratique du prototype, sa programmation, les tests expérimentaux effectués, et l'analyse des résultats obtenus.

I.2. Problématique

La distribution de boissons gazeuses, qu'elle soit assurée par un personnel de service ou par des distributeurs automatiques classiques, présente plusieurs limites observées notamment dans les espaces de restauration universitaire et les cafétérias :

- L'absence de contrôle précis sur la quantité de boisson servie, ce qui engendre soit un gaspillage, soit une insatisfaction du client.
- La nécessité de mobiliser un employé pour la préparation et le service, ce qui ralentit la cadence et augmente les coûts de fonctionnement.
- La difficulté de superviser en temps réel les niveaux de stock et les ventes réalisées.
- Le manque de systèmes intelligents et connectés adaptés au marché local, la majorité des distributeurs disponibles étant importés et coûteux.

Ces constats soulèvent la problématique suivante : comment concevoir un système automatisé, économique et précis, capable de distribuer une quantité exacte de boisson gazeuse choisie par l'utilisateur, tout en assurant une supervision simple de son état de fonctionnement ? C'est à cette problématique que ce mémoire tente de répondre, à travers la conception et la réalisation d'un prototype de distributeur intelligent basé sur un microcontrôleur ESP8266.

I.3. Objectifs du projet

L'objectif général de ce projet est de concevoir et de réaliser un prototype fonctionnel de distributeur intelligent de boissons gazeuses, capable de fonctionner de manière autonome et fiable. Pour atteindre cet objectif, plusieurs objectifs spécifiques ont été fixés :

- Étudier l'historique et les solutions existantes en matière de distribution automatique de boissons.

- Établir un cahier des charges fonctionnel répondant aux besoins identifiés.
- Concevoir l'architecture mécanique, hydraulique et électronique du système.
- Sélectionner les composants adaptés (microcontrôleur, capteurs, actionneurs, monnayeur, écran).
- Développer un programme de commande permettant la gestion du paiement, de la sélection et de la distribution.
- Réaliser un prototype expérimental et valider son fonctionnement par des tests pratiques.
- Évaluer la précision du dosage ainsi que le coût global de réalisation du prototype.

I.4. Historique des distributeurs automatiques

I.4.1. Des origines antiques à la révolution industrielle

L'idée de distribuer automatiquement un produit en échange d'un paiement remonte à l'Antiquité. Le premier dispositif de ce type est attribué au mathématicien et ingénieur grec Héron d'Alexandrie qui, vers le Ier siècle de notre ère, aurait conçu un appareil distribuant de l'eau sacrée dans les temples égyptiens en échange d'une pièce de monnaie introduite dans une fente spécifique. Ce mécanisme, décrit dans son traité des Pneumatiques, reposait sur un levier actionné par le poids de la pièce, ce qui permettait d'ouvrir brièvement un robinet laissant s'écouler un volume d'eau déterminé.

Il faudra cependant attendre la fin du XIXe siècle pour voir apparaître les véritables ancêtres des distributeurs automatiques modernes. En 1883, les premières machines commerciales furent installées en Angleterre, distribuant des cartes postales et des journaux grâce à un mécanisme simple activé par une pièce de monnaie. Ces systèmes purement mécaniques représentaient une

innovation commerciale majeure en permettant un service continu, sans intervention humaine.

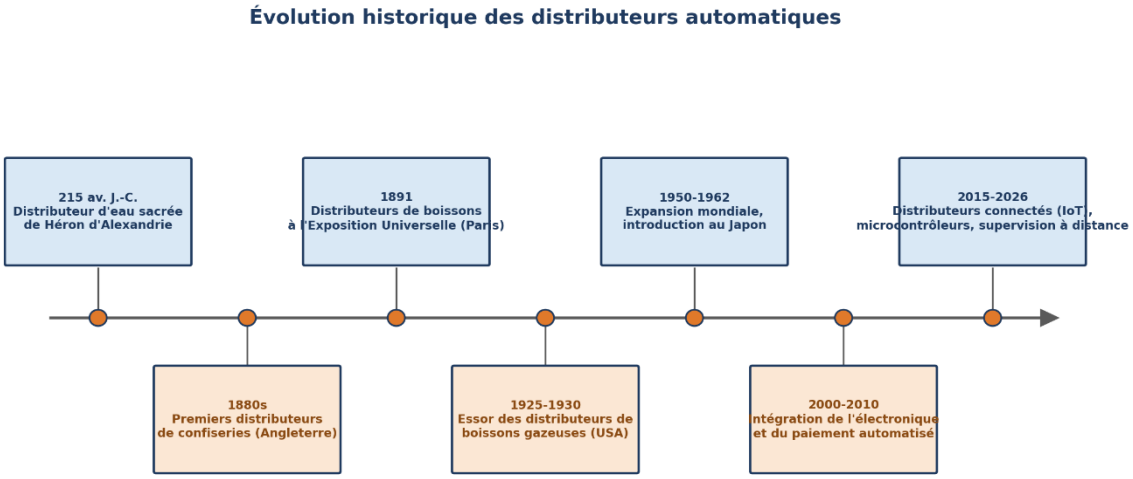


Figure I.1 — Évolution historique des distributeurs automatiques de l'Antiquité aux systèmes connectés modernes

I.4.2. L'âge d'or des distributeurs de boissons (XXe siècle)

En 1891, à l'occasion de l'Exposition Universelle de Paris, des machines distribuant des boissons chaudes et froides furent présentées au public et suscitèrent un vif intérêt. Le secteur se développa ensuite rapidement aux États-Unis : dès les années 1920, les premiers distributeurs automatiques de boissons gazeuses firent leur apparition. Ces machines proposaient des bouteilles réfrigérées de sodas, accessibles au simple dépôt d'une pièce. Dans les années 1930, plus de 200 000 machines de ce type étaient déjà installées à travers le pays, témoignant d'une adoption massive par la société de consommation américaine.

L'introduction des distributeurs automatiques sur le marché japonais en 1962 marqua une étape importante dans l'expansion mondiale de cette technologie. Le Japon allait d'ailleurs devenir l'un des pays les plus denses en distributeurs automatiques au monde, avec des machines proposant une gamme de produits extrêmement variée, allant des boissons chaudes aux produits frais, en passant par des articles insolites.

I.4.3. L'intégration de l'électronique (années 1970–2000)

À partir des années 1970, l'électronique a profondément transformé le fonctionnement des distributeurs automatiques. Les circuits électroniques ont permis d'améliorer la précision des paiements, la gestion des produits et la sécurité des transactions. Les microcontrôleurs ont ensuite remplacé progressivement de nombreux mécanismes traditionnels, rendant les machines capables de contrôler les quantités distribuées, de gérer plusieurs types de boissons simultanément, d'afficher des informations sur des écrans numériques, de détecter les pannes et d'optimiser la consommation énergétique.

Cette période a également vu l'amélioration considérable des systèmes de réfrigération intégrés, permettant de proposer des boissons maintenues à température optimale, ce qui augmenta considérablement l'attractivité des machines, notamment dans les régions à climat chaud comme l'Algérie.

I.4.4. L'ère des distributeurs intelligents et connectés (2000 à aujourd'hui)

Avec l'avènement d'Internet et des technologies de communication sans fil, les distributeurs automatiques sont entrés dans une nouvelle phase de développement que l'on qualifie de « distributeurs intelligents ». Les machines modernes intègrent des microcontrôleurs puissants, des capteurs de divers types (niveau, température, débit, présence), des écrans tactiles, des systèmes de paiement électronique (carte bancaire, paiement mobile NFC), et des modules de connectivité Wi-Fi ou cellulaire permettant une supervision à distance.

Ces technologies offrent aux exploitants la possibilité de surveiller en temps réel l'état des machines, les niveaux de stocks et les revenus générés, tout en permettant une maintenance prédictive et une intervention ciblée. Par ailleurs, les préoccupations environnementales ont favorisé l'émergence de nouvelles

solutions visant à réduire le gaspillage et la production de déchets plastiques, comme les systèmes permettant la recharge de bouteilles personnelles — concept illustré par le projet Goccia del Toret présenté dans ce mémoire.



Figure I.2 — Organigramme de la démarche méthodologique du projet (Problème → Étude → Conception → Réalisation → Validation)

I.5. Présentation des systèmes de distribution de boissons

Les systèmes de distribution automatique de boissons peuvent être classés en plusieurs catégories selon leur principe de fonctionnement :

- Les distributeurs à canettes ou bouteilles préemballées, qui stockent des unités de boisson déjà conditionnées et les libèrent mécaniquement après paiement.
- Les fontaines à boissons de type post-mix, largement utilisées dans la restauration rapide, qui mélangent en temps réel de l'eau, du sirop concentré et du dioxyde de carbone pour produire la boisson gazeuse à la demande.
- Les distributeurs de boissons chaudes ou froides à base de poudre ou de concentré, utilisés notamment pour le café, le thé ou le chocolat chaud.
- Les distributeurs intelligents connectés, apparus plus récemment, qui intègrent un microcontrôleur, des capteurs et parfois une connexion Internet pour assurer un dosage précis, une supervision à distance et, dans certains cas, un paiement électronique.

Le projet développé dans ce mémoire s'inscrit dans cette dernière catégorie : il s'agit d'un système hybride combinant la simplicité mécanique d'un distributeur à réservoir avec l'intelligence d'un microcontrôleur, permettant un dosage précis et une supervision basique, à moindre coût par rapport aux solutions importées.

I.6. Étude des solutions existantes

Afin de positionner le projet par rapport aux solutions disponibles sur le marché, une étude comparative des principales technologies de distribution de boissons a été menée. Le tableau I.1 synthétise les avantages et les limites de chacune de ces solutions.

Solution	Principe	Avantages	Limites
Distributeur traditionnel à pièces	Distribution figée déclenchée par bouton ou levier mécanique	Robuste, faible coût, simple	Pas de mesure précise, pas de supervision possible
Fontaine post-mix (restauration rapide)	Mélange sirop + CO_2 + eau à la demande	Large choix de boissons, débit élevé	Coût élevé, maintenance complexe, non connecté
Distributeur à canettes/bouteilles classique	Stockage et éjection mécanique d'unités préemballées	Simplicité, fiabilité, large adoption	Quantité fixe, gaspillage, déchets d'emballage
Distributeur intelligent connecté (IoT)	Microcontrôleur Wi-Fi + capteurs + paiement automatisé	Suivi à distance, traçabilité, dosage personnalisé	Coût initial plus élevé, dépendance réseau électrique

Tableau I.1 — Comparaison des principales solutions de distribution de boissons

Plusieurs travaux de recherche ont par ailleurs étudié l'intégration de microcontrôleurs à faible coût, tels que l'ESP8266 ou l'ESP32, dans des distributeurs automatiques connectés, démontrant la faisabilité technique et économique de tels systèmes. Ces études soulignent l'intérêt de ces modules pour leurs capacités Wi-Fi intégrées, leur faible coût et leur simplicité de programmation, ainsi que la pertinence de l'utilisation de capteurs de débit à effet Hall pour le dosage précis de liquides.

I.7. Cahier des charges du projet

Sur la base de l'étude bibliographique et des besoins identifiés, le cahier des charges fonctionnel du projet a été établi. Il définit les exigences auxquelles doit répondre le prototype.

Critère	Exigence
Fonction principale	Distribuer une quantité précise de boisson gazeuse choisie par l'utilisateur
Mode de paiement	Acceptation de pièces de monnaie via un monnayeur électronique (CH-926)
Précision de dosage	Erreur relative inférieure à 5 % du volume demandé
Temps de distribution	Inférieur à 15 secondes pour un volume de 250 mL
Interface utilisateur	Affichage clair sur écran LCD (sélection, état, messages)
Supervision	Surveillance du niveau des réservoirs et alerte en cas de rupture de stock
Connectivité	Communication Wi-Fi via l'ESP8266 pour un suivi à distance (évolutif)
Sécurité alimentaire	Matériaux en contact avec les boissons conformes aux normes alimentaires

Critère	Exigence
Alimentation électrique	Fonctionnement sous adaptateurs régulés 5 V / 12 V / 24 V
Coût du prototype	Maîtrisé, compatible avec un budget de projet de fin d'études
Encombrement	Dimensions compactes adaptées à une cafétéria ou restaurant universitaire
Évolutivité	Possibilité d'ajouter un module de paiement électronique dans une version future

Tableau I.2 — Cahier des charges fonctionnel du distributeur intelligent

I.8. Conclusion du chapitre

Ce premier chapitre a permis de situer le projet dans son contexte historique et technologique, en présentant l'évolution des distributeurs automatiques depuis leurs origines antiques jusqu'aux systèmes intelligents connectés modernes. L'étude des solutions existantes a mis en évidence les limites des systèmes actuellement disponibles sur le marché local et a justifié l'intérêt du développement d'une solution adaptée, économique et intelligente. Le cahier des charges établi servira de référence tout au long du projet pour guider les choix de conception et valider les performances du prototype réalisé.

CHAPITRE II

Chapitre II : Définition, rôle des composants et conception du système

II.1. Introduction

Ce chapitre présente dans un premier temps la définition et le rôle de chaque composant constituant le distributeur intelligent, puis détaille l'architecture globale du système et la conception de ses différentes parties — mécanique, hydraulique et électronique. La compréhension du rôle de chaque composant est indispensable pour appréhender les choix techniques réalisés et le fonctionnement d'ensemble du prototype.

II.2. Définition et rôle des composants principaux

II.2.1. Microcontrôleur ESP8266 (NodeMCU)

L'Arduino Nano ou le module NodeMCU ESP8266 joue le rôle d'unité centrale de commande du système. Il lit les informations provenant des capteurs (débit, niveau, température), traite les entrées utilisateur (clavier, monnayeur), pilote l'afficheur LCD et commande les actionneurs comme la pompe et l'électrovanne via les transistors MOSFET. Le module ESP8266 présente l'avantage supplémentaire d'intégrer une connectivité Wi-Fi 802.11 b/g/n, permettant l'envoi de données vers une plateforme de supervision distante.

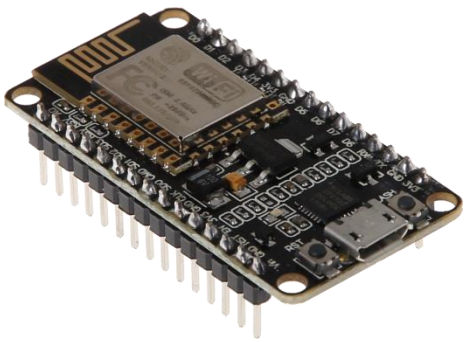


Figure II.1 ESP 8266

II.2.2. Capteur de débit YF-S201

Le YF-S201 est un capteur de débit à effet Hall qui mesure le passage du liquide dans une conduite. Son rôle est de mesurer la quantité de boisson distribuée afin de garantir un dosage précis et de calculer la quantité consommée par l'utilisateur. Il génère un signal impulsionnel dont la fréquence est proportionnelle au débit instantané. Le volume total distribué V (en litres) peut être estimé par le comptage du nombre d'impulsions N selon la relation : V = N / K, où K est le facteur de calibration du capteur, typiquement de l'ordre de 450 impulsions par litre pour ce modèle.



Figure II.2 Capteur de débit YF-S201

II.2.3. Capteurs de niveau (bas et haut)

Le capteur de niveau bas est un détecteur permettant de vérifier si le liquide descend en dessous d'un seuil minimal. Son rôle est d'indiquer un manque de boisson dans le réservoir afin d'éviter un fonctionnement à vide de la pompe et de déclencher une alerte ou un arrêt de sécurité. Le capteur de niveau haut surveille quant à lui le niveau supérieur du liquide, permettant de contrôler le remplissage et d'éviter tout débordement.



Figure II.3 Capteur de niveau haut

II.2.4. Capteur DHT11 (température et humidité)

Le DHT11 est un capteur numérique de température et d'humidité. Il permet de mesurer les conditions ambiantes autour du distributeur. Ces informations

peuvent être utilisées pour surveiller l'environnement de fonctionnement, protéger certains composants sensibles à la chaleur ou enrichir les



informations affichées à l'utilisateur.

Figure II.4 Capteur DHT11

II.2.5. Capteur ultrason HC-SR04

Le HC-SR04 est un capteur de distance fonctionnant par émission et réception d'ondes ultrasonores. Dans le distributeur, il peut servir à détecter la présence d'un gobelet sous la buse de distribution, permettant ainsi au système de n'autoriser la distribution que lorsqu'un récipient est correctement positionné, ce qui évite tout gaspillage de boisson.



Figure II.5 Capteur ultrason HC-SR04

II.2.6. Écran LCD 16x2 avec interface I2C

L'afficheur LCD 16x2 est un écran alphanumérique capable d'afficher deux lignes de 16 caractères. L'interface I2C simplifie considérablement le câblage en réduisant le nombre de connexions nécessaires entre l'écran et le microcontrôleur à seulement deux fils (SDA et SCL). Son rôle est d'afficher les informations essentielles du distributeur : message d'accueil, crédit inséré, type de boisson, quantité sélectionnée, état du système et messages d'erreur.



Figure II.6 Écran LCD 16x2 avec interface I2C

II.2.7. Clavier 4x4 avec interface I2C (PCF8574)

Le clavier matriciel 4x4 comporte 16 touches permettant à l'utilisateur de sélectionner une boisson, un volume, de confirmer une commande ou d'accéder à certaines fonctions du système. Le module PCF8574 est un expandeur d'entrées/sorties utilisant le protocole I2C, permettant d'augmenter le nombre de broches disponibles sur le microcontrôleur tout en réduisant le nombre de fils de connexion nécessaires.



Figure II.7 Clavier 4x4 avec interface I2C (PCF8574)

II.2.8. Monnayeur électronique CH-926

Le monnayeur électronique CH-926 est un dispositif capable de reconnaître les pièces insérées (jusqu'à six types différents) et de générer une impulsion électrique correspondante. Son rôle est de gérer le paiement du client en créditant le montant inséré dans le système avant d'autoriser la distribution de la boisson. Le CH-926 dispose d'un taux de reconnaissance élevé et s'interface aisément avec un microcontrôleur par sortie impulsionnelle.



Figure II.8 Monnayeur électronique

II.2.9. Transistor MOSFET IRLZ44N

Le MOSFET IRLZ44N est un transistor de puissance à seuil de grille logique utilisé comme interrupteur électronique commandé. Son rôle est de permettre au microcontrôleur de commander des charges de puissance en 12 V (pompe, électrovanne) sans les alimenter directement depuis la carte, protégeant ainsi le microcontrôleur de tout courant ou tension excessifs. Ses caractéristiques principales incluent une tension drain-source de 55 V, un courant drain de 47 A et une résistance à l'état passant de seulement 22 mΩ.

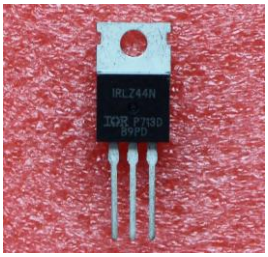


Figure II.9 MOSFET IRLZ44N

II.2.10. Pompe et électrovanne 12 V

La pompe 12 V est un actionneur électromécanique qui assure le déplacement du liquide depuis le réservoir vers la sortie. Son rôle est d'aspirer ou de pousser la boisson dans le circuit hydraulique afin d'effectuer la distribution vers le gobelet. L'électrovanne 12 V (normalement fermée) est une vanne commandée électriquement permettant d'ouvrir ou de fermer le passage du liquide avec précision. Elle contrôle l'écoulement de la boisson et, couplée à la mesure du débit, permet un dosage très précis.



Figure II.10 Pompe 12 V



Figure II.11 Electrovanne 24 V

II.2.11. Carte PCB (Printed Circuit Board)

Une carte PCB (Printed Circuit Board) ou carte de circuit imprimé est un support électronique permettant de connecter et de maintenir mécaniquement les différents composants électroniques d'un système à l'aide de pistes conductrices gravées sur une plaque isolante. Dans notre projet, la carte PCB assure l'interconnexion entre le microcontrôleur, les capteurs, le monnayeur,

l'écran LCD, les MOSFETs de commande, la pompe et l'électrovanne. Elle assure également la distribution des différentes tensions d'alimentation (5 V, 12 V et 24 V) nécessaires au fonctionnement du système, tout en réduisant l'encombrement et en améliorant la fiabilité du montage par rapport à un câblage filaire classique.

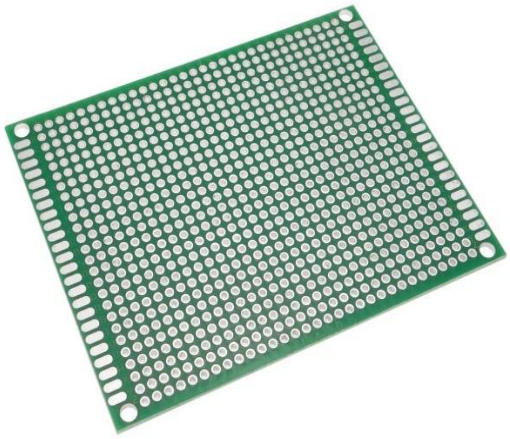


Figure II.12 la carte PCB

II.2.12. Composants passifs de protection

La diode 1N4007 est une diode de roue libre placée en antiparallèle avec les bobines de la pompe et de l'électrovanne pour protéger les circuits contre les surtensions induites lors de la coupure de l'alimentation de ces charges inductives. La résistance de 220 Ω protège la grille du MOSFET et stabilise la commande envoyée par le microcontrôleur. La résistance de 10 kΩ (pull-up) maintient une entrée logique à l'état haut lorsqu'aucun signal actif n'est présent, stabilisant ainsi le signal du monnayeur et évitant les déclenchements parasites.



Figure II.13 Résistance 10 kΩ



Figure II.14 Résistance 220 Ω



Figure II.15Diode1N4007

II.3. Tableau récapitulatif des composants

Composant	Rôle principal	Caractéristiques clés
ESP8266 (NodeMCU)	Unité de traitement centrale	CPU 32 bits, Wi-Fi intégré, GPIO, I2C
Capteur débit YF-S201	Mesure du volume distribué	Effet Hall, 1–30 L/min, ±5 %
Capteur niveau bas/haut	Surveillance des réservoirs	Sortie numérique, seuil configurable
Capteur DHT11	Température et humidité ambiantes	Sortie numérique, précision ±2 °C
Capteur HC-SR04	Détection présence gobelet	Ultrasons, portée 2–400 cm
Écran LCD I2C 16x2	Interface utilisateur visuelle	16 × 2 caractères, bus I2C, 2 fils
Clavier 4x4 + PCF8574	Saisie utilisateur	16 touches, interface I2C
Monnayeur CH-926	Acceptation pièces de monnaie	6 types de pièces, sortie impulsionnelle
MOSFET IRLZ44N	Commutation de puissance	55 V, 47 A, RDS = 22 mΩ
Pompe 12 V	Mise en circulation du liquide	12 V DC, débit compatible YF-S201
Électrovanne 12 V (NF)	Contrôle du flux de boisson	12 V DC, courant 0,3–0,5 A
PCB (circuit imprimé)	Interconnexion et alimentation	5 V / 12 V / 24 V, montage compact

Composant	Rôle principal	Caractéristiques clés
Alimentation externe	Source d'énergie du système	12 V / 5 A régulé, stable

Tableau II.1 — Récapitulatif des composants du distributeur intelligent

II.4. Architecture globale du distributeur

Le distributeur intelligent de boissons gazeuses est structuré en trois parties principales qui interagissent sous la supervision d'une unité de contrôle centrale basée sur le microcontrôleur ESP8266 :

- La partie mécanique, qui assure le support physique des différents éléments du système (châssis, réservoirs, porte-gobelet).
- La partie hydraulique, qui regroupe les réservoirs, la pompe, les électrovannes et la tuyauterie permettant l'acheminement et la distribution du liquide.
- La partie électronique, qui comprend les capteurs, les actionneurs de commande, l'écran d'affichage et le monnayeur, l'ensemble étant piloté par le microcontrôleur.

Cette architecture modulaire permet une conception, une réalisation et une maintenance plus aisées, chaque sous-système pouvant être testé et validé indépendamment avant son intégration dans le prototype final.

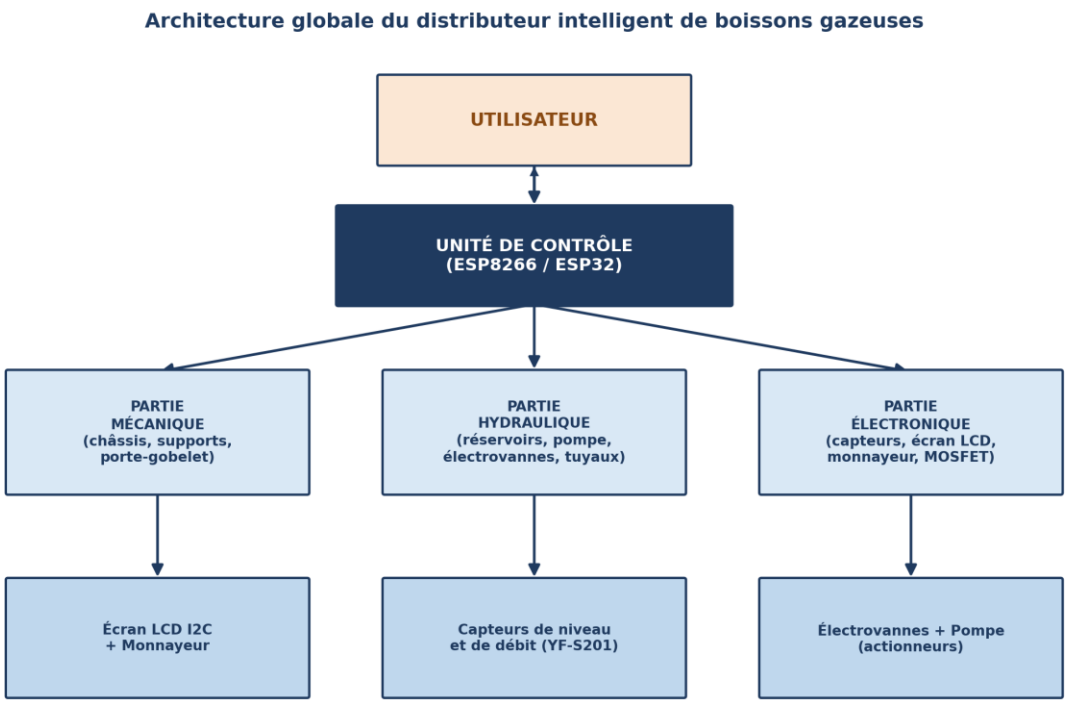


Figure II.16 — Architecture globale du distributeur intelligent de boissons gazeuses

II.5. Partie mécanique

La partie mécanique constitue le support physique de l'ensemble du distributeur. Elle est composée d'un châssis réalisé en profilés métalliques légers, dimensionné pour accueillir les réservoirs de boissons, la pompe, les électrovannes ainsi que l'électronique de commande. Un support de gobelet est positionné sous la buse de distribution afin de garantir un positionnement correct du récipient lors du remplissage.

La structure est conçue de manière à faciliter l'accès aux réservoirs pour leur remplissage et leur nettoyage, ainsi qu'à l'électronique pour la maintenance. Une attention particulière a été portée au choix des matériaux en contact avec les boissons : les tuyaux et réservoirs utilisés sont en matériaux de qualité alimentaire, conformément aux exigences formulées dans le cahier des charges.

II.6. Partie hydraulique

La partie hydraulique assure le stockage et l'acheminement contrôlé du liquide depuis les réservoirs jusqu'à la buse de distribution. Elle comprend des réservoirs de stockage pour chaque type de boisson proposée, une pompe permettant la mise en circulation du liquide, des électrovannes normalement fermées installées en sortie de chaque réservoir, et un réseau de tuyaux souples de qualité alimentaire reliant l'ensemble à la buse de distribution.

Le débit de distribution est mesuré en continu à l'aide du capteur de débit YF-S201, installé en aval de la pompe. Ce capteur génère un signal impulsionnel dont la fréquence est proportionnelle au débit instantané. La relation $V = N / K$ (avec $K \approx 450$ impulsions/litre) permet au microcontrôleur d'arrêter précisément la pompe et l'électrovanne lorsque le volume demandé est atteint, constituant ainsi une boucle de régulation en boucle fermée.

II.7. Partie électronique

La partie électronique constitue le cœur intelligent du système. Le microcontrôleur ESP8266 reçoit les informations issues du monnayeur (paiement validé), des capteurs de niveau (état des réservoirs) et du capteur de débit (volume distribué). En fonction de ces données, il commande, via des modules MOSFET IRLZ44N, l'activation de la pompe et l'ouverture des électrovannes, tout en affichant en temps réel l'état du système sur l'écran LCD.

L'alimentation électrique est assurée par plusieurs niveaux de tension : 3,3 V / 5 V pour le microcontrôleur et les capteurs, 12 V pour les actionneurs. Une isolation galvanique entre la partie logique et la partie puissance est assurée par les modules MOSFET.

II.8. Schéma fonctionnel

Le fonctionnement du système peut être représenté de manière synthétique à travers un schéma fonctionnel entrées-traitement-sorties. Les entrées

regroupent les informations issues du monnayeur, de la sélection utilisateur, des capteurs de niveau et du capteur de débit. Ces données sont traitées par l'ESP8266 qui assure la validation du paiement, le calcul du volume à distribuer et le pilotage des actionneurs. Les sorties correspondent à l'ouverture des électrovannes, à l'activation de la pompe, et à l'affichage sur l'écran LCD.

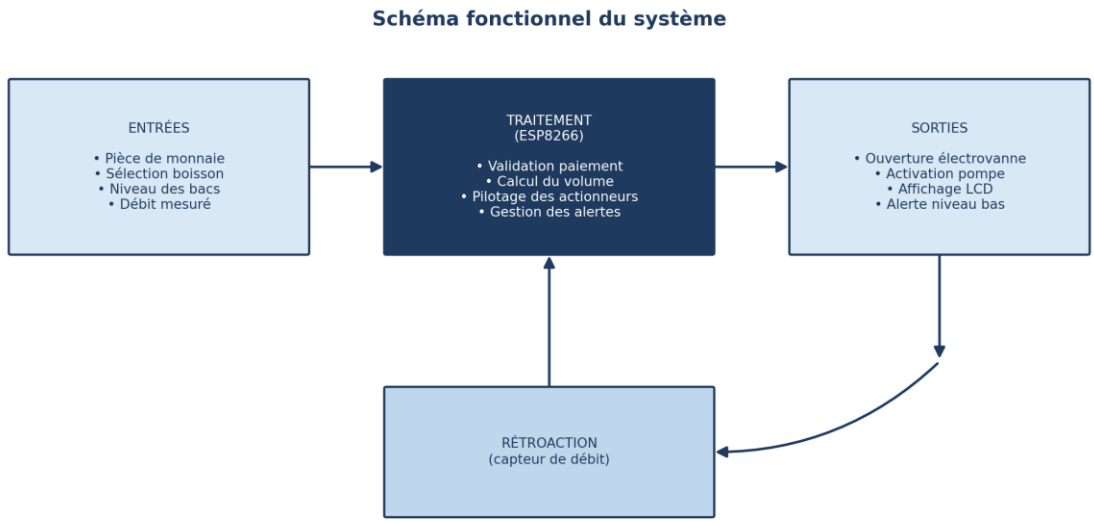


Figure II.17 — Schéma fonctionnel entrées-traitement-sorties du distributeur intelligent

II.9. Modélisation et principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement global du système peut être décrit par l'organigramme présenté ci-dessous. Après la mise sous tension, le système affiche un écran d'accueil invitant l'utilisateur à insérer une pièce de monnaie. Une fois la pièce validée par le monnayeur, l'utilisateur sélectionne la boisson souhaitée ainsi que la quantité désirée. Le microcontrôleur active alors la pompe et l'électrovanne correspondantes, tout en surveillant en continu le volume distribué grâce au capteur de débit. Lorsque le volume mesuré atteint la valeur demandée, la distribution s'arrête automatiquement.

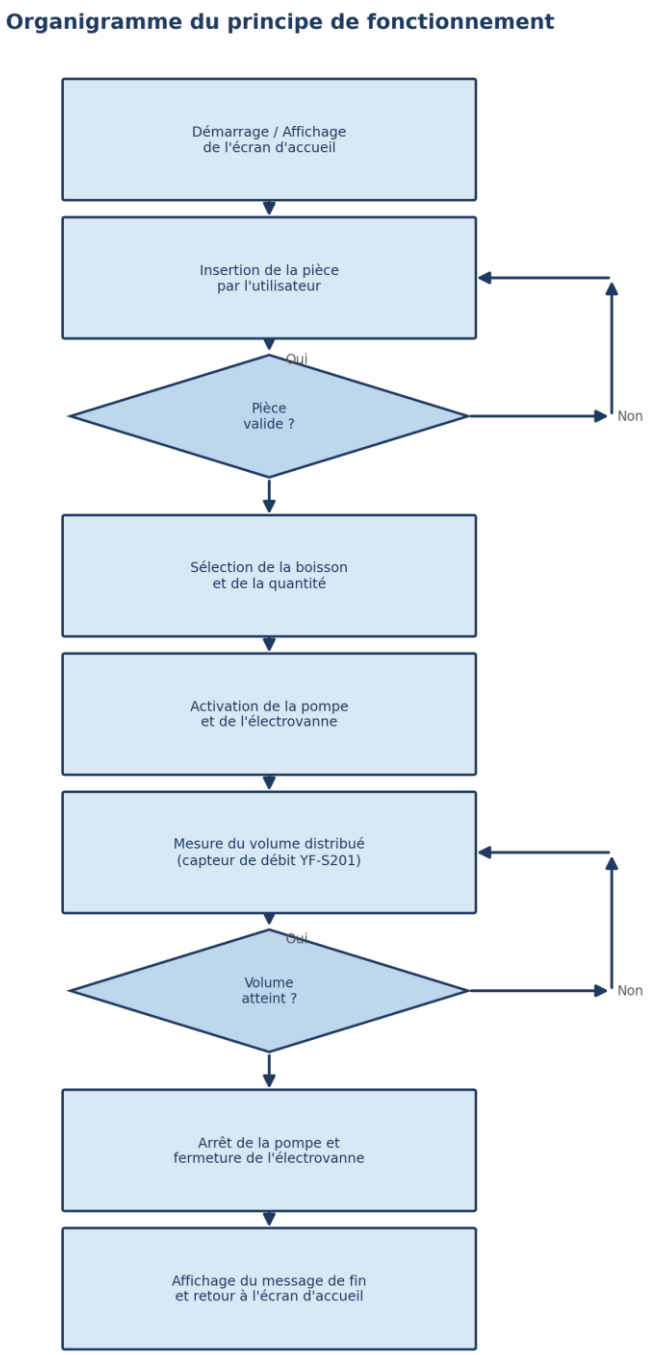


Figure II.18 — Organigramme du principe de fonctionnement du distributeur intelligent

II.10. Présentation du prototype réalisé — Goccia del Toret

Le prototype réalisé dans le cadre de ce projet est commercialisé sous le nom Goccia del Toret, dont la devise « Ogni goccia conta » (chaque goutte compte) reflète parfaitement l'approche de dosage précis et de réduction du gaspillage qui sous-tend le projet. Ce distributeur intelligent se distingue des machines conventionnelles par sa capacité à proposer à l'utilisateur exactement la

quantité de boisson souhaitée, payée en conséquence, sans imposer de quantité prédéfinie fixe.

Les photographies suivantes présentent le prototype réalisé sous différents angles, permettant d'apprécier les choix esthétiques et ergonomiques retenus pour la façade, le panneau de commande et le compartiment arrière accueillant le monnayeur.



Figure II.19 — Prototype Goccia del Toret : vue de face (panneau de commande et écran)



Figure II.20 — Prototype Goccia del Toret : vue latérale (buse de distribution et bras support)



Figure II.21 — Prototype Goccia del Toret : face arrière montrant le monnayeur CH-926 et le panneau de commande

La conception du châssis a privilégié la compacité et la facilité de maintenance. Le bras de support supérieur, visible sur les photographies, sert au maintien des réservoirs de boissons en position élevée, favorisant l'écoulement gravitaire et réduisant le travail de la pompe. La façade du

distributeur est habillée d'un décor graphique attrayant mettant en valeur les boissons disponibles et le nom de la marque.

II.11. Conclusion du chapitre

Ce chapitre a présenté en détail la définition et le rôle de chaque composant utilisé dans le distributeur intelligent, ainsi que la conception de son architecture mécanique, hydraulique et électronique. Le choix des composants a été guidé par des critères de disponibilité, de coût et d'adéquation avec le cahier des charges. L'organigramme de fonctionnement et le schéma fonctionnel présentés illustrent clairement le principe de régulation en boucle fermée qui garantit la précision du dosage. Le chapitre suivant détaillera la réalisation concrète du prototype et la validation expérimentale de ses performances.

CHAPITRE III

Chapitre III : Réalisation, tests et validation du prototype

III.1. Introduction

Ce chapitre décrit la mise en œuvre concrète du prototype de distributeur intelligent : le montage mécanique, le câblage électronique et la conception de la carte PCB, la programmation du système, l'interface utilisateur, les tests expérimentaux réalisés pour valider les performances, l'analyse des résultats obtenus, l'étude économique du projet et, enfin, la conclusion générale accompagnée des perspectives d'amélioration envisagées.

III.2. Montage mécanique

La réalisation du prototype a débuté par l'assemblage de la structure mécanique. Le châssis a été découpé et assemblé de manière à recevoir les réservoirs de boissons en partie supérieure, permettant un écoulement gravitaire qui facilite le travail de la pompe et réduit les risques de cavitation. La pompe, les électrovannes et le capteur de débit ont été fixés sur un support intermédiaire, à proximité de la buse de distribution, afin de minimiser la longueur des tuyaux et donc les pertes de charge.

Cette disposition a été pensée pour limiter l'encombrement global du distributeur tout en garantissant un accès facile aux différents éléments pour leur entretien régulier. Tous les tuyaux reliant les réservoirs à la buse de distribution sont en matériau alimentaire certifié, conformément aux exigences sanitaires définies dans le cahier des charges.

III.3. Câblage électronique et carte PCB

Le câblage électronique a été réalisé conformément au schéma de connexion établi au chapitre II, avec le microcontrôleur ESP8266 comme élément central. Le tableau III.1 détaille l'affectation des broches GPIO utilisées pour relier les différents périphériques.

Périphérique	Broche ESP8266	Fonction
Écran LCD I2C	D1 (SCL) / D2 (SDA)	Bus de communication I2C
Monnayeur CH-926	D5 (interruption)	Comptage des impulsions de paiement
Capteur de débit YF-S201	D6 (interruption)	Comptage des impulsions de débit
Capteur de niveau — réservoir 1	D7	Entrée numérique de seuil bas
Capteur de niveau — réservoir 2	D8	Entrée numérique de seuil bas
MOSFET — électrovanne 1	D3	Commande ON/OFF
MOSFET — électrovanne 2	D4	Commande ON/OFF
MOSFET — pompe	D0	Commande ON/OFF
Capteur DHT11	D9	Température et humidité ambiantes
Capteur HC-SR04 (Trig/Echo)	D10 / D11	Détection présence gobelet
Alimentation logique	3V3 / GND	Référence et alimentation logique

Tableau III.1 — Affectation des broches GPIO de l'ESP8266

Une attention particulière a été apportée à la séparation entre la partie commande (alimentée en 3,3 V / 5 V) et la partie puissance (alimentée en 12 V), cette dernière étant pilotée par l'intermédiaire des modules MOSFET IRLZ44N. Des résistances de tirage pull-down ont été ajoutées sur les broches

d'interruption (capteur de débit et monnayeur) afin d'éviter les déclenchements parasites.

La carte PCB réalisée pour ce projet centralise toutes ces connexions sur un support compact et fiable. Elle intègre les connecteurs pour chaque capteur et actionneur, les résistances de protection, les transistors MOSFET et les régulateurs de tension nécessaires. Ci-dessous, une représentation schématique de la carte PCB du système :

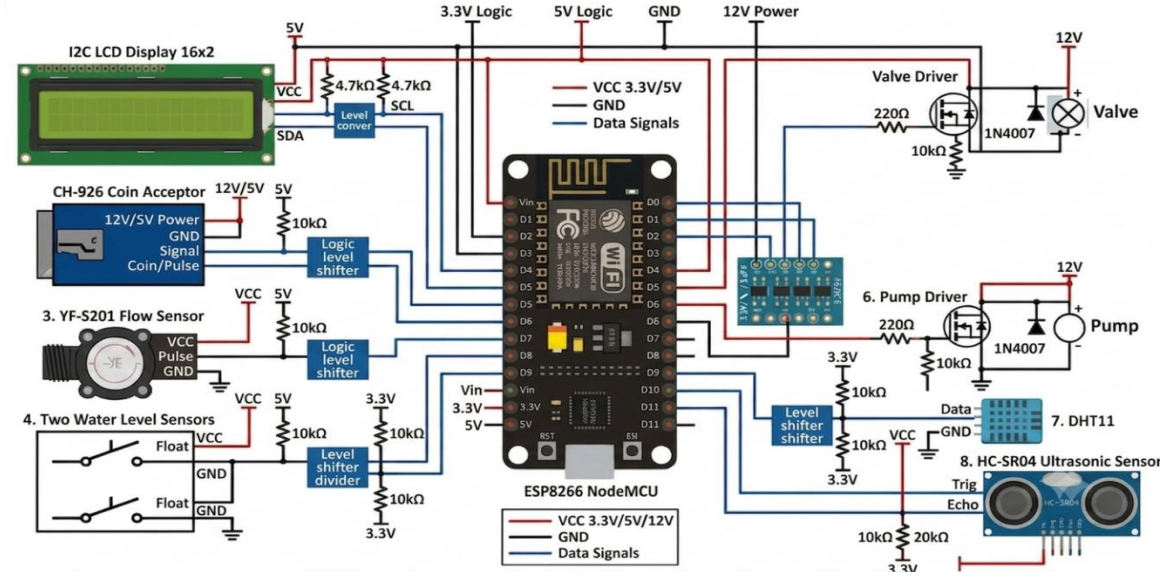


Figure III.1 — Schéma de la carte PCB (Printed Circuit Board) du distributeur intelligent.

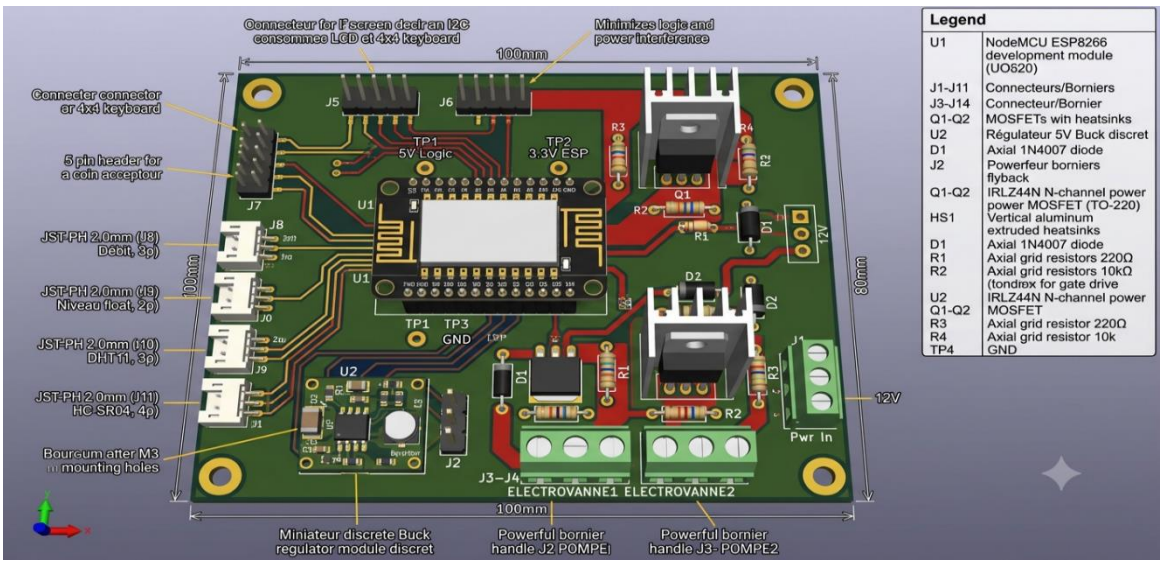


Figure III.2 — Vue 3D illustrative de la carte PCB du distributeur intelligent

III.4. Programmation du système

III.4.1. Environnement de développement

Le programme de commande du distributeur a été développé sous l'environnement Arduino IDE, compatible avec le cœur ESP8266. Cet environnement a été retenu pour sa simplicité de prise en main, la richesse de ses bibliothèques disponibles et la large communauté de développeurs qui en facilite la maintenance évolutive.

III.4.2. Architecture logicielle

L'architecture logicielle repose sur une machine à états finis (FSM — Finite State Machine) comportant les états suivants : ATTENTE, PAIEMENT, SÉLECTION, DISTRIBUTION et FIN. Ce modèle de conception garantit un comportement déterministe et facilement maintenable du système, chaque état définissant précisément les actions à réaliser et les conditions de transition vers l'état suivant.

Les impulsions générées par le monnayeur et par le capteur de débit sont comptées au moyen de routines d'interruption (attachInterrupt), ce qui garantit un comptage fiable même lorsque le programme principal exécute d'autres tâches telles que la mise à jour de l'écran LCD. Le volume distribué est calculé en temps réel à partir du nombre d'impulsions et du facteur de calibration déterminé expérimentalement.

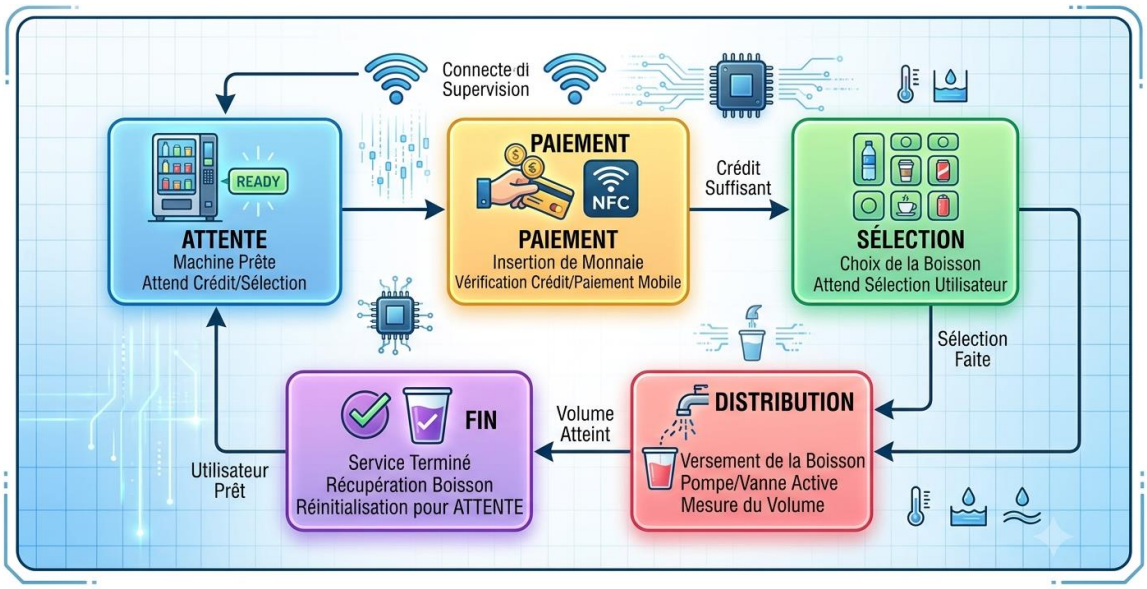


Figure III.3 — Organigramme de la machine à états finis (FSM) du programme embarqué

III.4.3. Extrait commenté du code source

```
// Machine à états — Distributeur intelligent ESP8266
enum Etat { ATTENTE, PAIEMENT, SELECTION, DISTRIBUTION, FIN };
volatile unsigned long impulsionsDebit = 0;
const float FACTEUR_K = 450.0; // impulsions/litre


void ISR_debit() { impulsionsDebit++; }
void ISR_paiement() { impulsionsPaiement++; }


case DISTRIBUTION: {
  float vol = (impulsionsDebit / FACTEUR_K) * 1000.0;
  if (vol >= volumeDemande_mL) arreterDistribution();
}
```

Extrait A — Code source principal de la machine à états du distributeur intelligent

III.5. Interface utilisateur

L'interface utilisateur du distributeur repose sur l'écran LCD I2C (16x2 ou 20x4 caractères) qui affiche successivement plusieurs écrans en fonction de l'état du système : un écran d'accueil invitant à insérer une pièce, un écran de sélection de la boisson et de la quantité, un écran de distribution en cours avec une barre de progression, et un écran de fin de cycle indiquant le volume effectivement servi.

Cette interface, volontairement simple et intuitive, a été conçue pour être facilement compréhensible par l'ensemble des utilisateurs sans formation

préalable. Le clavier matriciel 4x4 complète l'interface en permettant une saisie directe des choix de l'utilisateur.

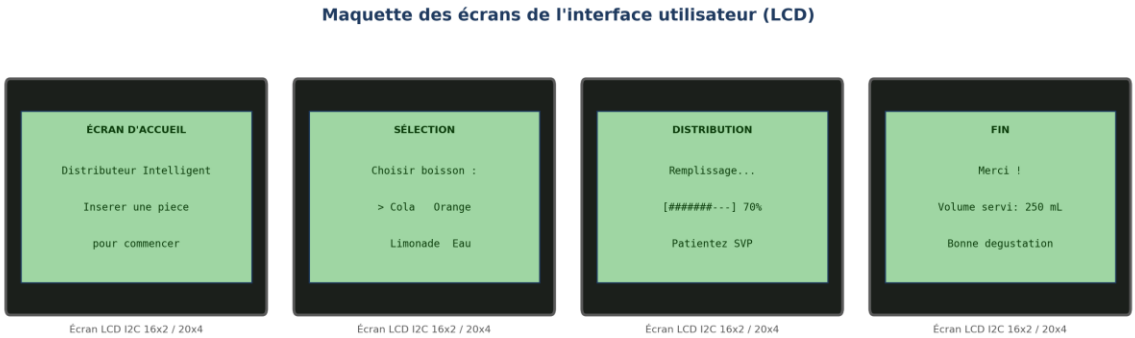


Figure III.4 — Séquence des écrans de l'interface utilisateur (affichage LCD)

III.6. Tests expérimentaux

Afin de valider le fonctionnement du prototype, une série de tests expérimentaux a été réalisée. Le protocole de test consistait à demander, pour chaque essai, un volume de boisson prédéfini (de 100 à 350 mL), puis à mesurer le volume réellement distribué à l'aide d'un récipient gradué et d'une balance de précision (1 mL d'eau correspondant approximativement à 1 g). Six essais ont été réalisés, chacun répété trois fois, la valeur moyenne étant retenue pour l'analyse.

III.7. Analyse des résultats

Essai	Volume demandé (mL)	Volume mesuré (mL)	Erreur relative (%)
1	100	104	4,0
2	150	153	2,0
3	200	196	2,0
4	250	257	2,8
5	300	308	2,7
6	350	344	1,7
Moyenne	—	—	2,5

Tableau III.2 — Résultats des essais de précision volumétrique

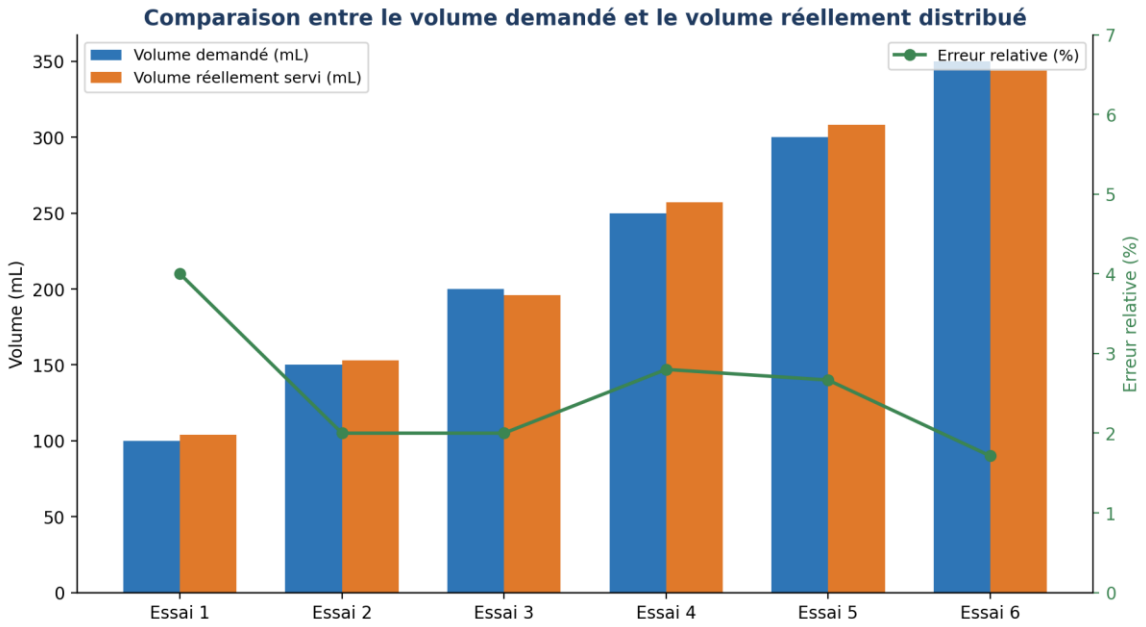


Figure III.5 — Comparaison entre le volume demandé et le volume réellement distribué

L'analyse de ces résultats montre une erreur relative moyenne de l'ordre de 2,5 %, largement inférieure au seuil de 5 % fixé dans le cahier des charges. Les écarts observés s'expliquent par la précision intrinsèque du capteur de débit YF-S201 (±5 à ±10 % selon le fabricant), par de légères variations de pression dans le circuit hydraulique, ainsi que par la résolution temporelle du comptage des impulsions. Une calibration plus fine du facteur K, propre à chaque exemplaire de capteur, permettrait de réduire encore davantage ces écarts.

Ces résultats confirment la viabilité de l'approche retenue, basée sur une régulation en boucle fermée du volume distribué, par rapport à une simple temporisation qui aurait été beaucoup plus sensible aux variations de débit.

III.8. Étude économique

Poste de dépense	Coût estimé (DA)	Part (%)
Composants électroniques (ESP8266, capteurs, écran LCD, monnayeur)	16 000	38
Composants hydrauliques (pompe, électrovannes, réservoirs, tuyauterie)	11 300	27

Poste de dépense	Coût estimé (DA)	Part (%)
Structure / châssis (matériaux, découpe, assemblage)	7 600	18
Composants électriques (câblage, alimentation, connecteurs)	4 600	11
Divers / imprévus	2 500	6
Total	42 000 DA	100

Tableau III.3 — Répartition estimée des coûts de réalisation du prototype

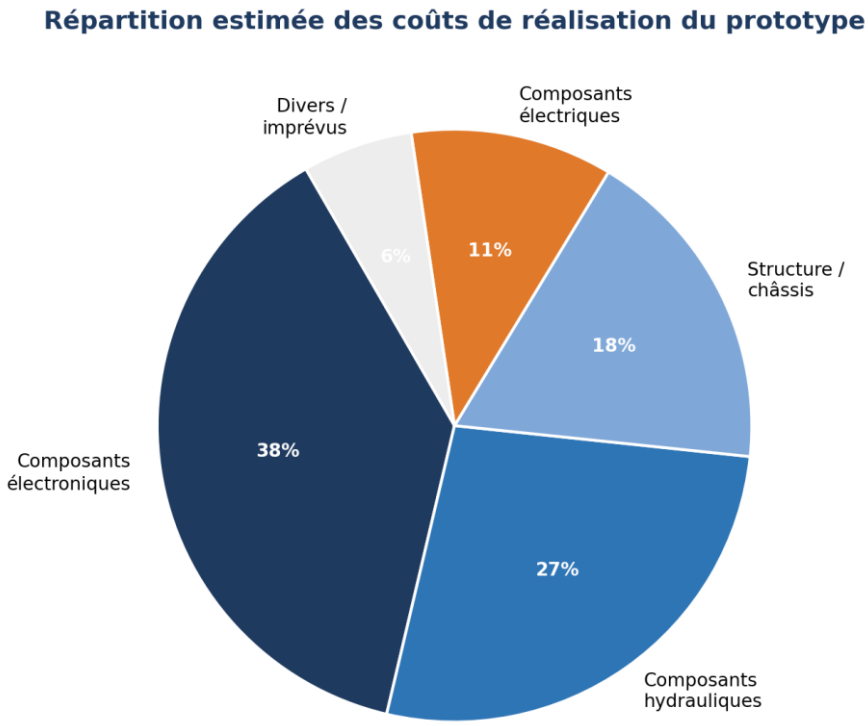


Figure III.6 — Répartition des coûts de réalisation du prototype (diagramme circulaire)

Le coût total de réalisation du prototype est estimé à environ 42 000 DA, soit nettement inférieur à celui des distributeurs automatiques importés équivalents, dont le prix peut atteindre plusieurs centaines de milliers de dinars. Ce résultat confirme l'intérêt économique d'une solution locale. Une production en série permettrait en outre de réduire encore ce coût grâce aux effets d'échelle sur l'achat des composants.

III.9. Conclusion générale et perspectives

Ce travail a permis de concevoir et de réaliser un prototype fonctionnel de distributeur intelligent de boissons gazeuses, répondant à la problématique posée en introduction : offrir une solution automatisée, précise et économique pour la distribution de boissons en milieu universitaire.

L'étude bibliographique a permis de situer le projet par rapport aux solutions existantes et d'en déduire un cahier des charges adapté. La conception détaillée du système et le choix des composants ont été présentés au deuxième chapitre. Les résultats des tests expérimentaux ont confirmé une précision de dosage satisfaisante avec une erreur relative moyenne d'environ 2,5 %, bien en deçà du seuil de 5 % fixé.

Plusieurs perspectives d'amélioration peuvent être envisagées pour les développements futurs :

- L'intégration d'un module de paiement électronique (carte bancaire, paiement mobile NFC) en complément du monnayeur à pièces.
- L'ajout d'une interface de supervision à distance exploitant la connectivité Wi-Fi de l'ESP8266, permettant le suivi des ventes et des niveaux de stock en temps réel.
- L'élargissement de la gamme de boissons proposées grâce à l'ajout de réservoirs et d'électrovannes supplémentaires.
- L'intégration d'un système de refroidissement pour améliorer la qualité de service.
- La réalisation d'une série de prototypes destinés à des tests en conditions réelles, dans une cafétéria universitaire, afin de valider la robustesse sur le long terme.

En définitive, ce projet démontre qu'il est possible de concevoir, à coût maîtrisé, un système de distribution automatique intelligent répondant aux

besoins locaux, et ouvrant la voie à des solutions encore plus connectées et autonomes.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce travail de fin d'études a porté sur la conception et la réalisation d'un prototype de distributeur intelligent de boissons gazeuses. L'objectif général était de proposer un système automatisé, économique et précis, capable de distribuer une quantité exacte de boisson choisie par l'utilisateur après paiement par pièces de monnaie.

L'étude bibliographique réalisée au premier chapitre nous a permis de comprendre l'évolution des distributeurs automatiques depuis l'Antiquité jusqu'aux systèmes connectés modernes. L'analyse des solutions existantes a mis en évidence les limites des systèmes actuellement disponibles sur le marché local et a justifié la pertinence de notre projet. Le cahier des charges établi a défini les exigences fonctionnelles auxquelles notre prototype devait répondre, notamment en termes de précision de dosage, de temps de réponse et de coût.

Le deuxième chapitre a présenté la conception détaillée du système, en abordant successivement les parties mécanique, hydraulique et électronique. Le choix du microcontrôleur ESP8266 s'est imposé comme une solution particulièrement adaptée grâce à ses capacités Wi-Fi intégrées et son faible coût. Les composants sélectionnés, des capteurs de débit et de niveau aux actionneurs (pompe, électrovannes) en passant par l'interface utilisateur (écran LCD, clavier, monnayeur), ont été choisis pour leur disponibilité, leur coût et leur adéquation avec les exigences du cahier des charges. Le principe de fonctionnement, basé sur une régulation en boucle fermée, garantit un dosage précis et fiable.

Le troisième chapitre a décrit la réalisation pratique du prototype et sa validation expérimentale. Le montage mécanique, le câblage électronique et la programmation ont été menés avec soin pour aboutir à un prototype fonctionnel. Les tests réalisés ont démontré une erreur relative moyenne de

2,5 % sur le volume distribué, largement inférieure au seuil de 5 % fixé initialement. L'étude économique a confirmé l'intérêt financier de cette solution, avec un coût de réalisation estimé à environ 42 000 DA, bien inférieur à celui des distributeurs importés.

Ce projet a donc atteint ses objectifs principaux : proposer une solution automatisée, précise, économique et adaptée au contexte local. Au-delà des résultats obtenus, ce travail a permis de maîtriser l'ensemble des étapes d'un projet d'ingénierie, de la conception à la validation expérimentale, en passant par l'étude bibliographique et le choix des composants. Les compétences acquises en électronique embarquée, en programmation de microcontrôleurs et en conception de systèmes automatisés constituent un atout précieux pour notre future carrière professionnelle.

Perspectives d'amélioration

Plusieurs développements pourraient être envisagés pour enrichir ce projet :

Paiement électronique : L'intégration d'un module de paiement par carte bancaire ou par téléphone mobile (NFC) permettrait de diversifier les modes de paiement et d'améliorer l'expérience utilisateur.

Supervision à distance : L'exploitation de la connectivité Wi-Fi de l'ESP8266 pourrait permettre un suivi en temps réel des ventes, des niveaux de stock et de l'état du système, facilitant ainsi la maintenance et la gestion des approvisionnements.

Élargissement de la gamme : L'ajout de réservoirs et d'électrovannes supplémentaires permettrait de proposer une plus grande variété de boissons, répondant ainsi à des goûts diversifiés.

Refroidissement intégré : L'installation d'un système de refroidissement maintiendrait les boissons à une température agréable, améliorant significativement la qualité de service.

Tests en conditions réelles : La mise en place d'une série de prototypes dans une cafétéria universitaire permettrait de valider la robustesse du système sur le long terme et de recueillir des retours d'expérience utilisateurs.

En définitive, ce projet démontre qu'il est possible de concevoir, à coût maîtrisé, un système de distribution automatique intelligent répondant aux besoins locaux. Les annexes techniques présentées en fin de mémoire, notamment les schémas électroniques complets (annexes B.1 et B.2), fournissent une documentation précieuse pour d'éventuelles améliorations ou adaptations futures. Cette expérience enrichissante nous a permis de mettre en pratique les connaissances acquises durant notre formation et d'acquérir une méthodologie rigoureuse en conception de systèmes automatisés.

Références bibliographiques

[1] Nature O Frais, « Petite histoire du distributeur automatique », article en ligne, nature-o-frais.com.

[2] IVS France, « Un peu d'histoire : le distributeur automatique en France », article en ligne, ivsfrance.com.

[3] The Crazy Fifties, « Histoire des distributeurs automatiques de boissons gazeuses », fr.thecrazyfifties.es.

[4] AOTE Vending, « Histoire des distributeurs automatiques », article en ligne, aotevending.com.

[5] R. R. Thete et al., « From Traditional to Digital: An Analysis of Vending Machine System Evolution », Journals Pub, 2024.

[6] « Smart Computerized Vending Machine Enhanced With IOT Technology », article de recherche, 2020.

[7] EMS, « YF-S201 — Hall Effect Water Sensor: Pinout, Features and Applications », article technique, 2024.

[8] HandsOnTech, « YF-S201B Water Flow Sensor — Specifications », fiche produit.

[9] Espressif Systems, « ESP8266EX Datasheet », Version 7.1.

[10] Espressif Systems, « ESP8266 Technical Reference », Version 1.7.

[11] « CH-926 Multi Coin Acceptor Manual », documentation technique du fabricant.

[12] International Rectifier / Infineon Technologies, « IRLZ44N HEXFET Power MOSFET Datasheet ».

[13] V. Deconinck, « CH92x/CH925/CH926/CH928 (JY92x) Coin Acceptor: Features and Caveats », notes techniques, 2017.

Annexe A : Extrait complet du code source du programme de commande

L'extrait ci-dessous illustre la structure générale du programme embarqué sur l'ESP8266 : initialisation des broches et des interruptions, machine à états (ATTENTE, SÉLECTION, DISTRIBUTION, FIN), et calcul du volume distribué à partir des impulsions du capteur de débit.

```
// Distributeur intelligent de boissons gazeuses
// Carte : ESP8266 (NodeMCU) | Environnement : Arduino IDE

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DHT.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
DHT dht(D9, DHT11);

const int PIN_DEBIT     = D6;  // Capteur débit YF-S201
const int PIN_MONNAYEUR = D5;  // Monnayeur CH-926
const int PIN_VANNE1    = D3;  // MOSFET électrovanne 1
const int PIN_POMPE     = D0;  // MOSFET pompe
const int PIN_TRIG      = D10; // HC-SR04 Trig
const int PIN_ECHO      = D11; // HC-SR04 Echo

volatile unsigned long impulsionsDebit = 0;
volatile unsigned long impulsionsPaiement = 0;
const float FACTEUR_K = 450.0; // Calibration : imp/litre

enum Etat { ATTENTE, PAIEMENT, SELECTION, DISTRIBUTION, FIN };
Etat etatCourant = ATTENTE;
float volumeDemande_mL = 0;

void ISR_debit()    { impulsionsDebit++; }
void ISR_paiement() { impulsionsPaiement++; }

void setup() {
  pinMode(PIN_DEBIT, INPUT_PULLUP);
  pinMode(PIN_MONNAYEUR, INPUT_PULLUP);
  pinMode(PIN_VANNE1, OUTPUT);
  pinMode(PIN_POMPE, OUTPUT);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PIN_DEBIT), ISR_debit, FALLING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PIN_MONNAYEUR), ISR_paiement, FALLING);
  dht.begin(); lcd.init(); lcd.backlight();
  afficherEcranAccueil();
```

```
}

void loop() {
  switch (etatCourant) {
    case ATTENTE:
      if (impulsionsPaiement > 0) {
        etatCourant = SELECTION;
        impulsionsPaiement = 0; }
      break;
    case SELECTION:
      volumeDemande_mL = lireSelectionUtilisateur();
      demarrerDistribution(); etatCourant = DISTRIBUTION;
      break;
    case DISTRIBUTION: {
      float vol = (impulsionsDebit / FACTEUR_K) * 1000.0;
      afficherProgression(vol, volumeDemande_mL);
      if (vol >= volumeDemande_mL) {
        arreterDistribution(); etatCourant = FIN; }
      break; }
    case FIN:
      afficherMessageFin(impulsionsDebit / FACTEUR_K * 1000.0);
      delay(3000); impulsionsDebit = 0;
      etatCourant = ATTENTE; afficherEcranAccueil();
      break;
  }
}
```

Annexe A — Code source complet du programme embarqué (ESP8266, Arduino IDE)

Annexe B : Schémas techniques de référence

Annexe B.1 — Schéma électronique complet du distributeur

Le schéma électronique ci-dessous représente l'interconnexion globale autour du microcontrôleur central ESP8266. Le système est structuré en trois blocs distincts :

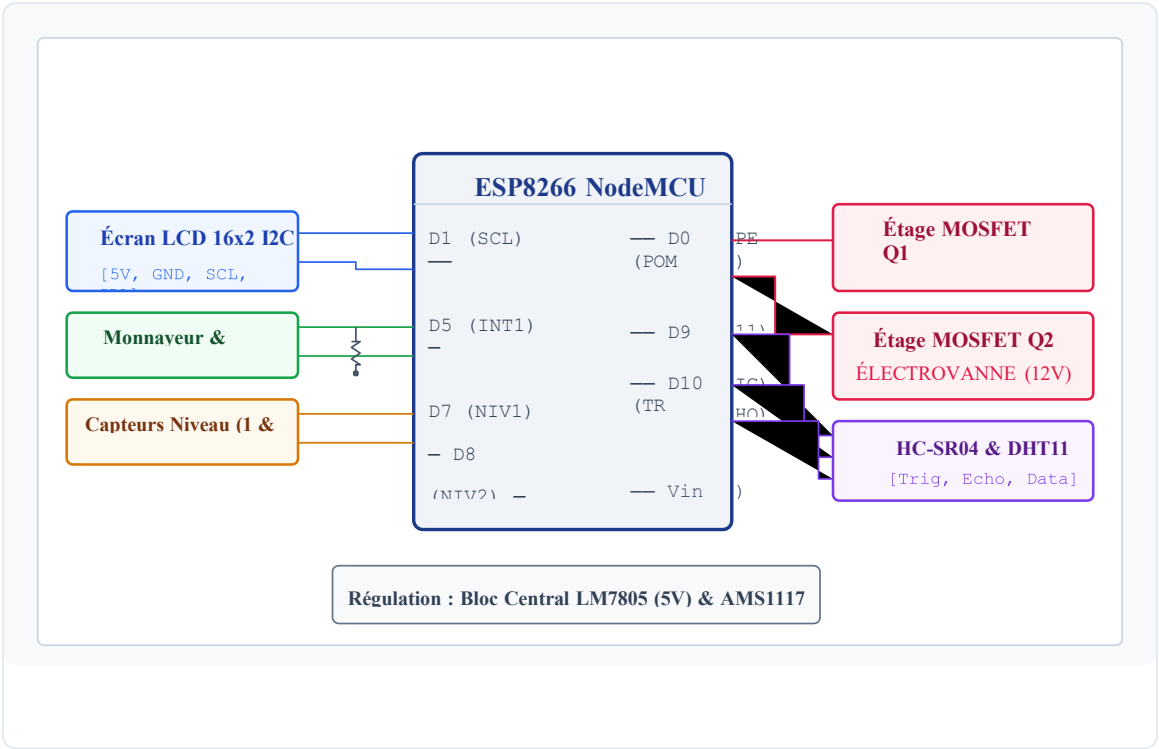
Le bloc d'alimentation et de régulation : Entrée brute de 12V DC distribuée directement aux actionneurs de puissance, régulée à 5V via un régulateur linéaire pour les capteurs et le bus I2C, puis abaissée à 3.3V pour l'alimentation de l'ESP8266.

Le bloc de traitement et des capteurs : Entrées numériques et analogiques sécurisées par des résistances de tirage (pull-down/pull-up) pour garantir l'absence de déclenchements parasites lors des processus d'interruption (monnayeur et capteur de débit).

Le bloc de puissance (Actionneurs) : Composé de deux canaux indépendants pilotés par des transistors MOSFET de niveau logique (IRLZ44N), équipés de diodes de roue libre (1N4007) pour protéger le circuit contre les courants de retour inductifs.

Périphérique matériel	Broche ESP8266 (GPIO)	Type de Signal & Rôle Fonctionnel
Écran LCD 16x2 I2C	D1 (SCL) / D2 (SDA)	Bus de communication série pour l'interface utilisateur visuelle.
Monnayeur CH-926	D5 (GPIO14)	Entrée d'interruption matérielle avec pull-down (Comptage des crédits).
Capteur de débit YF-S201	D6 (GPIO12)	Entrée d'interruption matérielle avec pull-down (Mesure précise du volume).
Capteur de niveau — Réservoir 1	D7 (GPIO13)	Entrée numérique (Alerte niveau bas liquide 1).

Capteur de niveau — Réservoir 2	D8 (GPIO15)	Entrée numérique (Alerte niveau bas liquide 2).
MOSFET Q1 — Pompe DC	D0 (GPIO16)	Sortie numérique ON/OFF pour l'activation du système de pompage.
MOSFET Q2 — Électrovanne	D3 (GPIO0)	Sortie numérique ON/OFF pour l'ouverture du circuit hydraulique principal.
Capteur DHT11	D9 (RX / GPIO3)	Entrée/Sortie One-Wire pour le suivi de la température/humidité interne.
Capteur Ultrason HC-SR04	D10 (TX) / D11 (SD3)	Lignes Trigger et Echo pour la détection de présence du gobelet.



Annexe B.1 — Schéma électronique complet du distributeur intelligent

Annexe B.2 — Plan d'implantation des composants sur la carte PCB

La conception de la carte de circuit imprimé (PCB) a été guidée par des contraintes d'immunité électromagnétique et de compacité. La topologie choisie sépare strictement les pistes logiques de faible puissance et les pistes de puissance supportant les commutations inductives sous 12V.

Spécifications de Routage du Circuit :

- Largeur des pistes de puissance (12V / Masse commune) : 1,5 mm pour supporter sans échauffement des pointes de courant de 2A lors de l'activation simultanée de la pompe et de la vanne.
- Largeur des pistes de signal (Logique 3.3V / 5V) : 0,4 mm avec isolation minimale (clearance) de 0,3 mm.
- Plan de masse (Copper Pour) : Intégré sur les deux faces (Top & Bottom) pour minimiser les boucles de courant et étouffer les bruits haute fréquence générés par le module Wi-Fi de l'ESP8266.

Ce plan d'implantation garantit que les connecteurs de signaux sensibles (comme l'I2C et les interruptions des capteurs de débit) sont idéalement éloignés des pistes de hachage de puissance des MOSFETs. La compacité de la carte (120 mm x 90 mm réels) lui permet de s'intégrer parfaitement dans le boîtier étanche de commande du distributeur automatique.



Annexe B.2 — Plan d'implantation des composants sur la carte PCB