

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et la recherche scientifique
Université akli mohand oulhadj-bouira



Faculté : Sciences Appliquées
Département : Génie électrique
Master : Electronique des systèmes embarqués

Mémoire fin d'étude

Thème

**Conception et réalisation d'un distributeur automatique des
Boissons chaudes**

Réalisé par :

Banoune Mohand Ali

Dahmani Abderrahmane

Soutenu publiquement le 28/06/2025 devant le jury :

➤ Mr : M.Rezki	M.C.A	Université Bouira	président
➤ Mr : S.Haroun	M.C.B	Université Bouira	examineur
➤ Mr : S.Moudache	M.A.A	Université Bouira	encadrant

Année universitaire : 2024/2025

Remerciement



Nous remercions d'abord le bon dieu qui nous a donné le courage, la patience, la santé et le volonte d'arriver a la fin de ce travail.

*Nous tenon a remercier notre encadreur monsieur **Moudache Said** pour son aide, sa disponibilité et les conseils tout en long de la réalisation de ce modeste travail, nous lui exprimons notre sincère reconnaissances, notre profonde gratitude et notre respect le plus distingue.*

Nous adressons également nos vifs remerciement aux membres de jury pour l'attention portée a notre travail et leur volonte d'enrichie par leur observation et les recommandations constructives.

Dédicace



Je dédie ce Modest travail a :

Mes cher parents Bancune Madjid et Mani Bakhi la source d'encouragement, la fierté, la confiance

.Bancune Mohand Ali.

Je dédie ce mémoire a :

mes parents pour leur sacrifices, leur soutien tout au long de mon parcours scolaire et universitaire;

Dahmani Abderrahman

Résumé

Ce mémoire présente la conception et la réalisation d'un distributeur automatique de boissons chaudes basé sur la carte Arduino Mega 2560 Rev3. L'objectif principal était de développer un système autonome capable de proposer plusieurs types de boissons, de détecter les pièces de monnaie insérées, de rendre la monnaie et de gérer automatiquement tout le processus de distribution.

Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé une combinaison de composants électroniques et mécaniques : capteurs infrarouges FC-51 pour la détection des pièces et des gobelets, servomoteurs pour la libération des gobelets et des poudres, mini-pompe pour l'eau chaude, résistance chauffante, afficheur LCD, ainsi que des boutons de sélection. Le système a été entièrement programmé et contrôlé via Arduino IDE.

Le monnayeur mécanique a été fabriqué en plexiglas, découpé avec précision selon les dimensions des pièces algériennes (10 DA à 200 DA), avec détection assurée par capteurs infrarouges. Le système de distribution permet, après validation du paiement, de libérer un gobelet, verser les poudres sélectionnées et chauffer l'eau avant de servir la boisson.

Le prototype final fonctionne de manière fiable et respecte le cahier des charges fixé. Il constitue une base fonctionnelle pour de futures améliorations, telles que l'intégration du paiement sans contact ou de la connectivité à distance (IoT).

Mots clés : Distributeur automatique, Arduino Mega 2560, Capteurs FC-51, DS18B20, Actionneurs, Boissons chaudes.

Abstract

This project presents the design and implementation of a hot beverage vending machine using the Arduino Mega 2560 Rev3 microcontroller. The objective was to build a functional and autonomous system capable of offering multiple types of hot drinks, detecting inserted coins, returning change, and managing the entire distribution process automatically.

To achieve this, the system combines various electronic and mechanical components: FC-51 infrared sensors for coin and cup detection, SG90 servomotors for dispensing cups and powders, a mini water pump, a heating resistor, an LCD screen, and push buttons for drink selection. All components are controlled via a program developed in the Arduino IDE.

The coin recognition system is based on a mechanically designed plexiglass plate, precisely drilled according to the diameters of Algerian coins (10 DA to 200 DA), with detection handled by infrared sensors. Once payment is validated, the system releases a cup, dispenses the selected powder, heats the water, and serves the drink.

The final prototype works reliably and meets all the requirements defined in the project specifications. It provides a solid foundation for potential future improvements, such as contactless payment or remote control through IoT.

Keywords: Vending machine, Arduino Mega 2560, FC-51 sensor, DS18B20, Actuators, Hot beverages.

Tables des métiers

Résumé.....	I
Tables des métiers.....	III
Listes des figures.....	VI
Listes des tableaux.....	VII
List des Abbreviation	VIII
Introduction général.....	1

Chapitre I : généralité sur les distributeurs automatiques

1. Introduction.....	2
2. Histoire relative aux distributeurs automatiques	3
3. les classifications des distributeur automatique :.....	4
3.1. Type de produit/services :	4
3.1.1. Distributeur automatique alimentaire :	4
3.1.2. Distributeur automatique de produits médicaux et hygiène :	7
3.1.3. Distributeur automatique des services	7
3.1.4. Distributeur automatique des produits électroniques	8
3.2. Le mode de fonctionnement :	8
3.3. La tarification.....	9
3.4. Mode de paiement :	9
4. Les avantages et les limites des distributeurs automatiques	9
4.1. Les avantage :	9
4.2. Les limites :	9
5. Conclusion.....	10

chapitre II: Matériels et logiciels utilisé

1. Introduction	12
2. Matériel utilisé:	13
2.1. Microcontrôleur	13
2.1.1. Arduino	14
2.1.1.1. Les cartes Arduino	14
2.1.1.1.1. Arduino UNO	14

2.1.1.1.2. Arduino DUE	15
2.1.1.1.3.Arduino NANO	15
2.1.1.1.4. Arduino Leonardo.....	16
2.1.1.1.5.Arduino Mega 2560 Rev3	16
2.1.2.Le choix de la carte Arduino mega 2560	17
2.1.2.1. Les caractéristiques de l'arduino mega 2560	17
2.2. Les capteurs.....	18
2.2.1. Capteur FC-51	18
2.2.1.1. Les caractéristiques du capteur FC-51.....	19
2.2.1.2. Branchement.....	19
2.2.2. Capteur de température DS18B20	19
2.2.2.1. Les caractéristiques de capteur DS18B20	20
2.2.2.2. Branchement.....	20
2.3. Afficheur LCD16*2 I2C.....	21
2.3.1. Branchement	22
2.4. Servo moteur SG90	22
2.4.2. Branchement	23
2.5. Mini pompe :	24
2.5.1.Les caractéristiques de mini pompe 3-5V 120L/H.....	24
2.5.2. Branchement	25
2.7. Resistance chauffant.....	25
2.7.1. Branchement	26
2.8. Alimentation	26
2.8.1. Branchement	27
2.9. Buttons poussoirs	27
2.9.1. Branchement	28
3. Logiciel utilisé	28
3.1. Logiciel fritzing	28
3.2. Logiciel Arduino IDE :.....	29
4. Conclusion :	29

chapitre III: réalisation de distributeur boisson chauds

1. Introduction	31
2. Le fonctionnement de distributeur	31
2.1. Le monnayeur :	31
2.2. Distribution.....	32
3. programme de distributeur	34
4. réalisation de circuit et l'intégration dans le châssis :	43
4.1. Monnayeur :	43
4.2. Distribution :	46
5. résultat :	49
6. conclusion :	49
Conclusion générale.....	51
ANNEX A :	53
ANNEX B.....	55
Bibliographie	58

Listes des figures

Figure 1: Allure des distributeurs automatique	2
Figure 2: Premier distributeur automatique connu	3
Figure 3: distributeur de boissons froides	4
Figure 4: Un distributeur de boissons chaudes	5
Figure 5: distributeur de snacks	5
Figure 6: distributeur de plats préparés	6
Figure 7: distributeur des produits frais	6
Figure 8: distributeur spécialisé de pain	7
Figure 9: distributeur des produits électroniques	8
Figure 10: Allure d'un système embarqué	12
Figure 11: arduino UNO	15
Figure 12: arduino DUE	15
Figure 13: arduino NANO	16
Figure 14: arduino LEONARDO	16
Figure 15: arduino Mega 2560 Rev3	17
Figure 16: capteur infrarouge FC-51	18
Figure 17: branchement du FC-51 avec arduino	19
Figure 18: photo réelle capteur de température DS18B20	20
Figure 19: branchement de DS18B20 avec l'arduino	20
Figure 20: photo réelle de l'interface I2C	21
Figure 21: branchement de l'interface I2C et l'afficheur LCD 16*2	21
Figure 22: branchement avec l'arduino mega 2560	22
Figure 23: photo réelle du servomoteur SG90	23
Figure 24: branchement servomoteur avec l'Arduino	23
Figure 25: photo réelle du mini pompe 120L/H	24
Figure 26: photo réelle de branchement de la mini pompe	25
Figure 27: photo réelle de résistance chauffant	25
Figure 28: branchement du heater avec le relai 12V	26
Figure 29: photo réelle du LM2596	26
Figure 30: photo réelle de l'alimentation 12V 10A	27
Figure 31: branchement LM2596 et l'alimentation 12V 10A	27
Figure 32: photo réelle des boutons poussoirs	27
Figure 33: branchement du boutons poussoirs avec arduino	28
Figure 34: logo Arduino IDE	29
Figure 35 : schéma complet de distributeur	34
Figure 36: monnayeur en plaque plexiglas et un capteur dans chaque trou	46
Figure 37: les réservoirs de chaque pièce avec chaque servo correspondant	46
Figure 38: système de libération automatique des gobelets	47
Figure 39: boîtier des poudres attacher avec un servo	47
Figure 40: boîtier des poudres	48
Figure 41: interface utilisateur	48

Listes des tableaux

<i>Table 1: tableau des defferante fabricant des carte programmable.....</i>	<i>13</i>
<i>Table 2: caractéristiques de l'Arduino mega2560.....</i>	<i>18</i>
<i>Table 3: les caractéristiques du capteur FC-51.....</i>	<i>19</i>
<i>Table 4: les caractéristiques de capteur DS18B20.....</i>	<i>20</i>
<i>Table 5: les caractéristiques de servo motor SG90</i>	<i>23</i>
<i>Table 6: les caractéristiques techniques du mini pompe 120L/H</i>	<i>24</i>

List des Abbreviation

USB : universal serial bus

NFC: Near Field Communication

Qr: Quick response

FPGA: Field Programmable Gate Array

UART: Universal Asynchrone Reciver Transmitter

SPI: Serial Peripheral Interface

I2C: Inter-Integrated Circuit

ARM: Advanced RISC Machine

IDE: Integrated Development Environment

EPROM: Erasable Programmable Read-Only Memory

EEPROM: Electrically Erasable Read-Only Memory

PWM: Pulse width modulation

RAM: Random Access Memory

VCC: Voltage at the common Collector

GND: GrouND

ROM: Read-Only Memory

LCD: Liquid Crystal Display

SDA: Serial Data Line

SCL: Serial Clock Line

PCB: Printed Circuit Board

COM: Communication

LPT: Line Printer Terminal

PSU: Power Supply Unit

IoT: Internet Of Things



Introduction générale

Introduction générale

Les distributeurs automatiques sont devenus des dispositifs incontournables dans la vie quotidienne moderne. Ils permettent la distribution de biens ou de services sans intervention humaine directe, et offrent ainsi un service continu, disponible 24h/24 et 7j/7. On les retrouve dans de nombreux lieux publics tels que les hôpitaux, les universités, les gares ou encore les centres commerciaux. Leur déploiement répond à des besoins croissants en matière d'accessibilité, d'autonomie des utilisateurs et de réduction des coûts liés à la main-d'œuvre.[1]

Aujourd'hui, les distributeurs automatiques se déclinent en une grande variété de modèles, capables de fournir des produits alimentaires (boissons froides ou chaudes, snacks), des produits d'hygiène ou encore des services immatériels comme la vente de billets ou le retrait d'argent. Cette évolution a été rendue possible grâce à l'intégration de technologies électroniques et embarquées, permettant un fonctionnement plus intelligent, plus précis et mieux adapté aux attentes des utilisateurs.

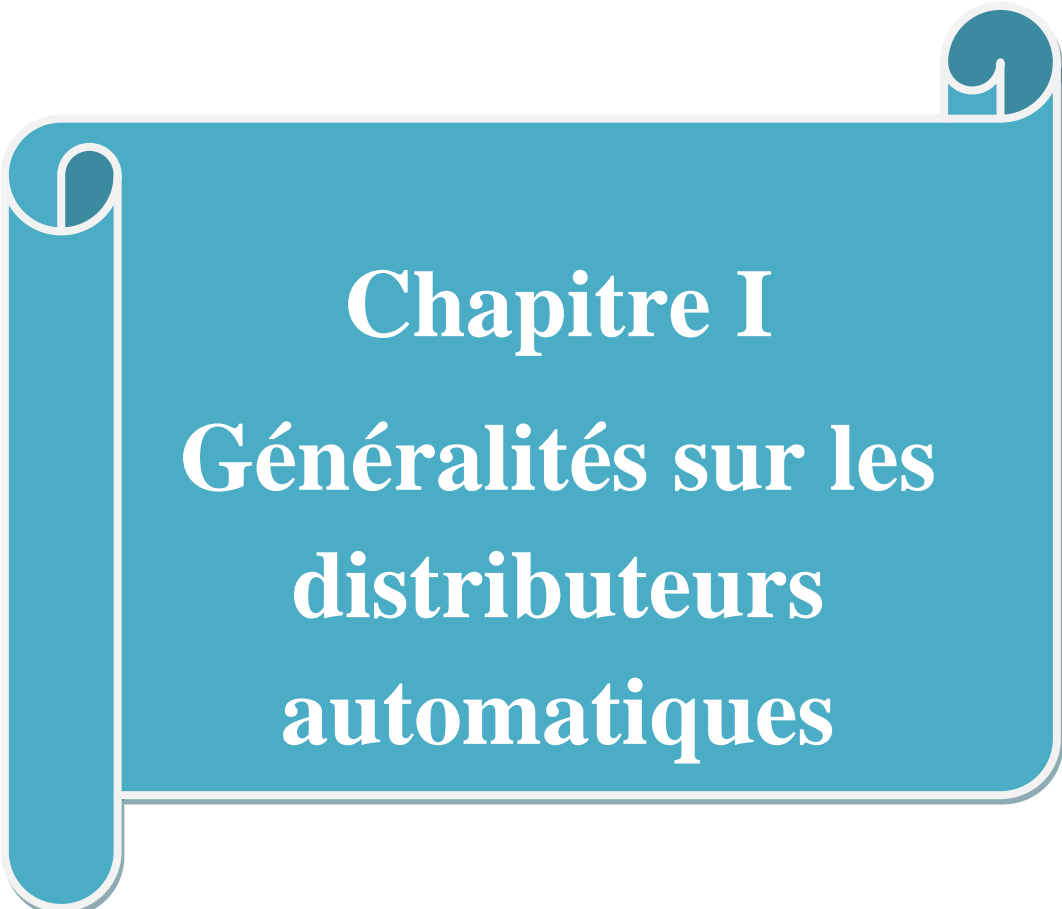
Dans ce contexte, notre projet s'inscrit dans une démarche de conception et de réalisation d'un distributeur automatique de boissons chaudes, en utilisant une carte Arduino Mega 2560 Rev3 comme unité centrale. Ce système embarqué, couplé à différents capteurs et actionneurs, permet d'assurer l'ensemble du processus de distribution de manière autonome : détection et tri des pièces de monnaie, restitution de la monnaie, libération d'un gobelet, dosage des poudres, chauffage de l'eau et service de la boisson.

Structure du mémoire :

Le premier chapitre est consacré à une présentation générale des distributeurs automatiques : leur historique, depuis leur première apparition jusqu'aux évolutions modernes. Nous présentons également une classification des différents types de distributeurs selon les produits ou services qu'ils fournissent, leur mode de fonctionnement, leurs méthodes de paiement, ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Le deuxième chapitre propose une étude théorique sur les outils logiciels et matériels utilisés dans la conception de notre projet. Nous détaillerons les caractéristiques techniques de chaque composant (Arduino Mega Rev3, capteurs, actionneurs, carte d'affichage, etc.), leur fonctionnement interne ainsi que les schémas de connexion avec le microcontrôleur.

Enfin, le troisième chapitre portera sur la réalisation pratique de notre distributeur automatique de boissons chaudes, en expliquant les différentes étapes de sa conception et de sa mise en œuvre.

A stylized blue scroll graphic with white outlines, featuring a vertical strip on the left and a horizontal strip on the right, both with rounded ends and decorative scroll-like details.

Chapitre I

Généralités sur les distributeurs automatiques

1. Introduction

Un distributeur automatique est un système autonome permettant la commercialisation de produits sans intervention humaine directe. Ce type de solution est particulièrement adapté dans les situations où un point de vente traditionnel serait peu rentable, notamment en cas de faible volume d'achats. Il permet également de proposer un service continu, accessible 24h/24, sous réserve d'un approvisionnement régulier de la machine [1].

L'utilisation de distributeurs automatiques présente plusieurs avantages. Elle garantit une accessibilité permanente aux produits, tout en réduisant les coûts liés à la main-d'œuvre. Ces dispositifs s'intègrent aisément dans des espaces aussi bien publics que privés, tels que les entreprises, les établissements scolaires ou universitaires, ainsi que divers lieux à forte fréquentation.

En améliorant l'autonomie du consommateur, ces machines contribuent au confort des usagers, leur permettant d'obtenir rapidement une boisson ou un encas sans quitter leur lieu de travail ou d'étude.



Figure 1: Allure des distributeurs automatique

2. Histoire relative aux distributeurs automatiques

La plus ancienne référence connue à un distributeur automatique remonte aux travaux d'Héron d'Alexandrie, un ingénieur et mathématicien grec ayant vécu en Égypte romaine au I^{er} siècle après J.-C. L'un des dispositifs qu'il a conçus permettait de distribuer de l'eau sacrée après l'insertion d'une pièce de monnaie. Lorsque la pièce était introduite, elle tombait sur un plateau relié à un levier. Ce levier ouvrait alors une vanne, permettant à une certaine quantité d'eau de s'écouler. Sous le poids de la pièce, le plateau continuait à s'incliner jusqu'à ce que la pièce tombe, déclenchant ainsi un contrepoids qui relevait le levier et refermait la vanne [2].



Figure 2: Premier distributeur automatique connu

En 1883, le premier distributeur automatique de tickets de transport fait son apparition, installé dans une station de métro à Londres (Angleterre). Ce dispositif marque le début de l'automatisation des services publics.[2]

En 1888, à New York, l'entreprise Thomas Adams Gum Company commercialise la première machine dédiée à la vente de produits de consommation : le chewing-gum. Cette innovation ouvre la voie à la distribution automatique de biens courants.[3]

Dans les années 1920, la Vendo Company (États-Unis) révolutionne le marché en lançant le premier distributeur automatique de boissons froides. 3. Les classifications des distributeurs automatiques.[3]

En 1947, une autre étape clé est franchie avec l'installation des premières machines à boissons chaudes dans les rues de New York, proposant du café aux passants.[2]

En 1950, l'entreprise National Vendors élargit l'offre en créant le premier distributeur de chips et snacks, popularisant ainsi les en-cas accessibles à toute heure.[3]

En 1967, une avancée majeure intervient avec l'installation des premiers distributeurs automatiques de billets (ATM) à Londres (Royaume-Uni), révolutionnant les services bancaires.[3]

Depuis les années 2000, les distributeurs automatiques connaissent une diversification fulgurante: ils ne se limitent plus aux produits alimentaires mais proposent désormais des articles électroniques, des médicaments, ou même des œuvres d'art. Les technologies embarquées (paiement sans contact, reconnaissance faciale) transforment ces machines en interfaces intelligentes.[4]

3. les classifications des distributeur automatique :

Il existe pleureurs class des distributeurs automatiques dans cette partie on va présenter une classification sur ces machine selon trois critères leur type de produits et services et le mode de paiement et les tarifications.

3.1. Type de produit/services :

3.1.1. Distributeur automatique alimentaire :

Un distributeur automatique alimentaire permet au client d'accéder rapidement au produit aliment en échange d'un paiement. On peut distingue six type des distributeurs alimentaires.[5]

➤ Distributeur automatique des boissons froides :

Ce distributeur est conçu pour fournir des rafraichissements tels que l'eau, des sodas et des jus, il est équipé d'un module thermoélectrique qui permet de maintenir une température constant pour garantir la fraîcheur des boissons.



Figure 3: distributeur de boissons froides

➤ Distributeur automatique des boissons chaudes :

Ce distributeur automatique de boissons chaudes (café, thé, chocolat, lait) fonctionne selon un processus entièrement automatisé. Le système commence par doser précisément la poudre sélectionnée dans un gobelet positionné automatiquement, puis ajoute de l'eau chauffée à température contrôlée (entre 75°C et 90°C selon la boisson). L'ensemble du cycle - du choix de la boisson via l'interface à la délivrance du produit fini - s'effectue en moins de 30 secondes. Le dispositif intègre des modules de dosage précis, un système de chauffage instantané et un mécanisme de distribution des gobelets, le tout piloté par une carte intelligente pour une gestion centralisée des opérations.[6]



Figure 4: Un distributeur de boissons chaudes

➤ Distributeur automatique des snacks et chips :

Ce distributeur automatique est conçu pour délivrer des produits emballés tels que des biscuits, des barres chocolatées ou des chips. Le système fonctionne grâce à des plateaux rotatifs ou des spirales métalliques. Lorsqu'un produit est sélectionné, le moteur associé entraîne la rotation de la spirale ou du support, permettant ainsi au produit de tomber dans un compartiment de récupération.[5]



Figure 5: distributeur de snacks

➤ Distributeur des plats préparés :

Ce type de distributeur a pour objectif de proposer des repas prêts à consommer, tels que des sandwiches, des salades, des soupes ou des plats cuisinés. La machine stocke les plats froids dans des compartiments individuels. Une fois le produit sélectionné, un bras mécanique ou un système automatisé le déplace vers la zone de distribution. Certains modèles sont également équipés d'un module de chauffage permettant de réchauffer le plat avant de le servir au client.[4]



Figure 6: distributeur de plats préparés

➤ Distributeur des produits frais

Conçu pour la distribution de produits périssables tels que les fruits, le lait, les produits laitiers ou les œufs, ce type de distributeur est équipé d'un système de réfrigération permettant de conserver les aliments à basse température. Chaque produit est stocké dans un compartiment individuel. Une fois le produit sélectionné, un système motorisé se charge de le libérer et de le diriger vers la zone de distribution. [5]



Figure 7: distributeur des produits frais

➤ Distributeur automatique spécialisé

Ce type de distributeur est généralement installé à proximité des fermes ou des petits producteurs, afin de proposer des produits spécifiques tels que le pain, le fromage ou le miel. Il fonctionne sur le même principe que les distributeurs de produits frais, mais il est adapté à la forme, à la taille et à la fragilité des produits commercialisés.[6]



Figure 8: distributeur spécialisé de pain

3.1.2. Distributeur automatique de produits médicaux et hygiène :

En plus des produits alimentaires, les distributeurs automatiques se sont diversifiés afin de répondre à d'autres besoins du quotidien. Certains modèles ont été conçus pour fournir des produits non alimentaires, notamment dans les domaines médical et hygiénique.[7]

➤ Distributeurs des produits médicaux :

Ces distributeurs délivrent des articles liés aux premiers soins ou à la santé générale, tels que des masques, des pansements, des médicaments ne nécessitant pas de prescription, ou encore des autotests.

➤ Distributeur des produits hygiènes :

Spécialement conçus pour fournir des produits d'hygiène, ces distributeurs proposent par exemple du savon, du gel hydroalcoolique, des mouchoirs ou d'autres produits sanitaires de base.

3.1.3. Distributeur automatique des services

Les distributeurs automatiques de services permettent à l'utilisateur d'accéder à des prestations immatérielles, telles que le retrait d'argent, l'achat de billets ou la recharge de cartes de transport.

➤ Distributeur automatique de ticket

Ce distributeur permet d'acheter des tickets de bus, train, métro ...

➤ Distributeur des billets d'argent :

Ce distributeur permet de retirer l'argent avec une carte bancaire.

3.1.4. Distributeur automatique des produits électroniques

Ce distributeur représente une solution innovante qui permet aux consommateurs d'acheter des composants électroniques sans avoir à se rendre dans un magasin traditionnel. Il est généralement installé dans des centres commerciaux, des gares, et de plus en plus dans des aéroports.

Ce type de distributeur propose une large gamme d'articles, tels que des chargeurs, des écouteurs, des câbles USB, et d'autres accessoires électroniques. Grâce à un écran tactile intuitif, le client peut facilement naviguer dans le catalogue des produits, consulter des informations détaillées, puis effectuer son achat via un système de paiement électronique sécurisé.[7]



Figure 9: distributeur des produits électroniques

3.2. Le mode de fonctionnement :

Les distributeurs automatiques se caractérisent par une diversité de modes de fonctionnement. On distingue d'une part des modèles mécaniques non électrifiés, et d'autre part des systèmes électroniques offrant des fonctionnalités avancées. Notre classification s'articulera autour de trois grandes catégories.[5]

- **Distributeur mécanique :** Aujourd'hui ce distributeur est très rare, il fonctionne sans électricité.
- **Distributeur électromécanique :** Ce distributeur est le plus utilisé dans le monde, il combine des éléments mécaniques avec des composants électriques.
- **Distributeur électronique :** Ce distributeur propose une interface plus avancée (écran, clavier, paiement par carte), il est contrôlé par une carte électronique.

3.3. La tarification

- **Monoprix** : Quel que soit le type de produit commercialisé, ce distributeur applique un prix unique.
- **Multi prix** : Chaque produit a son prix.

3.4. Mode de paiement :

- **Paiement classique** : pièce ou billets d'argent
- **Paiement dématérialisé** : carte bancaire, NFC, QR code, téléphone.
- **Paiement système ferme** : jetons ou carte prépayé.

4. Les avantages et les limites des distributeurs automatiques

Le distributeur automatique est un appareil autonome qui permet d'acheter des produits rapidement sans l'aide d'un vendeur, il présente cependant des limites liées à la gestion, l'entretien et la limite des produits commercialisés.[7]

4.1. Les avantages :

- **Disponibilité** : fonctionnent en continu 24H/24H et 7J/7J.
- **Réduction de coût** : l'absence d'un vendeur, donc moins de frais.
- **Gain d'espace** : moins d'espace utilisé par rapport aux magasins traditionnels.
- **Service rapide** : obtenir les produits rapidement.
- **Gestion de stock** : les gestionnaires automatiques des produits commercialisés, certains modèles ont une alerte de niveaux de stock.

4.2. Les limites :

- **Maintenance** : nécessite un entretien régulier
- **Stock limité** : le nombre des produits est déterminé par la forme et la taille du distributeur
- **Les choix limités** : moins de variété des produits par rapport aux magasins traditionnels
- **Panne** : le système de distribution ou du paiement peut être bloqué à cause d'un dysfonctionnement soit électrique ou électronique ou mécanique
- **Contrôle de qualité limité** : impossible de vérifier chaque produit quant à leur qualité ou la date d'expiration.

5. Conclusion

Les distributeurs automatiques sont devenus omniprésents et jouent un rôle important dans la vie quotidienne.

Dans ce chapitre, nous avons présenté la définition d'un distributeur automatique, son principe de fonctionnement, les différents types existants, ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients. Cette étude nous a permis d'approfondir notre compréhension du sujet et de mieux cerner les enjeux liés à notre projet.

Le chapitre suivant sera consacré à la présentation des outils matériels et logiciels utilisés pour la conception et la réalisation de notre distributeur automatique.



Chapitre II : Matériels et logiciels utilisés

1. Introduction

L'électronique appliquée aux systèmes embarqués a pour objectif de permettre à ces dispositifs autonomes d'interagir avec leur environnement en traitant des signaux, en contrôlant des composants physiques et en exécutant des fonctions spécifiques de manière précise et efficace. Elle joue un rôle essentiel dans la collecte de données via des capteurs, le traitement des informations et le pilotage des actionneurs.

Un système embarqué est un ensemble électronique et informatique autonome, conçu pour exécuter une ou plusieurs tâches spécifiques au sein de l'appareil dans lequel il est intégré. Ces tâches sont généralement réalisées en temps réel. Le terme « système embarqué » désigne à la fois le matériel (hardware) et le logiciel (software) utilisés.

Le logiciel est exécuté sur un microcontrôleur, un microprocesseur, ou plus rarement sur un FPGA (Field Programmable Gate Array). Le choix de la plateforme dépend de la puissance de calcul nécessaire, mais aussi des interfaces requises, telles que les bus de communication, les écrans ou les systèmes de mesure analogique. [8]

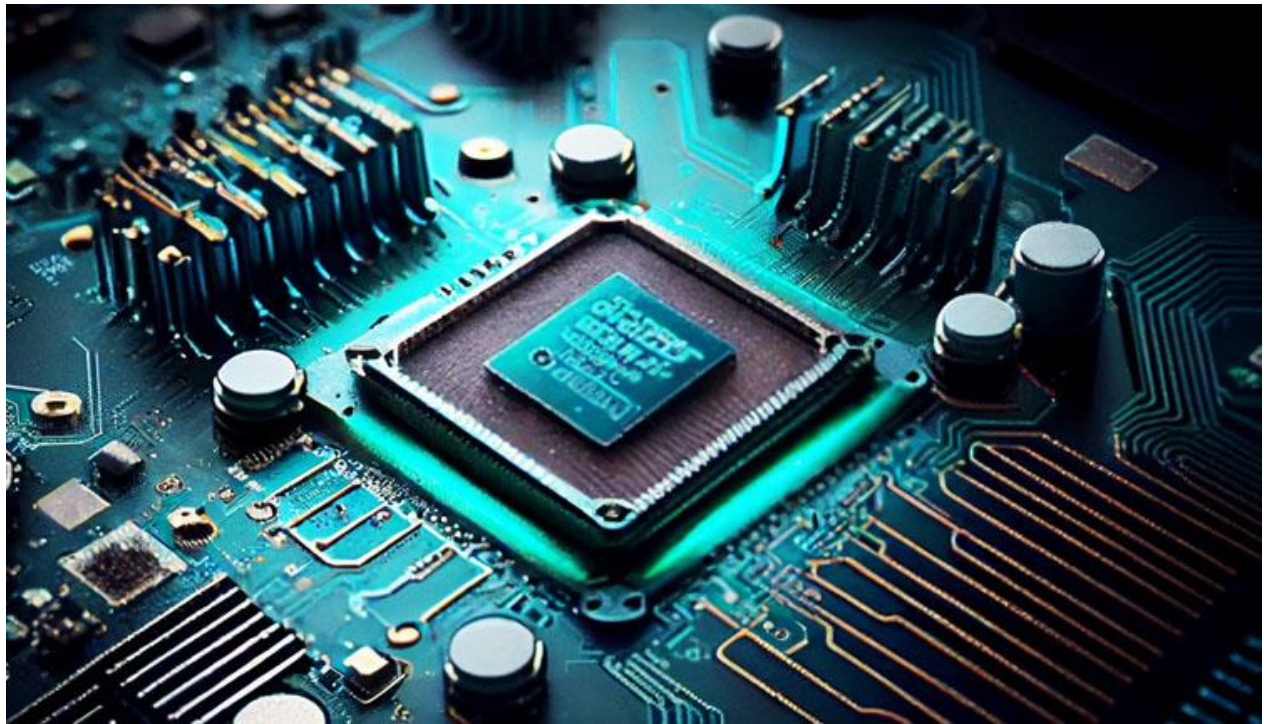


Figure 10: Allure d'un système embarqué

Dans le cadre de notre projet, nous allons nous appuyer sur le principe des systèmes embarqués. À cet effet, nous présenterons les logiciels utilisés, tant pour la programmation que pour la simulation des circuits électroniques, ainsi que les composants matériels employés. Nous détaillerons également leur connexion au microcontrôleur, en expliquant le rôle de chaque élément dans l'architecture du système.

2. Matériel utilisé:

Dans cette section, nous allons aborder le choix du matériel nécessaire à la réalisation de notre projet. Cela inclut le choix de la carte programmable, le type d'alimentation retenu, ainsi que les composants électroniques utilisés. Pour chaque élément, nous présenterons les critères de sélection ainsi que leurs principales caractéristiques techniques.

2.1. Microcontrôleur

Afin de mener à bien la réalisation de notre distributeur automatique de boissons chaudes, il est essentiel de choisir le cœur du système, à savoir la carte programmable. Celle-ci doit être parfaitement compatible avec les exigences techniques de notre projet ainsi qu'avec les contraintes définies dans le cahier des charges.

Face à la diversité des cartes disponibles sur le marché, le choix n'est pas évident. C'est pourquoi nous avons réalisé une étude comparative des principales cartes programmables, en tenant compte de leurs caractéristiques techniques, de leur disponibilité et de leur coût.

Le tableau ci-dessous montre la déférence entre les cartes programmables :

Marque	Vitesse d'horloge	Mémoire (Flash/RAM)	Prix(DA)	disponibilité
Arduino	16 Mhz	32-256Ko/ 2-8Ko	950-9000	Très disponible
Esperessif	80 à 250 Mhz	4096-16384Ko/ 80-520Ko	1000-3000	disponible
STMicroelectronics	72 a 100 Mhz	128Ko/ 20Ko	950-5000	disponible
PJRC(Teensy)	600 Mhz	2048Ko/1024Ko	12000-18000	Très rare
Micro:bit BBC	16 Mhz	256Ko/16Ko	5000	Rare
Digilent/xilinx	--- (logique interne)	Configurable	11000-44000	Pas disponible
Speed studio	120 Mhz	4096Ko/ 192Ko	10000-15000	Très rare
Sparkfun	16 Mhz	32Ko / 2Ko	3000-4500	Très rare

Table 1: tableau des cartes programmables

À l'issue de cette étude comparative, nous avons conclu que l'utilisation d'une carte Arduino s'avère être la solution la plus adaptée à notre projet. Ce choix se justifie par plusieurs facteurs : la disponibilité de ces cartes sur le marché, leur coût abordable, leur facilité d'utilisation, ainsi

que leur large compatibilité avec des applications embarquées spécifiques. De plus, la diversité des modèles proposés dans la gamme Arduino nous offre une flexibilité appréciable pour répondre aux besoins techniques de notre système.

2.1.1. Arduino

Arduino est une plateforme électronique open-source basée sur du matériel et des logiciels faciles à utiliser. Une carte Arduino est une plateforme de prototypage électronique open-source basée sur un microcontrôleur. Elle permet de concevoir et programmer des systèmes embarqués en lisant des entrées (capteurs, boutons, données numériques) et en générant des sorties (moteurs, LED, relais, etc.).

Grâce à son langage de programmation simplifié (Arduino IDE), elle est largement utilisée dans les domaines de l'automatisation, la robotique, les objets connectés (IoT) et l'apprentissage de l'électronique.

Le comportement de la carte est défini par un ensemble d'instructions envoyées au microcontrôleur intégré. Ces instructions sont programmées à l'aide du langage Arduino, basé sur Wiring, et du logiciel Arduino IDE, dérivé de Processing. Cette combinaison permet un développement simple et rapide, adapté aussi bien aux débutants qu'aux utilisateurs avancés. [9]

2.1.1.1. Les cartes Arduino

Il existe plusieurs cartes Arduino dans le marché, chacune a ces caractéristiques et spécifications techniques on cite ci-dessous quelques cartes.

2.1.1.1.1. Arduino UNO

La carte Arduino la plus connue et la plus utilisée est l'Arduino Uno. Elle est équipée d'un microcontrôleur ATmega328P, fonctionnant à une fréquence de 16 MHz. Elle dispose de 32 Ko de mémoire flash pour le stockage du programme, de 2 Ko de SRAM (mémoire vive) et de 1 Ko d'EEPROM pour la sauvegarde de données non volatiles.[10]

L'Arduino Uno fonctionne avec une tension de 3,3 V à 5 V, et offre 14 broches numériques d'entrée/sortie, dont 6 peuvent être utilisées en sortie PWM, ainsi que 6 entrées analogiques, permettant de connecter divers capteurs et actionneurs.[11]

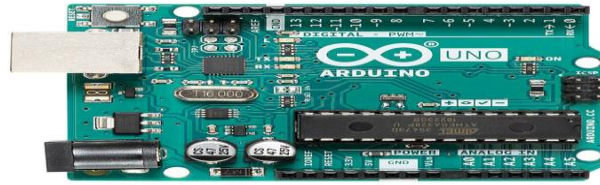


Figure 11: arduino UNO

2.1.1.1.2. Arduino DUE

L'Arduino DUE est la première carte de la famille Arduino à être basée sur un microcontrôleur ARM. Elle se distingue comme l'une des cartes les plus puissantes de la gamme. Elle est équipée d'un processeur ARM Cortex-M3 ATSAM3X8E, fonctionnant à une fréquence de 84 MHz. Elle dispose de 96 Ko de SRAM, de 512 Ko de mémoire flash (ROM) pour le stockage des programmes, et fonctionne sous une tension de 3,3 V.

La carte offre une grande capacité d'extension avec 54 broches d'entrée/sortie numériques, dont 12 peuvent être utilisées en PWM, ainsi que 12 entrées analogiques, ce qui la rend idéale pour des projets nécessitant un traitement rapide des données et de nombreuses connexions périphériques.[10]



Figure 12: arduino DUE

2.1.1.1.3.Arduino NANO

Cette carte est composée d'un microprocesseur ATmega328P qui fonctionne à 16 Mhz et 1Ko d'EEPROM avec 2Ko de RAM et 32Ko de mémoire programme. Cette est composée de 14

broches d'entres/sorties avec 6 broches analogiques, ca tension de fonctionnement est entre 3,3V et 5V.



Figure 13: arduino NANO

2.1.1.1.4. Arduino Leonardo

Cette carte est composer d'un microprocesseur ATmega32u4 qui fonctionne a 16 Mhz avec 2.5Ko de RAM et 32Ko de mémoire programme et 1Ko d'EEPROM. Cette carte est compose de 12 broches analogue et 20 broches d'entres/sorties avec 7 de ces 20 broches son PWM, ca tension de fonctionnement est de 5V.



Figure 14: arduino LEONARDO

2.1.1.1.5.Arduino Mega 2560 Rev3

Cette carte est composer d'un microprocesseur ATmega2560 qui fonctionne a 16Mhz avec 256Ko de mémoire programme et 8Ko de RAM et 4Ko d'EEPROM. Cette carte consiste de 54 broches d'entres/sorties numérique dont 15 sont PWM et 16 broches analogiques, ca tension de fonctionnement est de 5V.

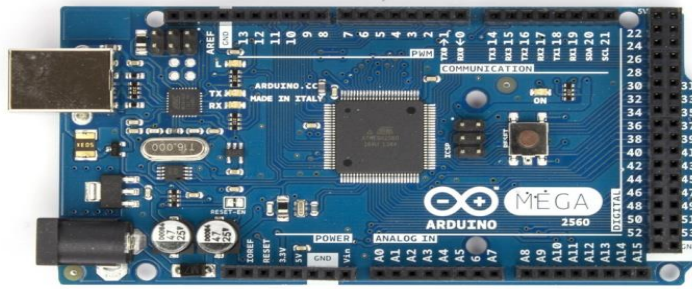


Figure 15: arduino Mega 2560 Rev3

2.1.2. Le choix de la carte Arduino mega 2560

Le choix de la carte Arduino Mega 2560 repose principalement sur le grand nombre de broches d'entrées/sorties numériques qu'elle offre, ce qui nous permet de réaliser notre projet sans recourir à une carte d'extension. Ce critère est essentiel dans le cadre de notre distributeur automatique, qui nécessite la connexion simultanée de plusieurs capteurs et actionneurs.

L'Arduino Mega 2560 se distingue des autres cartes de la gamme par sa mémoire plus importante (256 Ko de flash, 8 Ko de SRAM), ses 54 broches d'E/S numériques, et ses 4 ports série matériels, ce qui facilite la gestion simultanée de plusieurs périphériques (capteurs, moteurs, afficheur LCD, etc.).

Ces caractéristiques en font une carte particulièrement adaptée aux projets complexes comme notre distributeur, qui nécessite le contrôle de nombreux composants en parallèle.

2.1.2.1. Les caractéristiques de l'arduino mega 2560

Le tableau ci-dessous montre les principales caractéristiques de la carte arduino mega2560 Rev3

Processeur	ATmega2560-16Au
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'entre	7-12V
Vitesse d'horloge	16Mhz
Broches numériques	54
Broches analogiques	16
RAM	8Ko

Mémoire flash	256Ko
EEPROM	4Ko

Table 2: caractéristiques de l'Arduino mega2560

2.2. Les capteurs

Les capteurs sont des composants électroniques capables de convertir une grandeur physique (comme la chaleur, la lumière ou la présence d'un objet) en un signal électrique exploitable par un microcontrôleur. Ils jouent un rôle essentiel dans l'interaction entre le système embarqué et son environnement.

Dans le cadre de notre projet, nous avons utilisé deux types de capteurs :

Un capteur infrarouge FC-51, destiné à la détection d'objets, permettant par exemple de repérer la présence d'un gobelet ou d'un récipient sous le distributeur.

Un capteur de température, utilisé pour surveiller la température du système de chauffage et garantir le bon fonctionnement du service de boissons chaudes.

2.2.1. Capteur FC-51

Le capteur FC-51 est composant utiliser pour la détection de la présence d'objet a court distance, son fonctionnement repos sur le principe de la réflexion infrarouge, une diode électroluminescent (LED IR) émet un rayonnement infrarouge tandis qu'un phototransistor placé capte l'intensité du rayonnement émet par les objets situe devant le capteur ainsi la variation de la lumières reçus permet la détection d'objet. Ce capteur fonctionne avec une tension d'alimentation entre 3,3V et 5V et ca plage de détection d'objet et de 2 cm jusqu' 30cm. Le capteur infrarouge est compose de 3 broche, une broche <VCC> pour l'alimentation et une broche <GND> pour la masse et une broche (OUT) pour le signal.



Figure 16: capteur infrarouge FC-51

2.2.1.1. Les caractéristiques du capteur FC-51

Le tableau ci-dessous montre les principales caractéristiques du capteur IR FC-51.

Tension de fonctionnement	3.3-5V
Consommation électrique	~20mA
Plage de détection	2-30 cm
Temps de réponse	1-10 ms
Angle de détection	35 degrés
Température de fonctionnement	(-10) — (+50)°C

Table 3: les caractéristiques du capteur FC-51

2.2.1.2. Branchement

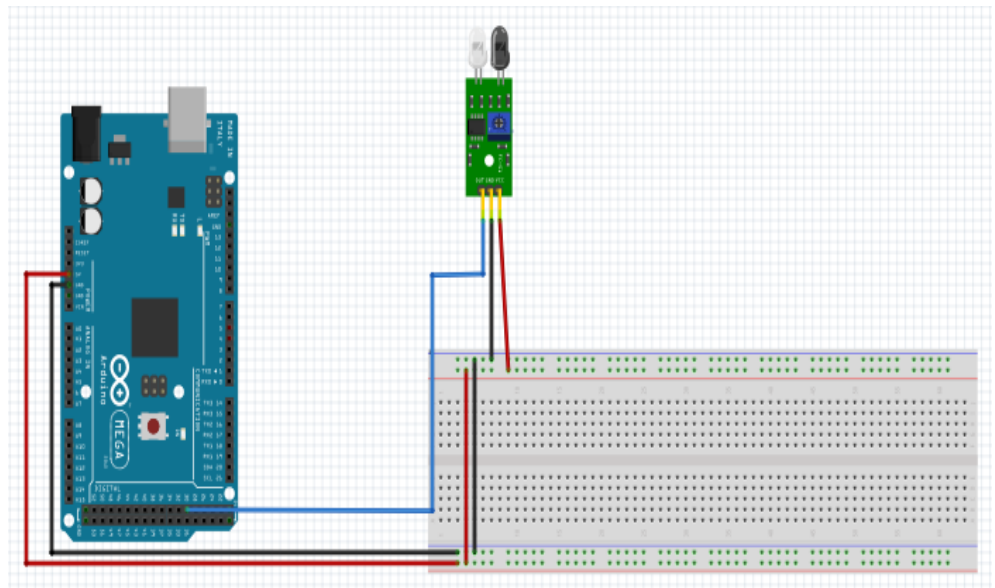


Figure 17: branchement du FC-51 avec arduino

2.2.2. Capteur de température DS18B20

Le capteur de température DS18B20 est un capteur numérique qui fournit des informations précises sur une large plage de fonctionnement, ce capteur est composé de 2 fils, un fil est utilisé pour une communication numérique via un Protocole de communication (1-wire) ce qui signifie que un seul fil est nécessaire pour transmettre les données. Ce capteur a une plage de mesure entre -55°C et +125°C avec une précision de ± 0.5 °C, la résolution de mesure est réglable entre 9 à 12 bits selon la vitesse de calcul souhaitée.



Figure 18: photo réelle capteur de température DS18B20

2.2.2.1. Les caractéristiques de capteur DS18B20

Le tableau ci-dessous montre les principales caractéristiques de capteur DS18B20 :

Tension de fonctionnement	3-5V
Plage de mesure	-55°C a +125°C
Précision	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Interface	1-wire
Résolution	9-12 bits

Table 4: les caractéristiques de capteur DS18B20

2.2.2.2. Branchement

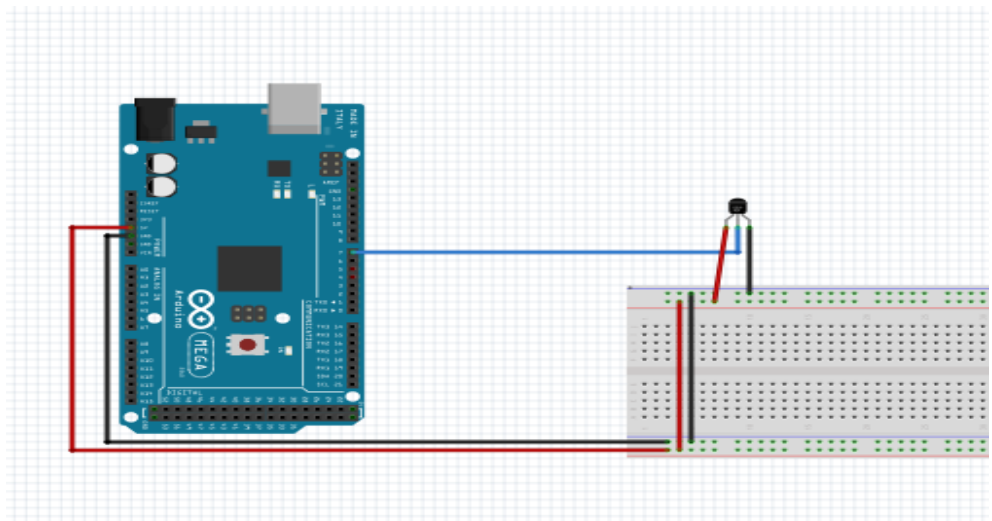


Figure 19: branchement de DS18b20 avec l'arduino

2.3. Afficheur LCD16*2 I2C

Le terme LCD est l'abréviation du terme anglais ' Liquid Crystal Display' qui signifie écran à cristaux liquide.

L'afficheur LCD est en particulier une interface visuelle entre un système (projet) et l'homme (l'utilisateur). Son rôle est de transmettre les informations utiles entre le système et l'utilisateur. Il affichera donc des données susceptibles d'être exploitées par l'utilisateur d'un système.[11]

L'afficheur LCD est utilisé pour afficher les informations (lettres, chiffres, symboles), il est capable d'afficher 2 lignes de 16 caractères. Cependant l'afficheur LCD est composé de 16 broches, une broche d'alimentation 'VCC' et une broche de la masse 'VDD' et une broche 'V0' pour le contraste, une broche 'RS' pour la sélection des registres et une broche 'R/W' pour lecture/écriture avec une broche 'E' pour l'activation et aussi 8 broches de données 'D0.....D7' et aussi une broche pour l'anode et une pour la cathode, ces nombreuses broches peuvent limiter les ressources disponibles pour les autres composants. C'est pour cela que l'on ajoute l'interface I2C.

L'interface I2C est un protocole de communication série synchrone, cette interface permet de réduire les 8 broches de données de l'afficheur 16*2 à 2 broches de communication qui sont : SDA (Serial Data) pour la transmission des données et SCL (Serial Clock) pour synchroniser l'échange. L'interface I2C comporte un potentiomètre intégré pour régler le contraste de l'afficheur et aussi contrairement à l'afficheur 16*2 sans I2C l'adresse de diffusion peut être réglée.



Figure 20: photo réelle de l'interface I2C



Figure 21: branchement de l'interface I2C et l'afficheur LCD 16*2

2.3.1. Branchement

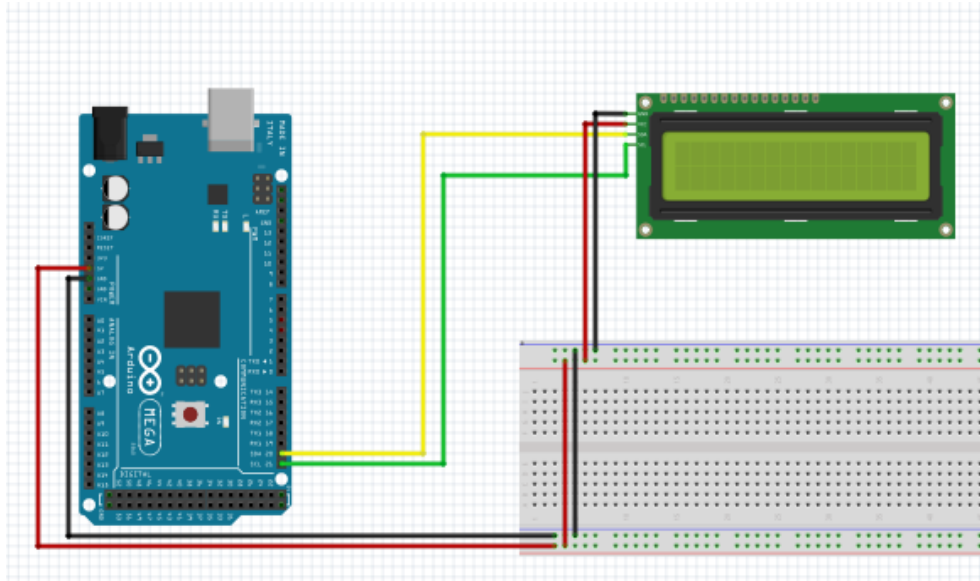


Figure 22: branchement avec l'arduino mega 2560

2.4. Servo moteur SG90

Un servo moteur est un système qui vise à produire un mouvement précis en réponse à une commande externe. C'est un actionneur (système produisant une action) qui mélange l'électronique, la mécanique et l'automatique. Il est composé d'un moteur à courant continu avec 2 caractéristiques spéciales :

Au lieu d'avoir une rotation constante, il est asservi en position angulaire, cela signifie que l'axe de sortie du servomoteur respectera la consigne d'instruction que vous lui avez envoyée et maintiendra sa position fixe permettant de contrôler sa vitesse de rotation. [11]

Le servo moteur SG90 est le plus utilisé parmi les autres gammes des servo moteurs, facile à contrôler que sa soit sa vitesse ou l'angle de rotation. Le servo moteur SG90 est composé de 3 broches qui se lient directement à trois fils, le fil jaune est pour le signal et le fil rouge est pour la tension et le fil marron ou noir est pour la masse. Sa plage de rotation est de 0 à 180 degrés, le modèle SG90 est alimenté par une tension de 5V il peut être contrôlé par la carte Arduino par un signal PWM.

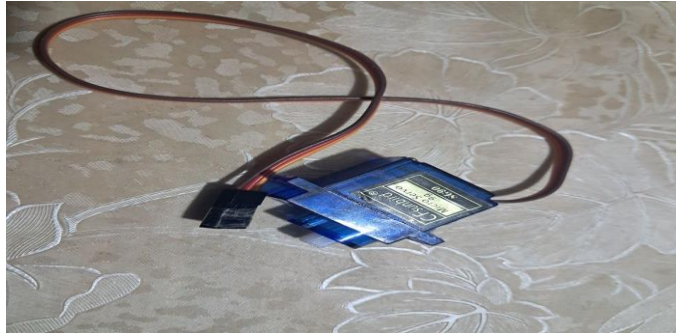


Figure 23: photo réelle du servomoteur SG90

2.4.1. Les caractéristiques techniques de servomoteur SG90

Le tableau ci-dessous montre les caractéristiques techniques du servomoteur SG90.

Tension de fonctionnement	4,8-6V
Consommation de courant	10-650mA
Plage de rotation	0-180 degré
Vitesse de rotation	0,12s/60 degré
Température de fonctionnement	Entre -30°C et +60°C
Couple	1,4kg/cm (4,8V)

Table 5: les caractéristiques de servomoteur SG90

2.4.2. Branchement

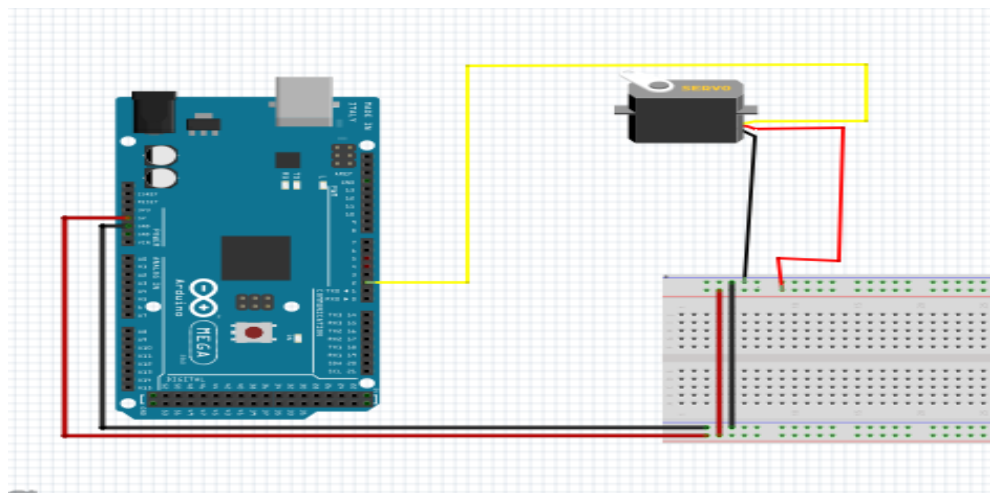


Figure 24:branchement servomoteur avec l'Arduino

2.5. Mini pompe :

Une mini-pompe est un dispositif électromécanique utilisé pour acheminer des liquides. Alimentée sous une tension de 3V à 5V, elle présente :

- Une consommation de courant : 100 à 300 mA
- Un débit maximum : 120 L/h

Ce composant est connecté à l'Arduino via un relais 5V. Ce dernier est un interrupteur électromécanique permettant de commander des appareils fonctionnant sous haute tension ou forts courants.



Figure 25: photo réelle du mini pompe 120L/H

2.5.1. Les caractéristiques de mini pompe 3-5V 120L/H.

Tension de fonctionnement	3-5V
Consommation de courant	100-300mA
Débit	70-120L/H
Puissance	0.5-1.5W
Hauteur de refoulement	0,3-0,8 mètre

Table 6: les caractéristiques techniques du mini pompe 120L/H

2.5.2. Branchement

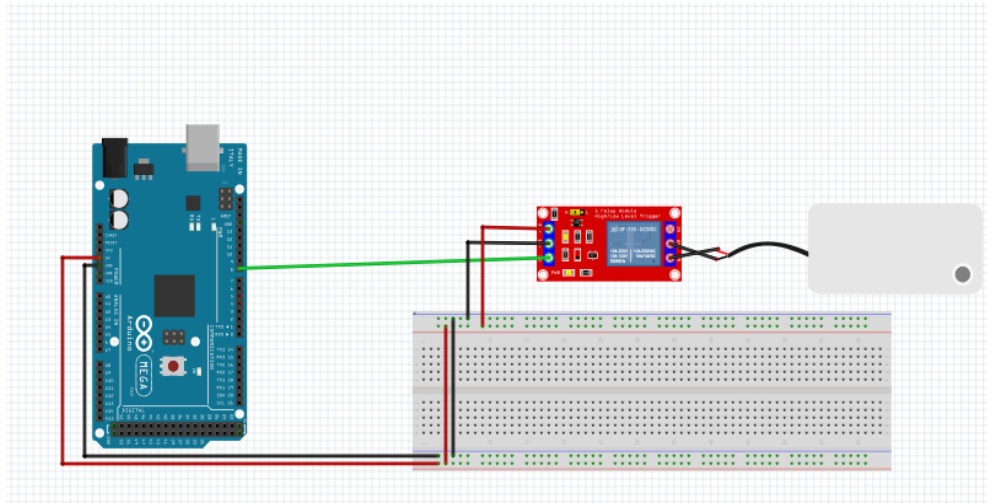


Figure 26: photo réelle de branchement de la mini pompe

2.7. Resistance chauffant

La résistance chauffante céramique de type cartouche est un composant électronique utilisé pour générer de la chaleur. Disponible en versions 12V, 24V et 220V, nous avons sélectionné pour notre projet le modèle 12V présentant les caractéristiques suivantes :

- Puissance : 40W
- Température maximale : 200°C
- Courant nominal : 3.33A (pour 12V/40W)
- Temps de montée en température : ~90 secondes

Ce composant est brancher avec l'arduino en utilisant un relai 12v, sachant que un fil de cartouche est connecter vers une alimentation 12V et l'autre vers le relai 12V



Figure 27: photo réelle de résistance chauffant

2.7.1. Branchement

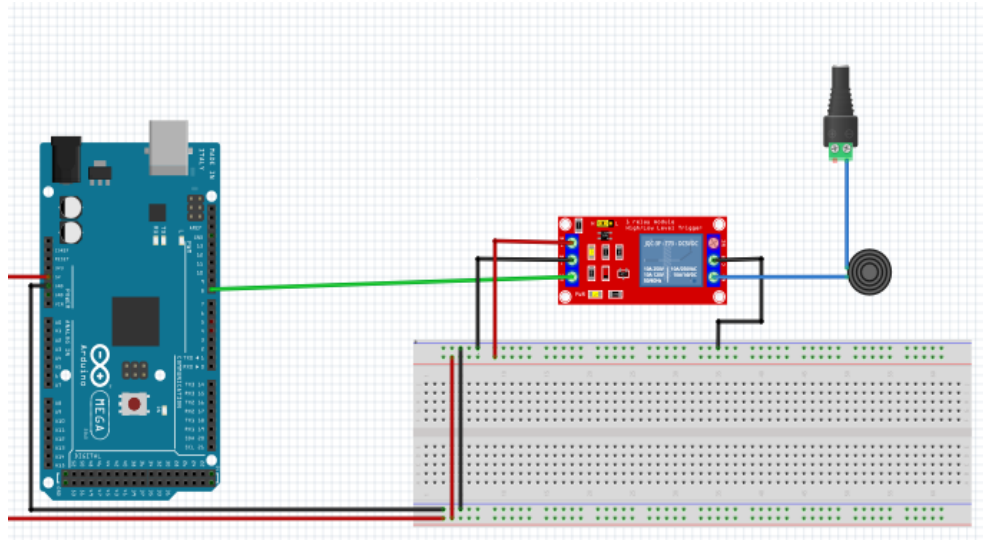


Figure 28: branchement du heater avec le relai 12V

2.8. Alimentation

Pour notre projet, nous avons opté pour une alimentation à découpage 12V/10A acceptant une tension d'entrée de 100-220V AC et délivrant en sortie un courant continu stabilisé de 12V avec une capacité maximale de 10A. Cependant, puisque la plupart de nos composants électroniques fonctionnent sous 5V, nous avons intégré un convertisseur DC-DC de type LM2596 pour abaisser la tension. Ce régulateur buck convertisseur offre une sortie réglable précise de 5V avec un courant disponible jusqu'à 3A, permettant d'alimenter de manière fiable l'ensemble du système tout en garantissant une bonne stabilité de tension et une protection contre les surcharges.



Figure 29: photo réelle du LM2596

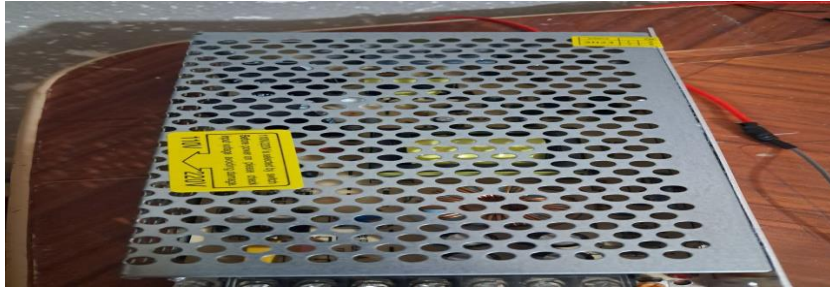


Figure 30: photo réelle de l'alimentation 12V 10A

2.8.1. Branchement

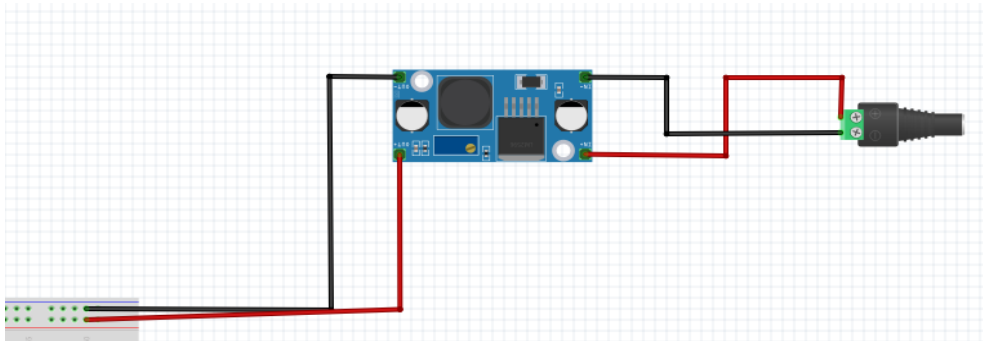


Figure 31: branchement LM2596 et l'alimentation 12V 10A

2.9. Buttons poussoirs

Pour notre projet on a utilisé trois boutons poussoirs, chacun correspondant un type de boisson et n bouton supplémentaire pour l'ajout de sucre , un bouton poussoir est un composant utiliser pour activer ou désactiver un temporairement un circuit électrique, il fonctionne en établissant un contact électrique pendant le temps appuis dessus.



Figure 32: photo réelle des buttons poussoirs

2.9.1. Branchement

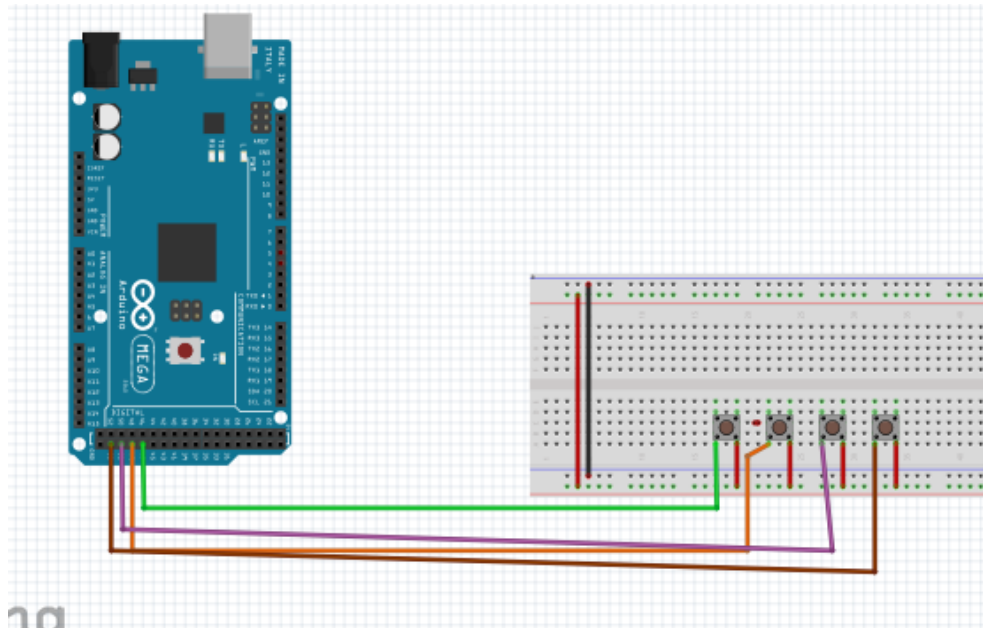


Figure 33: branchement du boutons poussoirs avec arduino

3. Logiciel utilisé

Dans cette section, nous présentons les logiciels utilisés pour la conception de notre distributeur automatique de boissons chaudes. Deux outils principaux ont été mobilisés :

- Fritzing : utilisé pour la conception et la simulation des schémas électriques du système.
- Arduino IDE : utilisé pour le développement et le téléversement du code sur la carte Arduino Mega 2560.

Ces logiciels nous ont permis de concevoir, tester et valider à la fois la partie matérielle et logicielle de notre projet.

3.1. Logiciel fritzing

Fritzing est un logiciel open-source de conception électronique qui permet aux utilisateurs de créer des schémas de circuits, de simuler des montages électroniques et de concevoir des circuits imprimés (PCB). Il est conçu pour être accessible aux débutants, tout en offrant des fonctionnalités adaptées aux professionnels. Fritzing permet de réaliser facilement des prototypes électroniques à l'aide d'une interface graphique intuitive, et il offre des outils pour convertir des circuits de la breadboard (plan de montage sur planche) à un circuit imprimé. Grâce à son approche visuelle, il facilite l'apprentissage et le partage de projets électroniques.

3.2. Logiciel Arduino IDE :

L'Arduino IDE (Integrated Development Environment) est un environnement de développement utilisé pour programmer les cartes Arduino. Il sert d'interface entre l'utilisateur et la carte, en facilitant l'écriture, la compilation et le téléversement du code. Ce logiciel intègre un compilateur qui traduit le programme écrit en langage Arduino (basé sur le langage Wiring) en langage machine compréhensible par le microcontrôleur de la carte. L'Arduino IDE est dérivé du logiciel Processing et est distribué en tant que logiciel open source. Bien qu'il soit conçu principalement pour les cartes Arduino, l'IDE peut également être configuré pour programmer d'autres types de cartes compatibles [13].

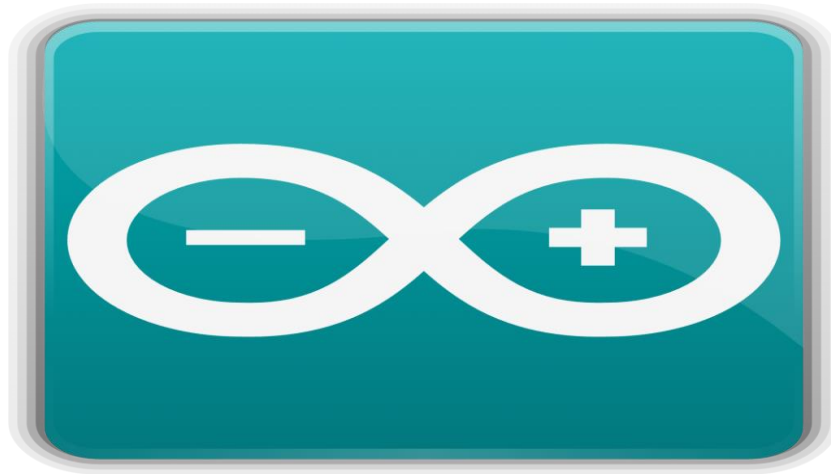
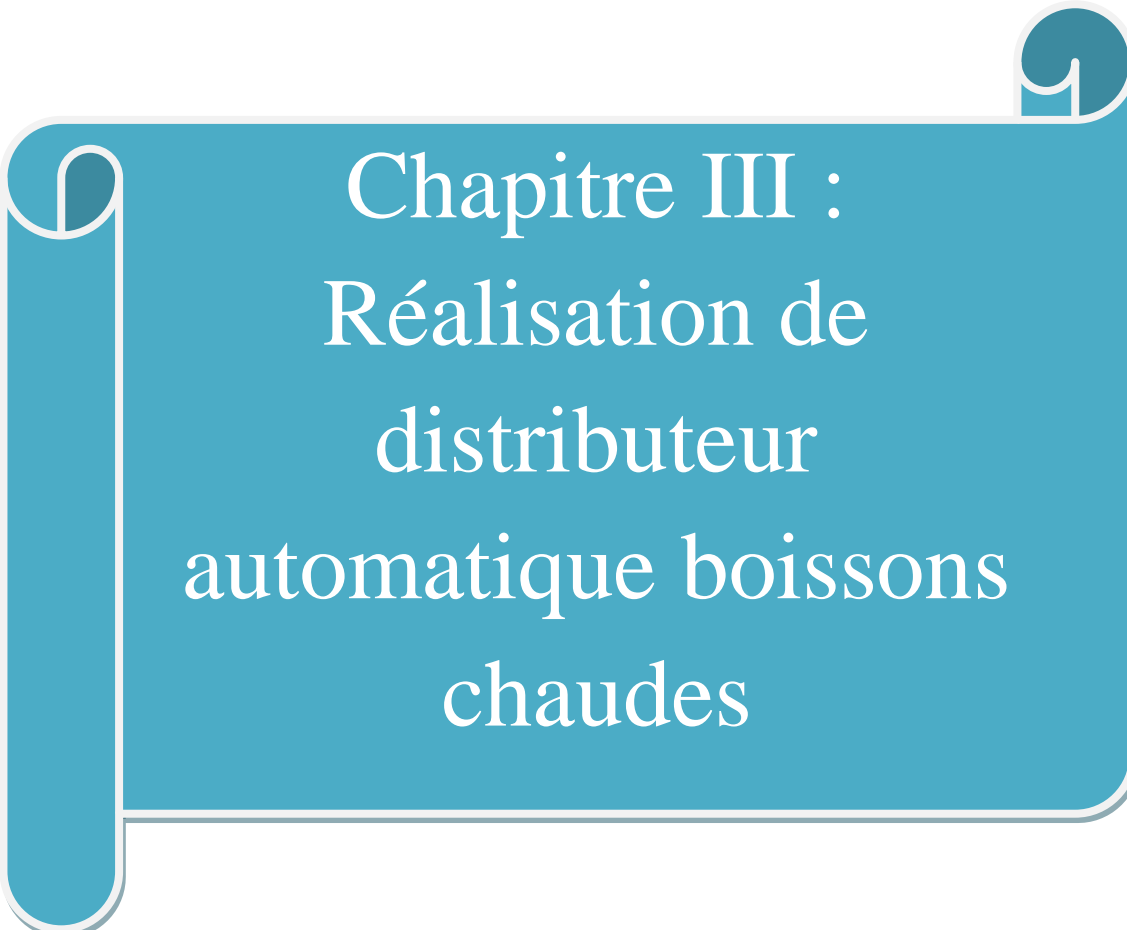


Figure 34: logo Arduino IDE

4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié de manière théorique les composants électroniques et électriques utilisés dans notre projet. Nous avons présenté le choix de la carte microcontrôleur programmable, en mettant en évidence les avantages de l'Arduino Mega 2560 par rapport aux autres cartes disponibles sur le marché.

Nous avons également détaillé les autres composants électroniques utilisés, en précisant leur fonction, leurs caractéristiques techniques ainsi que leur branchement avec la carte Arduino. Enfin, nous avons présenté les logiciels ayant servi à la conception, à la simulation et à la programmation de notre système embarqué.



Chapitre III : Réalisation de distributeur automatique boissons chaudes

1. Introduction

Après avoir présenté les généralités sur les distributeurs automatiques dans le premier chapitre, puis les composants matériels et les logiciels utilisés dans le deuxième chapitre, ce troisième chapitre est consacré à la réalisation pratique de notre distributeur automatique de boissons chaudes.

Nous y détaillerons les différentes étapes suivies, de la fabrication du châssis à l'implémentation du programme sur la carte Arduino Mega 2560, en passant par l'assemblage du circuit électronique. L'objectif est de démontrer la mise en œuvre concrète du système, son fonctionnement, ainsi que les tests réalisés pour valider sa performance. Ce chapitre est organisé en trois parties principales :

Première étape : présentation du principe de fonctionnement de notre distributeur.

Deuxième étape : explication du programme développé pour la carte Arduino.

Troisième étape : description des étapes de réalisation du circuit électrique et de son intégration dans le châssis.

2. Le fonctionnement de distributeur

Le fonctionnement de notre distributeur repose sur deux parties principales :

Le monnayeur, chargé de la gestion de l'insertion et de la reconnaissance des pièces. Il vérifie la validité des pièces insérées et autorise ou non la suite du processus en fonction du montant détecté.

Le système de distribution, dédié à la préparation et à la délivrance de la boisson choisie par l'utilisateur. Une fois le paiement validé, ce système active les composants nécessaires (chauffage, pompes, actionneurs, etc.) pour préparer la boisson sélectionnée, puis la distribue dans un récipient prévu à cet effet.

2.1. Le monnayeur :

Le monnayeur est le système chargé de la détection et de la reconnaissance des pièces de monnaie insérées par l'utilisateur. Dans notre projet, nous avons opté pour une solution manuelle, simple et économique, en concevant un dispositif basé sur une plaque en plexiglas percée de trous calibrés selon les dimensions standards des différentes pièces.

Chaque trou correspond à une taille spécifique de pièce. Lorsqu'une pièce est insérée, elle chute uniquement dans l'ouverture qui lui est destinée, en fonction de son diamètre. Ce système permet de trier et reconnaître mécaniquement les pièces, sans recourir à des capteurs électroniques complexes ni à des circuits de traitement avancés.

Sous chaque trou calibré du monnayeur, un capteur infrarouge FC-51 est placé afin de détecter le passage de la pièce. Lorsqu'une pièce traverse son trou dédié, le capteur émet un signal électrique qui est ensuite traité par le microcontrôleur Arduino Mega 2560. Ce dernier associe à chaque signal une valeur correspondant à la pièce détectée, laquelle est ensuite ajoutée à la somme totale insérée, conformément à la logique définie dans le programme. Une fois que la somme insérée atteint ou dépasse le prix d'une boisson, le système autorise automatiquement l'accès à la distribution. Après la délivrance de la boisson, le système procède à la restitution de la monnaie restante, en actionnant des servomoteurs qui libèrent les pièces correspondantes.

Nous avons choisi ce système pour plusieurs raisons, notamment pour sa fiabilité mécanique, grâce à l'utilisation de trous de dimensions précises, et pour sa simplicité de mise en œuvre comparée aux systèmes entièrement électroniques de reconnaissance de monnaie.

2.2. Distribution

Le système de distribution a pour rôle de préparer et de servir la boisson choisie par l'utilisateur, une fois le paiement validé. Pour garantir un processus fluide et automatisé, nous avons conçu un mécanisme de distribution de gobelets contrôlé par deux servomoteurs. Ces derniers tournent dans des directions opposées : l'un permet d'ouvrir la trappe du compartiment à gobelets, tandis que l'autre fait avancer un gobelet vers la position de service.

Le système est entièrement automatisé. Lorsqu'un gobelet est requis, les servomoteurs s'activent. Un capteur infrarouge vérifie ensuite la présence du gobelet dans son emplacement. Si le capteur ne détecte rien, le système réinitialise le cycle jusqu'à ce qu'un gobelet soit correctement positionné.

Une fois le gobelet en place, le système enchaîne une série d'étapes synchronisées pour assurer une distribution correcte :

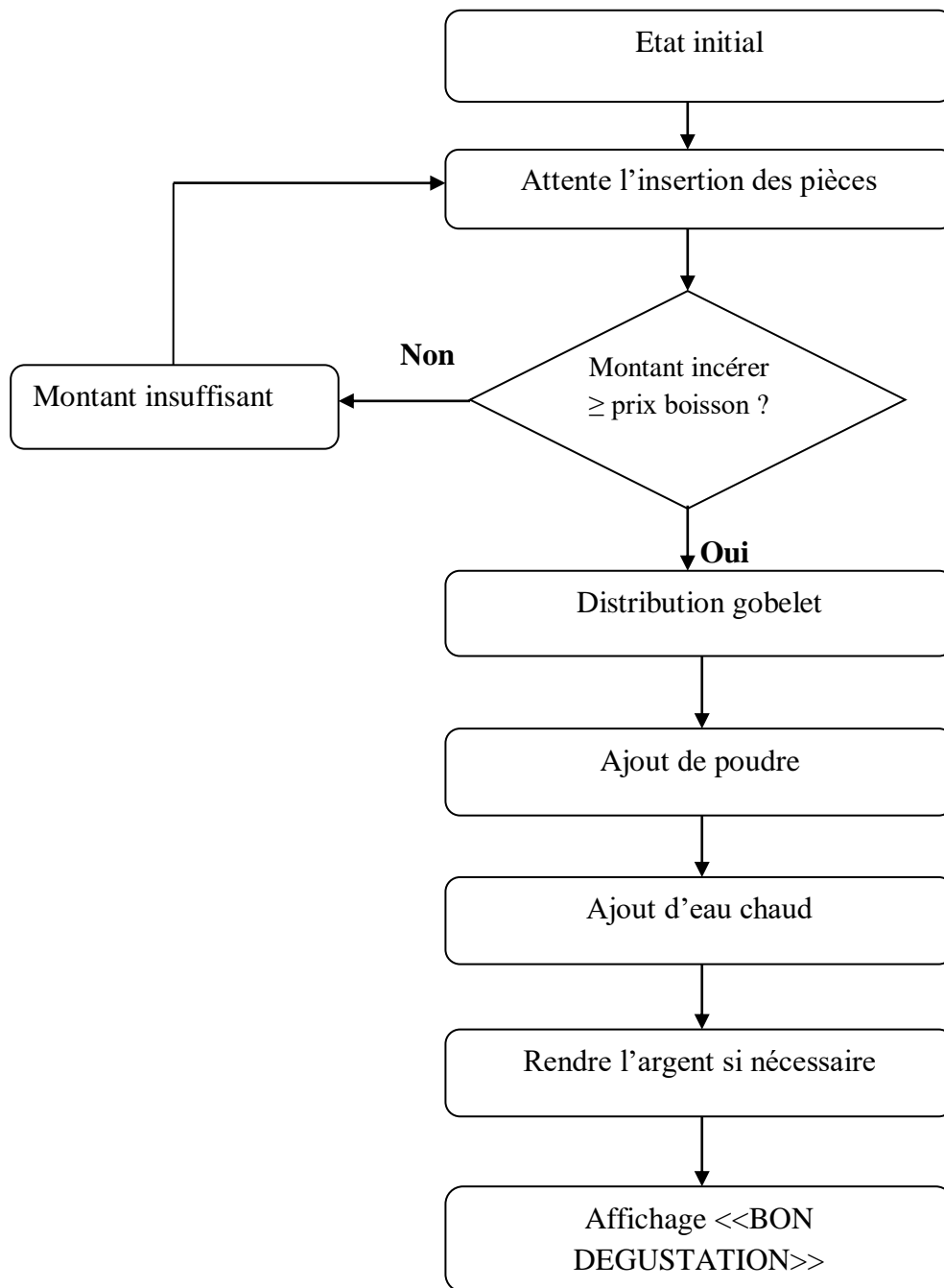
Dosage automatique des ingrédients (lait, café, cappuccino en poudre), à l'aide de servomoteurs placés sur chaque réservoir.

Ajout d'eau chaude, chauffée par une cartouche céramique jusqu'à la température souhaitée, mesurée par un capteur de température DS18B20.

L'eau est ensuite acheminée dans le gobelet par une mini-pompe.

Ce processus permet d'assurer un service automatisé, précis et rapide, tout en réduisant les interventions humaines.

2.3. Organigramme du système :



3. programme de distributeur

Dans cette section, nous présentons le programme principal qui pilote le fonctionnement global de notre distributeur automatique. Ce programme a été développé puis téléversé sur la carte Arduino Mega 2560, qui assure la gestion centralisée de tous les composants du système.

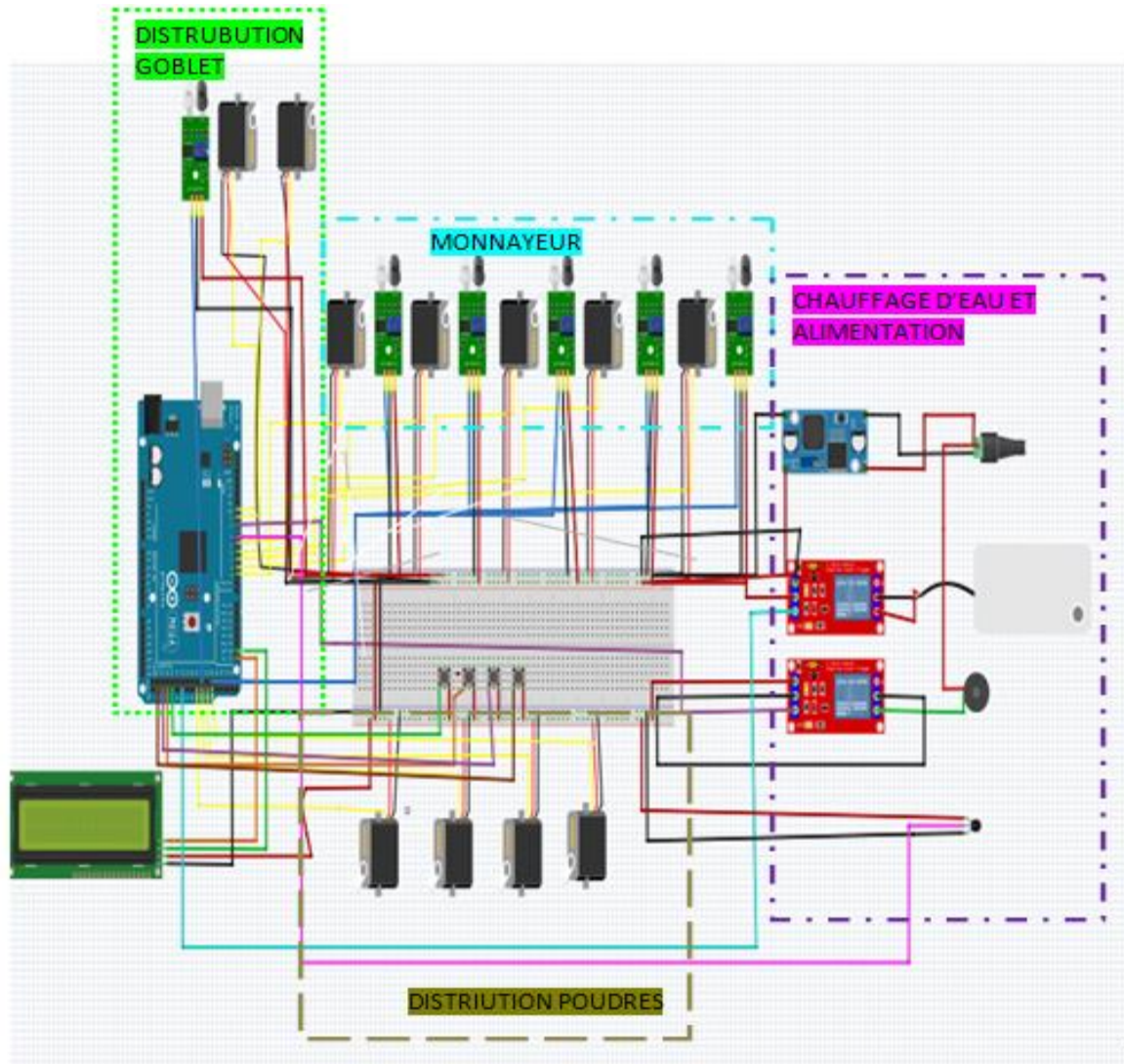


Figure 35 : schéma complet de distributeur

Pour concevoir ce programme, nous avons d'abord développé et testé individuellement chaque composant, qu'il s'agisse de l'afficheur, des capteurs infrarouges, des servomoteurs, de la mini-pompe ou encore du système de chauffage. Chaque élément a été validé au moyen de sous-programmes, avant d'être intégré dans le circuit complet.

Le système est alimenté par une alimentation stabilisée (PSU) de 12V – 10A, capable de fournir une puissance suffisante pour l'ensemble des composants :

- 11 servomoteurs,
- 6 capteurs infrarouges,
- une mini-pompe,
- une cartouche chauffante,
- un capteur de température.
- Une alimentation qui garantit une tension stable et un courant constant, assurant ainsi la fiabilité et la continuité du fonctionnement.

Dans les sections suivantes, nous détaillerons les différentes étapes du programme, en expliquant le rôle de chaque partie, depuis la détection des pièces de monnaie jusqu'à la distribution complète de la boisson.

Inclusion des bibliothèques :

```
1 #include <Wire.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 #include <Servo.h>
4 #include <OneWire.h>
5 #include <DallasTemperature.h>
6
```

Ces bibliothèques nous permettant de gérer les composant utiliser :

- Wire.h : cette bibliothèque permet la communication de LCD avec l'interface I2C
- LiquidCrystal_I2C.h : permet l'affichage sur l'écran LCD avec I2C.
- Servo.h : permet de contrôler les servomoteurs.
- Onewire.h et dallastemperatur.h : pour la lecture de température a partir de capteur DS18B20.

- **Déclaration de l'affichage et les capteur de monnaies :**

```
8 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
9
```



```
11 const int capteurs[5] = {22, 24, 26, 28, 30};
12 const int valeurs[5] = {10, 20, 200, 50, 100};
13 bool etatsPrecedents[5] = {HIGH, HIGH, HIGH, HIGH, HIGH};
14 int total = 0;
15
```

- Capteurs : contient les broches connecter au capteur FC51 pour la détection des pièces
 - Valeurs : correspondant à la valeur des pièces pour chaque capteur déclarer dans la ligne précédente.
 - Etatprecedent : cette booléen est utiliser pour que les capteurs ne détecte pas la même pièce deux fois ou plusieurs
 - Total : initialisation et déclaration de stock monnaie.
- **Déclaration de capteur de température DS18B20**

Tout d'abord, on définit la connexion du capteur de température sur la broche numérique 7 (PWM), puis on initialise le bus OneWire ainsi que l'objet DallasTemperature afin de permettre la lecture de la température.

```
16 #define ONE_WIRE_BUS 7
17 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
18 DallasTemperature sensors(&oneWire);
19 float temperatureC = 0.0;
20
```

- **Déclaration des broches pour le chauffage et pompe**
- Heater_pin : broche de commande pour contrôler le heater cartdridge sur la broche 8
 - Relais_pompe : broche de commande pour contrôler la mini pompe sur la broche 43

```
22 #define HEATER_PIN 8
23 #define RELAIS_POMPE 43
24
```

- **Déclaration de capteur gobelet**

Ce capteur ir FC-51 est brancher a la broche 34, il est pour vérifier la présence du gobelet.

```
25 #define CAPTEUR_GOBELET 34
26
```

- **Déclaration des boutons et servomoteurs de poudre**

```
const int boutons[4] = {47, 49, 51, 53};
const int pinsPoudres[4] = {31, 33, 35, 37};
const int prix[4] = {30, 40, 80, 0}; // Café, Lait, Cappuccino, Sucre
String noms[4] = {"Cafe", "Lait", "Capuccino", "Sucre"};
Servo servosPoudres[4];
```

- Butons : boutons de sélection de poudre de produit brancher a les broches 47, 49, 51, 53
- Pinspoudre : les servomoteurs responsable de libérez la poudre brancher a les broches 31, 33, 35, 37.
- Prix : déclaration des prix de boisson
- Noms : déclaration de nom de chaque poudre
- Servospoudres : tableau contenant les objets servo pour chaque boisson

- **Declaration des servo de rendre monnaie () :**

```
33 const int pinsRendu[5] = {2, 3, 4, 5, 6};
34 const int valeursRendu[5] = {100, 50, 200, 20, 10};
35 Servo servosRendu[5];
36
```

- Pinsrendu : les servomoteurs responsable de rendre 'argent connecter aux broche PWM 2, 3, 4, 5, 6.
- Valeursrendu : déclaration des variable prix de chaque servomoteur.

- **Déclaration des servomoteurs pour libérez le gobelet :**

```
37 Servo servoGobelet1;
38 Servo servoGobelet2;
```

Deux servomoteurs son utiliser pour libérez le gobelet via un mécanisme mécanique.

- **Initialisation des composants :**

```
40 void setup() {
41     Serial.begin(9600);
42     lcd.init();
43     lcd.backlight();
44
45     for (int i = 0; i < 5; i++) pinMode(capteurs[i], INPUT);
46     pinMode(CAPTEUR_GOBELET, INPUT);
47     pinMode(HEATER_PIN, OUTPUT); digitalWrite(HEATER_PIN, LOW);
48     pinMode(RELAIS_POMPE, OUTPUT); digitalWrite(RELAIS_POMPE, LOW);
49
50     sensors.begin();
51
52     for (int i = 0; i < 4; i++) {
53         pinMode(boutons[i], INPUT_PULLUP);
54         servosPoudres[i].attach(pinsPoudres[i]);
55         servosPoudres[i].write(0);
56         servosPoudres[i].detach();
57     }
58
59     for (int i = 0; i < 5; i++) {
60         servosRendu[i].attach(pinsRendu[i]);
61         servosRendu[i].write(0);
62         servosRendu[i].detach();
63     }
64
65     servoGobelet1.attach(9); servoGobelet1.write(0); servoGobelet1.detach();
66     servoGobelet2.attach(10); servoGobelet2.write(0); servoGobelet2.detach();
67
68     afficherTotal();
69 }
```

Initialisation de l'ensemble des capteurs, des servomoteurs et de l'afficheur LCD. Les servomoteurs sont ensuite remis à leur position initiale afin d'éviter toute vibration ou mouvement involontaire au démarrage.

- **fonction loop :**

```
71 void loop() {  
72     detecterPièces();  
73     gererBoutonsBoissons();  
74 }  
75
```

C'est la fonction principale, elle vérifie l'insertion des pièces et le choix de boisson

- **Fonction affichage de la somme**

```
76 void afficherTotal() {  
77     lcd.clear();  
78     lcd.setCursor(0, 0);  
79     lcd.print("Total insere:");  
80     lcd.setCursor(0, 1);  
81     lcd.print(total);  
82     lcd.print(" DA");  
83 }  
84
```

Mettre à jour l'écran LCD pour afficher la somme d'argent inséré par l'utilisateur.

- **Fonction detecterPièces() :**

```
85 void detecterPièces() {  
86     for (int i = 0; i < 5; i++) {  
87         int etat = digitalRead(capteurs[i]);  
88         if (etat == LOW && etatsPrecedents[i] == HIGH) {  
89             total += valeurs[i];  
90             afficherTotal();  
91             delay(300);  
92         }  
93         etatsPrecedents[i] = etat;  
94     }  
95 }
```

Les pièces sont détectées à l'aide des capteurs FC-51. Lorsqu'un changement d'état est détecté, la valeur correspondante est ajoutée à la somme totale. Il est important d'utiliser la fonction `digitalRead()` afin d'assurer une détection rapide et efficace des signaux.

- **Fonction `libererGobelet()` :**

```
4
3 void libererGobelet() {
4   servoGobelet1.attach(9); servoGobelet1.write(45); delay(500); servoGobelet1.write(0); delay(200); servoGobelet1.detach();
5   servoGobelet2.attach(10); servoGobelet2.write(45); delay(500); servoGobelet2.write(0); delay(200); servoGobelet2.detach();
6 }
7
```

Cette fonction est pour libérez le gobelet après la sélection de boisson sachant que si le capteur ne détecte pas le gobelet il doit essayer une autre fois et si il ne détecte pas le gobelet après la deuxième tentative un message d'erreur s'affichera dans l'écran LCD et le monnaie incréments est rendu.

- **Fonction `gererBoutonsBoissons()` :**

```
97 void gererBoutonsBoissons() {
98   for (int i = 0; i < 4; i++) {
99     if (digitalRead(boutons[i]) == LOW) {
100       delay(100);
101
102       if (total >= prix[i]) {
103         if (verifierGobelet()) {
104           sensors.requestTemperatures();
105           temperatureC = sensors.getTempCByIndex(0);
106           if (temperatureC < 85.0) {
107             digitalWrite(HEATER_PIN, HIGH);
108             lcd.clear();
109             lcd.setCursor(0, 0);
110             lcd.print("Chauffage...");
111             lcd.setCursor(0, 1);
112             lcd.print("Attente 50C");
113
114             while (temperatureC < 50.0) {
115               delay(1000);
116               sensors.requestTemperatures();
117               temperatureC = sensors.getTempCByIndex(0);
118             }
119
120             digitalWrite(HEATER_PIN, LOW);
121           }
122         }
123       }
124     }
125   }
126 }
```

Cette partie du système vérifie si l'utilisateur a inséré suffisamment de pièces pour choisir une boisson. Si le montant total est égal ou supérieur au prix de la boisson sélectionnée, le capteur de température mesure alors la température de l'eau. Si celle-ci est inférieure à 50°C, le système active le chauffage jusqu'à atteindre cette température. Pendant ce temps, un message s'affiche sur l'écran LCD : « Attente 50°C ».

```
libererGobelet();

servosPoudres[i].attach(pinsPoudres[i]);
servosPoudres[i].write(30);
delay(700); // temps réduit
servosPoudres[i].write(0);
delay(300);
servosPoudres[i].detach();

delay(500);
digitalWrite(RELAIS_POMPE, HIGH);
delay(2000);
digitalWrite(RELAIS_POMPE, LOW);
```

Après la validation de l'achat, les servomoteurs correspondant aux poudres des boissons sélectionnées s'ouvrent brièvement pour libérer la quantité nécessaire de poudre. Ensuite, la mini-pompe est activée pendant 2 secondes afin de verser l'eau chaude.

```
total -= prix[i];

lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Distribue: ");
lcd.print(noms[i]);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Reste: ");
lcd.print(total);
lcd.print(" DA");
delay(2000);
```

Cette partie informe l'utilisateur que la boisson est prête et la mise à jour du crédit restant.

```
148
149     if (total > 0) rendreMonnaie();
150     else afficherTotal();
151 } else {
152     lcd.clear();
153     lcd.setCursor(0, 0);
154     lcd.print("Erreur gobelet");
155     lcd.setCursor(0, 1);
156     lcd.print("Verifiez!");
157     delay(2000);
158     rendreMonnaie();
```

Cette partie permet d'appeler la fonction `RendreMonnaie()` afin de libérer les pièces restantes lorsque la somme totale insérée par l'utilisateur est supérieure au prix de la boisson sélectionnée.

```
160     } else {
161         lcd.clear();
162         lcd.setCursor(0, 0);
163         lcd.print(noms[i]);
164         lcd.setCursor(0, 1);
165         lcd.print("Fonds insuff.");
166         delay(2000);
167         afficherTotal();
168     }
169 }
170 }
```

Cette section est réservée au cas où l'utilisateur a inséré un montant inférieur au prix de la boisson sélectionnée. Dans ce cas, l'afficheur LCD affiche le message "Fonds insuffisants".

- **Fonction RendreMonnaie() :**

```
193  
194 void rendreMonnaie() {  
195     lcd.clear();  
196     lcd.setCursor(0, 0);  
197     lcd.print("Rendu monnaie...");  
198     for (int i = 0; i < 5; i++) {  
199         while (total >= valeursRendu[i]) {  
200             servosRendu[i].attach(pinsRendu[i]);  
201             servosRendu[i].write(40);  
202             delay(100);  
203             servosRendu[i].write(0);  
204             delay(90);  
205             servosRendu[i].detach();  
206             total -= valeursRendu[i];  
207         }  
208     }  
209     delay(1000);  
210     afficherTotal();  
211 }  
212
```

Cette partie du système est chargée de rendre la monnaie à l'utilisateur lorsque le montant inséré est supérieur au prix de la boisson sélectionnée. Le système parcourt alors toutes les pièces disponibles, de la plus grande à la plus petite valeur. Une fois le prix de la boisson déduit du montant inséré, les servomoteurs correspondants s'activent. Chacun tourne à 40 degrés pendant 0,1 seconde, puis revient à 0 degré pendant 0,09 seconde, afin de garantir qu'une seule pièce soit libérée à chaque activation.

4. réalisation de circuit et l'intégration dans le châssis :

Dans cette partie on va expliquer la réalisation de la structure physique, Et l'implantation de circuit électronique. Le châssis constitue la base mécanique de l'ensemble du système,. Pour la fabrication de notre distributeur on a séparé la fabrication on deux partie qui sont le monnayeur et la distribution.

4.1. Monnayeur :

Un monnayeur est un dispositif utilisé dans les distributeurs automatiques, charger de vérifier si une pièce est conforme a une valeur donne. Les mode les plus récents acceptant le plus souvent toute une série de pièce et trient chacune selon sa valeur. Le terme désigne également la personne qui fabrique la monnaie.[14]

Pour notre distributeur on a conçu un monnayeur mécanique fabrique avec une plaque plexiglas épaisse et découpé avec précision.

Chaque trou est découpé avec précision en fonction des dimensions spécifiques de chaque pièce de monnaie utilisée (10 DA, 20 DA, 50 DA, 100 DA et 200 DA). Ainsi, lorsqu'une pièce est insérée, elle ne peut passer que par l'ouverture correspondant exactement à sa taille.

Étant donné que les diamètres des pièces de monnaie algériennes diffèrent de quelques millimètres seulement, il est essentiel d'utiliser une plaque parfaitement lisse et découpée avec une grande précision. Pour cela, nous avons choisi le plexiglas, un matériau à surface lisse qui facilite le glissement des pièces. Pour garantir la précision des découpes, nous avons opté pour l'utilisation d'une machine à commande numérique par ordinateur (CNC).

Chaque pièce ayant des dimensions bien définies, nous présentons ci-dessous les caractéristiques dimensionnelles des pièces de monnaie algériennes utilisées dans notre projet :

- La pièce 10DA : 2,66 cm
- La pièce 20DA : 2.76 cm
- La pièce 50DA : 2.86 cm
- La pièce 100DA : 2.96 cm
- La pièce 200DA : 2.81cm

En voila que la pièce de 50 DA est grande par rapport a la pièce 200DA donc l'ordre de trou c'est : 10DA, 20DA, 200DA, 50DA, 100DA.

- La piece 10DA : 2.16cm
- La piece 20DA : 2.26cm
- La piece 200DA : 2.31 cm
- La piece 50DA : 2.36cm
- La piece 100DA 2.46 cm

- **Plaque plexiglas**

La plaque de plexiglas est un matériau plastique à la fois fiable et résistant. Ci-dessous, nous présentons le planning de découpe, ainsi que la plaque finale obtenue.

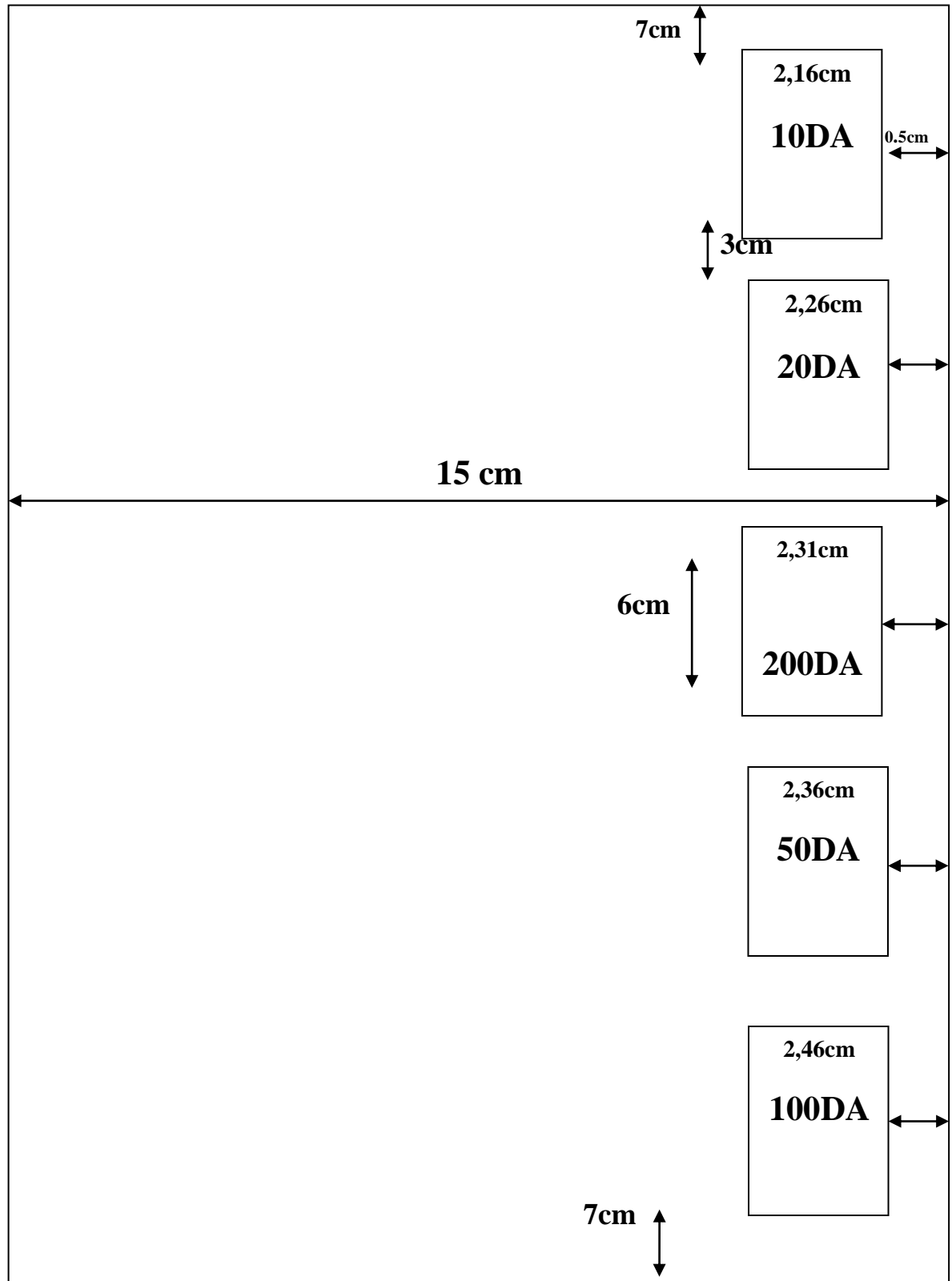




Figure 36: monnayeur en plaque plexiglas et un capteur dans chaque trou

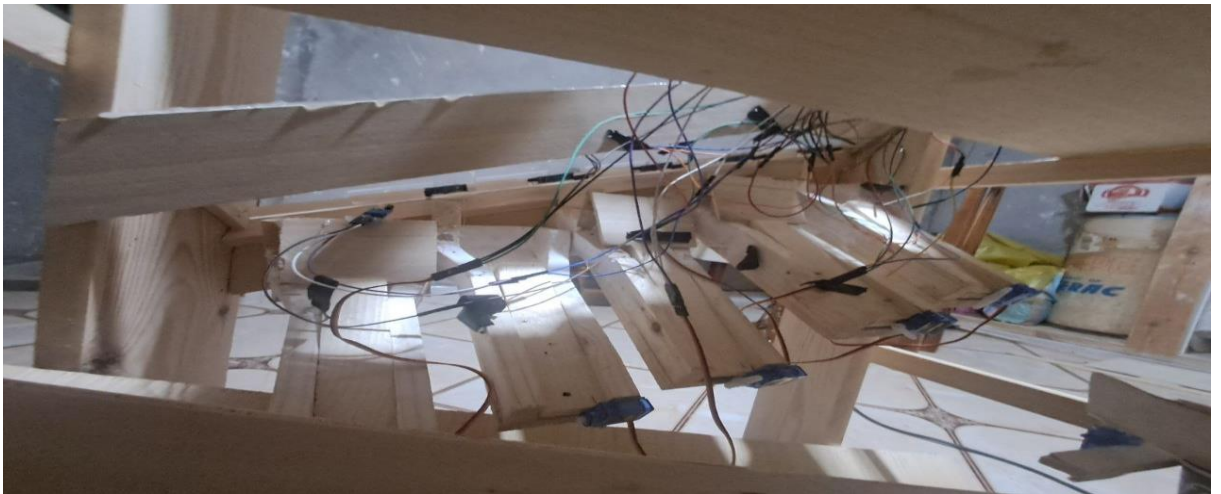


Figure 37: les réservoirs de chaque pièce avec chaque servo correspondant

4.2. Distribution :

La deuxième partie est dédiée au système de distribution des boissons, cette partie est composée de quatre parties

- **Libération de gobelet**

Lorsque l'utilisateur passe une commande, la première étape concerne la distribution du gobelet. Le capteur infrarouge FC-51 doit détecter la présence d'un gobelet afin que le système puisse poursuivre la procédure. C'est pourquoi nous avons conçu un système de libération automatique permettant de délivrer un seul gobelet à la fois. Ce mécanisme repose sur deux principes : l'utilisation de deux servomoteurs pour assurer le mouvement de type push-pull, et un dispositif mécanique destiné à libérer un gobelet de manière précise.



Figure 38: système de libération automatique des gobelets

- **Distribution de poudres :**

Juste après la détection de la présence du gobelet par le capteur infrarouge, le système commence à délivrer les poudres correspondant à la boisson sélectionnée (café, lait, cappuccino, etc.) Chaque ingrédient en poudre est stocké dans un petit réservoir individuel. À la base de chaque réservoir, un servomoteur est fixé. Celui-ci est lié à une petite trappe mobile, qui s'ouvre partiellement lorsque le servomoteur effectue une rotation, permettant ainsi de laisser passer une quantité contrôlée de poudre dans le gobelet. Ce mécanisme permet de doser précisément les ingrédients, assurant une constance dans la préparation des boissons.



Figure 39: boîtier des poudres attacher avec un servo



Figure 40: boîtier des poudres

- **L'interface utilisateur**

Pendant le temps de préparation l'utilisateur est informé grâce à l'afficheur LCD et les boutons poussoir pour choisir la boisson et aussi une interface pour récupérer l'argent.



Figure 41: interface utilisateur

5. résultat :

À l'issue de notre projet, nous avons réussi à concevoir, assembler et programmer un distributeur automatique de boissons chaudes entièrement fonctionnel, reposant sur une solution électronique et mécanique intégrée.

Le système est constitué de deux modules principaux :

Un monnayeur mécanique en plexiglas, équipé de capteurs infrarouges, permettant de trier les pièces de monnaie en fonction de leur diamètre et de comptabiliser automatiquement le montant inséré.

Un système de distribution automatique, capable de libérer un gobelet et de doser les poudres nécessaires à la préparation de la boisson sélectionnée (café, lait, cappuccino...).

Fonctionnalités validées:

- ✓ Détection correcte des pièces de monnaie.
- ✓ Affichage clair des étapes sur l'écran LCD.
- ✓ Interface simple : l'utilisateur peut facilement sélectionner sa boisson à l'aide de boutons.
- ✓ Distribution automatique d'un seul gobelet par opération.
- ✓ Restitution automatique de la monnaie restante.

6. conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté en détail la fabrication du châssis de notre distributeur ainsi que l'intégration du circuit électronique. Nous avons également expliqué le fonctionnement global du système, en distinguant clairement ses deux principales parties : le monnayeur et le module de distribution.

Chaque composant a été décrit avec précision, en mettant en évidence son rôle spécifique dans le fonctionnement général. Cette organisation permet au distributeur de fonctionner de manière fluide et entièrement autonome, depuis l'insertion des pièces jusqu'à la distribution de la boisson.

Enfin, nous avons détaillé la structure du programme Arduino, en expliquant les différentes sections du code qui assurent le contrôle des capteurs, des actionneurs et de l'interface utilisateur.



Conclusion générale

Conclusion générale

Ce mémoire a porté sur la conception et la réalisation d'un distributeur automatique de boissons chaudes, basé sur une architecture électronique embarquée autour de la carte Arduino Mega 2560 Rev3. L'objectif principal était de développer un système autonome, économique et fonctionnel, capable de gérer tout le processus de distribution : depuis la détection des pièces jusqu'à la préparation et la livraison de la boisson.

Au fil des différentes étapes, nous avons pu mobiliser et approfondir nos compétences en électronique, en programmation et en intégration de systèmes. Le dispositif mis en place combine des capteurs infrarouges, des servomoteurs, une mini-pompe, une résistance chauffante, un capteur de température et un afficheur LCD, le tout piloté par un programme embarqué sur la carte Arduino.

Le prototype réalisé répond pleinement au cahier des charges fixé :

- Il reconnaît les pièces insérées,
- Il autorise ou bloque la commande en fonction du montant,
- Il libère un gobelet,
- Il délivre la poudre de boisson choisie,
- Il chauffe l'eau à la température souhaitée,
- Il rend la monnaie le cas échéant.

Bien qu'il s'agisse d'un prototype, le système est stable et opérationnel. Plusieurs perspectives d'amélioration peuvent être envisagées, notamment :

- L'intégration d'un système de paiement sans contact (NFC, QR code),
- L'amélioration de l'interface utilisateur,
- La supervision à distance via l'IoT,
- Une structure mécanique plus robuste et professionnelle.

Ce projet a constitué une expérience riche, motivante et formatrice, permettant de passer de la théorie à la pratique, et de développer une solution concrète à un besoin réel. Il représente pour nous une étape importante dans notre parcours d'ingénierie, et un socle solide pour nos futurs projets professionnels.



Annexe

ANNEX A :

Microcontrôleur AT-MEGA2560_16AU

Le microcontrôleur ATmega2560 est un microcontrôleur 8 bits basé sur l'architecture AVR RISC, fabriqué par Microchip Technology. Il est conçu pour les applications embarquées nécessitant un grand nombre d'entrées/sorties ainsi qu'une gestion efficace des communications.

Il dispose de :

Nom complet	AT MEGA 2560_ 16 AU
Architecture	AVR 8bits RISC
boitier	TQFP-100
Tension	4,5v a 5,5v
fréquence	16 MHZ
Température de fonctionnement	-40 °C jusqu'a +85°C
flash	256KO
SRAM	8KO
EEPROM	4KO
Nombre total des broches	86 broches E\S
PWM	15 sorties pwm
Entrées analogique	16 canaux ADC
Tension max par broche	5,5v
UART	4ports
SPI	5ports
I2c	1ports
JTAG	oui
USB	Non natif

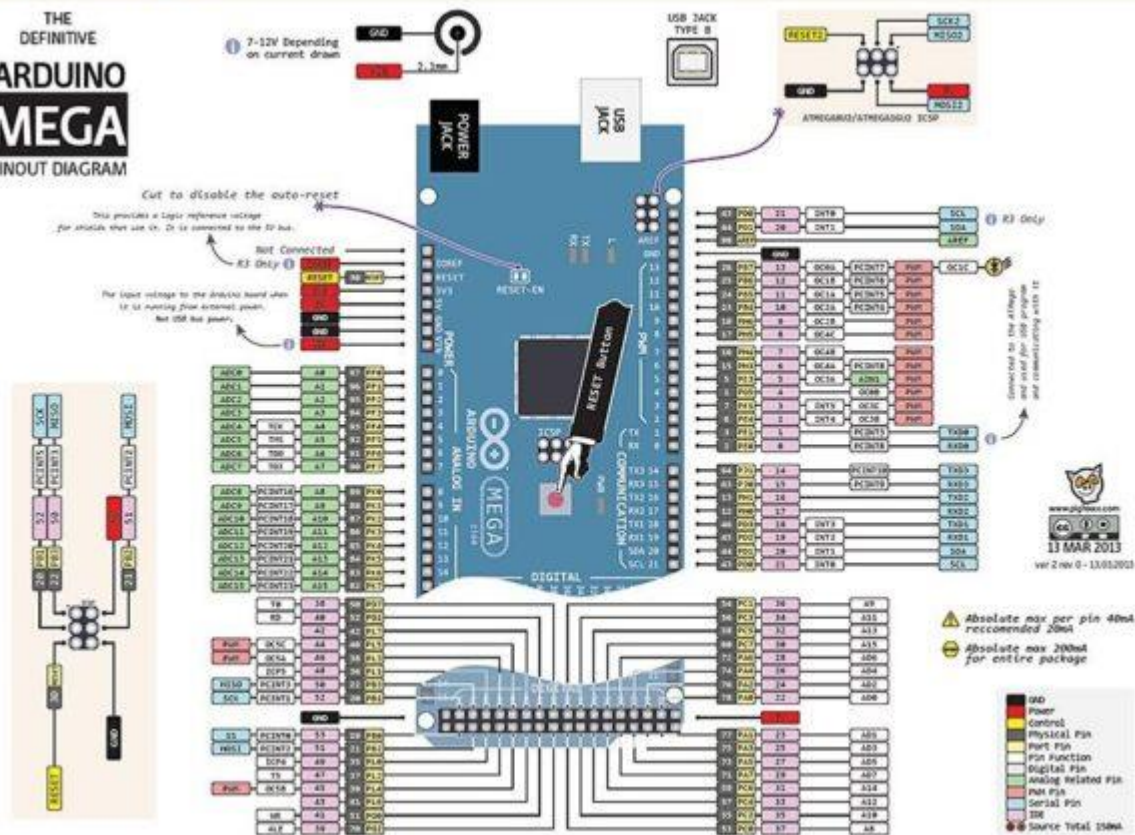


Figure: shema de Arduino-Mega 2560

ANNEX B

Les étapes pour réaliser un circuit

- **Etape 1 : ouverture le logiciel proteus**

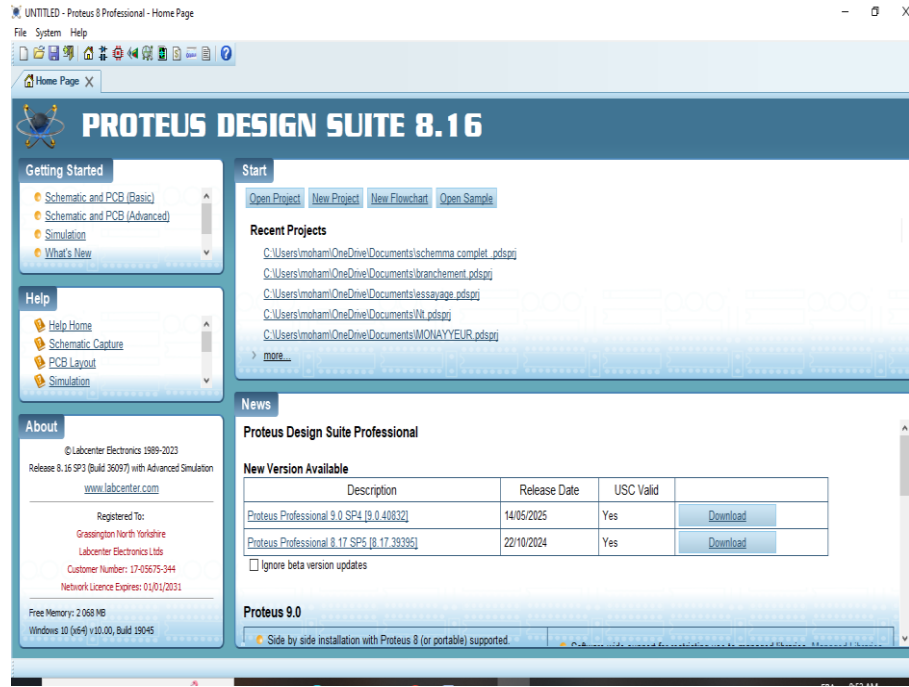


Figure: interface proteus

- **Etape 2 : création de nouveau projet 'New Project'.**

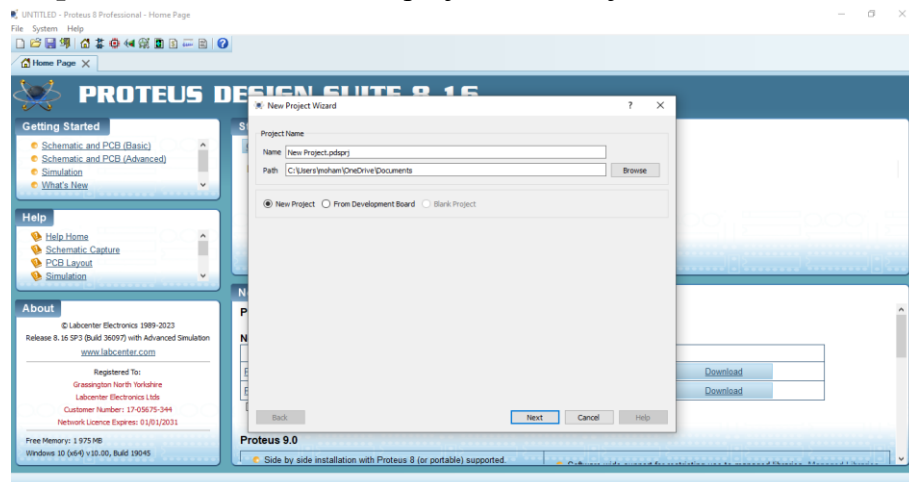


Figure: proteus New Project

- **Etape 3 :** la conception de circuit on ajoutant les composant utilisé ou souhaiter dans la bibliothèque du proteus on sélectionnant par recherche ou par sélection sous catégorie

Figure: interface proteus library

- **Etape 4** : la simulation de circuit

Figure: exemple d'un circuit sous proteus

. Comment ajouter les composants a la bibliothèque du proteus

- **Etape 1 :** Pour ajouter des composant à proteus on doit tout d'abord rechercher dans l'internet le composant souhite on inclus la bibliothèque proteus par exemple (arduino mega 2560 proteus library) et puis telecharger les fichier .LIB et .IDX.

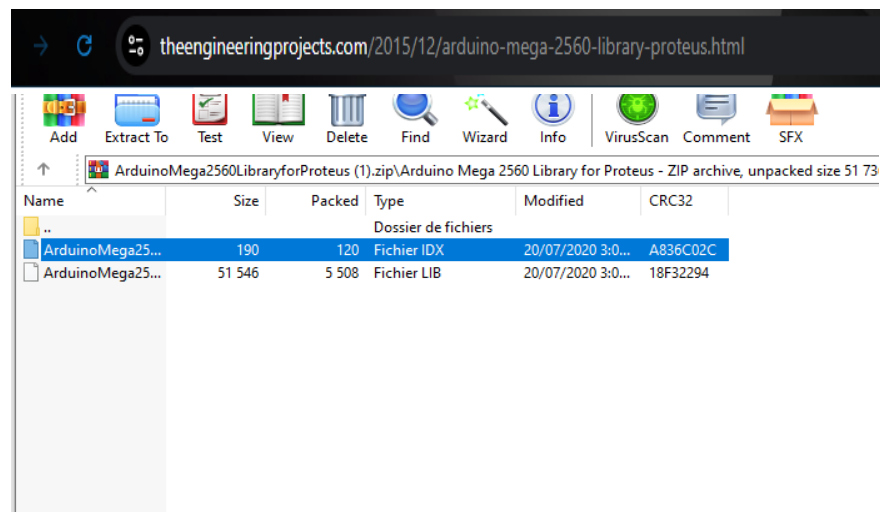


Figure: exemple d'un site internet pour télécharger une bibliothèque proteus

- **Etape 2 :** placer les deux fichiers dans dossier LIBRARY du logiciel proteus.

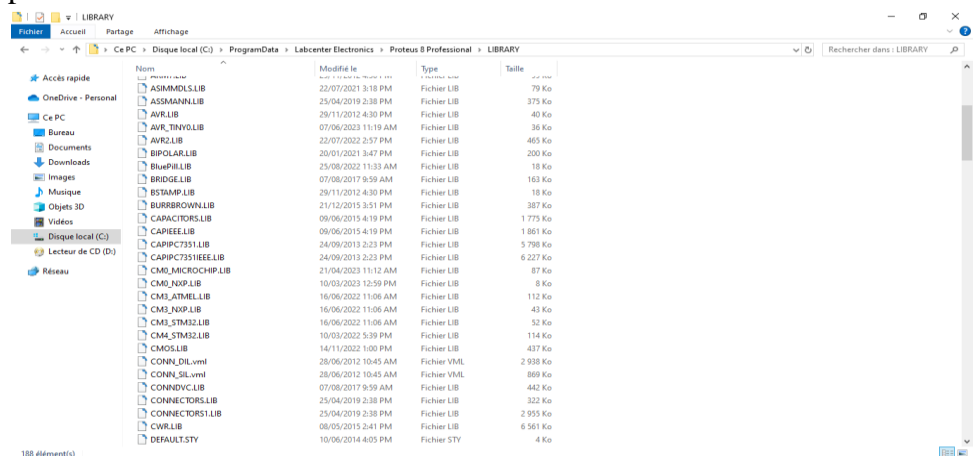


Figure: le chemin d'extraire les fichiers de la bibliothèque

Bibliographie

- [1] Definition Marketing, distributeur automatique [en ligne]. Disponible sur <https://www.definition/distributeur-automatique/> (consulte le 21 mars 2025).
- [2] Balan, R. (2018). Automated Vending Systems: Design and Implementation. Springer.
- [3] Meyer, C. (2020). The Vending Machine: A Cultural History. McFarland & Company.
- [4] Smith, J. & Lee, K. (2020). "IoT-Based Smart Vending Machines". IEEE Transactions on Consumer Electronics, 66(3), 45-52.
- [5] Les différents types de distributeur automatique - Guide Distributeur De Boissons (guide-distributeur-boissons.be)
- [6] Kumar, A., & Sharma, R. (2021). Design and Implementation of Smart Beverage Vending Machine using Arduino. International Journal of Engineering Research & Technology, 10(3), 45-52.
- [7] Advantages and disadvantages of vending machines in the market (dropfoods.com)
- [8] Cats Power Design, système embarqué [en ligne]. Disponible sur <https://www.catspowerdesign.fr/actualites/systeme-embarque/> (consulter 21 mars 2025)
- [9] Arduino, documentation officielle [en ligne]. Disponible sur <https://www.arduino.cc>
- [10] What is Arduino UNO? A Getting Started Guide (rs-online.com)
- [11] plaisir Arduino, afficheur LCD : comment l'exploiter ? [e ligne]. Disponible sur <https://plaisirarduino.fr/afficheur-lcd -comment-lexploiter/>
- [12] Le distributeur Dimensionnel, servo SG90 (micro-servo 9g) [en ligne]. Disponible sur : <https://ledistributeurdimensionnel.com/arduino/servo-sg90-micro-servo-9g/>
- [13] ArduinoFactory, Arduino IDE [en ligne]. Disponible sur <https://arduinofactory.fr/arduino-ide/>
- [14] Wikipedia, Monnayeur(technologie) [en ligne]. Dernière modification le 28 mai 2024. Disponible sur [https://fr.wikipedia.org/wiki/Monnayeur_\(technologie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Monnayeur_(technologie))