

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTÉ DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT ÉLECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Études de Master Professionnel

Spécialité : ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE

Présenté par :

Anis ISSAAD

Amayas AOUCHICHE

Mémoire proposé et dirigé par M. Youcef ATTAF

THÈME

Étude et réalisation d'un système de verrouillage et protection d'un coffre sous ESP32

Mémoire soutenu publiquement le 27/06/2024 devant le jury composé de :

Mme. D SALEM	Présidente	UMMTO
M. Youcef ATTAF	Encadreur	UMMTO
Mme. Ou BOUSOUM	Examinatrice	UMMTO

Table des matières

Introduction générale	1
1 Les Fondements des Coffres-Forts et l'introduction de la Technologie d'empreinte Digitale	3
Préambule	3
1.1 Les Fondements des Coffres-Forts	3
1.1.1 Historique et Évolution	3
1.1.2 Types de Coffres-Forts	5
1.1.3 Mécanismes de Sécurité	5
1.2 Introduction de la Technologie d'Empreinte Digitale	7
1.2.1 Historique	7
1.2.2 Représentation des empreintes digitales	8
1.2.3 Structure d'un système complet de reconnaissance d'empreintes	10
Discussion	14
2 partie matérielle et logicielle	15
Préambule	15
2.1 Fonctionnement	15
2.2 Partie materielle	15
2.2.1 Capteur de proximité à ultrasons HC-SR04	15
2.2.2 Capteur d'empreintes digitales AS608	16
2.2.3 l'ESP32	18
2.2.4 Modules relais	21
2.2.5 LCD1602	23
2.2.6 Clavier 4*4	25
2.3 Parie logiciel	25
2.3.1 Arduino	25
2.3.2 Fritzing	28

Discussion	28
3 Réalisation	29
Préambule	29
3.1 Réalisation	29
3.1.1 Branchement du capteur d’empreinte	29
3.1.2 Branchement du capteur ultrason	31
3.1.3 Branchement de la serrure	32
3.1.4 Branchement de l’afficheur LCD	33
3.1.5 Branchement du clavier	35
Discussion	38
4 Tests et résultats	39
Préambule	39
4.1 Test effectué et résultat	40
4.1.1 Test sur l’afficheur LCD	41
4.1.2 Test sur le capteur ultrason	41
4.1.3 Test sur le clavier	42
4.2 Résultat final	43
Discussion	46
Conclusion générale	47

Table des figures

1.1	Serrures électroniques	5
1.2	Serrures à empreinte digitale	6
1.3	Serrures à clé	6
1.4	Serrures à Systèmes de verrouillage combinés	7
1.5	Les Vallée et crêtes d'une empreinte digitale.	8
1.6	Types de Minuties	9
1.7	Patrons Globaux des Empreintes Digitales	9
1.8	Architecture générale d'un système complet de reconnaissance d'empreintes.	10
1.9	capteur optique.	11
1.10	Capteur de champ capacitif.	12
1.11	Capteur ultrasonique.	12
2.1	Capteur de proximité HC-SR04	16
2.2	capteur AS608	17
2.3	Carte ESP32.	18
2.4	CPU.	19
2.5	Modules relais à un canal	22
2.6	les Composant d'un Module Relais	22
2.7	Module LCD1602	23
2.8	clavier 4×4	25
2.9	Interface IDE Arduino.	26
2.10	Paramétrage de la carte.	27
2.11	: L'interface de Fritzing.	28
3.1	Organigramme d'enregistrement d'une nouvelle empreinte	30
3.2	schéma de branchement du capteur d'empreintes digitales.	31
3.3	Organigramme de fonctionnement du capteur ultrason.	31
3.4	Schéma de branchement du capteur ultrason	32
3.5	Schéma de branchement de la serrure	33

3.6	Organigramme du fonctionnement de l'afficheur LCD	34
3.7	Schéma de branchement de l'Afficheur LCD	35
3.8	Clavier 4×4.	36
3.9	Clavier 4×4.	37
4.1	schéma global.	39
4.2	Organigramme global du fonctionnement du coffre-fort	40
4.3	Résultat de l'afficheur LCD.	41
4.4	résultat des test sur le capteur ultrason	42
4.5	Résultat test du clavier	43
4.6	Résultat final	44
4.7	MOT DE PASSE CORRECT.	44
4.8	MOT DE PASSE INCORRECT.	45
4.9	ACTIVATION DE L'ALARME.	45
4.10	DÉVERROUILLAGE AVEC EMPREINTE.	46

Introduction générale

La sécurité est une préoccupation primordiale pour les individus et les entreprises dans notre société moderne. La nécessité de protéger les biens précieux, les documents sensibles et les informations confidentielles a conduit à l'évolution continue des dispositifs de sécurité. Parmi ces dispositifs, les coffres-forts occupent une place centrale depuis des siècles, offrant une protection fiable contre le vol, les incendies et autres catastrophes. Avec les avancées technologiques, les coffres-forts ont également évolué pour intégrer des technologies de sécurité de pointe, notamment la reconnaissance d'empreintes digitales.

L'empreinte digitale, en tant que caractéristique biométrique unique à chaque individu, offre un niveau de sécurité supérieur comparé aux méthodes traditionnelles telles que les serrures à clé ou les combinaisons. L'intégration de cette technologie dans les coffres-forts modernes a révolutionné la manière dont nous envisageons la sécurité et la protection des biens.

Ce projet se concentre sur le développement et la mise en œuvre d'un coffre-fort sécurisé utilisant un capteur d'empreintes digitales AS608 et un microcontrôleur ESP32, combiné à un capteur à ultrasons pour des mesures de sécurité supplémentaires. Le capteur d'empreintes digitales AS608 est connu pour sa fiabilité et sa précision, tandis que l'ESP32 offre une capacité de traitement et de connectivité robustes, essentielles pour le fonctionnement de notre système de sécurité.

L'objectif principal de ce projet est de concevoir un coffre-fort qui non seulement reconnaît et authentifie les utilisateurs via leurs empreintes digitales mais aussi détecte les mouvements ou les tentatives d'effraction grâce au capteur à ultrasons. Le système sera capable de verrouiller et déverrouiller le coffre-fort de manière autonome, assurant ainsi une sécurité maximale des biens stockés.

Pour atteindre cet objectif, ce travail s'articulera autour de plusieurs étapes clés. Nous

commencerons par une revue des fondements des coffres-forts et l'introduction de la technologie d'empreinte digitale, en passant en revue l'historique, les types de coffres-forts et les mécanismes de sécurité associés. Ensuite, nous détaillerons la partie matérielle et logicielle de notre projet, en explorant le fonctionnement et les spécifications techniques des composants utilisés, notamment le capteur d'empreintes digitales AS608, le capteur à ultrasons HC-SR04, et le microcontrôleur ESP32.

Nous présenterons également les étapes de réalisation du projet, incluant la mise en place des différents composants, les tests effectués pour vérifier le bon fonctionnement du système et les résultats obtenus. Enfin, nous conclurons avec une discussion sur les résultats, les défis rencontrés et les perspectives d'amélioration future du système.

En somme, ce projet vise à démontrer la faisabilité et l'efficacité de l'intégration des technologies biométriques et des capteurs dans les systèmes de sécurité modernes, offrant une solution innovante et sécurisée pour la protection des biens précieux.

Chapitre 1

Les Fondements des Coffres-Forts et l'introduction de la Technologie d'empreinte Digitale

Préambule

La sécurité a toujours suscité une grande inquiétude chez les personnes et les entreprises. Les coffres-forts ont joué un rôle crucial depuis des siècles dans la protection des biens précieux, des documents importants et des objets de valeur contre le vol, les incendies et les catastrophes naturelles. Grâce aux avancées technologiques, les coffres-forts ont connu des changements importants, incorporant des dispositifs de sécurité avancés afin d'améliorer leur efficacité et leur fiabilité. La technologie d'empreinte digitale est l'une des innovations les plus marquantes dans ce domaine.

1.1 Les Fondements des Coffres-Forts

1.1.1 Historique et Évolution

Les coffres-forts ont une longue histoire qui remonte aux temps anciens. Les civilisations anciennes utilisaient diverses méthodes pour protéger leurs trésors, allant de leur cachette dans des lieux secrets à leur enfouissement profondément sous terre. Les coffres-forts ont parcouru un long chemin depuis leurs origines anciennes, avec des modèles modernes utilisant une technologie de pointe et des mécanismes de verrouillage complexes[1][2].

Époque antique

Dans les temps anciens, les coffres-forts étaient la méthode privilégiée pour assurer la sécurité des objets de valeur. La Grande Pyramide de Gizeh est l'exemple le plus connu de voûte antique, édifiée il y a plus de 4 500 ans. La pyramide a été créée dans le but de préserver les trésors du pharaon et d'assurer leur accès à l'au-delà. Il existe également d'autres voûtes antiques, telles que le Trésor d'Atrée en Grèce datant de 1250 avant JC.[3]

Moyen Âge

Au Moyen Âge, les coffres-forts en bois renforcés de ferrures et munis de serrures étaient appelés des huches. Ils permettaient de mettre en lieu sûr argent, bijoux et archives.[4]

Époque moderne

L'époque du Far West dans l'histoire des États-Unis a été marquée par une expansion et une aventure considérables, mais elle a également été marquée par l'anarchie et le danger. Pendant que les colons marchaient vers l'ouest, ils croisèrent des bandits, des hors-la-loi et d'autres individus peu recommandables qui avaient trop envie de voler ou de détruire tout ce qui était précieux. Cela incluait de l'argent, généralement conservé dans des coffres-forts. À cette époque, les coffres-forts n'étaient pas aussi élaborés que ceux d'aujourd'hui, mais ils étaient toujours efficaces pour empêcher le vol et préserver les biens valorisés.[5]

XIXe siècle

En 1835, Charles et Jeremiaha Chubb déposèrent un premier brevet pour un coffre-fort anti-effraction. Vers 1840, Alexandre Fichet, un ouvrier serrurier français, inventa l'un des premiers coffres-forts modernes. Vers 1860, Auguste Nicolas Bauche, fabricant de produits réfractaires dans la région de Reims, mit au point son premier coffre-fort, baptisé le Cuirassé.

XXe siècle L'ère du XXe siècle a vu l'émergence de nouvelles technologies et de nouvelles méthodes de sécurisation des coffres-forts. Les coffres-forts modernes utilisent des matériaux difficiles à fracturer et des systèmes d'ouverture basés sur des serrures à clef ou à combinaison.

Époque actuelle

Aujourd'hui, les coffres-forts sont construits avec des procédés modernes (CFAO) et répondent aux normes de sécurité en vigueur et font l'objet de contrôles continus. Les coffres-forts sont utilisés pour protéger des objets de valeur dans des lieux tels que les banques, les institutions financières et les particuliers.

1.1.2 Types de Coffres-Forts

- Coffres-forts domestiques : Utilisés par les particuliers pour protéger des objets de valeur personnels, des documents et des bijoux.
- Coffres-forts commerciaux : Utilisés par les entreprises pour sécuriser des espèces, des documents sensibles et d'autres biens de valeur.
- Coffres-forts ignifuges : Conçus pour protéger le contenu non seulement contre le vol, mais aussi contre les incendies.
- Coffres-forts de haute sécurité : Utilisés dans les banques et les institutions financières, dotés de plusieurs couches de sécurité et de résistance aux attaques sophistiquées.

1.1.3 Mécanismes de Sécurité

Les coffres-forts sont équipés de mécanismes de sécurité pour protéger les objets de valeur stockés à l'intérieur. Voici quelques-uns des mécanismes de sécurité couramment utilisés[6] :

❖ Serrures électroniques :

Les serrures électroniques sont des systèmes de verrouillage qui utilisent des clés électroniques pour ouvrir et fermer le coffre-fort. Ces serrures sont souvent programmables et peuvent être configurées pour répondre aux besoins spécifiques de l'utilisateur (Figure 1.1).



FIGURE 1.1 – Serrures électroniques

❖ Systèmes biométriques :

Les systèmes biométriques utilisent des capteurs pour mesurer les caractéristiques biologiques de l'utilisateur, comme l'empreinte digitale ou la reconnaissance faciale, pour vérifier l'identité et autoriser l'accès au coffre-fort. (Figure 1.2)



FIGURE 1.2 – Serrures à empreinte digitale

❖ **Serrures à clé :**

Les serrures à clé sont des systèmes de verrouillage traditionnels qui utilisent des clés pour ouvrir et fermer le coffre-fort. Ces serrures peuvent être plus simples et moins coûteuses que les systèmes électroniques, mais peuvent être plus vulnérables aux attaques.(Figure 1.3).



FIGURE 1.3 – Serrures à clé

❖ **Systèmes de verrouillage combinés :**

Certains coffres-forts combinent différents types de verrouillage pour offrir une sécurité renforcée. Par exemple, un coffre-fort peut être équipé d'une serrure électronique et d'une serrure à clé pour offrir une sécurité supplémentaire.(Figure 1.4)



FIGURE 1.4 – Serrures à Systèmes de verrouillage combinés

1.2 Introduction de la Technologie d’Empreinte Digitale

Définition 1.1. L’empreinte digitale est une représentation physique unique et permanente des motifs de crêtes et de vallées présents sur la surface des pulpes des doigts et des pouces. Ces motifs sont formés par des rainures, des tourbillons et des bifurcations et sont généralement divisés en trois types de motifs de base : les arcs, les boucles et les tourbillons. Cette caractéristique unique est utilisée pour l’identification individuelle dans de nombreux domaines, y compris la sécurité, les enquêtes criminelles, les applications civiles et commerciales, et les technologies de pointe comme les systèmes de reconnaissance biométrique.

1.2.1 Historique

Il y a plus de 4000 ans, les premières empreintes digitales ont été retrouvées en Égypte et remontent à l’époque des pyramides. Les Chinois ont également employé cette méthode très ancienne pour signer les documents officiels (le plus ancien). La signature du document remonte au troisième siècle avant Jésus-Christ, mais il est probable qu’ils ignoraient que les empreintes étaient uniques pour chaque individu et permettaient ainsi une identification fiable. En 1856, l’anglais William Hershel, après avoir utilisé les empreintes comme signature sur la population indienne qu’il dirigeait, réalisa que les empreintes étaient uniques et stables dans le temps. En 1888, Francis Galton, un britannique, publia une étude sur les empreintes digitales dans laquelle il définit leurs caractéristiques .

Par la suite, cette méthode fut largement utilisée dans les enquêtes criminelles et a permis

de résoudre de nombreuses affaires. Aujourd'hui encore, les empreintes sont très couramment employées et reconnues comme un moyen d'identification fiable.[7]

1.2.2 Représentation des empreintes digitales

La question de la représentation joue un rôle crucial dans la conception des systèmes de reconnaissance automatique des empreintes digitales et a des répercussions considérables sur l'architecture du reste du système. Une représentation adéquate d'une empreinte numérique doit être claire et pertinente. Cette représentation est saillante car elle renferme des informations spécifiques sur l'empreinte digitale, tandis que pertinente signifie qu'elle peut être facilement extraite, stockée de manière compacte et utile pour une comparaison ultérieure. La forme des crêtes et des vallées est la caractéristique structurelle la plus visible dans les empreintes digitales ; dans une image d'empreinte digitale, les lignes de crêtes sont sombres tandis que les lignes de vallées sont claires(Figure 1.5) .

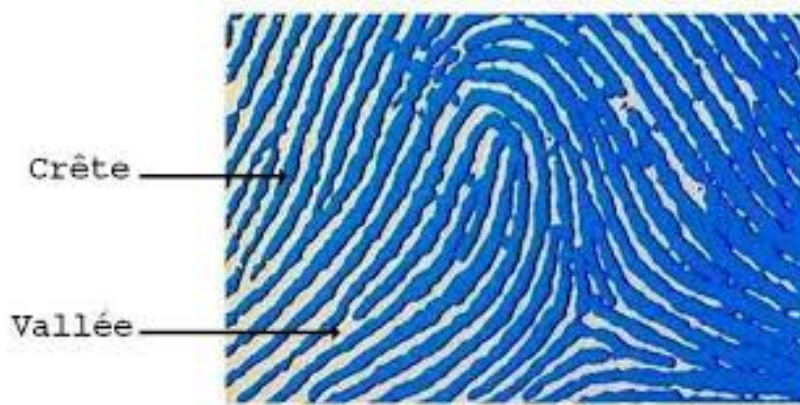


FIGURE 1.5 – Les Vallée et crêtes d'une empreinte digitale.

Les point caractéristique de l'empreinte digital

Les empreintes digitales sont uniques à chaque individu, et leur identification repose sur l'analyse de divers points caractéristiques appelés minuties. Ces minuties sont des détails spécifiques de la crête papillaire de l'empreinte digitale et sont essentielles pour les systèmes de reconnaissance biométrique.

Types de Minuties :

Les minuties sont les points distinctifs des crêtes et des vallées de l'empreinte digitale. Les principaux types de minuties incluent :(Figure 1.6)

- Terminaison de crête (Ridge Ending) : Le point où une crête se termine brusquement.
- Bifurcation (Bifurcation) : Le point où une crête se divise en deux crêtes.

- Point (Dot) : Une crête très courte ressemblant à un point.
- Lac (Lake) : Une crête qui forme une petite boucle ou un cercle fermé.
- Île (Island) : Une petite crête isolée située entre deux crêtes plus longues.
- Croisement de crêtes (Crossover) : Un point où deux crêtes se croisent.
- Pont (Bridge) : Une petite crête reliant deux crêtes parallèles.

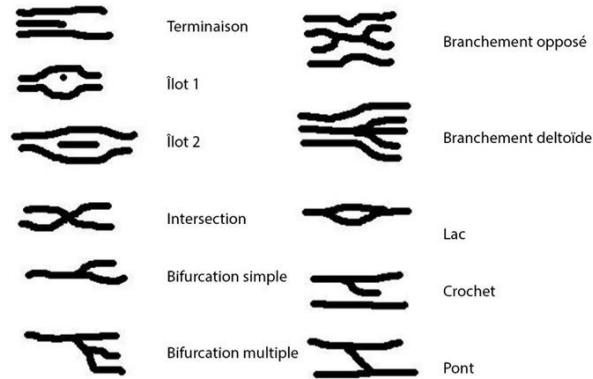


FIGURE 1.6 – Types de Minuties

Patrons Globaux des Empreintes Digitales :

Outre les minuties, les empreintes digitales peuvent être classées selon leur motif global. Les trois principaux motifs sont :(Figure 1.7)

- Boucle (Loop) : Les crêtes entrent d'un côté, forment une boucle et sortent du même côté. Les boucles peuvent être ulnaire (se dirigeant vers l'ulna) ou radiale (se dirigeant vers le radius).
- Arc (Arch) : Les crêtes entrent d'un côté, montent au centre, puis redescendent et sortent de l'autre côté. Les arcs peuvent être simples ou tentés (avec une élévation plus prononcée).
- Tourbillon (Whorl) : Les crêtes forment des motifs circulaires ou spiralés.



FIGURE 1.7 – Patrons Globaux des Empreintes Digitales

1.2.3 Structure d'un système complet de reconnaissance d'empreintes

Un système complet de reconnaissance d'empreintes digitales comprend plusieurs composants matériels et logiciels travaillant ensemble pour capturer, traiter, stocker, et comparer les empreintes digitales. De nombreuses recherches ont été menées sur la mise en place d'un tel système et des méthodes de traitement très diverses ont été suggérées. Toutefois, ces systèmes sont toujours conformes à la même structure. (Figure 1.8) [8] .

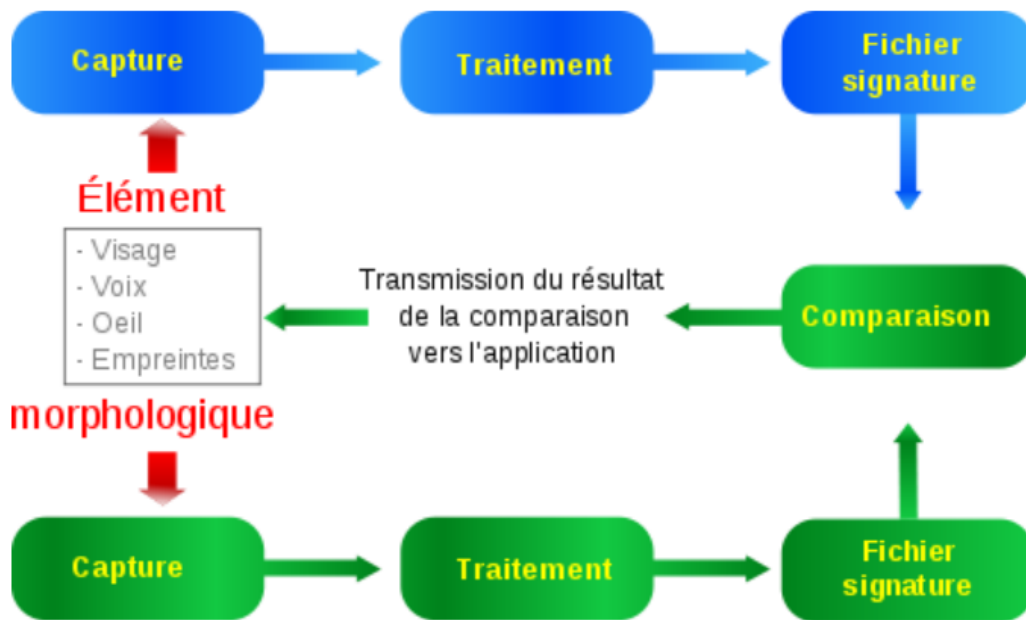


FIGURE 1.8 – Architecture générale d'un système complet de reconnaissance d'empreintes.

1. Phase d'acquisition :

L'acquisition d'empreinte implique la capture des images numériques des empreintes et l'extraction des lignes tracées par les crêtes (en contact avec le capteur) et les vallées. La qualité d'image de l'empreinte digitale peut différer en fonction de la saleté de la peau du doigt. Il peut être trop humide ou trop sec, huileux ou affecté par une coupure. L'intensité de la pression exercée sur le lecteur optique de l'appareil est également importante pour les informations collectées. Un système biométrique de qualité prendra en considération ces éléments. Toutes les technologies utilisées pour prendre une image d'une empreinte partagent le fait que l'image est formée à partir des points de contact du doigt sur le capteur. Les méthodes d'acquisition sont variées, on peut citer :

- **Optique** : Le capteur optique d'empreintes digitales fonctionne en éclairant le doigt placé sur une surface en verre avec une source de lumière, généralement des LEDs. La lumière est réfléchiée par les crêtes de l'empreinte digitale et absorbée par les vallées, créant ainsi un contraste clair et sombre. Une caméra intégrée dans le capteur capture cette image, qui est ensuite traitée pour améliorer la clarté et extraire les caractéristiques uniques, ou minuties, de l'empreinte digitale. Ces caractéristiques sont converties en un modèle numérique utilisé pour la comparaison avec les modèles stockés dans la base de données, permettant une identification ou une vérification précise et fiable de l'utilisateur.(Figure 1.9).

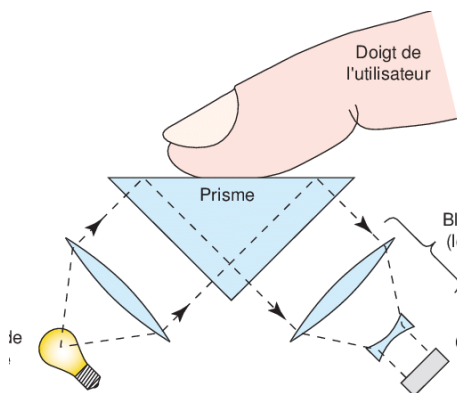


FIGURE 1.9 – capteur optique.

- **Capacitif** : Le capteur capacitif d'empreintes digitales fonctionne en utilisant une matrice de minuscules condensateurs intégrés dans le capteur. Lorsque le doigt est placé sur la surface du capteur, chaque condensateur mesure la capacité électrique entre la surface du capteur et la peau. Les crêtes de l'empreinte digitale touchent directement la surface du capteur, entraînant une capacité élevée, tandis que les vallées sont légèrement éloignées, entraînant une capacité plus faible. Cette variation de capacité permet de créer une image détaillée de l'empreinte digitale. L'image capturée est ensuite traitée pour extraire les caractéristiques uniques, ou minuties, qui sont converties en un modèle numérique. Ce modèle est utilisé pour la comparaison avec les modèles d'empreintes stockés dans la base de données, permettant ainsi une identification ou une vérification précise et sécurisée de l'utilisateur.(Figure 1.10).
- **Ultrasonique** : Le capteur ultrasonique d'empreintes digitales fonctionne en émettant des impulsions d'ondes ultrasonores vers le doigt placé sur le capteur. Ces ondes traversent la peau et sont réfléchies différemment par les crêtes et les vallées de l'empreinte digitale. Les ondes réfléchies sont captées par des récepteurs intégrés



FIGURE 1.10 – Capteur de champ capacitif.

dans le capteur. En analysant les temps de retour et l'intensité des ondes réfléchies, le capteur construit une image en trois dimensions de l'empreinte digitale. Cette technique permet de capturer des détails fins, même si le doigt est sale, humide ou légèrement endommagé. L'image 3D obtenue est ensuite traitée pour extraire les caractéristiques uniques, ou minuties, qui sont converties en un modèle numérique. Ce modèle est comparé aux modèles stockés dans la base de données pour identifier ou vérifier l'utilisateur de manière précise et sécurisée. (Figure 1.11)

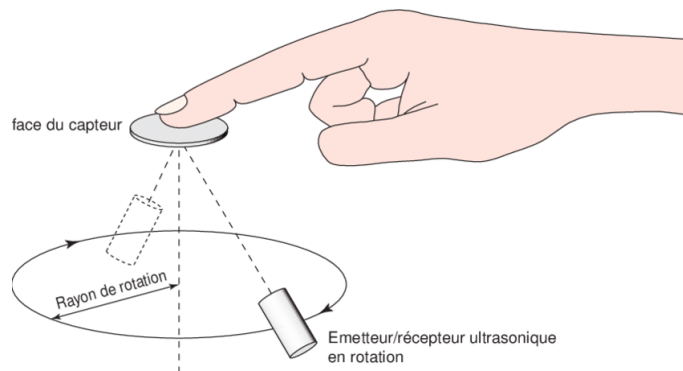


FIGURE 1.11 – Capteur ultrasonique.

Exemple : Capteur d'empreintes digitales AS608.

2. Phase d'extraction des caractéristiques :

Les empreintes digitales sont généralement identifiées par des minuties dans la plupart des systèmes de reconnaissance des empreintes digitales. Un extracteur de minuties examine attentivement les stries terminées et les bifurcations présentes dans les empreintes lorsque les stries sont présentes et clairement définies, ce qui rend l'extraction de minuties relativement facile. Toutefois, en pratique, il n'est pas toujours envisageable d'obtenir une carte de stries parfaite. Ainsi, la qualité des images des empreintes digitales d'entrée est un facteur déterminant de la performance des algorithmes d'extraction de minuties.

3. Phase de stockage :

La phase de stockage dans un système de reconnaissance d'empreintes digitales commence par la capture de l'image de l'empreinte via un capteur. Cette image est ensuite améliorée pour augmenter sa clarté avant que les points caractéristiques, ou minuties, ne soient extraits. Ces minuties sont converties en un modèle numérique représentant l'empreinte. Ce modèle numérique est ensuite stocké dans une base de données avec un identifiant unique pour chaque utilisateur, permettant une récupération et une comparaison ultérieures lors des processus de vérification ou d'identification. Cette approche simplifiée assure une gestion efficace et sécurisée des empreintes digitales.

4. Phase de comparaison :

La phase de comparaison commence par la capture d'une nouvelle empreinte digitale de l'utilisateur, qui est ensuite prétraitée pour améliorer sa qualité. Les minuties, ou points caractéristiques, sont extraites de cette nouvelle image et converties en un modèle numérique. Ce modèle est comparé aux modèles existants stockés dans la base de données en utilisant des algorithmes de correspondance sophistiqués. Si une correspondance suffisante est trouvée, l'utilisateur est identifié ou vérifié avec succès. Sinon, l'accès est refusé ou l'utilisateur n'est pas reconnu, garantissant ainsi une sécurité fiable et précise dans le processus d'authentification.

— Exemple de Flux de Travail :

❖ Enregistrement (Enrolment) :

- L'utilisateur place son doigt sur le capteur.
- Le capteur capture l'image de l'empreinte digitale.
- Le logiciel de prétraitement améliore l'image.
- L'algorithme d'extraction de caractéristiques identifie les minuties.
- L'algorithme de création de modèle crée un modèle numérique.
- Le modèle est stocké dans la base de données avec l'ID de l'utilisateur.

❖ Vérification/Identification (Authentication) :

- L'utilisateur place son doigt sur le capteur.
- Le capteur capture l'image de l'empreinte digitale.
- Le logiciel de prétraitement améliore l'image.
- L'algorithme d'extraction de caractéristiques identifie les minuties.
- L'algorithme de création de modèle crée un modèle numérique pour l'empreinte

actuelle.

- L'algorithme de comparaison compare le modèle actuel avec les modèles stockés.
- Le système détermine si une correspondance est trouvée et autorise ou refuse l'accès.

Discussion

Dans ce chapitre, nous avons examiné les propriétés des empreintes numériques ainsi que la description de la structure globale d'un système de reconnaissance d'empreintes. Cette technique biométrique est actuellement la plus répandue. Il est essentiel que notre système de reconnaissance d'empreintes numériques soit aisément intégré dans un coffre-fort grâce au protocole de communication I2C. Dans le chapitre suivant, nous allons nous concentrer sur les smart homes, ses divers protocoles et les systèmes embarqués qui les soutiennent.

Chapitre 2

partie matérielle et logicielle

Préambule

L'objectif du projet est de concevoir et de développer un système de sécurité électronique novateur en utilisant la technologie de reconnaissance d'empreintes digitales et la carte micro-contrôleur ESP32. Ce dispositif permet de sécuriser et de faciliter l'ouverture d'un coffre-fort en utilisant l'empreinte digitale comme moyen d'identification.

2.1 Fonctionnement

- L'utilisateur pose son doigt sur le lecteur d'empreintes digitales
- Le lecteur capture l'image de l'empreinte et l'envoie à la carte ESP32
- La carte ESP32 analyse l'empreinte et la compare à celles enregistrées en mémoire
- Si l'empreinte correspond, la carte ESP32 active le relais pour déverrouiller la serrure électrique
- L'utilisateur peut alors ouvrir le coffre-fort

2.2 Partie matérielle

2.2.1 Capteur de proximité à ultrasons HC-SR04

Définition 2.1. Un capteur de proximité à ultrasons HC-SR04 est un module électronique capable de mesurer des distances en utilisant des ondes sonores ultrasonores (typiquement à une fréquence de 40 kHz). Il fonctionne en émettant une rafale d'ondes ultrasonores à partir d'un transducteur, puis en détectant les ondes réfléchies par un objet à l'aide d'un autre transducteur. Le temps écoulé entre l'émission et la réception des ondes est utilisé pour

calculer la distance entre le capteur et l'objet.(Figure 2.1) [9] .



FIGURE 2.1 – Capteur de proximité HC-SR04

Caractéristiques techniques

- Tension d'alimentation : 5V DC
- Fréquence de l'ultrason : 40 kHz
- Portée de mesure : 2 cm à 4 mètres
- Précision : Environ 3 mm
- Angle de détection : Environ 15 degrés
- Temps de réponse : Rapide, permettant des mesures en temps réel.

Fonctionnement

Les capteurs de proximité à ultrasons utilisent des ondes sonores pour détecter la présence et la distance d'un objet. Ils émettent une impulsion ultrasonore qui se propage dans l'air à la vitesse du son (environ 344 m/s). Lorsque l'onde rencontre un objet, elle est réfléchiée et revient vers le capteur sous forme d'écho. En mesurant le temps entre l'émission et la réception de l'écho, le capteur peut calculer la distance à l'objet.

2.2.2 Capteur d'empreintes digitales AS608

Définition 2.2. Le capteur d'empreintes digitales AS608 est un module de reconnaissance d'empreintes digitales avancé qui permet de capturer, de traiter et de comparer les empreintes

digitales pour l'authentification biométrique. Il est conçu pour offrir une sécurité et une fiabilité élevées pour les applications de contrôle d'accès, de sécurité et de gestion de données sensibles. (Figure 2.2) [10].



FIGURE 2.2 – capteur AS608

Caractéristiques techniques

- Résolution de 500 dpi : Offre une haute résolution pour une capture précise des empreintes digitales.
- Tension d'alimentation de 3,3V : Fonctionne avec une alimentation standard de 3,3V, compatible avec de nombreux systèmes électroniques.
- Consommation de courant inférieure à 60mA : Économique en énergie pour une utilisation efficace.
- Temps de capture d'image d'empreinte inférieur à 1 seconde : Permet une identification rapide et précise.
- Zone de capture de 15,3 x 18,2 mm : Offre une surface suffisante pour capturer des empreintes digitales de différentes tailles.

Fonctionnement

- Le capteur d'empreintes digitales AS608 est connecté à l'ESP32 via un câble USB ou UART. Il capture l'image de l'empreinte digitale et la traite pour créer un modèle unique.
- Traitement des empreintes : L'ESP32 reçoit les données de l'empreinte digitale traitées et les compare avec les empreintes enregistrées dans sa mémoire.

- Authentification : Si l’empreinte digitale correspond à une empreinte enregistrée, l’ESP32 envoie un signal pour ouvrir le coffre-fort.

2.2.3 l’ESP32

Définition 2.3. L’ESP32 est une puce microcontrôleur développée par Espressif Systems, qui est largement utilisée pour les applications IoT en raison de ses capacités sans fil avancées et de ses fonctionnalités riches. Le mode développement (mode dev) de l’ESP32 se réfère généralement à la configuration et à l’environnement utilisés pour le développement de logiciels sur cette puce..(Figure 2.3) [8].



FIGURE 2.3 – Carte ESP32.

Caractéristiques techniques

1. Processeur

- ❖ Modèle de Processeur : Le processeur de l’ESP32 est un Xtensa double-cœur (ou simple-cœur) de type microprocesseur LX 32 bits.
- ❖ Fréquence d’Horloge : Le processeur fonctionne à une fréquence d’horloge pouvant atteindre 240 MHz, offrant jusqu’à 600 DMIPS de performance.
- ❖ Architecture : Le processeur est basé sur une architecture Xtensa LX6, offrant une puissance de calcul élevée pour traiter efficacement les tâches IoT.
- ❖ Mémoire : Il dispose de 448 KB de ROM, 520 KB de SRAM et 16 KB de SRAM dans le RTC, offrant une capacité de stockage et de traitement adéquate pour les applications embarquées.
- ❖ Extensions de Mémoire : Le processeur peut se connecter à jusqu’à 4 flash/SRAM externes via QSPI, chaque flash ne devant pas dépasser 16 Mo, offrant une flexibilité

de stockage supplémentaire.

- ❖ Support Wi-Fi et Bluetooth : Le processeur intègre des fonctionnalités Wi-Fi et Bluetooth, le rendant idéal pour les applications sans fil et connectées.



FIGURE 2.4 – CPU.

2. Connectivité sans fil

- ❖ Mode Station (STA) : l'ESP32 se connecte à un point d'accès Wi-Fi existant
- ❖ Mode Point d'Accès (AP) : l'ESP32 crée son propre réseau Wi-Fi auquel d'autres appareils peuvent se connecter
- ❖ Mode AP+STA : l'ESP32 fonctionne simultanément en mode Station et Point d'Accès
- ❖ Connexion à un réseau Wi-Fi existant : pour se connecter à un réseau Wi-Fi en mode Station, on utilise les fonctions :

```
cpp
WiFi.begin(ssid, password);
```

où (ssid) est le nom du réseau et (password) le mot de passe. L'ESP32 se connecte alors au réseau spécifié.

- ❖ Création d'un point d'accès Wi-Fi : l'ESP32 génère alors son propre réseau Wi-Fi avec le (ssid) et (password) fournis, auquel d'autres appareils peuvent se connecter.

```
cpp
WiFi.softAP(ssid, password);
```

- ❖ Fonctions utiles :
 - WiFi.localIP() retourne l'adresse IP locale de l'ESP32 en mode Station

- `WiFi.softAPIP()` retourne l'adresse IP du point d'accès généré par l'ESP32
- `WiFi.status()` permet de vérifier l'état de la connexion Wi-Fi

3. Sécurité

❖ Sécurité matérielle

L'ESP32 intègre des fonctions de sécurité matérielle avancées pour protéger les données et le code :

- Secure boot pour vérifier l'authenticité du firmware au démarrage
- Chiffrement de la flash pour protéger le code et les données stockés
- Unité de chiffrement AES-128/256 bits
- Générateur de nombres aléatoires matériel

❖ Sécurité Wi-Fi

- Prise en charge des protocoles de sécurité Wi-Fi les plus récents : WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
- Chiffrement CCMP (AES), TKIP et WEP
- Authentification 802.1X EAP-TLS, PEAP, etc.
- Permet de créer des points d'accès Wi-Fi sécurisés

❖ Sécurité Bluetooth

- Sécurité Bluetooth 4.2 avec chiffrement AES-CCM
- Authentification et autorisation des connexions
- Gestion des clés de chiffrement

❖ Sécurité des communications

- Prise en charge des protocoles de sécurité SSL/TLS pour les communications sécurisées
- Possibilité d'utiliser des certificats X.509 pour l'authentification
- Chiffrement des communications avec des serveurs distants

❖ Sécurité du code

- Possibilité de signer le code avec des clés privées pour vérifier son authenticité
- Possibilité de protéger le code sensible avec des mécanismes anti-débugage

❖ Sécurité des données

- Stockage sécurisé des données sensibles dans la flash chiffrée

- Possibilité d'utiliser des clés de chiffrement dérivées du matériel (eFuse)

4. Interface

- ❖ L'ESP32 est un microcontrôleur SoC basé sur l'architecture Xtensa LX6 de Tensilica.
- ❖ Il est supporté par divers outils de développement tels que ESP-IDF, Arduino IDE, Espruino, ESPHome, MicroPython, etc..
- ❖ L'ESP32-C3, une variante sortie en novembre 2020, est compatible avec l'ESP8266 mais utilise l'architecture RISC-V 32 bits.
- ❖ La série ESP32-C est basée sur RISC-V et la série ESP32-S sur Xtensa LX6, offrant une connectivité Wi-Fi et Bluetooth pour l'IoT.

Fonctionnement

1. Capture de l'empreinte digitale : L'empreinte digitale est capturée par un capteur d'empreintes digitales intégré dans le coffre-fort. Ce capteur envoie les données de l'empreinte digitale à l'ESP32.
2. Comparaison avec les empreintes enregistrées : L'ESP32 compare l'empreinte digitale capturée avec celles enregistrées dans sa mémoire. Si l'empreinte digitale correspond à une empreinte autorisée, l'ESP32 envoie un signal au module relais pour déverrouiller la serrure du coffre-fort.
3. Contrôle de l'accès : Le module relais contrôle l'accès au coffre-fort en fonction des signaux reçus de l'ESP32. Si l'empreinte digitale est autorisée, le module relais déverrouille la serrure, permettant l'accès au coffre-fort.

2.2.4 Modules relais

Définition 2.4. Un module relais est un élément électronique qui permet de réguler des circuits électriques en utilisant un signal de commande à faible tension. Les modules relais sont fréquemment employés dans les projets de domotique, les systèmes embarqués et les applications IoT afin de gérer des appareils à haute tension tels que des lampes, des moteurs, des appareils électroménagers. (Figure 2.5).

Composition d'un Module Relais

- Le module relais comprend principalement un relais électromécanique de type SRD-05VDC-SL-C



FIGURE 2.5 – Modules relais à un canal

- Il intègre également une diode de roue libre (1N4007) pour absorber les surtensions
- Un transistor (2N2222) est utilisé comme interrupteur électronique pour commander le relais
- Des broches de connexion sont présentes pour l'alimentation, la masse et le signal de contrôle

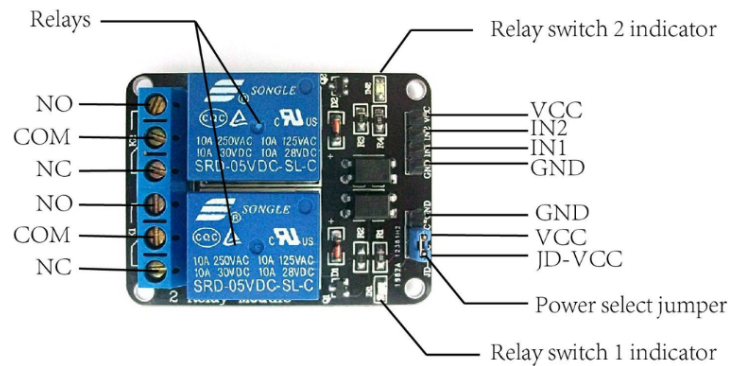


FIGURE 2.6 – les Composant d'un Module Relais

Alimentation

- Le module relais doit être alimenté en 5V sur la broche VCC
- Cette alimentation doit être séparée de celle de l'ESP32 pour éviter les interférences
- La masse du module (GND) doit être reliée à la masse de l'ESP32

Fonctionnement

- ❖ Contrôle de la Serrure : Le module relais est utilisé pour activer et désactiver la serrure électrique du coffre-fort en réponse aux signaux de l'ESP32. Lorsqu'une empreinte

digitale autorisée est détectée, l'ESP32 envoie un signal au module relais pour déverrouiller la serrure, permettant ainsi l'ouverture du coffre-fort.

- ❖ Isolation Électrique : Le module relais assure une isolation électrique entre l'ESP32 et la charge à contrôler, garantissant la sécurité du microcontrôleur. Cela empêche les interférences électriques et protège l'ESP32 des surtensions ou des courants excessifs.
- ❖ Intégration avec l'ESP32 : Le module relais est connecté à l'ESP32 via des broches GPIO pour recevoir les commandes de contrôle. Il agit comme un interrupteur électromagnétique commandé par l'ESP32 pour gérer l'ouverture et la fermeture de la serrure du coffre-fort.
- ❖ Gestion de l'Alimentation : Le module relais peut nécessiter une alimentation externe pour fonctionner correctement, séparée de celle de l'ESP32. Cela garantit une puissance adéquate pour le relais et évite de surcharger l'ESP32.

2.2.5 LCD1602

Définition 2.6. Le module LCD1602 est un afficheur LCD de type matriciel de 16 caractères sur 2 lignes, conçu pour afficher des lettres, des chiffres et des caractères. Il est composé de positions de matrice de points de 5x7 ou 5x11; chaque position peut afficher un caractère. Il y a un espacement entre deux caractères et un espace entre les lignes, ce qui permet de séparer les caractères et les lignes. Le modèle 1602 signifie qu'il affiche 2 lignes de 16 caractères.(Figure 2.7).



FIGURE 2.7 – Module LCD1602

Caractéristique

- Résolution : 16 caractères x 2 lignes
- Taille des caractères : 2,95 x 4,75 mm

- Taille de la zone d'affichage : 64,5 x 13,7 mm
- Taille totale du module : 80 x 36 mm
- Contrôleur LCD : HD44780 ou équivalent
- Interface : 4 bits ou 8 bits parallèle, ou I2C
- Tension d'alimentation : 5V DC
- Courant d'alimentation : 1mA sans backlight, 150mA avec backlight
- Température de fonctionnement : 0°C à 50°C
- Humidité de fonctionnement : 20% à 80% HR

Fonctionnement

- Initialisation : L'LCD1602 doit être initialisé en envoyant des commandes spécifiques pour configurer l'affichage.
- Envoi des données : Les données à afficher sont envoyées à l'LCD1602 en utilisant le protocole I2C.
- Affichage : L'LCD1602 affiche les données reçues.

Avantages de l'ajout du LCD1602

- Affichage de texte et de chiffres : Le LCD1602 permet d'afficher des textes et des chiffres sur un écran LCD de 16 caractères sur 2 lignes, ce qui est utile pour afficher des informations de projet, des messages d'erreur, des données de mesure, etc.
- Facilité d'utilisation : L'LCD1602 est facile à utiliser, même pour les débutants, car il est compatible avec l'IDE Arduino et utilise les mêmes bibliothèques que les cartes Arduino.
- Portabilité : L'LCD1602 est compatible avec de nombreux microcontrôleurs, y compris les cartes Arduino, les ESP32 et les ESP8266, ce qui permet de le utiliser dans de nombreux projets.
- Faible consommation d'énergie : L'LCD1602 consomme peu d'énergie, ce qui est important pour les projets qui nécessitent une longue durée de fonctionnement sur batterie.
- Facilité de programmation : L'LCD1602 peut être programmé facilement avec l'IDE Arduino, ce qui permet de créer des programmes complexes sans avoir à apprendre de nouvelles compétences.
- Affichage de graphiques : L'LCD1602 peut afficher des graphiques simples, ce qui est utile pour afficher des données de mesure ou des informations de projet.
- Intégration avec d'autres composants : L'LCD1602 peut être intégré avec d'autres

composants, tels que des boutons, des interrupteurs, des capteurs, etc., pour créer des systèmes plus complexes.

- Faible coût : L’LCD1602 est relativement bon marché, ce qui en fait un choix économique pour les projets de bricolage ou de développement.

2.2.6 Clavier 4*4

Définition 2.7. Un clavier 4x4 est un dispositif d’entrée composé de 16 boutons arrangés en 4 rangées et 4 colonnes. Chaque bouton est situé à l’intersection d’une rangée et d’une colonne, permettant ainsi la détection de chaque touche en surveillant les états des lignes et des colonnes correspondantes(Figure 2.8).



FIGURE 2.8 – clavier 4×4

Caractéristique

- Disposition : 4 rangées et 4 colonnes.
- Nombre de touches : 16 (généralement numérotées de 0 à 9, et incluant des caractères supplémentaires comme A, B, C, D, *, et #).
- Brochage : 8 broches (4 pour les rangées et 4 pour les colonnes).
- Matériau : Plastique, silicone ou autre matériau résistant, souvent avec des contacts métalliques pour assurer une bonne conduction

2.3 Partie logiciel

2.3.1 Arduino

Définition 2.7. Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d’éditeur de code (langage proche du C) pour notre carte Esp32. Une fois, le programme tapé ou modifié au

clavier, il sera transféré et mémorisé dans la mémoire flash de l'ESP à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi le programme vers la mémoire flash [11] [8].

Structure générale du programme

Comme n'importe quel langage de programmation, une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation en C.(Figure 2.9).

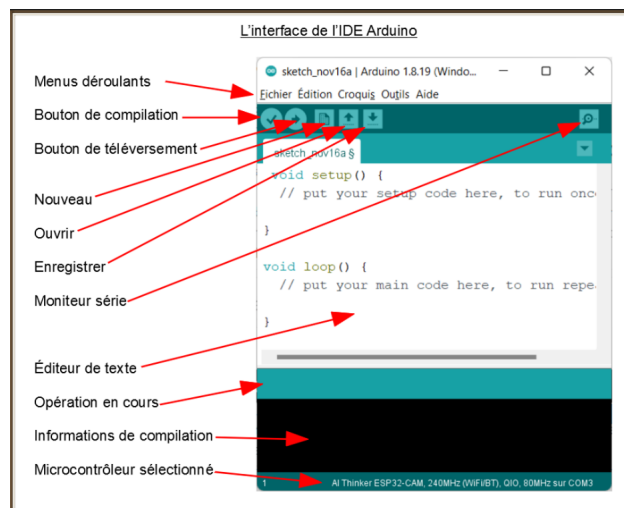


FIGURE 2.9 – Interface IDE Arduino.

Injection du programme

Avant d'envoyer un programme dans la carte, il est nécessaire de sélectionner le type de la carte (esp32) [Phase1] et le numéro de port USB (COM 3) [Phase 3] comme à titre d'exemple cette figure suivante(Figure 2.10).

Les étapes de téléchargement du programme

Pour injecter le code on suit les étapes suivantes :

- On écrit ou on ouvre un programme existant avec le logiciel IDE Arduino.
- On compile ce programme avec le logiciel Arduino.
- Si des erreurs sont signalées, on corrige le programme.
- On charge le programme sur la carte.

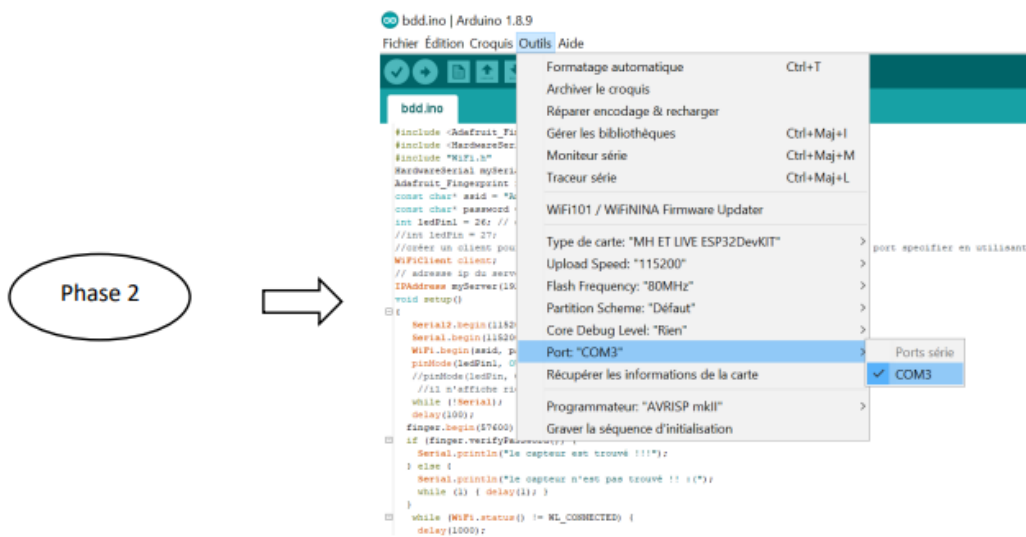
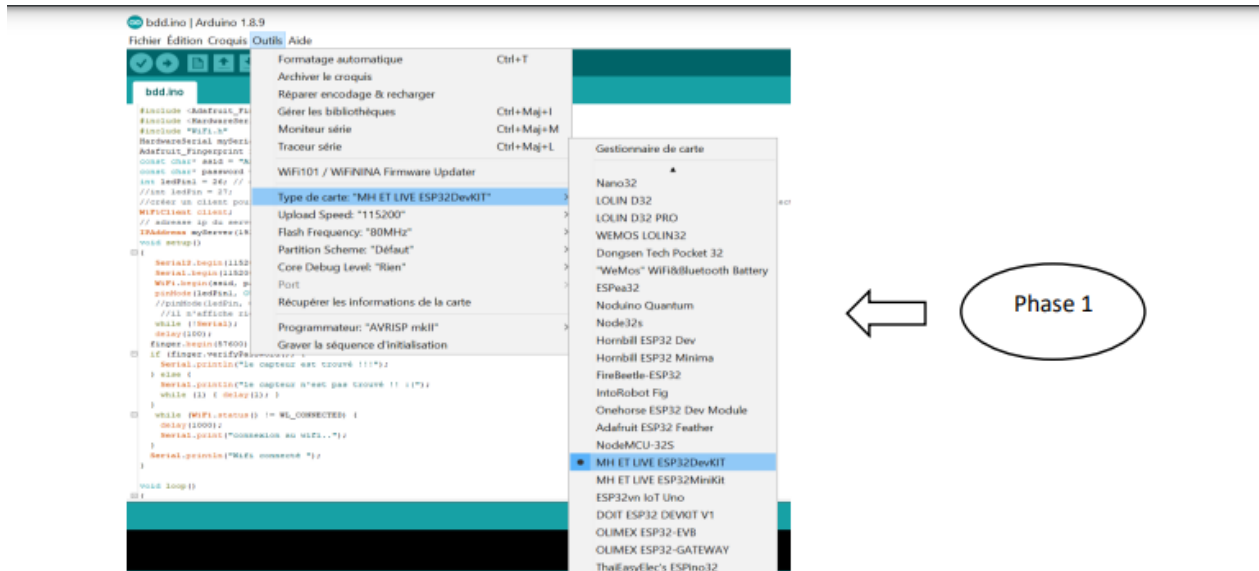


FIGURE 2.10 – Paramétrage de la carte.

- L'exécution du programme est automatique après quelques secondes.
- On alimente la carte soit par le port USB, soit par une source d'alimentation autonome (pile 9 volts par exemple).
- On vérifie que notre montage fonctionne.

2.3.2 Fritzing

Définition 2.8. Fritzing est un logiciel open-source multiplateforme permettant de construire des schémas et des circuits électroniques que nous utilisons avec ESP32. Plusieurs vues sont disponibles : platine d'essai, schémas électriques et circuit imprimé (Figure 2.11) [11] .

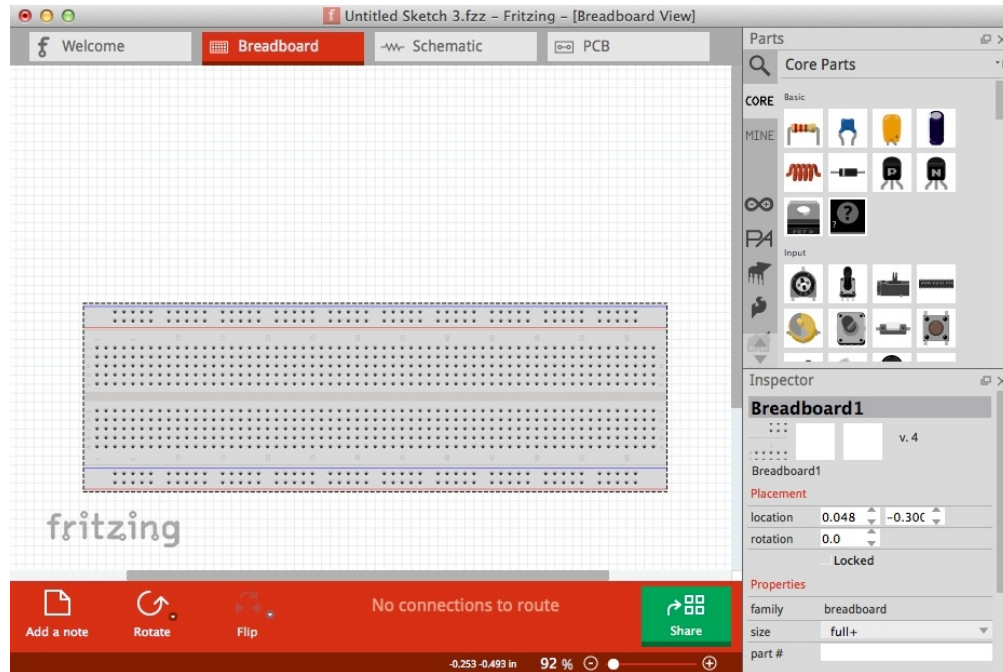


FIGURE 2.11 – : L'interface de Fritzing.

Discussion

Ce chapitre consiste une présentation générale des outils matériel et logiciel utilisé dans ce travail, à savoir, le système à microcontrôleur (ESP32) et le capteur d'empreinte digital AS608 ainsi que les capteurs ultrason (HC-SR04), etc.

Chapitre 3

Réalisation

Préambule

Dans ce chapitre nous allons montrer les différentes étapes de la réalisation de notre système, ainsi que les branchements des différents capteurs et actionneurs et leurs différents programmes de configuration. L'organigramme, le déroulement des différentes étapes du programme et la réalisation de notre coffre-fort sera présentés aussi.

3.1 Réalisation

3.1.1 Branchement du capteur d'empreinte

Voici l'organigramme des étape d'enregistrement d'une nouvelle empreinte

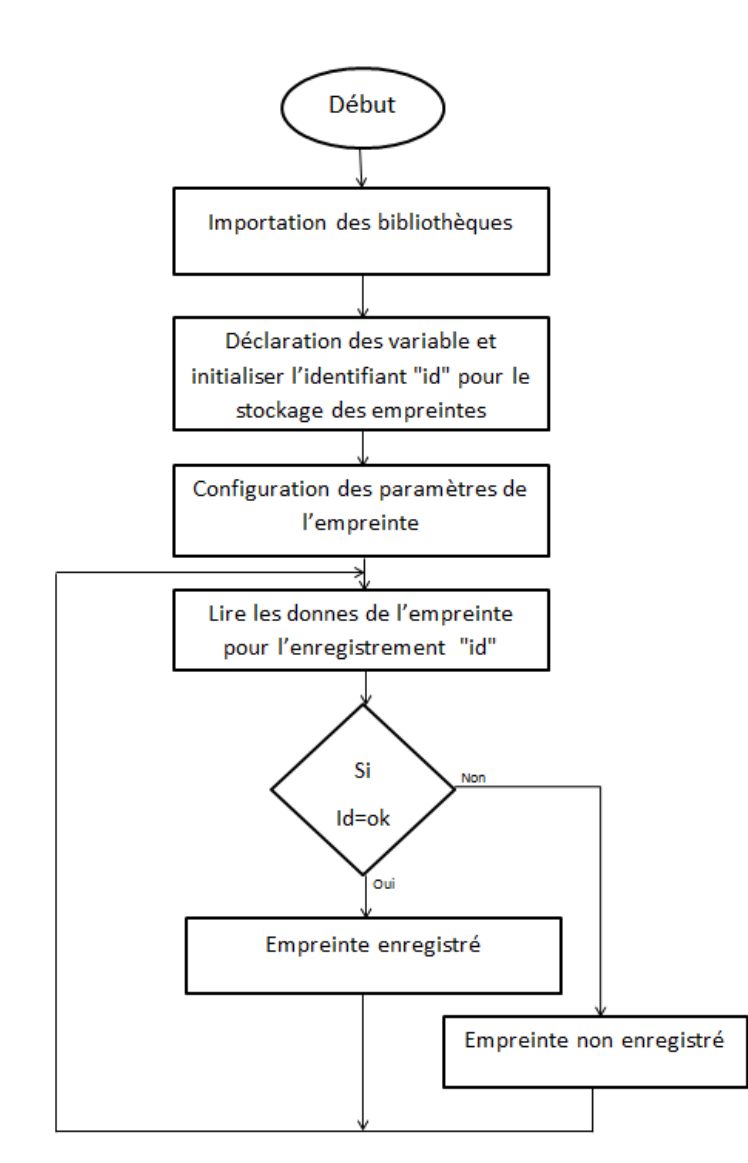


FIGURE 3.1 – Organigramme d’enregistrement d’une nouvelle empreint .

pour réaliser le circuitier de branchement du capteur d’empreinte digital vers l’esp32 on suis les étapes démontré dans la figure.(Figure 3.2)

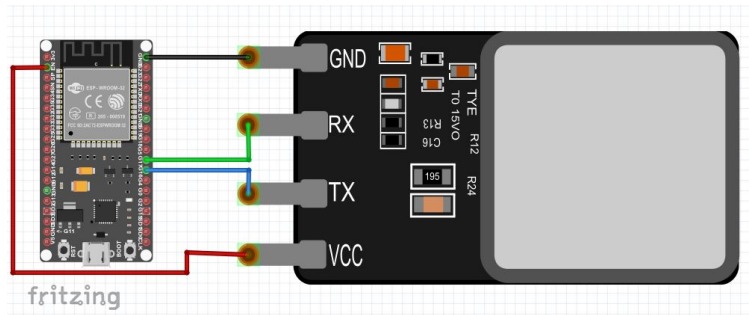


FIGURE 3.2 – schéma de branchement du capteur d’empreintes digitales.

3.1.2 Branchement du capteur ultrason

Voici l’organigramme de fonctionnement du capteur ultrason

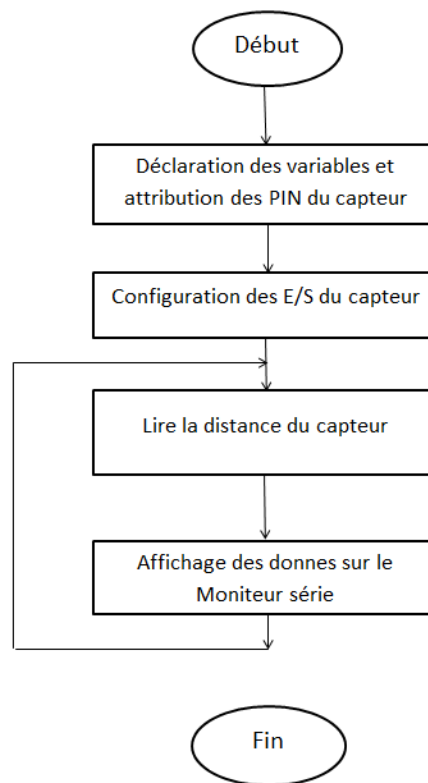


FIGURE 3.3 – Organigramme de fonctionnement du capteur ultrason.

Afin de montre le circuit de branchement du capteur de distance ultrason et l’ESP32 voici une représentation du branchement effectuer avec fritzing (Figure 3.4)

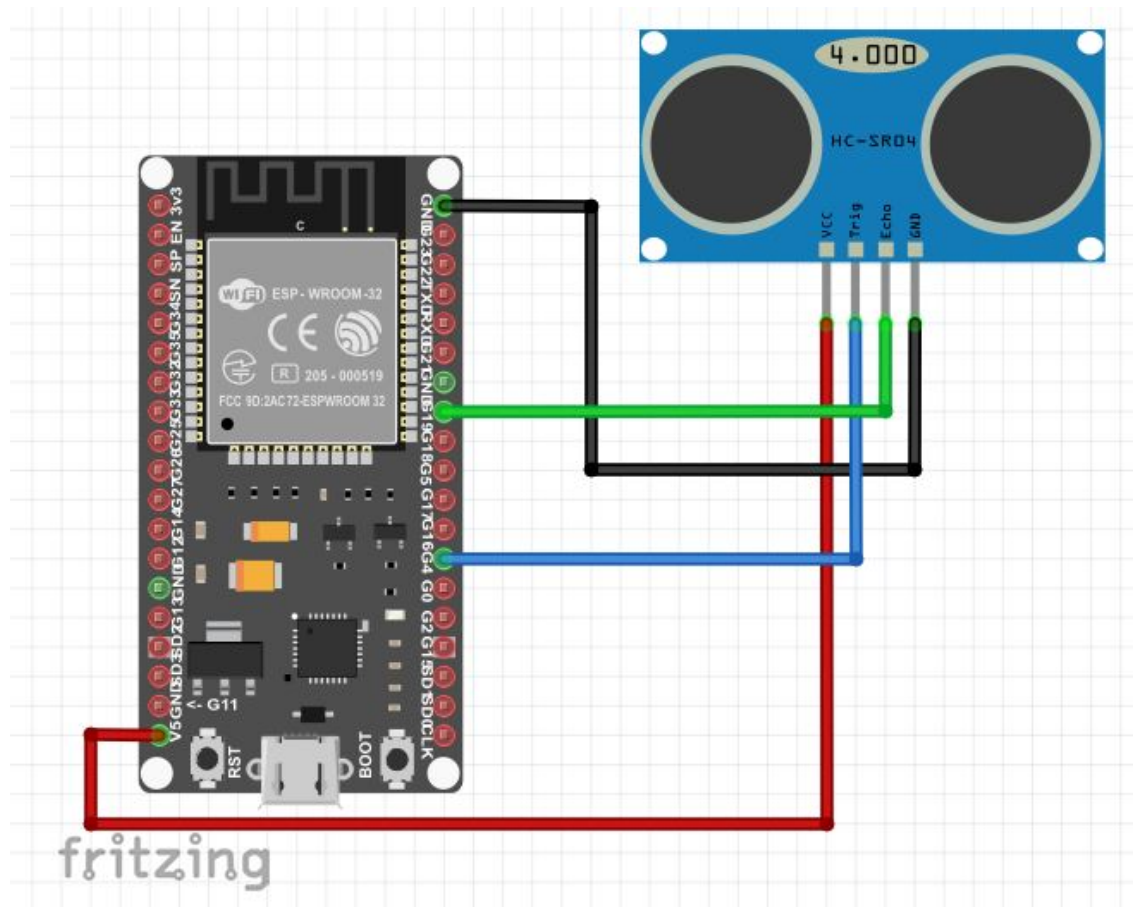


FIGURE 3.4 – Schéma de branchement du capteur ultrason .

Le branchement :

- Le VCC du capteur reliait au VCC de la carte
- Le trig du capteur à la PIN 4
- Le ECHO du capteur à la PIN 19
- Le GND du capteur reliait au GND de la carte

3.1.3 Branchement de la serrure

Grâce au logiciel Fritzing on a peut réaliser un schéma du circuit de branchement de la serrure électrique.(Figure 3.5).

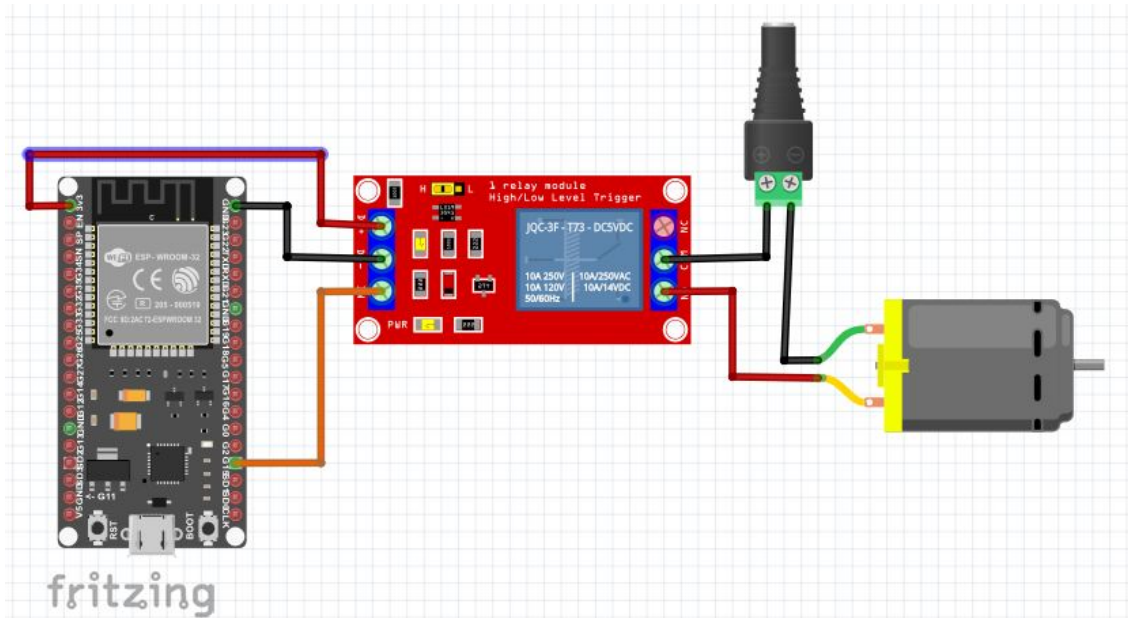


FIGURE 3.5 – Schéma de branchement de la serrure .

Le branchement :

Dans se branchement on a deux partie dans la première on a la partie commande avec le module relais

- Le VCC du relais au VCC de la carte
- L'entree du relais a la PIN 15
- Le GND du capteur reliev au GND de la carte

Dans la deuxième on a la partie puissance ou on branche une alimentation externe de 12V on la branche au relais et a la serrure

Et pour configure le capteur on a le programme suivant :

3.1.4 Branchement de l'afficheur LCD

Voici l'organigramme du fonctionnement de l'afficheur LCD

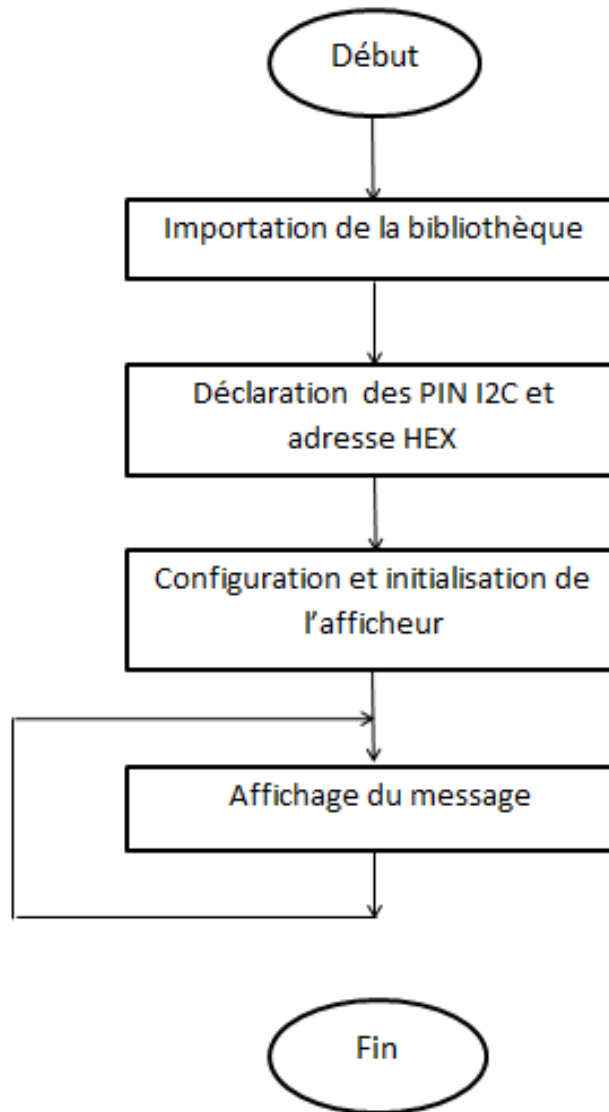


FIGURE 3.6 – Organigramme du fonctionnement de l’afficheur LCD

Le schéma de branchement de l’afficheur LCD obtenu avec Fritzing .(Figure 3.7).

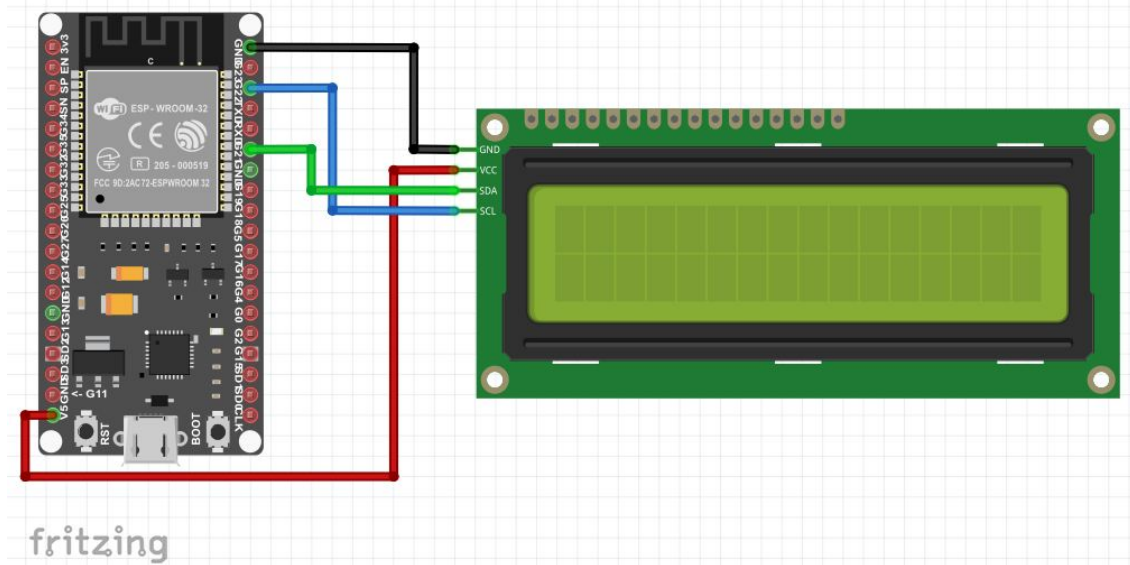


FIGURE 3.7 – Schéma de branchement de l’Afficheur LCD

Le branchement :

- Le VCC du relais au VCC de la carte
- La broche SDA a la PIN 21
- La broche SCL a la PIN 22
- Le GND du capteur relia au GND de la carte

3.1.5 Branchement du clavier

Voici l’organigramme du fonctionnement du clavier

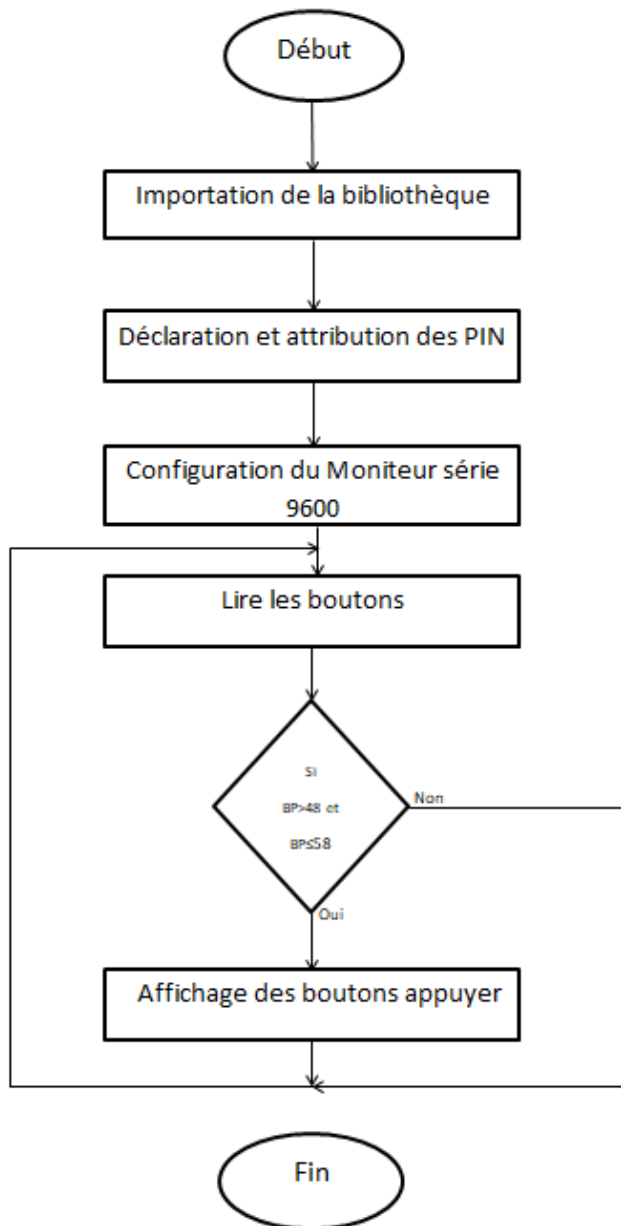


FIGURE 3.8 – Clavier 4×4.

Le schéma du circuit de branchement du clavier 4×4 réaliser sur Fritzing .(Figure 3.9).

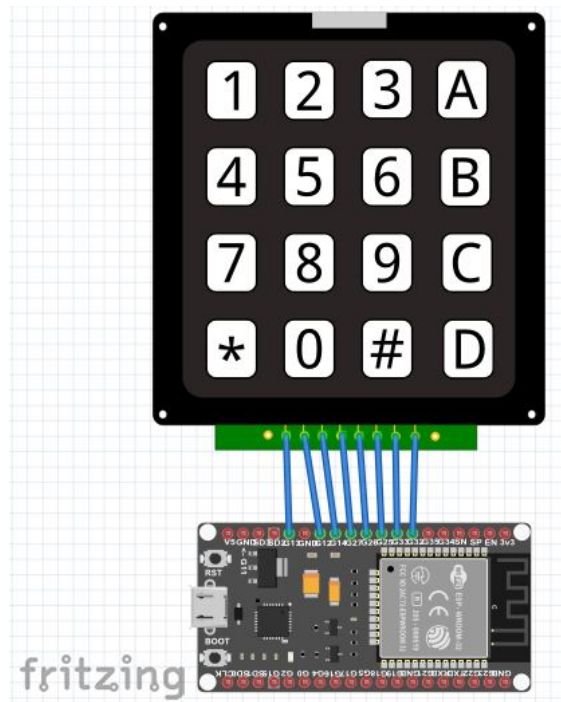


FIGURE 3.9 – Clavier 4×4.

Le branchement :

Lignes :

- Ligne 1 du clavier -> GPIO 32 de l'ESP32
- Ligne 2 du clavier -> GPIO 33 de l'ESP32
- Ligne 3 du clavier -> GPIO 25 de l'ESP32
- Ligne 4 du clavier -> GPIO 26 de l'ESP32

Colonnes :

- Colonne 1 du clavier -> GPIO 27 de l'ESP32
- Colonne 2 du clavier -> GPIO 14 de l'ESP32
- Colonne 3 du clavier -> GPIO 12 de l'ESP32
- Colonne 4 du clavier -> GPIO 13 de l'ESP32

Discussion

Ce chapitre a présenté les étapes clés de la réalisation de notre projet, depuis la conception jusqu'à la mise en œuvre finale. Malgré certains défis techniques et d'intégration, nous avons réussi à développer une solution fonctionnelle et conforme aux spécifications initiales.

Chapitre 4

Tests et résultats

Préambule

Après avoir abordé dans le chapitre précédent la conception de notre système, on présente dans ce chapitre les phases de mise en œuvre des différentes parties matérielle et des programmes. La Figure 4.3 représente le schéma global de notre projet réalisé en utilisant le logiciel Fritzing détaillant tous les composants utilisés dans la conception de notre coffre-fort intelligent.

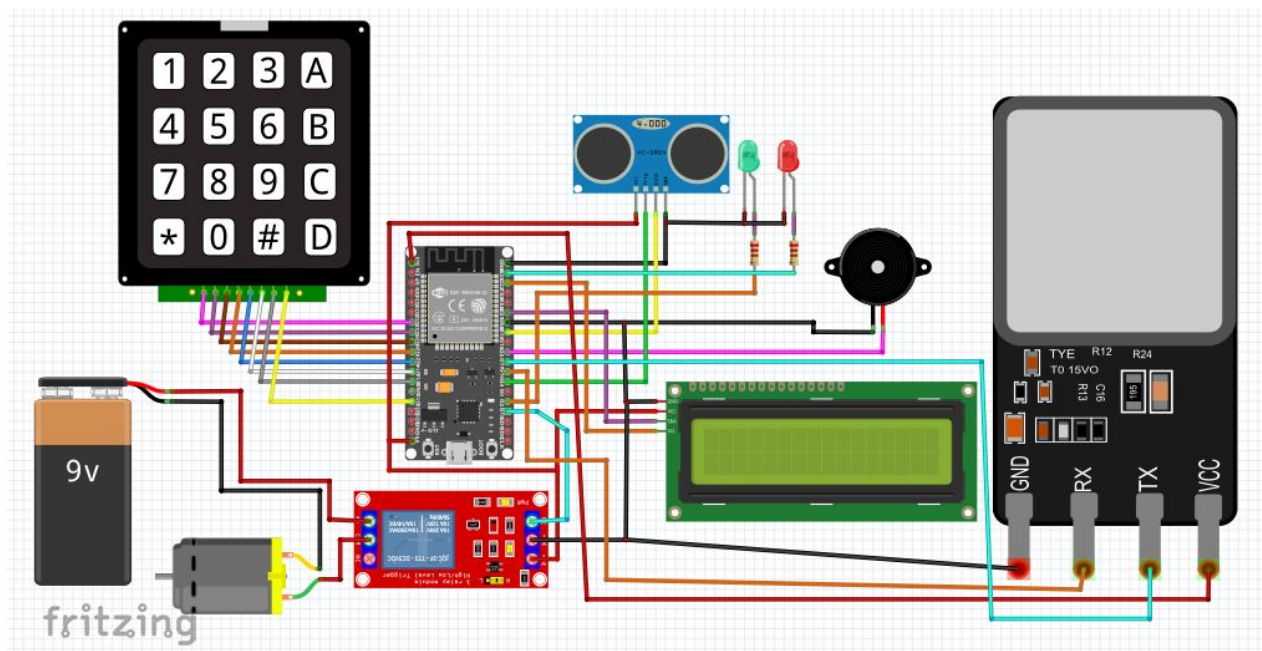


FIGURE 4.1 – schéma global.

4.1 Test effectué et résultat

Dans nos test en a commencer par tester chaque compensant tous seul puis on a fais le test de l'ensemble.

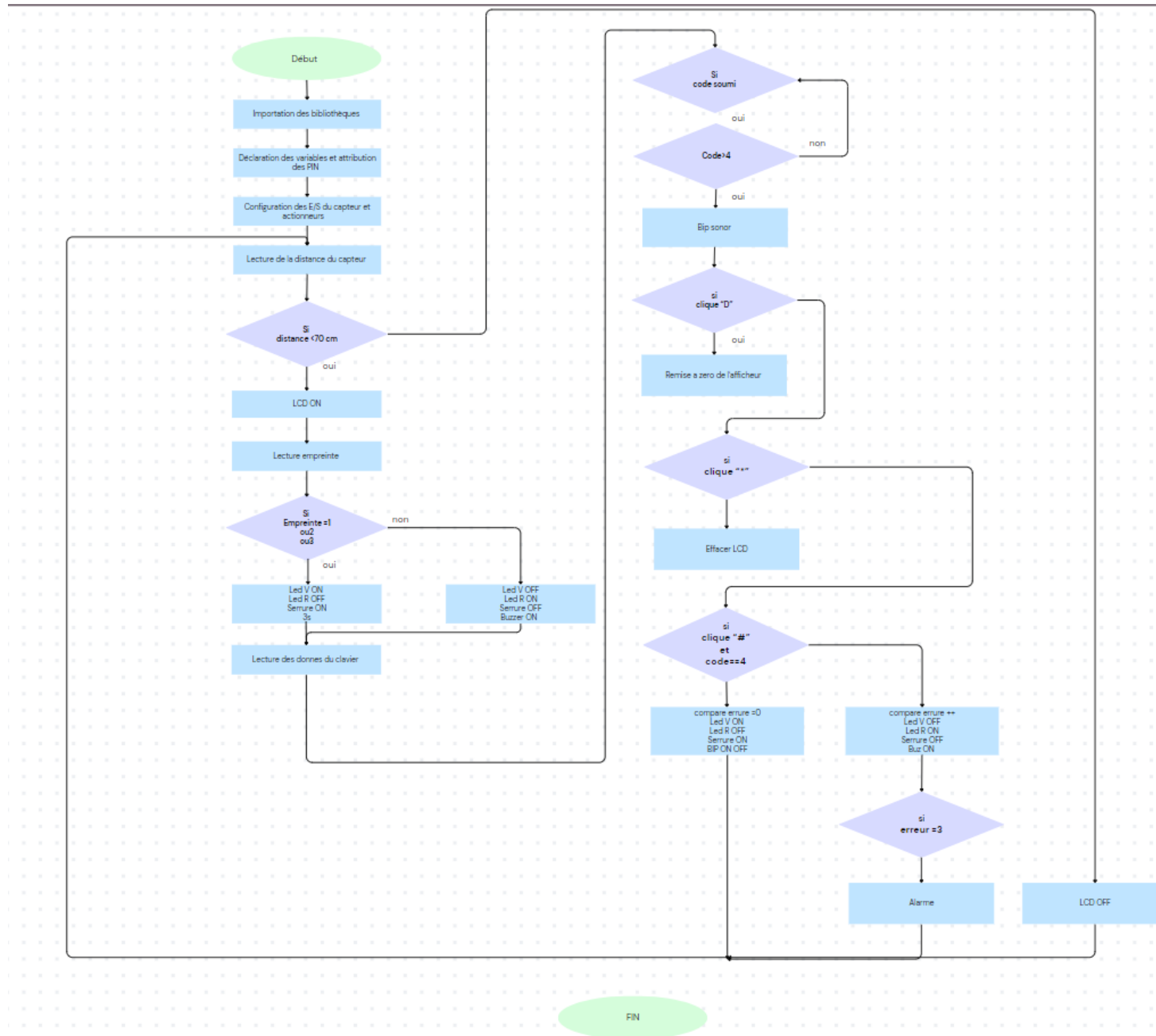


FIGURE 4.2 – Organigramme global du fonctionnement du coffre-fort .

4.1.1 Test sur l'afficheur LCD

On a tester toute les touche du clavier et on a obtenu les résulta suivant sur le Moniteur série



FIGURE 4.3 – Résultat de l'afficheur LCD.

4.1.2 Test sur le capteur ultrason

Après avoir terminer le montage du capteur ultra son avec l'ESP32 on a peut faire des test avec le capteur et les visualiser sur le moniteur série et les résultat obtenu son donnés par la Figure 4.4.

```
COM8
14:21:50.183 -> Distance: 13
14:21:50.223 -> Distance: 13
14:21:50.263 -> Distance: 13
14:21:50.343 -> Distance: 13
14:21:50.383 -> Distance: 13
14:21:50.423 -> Distance: 13
14:21:50.503 -> Distance: 13
14:21:50.543 -> Distance: 13
14:21:50.583 -> Distance: 13
14:21:50.663 -> Distance: 13
14:21:50.713 -> Distance: 13
14:21:50.743 -> Distance: 14
14:21:50.823 -> Distance: 14
14:21:50.863 -> Distance: 13
14:21:50.903 -> Distance: 13

COM8
14:23:00.837 -> Distance: 72
14:23:00.877 -> Distance: 72
14:23:00.917 -> Distance: 72
14:23:00.997 -> Distance: 72
14:23:01.037 -> Distance: 72
14:23:01.117 -> Distance: 72
14:23:01.157 -> Distance: 72
14:23:01.197 -> Distance: 72
14:23:01.277 -> Distance: 72
14:23:01.317 -> Distance: 72
14:23:01.397 -> Distance: 72
14:23:01.437 -> Distance: 72
14:23:01.477 -> Distance: 72
14:23:01.557 -> Distance: 72
14:23:01.597 -> Distance: 72

Leaving...
Hard resetting via RTS pin...
```

FIGURE 4.4 – résultat des test sur le capteur ultrason .

4.1.3 Test sur le clavier

Après avoir terminer le montage du clavier avec l'ESP32 on a peut faire des test avec le clavier et les visualiser sur le moniteur série et les résultat obtenu son dans la Figure 4.5.

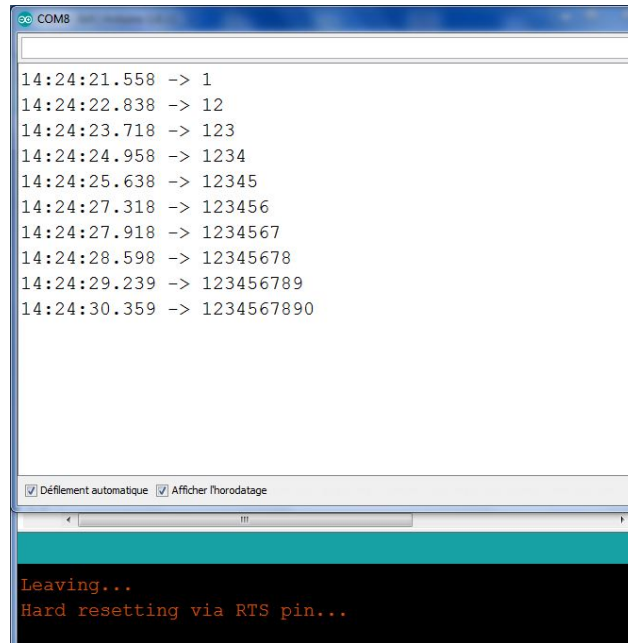
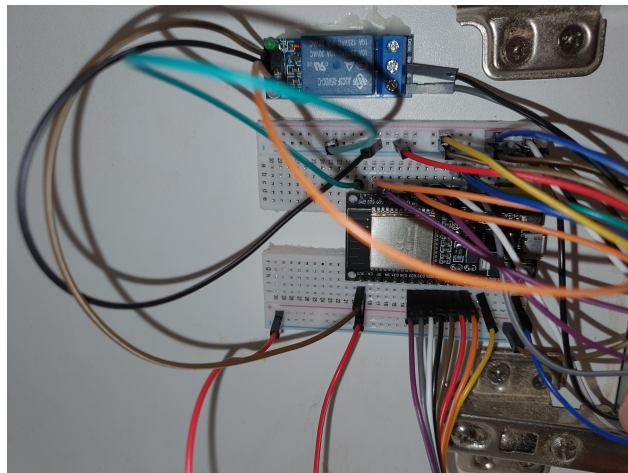


FIGURE 4.5 – Résultat test du clavier .

4.2 Résultat final

Une fois tous les composants prêts, les opérations de soudure et de branchement sont effectuées sur le banc d'essai où les différents composants sont installés sur leurs emplacements (Figure 4.6).



On a pu essayer les différentes méthodes de déverrouillage empreinte digitale et par mot de passe et on a eu les résultats suivants .



FIGURE 4.6 – Résultat final .

Dans le cas ou nous avons introduit le bon mot de passe l’LCD nous affiche le message "MOT DE PASSE CORRECTE" et la LED V s’allume et la serrure s’ouvre pendant 3s .(Figure 4.7)



FIGURE 4.7 – MOT DE PASSE CORRECT.

Par contre dans la Figure 4.8 ou nous avons introduit un mot de passe incorrect l’LCD nous affiche le message "MOT DE PASSE INCORRECTE" et la LED R s’allume et la serrure reste fermée .

Si le code introduit trois fois consécutives est erroné alors une alarme s’enclenche et on doit attendre pendant 20s Figure 4.9 afin de pouvoir essayer une autre fois.



FIGURE 4.8 – MOT DE PASSE INCORRECT.



FIGURE 4.9 – ACTIVATION DE L'ALARME.

Et pour finir nous avons déverrouillé notre coffre-fort en utilisant l’empreinte digitale qui était plus rapide et moins inconvenante que le mot de passe (Figure 4.10).



FIGURE 4.10 – DÉVERROUILLAGE AVEC EMPREINTE.

Discussion

Ce chapitre a présenté les tests effectués et les résultats obtenus pour notre projet. Les tests unitaires et d'intégration ont confirmé la fonctionnalité correcte de chaque module et leur interaction harmonieuse. Les tests de performance ont démontré que notre système répond efficacement sous diverses charges. A travers cette réalisation, nous avons pu atteindre les objectifs fixés lors de la phase de conception.

Conclusion général

La réalisation de ce projet de coffre-fort à empreinte digitale avec ESP32 et capteur ultrason a démontré l'importance et l'efficacité de l'intégration des technologies avancées dans les dispositifs de sécurité. À travers les différentes étapes de conception, de mise en œuvre et de test, nous avons pu constater les nombreux avantages offerts par la technologie biométrique et les capteurs de mouvement dans la protection des biens.

Le capteur d'empreintes digitales AS608 a prouvé sa précision et sa fiabilité dans la reconnaissance des utilisateurs, tandis que le microcontrôleur ESP32 a assuré une gestion efficace des opérations et des communications nécessaires au fonctionnement du système. L'ajout du capteur ultrason HC-SR04 a permis d'améliorer la gestion de l'alimentation électrique en activant le système que si une présence est détectée à proximité du coffre-fort.

Ce projet a également mis en lumière plusieurs défis, notamment en termes de compatibilité matérielle, d'optimisation logicielle et de gestion de l'alimentation électrique. Toutefois, les solutions apportées ont permis de surmonter ces obstacles et de parvenir à un système fonctionnel et performant.

L'aboutissement de ce projet ouvre de nouvelles perspectives pour l'amélioration et l'innovation dans le domaine des systèmes de sécurité. À l'avenir, il serait intéressant d'explorer l'intégration de nouvelles technologies telles que la reconnaissance faciale, les alarmes connectées et les notifications en temps réel pour une sécurité encore plus renforcée.

En conclusion, ce projet illustre comment les avancées technologiques peuvent être mises au service de la sécurité pour offrir des solutions de protection toujours plus efficaces et adaptées aux besoins contemporains. Le développement de ce coffre-fort à empreinte digitale avec ESP32 et capteur ultrason constitue une étape importante vers des systèmes de sécurité intelligents et autonomes, capables de garantir la protection optimale des biens et des personnes.

Bibliographie

- [1] WWW.TRANSPORTS-PIANO.FR/BLOG/LHISTOIRE-ET-LA-VALEUR-DES-COFFRES-FORTS-ANCIENS-DECOUVREZ-UN-SAVOIR-FAIRE-ANCESTRAL/
- [2] WWW.COFFREFORTPRO.COM/CONTENT/22-LA-PETITE-HISTORIE-DES-COFFRES-FORTS
- [3] WWW.SANSINTERET.INFO/MAISON/LES-COFFRES-FORTS-ANCIENS-ET-LEUR-VALEUR-HISTORIQUE/
- [4] FASTERCAPITAL.COM/FR/CONTENU/COFFRE-FORT—L-EVOLUTION-DES-COFFRES-FORTS—DES-COFFRES-FORTS-ANCIENS-AUX-DEPOTS-NUMERIQUES.HTML
- [5] J. DUBOIS. *Histoire des coffres-forts et des serrures*. Éditions du Patrimoine, 1995
- [6] WWW.ALCOF-SECURITE.FR/BLOG/ARTICLES/COFFRE-FORT-QUELLE-SERRURE-CHOISIR/
- [7] ATTALLAH BILAL. *Conception d'un système de Reconnaissance des empreintes digitales par apprentissage*. Mémoire de Master, 2012.
- [8] K. OUKIL & A. ZERBOUT *Contrôle d'accès à base d'empreinte digitale*. Mémoire de Master, 2019.
- [9] A. OGAL & M. HAFIANE *Navigation et évitement d'obstacle d'une voiture autonome*. Mémoire de Master, 2017.
- [10] WWW.DIDACTICO.TN/PRODUIT/MODULE-DE-CAPTEUR-DEMPREINTES-DIGITALES-AS608/
- [11] M. INGUEL *Conception et réalisation d'un système Domotique par GSM*. Mémoire de Master, 2017.