

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou  
Faculté des Génie Electrique et Informatique  
Département d'Informatique



**Mémoire de Master**  
Spécialité  
**Informatique**  
Option  
**Réseaux, Mobilité et Système Embarqué**  
Thème

---

**Conception et réalisation d'un système de sécurité domotique  
complet à base d'un système de microcontrôleur ESP32**

---

Présentée par  
IDRES Massinissa

Proposée et Encadrée par  
Mme OUKFIF Karima

Devant le jury

Pr.                   DAOUI M.  
Mr.                   REMDANE M.

Président du jury  
Examineur

Soutenu le 10/12/2020

## *Remerciements*

*Avant tout, je remercie le bon dieu de m'avoir donnée la santé, le courage et la capacité pour mener ce travail à terme.*

*Je voudrais tout d'abord adresser toute ma reconnaissance à ma promotrice M<sup>me</sup> OUKFIF , pour sa patience , sa disponibilité et surtout de m'avoir bien conseillée et suivie pendant mon travail.*

*Je remercie les membres du jury, devant qui, j'ai l'honneur d'exposer mon travail, et qui ont pris la peine de lire ce mémoire et d'accepter et d'examiner son contenu.*

*Je remercie vivement tous mes professeurs qui m'ont accompagnés durant mon cursus universitaire, pour leur aide et le savoir précieux qu'ils m'ont apporté au sein de département d'informatique a l'UMMTO.*

*Une reconnaissance et un grand merci à ma famille (Sofiane, Katia et Sonia ) et particulièrement mes chers parents qui se sont sacrifiés pour mon bien et qui m'ont encouragée et soutenue tout au long de mes études. Je prie Dieu le tout puissant de les garder en bonne santé et de les récompenser pour tous les sacrifices.*

*Je tiens aussi à remercier mes amis (es) et tous ceux et celles qui, de loin ou de près m'ont apporté leur aide et soutien tout au long de ma démarche.Plus particulièrement : Lyes, Remdane, Youcef, Amar, Amine, Nabil, Younes, Rabah, Massi rougie,Arezki, Ali, Rassim, hadj farid et koceila.*

*Et aussi je remercie toute ma promotion Master avec qui j'ai passé des moments inoubliables et qui m'ont encouragé et cru en moi plus particulièrement : Nawel, Thanina, Kenza, Thiziri,Sabrina, Khaled, Mehdi, Massyl, Samy, Rabah, Ahmed, Abdeslam, Tarik, Moumouh ,Ghani, Rafik.*

*Sans oublier le groupe de l'Aid :Juba ,Yacine ,Anis.*

*les remerciements ne pourront pas prendre fin sans éprouver ma profonde reconnaissance et gratitude à ma chère **MELISSA** qui était, est et sera toujours à mes cotés.*

*Enfin, je remercie moi même d'avoir toujours cru en moi même malgré les nombreuses difficultés rencontré, je voulais me féliciter :D*

*je dédie ce modeste travail a l'âme de Monsieur Hemdani Chabane Paix a son âme*

# Table des matières

<b>Introduction Générale</b>	<b>1</b>
<b>1 La domotique et la sécurité domotique</b>	<b>1</b>
1.1 Introduction	1
1.2 Domotique et maison intelligente	1
1.2.1 Définition de la domotique	1
1.2.2 Maison connectée	2
1.2.3 Fonctionnement de la domotique	2
1.2.4 Les technologies de la domotique	3
1.2.5 Domaines d'application	3
1.3 La sécurité domotique	4
1.4 Les types de système de sécurité domestique	5
1.4.1 La vidéosurveillance	5
1.4.2 Contrôle d'accès	6
1.4.3 Détection d'intrusion	7
1.4.4 Détection d'émanation de gaz toxique	8
1.5 Conclusion	10
<b>2 Les systèmes embarqués</b>	<b>11</b>
2.1 Introduction	11
2.2 Les systèmes embarqués	11
2.2.1 Définition	11
2.2.2 Caractéristiques des systèmes embarqués	11
2.2.3 Architecture générale	12
2.2.4 Types de systèmes embarqués	13
2.3 Les microcontrôleurs	13
2.3.1 Définition	13
2.3.2 Avantages	14
2.3.3 Les mémoires	15
2.3.4 Les jeux d'instructions CISC et RISC	16
2.3.5 Choix d'un microcontrôleur	17
2.4 L'ESP32	18
2.4.1 Présentation	18
2.4.2 Processeur Xtensa LX	19
2.4.3 La carte LILYGO TTGO T-CALL V1.3	19
2.4.4 Fonctionnalités de la carte LILYGO TTGO T-CALL	21
2.5 La technologie RFID	26
2.5.1 Présentation	26

2.5.2	Le fonctionnement de la technologie RFID . . . . .	27
2.5.3	Domaines d'applications pour la technologie RFID . . . . .	27
2.6	Conclusion . . . . .	29
<b>3</b>	<b>Conception</b>	<b>30</b>
3.1	Introduction . . . . .	30
3.2	Analyse des besoins fonctionnels . . . . .	30
3.3	Objectifs du projet . . . . .	30
3.4	Fonctionnalités du système de sécurité . . . . .	31
3.4.1	Application Embarquée . . . . .	32
3.4.2	ESP 32-CAM . . . . .	40
3.4.3	FREERTOS . . . . .	42
3.4.4	Application mobile . . . . .	44
3.5	Conclusion . . . . .	47
<b>4</b>	<b>Réalisation</b>	<b>48</b>
4.1	Introduction . . . . .	48
4.2	Outils et développements . . . . .	48
4.2.1	Application Embarquée . . . . .	48
4.2.2	Développement de l'application Android . . . . .	52
4.2.3	Base de données en temps réel Firebase . . . . .	52
4.3	Réalisation de notre système . . . . .	53
4.3.1	Réalisation du serveur de streaming . . . . .	54
4.3.2	Réalisation de l'unité de traitement . . . . .	55
4.4	Implémentation des tâches de l'unité de traitement . . . . .	71
4.5	Test et Implémentation . . . . .	73
4.5.1	Application embarquée . . . . .	73
4.5.2	Application Mobile . . . . .	78
4.6	Conclusion . . . . .	81
	<b>Conclusion Générale</b>	<b>82</b>

# Table des figures

1.1	Illustration d'une maison avec un système domotique	2
1.2	Les différentes technologies de la domotique	3
1.3	Différents domaines d'application de la domotique	4
1.4	Équipement de la sécurité domotique	5
1.5	Schéma de câblage Système de vidéosurveillance IP	6
1.6	Équipements d'un contrôle d'accès avec badge RFID	7
1.7	Système anti intrusion	8
1.8	Détecteur autonome de gaz Butane, Propane et gaz de ville	9
1.9	Détecteur autonome de Monoxyde de carbone	9
1.10	Détecteur de gaz de ville pour système d'alarme	9
2.1	Structure générale d'un système embarqué	12
2.2	Éléments interne d'un microcontrôleur	14
2.3	Type de mémoires	15
2.4	Modèles de microcontrôleurs	17
2.5	Microcontrôleur ESP32 Wrover-B	18
2.6	Architecture Xtensa	19
2.7	Schéma fonctionnel de l'ESP 32 [15]	20
2.8	Carte LILYGO TTGO T-CALL V1.3 [10]	21
2.9	Pin de la carte TTGO T-CALL V1.3 [10]	22
2.10	Liaisons SPI entre un maître et un esclave	23
2.11	Liaison SPI entre un maître et un esclave	23
2.12	Communication Wifi via Internet	24
2.13	Architecture du réseau GSM [C.D04]	25
2.14	Architecture du réseau GSM [19]	26
2.15	Module GSM SIM800L intégré à la carte TTGO T-CALL V1.3	26
2.16	Fonctionnement de la technologie RFID	27
2.17	exemple de domaines d'application de la technologie RFID	28
3.1	Architecture du système de sécurité utilisé	31
3.2	Diagramme d'activité du système embarqué. Cas : alarme activée	32
3.3	Diagramme d'activité du système embarqué, cas Alarme désactivé	33
3.4	Diagramme d'activité du fonctionnement de capteur de gaz ,détecteur de flamme et de monoxyde de carbone	34
3.5	Diagramme d'activité de l'ouverture de la porte par carte RFID	35
3.6	Détecteur de mouvement BTE 16-19	36
3.7	Détecteur de gaz Méthane MQ-4	37
3.8	Capteur infrarouge de détection de flamme	38
3.9	Détecteur de Monoxyde de carbone MQ7	39

3.10	La carte ESP32-CAM . . . . .	40
3.11	Les broches de l'ESP 32-CAM . . . . .	41
3.12	Logo FreeRTOS . . . . .	42
3.13	Diagramme d'état d'une tâche [19] . . . . .	43
3.14	Diagramme d'activité du fonctionnement de l'application Android . . . . .	45
3.15	diagramme d'activité d'ajout de TAG/CARTE RFID . . . . .	46
4.1	IDE Arduino . . . . .	49
4.2	les boutons de l'IDE Arduino . . . . .	49
4.3	Un code minimal . . . . .	50
4.4	L'interface de Fritzing . . . . .	51
4.5	Logo Android Studio . . . . .	52
4.6	Logo Java . . . . .	52
4.7	Logo Firebase RealTime Database . . . . .	53
4.8	schéma synoptique du fonctionnement du système . . . . .	54
4.9	Schéma de câblage du module FTDI à l'ESP-CAM . . . . .	55
4.10	Schéma câblage Micro et haut-parleur du module SIM800L . . . . .	56
4.11	Schéma graphique câblage Micro et haut-parleur du module SIM800L . . . . .	56
4.12	Ecran 2.8 TFT 320x240 tactile . . . . .	57
4.13	Logo LVGL . . . . .	58
4.14	Schéma de câblage ILI9341 . . . . .	59
4.15	Schéma graphique câblage ILI9341 . . . . .	59
4.16	Schéma de câblage serrure solénoïde . . . . .	61
4.17	schéma graphique câblage serrure solénoïde . . . . .	61
4.18	Schéma de câblage bouton poussoir . . . . .	62
4.19	Schéma Graphique câblage bouton poussoir . . . . .	63
4.20	Schéma de câblage RC522 . . . . .	64
4.21	Schéma graphique câblage RC522 . . . . .	64
4.22	Schéma de câblage MQ4 . . . . .	65
4.23	Schéma graphique de câblage MQ4 . . . . .	66
4.24	Schéma câblage Capteur de mouvement . . . . .	67
4.25	Schéma graphique câblage capteur de mouvement . . . . .	67
4.26	Schéma de câblage Capteur de MQ7 . . . . .	68
4.27	Schéma graphique câblage capteur MQ7 . . . . .	69
4.28	Schéma de câblage détecteur de flamme . . . . .	70
4.29	Schéma graphique câblage de détecteur de flamme . . . . .	70
4.30	Diagramme des tâches du système . . . . .	71
4.31	capture d'écran de veille . . . . .	73
4.32	Capture d'écran d'accueil . . . . .	74
4.33	capture d'écran porte ouverte . . . . .	74
4.34	Capture d'écran voir la caméra . . . . .	75
4.35	Capture d'écran Alarme . . . . .	75
4.36	Ecran Authentification Paramètres . . . . .	76
4.37	Capture d'écran Paramètres . . . . .	76
4.38	Captures d'écran de connexion au wifi . . . . .	77
4.39	Ecran changer le mot de passe administrateur . . . . .	77
4.40	Interface de l'application mobile . . . . .	78
4.41	Scénario de l'ajout d'un appareil . . . . .	79

4.42 interface du menu . . . . .	79
----------------------------------	----

# Liste des tableaux

- 2.1 Tableau comparatif des instructions CISC et RISC . . . . . 17
- 4.1 Tableau explicatif des boutons de l'interface Arduino . . . . . 50

# Abréviations

<b>ADC</b>	Analogue To Digital Converter
<b>AES</b>	Advanced Encryption Standard
<b>AO</b>	Analogic Output
<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>ASIC</b>	Application Specific integrated circuit
<b>ATM</b>	Automated Teller Machine
<b>AVR</b>	Automatic Voltage Regular
<b>BLE</b>	Bleutooth Low Energy
<b>CAN</b>	Convertisseur Analogique Numérique
<b>CISC</b>	Complexe Instruction Set Computer
<b>CNA</b>	Convertisseur Numérique Analogique
<b>CO</b>	Monoxyde de Carbone
<b>CPL</b>	Courans Porteurs en Ligne
<b>CPU</b>	Central Processing Unit
<b>DAC</b>	Digital To Analogue Converter
<b>DO</b>	Digital Output
<b>ECC</b>	Elliptic Curve Cryptography
<b>EEPROM</b>	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
<b>EPROM</b>	Erasable Programmable Read Only Memory
<b>FTP</b>	Foiled Twisted
<b>GPIO</b>	General Purpoe Input Output
<b>GSM</b>	Global System for Mobile
<b>HTTP</b>	Hyper Text Transfer Protocol
<b>IOS</b>	Internetwork Operating System
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>IRQ</b>	Interrupt Request
<b>JPEG</b>	Joint Photographic Experts Group
<b>LED</b>	Light Emitting Diode
<b>MP3</b>	Metriod Prime
<b>OS</b>	Operating System
<b>PDA</b>	Personal Digital Assistant

**PHP** Wireless Fidelity  
**PIC** Peripheral Interface Controller  
**PIR** Pyroelectric InfRed  
**RAM** Random Access Memory  
**RFID** Radio Frequency Identification  
**RISC** Reduced Instruction Set Computer  
**ROM** Read Only Memory  
**RTOS** Real Time Operating System  
**SDIO** Secure Digital Input Output  
**SDK** Software Development Kit  
**SIMD** Single Instruction Multiple Data  
**SoC** System on Chip  
**SPI** Serial Peripheral Interface  
**TFT** Thin Film Transistor  
**USB** Universal Serial Bus  
**WIFI** Hyper Text Transfer Protocol

# Introduction Générale

La sécurité est sans doute l'un des domaines qui préoccupent le plus les particuliers et les professionnels. Incendies, intoxications au monoxyde de carbone, cambriolage, fuites de gaz, les dangers face auxquels il faut se protéger sont malheureusement nombreux.

Toute personne souhaite que sa maison soit surveillée, de ce fait plusieurs possibilités telles que des caméras de surveillances, des systèmes d'alarme et des détecteurs sont envisageables. Toutes présentent néanmoins en général un grand défaut qui est le manque d'automatisme. Il suffit en effet d'oublier d'activer le système de protection en quittant la maison pour que le propriétaire se retrouve dans une situation critique, laissant sa maison sans moyens de surveillance. Ces différents systèmes de sécurité sont aussi très coûteux à mettre en place.

Par conséquent la sécurité domotique est devenue indispensable, ce qui a conduit au développement de systèmes performants permettant de prévenir les principaux risques. La première disposition à prendre, consiste en l'évaluation des zones à risque et la mise en œuvre des techniques nécessaires pour prévenir les incidents.

Un système de sécurité domotique constitue un moyen fiable pour protéger une habitation. Il en existe plusieurs types de différentes gammes et de différents coûts. Le système est composé d'un panneau de commande et de détecteurs placés stratégiquement à l'intérieur et autour de l'habitation. Le système déclenche une alarme en cas d'intrusion ou tout autre danger (feu, fuite de gaz, etc.). Une fois l'alarme déclenchée, le système active une sirène et envoie une alerte vers un numéros de téléphone ou un centre de surveillance, dissuadant ainsi la plupart des cambrioleurs et prévenant les dangers qui peuvent survenir, permettant ainsi aux résidents de réagir sur place.

Dans ce mémoire nous présentons la conception et la réalisation d'un système de sécurité complet (contrôle d'accès, détection d'intrusion, détection d'émanation de gaz toxiques et vidéosurveillance) pour une maison. Ce système est réalisé autour de la carte LILYGO TTGO T-CALL V 1.3 intégrant un module GSM. Cette carte a pour rôle le traitement des données reçues et la transmission des alertes déclenchées vers un Smartphone. Il est composé de plusieurs capteurs pour l'acquisition des données et de plusieurs actionneurs pour pouvoir agir de manière adéquate aux différents dangers. Le système est aussi doté d'un serveur de streaming pour pouvoir visionner la caméra de surveillance à distance et en temps réel. Il peut être contrôlé à distance grâce à une application mobile. Pour ce faire, nous avons subdivisé ce mémoire en quatre chapitres.

- Le premier chapitre décrit la domotique et la sécurité domotique. Il décrit ensuite quelques systèmes de sécurité et leurs fonctionnements respectifs.
- Le deuxième chapitre est consacré aux systèmes embarqués et décrit la carte LILYGO

TTGO T-CALL utilisé pour notre travail.

- Le troisième chapitre porte sur les différentes étapes de conception du système de sécurité.
- Le quatrième chapitre porte sur la réalisation du système de sécurité et les tests effectués sur celui-ci.
- La conclusion générale synthétise le travail réalisé et ouvre la voie sur quelques perspectives qui peuvent être développées.

# Chapitre 1

## La domotique et la sécurité domotique

### 1.1 Introduction

La technologie nous procurent quotidiennement du confort et de la sécurité. Nous la retrouvons dans notre vie quotidiennes sous différentes formes, parmi elles la domotique.

La domotique nous permet de contrôler de manière automatique et à distance les différents appareils connectés de la maison. La sécurité est devenue une préoccupation majeure de la domotique, vu l'augmentation considérable des cambriolages à domicile, du nombre de victimes dû aux fuites de gaz toxiques (monoxyde de carbone, gaz de ville et gaz butane) et d'incendies ménagers enregistrés au cours des dernières décennies.

Renforcer la sécurité d'une maison est la première étape dans la prévention des cambriolages. Tout d'abord, il s'agit d'évaluer l'accessibilité d'un cambrioleur dans le domicile, c'est pour cela qu'il est nécessaire de mettre en œuvre un bon système de sécurité pour réduire le risque d'intrusion dans une habitation.

Dans ce chapitre nous abordons la notion de la domotique ainsi que sa sécurité en précisant par la suite les différents types de systèmes de sécurités.

### 1.2 Domotique et maison intelligente

#### 1.2.1 Définition de la domotique

La domotique rassemble les différentes techniques qui permettent de contrôler, de programmer et d'automatiser une habitation. Elle regroupe et utilise ainsi les domaines de l'électronique, de l'informatique, de la télécommunication et des automatismes [1].

La domotique permet de centraliser le contrôle des différents systèmes et sous-systèmes de la maison et de l'entreprise (chauffage, volets roulants, porte de garage, portail d'entrée, prise électrique, etc.). Elle vise à apporter des solutions techniques pour répondre aux besoins de confort (gestion d'énergie, optimisation de l'éclairage et du chauffage), de sécurité (alarme) et de communication (commandes à distance, signaux visuels ou sonores, etc.) que l'on peut trouver dans les maisons, les hôtels, les lieux publics, etc.

### 1.2.2 Maison connectée

La « maison connectée » est une expression pour désigner un habitat où plusieurs éléments sont contrôlés à distance, éventuellement de manière automatisée : le chauffage, la lumière, les alarmes, etc. Lorsque plusieurs appareils sont connectés entre eux via une commande centrale, on parle d'installation domotique [2].

La maison connectée, dite aussi « maison intelligente », repose sur un concept simple : les appareils sont capables de communiquer, que ce soit entre eux, avec une intervention humaine, ou avec un système de commande central automatisé. La Figure 1.1 illustre une maison contrôlée grâce à la domotique.



FIGURE 1.1 – Illustration d'une maison avec un système domotique

### 1.2.3 Fonctionnement de la domotique

Aujourd'hui, les différents objets connectés de la maison ne se contentent plus d'être automatisés ou contrôlables ; ils interagissent ensemble pour notamment offrir aux habitants des maisons intelligentes un véritable confort d'usage, tout en gagnant en sécurité et en optimisant la consommation énergétique. Il est ainsi possible par exemples de régler le chauffage par zones, de simuler une présence, en couplant l'installation avec une télécommande universelle ou avec un simple appui sur une touche sur son Smartphone, le pilotage s'effectue de n'importe où, en fonction des besoins.

Concrètement, la domotique consiste à mettre en réseau différents appareils connectés dans une maison et à centraliser les commandes. Ces appareils sont déjà souvent présents (radiateurs, ventilation, éclairage, etc.) auxquels on ajoute des moyens de communication au sein de la maison. Chaque appareil est connecté avec d'autres via un appairage, qui consiste à associer deux ou plusieurs appareils entre eux. Cet appairage permet par exemple de dire à un interrupteur quel groupe de lampes il va devoir allumer. L'appairage peut se faire directement entre deux objets, ou via un boîtier domotique qui sert d'intermédiaire.

Chaque groupe d'appareils (éclairage, chauffage, volets roulants, etc.) est pilotable via une ou plusieurs applications installées sur des Smartphones, tablettes, ordinateur, télécommande, etc. C'est cette application qui, à distance, permet de transmettre une requête (augmentation

de la température, éclairage d'une pièce, démarrage de la télévision).

Les objets de l'habitat sont ainsi considérés comme intelligents. Ils sont équipés de capteurs qui vont mesurer et détecter les habitudes des personnes vivant dans la maison. Les informations telles que les arrivées et les sorties, sont toutes enregistrées et envoyées à la centrale pour réagir en fonction des scénarios programmés.

### 1.2.4 Les technologies de la domotique

Dans le cadre d'une utilisation à l'échelle d'une habitation, la domotique peut utiliser trois technologies de communication illustrées dans la Figure 1.2 :

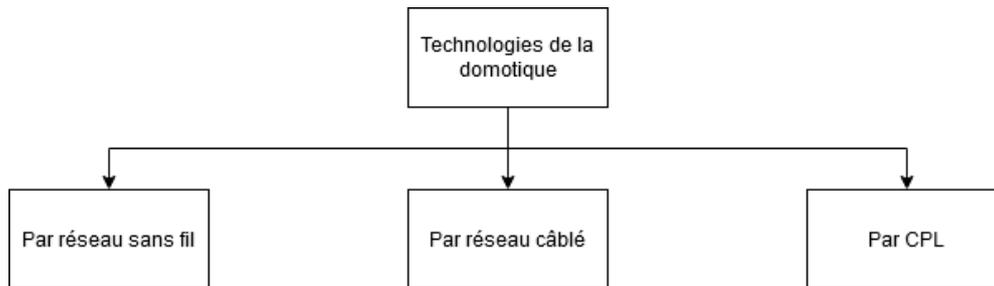


FIGURE 1.2 – Les différentes technologies de la domotique

- **La technologie par réseau sans fils** : elle permet le contrôle de tous les équipements électriques de l'habitation par des protocoles de communication à distance. Fiable, elle est rapidement opérationnelle et elle occasionne peu de pollution électromagnétique.
- **La technologie par réseau câblé** : elle permet d'interconnecter tous les appareils de la maison plus facilement par câble. Elle est bien plus fiable comparée à la technologie sans fils grâce à son insensibilité face aux perturbations électromagnétiques mais son installation nécessite généralement des travaux et s'avère plus longue. Elle est en conséquence plutôt destinée aux constructions neuves.
- **La technologie CPL** : elle utilise les prises de courant électrique du domicile pour transmettre les informations entre les appareils et les unités de commande. Ainsi, chaque prise reçoit les données qui lui sont destinées pour une gestion simplifiée et un coût d'installation réduit. Ce dispositif facile à mettre en œuvre est parfait pour les locataires puisque l'installation les suit lors de leurs différents déménagements. En revanche, le défaut de cette technologie est qu'elle génère davantage de pollution électromagnétique que les deux autres.

### 1.2.5 Domaines d'application

Les domaines d'application sont au cœur de notre vie quotidienne. Ils peuvent être regroupés selon 4 principaux domaines[GMLA10] représentés dans la Figure 1.3 :

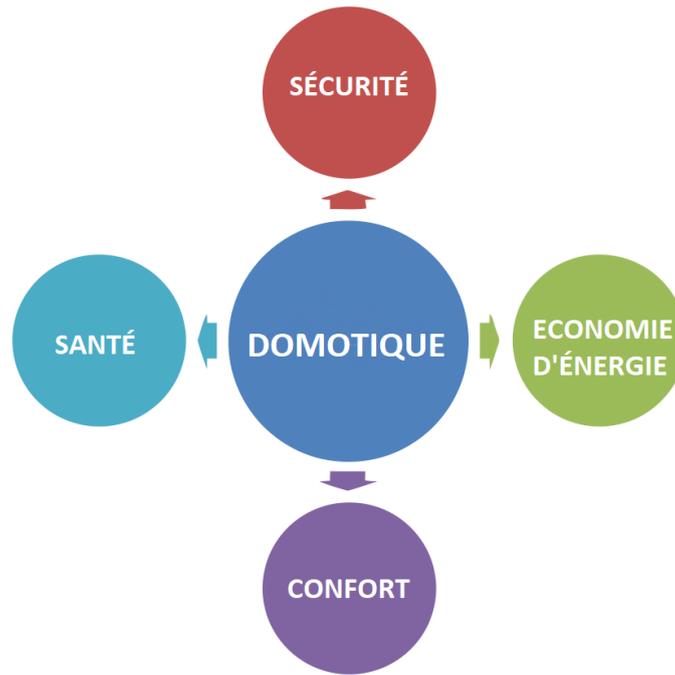


FIGURE 1.3 – Différents domaines d'application de la domotique

- **La santé :** Cette application de la domotique est essentiellement prévue pour le suivi des personnes fragiles (Âgées, Handicapées, Malentendantes ou Sourdes...). Nous pouvons imaginer qu'un équipement installé sur une personne ou dans son domicile contrôle un certain nombre de paramètres comme : son rythme cardiaque, sa température corporelle, son taux de glycémie (pour le cas d'un diabétique), la qualité de l'air, etc.
- **Les économies d'énergie :** Le système domotique nous permet d'économiser de l'énergie, et donc de l'argent, en gérant les volets selon la saison, le chauffage, etc.
- **Le confort :** La domotique permet d'améliorer le confort et de simplifier notre quotidien. Par exemple, notre maison est capable de savoir quand nous rentrons, et donc ça permet d'ouvrir le portail de la même façon, il est même possible de diffuser automatiquement notre playlist musicale préférée à notre réveil.
- **La sécurité :** Cette application de la domotique est un domaine important. Le but est d'éviter les intrusions, les tentatives de violations, incendie, inondation, fuite de gaz, etc.

Dans notre projet nous nous intéressons plus particulièrement au domaine de la sécurité domotique.

## 1.3 La sécurité domotique

La sécurité d'une manière générale est destinée à prévenir un accident ou un événement dommageable ou à en limiter les effets. Par ailleurs la sécurité domotique consiste globalement, à garantir le bien être des biens et des personnes et prévenir les dangers de toutes sortes qui peuvent survenir tels que : les fuites de gaz, les risques d'incendie, les cambriolages, l'intoxication au monoxyde de carbone... etc. Assurer cette tâche passe d'abord par la mise en place de dispositifs dédiés à la protection des biens et des personnes comme des serrures fiables (Smart Lock), des systèmes d'alarmes connectées vers un service de surveillance.

Quand on parle de sécurité domotique, les possibilités sont quasiment infinies : caméras de surveillance, détecteurs de mouvement, alarmes sonores et visuelles, simulation de présence, contrôles d'accès ... etc. La figure 1.4 suivante illustre un système de sécurité domotique.



FIGURE 1.4 – Equipement de la sécurité domotique

Pour assurer cet aspect sécuritaire, plusieurs types de systèmes de sécurité peuvent être associés au système domotique.

## 1.4 Les types de système de sécurité domestique

La sécurité domestique est un enjeu primordial au quotidien, elle peut se présenter sous différents systèmes, chacun spécialisé et capable de prévenir des dangers spécifiques. Ces différents systèmes sont abordés dans les points suivants.

### 1.4.1 La vidéosurveillance

#### Fonctionnement de la vidéosurveillance

La vidéosurveillance est un ensemble de caméras qui filme en permanence ou selon des horaires programmés un espace public ou privé. Ce système permet de visionner les images filmées par ses caméras en local ou à distance [3].

L'objectif général de la vidéosurveillance est de contribuer à la sécurité des biens et des personnes, de prévenir les intrusions et les dégradations de la part de personnes malveillantes. C'est un moyen de dissuasion et de collecte de preuve, associé à un accès à distance, elle permet de visualiser à distance et en temps réel les zones à risques et de visionner un enregistrement pour constater des faits et agir en conséquence.

#### Matériels utilisés pour la vidéosurveillance

La vidéosurveillance utilise un ensemble de caméras de surveillance IP ou analogique, disposé à l'intérieur et/ou à l'extérieur du domicile. Reliées à un enregistreur vidéo numérique par fil (Câble FTP ou Câble coaxial) ou par solution sans fil, qui traite automatiquement et enregistre les images prises par celles-ci.

L'enregistreur s'il est relié à un réseau internet peut être accessible à distance. Ainsi les images peuvent être visionnées en temps réel ou en différé.

La Figure 1.5 suivante montre le schéma d'installation d'un système de vidéosurveillance IP, relié à un réseau internet :

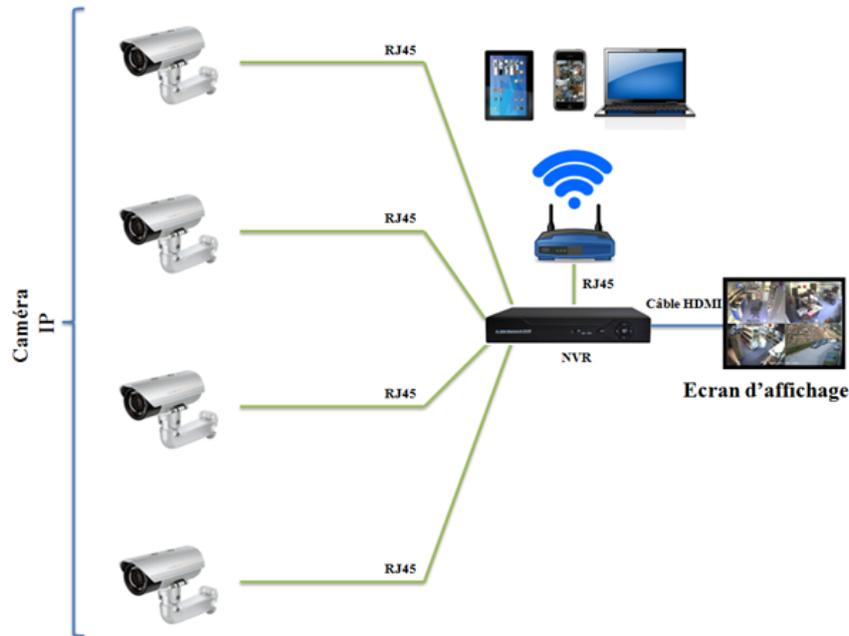


FIGURE 1.5 – Schéma de câblage Système de vidéosurveillance IP

### 1.4.2 Contrôle d'accès

#### Fonctionnement d'un contrôle d'accès

Le contrôle d'accès est un composant fondamental de la sécurité domestique. C'est une technique qui consiste à soumettre l'entrée d'une zone sensible, à une autorisation d'accès. Cette autorisation d'accès a pour but de protéger des personnes, des biens ou des informations [4]. Pour pouvoir pénétrer un accès contrôlé, il faut présenter devant un lecteur fixe un moyen d'identification, c-à-d un badge RFID, une empreinte digitale, un visage ou une rétine préenregistré et ayant le droit d'accès, ce qui permettra d'accéder au lieu contrôlé.

#### Matériels utilisés pour le contrôle d'accès

Le contrôle d'accès se fait grâce à un lecteur qui permet de vérifier si la personne a le droit d'accéder au domicile, il existe différent type de vérification[4] :

- La vérification par empreinte digital ;
- La vérification par carte ou par badge RFID ;
- La vérification par reconnaissance facial ;
- La vérification à l'aide de la rétine de l'œil ;
- Etc...

La figure 1.6 montre les équipements nécessaires pour l'installation d'un contrôle d'accès avec badge RFID.



FIGURE 1.6 – Équipements d'un contrôle d'accès avec badge RFID

### 1.4.3 Détection d'intrusion

#### Fonctionnement de la détection d'intrusion

La détection d'intrusion consiste en l'installation d'équipements visibles capables de détecter toute tentative ou fait d'intrusion et d'agir en conséquence.

Les différents détecteurs disposés au sein de la maison envoient des données à une centrale pour le traitement et la prise de décision.

Lorsque la décision de l'alerte est prise, une alarme sonore et visuelle est émise et un message d'alerte est envoyé au propriétaire et aux autorités compétentes.

La détection d'intrusion s'applique lorsqu'une personne mal intentionnée essaie de s'introduire au sein de la maison. Dans ce cas il y a déjà préjudice, c'est pour cela qu'elle doit être associée à la simulation de présence. Cette dernière permet d'allumer et éteindre une lampe de façon aléatoire, allumer la télévision à des heures spécifiques, fermer les volets électrique pour simuler la présence des occupants d'une habitation. Cela dans le but de dissuader ces personnes mal intentionnées de réaliser des tentatives d'effraction.

#### Matériels utilisés pour la détection d'intrusion

Le système de détection d'intrusion est composé de plusieurs détecteurs :

- Détecteur de mouvement ;
- Détecteur de brise vitre ;
- Détecteur de contact.
- Etc...

Ces détecteurs sont disposés de manière à couvrir toutes les zones dites de danger. Ils sont reliés à une centrale qui centralise et traite les informations envoyées par les détecteurs et prend la décision de lancer l'alerte.

Le lancement d’alerte se fait grâce à une sirène reliée à la centrale, elle émet un son et une lumière très forte déstabilisant ainsi la personne qui s’est introduite. La figure 1.7 suivante montre un système de détection d’intrusion complet :



FIGURE 1.7 – Système anti intrusion

### 1.4.4 Détection d’émanation de gaz toxique

#### Fonctionnement de la détection d’émanation de gaz toxique

La détection d’émanation de gaz toxiques permet de prévenir les habitants d’une maison de la présence d’un taux de gaz dans l’air dangereux. Ces gaz toxiques sont ceux que nous retrouvons fréquemment dans les habitations domestiques : le monoxyde de carbone (CO), le Gaz de ville (méthane) et le gaz en bouteille (Butane).

Lors de la détection d’un taux de gaz dans l’air à un seuil au-dessus de la normale, le détecteur émet une alarme sonore et visuelle pour avertir les personnes à l’intérieur du domicile. Il peut aussi envoyer un message d’alerte au propriétaire et/ou les autorités compétentes. Ajouté à cela la fermeture automatique de la vanne de gaz, et le déclenchement d’un extracteur pour évacuer les gaz toxiques.

#### Matériels utilisés pour la détection d’émanation de gaz toxique

La détection se fait à l’aide de détecteurs autonomes qui surveillent, traitent et avertissent grâce à une sirène et un point lumineux intégré aux détecteurs.

La détection peut aussi se faire grâce à des détecteurs reliés à un système d’alarme, qui surveillent les pièces à risques, puis envoient les données à la centrale d’alarme pour le traitement et la prise de décision. Les figures 1.8, 1.9 et 1.10 suivantes montrent les différents types de détecteurs de gaz toxiques :



FIGURE 1.8 – Détecteur autonome de gaz Butane, Propane et gaz de ville



FIGURE 1.9 – Détecteur autonome de Monoxyde de carbone



FIGURE 1.10 – Détecteur de gaz de ville pour système d'alarme

## 1.5 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons introduit d'une part la notion de la domotique et de la maison intelligente, ses différents points de technologie et ses domaines d'application.

D'autre part nous avons abordé l'aspect sécuritaire et les différents types de systèmes de sécurité domestique, à savoir la Vidéosurveillance, Contrôle d'accès, Détection d'intrusion, Détection d'émanation de gaz toxique tout en expliquant leur fonctionnement et leurs équipements.

Dans le chapitre suivant nous présenterons les systèmes embarqués et les microcontrôleurs en générale et le microcontrôleur ESP32 en particulier.

# Chapitre 2

## Les systèmes embarqués

### 2.1 Introduction

Un système embarqué est défini comme un système électronique et informatique autonome, souvent temps réel, spécialisé dans une tâche précise. Il est utilisé dans plusieurs appareils du quotidien tel que les télévisions, four à micro-ondes, imprimante multifonctions, etc.

Quand un système embarqué fonctionne correctement, son existence est généralement transparente aux utilisateurs. Pour le concevoir, il faut généralement combiner des compétences en électronique, en informatique industrielle et en automatique. Afin de réaliser des tâches précises et en temps réel.

Dans ce chapitre nous allons énoncer quelques notions de base nécessaires sur les systèmes embarqués ainsi que les microcontrôleurs. Nous nous intéressons plus particulièrement au microcontrôleur ESP32 et à la carte Lyligo TTGO T-CALL utilisés dans notre travail.

### 2.2 Les systèmes embarqués

#### 2.2.1 Définition

Un système embarqué est un système complexe autonome qui intègre du logiciel et du matériel conçu ensemble afin de fournir des fonctionnalités spécifiques. Souvent en temps réel, possédant une taille limitée et ayant une consommation énergétique restreinte.[\[M.P07\]](#)

Un système embarqué dispose d'une architecture semblable à celle des ordinateurs. Il est composé d'une partie matérielle comportant un processeur, des mémoires (vive, morte et flash), des interfaces d'entrées/sorties et plusieurs ASIC, et d'une partie logiciel représentant le programme chargé de faire fonctionner le matériel électronique.

#### 2.2.2 Caractéristiques des systèmes embarqués

Les systèmes embarqués sont étudiés pour effectuer des tâches précises. Ci-dessous une série de caractéristiques communes à la majorité des systèmes embarqués, auxquels ils doivent répondre. [\[F.S03\]](#)

- **Dédié** : Un système embarqué est conçu pour une tâche ou application précise.

- **Autonome** : Il doit fonctionner sans l'intervention externe d'un tiers.
- **Fonctionnement en temps réel** : Il doit être capable de réagir aux événements, il doit aussi fournir les résultats des opérations et traitements effectués dans des délais prédéterminés.
- **Fiabilité et sécurité de fonctionnement** : En cas de panne un système embarqué doit toujours pouvoir fonctionner correctement.
- **Coût réduit** : Les coûts de production doivent être réduits au maximum tout en gardant les fonctionnalités. Lorsqu'ils sont fabriqués en grande quantité, leurs prix reviennent moins chers.
- **Poids et volume restreint** : Les systèmes embarqués doivent être portables, leurs volumes et leurs poids ne doivent pas représenter un obstacle.
- **Consommation d'énergie** : La consommation énergétique doit être la plus faible possible, due à l'utilisation de batteries et/ou, de panneaux solaires voire de pile à combustible pour certains prototypes.

### 2.2.3 Architecture générale

Les systèmes embarqués utilisent généralement des microprocesseurs à basse consommation d'énergie ou des microcontrôleurs, dont la partie logicielle est en partie ou entièrement programmée dans le matériel, généralement en mémoire dans une mémoire morte (ROM), EPROM, EEPROM, FLASH, etc. La Figure 2.1 représente l'architecture de base d'un système embarqué qui peut varier d'un système à un autre.

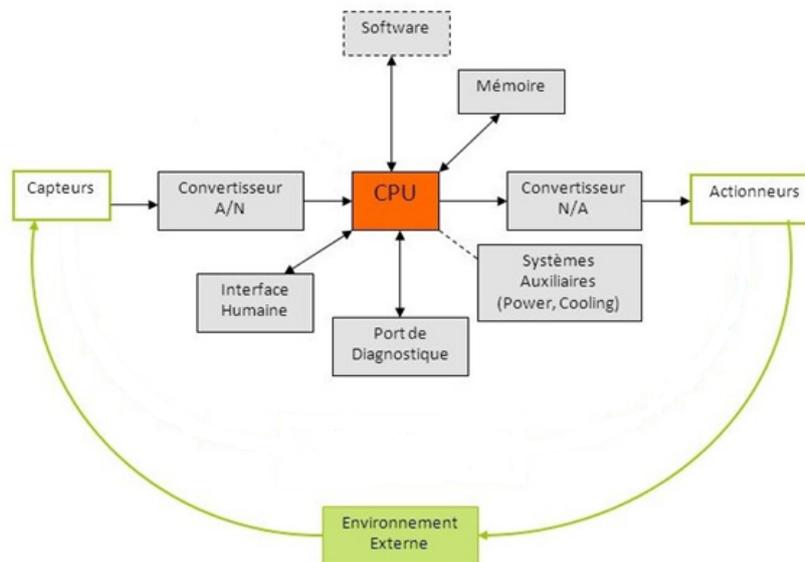


FIGURE 2.1 – Structure générale d'un système embarqué

La plupart du temps le système est composée de 3 unités principales, qui sont définies comme suit [O.A09] :

- **L'unité de captages (d'acquisition)** : Il est responsable de l'acquisition de données de l'environnement extérieur à l'aide de capteur.
- **L'unité de traitement** : Elle est principalement composée de :

- Processeur : Il s'occupe principalement du traitement des données.
- CAN(Convertisseur Analogique Numérique) : Il convertit les données analogiques captées en données numérique afin que le processeur puisse les traiter.
- Mémoire : Elle permet le stockage de données, il en existe plusieurs types : ROM, RAM, EPROM, EEPROM etc.
- Logiciel : La fonctionnalité ou la tâche à exécuter qui est spécifique à l'application.
- ASICs : Ce sont des circuits dédiés à des applications spécifiques. Exemple : une puce conçue pour fonctionner dans un enregistreur vocal numérique ou un mineur bitcoin à haute efficacité.
- CNA : C'est un convertisseur numérique analogique.
- **L'unité de sortie** : Elle comporte :
  - Les actionneurs : C'est des dispositifs chargés d'agir sur l'environnement, en fonction des informations reçues (ex : LED, écran, moteur...). Ils sont couplés au CNA.
  - L'IHM : C'est l'interface homme-machine. Elle permet la communication entre le système et l'homme, comme par exemple : l'écran tactile.

L'architecture d'un système embarqué peut varier selon les types de système embarqué et selon les domaines d'utilisation de l'information embarqués. De ce fait le développement de système embarqué nécessite des connaissances à la fois en électronique et en informatique.

### 2.2.4 Types de systèmes embarqués

On peut distinguer quatre principaux types de systèmes embarqués en fonction du type d'application visé [M.K12] :

- **Calcul général** : Ils exécutent des applications similaires à celles exécutées sur des ordinateurs « traditionnels ». Exemple : les assistants personnels (PDA) et les guichets automatiques bancaires (ATM).
- **Contrôle de système en temps réel** : Ils sont utilisés pour effectuer un contrôle en temps réel d'un système donné, ils contiennent généralement un système d'exploitation temps réel (RTOS). Exemple : on les retrouve dans les moteurs de voiture, les centrales nucléaires et pour le contrôle aérien.
- **Traitement du signal** : Ils permettent de réaliser des calculs sur des gros flux de données. Exemple : le traitement audio et vidéo et les radars et sonars.
- **Réseaux et communications** : Ils effectuent de la transmission de données et réalisent des communications. Exemple : la téléphonie et internet.

## 2.3 Les microcontrôleurs

### 2.3.1 Définition

Un microcontrôleur est un circuit intégré qui rassemble à lui tout seul les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires (mémoire morte et mémoire vive), unités périphériques et interfaces d'entrées-sorties. [G.M16]

Les microcontrôleurs permettent de diminuer la taille, la consommation électrique et le coût des

produits comparés aux microprocesseurs qu'on trouve dans les ordinateurs « Classique ». Ils ont ainsi permis de démocratiser l'utilisation de l'informatique dans un grand nombre de produits et de procédés. Les éléments qu'on peut retrouver, généralement dans un microcontrôleur, sont présentés dans la Figure 2.2 et cités ci-dessous [5] :

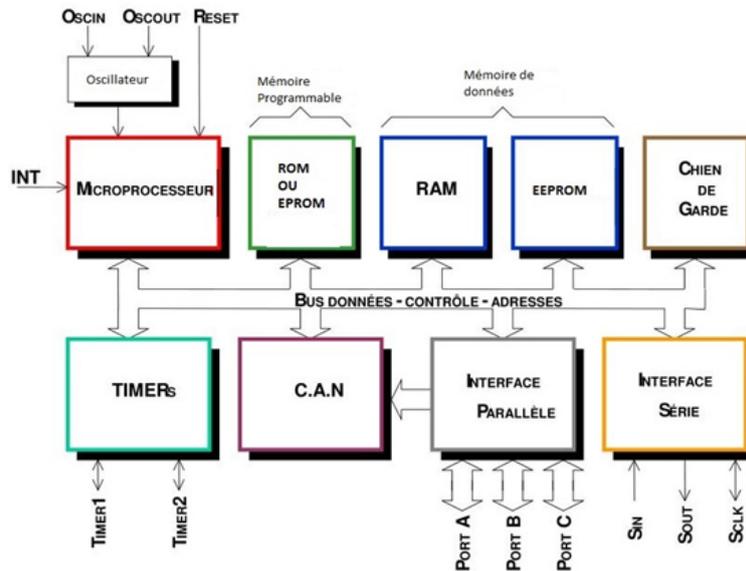


FIGURE 2.2 – Éléments interne d'un microcontrôleur

- **Un microprocesseur** : Il effectue principalement le traitement des informations et de données au rythme définie par la fréquence d'horloge interne. Sa capacité peut aller de 4 à 64 bits, selon le modèle choisis.
- **Une mémoire volatile** : Dite RAM, est une mémoire à accès aléatoire en lecture et écriture. Elle permet de stocker temporairement les données et variables utilisées au cours d'exécution.
- **Une mémoire morte** : Dite ROM, est une mémoire, qui contient le programme de démarrage qui permet de charger l'application depuis la mémoire flash. Il existe plusieurs types de ROM : EPROM, EEPROM, etc.
- **Un oscillateur interne** : Il permet de cadencer le rythme d'exécutions des instructions du processeur.
- **Les entrées sorties** : Ce sont des périphériques d'entrées-sorties, qui offrent la possibilité au processeur de communiquer avec d'autre périphériques externes.
- **Un Watchdog ou chien de garde** : Il s'assure que le système ne reste pas bloquer à une étape particulière.
- **Autre modules** : dont l'ADC, DAC, Timers, Contrôleurs IRQ, etc.

### 2.3.2 Avantages

Les microcontrôleurs offrent plusieurs avantages, dont [5] :

- Diminution de l'encombrement du matériel, grâce à l'intégration de plusieurs éléments.
- Augmentation de la fiabilité du système.

- Consommation énergétique réduite.
- Réduction des coûts de fabrications et de conception.

### 2.3.3 Les mémoires

Dans un système embarqué on retrouve plusieurs types de mémoires qu'on peut classer selon différents critères. La Figure 2.3 montre les différents types de mémoires et cités ci-dessous [R.B09].

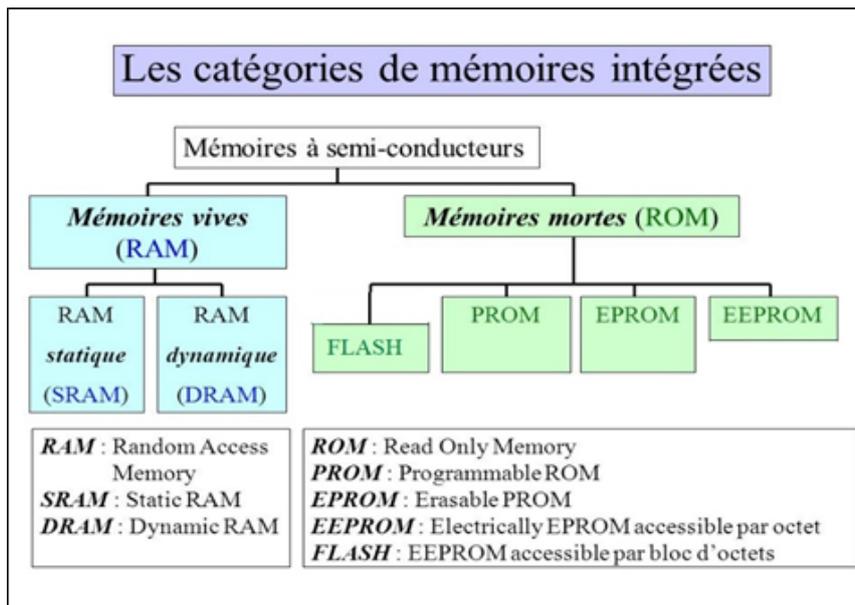


FIGURE 2.3 – Type de mémoires

- **Les mémoires non volatiles** : Ce sont des mémoires à lecture seule avec un temps d'accès lent par rapport à la RAM. Elles contiennent le programme de démarrage, qui permet de charger l'application depuis la mémoire flash. On distingue 4 types :
  - **PROM** : C'est une ROM vierge programmable une seule et unique fois.
    - **Inconvénient** : pas reprogrammable
  - **EPROM** : C'est une mémoire qu'on peut programmer électriquement (en lui appliquant une tension de + 12V), et qu'on peut effacer (en l'exposant à des rayons ultraviolets).
    - **Avantage** : Reprogrammable.
    - **Inconvénient** : peut-être endommagée avec un effacement répété.
  - **EEPROM** : C'est une mémoire qu'on peut programmer et effacer en lui appliquant des tensions électriques.
    - **Avantages** : L'écriture et l'effacement sans dispositifs, l'effacement répété ne l'endommage pas.
  - **FLASH** : Cette mémoire est utilisée pour sauvegarder le programme du système embarqué, qui sera chargé de la mémoire flash à la RAM pour être exécuté. Elle est connue pour sa grande densité de sauvegarde. On peut trouver deux types de mémoire flash :

- LA NAND-FLASH : lente mais a une grande densité de sauvegarde.
  - LA NOR-FLASH : rapide mais a une petite densité de sauvegarde.
  - **Inconvénient** : endommagement de la mémoire avec l'écriture répétée.
- **Les mémoires vives ou volatiles (RAM)** : Ce sont des mémoires à accès aléatoire en lecture et écriture. Elles permettent de stocker temporairement des données. On distingue deux types :
- **SRAM** : C'est une mémoire statique à accès aléatoire, utilisée souvent dans les mémoires caches pour exécuter un bout de code critique (piles...).
  - **Avantage** : très rapide, simple d'utilisation.
  - **Inconvénient** : petite densité de sauvegarde, chère.
  - **DRAM** : C'est une mémoire dynamique à accès aléatoire, elle contient le programme en exécution.
  - **Avantage** : grande densité de sauvegarde.
  - **Inconvénient** : moins rapide et nécessite un rafraichissement périodique.

### 2.3.4 Les jeux d'instructions CISC et RISC

Les processeurs se répartissent en deux grandes catégories :

- Processeurs à jeux d'instruction étendu ou CISC.
- Processeurs à jeux d'instruction réduit ou RISC.

Ces jeux d'instructions représentent l'ensemble des opérations possibles à exécuter. On distingue 4 grandes classes d'instructions [6] :

- Transfert de données : Chargement de la mémoire, sauvegarde en mémoire,transfert de registre en registre, etc.
- Opérations arithmétiques : Addition, soustraction, division, multiplications, etc.
- Opérations logiques : ET, OU, NON, etc.
- Contrôle de séquence : Branchements, tests, etc.

Le Tableau 2.1 ci-dessous montre la différence entre les deux types de jeu d'instructions [7] :

CISC (Complex Instruction Set Computing)	RISC (Reduced Instruction Set Computing)
Instructions complexes prenant plusieurs cycles	Instructions simples ne prenant qu'un seul cycle
Format variable	Format fixe
Décodage complexe et lent	Décodage simple et rapide
Peu de registres	Beaucoup de registres
Toutes les instructions sont susceptibles d'accéder à la mémoire	Seules les instructions de chargement et de rangement ont accès à la mémoire (LOAD, STORE)
Beaucoup de mode d'adressage	Peu de mode d'adressage
Plus d'instructions disponibles (varie entre 75 et 150 instructions) : programmation plus simple et souple	Peu d'instructions disponibles (varie entre 10 et 30 instructions) : programmation difficile
Compilateur simple	Compilateur complexe
Exemple : Intel x86/pentium, Vax.	Tous les microprocesseurs moderne utilisent ce paradigme : MIPS, ARM, Power PC, etc.

TABLE 2.1 – Tableau comparatif des instructions CISC et RISC

### 2.3.5 Choix d'un microcontrôleur

Il y'a un nombre important de modèles de microcontrôleurs. En effet, il existe plusieurs familles proposées par les fabricants. Chaque famille compte des centaines de modèles différents. On peut trouver des microcontrôleurs avec 6 pattes et plus comme le montre la figure 2.4.



FIGURE 2.4 – Modèles de microcontrôleurs

Nous citons ci-dessous quelques critères qui nous permettent de choisir le microcontrôleur adéquat pour notre travail.

- Le nombre de pattes d'entrées-sorties.
- La taille de la mémoire : RAM, ROM.
- La consommation d'énergie électrique : tension de fonctionnement, courant consommé.
- L'adaptation de l'architecture interne aux besoins de l'application.
- L'environnement de développement (disponibilité du matériel et du logiciel).

Nous pouvons notamment citer quelques familles de microcontrôleurs actuels :

- Microcontrôleurs à 8 Bits : PIC : de la société américaine Microship qui a popularisé les microcontrôleurs, AVR : de ATMEL utilisé pour l'Arduino, Dérivés du 80C51, C52.
- Microcontrôleurs à 16 BITS : dsPIC de Microship, MSP430 de Texas instrument.
- Microcontrôleurs à 32 BITS : AVR32, PIC 32, MIPS, PowerPC . . . , ARM, ESP32.

Nous avons choisis l'ESP32 parcequ'il répond a tous les critères dont nous avons besoins pour notre travail.

## 2.4 L'ESP32

### 2.4.1 Présentation

«*Espressif Systems*» est une société de semi-conducteurs qui conçoit, développe et commercialise des puces-systèmes SoC basse consommation à connectivité Wi-Fi et Bluetooth, ainsi que des modules et solutions sans fil pour le marché de l'Internet des objets.

L'entreprise propose plusieurs microcontrôleurs, parmi eux l'ESP32 Wroover B qui est un microcontrôleur 32 bits avec WiFi, Bluetooth et Bluetooth à basse consommation ( BLE). Puissant et générique l'ESP32 Wroover B cible une grande variété d'applications, allant des réseaux de capteurs à faible puissance aux tâches les plus exigeantes, telles que l'encodage vocal, la diffusion de musique et décodage MP3. Elle est compatible avec les shields Arduino[9].

La Figure2.5 suivante montre le microcontrôleur ESP32 Wrover B



FIGURE 2.5 – Microcontrôleur ESP32 Wrover-B

## 2.4.2 Processeur Xtensa LX

Les micro-processeurs de type Xtensa LX équipent les microcontrôleurs ESP32, Ils ont une architecture 32 bits avec un jeu d'instructions compact 16 et 24 bits. Le jeu d'instructions de base comprend 82 instructions RISC et comprend une unité arithmétique logique 32 bits , 16 registres 32 bits à usage général et un registre à usage spécial. La figure 2.6 suivante montre l'architecture du microprocesseur Xtensa.

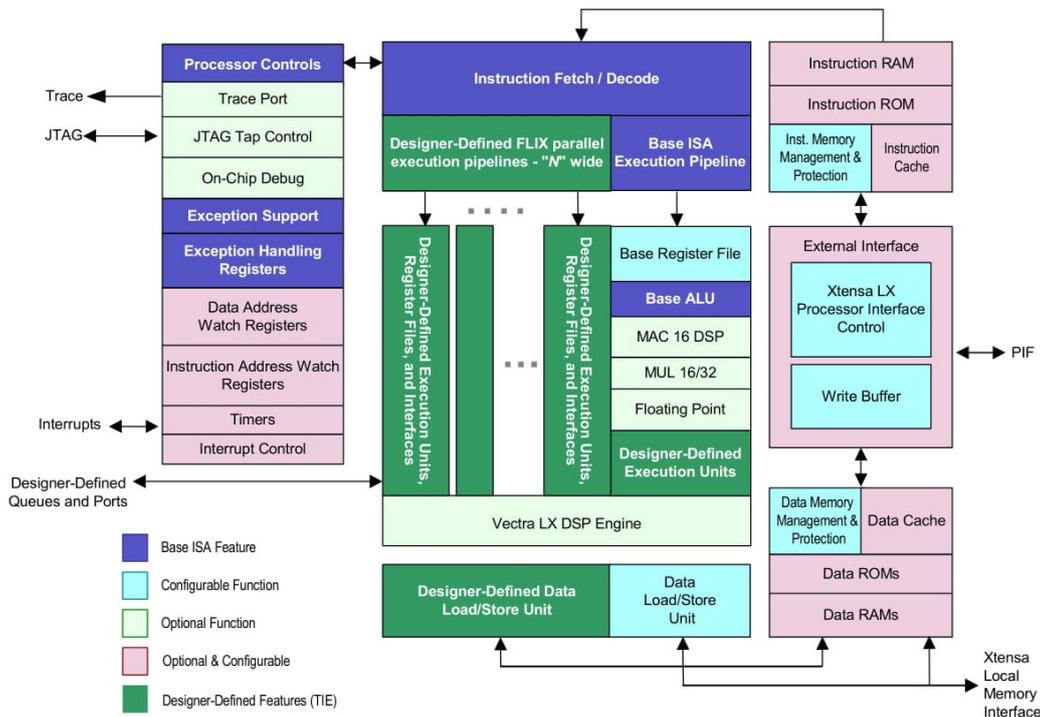


FIGURE 2.6 – Architecture Xtensa

Les processeurs Xtensa vont du petit microcontrôleur à faible consommation d'énergie sans cache aux processeurs SIMD 16 voies hautes performances , aux cœurs VLIW DSP à 3 numéros ou aux processeurs de réseau neuronal TMAC. Tous les DSP standard de Cadence sont basés sur l'architecture Xtensa. L'architecture Xtensa offre un jeu d'instructions personnalisable par l'utilisateur grâce à des outils de personnalisation automatisés qui peuvent étendre le jeu d'instructions de base Xtensa, y compris les instructions SIMD , de nouveaux fichiers de registre. [8]

Il existe plusieurs générations de processeurs Xtensa [8] :

- Xtensa LX - architecture de sixième génération, annoncée en mai 2004.
- Xtensa V - architecture de cinquième génération, annoncée en août 2002.
- Xtensa IV - produit de quatrième génération, annoncé en juin 2001.
- Xtensa III - architecture de troisième génération, annoncée en juin 2000.

## 2.4.3 La carte LILYGO TTGO T-CALL V1.3

La carte LILYGO TTGO T-CALL V1.3 utilisée dans notre travail, est basée sur le microcontrôleur ESP32 Wrover B. Elle est fabriquée par l'entreprise chinoise *Shenzhen Xin Yuan*

*Electronic Technology Co.* La carte peut être utilisée avec la bibliothèque logicielle complète Arduino Software, la plateforme matérielle du kit permet ainsi d'accéder aux fonctionnalités du microcontrôleur et de développer de nombreuses applications facilement, en exploitant ses capacités. [8]

Les caractéristiques de la carte LILYGO TTGO T-CALL V1.3 sont les suivantes [8] :

— **CPU et mémoire :**

- Un microprocesseur Xtensa double-cœur LX 32 bits, 240 MHz et fournissant jusqu'à 600 DMIPS
- Mémoire Flash PSRAM 4 Mo
- Mémoire SRAM 520 Ko

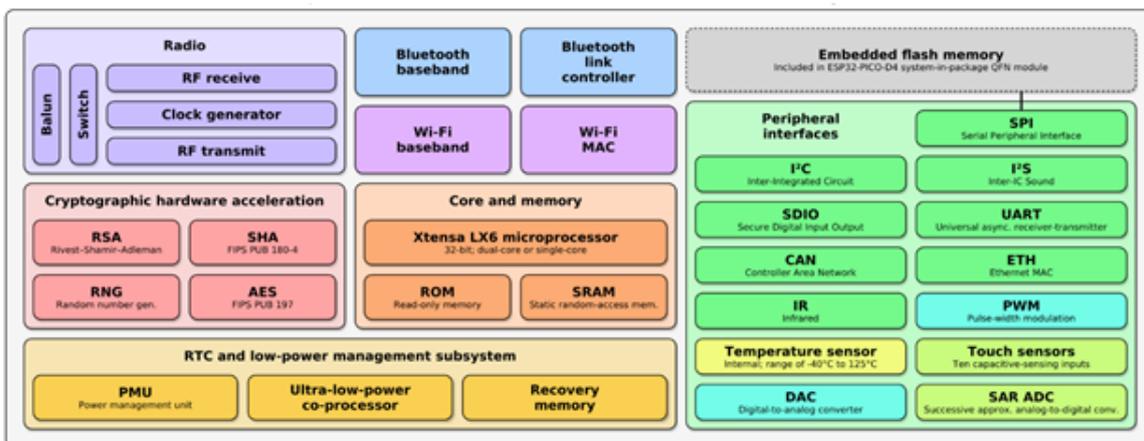


FIGURE 2.7 – Schéma fonctionnel de l'ESP 32 [15]

— **Interfaces et périphériques :**

- 12-bit Segmentation sur les ADC (SAR ADC) jusqu'à 18 canaux ;
- $2 \times 8$  bits DAC ;
- $10 \times$  capteurs de toucher ( GPIO de capteur capacitif)
- 4 SPI ;
- 12 interfaces  $I^2S$  ;
- 2 interfaces  $I^2C$  ;
  - 3 UART ;
  - Contrôleur esclave SDIO/SPI ;
  - Bus de données CAN 2.0 ;
  - Contrôleur infrarouge distant (TX/RX, jusqu'à 8 canaux) ;
  - Moteur PWM ;
  - Préamplificateur analogique ultra-basse consommation ;

— **Sécurité :**

- Secure boot (démarrage sécurisé) ;
- Chiffrement de la Flash ;

- 1024-bit OTP, jusqu'à 768bits pour les clients ;
  - Accélération matérielle du chiffrement : AES, SHA-2, RSA, ECC, générateur de nombre aléatoire.
- **Gestion de l'énergie :**
- Domaines d'alimentation individuels pour le RTC
  - Alimentation en sommeil profond de  $5 \mu A$  ;
  - Réveil depuis des interruptions GPIO, timer, mesure ADC, interruption du capteur de toucher capacitif.
- **Alimentation de la carte.**
- Par bus USB.
  - Par alimentation externe : 3 V ou 5 V.
- **Un bouton RESET.**
- **2 LEDs.**
- **Une interface USB Type-C.**
- **Un Module GSM SIM800L intégré à la carte.**
- **Antenne pour module GSM.**

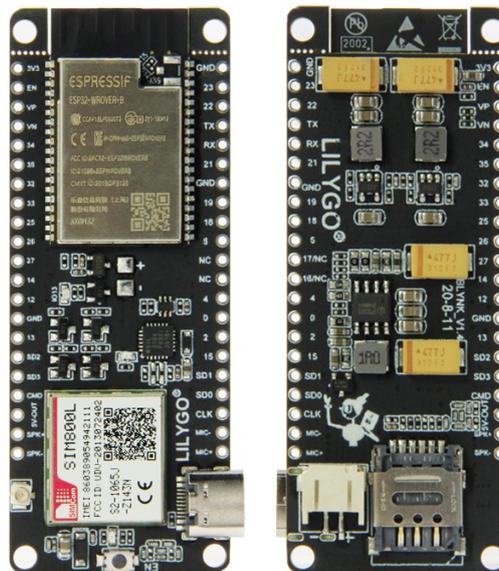


FIGURE 2.8 – Carte LILYGO TTGO T-CALL V1.3 [10]

#### 2.4.4 Fonctionnalités de la carte LILYGO TTGO T-CALL

La carte LILYGO TTGO T-CALL présente plusieurs fonctions d'acquisitions, de traitement et de communication. Nous allons donc présenter uniquement les fonctionnalités en relation avec notre projet, dont :



- **MOSI** — Master Output, Slave Input (généré par le maître)
- **MISO** — Master Input, Slave Output (généré par l'esclave)
- **SS** — Slave Select, Actif à l'état bas (généré par le maître)

La figure 2.10 suivante montre les liaisons SPI entre un maître et un esclave.

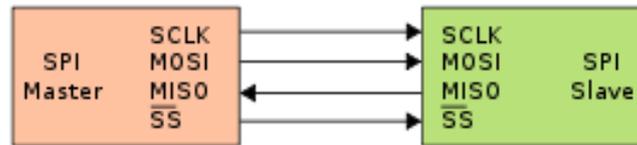


FIGURE 2.10 – Liaisons SPI entre un maître et un esclave

Plusieurs esclaves peuvent coexister sur un même bus, dans ce cas, la sélection du destinataire se fait par une ligne dédiée entre le maître et l'esclave appelé « Slave Select (SS) » comme le montre la Figure 2.11 suivante :

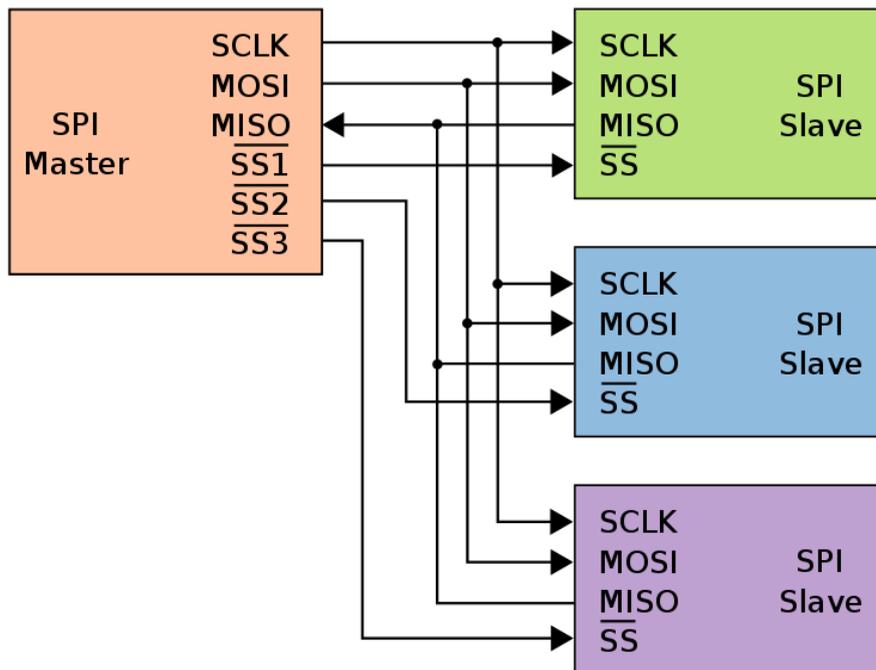


FIGURE 2.11 – Liaison SPI entre un maître et un esclave

### La communication Sans fil (Wifi)

Le Wi-Fi est un ensemble de protocoles de communication sans fil régis par les normes du groupe IEEE 802.11. Un réseau Wi-Fi permet de relier par ondes radio plusieurs appareils informatiques (ordinateur, routeur, smartphone, modem Internet, etc.) au sein d'un réseau informatique afin de permettre la transmission de données entre eux.

La carte LYLIGO TTGO T-CALL intègre la communication sans fil Wifi, elle peut ainsi se connecter à un réseau sans fil et/ou créer son propre réseau sans fil.

La fréquence de communication utilisée par la carte est comprise entre 2.4GHz et 2.5GHz et peut atteindre une distance de 300 mètres. La figure 2.12 suivante illustre une communication Wifi[MPCC10].

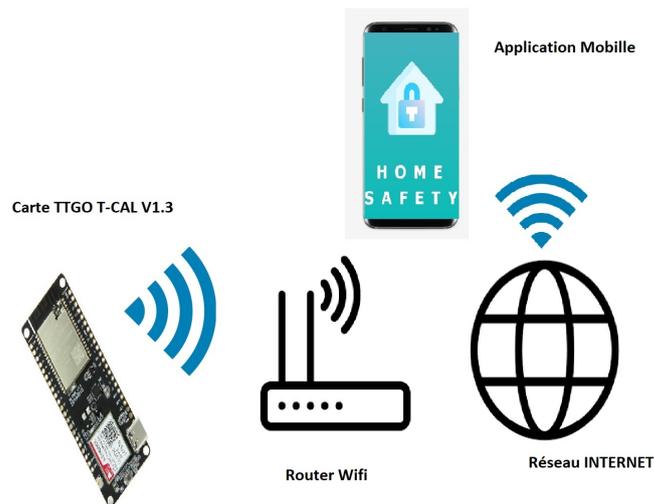


FIGURE 2.12 – Communication Wifi via Internet

### La communication Téléphonique

La communication téléphonique se fait grâce à un réseau téléphonique qui permet l'utilisation simultanée de millions de téléphones sans fil, immobiles ou en mouvement, y compris lors de déplacements à grande vitesse et sur une grande distance.

GSM est l'acronyme de *Global System for Mobile Communications* qui est une norme de téléphonie mobile. C'est le premier réseau développé avec ampleur dans le monde. On parle aussi de GSM lorsqu'on désigne les téléphones mobiles utilisant ce réseau pour communiquer.

Le réseau GSM est idéal pour les communications de type « voix » et de type « texte » (SMS). Le réseau étant commuté, les ressources ne sont allouées que pour la durée de la conversation, comme lors de l'utilisation de lignes téléphoniques fixes.

Il présente un fonctionnement cellulaire : au cœur de chaque cellule, qui désigne une zone géographique plus ou moins étendue, il y a une antenne relais qui permet de faire le lien entre les téléphones mobiles et le réseau. Le réseau permet de passer d'une cellule à une autre sans interrompre la communication et sans que l'utilisateur ne s'en rende compte.

Le réseau GSM utilise les fréquences situées dans la bande 890-960 MHz. On parle du "GSM 900" dans ce cas. D'autres réseaux, connus sous un nom différent, sont aussi des réseaux GSM,

mais utilisant d'autres bandes de fréquences.

On retrouve le GSM 900 et le DCS 1800 en Europe et notamment en France[C.D04]. Il existe d'autres réseaux GSM. Notamment, aux Etats-Unis et au Canada, on trouve :

- le GSM 850, utilisant les fréquences situées entre 824 et 894 MHz.
- le GSM 1900 (appelé PCS 1900), utilisant les fréquences entre 1850 et 1990 MHz.

La figure 2.13 suivante montre l'architecture d'un réseau GSM :

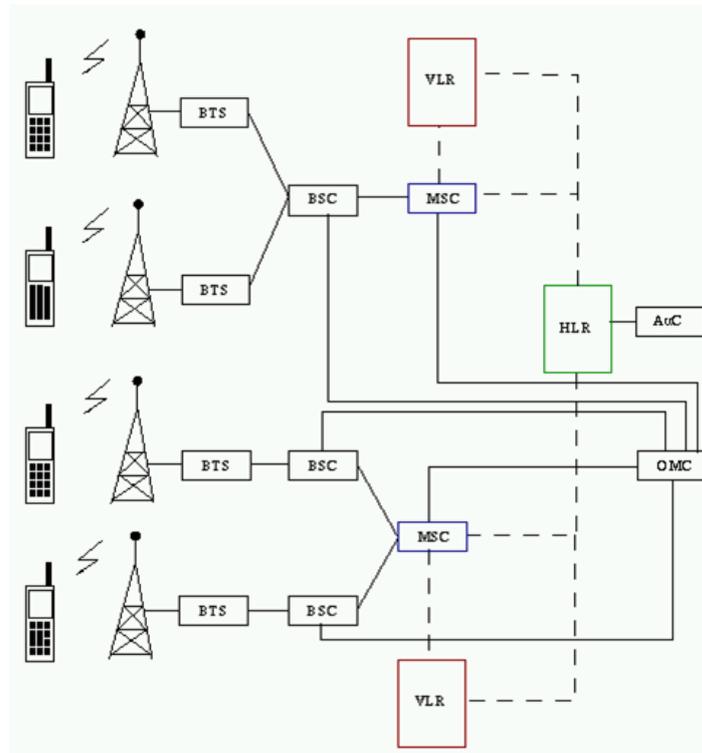


FIGURE 2.13 – Architecture du réseau GSM [C.D04]

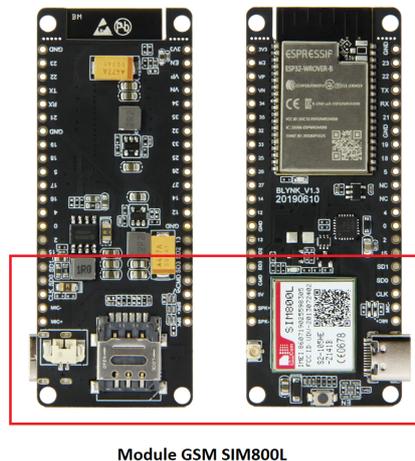
La carte LILYGO TTGO T-CALL V1.3 intègre un module GSM, le module GSM SIM800L, qui est l'un des plus petits modules GSM du monde avec une taille de 2.2 cm x 1.8 cm. C'est un module puissant qui démarre automatiquement et recherche automatiquement le réseau. Il inclut notamment le Bluetooth 3.0+EDR et la radio FM (récepteur uniquement). Il permet d'échanger des SMS, de passer des appels mais aussi, de récupérer de la data en GPRS 2G+. Ainsi nous pourrons faire transiter des données sur une très longue distance.

La Figure 2.14 suivante montre le module SIM800L.



FIGURE 2.14 – Architecture du réseau GSM [19]

La Figure 2.15 suivante montre le module SIM800L intégré à la carte LILYGO TTGO T-CALL V1.3 :



Module GSM SIM800L

FIGURE 2.15 – Module GSM SIM800L intégré à la carte TTGO T-CALL V1.3

## 2.5 La technologie RFID

### 2.5.1 Présentation

La technologie RFID (radio frequency identification), ou radio-identification, désigne une méthode utilisée pour stocker et récupérer des données à distance en utilisant des balises métalliques. Ces balises, qui peuvent être collées ou incorporées dans des produits, réagissent aux ondes radio et transmettent des informations à distance. Cette technologie pourrait, à terme, remplacer les codes-barres. Mais sa redoutable efficacité pose des problèmes d'éthique et de confidentialité [AMOM19].

### 2.5.2 Le fonctionnement de la technologie RFID

La technologie RFID repose sur des transferts d'énergie par électromagnétisme. Pour la mettre en application, il est nécessaire de disposer de marqueurs (étiquettes, tags ou puces RFID que l'on appelle aussi transpondeurs) et d'un lecteur RFID [AMOM19].

- Le lecteur RFID émet des radiofréquences activant les puces RFID qui passent à proximité. Pour cela, il leur envoie à courte distance l'énergie nécessaire. Plusieurs fréquences sont utilisées, en fonction des performances et du type d'application recherchés. Les fréquences (exprimées en Hz) plus élevées permettent d'échanger plus d'informations à un débit plus important tandis que les fréquences basses ont pour atout de mieux pénétrer dans la matière.
- Les radio-étiquettes sont dites passives car elles utilisent uniquement l'énergie fournie par le lecteur. A l'heure actuelle, certaines étiquettes RFID peuvent être lues à une distance allant jusqu'à 200 mètres. Les étiquettes sont composées d'une antenne, d'une puce et d'une encapsulation (ou d'un substrat). Peu chères, extrêmement discrètes, elles peuvent être à usage unique ou réutilisables. Les puces RFID peuvent contenir plusieurs types d'informations : identification, base de donnée.

La figure 2.16 suivante montre le fonctionnement de la technologie RFID.



FIGURE 2.16 – Fonctionnement de la technologie RFID

### 2.5.3 Domaines d'applications pour la technologie RFID

La technologie RFID est utilisée au début, de façon confidentielle, pour des applications militaires. Mais ce n'est qu'à partir des années 2000 qu'elle se popularise. Dans le secteur de la logistique, elle participe à la traçabilité des produits de l'entrepôt au magasin. Ensuite, elle se transforme en système antivol et en moyen d'identification des produits en caisse. Dans les bibliothèques, la RFID aide à identifier les livres. Et elle se trouve aussi sur les passeports, sur les cartes d'accès aux transports en commun et même dans les puces qui servent à identifier les chiens et les chats.

Mais ce ne sont pas les seuls usages qui sont faits de la technologie RFID, d'autres utilisations

sont plus innovantes, comme les cyber-vêtements (wearable computing) ou les objets communicants par exemple. Dans le cas d'une implémentation sur le corps humain (santé publique, communications électroniques, etc.), la question de l'éthique et de l'intégrité physique se pose néanmoins [20]. La figure 2.17 suivante illustre les domaines d'applications de la technologie RFID [AMOM19].



FIGURE 2.17 – exemple de domaines d'application de la technologie RFID

## 2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la définition d'un système embarqué, ses caractéristiques et son architecture générale. Ensuite nous avons mis l'accent sur les microcontrôleurs et pour finir nous avons décrit le microcontrôleur utilisé dans le cadre de notre travail qui est l'ESP32 puis nous avons présenté la carte LILYGO TTGO T-CALL. et pour finir nous avons parler de la technologie RFID.

Dans le chapitre suivant, nous expliquons en détail la conception de notre système embarqué à réaliser et décrivons toutes les étapes à suivre dans le cadre de notre travail.

# Chapitre 3

## Conception

### 3.1 Introduction

Comme tout projet informatique, la conception est une étape primordiale puisqu'elle nous permet de structurer les idées, de définir les besoins et les objectifs visés afin de mieux s'organiser et de préparer le terrain pour la réalisation. C'est donc dans cette optique que nous allons présenter dans ce chapitre notre conception du système en question.

Nous allons commencer par la présentation du projet dans sa globalité et détailler par la suite chacune des étapes suivies pour l'accomplissement de la tâche principale qui est de sécuriser une habitation.

### 3.2 Analyse des besoins fonctionnels

La majorité des accidents de la vie courante sont des accidents domestiques car aujourd'hui les accidents domestiques représentent 61 % (douze mille morts par an) des accidents de la vie courante. C'est pour cela qu'il est nécessaire de sécuriser sa maison avec un système complet pouvant prévenir les différents dangers auxquels la maison est vulnérable, et ce de manière automatique et à distance.

Il est possible dès à présent avec la naissance des maisons intelligentes qui sont capables de détecter les changements d'état des systèmes à surveiller. Ainsi quand nous quittons notre maison, elle nous permet de savoir qu'en cas d'effraction, de départ d'incendie, d'émanation de gaz toxiques, ou de fuites de gaz nous serons directement prévenus sur notre téléphone mobile par un SMS ou via une application mobile.

Enfin elle est aussi capable de réagir de manière adéquate et en temps réel aux différents dangers qu'elle peut rencontrer.

### 3.3 Objectifs du projet

L'objectif de notre projet est de créer un système de sécurité domotique regroupant tous les types de systèmes de sécurité c-à-d vidéosurveillance, anti-intrusion, détection d'incendie et détection d'émanation de gaz toxiques.

Le système sera doté de différents types de capteurs, chacun spécialisé dans la collecte d'informations spécifiques (Détecteur de gaz, détecteur de flammes et détecteur de mouvements). Il sera aussi doté de plusieurs actionneurs pour pouvoir réagir de manière adéquate aux différents dangers.

Le système devra aussi être contrôlable à distance, l'utilisateur pourra ainsi contrôler les différents actionneurs reliés au système grâce notamment à une application mobile.

Le système doit pouvoir envoyer des notifications et des messages d'alerte via l'application mobile et via l'envoi de SMS pour informer le propriétaire d'un danger ou d'une alerte, cela grâce à un module GSM décrit précédemment dans le deuxième chapitre.

Le système de sécurité doit aussi pouvoir répondre en temps réel aux différents dangers en intégrant un système d'exploitation en temps réel *FREERTOS* qui sera présenté plus en détails dans ce chapitre.

## 3.4 Fonctionnalités du système de sécurité

Afin de répondre aux objectifs cités précédemment nous avons conçu un système qui se compose de deux parties. La première partie est une application embarquée et la deuxième partie est une application Android. Les deux parties sont expliquées plus en détails dans les points suivants. La figure 3.1 suivante illustre l'architecture du système de sécurité.

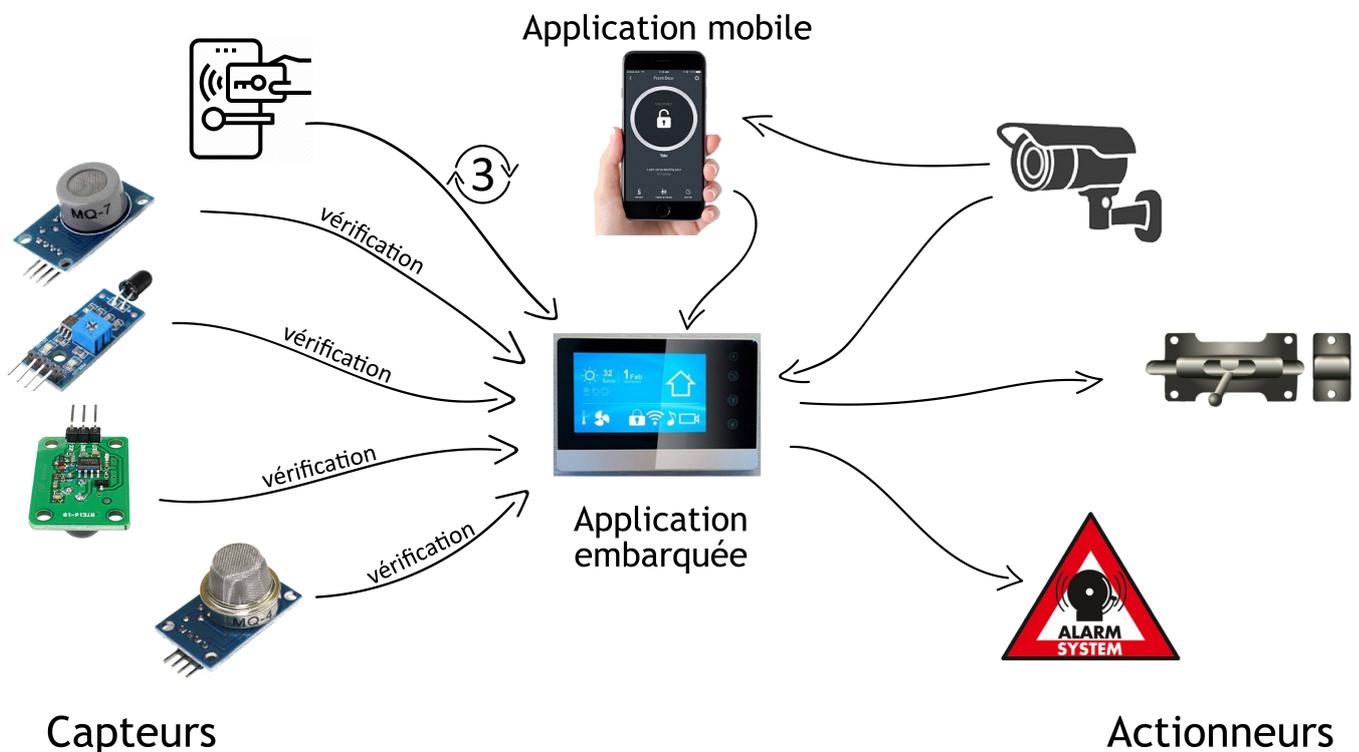


FIGURE 3.1 – Architecture du système de sécurité utilisé

### 3.4.1 Application Embarquée

L'application embarquée est la centrale qui contrôle tout le système. Elle est reliée à tous les capteurs, les actionneurs et aussi à un écran tactile affichant une interface graphique permettant de faciliter l'interaction directe entre l'utilisateur et le système.

#### Fonctionnement

L'application embarquée est composée d'une interface graphique qui permet à l'utilisateur d'interagir avec le système et de pouvoir contrôler les actionneurs via cette interface. L'utilisateur pourra ainsi faire plusieurs tâches.

Les diagrammes ci-dessous Figures (3.2, 3.3) résument quelques fonctionnalités de bases du système embarqué qui englobe 2 cas :

- Cas 1 : Alarme Activée.
- Cas 2 : Alarme désactivée.

#### Cas 1 : Alarme activée

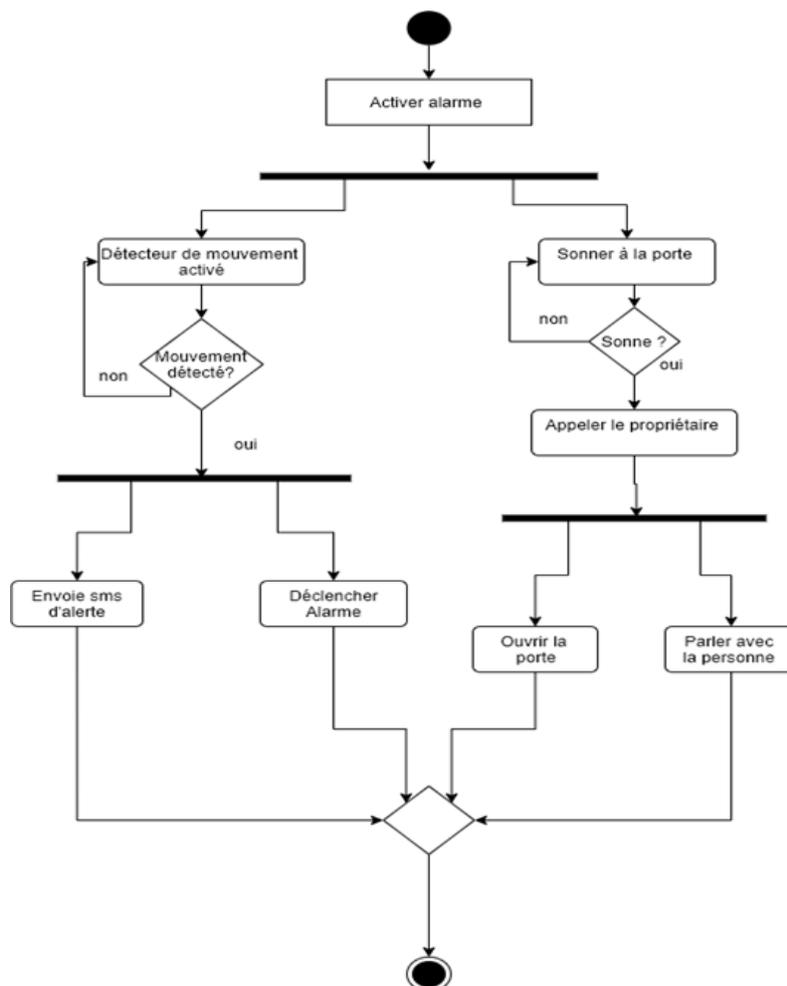


FIGURE 3.2 – Diagramme d'activité du système embarqué. Cas : alarme activée

Dans ce cas lorsque l’alarme est activée :

- Le détecteur de mouvement est activé.
- Si le détecteur de mouvement détecte un mouvement une alarme sonore et visuel sera déclenchée et un SMS avec un message d’alerte d’intrusion sera envoyé au propriétaire pour l’informer de l’intrusion.
- Si quelqu’un sonne à la porte, un appel est effectué vers le téléphone mobile du propriétaire , ce dernier peut parler avec la personne qui sonne à la porte et il peut lui ouvrir la porte
- Au moment de l’ouverture de la porte, l’alarme sera désactivée automatiquement.

**Cas 2 : Alarme désactivée**

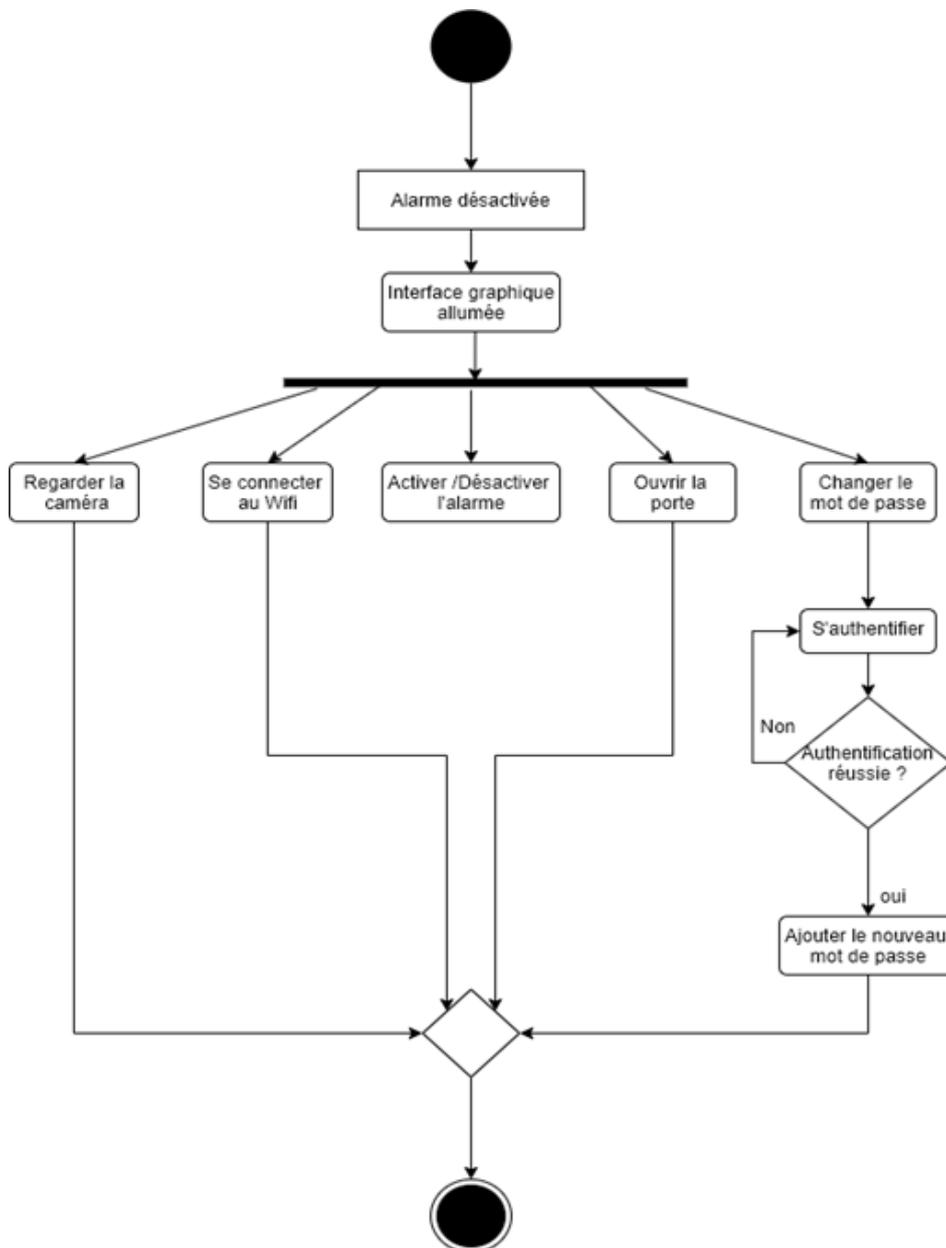


FIGURE 3.3 – Diagramme d’activité du système embarqué, cas Alarme désactivé

### 3.4. FONCTIONNALITÉS DU SYSTÈME DE SÉCURITÉ

Lorsque l'alarme est désactivée, le système peut être contrôlé par l'interface graphique affichée sur l'écran tactile à l'intérieur de la maison :

- Ouvrir la porte : la porte est ouverte pendant 10 secondes et se referme ensuite.
- Activer l'alarme : l'alarme est activée après 30 secondes (pour laisser le temps à la personne qui l'a activé de sortir de la maison)
- Visionner la caméra : Affichage de la caméra avec possibilité d'ouvrir la porte depuis la même interface.
- Se connecter au Wifi.
- Changer le mot de passe de l'application.

Pour sécuriser de manière complète la maison, en plus de la détection d'intrusions notre système est doté de capteurs de gaz, de détecteur de monoxyde de carbone et de détecteur de flammes, qui sont tout le temps activés (dans les 2 cas : Alarme activée ou désactivée). La figure 3.4 suivante montre le fonctionnement des capteurs reliés au système.

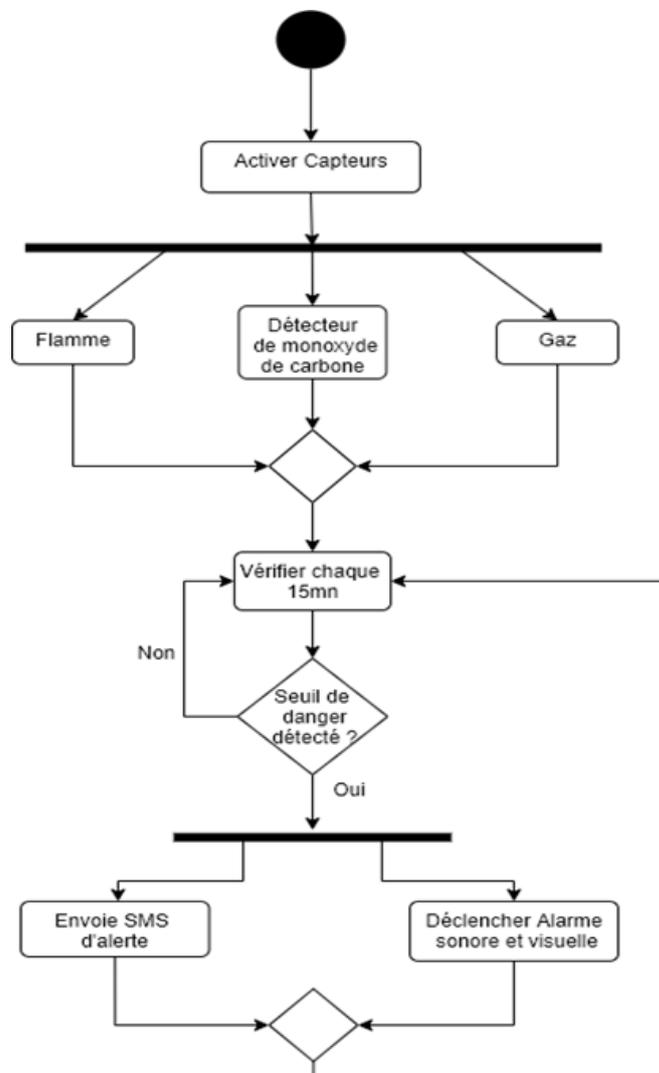


FIGURE 3.4 – Diagramme d'activité du fonctionnement de capteur de gaz ,détecteur de flamme et de monoxyde de carbone

Une fois que les capteurs captent des données qui dépassent le seuil maximal autorisé, une alarme sonore et visuelle est déclenchée automatiquement et un SMS d'alerte est envoyé au propriétaire l'informant de la présence d'un danger.

Les détecteurs sont activés tout le temps pour vérifier si la concentration de monoxyde de carbone, de gaz méthane et propane dans l'air ne dépasse pas les normes autorisées. Ils pourront aussi prévenir un départ de feu. (Comme le montre le diagramme Figure 3.4).

A noter aussi que notre système est doté d'un contrôle d'accès. L'ouverture et la fermeture de la porte peut se faire par carte RFID : la Figure 3.5 explique comment se fait l'ouverture par la carte RFID.

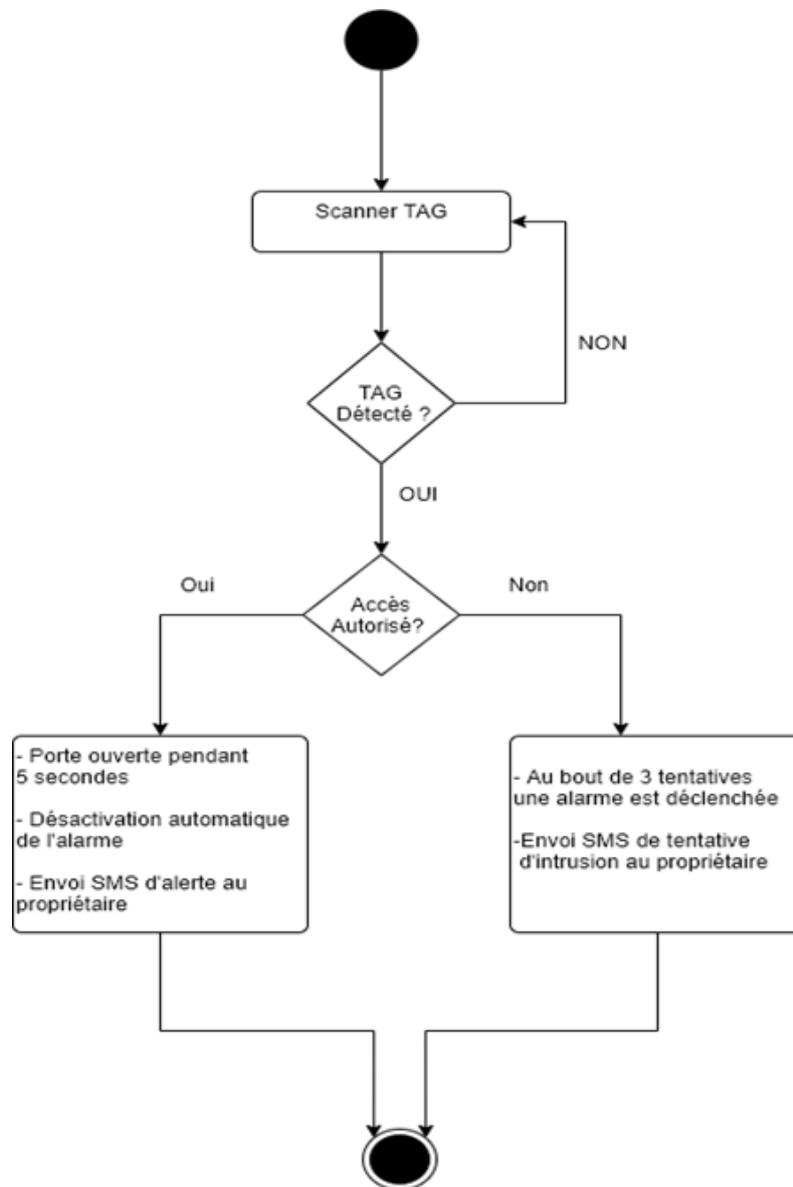


FIGURE 3.5 – Diagramme d'activité de l'ouverture de la porte par carte RFID

Une fois que le lecteur de carte RFID détecte la carte / tag , le système procède comme suit

- Si la carte est valide :
  - Ouverture de la porte pendant 10 secondes
  - Désactivation de l'alarme
  - Envoi d'un SMS d'alerte d'ouverture de porte pour prévenir le propriétaire qu'une personne possédant le badge N°... est entré à la maison.
- Dans le cas contraire ( la carte est invalide) :
  - La porte reste fermée.
  - Au bout de 3 tentatives une alarme sonore et lumineuse est émise et un message de tentative d'intrusion est envoyé au propriétaire.

#### Acquisition de données

L'acquisition de données se fait grâce à des détecteurs spécifiques répartie de façon à couvrir toute les zones dites sensibles. Voici ci-dessous les différents types de détecteur utilisé :

#### Mini capteur de mouvement PIR BTE16-19

Le capteur *BTE16-19* (Figure 3.6) est un capteur qui permet de détecter un mouvement dans son champ de vision en se basant sur l'infrarouge. On parle aussi de capteur Pyroélectrique ou PIR.

Le capteur PIR est un capteur numérique : Si un mouvement est détecté le signal en sortie du capteur est mis au niveau HAUT (1) Si aucun mouvement n'est détecté le signal en sortie du capteur est mis au niveau BAS (0)[12].

Ce capteur permet de détecter un corps humain, il sera placé dans une pièce ayant des objets de valeur. Exemple : Chambre parentale.

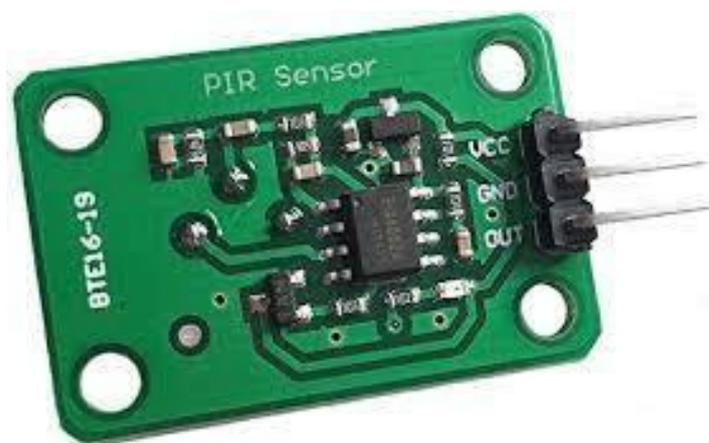


FIGURE 3.6 – Détecteur de mouvement BTE 16-19

#### Caractéristiques

- Tension d'alimentation : 3,3 - 5V DC
- Détection de présence, signalisation de faible sortie
- Durée d'impulsion après détection de mouvement  $8s \pm 30\%$
- Plage de fonctionnement : jusqu'à 3-5m
- Angle de réaction 120 degrés

#### Détecteur de gaz Méthane (MQ-4)

Le capteur *MQ4* (Figure 3.7) est un capteur de gaz naturel comprimé (GNC) simple à utiliser, adapté pour détecter les concentrations de gaz naturel (composé principalement de méthane [CH<sub>4</sub>]) dans l'air. Le MQ-4 peut détecter des concentrations de gaz naturel de 200 à 10000 ppm. Ce capteur a une sensibilité élevée et un temps de réponse rapide[13].

Ce capteur sera placé au niveau de la cuisine, étant la pièce où le risque d'un incendie ainsi l'endroit où se trouvent les chauffages.



FIGURE 3.7 – Détecteur de gaz Méthane MQ-4

#### Caractéristiques de MQ-4

- Indication de la sortie du signal.
- Le signal de commutation ayant une sortie DO (TTL) et une sortie analogique AO
- Le signal valide de sortie de TTL est bas. (Signal de bas niveau lorsque la lumière de sortie peut être directement connectée au microcontrôleur ou au module de relais)
- 0 ~ 5V tension de sortie analogique.
- Meilleure sensibilité pour la détection de méthane et gaz naturel.

#### Capteur infrarouge de détection de flamme

Le détecteur de module de flamme IR (Figure 3.8) est un appareil qui détecte la flamme à une distance de 80cm avec un spectre lumineux de 760nm à 1160nm. La broche A0 génère un signal de tension de sortie qui dépend de la puissance lumineuse. La broche DO est une broche

de seuil réglable qui génère un signal haut et bas qui dépend du seuil ajusté. La valeur la plus précise peut être obtenue jusqu'à environ  $1m$ [14].

Ce capteur est capable de détecter et de prévenir rapidement un départ de feu. Il sera lui aussi placé au niveau de la cuisine.



FIGURE 3.8 – Capteur infrarouge de détection de flamme

#### Caractéristiques

- Tension de fonctionnement :  $3 \sim 5V Dc$
- Dimensions :  $5 \times 1,5 \times 1,5cm$
- Précision réglable
- Vcc : positif  $5V Dc$
- A0 : sortie analogique
- D0 : sortie numérique
- Gnd : Terre

#### Détecteur de Monoxyde de Carbone MQ7

Le capteur MQ7 (Figure 3.9) est un semi-conducteur qui détecte la présence du Monoxyde de carbone et retourne le résultat comme une tension analogique. La concentration de détection gamme de 10 ppm à 10000 ppm[15].

Il sera placé au même endroit que le chauffage à gaz et le chauffe-bain.

#### Caractéristiques

- Large champ de détection.
- Réponse rapide et haute sensibilité.
- Le module possède un indicateur LED de l'état de la sortie numérique.
- Détecte le monoxyde de carbone.
- Plus la concentration est importante plus la sortie analogique est élevée.
- Stable et longue durée de vie .



FIGURE 3.9 – Détecteur de Monoxyde de carbone MQ7

- Tension de sortie analogique : 0V à 5V.
- Tension de sortie numérique : 0V ou 5V (TTL).
- La tension de fonctionnement est de +5V.
- Durée de préchauffage 20 secondes.
- Peut être utilisé comme capteur numérique ou analogique.

#### Traitement de données

Les données sont transmises à la centrale pour qu'elles soient analysées et traitées. Les données récupérées des capteurs sont vérifiées pour voir s'ils ne dépassent pas le seuil de danger, ou s'il n'y a pas de signal donné pour alerter d'un danger.

- Mini capteur de mouvement PIR BTE16-19 : Si un individu s'introduit dans la zone où se trouve le capteur, le signal en sortie de ce capteur sera mis au niveau HAUT (1). De ce fait, ce détecteur de mouvements transmettra au système d'alarme l'information qu'il a identifié une intrusion anormale. Le système avertit l'utilisateur en déclenchant une alarme sonore et visuelle et avec un SMS ou une notification sur son smartphone.
- Détecteur de gaz Méthane (MQ-4) : La concentration élevée de méthane  $30\text{mg}/\text{m}^3$  provoque de l'asphyxies, ce qui provoque le ralentissement ou l'arrêt de la respiration. De ce fait le capteur MQ-4 surveille le taux de méthane dans l'air si il dépasse  $5\text{mg}/\text{m}^3$  le système alertera l'utilisateur en déclenchant une alarme sonore et visuelle et avec un SMS ou une notification afin de prendre les précautions nécessaires.
- Capteur infrarouge de détection de flamme : Si un départ de feu est détecté dans la maison, la sortie analogique de capteur renvoie une tension sur la résistance thermique ou si une température élevée est détectée, le seuil de signal de sortie numérique haut et bas de capteur est ajustable via un potentiomètre. De ces informations le système informe l'utilisateur en déclenchant une alarme sonore et visuelle et avec un SMS d'alerte ou une notification afin de signaler un incendie.

- Détecteur de Monoxyde de Carbone (MQ7) : Le CO que nous respirons se fixe de façon irréversible sur l'hémoglobine et bloque ainsi l'oxygène du système nerveux et du cœur. De ce fait, une exposition importante prolongée à ce gaz peut avoir des conséquences neurologiques irréversibles et peut même entraîner des empoisonnements qui sont la cause de fréquents accidents mortels en milieu domestique. Pour cela notre système surveille la quantité de CO qui ne doit pas dépasser  $7mg/m^3$  (durant 24h) ou  $29mg/m^3$  (durant 1h) dans l'air et informe l'utilisateur en déclenchant une alarme sonore et visuelle et avec un message d'alerte ou une notification dès que le seuil de CO est dépassé.

#### Transmission de données

La transmission des informations des capteurs est faite par fils. Les fils acheminent le signal électrique des différents capteurs à la centrale pour traitement.

L'écran tactile et le lecteur de carte RFID sont eux aussi reliés à la centrale par fil, mais ils utilisent le protocole de communication SPI décrit précédemment dans le chapitre 2.

Les messages d'alertes sont envoyés vers le téléphone du propriétaire grâce à la communication GSM décrite précédemment dans le chapitre 2

Les images de la vidéosurveillance sont transmises à la centrale et l'application mobile grâce à une communication HTTP établie entre eux et le serveur de streaming.

Le visionnage en temps réel des images de la vidéo surveillance se fait grâce à la carte ESP32-CAM qui fait office de serveur de streaming vidéo. Elle est décrite ci-dessous.

#### 3.4.2 ESP 32-CAM

L'ESP32-CAM (Figure 3.10) est une carte de développement ESP-WROOM-32 du fabricant AI Thinker associé à une caméra couleur 2MP OV2640. Le module ESP32-CAM dispose également d'un lecteur de carte SD qui pourra servir à enregistrer des images lorsqu'un événement est détecté (détecteur de présence ou de mouvement par exemple).



FIGURE 3.10 – La carte ESP32-CAM

*Espressif* (constructeur du microcontrôleur ESP32) fournit une API complète qui permet d'accéder à toutes les fonctionnalités du module caméra. C'est une base pour développer des systèmes de vidéosurveillance IP sans avoir la crainte que le flux vidéo arrive sur des serveurs douteux[16].

16 broches de L'ESP-32 CAM sont exposées dans la Figure 3.11. Les broches U0T (GPIO1 port série TX) et U0R (GPIO3, port série RX) sont nécessaires pour téléverser le programme. La broche IO0 (GPIO0) est nécessaire pour mettre l'ESP 32 en flash mode pour téléverser le programme.

Les broches GPIO2 GPIO4 GPIO12 GPIO13 GPIO14 GPIO15 GPIO16 sont disponibles pour les projets[17].



FIGURE 3.11 – Les broches de l'ESP 32-CAM

Voici une liste des fonctionnalités de l'ESP 32-CAM[16] :

- Le plus petit module SoC Wi-Fi BT 802.11b / g / n
- CPU 32 bits basse consommation, peut également servir le processeur d'application
- Vitesse d'horloge jusqu'à 160 MHz, puissance de calcul sommaire jusqu'à 600 DMIPS
- SRAM 520 Ko intégrée, 4MP SRAM externe
- Prend en charge UART / SPI / I2C / PWM / ADC / DAC
- Prise en charge des caméras OV2640 et OV7670, lampe flash intégrée
- Télécharger l'image de soutien WIFI
- Carte de soutien TF
- Prend en charge plusieurs modes de sommeil
- Lwip et FreeRTOS intégrés
- Prend en charge le mode de fonctionnement STA / AP / STA + AP
- Prise en charge de la technologie Smart Config / AirKiss
- Prise en charge des mises à niveau du micrologiciel local et distant du port série (FOTA)

L'ESP-32CAM peut être utilisée dans diverses applications connectées. Elle convient aux appareils intelligents domestiques, aux commandes sans fil industriel, à la surveillance sans fil, à l'identification sans fil QR, aux signaux du système de positionnement sans fil et à d'autres applications connectées.

Le serveur de streaming et le système de sécurité doivent répondre de manière adéquate et en temps réel à plusieurs processus indépendants ou parallèles. Ceci est rendu possible par le système d'exploitation en temps réel FREERTOS qui est décrit ci-dessous.

#### 3.4.3 FREERTOS

Développé en partenariat avec les principaux fabricants de puces au monde sur une période de 18 ans, FreeRTOS (Figure 3.12) est un système d'exploitation en temps réel (RTOS) leader du marché pour les microcontrôleurs et les petits microprocesseurs. Distribué gratuitement sous la licence open source MIT, FreeRTOS comprend un noyau et un ensemble croissant de bibliothèques adaptées à une utilisation dans tous les secteurs industriels. FreeRTOS est conçu en mettant l'accent sur la fiabilité, l'accessibilité et la facilité d'utilisation [18].



FIGURE 3.12 – Logo FreeRTOS

#### Avantages de FreeRTOS

Plusieurs avantages nous ont poussés à choisir FREERTOS comme système d'exploitation temps réel, voici ci-dessous quelques avantages [18] :

- FreeRTOS est un système d'exploitation temps réel (RTOS) faible empreinte, portable, préemptif et Open source pour microcontrôleur.
- Une taille très faible. Il est donc utilisé principalement pour les systèmes embarqués qui ont des contraintes d'espace pour le code.
- Fournit une solution unique et indépendante pour de nombreuses architectures et outils de développement différents.
- Fournit une documentation abondante.
- FreeRTOS offre une alternative de traitement en temps réel plus petite et plus simple pour les applications où eCOS, Linux embarqué (ou Linux en temps réel) et même uCLinux ne conviennent pas, ne sont pas appropriés ou ne sont pas disponibles.
- Portable sur un grand nombre de processeurs (20 compilateurs et 32 processeurs différents)
- Supporte les fonctionnalités nécessaires pour des applications temps réel (Tâches, ordonnancement, communication, synchronisation, gestion d'événements, etc.)
- C'est le système le plus préconisé pour les projets embarqués temps réel du futur.

## Modes d'ordonnement

L'ordonnement fonctionne avec des priorités. Le processus en cours sera toujours celui qui est disponible avec la priorité la plus élevée. Il existe deux schémas d'ordonnement qui peuvent être mis en œuvre. Le premier est préemptif, ce qui signifie qu'un processus en cours peut être interrompu pour permettre l'exécution d'un autre. Le second est coopératif, ce qui signifie que chaque processus décide où dans son exécution il peut être interrompu. Lorsqu'un changement de processus doit être effectué, l'ordonneur choisit celui qui a la plus haute priorité parmi ceux qui sont prêts[18].

## Fonctionnalité de tâche

Plusieurs tâches peuvent coexister dans une application, mais n'interfèrent pas entre elles, elles sont indépendantes. Puisqu'une seule tâche peut s'exécuter à la fois, c'est-à-dire en utilisant le CPU, l'ordonneur intervertit et sort les différentes tâches en fonction de leurs priorités et du mode d'ordonnement[19]. Un diagramme des états de tâches est représenté dans la Figure 3.13 ci-dessous.

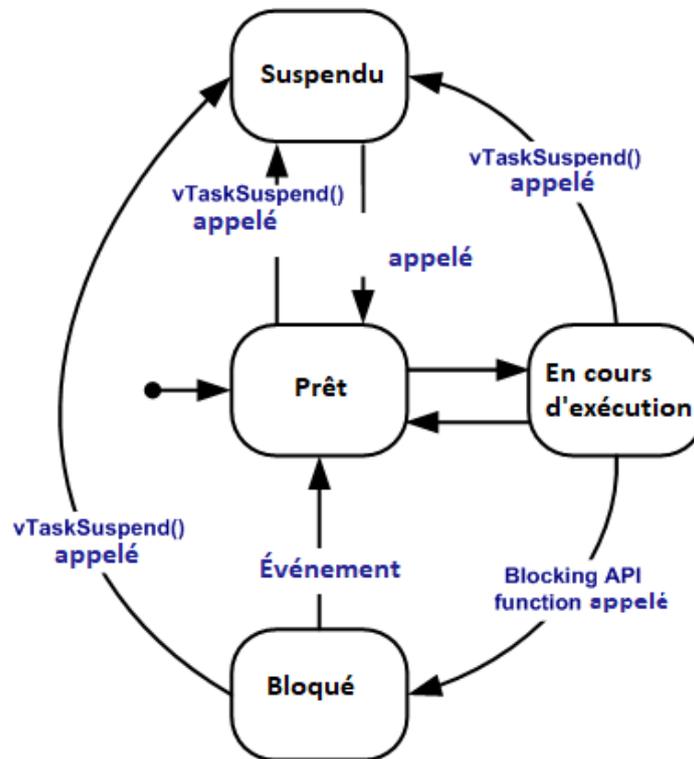


FIGURE 3.13 – Diagramme d'état d'une tâche [19]

Une tâche peut être dans différents états. Voici une brève description de ces états :

- **Prêt** : une tâche est prête lorsqu'elle attend que l'ordonneur (scheduler) lui donne accès au processeur, ce qui signifie qu'une autre tâche avec une priorité supérieure ou égale est en cours d'exécution.
- **En cours d'exécution** : une tâche qui est en cours d'exécution.
- **Bloqué** : une tâche qui attend un événement avant de poursuivre son exécution. Les événements peuvent être temporels (retard) ou externes (interaction de l'utilisateur).

- **Suspendu** : une tâche qui a été supprimée de l'ordonnanceur. Elle ne sera pas exécuté tant qu'il ne sera pas remis à l'état "Prêt".

La priorité de la tâche est utilisée par l'ordonnanceur pour définir la tâche à exécuter (mise à l'état, En cours d'exécution). Lorsque plusieurs tâches sont à l'état "Prêt", il choisit celle avec la priorité la plus élevée. Une tâche avec une priorité inférieure à une autre doit attendre que celle-ci entre dans l'état "Bloqué" pour être exécutée.

#### 3.4.4 Application mobile

L'application mobile est utilisée pour contrôler à distance le système.

##### Fonctionnement général

Le diagramme (Figure 3.14) montre le fonctionnement de l'application Android

Une fois l'application lancée, l'utilisateur peut choisir entre ajouter un appareil, ouvrir la porte à distance en l'ouvrant ou la fermant, consulter le menu capteur, ou accéder aux paramètres.

- Pour ajouter un appareil : L'utilisateur scanne le code QR puis remplit le formulaire contenant le nom de la maison, nom d'utilisateur et le mot de passe.
- Lors de la manipulation de porte : l'utilisateur peut ouvrir ou fermer la porte à distance soit :
  - Via l'envoi d'un SMS (En absence de connexion).
  - Via l'envoi d'un paquet HTTP vers la centrale de commande du système de sécurité (En présence de connexion).
- Dans la section paramètres : l'utilisateur peut
  - Activer ou désactiver l'alarme.
  - Ajouter le numéro de téléphone tout en le vérifiant afin qu'il puisse recevoir les SMS d'alertes, communiquer avec la personne qui sonne à la porte ... etc.
  - Ajouter ou supprimer le tag RFID, (comme le montre le diagramme de la figure 3.15).
  - Changer le mot de passe en remplissant le formulaire contenant les 3 champs : Mot de passe actuel, mot de passe et confirmation de mot de passe.
- Dans le menu Capteurs : l'utilisateur peut consulter en temps-réel les données captées par les différents capteurs et détecteurs (flamme, gaz, monoxyde de carbone et mouvements).

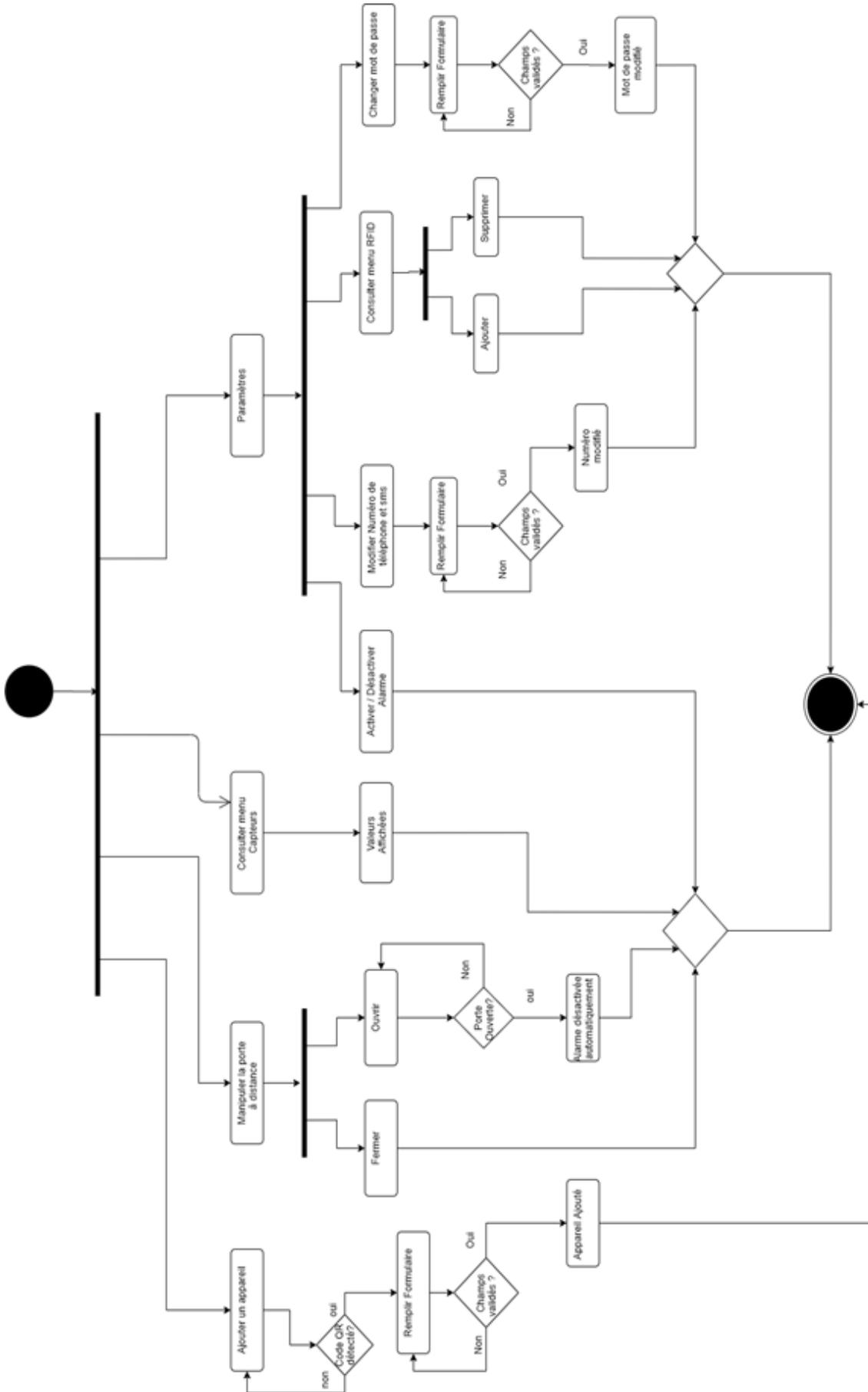


FIGURE 3.14 – Diagramme d'activité du fonctionnement de l'application Android

Une autre fonctionnalité de cette application Android est l'ajout de tag et carte RFID permettant ainsi à l'utilisateur d'utiliser ces informations afin de pouvoir ouvrir la porte. Nous avons résumé ce fonctionnement dans le diagramme (Figure 3.15) suivant :

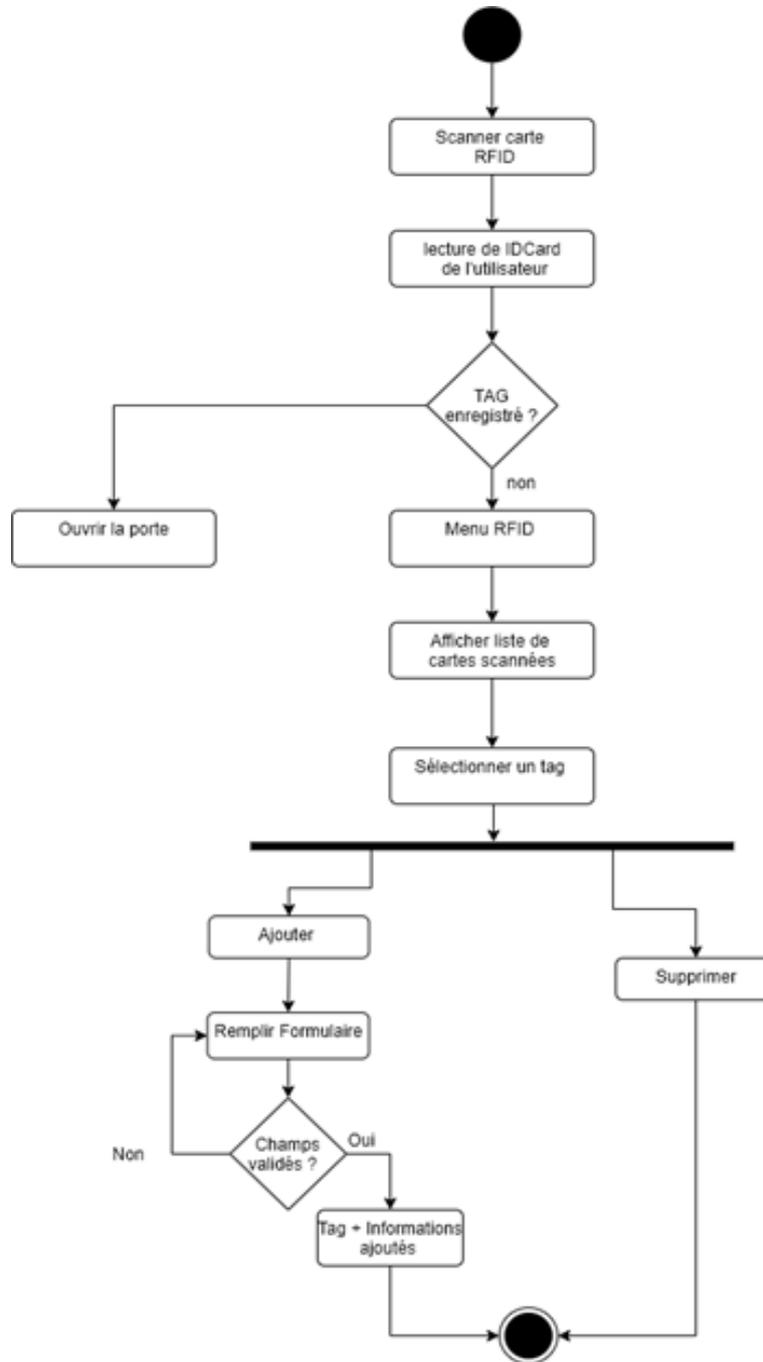


FIGURE 3.15 – diagramme d'activité d'ajout de TAG/CARTE RFID

Pour ajouter un Tag RFID : l'utilisateur scanne le tag puis il accède au menu RFID dans les paramètres de l'application ,une liste des cartes RFID déjà scannées avec leur identifiant RFID est affichée. Une fois que le tag à ajouter est affiché, l'utilisateur doit cliquer sur l'icone d'ajout puis saisir les informations dans le formulaire d'ajout .

L'utilisateur a aussi la possibilité de supprimer les tag RFID déjà existants.

## 3.5 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons exposé la conception de la solution que nous proposons qui est : *créer un système de sécurité domotique regroupant tous les types de système de sécurité* pour répondre aux besoins de sécurisation de la maison.

Nous avons ensuite présenté et expliqué les deux applications qui composent notre système de sécurité (embarqué et Android). Pour cela nous avons présenté des diagrammes résumant quelques fonctionnalités de nos deux systèmes et défini leurs différentes étapes.

Puis nous avons présenté les capteurs que nous avons utilisés et leurs caractéristiques de manière générale. Nous avons aussi présenté et décrit la carte ESP32-CAM qui servira de serveur de streaming de vidéosurveillance.

Enfin nous avons expliqué brièvement le système d'exploitation Temps Réel FREERTOS, que nous avons utilisé pour synchroniser les différentes tâches de notre système

Dans le prochain chapitre nous présenterons la réalisation de notre projet ainsi que les différents tests.

# Chapitre 4

## Réalisation

### 4.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons exposé la problématique et les contraintes imposées, ce qui nous a conduit à proposer une solution qui y répond. Nous allons parler dans ce chapitre de la réalisation, qui permet de mettre en œuvre et de développer notre projet.

Ce dernier chapitre est donc consacré à la spécification des outils matériel et logiciel nécessaires, pour ensuite finir par la présentation des différentes étapes de réalisation de notre système de sécurisation d'une habitation.

### 4.2 Outils et développements

#### 4.2.1 Application Embarquée

##### IDE Arduino

Arduino est un IDE (Integrated Development Environment), en français (environnement de développement (EDI) libre ,gratuit et distribué sur le site d'Arduino[20], Il est utilisé pour écrire et télécharger des programmes sur des cartes compatibles Arduino.

L'IDE Arduino offre une interface minimale et épurée simple d'utilisation qui regroupe tous les outils qui permettent de programmer pour l'Arduino (Figure 4.1). Il est composé d'un éditeur de code (A) et d'une barre d'outils rapide (B). Ce sont les deux éléments les plus importants de l'interface, c'est ceux que l'on utilise le plus souvent. On retrouve aussi une barre de menus (C) plus classique qui est utilisée pour accéder aux fonctions avancées de l'IDE. Enfin, une console (D) affichant les résultats de la compilation du code source, des opérations sur la carte, etc.

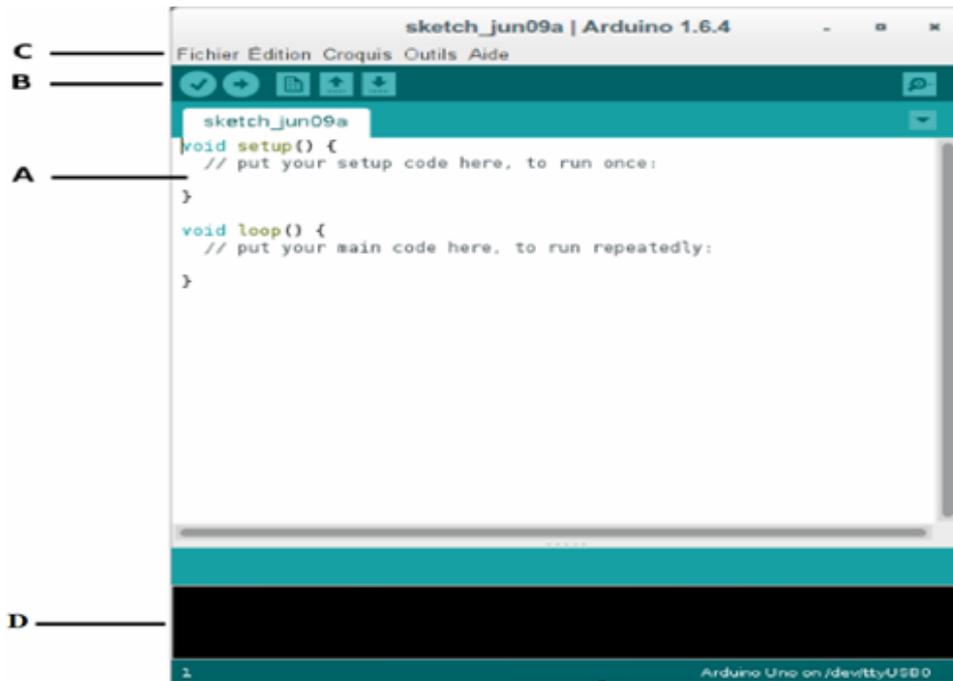


FIGURE 4.1 – IDE Arduino

La figure suivante (Figure 4.2) présente les différents boutons de l'IDE qui sont expliqués dans le Tableau 4.1.

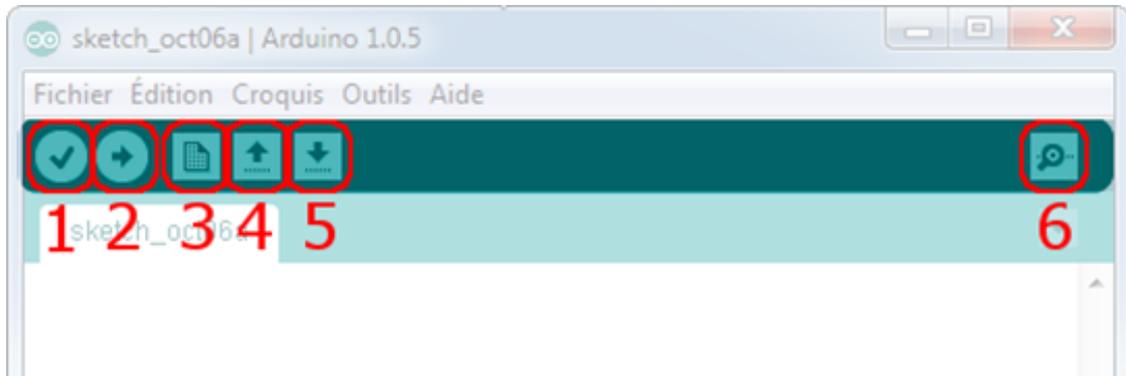


FIGURE 4.2 – les boutons de l'IDE Arduino

Boutons	Tâches à exécuter
Bouton 1 (verify)	Permet la vérification de programme ,il actionne un module qui cherche les erreurs dans le programme
Bouton 2 (upload)	Charger(téléverser) le programme dans une carte
Bouton 3 (new)	Créer un nouveau fichier
Bouton 4 (open)	Ouvrir un fichier
Bouton 5 (save)	Enregistrer le fichier
Bouton 6 (serial monitor)	Ouvrir le moniteur sériee

TABLE 4.1 – Tableau explicatif des boutons de l’interface Arduino

Le système Arduino permet de réaliser un grand nombre d’applications, qui peuvent être utilisé dans tous les domaines. Voici quelques exemples de l’utilisation des applications développées avec Arduino : contrôler les appareils domestiques, programmer un robot, faire un jeu de lumières et télécommander un appareil mobile.

### Langage Arduino

Le langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. On retrouve notamment des similarités avec le C, le C++, le Java et le Processing. Le langage impose une structure particulière typique de l’informatique embarquée. La fonction `setup()` (Figure 4.3) contiendra toutes les opérations nécessaires à la configuration de la carte (directions des entrées sorties, ébits de communications série, etc.). La fonction `loop()` est exécutée en boucle après l’exécution de la fonction `setup()`. Elle continuera de boucler tant que la carte n’est pas mise hors tension. Cette boucle est absolument nécessaire sur les microcontrôleurs étant donné qu’ils n’ont pas de système d’exploitation. En effet, si l’on omet cette boucle, à la fin du code produit, il sera impossible de reprendre la main sur la carte qui exécutera alors du code aléatoire.

```

void setup()           //fonction d'initialisation de la carte
{
    //contenu de l'initialisation
}

void loop()           //fonction principale, elle se répète
                     //s'exécute à l'infini
{
    //contenu de votre programme
}

```

FIGURE 4.3 – Un code minimal

### Langage C

C est un langage de programmation général, de bas niveau et impératif. Inventé pour ré-écrire UNIX, il est devenu l’un des langages les plus utilisés, encore aujourd’hui. De nombreux langages plus modernes tels que C++, C#, Java et PHP ont adopté une syntaxe similaire au C et ont repris en partie sa logique. Il offre au programmeur une marge de contrôle considérable

sur la machine (en particulier la gestion de la mémoire) et sert donc à construire les fondations (compilateurs, interpréteurs, etc.) de ces langages plus modernes.

Le *C embarqué* est composé d'un ensemble d'extensions du langage de programmation *C*. Bien que le *C embarqué* soit une extension du langage *C*, ces deux langages sont similaires à quelques exceptions près. En effet, le *C* est généralement utilisé pour les ordinateurs de bureau, alors que le *C embarqué* est plutôt intégré pour les applications à base de microcontrôleur. Le *C* peut utiliser les ressources d'un PC de bureau comme la mémoire, l'OS, etc. Alors que le *C embarqué* doit utiliser des ressources limitées telles que la RAM, ROM, les E/S sur un processeur embarqué. De plus, le *C embarqué* inclut des fonctionnalités supplémentaires par rapport au *C* comme les types virgule fixe (double, long, float), plusieurs zones de mémoire et du mapping (routage) des registres E/S. Les compilateurs pour *C* (*ANSI C*) génèrent en général des exécutables dépendants du système d'exploitation. Le *C embarqué* nécessite un compilateur pour créer des fichiers à télécharger sur les microcontrôleurs / microprocesseurs qu'il utilise pour fonctionner.[21]

### Fritzing

Fritzing est un logiciel open-source multiplateforme permettant de construire des schémas des circuits que nous utilisons dans notre système embarqué. Plusieurs vues sont disponibles : platine d'essai, schémas électriques et circuit imprimé. Il permet aussi l'export en image pour figurer sans internet [22] (Figure4.4)

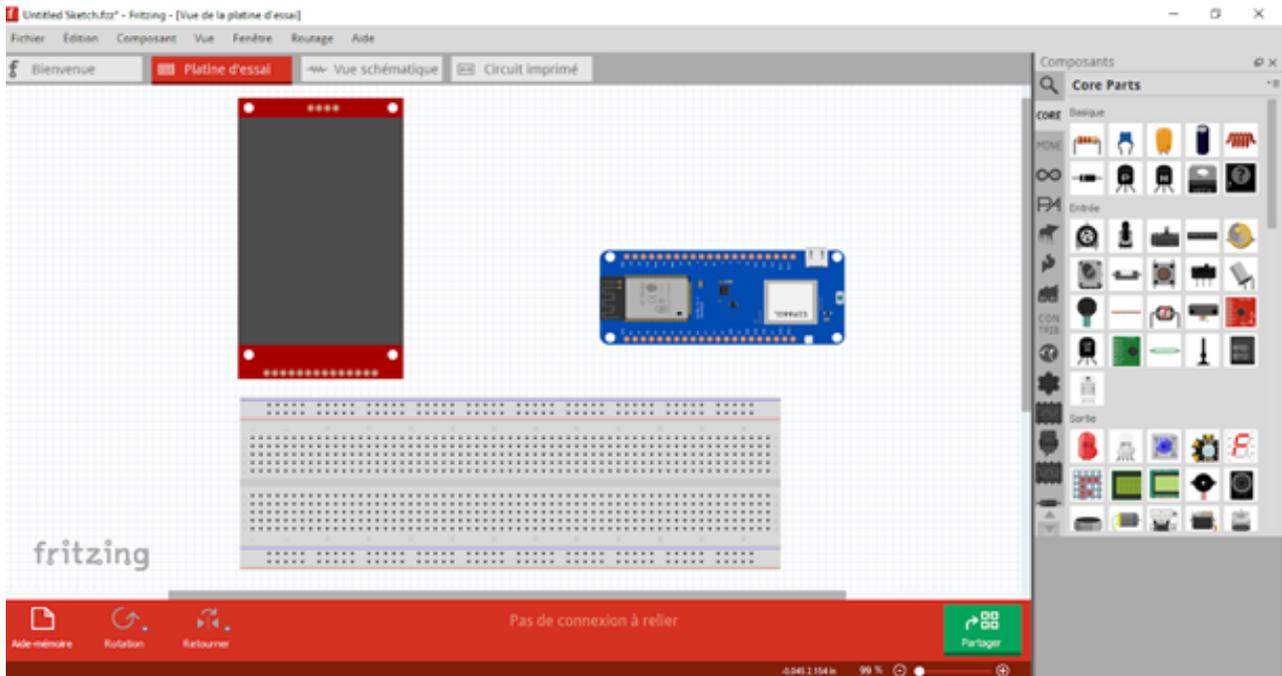


FIGURE 4.4 – L'interface de Fritzing

## 4.2.2 Développement de l'application Android

### Android Studio

Android Studio (Figure 4.5) est un environnement de développement pour la création d'applications mobiles Android. Il permet principalement de modifier les fichiers *Java* / *Kotlin* et les fichiers de configuration XML de l'application Android.

Entre autres, il propose des outils de gestion du développement d'applications multilingues et permet un aperçu rapide de la disposition de l'interface sur des écrans avec différentes résolutions en même temps. Il comprend également un émulateur qui permet d'exécuter un système Android virtuel sur un ordinateur.



FIGURE 4.5 – Logo Android Studio

### Le langage de programmation Java

*Java* (Figure 4.6) est un langage de programmation orienté objet qui a été dépouillé des concepts plus fins et plus déroutants de *C++*, tels que les pointeurs et les références ou l'héritage multiple évité par l'implémentation d'interface. Une particularité de *Java* est que les logiciels écrits dans ce langage sont compilés en une représentation binaire indirecte qui peut être exécutée dans une machine virtuelle *Java* (JVM) quel que soit le système d'exploitation.



FIGURE 4.6 – Logo Java

## 4.2.3 Base de données en temps réel Firebase

La base de données *Firebase Realtime* (Figure 4.7) est une base de données hébergée dans le cloud. Les données sont stockées au format *JSON* et synchronisées en temps réel avec chaque

client connecté. Elle permet de créer des applications collaboratives riches en permettant un accès direct et sécurisé à la base de données à partir du code côté client. Les données sont conservées localement, et même hors ligne, les événements en temps réel continuent de se déclencher, offrant à l'utilisateur final une expérience réactive. Lorsque l'appareil retrouve la connexion, la base de données en temps réel synchronise les modifications de données locales avec les mises à jour à distance qui se sont produites alors que le client était hors ligne, fusionnant automatiquement les conflits.

La base de données en temps réel Firebase est une base de données *NoSQL*, en tant que telle, elle a des optimisations et des fonctionnalités différentes par rapport à une base de données relationnelle. L'API de base de données en temps réel est conçue pour n'autoriser que les opérations qui peuvent être exécutées rapidement. Cela permet ainsi de créer une excellente expérience en temps réel qui peut servir des millions d'utilisateurs sans compromettre la réactivité.

Un autre avantage de cette base de données est qu'elle peut être utilisée lors de la construction d'applications multiplateformes avec divers SDK IOS et Android, et même dans des applications embarquées grâce à la librairie : *Firebase Realtime Database Arduino Library for ESP32* [?] créée par des indépendants. Ce qui nous a permis de l'utiliser aussi sur notre application embarquée.



FIGURE 4.7 – Logo Firebase RealTime Database

## 4.3 Réalisation de notre système

Le schéma synoptique suivant (Figure 4.8) va nous permettre de mieux comprendre le fonctionnement global du système de sécurité :

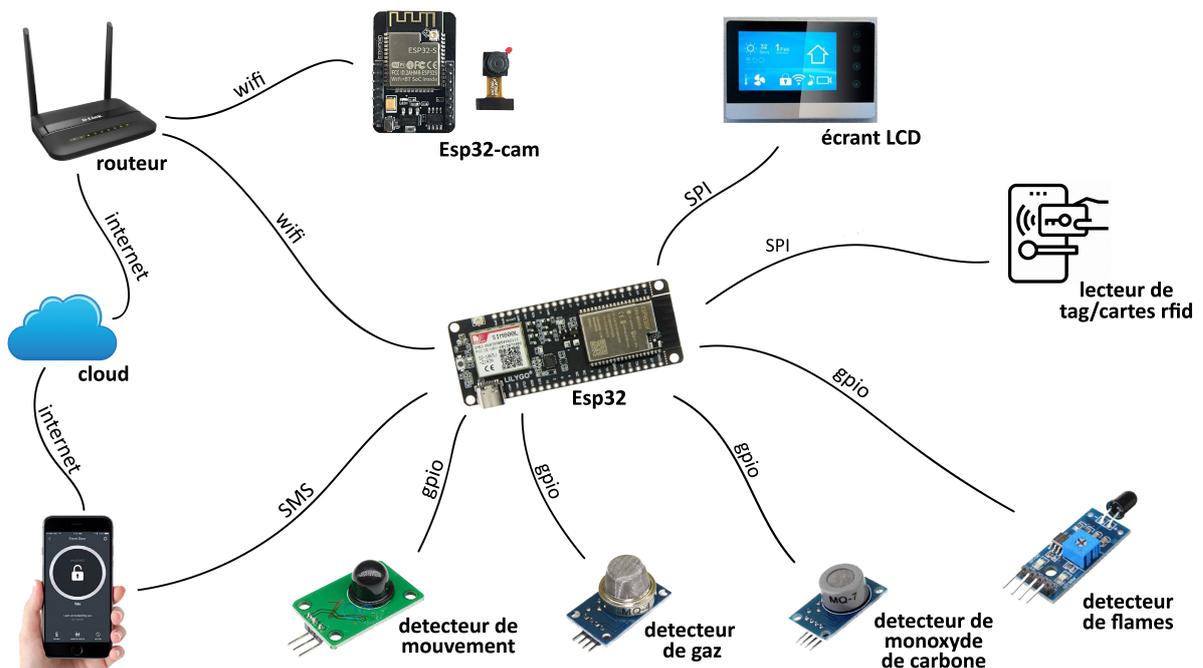


FIGURE 4.8 – schéma synoptique du fonctionnement du système

L'application embarquée, est divisée en deux partie.

1. L'ESP32-CAM : est le serveur de vidéo en streaming.
2. Lilygo TTGO T-CALL : est l'unité de traitements des données

Le fonctionnement de ces deux parties est décrit ci-dessous.

#### 4.3.1 Réalisation du serveur de streaming

Le serveur de streaming vidéo s'appuie sur la carte ESP32-CAM qui est un module nous permettons de capturer des images et des vidéos pour les transmettre sur Internet tout en étant capable de faire de la reconnaissance faciale. Il prend donc des photos lors de la détection de visage. L'ESP32-CAM envoie les images capturées sous le format *JPEG* via la carte Lilygo TTGO T-CALL avec une communication WIFI. De ce fait elle utilise la librairie suivante :

##### MJPEG Multiclient Streaming Server

URL : <https://github.com/arkhipenko/esp32-mjpeg-multiclient-esp32-cam-drivers>

C'est un serveur de streaming vidéo multi-client utilisant MJPEG (Motion JPEG) qui est un codec vidéo qui compresse les images une à une en JPEG. Ce serveur utilise des tâches RTOS dédiées pour servir la vidéo aux clients. Cela résout le problème du client le plus lent car chaque client est servi indépendamment en fonction de sa bande passante. Les clients lents n'obtiennent tout simplement pas toutes les images.

Pour connecter l'ESP32-CAM au port USB du PC, il est nécessaire d'avoir un adaptateur

car l'ESP32-CAM n'a pas de port USB. Par conséquent, nous devons utiliser FTDI232 qui est un convertisseur série USB qui convertit les informations en liaison série. Il permet de flasher un microcontrôleur sans passer par une liaison série RS232 (connecteur de plus en plus rare). Le module FTDI232 est connecté à L'ESP32-CAM comme suit :

- La broche Vcc est connectée à 3V3
- La broche RST (Reset) est connectée à la pin 14
- La broche GND (Masse) est connectée à GND
- La broche MISO (Master Input Slave Output) est connectée à la pin12

#### Connexion de FTDI232 à la carte ESP32-CAM

La Figure 4.9 illustre le schéma de câblage du FDTI à l'ESP32-CAM

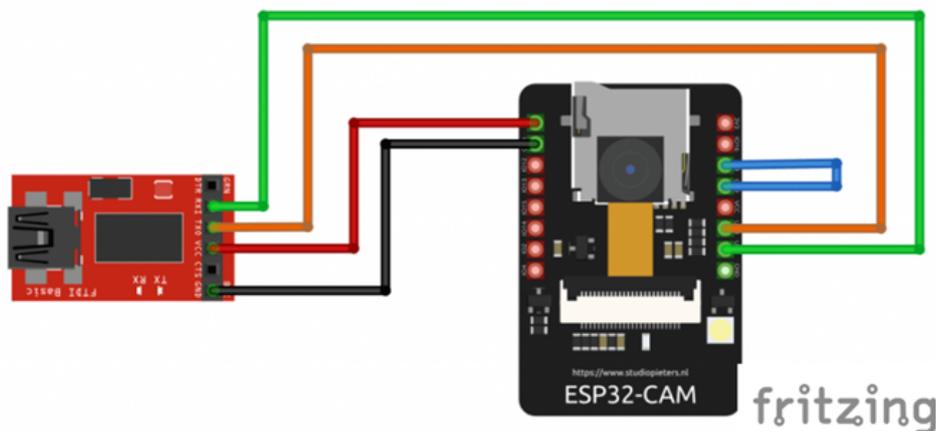


FIGURE 4.9 – Schéma de câblage du module FTDI à l'ESP-CAM

#### 4.3.2 Réalisation de l'unité de traitement

L'unité de traitement est basée sur la carte Lilygo TTGO T-CALL qui est la pièce maîtresse de notre système de sécurité. Tous les capteurs, actionneurs et l'écran d'affichage y sont reliés. Les traitements et le contrôle du système se font à son niveau. De plus, elle utilise la communication GSM pour passer des appels et envoyer des SMS en utilisant la librairie suivante :

##### Librairie Adafruit FONA

URL : [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_FONA](https://github.com/adafruit/Adafruit_FONA)

Adafruit FONA est une librairie open source fournie par Adafruit pour ses modules GSM, qui peuvent être utilisés pour les modules d'autres constructeurs compatibles. Adafruit FONA prend en charge les appels, l'envoi et la lecture de SMS, etc.

De ce fait, nous avons utilisé un microphone relié aux pins MIC+ et MIC- et un haut-parleur relié aux pins SPK+ et SPK- de la carte, tel que décrit dans les schémas suivants (Figure 4.10, 4.11).

### Connexion du Microphone et du haut-parleur du module SIM800L à la carte Lilygo TTGO T CALL

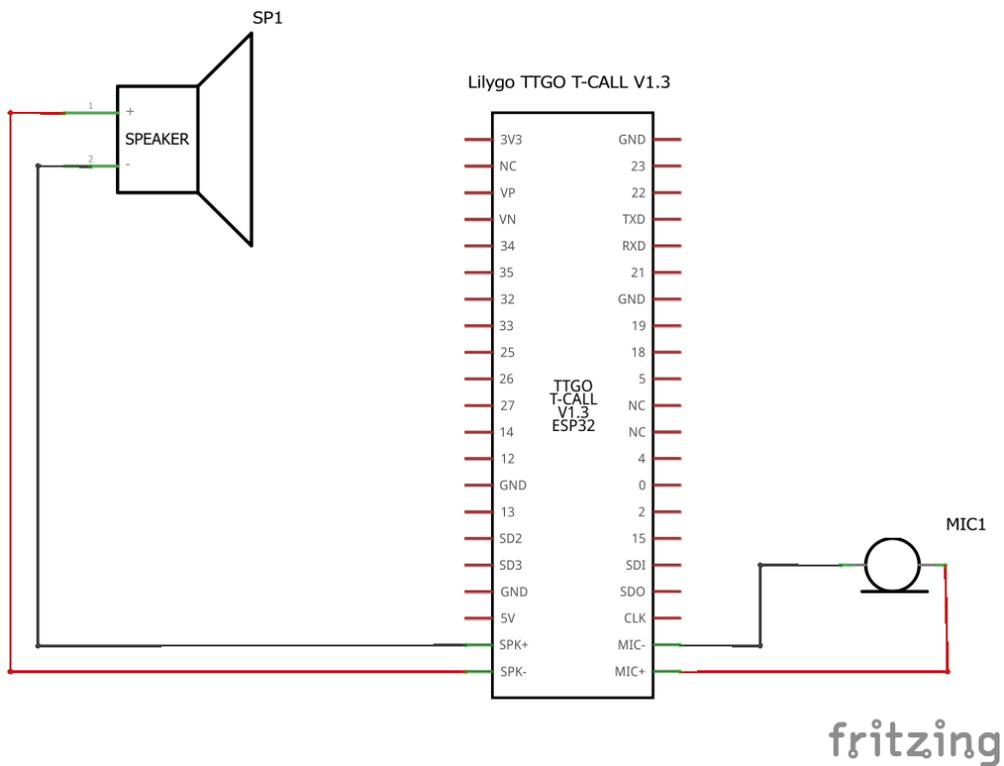


FIGURE 4.10 – Schéma câblage Micro et haut-parleur du module SIM800L

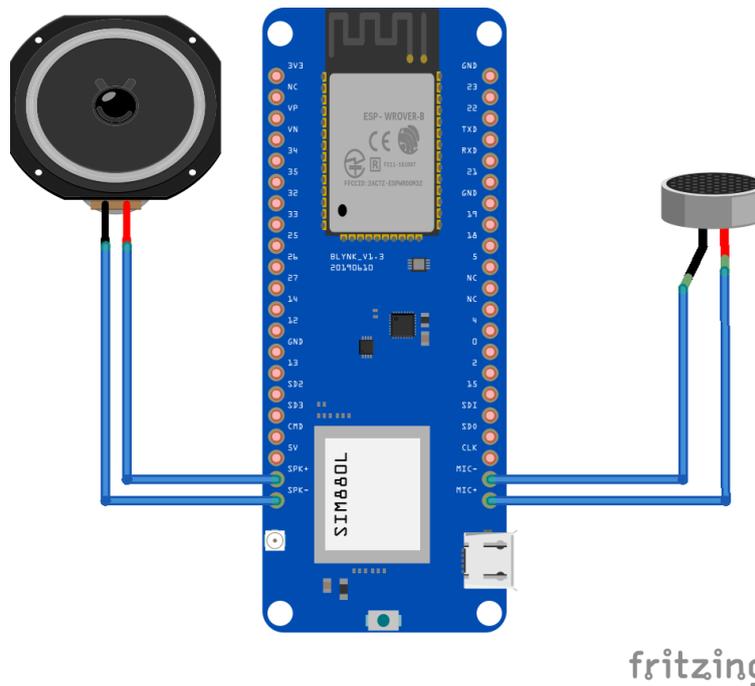


FIGURE 4.11 – Schéma graphique câblage Micro et haut-parleur du module SIM800L

Un ensemble de matériels sont reliés à la carte Lilygo TTGO T CALL qui est le centre de traitement, ces composants sont les suivant :

#### **Ecran TFT tactile 2.8"**

L'écran TFT ILI9341 (Figure 4.12) est basé sur un contrôleur d'affichage du même nom : ILI9341. Il utilise le protocole d'interface SPI et nécessite 4 ou 5 broches de contrôle, il est peu coûteux et facile à utiliser. Il dispose aussi d'un support pour carte micro-SD (carte non incluse).

Cet écran est déjà doté d'un écran tactile résistif, ce qui permet de détecter les pressions de doigt n'importe où sur l'écran[26].



FIGURE 4.12 – Ecran 2.8 TFT 320x240 tactile

Des programmes et bibliothèques permettent l'utilisation de ce shield, elles sont décrites ci-dessous :

#### **Bibliothèque TFT eSPI**

URL : [https://github.com/dmer/TFT\\_eSPI](https://github.com/dmer/TFT_eSPI)

TFT eSPI est une bibliothèque de graphiques et de polices compatible Arduino IDE conçue pour les processeurs 32 bits. Elle a été optimisée pour les Microcontrôleurs STM32, ESP8266 et ESP32. La bibliothèque comprend des pilotes pour plusieurs écrans TFT dont l'écran tactile 2.8" ILI9341 utilisé dans le projet, qui prend en charge le protocole de communication SPI.

#### **Bibliothèque LVGL**

URL : <https://github.com/lvgl/lvgl>

LVGL (Figure 4.13) est une bibliothèque graphique open-source intégrée légère pour les écrans et les écrans tactiles fournissant tout le nécessaire pour créer une interface graphique intégrée entièrement équipée, fournissant tout ce dont nous avons besoin pour créer une interface graphique intégrée avec des éléments graphiques faciles à utiliser, de beaux effets visuels et une faible empreinte de mémoire.



FIGURE 4.13 – Logo LVGL

La carte d'affichage TFT ILI9341 contient 14 broches, 9 broches sont pour l'affichage (VCC, GND, CS, RESET, DC, MOSI, SCK, LED, MISO) et les 5 autres broches sont pour le module tactile (T\_CLK, T\_CS, T\_DIN, T\_DO, T\_IRQ).

L'écran TFT ILI9341 est connecté à Lilygo TTGO T CALL comme suit :

- La broche CS (sélection de puce) est connectée à la pin 12.
- La broche RESET (réinitialisation) est connectée à la pin 35.
- La broche DC (données / commande) est connectée à la pin 15.
- Les broches MOSI (entrée esclave master-out) et T\_DIN sont connectées à la pin 32.
- Les broches SCK (horloge) et T\_CLK sont connectées à la pin 18.
- La broche VCC est connectée à la pin 3V3.
- La broche LED (rétro-éclairage) est connectée à SD3
- Les broches MISO (sortie maître d'entrée esclave) T\_DO sont connectées à VP (pin 36).
- La broche GND est connectée à la broche GND de la carte Lilygo TTGO T CALL.

#### **Connexion de l'écran ILI9341 à la carte LILYGO TTGO T CALL**

Les schémas suivants (Figure 4.14, 4.15) montrent le schéma de branchement de l'écran ILI9341 à la carte LILYGO TTGO T-CALL.

### 4.3. RÉALISATION DE NOTRE SYSTÈME

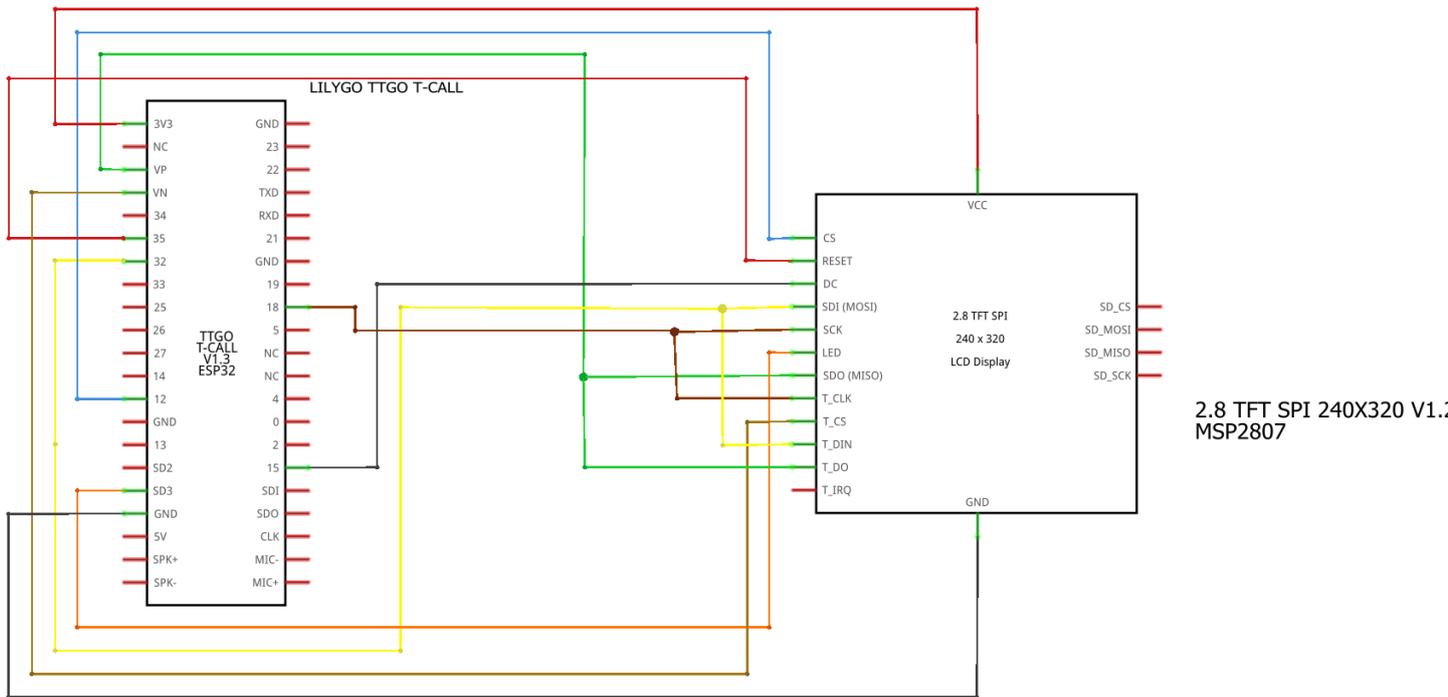


FIGURE 4.14 – Schéma de câblage ILI9341

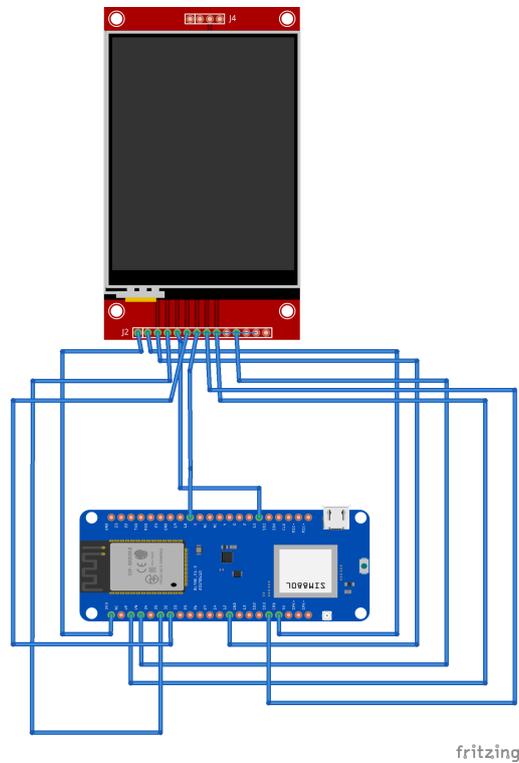


FIGURE 4.15 – Schéma graphique câblage ILI9341

L'affichage des images de la vidéosurveillance envoyées par l'ESP32-CAM par communi-

cation WIFI vers la carte LILYGO TTGO T-CALL se fait grâce à la bibliothèque Arduino JPEGDecoder library, ces images sont reçues au format HPEG. Elles sont ensuite décodées grâce à la librairie décrite ci-dessus :

#### Arduino JPEGDecoder library

URL : [https://github.com/Bodmer/TJpg\\_Decoder.git](https://github.com/Bodmer/TJpg_Decoder.git)

Cette bibliothèque Arduino prend en charge le rendu des fichiers Jpeg stockés à la fois sur la carte SD et dans des tableaux dans la mémoire programme (FLASH), sur un écran TFT. De plus, les images stockées dans le système de fichiers Flash SPIFFS ou les tableaux « PROGMEM » peuvent être utilisées avec le microcontrôleur ESP32.

#### La serrure solénoïde

Les serrures solénoïdes sont des électro-aimants : Ils sont composés d'une grosse bobine de cuivre avec une armature (un noyau en métal) en leur centre. Quand la bobine est alimentée, le noyau est attiré au centre de la bobine. Cela permet au solénoïde de se déplacer. Cette solénoïde est particulièrement robuste, son noyau en métal dispose d'une extrémité avec une coupe inclinée et d'un bon support de montage. Cela en fait une serrure électrique, idéale pour une porte. De base, la serrure est active sans alimentation, quand une tension de 9V Dc à 12V Dc est appliquée, la serrure s'actionne et la porte peut s'ouvrir[24].

Pour piloter un solénoïde, il est nécessaire de disposer d'une bonne alimentation pouvant fournir 500mA, il ne faut pas piloter cette serrure électronique directement avec un microcontrôleur, mais il faut utiliser un relais électronique, qui est un interrupteur qui se commande avec une tension continue ou alternative de faible puissance. Il sert à piloter des charges secteur de forte puissance, jusqu'à 10 ou 16A couramment[25].

La serrure solénoïde est connectée à la carte LILYGO TTGO T-CALL à l'aide d'un relais, le câblage est comme suit :

- La broche Vcc du relais est connectée à 5V de la carte.
- La broche GND du relais est connectée à GND de la carte
- La broche (Signal) du relais est connectée à la pin RX (Pin 3) de la carte
- La broche Feed du relais est connectée à Vcc de la serrure solénoïde
- La broche NO du relais +Vout de l'alimentation 12V
- La broche GND de l'alimentation 12V est connectée à GND de la serrure solénoïde

#### Connexion de la serrure solénoïde à la carte Lilygo TTGO T-CALL

Les schémas suivants (Figure 4.16, 4.17) montre le schéma de câblage du relais et de la serrure solénoïde à la carte LILYGO TTGO T-CALL.

### 4.3. RÉALISATION DE NOTRE SYSTÈME

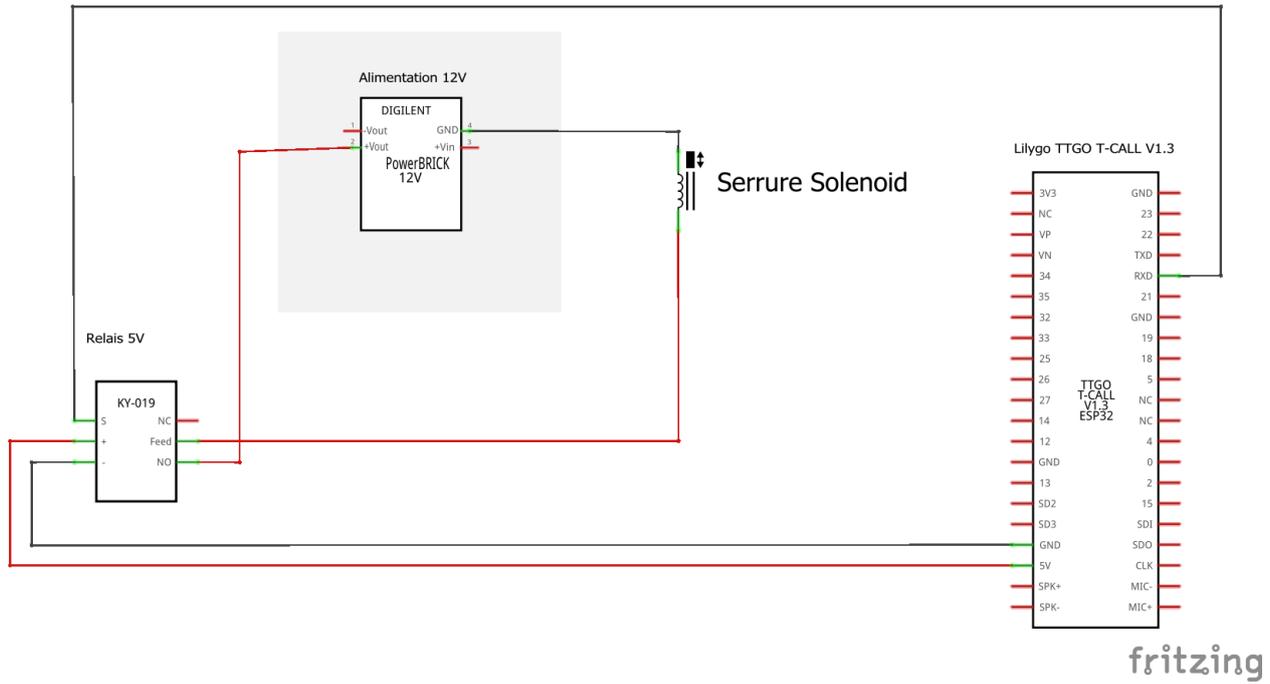


FIGURE 4.16 – Schéma de câblage serrure solénoïde

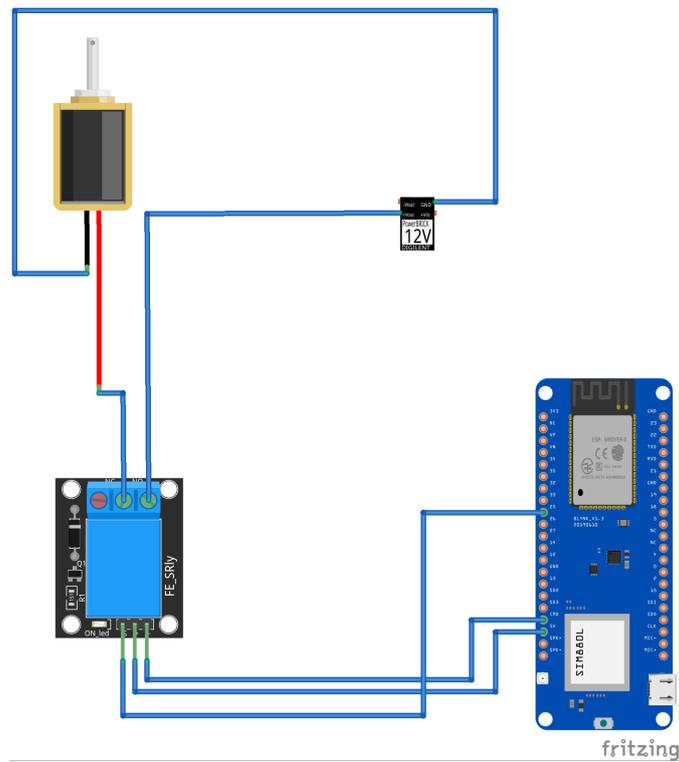


FIGURE 4.17 – schéma graphique câblage serrure solénoïde

### Bouton poussoir

Dans le cadre de notre projet, appuyer sur le bouton poussoir permet soit, de sonner à la porte dans le cas où l'alarme est désactivée (quelqu'un est présent dans la maison), soit de passer un appel si l'alarme est activée (la maison est vide).

Les pins de ce bouton poussoir sont branchés, une au GND et l'autre à la pin 33 de la carte Lilygo TTGO T CALL.

### Connexion du Bouton poussoir à la carte Lilygo TTGO T CALL

Les schémas suivants (Figure 4.18, 4.19) montre le schéma de câblage du bouton poussoir à la carte LILYGO TTGO T-CALL.

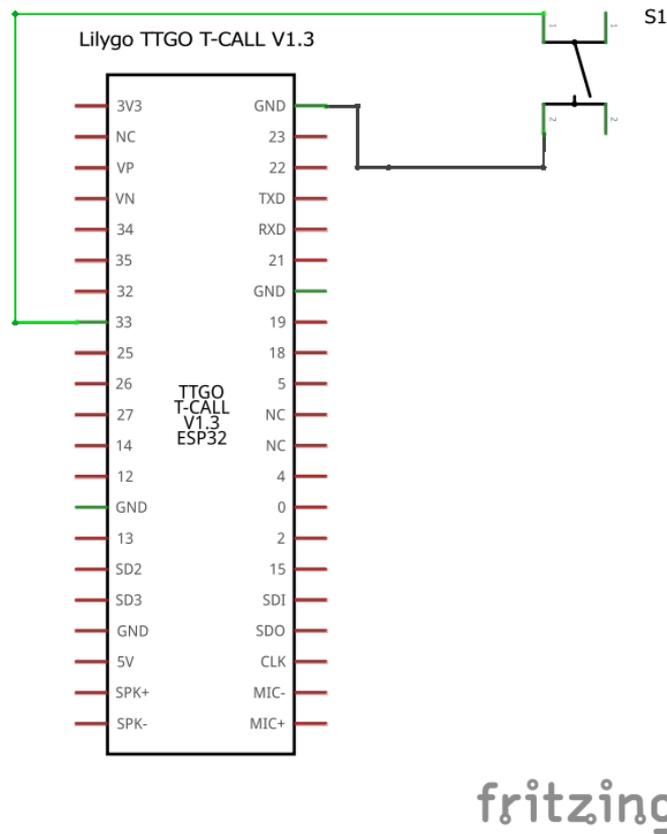


FIGURE 4.18 – Schéma de câblage bouton poussoir

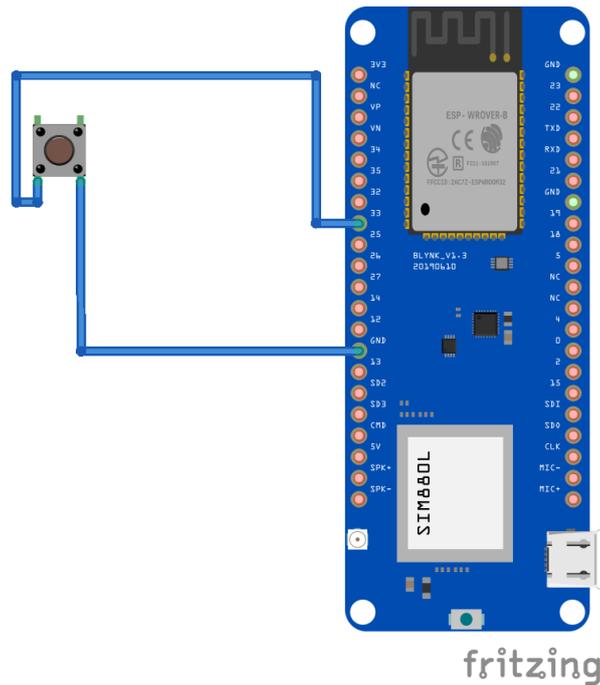


FIGURE 4.19 – Schéma Graphique câblage bouton poussoir

#### Le lecteur RFID

Le module RFID-RC522 est une carte d'interface compatible avec plusieurs cartes microprocesseur tels que Lilygo TTGO T CALL. Il est basé sur le circuit MFRC522 de NXP et est utilisé pour lire et écrire sur des cartes ou badges RFID de type Mifare. Ces cartes et le module RFID communiquent en général via le bus SPI.

Le module est livré avec une carte et un badge porte-clés utilisables en lecture et écriture.

Pour utiliser le module RFID RC522 nous utilisons la librairie "Arduino RFID Library for MFRC522 (SPI)" qui permet d'établir la communication entre la carte Lilygo TTGO T CALL et le module RFID et aussi de dialoguer avec ce module RFID.

La librairie qui permet l'utilisation de ce shield est la suivante :

#### Arduino RFID Library for MFRC522 (SPI)

URL : <https://github.com/miguelbalboa/rfid>

Cette Bibliothèque Arduino pour MFRC522 permet la lecture et écriture de différents types de cartes d'identification par radiofréquence (RFID) à l'aide d'un lecteur basé sur RC522 connecté via l'interface SPI.

Le module RFID RC522 utilise le protocole SPI pour communiquer avec LILYGO TTGO T CALL. La communication SPI utilise des broches spécifiques de la carte LILYGO TTGO T CALL. Le module RFID RC522 est connecté à LILYGO TTGO T CALL comme suit :

### 4.3. RÉALISATION DE NOTRE SYSTÈME

- La broche Vcc est connectée à 3V3.
- La broche RST (Reset) est connectée à pin 22.
- La broche GND (Masse) est connectée à GND.
- La broche MISO (Master Input Slave Output) est connectée à pin 19.
- La broche MOSI (Master Output Slave Input) est connectée à pin 13.
- La broche SCK (Serial Clock) est connectée à pin 14.
- La broche SS/SDA (Slave select) est connectée à pin 21.

#### Connexion du lecteur de carte RFID à la carte LILYGO TTGO T CALL

Les schémas suivants (Figure 4.20, 4.21) montre le schéma de câblage du lecteur de carte RFID à la carte LILYGO TTGO T-CALL.

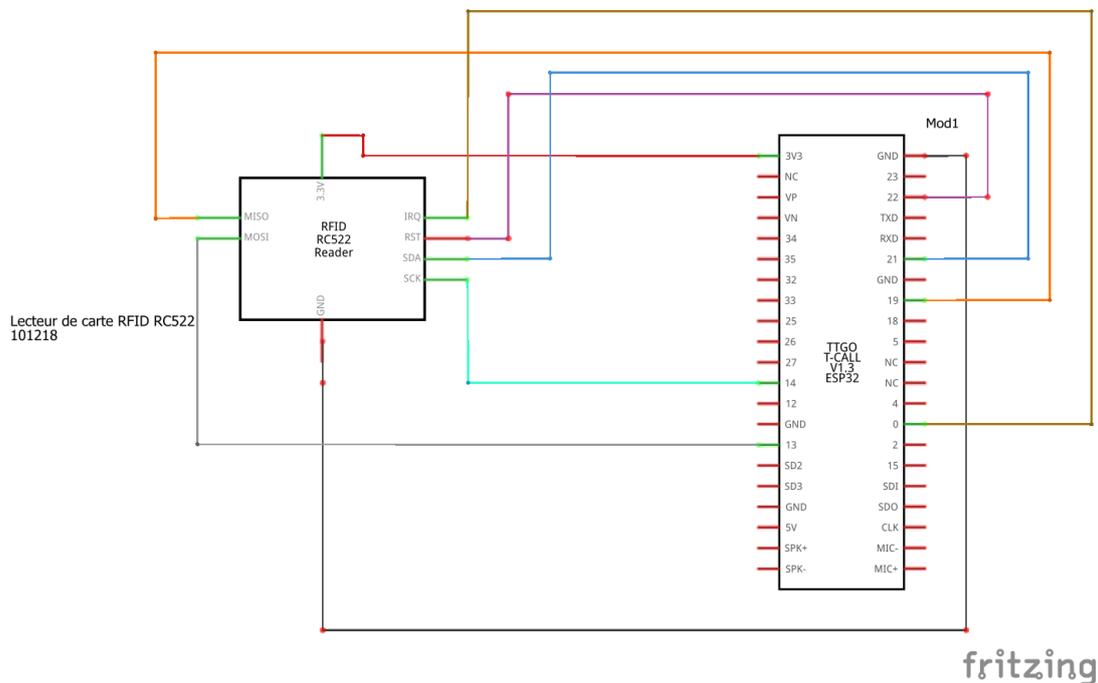


FIGURE 4.20 – Schéma de câblage RC522

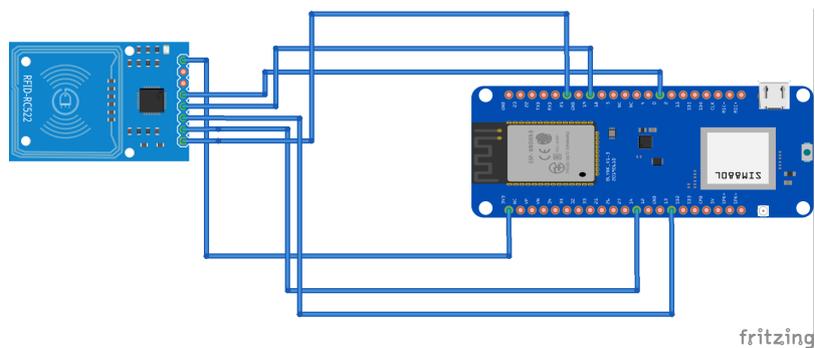


FIGURE 4.21 – Schéma graphique câblage RC522

#### Capteur de gaz MQ4

Le capteur de gaz MQ4 décrit dans le chapitre précédent a quatre broches. 3 broches sont connectées à la carte LIYGO TTGO T-CALL comme suit :

- La broche Vcc est connectée à 3V3.
- La broche DO (Signal Digital) est connectée à pin 34.
- La broche GND (Masse) est connectée à GND.
- La broche AO (Signal analogique) n'est pas connectée.

#### Connexion du capteur de gaz MQ4 à la carte LILYGO TTGO T-CALL

Les schémas suivants (Figure 4.22, 4.23) montre le schéma de câblage du capteur de gaz MQ4 à la carte LILYGO TTGO T-CALL.

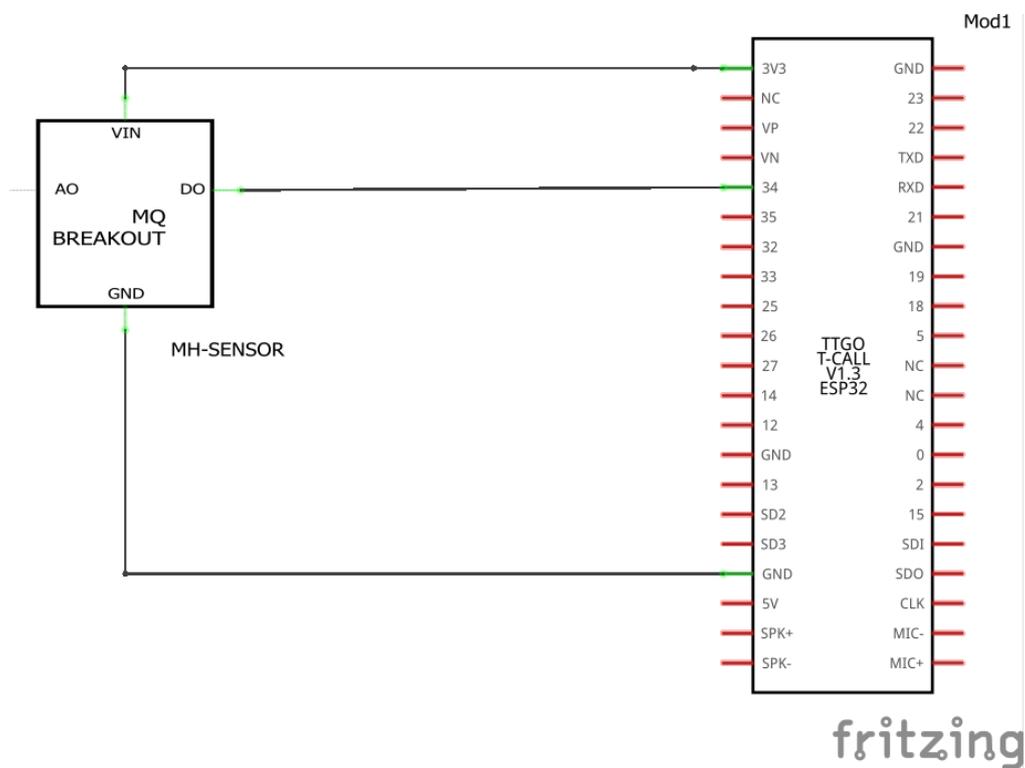


FIGURE 4.22 – Schéma de câblage MQ4

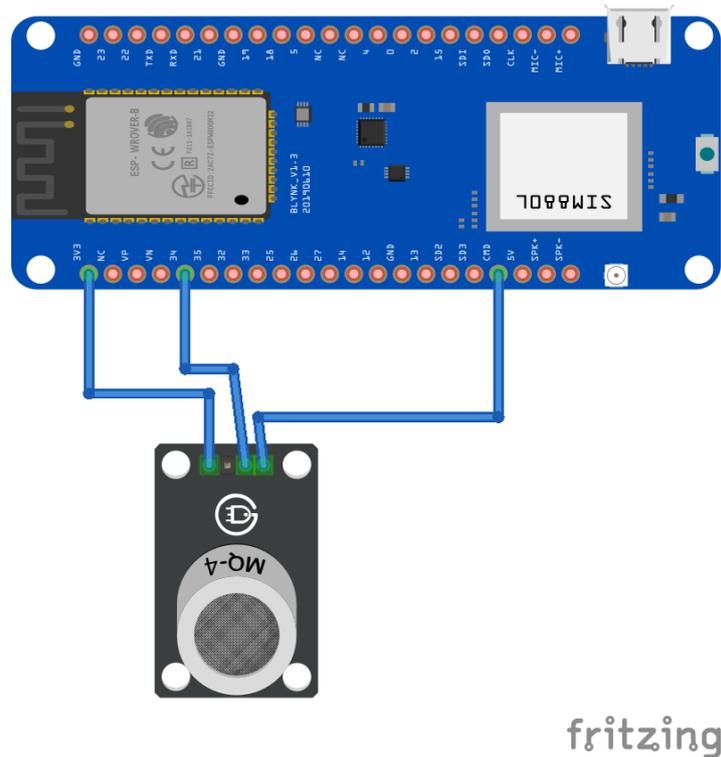


FIGURE 4.23 – Schéma graphique de câblage MQ4

#### Capteur de mouvement

Le capteur de mouvement décrit dans le chapitre précédent, a trois broches qui sont connectées à la carte LILYGO TTGO T-CALL comme suit :

- La broche Vcc est connectée à 3V3.
- La broche SIG (Signal) est connectée à pin TX (Pin 1).
- La broche GND (Masse) est connectée à GND.

#### Connexion du capteur de mouvement à la carte LILYGO TTGO T-CALL

Les schémas suivants (Figure 4.24, 4.25) montre le schéma de câblage du capteur de mouvement à la carte LILYGO TTGO T-CALL.

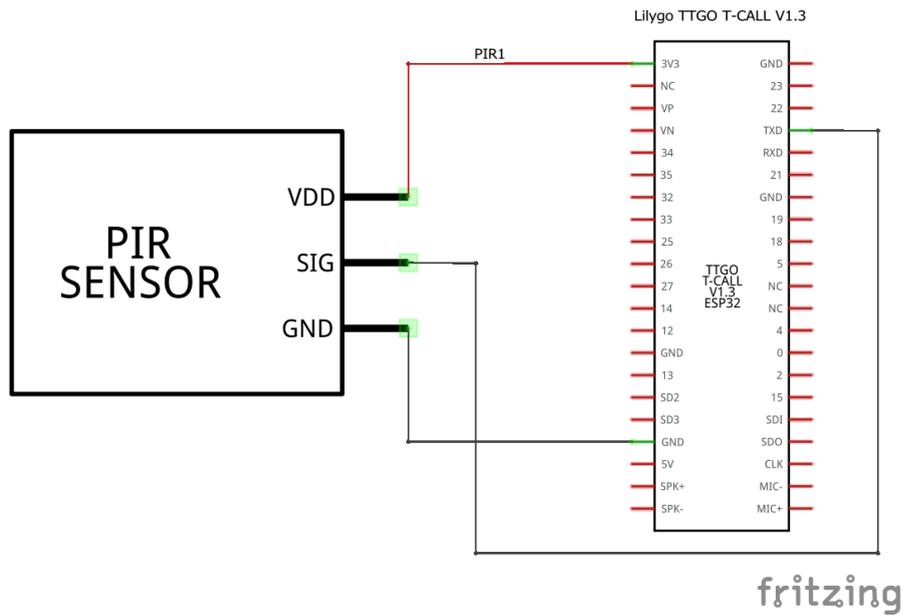


FIGURE 4.24 – Schéma câblage Capteur de mouvement

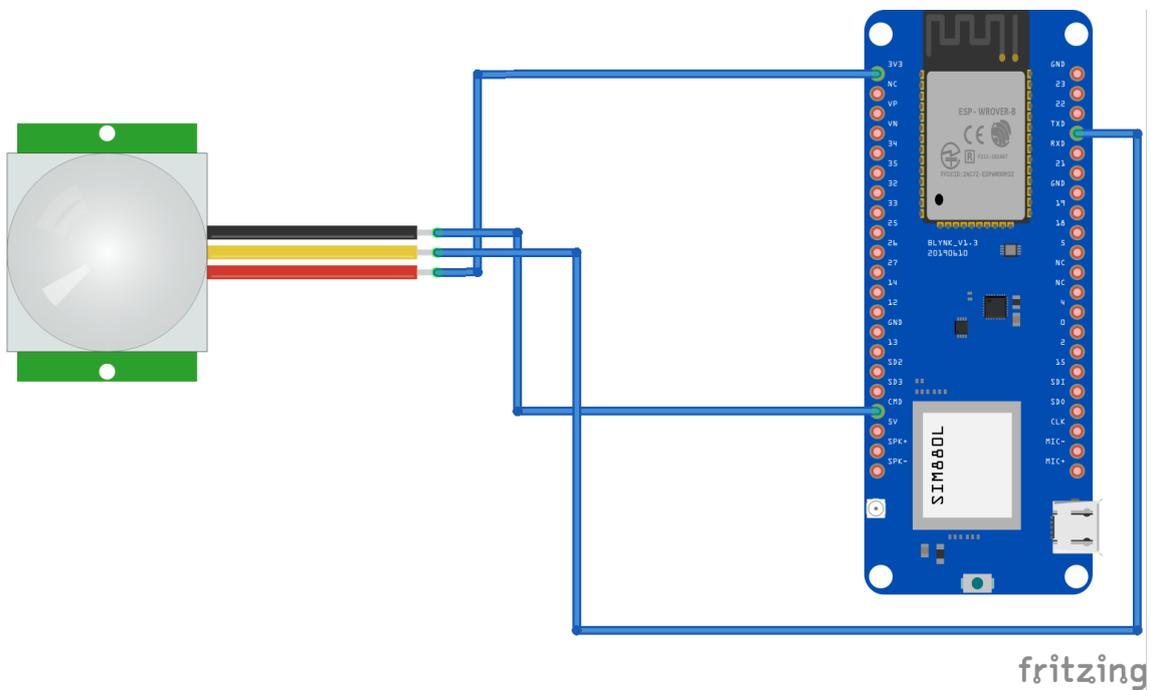


FIGURE 4.25 – Schéma graphique câblage capteur de mouvement

#### Détecteur de Monoxyde de Carbone (MQ7)

Le détecteur de Monoxyde de Carbone (MQ7) décrit dans le chapitre précédent, a 3 broches connectées à la carte LILYGO TTGO T-CALL comme suit :

- La broche Vcc est connectée à 3V3.
- La broche DO (Signal Digital) est connectée à pin 2.
- La broche GND (Masse) est connectée à GND.
- La broche AO (Signal analogique) n'est pas connectée.

#### Connexion du détecteur de Monoxyde de Carbone (MQ7) à la carte LILYGO TTGO T-CALL

Les schémas suivants (Figure 4.26, 4.27) montre le schéma de câblage du détecteur de Monoxyde de Carbone (MQ7) à la carte LILYGO TTGO T-CALL.

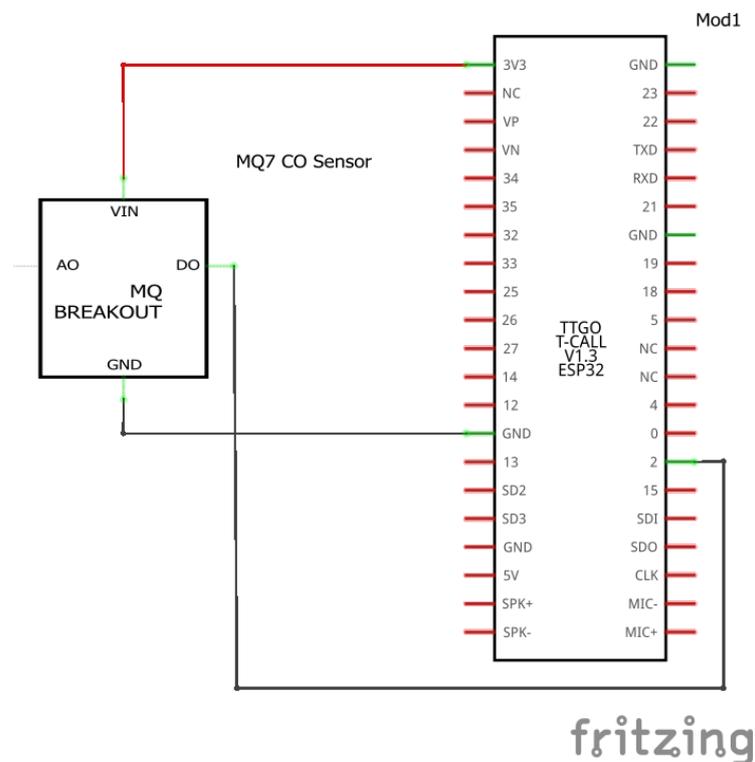


FIGURE 4.26 – Schéma de câblage Capteur de MQ7

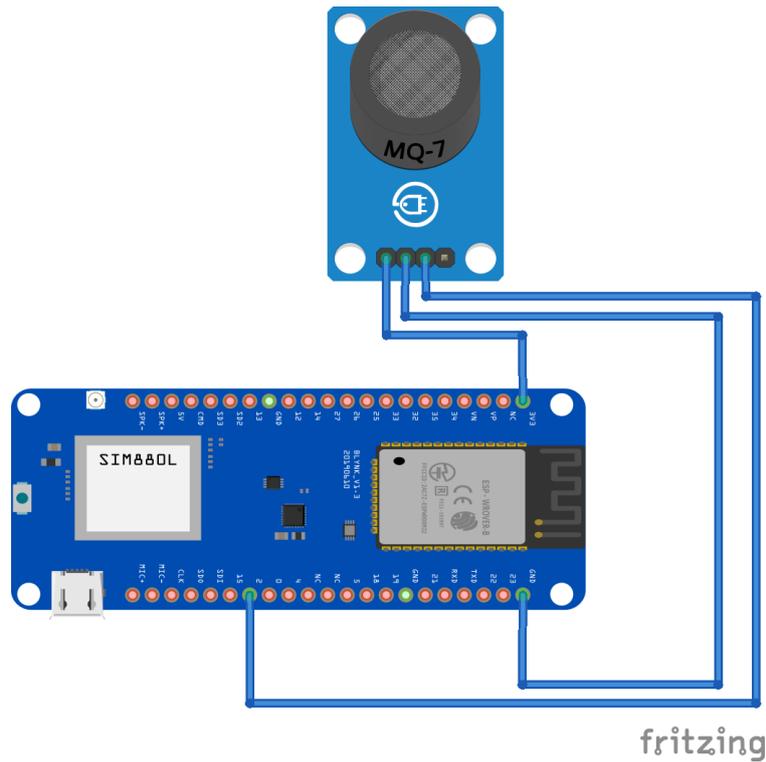


FIGURE 4.27 – Schéma graphique câblage capteur MQ7

#### Capteur infrarouge de détection de flamme

Le capteur infrarouge de détection de flamme décrit dans le chapitre précédent, a 3 broches connectées à la carte LILYGO TTGO T-CALL comme suit :

- La broche Vcc est connectée à 3V3.
- La broche DO (Signal Digital) est connectée à la pin 25.
- La broche GND (Masse) est connectée à GND.
- La broche AO (Signal analogique) n'est pas connectée.

#### Connexion de détection de flamme à la carte LILYGO TTGO T-CALL

Les schémas suivants (Figure 4.28, 4.29) montre le schéma de câblage du capteur infrarouge de détection de flamme à la carte LILYGO TTGO T-CALL.



## 4.4 Implémentation des tâches de l'unité de traitement

L'ESP32 est fourni avec un microprocesseur Xtensa 32 bits LX6 dual core. Il s'agit donc d'un dual core (Core 0 et Core 1). Nous avons utilisé freeRTOS dans le but de gérer les différentes tâches de notre système comme le montre la Figure 4.30

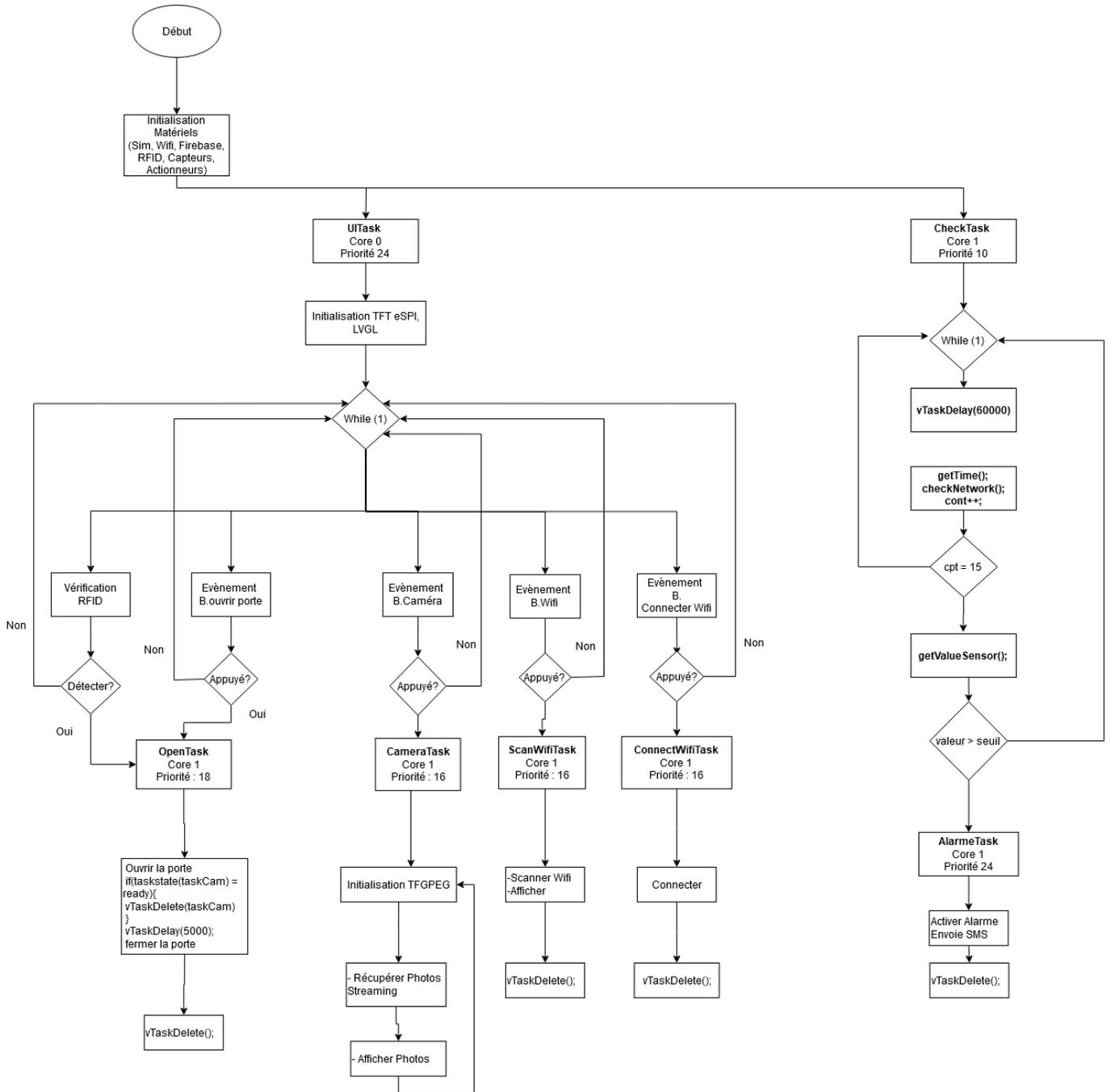


FIGURE 4.30 – Diagramme des tâches du système

- Core 0 : Ce core est alloué pour l'affichage de l'interface graphique, il est occupé exclusivement et en permanence par la tâche UITask, qui surveille les événements liés à cette interface pour ensuite créer une tâche à chaque événement spécifique qui sera exécuté sur

le Core 1.

- Core 1 : Ce core est alloué pour les autres tâches de notre système, ces différentes tâches sont décrites ci-dessous :
  - CheckTask : Cette tâche est exécutée chaque minute. Elle récupère l'heure et la date du serveur NTP, vérifie le réseau GSM et récupère et vérifie les valeurs des capteurs de gaz. Elle a une priorité de 10. Elle est tout le temps exécutée sauf si une tâche de plus grande priorité la stoppe.
  - CameraTask : Cette tâche permet, après avoir initialisé la bibliothèque JPEG de récupérer les images de la vidéosurveillance du serveur de streaming sur l'écran TFT. pour ensuite les afficher à l'utilisateur.
  - OpenTask : Cette tâche ouvre la porte de la maison et supprime la tâche CameraTask si elle est à l'état "Prêt".
  - ScanWifiTask : Cette tâche permet de scanner les réseaux Wifi disponibles et les affiche à l'écran.
  - ConnectWifi : Cette tâche permet de se connecter au Wifi sélectionné par l'utilisateur.

Le fonctionnement des événements et des tâches gérées par l'UI est expliqué ci dessous :

Tous d'abord la tâche UI surveille un ensemble d'événement qui sont :

- Vérification du Bouton Camera : La tâche UI vérifie en permanence si il y a un appui sur l'icône caméra, si oui elle lance la tâche CameraTask qui sera exécutée sur le Core 1.
- Vérification du Bouton ouvre la porte : Il y a deux possibilité d'ouvrir la porte soit par l'icône dans le menu principal ou le bouton dans l'interface de la caméra. Alors la tâche UI vérifie :
  - Si il y a un appui sur l'icône ouvrir la porte, la tâche OpenTask sera créée et exécutée sur le core 1 .
  - Si il y a un appui sur le bouton dans l'interface de camera, une tâche OpenTask sera créée. Elle interrompt la tâche CameraTask et la supprime pour qu'elle s'exécute sur le core 1.
  - Une fois l'ouverture effectuée, la tâche est supprimée.
- Vérification du Bouton Scan Wifi : la tâche UITask vérifie s'il y a un appui sur le bouton WIFI dans le menu des paramètres, si oui elle crée la tâche ScanWifiTask qui sera exécutée sur le core 1. La tâche est supprimée une fois terminée.
- Vérification Bouton Connect Wifi : La tâche UITask vérifie s'il y a un appui sur le bouton CONNECT, si oui la tâche ConnectWifiTask sera créée et sera exécutée sur le core 1. Une fois son travail terminé, la tâche est supprimée.
- Vérification RFID : C'est la tâche qui vérifie si un accès RFID autorisé est détecté, si oui la tâche OpenTask est créée et lancée sur le core 1. Cette dernière est supprimée une fois terminée.

D'une autre part sur le core 1 chaque minute la tâche CheckTask vérifie les valeurs reçues par les capteur de gaz et de flamme. Si ces dernières dépassent un seuil, la tâche AlarmeTask sera créée. Cette dernière active l'alarme et envoie un sms d'alerte à l'utilisateur. La tâche AlarmeTask est supprimée une fois terminée.

La priorité entre toutes ces tâches se fait comme suit :

Les tâches CameraTask, ScanWifiTask et ConnectTask créées par la tâche UI sont toutes de même priorité qui est de 16. La tâche OpenTask a une priorité supérieure aux autres tâches (18).

Toutes ces tâches s'exécutent sur le core 1 de ce fait si checkTask qui a une priorité de 10 s'exécute sur le core 1, elle sera interrompue par l'une de ces tâches. Par contre, la tâche AlarmTask reste toujours en exécution car elle a une priorité de 24 qui est la plus grande priorité.

## 4.5 Test et Implémentation

Cette section est consacrée à la présentation de quelques tests de fonctionnalité de notre système réalisé.

### 4.5.1 Application embarquée

Les figures suivantes (Figure 4.31, 4.32) montrent l'interface de veille et l'interface principale de l'application qui comprend 4 icônes (ouvrir la porte, la caméra, l'alarme et enfin les réglages).



FIGURE 4.31 – capture d'écran de veille



FIGURE 4.32 – Capture d'écran d'accueil

En appuyant sur l'une des icônes, nous sommes redirigés automatiquement vers une nouvelle interface comme indiqués ci-dessous :

- Ouvrir la porte : En choisissant ce menu on a la possibilité d'ouvrir la porte de la maison. un message de confirmation s'affiche à l'ouverture de la porte comme le montre la Figure 4.33.

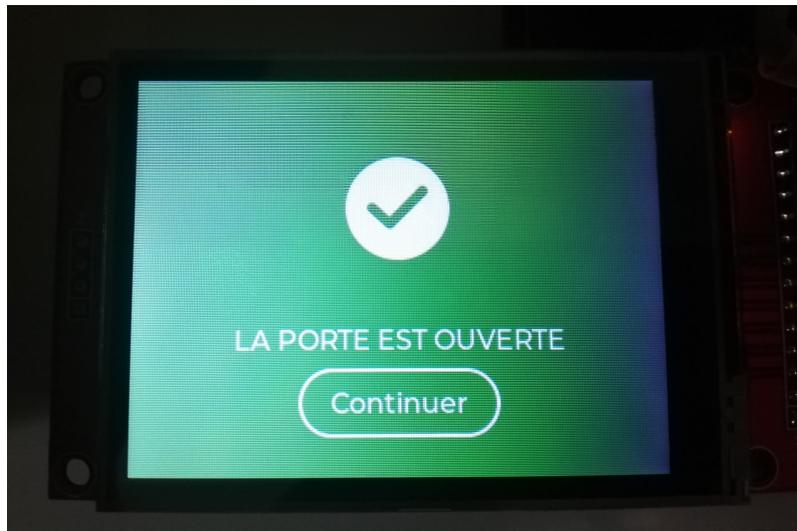


FIGURE 4.33 – capture d'écran porte ouverte

- Caméra : Ce menu nous donne la possibilité de visionner la caméra placées à l'extérieur de la maison tout en offrant la possibilité d'ouvrir la porte depuis la même interface. Comme le montre la Figure 4.34.

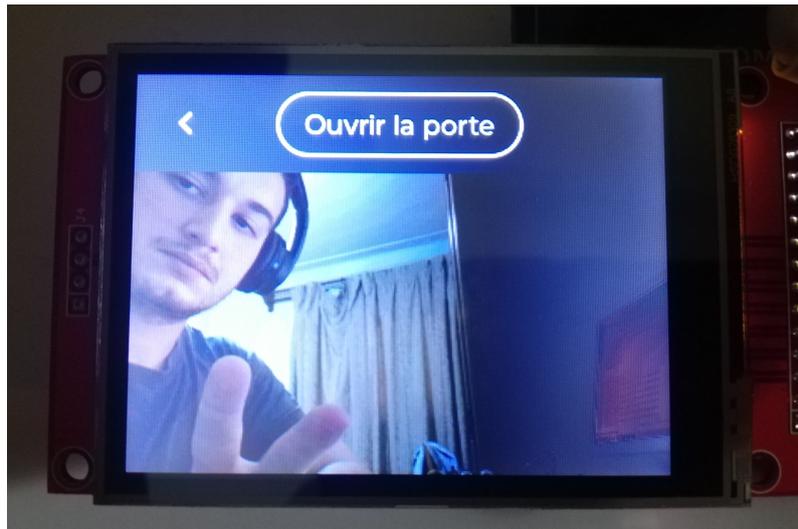


FIGURE 4.34 – Capture d'écran voir la caméra

- Alarme : en cliquant sur l'icône nous pouvons changer l'état de l'alarme (soit activer ou désactiver l'alarme) selon son état actuel. Comme le montre la Figure 4.35.

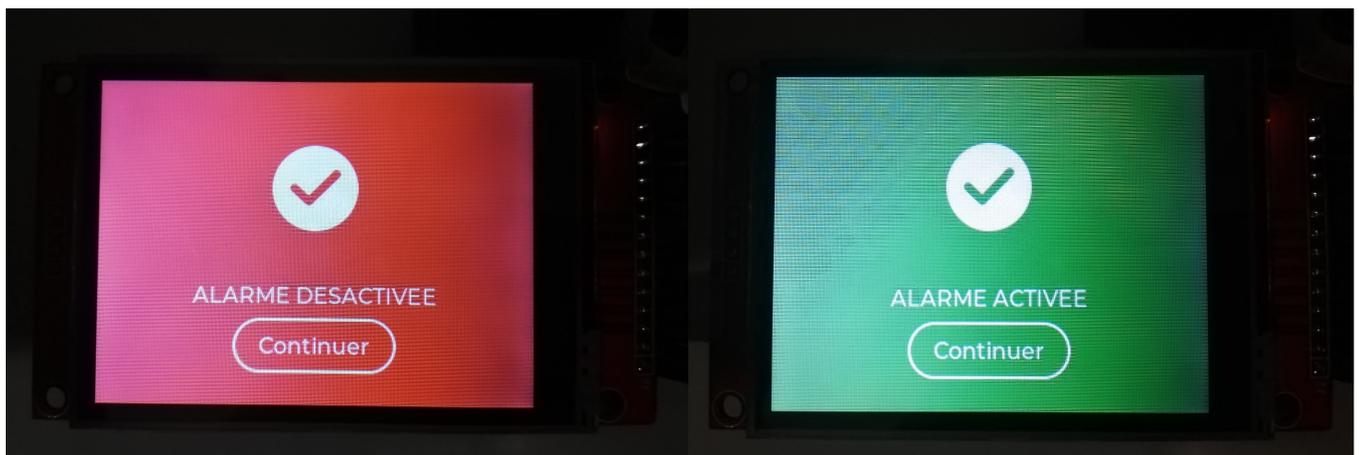


FIGURE 4.35 – Capture d'écran Alarme

- Paramètres : en cliquant sur l'icône nous sommes redirigé automatiquement vers un écran d'authentification pour pouvoir accéder au menu des paramètres. Comme le montre la Figure 4.36.

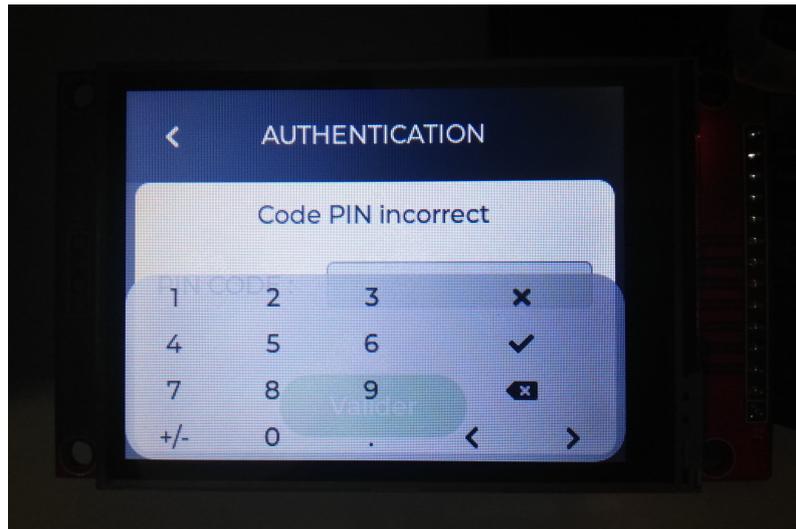


FIGURE 4.36 – Ecran Authentication Paramètres

- Une fois l'authentification effectuée nous accédons à un sous-menu avec 2 options : WIFI ou Utilisateur. Comme le montre la Figure 4.37.



FIGURE 4.37 – Capture d'écran Paramètres

- Pour le sous menu 'WIFI' : nous avons la possibilité de nous connecter au WIFI disponible. Comme le montre la Figure 4.38.

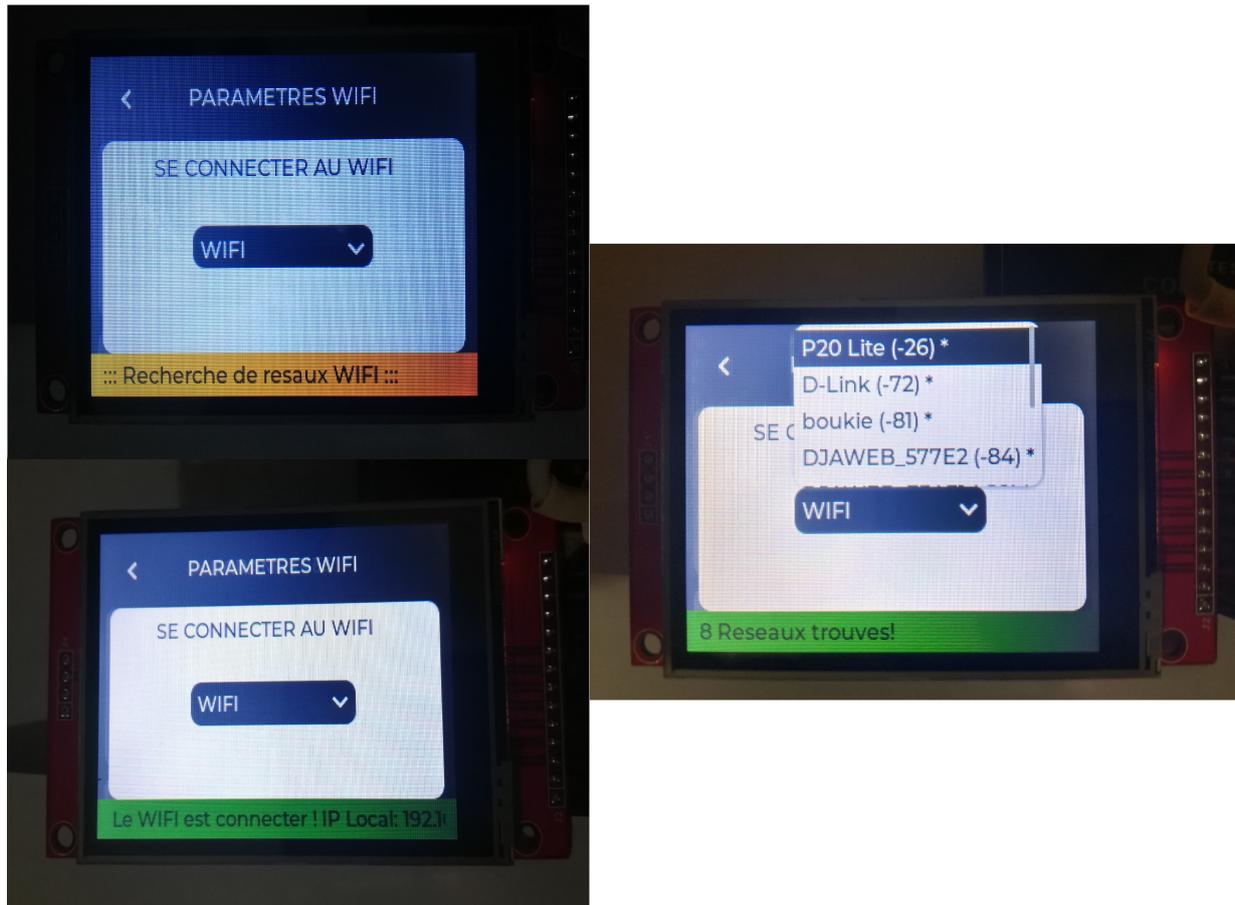


FIGURE 4.38 – Captures d’écran de connexion au wifi

- Pour le sous menu 'UTILISATEUR' : nous pouvons changer le mot de passe de l'application. Comme le montre la Figure 4.39.

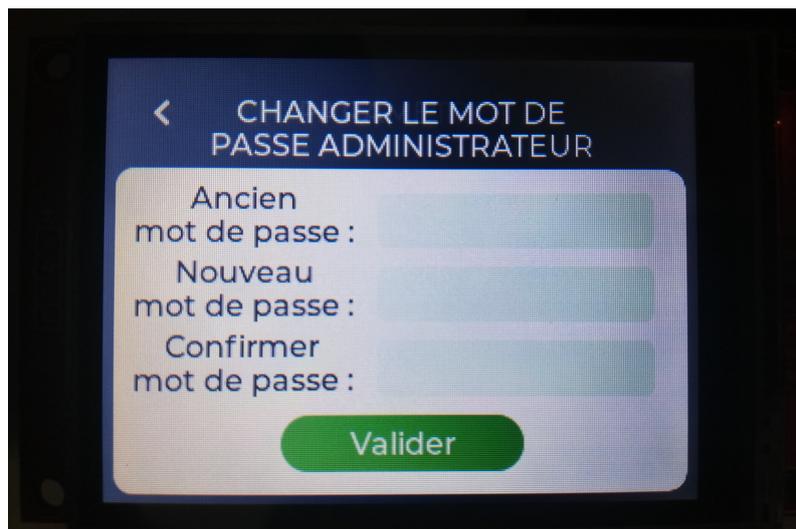


FIGURE 4.39 – Ecran changer le mot de passe administrateur

## 4.5.2 Application Mobile

L'application mobile nous permet d'interagir avec notre maison, la sécuriser à distance. Elle se compose des interfaces suivantes :

- Les interfaces de l'application mobile

Les interfaces de l'applications mobile sont illustrées dans la Figure 4.40 suivante et expliquées ci-dessous.



FIGURE 4.40 – Interface de l'application mobile

L'interface Splash est l'interface de chargement. une fois le chargement terminé l'interface Door Activity s'affiche.

La navigation dans l'application se fait grâce à la barre de navigation qui se trouve en bas de l'écran.

La section porte nous permet tout d'abord d'identifier le système embarqué de la maison à surveiller, ensuite nous pouvons afficher les images en temps réel de la caméra placée à l'extérieur de la maison. Nous pouvons aussi ouvrir la porte ou capturer une image en temps réel.

La section Capteurs nous permet de visualiser les valeurs captées par le capteur de gaz et le capteur de monoxyde de carbone en temps réel ainsi que l'activité signalée par le capteur de mouvement quand l'alarme est activé.

La section Paramètres nous permet de configurer notre système de surveillance. Nous pouvons activer ou désactiver l'alarme ainsi que d'autres configurations que nous allons expliquer en détail une fois la mise en place de notre système de surveillance terminée.

- Ajout d'un appareil

Les étapes de l'ajout d'un appareil à l'application mobile sont illustrées dans la Figure 4.41 suivante et expliquées ci-dessous.

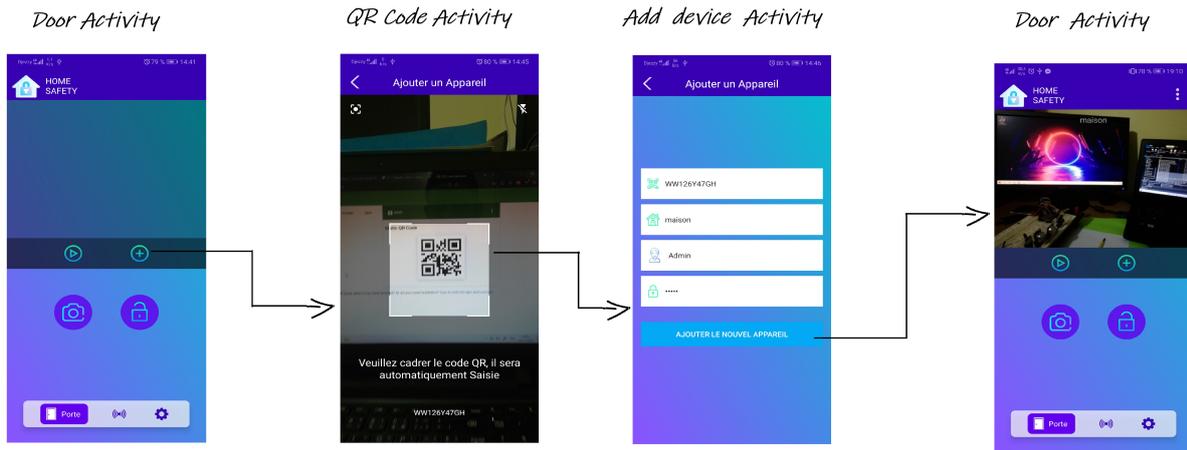


FIGURE 4.41 – Scénario de l'ajout d'un appareil

En cliquant sur le bouton (+) nous pouvons nous connecter a notre système pour interagir avec lui. Pour cela on doit d'abord lire le code QR qui représente le numéro de série de notre appareil de surveillance ensuite nous pouvons ajouter cet appareil à notre application mobile en saisissons les identifiants de l'administrateur du système. Une fois connecté, l'application nous redirige vers Door Activity où nous pouvons visionner les images de la caméra de surveillance du système auquel nous nous sommes connecté ou ouvrir la porte a distance, etc.

- Menu paramètres

La section Paramètres contient trois sections chacun nous redirige vers une interfaces spécifique comme le montre la Figure 4.42 suivante et est expliquées ci-dessous.

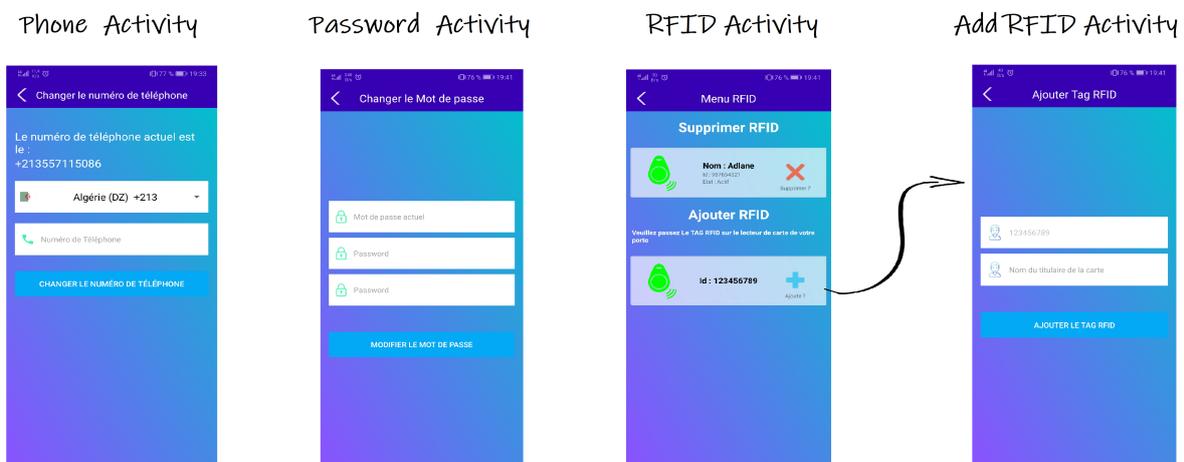


FIGURE 4.42 – interface du menu

- *NUMERO DE TELEPHONE ET SMS* : nous redirige vers l'interface Phone Activity qui nous permet de modifier le numéro de téléphone auquel le système envoie les sms, les notifications et les appels.
- *MENU RFID* : nous redirige vers l'interface RFID Activity qui nous permet soit de supprimer une carte RFID déjà ajoutée soit d'ajouter une carte RFID comme le montre l'interface Add RFID Activity dans la Figure 4.42 .
- *CHANGER DE MOT DE PASSE* : nous redirige vers l'interface Password Activity qui nous permet de changer le mot de passe de l'administrateur du système embarqué.

## 4.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons commencé par présenter les outils et l'environnement de travail que nous avons utilisé.

Ensuite nous avons présenté les différents schémas de cablage entre les différents capteurs utilisés pour la réalisation de notre système et la carte LILYGO TTGO T-CALL.

Par la suite nous avons ensuite présenté les deux applications, application embarquée et application mobile.

# Conclusion Générale

Dans ce mémoire, nous avons illustré le fonctionnement des systèmes de sécurité, dans le but de concevoir un système de sécurité et de surveillance en temps réel des lieux domestiques via une application Android et une application embarquée.

Nous avons commencé par décrire la domotique, la sécurité domotique ainsi que les systèmes de sécurité existants. Nous avons ensuite parlé des systèmes embarqués et décrit la carte utilisée pour notre projet. puis nous avons décrit les différentes étapes de la conception de notre système de sécurité. Pour finir avec la réalisation et les tests du système de sécurité.

Tout cela dans le but de réaliser les objectifs assignés à ce projet qui se résument à :

- La mise en place d'un système de sécurité complet c-à-d anti-intrusion, détection d'incendie et détection d'émanation de gaz toxiques.
- La mise en place d'un serveur streaming pour la vidéosurveillance.
- Le contrôle à distance du système de sécurité via une application mobile.
- La mise en place d'un système de sécurité répondant en temps réel aux différents dangers.

Ces objectifs ont été atteints. Le système développé est constitué : d'une carte LILYGO TTGO T-CALL , une carte ESP32-CAM, un module RFID, un écran tactile et un ensemble de capteurs (MQ7, MQ4, détecteur de flamme, détecteur de mouvement).

Notre projet peut être perfectionné, pour cela plusieurs voies peuvent être envisagées, à titre indicatif, nous proposons d'examiner et de développer les points suivants :

- Ajouter de l'intelligence artificielle pour permettre au système d'apprendre les habitudes des habitants de la maison pour pouvoir simuler leur présence.
- Faire en sorte que le système soit en mesure de faire la différence entre les urgences auxquelles il doit appeler les autorités compétentes (police, pompier) et celles, ou il doit juste prévenir le propriétaire.
- Ajouter plus d'actionneurs, tel qu'un extracteur, un coupe vanne de gaz, etc.

Nous souhaitons vivement que ce projet puisse servir comme élément de base pour d'autres études plus approfondies.

# Bibliographie

- [AMOM19] Abdelkader Yousse Ahmed Mouhssen Oumaima Mehdaoui. *Conception d'un système de télépaiement à base de la technologie RFID*. HAL, 25 Sep 2019.
- [C.D04] M.Van Droogenbroeck C.Demoulin. *principes de base du fonctionnement du réseau GSM*. Institut Montefiore, Juin 2004.
- [F.S03] F.Singhoff. *Les systèmes embarqués temps réels VxWorks*. Université de Brest, 2003.
- [G.M16] G.Massine. *Implémentation d'un réseau de neurones dans un microcontrôleur*. département d'électronique UMMTO, 2016.
- [GMLA10] Antonio Iera Giacomo Morabito Luigi Atzori. *The internet of things : A survey*. 2010.
- [M.K12] M.Khaletcher. *Systèmes Embarqué-temps réel*. Mémoire de fin d'étude université d'Oran, 2012.
- [M.P07] M.Portolan. *Conception d'un système embarqué sur et sécurisé*. TIMA, 19 juillet 2007.
- [MPCC10] Dmitry Akhmetov. Minyoung Park Carlos Cordeiro. *Ieee 802.11ad :introduction and performance evaluation of the first multi-gbps wifi technology*. MOBICOM, September 2010.
- [O.A09] R.mohammed O.Abdalhak. *Ordonnancement hiérarchique d'application temps réel sur une architecture NOC*. Mémoire de fin d'étude université d'Oran, Juin 2009.
- [R.B09] R.Boulkroune. *Les systèmes embarqués*. université de Annaba, Juin 2009.

# webographie

- [1] : <https://www.lemagdeladomotique.com/dossier-1-domotique-definition-applications.html> (consulté le 15 septembre 2020)
- [2] : <https://domotique.ooreka.fr/comprendre/maison-intelligente> (consulté le 16 septembre 2020)
- [3] : <https://www.verisure.fr/guide-securite/telesurveillance> (consulté le 20 septembre 2020)
- [4] : <https://www.site1.iconix.fr/fermeture-securite/securite/> (consulté le 21 septembre 2020)
- [5] : <https://www.ppe-ts1-essuiemain.fr.gd/Le-Microcontr> (consulté le 22 septembre 2020)
- [6] : <http://www.irisa.fr/caps/projects/TechnologicalSurvey> (consulté le 21 septembre 2020)
- [7] : <https://waytolearnx.com/2018/11/difference-entre-risc-et-cisc.html> (consulté le 22 septembre 2020)
- [8] : <https://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet> (consulté le 25 septembre 2020)
- [9] spressif Systems, [\T1\guillemotleftESP32Datasheet\T1\guillemotright](#) (consulté le 20 octobre 2020)
- [10] : <https://fr.aliexpress.com/item/4000571258865.html> (consulté le 2 octobre 2020)
- [11] : <https://pecquery.wixsite.com/arduino-passion/la-liaison-spi> (consulté le 20 octobre 2020)
- [12] : datasheet, [http://w3.cebeo.eu/pdf\\_fr/5231478.pdf](http://w3.cebeo.eu/pdf_fr/5231478.pdf)
- [13] : datasheet , <http://fr.hobbytronics.co.uk/mq4-methane-sensor> (consulté le 3 octobre 2020)
- [14] : [https://resources-boschsecurity-cdn.azureedge.net/public/documents/IR3\\$\\_Data\\$\\_sheet\\$\\_frFR\\$\\_\\$11803977227.pdf](https://resources-boschsecurity-cdn.azureedge.net/public/documents/IR3$_Data$_sheet$_frFR$_$11803977227.pdf) (consulté le 3 octobre 2020)
- [15] : datasheet MQ7 <https://www.melopero.com/fr/shop/sensori/gas/carbon-monoxide-sensor-mq-7> (consulté le 5 octobre 2020)
- [16] : <https://letmeknow.fr/shop/fr/cartes-compatibles> (consulté le 7 octobre 2020)
- [17] : <https://projetsdiy.fr/esp32-cam-aithinker-flash-firmware-test/> (consulté le 8 octobre 2020)
- [18] : <https://www.freertos.org/FreeRTOS-quick-start-guide.html> (consulté le 8 octobre 2020)

- [19] : <http://sensertools.gforge.inria.fr/doku.php?id=os:freertos> (consulté le 9 octobre 2020)
- [20] : <https://arduino.fr.softonic.com/> (consulté le 9 octobre 2020)
- [21] : <https://www.pentalog.fr/blog/embedded-c-un-langage-optimise-pour-les-objets-com>  
(consulté le 15 octobre 2020)
- [22] : <https://fritzing.org/>(consulté le 17 octobre 2020)
- [23] : <https://github.com/mobizt/Firebase-ESP32> (consulté le 17 octobre 2020)
- [24] : <https://2betradning.com/accueil/2124-serrure-electrique-12vdc-solenoid>  
(consulté le 17 octobre 2020)
- [25] : [https://www.datasheetarchive.com/relais%\\$%\\$20electrique-datasheet.html](https://www.datasheetarchive.com/relais%$%$20electrique-datasheet.html)  
(consulté le 20 octobre 2020)
- [26] : [https://www.datasheetarchive.com/relais%\\$%\\$20electrique-datasheet.html](https://www.datasheetarchive.com/relais%$%$20electrique-datasheet.html)  
(consulté le 22 octobre 2020)