



REPUBLIQUE DU BENIN



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE (MESRS)

DIRECTION GENERALE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR (DGES)

INSTITUT UNIVERSITAIRE LES COURS SONOU

MEMOIRE DE FIN DE FORMATION EN LICENCE
PROFESSIONNELLE

FILIERE : ELECTROTEHNIQUE

SUJET :

CONCEPTION ET PROTOTYPAGE D'UN SYSTEME
INTELLIGENT DE GESTION DE L'ENERGIE D'UN
BATIMENT

Réalisé par :

VIHOUEMETO Aurelien & LAWANI Mohamed

Sous la direction de :

Maitre de stage :

M. Farid DJOBOSSO

Maitre de mémoire :

Ing. KWAK LIKAK Christian Didier

ANNEE ACADEMIQUE: 2024-2025

ENGAGEMENT

L'institut universitaire LES COURS SONOU n'entend donner ni approbation ni improbation aux opinions émises dans ce mémoire. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

Réalisé par Aurelien VIHOUEMETO & Mohamed LAWANI

AVANT-PROPOS

Le présent mémoire est le fruit d'un travail de longue haleine réalisé dans le cadre de notre formation en électrotechnique, et s'inscrit dans la volonté de mettre en œuvre, à travers un projet concret, les compétences théoriques et pratiques acquises durant notre cursus universitaire.

À l'heure où les questions énergétiques sont au cœur des préoccupations mondiales, la gestion intelligente de l'énergie dans les bâtiments représente un enjeu majeur. Face à la croissance de la demande énergétique, à l'augmentation des coûts et aux impératifs environnementaux, il devient indispensable de repenser la manière dont l'énergie est utilisée, distribuée et optimisée. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet, qui vise la **conception et le prototypage d'un système intelligent de gestion de l'énergie dans un bâtiment**, en combinant technologies embarquées, automatisation, capteurs intelligents et traitement de données.

Ce travail de fin a d'études pour objectif de proposer une solution innovante, fonctionnelle et adaptable, capable d'analyser les besoins énergétiques d'un bâtiment en temps réel et de prendre des décisions autonomes pour en améliorer l'efficacité énergétique. Il s'est appuyé sur une démarche rigoureuse mêlant études bibliographiques, conception matérielle, développement logiciel, tests expérimentaux et validation du prototype.

Au-delà de l'aspect technique, ce projet nous a permis de développer un esprit critique, une capacité d'analyse systémique et une meilleure compréhension des enjeux du développement durable dans un monde de plus en plus interconnecté.

DEDICACES 1

A mon père VIHOUEMETO Luc et ma mère GBODOGBE Irmine pour tout l'amour qu'ils m'ont donné.

Aurélien VIHOUEMETO

DEDICACES 2

A mon père LAWANI Riyad et à ma mère AMINOU Wikayathou Adouni
pour tout l'amour qu'ils m'ont donné.

LAWANI Mohamed

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail. En second lieu, nous tenons à remercier :

- M. **Fabrice SONOU**, Président et Fondateur de L'INSTITUT UNIVERSITAIRE LES COURS SONOU ;
- M. **Christian Didier KWAK LIKAK**, notre professeur et surtout directeur de mémoire qui malgré ses multiples occupations a accepté suivre et diriger ce mémoire ;
- M. **Farrid DJOBOSSO**, notre maître de stage, Professeur de notre structure d'accueil BETA2-AFRIQUE-TECHNOLOGIES ;
- Tout le corps professoral dudit institut pour encadrements durant notre cursus en cycle de licence ;
- Tous les honorables membres du jury qui ont accepté de juger ce travail et de l'enrichir par leurs observations et corrections ;

Nos camarades de promotion, pour les moments partagés durant ces années d'études ainsi que tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la rédaction de cet important document.

Merci à tous !

SOMMAIRE

ENGAGEMENT.....	I
AVANT-PROPOS.....	II
DEDICACES 1	III
DEDICACES 2	IV
REMERCIEMENTS	V
SOMMAIRE	VI
LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES	VII
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES TABLEAUX	IX
RESUME	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : RAPPORT DE STAGE	3
CHAPITRE I : PRESENTATION DU LIEU DE STAGE	4
CHAPITRE 2 : ACTIVITES EFFECTUEES AU COURS DU STAGE, DIFFICULTES RENCONTREES ET SUGGESTIONS.	8
DEUXIEME PARTIE : TRAVAIL DE FIN D'ETUDES	13
CHAPITRE I : CONTEXTE ET REVUE DES SYSTEMES DE GESTION DE L'ENERGIE	14
CHAPITRE II : ANALYSE ET SPECIFICATION DU SYSTEME A CONCEVOIR	31
CHAPITRE III : CONCEPTION ET REALISATION DU SYSTEME INTELLIGENT	34
CONCLUSION	55
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	56
ANNEXES	59

LISTE DES ABREVIATION ET SIGLES

- **API** : Application Programming Interface
- **BLE** : Bluetooth Low Energy
- **CVC** : Chauffage Ventilation et Climatisation
- **DHT22** : Digital Humidity and Temperature sensor
- **ESP32** : Microcontrôleur avec Wi-Fi et Bluetooth intégrés ?
- **HVAC** : Heating Ventilation and Air Conditioning
- **IDE** : Integrated Development Environment
- **IoT** : Internet of Things
- **JSON** : JavaScript Object Notation
- **kWh** : Kilowatt-heure
- **LDR** : Light Dependent Resistor
- **MQTT** : Message Queuing Telemetry Transport
- **OLED** : Organic Light-Emitting Diode
- **PIR** : Passive InfraRed sensor
- **PWM** : Pulse Width Modulation
- **REST** : Representational State Transfer
- **RGB** : Red, Green, Blue
- **SGBD** : Système de Gestion de Base de Données
- **SGE** : Système de Gestion de l'Énergie
- **SSL** : Secure Sockets Layer
- **UI** : User Interface
- **UX** : User Experience
- **Wi-Fi** : Wireless Fidelity

LISTE DES FIGURES **Figure 1 : Organigramme de Beta2 Afrique Technologie** **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 2 : Schéma d'un circuit commandé d'un relais à l'aide d'un transistor8

Figure 3 : Schéma d'un transistor connecté à une lampe.....9

Figure 4 : ESP 32 associé à une résistance pour allumer une LED9

Figure 5 : Schéma d'un relais pour l'alimentation d'une lampe connecté à deux batteries.....10

Figure 6 : ATEMEGA connecté à trois résistances pour l'alimentation de trois LED.....10

Figure 7 : Schéma d'un capteur de luminosité pour commande une lampe11

Figure 8: Schéma synoptique du système34

Figure 10: Bloc d'alimentation35

Figure 11: Schéma du microcontrôleur ESP3240

Figure 12: Schéma du capteur de mouvement PIR.....40

Figure 13: Schéma du capteur de température.....41

Figure 14: Schéma du capteur de lumière.....42

Figure 15: Schéma du module Relais42

Figure 16: Schéma de câblage électrique.....45

Figure 17: Typon 146

Figure 18: Implantation des composants47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des composants.....51

RESUME

Ce rapport présente la conception et le prototypage d'un système intelligent de gestion de l'énergie destiné aux bâtiments résidentiels. Face aux défis énergétiques actuels et à la nécessité d'optimiser la consommation électrique, notre système propose une solution automatisée et connectée visant à réduire le gaspillage tout en maintenant le confort des occupants.

Le dispositif développé repose sur un réseau de capteurs (mouvement, luminosité, température) installés dans différentes pièces d'un logement et connectés à des microcontrôleurs ESP32. Ces derniers analysent les données en temps réel pour contrôler automatiquement l'éclairage et la ventilation selon la présence humaine et les conditions environnementales.

Notre prototype, déployé dans deux pièces distinctes (salon et chambre à coucher), intègre une interface utilisateur accessible via application mobile, permettant un contrôle manuel à distance et un suivi des consommations énergétiques. Les tests réalisés démontrent une réduction moyenne de la consommation énergétique de 27% tout en maintenant des conditions de confort optimales pour les usagers.

Ce travail s'inscrit dans la perspective de la transition vers des bâtiments intelligents et durables, offrant une solution accessible tant techniquement qu'économiquement pour contribuer aux efforts d'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel.

Mots-clés : Domotique, Efficacité énergétique, IoT, Microcontrôleur, Capteurs intelligents, ESP32, Application mobile.

ABSTRACT

This report presents the design and prototyping of an intelligent energy management system for residential buildings. Facing current energy challenges and the need to optimize electricity consumption, our system offers an automated and connected solution aimed at reducing waste while maintaining occupant comfort.

The developed device relies on a network of sensors (motion, light, temperature) installed in different rooms of a dwelling and connected to ESP32 microcontrollers. These analyze real-time data to automatically control lighting and ventilation based on human presence and environmental conditions.

Our prototype, deployed in two distinct rooms (living room and bedroom), integrates a user interface accessible via mobile application, allowing remote manual control and monitoring of energy consumption. Tests conducted demonstrate an average reduction in energy consumption of 27% while maintaining optimal comfort conditions for users.

This work is in line with the perspective of the transition to smart and sustainable buildings, offering a technically and economically accessible solution to contribute to energy efficiency efforts in the residential sector.

Keywords : Home automation, Energy efficiency, IoT, Microcontroller, Smart sensors, ESP32, Mobile application

INTRODUCTION

Dans un contexte mondial marqué par les défis énergétiques et environnementaux, l'optimisation de la consommation d'énergie est devenue un enjeu majeur pour tous les secteurs économiques. Le secteur du bâtiment, représentant environ 40% de la consommation énergétique mondiale et 36% des émissions de gaz à effet de serre, constitue un domaine prioritaire pour le développement de solutions d'efficacité énergétique.

La gestion intelligente de l'énergie dans les bâtiments s'impose aujourd'hui comme une stratégie essentielle pour réduire l'empreinte écologique tout en optimisant les coûts d'exploitation. L'essor des technologies de l'Internet des Objets (IoT) et des systèmes embarqués offre désormais des possibilités sans précédent pour créer des environnements plus responsables sur le plan énergétique, sans compromettre le confort des occupants.

Ce mémoire s'inscrit dans cette dynamique en proposant **la conception et le prototypage d'un système intelligent de gestion d'énergie adapté aux bâtiments résidentiels**. Notre approche se concentre sur l'automatisation de la gestion de l'éclairage et de la ventilation dans deux pièces distinctes d'un logement – le salon et la chambre à coucher – en fonction de paramètres environnementaux et de la présence humaine.

En développant une solution accessible techniquement et économiquement, ce projet vise à démontrer qu'il est possible de réaliser des économies d'énergie significatives à travers des technologies intelligentes à la portée du grand public. L'intégration d'une application mobile pour le contrôle et le suivi de la consommation énergétique répond également aux attentes croissantes des utilisateurs en matière de connectivité et de personnalisation.

À travers ce travail, nous espérons contribuer modestement à l'avancement des connaissances et des pratiques dans le domaine de la domotique orientée

vers l'efficacité énergétique, tout en offrant une base solide pour de futures améliorations et innovations dans ce secteur en pleine expansion.

PREMIERE PARTIE : RAPPORT DE STAGE

CHAPITRE I : PRESENTATION DU DE STAGE

I. PRESENTATION GENERALE

I.1 HISTORIQUE DE L'ENTREPRISE BATE2 AFRIQUE TECHNOLOQUE

Créé en Novembre 2002, Beta2 Afrique Technologies est un centre qui offre des formations dans les domaines de l'informatique, de l'électronique embarquée, des télécommunications, de l'automatisme, du traitement numérique des images, de l'électricité, de l'électrotechnique et des énergies renouvelables, et plus encore. Après une analyse minutieuse des différentes difficultés rencontrées quotidiennement par les étudiants, les élèves ou apprenants désireux de se faire former et/ou se faire encadrer dans les technologies, il urge d'associer les moyens nécessaires dans le but d'apporter une solution à ce problème. C'est dans cette optique qu'est né ce centre de formation professionnelle et d'innovations technologiques dirigé par un Docteur spécialiste du domaine.

I.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Situé à Zogbadjé à environ un kilomètre derrière l'UAC,

I.3 OBJECTIFS ET MISSION

C'est d'offrir un cadre d'expérimentation pratique aux jeunes étudiants pour qu'à thème ils puissent avoir les compétences nécessaires pour régler les problèmes qui sont les notre en Afrique. Beta2 Afrique Technologies a pour mission de :

- Se doter d'un laboratoire de référence en technologie pour fabriquer des produits finis accessibles à tous.
- Utiliser la science et la technologie pour relever les défis d'aujourd'hui et de demain

- Être un champ de formation, d'expérimentation et de réalisation pour les élèves et étudiants en vue de préparer la relève.
- Arrivé à terme à fabriquer les composants de matériels électriques informatique moins chers sur place.

I.4 DOMAINES D'ACTIVITEES

- Domain Informatique
 - Assemblage des ordinateurs
 - Installation logicielle
 - Réalisation de réseaux informatiques
 - Maintenance informatique
 - Programmation
 - Conception et réalisation de sites Web
 - Réalisation des applications mobile
- Domain Électricité et Électrotechnique
 - Électricité bâtiment
 - Électricité industrielle
 - Installation de panneaux solaires
 - Réalisation de prise de terre
- Domain Electronique
 - Etude des composants électroniques
 - Réalisation de cartes électroniques
 - Réalisation de systèmes embarqués
 - Etude des microprocesseurs et microcontrôleurs
 - Applications avec Arduino
- Domain Sécurité

Installation de caméras de vidéosurveillance

- Installation de systèmes d'alarmes pour magasin, boutique et maison
- Installation de système anti-braquage pour moto, véhicule
- Domain Automatisme
- Etude des capteurs et des actionneurs
- Réalisation de systèmes automatiques
- Domain Traitement numérique des images
- Notions de bases en traitement des images
- Applications

II. STRUCTURE ORGANISATIONNELLE

II.1 LA DIRECTION GENERALE

La Direction Générale assure la gestion technique, administrative et financière de la société. Elle s'occupe également de la mise en œuvre et du contrôle des programmes de formation, de la gestion des ressources humaines, matérielles et financières du centre de formation.

II.2 LE SECRETARIAT GENERAL

Sous l'autorité de la Direction Générale, le Secrétariat Général assure :0

- L'assistance de la direction générale dans le domaine administratif ;
- La coordination des règles de la vie institutionnelle du centre de formation ;
- L'organisation et la coordination des services d'appui intellectuel de l'ensemble de la société (courriers stratégiques du DG, acheminement des courriers, documentation et archives) ;
- La réception des rapports d'inspection du Directeur Général, la transmission des copies aux employés et le suivi de l'exécution.

II.3 LA DIRECTION TECHNIQUE

Sous l'autorité de la direction générale, il a pour mission de :

- Classer les apprenants dans les différents secteurs de formation qu'ils auraient choisis
- Veiller au bon déroulement des activités au sein de l'entreprise - S'assurer de la bonne marche des travaux pratiques.

III. Organigramme fonctionnel du centre

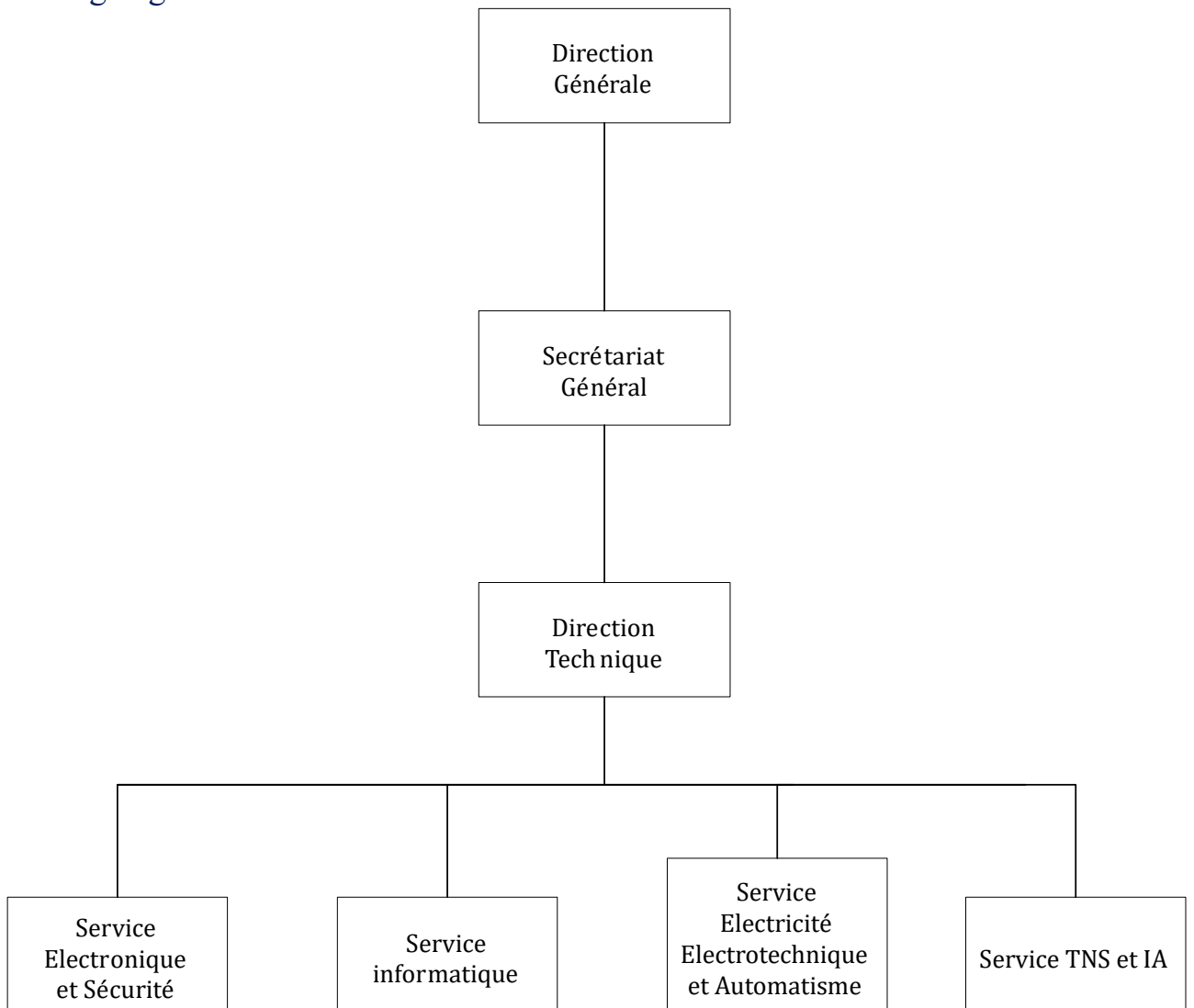


Figure 1 : Organigramme de Beta2 Afrique Technologie

CHAPITRE 2 : ACTIVITES EFFECTUEES AU COURS DU STAGE, DIFFICULTES RENCONTREES ET SUGGESTIONS.

I. ACTIVITES EFFECTUEES AU COURS DU STAGE

Durant notre stage chez Beta2, nous avons eu l'opportunité de réaliser diverses activités, notamment :

La technologie des éléments électroniques.

Nous avons exploré la technologie de divers composants électroniques, notamment les résistances, les transistors, les relais, les lampes, les interrupteurs. Sous la supervision de notre encadrement, nous avons également effectué des expérimentations pratiques avec ces composants.

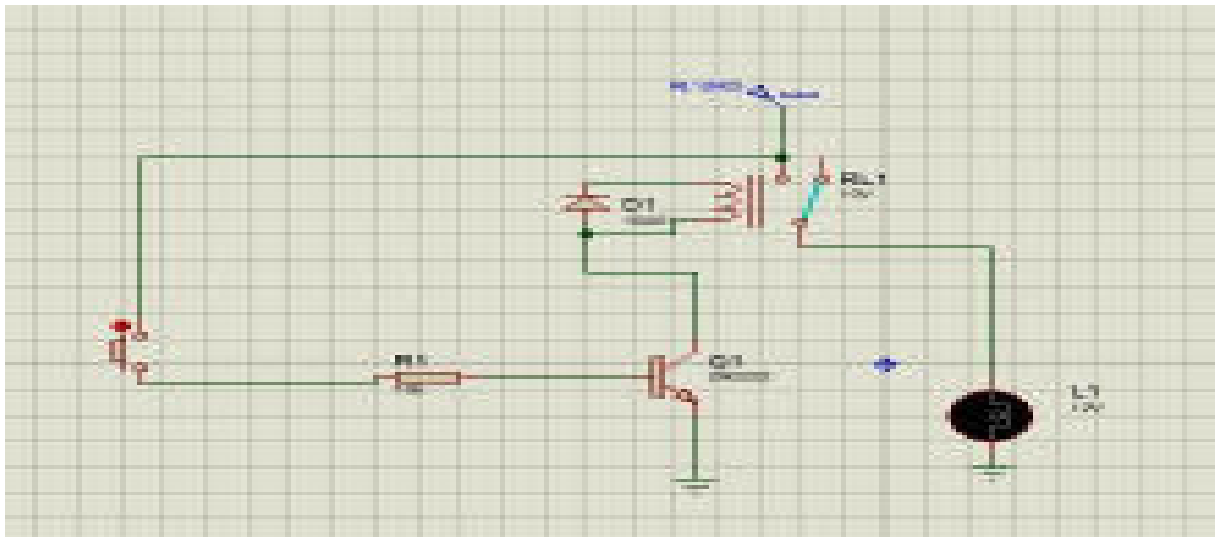


Figure 2 : Schéma d'un circuit commandé d'un relais à l'aide d'un transistor.

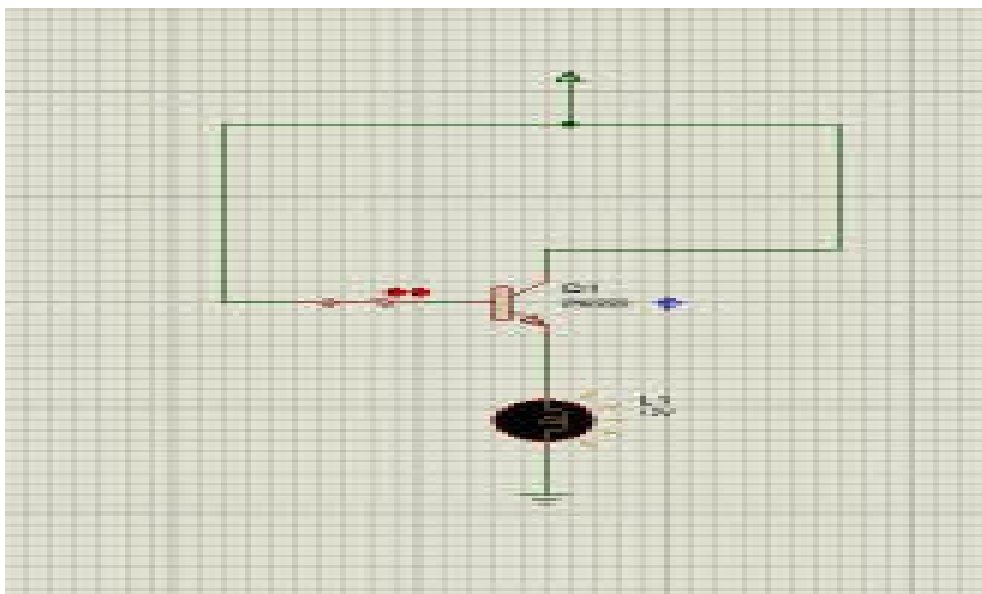


Figure 3 : Schéma d'un transistor connecté à une lampe

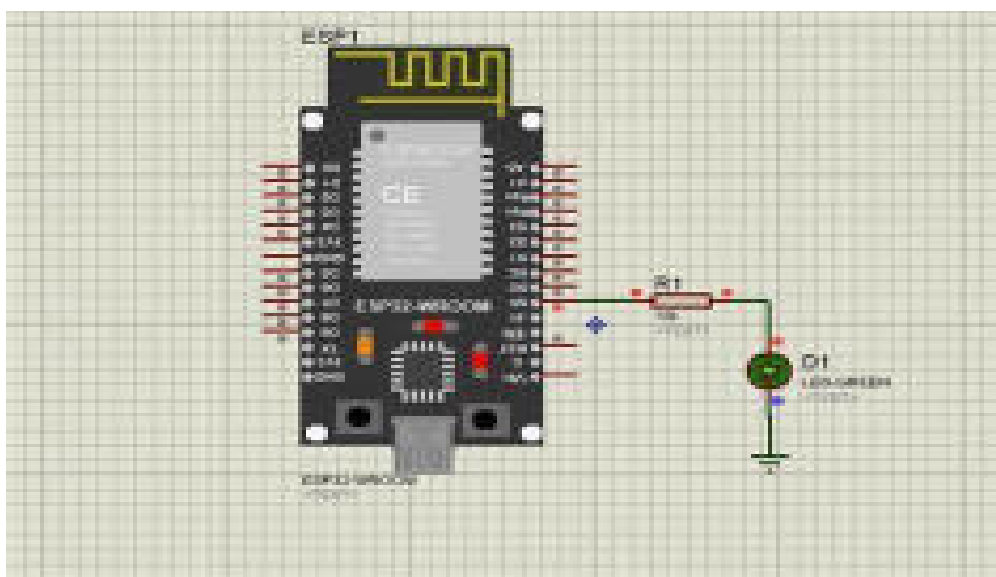


Figure 4 : ESP 32 associé à une résistance pour allumer une LED

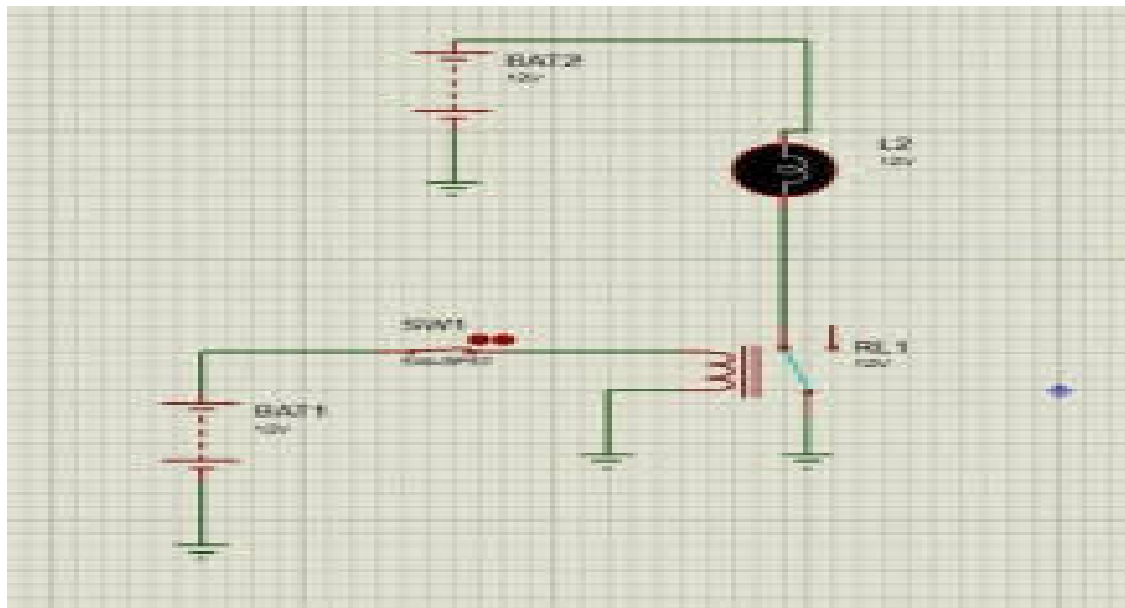


Figure 5 : Schéma d'un relais pour l'alimentation d'une lampe connecté à deux batteries

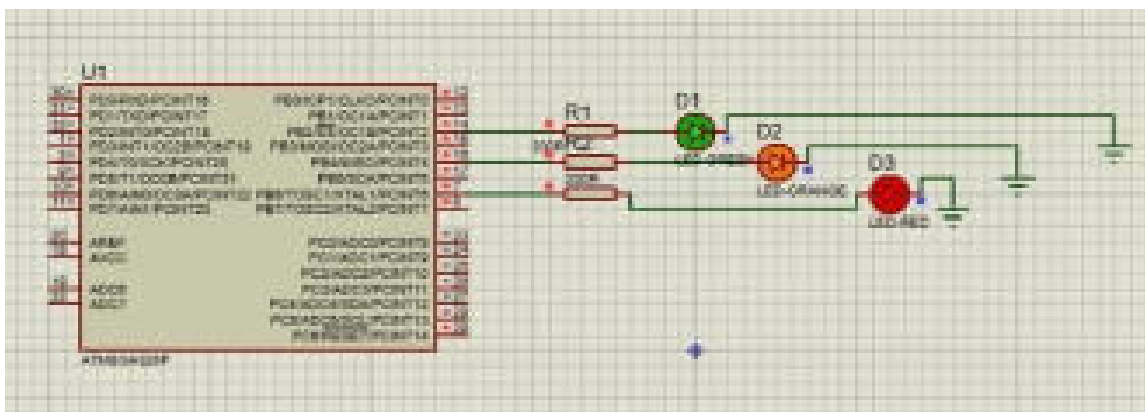


Figure 6 : ATEMEGA connecté à trois résistances pour l'alimentation de trois LED

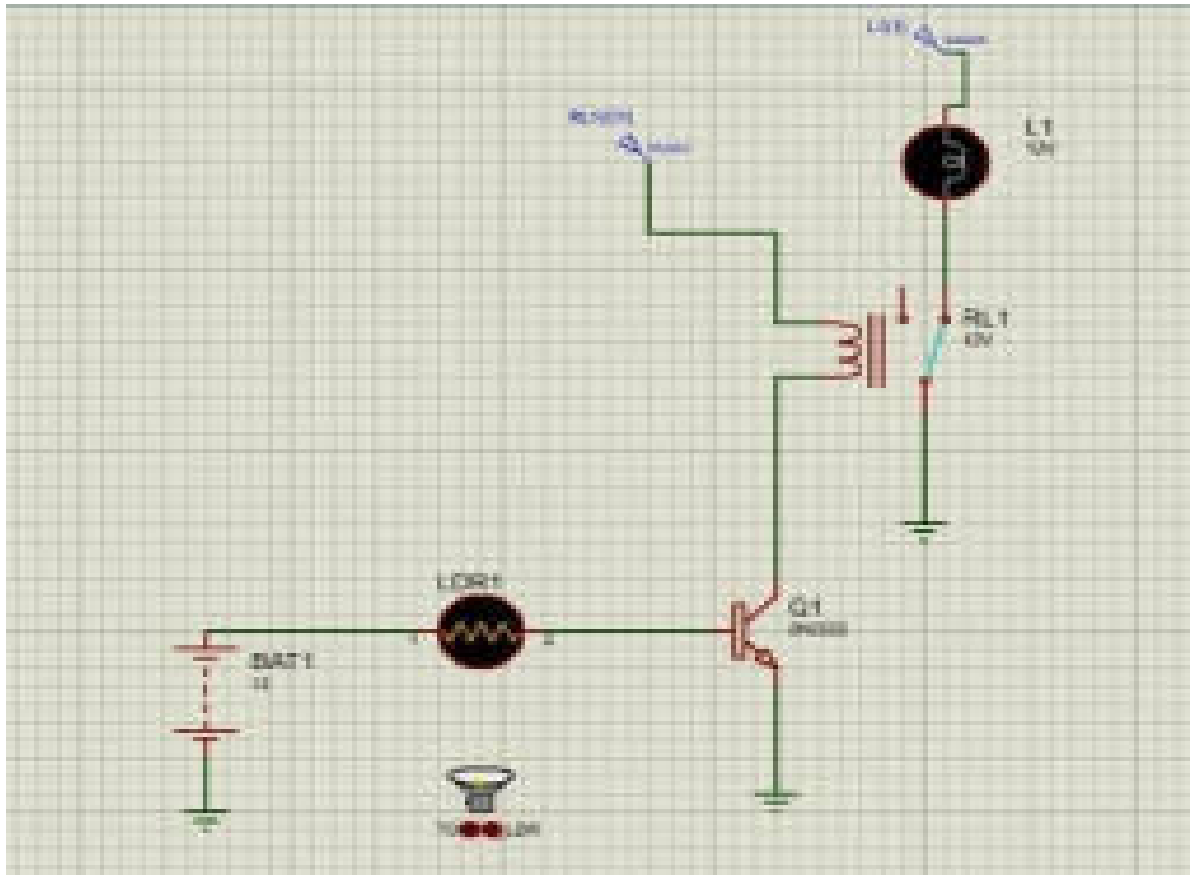


Figure 7 : Schéma d'un capteur de luminosité pour commande une lampe

II. DIFFICULTES RENCONTRES

Au cours de notre stage nous avons rencontrés d'énormes difficultés. Comme difficultés on peut citer :

L'adaptation aux langages assembleurs pour la programmation des microcontrôleurs ;

Le manque en nombre suffisant de certains équipements ;

III. IMPRESSIONS GENERALES ET SUGGESTIONS

III.1 IMPRESSION GENERALES

Lors de notre séjour au sein de l'entreprise BETA2 Afrique, nous avons été impressionnés par l'organisation et le professionnalisme qui s'en dégage.

L'accueil a été chaleureux et le personnel s'est montré disponible et attentif à nos besoins, ce qui témoigne d'une bonne culture d'entreprise axée sur le respect et la qualité du service. Les locaux sont modernes, bien entretenus et

reflètent une ambiance de travail dynamique et collaborative. Cette entreprise donne une impression de sérieux, d'efficacité et de volonté constante d'amélioration, ce qui fait d'elle un environnement professionnel stimulant et enrichissants

III.2 SUGGESTIONS

La disponibilité permanente d'une connexion internet haut débit pour mieux aider les stagiaires à se cultiver...

L'acquisition de beaucoup plus d'équipements et matériels de travail pour la satisfaction de tous.

DEUXIEME PARTIE : TRAVAIL DE FIN D'ETUDES

CHAPITRE I : CONTEXTE ET REVUE DES SYSTEMES DE GESTION DE L'ENERGIE

I. PRESENTATION DU PROJET

I.1 CONTEXTE GENERAL

Le secteur du bâtiment est aujourd'hui au cœur des préoccupations énergétiques mondiales. Selon l'Agence Internationale de l'Énergie, les bâtiments consomment approximativement 40% de l'énergie mondiale et sont responsables d'environ un tiers des émissions de gaz à effet de serre. Face à ces chiffres alarmants et dans un contexte de transition énergétique, l'optimisation de la consommation énergétique des bâtiments est devenue une priorité absolue.

Les avancées technologiques récentes, notamment dans les domaines de l'électronique embarquée, de l'Internet des Objets (IoT) et de l'intelligence artificielle, offrent aujourd'hui des opportunités sans précédent pour développer des solutions innovantes de gestion énergétique. Ces technologies permettent de créer des systèmes capables de surveiller et d'optimiser en temps réel la consommation d'énergie tout en s'adaptant aux besoins réels des occupants.

Par ailleurs, l'évolution des réglementations thermiques et environnementales pousse les constructeurs et propriétaires à adopter des solutions plus efficaces sur le plan énergétique.

Dans ce contexte, les systèmes intelligents de gestion d'énergie représentent un levier stratégique pour atteindre ces objectifs. Ils permettent non seulement de réduire les coûts énergétiques pour les utilisateurs finaux, mais contribuent également à la diminution de l'empreinte carbone globale du secteur du bâtiment.

Sur le plan social, la sensibilisation croissante aux enjeux environnementaux et l'augmentation continue du coût de l'énergie ont conduit à une demande accrue

pour des solutions permettant de maîtriser la consommation énergétique domestique. Les utilisateurs sont de plus en plus réceptifs aux technologies qui leur offrent à la fois confort, économies financières et impact environnemental réduit.

Ce projet s'inscrit donc dans une convergence de facteurs technologiques, réglementaires, économiques et sociaux qui favorisent le développement de systèmes intelligents pour une gestion plus efficace de l'énergie dans les bâtiments résidentiels.

I.2 PROBLEMATIQUE

Dans de nombreux bâtiments, les équipements tels que les lampes et les systèmes de ventilation fonctionnent de manière continue, indépendamment de la présence des occupants ou des conditions ambiantes. Ce mode de fonctionnement entraîne un gaspillage énergétique important et nuit à la durabilité des installations.

Cette façon de gérer l'énergie électrique dans le bâtiment rentre dans le cas de l'efficacité d'énergie et nombreux sont les structures qui ont déjà imposé cette technologie tels que dans les hôtels, les aéroports etc... et ces structures utilisent des dispositifs importés et il se pose le problème de maintenance. Pour cela notre projet consiste non seulement à concevoir les dispositifs à partir du matériel disponible localement et ceci permettra de régler le problème de maintenance.

La problématique à laquelle ce projet tente de répondre est donc la suivante : Comment concevoir un système autonome, intelligent et économique capable de gérer efficacement les équipements d'un bâtiment, en fonction de l'environnement et de l'usage réel des occupants ?

II. OBJECTIFS DU PROJET ET METHODOLOGIE

II.1 OBJECTIFS GENERAL

L'objectif principal de ce projet est de concevoir et de prototyper un système intelligent de gestion d'énergie dans un bâtiment résidentiel, capable de contrôler automatiquement deux lampes et deux ventilations (salon et chambre) en fonction de données environnementales (présence, température, luminosité) et de permettre un contrôle manuel via une application mobile.

II.2 OBJECTIFS SPECIFIQUES

Pour atteindre cet objectif général, plusieurs objectifs spécifiques ont été définis :

- Intégrer des capteurs de présence (PIR), de température (DHT22) et de luminosité (LDR) dans le système.
- Utiliser un microcontrôleur ESP32 pour le traitement des données et le contrôle des actionneurs (relais pour les lampes et ventilateurs).
- Implémenter une interface utilisateur mobile (via MIT App Inventor) permettant de superviser et de commander les équipements à distance.
- Optimiser la consommation énergétique en fonction de seuils intelligents programmés.

II.3 DEMARCHE METHODOLOGIQUE

La méthodologie adoptée dans ce projet s'articule autour des étapes suivantes :

- Analyse des besoins : Identification des équipements à gérer, des paramètres environnementaux à surveiller et des fonctions à automatiser.
- Choix des composants : Sélection des capteurs, actionneurs, microcontrôleur et interfaces nécessaires.
- Conception matérielle : Réalisation des schémas électroniques et du montage physique des composants.

- Développement logiciel : Programmation du microcontrôleur ESP32, mise en place des algorithmes de gestion intelligente et développement de l'interface mobile.
- Test et validation : Vérification du bon fonctionnement du système en conditions réelles et analyse des résultats ?

III. GENERALITES SUR LA GESTION ENERGETIQUE DES BARIMENTS

III.1 SYSTEME DE GESTION DE L'ENERGIE

III.1.1 NOTION DE SGE

Un Système de Gestion de l'Énergie (SGE) désigne un ensemble de dispositifs, de logiciels et de processus permettant de surveiller, contrôler et optimiser la consommation énergétique d'un bâtiment ou d'une installation. Ces systèmes constituent un élément central dans la stratégie d'efficacité énergétique des bâtiments modernes. Les SGE reposent sur trois piliers fondamentaux :

- La mesure et le monitoring : Collecte continue de données sur la consommation énergétique et les paramètres environnementaux via un réseau de capteurs. Ces données permettent d'établir une cartographie précise des usages énergétiques et d'identifier les opportunités d'optimisation.
- L'analyse et la décision : Traitement des données collectées pour générer des informations exploitables. Cette étape peut faire appel à des algorithmes d'intelligence artificielle ou à des modèles prédictifs pour anticiper les besoins énergétiques et optimiser les paramètres de fonctionnement des équipements.
- Le contrôle et l'action : Mise en œuvre automatisée des décisions d'optimisation via un réseau d'actionneurs commandant les différents

équipements consommateurs d'énergie (éclairage, ventilation, chauffage, etc.).

Un SGE efficace intègre également une interface utilisateur permettant aux occupants ou gestionnaires du bâtiment de visualiser les données de consommation, de paramétrer le système selon leurs préférences, et de recevoir des recommandations d'amélioration.

La norme internationale ISO 50001, dédiée au management de l'énergie, définit un cadre structuré pour l'implémentation des SGE dans les organisations. Elle préconise une approche d'amélioration continue basée sur le cycle PDCA (Plan-Do-Check-Act) pour atteindre progressivement de meilleurs niveaux de performance énergétique.

Dans le contexte résidentiel qui nous intéresse particulièrement, les SGE se distinguent par leur simplicité d'utilisation et leur capacité à s'intégrer harmonieusement dans le quotidien des occupants. Ils doivent trouver un équilibre entre automatisation intelligente et respect des préférences individuelles pour être pleinement acceptés et efficaces.

III.1.2 ENJEUX DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE

L'efficacité énergétique dans les bâtiments représente un enjeu multidimensionnel aux implications considérables sur les plans environnemental, économique et social :

○ ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX :

Réduction des émissions de gaz à effet de serre : Le secteur du bâtiment est responsable d'environ 36% des émissions de CO₂ dans le monde. Améliorer l'efficacité énergétique contribue directement à la lutte contre le changement climatique. L'optimisation de la consommation énergétique contribue à préserver les ressources naturelles en réduisant la dépendance aux énergies non renouvelables, tout en limitant les

impacts environnementaux liés à leur extraction et transformation. De plus, elle permet de diminuer la pollution atmosphérique en réduisant les émissions de polluants générés par la production d'énergie.

○ ENJEUX ECONOMIQUES :

L'efficacité énergétique permet de réduire significativement les factures d'énergie des ménages, avec des économies pouvant atteindre 20 à 30 % selon les études. Elle valorise également le patrimoine immobilier, les bâtiments performants bénéficiant d'une plus-value estimée entre 5 et 15 % selon les régions. Par ailleurs, ce secteur génère de nombreux emplois locaux et non délocalisables, notamment dans la conception, l'installation et la maintenance des systèmes. Enfin, à l'échelle nationale, l'efficacité énergétique contribue à réduire la dépendance aux importations d'énergie et à renforcer la sécurité énergétique.

○ ENJEUX SOCIAUX ET SANITAIRES :

Les bâtiments énergétiquement efficaces améliorent significativement le confort des occupants, en offrant des conditions thermiques, acoustiques et visuelles optimales. De plus, en réduisant la consommation énergétique, ils participent à la lutte contre la précarité énergétique en permettant à un plus grand nombre de ménages d'accéder à un logement plus économique. Enfin, ces bâtiments favorisent la santé et le bien-être des occupants grâce à une meilleure qualité de l'air intérieur et à des conditions thermiques adaptées.

III.2 TECHNOLOGIES EXISTANTES

III.2.1 SYSTEMES DOMOTIQUES

Les systèmes domotiques représentent la première génération de solutions pour l'automatisation et la gestion intelligente des bâtiments. Leur évolution au cours des dernières décennies a progressivement intégré les préoccupations d'efficacité énergétique, transformant ces systèmes initialement

orientés vers le confort en véritables outils de gestion énergétique. La domotique a émergé dans les années 1980 avec des systèmes propriétaires fermés, souvent complexes et coûteux. L'arrivée d'Internet dans les foyers au début des années 2000 a marqué un tournant, permettant le contrôle à distance des équipements. Depuis 2010, l'essor de l'Internet des Objets a démocratisé les solutions domotiques, les rendant plus accessibles, interopérables et centrées sur l'efficacité énergétique.

Typologies des systèmes domotiques actuels

- Systèmes propriétaires intégrés :

Certaines solutions de gestion intelligente de l'énergie sont proposées sous forme de systèmes complets par un même fabricant, comme Legrand ou Schneider Electric. Ces solutions offrent une intégration parfaite entre les différents composants, une grande fiabilité ainsi qu'un support technique dédié. Cependant, elles présentent aussi des inconvénients, notamment un coût élevé, une faible interopérabilité avec d'autres équipements, et une dépendance vis-à-vis du fournisseur.

- Systèmes basés sur des standards ouverts :

Les solutions compatibles avec des protocoles standards comme KNX, Z-Wave ou ZigBee offrent une excellente interopérabilité entre les équipements de différents fabricants, garantissent la pérennité des installations et permettent une évolutivité future. Cependant, elles présentent l'inconvénient d'une installation plus complexe qui nécessite une expertise technique spécialisée.

- Écosystèmes connectés grand public :

Les solutions grand public telles que Google Home, Amazon Alexa et Apple HomeKit se distinguent par leur facilité d'utilisation, leur interface vocale intuitive et leur coût accessible. Néanmoins, elles soulèvent des préoccupations concernant la confidentialité des données, créent une

dépendance aux services cloud et offrent des fonctionnalités plus limitées que les solutions professionnelles.

Fonctionnalités énergétiques des systèmes domotiques

Les systèmes domotiques modernes révolutionnent la gestion énergétique des habitations grâce à leurs fonctionnalités intelligentes et automatisées. Ces technologies permettent une gestion optimisée de l'éclairage par l'extinction automatique dans les pièces vides, l'ajustement de l'intensité selon la luminosité naturelle et la programmation horaire personnalisée selon les habitudes des occupants.

L'optimisation thermique constitue un autre pilier majeur avec la régulation pièce par pièce selon l'occupation réelle, l'anticipation des besoins de chauffage basée sur l'inertie thermique du bâtiment et la détection intelligente d'ouverture des fenêtres qui coupe temporairement le chauffage pour éviter les gaspillages.

La gestion intelligente des appareils électriques complète ce dispositif en programmant automatiquement les équipements domestiques, en mettant en veille les appareils inutilisés et en priorisant les consommations selon les variations tarifaires de l'énergie. Le système offre également un monitoring complet avec un suivi détaillé des consommations par usage ou par pièce, la détection d'anomalies avec alertes en cas de surconsommation, ainsi que la visualisation d'historiques permettant des analyses comparatives.

Ces systèmes domotiques énergétiquement efficaces génèrent des économies significatives comprises entre 15% et 35% sur la facture énergétique globale d'un logement, avec un retour sur investissement attractif s'échelonnant de 3 à 7 ans selon la complexité du système installé et les caractéristiques du bâtiment équipé.

III.2.2 PROTOCOLES DE COMMUNICATION

Les protocoles de communication constituent l'épine dorsale des systèmes de gestion énergétique en permettant l'échange d'informations entre les différents composants (capteurs, contrôleurs, actionneurs, interfaces utilisateur). Le choix du protocole approprié est crucial pour la performance, la fiabilité et la sécurité du système.

Protocoles filaires

1. KNX :
 - Standard international (ISO/IEC 14543) pour l'automatisation des bâtiments
 - Très fiable et robuste, largement adopté en Europe
 - Support multimédia (paire torsadée, courant porteur, radio, IP)
 - Particulièrement adapté aux installations de grande envergure
 - Inconvénients : Coût élevé, complexité d'installation
2. Modbus :
 - Protocole industriel ouvert créé en 1979, devenu standard de fait
 - Communication série simple et robuste
 - Largement utilisé pour les équipements CVC et la mesure énergétique
 - Avantages : Simplicité, robustesse, compatibilité multi-fabricants
 - Inconvénients : Fonctionnalités limitées, sécurité rudimentaire
3. BACnet :
 - Standard ASHRAE pour l'automatisation des bâtiments et le contrôle des réseaux
 - Conçu spécifiquement pour les applications CVC
 - Support de multiples médias de communication
 - Avantages : Interopérabilité, richesse fonctionnelle
 - Inconvénients : Complexité, coût de mise en œuvre

Protocoles sans fil

1. ZigBee :

- Standard IEEE 802.15.4 pour les réseaux personnels sans fil à faible consommation
- Topologie maillée permettant une couverture étendue
- Faible consommation énergétique, idéal pour les capteurs autonomes
- Avantages : Consommation très basse, réseau maillé robuste •
- Inconvénients : Débit limité (250 kbit/s), portée moyenne (10-100m)

2. Wi-Fi :

- Standard IEEE 802.11 omniprésent dans les environnements résidentiels
- Haut débit permettant des applications riches
- Infrastructure généralement déjà existante
- Avantages : Débit élevé, facilité d'intégration, coût réduit
- Inconvénients : Consommation énergétique élevée, vulnérabilités de sécurité

3. Bluetooth Low Energy (BLE) :

- Version à faible consommation du Bluetooth standard
- Idéal pour les communications à courte portée
- Support natif sur smartphones et tablettes
- Avantages : Très faible consommation, simplicité de configuration
- Inconvénients : Portée limitée (10-30m), topologie en étoile

Protocoles applicatifs

1. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) :

- Protocole de messagerie publish/subscribe léger
- Conçu pour les connexions avec bande passante limitée et latence élevée
- Idéal pour les applications IoT et les réseaux de capteurs
- Avantages : Légèreté, faible empreinte, modèle événementiel efficace

- Utilisé dans notre projet pour la communication entre ESP32 et serveur
2. HTTP/HTTPS et REST :
- Standards du web adaptés pour les API de services cloud
 - Facilité d'intégration avec les applications web et mobiles
 - Modèle client-serveur simple à mettre en œuvre
 - Avantages : Universalité, facilité de développement, sécurité (HTTPS)
 - Utilisé dans notre projet pour l'application mobile

Le choix du protocole dépend de nombreux facteurs dont les contraintes énergétiques des dispositifs, l'étendue du réseau, les besoins en bande passante, et les exigences de sécurité. Dans notre système, nous avons opté pour une combinaison de Wi-Fi pour la connectivité des ESP32, MQTT pour la communication entre les modules et avec le serveur, et HTTP/HTTPS pour l'interface utilisateur, offrant ainsi un bon compromis entre performance, consommation énergétique et facilité de développement.

III.2.3 SOLUTIONS IOT

L'Internet des Objets (IoT) a révolutionné la gestion énergétique des bâtiments en permettant la collecte et l'analyse de données à grande échelle, ainsi que le contrôle à distance des équipements. Ces technologies offrent des opportunités sans précédent pour optimiser la consommation énergétique tout en améliorant le confort des occupants.

IV. APPLICATIONS INDUSTRIELLES ET CRITIQUE DE L'EXISTANT

IV.1 APPLICATION INDUSTRIELLES

IV.1.1 ÉTUDES DE CAS DE SYSTEMES COMMERCIAUX

Le marché des systèmes de gestion énergétique pour les bâtiments résidentiels a connu une croissance significative ces dernières années, avec l'émergence de nombreuses solutions commerciales. L'analyse de ces solutions permet d'identifier les meilleures pratiques et les limites actuelles du secteur.

Système Nest (Google)

Le thermostat intelligent Nest, acquis par Google en 2014, représente l'une des solutions les plus connues pour l'optimisation du chauffage résidentiel :

- **Fonctionnalités principales** : Apprentissage automatique des habitudes des occupants, ajustement en fonction de la présence, contrôle à distance via smartphone
- **Performances énergétiques** : Économies de chauffage estimées entre 10% et 12% selon les études indépendantes
- **Forces** : Interface utilisateur intuitive, installation relativement simple, intégration avec l'écosystème Google
- **Limites** : Focalisation principalement sur le chauffage/climatisation, dépendance au cloud, questions de confidentialité des données

Système Philips Hue

Cette solution d'éclairage connecté offre des fonctionnalités d'optimisation énergétique :

- **Fonctionnalités principales** : Contrôle à distance de l'éclairage, programmation horaire, ajustement en fonction de la luminosité extérieure
- **Performances énergétiques** : Réduction de la consommation d'éclairage jusqu'à 80% grâce à la technologie LED et à l'automatisation
- **Forces** : Écosystème riche avec de nombreux accessoires, API ouverte permettant l'intégration avec d'autres systèmes
- **Limites** : Coût initial élevé, focalisation uniquement sur l'éclairage, nécessité d'un hub propriétaire

Systeme KNX

Standard international pour l'automatisation des bâtiments, KNX est largement utilisé dans le secteur résidentiel haut de gamme :

- **Fonctionnalités principales** : Gestion intégrée de l'éclairage, du chauffage, des volets, de la ventilation et de la sécurité
- **Performances énergétiques** : Économies globales pouvant atteindre 30% sur la facture énergétique totale
- **Forces** : Fiabilité exceptionnelle, évolutivité, indépendance vis-à-vis des fabricants, durabilité
- **Limites** : Coût très élevé, installation complexe nécessitant des professionnels certifiés, interface utilisateur parfois moins intuitive

SmartThings (Samsung)

Plateforme domotique globale incluant des fonctionnalités de gestion énergétique :

- **Fonctionnalités principales** : Contrôle centralisé des appareils domestiques, automatisation basée sur les conditions environnementales, monitoring énergétique
- **Performances énergétiques** : Économies estimées entre 15% et 20% selon l'étendue de l'installation
- **Forces** : Large compatibilité avec plus de 5000 appareils de différentes marques, interface utilisateur intuitive
- **Limites** : Fiabilité variable selon les intégrations, dépendance au cloud, complexité de configuration pour les utilisateurs non-techniciens.

IV.1.2 SOLUTIONS SPECIFIQUES A LA VENTILATION ET L'ECLAIRAGE

Dans le domaine spécifique de la gestion de l'éclairage et de la ventilation, plusieurs solutions commerciales méritent une attention particulière :

Systemes d'éclairage intelligents

1. Lutron Caséta :

- Système propriétaire d'automatisation d'éclairage
- Détection de présence et ajustement en fonction de la luminosité naturelle
- Économies d'énergie estimées entre 20% et 30% sur l'éclairage
- Avantages : Fiabilité exceptionnelle, installation sans neutre possible
- Inconvénients : Écosystème fermé, coût élevé, limitations en termes d'intégration

2. LIFX :

- Ampoules LED connectées Wi-Fi (sans hub)
- Programmation horaire et contrôle à distance
- Intégration avec les principaux assistants vocaux
- Avantages : Installation très simple, absence de hub, bonne qualité lumineuse
- Inconvénients : Fiabilité réseau variable, consommation en veille, coût unitaire élevé

IV.1.3 SYSTEMES DE VENTILLATION INTELLIGENTS

1. Aereco :

- Ventilation mécanique contrôlée hygroréglable
- Ajustement automatique du débit en fonction de l'humidité
- Économies de chauffage estimées entre 10% et 15%

- Avantages : Fonctionnement autonome sans électronique complexe, durabilité
- Inconvénients : Absence de contrôle utilisateur, pas d'intégration domotique

1. Dyson Pure Cool :

- Ventilateur purificateur d'air connecté
- Capteurs de qualité d'air intégrés, contrôle via application
- Programmation horaire et modes automatiques
- Avantages : Multifonctionnalité, design, qualité de fabrication
- Inconvénients : Prix très élevé, consommation électrique non négligeable, focalisation sur la purification plus que sur l'efficacité énergétique.

IV.2 CRITIQUE DE L'EXISTANT

L'analyse des solutions existantes permet d'identifier plusieurs limitations récurrentes qui justifient le développement de notre système :

1. Coût prohibitif :

- Les solutions commerciales complètes présentent généralement un coût initial élevé (plusieurs centaines à milliers d'euros).
- Les coûts d'installation et de maintenance s'ajoutent à l'investissement initial.
- Le retour sur investissement peut être long (5 à 10 ans), dissuasif pour de nombreux utilisateurs.

2. Complexité technique :

- De nombreux systèmes nécessitent une expertise technique pour l'installation et la configuration.
- Les interfaces utilisateur sont parfois trop complexes pour une utilisation quotidienne.

- La maintenance et les mises à jour peuvent présenter des difficultés pour les utilisateurs non-techniciens.

3. Interopérabilité limitée :

- Les écosystèmes fermés limitent les possibilités d'évolution et d'adaptation.
- L'intégration entre différents systèmes (éclairage, ventilation, chauffage) est souvent problématique.
- Les protocoles propriétaires créent des situations de dépendance vis-à-vis des fabricants.

4. Dépendance au cloud :

De nombreuses solutions nécessitent une connexion internet permanente.

Les services cloud peuvent être interrompus unilatéralement par les fabricants.

Les questions de confidentialité et de sécurité des données sont préoccupantes.

5. Équilibre confort/économies :

Certains systèmes privilégient les économies d'énergie au détriment du confort.

- D'autres favorisent le confort sans réel impact sur la consommation énergétique.
- L'adaptation aux préférences spécifiques des utilisateurs est souvent limitée.

IV.2.2 Opportunités d'innovation

Face à ces limitations, plusieurs axes d'amélioration peuvent être envisagés :

1. Démocratisation et accessibilité :

Réduction des coûts par l'utilisation de composants grand public et de logiciels open source.

Conception modulaire permettant une adoption progressive.

Simplification de l'installation et de la configuration.

2. Intelligence locale :

Traitement des données au niveau local pour réduire la dépendance au cloud.

- Maintien des fonctionnalités essentielles même en cas de coupure internet.
- Protection de la vie privée des utilisateurs.

3. Personnalisation et adaptabilité :

- Apprentissage des préférences spécifiques des utilisateurs. •
Équilibre dynamique entre confort et économies d'énergie.
- Adaptation aux changements saisonniers et aux modifications d'usage.

4. Transparence et engagement utilisateur :

- Visualisation claire des économies réalisées et de l'impact environnemental.
- Recommandations personnalisées pour optimiser davantage les consommations.
- Gamification pour encourager les comportements économes en énergie.

Notre projet s'inscrit précisément dans cette dynamique d'innovation, en proposant un système accessible techniquement et économiquement, basé sur l'intelligence locale, hautement personnalisable et engageant pour l'utilisateur. En ciblant spécifiquement l'éclairage et la ventilation dans deux pièces distinctes, nous adoptons une approche pragmatique permettant d'obtenir des résultats tangibles sans nécessiter un investissement initial massif.

CHAPITRE II : ANALYSE ET SPECIFICATION DU SYSTEME A CONCEVOIR

I. PRESENTATION DU BATIMENT CIBLE

Le projet concerne un bâtiment résidentiel standard comprenant principalement deux pièces ciblées pour l'automatisation énergétique : un salon et une chambre à coucher. Ces deux pièces disposent chacune d'un système d'éclairage et d'un système de ventilation. Actuellement, ces équipements sont actionnés manuellement, sans prise en compte des conditions d'occupation ni des données environnementales, ce qui entraîne un gaspillage d'énergie significatif. Le système intelligent vise à rendre autonomes ces équipements en les rendant réactifs à leur environnement, tout en offrant à l'utilisateur la possibilité de les contrôler manuellement via une application mobile.

II. ANALYSE DES BESOINS ENERGETIQUES

II.1 BESOINS EN ECLAIRAGE

Le salon et la chambre doivent bénéficier d'un éclairage suffisant en l'absence de lumière naturelle. L'éclairage ne doit être activé que lorsqu'une présence humaine est détectée et que la luminosité ambiante est faible. Il faut prévoir un arrêt automatique de la lumière après un temps d'inactivité.

II.2 BESOINS EN VENTILATION

Le confort thermique doit être assuré, en particulier en cas de température élevée. La ventilation doit être activée uniquement lorsque la température dépasse un seuil de confort prédéfini (ex : 26°C). L'arrêt automatique de la ventilation doit intervenir dès que la pièce est vide ou que la température redevient normale.

III. OBJECTIFS DE PERFORMANCES ENERGETIQUES

Le système intelligent a pour ambition d'atteindre les objectifs suivants

:

Réduction de la consommation énergétique globale des équipements ciblés.

Amélioration du confort thermique et visuel des occupants.

Prolongation de la durée de vie des équipements grâce à une utilisation plus rationnelle.

Surveillance en temps réel des conditions ambiantes via écran OLED.

Pilotage à distance via une interface mobile pour une flexibilité maximale.

IV. CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL

IV.1 FONCTIONS PRINCIPALES ATTENDUES

IV.1.1 FONCTION DE DETECTION ET DE GESTION AUTOMATIQUE

Détection de présence grâce à un capteur PIR.

Lecture du niveau de luminosité avec un capteur LDR.

Lecture de la température ambiante avec un capteur DHT22.

Allumage automatique de la lumière si présence + faible luminosité.

Allumage automatique de la ventilation si température > seuil.

Extinction automatique en cas d'absence prolongée.

IV.1.2 FONCTION DE COMMANDE MANUELLE ET SUPERVISION

Affichage des données sur écran OLED (température, luminosité, statut des équipements).

Contrôle manuel des lampes et ventilateurs via une application mobile.

Synchronisation ESP32 ↔ Application via Wi-Fi ou Bluetooth.

IV.2 CONTRAINTES

IV.2.1 CONTRAINTES TECHNIQUES

Système embarqué basé sur microcontrôleur ESP32.

Capteurs et actionneurs à faible consommation.

Compatibilité entre les différents modules (OLED, capteurs, relais, Wi-Fi).

IV.2.2 CONTRAINTES ECONOMIQUES

Coût total du prototype limité à un budget raisonnable pour une utilisation domestique.

Utilisation de composants standards, accessibles sur le marché local.

V. Choix technologiques préliminaires

Microcontrôleur : ESP32 pour sa capacité de traitement, ses interfaces WiFi/Bluetooth et son faible coût.

Capteurs : PIR (mouvement), LDR (luminosité), DHT22 (température).

Actionneurs : Relais 5V pour contrôler les lampes et ventilateurs.

Affichage : OLED I2C 0.96'' pour visualiser les données principales.

Communication : Wi-Fi pour l'application mobile (développée via MIT App Inventor).

CHAPITRE III : CONCEPTION ET REALISATION DU SYSTEME

INTELLIGENT

I. ARCHITECTURE GENERALE DU SYSTEME

I.1 SCHEMA SYNOPTIQUE DU SYSTEME

Le système est structuré autour d'un microcontrôleur ESP32, qui agit comme le cœur du dispositif. Il reçoit les données de trois types de capteurs (PIR, LDR, DHT22), les traite selon une logique définie, puis commande les actionneurs (relais pour lampes et ventilateurs). Interface Wi-Fi permet le contrôle manuel.

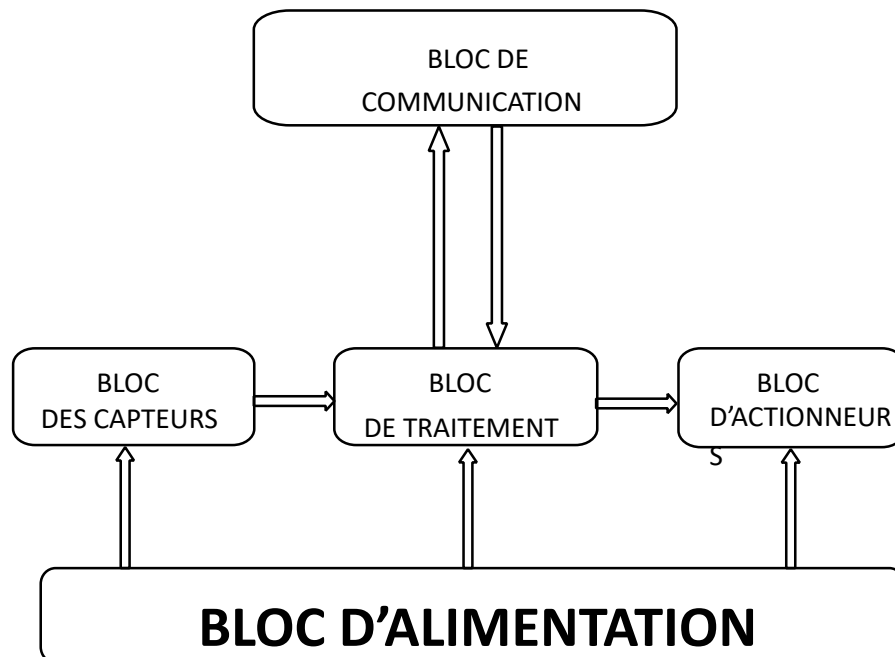


Figure 8: Schéma synoptique du système

I.2 ÉTUDE DES DIFFERENTS BLOCS

I.2.1 BLOC D'ALIMENTATION

Le bloc d'alimentation est l'élément clé de notre système, car il fournit l'énergie nécessaire pour alimenter tous les autres blocs du système. Sa fonction principale est donc de convertir l'énergie électrique du réseau en une tension appropriée pour chaque bloc du système et assurer la stabilité de la tension de sortie, le rendement énergétique et la capacité de gérer les charges variables.

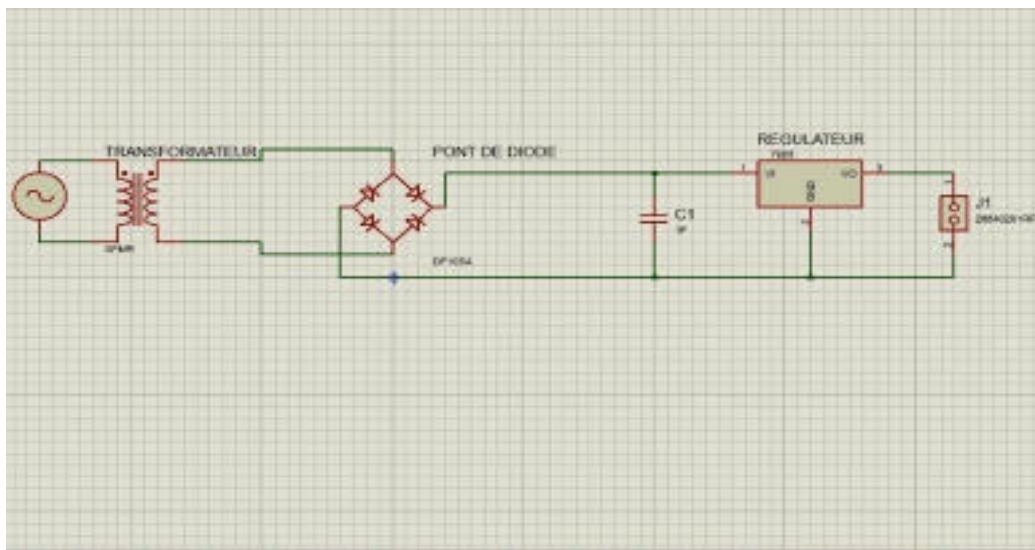


Figure 9: Bloc d'alimentation

I.2.2 BLOC DES CAPTEURS

● Capteur PIR (Passive InfraRed) : il constitue l'élément central de détection de présence du système domotique. Il fonctionne en captant les variations de rayonnement thermique infrarouge émises par le corps humain lorsqu'une personne entre dans son champ de détection. Dès qu'un mouvement est détecté, l'ESP32 reçoit le signal et peut activer automatiquement la lampe si l'environnement est sombre ou déclencher la ventilation si la température ambiante est élevée. À l'inverse, lorsqu'aucun mouvement n'est perçu pendant une durée prédéfinie (généralement 30 secondes), le capteur envoie un signal bas indiquant l'absence de présence, permettant ainsi au système d'éteindre

automatiquement tous les appareils de la pièce pour optimiser la consommation énergétique.

○ La LDR (Light Dependent Resistor) : Il constitue le capteur de luminosité du système automatique d'éclairage. Son principe repose sur la variation de sa résistance électrique en fonction de l'intensité lumineuse ambiante : plus l'environnement est éclairé, plus sa résistance diminue. Dans le montage électronique, la LDR est associée à une résistance fixe pour former un pont diviseur de tension. L'ESP32 mesure alors la tension de sortie de ce pont, qui est directement proportionnelle au niveau de luminosité détecté. Le rôle de la LDR dans le système est déterminant pour optimiser la consommation énergétique. Lorsque le niveau de lumière ambiante descend en dessous d'un seuil prédéfini (par exemple 300 lux) et qu'une présence est simultanément détectée par le capteur PIR, le système déclenche automatiquement l'allumage de la lampe. À l'inverse, si la lumière naturelle est suffisante, le système inhibe l'allumage même en présence d'un occupant, évitant ainsi tout gaspillage énergétique inutile. Cette approche intelligente permet au système de ne fonctionner que lorsque c'est réellement nécessaire, combinant détection de présence et évaluation des conditions lumineuses pour un éclairage automatique efficace et économe.

○ Le capteur DHT22 : Il assure la surveillance thermique du système domotique en mesurant avec précision la température ambiante de chaque pièce équipée. Ce composant joue un rôle essentiel dans la gestion automatisée de la ventilation, permettant d'activer les dispositifs de refroidissement uniquement lorsque les conditions thermiques le justifient. Le fonctionnement du DHT22 repose sur un thermistor numérique intégré qui communique directement avec l'ESP32 via un protocole numérique propriétaire utilisant une seule ligne de données. Cette technologie garantit une précision remarquable de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ et

permet d'obtenir des mesures actualisées toutes les deux secondes environ, assurant ainsi un suivi en temps réel des variations thermiques. L'intégration du DHT22 dans le système automatisé suit une logique de seuillage intelligent. Lorsque la température ambiante franchit un seuil prédéterminé, généralement fixé à 26°C, l'ESP32 déclenche automatiquement l'activation du relais contrôlant le ventilateur de la pièce concernée. À l'inverse, tant que la température se maintient dans la plage de confort optimal, typiquement comprise entre 18°C et 25°C, le système reste en veille thermique, évitant tout fonctionnement énergétiquement inutile. L'interface utilisateur du système enrichit cette fonctionnalité en proposant un affichage web en temps réel des valeurs de température. Cette interface permet aux occupants de consulter à tout moment l'état thermique précis de chaque pièce, offrant une transparence totale sur les conditions ambiantes et le fonctionnement du système de régulation automatique.

1.2.3 BLOC DE TRAITEMENT

L'ESP32 constitue l'unité centrale de traitement du système domotique intelligent, orchestrant l'ensemble des opérations depuis la collecte des données environnementales jusqu'à l'activation des équipements. Ce microcontrôleur analyse en continu les signaux provenant des différents capteurs, prend des décisions automatisées selon une logique préprogrammée, puis commande les actionneurs tout en maintenant une interface utilisateur actualisée en temps réel.

○ Acquisition des données sensorielles

L'ESP32 collecte simultanément trois types de signaux distincts provenant de son environnement. Le capteur PIR transmet un signal numérique binaire via une broche GPIO, renvoyant une valeur HIGH lorsqu'un mouvement est détecté et LOW en l'absence de présence, information lue par la fonction `digitalRead()`. La photorésistance LDR génère quant à elle une

tension analogique variable proportionnelle à l'intensité lumineuse, cette tension étant convertie par l'ADC intégré de l'ESP32 en valeur numérique comprise entre 0 et 4095 grâce à la fonction `analogRead()`. Enfin, le capteur DHT22 communique des données de température sous forme numérique via un protocole série propriétaire, ces valeurs étant décodées par une bibliothèque spécialisée comme `DHT.h` qui retourne des mesures précises exprimées en degrés Celsius.

○ Traitement algorithmique et prise de décision

Le cœur du système repose sur une logique conditionnelle programmée en C++ sous l'environnement Arduino IDE. Pour la gestion de l'éclairage, l'algorithme vérifie simultanément la présence détectée et le niveau de luminosité : si une présence est confirmée et que la luminosité ambiante reste inférieure au seuil prédéfini, l'ESP32 active immédiatement le relais de commande de la lampe. Inversement, dès que la présence n'est plus détectée, le système observe une temporisation de sécurité de trente secondes avant de désactiver l'éclairage, évitant les extinctions intempestives lors de mouvements brefs. La régulation thermique suit une logique similaire mais plus directe : lorsque la température mesurée par le DHT22 dépasse le seuil de confort préprogrammé, l'ESP32 active instantanément le relais contrôlant le ventilateur de la zone concernée. Dès que la température redescend sous ce seuil, la ventilation est automatiquement désactivée pour optimiser la consommation énergétique.

1.2.4 BLOC DE COMMUNICATION

Parallèlement à ses fonctions de contrôle, l'ESP32 maintient une interface web embarquée accessible via Wi-Fi. À chaque cycle d'exécution, les données collectées par les capteurs sont stockées dans des variables internes, puis intégrées dynamiquement dans le code HTML de la page web. Cette approche permet aux utilisateurs de consulter en temps réel l'état de tous les

capteurs et actionneurs depuis n'importe quel dispositif connecté au réseau local.

1.2.5 BLOC D'ACTIONNEURS

La traduction des décisions logicielles en actions physiques s'effectue par l'intermédiaire de modules relais jouant le rôle de pré-actionneurs. L'ESP32 envoie des signaux logiques de commande sur ses broches de sortie : un niveau HIGH ferme le contact du relais et alimente l'équipement correspondant, tandis qu'un niveau LOW ouvre le circuit et coupe l'alimentation. Cette architecture permet au microcontrôleur, fonctionnant en basse tension, de commander des appareils alimentés en 220V alternatif, assurant une isolation galvanique sécurisée entre la partie contrôle et la partie puissance.

○ Cycle opérationnel intégré

Le fonctionnement global du système s'articule autour d'un cycle de traitement continu et optimisé. Dès qu'un changement environnemental survient, qu'il s'agisse d'un mouvement détecté, d'une variation lumineuse ou d'une élévation de température, les capteurs transmettent immédiatement leurs signaux à l'ESP32. Ce dernier compare en temps réel ces valeurs aux seuils prédéfinis dans son programme, puis génère les signaux de commande appropriés vers les relais correspondants. Simultanément, l'interface web est actualisée pour refléter instantanément ces modifications, offrant aux utilisateurs une vision complète et actualisée de l'état du système domotique.

II. CHOIX DES COMPOSANTS MATERIELS

II.1 MICROCONTROLEUR

II.1.1 ESP32

ESP32 est une seule puce combinée Wi-Fi et Bluetooth 2,4 GHz conçue avec la technologie TSMC basse consommation 40 nm. Il est conçu pour obtenir la meilleure puissance et les meilleures performances RF, faisant

preuve de robustesse, de polyvalence et de fiabilité dans une grande variété d'applications et de scénarios de puissance.



Figure 10: Schéma du microcontrôleur ESP32

II.2 TYPES DES CAPTEURS

II.2.1 CAPTEURS DE MOUVEMENT PIR

Le capteur PIR (Passive InfraRed) permet de détecter les mouvements d'une personne dans une pièce. Il constitue un élément essentiel pour déterminer si une pièce est occupée et déclencher automatiquement l'éclairage en envoyant un signal numérique à l'ESP32.



Figure 11: Schéma du capteur de mouvement PIR

II.2.2 CAPTEUR DE TEMPERATURE DHT22

Utilisé pour la régulation thermique automatique. Le DHT22 est un capteur numérique de température et d'humidité. Dans ce projet, seule la température est utilisée. Il permet d'activer la ventilation lorsque la température dépasse un certain seuil (ex : 26 °C). Il envoie des données numériques à l'ESP32, permettant de contrôler la ventilation.

Précision : $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ Plage : -40 à $+80^{\circ}\text{C}$

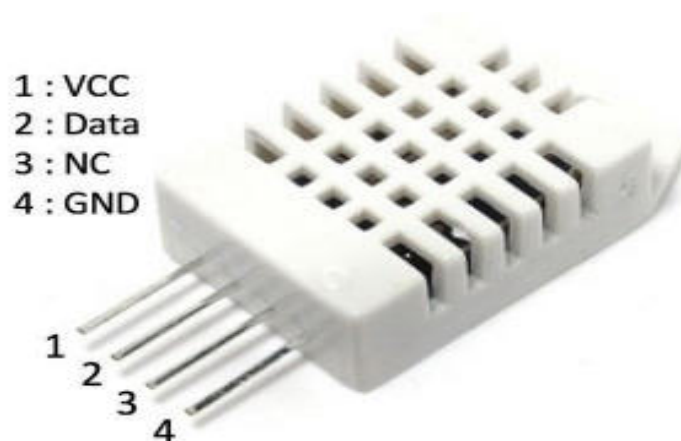


Figure 12: Schéma du capteur de température

II.2.3 CAPTEUR DE LUMIERE LDR

La LDR (Light Dependent Resistor) permet de mesurer la quantité de lumière ambiante. Lorsque le niveau lumineux est faible, le système peut décider d'allumer la lampe, si une présence est également détectée. Monté en **diviseur de tension** avec une résistance pour produire une lecture analogique, envoyée à une entrée analogique de l'ESP32 (A0).

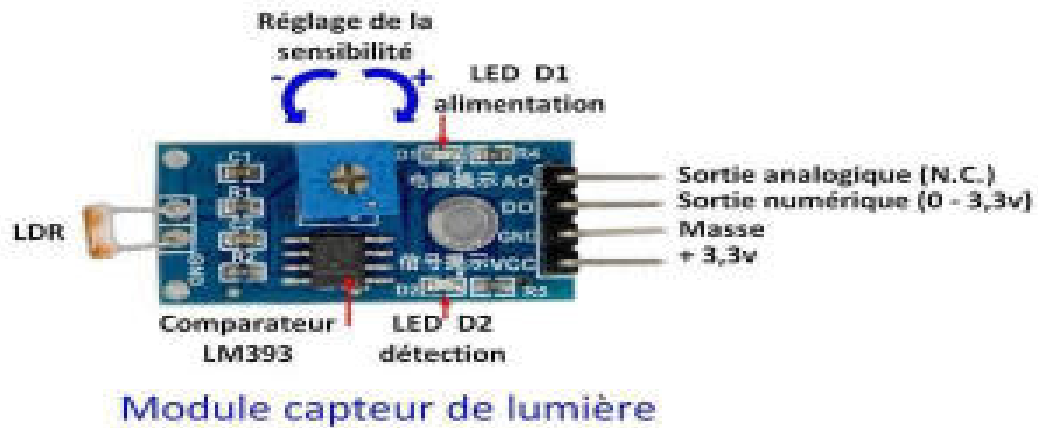


Figure 13: Schéma du capteur de lumière

II.3 TYPES D'ACTIONNEURS

II.3.1 RELAIS

Module relais permettant de commander des appareils à haute puissance comme des lampes, les ventilations, ou des climatiseurs. Ils sont alimentés séparément (5V), avec leur ligne de commande branchée aux sorties digitales de l'ESP32. Une diode de roue libre et un transistor peuvent être utilisés pour protéger le circuit contre les surtensions, en fonction du type de relais utilisé.



Figure 14: Schéma du module Relais

III. CONCEPTION DES SCHEMAS ELECTRIQUES

III.1 SCHEMA DE CABLAGE

○ Fonctionnement global du système intelligent de gestion de l'énergie

Le système développé constitue une solution d'automatisation intelligente de l'éclairage et de la ventilation, déployée dans deux espaces

distincts d'un bâtiment : le salon et la chambre. Cette architecture repose sur l'intégration harmonieuse de capteurs environnementaux, d'un microcontrôleur ESP32, de modules relais pour la commande des équipements, et d'une interface web dédiée à la supervision et au contrôle manuel. Le principe de fonctionnement s'articule autour d'un système en boucle fermée, où les conditions environnementales influencent directement le comportement du système, qui réagit de manière autonome pour optimiser la consommation énergétique tout en maintenant le confort des occupants.

○ Acquisition des données environnementales :

Chaque espace surveillé est équipé d'un ensemble de trois capteurs connectés au microcontrôleur ESP32, assurant une surveillance continue et multi-paramètres de l'environnement. Le capteur PIR (Passive Infrared) détecte la présence ou l'absence d'occupants dans la pièce, transmettant un signal logique binaire au microcontrôleur. Parallèlement, un capteur LDR (Light Dependent Resistor) mesure le niveau de luminosité ambiante, fournissant une tension analogique proportionnelle à l'intensité lumineuse, qui est ensuite convertie en valeur numérique par le convertisseur analogique-numérique intégré de l'ESP32. Enfin, un capteur DHT22 assure la mesure précise de la température ambiante, transmettant ces données sous forme numérique au microcontrôleur. Ces trois capteurs opèrent en continu, alimentant l'ESP32 avec des informations temps réel sur l'état environnemental de chaque pièce via ses interfaces d'entrée analogiques et numériques.

○ Traitement intelligent des données

Le microcontrôleur ESP32 traite les données collectées en appliquant une logique de contrôle adaptative qui détermine les actions à entreprendre selon les conditions détectées. Pour la gestion de l'éclairage, le système vérifie simultanément la présence d'occupants et le niveau de luminosité naturelle : lorsqu'une présence est détectée et que la luminosité ambiante est insuffisante

par rapport au seuil prédéfini, l'éclairage artificiel est automatiquement activé. À l'inverse, lorsqu'aucune présence n'est détectée pendant une période déterminée, généralement fixée à trente secondes, l'éclairage est désactivé indépendamment des conditions de luminosité, évitant ainsi toute consommation énergétique inutile. La gestion de la ventilation suit une logique similaire mais basée sur les paramètres thermiques : lorsque la température mesurée dépasse le seuil de confort préétabli, typiquement fixé à 26°C, le système active automatiquement la ventilation de la pièce concernée. Dès que la température redescend en dessous du seuil inférieur, généralement 25°C, la ventilation est désactivée pour optimiser la consommation énergétique. Cette approche garantit une gestion indépendante et personnalisée de chaque espace selon ses conditions spécifiques et ses seuils de confort prédéfinis.

○ Commande et contrôle des équipements

L'exécution des décisions prises par l'ESP32 s'effectue par l'intermédiaire de modules relais qui agissent comme des interrupteurs électroniques commandés. Chaque équipement électrique (lampe ou ventilateur) est associé à un relais dédié, permettant un contrôle individualisé et précis. Le signal logique généré par l'ESP32 commande l'état du relais : un signal haut ferme le circuit et alimente l'équipement en 220V, tandis qu'un signal bas ouvre le circuit et coupe l'alimentation. Cette architecture modulaire permet une extensibilité du système et une maintenance simplifiée, chaque équipement pouvant être contrôlé et diagnostiqué individuellement.

○ Interface de supervision et contrôle

Le système intègre une interface web embarquée hébergée directement sur l'ESP32, accessible via tout navigateur web connecté au réseau Wi-Fi local. Cette interface offre une visualisation temps réel des paramètres environnementaux (température, présence, luminosité) ainsi que de l'état de fonctionnement de chaque équipement. Elle permet également un contrôle

manuel des dispositifs via des commandes intuitives, offrant à l'utilisateur la possibilité d'outrepasser les automatismes selon ses besoins spécifiques. L'interface assure un retour d'information instantané sur toutes les actions entreprises, qu'elles soient automatiques ou manuelles, permettant une supervision à distance sans nécessité de déplacement physique dans les espaces surveillés.

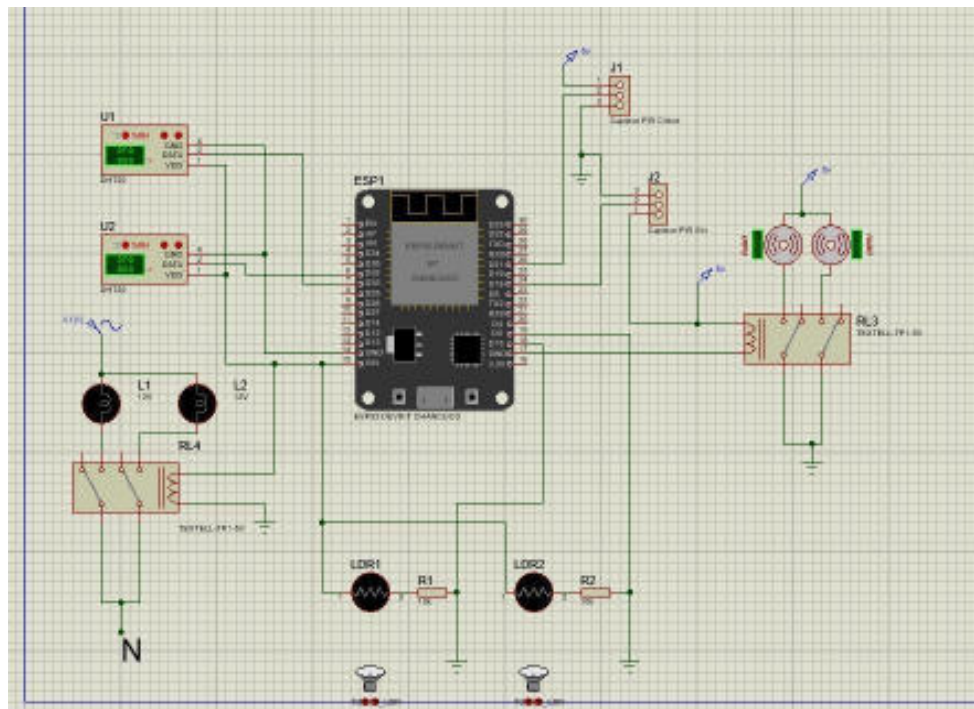


Figure 15: Schéma de câblage électrique

III.2 SCHEMA DU TYPON

Le typon du schéma électrique nous permet de matérialiser le circuit électronique conçu sur un support physique tel qu'une carte d'essai ou un circuit imprimé. La figure ci-dessous présente le typon du schéma électrique du système :

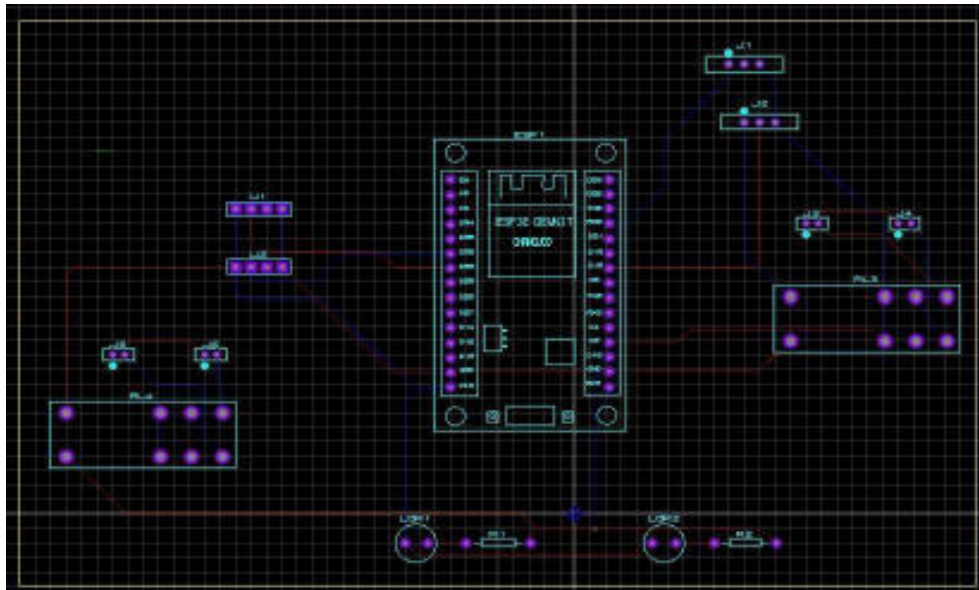


Figure 16: Typon 1

III.3 IMPLANTATION DES COMPOSANTS

L'implémentation des composants consiste à disposer de manière optimale les différents composants sur un circuit imprimé en respectant les contraintes de dimensions, de consommation d'énergie, de dissipation thermique et de connectivité. La figure ci-dessous présente la vue en 3D de l'implémentation des composants du système.

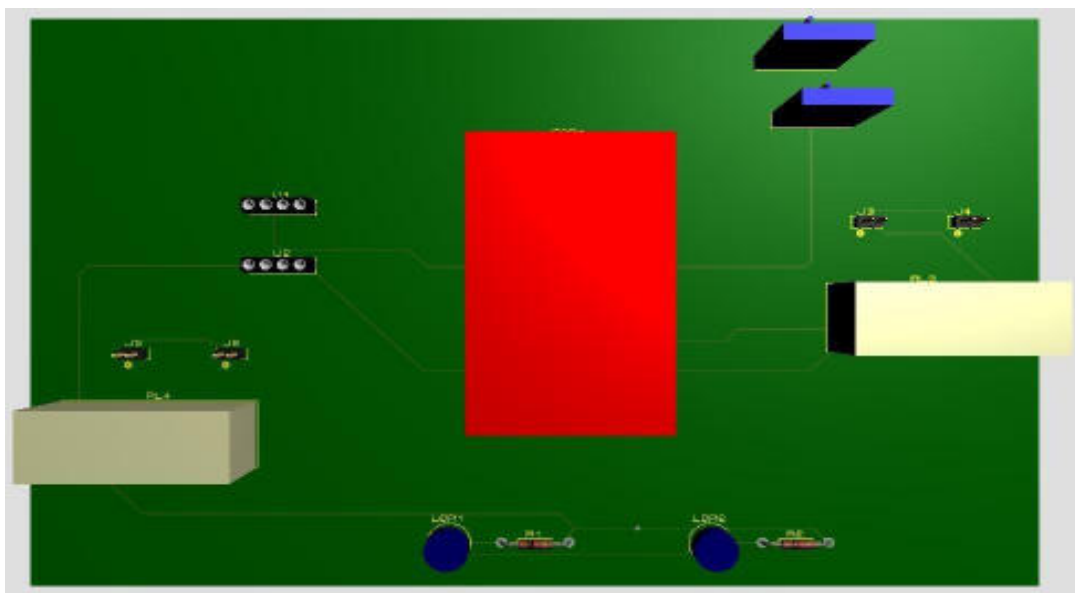


Figure 17: Implantation des composants**IV. ASSEMBLAGE MATERIEL ET IMPLEMENTATION LOGICIELLE****IV.1 ASSEMBLAGE MATERIEL**

La phase de prototypage du système domotique s'articule autour d'une approche méthodologique progressive, débutant par la réalisation d'un montage expérimental sur breadboard ou plaque d'essai sans soudure. Cette première étape permet d'établir rapidement les connexions électriques entre l'ESP32 et l'ensemble des composants périphériques, offrant la flexibilité nécessaire pour modifier aisément le câblage lors des phases de développement et de débogage. Une fois le montage physique établi, chaque composant fait l'objet de tests individuels rigoureux pour valider son fonctionnement isolé avant l'intégration globale. Ces tests unitaires comprennent la vérification de la détection de mouvement du capteur PIR, l'étalonnage de la réponse de la photorésistance LDR selon différentes conditions lumineuses, la précision des mesures de température du DHT22, ainsi que la commutation correcte des modules relais. Cette validation séquentielle permet d'identifier et de résoudre les éventuels problèmes de compatibilité ou de configuration avant la mise en œuvre du système complet. L'étape finale consiste en l'intégration de l'ensemble des éléments validés dans un boîtier définitif ou une maquette de présentation. Cette phase de finalisation implique la transition depuis le montage provisoire sur breadboard vers une solution plus pérenne, incluant la soudure des connexions sur circuit imprimé si nécessaire, l'organisation optimisée des composants dans l'espace disponible, et la mise en place d'une interface utilisateur accessible. Le boîtier final assure non seulement la protection des composants électroniques mais également l'intégration esthétique du système dans son environnement d'utilisation, transformant le prototype fonctionnel en solution domotique prête à l'emploi.

IV.2 IMPLEMENTATION LOGICIELLE

IV.2.1 PROGRAMMATION DU MICROCONTROLEUR

Le développement logiciel du système domotique s'effectue entièrement dans l'environnement de développement intégré Arduino IDE, tirant parti de sa compatibilité native avec l'ESP32 et de son écosystème riche en bibliothèques spécialisées. Cette plateforme de programmation offre un cadre de travail familier et accessible, permettant d'implémenter rapidement les fonctionnalités complexes du système grâce à l'intégration de multiples bibliothèques dédiées.

L'acquisition des données environnementales repose sur l'utilisation combinée de plusieurs approches de lecture selon la nature de chaque capteur. La bibliothèque DHT est intégrée pour gérer la communication série propriétaire avec le capteur de température DHT22, automatisant le décodage des trames de données et la conversion en valeurs exploitables. La photorésistance LDR utilise les fonctions natives `analogRead()` de l'ESP32 pour convertir les variations de tension en valeurs numériques représentatives de l'intensité lumineuse. Le capteur de mouvement PIR s'appuie sur les fonctions `digitalRead()` pour interpréter les signaux logiques binaires indiquant la présence ou l'absence de mouvement.

La connectivité réseau constitue l'épine dorsale du système grâce à l'inclusion de la bibliothèque `WiFi.h` native de l'ESP32. Cette bibliothèque gère automatiquement l'établissement et le maintien de la connexion au réseau Wi-Fi domestique, gérant les protocoles de sécurité et les reconnections automatiques en cas de perte temporaire du signal.

L'interface web embarquée représente l'aboutissement de cette architecture logicielle, combinant les capacités serveur HTTP de l'ESP32 avec la génération dynamique de pages web intégrant les données des capteurs en temps réel. Cette interface permet aux utilisateurs d'accéder à distance aux fonctionnalités du système depuis n'importe quel navigateur connecté au réseau

local, créant une expérience utilisateur moderne et accessible sans nécessiter d'application mobile dédiée.

IV.2.2 COMMUNICATION ENTRE MODULES

L'architecture de communication du système domotique s'articule autour d'un serveur web intégralement embarqué dans l'ESP32, transformant le microcontrôleur en véritable passerelle de contrôle accessible via le réseau local. Cette solution technique élimine la nécessité d'un serveur externe et permet une gestion autonome complète du système, l'ESP32 hébergeant simultanément la logique de contrôle, l'interface utilisateur et les services de communication.

L'interaction avec les équipements s'effectue par l'intermédiaire de requêtes HTTP standardisées émises depuis l'application mobile ou l'interface web vers le serveur embarqué. Chaque commande utilisateur, qu'il s'agisse d'activation manuelle d'un éclairage ou de modification des seuils de température, est traduite en requête HTTP spécifique contenant les paramètres de contrôle nécessaires. Le serveur ESP32 interprète ces requêtes en temps réel et génère immédiatement les signaux de commande appropriés vers les modules relais correspondants, assurant une réactivité instantanée du système.

La supervision en temps réel repose sur un mécanisme de mise à jour automatique et continue de l'état des équipements affichés sur l'interface utilisateur. Le système actualise périodiquement les données présentées à l'utilisateur, reflétant fidèlement l'état réel des capteurs et des actionneurs sans nécessiter d'intervention manuelle. Cette synchronisation bidirectionnelle garantit une cohérence permanente entre l'état physique du système et les informations présentées sur l'interface de contrôle, permettant aux utilisateurs de maintenir une vision précise et actualisée de leur installation domotique à tout moment.

V. PLATEFORME LOGICIELLE DE SUPERVISION

V.1 DASHBOARD LOCAL

L'interface web du système domotique présente aux utilisateurs un tableau de bord complet affichant en temps réel les principales données de surveillance et de contrôle. La température ambiante de chaque zone équipée est continuellement actualisée grâce aux mesures du capteur DHT22, permettant aux occupants de suivre l'évolution thermique de leur environnement avec une précision de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Parallèlement, l'état de tous les relais du système est visualisé de manière claire et intuitive, indiquant instantanément quels équipements sont actuellement activés ou désactivés, qu'il s'agisse des lampes ou des ventilateurs, offrant ainsi une supervision complète et transparente du fonctionnement automatisé de l'installation.

V.2 Interface Web

L'interface web embarquée dans l'ESP32 offre une expérience utilisateur moderne et intuitive, structurée autour de plusieurs fonctionnalités essentielles.

L'interface présente des boutons de commande ON/OFF simples et ergonomiques sous forme d'interrupteurs à bascule pour chaque équipement, permettant un contrôle direct et immédiat de l'éclairage et de la ventilation dans chaque pièce. La connexion Wi-Fi locale est clairement indiquée par un indicateur de statut visuel avec animation, confirmant la liaison active avec le réseau domestique et l'ESP32.

L'affichage en temps réel constitue le cœur de l'interface, présentant continuellement les données des capteurs de température et de luminosité pour chaque zone, avec des mises à jour automatiques toutes les trois secondes pour refléter fidèlement l'état environnemental. Le système intègre également un affichage dynamique de l'état de tous les relais, indiquant visuellement si chaque équipement est activé ou désactivé.

La priorité du mode manuel sur l'automatisation est clairement mise en évidence par un sélecteur de mode proéminent, permettant à l'utilisateur de basculer entre le fonctionnement automatique et le contrôle manuel, ce dernier désactivant temporairement toutes les règles d'automatisation pour laisser le contrôle total à l'utilisateur via l'interface web.

VI. SCENARIOS DE TESTS

VI.1 METHODOLOGIE DE TESTS

La phase de validation fonctionnelle du système domotique s'articule autour d'une série de tests complets visant à vérifier la réactivité et la précision de chaque composant dans des conditions d'utilisation réelles. La simulation de présence s'effectue par des passages répétés devant le capteur PIR à différentes distances et vitesses, permettant de valider les seuils de détection, les temps de réponse et la stabilité du signal de sortie face aux mouvements humains typiques d'un environnement domestique.

Les tests de luminosité explorent la sensibilité de la photorésistance LDR en créant des variations contrôlées d'intensité lumineuse, alternant entre l'allumage et l'extinction de sources d'éclairage artificiel ou en modifiant l'exposition à la lumière naturelle par occultation progressive. Ces manipulations permettent de vérifier la justesse de l'étalonnage du capteur et la cohérence des seuils de déclenchement programmés dans le système automatique.

La validation thermique du capteur DHT22 s'effectue par l'application contrôlée de variations de température, notamment par soufflage d'air chaud ou froid directement sur le composant. Cette approche permet de tester la réactivité du capteur aux changements thermiques rapides, de vérifier la précision des mesures dans différentes plages de température et de valider les seuils de déclenchement de la ventilation automatique.

Enfin, les tests des commandes manuelles via l'application mobile constituent la validation finale de l'architecture de communication, permettant de vérifier la transmission correcte des requêtes HTTP depuis l'interface utilisateur vers l'ESP32, la réactivité des relais aux commandes distantes, et la cohérence entre les actions demandées et les réponses effectives du système, garantissant ainsi une expérience utilisateur fiable et prévisible lors de l'utilisation quotidienne du système domotique.

VI.2 RESULTATS DES TESTS

Les résultats des tests de validation démontrent l'excellente performance opérationnelle du système domotique dans toutes ses fonctions critiques. La détection de présence s'avère particulièrement efficace, le capteur PIR déclenchant instantanément l'activation de l'éclairage dès qu'un mouvement est perçu dans sa zone de couverture, sans délai perceptible entre la détection et l'allumage effectif des lampes.

La régulation thermique automatique fonctionne avec une précision remarquable, la ventilation s'activant systématiquement et immédiatement lorsque la température ambiante franchit le seuil prédéfini de 26°C, démontrant la fiabilité du capteur DHT22 et la réactivité de la chaîne de traitement de l'ESP32. Cette automatisation thermique permet de maintenir un confort optimal sans intervention manuelle.

La gestion intelligente de l'éclairage inclut une fonction d'extinction automatique parfaitement calibrée, éteignant les lampes après exactement trente secondes d'absence de mouvement détecté. Cette temporisation évite les extinctions intempestives lors de périodes d'immobilité courtes tout en garantissant des économies d'énergie significatives lors d'absences prolongées.

L'interface mobile révèle une réactivité exemplaire, les commandes utilisateur s'exécutant sans latence notable, confirmant l'efficacité du serveur

web embarqué dans l'ESP32 et la qualité de la communication Wi-Fi locale. La synchronisation entre l'interface utilisateur et l'état réel des équipements s'effectue en temps réel, offrant une expérience de contrôle fluide et intuitive.

La fiabilité matérielle du système se confirme par le fonctionnement parfaitement stable des quatre relais testés, contrôlant avec précision deux circuits d'éclairage et deux systèmes de ventilation sans défaillance ni dysfonctionnement, validant définitivement l'architecture électronique retenue et la robustesse de l'ensemble de l'installation domotique.

Composants utilisés	Nbres	Prix	Caractéristiques
Marquette	1	8000	-
Relais à 1 carreaux	1	3600	5V
ESP 32	1	6200	5V
Capteur PIR	2	3200	HW-416-B
Capteur LDR	2	300	-
Capteur DHT22	2	9000	-
Connecteur SIL mal	2	550	-
Ecran OLED	1	6000	SH1106
Connecteur SIL femelle	2	550	-
Veroboard	1	500	-
Jonper mal/femelle	20	700	-
Jonper mal/mal	20	700	-
Douille	2	600	-
Lampe	2	1000	1W
Boite de dérivation	1	1300	IP64
Moulure	2m	1000	16
Ventilateur	2	5000	5V
Câble	3m	600	1,5m
TOTAL	-	48800	-
Main d'œuvre	-	150000	-

Tableau 1 : Evaluation financière

CONCLUSION

L'optimisation de la consommation énergétique dans les bâtiments constitue aujourd'hui un enjeu majeur face à la croissance de la demande mondiale, aux coûts énergétiques élevés et aux impératifs environnementaux. Ce projet s'inscrit pleinement dans cette dynamique, en proposant une solution technologique innovante, efficace et accessible : un système intelligent de gestion d'énergie appliqué à un bâtiment résidentiel. Le système conçu repose sur l'intégration de capteurs (PIR, LDR, DHT22) pour détecter en temps réel la présence, la température et la luminosité. Grâce à l'ESP32, ces données sont analysées pour piloter automatiquement deux lampes et deux ventilateurs répartis entre le salon et la chambre à coucher. Une interface mobile, développée avec MIT App Inventor, offre une souplesse supplémentaire à l'utilisateur en lui permettant de contrôler manuellement les équipements, à tout moment. Les résultats obtenus montrent que ce système remplit efficacement son double objectif :

Réduire la consommation énergétique en limitant le fonctionnement inutile des équipements, assurer le confort des occupants par une réponse dynamique aux conditions ambiantes. Ce travail a permis de mettre en œuvre des compétences pluridisciplinaires en électronique, programmation embarquée, domotique et développement mobile. Il a également démontré la faisabilité et la pertinence de solutions domotiques simples mais efficaces, à faible coût. Des perspectives d'amélioration sont envisageables pour enrichir le système : gestion du chauffage, contrôle à distance hors réseau local, commande vocale, analyse des données pour une optimisation à long terme. Ainsi, ce projet constitue une base solide pour développer des bâtiments intelligents capables de conjuguer économie d'énergie, confort et modernité, dans une optique de développement durable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Gérard, M. (2019). *Systèmes intelligents de gestion de l'énergie : Applications dans les bâtiments*. Éditions Techniques.

Ce livre offre une vue d'ensemble des systèmes de gestion de l'énergie, en particulier dans le contexte des bâtiments intelligents.

Smith, J., & O'Neil, R. (2018). *IoT for Smart Buildings: Technologies, Applications, and Security*. Springer.

Cet ouvrage traite des applications de l'Internet des Objets (IoT) dans la gestion des bâtiments intelligents, y compris les capteurs et les systèmes de contrôle à distance via des plateformes connectées.

Chandrasekaran, M., & Mohan, A. (2020). *Energy Management Systems: A Practical Approach for Smart Homes*. Wiley.

Ce livre présente des stratégies pratiques pour la gestion de l'énergie dans les maisons intelligentes, y compris l'optimisation énergétique basée sur la présence et la condition environnementale.

Rathi, R., & Chandran, S. (2021). "Design and Implementation of Smart Home Energy Management System Using IoT and Cloud," *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 10(2), 160-168.

Mann, H., & Malakar, S. (2020). "Optimization of Energy Consumption in Smart Buildings Using IoT-Based Solutions," *Energy and Buildings*, 220, 110014.

SITES WEB

Espressif Systems (2023). *ESP32 Datasheet*. Récupéré de : https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

Adafruit Industries (2021). *SSD1306 OLED Display Guide*. Récupéré de : <https://learn.adafruit.com/ssd1306-oled-display/>

ElectronicWings (2022). *Relay Module: How to Use a Relay with Arduino*. Récupéré de : <https://www.electronicwings.com/nodemcu/relay-module>

Espressif Systems – Documentation officielle de l'ESP32 <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32/resources>

→ Site officiel du fabricant de l'ESP32, contenant les fiches techniques, guides de démarrage et ressources pour le développement.

Arduino – ESP32 sur Arduino IDE <https://docs.arduino.cc/hardware/esp32>

→ Guide pour intégrer les cartes ESP32 dans l'environnement Arduino IDE, avec des exemples de code.

Adafruit Learning System – SSD1306 OLED Display Guide <https://learn.adafruit.com/monochrome-oled-breakouts>

→ Tutoriel complet sur l'utilisation de l'écran OLED avec les microcontrôleurs (ESP32 inclus), avec schémas, explications et bibliothèques.

DHT Sensor Library (Adafruit GitHub) <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>

→ Bibliothèque officielle pour l'utilisation des capteurs DHT11/DHT22 avec Arduino/ESP32.

Fritzing – Schémas de câblage électroniques

<https://fritzing.org/>

→ Outil de création de schémas électroniques utilisé pour représenter visuellement les connexions de ton système.

Instructables – Smart Home Automation Projects

<https://www.instructables.com/>

→ Communauté de makers proposant des tutoriels de projets domotiques similaires au tien, avec illustrations pas-à-pas.

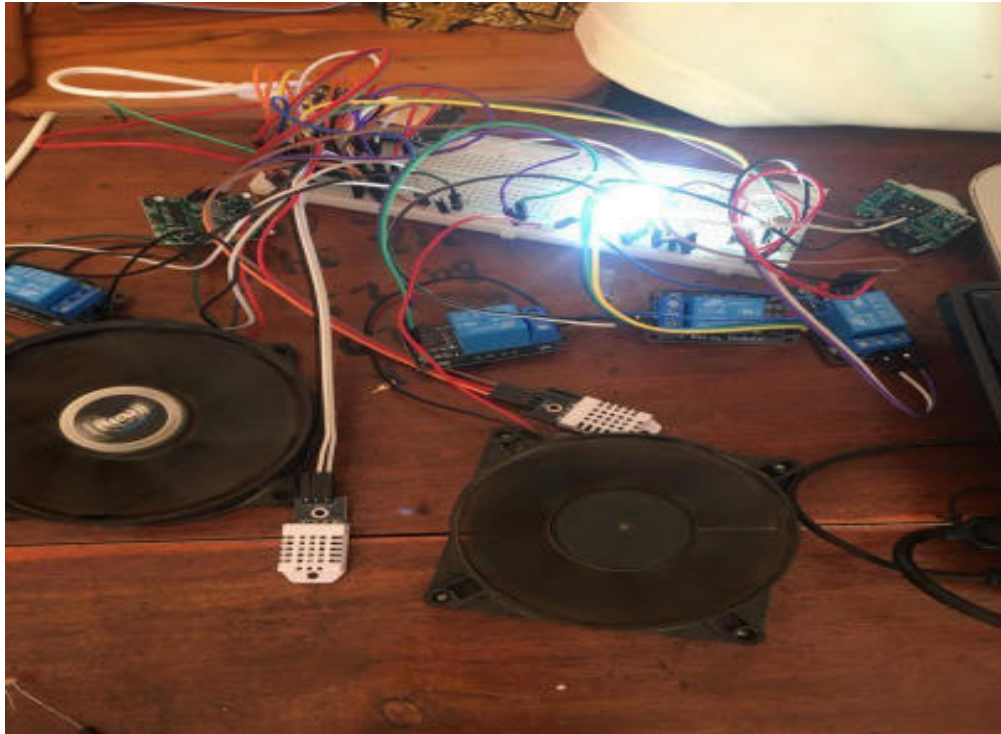
GitHub – Repositories ESP32 Smart Home

<https://github.com/search?q=esp32+smart+home>

→ Dépôts publics contenant des projets similaires au tien, utiles pour t'inspirer, récupérer des bibliothèques ou comprendre des architectures de projet

ANNEXES

Annexe A : Schéma de câblage électrique



Annexe B : Interface App Inventor

17:36 ☺



▲ 192.168.4.1



ESP32 - Contrôle Domotique

Mode actuel : **Manuel** [Changer de mode](#)

Salon

Température : Erreur

Lampe :

Ventilateur :

Chambre

Température : Erreur

Lampe :

Ventilateur :

Actualisez la page pour mettre à jour la temp



27



TABLE DES MATIERES

ENGAGEMENT	I
AVANT-PROPOS.....	II
DEDICACES 1	III
DEDICACES 2	IV
REMERCIEMENTS	V
SOMMAIRE	VI
LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES	VII
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES TABLEAUX	IX
RESUME	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : RAPPORT DE STAGE	3
CHAPITRE I : PRESENTATION DU LIEU DE STAGE	4
I. PRESENTATION GENERALE	4
I.1 HISTORIQUE DE L'ENTREPRISE BATE2 AFRIQUE TECHNOLOGUE	4
I.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE	4
I.3 OBJECTIFS ET MISSION	4
I.4 DOMAINES D'ACTIVITES	5
II. STRUCTURE ORGANISATIONNELLES	6
II.1 LA DIRECTION GENERALE	6
II.2 LE SECRETARIAT GENERAL	6
II.3 LA DIRECTION TECHNIQUE	6
III. ORGANIGRAMME FONCTIONNEL DU CENTRE	7
CHAPITRE 2 : ACTIVITES EFFECTUEE AU COURS DU STAGE, DIFFICULTES RENCONTREES ET SUGGESTIONS.	8
I. ACTIVITES EFFECTUEES AU COURS DU STAGE	8
II. DIFFICULTES RENCONTRES	11
III. IMPRESSIONS GENERALES ET SUGGESTIONS	11
III.1 IMPRESSION GENERALES	11
III.2 SUGGESTIONS	12
DEUXIEME PARTIE : TRAVAIL DE FIN D'ETUDES	13

CHAPITRE I : CONTEXTE ET REVUE DES SYSTEMES DE GESTION DE L'ENERGIE 14

I. PRESENTATION DU PROJET	14
I.1 CONTEXTE GENERAL	14
I.2 PROBLEMATIQUE	15
II. OBJECTIFS DU PROJET ET METHODOLOGIE	16
II.1 OBJECTIFS GENERAL	16
II.2 OBJECTIFS SPECIFIQUES	16
II.3 DEMARCHE METHODOLOGIQUE	16
III. GENERALITES SUR LA GESTION ENERGETIQUE DES BARIMENTS	17
III.1 SYSTEME DE GESTION DE L'ENERGIE.....	17
III.2 TECHNOLOGIES EXISTANTES	19
IV. APPLICATIONS INDUSTRIELLES ET CRITIQUE DE L'EXISTANT	24
IV.1 APPLICATION INDUSTRIELLES	24
IV.2 CRITIQUE DE L'EXISTANT	28

CHAPITRE II : ANALYSE ET SPECIFICATION DU SYSTEME A CONCEVOIR 31

I. PRESENTATION DU BATIMENT CIBLE	31
II. ANALYSE DES BESOINS ENERGETIQUES	31
II.1 BESOINS EN ECLAIRAGE	31
II.2 BESOINS EN VENTILATION	31
III. OBJECTIFS DE PERFORMANCES ENERGETIQUES	31
IV. CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL	32
IV.1 FONCTIONS PRINCIPALES ATTENDUES	32
IV.2 CONTRAINTES.....	32
V. CHOIX TECHNOLOGIQUES PRELIMINAIRES	33

CHAPITRE III : CONCEPTION ET REALISATION DU SYSTEME INTELLIGENT 34

I. ARCHITECTURE GENERALE DU SYSTEME	34
I.1 SCHEMA SYNOPTIQUE DU SYSTEME	34
I.2 ÉTUDE DES DIFFERENTS BLOCS	35
II. CHOIX DES COMPOSANTS MATERIELS	39
II.1 MICROCONTROLEUR	39
II.2 TYPES DE CAPTEURS	40
II.3 TYPES D'ACTIONNEURS	42
III. CONCEPTION DES SCHEMAS ELECTRIQUES	43
III.1 SCHEMA DE CABLAGE	43
III.2 TYPON DU SCHEMA	45
III.3 IMPLANTATION DES COMPOSANTS.....	46
IV. ASSEMBLAGE MATERIEL ET IMPLEMENTATION LOGICIELLE	47
IV.1 ASSEMBLAGE MATERIEL	47
IV.2 IMPLEMENTATION LOGICIELLE	48
V. PLATEFORME LOGICIELLE DE SUPERVISION	50
V.1 DASHBOARD LOCAL	50
V.2 APPLICATION MOBILE	50
VI. SCENARIOS DE TESTS	51
VI.1 METHODOLOGIE DE TESTS	51
VI.2 RESULTATS DES TESTS.....	52

CONCLUSION 55
REFERENCES BIBIOGRAPHIQUES 56
ANNEXES 59