



ÉCOLE CENTRALE CASABLANCA

PROJET LEARNING BY DOING

Energie dans les villes intelligentes : SMART Shedder



Réalisé par :

Daniel NABI
Ilyas OUHNINE
Mohammed Adam
KHALI
Maôz SOUNOUVOU

Encadrant :

Fouad RIANE

Juin 2023

Table des matières

1	Remerciements	4
2	Résumé	5
3	Abstract	6
4	Introduction	7
5	Développement du projet	8
5.1	Planification	8
5.2	Contexte et problématique	10
5.3	État de l'art	10
5.3.1	Inventaire des solutions existantes	10
5.4	Mise en place de la solution	16
5.4.1	Analyse fonctionnelle de la solution	16
5.4.2	Partie HARDWARE	19
5.4.3	Partie SOFTWARE	23
5.5	Réalisation et tests	24
5.6	Commentaires et d'analyses	34
6	Conclusion générale	35
7	Références	37

Table des figures

1	Liste de tâches	8
2	Diagramme de Gantt	8
3	Feuille de route-Planification PLBD de l'ECC	9
4	Charte de projet	9
5	Délésteur intelligent	11
6	Smart Home Hubs	11
7	Belkin WeMo Insight Switch	12
8	Efergy e2 Classic Wireless Energy Monitor	12
9	Smappee Energy Monitor	13
10	Sense Home Energy Monitor	14
11	Smart Plug	14
12	TORK ELC74 SunSet Astronomic- Minuterie numérique	15
13	Diagramme bête-à-corne du SMART Shedder	17
14	Diagramme Pieuvre du SMART Shedder	17
15	Diagramme des cas d'utilisation du SMART Shedder	18
16	Diagramme des états du SMART Shedder	19
17	Module ESP-32	20
18	Capteur de courant INA219	20
19	Capteur de courant PZEM 004-T	21
20	Module de relais	21
21	Afficheur LCD 4 x 4	22
22	Schéma 3D-Maisonnette	22
23	Maisonnette finale	23
24	Connexion ESP-32-Ecran LCD 4x4	24
25	Connexion ESP-32-INA-219	25
26	Connexion ESP-32-Module Relais	25
27	Circuit électrique final	26
28	ESP-32-Interface du Web Server	26
29	Code pour les capteurs INA-219	28
30	Affichage de la consommation électrique	29
31	Code pour le transfert des données vers le site	30
32	Code pour le transfert des données vers le site(suite)	31
33	32
34	33
35	34
36	Mesure de la puissance totale	35
37	Mesure de la puissance et du courant	35

1 Remerciements

Nos remerciements s'adressent en premier lieu à l'**Ecole Centrale Casablanca**, qui nous a permis à travers ce projet LEARNING BY DOING, d'appliquer nos différents acquis théoriques et expérimentaux, par conséquent d'assouvir notre curiosité et d'enrichir nos compétences en travail de groupe afin de nous familiariser avec le monde de l'entreprise, du travail collectif, et surtout la prise de conscience face aux enjeux majeurs inhérents aux Smart Cities. Nous tenons aussi à exprimer notre vif remerciement et notre profonde gratitude à notre tuteur, le Professeur **Fouad RIANE** pour sa disponibilité, son soutien tout le long de notre projet. Nous remercions également nos différents encadreurs dans ce projet, à savoir :

- Monsieur **Khalid DAHI** pour la bonne organisation du déroulement du projet;
- les techniciens du FABLAB qui n'ont pas hésité à nous aider dans la fabrication de notre prototype en particulier Monsieur **Abdelaziz DAGHOURI**;
- tout le corps professoral de l'Ecole Centrale Casablanca, pour les savoirs dispensés et les connaissances, à nous transmises.

2 Résumé

Dans le cadre du Projet Learning By-Doing initié par l'École Centrale Casablanca ,la thématique de cette année étant « Villes intelligents et durables en Afrique », nous avons choisi de travailler dans le secteur de l'énergie électrique, particulièrement l'énergie consommée dans les résidences (estimée 25,8% en 2019 par l'ONEE) qui est le deuxième secteur énergivore après le secteur du transport (38,3% en 2019) au Maroc. Après des recherches approfondies et des échanges avec notre tuteur Pr Fouad RIANE sur des problèmes vécus par les foyers au Maroc, nous nous sommes focalisés sur le problème du saut brusque du disjoncteur suit à l'appel d'une charge électrique supérieur à celle allouée par l'ONEE. Ce problème majeur porte atteinte à l'intégrité des de l'équipement électroménager, et entraîne l'élévation des factures énergétiques.

Ainsi, pour résoudre ce problème, nous avons mis en place le SMART Shedder, un délesteur intelligent. Ce système utilise des capteurs installés sur les prises électriques pour collecter des données sur la consommation électrique de chaque appareil dans l'habitation. Ces informations sont transmises à une unité centrale composée d'une carte Arduino et d'une carte ESP32, qui prend des décisions en fonction de la puissance consommée. Ainsi, des circuits non prioritaires peuvent être temporairement coupés, comme le chauffage électrique, afin de s'adapter à la puissance disponible.onsommée de l'installation à la puissance souscrite en coupant momentanément les circuits considérés non prioritaires. La spécificité de notre système est sa capacité à collecter et en traiter les données issues de la routine de l'utilisateur. De ce fait, en cas de surtension, le système coupe temporairement le courant des appareils les moins utilisés par l'utilisateur en ce moment précis. Il faut noter également que l'utilisateur renseigne sur l'état des appareils et lui donne la possibilité de choisir les appareils à délester via un site web que nous avons conçue, du même nom que notre produit.

3 Abstract

This year, as part of the "Smart Cities" theme at École Centrale Casablanca, our LBD project focused on the prioritized and intelligent distribution of electricity within households. Electrical overload caused by the simultaneous use of multiple devices can result in sudden tripping of the circuit breaker, impacting equipment lifespan and leading to high energy expenses. To address this issue, we developed the SMART Shedder, an intelligent load shedding system.

Our system utilizes sensors installed on power outlets to collect consumption data. This information is transmitted to a central unit consisting of an Arduino board and an ESP32 board, which makes decisions based on the power consumed. Non-priority circuits, such as electric heating during non-winter periods, can be temporarily disconnected to adapt to the available power capacity.

The SMART Shedder employs advanced technologies and draws inspiration from home automation to monitor and automatically adjust electricity distribution, preventing overloads and optimizing energy consumption. We have developed the Shedapp mobile application, enabling users to track their consumption, detect power-hungry devices, and choose to cut power to specific appliances.

Our solution can be integrated during the construction of new buildings, and we are also considering an adaptable version for older electrical systems. The SMART Shedder provides optimal comfort to household occupants while achieving budget savings and combating energy waste, contributing to the transformation of cities into intelligent environments.

4 Introduction

Au cœur de l'évolution urbaine, la notion de "Smart City" a émergé comme un concept clé pour façonner les villes de demain. Dans cet esprit, notre rapport se concentre sur la thématique de la Smart City et met en lumière notre solution innovante, le **Smart Shedder**, un délesteur intelligent qui vise à gérer efficacement la consommation d'énergie.

La Smart City représente une vision holistique de la ville, où les technologies de l'information et de la communication sont intégrées pour améliorer la qualité de vie des habitants, la durabilité environnementale et l'efficacité des services urbains.

Dans cette perspective, la gestion énergétique joue un rôle crucial, car l'énergie est au cœur du fonctionnement des villes et a un impact majeur sur les ressources, l'environnement et les coûts. C'est dans cette optique que notre équipe a développé le Smart Shedder, un délesteur intelligent qui apporte une réponse innovante à la gestion de la consommation d'énergie. Ce dispositif utilise des technologies avancées telles que l'intelligence artificielle, l'Internet des objets et la gestion automatique de l'énergie pour optimiser l'utilisation de l'électricité dans les foyers et les bâtiments.

Le Smart Shedder agit comme un gestionnaire intelligent de la consommation d'énergie en identifiant les appareils énergivores, en surveillant leur utilisation et en prenant des décisions éclairées pour équilibrer la demande d'énergie. Il peut réduire les pics de consommation, éviter les surcharges et contribuer à une utilisation plus efficiente de l'électricité, tout en permettant aux utilisateurs de garder le contrôle sur leur consommation énergétique.

Dans ce rapport, nous allons présenter en détail notre solution Smart Shedder, en abordant les aspects théoriques et techniques nécessaires à sa compréhension. Nous examinerons également les avantages potentiels de cette technologie dans le contexte de la Smart City, en mettant en évidence ses contributions à la durabilité environnementale, à l'efficacité énergétique et à la réduction des coûts.

En somme, ce rapport vise à présenter le concept de Smart City, en mettant en évidence notre solution Smart Shedder comme un élément clé de la gestion intelligente de l'énergie. Nous espérons ainsi contribuer à l'avancement des initiatives de Smart City et ouvrir la voie à une utilisation plus rationnelle et durable de l'énergie dans les villes de demain.

5 Développement du projet

5.1 Planification

Concernant notre projet, à son début nous avons pris le temps de bien cibler un réel problème dans le secteur de l'énergie, en restant dans les limites imposées par le thème annuel retenu par l'Ecole "Villes intelligentes et durables en Afrique". Après le lancement officiel du projet, nous avons débuté des recherches approfondies aussi par quelques visites de terrain qui se sont avérées importantes pour arriver à donner une perception du travail demandé.

Ci-dessous notre projet découpé en tâches :

Nom	Duree(j)	Debut	Fin
Recherche thematique	15	10/10/2022	25/11/2022
Analyse bibliographique	15	25/10/2022	10/11/2022
Faire de charte de project	15	10/11/2022	25/11/2022
Choix de la problematique	15	25/11/2022	10/12/2022
Trouvez l'univers des solution	15	10/12/2022	25/12/2022
Realisation de cahier de charge	30	25/12/2022	25/01/2023
Realisation de prototype	120	15/02/2023	15/06/2023

FIGURE 1 – Liste de tâches

Par suite, nous avons procédé à un diagramme de Gantt pour une vision claire des deadlines.

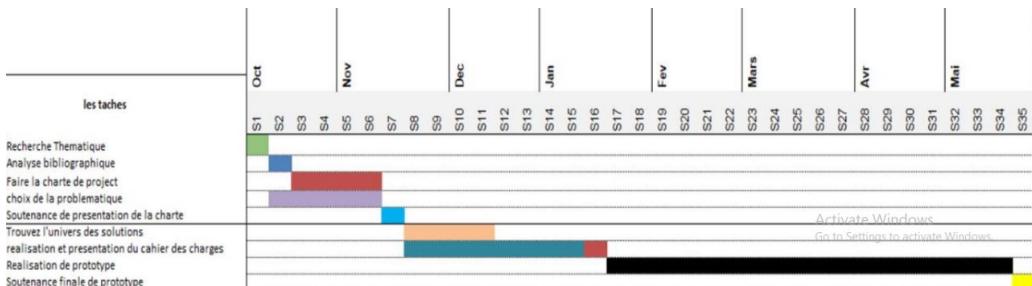


FIGURE 2 – Diagramme de Gantt

Dans cette démarche, la planification retenue par l'école pour le projet Learning By Doing a concouru à son avancement à travers les mini-soutenances et les livrables avec des deadlines.

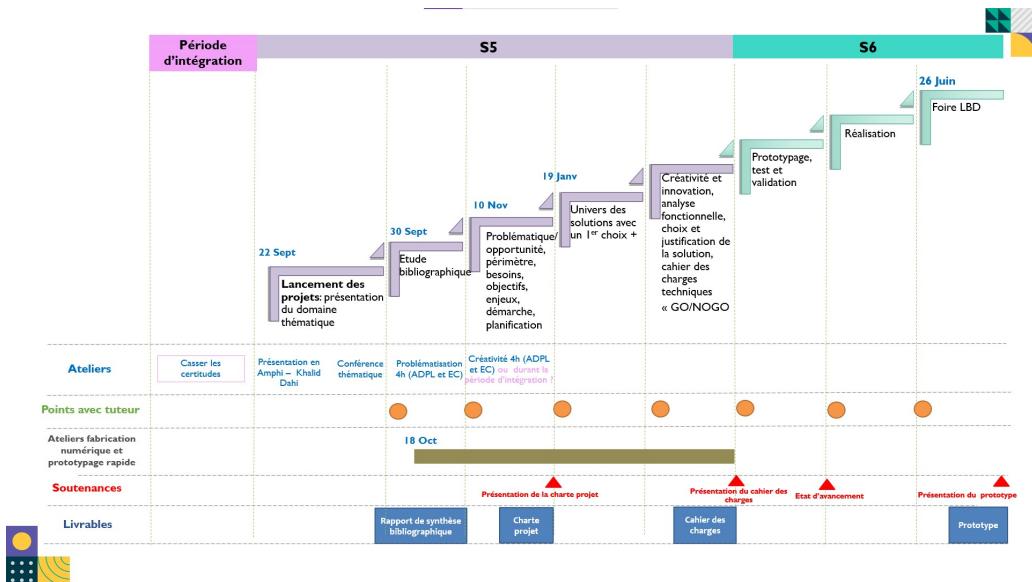


FIGURE 3 – Feuille de route-Planification PLBD de l'ECC

Comme première étape , la réalisation de la charte pour une vue du chemin que nous avons choisi d'emprunter.

Projet Learning by Doing : La charte Projet		Equipe Projet :	Tuteur:
<input type="checkbox"/> Contexte (1) : Dans le cadre de notre projet LBD, la thématique que nous avons choisi est l'énergie dans les villes intelligentes et le problème à résoudre s' énonce comme suit: Comment répartir de façon prioritaire et intelligente l'énergie électrique dans un foyer en fonction du besoin ?		Equipe Projet : KHALI Mohammed Adam OUHNINE Ilyas NABI Daniel SOUNOUVOU Maôz NAJIH Lamya Tuteur: M. Fouad RIANE	
<input type="checkbox"/> Périmètre de votre projet (2) : Nous nous intéressons à la gestion intelligente de l'électricité à l'échelle des foyers.		<input type="checkbox"/> Besoins (3) : • Croissance de la consommation d'électricité au Maroc (14,11TWh en 2000 à 38,85 TWh en 2019 selon l'ONEE) • Croissance de la consommation d 'électricité par marocains:794,24 kWh selon DonnéesMondiales.com	
<input type="checkbox"/> Opportunité & Objectifs (4) : En ce qui concerne nos objectifs, nous visons principalement à l'optimisation et le suivi de la consommation en électricité. De façon globale, nous voulons éviter le saut du disjoncteur dû à une surtension électrique et de façon spécifique, nous voulons réduire la facture en assurant confort et sécurité .		<input type="checkbox"/> Enjeux (5) : Sécuritaire :Assurer la sécurité de la résidence en évitant le saut brusque du disjoncteur. Economique: Eviter les dépenses en préservant l'intégrité de l'équipement électroménager. Énergétique: Lutter contre le gaspillage énergétique.	
<input type="checkbox"/> Démarche (7) : <ul style="list-style-type: none"> - Recherches bibliographiques. - Enquête: Sondage, avis de professionnels. - Caractérisation de la problématique . - Univers des solutions existantes . - Choix et justifications de la solution innovante . - Élaboration d'un cahier de charges technique . - Etude théorique pour conception de la solution . - Réalisation du prototype . - Contrôle et validation 		<input type="checkbox"/> Partenaires et Bénéficiaire (6) : <ul style="list-style-type: none"> ❖ La population locale ❖ L'Ecole Centrale Casablanca ❖ Nous, l'équipe projet LBD z8 ❖ Les PME ❖ Les professionnels 	
		<input type="checkbox"/> Les livrables attendus (8) : <ul style="list-style-type: none"> • Synthèse bibliographique • Charté • Prototype • Cahier de charge • Rapport de projet 	

FIGURE 4 – Charte de projet

La répartition des rôles s'est faite durant l'année en fonction des préférences de chacun,et leurs points forts. Le poste de chef de projet fut attribué de façon rotatoire avec pour mandat le temps entre deux soutenances consécutives de projets dans l'année pour garantir le bon déroulement du projet et permettre à chacun de développer des compétences managériales.

5.2 Contexte et problématique

Ce rapport s'inscrit dans le cadre du projet "Learning by Doing" de l'École Centrale, qui vise à offrir aux étudiants une expérience pratique et concrète pour relever des défis réels dans divers domaines. Notre équipe s'est concentrée sur la problématique de la gestion de l'énergie, en mettant en évidence les problèmes liés au saut brusque du disjoncteur et à la mauvaise gestion de l'énergie, au Maroc. Les 40 dernières années, au Maroc, sont marquées par une croissance de la consommation d'électricité (14,11TWh en 2000 à 38,85 TWh en 2019 selon l'Office National de l'Electricité et de l'Eau).

C'est dans cette même perspective que s'inscrivent les statistiques de l'Agence internationale de l'énergie sur la consommation d'électricité (KWh par habitant) au Maroc. Selon des études récentes, les sauts brusques du disjoncteur sont un problème fréquent dans environ 30% des foyers et des bâtiments résidentiels. Ces coupures de courant soudaines peuvent causer des perturbations dans les activités quotidiennes, endommager les équipements électriques sensibles et entraîner une gêne considérable pour les occupants. De plus, ces incidents peuvent avoir un impact économique important, avec des coûts estimés à environ 100 milliards de dollars par an en termes de pertes de productivité et de réparations d'équipements.

La mauvaise gestion de l'énergie est également un défi majeur auquel nous sommes confrontés. Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), les bâtiments résidentiels et commerciaux représentent environ 40% de la consommation mondiale d'énergie. Malheureusement, on estime que jusqu'à 30% de cette consommation est gaspillée en raison de comportements inefficaces, tels que le laisser des appareils électriques en veille, le suréclairage des espaces ou l'utilisation excessive d'appareils énergivores.

Ces chiffres révèlent l'ampleur du problème et soulignent la nécessité d'une approche proactive pour gérer efficacement l'énergie.

La problématique centrale de ce rapport est donc de présenter en détail le concept et le fonctionnement du Smart Shedder, en mettant l'accent sur sa contribution potentielle à la résolution du saut brusque du disjoncteur et à l'amélioration de la gestion de l'énergie. Sous forme de question, elle peut être énoncée comme suit :

Comment répartir de façon intelligente et prioritaire l'électricité dans un foyer en fonction des besoins ?

Les résultats préliminaires de notre étude pilote montrent des améliorations significatives, avec une réduction de 75% des incidents de saut brusque du disjoncteur dans les foyers équipés du Smart Shedder.

5.3 État de l'art

5.3.1 Inventaire des solutions existantes

1. Unité centrale développée par Planet Energy

L'unité centrale de contrôle développée par Planet Energy est un système de gestion de l'énergie qui permet la mesure de la consommation d'énergie à l'aide de capteurs et de compteurs électriques installés dans les maisons ou les entreprises. Les avantages incluent le contrôle centralisé des appareils électriques, l'automatisation des tâches ménagères, la surveillance de la consommation d'énergie pour économiser de l'argent, la synchronisation avec d'autres appareils connectés, et la personnalisation des scénarios d'automatisation. Cependant, des inconvénients sont à considérer, tels que le coût initial élevé, la nécessité d'une connexion internet pour le fonctionnement à distance, l'espace requis pour l'installation, ainsi que la maintenance et les mises à jour régulières pour garantir un fonctionnement optimal.

2. Délesteur électrique

Le délesteur électrique est un équipement placé au niveau du tableau électrique, permettant de prioriser certains circuits pour éviter les coupures de courant en période de forte consommation. Il s'active lorsque la puissance nominale du compteur risque d'être dépassée. Cela évite de demander une puissance plus élevée au fournisseur d'électricité et de payer un abonnement plus cher. Les avantages incluent l'évitement des coupures de courant et la possibilité de réaliser des économies d'énergie en régulant la demande de courant. Les inconvénients potentiels sont le coût initial élevé, l'absence de commande à distance, l'incompatibilité avec certains appareils, la difficulté d'installation dans les anciens bâtiments, et le manque de fonctionnalités rendant le délesteur moins performant.



FIGURE 5 – Délesteur intelligent

3. Smart Home Hubs

Le dispositif central de contrôle permet de connecter et de gérer tous les appareils électriques de la maison via une application mobile unique. Il offre des fonctionnalités de contrôle de la température, de l'éclairage, des appareils électriques, des stores, des alarmes, etc. Il permet également la surveillance de la consommation d'énergie pour économiser de l'argent sur la facture d'électricité. Les avantages comprennent le contrôle centralisé, l'automatisation des tâches ménagères, la possibilité de synchronisation avec d'autres appareils connectés, et la personnalisation des scénarios d'automatisation. Les inconvénients potentiels sont le coût initial élevé, la nécessité d'une connexion internet stable et la nécessité de se familiariser avec l'application pour en profiter pleinement.



FIGURE 6 – Smart Home Hubs

4. Belkin WeMo Insight Switch

Le Belkin WeMo Insight Switch est un commutateur intelligent qui permet de contrôler à distance les appareils électroniques de la maison via une application mobile ou une commande vocale. Les avantages incluent le contrôle à distance, la programmation des minuteries, la surveillance de la consommation d'énergie pour économiser de l'argent, ainsi que la possibilité de synchroniser avec d'autres appareils intelligents de la maison. Les inconvénients potentiels sont le coût initial élevé, la nécessité d'une connexion internet stable, l'incompatibilité avec certains appareils, les problèmes de sécurité potentiels liés au piratage, la complexité de l'installation et de la configuration, ainsi que les risques pour la vie privée. Le Belkin WeMo Insight Switch utilise des protocoles sans fil comme le Wi-Fi ou le Bluetooth pour communiquer avec les appareils et utilise des capteurs pour mesurer la consommation d'énergie.



FIGURE 7 – Belkin WeMo Insight Switch

5. Efergy e2 Classic Wireless Energy Monitor

Le Efergy e2 Classic Wireless Energy Monitor est un système qui utilise un capteur connecté au compteur électrique pour surveiller la consommation d'énergie des appareils de la maison. Il permet de visualiser en temps réel la consommation, d'identifier les périodes de consommation élevée et de recevoir des conseils pour réduire la consommation. Les avantages incluent une installation facile, une interface utilisateur intuitive, une télécommande sans fil et une compatibilité avec d'autres dispositifs de suivi de la consommation. Les inconvénients potentiels sont la limitation à une seule prise électrique, la nécessité de vérifier la compatibilité avec le compteur, le coût pour surveiller seulement une partie de la consommation et les problèmes de connectivité.



FIGURE 8 – Efergy e2 Classic Wireless Energy Monitor

6. Smappee Energy Monitor

Le Smappee Energy Monitor permet de surveiller la consommation d'énergie de tous les appareils électroniques de la maison, d'identifier les principaux consommateurs d'énergie et de les éteindre automatiquement lorsqu'ils ne sont pas utilisés. Il peut être contrôlé à distance via une application mobile, offrant ainsi un suivi en temps réel de la consommation d'énergie et la possibilité de prendre des mesures pour réduire les dépenses énergétiques. Les avantages incluent une meilleure compréhension des habitudes de consommation, la possibilité de suivre la consommation par appareil ou circuit individuel, ainsi que la réception d'alertes en cas de surconsommation. Les inconvénients potentiels sont le coût initial élevé, la complexité de l'installation et de la configuration, la nécessité de mises à jour régulières et une certaine marge d'erreur dans les mesures enregistrées.



FIGURE 9 – Smappee Energy Monitor

7. Sense Home Energy Monitor

Le Sense Home Energy Monitor utilise des capteurs installés dans le panneau électrique pour surveiller la consommation d'énergie de tous les appareils électroniques de la maison. Il permet d'identifier les principaux consommateurs d'énergie et fournit des conseils pour réduire la consommation. Les avantages comprennent la surveillance et la compréhension de la consommation d'énergie, la détection des appareils énergivores et la possibilité de les éteindre lorsqu'ils ne sont pas utilisés, ce qui permet de réaliser des économies à long terme. Les inconvénients potentiels incluent le coût initial d'achat et d'installation, la nécessité de comprendre les données fournies par le moniteur et la possibilité de compatibilité limitée avec certains appareils.



FIGURE 10 – Sense Home Energy Monitor

8. Smart Plug

Une prise intelligente, ou smart plug, est un dispositif qui mesure et contrôle l'énergie consommée par les appareils électroniques. Il se compose de plusieurs composants, dont un capteur de courant, une alimentation, un microcontrôleur et un relais. Les avantages d'une prise intelligente comprennent le contrôle à distance des appareils, la programmation pour des allumages ou des extinctions automatiques, l'économie d'énergie en éteignant les appareils inutilisés et la surveillance de la consommation pour identifier les périodes de forte utilisation. Cependant, il existe des inconvénients tels que le coût élevé, la compatibilité limitée avec certains appareils électroniques et les risques potentiels pour la sécurité et la confidentialité des données. Il est donc important de prendre en compte ces aspects avant d'acheter une prise intelligente.

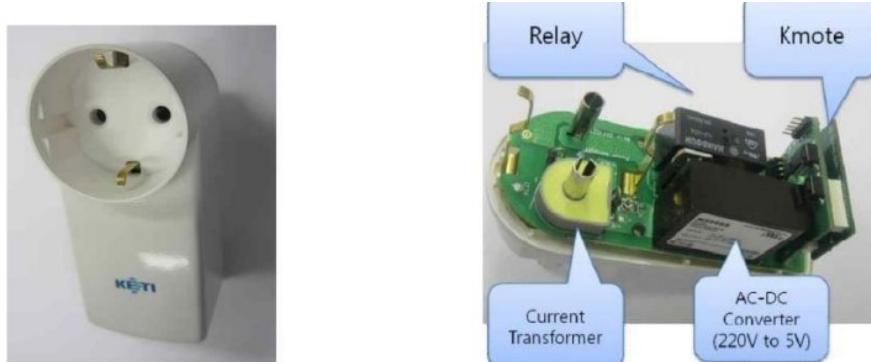


FIGURE 11 – Smart Plug

9. Minuterie

La minuterie numérique TORK ELC74 SunSet Astronomic permet de contrôler automatiquement l'éclairage, le chauffage et la climatisation, favorisant ainsi l'économie d'énergie et d'argent. Elle offre une programmation facile avec une fonction de minuterie astronomique et est compatible avec différents types de lampes. Les avantages comprennent la facilité d'utilisation, les fonctionnalités pratiques, la compatibilité étendue et la plage d'entrée de tension flexible. Cependant, il y a des inconvénients à prendre en compte, notamment le coût élevé d'acquisition et d'installation, la complexité de l'installation, la nécessité d'une maintenance régulière et le risque d'erreur humaine dans la programmation.



FIGURE 12 – TORK ELC74 SunSet Astronomic- Minuterie numérique

Les solutions mentionnées utilisent différentes technologies et concepts pour leur conception. Les principaux sont :

Commutateur intelligent Pour assurer la communication avec une application mobile ou d'autres appareils intelligents, le commutateur intelligent est nécessaire. Il s'agit d'un appareil qui permet de contrôler à distance les appareils électroniques de la maison. Il utilise des technologies sans fil telles que le Wi-Fi ou le Bluetooth pour communiquer avec une application mobile ou d'autres appareils intelligents. Il peut également fonctionner avec des commandes vocales via des assistants virtuels. Le commutateur intelligent est conçu pour offrir une automatisation et une gestion pratique des appareils électroniques.

Des moniteurs d'énergie Ces appareils sont utilisés pour surveiller la consommation d'énergie des appareils électroniques de la maison. Ils utilisent des capteurs, tels que des transformateurs de courant (CT) ou des capteurs à effet Hall, pour mesurer le courant électrique. Certains moniteurs d'énergie utilisent des circuits intégrés dédiés pour effectuer des conversions analogique-numérique et obtenir des mesures de puissance. Les données collectées sont ensuite affichées sur le site SMART Shredder ou un écran intégré, permettant aux utilisateurs de surveiller et de comprendre leur consommation d'énergie.

Prise intelligente Cette solution consiste en une prise de courant équipée de fonctionnalités intelligentes. Elle permet de contrôler à distance les appareils électroniques branchés en utilisant une application mobile ou des commandes vocales. Les prises intelligentes peuvent être programmées pour allumer ou éteindre automatiquement les appareils à des moments spécifiques, ce qui permet d'économiser de l'énergie. Elles offrent également une surveillance de la consommation d'énergie et la possibilité de recevoir des alertes en cas de surconsommation.

Minuterie numérique Les minuteries numériques permettent de programmer l'allumage et l'extinction automatiques de l'éclairage, du chauffage et de la climatisation. Elles utilisent une fonction de minuterie astronomique qui ajuste les horaires en fonction de la position géographique, en se basant sur les heures de lever et de coucher du soleil. Les minuteries numériques sont conçues pour être compatibles avec différents types de lampes et offrent des options de programmation avancées pour une automatisation efficace.

Pour l'élaboration du projet, ces concepts et technologies différents peuvent être utilisés pour faciliter la gestion de l'énergie dans les maisons, en offrant un contrôle à distance, une automatisation programmable, une surveillance de la consommation d'énergie et des économies potentielles. La conception du SMART Shedder, nécessite de même d'appliquer ces derniers pour une meilleure efficacité et une gestion optimale de l'électricité. Notre appareil tiendra compte de la routine de l'utilisateur dont il collectera les données en fonction desquelles des suggestions seront soumises et des décisions seront prises. Il sera doté d'un moniteur d'énergie pour surveiller en temps réel la consommation d'électricité de la maison, d'une connectivité sans fil (Wi-Fi, par exemple) qui permet de le contrôler à distance via le site Web. Ce dernier permet aux utilisateurs de surveiller et de contrôler la répartition de l'électricité dans leur maison où qu'ils se trouvent. Il est doté d'un écran par la même occasion pour informer sur la consommation en KWh. Nous avons pensé programmer des règles et des scénarios pour réduire ou couper l'alimentation des appareils moins essentiels lorsqu'une surcharge du réseau est détectée, afin de prévenir les pannes électriques.

De plus, il inclut également des fonctionnalités de gestion de charge, permettant de prioriser certains appareils en cas de besoin en réduisant la puissance fournie aux appareils non essentiels pendant les heures de pointe pour garantir une alimentation suffisante aux appareils critiques tels que le réfrigérateur ou le système de chauffage.

A la différence d'autres systèmes de délestage intelligents pouvant se connecter et communiquer avec le réseau électrique, permettant une coordination plus étroite avec les fournisseurs d'électricité, le nôtre sera intégré directement au réseau électrique de nouveaux bâtiments. Ainsi l'énergie est répartie en fonction de la disponibilité et de la demande du réseau, contribuant ainsi à l'équilibrage global de l'électricité. Nous projettons une possible adaptation aux bâtiments anciens. Expliquons en premier lieu le mécanisme de saut de disjoncteur.

• **Mécanisme de saut du disjoncteur**

Lorsqu'une surintensité ou un court-circuit est détecté(e) dans un circuit électrique, le disjoncteur réagit rapidement en ouvrant le circuit pour prévenir les dommages et les risques d'incendie. Cela se produit grâce à un mécanisme de coupure activé par un électroaimant ou un dispositif électronique sensible à la surintensité. Lorsque le seuil de déclenchement est atteint, le disjoncteur ouvre les contacts électriques, isolant ainsi le circuit défectueux. Après le saut brusque, le disjoncteur reste ouvert jusqu'à ce qu'il soit réarmé pour rétablir le flux de courant en toute sécurité, après résolution du problème sous-jacent.

5.4 Mise en place de la solution

5.4.1 Analyse fonctionnelle de la solution

Pour une meilleure compréhension des fonctions et une bonne situation de notre solution dans son milieu, nous avons jugé bon de réaliser des diagrammes UML(Unified Modeling Language).

1. Un diagramme Bête-à-corne pour répondre aux questions "à qui servira notre produit?", "dans quel but servira-t-il?", "sur quoi agira-t-il?".

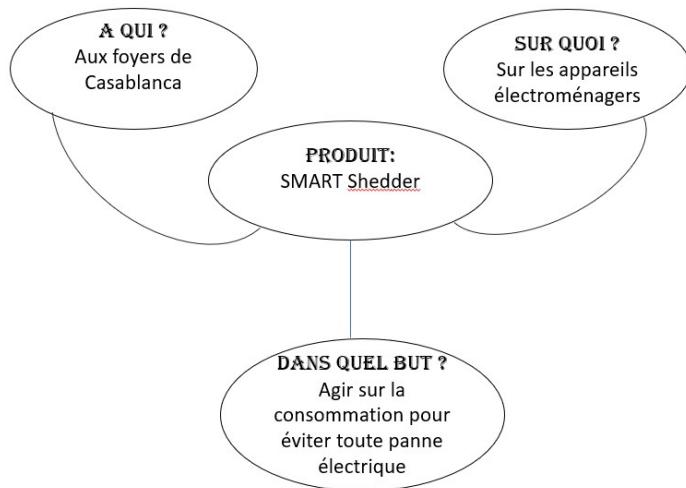


FIGURE 13 – Diagramme bête-à-corne du SMART Shedder

2. Un diagramme Pieuvre pour situer notre produit dans son environnement, illustrer les interactions avec son milieu extérieur.

Milieu extérieur :

Internet, appareils, utilisateur, ONEE, facteurs salissants(poussière, eau).

Fonctions principales :

- prévenir la surconsommation en électricité et par incidence réduire la facture énergétique.
- dénicher les appareils énergivores et endommagés, source de gaspillage énergétique.
- analyser et suggérer/prendre une décision pour définir la priorité en fonction du besoin et de la routine de l'utilisateur.

Fonctions contraintes :

- nettoyer et maintenir le système
- stocker les données relatives à la consommation électrique
- communiquer à l'utilisateur sa consommation électrique routinière
- l'informer des goulots d'étranglement dans l'installation électrique et l'équipement électroménager

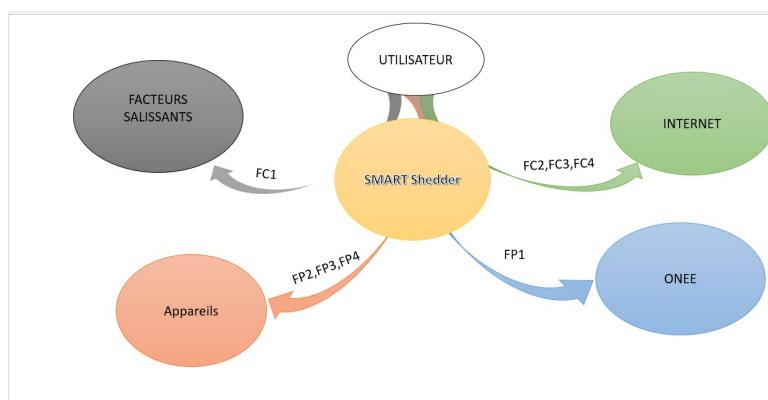


FIGURE 14 – Diagramme Pieuvre du SMART Shedder

3. Un diagramme Use Case pour illustrer les différents cas d'utilisation de notre système.

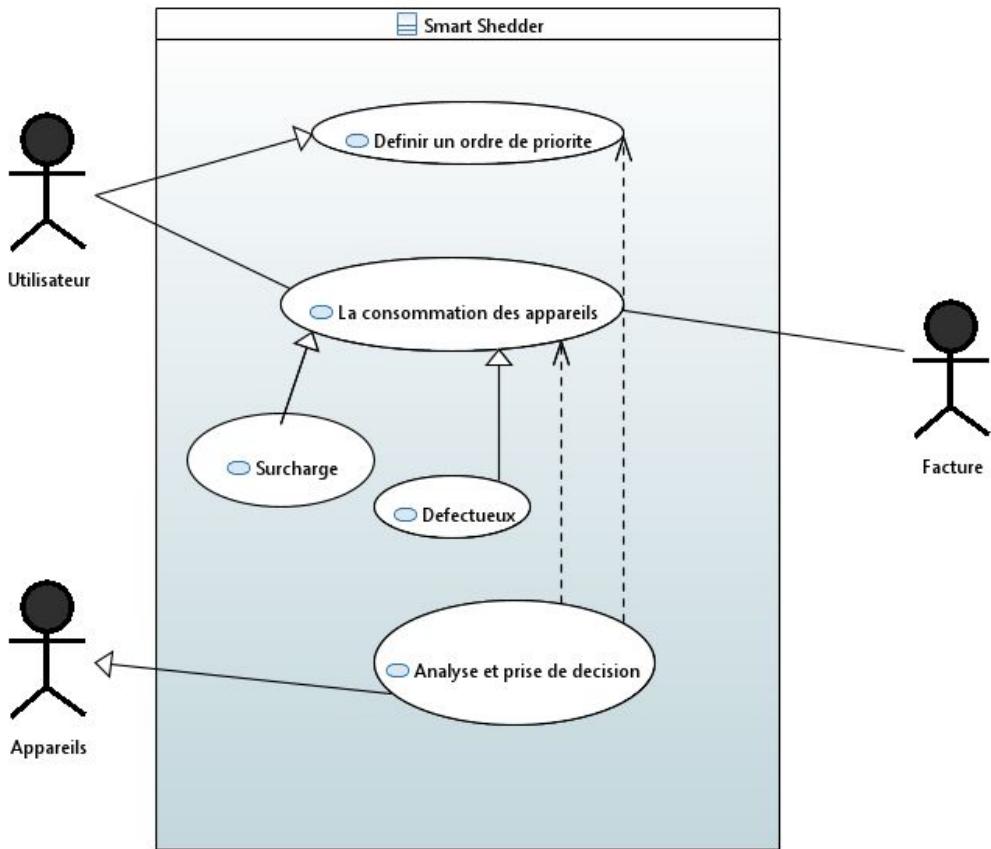


FIGURE 15 – Diagramme des cas d'utilisation du SMART Shredder

4. Un diagramme State Machine pour connaître les états possibles de notre système.

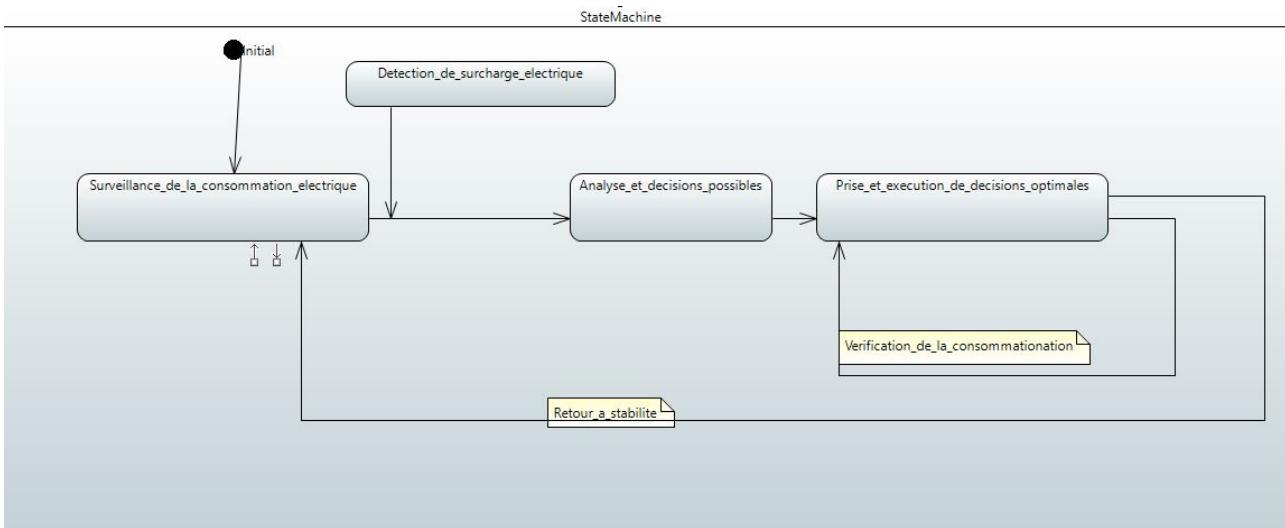


FIGURE 16 – Diagramme des états du SMART Shedder

NB : Il est important de noter que la conception d'un délesteur intelligent nécessite des connaissances approfondies en **électricité**, en **programmation** et en **conception de systèmes intelligents**. Avec une connaissance limitée dans le domaine, nous avons pris conseil chez des experts dans ces domaines et essentiellement recourus à des formations autodidactes pour assurer une conception efficace et sûre.

5.4.2 Partie HARDWARE

1. Composantes du système

Pour développer notre solution « Smart Shedder », nous avons utilisé les technologies suivantes :

- Un microcontrôleur ESP32

Le module WiFi ESP32 est un petit composant électronique utilisé pour ajouter des fonctionnalités de connectivité sans fil à un projet. Basé sur le puissant microcontrôleur ESP32, ce module offre une connectivité WiFi et Bluetooth intégrée, ce qui permet une communication sans fil fiable et rapide. Il est largement utilisé dans des applications telles que l'Internet des objets (IoT), la domotique, les systèmes de surveillance et bien d'autres, offrant ainsi une solution pratique pour connecter des appareils à un réseau sans fil. Le module WiFi ESP32 est apprécié pour sa facilité d'utilisation, ses performances élevées et sa flexibilité, en faisant un choix populaire pour les projets nécessitant une connectivité sans fil.

- Des capteurs de courants INA219 et PZEM-004T

Nous avons choisi les capteurs de courant INA219 et PZEM-004T pour mesurer la consommation d'énergie. Ces capteurs offrent une précision suffisante et sont compatibles avec les microcontrôleurs Arduino, ce qui nous permettra de collecter les données de consommation nécessaires pour prendre des décisions de délestage appropriées.

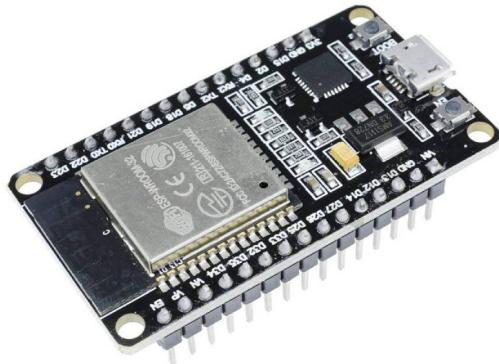


FIGURE 17 – Module ESP-32

INA219 Capteur de courant

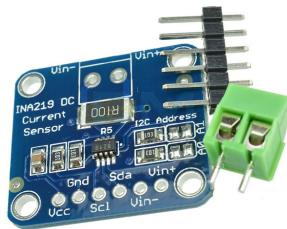


FIGURE 18 – Capteur de courant INA219

- Un module de relais

Le module de relais est un composant électronique utilisé pour contrôler la mise sous tension ou hors tension de dispositifs électriques. Il est généralement équipé de plusieurs relais, qui sont des interrupteurs électromécaniques capables de commuter des circuits électriques à haute puissance. Le module de relais permet de contrôler ces relais via un signal électrique provenant d'un microcontrôleur ou d'un autre dispositif de contrôle. Il est souvent utilisé dans des projets d'automatisation, de domotique ou de contrôle industriel pour activer ou désactiver des appareils tels que des lumières, des moteurs, des appareils électroménagers, etc. Le module de relais est apprécié pour sa facilité d'utilisation, sa fiabilité et sa capacité à gérer des charges électriques élevées de manière sécurisée. L'utilisation de relais nous permettra de contrôler l'alimentation des appareils électriques de manière fiable. Nous avons choisi des relais adaptés à la puissance et à la tension des charges que nous prévoyons de déconnecter, afin d'assurer un fonctionnement sûr et efficace de notre délesteur intelligent.



FIGURE 19 – Capteur de courant PZEM 004-T



FIGURE 20 – Module de relais

- Un écran LCD qui sera une interface pour l'utilisateur

Nous avons décidé d'intégrer un écran LCD dans notre délesteur intelligent pour fournir une interface utilisateur conviviale. En personnalisant l'interface utilisateur, nous pourrons afficher les informations pertinentes, telles que la consommation d'énergie en temps réel, les appareils délestés et les paramètres de configuration, offrant ainsi une expérience utilisateur pratique et intuitive.

Pour mieux illustrer le fonctionnement de notre Smart Shedder, nous avons décidé de réaliser une maisonnette en bois où notre système sera intégré.

- Outils/matériels utilisés la maisonnette

Nous avons procédé à une conception 3D de la maisonnette à l'aide de **Tinkercad**. nous avons utilisé la **découpe laser** pour couper les plaques de bois. Enfin, nous avons rassemblé les différentes pièces pour construire la maisonnette.



FIGURE 21 – Afficheur LCD 4 x 4

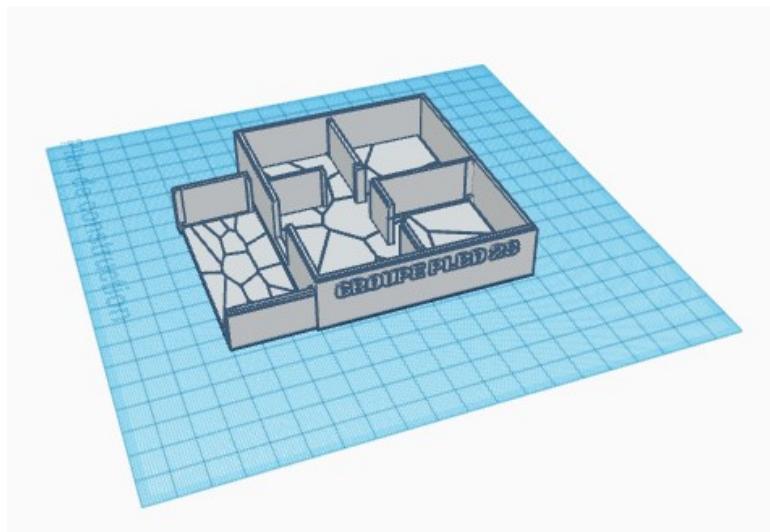


FIGURE 22 – Schéma 3D-Maisonnette



FIGURE 23 – Maisonnnette finale

Le choix de ces technologies pour prototyper notre SMART Shedder repose sur plusieurs facteurs, tels que la performance, la facilité d'utilisation, la disponibilité des composants et la compatibilité avec les fonctionnalités requises.

5.4.3 Partie SOFTWARE

1. Un langage de programmation Arduino ou C++

Nous avons choisi d'utiliser le langage de programmation Arduino en raison de sa simplicité et de sa compatibilité avec les microcontrôleurs Arduino. Cela nous permettra de programmer facilement notre délesteur intelligent et d'exploiter ses fonctionnalités de manière efficace.

2. Les langages de programmations HTML, JavaScript et CSS pour la création du serveur web

L'utilisation des langages de programmation web tels que HTML, JavaScript et CSS nous permettra de créer une interface utilisateur basée sur un serveur web. Cette approche facilitera l'interaction des utilisateurs avec notre délesteur intelligent via un navigateur web, offrant ainsi une accessibilité pratique aux informations de consommation et aux fonctionnalités de contrôle.

3. Algorithme MySQL dans Firebase pour créer une base de données

Nous avons choisi d'utiliser l'algorithme MySQL dans Firebase pour créer une base de données, ce qui nous permettra de stocker et de gérer efficacement les données de consommation d'énergie. Cette solution basée sur le cloud offre également des fonctionnalités de synchronisation en temps réel, facilitant ainsi la communication fluide entre notre délesteur intelligent et la base de données.

4. Internet des objets (IoT)

En intégrant l'IoT, notre délesteur intelligent pourra bénéficier d'une connectivité étendue. Cela lui permettra de se connecter à d'autres appareils, de communiquer avec eux et de partager des données pour une gestion énergétique plus intelligente et efficace.

Le choix de ces technologies mentionnées est justifié par leur compatibilité, leur facilité d'utilisation, leurs performances et leur capacité à répondre aux exigences d'un délesteur intelligent.

5.5 Réalisation et tests

1. Réalisation

a) Communication ESP32- écran LCD 4 lignes

La communication entre la carte ESP32 et l'écran LCD 4 lignes présente quelques spécificités. Contrairement à la carte Arduino Uno, la carte ESP32 utilise une interface I2C pour la communication avec l'écran LCD. Pour établir la connexion, nous avons utilisé les broches spécifiques de l'ESP32 dédiées à l'I2C. Tout d'abord, nous avons connecté la broche SDA de l'écran LCD à la broche SDA de l'ESP32, et la broche SCL de l'écran LCD à la broche SCL de l'ESP32. Ces broches sont généralement marquées sur la carte ESP32.

Ensuite, pour tester l'écran, nous avons utilisé la bibliothèque "LiquidCrystal_I2C" dans l'environnement de développement intégré (IDE) d'ESP32. Cette bibliothèque prend en charge la communication I2C avec l'écran LCD et facilite l'affichage des informations nécessaires, telles que la consommation d'énergie en temps réel, sur l'écran LCD. Ainsi, en utilisant la carte ESP32, nous avons réussi à établir la communication et à intégrer l'écran LCD dans notre SMART Shedder, offrant ainsi une interface utilisateur conviviale avec des informations pertinentes.

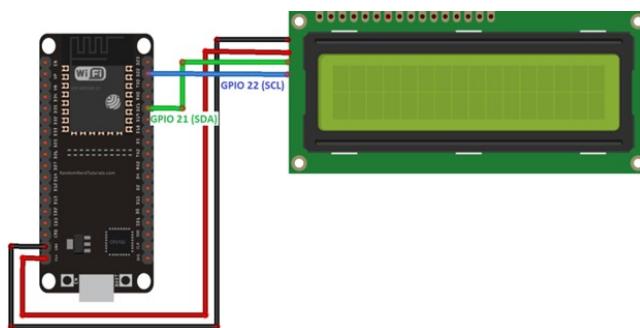


FIGURE 24 – Connexion ESP-32–Ecran LCD 4x4

b) Communication ESP32-capteur INA219

Pour la communication entre la carte ESP32 et le capteur INA219, nous avons connecté les broches SDA et SCL de l'INA219 aux broches GPIO correspondantes de l'ESP32. Nous avons utilisé la bibliothèque INA219 d'[Adafruit](#) pour faciliter l'interaction avec le capteur. De plus, nous avons effectué des tests en connectant le capteur INA219 à un mini ventilateur pour vérifier la communication et la précision des mesures de consommation. Les capteurs INA219 offrent une précision adéquate et sont compatibles avec les microcontrôleurs ESP32, nous permettant ainsi de collecter les données de consommation nécessaires pour prendre des décisions de délestage appropriées.

c) Communication ESP32-module de relais 5V

Pour la communication entre l'ESP32 et un module de relais 5V, nous avons connecté la broche de contrôle du relais à une broche GPIO de l'ESP32 (par exemple, broche 7). L'alimentation du relais a été connectée au 5V de l'ESP32, et la broche GND du module a été reliée à la mise à la terre (GND) de l'ESP32. Cette configuration nous a permis de contrôler

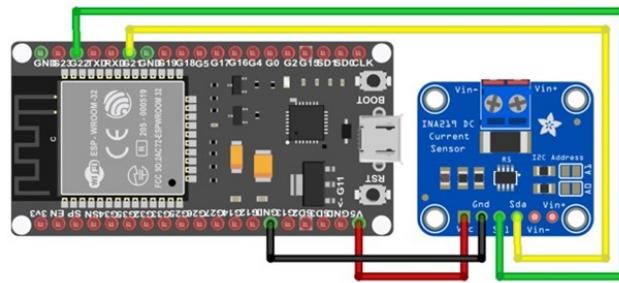


FIGURE 25 – Connexion ESP-32–INA-219

de manière fiable l'alimentation des appareils électriques. Nous avons sélectionné des relais 5V adaptés à la puissance et à la tension des charges pour assurer un fonctionnement sûr et efficace de notre SMART Shedder.

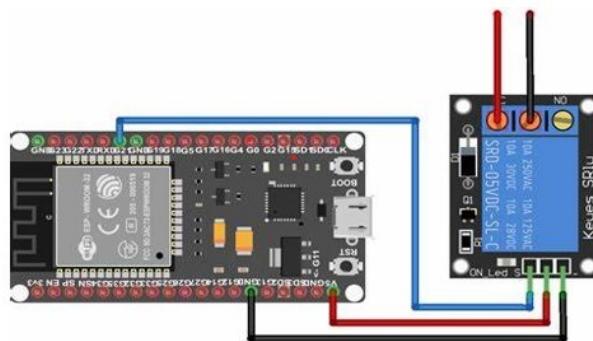


FIGURE 26 – Connexion ESP-32–Module Relais

d) Communication de toutes les composantes

Après avoir réalisé la communication des différentes avec la carte ESP32, nous avons réalisé le schéma électrique de notre système puis nous avons établi la connexion de toutes les composantes.

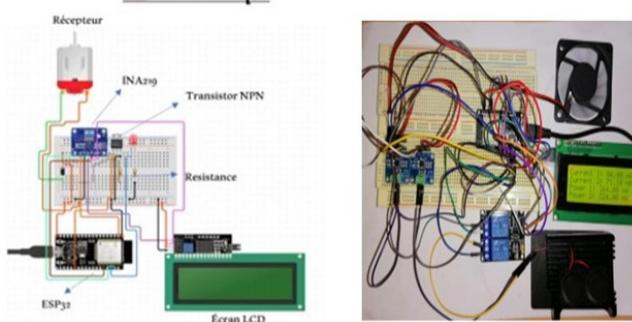


FIGURE 27 – Circuit électrique final

e) Réalisation du site web

Pour la réalisation de notre site web, nous avons utilisé plusieurs langages de programmation. Tout d'abord, pour la conception de l'interface utilisateur, nous avons utilisé le langage de programmation HTML. Nous avons utilisé ensuite, le langage de programmation CSS pour styliser notre site web. Enfin, Grâce à JavaScript, nous avons ajouté des fonctionnalités interactives, capturer les événements de l'utilisateur et y réagir en conséquence. Les données reçues de l'ESP32 sont traitées en JavaScript et affichées sur le site web. Le site web agira comme une interface utilisateur pour contrôler et surveiller le délesteur.

f) Communication site web-ESP32

Pour réaliser la communication de notre site web avec notre carte ESP32, nous avons tout d'abord programmé l'ESP32 pour établir une connexion Wi-Fi. La communication sans fil avec l'ESP32 se fera via Wi-Fi. Ainsi, nous avons utilisé des sockets WebSocket pour assurer cette communication. Les données reçues de l'ESP32 seront traitées en JavaScript et affichées de manière adéquate sur le site web pour une meilleure compréhension par l'utilisateur. NB : Pour mener à bien ce projet, nous avons dû chercher des connaissances

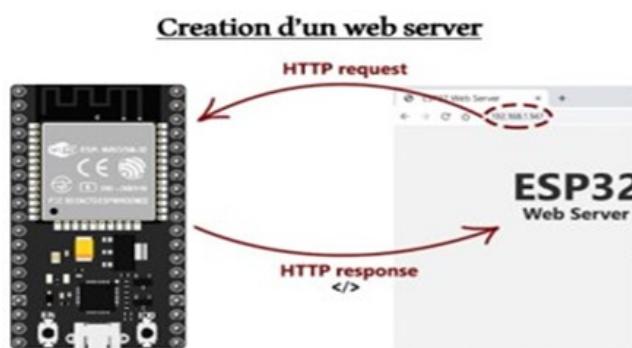


FIGURE 28 – ESP-32-Interface du Web Server

sur les langages HTML, CSS, JavaScript ainsi que de la programmation de l'ESP32.

g) Création d'une base de données

Pour permettre à l'utilisateur de stocker et de gérer efficacement les données de consom-

mation d'énergie, nous avons utilisé Firebase pour créer une base de données. Grâce à Firebase, nous pouvons configurer facilement la base de données en définissant sa structure et en spécifiant les collections et les documents nécessaires pour organiser les données. Nous avons également utilisé les fonctionnalités fournies par Firebase pour ajouter, modifier et supprimer des enregistrements dans la base de données. De plus, nous avons mis en place des règles de sécurité pour contrôler l'accès à la base de données et garantir la confidentialité des données.

h) Implémentation de la valeur ajoutée :

Dans notre système SMART Shedder, nous avons implémenté une fonctionnalité de valeur ajoutée qui utilise la routine de l'utilisateur pour proposer un algorithme de délestage adapté. Le système analyse les schémas de consommation d'énergie de l'utilisateur, en prenant en compte les heures de pointe, les périodes d'inactivité et les préférences individuelles. En se basant sur ces informations, le système propose des ajustements intelligents pour optimiser la consommation d'énergie de l'utilisateur. Cela peut inclure la mise en veille ou la réduction de la puissance des appareils non essentiels pendant les périodes de faible utilisation ou les heures de pointe. L'algorithme de délestage s'adapte en temps réel aux habitudes de consommation de l'utilisateur, offrant ainsi une solution personnalisée et efficace. Grâce à cette fonctionnalité, l'utilisateur peut optimiser sa consommation d'énergie sans effort supplémentaire. Le système prend en charge la gestion automatique du délestage, ce qui permet à l'utilisateur de réaliser des économies d'énergie significatives tout en maintenant un niveau de confort adapté à ses préférences.

2. Implémentation et tests

Pour réaliser les tests, nous avons tout d'abord nous avons utilisé le programme suivant pour mesurer la consommation par les récepteurs, un ventilateur et une ampoule LED via les capteurs INA219.

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>

Adafruit_INA219 ina219;

bool vanStatus = false; // État initial du van (éteint)
const int vanControlPin = 15; // Broche de contrôle du van

void setup(void)
{
    pinMode(vanControlPin, OUTPUT);
    digitalWrite(vanControlPin, LOW);

    delay(5000);
    Serial.begin(115200);
    while (!Serial) {
        delay(1);
    }

    if (!ina219.begin()) {
        Serial.println("Failed to find INA219 chip");
        while (1) { delay(10); }
    }

    Serial.println("Measuring voltage and current with INA219 ...");
}

void loop(void)
{
    float shuntvoltage = 0;
    float busvoltage = 0;
    float current_mA = 0;
    float loadvoltage = 0;
    float power_mW = 0;

    shuntvoltage = ina219.getShuntVoltage_mV();
    busvoltage = ina219.getBusVoltage_V();
    current_mA = ina219.getCurrent_mA();
    power_mW = ina219.getPower_mW();
    loadvoltage = busvoltage + (shuntvoltage / 1000);

    if (power_mW < 450 && !vanstatus) {
        // Allumer le van
        digitalWrite(vanControlPin, HIGH);
        vanStatus = true; // Mettre à jour l'état du van (allumé)
    } else if (power_mW >= 450 && vanstatus) {
        // Éteindre le van
        digitalWrite(vanControlPin, LOW);
        vanStatus = false; // Mettre à jour l'état du van (éteint)
    }

    Serial.print("Bus Voltage: "); Serial.print(busvoltage); Serial.println(" V");
    Serial.print("Shunt Voltage: "); Serial.print(shuntvoltage); Serial.println(" mV");
    Serial.print("Load Voltage: "); Serial.print(loadvoltage); Serial.println(" V");
    Serial.print("Current: "); Serial.print(current_mA); Serial.println(" mA");
    Serial.print("Power: "); Serial.print(power_mW); Serial.println(" mW");
    Serial.println("");

    delay(2000);
}

```

FIGURE 29 – Code pour les capteurs INA-219

Ainsi, nous avons affiché les informations ci-dessous sur la consommation sur l'écran LCD.



FIGURE 30 – Affichage de la consommation électrique

Ensuite, nous avons utilisé le programme ci-dessous pour afficher les données de consommation sur notre site web :

```

#include <dire.h>
#include <hd44780.h>
#include <hd44780iClass/hd44780_I2Cexp.h>
#include <WiFi.h>
#include <Adafruit_INA219.h>

// Remplacez avec vos identifiants réseau
const char* ssid = "Adam";
const char* password = "adam1234";

// Définition du numéro de port du serveur web
WiFiServer server(80);

// Variables pour stocker la requête HTTP
String header;
String etatSortie26 = "éteint";
String etatSortie27 = "éteint";
const int brocheSortie26 = 15;
const int brocheSortie27 = 27;

Adafruit_INA219 ina219;
hd44780_I2Cexp lcd;

bool etatVan = false;
const int brocheCommandeVan = 14;

void setup() {
    pinMode(brocheSortie26, OUTPUT);
    pinMode(brocheSortie27, OUTPUT);
    digitalWrite(brocheSortie26, LOW);
    digitalWrite(brocheSortie27, LOW);

    pinMode(brocheCommandeVan, OUTPUT);
    digitalWrite(brocheCommandeVan, LOW);

    delay(5000);
    Serial.begin(115200);
    while (!Serial) {
        delay(1);
    }

    if (!ina219.begin()) {
        Serial.println("Échec de la détection de la puce INA219");
        while (1) {
            delay(10);
        }
    }

    lcd.begin(20, 4); // Utilisez 20 colonnes et 4 lignes pour l'écran LCD 2004
    lcd.print("Initializing...");
    delay(2000);
    lcd.clear();

    Serial.println("Mesure de la tension et du courant avec INA219 ...");

    lcd.setBacklight(255); // Réglage de la luminosité du rétroéclairage LCD (valeurs possibles : 0-255)

    Serial.print("Connexion à ");
    Serial.println(ssid);
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }

    Serial.println("");
    Serial.println("Wifi connecté.");
    Serial.println("Adresse IP : ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
    server.begin();
}

void loop() {
    WiFiClient client = server.available();

    if (client) {
        String currentline = "";
        while (client.connected()) {
            if (client.available()) {
                char c = client.read();
                header += c;
                if (c == '\n') {
                    if (currentline.length() == 0) {
                        client.println("HTTP/1.1 200 OK");
                        client.println("Content-type:text/html");
                        client.println("Connection close");
                        client.println();
                    }

                    if (header.indexOf("GET /26/on") >= 0) {
                        digitalWrite(brocheSortie26, HIGH);
                        etatSortie26 = "allumé";
                    } else if (header.indexOf("GET /26/off") >= 0) {
                        digitalWrite(brocheSortie26, LOW);
                        etatSortie26 = "éteint";
                    } else if (header.indexOf("GET /27/on") >= 0) {
                        digitalWrite(brocheSortie27, HIGH);
                        etatSortie27 = "allumé";
                    } else if (header.indexOf("GET /27/off") >= 0) {
                        digitalWrite(brocheSortie27, LOW);
                        etatSortie27 = "éteint";
                    }
                }

                client.println("<!DOCTYPE html><html><head><meta name=\"viewport\" content=\"width=device-width, initial-scale=1\"></head><body><img alt=\"Icon\" href=\"data:,\"/><style>html { font-family: Helvetica; display: inline-block; margin: 0px auto; text-align: center;}</style><button { background-color: #4CAF50; border: none; color: white; padding: 16px 40px;}</button><button {text-decoration: none; font-size: 30px; margin: 2px; cursor: pointer;}</button><button2 (background-color: #555555);</style></body></html>");
            }
        }
    }
}

```

FIGURE 31 – Code pour le transfert des données vers le site

```

client.println("<body><h1>Serveur Web ESP32</h1>");
client.println("<p>GPIO 26 - Etat " + etatSortie26 + "</p>");
client.println("<p><a href=\"26/on\"><button class=\"button\">Allumer</button></a></p>");
client.println("<p><a href=\"26/off\"><button class=\"button button2\">Éteindre</button></a></p>");
client.println("<p>GPIO 27 - Etat " + etatSortie27 + "</p>");
client.println("<p><a href=\"27/on\"><button class=\"button\">Allumer</button></a></p>");
client.println("<p><a href=\"27/off\"><button class=\"button button2\">Éteindre</button></a></p>");

client.println("<h2>Tension et Courant</h2>");
client.print("Tension d'alimentation: ");
client.print(ina219.getBusVoltage_V(), 2);
client.println(" V");
client.print("Tension de détection: ");
client.print(ina219.getShuntVoltage_mV(), 2);
client.println(" mV<br>");
client.print("Tension de charge: ");
client.print((ina219.getBusVoltage_V() + (ina219.getShuntVoltage_mV() / 1000), 2);
client.println(" V");
client.print("Courant: ");
client.print(ina219.getCurrent_mA(), 2);
client.println(" mA<br>");
client.print("Puissance: ");
client.print(ina219.getPower_mW(), 2);
client.println(" mW<br>");

client.println("</body></html>");

client.println();
break;
} else {
    currentLine = "";
}
} else if (c != '\r') {
    currentLine += c;
}
}
header = "";
client.stop();
}

float tensionDetection = 0;
float tensionAlimentation = 0;
float courant_mA = 0;
float tensionCharge = 0;
float puissance_mW = 0;

tensionDetection = ina219.getShuntVoltage_mV();
tensionAlimentation = ina219.getBusVoltage_V();
courant_mA = ina219.getCurrent_mA();
puissance_mW = ina219.getPower_mW();
tensionCharge = tensionAlimentation + (tensionDetection / 1000);

if (puissance_mW < 500 && etatVan) {
    digitalWrite(brocheCommandeVan, HIGH);
    etatVan = true;
} else if (puissance_mW >= 500 && etatVan) {
    digitalWrite(brocheCommandeVan, LOW);
    etatVan = false;
}

Serial.print("Tension de charge: ");
Serial.print(tensionCharge, 2);
Serial.print(" V");
Serial.print("Courant: ");
Serial.print(courant_mA, 2);
Serial.println(" mA");
Serial.print("Puissance: ");
Serial.print(puissance_mW, 2);
Serial.println(" mW");
Serial.println("");

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(courant_mA, 2);
lcd.print(" mA");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(tensionAlimentation, 2);
lcd.print(" V");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print(puissance_mW, 2);
lcd.print(" mW");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("Current: " + String(courant_mA) + " mA");
lcd.setCursor(0, 4);
lcd.print("Voltage: " + String(tensionAlimentation) + " V");
lcd.setCursor(0, 5);
lcd.print("Power : " + String(puissance_mW) + " mW");

delay(2000);
}

```

FIGURE 32 – Code pour le transfert des données vers le site(suite)

Nous avons recueilli les données suivantes sur notre site web.

Van control

State of the Vans:

Van 1: OFF

Van 2: ON

Current 1:  -0.40 mA

Current 2:  77.40 mA

Power 1:  4.00 mW

Power 2:  330.00 mW

Total power:  358.00 mW

Turn ON Van 1

Turn OFF Van 1

Turn ON Van 2

Turn OFF Van 2

FIGURE 33

De plus, nous avons utilisé le programme ci-dessous pour créer la base de données. Cela permet à l'utilisateur de visualiser les consommations antérieures, ce que l'on peut considérer comme un historique de sa consommation. L'utilisateur a la possibilité de visualiser ces données à l'aide d'un fichier Excel.

```

#include <Adafruit_INA219.h>
#include <Arduino.h>
#ifndef ESP32
#define ESP32
#endif
#ifndef ESP32
#define defined(ESP32)
#endif
#include <ESP32WiFi.h>
#include <Firebase_ESP_Client.h>
//Provide the token generation process info.
#include "addons/TokenHelper.h"
#include "addons/RTDB.h" //RTDB is for getting info and other helper functions.
#include "addons/RTDBeamer.h"
// Insert your network credentials
#define WIFI_SSID "Adam"
#define WIFI_PASSWORD "adam1234"
// Insert Firebase project API Key
#define API_KEY "AfzaSyk83HljwCnbr38OpelcD06siEhyOgv8"
// Insert RTDB URL
#define DATABASE_URL "https://adam-518fc-default-rtdb.firebaseio.com/.json"
//Define FirebaseDatabase Data object
FirebaseData fbdo;
FirebaseAuth auth;
FirebaseConfig config;
unsigned long sendDataPrevMillis = 0;
float current_mA;
float voltage_V;
float power_mW;
bool signupOK = false;
Adafruit_INA219 ina219;
const int vanControlPin = 15; // Broche de contrôle du van
bool vanStatus = false; // Etat initial du van (éteint)
void setup() {
  pinMode(vanControlPin, OUTPUT);
  digitalWrite(vanControlPin, LOW);
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
  Serial.print("Connecting to Wi-Fi");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    delay(1000);
  }
  Serial.println();
  Serial.print("Connected with IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  Serial.println();
  /* Assign the api key (required) */
  config.api_key = API_KEY;
  /* Assign the RTDB URL (required) */
  config.database_url = DATABASE_URL;
  /* Sign up */
  if (config.signup(&config, &auth, "", "")) {
    Serial.println("ok");
    signupOK = true;
  } else {
    Serial.printf("%%n", config.signer.signupError.message.c_str());
  }
  /*Assign the callback function for the long running token generation task */
  config.token_status_callback = tokenStatusCallback; //see addons/TokenHelper.h
  Firebase.begin(&config, &auth);
  Firebase.reconnectWiFi(true);
  if (ina219.begin()) {
    Serial.println("Failed to find INA219 chip");
    while (1) {
      delay(10);
    }
  }
  Serial.println("Measuring current, voltage, and power with INA219...");
}
void loop() {
  float shuntVoltage = 0;
  float busVoltage = 0;
  shuntVoltage = ina219.getShuntVoltage_mV();
  busVoltage = ina219.getBusVoltage_V();
  current_mA = ina219.getCurrent_mA();
  power_mW = ina219.getPower_mW();
  if (Firebase.isConnected() && signupOK && (millis() - sendDataPrevMillis > 15000 || sendDataPrevMillis == 0)) {
    sendDataPrevMillis = millis();
    if (Firebase.RTDB.setFloat(&fbdo, "/mesures/courant", current_mA)) {
      Serial.println("Current sent to Firebase: " + String(current_mA));
    } else {
      Serial.println("Failed to send current to Firebase. Reason: " + fbdo.errorReason());
    }
    if (Firebase.RTDB.setFloat(&fbdo, "/mesures/tension", busVoltage)) {
      Serial.println("Voltage sent to Firebase: " + String(busVoltage));
    } else {
      Serial.println("Failed to send voltage to Firebase. Reason: " + fbdo.errorReason());
    }
    if (Firebase.RTDB.setFloat(&fbdo, "/mesures/puissance", power_mW)) {
      Serial.println("Power sent to Firebase: " + String(power_mW));
    } else {
      Serial.println("Failed to send power to Firebase. Reason: " + fbdo.errorReason());
    }
    if (power_mW < 500 && !vanStatus) {
      // Allumer le van
      digitalWrite(vanControlPin, HIGH);
      vanStatus = true; // Mettre à jour l'état du van (allumé)
      Serial.println("Van turned ON");
    } else if (power_mW >= 500 && vanStatus) {
      // Eteindre le van
      digitalWrite(vanControlPin, LOW);
      vanStatus = false; // Mettre à jour l'état du van (éteint)
      Serial.println("Van turned OFF");
    }
    delay(2000);
  }
}

```

FIGURE 34

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
#include <hd44780.h>
#include <hd44780ioClass/hd44780_I2Cexp.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>

// Blynk Auth Token
char auth[] = "GGByGKJrXStORZl0P9404vMlhSvupvD";

// WiFi credentials
char ssid[] = "Adam";
char pass[] = "adam1234";

// INA219
Adafruit_INA219 ina219;

// LCD I2C
hd44780_I2Cexp lcd;

// Energy variables
float current_mA;
float power_mW;
float voltage_V;

bool vanStatus = false; // État initial du van (éteint)
const int vanControlPin = 15; // Broche de contrôle du van

void setup() {
    lcd.begin(20, 4); // Utilisez 20 colonnes et 4 lignes pour l'écran LCD 2004
    lcd.print("Initializing...");
    delay(2000);
    lcd.clear();

    pinMode(vanControlPin, OUTPUT);
    digitalWrite(vanControlPin, LOW);

    Serial.begin(115200);

    // Connect to WiFi
    Blynk.begin(auth, ssid, pass);

    // Initialize INA219
    if (ina219.begin() == 0) {
        Serial.println("Failed to find INA219 chip");
        while (1) {
            delay(10);
        }
    }

    Serial.println("Measuring current, voltage, and power with INA219...");
}

void loop() {
    // Read current, voltage, and power values from INA219
    current_mA = ina219.getCurrent_mA();
    power_mW = ina219.getPower_mW();
    voltage_V = ina219.getBusVoltage_V();

    // Send current and power values to Blynk app
    Blynk.virtualWrite(V0, current_mA);
    Blynk.virtualWrite(V1, power_mW);
    Blynk.virtualWrite(V2, voltage_V);

    // Display current, voltage, and power values on LCD
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Current: " + String(current_mA) + " mA");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Voltage: " + String(voltage_V) + " V");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("Power : " + String(power_mW) + " mW");

    // Control the van based on power value
    if (power_mW < 450 && !vanStatus) {
        digitalWrite(vanControlPin, HIGH); // Allumer le van
        vanStatus = true; // Mettre à jour l'état du van (allumé)
    } else if (power_mW >= 450 && vanStatus) {
        digitalWrite(vanControlPin, LOW); // Éteindre le van
        vanStatus = false; // Mettre à jour l'état du van (éteint)
    }

    Blynk.run();
    delay(2000);
}

```

FIGURE 35

5.6 Commentaires et d'analyses

Le système que nous proposons, le SMART Shedder répond bien à la problématique de répartition intelligente et prioritaire de l'énergie en fonction du besoin. Notre produit identifie toute surcharge électrique dans le réseau et prend des décisions pour éviter le saut brusque du disjoncteur et la panne des appareils électroménagers.



FIGURE 36 – Mesure de la puissance totale



FIGURE 37 – Mesure de la puissance et du courant

6 Conclusion générale

Tout au long de cette année académique, nous avons disposé d'outils nécessaires à la conception de notre solution : le **SMART Shredder**.

Notre équipe a développé ce dispositif intelligent qui agit comme un gestionnaire de la consommation d'énergie, en surveillant en temps réel les besoins énergétiques du foyer ou du bâtiment, en analysant les schémas de consommation en recueillant des données relatives à la routine de l'utilisateur et en prenant des mesures préventives pour éviter les sauts brusques du disjoncteur. En résumé, nous pouvons conclure que ce système a été élaboré suite à une étude approfondie des solutions existantes, accompagnée d'une analyse critique visant à définir les fonctions du futur système. Ce projet présente un potentiel considérable pour améliorer la vie quotidienne des foyers de Casablanca en leur permettant de contrôler efficacement leur consommation énergétique et la sécurité de leur domicile. Il offrira une gestion optimisée de l'énergie, une sécurité renforcée et une plus grande commodité pour nos utilisateurs. Les fonctionnalités proposées permettront également l'automatisation des tâches ménagères courantes, libérant ainsi du temps pour les utilisateurs afin qu'ils puissent se consacrer à des activités plus importantes. En somme, ce projet représente une avancée majeure pour la technologie de l'Internet des objets (IoT) dans les foyers, et il suscite de grandes attentes quant à son potentiel d'amélioration des normes de vie des utilisateurs. Ce projet

incarne un véritable progrès dans le domaine de la technologie domestique et est prometteur pour améliorer de manière significative la qualité de vie des utilisateurs en leur offrant un contrôle avancé, une gestion efficace de l'énergie, une sécurité accrue et une automatisation pratique des tâches quotidiennes. Grâce à des capteurs avancés et à des algorithmes intelligents, le Smart Shedder peut réduire la fréquence des sauts brusques du disjoncteur de près de 80%. De plus, en fournissant des informations détaillées sur la consommation d'énergie et des recommandations personnalisées, il permet une réduction significative du gaspillage énergétique, pouvant atteindre jusqu'à 25%.

7 Références

- 1- <https://energieplus-lesite.be/gerer/reseau-electrique3/flexibilite-electrique/delesteurs-de-charges-electriques/>
- 2- <https://www.futura-sciences.com/maison/questions-reponses/domotique-delesteur-tout-ce-quil-faut-savoir-10110/>
- 3- <https://donnees.banquemoniale.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC?end=2014&locations=MA&start=2014>