



Mémoire de Master

Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Electronique des systèmes embarqués

Réalisé par :

Arkam Yamina

Thème

Conception et réalisation d'un système IOT de la gestion et surveillance de la consommation électrique

Soutenu le: **03/ 07/ 2022**

Devant la commission composée de :

M ^r :	SAOUD	M.C.A	Univ. Bouira	Président
	HAROUN	M.C.B	Univ. Bouira	Encadreur
	KHERCHI	M.A.A	Univ. Bouira	Examineur



Remerciements

Nous remercions Allah : « Au nom d'Allah, le tout Miséricordieux, le très Miséricordieux. Louange à Allah, Seigneur de l'univers. Le tout Miséricordieux, le très Miséricordieux. Maître du jour de la rétribution. C'est Toi [Seul] que nous adorons, et c'est Toi [Seul] dont nous implorons secours. Guide-nous dans le droit chemin. Le chemin de ceux que Tu as comblés de faveurs, non pas de ceux qui ont encouru Ta colère, ni des égarés » *Alfatiha*.

J'ai l'honneur et le plaisir de présenter mes profondes gratitude et mes sincères remerciements à mon encadreur Mr. S.Haroun pour son orientation et le temps qu'il a accordé pour mon encadrement.

Mes remerciements s'adressent également au membre du jury pour avoir accepté de juger mon travail.

A tous les enseignants de département qu'ont faits de leurs mieux pour former les futurs cadres que nous sommes, merci.

Mes plus vifs remerciements vont également à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail mais qui ne sont pas cités ici, je les remercie tous chaleureusement.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance à :

Ma très chère mère qui a été et qui reste pour toujours mon guide dans la vie.

Mon chère Papa qui a participé par tous les moyens pour me porter l'aide morale et matériel.

À ma grand-mère qui nous a quittés, tu resteras toujours présente et vivante dans mon cœur.

À Mes sœurs, Silia, Lahna, Farah et Manel.

À mes chères cousines, Souad, Zaza, China, Katia et Siham

À Mes oncles et mes tantes

À Kebbo : Ferhat

À Toutes mes amies : Feriel, Lydia J, Lydia M, Warda, Kania...

À mon binôme: Nadir

Je vous aime. ♥

Arkam Yamina

Résumé

L'objectif de ce travail est de créer un système IOT qui nous permet de faire la gestion et la surveillance pour la consommation d'énergie électrique doté d'une application Androïde. Le matériel qu'on a utilisé pour la réalisation est : l'ESP_Wroom_32 comme microcontrôleur et deux capteurs: ACS712 pour le courant et ZMPT101B pour la tension et une carte à 4 relais pour la commande à distance. Pour le soft, on a fait la programmation avec l'Arduino IDE et les données mesurées sont envoyées vers la base de données « Thingspeak ». La conception de l'application Androïde est faite avec MIT APP inventor où on a créé plusieurs Screens permettant l'affichage, la commande et même la communication avec le fournisseur du service. En fin on a ajouté un système de notification avec l'IFTT.

Mots clés

IOT, MIT APP inventor, Thingspeak, Arduino IDE, IFTTT

ABSTRACT

The objective of this work is to create an IOT system that allows us to manage and monitor the consumption of electrical energy with an Android application. The material used for the realization is: the ESP_Wroom_32 as a microcontroller and two sensors: ACS712 for the current and ZMPT101B for the voltage and a 4-relay card for the remote control. For the software, we did the programming with the Arduino IDE and the measured data is sent to the "Thingspeak" database. The design of the Android application was made with MIT APP inventor where we created several Screens allowing the display, the remote controlling and even the communication with the service provider. Finally we added a notification system with the IFTTT.

Key words

IOT, MIT APP inventor, Thingspeak, Arduino IDE, IFTTT

Table des Matières

Remerciements	II
Résumé	IV
Table des Matières	V
Liste des Figures.....	VIII
Liste des Tableaux.....	X
Listes des Acronymes et Symboles	XI
Introduction Général	1

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de gestion de l'énergie électrique

I. Introduction.....	3
II. Système de gestion électrique(SGÉ).....	3
II.1. Définition.....	3
II.2.La norme ISO 50001	3
Les exigences générales relatives à cette norme :	4
II.3.Système d'information de la gestion électrique (SIGE)	4
II.4. Les étapes de l'élaboration et la mise en œuvre d'un SIGE	5
II.4.1. Les cibles d'un SIGE	5
II.4.2. Les avantages d'un SIGE	5
III. Les systèmes de mesure de l'énergie électrique	6
III.1 Notions sur les mesures et les capteurs	6
III.2Mesure de la consommation électrique (les compteurs électriques)	7
III.2.1. Définition et différents types de compteurs électriques	7
a) Les compteurs électromécaniques.....	7
b) Les compteurs numériques.....	8
c) Compteurs et systèmes de mesure intelligents	9
III.2.2. Avantages et les inconvénients de chaque compteur.....	11
IV. L'internet des objets (IoT) dans la gestion de l'énergie	11
IV.1Définition.....	11
IV.2Domaines d'application de l'IOT [11]	12
IV.3L'IOT et la domotique dans la gestion d'énergie.....	12
V. Etat de l'art sur les systèmes intelligents de gestion de l'énergie.....	13
V.1Les solutions proposées dans la littérature	13
V.2Exemple d'une solution commercialisé : Le compteur électrique Linky	14
VI. Conclusion	15

Chapitre II : Description de la partie matérielle

I.	Introduction.....	16
II.	Structure matérielle du système	16
II.1.	La carte ESP-Wroom 32.....	17
II.1.1.	Présentation de l'ESP-Wroom 32	17
II.1.2.	Utilité et avantages de l'ESP-Wroom 32	18
II.1.3.	Spécification et connectivité de l'ESP-Wroom 32 [19].....	18
II.1.4.	Branchement de l'ESP32	20
II.2.	Le capteur de courant ACS712.....	21
II.2.1.	Présentation de l'ACS712.....	21
II.2.2.	Bruit et temps de montée par rapport à la capacité du filtre externe de l'ACS712	22
II.3.	Le capteur de tension ZMPT101B.....	22
II.3.1.	Présentation de module capteur ZMPT101B	22
II.3.2.	Le transformateur de tension ZMPT101B	23
II.3.3.	Spécifications et Caractéristique du capteur ZMPT101B.....	24
II.3.4.	Le mode d'utilisation et calcul des résistances du capteur ZMPT101B.....	25
a)	Détermination de la tension efficace maximale de sortie U_{max} :	25
b)	Détermination de la résistance de limitation de courant d'entrée R' :	25
c)	Détermination de la résistance d'échantillonnage R :	26
II.4.	Module relais 5V à 4 canaux	27
II.4.1.	Présentation de module à relais.....	27
II.4.2.	Fonctionnement.....	27
II.5.	Bloc d'alimentation 5V DC	28
III.	Le circuit final de la réalisation.....	28
IV.	Conclusion	29

Chapitre III : Description de la partie logicielle

I.	Introduction.....	30
II.	Organigramme général du système de gestion d'énergie	30
III.	Programmation de la carte ESP32	31
II.1.	Organigramme de la partie commande.....	31
IV.	Développement de l'application Android	34
IV.1.	Définition d'Android.....	34
IV.2.	MIT APP inventor	34
IV.2.1	Mode d'emploi de MIT APP inventor	34
IV.2.2	Structure de l'IDE APP inventor :	35
a)	Interface de Designer.....	34

b) Interface Blocs	37
IV.3. Développement de l'application de gestion de l'énergie sous MIT APP inventor	38
V. l'Hébergeur de données Thingspeak	41
V.1. Définition	42
VI. L'outil IFTTT (If This Then That)	43
VI.1 les étapes de l'élaboration de notification	43
VII. Conclusion	44

Chapitre IV : Finalisation du projet et tests pratiques

I. Introduction	45
II. Réalisation pratique	45
III. Les résultats pratiques	46
1) Résultats de la première expérience	47
2) Résultats de la deuxième expérience	48
3) Résultats de la troisième expérience	50
IV. Conclusion	53
Conclusion Général	54
Référence	

Liste des Figures

Figure I.1 : Modèle de système de Management de l'énergie selon la présente norme[1].	2
Figure I.2 : les étapes de l'élaboration d'un SIGE[3].	3
Figure I.3 : Schéma bloc d'un système de mesure analogique[4].	4
Figure I.4 : Schéma bloc d'un système de mesure numérique. [4]	4
Figure I.5 : Les compteurs classiques électromécaniques. [6]	5
Figure I.6: Compteur électrique numérique. [7].	6
Figure I.7 : Le principe de fonctionnement d'un compteur numérique. [7]	7
Figure I.8 : Un compteur de mesure intelligent. [8]	8
Figure I.9 : Structure général d'un système de mesure intelligent [5].	8
Figure I.10 : Un compteur intelligent de marque LINKY. [13]	13
Figure II.1 : Description globale de l'architecture matérielle	17
Figure II.2 : la carte ESP-Wroom 32.[18]	18
Figure II.3 : la structure interne de l'ESP32. [20]	20
Figure II.4 : les pins de la carte de developpement de l'ESP32. [20]	20
Figure II.5 : le capteur ACS712. [22].	21
Figure II.6 : le bruit par rapport à la capacité externe. [23]	22
Figure II.7 : le temps de monté par rapport aux valeu des capacités. [23]	22
Figure II.8 : le capteur de tension ZMPT101B et son schéma de cablage. [24]	23
Figure II.9 : les caractéristiques de sortie (relation entre courant et voltage). [24]	24
Figure II.10 : le schéma du capteur ZMPT101B montrant les resistances a calculer	25
Figure II.11: le module relais 5V à 4 canaux	27
Figure II.12 : Symbole d'un relai 5V	28
Figure II.13 : Symbole d'un relai 5V	28
Figure II.14 : Chargeur d'un Smartphone utilisé comme alimentation 5V DC.	28
Figure II.15 : le schéma final de notre réalisation.	29
Figure III..1 : Organigramme général de fonctionnement de notre système.	30
Figure III..2 : Organigramme de fonctionnement global de la commande a distance	32
Figure III..3 : Organigramme détaillé sur l'acquisition des données et de la commande a distance.	33
Figure III.4 : interface Designer de l'IDE APP inventor	35
Figure III.5 : Quelques capture des composants disponible dans la zone Palette.	36
Figure III.6 : interface Blocs de l'IDE APP inventor.	37

Figure III.7 : Photo et bloc programme de 2 ^{ème} Screen de notre application	38
Figure III.8 : Photo et bloc programme de 3 ^{ème} Screen de notre application	39
Figure III.9 : Photo et bloc programme de 5 ^{ème} Screen de notre application	39
Figure III.10 : Photo et bloc programme de 6 ^{ème} Screen de notre application.	40
Figure III.11 : Photo et bloc programme de 7 ^{ème} Screen de notre application.	40
Figure III.12 : Photo et bloc programme de 8 ^{ème} Screen de notre application.	41
Figure III.13 : Photo et bloc programme de 9 ^{ème} Screen de notre application.	41
Figure III.14 : Organigramme expliquant la connexion entre ESP32 et Thingspeak.....	42
Figure IV.1 : Réalisation pratique de notre système IoT.	45
Figure IV.2 : le message de notification reçus.	46
Figure IV.3 : la valeur du courant mesuré par le multimètre.	47
Figure IV.4 : la valeur de tension mesurée par le multimètre.	47
Figure IV.5 : mesure de courant dans Thingspeak.....	48
Figure IV.6 : mesure de Tension dans Thingspeak.....	48
Figure IV.7 : la valeur du courant mesuré sans aucune charge.....	49
Figure IV.8 : la valeur de la tension mesurée sans aucune charge.....	49
Figure IV.9 : résultat du courant affiché sur Thingspeak sans aucune charge.....	50
Figure IV.10 : résultat de la tension affichée sur Thingspeak sans aucune charge.....	50
Figure IV.11 : la valeur du la tension mesurée pour la charge.....	51
Figure IV.12 : la valeur du courant mesurée pour la charge	51
Figure IV.13 : résultat de courant affiché sur Thingspeak avec une charge	51
Figure IV.14 : résultat de Tension affichée sur Thingspeak avec une charge.....	52
Figure IV.15 : résultat de puissance affichée sur Thingspeak avec une charge.....	52
Figure IV.16 : les résultats affichés sur l'application Android	52

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : la comparaison entre les différents types des compteurs [9]..	11
Tableau II.1 : les spécifications du capteur ZMPT101B [24]..	24

- **Acronyme**

ISO	organization international de standardisation
IOT	(internet of things) internet des objets
IBSG	Internet Business Solutions Group
Soc	Système sur une puce (System on chip)
GPIO	(General Purpose Input/Output) Entrée-Sortie à usage général
IDE	environnement de développement intégrer.
DMIP	Drystone Millions instructions par seconde.
ADC	convertisseur analogique numérique
RAM	Mémoire à accès aléatoire
SRAM	Static RAM
RTC	Real time Clock
QSPI	Quad Serial Peripheral Interface
UART	émetteur/récepteur asynchrone universel
CAN	Convertisseur Analogique Numérique
RMS	Root Mean Squar
SPI	(Serial Peripheral Interface) bus de données série
PWM	Pulse Width Modulation
WFA	la Wi-Fi Alliance
WPA	Wi-Fi Protected Access
WAPI	WLAN Authentication Privacy Infrastructure
OTP	One Time Password
AES	Advanced Encryption Standard
SHA	Secure Hash Algorithme
ECC	Cryptographie sur les courbes elliptiques
RNG	Générateur de nombres aléatoires
DSP	Digital Signal Processing
I ² C	inter-integrated circuit
IEEE	Institute Electrical and Electronics Enginners
RTOS	Real-Time Operating System
E/S	entrée/sortie
BLE	Bluetooth
IFTTT	If This Than That
HTTP	Hypertext Transfer Protocol

- **Symbole**

mV	milli volte
DC	Direct current
AC	Alternative current
V _{cc}	Voltage Common Collector
mΩ	Mili Ohm
nF	nano farad
KV	Kilo volte
mA	milli ohmpère
MHz	Megahertz
GHz	Gigahertz
Mbit	Megabit
KIO	Kibiocet valant 1024 octets
Kibit	10 ³ bits
MO	Méga octet



Introduction général

L'électricité est un facteur important pour le développement économique dans le monde, c'est l'énergie la plus utilisée parmi les disponibles, son importance relative augmente avec le développement technologique ainsi que le besoin du confort fait appel à son amélioration et disponibilité tout le temps.

L'énergie électrique est souvent qualifiée comme une énergie propre, c-à-d que les équipements qui l'utilisent n'émettent ni gaz ni autre produit polluants l'environnement.

La production d'électricité peut provenir de différentes sources, la plus courante étant celle issue d'un générateur qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Cette énergie mécanique provient généralement d'une source primaire soit fossile, nucléaire ou renouvelable. L'électricité peut aussi provenir de l'hydroélectricité, de l'énergie éolienne, des réactions chimiques telles que des batteries ou des radiations telles que Panneaux solaires.

Avec la commodité que procure l'électricité, les sociétés de productions et distributions tentent de proposer aux utilisateurs des tarifs variables, selon les heures, les jours et les saisons. Mais le consommateur n'a pas une conscience de la quantité d'énergie qu'il consomme durant une journée avec les compteurs électriques ordinaires, les compteurs électromécaniques et les compteurs numériques. Cependant les progrès de l'électronique avec l'informatique ont conduit à moins de volume et à des systèmes mieux adaptés. C'est la naissance des compteurs communiquant pour l'amélioration de la gestion de l'énergie électrique.

Les compteurs communicants permettront également une information centralisée en téléchargeant les données directement du consommateur, aussi la possibilité de contrôler tous appareils électroménagers à forte consommation électrique pendant les heures creux et même charger ses derniers pendant les périodes de pointe.

La problématique s'est posée quand de nombreuses familles ont eu parfois de la peine à payer leurs factures d'électricité car ces factures sont en général exorbitantes par l'usage des appareils électroménagers énergivores, bas de gammes ou encore de l'impossibilité de contrôler ou de suivre leur consommation. Ces difficultés de paiement mènent le plus souvent à la coupure ou suspension du compteur de l'abonné et cela implique également les frais de coupure et de rétablir quand les dettes sont remboursées.

Ce problème a donc pris une place primordiale dans le secteur et de nombreuses solutions ont été proposées.

Par conséquent, l'objectif de ce travail est de proposer un système de mesure et gestion de la consommation de l'énergie électrique IOT qui vise à surveiller la consommation électrique dans un local en sauvegardant les données dans une base de données en ligne avec accès sécurisé (mot de passe et nom d'utilisateur) à travers une application Android, on pourra aussi contrôler (allumer/éteindre) à distance via Wifi quatre appareils électriques.

Pour ce faire, nous avons présenté notre mémoire en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons le cadre général de notre projet, on commence par la définition de la gestion de l'énergie et la mesure électrique ensuite on fait une comparaison entre les appareils (les compteurs électrique) trouvé dans le marché et enfin on mentionne quelques solutions existantes soit théorique ou bien pratique.

Le 2^{ème} chapitre représente une description matérielle du système électronique à réaliser, ou nous avons cité en détail tous les composants qu'on va utiliser lors de la conception de notre système, les capteurs, la carte ESP-Wroom-32 et aussi la carte a relais.

Le troisième chapitre sera consacré pour la partie soft de notre système à concevoir. On commence par un ensemble des organigrammes expliquant l'exécution du programme à implémenter sur le microcontrôleur. Puis on passera vers la conception et la construction de l'application Android avec MIT APP inventor et la base de données à héberger sur Thingspeak.

Pour le chapitre quatre, il est dédié à la partie réalisation. Nous allons présenter le projet réalisé dans sa forme finale, nous allons effectuer aussi des tests pratique avec différentes charges électriques. Aussi on fera une vérification de l'application conçue et valider son bon fonctionnement.

Et enfin on termine ce manuscrit par des conclusions et perspectives.



Chapitre I

Généralités sur les systèmes de gestion de l'énergie électrique

I. Introduction

De nos jours, les économies d'énergie sont au centre de tous les débats, aussi bien à l'échelle mondiale.

Nous vivons dans une période de prise de conscience après avoir gaspiller les ressources pendant des années. A partir de ses soucis l'homme à commencer de mettre en place des solutions pour préserver l'énergie et surtout nos portefeuilles.

Donc ce chapitre nous allons résumer quelques notions de bases sur la gestion de l'énergie et les systèmes de mesure électriques et présenter aussi l'internet des objets (IoT) comme solution dans le domaine de la gestion de l'énergie.

II. Système de gestion électrique(SGÉ)

II.1. Définition

Un système de gestion de l'énergie (SGÉ)est un système permettant d'atteindre la définition d'objectifs spécifiques qualifiés, la surveillance de la consommation d'énergie, la mise en place d'un système d'indicateurs des performances et la création de procédures internes qui permettent au gestionnaire de l'énergie d'atteindre les résultats fixés par sa direction et enfin d'assurer une gestion orientée sur l'amélioration continue.

Il offre à l'opérateur une meilleure visibilité sur le réseau de transmission et de sous-transmission Avec des applications pour l'estimation de l'état, le flux de charge, le flux d'alimentation optimal, l'analyse de contingence, le calcul des défauts aussi le calcul des excès de consommation, les indices de performance et la stabilité de la tension.

Le suivi de la consommation d'énergie devient une partie intégrante des méthodes de gestion en rendant l'énergie visible.

Un système de gestion de l'énergie (SGÉ) est un processus d'amélioration continue en énergie qui est structuré et systématique. Inspiré de la norme volontaire du Management de l'énergie ISO 50001 (adopté en 2011) [1].

II.2.La norme ISO 50001

Cette norme définit les exigences relatives à l'établissement, la mise en œuvre, le maintien et l'amélioration d'un Système de Management de l'Energie par une organisation.

ISO 5000 :2011 est une norme internationale d'application volontaire élaborée par l'ISO (Organisation Internationale de Normalisation) depuis 2011.

Cette certification peut s'appliquer aux organisations de tous types et de toutes tailles, indépendamment de leur situation géographique, culturelle ou sociale [2].

Les exigences générales relatives à cette norme :

- Un engagement d'amélioration continue de l'efficacité énergétique
- La désignation d'une personne qualifiée pour le management de l'énergie
- L'organisation d'un plan de management
- Une évaluation des principales utilisations de l'énergie
- La mise en place d'indicateurs et d'objectifs de performance énergétique
- La mise en place de plan(s) d'action(s)
- Tout le personnel devra suivre une formation lui permettant de connaître les pratiques indispensables à l'amélioration de l'efficacité énergétique
- Les résultats devront être évalués et communiqués régulièrement à l'ensemble du personnel.

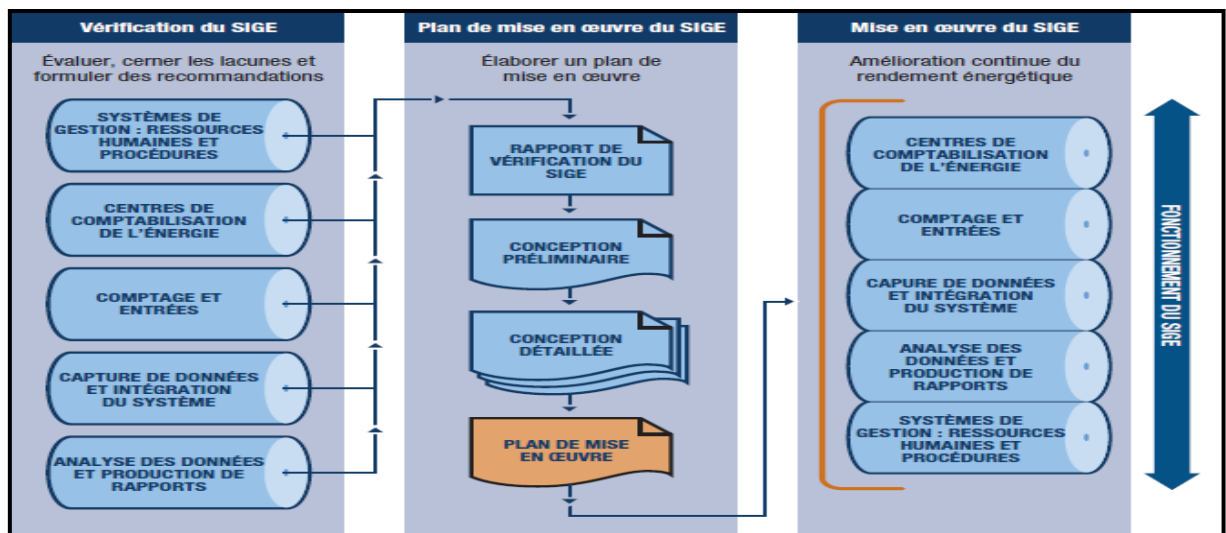


Figure I.1: Modèle de système de Management de l'énergie selon la présente norme [1].

II.3.Système d'information de la gestion électrique (SIGE)

Un SIGE fournit des renseignements pertinents qui contribuent à rendre visible le rendement énergétique pour les employés et les services clés d'une habitation, a fin de leurs permettre de prendre des mesures concrètes destinées à produire une valeur financière d'une façon concrète[3].

II.4. Les étapes de l'élaboration et la mise en œuvre d'un SIGE

Les trois étapes de l'élaboration d'un SIGE sont illustrées dans la figure I.2. Ceux-ci sont organisés pour permettre aux utilisateurs de développer un tel système. Pour augmenter la probabilité de mettre en œuvre un SIGE efficace et performant, qui constituera un élément important de la gestion de l'énergie.

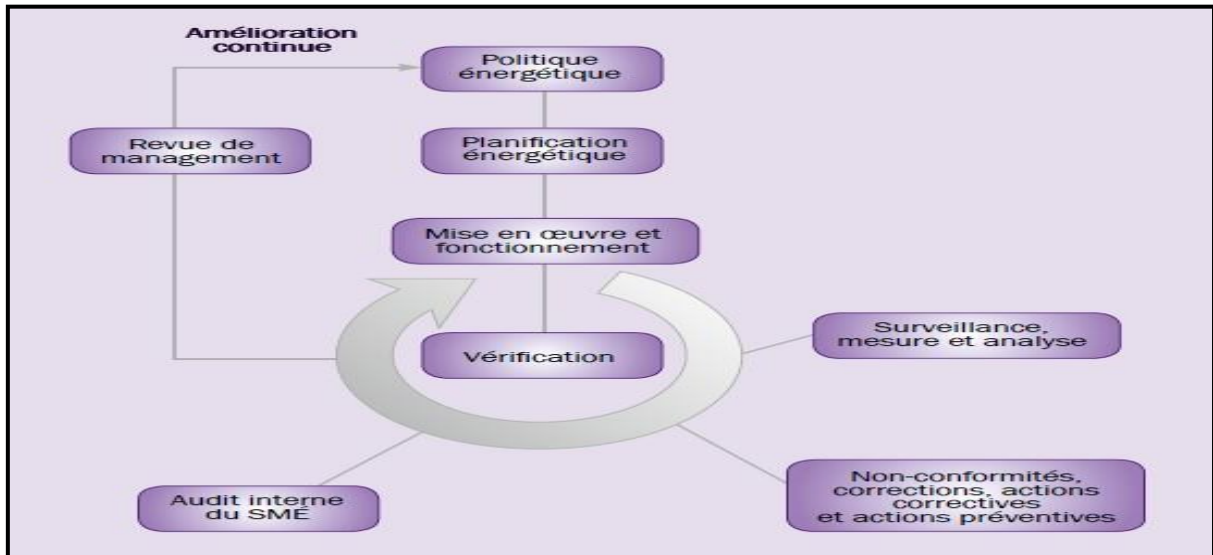


Figure I.2: Les étapes de l'élaboration d'un SIGE [3].

II.4.1. Les cibles d'un SIGE

- Les cibles relatives au rendement sont fondées sur l'analyse du rendement [3].
- Ces cibles peuvent être utilisées aux fins des prévisions et des contrôles.
- Cette capacité de prédiction respecte les exigences liées à la détection du faible rendement, à la vérification ou à l'exploitation historique, et au soutien de la budgétisation et de la comptabilité de gestion [3].

II.4.2. Les avantages d'un SIGE

- Les économies sont réalisées grâce à l'élimination des causes profondes d'un mauvais rendement et à la promotion des activités qui favorisent un bon rendement [3].
- La mise en œuvre d'un SIGE et d'un système de gestion de l'énergie peut également contribuer à réduire les risques liés à la volatilité des prix de l'énergie. La réduction de la variabilité opérationnelle et la promotion de mesures de conservation de l'énergie permettent de prédire avec plus d'exactitude le rendement énergétique. L'organisation qui est capable de prédire sa consommation énergétique est en bonne position pour

négoier des ententes d'approvisionnement en énergie et prédire de façon plus précise ses dépenses énergétiques [3].

III. Les systèmes de mesure de l'énergie électrique

III.1 Notions sur les mesures et les capteurs

Un système de mesure comprend l'ensemble d'éléments importants, comme l'indique la Figure I.3. La grandeur physique à mesurer (appelée mesurande) est une valeur analogique qui n'est généralement pas exploitable directement [4].

Cette grandeur physique peut-être une force, une température, un débit, ou toute autre grandeur doit être mesurée. Elle doit être convertie en une autre valeur analogique par l'élément de mesure (appelé capteur). Ce signal analogique à la sortie (appelé aussi réponse) du capteur est un signal directement exploitable pour les indicateurs analogiques (affichage à aiguille). En figure I.3 le signal de sortie peut être de nature électrique. [4]



Figure I.3: Schéma bloc d'un système de mesure analogique [4].

Ce signal issu du capteur doit toutefois être converti en un signal numérique si on désire utiliser un affichage numérique (figure I.4). La conversion se fait par l'intermédiaire d'un convertisseur analogique numérique [4].

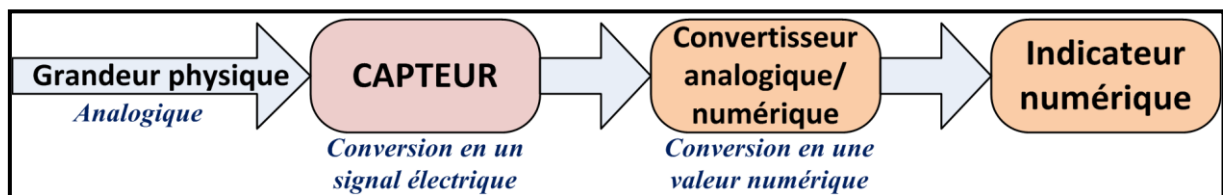


Figure I.4: Schéma bloc d'un système de mesure numérique [4].

Il est à noter qu'un système de contrôle ne diffère pas énormément de système de mesure, puisque le signal de sortie analogique ou numérique peut être utilisé par un contrôleur pour faire un asservissement (ça sera le signal de rétroaction) [4].

III.2 Mesure de la consommation électrique (les compteurs électriques)

Le compteur d'électricité est un appareil utilisé pour mesurer l'énergie électrique consommée dans un local, comme une maison, une usine, une entreprise, une installation industrielle, une école, etc.... Cette énergie est mesurée en Kilowatts par heure (KWh) et calculé en fonction de la puissance instantanée et du temps d'utilisation. Utilisé pour estimer et facturer la consommation d'énergie.

III.2.1. Définition et différents types de compteurs électriques

Un compteur électrique est un appareil électrotechnique qui mesure la consommation en énergie électrique, il permet aux fournisseurs d'électricité de comptabiliser l'énergie consommé.

a) Les compteurs électromécaniques

Il fait partie des 1^{er}s appareils réalisés pour mesurer la consommation, connue par le couleur bleu ou noir. Munis d'un ou plusieurs cadrans sur les quels défilent les index de consommation.



Figure I.5: Les compteurs classiques électromécaniques [6].

Ce type de compteur est équipé d'un index de défilement mécanique, on distingue deux modèles monophasé et triphasé. Le compteur monophasé comporte :

- Cinq chiffres qui indiquent la consommation.
- Le numéro de série ou PDL à souscrire correspond aux trois derniers chiffres.

- Un disque rotatif en aluminium constituant le rotor il effectue la consommation d'hébergement en temps réelle.
- Deux inducteurs, l'un de la Tension constitué par une bobine comportant un grand nombre de spires de fil fin et l'autre de L'intensité constitué par quelques spires de gros fil.
- Un aimant de freinage.
- Un totaliseur d'énergie constitué d'un ensemble d'engrenages pour l'affichage.

Le compteur triphasé est constitué des mêmes éléments que les compteurs monophasés, mais au contraire, ils ont deux ou trois bobines de tension et de courants. Leur appareil mobile se compose d'un disque ou de deux ou trois disques intégrés.

b) Les compteurs numériques

Le compteur électronique ou bien dit numérique est apparu dans les années 1950, il fonction avec un écran digital qui affiche la consommation électrique, pas avec une roue comme les anciens modèles. Le système de comptage est purement électronique et généralement moins encombrants que les compteurs traditionnels, l'opération est réalisée à l'aide d'un shunt. La tension mesurée aux bornes de ce dernier est proportionnelle au courant qui le traverse. Il est plus sensible aux surtensions et surintensités aussi aux coups de foudre.



Figure I. 6 : Compteur électrique numérique.

Le principe de fonctionnement est illustré dans la figure I.7, représentant un schéma fonctionnel qui montre la configuration la plus complète pour les différentes fonctions utilisées. Selon la technologie utilisée pour le compteur, certaines fonctions peuvent être

regroupé : par exemple, il existe certains types de multiplicateurs qui fonctionnent directement à partir des signaux de tensions et de courant et ne nécessitent donc pas d'obtenir ces données.

Les données calculées et les paramètres programmés sont stockés dans une mémoire permanente, ce qui permet de les sauvegarder en cas de panne de courant. Le compteur permet d'afficher plus de 100 données à partir de centaines de listes disponibles. La sélection des données à afficher peut-être programmée par l'utilisateur [7].

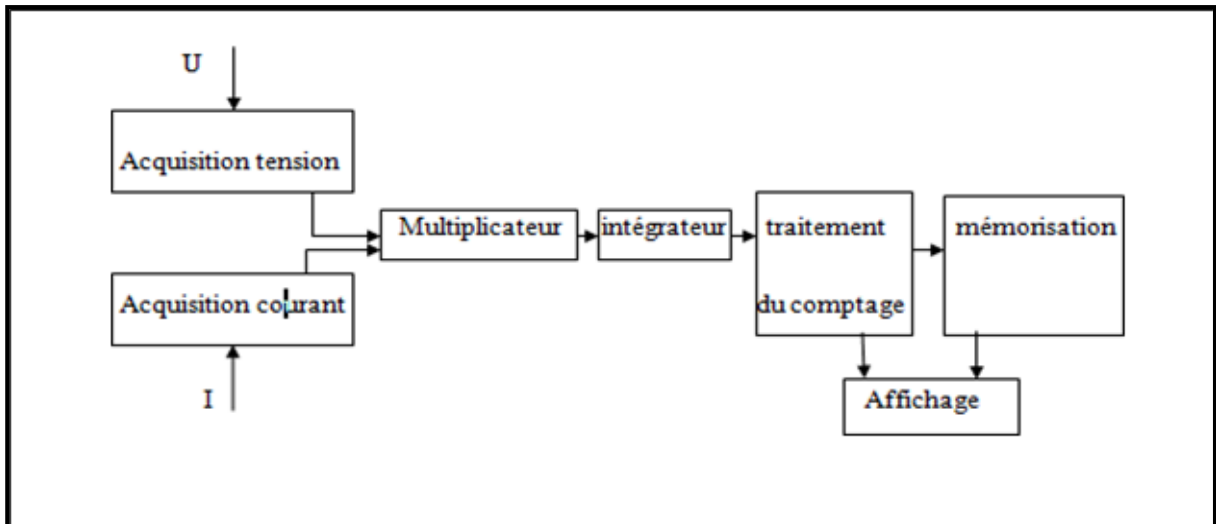


Figure I.7: Le principe de fonctionnement d'un compteur numérique [7].

c) Compteurs et systèmes de mesure intelligents

Un système de mesure intelligent est une installation de mesure qui sert à mesurer le flux de l'énergie électrique consommé par les locaux et sa variation réelle dans le temps, et qui permet une transmission bidirectionnelle de données avec l'exploitation de la station de mesure, il faut noter que la notion de système de mesure ne correspond pas seulement à l'appareil de mesure intelligent.



Figure I.8 : Un compteur de mesure intelligent [8].

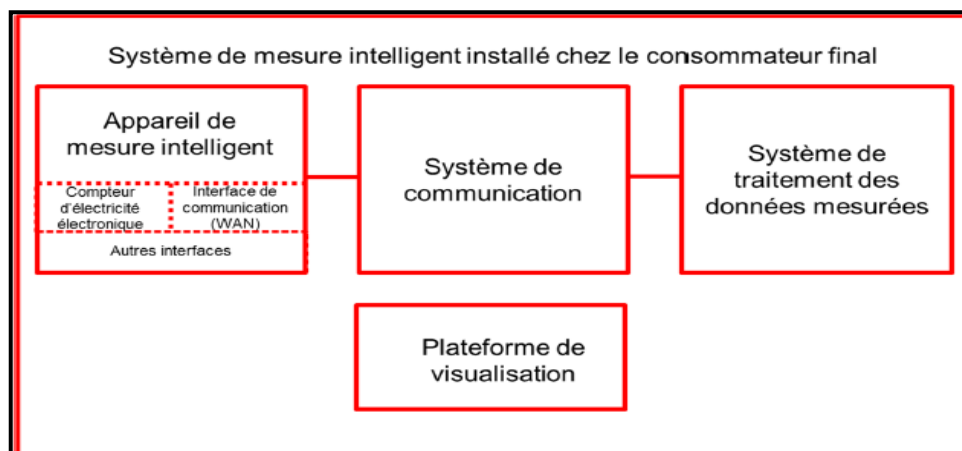


Figure I.9: Structure générale d'un système de mesure intelligent [5].

Un système de mesure intelligent comporte d'autre bloc intégré comme un système de communication et un système de traitement des données mesuré. La figure I.9 présente la logique de la définition générale d'un système de mesure intelligent (Smart Metering System) dont découle d'autres définitions supplémentaires.

III.2.2. Avantages et les inconvénients de chaque compteur

Tableau I.1: la comparaison entre les différents types des compteurs [9].

Type de compteur	Avantage	Inconvénient
Compteur électromécanique	<ul style="list-style-type: none"> • Haute fiabilité lors de la coupure de courant et même en cas de court-circuit. • Convient aux réseaux de faible qualité. • Le prix d'achat est inférieur aux prix des appareils. 	<ul style="list-style-type: none"> • Petite classe de précision. Il ne dépasse pas une valeur de 2 unités. • Défaillances de suivi avec une forte variation des courants de charge. • Dimensions relativement grandes.
Compteur numérique	<ul style="list-style-type: none"> • Erreur minimale. • Dimensions compactes par rapport aux appareils à induction. 	<ul style="list-style-type: none"> • La réparation coûte très cher. • Problème de détection des défauts. • Difficulté à effectuer des réparations.
Compteur intelligent	<ul style="list-style-type: none"> • Le « smart meter » permet de relever et contrôler la consommation électrique à distance et permet d'éviter de déranger les clients par les agents que doivent faire la lecture sur place du compteur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficile à installer puisqu'il se caractérise par des technologies avancées et très sensibles. • Prix élevé et la réparation coûte très cher.

IV. L'internet des objets (IoT) dans la gestion de l'énergie

IV.1 Définition

L'IoT est le monde où la connexion entre des objets est possible c.-à-d. l'interconnexion entre l'internet et les objets, les lieux, et les environnements physiques aussi.

La définition de l'IOT s'est développée en raison de l'intégration de plusieurs domaines, de l'analyse en temps réel, automatisme, les capteurs et les actionneurs et des systèmes

embarqués. Les systèmes embarqués, les réseaux sans fil, les systèmes de contrôle et d'autres domaines traditionnels contribuent tous à la réalisation de l'internet des objets.

Selon l'Union internationale des télécommunications, l'IOT est Une infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de déposer des services évolués en interconnectant des objets grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution. En réalité, la définition de ce qu'est l'Internet des objets n'est pas figée. Elle recoupe des dimensions d'ordres conceptuel et technique.

Pour Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), l'IOT correspond simplement au moment où il y a plus de « choses ou d'objets » connectées à internet que de personnes.

Pour Cisco Internet solution Group IBSG, l'IOT correspond simplement au moment où il y'a plus de chose ou objets connectées à internet que des personne [10].

IV.2 Domaines d'application de l'IOT [11]

- Ville intelligente : circulation routière intelligente, transports intelligents, collecte des déchets, cartographies diverses (bruit, énergie, etc.).
- Environnements intelligents : prédiction des séismes, détection d'incendies, qualité de L'air, etc.
- Sécurité et gestion des urgences : radiations, attentats, explosions.
- Logistique : aller plus loin que les approches actuelles.
- Contrôle industriel : mesure, pronostic et prédiction des pannes, dépannage à distance.
- Santé : suivi des paramètres biologiques à distance.
- Agriculture intelligente, domotique, applications ludiques etc.

IV.3 L'IOT et la domotique dans la gestion d'énergie

La domotique est l'ensemble des techniques de l'électronique, de physiques des bâtiments et de télécommunication ainsi que de l'automatisme. On trouve que l'avantage principal de cette dernière et sa capacité de faire d'importantes économies d'énergie à l'intérieur d'un local. Si elle est bien conçue, une installation domotique permet de réaliser entre 25 à 30 % d'économie énergétique par an (cette estimation se diffère selon les acteurs positionné sur le marché).

Quel que soit le besoin du grand public ou des entreprises développantes, toutes les technologies et solutions proposées et réaliser sont fondé sur les potentiels de l'IOT qui

présente des problématiques inédites qui se décline sur les deux couches : Hardware et Software.

La mise en place des compteurs électriques numériques ne sont pas suffisants pour contrôler et surveiller la consommation électrique dans un local. Ici la solution proposée c'est la domotique, comment ça ?

La domotique figure parmi les solutions pour réduire la facture de la consommation. Elle rassemble des dispositifs intelligents qui assurent l'optimisation de la consommation énergétique. En effet, le recours aux nouvelles technologies permet de préserver les ressources et de réaliser des économies.

La domotique présente ainsi de multiples avantages. Non seulement pour maîtriser la consommation d'électricité et du chauffage, mais également pour renforcer le confort et la sécurité de l'habitat.

V. Etat de l'art sur les systèmes intelligents de gestion de l'énergie

V.1 Les solutions proposées dans la littérature

- Tom barbette à réaliser une interface flexible en 2013 à l'université de liège[14], c'est une implémentation d'un système de contrôle domotique d'où l'utilité de cette interface est de contrôler, guider et surveiller les différents paramètres ajoutés à cette dernière.
- Duy Long Ha en 2007 [15] à réaliser un système avancé pour la gestion de l'énergie dans les bâtiments afin de coordonner la consommation avec la production dans le but de réduire les pics de consommation ainsi que réduire l'impact environnemental et le cout de la production aussi.
- A. Djebiri et H. Bakhaled de l'université d'Ouargla [9]ont fait une étude pour la réalisation d'un compteur d'énergie intelligent. A base de l'ESP32 et des capteurs de courant et de tension, aussi ils ont développé une communication basée sur une base de données et une application qui permet de connecter le compteur via le client.
- Yahi Abderrazak en 2018 à l'université de Tlemcen [16] à crée un système de surveillance à distance de la consommation d'énergie via un système IOT, utilisant la carte Arduino UNO avec le NOD MCU 8266 et le capteur de courant ACS712.

Les solutions proposées et réaliser déjà sont des systèmes qui envoient des rapports contenant des données mesurées et une description de l'état de fonctionnement du transformateur électrique.

V.2Exemple d'une solution commercialisé : Le compteur électrique Linky

La maîtrise de l'énergie est devenue un impératif pour préserver les ressources de la planète. Le compteur communicant Linky permet de maîtriser sa consommation et donc sa facture. Grâce à une vision précise de sa consommation journalière, chacun peut désormais agir sur ses habitudes et faire des économies d'énergie.

Le compteur Linky accompagne aussi les communes, département, région, urbanistes ou bailleurs dans leur maîtrise de l'énergie [13].



Figure I.10 : Compteur intelligent de marque LINKY [13].

Gestion de la consommation avec le compteur Linky :

L'affichage du compteur Linky fournit des données très utiles pour mieux gérer sa consommation, en faisant défiler les informations à l'écran, il est ainsi possible de connaître :

La puissance souscrite auprès du fournisseur (généralement entre 3 et 12 KVA) ;

- La puissance appelée, autrement dit celle qui est utilisée à un instant T par tous les appareils en fonctionnement ;
- La puissance maximale soutirée dans la journée par l'installation électrique.
- Le rapprochement de ces trois informations offre la possibilité de vérifier que le contrat souscrit auprès du fournisseur correspond bien aux besoins du foyer. Il permet éventuellement d'éteindre certains appareils pour prévenir une surcharge

Sous le capot du compteur Linky, il est par ailleurs possible d'accéder au contact sec. Cet outil permet de programmer les horaires de fonctionnement d'un appareil, pour éviter que celui-ci ne consomme de l'électricité en permanence.

Les avantages du compteur Linky [13]:

- Le relevé à distance quotidien de la consommation électrique réelle.
- Une meilleure répartition de la consommation : le compteur Linky donne la possibilité de suivre les pics de consommation.
- Une initiative pro-environnement : le compteur connecté a deux objectifs :
 - Réduire la consommation globale d'énergie
 - Favoriser la production d'énergie décentralisée et l'autoconsommation.
L'autoconsommation consiste à consommer tout ou partie de l'énergie que l'on produit.
- Diagnostic et gestion de pannes optimisée, et interventions techniques à distance

VI. Conclusion

Ce chapitre décrit brièvement l'impact de la technologie aux cours de dernières décennies sur la gestion de l'énergie aussi sur les systèmes de mesure qui s'adapte à des nouvelles définitions et des niveaux de développement nouveau chaque jour.

Il existe de nombreuses technologies émergentes utilisées pour surveiller, gérer, et limiter la consommation électrique.



Chapitre II

Description de la partie matérielle

I. Introduction

Nous avons présenté dans le chapitre précédent des généralités sur les systèmes de mesure et gestion de l'énergie électrique (SGME) ou nous avons focalisé sur les systèmes intelligents. Nous avons présenté aussi un état de l'art sur les différentes solutions proposées.

Dans ce chapitre nous allons mettre en place notre propre conception matérielle d'un système de mesure et de gestion de l'énergie électrique à base de l'IoT en utilisant un microcontrôleur doté d'une connexion WIFI et d'une application Androïde.

II. Structure matérielle du système

Le système IoT à concevoir est composé principalement d'une carte à microcontrôleur doté d'une connexion sans fil, qui communique avec une application Androïde qui sera développée dans le prochain chapitre. Le microcontrôleur mesure donc les grandeurs électriques (Tension et Courant) et il les envoie vers l'application pour affichage. L'utilisateur de l'application peut aussi commander ou programmer le fonctionnement les appareils électriques connectées à ce système de mesure a traves une carte a relais.

D'après ce qui a été dit ci-dessus, le SGME en cours de conception doit comporter et assurer essentiellement les fonctionnalités citées dans ce qui suit :

- Mesure de courant ;
- Mesure de tension ;
- Calcule d'énergie électrique consommée.
- Avoir une communication sans fil pour envoie et réception de données.
- Affichage des données de consommation électriques et son sur l'application (sous forme numérique, graphique etc...).
- Possibilité du contrôle/commande à distance des équipements connectés a ce système.

Donc la partie matérielle de notre système comme le montre la figure (II.1) est composé de :

- Carte a microcontrôleur Wifi ESP-Wroom 32
- Capteur de courant ACS712 ;
- Capteur de tension ZMPT101B ;
- Carte à 4 relais ;
- Alimentation 5V DC pour alimenter le microcontrôleur et les capteurs.

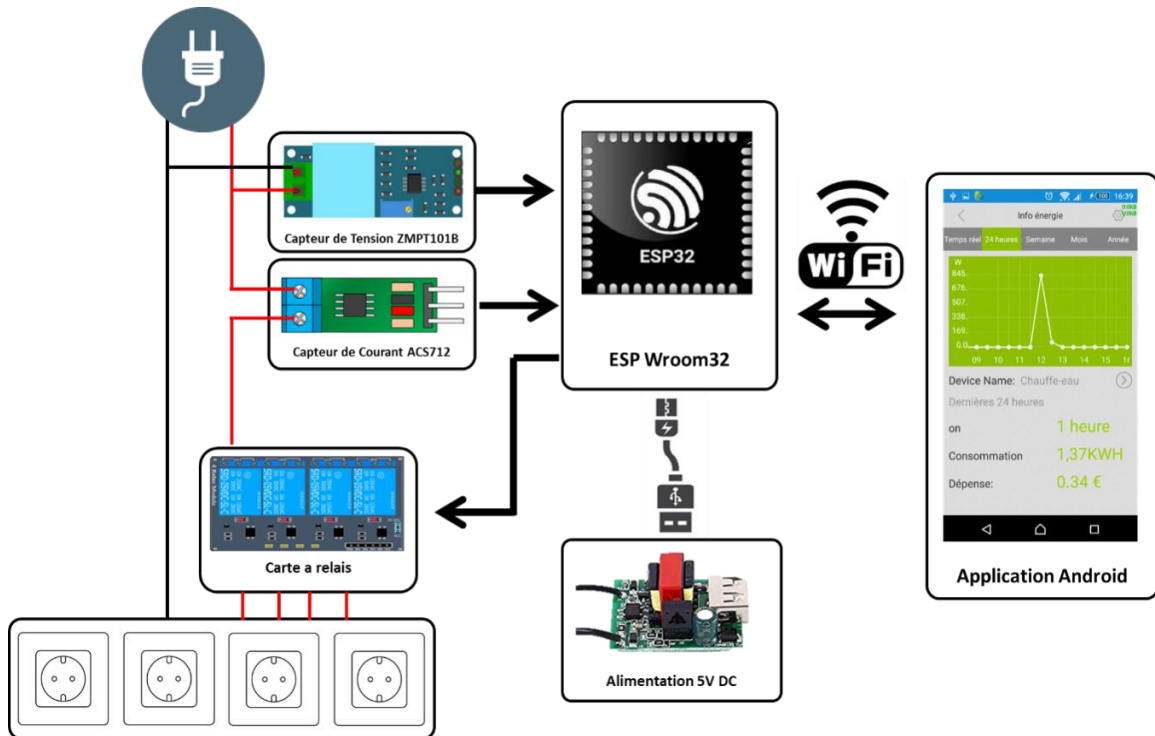


Figure II.1 : Description globale de l'architecture matérielle

II.1. La carte ESP-Wroom 32

Cette carte constitue le cerveau et l'élément essentiel notre système. Elle est responsable de gestion des capteurs, de l'acquisition et de traitement des données, ainsi que la commande des relais et la communication sans fil avec l'application Androïde.

Dans notre cas, nous avons optée pour le microcontrôleur **ESP-Wroom 32** de la société *Espressif Systems* en raison de son faible cout, sa faible consommation d'énergie, et sa capacité de communication Wifi et Bluetooth.

II.1.1. Présentation de l'ESP-Wroom 32

Le module ESP32 est une solution Wi-Fi/Bluetooth tout-en-un intégré et certifiée non seulement une radio sans fil, mais également un processeur embarqué doté d'interfaces pour permettre la connexion à divers périphériques. Le processeur offre en fait deux cœurs de traitement dont les fréquences de fonctionnement entre 80 mégahertz et 240 **MHz**.

L'ESP32 inclut une antenne à piste de circuit imprimé qui simplifié l'implémentation. Il évite également l'ajout de matériel supplémentaire et la complexité de configuration associés à une antenne à connexion **IPEX**. [17]

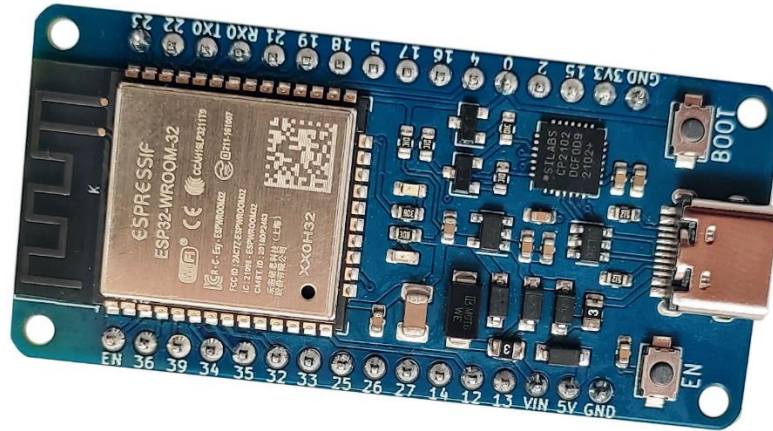


Figure II.2 : la carte ESP-Wroom 32.

II.1.2. Utilité et avantages de l'ESP-Wroom 32

L'ESP32 est assez simple à prendre en main car elle cousine de la carte Arduino. Il est donc possible de l'utiliser comme la carte microcontrôleur italienne, en utilisant le même langage de programmation, les mêmes modules complémentaires et surtout le même logiciel de compilation (Arduino IDE).

Malgré les technologies qu'elle embarque L'ESP est sans doute la carte microcontrôleur qui possède le meilleur compromis taille / connectivités / entrées sorties cela en fait un outil redoutable pour la miniaturisation des projets connectés

Pour finir elle est aussi tout à fait adaptée à la réalisation de prototypes et non uniquement à la réalisation de projets finis et définis Elle est une référence dans l'univers maker pour ces nombreuses raisons [18].

II.1.3. Spécification et connectivité de l'ESP-Wroom 32 [19]

- **Processeurs :**
 - **Processeur principale :** microprocesseur Tensilica Xtensa LX6 32 bits
 - **Noyaux :** 2 ou 1 (selon la variation)
 - **Fréquence d'horloge :** jusqu'à 240 MHz
 - **Performance :** jusqu'à 600 DMIPS
 - **Coprocasseur ultra basse consommation :** vous permet d'effectuer des conversions ADC, des calculs et des seuils de niveau en veille profonde.

- **Connectivité sans fil :**
 - **Wi-Fi :** 802.11 b/g/n/e/i (802.11n @2,4 GHz jusqu'à 150 Mbit/s)
 - **Bluetooth:** v4.2 BR/EDR et Bluetooth Low Energy (BLE)
- **Mémoire :**
 - **Mémoire interne:**
 - **ROM:** 448 Kio (pour le démarrage et les fonctions principales).
 - **SRAM :** 520 Kio (pour les données et les instructions) ;
 - **SRAM rapide RTC :** 8 Kio (pour le stockage des données et le processeur pendant le démarrage RTC à partir du mode veille prolongée).
 - **SRAM lente RTC :** 8 Kio (pour l'accès au coprocesseur en mode veille prolongé).
 - **eFuse :** 1 Kibit (dont 256 bits sont utilisées pour le système et les 768 bits restants sont réservés aux applications client).
 - **Flash intégré**
 - **Mémoire externe et SRAM :** l'ESP32 prend en charge jusqu'à quatre flashes QSPI externe de 16 MO et SRAM avec cryptage matériel basé sur AES pour protéger les programmes et les données des développeurs. l'ESP32 peut accéder au flash externe QSPI externe et à la SRAM via des caches à grande vitesse.
- **Les entrées/sorties :** interface périphérique riche avec DMA qui comprend le toucher capacitif, les ADC, les DCA, I²C, UART, CAN 2.0, SPI, I²S, RMII, PWM, etc...
- **Sécurité :**
 - Toutes les fonctionnalités de sécurités standards IEEE 802.11 sont prises en charge, y comprise WFA, WPA/WPA2 et WAPI.
 - Démarrage sécurisé
 - Cryptage Flash
 - OTP 1024 bits, jusqu'à 786 bits pour les clients
 - Accélération matérielle cryptographique : AES, SHA-2, cryptographie à courbe elliptique (ECC), générateur de nombre aléatoire (RNG)

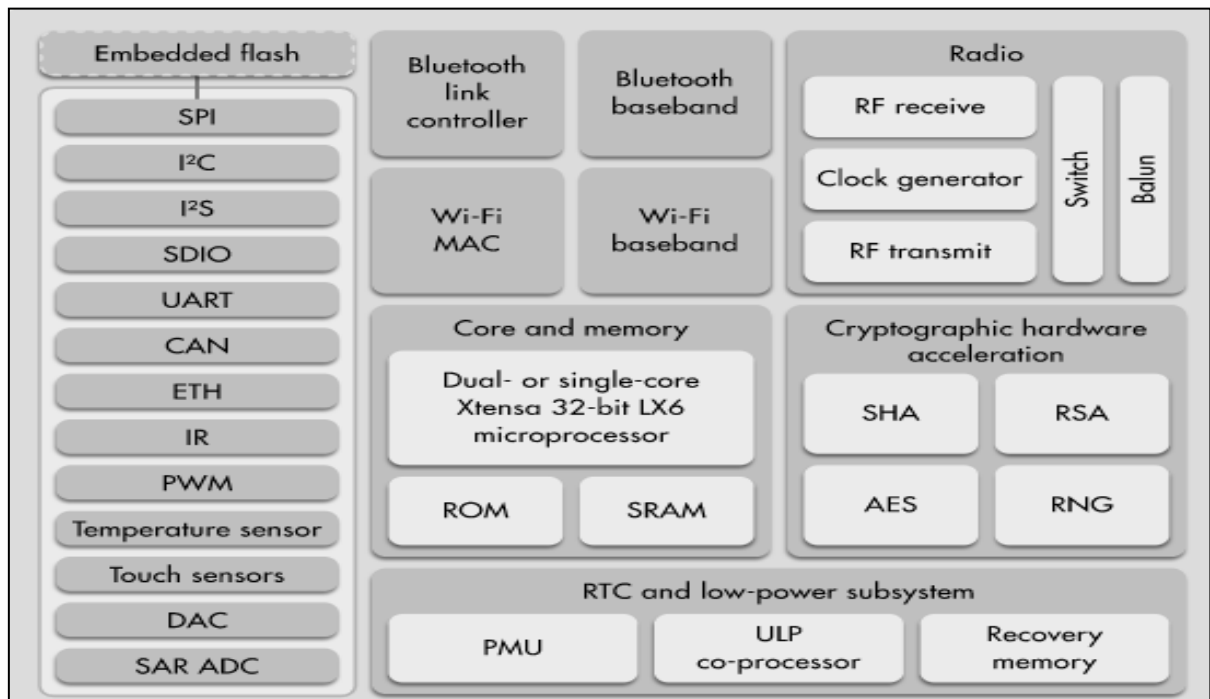


Figure II.3 : Structure Interne de l'ESP32 [20].

II.1.4. Branchement de l'ESP32

Les pins ou GPIO sont des ports d'E/S très utilisés dans le monde des microcontrôleurs. On peut assigner plusieurs fonctions au même pin, grâce au circuit du multiplexage de la carte ESP32, aussi on peut choisir le rôle d'un pin (UART, I2C, SPI) par programmation.

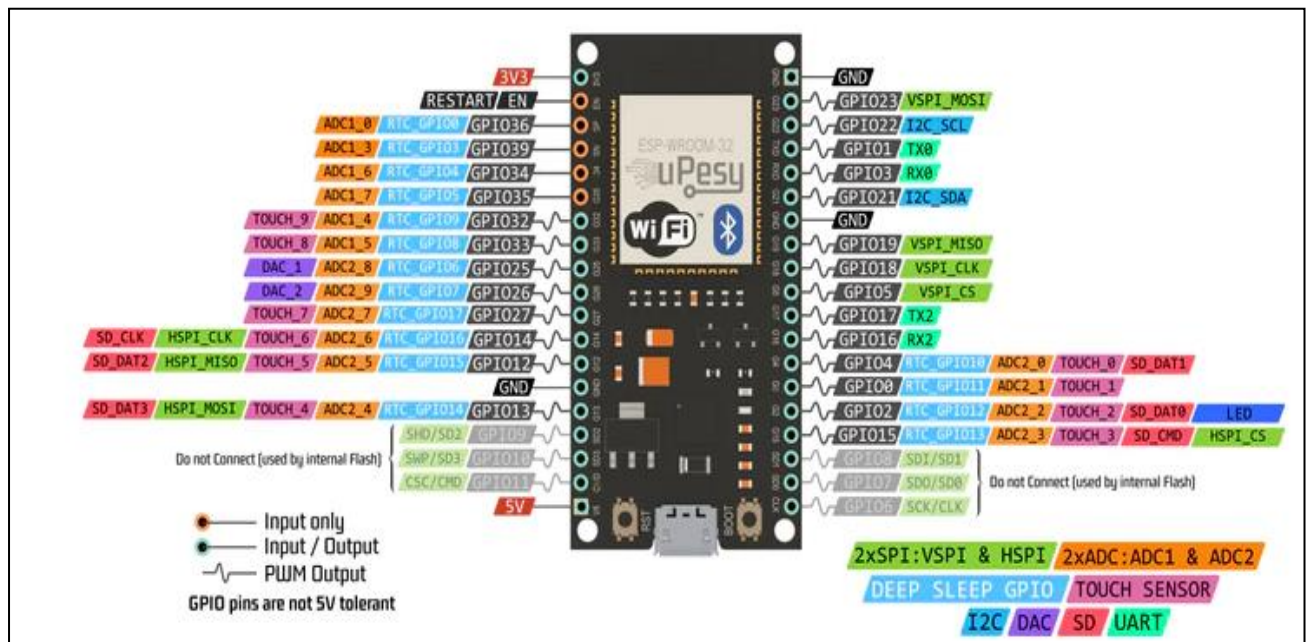


Figure II.4 : Branchement de la carte de developpement de l'ESP32. [20]

II.2. Le capteur de courant ACS712

II.2.1. Présentation de l'ACS712

L'ACS712 est un capteur du courant à effet hall, le dispositif est constitué d'un circuit de détection de Hall linéaire et précis, avec un trajet de conduction en cuivre situé près de la surface de la matrice. Le courant appliqué circulant à travers ce trajet de conduction de cuivre génère un champ magnétique qui est détecté par la cellule de Hall intégré et converti en une tension proportionnelle. La précision du dispositif est optimisée grâce à la proximité du signal magnétique au transducteur Hall. Qui détecte les courants positifs et négatifs dans la plage de -5V à +5V avec une sensibilité de 66 mV/A pour la version du ACS712-30A (on trouve aussi dans le marché deux autres versions avec des différents sensibilités l'ACS712-5A et l'ACS712-20A). Le capteur fonctionne avec une tension V_{cc} de 5V DC et un offset de $V_{cc}/2$ ou 2.5V, c.-à-d. à 0V le capteur nous donne 2.5V [22].

Le ACS712 contient un filtre passe bas de fréquence de coupure de 80KHz, ce capteur est utilisable pour les courants alternatifs et continus. La résistance interne de ce chemin conducteur est typique de 1.2 m Ω , ce qui permet une faible perte de puissance.

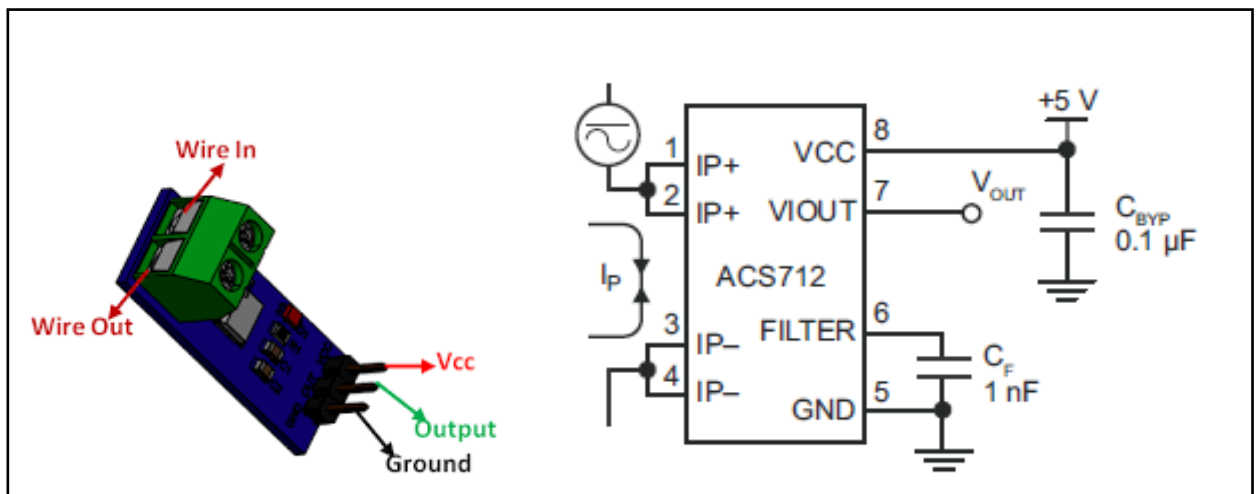


Figure II.5 : le capteur ACS712 [22].

L'ACS712 contient une résistance interne, une connexion par broche FILTER à la carte de circuit imprimé et un amplificateur tampon interne. Avec cette architecture de circuit, les utilisateurs peuvent implémenter un simple filtre RC via l'ajout d'un condensateur, C_F de 1nF. Par conséquent, le dispositif ACS712 est idéal pour une utilisation dans des applications de haute précision ne permettant pas l'atténuation du signal associée à l'utilisation d'un filtre passe bas RC externe.

II.2.2. Bruit et temps de monté par rapport al capacité du filtre externe de l'ACS712

On remarque que le bruit avec une capacité de 0.01 nF à une valeur très importante mais l'augmentation de la valeur de capacité diminuée le bruit (Figure II.6).

Cet avantage à un inconvénient d'augmentation de temps de montée (Figure II.7) [23].

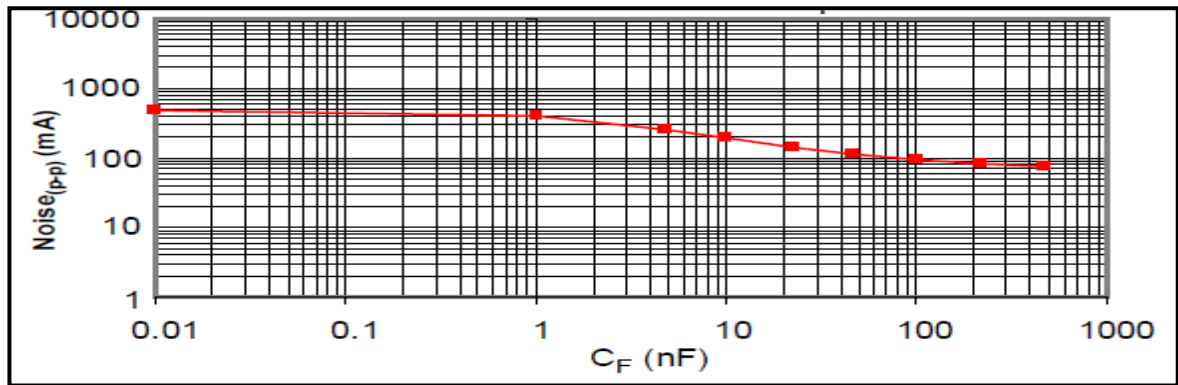


Figure II.6 : le bruit par rapport à la capacité externe [23].

C_F (nF)	t_r (μs)
0	6.6
1	7.7
4.7	17.4
10	32.1
22	68.2
47	88.2
100	291.3
220	623.0
470	1120.0

Figure II.7 : le temps de monté par rapport aux valeu des capacités [23].

II.3. Le capteur de tension ZMPT101B

II.3.1. Présentation de module capteur ZMPT101B

Le ZMPT101B est un capteur de tension idéal pour mesurer la tension alternative. Il a une grande précision, une bonne cohérence pour la mesure de tension et de puissance et il peut mesurer jusqu'à 250V AC. Il est simple à utiliser et est livré avec un Potentiomètre de Trim multi-tours pour calibré la sortie ADC, ce module à inductance de tension de sortie monophasée active AC [8].

Le ZMPT101B est un choix idéal pour mesurer la tension alternative en utilisant Arduino/ ESP32 /ESP8266/ Raspberry Pi comme une plateforme open source.

Dans de nombreux projets électrique, l'ingénieur s'occupe directement des mesures avec peu d'exigences de base comme :

- Isolation galvanique ;
- Large gamme ;
- Haute précision ;
- Bonne cohérence.

Ce type capteur est utilisé dans différentes applications à savoir :

- Comptage (compteur d'énergie électrique) ;
- Mesure de tension alternative ;
- Détection de courant de surcharge ;
- Détection de défaut à la terre ;
- Matériel électrique domestique

II.3.2. Le transformateur de tension ZMPT101B

Le ZMPT101B est un transformateur de tension de haute précision. Un tout petit cube peut résister jusqu'à 4 KV par tension de claquage. Le rapport de spires est de 1000 : 1000, il s'agit d'un transformateur de courant de 2mA : 2mA comme le montre son schéma dans la figure II.8.

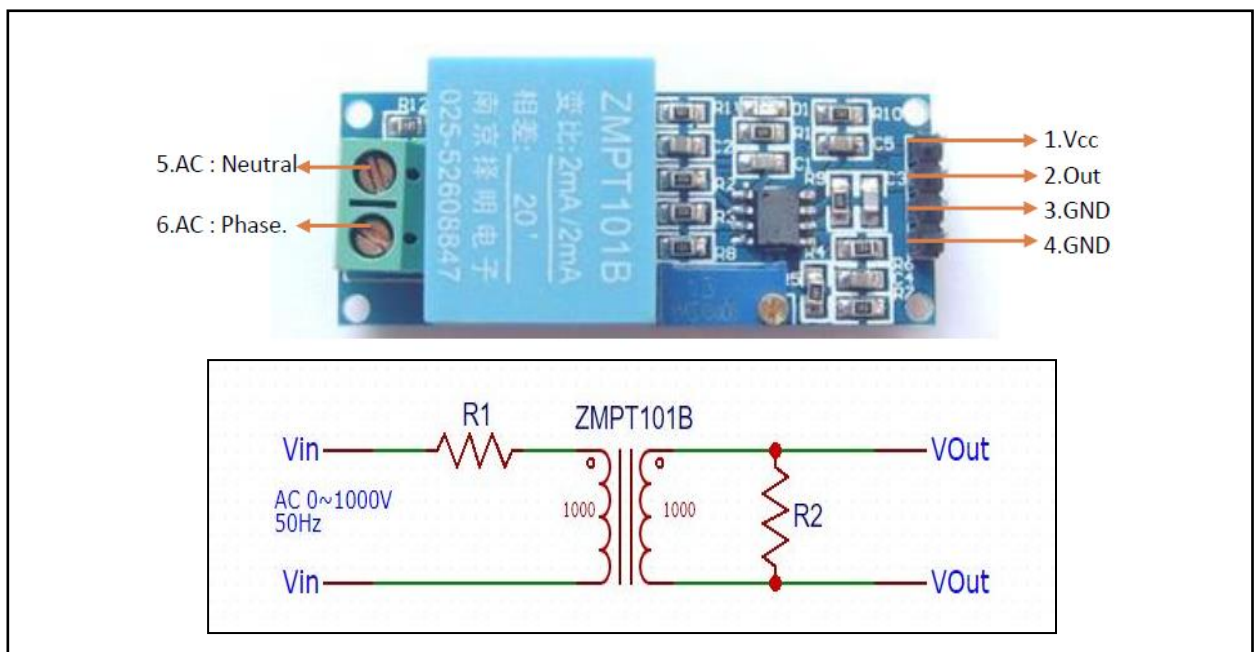


Figure II.8 : Le capteur de tension ZMPT101B et son schéma de câblage [24].

Le courant d'entrée est simplement réglé par la résistance en série R_1 , et une résistance d'échantillonnage R_2 (qu'on va calculer par la suite) est utilisée en parallèle pour obtenir la tension de sortie [8].

II.3.3. Spécifications et Caractéristique du capteur ZMPT101B

Les spécifications électriques et environnementales du ZMPT101B sont expliquées dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : Les spécifications du capteur ZMPT101B [24].

Spécification électrique	Description
Courant d'entrée nominal	2mA
Courant de sortie nominal	2mA
Gamme linéaire	0 1000V 0 10mA
Tension de tenue d'isolement	4000V
Rapport de tours	1000 : 1000
Précision de mesure	Classe 0.2
Linéarité	0.2 %
Fréquence de fonctionnement	50 – 50 Hz
Spécification environnementales	Description
Température de fonctionnement	-40° + 30° C
La résistance d'isolement	>100

La caractéristique de sortie illustrée sur la figure II.9 représente la relation entre le courant et la tension. Les trois courbes dedans dépendent de la résistance d'entrée du ZMPT101B, on remarque qu'à chaque augmentation de la valeur du la résistance la tension de sortie augmente.

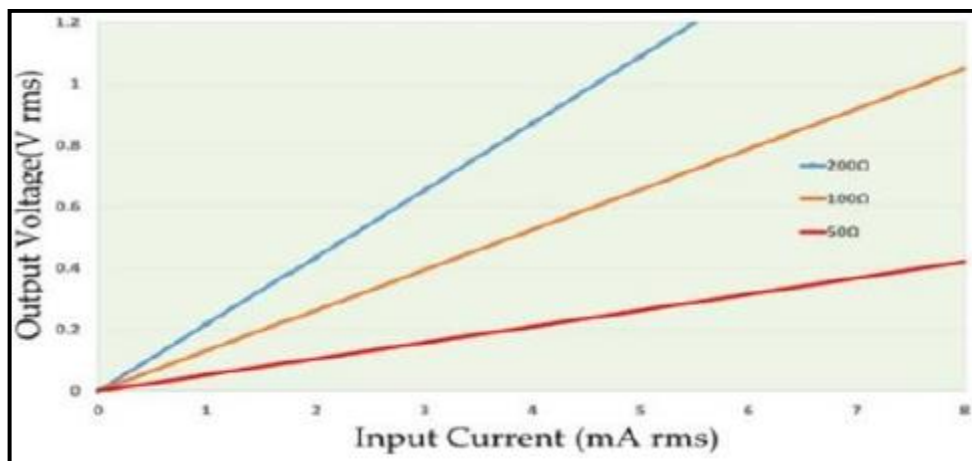


Figure II.9 : les caractéristiques de sortie (relation entre courant et voltage) [24].

II.3.4. Le mode d'utilisation et calcul des résistances du capteur ZMPT101B

La figure ci-dessous montre le schéma de montage de du module de capteur montrant ainsi le transformateur ZMPT101B et les résistances à calculer pour assurer une mesure adéquate et précise.

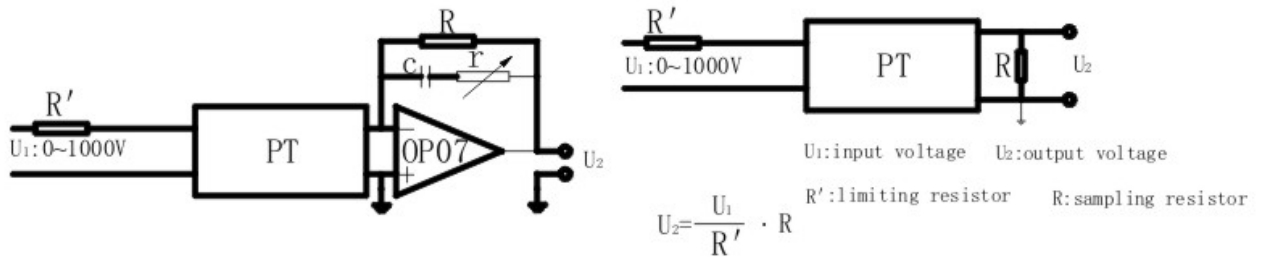


Figure II.10 : le schéma du capteur ZMPT101B montrants les resistances a calculer.

a) Détermination de la tension efficace maximal de sortie U_{max} :

U_{max} correspond à la tension de crête du convertisseur A/N du microcontrôleur

Pour un convertisseur A/N bipolaire $\rightarrow U_{max} = \frac{\text{tension de crete}}{\sqrt{2}}$

Pour un convertisseur A/N unipolaire $\rightarrow U_{max} = \frac{\text{tension de crete}}{2\sqrt{2}}$

Exemple 1 :

Pour $\pm 5V$, (bipolaire) $U_{max} = \frac{5V}{\sqrt{2}} = 3.53V$

Exemple 2 :

Pour $3V$, (unipolaire): $U_{max} = \frac{3.3V}{2\sqrt{2}} = 1.16V$

b) Détermination de la résistance de limitation de courant d'entrée R' :

R' est choisi pour que le courant traversant l'enroulement ne dépasse pas 2mA, il détient un maximum de 10mA, mais après 2mA, La linéarité est perdue et la sortie sera claire.

$$R' = \frac{V}{I}$$

V : tension d'entrée nominale

I : courant de fonctionnement nominale (lorsque la bobine de la résistance est comparée à la limitation de courant R' , elle peut être ignoré).

ZMPT101B fonction généralement à la valeur nominale courant $1 \sim 2 \text{ mA}$

Lorsque l'entrée nominale voltage ≤ 100 . Habituellement, le choix du courant de fonctionnement est $I = 2 \text{ mA}$.

Lorsque l'entrée nominale voltage $\leq 220\text{V}$, pour réduire la puissance de la résistance on choisi généralement le courant de fonctionnement $1\text{mA} \leq I \leq 2\text{mA}$

exemple 1: $V = 100\text{V}$, $I = 2\text{mA}$, donc $R' = \frac{V}{I} = 50\text{K}\Omega$.

exemple 2: $V = 220\text{V}$, $I = 1.1\text{mA}$, donc $R' = \frac{V}{I} = 200\text{K}\Omega$.

Pour améliorer la fiabilité, la résistance de la limitation du courant sélectionné est généralement supérieure à 4 fois la puissance nominale, et utilisent généralement une résistance a film métallique a haut coefficient de température.

c) Détermination de la résistance d'échantillonnage R :

$$R = \frac{V_{outmax}}{I} = \frac{V_{outmax}}{V_{inmax}} * R'$$

Par exemple : $V_{outmax} = 3.53 \text{ V}$, $V_{inmax} = 120\text{V}$, $R' = 50\text{K}\Omega$

$$R = \frac{3.53}{120} * 50 = 1.471\text{K}\Omega$$

Lors de la sélection de la résistance d'échantillonnage, on ne devrait pas dépasser

$$\frac{V_{outmax}}{V_{inmax}} * R'.$$

Dans notre réalisation on a : $R' = 200\text{K}\Omega$.

Pour R : on à $V_{outmax} = \frac{V_c}{2\sqrt{2}} = 2.33 \text{ V}$, $V_{inmax} = 220\text{V}$, $R' = 200\text{k}\Omega$. Donc

$$R = \frac{V_{outmax}}{V_{inmax}} * R' = 2.12 \text{ K}\Omega.$$

Dans notre réalisation on va utiliser les résistances suivantes :

- La résistance de limitation : $R' = \frac{V}{I} = \frac{220}{1.1} = 200\text{K}\Omega$
- La résistance d'échantillonnage : $R = \frac{V_{max}}{I} = \frac{V_{max}}{V_{inmax}} * R'$

$$V_{max} = \frac{V_c}{2\sqrt{2}} = \frac{3.3}{2\sqrt{2}} = 2.33\text{V}$$

$$R = \frac{2.33}{2\sqrt{2}} * 200 = 2.12\text{K}\Omega$$

II.4. Module relais 5V à 4 canaux

II.4.1. Présentation de module a relais

C'est une carte d'interface de relais 5V à 4 canaux de bas niveau, et chaque canal a besoin d'un courant de commande de 15-20mA.

Il peut être utilisé pour contrôler divers appareils et équipements avec un grand courant. Il est équipé d'un relais à courant élevé qui fonctionnent sous AC 250V 10A ou DC 30V 10A. Il a une interface standard qui peut être contrôlée directement par microcontrôleur.



Figure II.11 : le module relais 5V à 4 canaux.

II.4.2. Fonctionnement

Un relais est un composant qui se comporte comme un interrupteur sauf que sa commande est actionnée par une bobine électrique. La bobine crée un champ magnétique qui attire une pièce métallique, qui entraîne la fermeture ou l'ouverture de contacts.

Ces contacts ferment le circuit de puissance et laissent passer le courant vers le récepteur.

Ce module est optiquement isolé du côté haute tension pour des exigences de sécurité et aussi empêcher la boucle de terre lors de l'interface avec le microcontrôleur comme le montre la figure II.13.

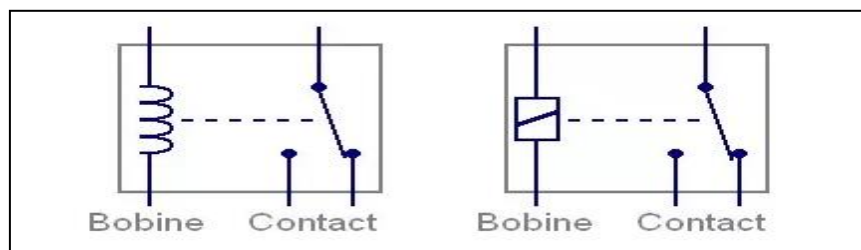


Figure II.12 : Symbole d'un relais 5V

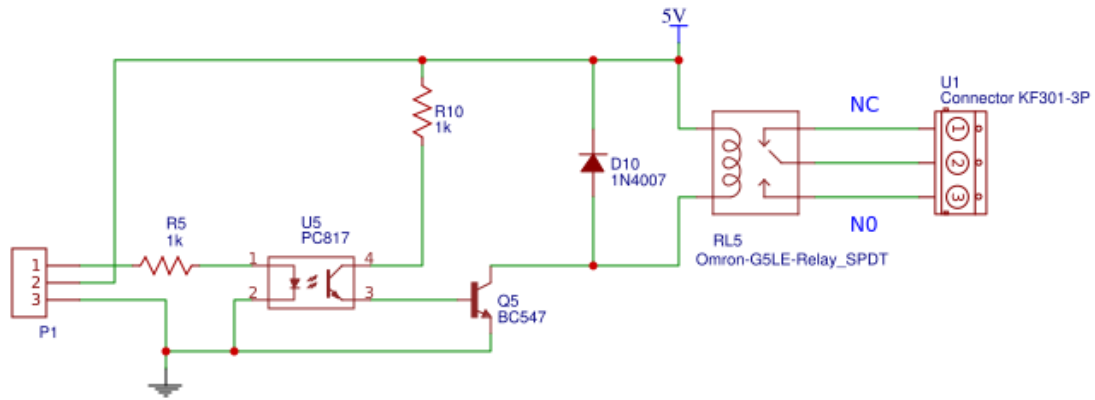


Figure II.13 : Symbole d'un relais 5V

II.5. Bloc d'alimentation 5V DC

C'est le bloc qui produit une tension d'alimentation adéquate pour alimenter le microcontrôleur et les capteurs ainsi que la partie commande de la carte a relais.

Pour ce projet, nous avons utilisé un chargeur de Smartphone comme source d'alimentation. Ce dernier peut délivrer une tension DC de 5V et un courant de 1A ce qui est largement suffisant pour notre application.

Il est à signaler que notre choix de cette alimentation est dû à son prix réduit (récupérer gratuitement), son encombrement réduit et même ses performances par rapport a une alimentation stabilisée classique réalisée par des composants classiques (transformateur, pont de diodes, filtre, etc...).



Figure II.14 : Chargeur d'un Smartphone utilisé comme alimentation 5V DC.

III. Le circuit final de la réalisation

Pour réaliser notre système IOT, on fait le câblage adéquat (Figure II.13) qui permettra le bon fonctionnement de notre compteur.

Le câblage est simple, le **Vcc** du ZMPT101B, ACS712 et la carte à quatre relais sont connectés vers le **Vin** de l'ESP32 qui est une alimentation de 5V, ainsi que leurs **GND**

connecté vers le **GND** de la carte ESP32. La broche analogique du ZMPT est connectée au **GPIO 34**. De même la broche analogique de l'ACS est connectée vers **GPIO 35** de la carte ESP32. Pour la carte à 4 relais on a quatre broches qui seront connectés respectivement via **GPIO 21, 22, 17 et 15** de la carte ESP32.

Pour le coté de haute tension, on connecte vers le 220V le ZMPT en parallèle et l'ACS en série avec un câble vers la terre par sécurité. Et de même pour les 4 relais.

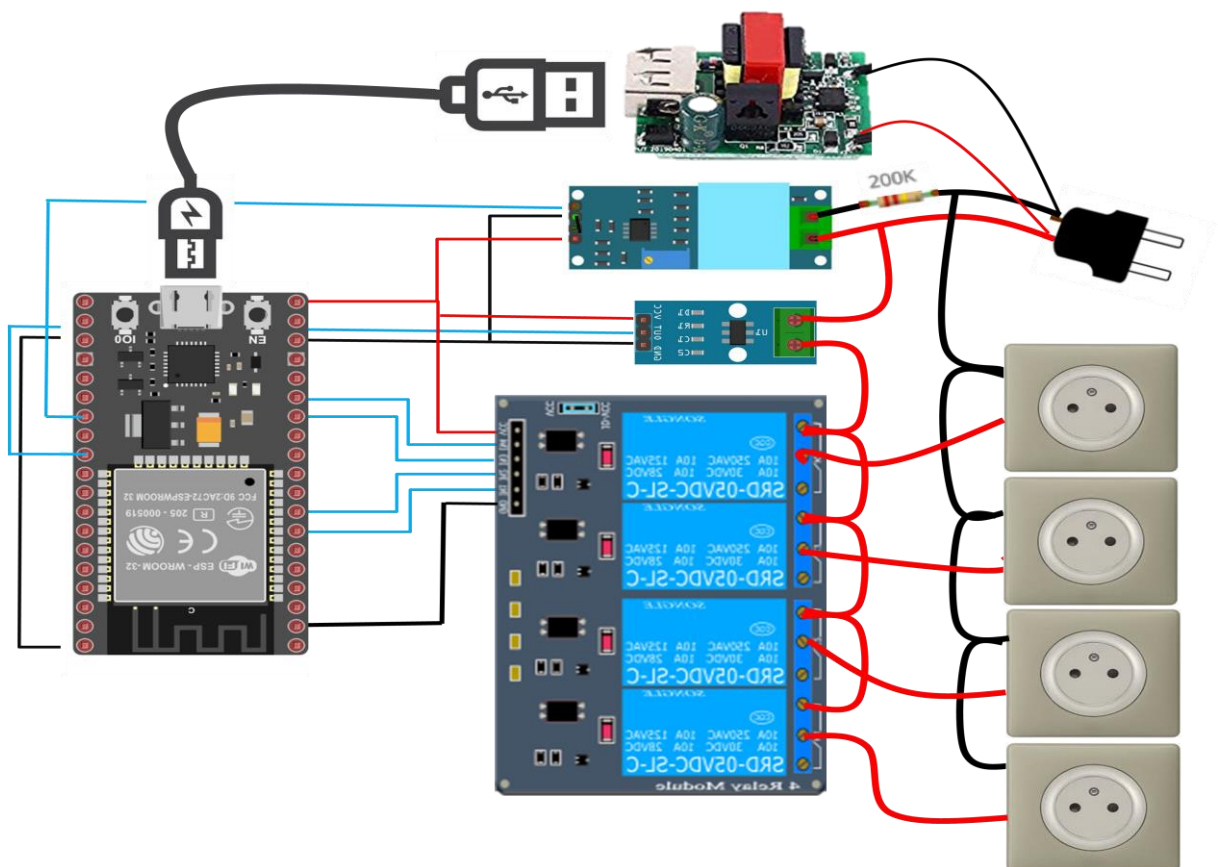


Figure II.15 : le schéma final de notre réalisation

IV. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la structure matérielle de système de mesure et gestion de l'énergie électrique que nous allons réaliser, à savoir l'ESP- Wroom32 comme contrôleur et système de communication, les capteurs ACS712 et ZMPT101B pour la mesure de courant et tension, et une carte à relais pour la commande des équipements.

Le prochain chapitre sera consacré pour la description logicielle et la finalisation de notre système à réaliser.



Chapitre III

Description de la partie logicielle

I. Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons présenté le côté matériel (architecture hardware) de notre projet, et les éléments qui le constituent.

Dans ce chapitre, nous allons s'intéresser la présentation et la mise en place de côté software de notre système de mesure et gestion de l'énergie électrique. Nous allons présenter donc les différents algorithmes et diagrammes qui régissent le fonctionnement global du système à réaliser. De plus, nous détaillons l'implémentation et la conception d'applications Android.

II. Organigramme général du système de gestion d'énergie

L'organigramme de la figure III.1 explique les étapes essentiels du fonctionnement de notre système en général a fin de synchroniser les données de l'ESP32 et les autres parties du system.

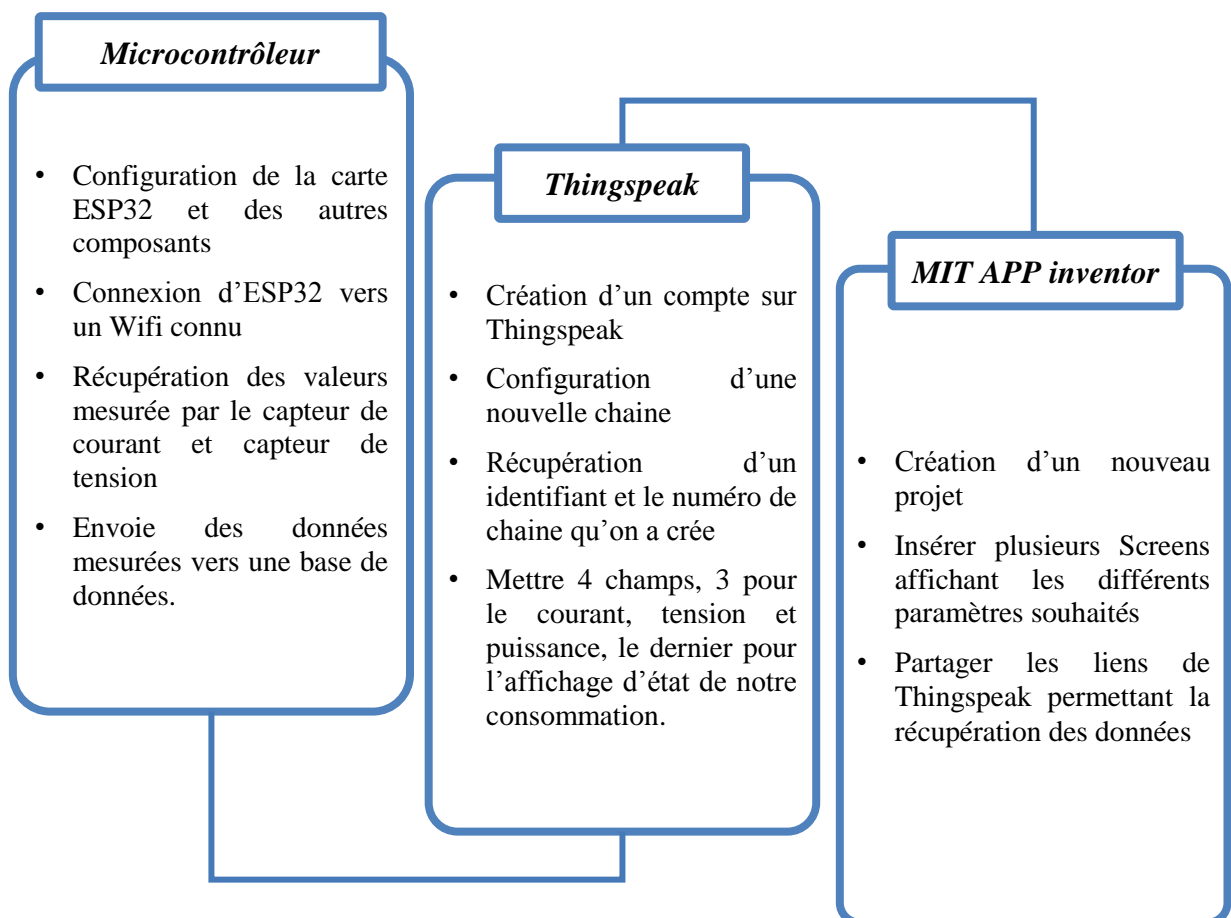


Figure III.1 : Organigramme général de fonctionnement de notre système.

III. Programmation de la carte ESP32

Il existe une variété de plates-formes de développement qui peuvent être utilisées pour programmer un microcontrôleur ESP32 :

- Arduino IDE avec le module ESP32 Arduino Core ;
- Espruino ;
- FAUST, langage de programmation de traitement des données audio, utilisant son DSP ;
- Lua RTOS pour ESP32 ;
- Micropython, une variante pour l'embarquée du langage python ;
- Mruby une variante pour l'embarqué du langage Ruby.

Dans notre travail nous avons optés pour l'environnement de développement intégré Arduino IDE qui est une application multiplateforme (pour Windows, MacOS, Linux) écrite dans des fonctions de C et C++. Il est utilisé pour écrire et télécharger des programmes sur des cartes compatibles Arduino et autres. Des modules supplémentaires sont ajouter à l'IDE Arduino a fin de programmer l'ESP32 il suffit juste de les installer sur Arduino IDE et il sera prêt pour la programmation de l'ESP32 [21].

II.1. Organigramme de la partie commande

Le programme à implémenter sur le microcontrôleur joue le rôle le plus important dans l'ensemble du système. Il fait le lien entre la partie matérielle (capteurs, relais...etc) et la partie software (Application Android, et Thingspeak).

Comme le montre l'organigramme de la figure III.2, commence par déclaration des constantes et des variables et la configuration des E/S. Par suite, il configure une connexion wifi et commence à connecter avec l'application et Thingspeak pour envoyer et recevoir les données selon les commandes exécutées.

Notre programme se compose de deux parties, une pour les capteurs et l'autre pour la commande des relais. L'organigramme de la figure III.3 illustre brièvement le principe d'acquisition des données : courant, tension et puissance aussi l'envoi de ce derniers vers Thingspeak.

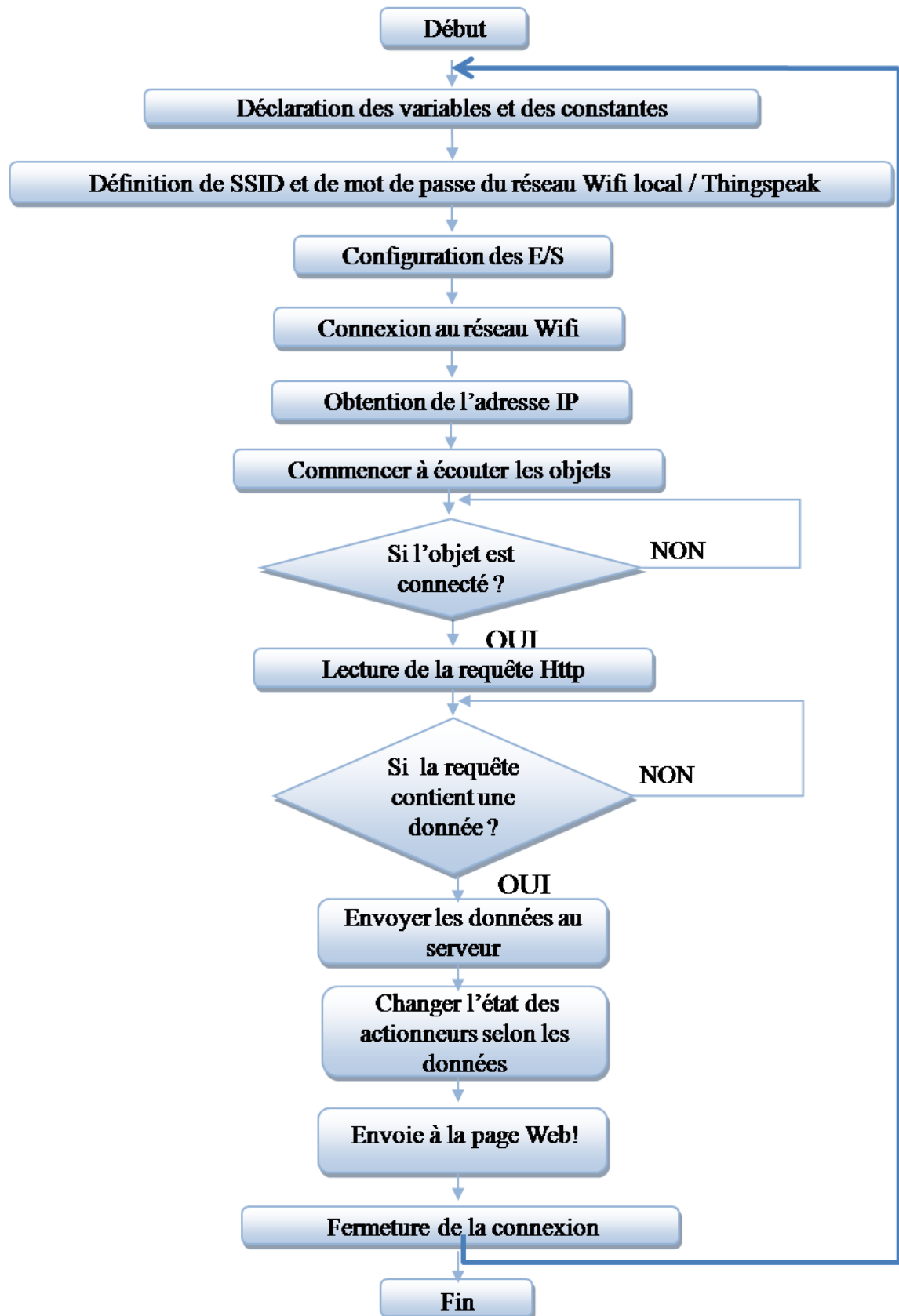


Figure III.2 : Organigramme global du code implémenté sur l'ESP32.

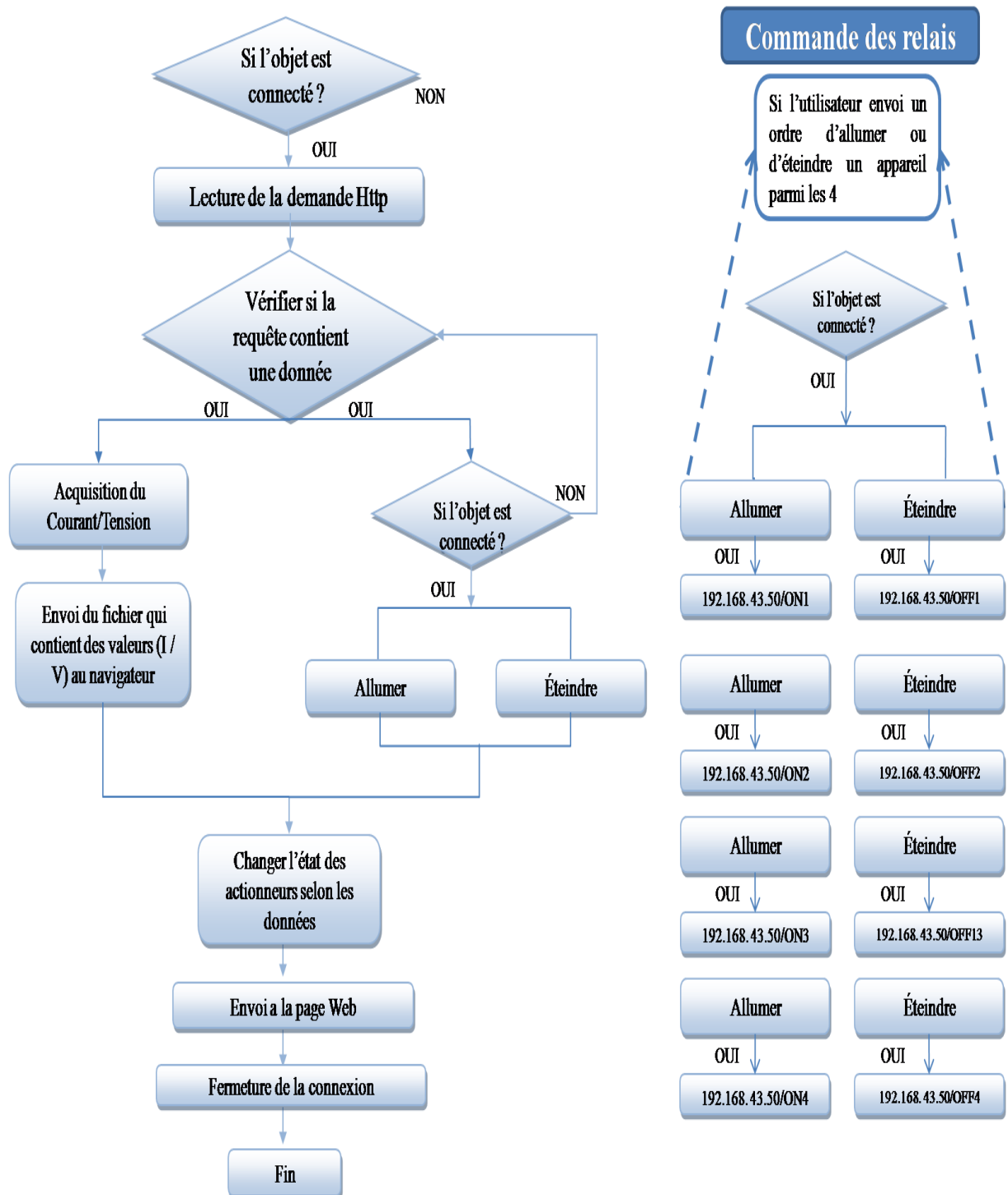


Figure III.3 : Organigramme détaillé sur l'acquisition des données et de la commande à distance.

IV. Développement de l'application Android

IV.1.Définition d'Android

C'est un système d'exploitation libre et open source, basé sur le noyau linux, développé pour les Smartphones, les tablettes et même les montres connectées, et maintenant Android est présent dans les téléviseurs, les autoradios... et la domotique...

Android est créé en 2004, puis il a été racheté par Google en 2005, il y a eu de nombreuses versions depuis, nous sommes maintenant sur la 12ème version, cette nouvelle mise à jour est plus développée pour rendre les Smartphones plus intelligents, plus simples et plus adaptables, et a un modèle de sécurité amélioré.

Android reste le meilleur système d'exploitation pour tous les appareils, Les téléphones portables, bien qu'il existe de nombreux concurrents tels que iPhone OS, le concurrent numéro un d'Android.

IV.2. MIT APP inventor

MIT APP inventor est un environnement de programmation intuitif et visuel open source qui permet de créer des applications en ligne qu'on peut installer et utiliser sur les téléphones et les tablettes pour le système d'exploitation Android qui est développé par Google.

La programmation dans APP inventor est basée sur des blocs facilitant la création des applications Android a fort impact et à bref délai, cet outil est créé par Google en 2012 mais entretenu par Massachusetts Institut of Technology (MIT).

IV.2.1 Mode d'emploi de MIT APP inventor

La plateforme de développement est accessible à tous les utilisateurs disposant d'un compte

Gmail. Il passe en revue certains langages de programmation simplifiés basés sur une interface Graphique ressemblant à Scratch (Scratch est un environnement graphique permettant aux débutants de s'initier à la programmation. On y programme le comportement de lutins animés à l'aide de briques visuelles qui s'emboîtent comme des Lego par Drag and Drop). Les informations d'application sont stockées dans des serveurs distants.

L'environnement APP INVENTOR se compose de trois fenêtres, dans Développer :

- Un pour créer une interface homme-machine : elle sera le design de l'application (**APP Inventor Designer**);
- Un pour la programmation propre : il permet d'assembler des blocs afin de Créer le comportement de l'application (**APP Inventor Block Editor**) ;
- Un pour l'émulateur : il testera l'application. L'émulateur est remplacé par un vrai terminal pour vérifier le bon fonctionnement du programme en bloc.

Connectez un vrai terminal sous Android, on pourra ensuite télécharger pour un teste réel, ce terminal pourra être remplacé par un téléphone ou bien une tablette.

IV.2.2 Structure de l'IDE APP inventor :

L'IDE APP inventor est composé de deux interfaces : Designer et Blocs

a) Interface de Designer

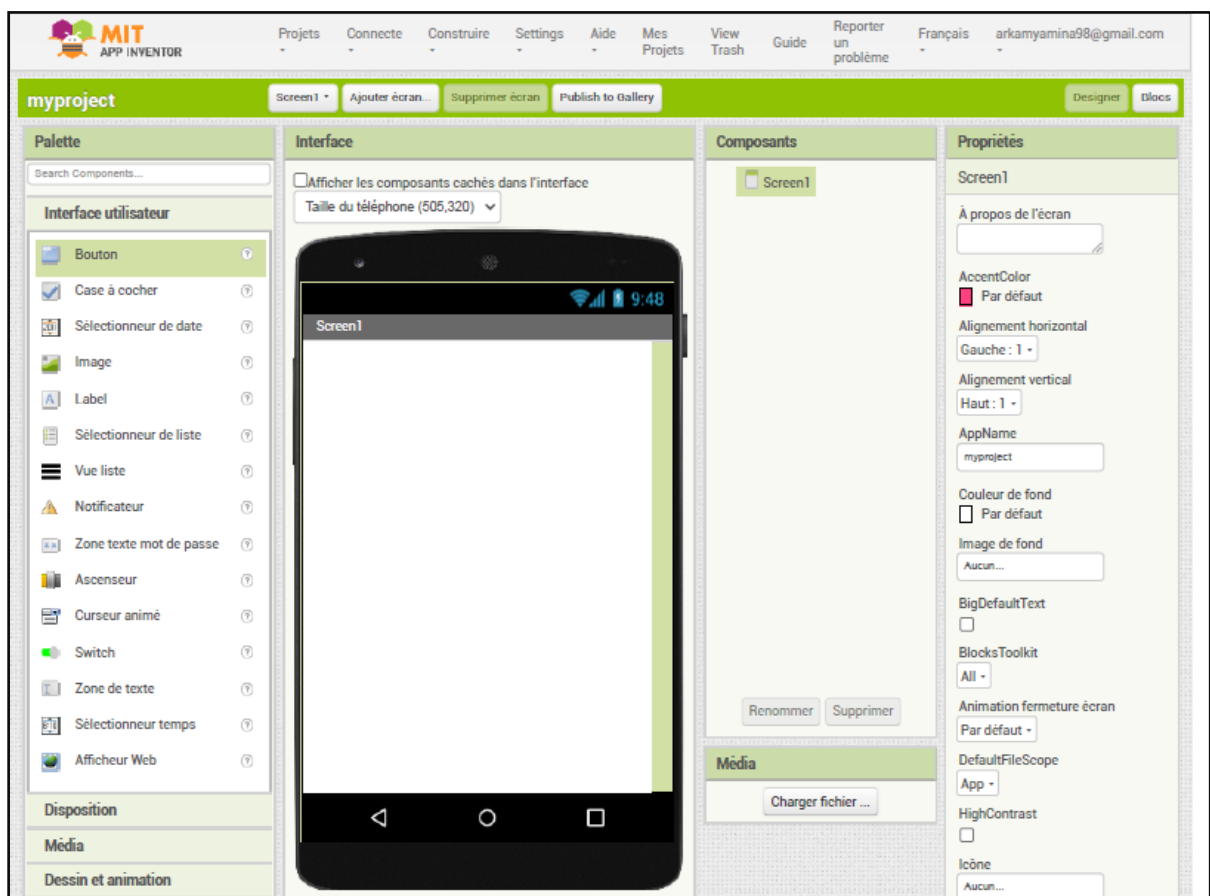


Figure III.4 : interface Designer de l'IDE APP inventor

L'interface Designer est composée essentiellement des zones suivantes : Palette, Viewer, component, Properties et Media.

- i. **La zone Palette :** c'est la zone où se trouve tous les éléments et outils de développement de l'application.

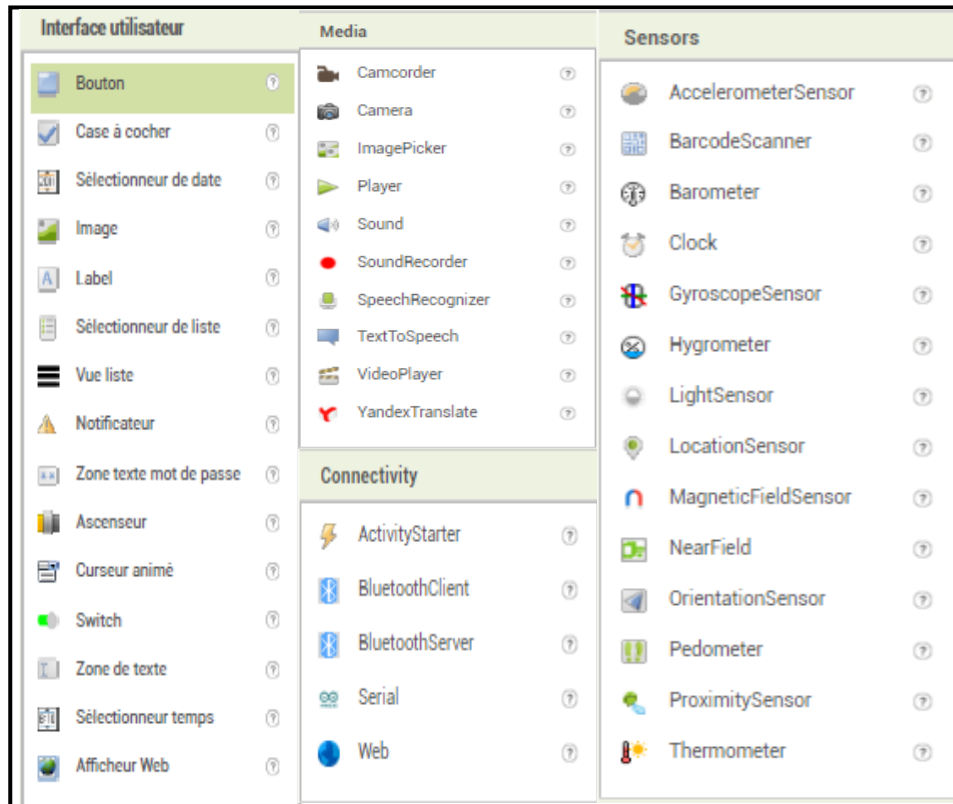



Figure III.5: Quelques capture des composants disponible dans la zone Palette.

Pour notre application on a utilisé plusieurs outils parmi ces derniers on trouve :

- User interface : bouton, label, image, zone texte mot de passe, afficheur Web ;
- Layout : horizontal arrangement, vertical arrangement, table arrangement ;
- Connectivity : Web.

Il en a d'autres outils comme les capteurs, le Bluetooth, camera. Aussi on trouve des composants non visibles comme les outils de stockage des données on cite : CloudDB, TinyDB, TinyWebBD.

- ii. **La zone Viewer :** l'aperçu du désigne de l'application, on peut ajouter plusieurs écrans en cliquant sur le bouton  , dans notre application on a utilisé 8 écrans avec la possibilité de changer d'écrans en cliquant sur des boutons ;
- iii. **La zone component :** les boutons, zone de texte, tous les outils utilisés visibles et non visibles seront affiché dans cette zone ;
- iv. **La zone Media :** on peut insérer et charger des images qui seront visibles dans les écrans de notre application ;

- v. **La zone Properties** : les outils de mise en forme : gras, centre, les polices.

b) Interface Blocs

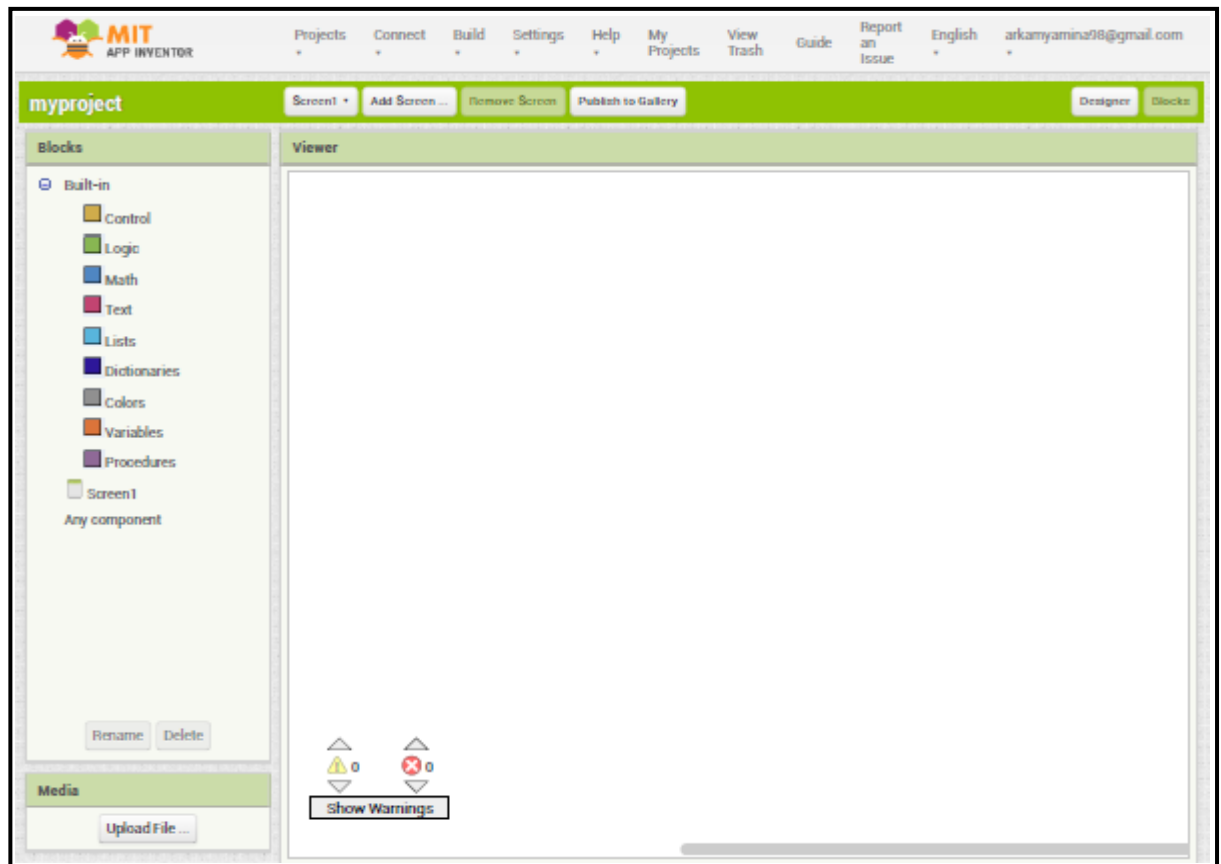



Figure III.6 : interface Blocs de l'IDE APP inventor.

Une fois le désigne de l'application est terminer, on passe vers l'éditeur blocs afin de décrire le comportement de notre application.

Pour la programmation nous n'allons pas décrire des lignes de codes mais plutôt on va utiliser un mode de programmation graphique, pour y'accéder on clique sur le bouton .

L'interface Blocs est composée essentiellement de deux zones : zone Blocks, zone Viewer.

- i. **Zone Blocks** : ici on trouve toutes les blocs nécessaires pour la programmation, ils sont composée de deux parties aussi :

➤ **Built-in** : ce sont des blocs disponibles classée en grandes fonctions ;

Contrôle : les éléments de teste, des boucles ;

Logique : éléments liées à la logique, vrai ou faux ;

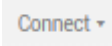
Maths : des outils mathématiques (addition...) ;

Texte : pour gérer les textes ;

Lists : morceaux permettant de traiter des listes.

➤ Les éléments placés dans le designer

- ii. **La zone Viewer :** cet espace pour engendrer les blocs afin de déterminer le comportement de notre application.

Pour tester le bon fonctionnement de l'application, APP inventor propose 3 modes de connexions en appuyant sur le bouton .

- La connexion en USB vers le Téléphone ;
- L'émulateur : un écran s'affichera sur l'ordinateur ;
- AI companion, dans ce cas la connexion se fera directement sur le téléphone via le Wifi ;

En choisissant AI companion, un code de 6 caractères sera généré automatiquement avec un code QR pour le scanner, avec la condition que l'application *MIT AI2 Companion* est installée sur le Smartphone.

Il suffit de saisir le code ou bien scanner le code QR pour que l'application soit visible sur le Smartphone pour la tester.

IV.3. Développement de l'application de gestion de l'énergie sous MIT APP inventor

notre application est composée de 8 *Screens* (écran ou interface) comme indiqué ci-dessous :

- ❖ Le **premier** Screen est un Screen de réception affichant le nom de notre thème ;
- ❖ Le **deuxième** Screen est une mesure de sécurité afin de protéger notre application et les données dedans, on doit insérer *UserName* le *Password*.

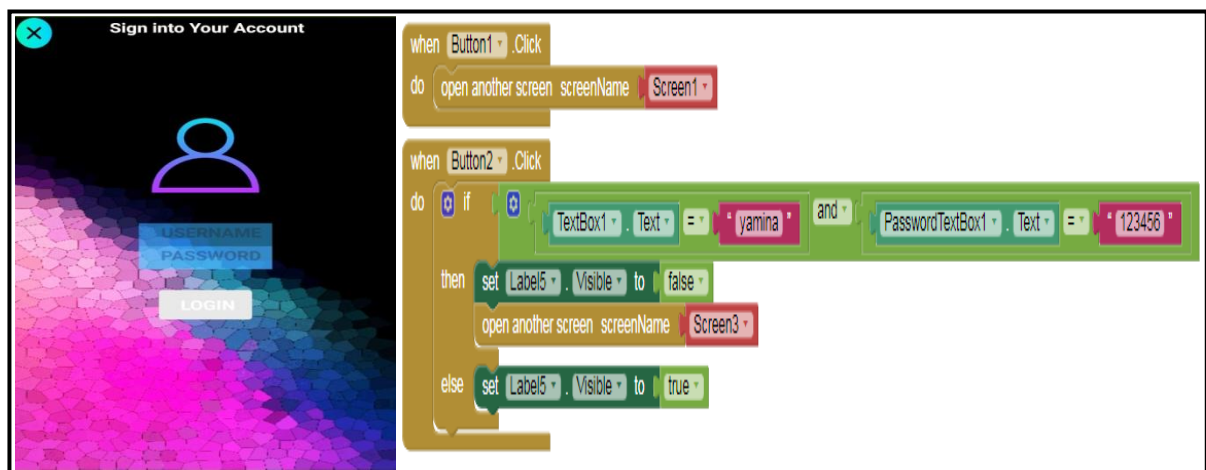


Figure III.7 : Photo et bloc programme de 2^{ème} Screen de l'application

- ❖ Le **troisième** et **quatrième** Screen représentent des Menus afin de faire une transition vers les autres Screens qui affichent les données selon notre choix ;
 - Pour le Screen **trois**, il contient quatre boutons. Le **1^{er}** bouton nous mène vers le Screen **quatre** qui contient deux autres boutons représentant deux modes d'affichages de données, numérique et graphique.

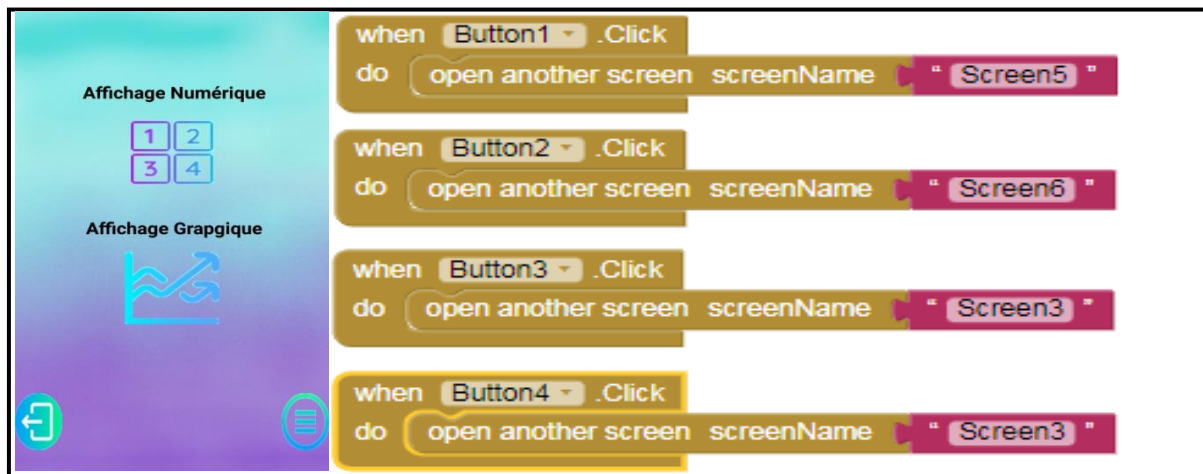


Figure III.8 : Photo et bloc programme de 3^{ème} Screen de l'application

Pour l'affichage des données, on a deux mode d'affichage donc deux Screens différents qu'on trouve dans le cinquième et sixième Screens;

- ❖ Le **Screen cinq** affiche les valeurs du courant, tension et puissance.

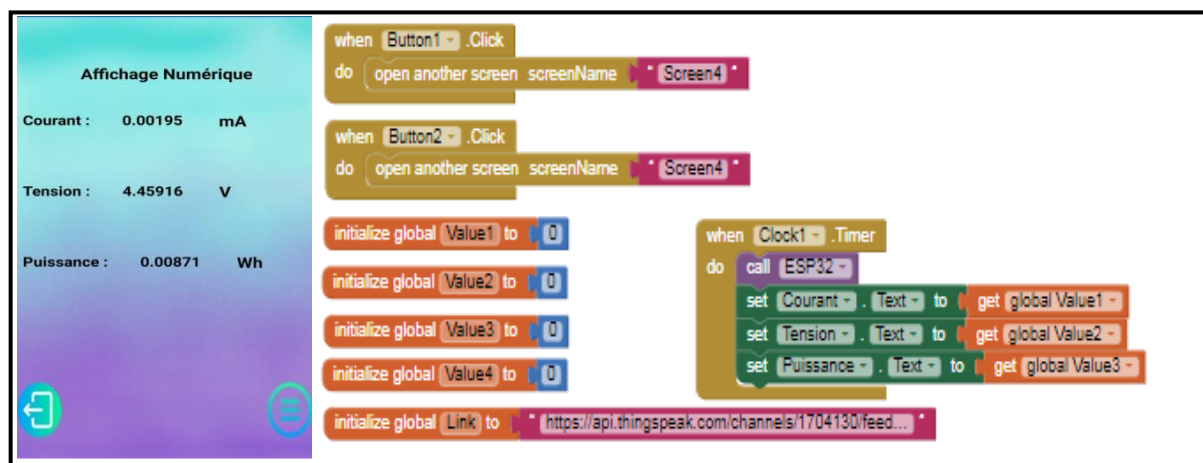


Figure III.9 : Photo et bloc programme de 5^{ème} Screen de l'application.

- ❖ Le **Screen six** affiche les valeurs du courant, tension et puissance sous forme des graphes ;

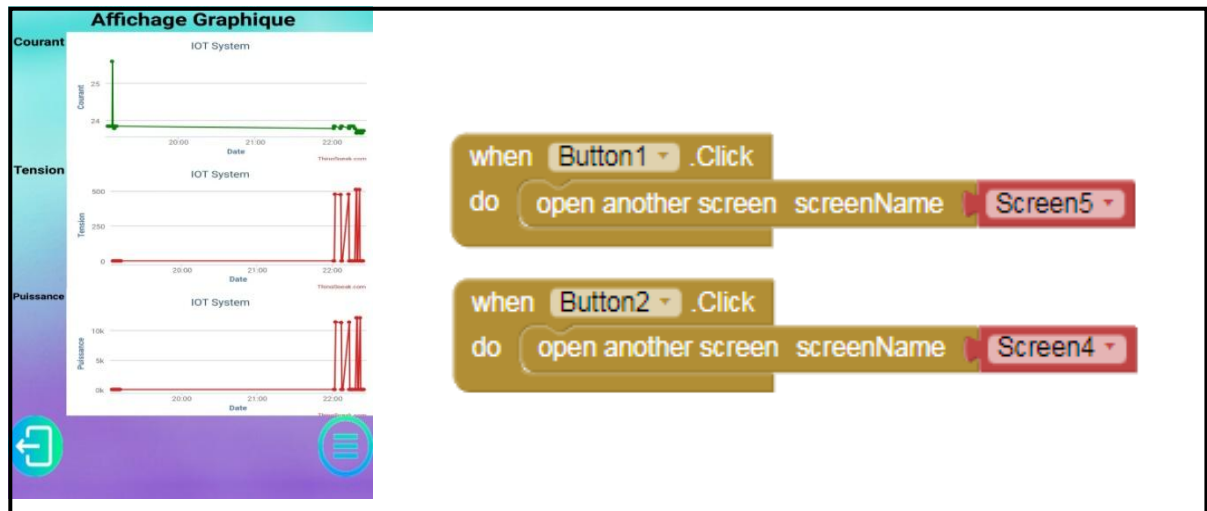


Figure III.10 : Photo et bloc programme de 6^{ème} Screen de l'application.

Le 2^{ème} bouton, mène vers le **Screen sept** qui est le Screen du contrôle de nos quatre appareils à distance, lorsque qu'on presse un bouton il nous indique l'action réaliser soit on alimente ou bien on coupe l'alimentation.

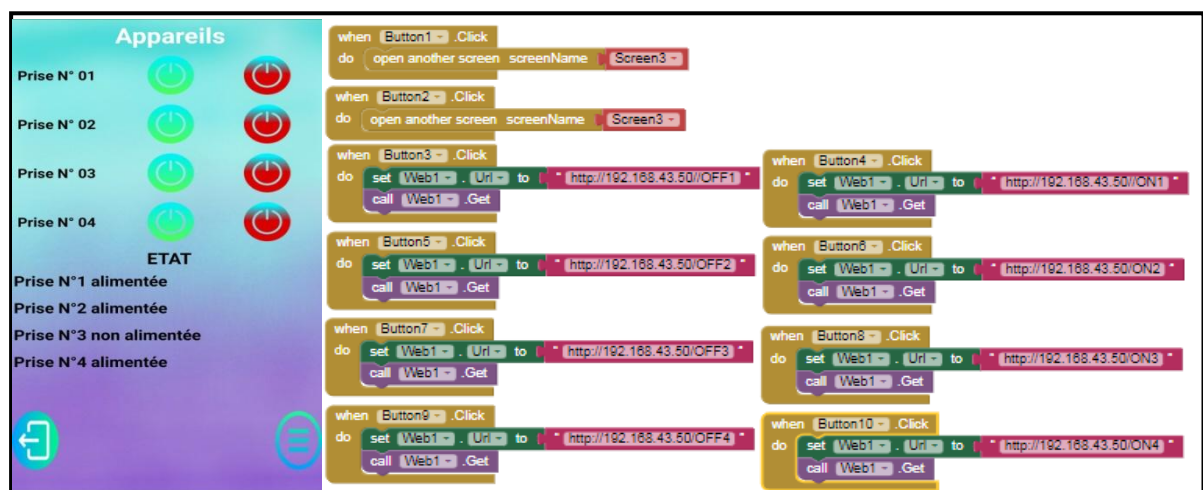


Figure III.11 : Photo et bloc programme de 7^{ème} Screen de l'application.

Le 3^{ème} bouton nous mène vers le **Screen huit** qui représente un Historique et/ou un bilan concernant la consommation, elle affiche des conditions selon les valeurs de la puissance.

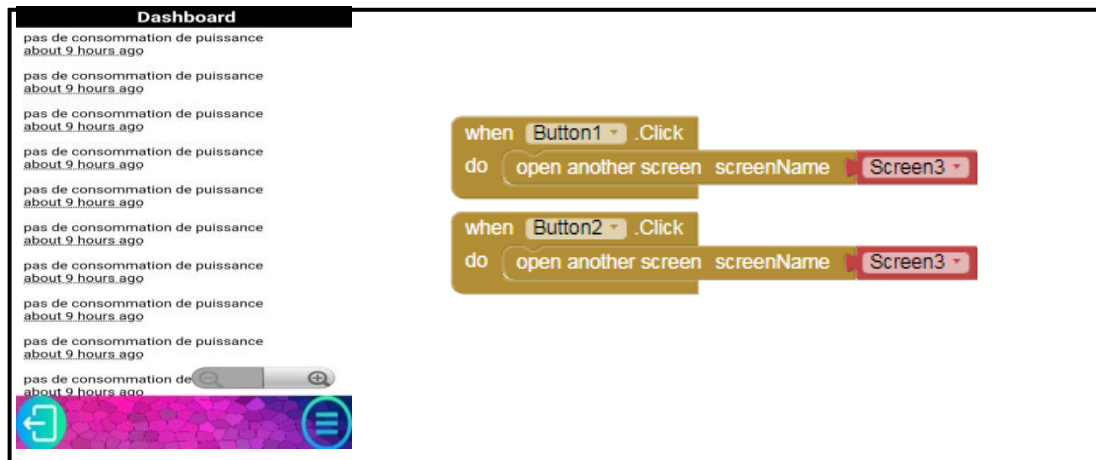


Figure III.12 : Photo et bloc programme de 8^{ème} Screen de l'application.

Quand on presse **Le 4^{ème} bouton** il passe vers le **Screen neuf** qui est le dernier dans notre application. Comme indique la figure III.14 cette partie sert à contacter le concepteur de l'application en cas de panne ou d'autre problème lors de l'utilisation.

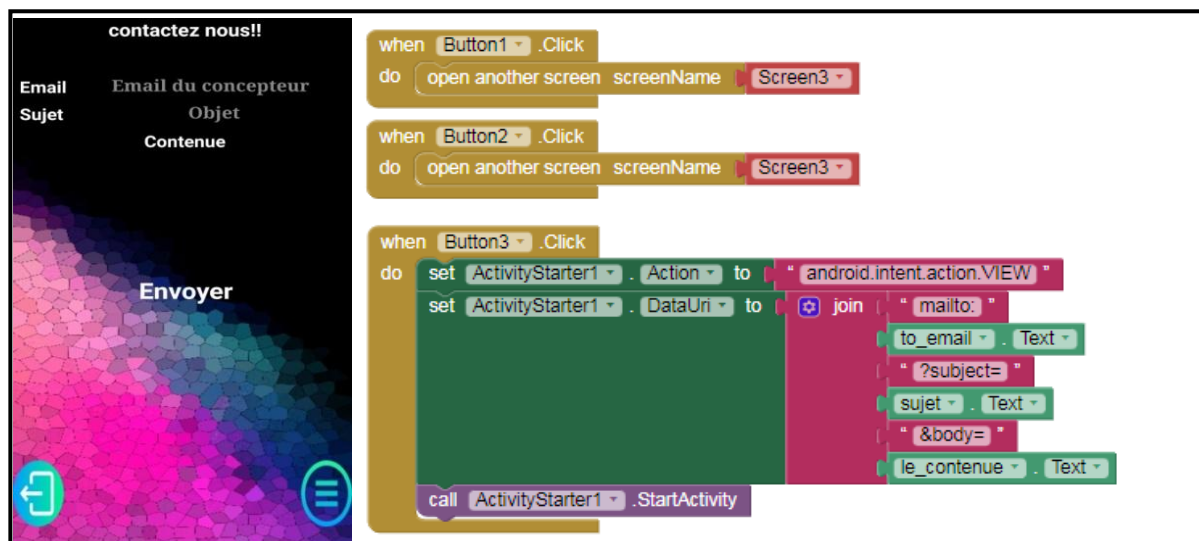


Figure III.13 : Photo et bloc programme de 9^{ème} Screen de l'application.

V. l'Hébergeur de données Thingspeak

Les outils de stockage insérer dans MIT APP inventor sont pas fiables tout le temps, c.-à-d. les applications créées avec APP inventor sont initialiser à chaque exécution, cela signifie que si une application définit la valeur d'une variable et que l'utilisateur quitte. Cette dernière ne sera pas mémorisée lors de la prochaine exécution de l'application.

Donc on a opté pour l'utilisation de Thingspeak afin de garder tous nos données mesurées même si on quitte l'application, on aura un accès vers ces derniers sur Thingspeak tout le temps.

V.1. Définition

Thingspeak est un outil logiciel Open source et une interface de programmation pour l'internet des objets qui sert à connecter ce dernier à des services.

Dans notre projet on a fait une connexion entre le serveur de Thingspeak avec la carte ESP32 afin de transmettre les données mesurées par les capteurs.

Dans ce qui suit, on va faire un organigramme qui explique la méthode de la communication entre l'ESP32 et le serveur Thingspeak.

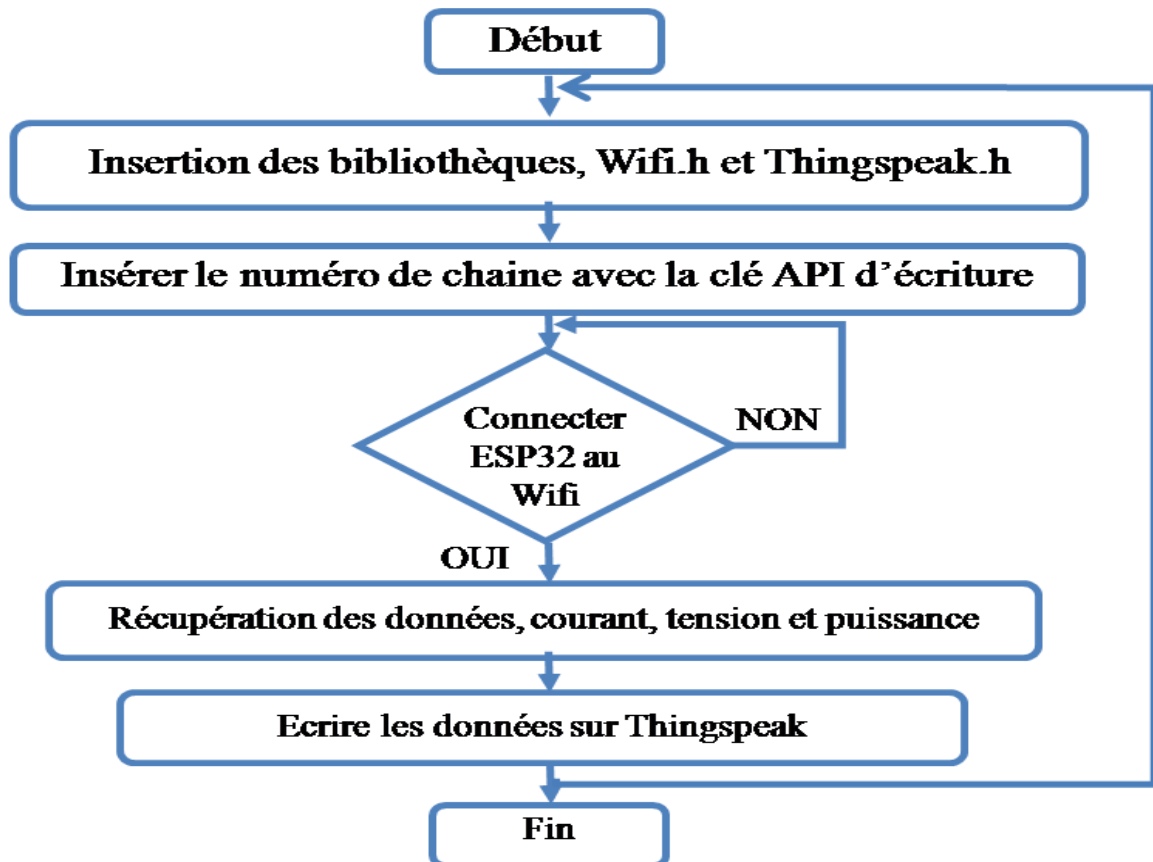


Figure III.14 : Organigramme qui explique la connexion entre ESP32 et Thingspeak.

Il existe plusieurs façons pour envoyer les données mesurées par les capteurs vers Thingspeak, dans notre réalisation on a utilisé une des méthodes avec la bibliothèque Thingspeak-Arduino. Cette bibliothèque permet de publier les données facilement dans des champs uniques avec une instruction qui accepte comme argument :

- Le numéro du canal ;
- Le numéro du champ (dans notre réalisation on a 3 champs) ;
- La valeur qu'on souhaite afficher (courant, tension, puissance) ;
- La clé d'API écriture.

VI. L'outil IFTTT (If This Then That)

Le principal intérêt de notre système IOT consiste à la gestion et surveillance de notre consommation journalière. Du coup on a décidé d'ajouter un système qui génère des notifications filtrés, ciblées et spécifiques de l'activité des canaux à partir des données de Thingspeak.

Le canal [1704130](#) sauvegarde le courant, tension et puissance. On reçoit une notification lorsque la puissance dépasse une certaine valeur.

VI.1 les étapes de l'élaboration de notification

- 1) Crée un compte IFTTT avec une adresse Gmail ;
- 2) Crée une nouvelle applet ;
- 3) Sélectionnez l'action d'entrée. Cliquez sur le mot ceci (This) ;



- 4) On sélectionne le service Webhooks, et on choisit « Recevoir une demande Web » ;
- 5) On sélectionne l'action résultante **That**, puis dans la barre de recherche on choisit Notification, ensuite **Envoyer une notification depuis l'application IFTTT** ;
- 6) Pour finir avec, on crée une action et on insère un nom pour notre événement.

Puis on passe vers le site de Thingspeak, L'application ThingHTTP nous permet de déclencher des requêtes HTTP prédéfinies avec une clé API et une requête GET depuis le Web ;

- 1) Choisissez **Applications > ThingHTTP** et sélectionnez **Nouveau ThingHTTP**.
- 2) Modifiez vos paramètres ThingHTTP.
 - **Nom** - Nommez votre Puissance.
 - **URL** - Entrez l'URL de la documentation Webhooks. L'URL de cet exemple se présente sous la forme `https://maker.ifttt.com/trigger/Consommation_Elevee/with/key/xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx`.
 - **Méthode** - Entrez **GET**.

- 3) Pour envoyer des valeurs personnalisées dans le message depuis IFTTT, on ajoute :
value1=YOUR_VALUE-les au champ **Corps**. Modifiez YOUR_VALUE la valeur ou le texte que vous souhaitez envoyer.
- 4) Enregistrez le ThingHTTP.

Afin de déclencher notre ThingHTTP, on doit créer un **React**. L'application React peut évaluer les données de notre canal Thingspeak et déclencher d'autres événements. Créez une instance de l'application React qui se déclenche lorsque une forte consommation apparaît Choisissez **Apps > React**, puis cliquez sur **New React**.

- **Nom** - Nommez votre React.
- **Fréquence de test** - Sélectionnez **Lors de l'insertion de données**.
- **Condition** - Sélectionner le canal de la puissance dans la liste **des canaux** (dans notre réalisation on a afficher le puissance dans le canal 3).
- **Champ** - Sélectionnez le champ 3, définissez l'exigence sur **est supérieure à** et définissez le niveau de puissance sur **2**.
- **Action** - Sélectionnez **ThingHTTP** et choisissez le nom du ThingHTTP que vous avez défini précédemment.
- **Options** : sélectionnez **Exécuter une action chaque fois que la condition est remplie**.

A ce moment-là, notre système de notification est créé, et à chaque fois que la puissance calculée dépasse la valeur donner une notification sera envoyer sur notre appareil.

VII. Conclusion

Dans ce chapitre, on a parlé principalement de la partie software de notre projet qui est la partie essentielle dans le système réalisé de gestion et de contrôle de consommation électrique. Nous avons commencé par le programme à implémenter le microcontrôleur ESP32, puis le développement de l'application Android sur MIT APP inventor et l'hébergement de données sur Thingspeak, et en fin le système de notification crée avec IFTTT.



Chapitre IV

Finalisation du projet et tests pratiques

I. Introduction

Après avoir bien détaillé dans les chapitres précédents la conception matérielle et logicielle de notre système en expliquant en détails les équipements utilisés et leurs câblage électronique, les programmes, et le développement de l'application Android, on passe dans ce dernier chapitre, à la finalisation et réalisation pratiques de notre système de mesure et gestion de l'énergie électrique. Des essais pratiques seront conduits dans ce chapitre dans l'objectif de monter le bon fonctionnement du système réalisé.

II. Réalisation pratique

La figure IV.1 illustre la réalisation pratique de notre système de mesure et gestion de l'énergie électrique IOT proposé.

Comme le montre la figure, le système est constitué d'une arrivée d'une source de tension 220V répartie vers 4 prise de tension à travers la carte a relais ce qui les rend commandables.

Les capteurs de courant et tension sont connectés à la source ce qui permet de mesurer la puissance consommée par l'ensemble des équipements branchés aux prises

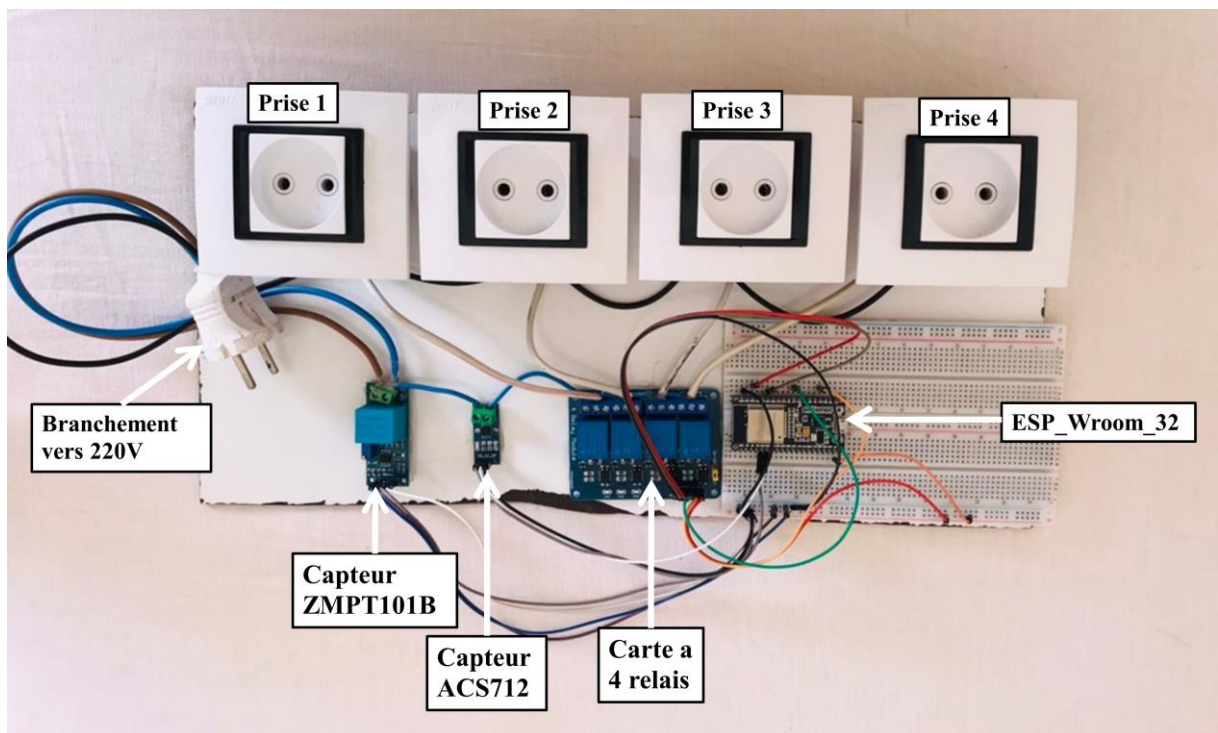


Figure IV.1 : Réalisation pratique de notre système IoT

Le microcontrôleur ESP32 est équipé d'une connexion wifi ce qui permet de réaliser les tâches de notre système IoT Intelligent à savoir :

- Mesure de courant et tension ;
- Calcule de la puissance consommée ;
- Envoyer les mesures vers l'application Android
- Recevoir les actions appliquer sur la carte a relais (ouverture / fermeture).

Notre système est doté de plusieurs services supplémentaires, tel que l'option de notification qui nous alerte à chaque fois qu'il y aura une surconsommation, et on reçoit ce message figurant ci-dessous.

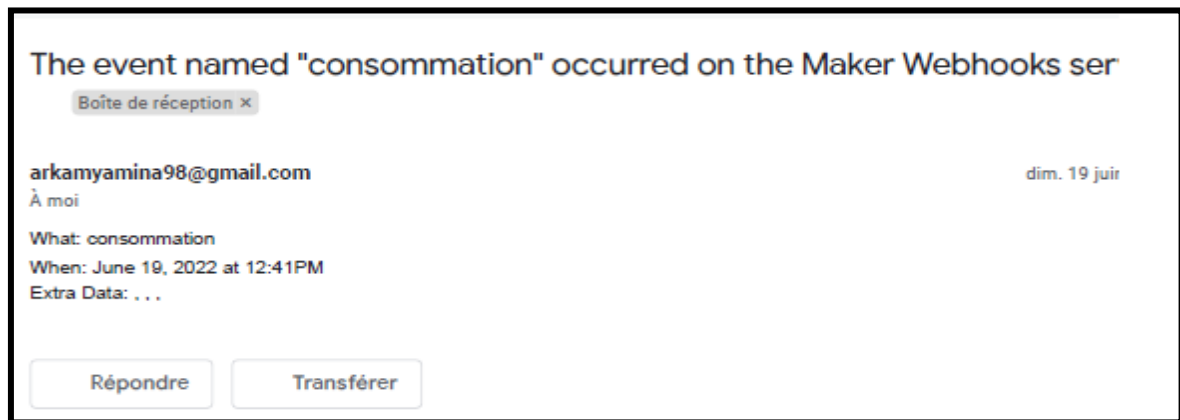


Figure IV.2 : le message de notification reçus

III. Les résultats pratiques

Afin de vérifier les résultats de mesure et de calcul obtenus par notre système IoT, nous avons effectué différentes expériences pratiques :

- Dans la première, nous avons mesuré d'abord les sorties des capteurs (valeurs de tensions lues par le microcontrôleur) et nous avons envoyé cette valeur vers Thingspeak afin de comparer la mesure par multimètre et la valeur numérique envoyée.
- Dans une deuxième expérience, nous avons mesuré le courant et la tension côté AC (à l'entrée de capteur) puis la comparée à celle lue convertie, calibrée et envoyée vers Thingspeak. Cette expérience a été conduite à vide (sans alimenter aucune charge).
- Dans une troisième expérience, nous refais la deuxième expérience mais cette fois, nous avons utilisé une lampe comme une charge.

1) Résultats de la première expérience

Les figures ci-contre montrent les valeurs de courant et de tension mesurées par le multimètre.

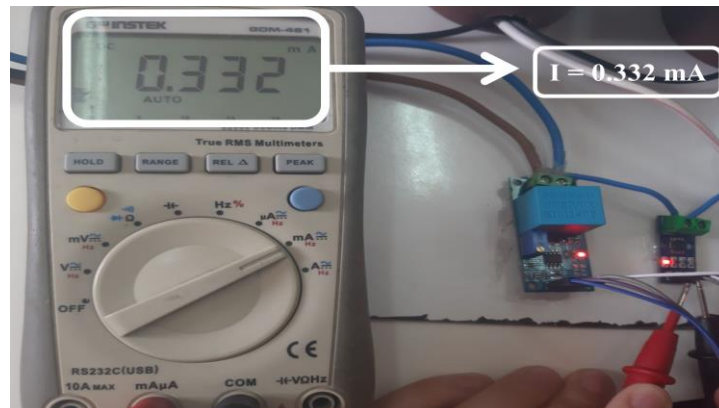


Figure III.3 : la valeur du courant mesuré par le multimètre

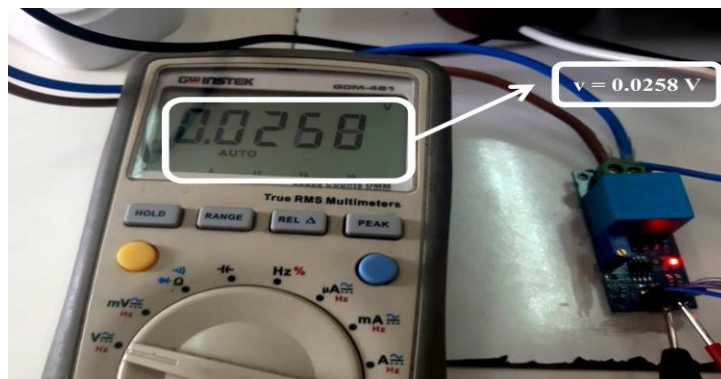


Figure III.4 : la valeur de tension mesurée par le multimètre.

On remarque que les deux mesures donnent des valeurs pratiquement nulles (0.33 mA, et 0.025V), ce qui est logique car on pas brancher la tension d'alimentation 220V.

Les figures ci-dessous représentent les valeurs du courant, tension affichée sur la base de données Thingspeak.

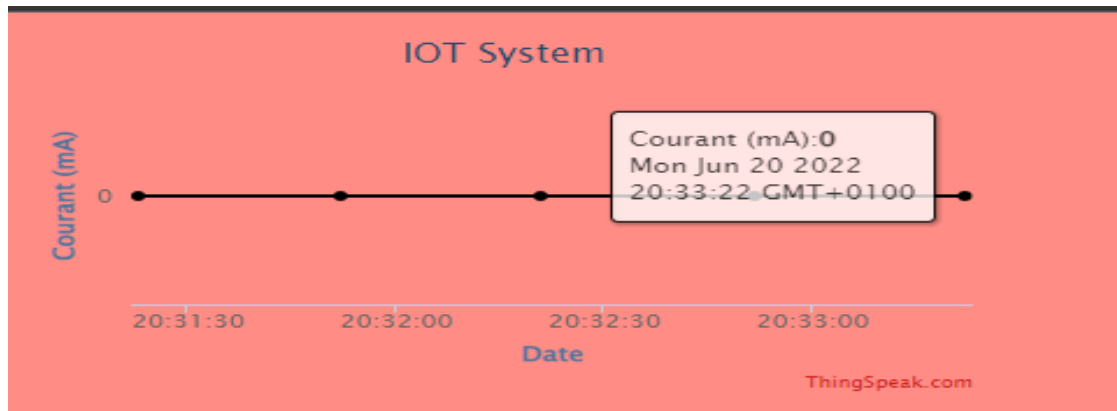


Figure IV.5 : mesure de courant dans Thingspeak

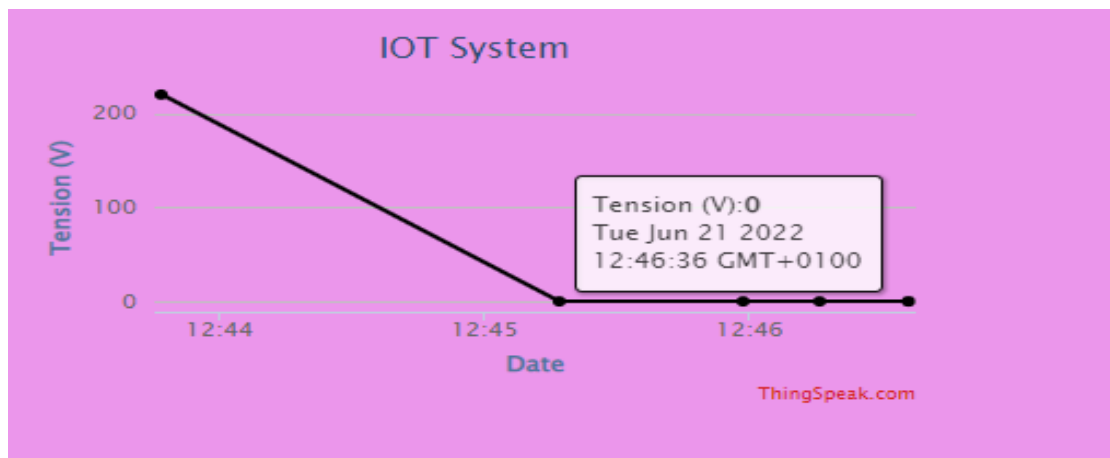


Figure IV.6 : mesure de Tension dans Thingspeak

En comparant les valeurs qu'on a mesurées avec le multimètre avec celle affichées sur la base de données Thingspeak, on trouve qu'ils sont presque identiques. On a remarqué seulement une petite différence dû à la qualité du matériel et leurs prises de mesure.

2) Résultats de la deuxième expérience

Dans cette partie nous avons alimenté par une tension de 220V mais à vide (sans utiliser une charge). Les figures IV.7 et IV.8 montrent les résultats de mesure par un multimètre.

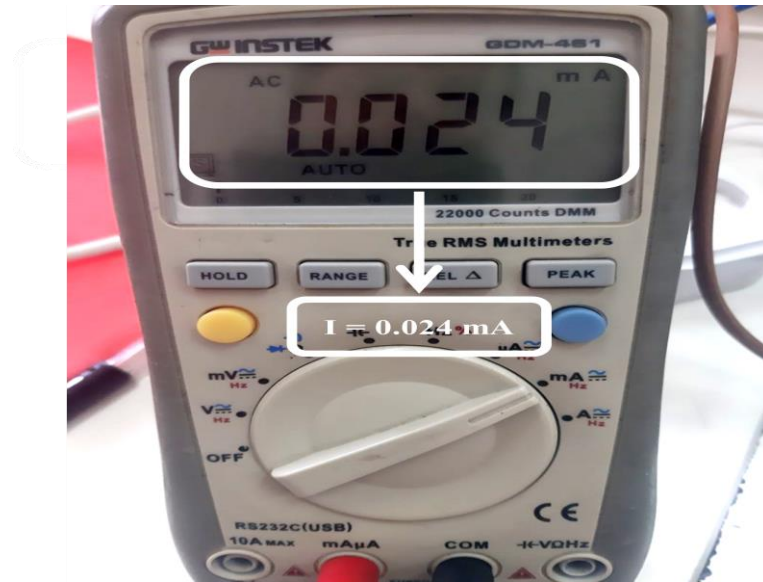


Figure III.7 : la valeur du courant mesuré sans aucune charge.

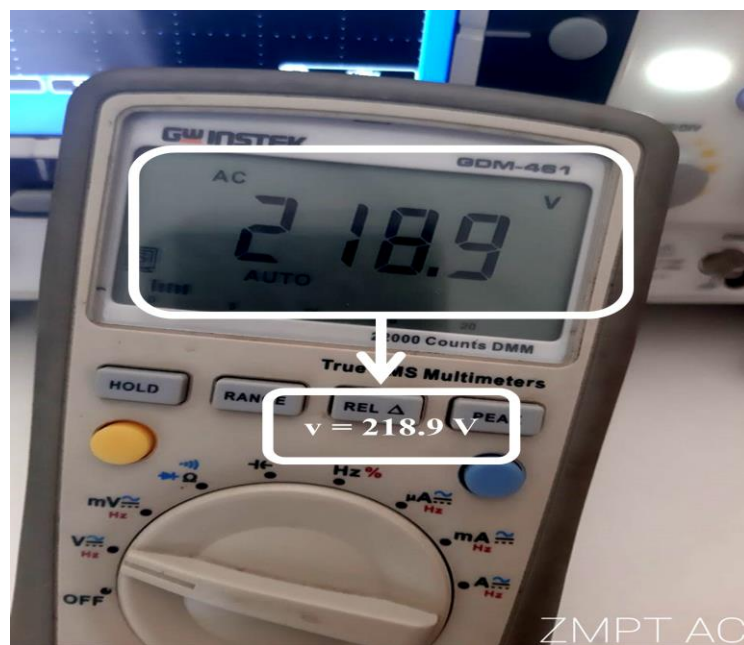


Figure III.8: la valeur de la tension mesurée sans aucune charge.

La mesure de tension par multimètre a donné une valeur de 218.9V alors que la mesure de courant a donné une valeur pratiquement nulle (0.024mA), ce qui revient à l'absence de la charge.

Les figures ci-dessous présentent les valeurs affichées sur la base de données Thingspeak.

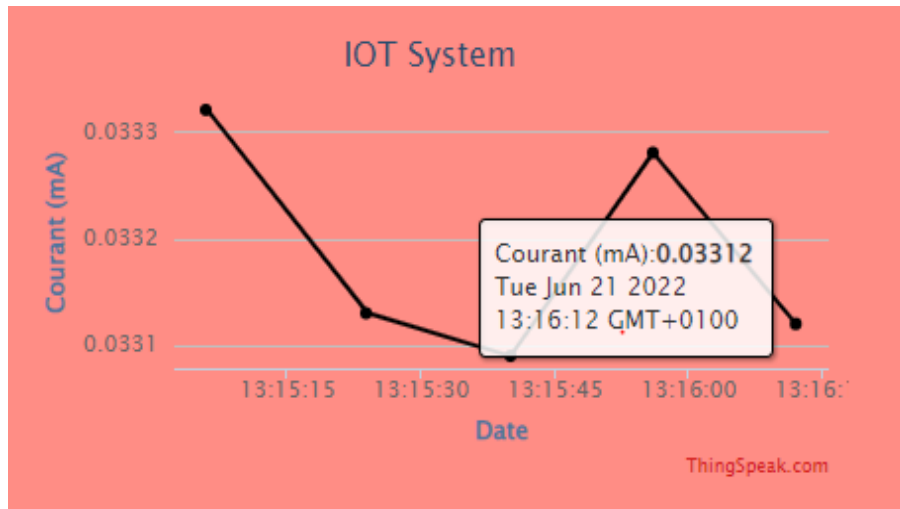


Figure IV.9: résultat du courant affiché sur Thingspeak sans aucune charge.

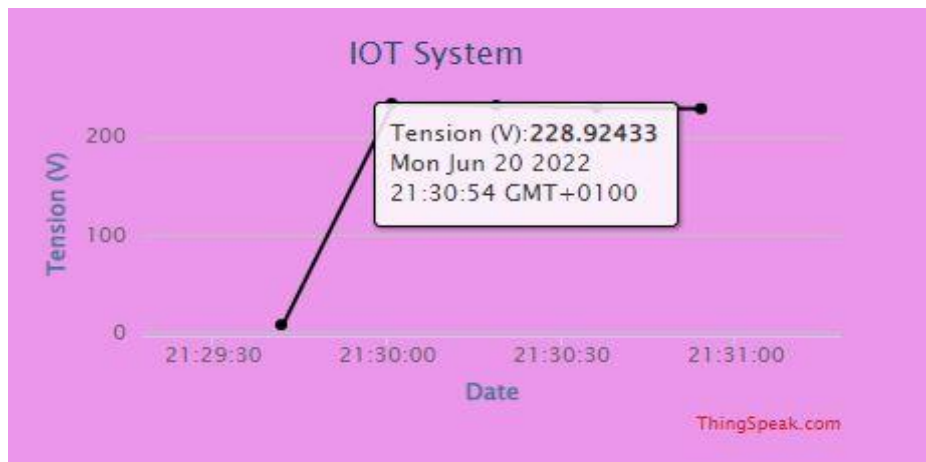


Figure IV.10 : résultat de la tension affichée sur Thingspeak sans aucune charge.

3) Résultats de la troisième expérience

Dans cette partie nous avons alimenté par une tension de 220V qui alimente une charge résistive. Cette charge résistive est une lampe de 7W 175V-260V/50HZ.

Les figures IV.11 et IV.12 montrent les résultats de mesure par un multimètre.

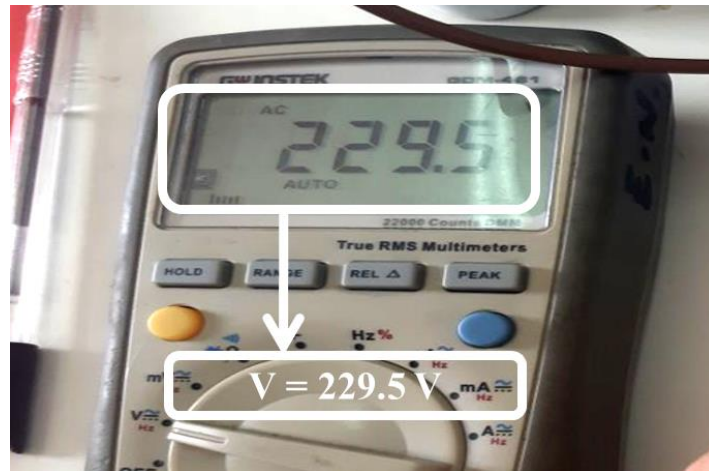


Figure III.11 : la valeur de la tension mesurée pour la charge

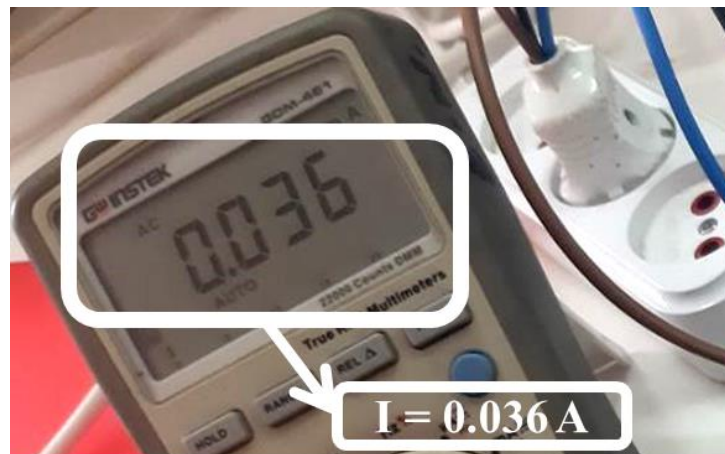


Figure III.12 : la valeur du courant mesurée pour la charge

Les figures IV.13, IV.14 et IV.15 représentent les valeurs mesurées (courant, tension), et la puissance calculée par le système et transférée sur Thingspeak.

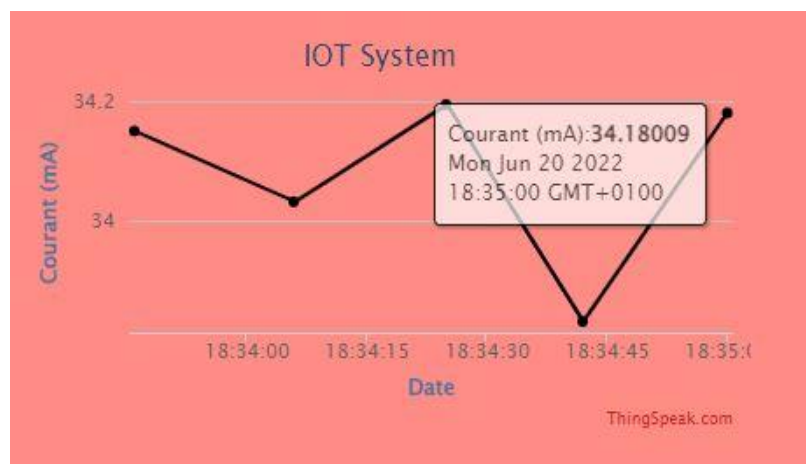


Figure IV.13: résultat de courant affiché sur Thingspeak avec une charge.

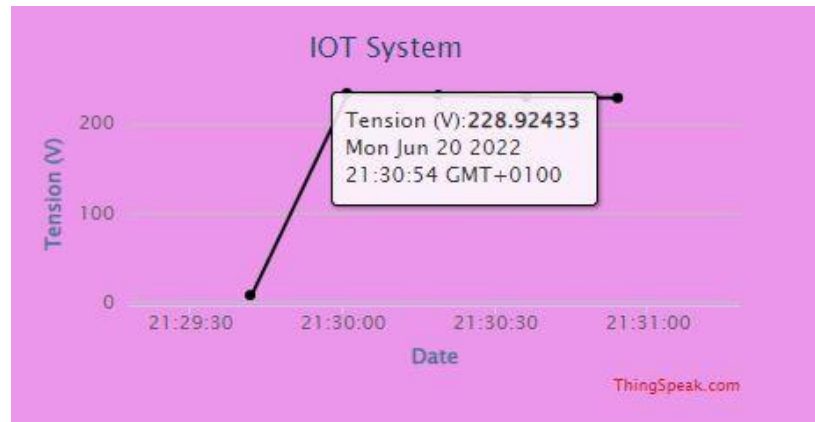


Figure IV.14 : résultat de Tension affichée sur Thingspeak avec une charge.

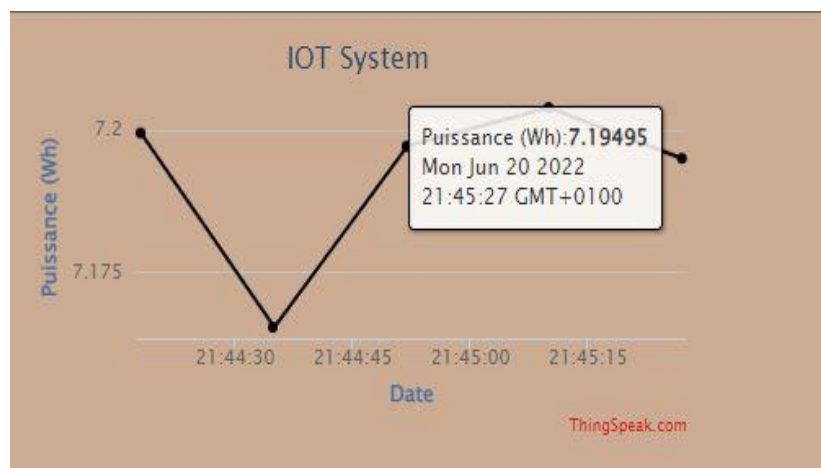


Figure IV.15 : résultat de la puissance consommée affichée sur Thingspeak avec une charge.

La figure ci-dessous représente les valeurs mesurées pour la lampe de 7W par notre système IOT dans l'application Android conçu par MIT APP inventor.

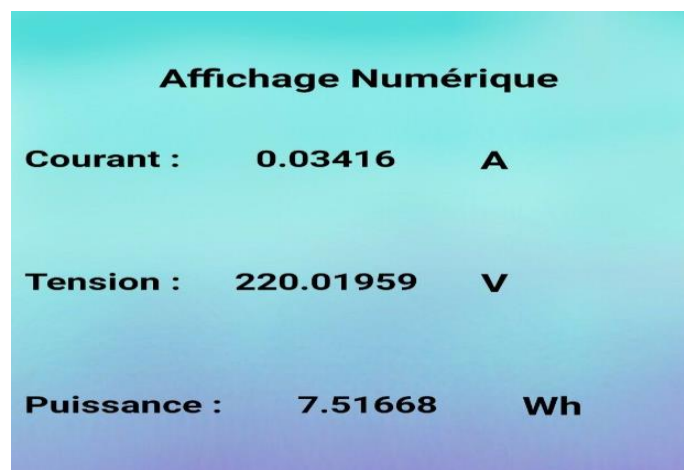


Figure III.16 : les résultats affichés sur l'application Android

IV. Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons arrivé à la réalisation de notre projet dans sa forme finale. Des essais pratiques ont été conduits sur notre système de mesure et de gestion de la consommation de l'énergie électrique.

Les résultats pratiques de ces essais ont montré la faisabilité et l'efficacité de notre système IoT de gestion de l'énergie malgré son cout réduit et sa constitution des éléments faciles à manipuler.

An abstract graphic of a circuit board pattern in teal and black lines, filling the top half of the page.

Conclusion

An abstract graphic of a circuit board pattern in teal and black lines, filling the bottom half of the page.

général

Avec le développement des technologies de communication et d'automatisation. L'émergence des smart Grids (réseaux intelligents de distribution de l'électricité) a donné un nouvel essor soit dans: le confort, la flexibilité d'utilisation de l'énergie électrique, et aussi dans la sécurité du réseau électrique.

A partir de ce concept, notre projet de fin d'étude à été proposé a fin d'aider le consommateur à contrôler et vérifier sa consommation électrique juste avec son Smartphone. On a fait une étude et une réalisation d'un système IOT de gestion et surveillance de la consommation électrique (compteur intelligent) a base d'un ESP_Wroom_32 et une application androidée crée avec MIT App inventor.

Dans le premier chapitre, on a motionné des notions générales sur notre projet, ou on a parlé principalement de la gestion de l'énergie et des mesures, et on a aussi cité les différents types de compteurs électriques. Le premier chapitre a été clôturé avec des exemples réels et théoriques de notre réalisation.

Dans le deuxième, une description structurelle du matérielle électronique à était faite, des descriptions et explication données pour chaque composant. A la fin, on a ajouté un circuit final de la réalisation.

Ce circuit électrique est contrôlé par un programme bien définie et une application androidée ceci est bien montré dans le chapitre trois, ou on a fait un ensemble des organigrammes expliquant le programme de l'Arduino IDE puis on s'est focalisé sur la conception de l'application ou on a expliquée l'interface puis on s'est concentré sur l'application qu'on a crée. On à expliquer chaque Screen est son rôle dans notre réalisation. Vers la fin, une démonstration pour l'interface de l'IFTTT a été ajoutée.

Dans le dernier chapitre, une discussion des résultats obtenue est faite. On a fait une démonstration pour notre application à fin de valider son bon fonctionnement et valider la cohérence de tout notre travail.

Les résultats obtenus sont très satisfaisants montrant la communication directe entre le consommateur et le compteur intelligent.

Pour ce qu'est des perspectives de continuations, plusieurs autres vois peuvent être envisagé a fin de développer mieux notre travail comme un développement pour des résultats meilleurs, le dimensionnement, les simulations et le design de l'application en vue du commercialiser ce dernier.

En conclusion, nous souhaitons que ce travail puisse servir comme base pour d'autres études bien profondes et développées.

An abstract graphic of a circuit board pattern in teal and black lines, with small circles representing solder points or components, set against a light gray background.

Références

A faint, light blue version of the abstract circuit board pattern seen in the top section, serving as a background for the lower half of the page.

Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Systèmes d'information sur la gestion de l'énergie, Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada, 2010, p.3 et ISO 50 001, 2011, p. vi.
- [2] Janitza electronics GmbH, Vor dem Polstück 1, D-35633 Lahnau, Germany
- [3] SYSTÈMES D'INFORMATION SUR LA GESTION DE L'ÉNERGIE Guide et outil de planification, p.8.10
- [4] B Mubdir. A Al-Hindawi. N Hadi, Design of Smart Home Energy Management System for Saving Energy, European Scientific Journal November 2016 edition vol.12.
- [5] « Bases pour l'introduction de systèmes de mesure intelligents auprès du consommateur final en Suisse », Office fédéral de l'énergie OFEN, p 6
- [6] F. Lazaar, A. Kermal, "Amélioration d'un prototype de compteur intelligent avec intégration de système de communication." Thèse de doctorat, Université de Tlemcen, 2019.
- [7] L. H. S. Gabbadi., "Etude des compteurs d'énergie électrique." Université Sidi Mohammed Ben Abdallah, Département de génie électrique, 2017.
- [8] Cheikh G. Daoud A, " Réalisation d'un compteur d'énergie électrique numérique". Mémoire de fin d'étude, Énergie et environnement, ESSA, 2020, Algérie.
- [9] A Djebiri. R Bakhaled, " Etude et réalisation d'un compteur d'énergie intelligent, mémoire de fin d'étude, électronique industriel, université de Ouargla, 2020, Algérie.
- [10] Mekhalfia T. Ghadbane T, « Etude et réalisation d'un système de commande à distance des installations électriques pour la domotique », mémoire soutenu en 2017/2018 à l'université de Mohamed Boudiaf à m'sila.
- [11] Yacine Haddab, introduction à l'internet des objets (IDO-IOT), l'université de Montpellier France.
- [12] <https://www.maitriser-mon-energie.fr/la-domotique-chauffage/>, consulter le 20/02/2022
- [13] Fiche technique du compteur communicant Linky
- [14] Tom Barbette, « implémentation d'un système de contrôle domotique », mémoire de fin d'étude, faculté des sciences appliquées, université de liège, 2013.
- [15] Duy Long Ha, un système avancé pour la gestion de l'énergie dans le bâtiment pour coordonner consommation avec production, soutenance de thèse en 2007.
- [16] Yahi Abderrazak, surveillance à distance de la consommation d'énergie via un système IOT, mémoire de fin d'étude, réseaux et télécommunication, soutenu en 2018 à l'université de Tlemcen

- [17] Jacob Beningo, Comment sélectionner et utiliser le module Wi-Fi/Bluetooth ESP32 approprié pour une application IoT industrielle, *Digi-Key Electronics*, 21/01/2020
- [18] Justin Darnet, tutoriel ESP32 présentation et installation, université de la Sorbonne attribuée par FabLab, 05/06/2020
- [19] esp32.net, consulté le 10/03/2022
- [20] <https://www.upesy.fr/blogs/tutorials/esp32-pinout-reference-gpio-pins-ultimate-guide>, consulté le 10/03/2022
- [21] B.Sara, B.Samah, Conception et réalisation d'un système de capteurs sans fil pour la maintenance prédictive des machines, mémoire de fin d'étude, Electromécanique, 2020, Algérie
- [22] A. Meflah, H. Boussada, Réalisation d'une carte d'acquisition pour le diagnostic des défauts dans la machine asynchrone, Electrotechnique industrielle, université de Mostaganem, 2018, Algérie
- [23] Allegro Micro Systems "ACS712 Datasheet", Worcester, Massachusetts
- [24] ZMPT101B Datasheet