

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté de Technologie

Département Ingénierie des Systèmes Electriques

Mémoire de Master

Présenté par :

KHODJA Hacene

KORICHI Fares

Filière : Électronique

Spécialité : Électronique des Systèmes Embarqués

Conception et réalisation d'un compteur d'énergie intelligent

Soutenu le 03/07/2024 Devant le jury :

| | | | | |
|--------|---------|----|------|------------|
| GANNA | Massine | MA | UMBB | Président |
| DAFEUR | Hakim | MA | UMBB | Examineur |
| TRIKI | Yacine | MA | UMBB | Rapporteur |

Année Universitaire : 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Bonjour à tous,

Avant tout, on remercie **ALLAH** le Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail dans des meilleures conditions.

Je voudrais remercier en premier lieu notre encadreur **Yacine TRIKI**. Ses qualités humaines ainsi que sa confiance en moi m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je tiens également à remercier les membres du jury **GANA Massine** et **DAFEUR Hakim** d'avoir accepté de juger ce travail. C'est un honneur pour moi que d'avoir l'occasion de discuter les résultats de ma recherche avec vous.

Je remercie également ma famille, ici présente, mes amis

Merci encore à tous...

Dédicaces

Je dédie ce projet:

A ma chère mère, A mon cher père, Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères Et ma petite sœur A ma chère sœur et son mari et sa petite fille, Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A ma chère sirin Qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles.

A mon chère camarade Fares KORICHI Pour son entente et son sympathie.

A mes chers amis Mohammed ,Nedjemeddine, walid, souhil, Housseem, Pour leurs aides et supports tous le temps.

A toute ma famille,

A tous mes professeurs à travers toutes les étapes de mes études.

Hacene

Dédicaces

A mes chers parents,

Ils n'ont ménagé aucun effort pour me soutenir et m'encourager tout au long de mes années d'études. À vous, qui avez toujours été ma source de force et d'espoir, je dédie cet humble travail, comme expression de ma profonde gratitude et de mon amour.

À mes frères et aux membres de ma famille

Que j'ai trouvé à mes côtés face aux difficultés et à tous les défis.

À mes amis et collègues,

Qui a partagé mes joies et mes peines et m'a apporté soutien et assistance dans les moments difficiles.

À mes distingués professeurs d'université,

Qui n'ont pas lésiné sur moi avec leurs connaissances et leurs conseils, et ont été un exemple à suivre en termes de dévouement et de sincérité au travail.

À tous ceux qui ont joué un rôle dans la réalisation de ce travail,

À mes professeurs du primaire, du collège et du lycée,

Ceux qui ont fait de moi cette personne et qui m'ont appris à aimer le travail, à aimer le pays et à respecter les principes

À mon ami et collègue dans ce travail, KHODJA Hacem

À mon ami, mon compagnon et mon frère que ma mère n'a pas mis au monde,

AKACHAT Ali Ayoub .

À tous ceux qui m'ont soutenu et contribué à cette réussite

Je vous présente le fruit de mes efforts et de mes années d'efforts, en espérant qu'il vous plaira et qu'il soit à la hauteur de vos attentes.

Fares

ملخص

تستكشف هذه الأطروحة إنشاء عداد طاقة ذكي قائم على إنترنت الأشياء لتحسين قياس استهلاك الطاقة في المنازل والصناعات. تعاني العدادات التقليدية، سواء كانت ميكانيكية أو إلكترونية، من قيود، خاصة غياب المتابعة في الوقت الفعلي. لمعالجة هذه العيوب، توفر العدادات الذكية قياسات دقيقة وتنقل البيانات فوراً إلى الموردين، مما يسهل إدارة الشبكة بشكل استباقي والفوترة بشكل أكثر دقة. مع صعود إنترنت الأشياء، أصبحت هذه العدادات الذكية مكونات أساسية في إدارة الطاقة. يركز هذا المشروع على تصميم عداد طاقة يستخدم الجهاز مستشعرات لقياس الجهد والتيار، ويعرض بيانات الطاقة Blynk. وتطبيق الجوال ESP32 ذكي باستخدام لوحة في الوقت الفعلي من خلال واجهة سهلة الاستخدام.

الكلمات المفتاحية:

عداد طاقة ذكي، لوحة ESP32، تطبيق الجوال Blynk، ACS712 مستشعر التيار، ZMPT101B مستشعر الجهد.

Résumé

Ce mémoire explore la création d'un compteur d'énergie intelligent basé sur l'Internet des objets pour optimiser la mesure de la consommation d'énergie dans les habitations et les industries. Les compteurs traditionnels, qu'ils soient électromécaniques ou électroniques, présentent des limitations, notamment l'absence de suivi en temps réel. Pour remédier à ces défauts, les compteurs intelligents fournissent des mesures précises et transmettent instantanément les données aux fournisseurs, facilitant une gestion proactive du réseau et une facturation plus précise. Avec l'essor de l'IoT, ces compteurs intelligents sont devenus des éléments essentiels dans la gestion de l'énergie. Ce projet met l'accent sur la conception d'un compteur d'énergie intelligent utilisant une carte ESP32 et l'application mobile Blynk. Le dispositif utilise des capteurs pour mesurer la tension et le courant, et affiche en temps réel les données énergétiques via une interface conviviale.

Mots clés :

Compteur d'énergie intelligent, carte ESP32, application mobile Blynk, capteur de courant ACS712, capteur de courant ZMPT101B.

Abstract

This thesis explores the creation of a smart energy meter based on the Internet of Things (IoT) to optimize the measurement of energy consumption in homes and industries. Traditional meters, whether electromechanical or electronic, have limitations, particularly the lack of real-time monitoring. To address these shortcomings, smart meters provide precise measurements and instantly transmit data to suppliers, facilitating proactive network management and more accurate billing. With the rise of IoT, these smart meters have become essential components in energy management. This project focuses on the design of a smart energy meter using an ESP32 board and the Blynk mobile application. The device employs sensors to measure voltage and current, displaying energy data in real time via a user-friendly interface.

Keywords:

Smart energy meter, ESP32 board, Blynk mobile application, ACS712 current sensor, ZMPT101B voltage sensor.

SOMMAIRE

| | |
|---|------------------|
| <i>Remerciements</i> | <i>III</i> |
| <i>Dédicaces</i> | <i>IV</i> |
| <i>Dédicaces</i> | <i>V</i> |
| <i>ملخص</i> | <i>VI</i> |
| <i>Résumé</i> | <i>VI</i> |
| <i>Abstract</i> | <i>VI</i> |
| <i>Liste des Abréviations</i> | <i>IX</i> |
| <i>Grandeurs Électriques</i> | <i>X</i> |
| <i>Liste des figures</i> | <i>XI</i> |
| <i>Liste des tableaux</i> | <i>XIII</i> |
| <i>INTRODUCTION GÉNÉRALE</i> | <i>1</i> |
| Introduction Générale..... | <i>2</i> |
| <i>CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ SUR LES COMPTEURS ÉLECTRIQUE</i> | <i>2</i> |
| I.1 Introduction | <i>4</i> |
| I.2 Les compteurs d'énergie électriques | <i>5</i> |
| I.2.1 Compteur Électromécanique | <i>5</i> |
| I.2.2 Compteur électronique ou numérique | <i>6</i> |
| I.2.3 Compteur intelligent | <i>8</i> |
| I.3 L'Algérie et les compteurs intelligents | <i>21</i> |
| I.4 Conclusion..... | <i>22</i> |
| <i>CHAPITRE II : CONCEPTION MATÉRIELLE ET LOGICIELLE DU COMPTEUR INTELLIGENT</i> | <i>23</i> |
| II.1 Introduction | <i>24</i> |
| II.2 L'internet des objets (IoT) | <i>25</i> |
| II.3 Conception matérielle et composants du compteur d'énergie | <i>26</i> |
| II.3.1 Généralité sur la carte ESP32 | <i>26</i> |
| II.3.2 Description des capteurs utilisés..... | <i>31</i> |
| II.3.3 Module relais 5V à 2 canaux | <i>36</i> |
| II.3.4 L'afficheur LCD 16x2 | <i>37</i> |
| II.4 Conception logicielle du compteur d'énergie | <i>39</i> |
| II.4.1 L'environnement de développement intégré (IDE) Arduino | <i>39</i> |
| II.4.2 Arduino IDE et l'ESP32 WROOM32 | <i>40</i> |

| | | |
|---|--|-----------|
| II.4.3 | Application Blynk..... | 44 |
| II.5 | Conclusion..... | 46 |
| CHAPITRE III : RÉALISATION PRATIQUE ET TEST DU COMPTEUR INTELLIGENT..... | | 47 |
| III.1 | Introduction | 48 |
| III.2 | Schéma bloc du compteur intelligent d'énergie réalisé..... | 48 |
| III.3 | Exploitation du capteur de tension ZMPT101B..... | 50 |
| III.3.1 | Programmation du capteur de tension ZMPT101B avec l'ESP32 | 50 |
| III.3.2 | Test pratique du bon fonctionnement du capteur de tension | 51 |
| III.4 | Exploitation du capteur de courant ACS712 | 52 |
| III.4.1 | Programmation du capteur de courant ACS712 avec l'ESP32 | 53 |
| III.4.2 | Test pratique du bon fonctionnement du capteur de courant..... | 53 |
| III.5 | Intégration pratique des différents éléments du compteur d'énergie-intelligent et calcul des paramètres..... | 55 |
| III.5.1 | Calcul des paramètres du compteur d'énergie | 56 |
| III.5.2 | Méthode de calcul des tarifs de l'électricité par Sonelgaz..... | 56 |
| III.5.3 | Afficher les données sur l'écran LCD | 58 |
| III.6 | L'application Blynk..... | 58 |
| III.6.1 | Configuration de l'application Blynk..... | 58 |
| III.6.2 | Test pratique de l'application Blynk | 60 |
| III.7 | Conclusion..... | 61 |
| CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES..... | | 62 |
| | Conclusion Générale et perspectives..... | 63 |
| | Perspectives | 64 |
| | <i>Bibliographie</i> | 65 |
| | <i>Annexe</i> | 67 |

Liste des Abréviations

| | |
|-------------|---|
| AC | Alternating Current |
| ADC | Analog-to-Digital Converter |
| APK | Android Application Package |
| APS | Advanced Photo System |
| BLE | Bluetooth Low Energy |
| CA | Courant Alternatif |
| CPL | Courant Porteur en Ligne |
| DAC | Digital-to-Analog Converter |
| DC | Direct current |
| E/S | Entrée/Sortie |
| GND | Ground |
| GPIO | General-Purpose Input/Output |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GSM | Global System for Mobile Communications |
| I2C | Inter-Integrated Circuit |
| I2S | Inter-IC Sound |
| IOS | IPhone Operating System |
| IOT | Internet Of Things |
| LCD | Liquid Crystal Display |
| LED | Light-Emitting Diode |
| PWM | Pulse-Width Modulation |
| RF | Radio Frequency |
| RFID | Radio Frequency Identification |
| SD | Secure Digital |
| SDA | Serial Data |
| SDIO | Secure Digital Input Output |
| SMS | Short Message Service |
| SPI | Serial Peripheral Interface |
| UART | Universal Asynchronous Receiver-transmitter |
| USB | Universal Serial Bus |

Grandeurs Électriques

E : Énergie électrique (Kwh)

FP : Facteur de Puissance

I : Courant (A)

P : Puissance Active (W)

Q : Puissance Réactive (VAR)

S : Puissance Apparente (VA)

T : Temps (s)

V : Tension (V)

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les compteurs électriques

| | |
|---|----|
| FIGURE I.1 : COMPTEUR ELECTROMECHANIQUE [17] | 6 |
| FIGURE I.2 : COMPTEUR ELECTRONIQUE | 7 |
| FIGURE I.3 : COMPTEUR INTELLIGENT [4] | 11 |
| FIGURE I.4 : STRUCTURE D'UN COMPTEUR INTELLIGENT | 11 |
| FIGURE I.5 : LE TRIANGLE DE PUISSANCE | 19 |
| FIGURE I.6 : DEPHASAGE ENTRE TENSION ET COURANT [17]..... | 20 |

Chapitre II : Conception matérielle et logicielle pour un compteur intelligent

| | |
|--|----|
| FIGURE II.1 : APPLICATION DE L'INTERNET DES OBJETS (IOT) [18] | 26 |
| FIGURE II.2 : LE LOGO DE ESPRESSIF | 27 |
| FIGURE II.3 : IMAGE DU MODULE ESP32 | 28 |
| FIGURE II.4 : IMAGE DE L'ESP32 WROOM-32..... | 30 |
| FIGURE II.5 : LES BROCHES LA CARTE ESP32 WROOM32 | 31 |
| FIGURE II.6 : CAPTEUR DE COURANT ACS712 | 32 |
| FIGURE II.7 : PRINCIPE DE L'EFFET HALL | 34 |
| FIGURE II.8 : BROCHAGE DU CAPTEUR DE COURANT ACS712 [29]..... | 34 |
| FIGURE II.9 : PHOTOGRAPHIE DU CAPTEUR DE TENSION, LE ZMPT101B [27] | 35 |
| FIGURE II.10 : SCHEMA DE CABLAGE ET CIRCUIT INTERNE DU CAPTEUR DE TENSION ZMPT101B | 35 |
| FIGURE II.11 : MODULE RELAIS 5V A 2 CANAUX | 36 |
| FIGURE II.12 : CIRCUIT ELECTRIQUE D'UN RELAIS 5V | 37 |
| FIGURE II.13 : ÉCRAN LCD 16×2 [29]..... | 38 |
| FIGURE II.14 : BROCHAGE D'UN ECRAN LCD | 38 |
| FIGURE II.15 : INTERFACE PRINCIPALE DE L'IDE ARDUINO..... | 40 |
| FIGURE II.16 : EXEMPLE D'APPLICATION BLYNK..... | 44 |

Chapitre III : Réalisation pratique et test du compteur intelligent

| | |
|--|----|
| FIGURE III.1 : SCHEMA BLOC DU COMPTEUR INTELLIGENT D'ENERGIE..... | 48 |
| FIGURE III.2 : LE CIRCUIT GLOBAL DU COMPTEUR INTELLIGENT D'ENERGIE SOUS FRITZING..... | 50 |
| FIGURE III.3 : SCHEMA DE CABLAGE DU CAPTEUR DE TENSION REALISE SOUS FRITZING | 50 |
| FIGURE III.4 : TEST PRATIQUE DU CAPTEUR DE TENSION : (A) RESULTAT OBTENU SUR VOLTMETRE ; ET (B) RESULTAT OBTENU SUR LE MONITEUR SERIE | 52 |
| FIGURE III.5 : SCHEMA DE CABLAGE DU CAPTEUR DE COURANT REALISE SOUS FRITZING..... | 52 |
| FIGURE III.6 : TEST PRATIQUE DU CAPTEUR DE COURANT (COURANT 1.55 A) : (A) RESULTAT OBTENU SUR AMPEREMETRE ; ET (B) RESULTAT OBTENU SUR LE MONITEUR SERIE | 52 |

| | |
|---|----|
| FIGURE III.7 : TEST PRATIQUE DU CAPTEUR DE COURANT (COURANT 2.5 A): (A) RESULTAT OBTENU SUR AMPEREMETRE ; ET (B) RESULTAT OBTENU SUR LE MONITEUR SERIE | |
| FIGURE III.8 : PHOTOGRAPHIE DU COMPTEUR D'ENERGIE REALISE : (A) VUE DE FACE ET (B) VUE DE DOS | 55 |
| FIGURE III.9 : FONCTION 'CALCULATETARIF' | 57 |
| FIGURE III.10 : AFFICHAGE DES DONNES SUR ECRAN LCD | 58 |
| FIGURE III.11 : LE RESULTAT DU TRANSFERT DES DONNEES VERS LE SMARTPHONE AVEC L'APPLICATION BLYNK | 60 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| TABLEAU II.1 : CARACTERISTIQUES DE LA CARTE ESP WROOM32 | 30 |
|---|----|

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale

Un compteur électrique est un dispositif essentiel pour quantifier la consommation d'énergie dans divers environnements, tels que les habitations et les industries. Traditionnellement, les compteurs électromécaniques et électroniques présentaient des limitations, notamment l'absence de suivi en temps réel de la consommation. Pour surmonter ces défis, les compteurs intelligents ont été développés, permettant une mesure précise de la consommation énergétique et la transmission instantanée des données aux fournisseurs. Cela facilite une gestion proactive du réseau et une facturation plus précise, tout en offrant aux consommateurs des outils pour surveiller et optimiser leur consommation.

Avec l'essor de l'Internet des objets (IoT), ces compteurs intelligents se sont intégrés dans un écosystème plus large de gestion de l'énergie. Ce projet se concentre sur la conception d'un compteur d'énergie intelligent basé sur l'IoT, utilisant une carte ESP32 WROOM32 et l'application mobile Blynk. Le dispositif utilise des capteurs pour mesurer la tension et le courant, tout en fournissant un affichage en temps réel des données énergétiques via une interface conviviale.

Le présent mémoire explore en détail la conception matérielle et logicielle du compteur, en décrivant les composants utilisés, leur câblage, et la programmation nécessaire pour leur fonctionnement. Cette approche intégrée offre une solution complète et efficace pour la gestion de l'énergie, permettant un suivi précis de la consommation et un contrôle accru des ressources énergétiques. Ce manuscrit est divisé en trois chapitres.

Le premier chapitre présente les différents types de compteurs d'énergie et leur principe de fonctionnement. Nous y abordons les premiers capteurs électromécaniques, suivis des compteurs électroniques, pour finir avec les compteurs intelligents. Dans ce chapitre, l'accent est mis sur le compteur intelligent, sa constitution, son principe de fonctionnement ainsi que ses avantages.

Le deuxième chapitre est consacré à la conception matérielle et logicielle du compteur intelligent. Nous y présentons les composants ainsi que les outils utilisés pour la conception du compteur d'énergie basé sur l'Internet des objets (IoT). Ce compteur est principalement

Introduction Générale

construit autour d'une carte ESP32 WROOM32 et de l'application mobile Blynk. En outre, nous décrivons les deux principaux capteurs utilisés ainsi que leur principe de fonctionnement et leur rôle dans le projet réalisé : le capteur de courant ACS712 et le capteur de tension ZMPT101B.

Enfin, le troisième chapitre traite de la conception pratique et de la mise en œuvre d'un compteur d'énergie intelligent. Ce chapitre aborde la réalisation et l'intégration du compteur intelligent d'énergie, en se concentrant sur les composants utilisés, leur câblage, et la programmation nécessaire pour leur fonctionnement. Le compteur, basé sur une carte ESP32, utilise des capteurs pour mesurer la tension et le courant, et une application mobile Blynk pour afficher les données en temps réel, telles que la tension, le courant de charge, l'énergie consommée et la tarification. Nous décrivons également les tests pratiques effectués pour valider le bon fonctionnement du système.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ SUR LES COMPTEURS ÉLECTRIQUE

I.1 Introduction

Un compteur électrique est un dispositif électrotechnique crucial pour quantifier la quantité d'énergie électrique consommée en un endroit donné, que ce soit dans une habitation, une industrie, ou tout autre lieu. Son utilisation est essentielle pour les fournisseurs d'électricité, qui s'en servent pour établir la facturation en fonction de la consommation d'énergie du client.

Au fil des années, une évolution substantielle a marqué le développement de ces compteurs. La nécessité de concevoir des compteurs capables de fournir une multitude d'informations sur la consommation d'énergie s'est imposée, facilitant ainsi une gestion optimale du réseau de distribution. Les anciens types de compteurs, comme les compteurs électromécaniques, et même ceux de la deuxième génération de compteurs électroniques, présentaient des limitations notables. Ces dispositifs ne permettaient pas aux gestionnaires des réseaux électriques de suivre en temps réel les variations de la consommation sur les réseaux de distribution, rendant difficile une gestion efficace et réactive.

Pour remédier à ces lacunes, les compteurs dits "intelligents" ont été introduits. Ces nouveaux dispositifs remplissent deux fonctions cruciales : ils mesurent précisément des paramètres tels que la tension, le courant, ainsi que les différentes formes de puissances (active et réactive). De plus, ils peuvent transmettre des données en temps réel aux fournisseurs d'électricité, permettant une surveillance continue et une gestion proactive du réseau.

L'introduction des compteurs intelligents présente plusieurs avantages. Les consommateurs peuvent surveiller leur consommation énergétique, ce qui les aide à identifier des opportunités d'économie. Les fournisseurs peuvent détecter rapidement des anomalies ou des pertes dans le réseau, améliorant ainsi l'efficacité et la fiabilité de la distribution électrique. De plus, une facturation plus précise basée sur la consommation réelle permet des tarifs plus flexibles et adaptés aux habitudes de consommation.

I.2 Les compteurs d'énergie électriques

Un compteur d'énergie électrique, également appelé compteur d'électricité ou simplement compteur électrique, est un dispositif essentiel utilisé pour mesurer la quantité d'énergie électrique consommée dans un lieu donné, qu'il s'agisse d'une habitation, d'une industrie, ou de tout autre type d'établissement. Ces compteurs sont indispensables pour les fournisseurs d'électricité, car ils leur permettent de calculer et de facturer avec précision la consommation d'énergie de chaque client.

À l'origine, les compteurs d'énergie électrique étaient de conception électromécanique. Ces appareils fonctionnaient sur la base de mécanismes physiques pour mesurer la consommation électrique, souvent en utilisant un disque rotatif en métal dont la vitesse de rotation était proportionnelle à la consommation d'énergie. Bien que robustes et fiables, ces compteurs présentaient certaines limitations, notamment en termes de précision et de capacité à fournir des données en temps réel.

Avec l'avancée des technologies, les anciens compteurs électromécaniques ont progressivement été remplacés par des modèles électroniques. Ces nouveaux compteurs utilisent des circuits électroniques pour mesurer l'énergie consommée, offrant ainsi une plus grande précision et une fiabilité accrue. Cependant, la véritable révolution dans le domaine des compteurs électriques est venue avec l'introduction des compteurs communicants, souvent appelés « compteurs intelligents » [1].

I.2.1 Compteur Électromécanique

Le compteur électromécanique se distingue par sa structure simple, nécessitant peu de composants. Son fonctionnement repose sur la rotation d'un disque, généralement en aluminium, qui permet de mesurer l'énergie consommée en enregistrant le nombre de rotations. Ce disque est monté sur un axe et est entraîné par les courants électriques induits par la consommation. Le principe de base repose sur la création d'un champ magnétique proportionnel à l'énergie consommée, qui fait tourner le disque [2]. La figure 1 montre l'exemple d'un compteur électromécanique.

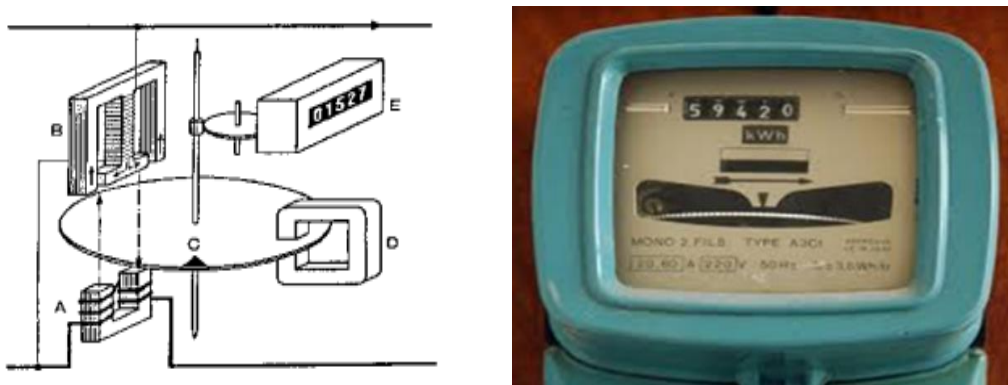


FIGURE I.1 : COMPTEUR ELECTROMECHANIQUE [17]

Le dispositif d'affichage du compteur électromécanique est actionné par un ensemble d'engrenages connectés à l'axe du disque. À chaque rotation, les engrenages avancent les chiffres sur l'affichage, indiquant ainsi l'énergie consommée en kilowatt-heures (kWh). Ce mécanisme d'engrenage est conçu pour convertir les rotations du disque en une lecture numérique facilement compréhensible par l'utilisateur.

Cependant, ce type de compteur présente certaines limitations. Il fournit peu d'informations détaillées sur la consommation énergétique, se limitant principalement à l'indication du total de l'énergie consommée en kWh. De plus, il nécessite la présence d'un agent pour relever manuellement les informations et émettre la facture, car il ne comporte pas d'unité de communication intégrée. Cette méthode de relevé manuel est non seulement laborieuse, mais elle peut également être sujette à des erreurs humaines.

I.2.2 Compteur électronique ou numérique

Le compteur d'énergie électrique numérique, ou compteur électronique, représente la deuxième génération de compteurs après les modèles électromécaniques. Utilisant un système électronique pour mesurer la consommation d'énergie, il affiche les informations sur un écran LCD, offrant une lecture facile et précise. Ces compteurs sont plus sensibles aux surintensités, surtensions, et phénomènes tels que la foudre, nécessitant parfois des dispositifs de protection supplémentaires [3].

Les compteurs électroniques mesurent divers paramètres électriques et sont souvent équipés de capacités de communication intégrées, permettant une transmission des données en

Chapitre 01 : Généralité sur les compteurs électrique

temps réel aux fournisseurs d'électricité. Cela facilite une gestion plus efficace du réseau et une facturation précise basée sur la consommation réelle. En somme, les compteurs électroniques offrent une précision améliorée et une meilleure intégration avec les systèmes modernes de gestion de l'énergie.



FIGURE I.2 : COMPTEUR ELECTRONIQUE

Le principe de fonctionnement des compteurs électroniques repose sur la mesure précise de la tension et du courant à l'aide de capteurs spécialisés. Les données recueillies par ces capteurs sont ensuite transmises à une unité de traitement, généralement un microcontrôleur, qui calcule les paramètres de consommation tels que la puissance et l'énergie.

Comme pour les compteurs électromécaniques, ce type de compteur électronique ne dispose pas de système de communication intégré. Par conséquent, il nécessite encore l'intervention d'un agent pour relever manuellement les informations de consommation. Malgré l'amélioration de la précision et des capacités de mesure par rapport aux compteurs électromécaniques, l'absence de communication automatique limite son efficacité dans la gestion moderne de l'énergie.

I.2.3 Compteur intelligent

I.2.3.1 Définition d'un compteur intelligent

Un compteur intelligent, aussi appelé "smart meter", est un compteur électrique de nouvelle génération offrant des fonctionnalités avancées par rapport aux compteurs traditionnels. Ce dispositif numérique mesure et enregistre la consommation d'électricité d'une entreprise, d'une maison ou d'une chaîne de production en temps réel. Il peut communiquer ces données à distance au fournisseur d'électricité et au client, permettant ainsi une gestion plus efficace et une facturation précise basée sur la consommation réelle. Les compteurs intelligents facilitent également la détection rapide des anomalies et des pertes sur le réseau, contribuant à une distribution électrique plus fiable et optimisée [4].

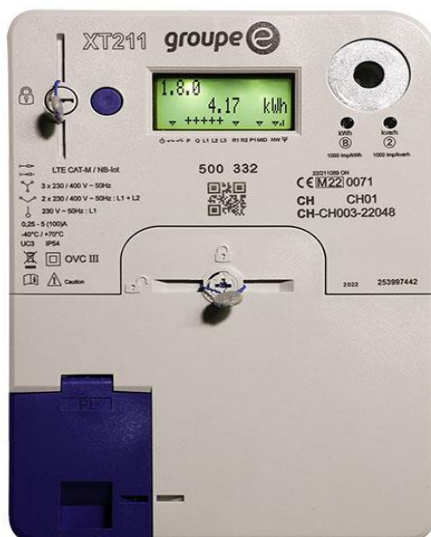


FIGURE I.3 : COMPTEUR INTELLIGENT [4]

I.2.3.2 Principe de fonctionnement d'un compteur intelligent

Le compteur intelligent, une avancée technologique majeure, permet de mesurer, enregistrer et communiquer la consommation d'électricité en temps réel. Grâce à des capteurs sophistiqués et des systèmes de communication avancés, ces compteurs offrent une gestion précise et automatisée de l'énergie, garantissant une facturation basée sur la consommation réelle.

A. Mesure de la consommation

Le compteur intelligent utilise des capteurs sophistiqués pour mesurer la tension et le courant électrique. Ces informations sont ensuite traitées pour calculer en temps réel la quantité d'électricité consommée.

B. Enregistrement des données

Les données de consommation sont enregistrées dans la mémoire interne du compteur. Ces données peuvent inclure :

- La date et l'heure
- La quantité d'électricité consommée (kWh)
- La puissance instantanée (kW)
- Le tarif appliqué
- Le type d'électricité (par exemple, heures pleines/heures creuses)

C. Communication des données

Le compteur intelligent communique les données de consommation à distance au fournisseur d'électricité et au client. Il existe deux principaux modes de communication :

- **Réseau filaire :**
 - CPL (Courant Porteur en Ligne) utilise le réseau électrique existant pour transmettre les données.
 - Liaison filaire directe via un câble Ethernet.
- **Réseau sans fil:**
 - Radiofréquences (RF) : communication via des ondes radio.
 - GPRS/3G/4G : communication via le réseau mobile.
 - LoRaWAN : communication via un réseau longue portée et basse consommation, adapté aux objets connectés.
- **Automate de Distribution d'Électricité (ADE 9000) :**
 - Permet la surveillance, le contrôle, et la protection des réseaux de distribution d'électricité.

- Utilise divers modes de communication pour transmettre des données et recevoir des commandes, incluant CPL, liaison filaire, RF, GPRS/3G/4G, et LoRaWAN.

D. Facturation basée sur la consommation réelle

Le fournisseur d'électricité utilise les données transmises par le compteur intelligent pour établir des factures basées sur la consommation réelle. Ainsi, le client ne paye que pour l'électricité effectivement consommée, assurant une facturation précise et transparente.

I.2.3.3 Structure d'un compteur intelligent

Dans le contexte actuel de l'ouverture du marché de l'électricité, de la gestion optimale de l'énergie et de l'intégration des dispositifs de production dans les bâtiments, les compteurs doivent désormais remplir un nombre croissant de fonctions complexes liées aux divers services électriques. Il est donc nécessaire d'introduire des dispositifs auxiliaires adaptés à ces différents services, tels que ceux décrits dans [5] :

- Une horloge, le contrôle du changement de période tarifaire.
- Des indicateurs de maximum, le contrôle et la gestion des pointes de consommation pour le contrôle de changement de période tarifaire si besoin.
- La mémorisation ou l'enregistrement des données, en particulier des données de facturation à la fin de la période contractuelle, permettant d'obtenir un suivi précis de la consommation d'énergie.
- La gestion des dépassements de puissance, permettant à celui-ci d'effectuer les corrections nécessaires à l'optimisation de la consommation d'énergie.
- L'émission, vers un autre dispositif de signaux caractéristiques de la consommation. Cette opération, qui porte le nom de télé-comptage, permet de déporter l'information et sa gestion et de combiner les résultats de plusieurs points de comptage.
- La communication à distance des données contenues dans le compteur permettant sa lecture par le distributeur ou le client depuis un point éloigné du comptage.

Le schéma ci-dessous illustre la structure d'un compteur évolué :[6]

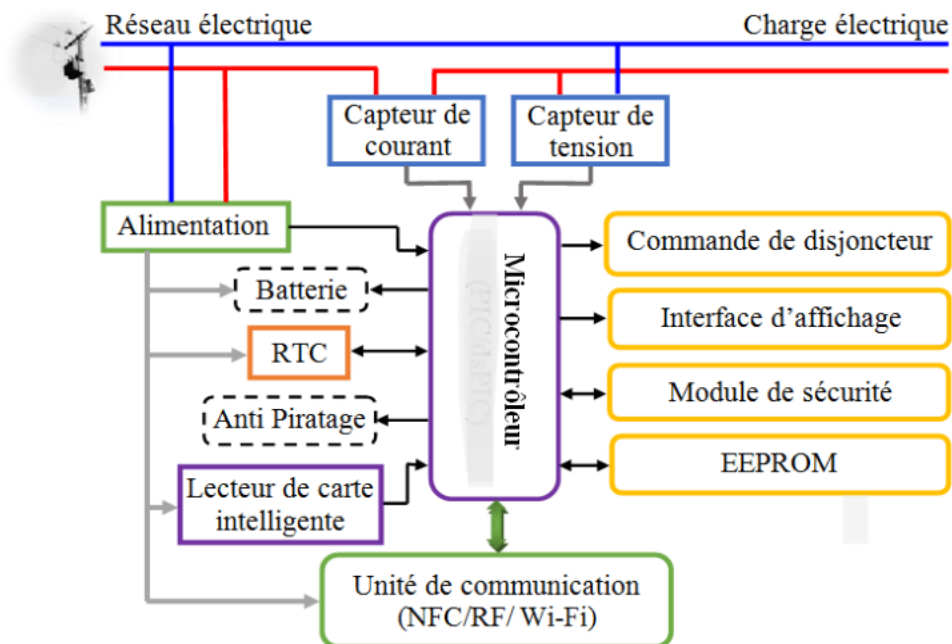


FIGURE I.4 : STRUCTURE D'UN COMPTEUR INTELLIGENT

Ainsi, les différents composants intégrés dans le compteur sont définis comme suit :

- **Convertisseur continu/continu** : Un convertisseur de tension continue/continue est un module (ou mini module) générant une tension de sortie régulée, isolée de la tension d'entrée. Les convertisseurs continue/continue en général réalisent deux fonctions : modifier le niveau de tension (élever ou abaisser) et réguler la tension. L'électronique de conversion se trouve entre les batteries (la source d'énergie en général) et l'ensemble des blocs constitutifs du système considéré, des circuits électroniques numériques et analogiques, des écrans, des actionneurs, des claviers, etc. [7]
- **Batterie** : Les pannes de courant peuvent s'avérer particulièrement problématiques quand elles concernent certains appareils électriques. Pour pouvoir protéger certaines parties du compteur électrique d'une coupure de courant, il est possible d'utiliser des batteries.[6]

- **Le système anti piratage** : Le système anti-piratage est un système permettant de détecter le piratage, Les compteurs intelligents donneront alors la possibilité d'envoyer une alerte lorsque l'intensité consommée ou la tension chute à zéro car la tension ne doit normalement jamais tomber à zéro sauf en cas de coupure de courant. L'intensité elle, n'est normalement jamais nulle car tous les appareils électroniques consomment de l'énergie. [8]
- **Horloge RTC** : Une horloge temps réel est fondamentalement identique à une montre. Elle fonctionne sur une pile et reste à l'heure même en cas de coupure de tension. Utiliser un RTC « Real Time Clock » permet de préserver l'heure sur de très-très-très longues périodes, même si on reprogramme le microcontrôleur [9].
- **EEPROM** : La mémoire EEPROM est une mémoire reprogrammable électriquement à l'aide d'un logiciel spécifique. C'est la plus flexible de toute et elle est utilisée en générale par les BIOS. [10]
- **Microcontrôleurs** : Un microcontrôleur, est un composant électronique qui rassemble tous les éléments d'un "mini-ordinateur" et qui se présente sous la forme d'un circuit intégré. Un microcontrôleur permet de réaliser des systèmes et montages électroniques programmés. Cela veut dire que l'on pourra, avec le même montage, réaliser des fonctions très différentes qui dépendront du programme qui aura été programmé dans le microprocesseur. Le microcontrôleur va prendre en charge la partie traitement des informations et envoyer des ordres [11].
- **Interface d'affichage** : L'interface d'affichage est composée d'un écran LCD qui retranscrit les informations transmises par le compteur. Ses fonctionnalités peuvent être :
 - ✓ L'affichage de la consommation énergétique en kilowattheure.
 - ✓ L'affichage de la consommation instantanée en Watt ou en kilowatt.
 - ✓ L'affichage du coût.
 - ✓ L'affichage de la consommation réelle comparée à la consommation prévisionnelle.
 - ✓ L'alerte sonore et visuelle en cas de dépassement d'un seuil de consommation Paramétrable.
 - ✓ La visualisation des historiques sur l'afficheur au choix : par jour / semaine / Mois.

- **Interface d'utilisateur** : Cette unité d'interface utilisateur offre la possibilité de prépaiement qui peut se faire de deux façons [12] :
 - ✓ En mode de paiement par carte de crédit, il s'agit en fait d'un mode de post-paiement de la consommation d'énergie.
 - ✓ Ou en mode par débit, pour lequel un crédit est saisi sur le compteur avant la consommation d'énergie et le crédit diminue en fonction de la consommation d'énergie.
- **Commande de disjoncteur** : Comme tous les compteurs électriques, il est nécessaire d'avoir un appareil de protection qui est le disjoncteur qui est un appareil électromécanique de connexion qui permet de couper le courant d'un ou plusieurs circuits en cas de surintensité ou surcharge [13].
- **Module de sécurité** : Un module qui met en place des mesures permettant de garantir la sécurité et la confidentialité des données traitées par les appareils qu'il fournit à la personne, et doit prendre toutes précautions utiles pour en empêcher la prise de contrôle par une personne non autorisée,[6]
- **Communication de données** : Le compteur électrique intelligent pourra transmettre les informations nécessaires concernant la consommation de l'énergie électrique, les informations anti piratage, etc. mais pourra également recevoir des informations tel que la tarification en temps réel. Ainsi, le but de ce réseau de communication sera de transmettre des informations d'un système à un autre. Ces informations transmises devront être codées avant leur transmission de la source à la destination et vice versa. Cette transmission devra être sans erreurs [14].

I.2.3.4 Types des mesures effectués par un compteur

Les compteurs d'électricité modernes, qu'ils soient électroniques ou communicants (intelligents), peuvent effectuer plusieurs types de mesures :

A. Mesure d'énergie :

- C'est le type de comptage le plus basique et le plus répandu.
- Il mesure la consommation d'énergie en kilowattheures (kWh) sur une période définie (habituellement un mois).
- Cette information est utilisée pour facturer le client.

B. Mesure de puissance :

Chapitre 01 : Généralité sur les compteurs électrique

- Mesure la puissance instantanée consommée en kilowatts (kW).
- Permet de connaître la consommation d'énergie à un moment précis.
- Utilisé pour identifier les pics de consommation et optimiser la gestion du réseau électrique.

C. Mesure de tension :

- Mesure la tension électrique en volts (V).
- Permet de vérifier la qualité de l'alimentation électrique et de détecter d'éventuelles anomalies.

D. Mesure de courant :

- Mesure le courant électrique en ampères (A).
- Permet de connaître la quantité d'électricité qui circule dans le circuit.
- Utilisé pour identifier les défauts électriques et les surcharges.

E. Mesure du facteur de puissance :

- Indique l'efficacité énergétique d'une installation électrique.
- Les compteurs intelligents peuvent le mesurer et aider à l'améliorer.

En plus de ces différents types de mesures, dites standard, les compteurs intelligents collectent une multitude d'informations supplémentaires :

- **Données temporelles :** La date et l'heure de la consommation permettent d'établir des profils de consommation précis et de proposer des tarifs adaptés en fonction des heures creuses et pleines.
- **Données tarifaires :** Le tarif en vigueur est enregistré pour une facturation précise et transparente.
- **Identification du compteur :** Le numéro de série permet de le suivre et de le gérer efficacement.
- **État du compteur :** L'information sur l'état ouvert ou fermé du compteur est utile pour la facturation et la détection de fraudes.

Ces données supplémentaires offrent de nombreux avantages :

- **Facturation plus précise et personnalisée** : Elles permettent de facturer la consommation réelle et de proposer des tarifs adaptés aux besoins de chaque client.
- **Lutte contre la fraude et les anomalies** : L'analyse des données permet de détecter les consommations inhabituelles et de prévenir les fraudes.
- **Gestion intelligente du réseau électrique** : Les données en temps réel permettent d'optimiser l'équilibrage entre l'offre et la demande d'électricité et de réduire les pertes d'énergie.
- **Amélioration de l'efficacité énergétique** : La connaissance précise de la consommation incite les clients à adopter des gestes éco-responsables et à réduire leur consommation d'énergie. [15]

I.2.3.5 Paramètre électrique des compteurs d'électricité

Les compteurs électriques, qu'ils soient classiques ou intelligents, mesurent divers paramètres électriques pour fournir des informations sur la consommation d'énergie et la qualité de l'alimentation électrique. Voici les principaux paramètres électriques mesurés par les compteurs :

1. La tension

La tension, souvent appelée tension électrique, est un paramètre important mesuré par les compteurs électriques. Elle est exprimée en volts (V) et indique la différence de potentiel électrique entre deux points d'un circuit. En termes simples, la tension représente la "pression" qui pousse les électrons à circuler dans un circuit électrique, similaire à la pression qui pousse l'eau dans un tuyau.

- Elle est généralement mesurée entre la phase et le neutre (230V) pour les installations monophasées ou entre deux phases (400V) pour les installations triphasées.
- La tension doit se situer dans une plage définie (220-240V pour la phase-neutre) pour garantir le bon fonctionnement des appareils électriques.
- Les variations de tension peuvent causer des pannes, des dommages aux appareils et une baisse de l'efficacité énergétique.

2. Le courant

Chapitre 01 : Généralité sur les compteurs électrique

Le courant, aussi appelé courant électrique, est un paramètre crucial mesuré par les compteurs électriques. Il est exprimé en ampères (A) et représente l'intensité du flux d'électrons circulant dans un circuit électrique. En d'autres termes, le courant correspond à la quantité d'électricité qui traverse un point donné du circuit en une unité de temps.

- Il est important de s'assurer que le courant ne dépasse pas la capacité des câbles et des disjoncteurs pour éviter les surcharges et les risques d'incendie.
- La surveillance du courant permet de détecter les fuites électriques et les défauts de circuit.

3. La puissance

La puissance est un paramètre fondamental mesuré par les compteurs électriques. Elle est exprimée en **watts (W)** et représente la quantité d'énergie électrique consommée par unité de temps. En d'autres termes, la puissance indique la vitesse à laquelle l'énergie est utilisée dans un circuit électrique.

- La puissance est calculée en multipliant la tension (U) par le courant (I) :

$$P = U \times I$$

- **P** est la puissance active en watts (W)
- **U** est la tension en volts (V)
- **I** est le courant en ampères (A)

Si l'on prend l'exemple d'une machine à café qui demande 3 ampères sous 220 volts, nous pouvons calculer sa puissance comme suit :

$$P = U \times I = 220 \times 3 = 660 \text{ Watts}$$

D'autre part, sa consommation énergétique, si elle chauffe en continu durant 2 heures, sera de :

$$660 \times 2 = 1320 \text{ Wh} = 1,32 \text{ KWh}$$

➤ La puissance active :

La puissance active représente la quantité d'énergie électrique réellement consommée par un appareil électrique et transformé en travail ou en chaleur. C'est la puissance qui est facturée par

Chapitre 01 : Généralité sur les compteurs électrique

les fournisseurs d'électricité, Elle est exprimée en watts (W) ou kilowatts (kW) (1 kW = 1000 W).[16]

Calcul de la puissance active :

- La puissance active est calculée par la formule :

$$P = U \times I$$

- En alternatif, la formule de la puissance active est donnée par :

$$\text{Puissance} = \text{Tension} \times \text{Courant actif}$$

$$\text{Courant actif} = I \times \cos \varphi$$

$$P = U \times I \times \cos \varphi$$

- **P** est la puissance active en watts (W)
- **U** est la tension en volts (V)
- **I** est le courant en ampères (A)
- φ est le déphasage entre la tension et le courant (un angle caractéristique du circuit)

➤ **La puissance réactive :**

Contrairement à la puissance active qui est convertie en travail ou en chaleur, la puissance réactive ne l'est pas directement. Elle est utilisée pour créer et maintenir les champs magnétiques nécessaires au fonctionnement de certains appareils électriques, tels que les moteurs, les transformateurs et les bobines, exprimée en volt-ampères réactifs (VAR) ou kilovolt-ampères réactifs (kVAR) (1 kVAR = 1000 VAR) [16].

Calcul de la puissance réactive :

- La puissance réactive est calculée par la formule :

Chapitre 01 : Généralité sur les compteurs électrique

$$Q = U \times I \times \sin \varphi$$

- **Q** est la puissance réactive en (VAR)
- **U** est la tension en volts (V)
- **I** est le courant en ampères (A)
- **φ** est le déphasage entre la tension et le courant (un angle caractéristique du circuit)

Prenons l'exemple d'une lampe fluorescente alimentée en courant alternatif sous 220 volts. Un courant total de 0,3 ampère est mesuré. Cette lampe comprend à la fois un récepteur résistif, représenté par le tube lumineux, et un récepteur inductif, représenté par le ballast.

Le courant total présente un déphasage de 60°. Il se compose de la composante en phase avec la tension pour le tube (I_w) et de la composante déphasée de 90° pour le ballast (I_b).

La puissance réactive est alors calculée comme suit :

$$Q = U \times I \times \sin \varphi$$

$$Q = 220 \times 0,3 \times \sin 60$$

$$Q = 220 \times 0,3 \times 0,87$$

$$Q = 57 \text{ VARs}$$

De même, l'énergie réactive se calcule en multipliant la puissance réactive par le temps. Par exemple, si la lampe fonctionne pendant 3 heures, l'énergie réactive sera déterminée en multipliant la puissance réactive par ce temps :

$$Q \times T = 57 \text{ VAR} \times 3 \text{ h} = 171 \text{ VARh}$$

- **Q** est la puissance réactive en (VAR)
- **T** est le temps en seconde(s)

➤ **La puissance apparente :**

Chapitre 01 : Généralité sur les compteurs électrique

La puissance apparente est la combinaison vectorielle de la puissance active et de la puissance réactive. Elle peut être visualisée comme l'hypoténuse d'un triangle rectangle dont les côtés sont la puissance active et la puissance réactive. La puissance apparente est exprimée en volt-ampères (VA) ou kilovolt-ampères (kVA) (1 kVA = 1000 VA) [16].

Calcul de la puissance apparente :

- La puissance apparente (S) est calculée par la formule :

$$S = U \times I$$

- S est la puissance apparente en (VA)
- U est la tension en volts (V)
- I est le courant en ampères (A)

➤ Triangle de la puissance :

Le triangle de puissance est une représentation graphique qui illustre les relations entre la puissance active (P), la puissance réactive (Q) et la puissance apparente (S) dans un système électrique en courant alternatif (CA). Ce triangle aide à visualiser comment ces trois types de puissance interagissent dans le circuit.

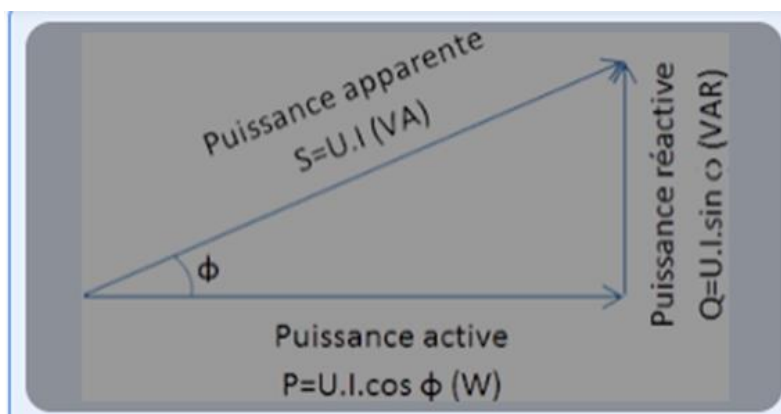


FIGURE I.5 : LE TRIANGLE DE PUISSANCE

➤ Le facteur de puissance :

Le calcul de facteur de puissance nécessite de connaître le déphasage entre la tension et le courant, ce déphasage comme le montre la figure I.6 c'est le décalage en secondes entre le signal de tension et le signal de courant.

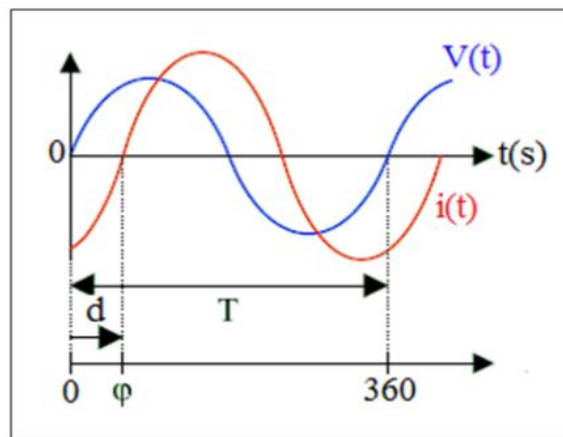


FIGURE I.6 : DEPHASAGE ENTRE TENSION ET COURANT [17]

La figure I.6 montre bien le déphasage entre la tension et le courant et comme ces deux grandeurs sont sinusoïdales de même fréquence, nous pouvons écrire :[17]

$$d / T = \varphi(\text{rad}) / 2\pi = \varphi(^{\circ}) / 360$$

- Le facteur de puissance d'un circuit alternatif est donné par la formule :

$$FP = P / S = \cos \varphi$$

- **P** est la puissance active en watts (W)
- **S** est la puissance apparente en (VA)
- Pour un circuit triphasé équilibré S :

$$S = E \times I \times \sqrt{3}$$

- **S** est la puissance apparente en (VA)
- **E** est l'énergie électrique(Kwh)
- **I** est le courant en ampères (A)

Le facteur de puissance varie selon le type d'appareil électrique. Voici quelques exemples :

1. Éclairage à incandescence :

- $FP \approx 1$

- Ces ampoules sont presque purement résistives et utilisent efficacement l'énergie fournie.

2. Éclairage fluorescent avec ballast :

- $FP \approx 0.7$ à 0.9
- Les ballasts inductifs introduisent une composante réactive, diminuant ainsi le facteur de puissance.

3. Moteurs électriques :

- $FP \approx 0.7$ à 0.9 (sans correction)
- Les moteurs induisent une réactance inductive. Sans correction, leur facteur de puissance peut être assez bas, mais des condensateurs peuvent être ajoutés pour améliorer le FP.

I.3 L'Algérie et les compteurs intelligents

L'Algérie s'engage dans la modernisation de son réseau électrique à travers le déploiement des compteurs d'énergie intelligents. Ces dispositifs avancés, également connus sous le nom de compteurs communicants, représentent une innovation majeure dans la gestion de l'électricité sur le territoire algérien.

Le déploiement des compteurs d'énergie intelligents en Algérie s'inscrit dans une démarche visant à améliorer l'efficacité énergétique, à optimiser la gestion des ressources électriques et à fournir des services plus personnalisés aux consommateurs. Ces compteurs permettent une mesure précise de la consommation d'électricité, offrant ainsi aux fournisseurs une vue détaillée et en temps réel des habitudes de consommation des utilisateurs.

Les avantages des compteurs d'énergie intelligents sont nombreux. Tout d'abord, ils permettent une facturation plus précise basée sur la consommation réelle, éliminant ainsi les estimations et les erreurs de relevé. De plus, ces compteurs facilitent la détection des fraudes et des anomalies sur le réseau électrique, ce qui contribue à garantir la fiabilité et la sécurité de la distribution électrique.

Pour les consommateurs, les compteurs d'énergie intelligents offrent une visibilité accrue sur leur consommation d'électricité, les aidant ainsi à mieux comprendre leurs habitudes de consommation et à prendre des mesures pour réduire leur consommation énergétique. Certains

Chapitre 01 : Généralité sur les compteurs électrique

modèles de compteurs intelligents permettent même aux utilisateurs de surveiller leur consommation en temps réel via des applications mobiles ou des portails en ligne.

En outre, les compteurs d'énergie intelligents en Algérie ouvrent la voie à de nouveaux services et applications dans le domaine de l'énergie. Par exemple, ils facilitent la mise en place de tarifs dynamiques en fonction de la demande, encourageant ainsi les comportements énergétiques plus durables et la réduction des pointes de consommation.

En résumé, le déploiement des compteurs d'énergie intelligents en Algérie représente une avancée significative dans la modernisation du secteur de l'électricité. Ces dispositifs offrent des avantages tant pour les fournisseurs d'électricité que pour les consommateurs, en permettant une gestion plus efficace et transparente de l'énergie électrique et en encourageant une utilisation plus responsable des ressources énergétiques.

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les généralités sur les compteurs et proposé une analyse globale des technologies de mesure de la consommation électrique. Les compteurs sont des instruments essentiels pour mesurer la consommation d'énergie. Ils permettent aux fournisseurs de facturer les services et aux utilisateurs de suivre et de mieux gérer leur consommation. Nous avons examiné les différents types de compteurs d'énergie, détaillé leur fonctionnement et décrit leurs structures.

CHAPITRE II : CONCEPTION MATÉRIELLE ET LOGICIELLE DU COMPTEUR INTELLIGENT

II.1 Introduction

L'ère moderne de la technologie est marquée par une interconnexion croissante des dispositifs, rendant l'Internet des objets (IoT) incontournable dans la gestion et l'optimisation des ressources. L'une des applications les plus prometteuses de l'IoT est la surveillance et la gestion de l'énergie, domaine dans lequel les compteurs intelligents jouent un rôle crucial. Ces dispositifs permettent non seulement de mesurer la consommation d'énergie avec une grande précision, mais aussi de transmettre ces données en temps réel, offrant ainsi une meilleure visibilité et un contrôle accru de l'utilisation énergétique.

Le développement de compteurs d'énergie intelligents repose sur l'intégration harmonieuse de divers composants matériels et logiciels. Dans ce chapitre, nous explorerons les différentes facettes de cette intégration, en détaillant les composants et les outils nécessaires à la conception de notre compteur d'énergie basé sur l'IoT. Ce dispositif exploitera la puissance de la carte ESP32 WROOM32 et l'application mobile Blynk pour fournir une solution complète et efficace de gestion de l'énergie.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les composants ainsi que les outils utilisés pour la conception du compteur d'énergie basé sur l'Internet des objets (IoT). Ce compteur sera principalement construit autour d'une carte ESP32 WROOM32 et de l'application mobile Blynk. Le chapitre se divise en deux parties principales : la conception matérielle et la conception logicielle.

Premièrement, nous examinerons en détail les composants et éléments utilisés pour la réalisation du compteur d'énergie intelligent. Nous commencerons par la carte ESP32, qui constitue le cœur de notre système grâce à ses capacités de traitement et de connectivité Wi-Fi et Bluetooth. Ensuite, nous décrirons les deux principaux capteurs utilisés : le capteur de courant ACS712 et le capteur de tension ZMPT101B. Ces capteurs sont essentiels pour mesurer avec précision les paramètres électriques nécessaires au fonctionnement du compteur. Nous analyserons également la carte relais, qui permet de contrôler les charges connectées, et l'afficheur LCD, qui joue un rôle crucial dans l'affichage des données collectées par le système. Ce tour d'horizon nous permettra de comprendre comment chaque composant contribue à la performance globale du compteur d'énergie intelligent.

Deuxièmement, nous nous pencherons sur la conception logicielle du compteur d'énergie. Nous commencerons par examiner l'utilisation de l'IDE Arduino pour la programmation de la carte ESP32. Cet environnement de développement offre une interface intuitive et facilite l'écriture et le téléversement de code sur la carte. Ensuite, nous aborderons la connectivité Wi-Fi de l'ESP32 et fournirons un programme de configuration et de test du Wi-Fi. Ce programme simple permettra de s'assurer que la carte ESP32 peut se connecter à un réseau Wi-Fi et transmettre des données. Enfin, nous nous intéresserons à l'application Blynk, qui sera utilisée pour afficher les paramètres mesurés et calculés par le compteur d'énergie. Blynk offre une interface utilisateur conviviale et permet de contrôler les appareils IoT à distance via une application mobile, rendant ainsi notre compteur d'énergie intelligent accessible et facile à gérer.

II.2 L'internet des objets (IoT)

L'internet des objets (IoT) désigne un réseau de dispositifs physiques, d'appareils, d'objets et d'outils industriels équipés de capteurs, de logiciels et de connectivité réseau pour collecter et échanger des données. Ces objets connectés comprennent une vaste gamme d'applications, allant des thermostats intelligents aux dispositifs portables tels que les montres connectées et les vêtements équipés de RFID, en passant par les machines industrielles complexes et les systèmes de transport. L'IoT permet à ces objets intelligents de communiquer entre eux et avec d'autres appareils connectés à Internet, formant ainsi un réseau étendu d'appareils interconnectés capables de partager des données et de réaliser diverses tâches de manière autonome.

Les applications potentielles de l'IoT sont vastes et diversifiées, avec un impact déjà notable dans de nombreux secteurs tels que la fabrication, le transport, l'énergie, les soins de santé et l'agriculture. L'IoT transforme notre façon de vivre, de travailler et d'interagir, en améliorant l'efficacité opérationnelle, en optimisant la gestion des ressources et en offrant de nouvelles opportunités d'innovation [18].



FIGURE II.1 : APPLICATION DE L'INTERNET DES OBJETS (IoT) [18]

II.3 Conception matérielle et composants du compteur d'énergie

Dans cette section, nous allons examiner en détail les composants et éléments utilisés pour la réalisation du compteur d'énergie intelligent. Nous commencerons par nous intéresser à la carte ESP32, qui constitue le cœur de notre système grâce à ses capacités de traitement et de connectivité. Ensuite, nous décrirons les deux principaux capteurs utilisés : le capteur de courant ACS712 et le capteur de tension ZMPT101B. Ces capteurs sont essentiels pour mesurer avec précision les paramètres électriques nécessaires au fonctionnement du compteur. Enfin, nous aborderons la carte relais et l'afficheur LCD, qui jouent des rôles cruciaux dans le contrôle et l'affichage des données collectées par le système. Ce tour d'horizon nous permettra de comprendre comment chaque composant contribue à la performance globale du compteur d'énergie intelligent.

II.3.1 Généralité sur la carte ESP32

II.3.1.1 Espressif et l'ESP32

Espressif Systems est une entreprise multinationale publique spécialisée dans les semi-conducteurs sans fabrication propre, fondée en 2008 et basée à Shanghai. L'entreprise dispose de bureaux en Chine, en Inde et en Europe. Son équipe, composée d'ingénieurs et de scientifiques passionnés du monde entier, se concentre sur le développement de solutions Wi-Fi et Bluetooth de pointe, ainsi que sur des solutions IoT à faible consommation d'énergie [19].

La puce ESP8266, fabriquée par Espressif, a été lancée sur le marché chinois à la mi-2014. Initialement utilisée comme "pont" pour connecter les microcontrôleurs (par exemple, Arduino) aux réseaux Wi-Fi grâce à son coût très bas, elle a rapidement gagné en popularité. Cependant, en raison du manque de documentation, de bogues et de fonctionnalités limitées du micrologiciel original, la communauté des fabricants a développé des micrologiciels alternatifs,

parmi lesquels NodeMCU est le plus célèbre, permettant d'exploiter pleinement la puissance de la puce et de construire des systèmes complets sans microcontrôleurs externes .



FIGURE II.2 : LE LOGO DE ESPRESSIF

En septembre 2016, Espressif a annoncé et lancé l'ESP32, successeur de l'ESP8266 . Les produits Espressif, y compris les puces, les modules et les plates-formes de développement, sont largement utilisés dans divers produits tels que les appareils ménagers, les lampes LED, les haut-parleurs intelligents, les appareils électroniques de consommation et les terminaux de paiement [20].

II.3.1.2 Présentation de la carte ESP32

La carte ESP32 est une série de microcontrôleurs développée par Espressif Systems, introduite en 2016 comme successeur de l'ESP8266. Elle est très populaire grâce à ses nombreuses caractéristiques, notamment son faible coût, sa faible consommation d'énergie, ses capacités Wi-Fi et Bluetooth, son processeur dual-core, et sa riche interface d'entrée/sortie. Ces atouts en font un choix idéal pour une large gamme d'applications dans les domaines de l'Internet des objets (IoT) et de l'électronique embarquée [21].



FIGURE II.3 : IMAGE DU MODULE ESP32

➤ **Caractéristiques techniques et fonctionnalités de l'ESP32**

- **Faible consommation d'énergie** : la carte ESP32 consomme peu d'énergie et prend en charge les modes d'alimentation à faible consommation comme le mode profond pour économiser l'énergie.
- **Capacités Wi-Fi** : la carte ESP32 peut se connecter à un réseau Wi-Fi pour accéder à Internet ou créer son propre réseau Wi-Fi pour que d'autres appareils puissent s'y connecter, ce qui est essentiel pour les applications IoT.
- **Bluetooth** : la carte ESP32 prend en charge Bluetooth classique et Bluetooth Low Energy (BLE), ce qui est utile pour une large gamme d'applications IoT.
- **Dual-core** : la plupart des cartes ESP32 sont dual-core et sont équipés de deux microprocesseurs Xtensa 32 bits LX6 : core 0 et core 1.
- **Interface d'entrée/sortie polyvalente** : La carte ESP32 gère un large éventail d'entrées (captation de données externes) et de sorties (ADC, DAC, UART, etc.), offrant une connectivité puissante pour les projets électroniques.

➤ **Programmation des cartes ESP32**

La carte ESP32 est un choix privilégié dans le domaine des applications IoT en raison de sa polyvalence et de ses performances. Elle offre une grande flexibilité en termes de programmation, prenant en charge plusieurs langages couramment utilisés tels que le C++, le langage Arduino, et le MicroPython. Cette diversité de langages permet aux développeurs de choisir celui qui convient le mieux à leurs besoins et à leur expertise. De plus, l'ESP32 peut être programmé à l'aide de l'environnement de développement IoT Espressif (ESP-IDF), qui offre des fonctionnalités avancées pour tirer pleinement parti des capacités de la carte [21]. Cette combinaison de langages de programmation et d'outils de développement robustes fait de l'ESP32 un choix idéal pour une large gamme de projets IoT.

II.3.1.3 Cartes de développement ESP32

Espressif développe et fabrique une gamme diversifiée de cartes de développement et de modules pour aider les utilisateurs à explorer et évaluer les capacités offertes par la famille de puces ESP32. Sur le marché, plusieurs cartes de développement populaires pour l'ESP32 sont disponibles, telles que le NodeMCU-32S, le Wemos D1 Mini ESP32 et le ESP32 DevKitC, chacune offrant des fonctionnalités spécifiques adaptées à une variété de projets IoT et électroniques.

En outre, plusieurs modules ESP32 sont couramment utilisés, notamment le ESP32-WROOM-32, offrant le Wi-Fi et le Bluetooth intégrés, le ESP32-WROVER avec une mémoire étendue, le ESP32-WROVER-B avec une capacité de mémoire flash accrue, le ESP32-PICO-D4 compact avec antenne intégrée et cristal, ainsi que le ESP32-S, conçu pour les applications industrielles avec une plage de température étendue et des fonctionnalités de sécurité supplémentaires. Chaque module présente ses propres caractéristiques et avantages, les rendant adaptés à différentes applications et exigences de conception.

Pour cette étude, le choix s'est porté sur le ESP32-WROOM-32 en raison de sa capacité intégrée en Wi-Fi, ce qui en fait une option idéale pour les projets nécessitant une connectivité sans fil fiable.

II.3.1.4 La Carte ESP32 Wroom-32

Le module ESP32 est une solution intégrée et certifiée pour les communications Wi-Fi et Bluetooth. Il inclut non seulement une radio sans fil, mais aussi un processeur embarqué avec des interfaces variées permettant la connexion à divers périphériques. Le processeur est doté de deux cœurs de traitement, fonctionnant à des fréquences comprises entre 80 MHz et 240 MHz, offrant ainsi une grande flexibilité de performance [22].

La carte ESP32 est équipée d'une antenne à piste de circuit imprimé, simplifiant l'implémentation en éliminant la nécessité de matériel supplémentaire et la complexité de configuration associée aux antennes à connexion IPEX.



FIGURE II.4 : IMAGE DE L'ESP32 WROOM-32

Ces modules sont fréquemment utilisés dans le développement d'appareils IoT car ils permettent d'ajouter facilement une connectivité sans fil sans nécessiter de conception de circuits supplémentaires.

➤ **Caractéristiques de la carte ESP WROOM32**

TABLEAU II.1 : CARACTERISTIQUES DE LA CARTE ESP WROOM32

| Puce | ESP32 WROOM-32 |
|---------------------------|--|
| Microprocesseur | Microprocesseur Xtensa LX6 dual-core32-bit |
| Horloge embarqué | Oscillateur interne de 8 MHz avec étalonnage |
| SRAM | 520 Ko |
| Flash | 4Mo |
| Nombre des pins | 38 pins |
| Tension de fonctionnement | 3,3volts |
| WI-FI | Plage de fréquence : 2.4 GHz |
| Bluetooth | Protocole : Conforme à la norme Bluetooth v4.2BR/EDR et Bluetooth LE |

➤ **Les entrées/sorties de l'ESP32-WROOM-32**

- **Entrées/Sorties numériques (GPIO) :** La carte ESP32-WROOM-32 dispose de 36 broches GPIO (0 à 39) qui peuvent être configurer comme entrées ou sorties numériques.
- **Entrées analogiques :** Elle possède également plusieurs broches (GPI34, GPI35, GPI36, GPI37, GPI38, GPI39) qui peuvent être utilisées comme entrées analogiques pour lire des tensions analogiques.

- **UART, SPI, I2C** : En plus des broches GPIO, la carte ESP32-WROOM-32 offre des interfaces UART, SPI et I2C pour communiquer avec d'autres périphériques.
- **PWM** : Certaines broches GPIO peuvent être configurées pour générer des signaux de modulation de largeur d'impulsion (PWM), ce qui est utile pour contrôler la luminosité des LED ou la vitesse des moteurs.
- **Interruptions** : La carte ESP32-WROOM-32 prend en charge les interruptions sur la plupart de ses broches, ce qui permet de réagir rapidement à des événements externes.

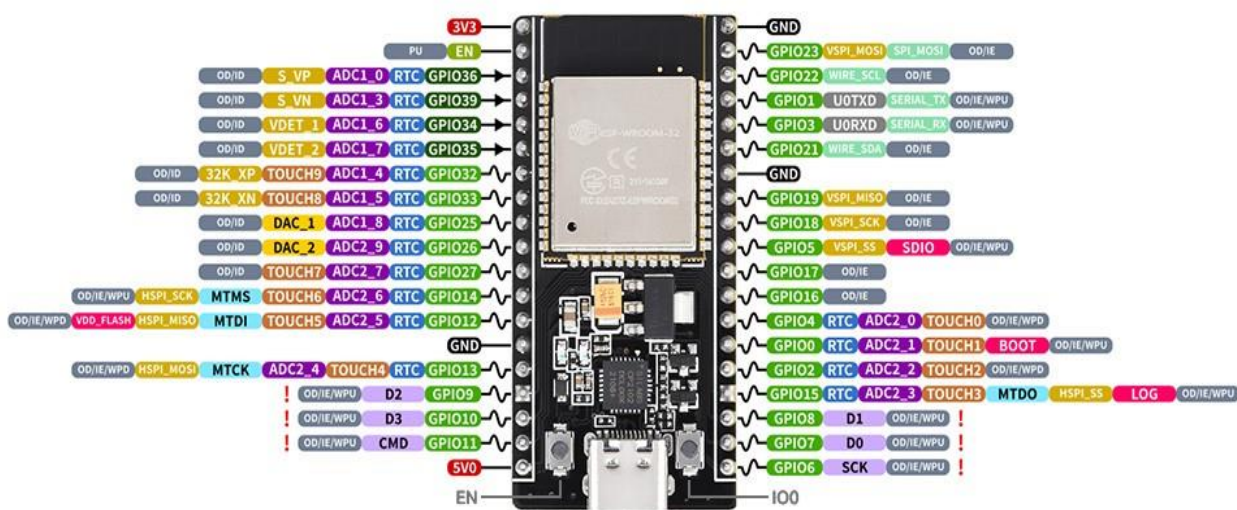


FIGURE II.5 : LES BROCHES LA CARTE ESP32 WROOM32

II.3.2 Description des capteurs utilisés

II.3.2.1 Tout d'Abord, Qu'est-ce qu'un Capteur ?

Un capteur est un dispositif qui transforme les variations d'une grandeur physique observée en une forme de mesure pratique, telle qu'une tension électrique, une hauteur de mercure, une intensité ou le mouvement d'une aiguille, permettant ainsi de quantifier et d'utiliser cette information [23]. Ils sont largement utilisés dans des domaines divers tels que la physique, la métrologie, la modélisation, l'électronique et le traitement du signal, et constituent les éléments fondamentaux des systèmes de collecte de données.

II.3.2.2 Le capteur de courant ACS712

Le capteur de courant sélectionné est le modèle ACS712 – 5A, reconnu pour sa capacité à détecter avec précision les signaux de courant alternatif (AC) et de courant continu (DC). Ce capteur fournit une sortie analogique proportionnelle au courant mesuré, avec une sensibilité de 185 mV/A et une plage de mesure allant de -5A à +5A. Basé sur le principe de l'effet Hall,

le capteur utilise le champ magnétique généré par le courant traversant le capteur pour effectuer les mesures. Cependant, le module est sensible aux champs magnétiques extérieurs et nécessite une calibration pour garantir des mesures précises. Sans charge, le capteur délivre une tension de sortie égale à $V_{cc}/2$, où V_{cc} est la tension d'alimentation du capteur, typiquement 5V.



FIGURE II.6 : CAPTEUR DE COURANT ACS712

A. Principe de l'effet Hall

Les capteurs de courant à effet Hall, comme le modèle ACS712, fonctionnent en exploitant l'effet Hall pour générer une tension proportionnelle au courant mesuré. L'effet Hall se manifeste par l'apparition d'un champ électrique transversal et d'une différence de potentiel dans un matériau conducteur ou semi-conducteur lorsqu'il est traversé par un courant électrique et placé dans un champ magnétique perpendiculaire à la direction du courant. Ce phénomène est utilisé dans les capteurs de courant pour produire une indication précise du courant traversant le dispositif [24].

Le principe de l'effet Hall repose sur la déviation des charges électriques, due à la force de Lorentz, lorsqu'elles se déplacent à travers un conducteur soumis à un champ magnétique perpendiculaire. Cette déviation crée une accumulation de charges d'un côté du conducteur, générant ainsi une différence de potentiel mesurable, connue sous le nom de tension Hall.

Dans les capteurs de courant, cette tension Hall est proportionnelle à l'intensité du courant qui traverse le capteur.

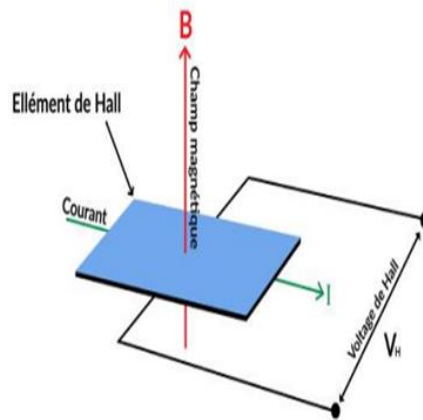


FIGURE II.7 : PRINCIPE DE L'EFFET HALL

B. Caractéristiques du ACS712

- ✓ **Coût abordable** : Le capteur ACS712 est économique, ce qui le rend accessible pour de nombreuses applications.
- ✓ **Compact et léger** : Il se distingue par son faible encombrement et son poids réduit, facilitant son intégration dans divers systèmes.
- ✓ **Consommation d'énergie constante** : Sa consommation énergétique reste stable, indépendamment de l'intensité du courant mesuré.
- ✓ **Grande précision** : Il offre une mesure précise, même à des températures ambiantes élevées, assurant une fiabilité optimale dans des conditions variées [25].

C. Brochage du capteur de courant ACS712

La figure II.8 illustre le circuit du capteur de courant ACS712 ainsi que les différentes broches qui le composent :

- ✓ Pin 1.2 (IP+) : Terminal pour le courant échantillonné, fusionné en interne
- ✓ Pin 3.4 (IP-) : Terminal pour le courant échantillonné, fusionné en interne
- ✓ Pin 5 (GND) : Terminal du signal terre (Ground)
- ✓ Pin 6 (FILTRE) : Borne pour un condensateur externe qui définit la bande passante
- ✓ Pin 7 (Vout) : Signal de sortie Analogique
- ✓ Pin 8 (Vcc) : Borne d'alimentation de l'appareil

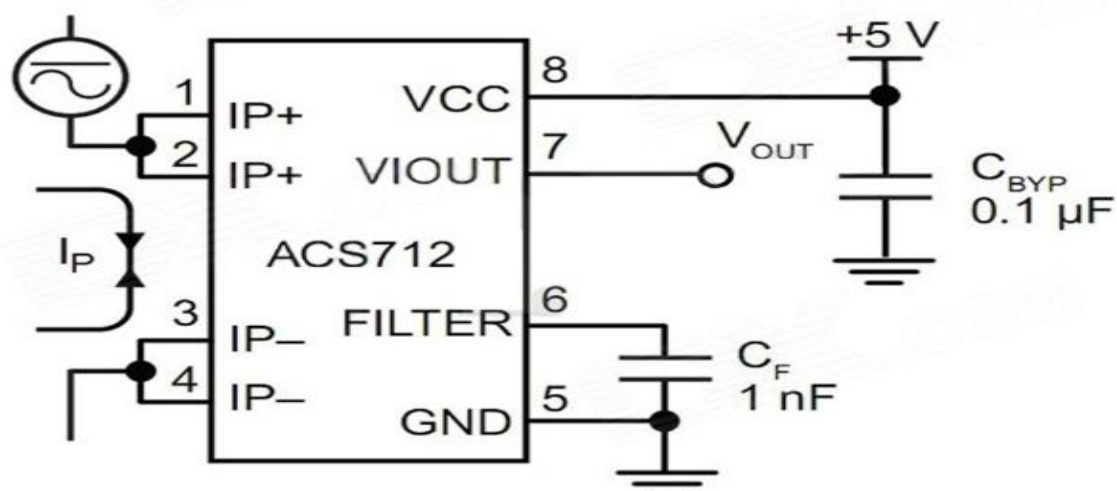


FIGURE II.8 : BROCHAGE DU CAPTEUR DE COURANT ACS712 [29]

D. Relation entre Courant et Tension dans les Capteurs ACS712

Les capteurs de courant ACS712 génèrent une tension de sortie (V_{out}) proportionnelle au courant traversant le circuit (courant d'entrée (I)). Ce dispositif actif nécessite une alimentation en tension V_{cc} pour fonctionner. En situation sans charge, la tension de sortie est égale à $V_{cc}/2$. Lorsque la charge est connectée, la tension de sortie est déterminée par l'équation suivante :

$$V_{out} = V_{cc} / 2 + (\text{sensibilité} * I)$$

La valeur $V_{cc}/2$ représente l'offset du capteur, compensant les valeurs négatives instantanées du courant. Ainsi, la tension de sortie du capteur de courant varie entre 0V et 5V en raison de cet offset, éliminant ainsi le besoin de redressement du courant [26].

II.3.2.3 Le capteur de tension ZMPT101B

Le ZMPT101B est le capteur de tension choisi pour ce projet. Spécialement conçu pour détecter la tension alternative (AC) dans les systèmes électroniques, ce capteur analogique produit une tension de sortie proportionnelle à la tension d'entrée. Sa sensibilité typique de 0,1 V/V permet de calculer la tension de sortie en multipliant la tension d'entrée par ce facteur. Utilisé couramment dans les applications de contrôle et de surveillance industriels et résidentiels, ce capteur aide à protéger les équipements contre les variations de tension indésirables. Grâce à son potentiomètre précis à plusieurs tours, sa sortie analogique peut être

ajustée avec précision, le rendant compatible avec des plateformes telles qu'Arduino ou ESP32 pour l'analyse de la tension secteur. Sa précision élevée, son isolation électrique exceptionnelle, sa large plage de mesure et sa fiabilité en font une solution idéale pour une multitude de projets électriques nécessitant une mesure précise de la tension alternative [27].

Le ZMPT101B, grâce à son transformateur abaisseur, réduit la tension alternative d'entrée à un niveau plus faible, permettant de mesurer de grandes tensions en toute sécurité. Le potentiomètre intégré permet de calibrer la sensibilité du capteur en ajustant le gain, assurant des mesures précises et adaptées à différents niveaux de tension. Cela garantit également que la sortie analogique est compatible avec les microcontrôleurs tels que l'Arduino ou l'ESP32.



FIGURE II.9 : PHOTOGRAPHIE DU CAPTEUR DE TENSION, LE ZMPT101B [27]

a) Caractéristiques du capteur de tension ZMPT101B

- **Large plage de mesure** : Capable de mesurer des tensions de 0 à 250 V AC.
- **Amplificateur opérationnel intégré** : Équipé d'un circuit amplificateur de haute précision.
- **Facilité d'utilisation** : Conçu pour être facile à utiliser et à intégrer dans divers projets.
- **Tension d'alimentation** : Fonctionne avec une tension d'alimentation comprise entre 5V et 30V.
- **Réglage de la sortie** : Dispose d'un potentiomètre pour ajuster la sortie ADC (Analog-to-Digital Converter).

b) Broche d'un capteur de tension ZMPT101B :

- **Pin 1 (Vcc)** : Borne d'alimentation du capteur.
- **Pin 2 (out)** : Signal de sortie analogique
- **Pin 3,4 (GND)** : Terminal du signal terre (Ground)
- **Phase (L, N)** : Terminal pour la tension échantillonné, fusionné en interne

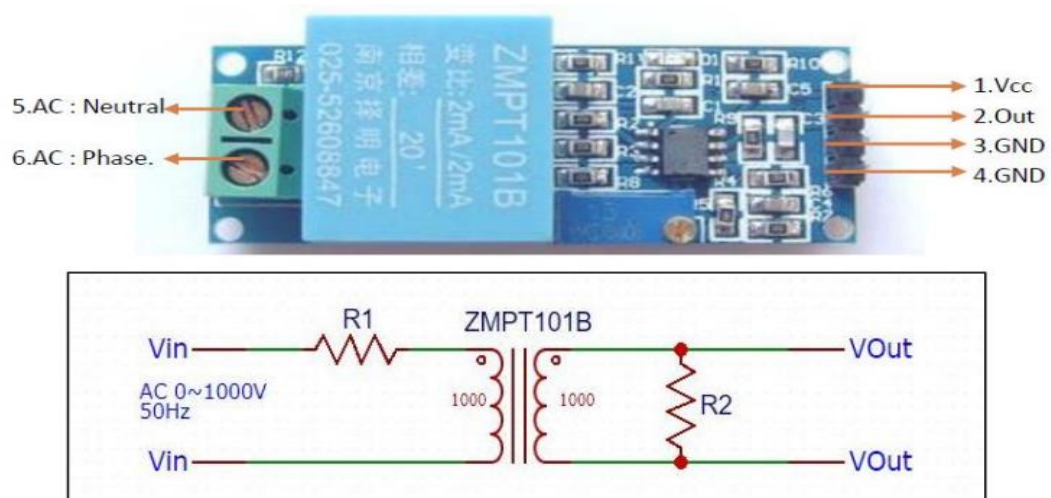


FIGURE II.10 : SCHEMA DE CABLAGE ET CIRCUIT INTERNE DU CAPTEUR DE TENSION ZMPT101B

II.3.3 Module relais 5V à 2 canaux

Ce module relais à 2 canaux fonctionne avec une tension de 5V et est conçu pour des signaux de commande de bas niveau, nécessitant un courant de commande de 15-20mA par canal. Il permet de contrôler divers appareils et équipements à fort courant. Chaque relais du module peut supporter des charges allant jusqu'à 250V AC à 10A ou 30V DC à 10A. De plus, il est doté d'une interface standard, ce qui le rend facilement contrôlable directement par un microcontrôleur [28]. Ce module permet d'interrompre ou d'établir le courant dans des circuits de puissance à partir d'un signal de faible puissance, aussi une sécurité accrue en isolant les circuits de commande des circuits de puissance typiquement fourni par un microcontrôleur ou un système de gestion de l'énergie. Ainsi, le module relais 5V 2 canaux est essentiel pour améliorer l'efficacité, la sécurité et la fiabilité du système de compteur électrique.



FIGURE II.11 : MODULE RELAIS 5V A 2 CANAUX

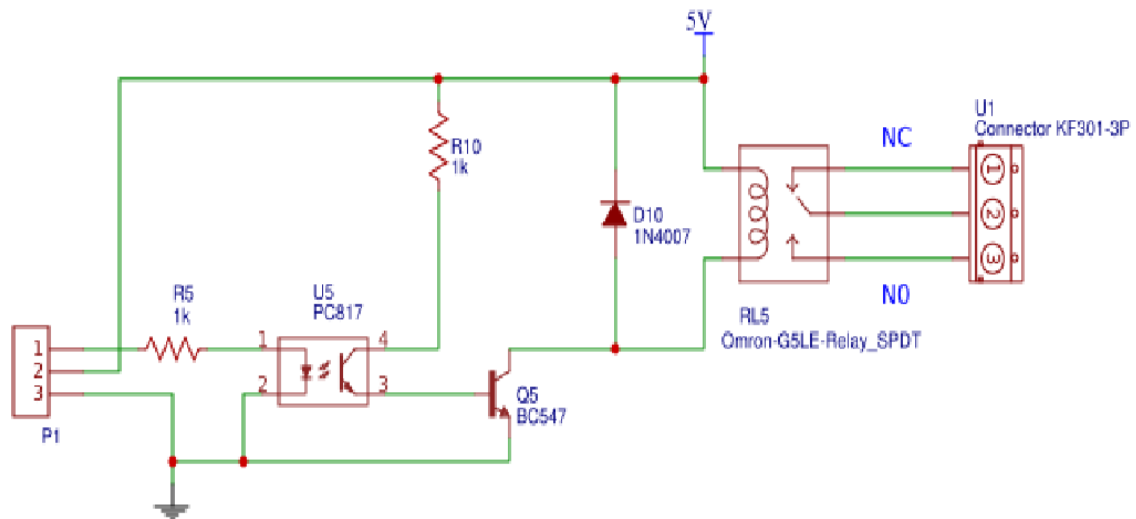


FIGURE II.12 : CIRCUIT ELECTRIQUE D'UN RELAIS 5V

II.3.4 L'afficheur LCD 16x2

L'afficheur LCD 16x2 joue un rôle crucial en tant qu'interface visuelle entre un système et l'utilisateur, en affichant les données pertinentes de manière claire et lisible. Avec la capacité d'afficher jusqu'à 32 caractères répartis sur deux lignes, il offre une plateforme conviviale pour une variété d'applications, allant de l'électronique aux modélisations 3D. Son utilisation efficace nécessite une bonne compréhension de son datasheet, décrivant en détail ses caractéristiques et ses modes de fonctionnement.

Les avantages de ce type d'afficheur sont multiples :

- Branchement simple aux circuits imprimés, facilitant ainsi l'intégration dans les systèmes électroniques.
- Faible besoin en composants externes pour assurer un bon fonctionnement, simplifiant ainsi la conception globale du système.
- Nombre de lignes et de caractères approprié pour de nombreuses applications (2 lignes et 16 caractères), offrant un affichage clair et concis.
- Capacité à afficher une variété de données, y compris des lettres, des chiffres et quelques symboles, pour une visualisation complète et précise des informations [29].



FIGURE II.13 : ÉCRAN LCD 16×2 [29]

➤ **Brochage d'un afficheur LCD 16×2**

Le brochage d'un écran LCD est standardisé avec généralement 14 broches (ou 16 si l'écran est rétroéclairé) pour les formats de petite taille [30].

- **Pin 1 (VSS) :** GND.
- **Pin 2 (VDD) :** 5V.
- **Pin 3 (VEE) :** Potentiomètre pour le contraste.
- **Pin 4 (RS) :** GPIO pour le signal de sélection.
- **Pin 5 (R/W) :** GND ou GPIO pour le signal de lecture/écriture.
- **Pin 6 (E) :** GPIO pour le signal de validation de fonctionnement.
- **Pins 7 à 14 (D0 - D7) :** Lignes de bus de données utilisées en mode 8 bits ou 4 bits.
- **Pin 15 (A - LED +) :** Anode pour le rétroéclairage LCD.
- **Pin 16 (K - LED) :** Cathode pour le rétroéclairage LCD.

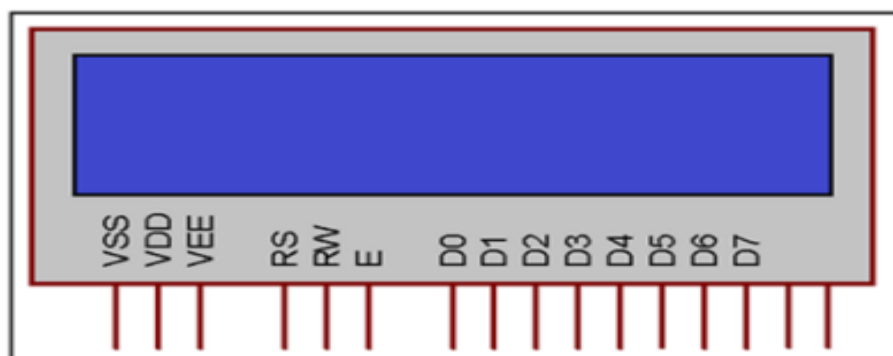


FIGURE II.14 : BROCHAGE D'UN ECRAN LCD

II.4 Conception logicielle du compteur d'énergie

Dans cette section, nous nous pencherons sur la conception logicielle du compteur d'énergie réalisé. Nous commencerons par examiner l'utilisation de l'IDE Arduino pour la programmation de la carte ESP32. Ensuite, nous aborderons la connectivité Wi-Fi de l'ESP32 et fournirons le programme de configuration et de test du Wi-Fi. Enfin, nous nous intéresserons à l'application Blynk, qui sera utilisée pour afficher les paramètres mesurés et calculés par le compteur d'énergie.

II.4.1 L'environnement de développement intégré (IDE) Arduino

L'IDE Arduino est un environnement de développement intégré (IDE) qui permet de programmer les cartes Arduino. Il est disponible en téléchargement gratuit sur le site web d'Arduino et est compatible avec les systèmes d'exploitation Windows, Mac OS X et Linux.

L'IDE Arduino comprend un éditeur de texte, un compilateur et un programme de téléchargement qui permettent de créer et de télécharger des programmes sur la carte Arduino. Il comprend également une bibliothèque de fonctions prêtes à l'emploi pour faciliter le développement de programmes [31]. L'IDE Arduino est relativement simple à utiliser et convient aussi bien aux débutants qu'aux utilisateurs avancés. Il permet de programmer en langage C/C++, et propose des outils de débogage pour faciliter la correction d'erreurs dans les programmes.

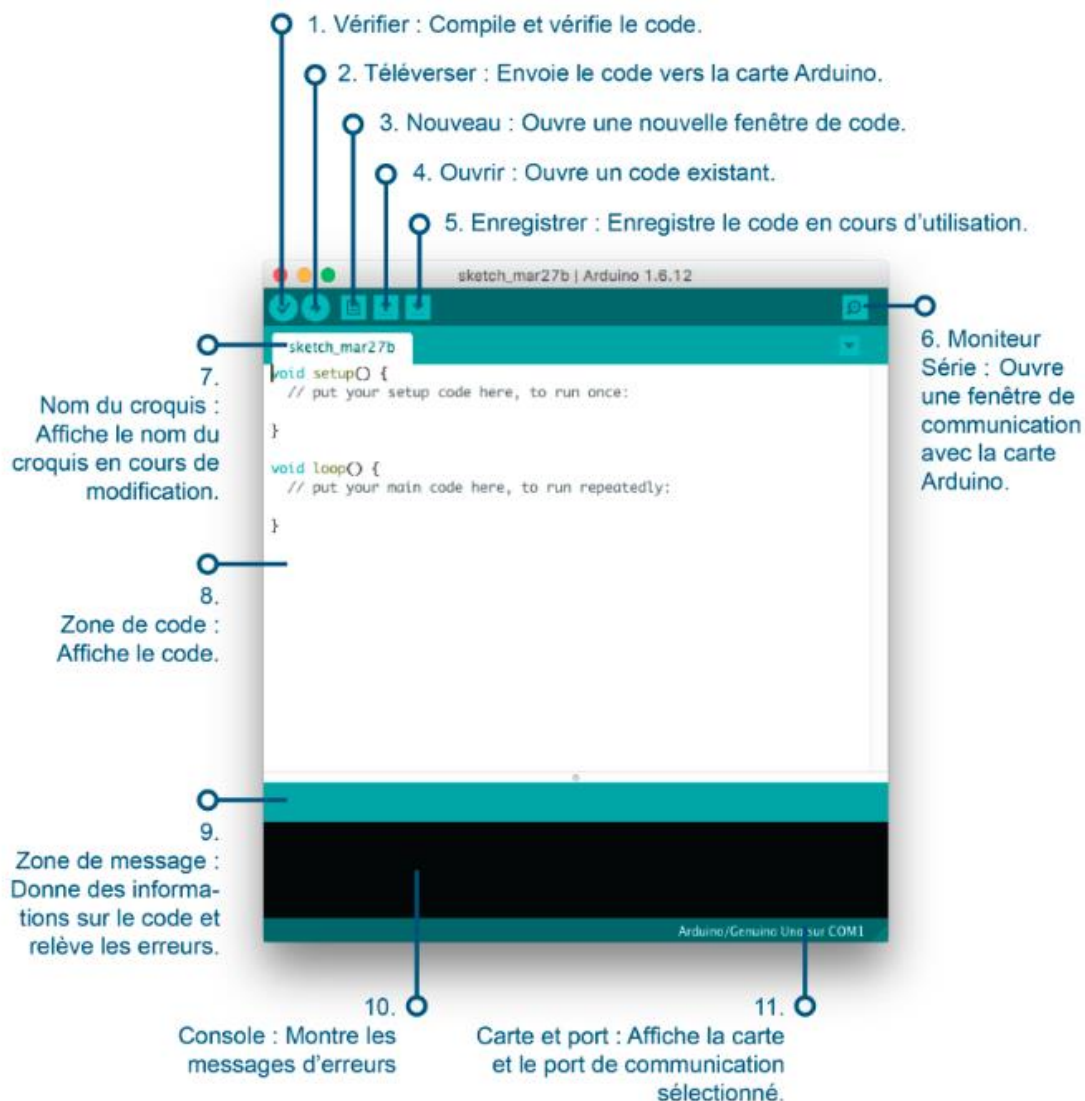


FIGURE II.15 : INTERFACE PRINCIPALE DE L'IDE ARDUINO

II.4.2 Arduino IDE et l'ESP32 WROOM32

II.4.2.1 Programme l'ESP32 WROOM32 avec l'Arduino IDE

L'Arduino IDE (Integrated Development Environment) est un environnement de développement intégré populaire et convivial utilisé pour programmer des microcontrôleurs, y compris ceux de la famille ESP32. Grâce à sa simplicité et à son interface intuitive, l'Arduino IDE permet même aux débutants de programmer facilement des microcontrôleurs.

a) Intégration de l'ESP32 avec Arduino IDE

Pour programmer l'ESP32 avec l'Arduino IDE, les utilisateurs doivent d'abord installer le support pour l'ESP32 dans l'IDE. Voici les étapes pour y parvenir :

1. Installation de l'IDE Arduino :

- Télécharger et installer l'Arduino IDE à partir du site officiel [Arduino.cc] (<https://www.arduino.cc/>).

2. Ajout du gestionnaire de cartes ESP32 :

- Ouvrir l'Arduino IDE et accéder aux préférences via « Fichier > Préférences ».
- Dans le champ "URL de gestionnaire de cartes supplémentaires", ajouter l'URL suivante : `https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json`.
- Aller dans « Outils > Type de carte > Gestionnaire de cartes », puis rechercher "ESP32" et installer le paquet correspondant fourni par Espressif.

3. Sélection de la carte ESP32

- Après l'installation, aller dans « Outils > Type de carte » et sélectionner votre modèle ESP32, par exemple, « ESP32 Dev Module ».

4. Programmation de l'ESP32

- Écrire le code souhaité dans l'IDE Arduino. Les bibliothèques et les exemples fournis par Espressif facilitent la mise en œuvre de fonctionnalités avancées comme le Wi-Fi et le Bluetooth.
- Connecter l'ESP32 à l'ordinateur via un câble USB.
- Sélectionner le port COM correspondant sous « Outils > Port ».
- Télécharger le code sur l'ESP32 en cliquant sur le bouton de téléversement (icône de flèche droite).

Avantages de l'utilisation de l'Arduino IDE avec l'ESP32

- ✓ **Facilité d'utilisation** : L'interface de l'Arduino IDE est simple et intuitive, ce qui permet une prise en main rapide.
- ✓ **Large communauté** : Une vaste communauté de développeurs et de ressources en ligne, incluant des forums, des tutoriels, et des bibliothèques.
- ✓ **Support étendu** : L'IDE Arduino prend en charge une large gamme de cartes et de modules ESP32, facilitant leur programmation.
- ✓ **Bibliothèques intégrées** : De nombreuses bibliothèques sont disponibles pour l'ESP32, ce qui simplifie l'implémentation de fonctions complexes telles que la connectivité Wi-Fi et Bluetooth.

En utilisant l'Arduino IDE avec l'ESP32, les développeurs peuvent tirer parti des puissantes capacités de ce microcontrôleur tout en bénéficiant de la simplicité et de l'accessibilité de l'environnement de développement Arduino.

II.4.2.2 Connectivité wifi de l'ESP32

L'ESP32 est un microcontrôleur puissant et polyvalent développé par *Espressif Systems*, particulièrement reconnu pour ses capacités de connectivité Wi-Fi intégrées. Voici un aperçu des principales caractéristiques et avantages de la connectivité Wi-Fi de l'ESP32 :

Caractéristiques de la Connectivité Wi-Fi de l'ESP32

- **Double Mode Wi-Fi** : L'ESP32 supporte les modes de fonctionnement Wi-Fi station (STA) et point d'accès (AP), permettant à l'appareil de se connecter à un réseau Wi-Fi existant ou de créer son propre réseau Wi-Fi.
- **Normes Wi-Fi** : Il est compatible avec les normes Wi-Fi 802.11 b/g/n, offrant une bonne compatibilité avec la plupart des réseaux sans fil existants.
- **Sécurité Avancée** : L'ESP32 prend en charge les protocoles de sécurité Wi-Fi avancés, notamment WEP, WPA/WPA2-PSK, et les certificats X.509, assurant des connexions sécurisées.
- **Réseaux Mesh** : Il supporte également la création de réseaux mesh, permettant une communication robuste entre plusieurs appareils ESP32 dans une zone étendue sans nécessiter un point d'accès central.
- **Fréquences** : L'ESP32 opère principalement sur la bande de fréquence 2.4 GHz, une bande largement utilisée pour les réseaux Wi-Fi domestiques et industriels.
- **Performance** : Le module offre des débits de données élevés et une portée de communication efficace, adaptés à une large gamme d'applications IoT.

II.4.2.3 Programme de Configuration et test Wi-Fi pour l'ESP32

Ce programme permet de tester la connectivité Wi-Fi de la carte ESP32. Il permet en outre, de vérifier que la carte ESP32 peut se connecter à un réseau Wi-Fi et d'afficher l'adresse IP attribuée, confirmant ainsi la bonne configuration et opération de la connectivité Wi-Fi.

```
#include <WiFi.h>
// Remplacez par vos informations de réseau
const char* ssid = "votre_SSID";
const char* password = "votre_mot_de_passe";
void setup() {
  // Initialisation de la communication série pour le débogage
  Serial.begin(115200);
  delay(10);
  // Connexion au Wi-Fi
  Serial.println();
  Serial.print("Connexion au réseau Wi-Fi ");
  Serial.println(ssid);
  // Tentative de connexion au réseau
  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.print(".");
  }
  // Une fois connecté
  Serial.println();
  Serial.println("Connexion établie !");
  Serial.print("Adresse IP : ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}
void loop() {
  // Boucle vide, le programme n'a pas besoin de faire autre chose après la connexion
}
```

1. Inclusion de la Bibliothèque WiFi :

- Le programme commence par inclure la bibliothèque WiFi.h, nécessaire pour les fonctionnalités Wi-Fi de l'ESP32.

2. Déclaration des Informations de Réseau :

- Les constantes « ssid » et « password » contiennent les informations de connexion au réseau Wi-Fi.

3. Fonction setup() :

- Initialise la communication série pour le débogage à une vitesse de 115200 baud.
- Affiche des messages de connexion au Wi-Fi et tente de se connecter au réseau spécifié.
- Si la connexion réussit, affiche l'adresse IP obtenue.

4. Fonction loop() :

- La boucle est vide car aucune action continue n'est nécessaire après la connexion au Wi-Fi.

II.4.3 Application Blynk

Blynk est une plateforme IoT (Internet des objets) qui révolutionne la manière de contrôler des appareils électroniques à distance grâce à une application mobile conviviale. Elle offre une gamme étendue de widgets personnalisables qui permettent de créer facilement des interfaces utilisateur pour interagir avec des objets connectés.

L'un des principaux avantages de Blynk réside dans sa conception intuitive par glisser-déposer, offrant ainsi une expérience sans nécessité de coder. Cette approche simplifiée permet aux utilisateurs de créer rapidement des interfaces utilisateur graphiques adaptées à leurs besoins spécifiques, sans avoir à maîtriser des langages de programmation complexes.

Blynk communique avec un serveur dédié via divers moyens de connectivité tels que Ethernet, WiFi ou GSM, offrant ainsi une flexibilité maximale pour s'adapter à différents environnements et configurations réseau. De plus, Blynk est compatible avec une vaste gamme de cartes matérielles, comprenant plus de 400 modèles comme Arduino, ESP8266 et Raspberry Pi, ce qui en fait une solution polyvalente pour une multitude de projets IoT.

Pour démarrer avec Blynk, il vous suffit de télécharger l'application sur votre appareil mobile, d'installer la bibliothèque correspondante dans votre environnement de développement, de créer un compte sur la plateforme Blynk, puis de configurer un projet en sélectionnant le système embarqué approprié ainsi que le type d'accès souhaité. Avec Blynk, la mise en œuvre d'applications IoT interactives et personnalisées devient accessible à tous, même sans expertise approfondie en programmation [32].

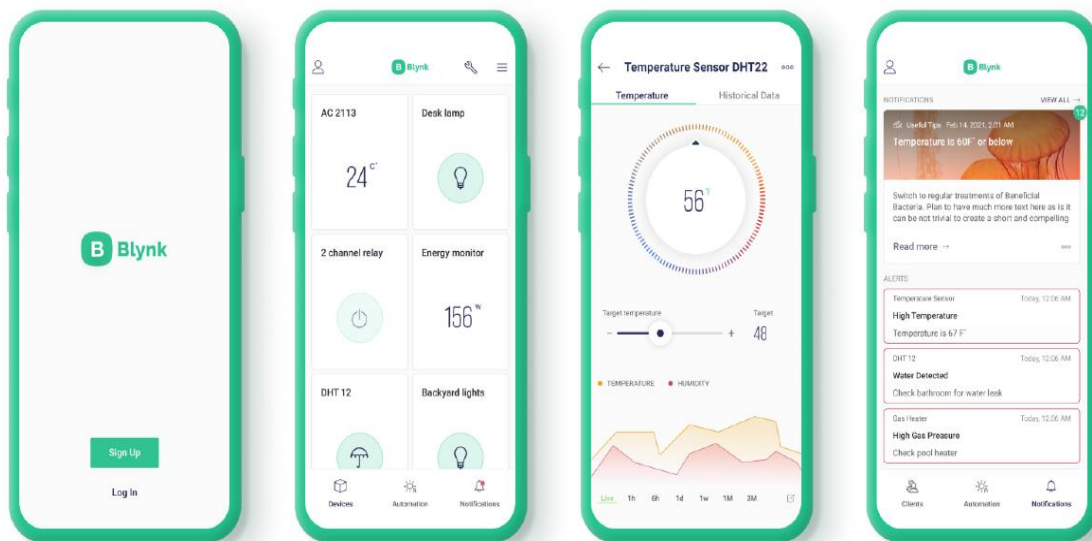


FIGURE II.16 : EXEMPLE D'APPLICATION BLYNK

Chapitre 02 : Conception matérielle et logicielle du compteur intelligent

La programmation de Blynk pour une application avec ESP32 implique plusieurs étapes :

- 1. Installation de la bibliothèque Blynk :** Assurer l'installation de la bibliothèque Blynk dans l'environnement Arduino IDE. Cela se fait en accédant à "Croquis" -> "Inclure une bibliothèque" -> "Gérer les bibliothèques", puis en recherchant et installant la bibliothèque Blynk.
- 2. Création d'un projet Blynk :** Télécharger l'application Blynk sur l'appareil mobile et créer un nouveau projet. Un jeton d'authentification sera envoyé par e-mail, utilisé dans le code ESP32 pour l'authentification auprès du serveur Blynk.
- 3. Configuration du code ESP32 :** Utiliser le code ESP32 fourni dans les exemples de la bibliothèque Blynk pour démarrer. Inclure la bibliothèque Blynk en haut du code. Configurer les broches de l'ESP32 selon les besoins et utiliser le jeton d'authentification pour établir une connexion avec le serveur Blynk.
- 4. Définition des widgets Blynk :** Dans l'application Blynk, ajouter les widgets pour contrôler l'ESP32. Utiliser des boutons, curseurs, graphiques, etc. Chaque widget aura un identifiant utilisé dans le code pour les lier à des actions spécifiques.
- 5. Écriture du code :** Écrire le code pour l'ESP32 en utilisant les fonctions de la bibliothèque Blynk pour lire les valeurs des widgets et contrôler les broches en conséquence. Gérer les événements et les erreurs de connexion de manière appropriée.
- 6. Téléversement du code :** Une fois le code écrit, le téléverser sur l'ESP32 via l'IDE Arduino. S'assurer que l'ESP32 est correctement connecté à l'ordinateur via un câble USB.
- 7. Test et débogage :** Tester l'application Blynk pour vérifier son bon fonctionnement. En cas de problème, consulter les messages de débogage dans l'IDE Arduino ou dans le moniteur série pour identifier les problèmes éventuels.

En suivant ces étapes, il est possible de programmer l'ESP32 pour fonctionner avec Blynk et créer des applications IoT interactives et personnalisées.

II.5 Conclusion

Ce chapitre a offert une vue d'ensemble détaillée de la conception matérielle et logicielle du compteur d'énergie intelligent basé sur l'Internet des objets (IoT). Nous avons exploré les composants essentiels tels que la carte ESP32 WROOM32, les capteurs de courant ACS712 et de tension ZMPT101B, la carte relais et l'afficheur LCD, et expliqué leur rôle dans le système. La section consacrée à la conception logicielle a montré comment utiliser l'IDE Arduino pour programmer l'ESP32, configurer la connectivité Wi-Fi et intégrer l'application Blynk pour une surveillance et un contrôle en temps réel des paramètres énergétiques. En combinant ces éléments, nous pourrions construire un compteur d'énergie intelligent capable de fournir des données précises et exploitables, facilitant ainsi une gestion énergétique efficace et optimisée.

CHAPITRE III : RÉALISATION PRATIQUE ET TEST DU COMPTEUR INTELLIGENT

III.1 Introduction

Ce chapitre aborde la conception, la réalisation et l'intégration du compteur intelligent d'énergie, en se concentrant sur les composants utilisés, leur câblage, et la programmation nécessaire pour leur fonctionnement. Le compteur est basé sur une carte ESP32 et utilise des capteurs pour mesurer la tension et le courant, ainsi qu'une application mobile Blynk pour afficher les données en temps réel. Nous décrirons également la méthode de calcul de la tarification de l'énergie consommée, ainsi que les tests pratiques effectués pour valider le bon fonctionnement du système.

III.2 Schéma bloc du compteur intelligent d'énergie réalisé

Le schéma bloc du compteur intelligent d'énergie conçu et réalisé dans ce mémoire est présenté à la figure III.1. Ce compteur intelligent est construit autour de la carte ESP32 et utilise une application web pour afficher les données mesurées et calculées sur un smartphone.

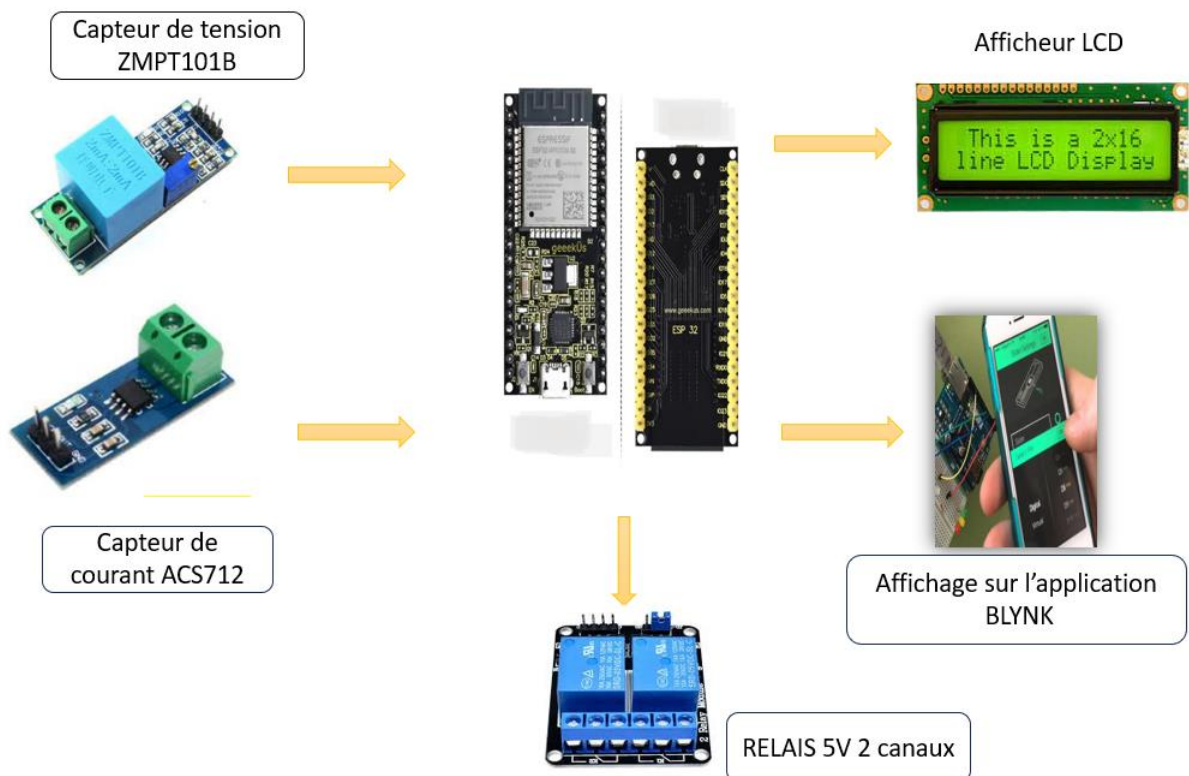


FIGURE III.1 : SCHEMA BLOC DU COMPTEUR INTELLIGENT D'ENERGIE

Un capteur de courant de type ACS712 est utilisé pour mesurer le courant de charge, tandis qu'un capteur de tension de type ZMPT101B est employé pour mesurer la tension du

Chapitre 03 : Réalisation Pratique et test du Compteur Intelligent

réseau. De plus, une carte relais est intégrée pour le contrôle des charges, et un afficheur LCD est utilisé pour afficher les différentes grandeurs mesurées.

Les grandeurs affichées, que ce soit sur le smartphone via l'application Blynk ou sur l'afficheur LCD, incluent la tension du réseau, le courant consommé par la charge, l'énergie (calculée comme l'intégrale de la puissance) et le coût de la consommation. La connectivité Wi-Fi de l'ESP32 est utilisée pour la communication avec l'application Blynk sur le smartphone.

La figure III.2 présente le schéma de câblage du compteur d'énergie réalisé sous Fritzing, comprenant les différents éléments nécessaires à son fonctionnement.

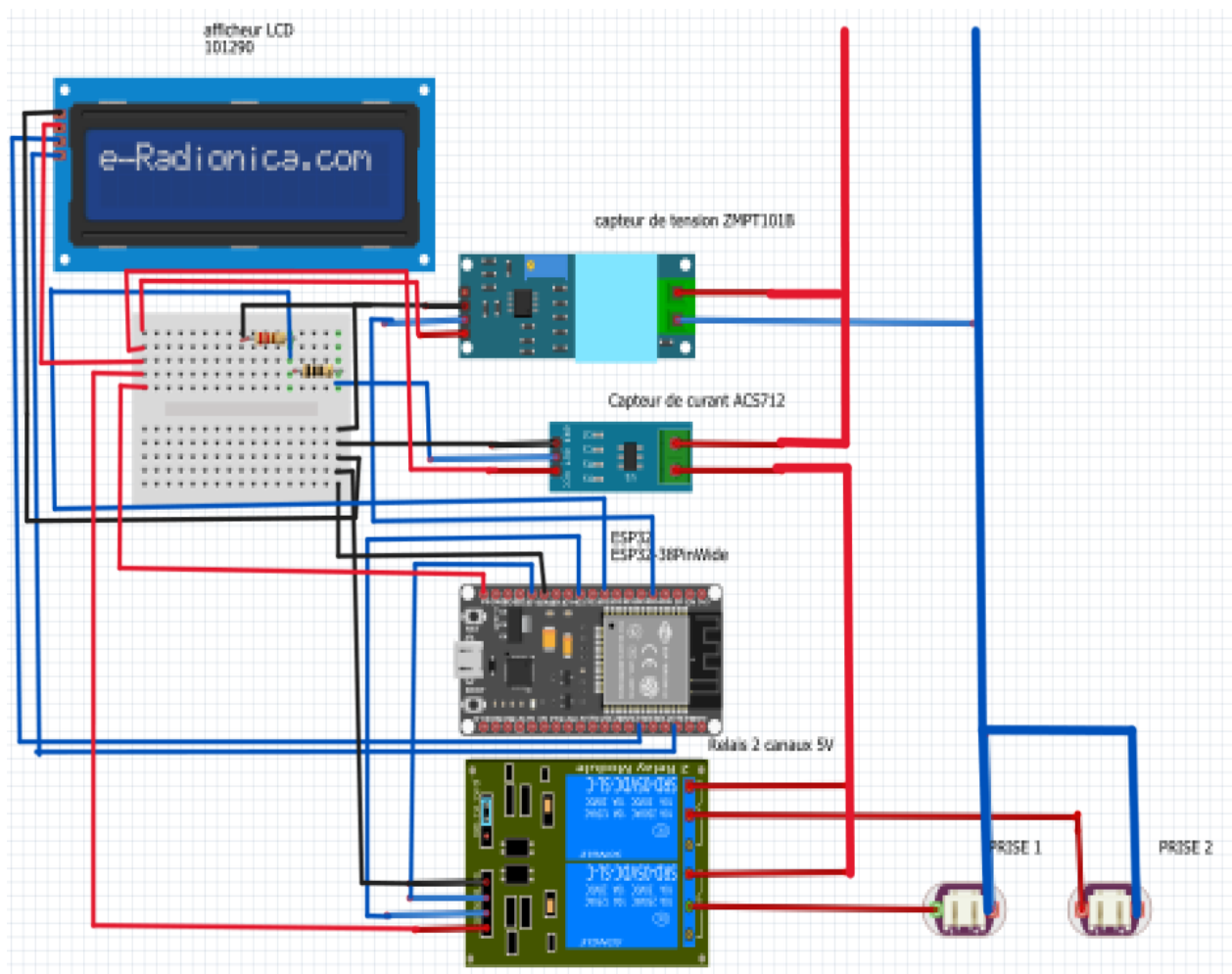


FIGURE III.2 : LE CIRCUIT GLOBAL DU COMPTEUR INTELLIGENT D'ENERGIE SOUS FRITZING

Dans ce qui suit, nous décrivons la démarche suivie pour mettre en œuvre les différents éléments. Nous détaillerons les programmes utilisés pour leur fonctionnement et présenterons les résultats obtenus pour chaque partie ou composant.

III.3 Exploitation du capteur de tension ZMPT101B

Le capteur ZMPT101B joue un rôle crucial dans le projet de compteur intelligent en mesurant la tension d'entrée du réseau électrique. Cette mesure est essentielle pour calculer la puissance consommée par les charges connectées, ainsi que pour évaluer d'autres paramètres énergétiques comme l'énergie consommée et le tarif appliqué. Son intégration avec l'ESP32 et l'ensemble du système permet une surveillance en temps réel de la consommation électrique via une application mobile et un afficheur LCD. La figure III.3 présente le schéma de câblage du capteur réalisé sous Fritzing. Il est alimenté par l'ESP32 d'un côté et sa sortie est connectée à l'ESP32 de l'autre côté. Il est également relié à la source de tension du réseau 220V pour mesurer cette tension, qui correspond à la tension d'entrée du compteur d'énergie.

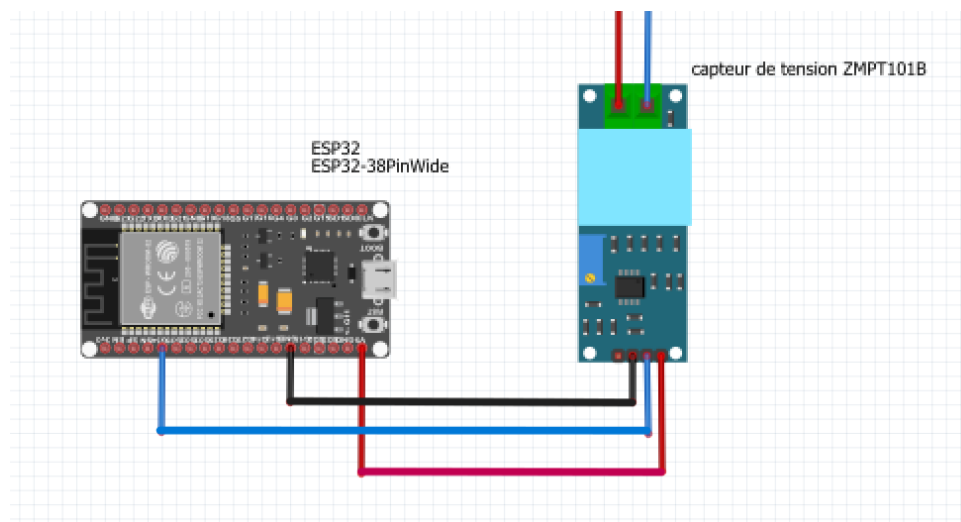


FIGURE III.3 : SCHEMA DE CABLAGE DU CAPTEUR DE TENSION REALISE SOUS FRITZING

III.3.1 Programmation du capteur de tension ZMPT101B avec l'ESP32

Le programme développé sous l'IDE Arduino utilise un capteur de tension ZMPT101B pour mesurer la tension RMS (*Root Mean Square*) et afficher les résultats sur le moniteur série. Initialement, la bibliothèque ZMPT101B est intégrée et la sensibilité du capteur est configurée à 500.0 mV par volt. Ensuite, un objet '*voltageSensor*' est instancié, spécifié pour lire le capteur connecté à la broche analogique 34 du microcontrôleur, fonctionnant à une fréquence de source de 50 Hz.

Dans la fonction '*setup()*', la communication série est établie à 115200 bauds et la sensibilité du capteur est calibrée. La fonction '*loop()*' est utilisée pour obtenir périodiquement

la tension RMS en utilisant la méthode `'getRmsVoltage()'` de l'objet `'voltageSensor'`. Les valeurs mesurées sont ensuite affichées sur le moniteur série. Un délai d'une seconde conclut chaque itération de la boucle afin de garantir une mise à jour régulière et précise de la mesure de tension.

III.3.2 Test pratique du bon fonctionnement du capteur de tension

Dans le cadre des tests pratiques visant à évaluer le capteur et le programme développé, nous avons utilisé une source de tension alternative variable ainsi qu'un voltmètre pour comparer les valeurs obtenues. La figure suivante présente une photographie du voltmètre et une capture d'écran des valeurs de tension affichées sur le moniteur série. Nous avons observé que les deux valeurs étaient pratiquement identiques : 223.5 volts sur le voltmètre et environ 224 volts sur le moniteur série. Il est important de souligner que, pour ces tests, le capteur a été minutieusement calibré à l'aide d'un potentiomètre intégré spécialement conçu pour cette fin, garantissant ainsi la précision des mesures réalisées.



(a)

```
Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'ESP32-WROOM-DA Module' on 'COM4')
RMS voltage: v 224.07
RMS Voltage: V 223.52
RMS Voltage: V 225.26
RMS Voltage: V 224.78
RMS Voltage: V 225.16
RMS Voltage: V 224.23
RMS Voltage: V 224.95
```

(b)

FIGURE III.4 : TEST PRATIQUE DU CAPTEUR DE TENSION : (A) RESULTAT OBTENU SUR VOLTMETRE ; ET (B) RESULTAT OBTENU SUR LE MONITEUR SERIE

III.4 Exploitation du capteur de courant ACS712

Le capteur ACS712 5 A joue un rôle crucial dans le projet de compteur intelligent en mesurant le courant traversant les charges électriques connectées. Cette mesure est essentielle pour calculer la puissance consommée, évaluer les paramètres énergétiques tels que l'énergie consommée et le tarif appliqué. Intégré avec l'ESP32 et l'ensemble du système, il permet une surveillance en temps réel de la consommation électrique via une application mobile et un afficheur LCD. La figure III. 5 illustre le schéma de câblage du capteur réalisé sous Fritzing. Il est alimenté par l'ESP32. D'un côté et connecté en série avec le réseau et les charges, servant ainsi à mesurer le courant. De l'autre côté, il est connecté à l'ESP32 pour transmettre les mesures de courant.

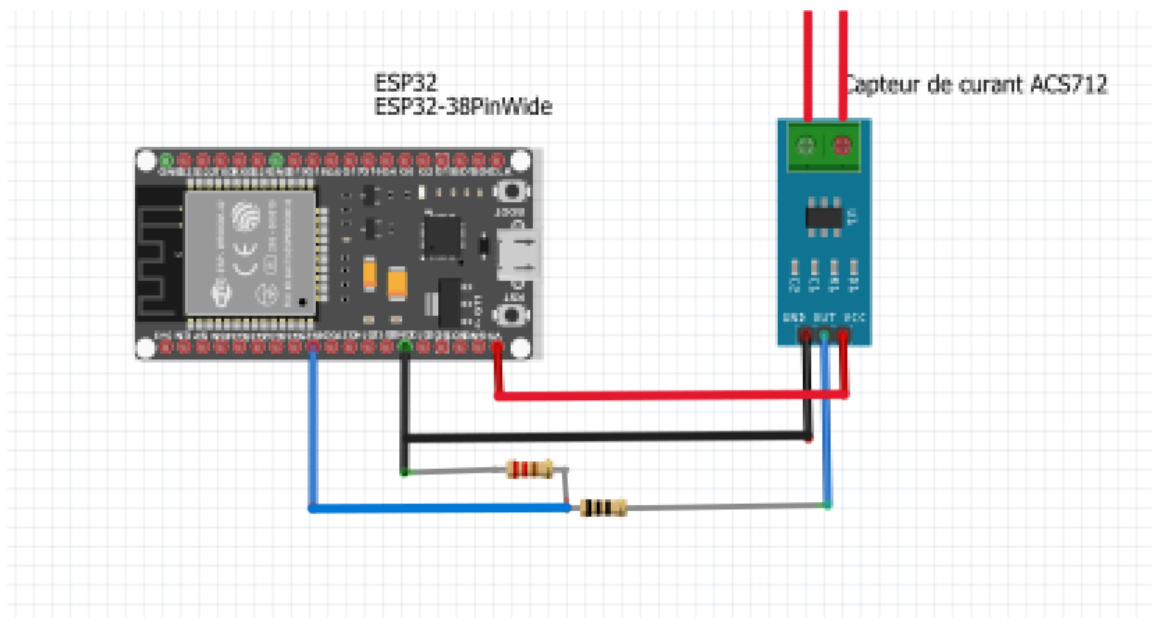


FIGURE III.5 : SCHEMA DE CABLAGE DU CAPTEUR DE COURANT REALISE SOUS FRITZING

➤ Adaptation de la tension de sortie du capteur de courant pour l'ESP32

L'ESP32, comme beaucoup de microcontrôleurs modernes, utilise des broches analogiques qui ont une plage de tension maximale de 3,3V pour les entrées analogiques. Si une tension supérieure à 3,3V est appliquée à ces broches, cela peut endommager le microcontrôleur. Par conséquent, pour interfacer des capteurs ou d'autres dispositifs qui génèrent des tensions plus élevées, comme le capteur de courant ACS712 qui peut fournir jusqu'à 5V en sortie, un diviseur de tension est souvent utilisé.

Ains, dans le schéma de câblage du capteur de courant ACS712 avec l'ESP32, deux résistances sont utilisées comme diviseur de tension. Ce diviseur de tension est configuré pour

ajuster la plage de tension de sortie du capteur ACS712, qui varie de 0 à 5V, à une plage de 0 à 3,3V compatible avec l'ESP32. Cela permet à l'ESP32 de mesurer avec précision la tension de sortie du capteur, correspondant au courant mesuré, tout en respectant la plage de tensions acceptée par ses broches analogiques.

III.4.1 Programmation du capteur de courant ACS712 avec l'ESP32

Le programme écrit sous l'IDE Arduino pour programmer le capteur de courant ACS712 et mesurer la valeur efficace (RMS) du courant passe par plusieurs étapes clés. Tout d'abord, il initialise la communication série à une vitesse de 115200 bauds pour permettre l'affichage des résultats sur le moniteur série.

Le capteur est configuré pour lire les variations de courant à partir de la broche 34 du microcontrôleur. La mesure de la tension crête à crête (V_{pp}) est effectuée par la fonction '*getVPP()*', qui échantillonne les valeurs analogiques pendant une seconde pour déterminer les valeurs maximale et minimale. En utilisant la formule de conversion appropriée, la tension V_{pp} est calculée à partir de la résolution ADC de 4096 et de la tension d'alimentation de 3.3V de l'ESP32.

Ensuite, la tension RMS ($VRMS$) est calculée en prenant la moitié de la tension crête à crête et en la multipliant par 0.707, correspondant à la racine carrée de 2. La valeur efficace du courant ($AmpsRMS$) est ensuite calculée en divisant $VRMS$ par la sensibilité du capteur en millivolts par ampère (*mVperAmp*). Une correction de 0.16 est appliquée pour compenser les erreurs de calibration du capteur.

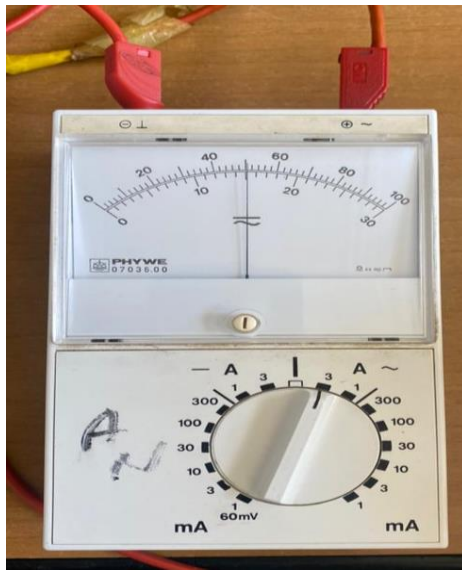
Enfin, cette valeur de courant RMS est affichée sur le moniteur série avec un délai de 1 seconde entre chaque itération de la boucle principale.

III.4.2 Test pratique du bon fonctionnement du capteur de courant

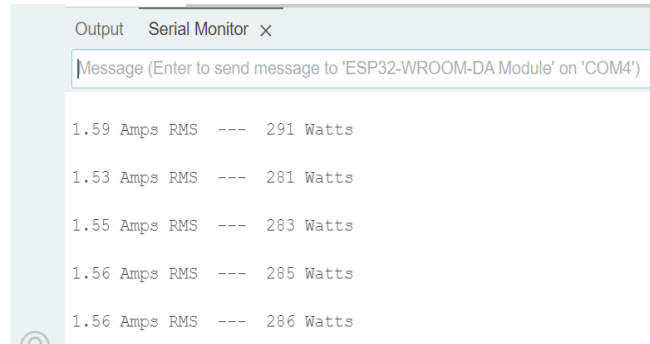
Dans le cadre des tests du capteur de courant, une source alternative est utilisée en conjonction avec une résistance de puissance variable, permettant ainsi la réalisation de deux tests distincts. Le premier test est mené à un courant de 1.55 A, tandis que le second est réalisé à 2.5 A. Les figures III.6 et III.7 illustrent respectivement les résultats obtenus sur un ampèremètre et un voltmètre pour chaque test. Les valeurs affichées sur le moniteur série sont quasiment identiques aux mesures des appareils physiques : 1.53 A par rapport à 1.55 A pour le premier test sur l'ampèremètre, et 2.56 A comparé à 2.5 A pour le second test.

Chapitre 03 : Réalisation Pratique et test du Compteur Intelligent

Ces résultats confirment le bon fonctionnement du capteur ainsi que la précision de la valeur d'erreur choisie dans le programme.



(a)

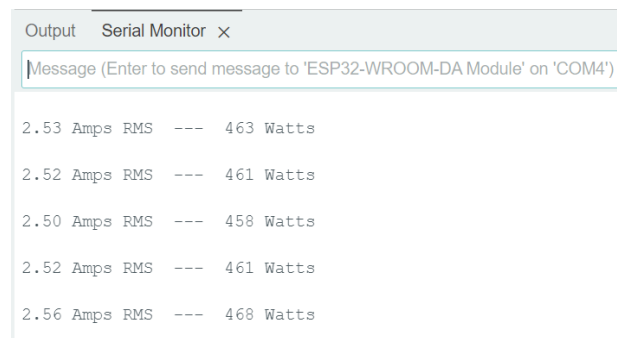


(b)

FIGURE III.6 : TEST PRATIQUE DU CAPTEUR DE COURANT (COURANT 1.55 A) : (A) RESULTAT OBTENU SUR AMPEREMETRE ; ET (B) RESULTAT OBTENU SUR LE MONITEUR SERIE



(a)

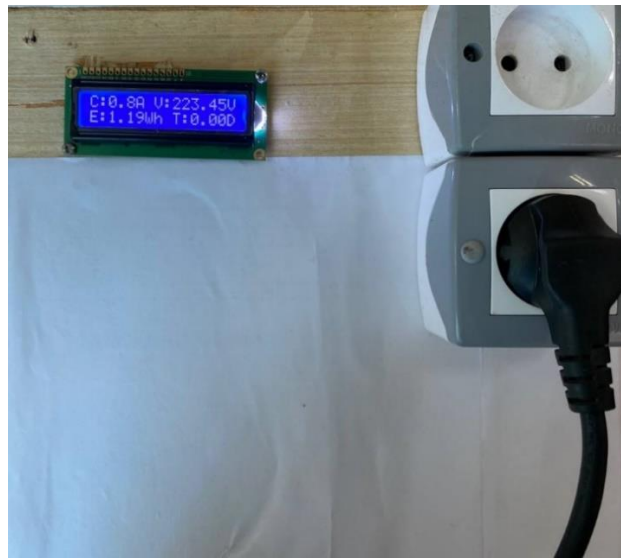


(b)

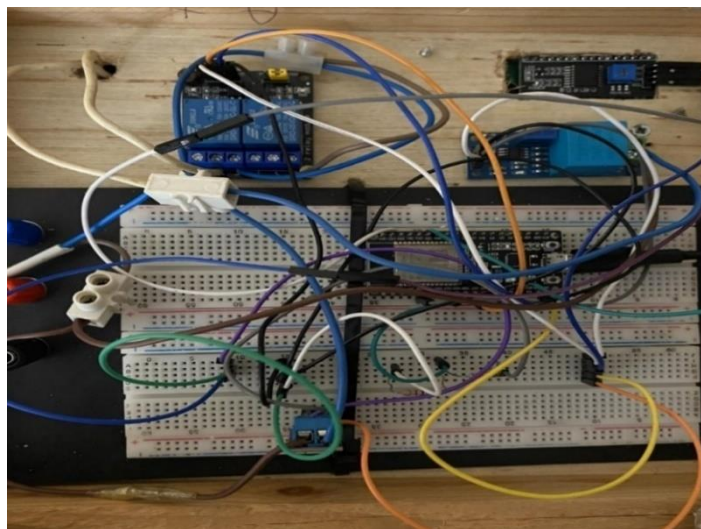
FIGURE III.7 : TEST PRATIQUE DU CAPTEUR DE COURANT (COURANT 2.5 A): (A) RESULTAT OBTENU SUR AMPEREMETRE ; ET (B) RESULTAT OBTENU SUR LE MONITEUR SERIE

III.5 Intégration pratique des différents éléments du compteur d'énergie intelligent et calcul des paramètres

La figure III.8 présente les vues de face et de dos du compteur d'énergie réalisé avec l'ensemble des composants du montage. Bien que de nombreux fils soient utilisés, une optimisation du câblage a été effectuée. Faute de temps, nous n'avons pas pu réaliser le montage sur une plaque PCB, ce qui aurait été plus intéressant et aurait permis d'obtenir des mesures plus stables.



(a)



(b)

FIGURE III.8 : PHOTOGRAPHIE DU COMPTEUR D'ENERGIE REALISE : (A) VUE DE FACE ET (B) VUE DE DOS

III.5.1 Calcul des paramètres du compteur d'énergie

- La puissance en watts est obtenue en multipliant le courant RMS par la tension RMS.

double Watt = AmpsRMS * voltagee;

- La puissance est convertie de watts en kilowattheures.

RealPower = Watt / 1000;

- L'énergie consommée est déterminée en intégrant la puissance. Autrement dit, l'énergie consommée est calculée et ajoutée à la variable `energyConsumed`, le temps étant converti de millisecondes en heures.

energyConsumed += Watt * (sampleInterval / 3600000.0);

- La tarification est déterminée en fonction de l'énergie consommée, grâce à la fonction `calculateTarif()`.

TARIF = calculateTarif(energyConsumed);

III.5.2 Méthode de calcul des tarifs de l'électricité par Sonelgaz

Pour le calcul de la tarification de l'énergie consommée et mesurée par le compteur d'énergie réalisé, une fonction est écrite sous l'IDE Arduino. Cette fonction, `calculateTarif`, permet de déterminer le coût de l'énergie consommée en fonction de différents paliers de consommation.

La fonction prend en entrée la quantité d'énergie consommée, et renvoie la tarification correspondante. Elle commence par initialiser la variable tarif à 0, qui sera utilisée pour stocker le coût total de l'énergie consommée. Voici le fonctionnement détaillé de la fonction :

```
float calculateTarif(float energy) {  
  
    float tarif = 0;  
  
    if (energy <= 500000) {  
  
        tarif = energy * 0.00177;  
  
    } else if (energy <= 1000000) {  
  
        tarif = 500000 * 0.00177 + (energy - 500000) * 0.00417;  
  
    } else if (energy <= 4000000) {  
  
        tarif = 500000 * 0.00177 + 500000 * 0.00417 + (energy - 1000000) * 0.00418;  
  
    } else {  
  
        tarif = 500000 * 0.00177 + 500000 * 0.00417 + 3000000 * 0.00418 + (energy - 4000000) * 0.00547;  
    }  
  
    return tarif;  
}
```

FIGURE III.9 : FONCTION 'CALCULATE TARIF'

- **Premier palier de consommation (<= 500000 Wh) :** Si l'énergie consommée est inférieure ou égale à 500000 Wh, la tarification est calculée en multipliant l'énergie consommée par un taux de 0.00177 DA.
- **Deuxième palier de consommation (500001 à 1000000 Wh) :** Si l'énergie consommée est supérieure à 500000 Wh mais inférieure ou égale à 1000000 Wh, le tarif est calculé en ajoutant le coût des premiers 500000 Wh à un taux de 0.00177 DA et le coût de l'énergie consommée au-delà de 500000 Wh à un taux de 0.00417 DA.
- **Troisième palier de consommation (1000001 à 4000000 Wh) :** Si l'énergie consommée est supérieure à 1000000 Wh mais inférieure ou égale à 4000000 Wh, le tarif est calculé en ajoutant le coût des premiers 500000 Wh à un taux de 0.00177 DA, le coût des 500000 Wh suivants à un taux de 0.00417 DA, et le coût de l'énergie consommée au-delà de 1000000 Wh à un taux de 0.00418 DA.
- **Quatrième palier de consommation (> 4000000 Wh) :** Si l'énergie consommée dépasse 4000000 Wh, le tarif est calculé en ajoutant le coût des premiers 500000 Wh à un taux de 0.00177DA, le coût des 500000 Wh suivants à un taux de 0.00417DA, le coût des 3000000 Wh suivants à un taux de 0.00418DA, et le coût de l'énergie consommée au-delà de 4000000 Wh à un taux de 0.00547DA.[33]

Enfin, la fonction retourne la valeur calculée de la tarification basée sur l'énergie consommée.

III.5.3 Afficher les données sur l'écran LCD

1. **Courant (C) :**
 - Description : **Intensité du courant.**
2. **Tension (V) :**
 - Description : **Valeur de la tension mesuré.**
3. **Énergie (E) :**
 - Description : **Quantité d'énergie consommée.**
4. **Tarif (T) :**
 - Description : **Prix de l'énergie.**



FIGURE III.10 : AFFICHAGE DES DONNES SUR ECRAN LCD

III.6 L'application Blynk

III.6.1 Configuration de l'application Blynk

Pour configurer l'application Blynk et intégrer une carte ESP32 pour la surveillance et le contrôle des variables à distance via une application mobile, le programme suit plusieurs étapes essentielles.

- Le programme commence par définir l'identifiant du modèle, le nom du modèle, et le token d'authentification nécessaires pour se connecter à la plateforme Blynk. Ces éléments permettent de sécuriser et d'identifier la connexion entre l'ESP32 et l'application Blynk.

Chapitre 03 : Réalisation Pratique et test du Compteur Intelligent

- Ensuite, les bibliothèques nécessaires pour la connexion Wi-Fi et l'intégration de Blynk avec l'ESP32 sont incluses. Ces bibliothèques fournissent les fonctions et les classes nécessaires pour établir et gérer la connexion sans fil, ainsi que pour interagir avec la plateforme Blynk.
- Les identifiants du réseau Wi-Fi (SSID et mot de passe) sont définis pour permettre à l'ESP32 de se connecter à Internet. Cette connexion Internet est indispensable pour que l'ESP32 puisse communiquer avec les serveurs Blynk.
- Le programme définit également plusieurs variables qui représentent des données que l'on souhaite envoyer à l'application Blynk. Ces variables peuvent inclure des mesures de capteurs, des états de périphériques ou d'autres données pertinentes.
- Chaque fonction dédiée à l'envoi de variables utilise un pin virtuel sur Blynk pour transmettre les données. Par exemple, une fonction peut envoyer une mesure de courant à une pin virtuelle spécifique, permettant à l'application mobile de recevoir et d'afficher cette donnée en temps réel.
- Dans la fonction '*setup()*', la connexion série est initialisée à une vitesse de 115200 bauds pour la communication avec le moniteur série. Ensuite, la fonction '*Blynk.begin()*' est appelée avec le token d'authentification et les identifiants Wi-Fi pour connecter l'ESP32 à Blynk. Les fonctions d'envoi des variables sont programmées pour s'exécuter à des intervalles réguliers, typiquement toutes les secondes.
- Enfin, dans la fonction '*loop()*', '*Blynk.run()*' maintient la connexion avec le serveur Blynk, garantissant une communication continue et fiable. '*timer.run()*' gère l'exécution des fonctions programmées pour s'exécuter à des intervalles réguliers, assurant que les données sont envoyées à l'application mobile de manière cohérente et ponctuelle.

Cette configuration permet une surveillance en temps réel des variables mesuré et calculé par le compteur d'énergie réalisé.

III.6.2 Test pratique de l'application Blynk

La figure III.11 illustre les résultats du transfert de données via l'application mobile Blynk. Sur l'écran du smartphone, les différentes données mesurées et calculées par le compteur sont affichées en temps réel. Cela permet d'avoir un compteur intelligent qui, en plus de la puissance actuelle (comme les compteurs installés dans nos maisons), affiche d'autres paramètres essentiels. Ces paramètres incluent la tension, le courant de charge, l'énergie consommée, la tarification, et d'autres données pertinentes, le tout en temps réel. Cette fonctionnalité permet non seulement de suivre notre consommation énergétique, mais aussi de surveiller la qualité du réseau électrique.

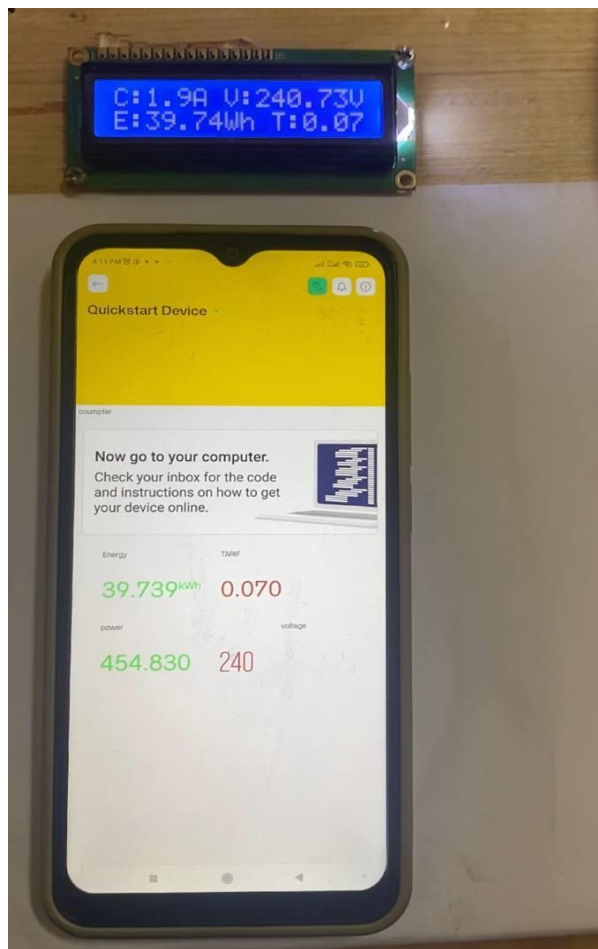


FIGURE III.11 : LE RESULTAT DU TRANSFERT DES DONNEES VERS LE SMARTPHONE AVEC L'APPLICATION BLYNK

III.7 Conclusion

Ce chapitre a détaillé la mise en œuvre du compteur intelligent d'énergie, depuis le schéma bloc jusqu'à l'intégration pratique des composants. Grâce à la connectivité Wi-Fi de l'ESP32 et à l'application Blynk, le système permet une surveillance en temps réel des paramètres énergétiques, tels que la tension, le courant, l'énergie consommée et la tarification. Les tests pratiques ont démontré la précision et la fiabilité des mesures, confirmant l'efficacité de ce compteur intelligent dans la gestion et la surveillance de la consommation énergétique.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Conclusion Générale et perspectives

En conclusion, ce mémoire a présenté une solution innovante pour la quantification de la consommation d'énergie à travers le développement d'un compteur d'énergie intelligent basé sur l'Internet des objets (IoT). Les limitations des compteurs électromécaniques et électroniques traditionnels, notamment l'absence de suivi en temps réel, ont été surmontées grâce à l'introduction de compteurs intelligents. Ces derniers permettent non seulement une mesure précise de la consommation énergétique, mais aussi une transmission instantanée des données aux fournisseurs. Cela facilite une gestion proactive du réseau et une facturation plus précise, tout en offrant aux consommateurs des outils pour surveiller et optimiser leur consommation.

L'intégration de l'IoT dans ces compteurs intelligents les a rendus partie intégrante d'un écosystème plus large de gestion de l'énergie. Le projet présenté a mis en œuvre une carte ESP32 WROOM32 et l'application mobile Blynk pour développer un compteur d'énergie intelligent. Ce dispositif, utilisant des capteurs pour mesurer la tension et le courant, fournit un affichage en temps réel des données énergétiques via une interface conviviale, offrant ainsi une solution complète et efficace pour la gestion de l'énergie.

Le premier chapitre a permis de comprendre les différents types de compteurs d'énergie et leur évolution, en mettant l'accent sur les compteurs intelligents et leurs avantages. Le deuxième chapitre s'est concentré sur la conception matérielle et logicielle du compteur, décrivant les composants et les outils utilisés. Enfin, le troisième chapitre a abordé la réalisation pratique et l'intégration du système, validant son bon fonctionnement à travers des tests pratiques.

Les résultats obtenus démontrent que le compteur d'énergie intelligent développé est capable de mesurer et de transmettre en temps réel des données précises sur la consommation énergétique. Cette capacité offre une meilleure gestion des ressources énergétiques, aidant ainsi à la prise de décisions éclairées pour optimiser la consommation. De plus, cette solution peut être facilement adaptée et intégrée dans divers environnements, que ce soit dans des habitations ou des industries, rendant ainsi la gestion de l'énergie plus accessible et efficace.

Perspectives

Pour améliorer ce mémoire sur les compteurs intelligents, voici quelques suggestions :

1. **Ajouter une ROM pour l'enregistrement des données** : Permettrait de stocker les données de consommation localement, offrant une meilleure résilience en cas de panne de réseau.
2. **Développer une plateforme dédiée pour les entreprises d'électricité** : Faciliterait la gestion centralisée des compteurs intelligents, la visualisation des données en temps réel et l'optimisation de la distribution d'énergie.
3. **Concevoir des compteurs avec impression automatique et code QR** : Simplifierait la transmission des données et automatiserait la facturation.
4. **Implémenter l'envoi des relevés de consommation par email** : Permettrait aux utilisateurs de recevoir régulièrement des mises à jour sur leur consommation énergétique.
5. **Introduire des compteurs bidirectionnels** : Mesureraient à la fois l'énergie consommée et produite, facilitant l'intégration des sources d'énergie renouvelable au réseau.

Bibliographie

- [1] Futura Sciences, "Compteur d'électricité [archive]", sur futura-sciences.com, consulté le 4 novembre 2014.
- [2] L. Hasnaoui et S. Gabbadi, "Étude des compteurs d'énergie électrique", 6 juin 2017.
- [3] L. Hasnaoui et S. Gabbadi, "Étude des compteurs d'énergie électrique", Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Maroc, juin 2017.
- [4] Définition, "Compteur intelligent - Smart meter", Futura-Sciences, [en ligne]. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-compteur-intelligent-6952/>.
- [5] N. H. Nguyen, "Développement de méthodes intelligentes pour la gestion énergétique des bâtiments, utilisant des capteurs sans fils", doctorat à l'université de Grenoble, 2011.
- [6] N. Soulimane et Y. Sebbagh, "Étude et réalisation d'un système de communication par radiofréquence pour un compteur électrique avancé aux zones non urbaines", Mémoire de Master, Univ. Tlemcen, 2017.
- [7] F. Labrique, G. Segulier, R. Bausiere, "Les convertisseurs de l'électronique de puissance. Volume 3, La conversion continu-continu", Tec & Doc Lavoisier, 1999.
- [8] F. Klopfert et G. Wallenborn, "Les compteurs intelligents sont-ils conçus pour économiser de l'énergie?", Débat sur les économies d'énergie, Université Libre de Bruxelles, n°106-107, janvier 2011.
- [9] D. Meurisse, "Une horloge temps réel pour Arduino (et Raspberry)", Tutoriel Arduino, janvier 2013.
- [10] "Comprendre l'ordinateur: organisation, exploitation et programmation", cours, télé-université, université Québec 48.
- [11] S. Smail, "Commande de l'éclairage public et mesure de la température à base de pic18f4550", Master, Université Mohamed Khider Biskra, Algérie, Département de Génie Electrique, 2013.
- [12] "User Interface Unit", wasionmeter.fr, [en ligne]. Disponible sur: <http://wasionmeter.fr/1-3-8-user-interface-unit/174140>.
- [13] "Les disjoncteurs et fusibles", electricite.quotatis.fr, [en ligne]. Disponible sur: <http://electricite.quotatis.fr/conseils/les-disjoncteurs-et-fusibles/>.
- [14] S. K. Mundibi, "Codage et transmission des données dans un réseau", Université de Lubumbashi, RDC, en vue de l'obtention du grade de gradué en sciences option mathématiques-informatique, 2008.
- [15] Ministère de la Transition écologique et solidaire, "Les compteurs communicants".
- [16] "TP.Demain", tp.demain.com.

- [17] H. Boudjemai et I. Fellah, "Amélioration des performances d'acquisition des signaux pour un compteur intelligent", Commandes électriques, Master, Univ. Tlemcen, 2018.
- [18] "What is the Internet of Things (IoT)?", IBM, [en ligne]. Disponible sur: <https://www.ibm.com/topics/internet-of-things>.
- [19] "Distributeur Espressif Systems", DigiKey Electronics, [en ligne]. Disponible sur: <https://www.digikey.fr/fr/supplier-centers/espressif-systems>.
- [20] "About Espressif", espressif.com, [en ligne]. Disponible sur: <https://www.espressif.com/en/company/about-espressif>.
- [21] "Getting Started with the ESP32 Development Board", randomnerdtutorials.com, [en ligne]. Disponible sur: <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/>.
- [22] J. Beningo, "Comment sélectionner et utiliser le module Wi-Fi/Bluetooth ESP32 approprié pour une application IoT industrielle", Digi-Key Electronics, 21 janvier 2020.
- [23] "Les capteurs", blogpeda.ac-poitiers.fr, [en ligne]. Disponible sur: <http://blogpeda.ac-poitiers.fr/lp2i-si/2013/03/03/les-capteurs/>.
- [24] I. Mbarki, "Étude et réalisation d'un compteur d'énergie intelligent", Université de Gabès, Tunisie, juillet 2018.
- [25] Monoarul Alam Siddiqui et Md. Ehtesum Mahmudul Islam, "In partial fulfilment of the requirements for the Bachelor of Science degree in Electrical and Electronic Engineering", 2019.
- [26] I. Messara et A. Mouri, "Étude et réalisation d'un compteur électrique connecté à base de cartes Arduino", Mémoire de Fin d'Étude de Master Professionnel, Univ. Tizi-Ouzou, 2018.
- [27] "ZMPT101B Capteur de Tension AC", MicroPlanet Maroc, [en ligne]. Disponible sur: <https://www.micro-planet.ma/produit/zmpt101b-capteur-de-tension-ac>.
- [28] A. Yamina, "Conception et réalisation d'un système IoT de gestion et surveillance de la consommation électrique", Electronique des systèmes embarqués, Université de Bouira, 2022.
- [29] H. Boudjemai et I. Fellah, "Amélioration des performances d'acquisition des signaux pour un compteur intelligent", Commandes électriques, Univ. Tlemcen, 2018.
- [30] "Les dessoudures de l'extrême", [en ligne]. Disponible sur: <https://dessoudeursex.lebonforum.com/t17-initiation-pic-afficheur-lcd>, consulté le 6 mai 2022.
- [32] "Software", arduino.cc, [en ligne]. Disponible sur: <https://www.arduino.cc/en/software>.
- [33] Thierry Vaira, "Blynk - Thierry VAIRA Homepage - Free", [en ligne]. Disponible sur: <http://tvaira.free.fr/dev/tutoriel/blynk.html>.
- [34] "Electricité: le tarif moyen appliqué au citoyen 'inférieur au coût réel'", APS, [en ligne]. Disponible sur: <https://www.aps.dz/economie/117852-electricite-le-tarif-moyen-applique-au-citoyen-inferieur-au-cout-reel>.

Annexe

```
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...
Ibaraka.ino
1 #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPLZqmRWnmNQ"
2 #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Quickstart Template"
3 #define BLYNK_AUTH_TOKEN "DNpqLork6sZco6uqf7qe19HwKR8dLs-I"
4
5 /* Comment this out to disable prints and save space */
6 #define BLYNK_PRINT Serial
7
8 #include <Wire.h>
9 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
10 #include <ZMPT101B.h>
11 #include <WiFi.h>
12 #include <WiFiClient.h>
13 #include <BlynkSimpleEsp32.h>
14
15 // WiFi credentials
16 char ssid[] = "Redmi 10A";
17 char pass[] = "1234567890";
18
19 BlynkTimer timer;
20
21 // Sensor pins and calibration values
22 const int sensorIn = 34;
23 const int volt = 35;
24 int mVperAmp = 185;
25 #define SENSITIVITY 500.0f
26
```

```
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod... Start Debugging
Ibaraka.ino
27 double Voltage = 0;
28 double VRMS = 0;
29 double AmpsRMS = 0;
30 float power_sum = 0, powerFactor = 0, reactivePower = 0, realPower = 0, energyConsumed = 0, TARIF = 0;
31 unsigned long sampleInterval = 1000;
32
33 ZMPT101B voltageSensor(volt, 50.0);
34 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
35
36 void setup() {
37   Serial.begin(115200);
38   Serial.println("ACS712 current sensor");
39
40   voltageSensor.setSensitivity(SENSITIVITY);
41
42   // Initialize LCD
43   lcd.init();
44   lcd.backlight();
45   lcd.print("Init...");
46
47   lcd.clear();
48
49   // Initialize Blynk
50   Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);
51
52   // Setup functions to be called every second
```

```

File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...
lbaraka.ino
52 // Setup functions to be called every second
53 timer.setInterval(1000L, sendVar1);
54 timer.setInterval(1000L, sendVar2);
55 timer.setInterval(1000L, sendVar3);
56 timer.setInterval(1000L, sendVar4);
57 Serial.println("ACS712 current sensor");
58
59 }
60
61 void loop() {
62   Blynk.run();
63   timer.run();
64
65   Serial.println("");
66   Voltage = getVPP();
67   VRMS = (Voltage / 2.0) * 1.41;
68   AmpsRMS = ((VRMS * 1000) / mVperAmp) - 0.55;
69
70   float voltageee = voltageSensor.getRmsVoltage();
71   Serial.print("RMS Voltage: ");
72   Serial.print(voltageee);
73   Serial.println(" V ");
74
75   Serial.print(AmpsRMS);
76   Serial.print(" RMS Courant --- ");
77   double Watt = AmpsRMS * voltageee;

```

Output Serial Monitor x

```

File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod... Start Debugging
lbaraka.ino
77 double Watt = AmpsRMS * voltageee;
78 Serial.print(Watt);
79 Serial.println(" Watts");
80
81 realPower = Watt / 1000; // in kWh
82 float apparentPower = voltageee * AmpsRMS; // Apparent power in VA
83 powerFactor = (apparentPower != 0) ? Watt / apparentPower : 0;
84 energyConsumed += Watt * (sampleInterval / 3600000.0); // Energy consumed in Wh
85 TARIF = calculateTarif(energyConsumed);
86 float reactivePower = sqrt((apparentPower * apparentPower) - (realPower * realPower)); // in VAR
87
88 Serial.print("Reactive Power (VAR): ");
89 Serial.println(reactivePower);
90 Serial.print("Apparent Power (VA): ");
91 Serial.println(apparentPower);
92 Serial.print("Power Factor: ");
93 Serial.println(powerFactor);
94 Serial.print("Energy Consumed (Wh): ");
95 Serial.println(energyConsumed);
96 Serial.print("TARIF (DA): ");
97 Serial.println(TARIF);
98
99 // Display on LCD
100 lcd.setCursor(0, 0);
101 lcd.print("C:");
102 lcd.print(AmpsRMS, 1);

```

Output Serial Monitor x

```

File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod... Start Debugging

lbaraka.ino
103 lcd.print("A V:");
104 lcd.print(voltagee, 2);
105 lcd.print("V");
106
107 lcd.setCursor(0, 1);
108 lcd.print("E:");
109 lcd.print(energyConsumed, 2);
110 lcd.print("Wh T:");
111 lcd.print(TARIF, 2);
112 lcd.print("Da");
113
114 delay(sampleInterval);
115 }
116
117 // Function to get the peak-to-peak voltage (Vpp)
118 float getVPP() {
119     float result;
120     int readValue;
121     int maxValue = 0;
122     int minValue = 4096;
123
124     uint32_t start_time = millis();
125     while ((millis() - start_time) < 1000) {
126         readValue = analogRead(sensorIn);
127         if (readValue > maxValue) {
128             maxValue = readValue;

```

Output Serial Monitor x

```

File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

lbaraka.ino
128         maxValue = readValue;
129     }
130     if (readValue < minValue) {
131         minValue = readValue;
132     }
133 }
134
135 result = ((maxValue - minValue) * 3.3) / 4096.0;
136 return result;
137 }
138
139 // Function to calculate the tariff based on energy consumption in kwh
140 float calculateTariff(float energy) {
141     float tarif = 0;
142
143     if (energy <= 500000) {
144         tarif = energy * 0.00177;
145     } else if (energy <= 1000000) {
146         tarif = 500000 * 0.00177 + (energy - 500000) * 0.00417;
147     } else if (energy <= 4000000) {
148         tarif = 500000 * 0.00177 + 500000 * 0.00417 + (energy - 1000000) * 0.00418;
149     } else {
150         tarif = 500000 * 0.00177 + 500000 * 0.00417 + 3000000 * 0.00418 + (energy - 4000000) * 0.00547;
151     }
152
153     return tarif;

```

Output Serial Monitor x

```
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...
lbaraka.ino
153     return tarif;
154 }
155
156 // Function to send energyConsumed to Blynk
157 void sendVar1() {
158     Blynk.virtualWrite(V0, TARIF);
159 }
160
161 // Function to send apparentPower to Blynk
162 void sendVar2() {
163     float apparentPower = voltageSensor.getRmsVoltage() * AmpsRMS; // Recalculate apparent power
164     Blynk.virtualWrite(V1,apparentPower );
165 }
166
167 // Function to send AmpsRMS to Blynk
168 void sendVar3() {
169     Blynk.virtualWrite(V2, energyConsumed);
170 }
171
172 // Function to send voltageee to Blynk
173 void sendVar4() {
174     float voltageee = voltageSensor.getRmsVoltage(); // Recalculate voltage
175     Blynk.virtualWrite(V3, voltageee);
176 }
177
178
```

Code Arduino implémenter sur le microcontrôleur de l'ESP32