N° Ordre……../FHC/UMBB/2024

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES**



**Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie**

## Mémoire de Fin d'Etudes
## En vue de l'obtention du diplôme :

# MASTER


Présenté par
**AITHAMOU Tarek**
Et
**YAZID Hanaa**


Filière : Hydrocarbures
Spécialité : Génie électrique : Electricité industrielle

# Thème
# Etude et conception d'un compteur intelligent

**Devant le jury :**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| KIFOUCHE | Rezki | MAA | UMBB | Président |
| KHELIFI | Fateh | MAA | UMBB | Examinateur |
| TADJER | Sid Ahmed | MCA | UMBB | Encadrant |

**Année Universitaire : 2023/2024**

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES**



**Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie**
Département : Automatisation et électrification
Filière : Hydrocarbures
Spécialité : Génie électrique : Electricité industrielle

**Mémoire de Fin d'Etudes**
**En vue de l'obtention du diplôme :**

# MASTER

## *Thème*

## Etude et conception d'un compteur intelligent


**Présenté par :**
AITHAMOU Tarek
YAZID Hanaa


**Avis favorable de l'encadrant :**
Nom et prénom : TADJER Sid Ahmed
signature :

**Avis favorable du Président du jury**
Nom et Prénom :KIFOUCHE Rezki
Signature :

**Cachet et signature**

# Remerciement

Ce mémoire marque l'aboutissement d'un parcours intellectuel enrichissant et stimulant. A l'occasion de cette étape importante, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.

En premier lieu, nous adressons nos plus sincères remerciements à Dieu, le Tout-Puissant, le Compatissant. Grâce à sa guidance et à sa protection, nous avons bénéficié de la force, de la santé, de la patience et de la persévérance nécessaires pour mener ce projet à terme.

Ensuite, nous tenons à exprimer notre reconnaissance profonde à notre promoteur **Monsieur TADJER SID AHMED.** Votre expertise, votre confiance et votre patience ont été des atouts précieux tout au long de ce parcours. Vos conseils avisés et votre disponibilité nous ont permis d'explorer de nouvelles pistes de recherche et de surmonter les obstacles rencontrés.

Nous adressons également nos remerciements à l'ensemble des membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer notre travail. Leurs remarques constructives et leurs suggestions précieuses nous ont permis d'améliorer la qualité de notre mémoire.

Nous sommes reconnaissants envers l'ensemble des professeurs du département d'automatisation et électrification, qui nous ont transmis leurs connaissances et leur passion pour cette spécialité.

Enfin, nous tenons à exprimer toute notre gratitude à nos familles et à nos amis. Votre amour, votre confiance et vos encouragements constants ont été une source de motivation inestimable tout au long de nos études.

**Merci à tous.**

# Dédicace

À l'aboutissement de ces années de dévouement et de persévérance, à la quête de savoir qui a façonné mon esprit et élargi mes horizons, je dédie ce mémoire et l'ensemble de mon parcours d'études. Ce voyage a été une expérience transformatrice, Jalonnée de défis et de triomphes, de revers et de percées. Je suis fière de moi et de tout ce que j'ai accompli.

Aujourd'hui, je tiens à dédier ce mémoire avec tout l'amour et la gratitude dont mon cœur est capable.

À ma chère mère, mon soleil, ma lune, mon étoile, la femme la plus incroyable que je connaisse. Depuis mes premiers pas jusqu'à aujourd'hui, vous avez toujours été là pour moi, me guidant, me soutenant et m'encourageant. Vos sacrifices incessants et votre amour
Inconditionnel m'ont permis de réaliser mes rêves. Merci maman, pour tout ce que vous êtes et pour tout ce que vous faites. Vous êtes mon inspiration, mon héroïne et ma meilleure amie. Je vous aime plus que les mots ne puissent le dire. Avec tout mon amour.

À mon père, mon pilier, ma force, je dédie cette mémoire à vous, en reconnaissance de votre soutien constante et de votre amour inconditionnel , votre croyance en moi et vos sages conseils ont été ma force, merci pour votre confiance et vos encouragements.

À mes sœurs Ibtissam Malak Israa et mon frère unique Nassim, merci pour votre soutien indéfectible. A mes grands parens et mes tantes et mes oncles. Je vous aime énormément.

À mon fiancé ; Merci d'avoir cru en moi. Ta patience, ton écoute et ton soutien indéfectible m'ont permis d'avancer sereinement. Je n'aurais pu rêver d'un meilleur compagnon de vie à mes côtés.

À mes amies Yamina, Abir ,Razika ,Ikrame ,Asma ,Rania ,Nadjlaa ,Farah ,Djihane et à toutes les personnes qui ont croisé mon chemin etcontribué à ma réussite.

Merci à tous du fond du cœur. Vous êtes ma source de motivation et mon inspiration. Cette réussite vous appartient autant qu'à moi.

Avec toute ma reconnaissance

**YAZID Hanaa**

## Résumé

Ce mémoire explore l'évolution des compteurs d'électricité, en mettant l'accent sur les compteurs intelligents. Il retrace le développement historique des compteurs, des dispositifs électromécaniques aux compteurs électroniques modernes, et décrit leurs architectures et modes de fonctionnement. Les compteurs intelligents offrent des avantages significatifs, tels que la lecture à distance, la surveillance en temps réel et la gestion efficace de la consommation d'énergie. Le mémoire examine également les systèmes de compteurs prépayés, qui permettent une meilleure gestion des budgets énergétiques et réduisent les pertes pour les fournisseurs. Enfin, l'étude aborde l'état actuel et les perspectives de l'utilisation des compteurs intelligents en Algérie, en soulignant leurs bénéfices pour la durabilité énergétique et l'efficacité des infrastructures électriques.

## Abstract

This thesis explores the evolution of electricity meters, focusing on smart meters. It traces the historical development of meters, from electromechanical devices to modern electronic meters, and describes their architectures and modes of operation. Smart meters offer significant advantages, such as remote reading, real-time monitoring, and efficient energy consumption management. The thesis also examines prepaid meter systems, which enable better budget management and reduce losses for suppliers. Finally, the study addresses the current state and prospects of smart meter use in Algeria, highlighting their benefits for energy sustainability and the efficiency of electrical infrastructures.

## الملخص

تستكشف هذه الأطروحة تطور عدادات الكهرباء مع التركيز على العدادات الذكية. تتبع التطور التاريخي للعدادات، من الأجهزة الكهروميكانيكية إلى العدادات الإلكترونية الحديثة، وتصف بنيتها وأساليب تشغيلها. توفر العدادات الذكية مزايا كبيرة، مثل القراءة عن بُعد والمراقبة في الوقت الفعلي وإدارة استهلاك الطاقة بكفاءة. كما تدرس الأطروحة أنظمة العدادات المدفوعة مسبقًا، التي تتيح إدارة أفضل للميزانيات وتقليل الخسائر للموردين. وأخيرًا، تتناول الدراسة الوضع الحالي وآفاق استخدام العدادات الذكية في الجزائر، مسلطة الضوء على فوائدها لاستدامة الطاقة وكفاءة البنى التحتية الكهربائي

**Les mots clés : compteurs intelligents, compteurs prépayés**

# Table des matières


**Introduction générale ..... 2**

***I. Chapitre 01 : généralités sur les compteurs d'énergie électrique ..... 3***

**I.1. Introduction ..... 4**

**I.2. Historiques et évolution des compteurs d'énergie existants ..... 4**

I.2.1 Le compteur électrique d'Edison (les kilos avant les kWh) ..... 4
I.2.2 Le premier compteur à disque enfin un peu de simplicité ..... 5
I.2.3 1963, le Compteur Bleu entre dans les foyers français ! ..... 5
I.2.4 Les compteurs d'aujourd'hui, électroniques et communicants ! ..... 5

**I.3. Les différents types de compteur électrique ..... 6**

I.3.1 Le compteur électromécanique ..... 6
I.3.2 Le compteur électronique [3] ..... 6
I.3.3 Le compteur intelligent (communicant) ..... 6

**I.4. Définition du compteur intelligent ..... 7**

I.4.1 Architecture d'un compteur intelligent [4] ..... 7
I.4.2 Installation et mise en service d'un compteur électrique intelligent ..... 8
I.4.3 Communication des compteurs intelligents avec les réseaux ..... 9
I.4.4 Fonctionnement du compteur intelligent ..... 9

**I.5. Besoin d'un système de compteurs d'énergie prépayé [8] ..... 10**

I.5.1 Définition de Compteur intelligent à prépaiement ..... 11
I.5.2 Application de compteur intelligent à prépaiement [9] ..... 11
I.5.3 Les avantages de compteur à prépaiement [8] ..... 11
I.5.4 Kit de compteur d'énergie prépayé simple [8] ..... 11
I.5.5 Exemples de compteurs d'énergie prépaye ..... 12

**I.6. Etat de l'art sur les travaux déjà effectués [10] ..... 13**

I.6.1 Un cahier de recherche sur les compteurs intelligents : vecteurs de changements comportementaux ? [10] ..... 13
I.6.2 Les avantages et les inconvénients du compteur électrique intelligent ..... 14
I.6.3 Conception et réalisation d'un compteur d'énergie électrique consultable à distance et accès local par carte à puce [11] ..... 14
I.6.4 L'apport des compteurs intelligents à une consommation plus durable de l'électricité ... 14

**I.7. Perspectives d'utilisation de compteurs intelligents en Algérie ..... 15**

I.7.1 A court terme ..... 15
I.7.2 A moyen terme ..... 15

**I.8. Conclusion ..... 15**

***II. CHAPITRE 02 : Comptage électrique et tarification ..... 16***

**II.1. Introduction ..... 17**

**II.2. Comptage Quatre Quadrants [12] ..... 17**

**II.3. Erreur en Pourcentage [12] ..... 17**

**II.4. Tarification de l'électricité [13] ..... 17**

II.4.1 Présentation du système tarifaire ..... 18
II.4.2 Les Formules tarifaires en électricité [14] ..... 18
II.4.3 Tarification dans les Compteurs en Algérie (2018) :[15] ..... 20

**II.5. Fraude compteur électrique [17] ..... 21**
II.5.1 Fraude de compteur électrique type EDF ..... 22
II.5.2 Fraude Compteur électrique classique ..... 22
II.5.3 Fraude Compteur électrique LINKY [17] ..... 22
**II.6. Les Cas des Fraudes à Sonelgaz [12] ..... 23**
**II.7. Comptage électrique ..... 24**
II.7.1 Technologie de comptage ..... 24
II.7.2 Infrastructure de comptage avancée ..... 27
II.7.3 Etat de l'art sur les méthodes intelligentes utilisées dans les compteurs ..... 27
**II.8. Rappels d'électrotechnique ..... 28**
II.8.1 L'impédance ..... 28
II.8.2 La puissance électrique ..... 30
II.8.3 Les types de puissances ..... 30
II.8.4 L'énergie électrique ..... 32
II.8.5 Les puissances ..... 32
**II.9. La consommation électrique ..... 34**
II.9.1 Définition ..... 34
II.9.2 Consommation électrique d'un client ..... 34
II.9.3 Consommation électrique d'un appareil ..... 34
**II.10. Unité de mesure de tension et de courant [20] ..... 34**
**II.11. Conclusion ..... 37**
***III. Chapitre 03 : Simulation d'un compteur d'énergie utilisant MATLAB/Simulink ..... 38***
**III.1. Introduction ..... 39**
**III.2. Présentation de travail ..... 39**
III.2.1 L'Organigramme du projet ..... 39
III.2.2 IV.3. Modélisation mathématique ..... 40
III.2.3 Le modèle du compteur d'énergie ..... 41
III.2.4 IV.3. Résultat et Interprétation ..... 43
III.2.5 Charge R ..... 43
**III.3. Conclusion ..... 50**
***IV. Chapitre 04 : ..... 51***
**IV.1. Introduction ..... 52**
**IV.2. Présentation de l'Arduino ..... 52**
IV.2.1 La partie Hardware ..... 52
IV.2.2 Capteur de courant ..... 57
IV.2.3 Capteur de tension ..... 57
IV.2.4 Afficheur LCD ..... 58
IV.2.5 GSM ..... 59
IV.2.6 La partie software (Logiciel Arduino) ..... 60
**IV.3. Présentation générale de Proteus ..... 62**
IV.3.1 L'éditeur de schéma ..... 62
**IV.4. Présentation de travail ..... 65**
**IV.5. Conception et Description de Schéma proposée ..... 66**
IV.5.1 Ordinateur ..... 66
IV.5.2 Circuit du capteur de courant ..... 66
IV.5.3 Circuit du mesure de tension ..... 66

IV.5.4 Circuit de détection du passage à zéro ..... 66
IV.5.5 Circuit de Relais (disjoncteur) ..... 67
IV.5.6 L'écran LCD ..... 67
IV.5.7 Arduino ..... 68
IV.5.8 Buzzer ..... 69
IV.5.9 GSM ..... 69
**IV.6. Explication de ce projet ..... 70**
**IV.7. Simulation ..... 70**
IV.7.1 Capteur de courant ..... 70
IV.7.2 Mesure de tension ..... 71
IV.7.3 Simulation complète du circuit ..... 71
**IV.8. Conclusion ..... 74**
**Conclusion générale ..... 76**
**Bibliographie ..... 77**

# Table des figures

**Figure I-1:Le compteur électrique à disque Schallentberger 1894 - Mechanical Engineering Magazine** ..... 5
**Figure I-2:Publicité pour le Compteur Bleu 1966** ..... 5
**Figure I-3:compteur communicant** ..... 6
**Figure I-4:compteur électronique** ..... 6
**Figure I-5:Architecture d'un compteur intelligent.** ..... 8
**Figure I-6:Illustration du principe général du CPL** ..... 9
**Figure I-7:Compteur d'énergie intelligent avec GSM** ..... 10
**Figure I-8:Enter Captions** ..... 10
**Figure I-9: Kit de compteur d'énergie prépayé simple** ..... 12
**Figure I-10:Compteur d'énergie prépayé PE5120** ..... 13
**Figure I-11:Compteur d'énergie prépayé Power Accent** ..... 13
**Figure II-1:Comptage Quatre Quadrants** ..... 17
**Figure II-2:Erreur de pourcentage** ..... 17
**Figure II-3:Calcul relevés d'index compteur intelligent [16]** ..... 21
**Figure II-4:cas de fraude** ..... 21
**Figure II-5:Fraude compteur électrique classique** ..... 22
**Figure II-6:Fraude Compteur électrique LINKY** ..... 23
**Figure II-7: Ensemble des cas de fraude dans le cas d'un compteur monophasé** ..... 24
**Figure II-8:Technologie de comptage** ..... 24
**Figure II-9: Comptage classique** ..... 25
**Figure II-10:Compteur classique** ..... 25
**Figure II-11:Comptage électronique** ..... 26
**Figure II-12:Compteur intelligent** ..... 26
**Figure II-13:Compteur Linky monophasé** ..... 27
**Figure II-14: Architecture d'un compteur intelligent** ..... 28
**Figure II-15:l'impédance Z.** ..... 28
**Figure II-16:Triangle de puissance.** ..... 30
**Figure II-17:Diagramme d'un wattmètre** ..... 32
**Figure II-18:Pont de diviseur de tension** ..... 35
**Figure II-19:Schéma de fonctionnement de résistance de shunt** ..... 35
**Figure II-20:Bobine de Rogowski.** ..... 36
**Figure II-21:Capteurs de courant à effet Hall en boucle ouverte.** ..... 37
**Figure II-22:Capteur de courant à effet Hall en boucle fermée.** ..... 37
**Figure III-1:Organigramme de la modélisation du compteur d'énergie avec MATLAB / Simulink** ..... 40
**Figure III-2:block de facteur de puissance** ..... 41
**Figure III-3:sous-système de charge** ..... 42
**Figure III-4:circuit de la mesure d'énergie** ..... 42
**Figure III-5:circuit de mesure d'énergie réactive** ..... 42
**Figure III-6: Le circuit de compteur d'énergie intelligent triphasé** ..... 43
**Figure III-7: signal de tension de 100Ω** ..... 44
**Figure III-8:courbe de puissance active (W) pour charge R** ..... 45
**Figure III-9:signal de courant triphasé** ..... 45
**Figure III-10: signal de courant** ..... 45

**Figure III-11:courbe d'énergie**..... 46
**Figure III-12:courbe de puissance réactive (VAR)** ..... 46
**Figure III-13:Courbe de facteur de puissance**..... 47
**Figure III-14: graphe de tension avec charge RL**..... 47
**Figure III-15:graphe de courant**..... 48
**Figure III-16:graphe de facteur de puissance**..... 48
**Figure III-17:courbe de courant triphasée en charge RL**..... 49
**Figure III-18:valeur d'énergie réactive dans circuit R-L** ..... 49
**Figure III-19: graphe de la consommation d'énergie**..... 49
**Figure IV-1:Constitution de la carte Arduino UNO** ..... 53
**Figure IV-2:Brochage de la carte Arduino Uno** ..... 56
**Figure IV-3: Capteur de courant ACS712** ..... 57
**Figure IV-4:Schéma du capture de tension**..... 58
**Figure IV-5:Afficheur lcd 16x2** ..... 58
**Figure IV-6:Vue d 'ensemble et interface du logiciel Arduino** ..... 60
**Figure IV-7:Message d'Erreur**..... 61
**Figure IV-8:Le logiciel Proteus** ..... 62
**Figure IV-9:Interface utilisateur ISIS.** ..... 63
**Figure IV-10:Barre de menu** ..... 63
**Figure IV-11:Barre d'outils de sélection de mode**..... 64
**Figure IV-12:Barre d'outils d'orientation** ..... 64
**Figure IV-13:Zone de travail ou d'édition des schémas**..... 64
**Figure IV-14:Sélecteur d'objets** ..... 65
**Figure IV-15:Schema fonctionnel** ..... 65
**Figure IV-16: Circuit du capteur de courant**..... 66
**Figure IV-17:Circuit du capteur de tension**..... 66
**Figure IV-18:Circuit de détection du passage à zéro** ..... 67
**Figure IV-19:Circuit de Relais**..... 67
**Figure IV-20:Ercan LCD**..... 68
**Figure IV-21:Arduino** ..... 69
**Figure IV-22:Buzzer**..... 69
**Figure IV-23:GSM** ..... 70
**Figure IV-24:Capture de courant**..... 70
**Figure IV-25:Circuit de capture de tension** ..... 71
**Figure IV-26:Simulation complète de circuit au cas non-fraude**..... 71
**Figure IV-27:affichage de résultat obtenue** ..... 71
**Figure IV-29:Visualisation de l'allure de tension et courant**..... 72
**Figure IV-28:Affichage des notifications au cas de faible solde énergétique**..... 72
**Figure IV-30:Le msg envoyé par GSM dans le Virtual Terminal** ..... 73
**Figure IV-32:message affiché dans le cas de solde négatif**..... 73
**Figure IV-31:Allure de courant et tension** ..... 73

# Table des tableaux

**Tableau II-1:représentation l'influence d'impédance sur la tension et le courant.** ..... 29
**Tableau II-2:représentation la relation entre l'impédance et les différentes puissances.** ..... 29
**Tableau III-1: Mesures de puissance active entre la simulation et les calculs de charge R** ..... 44
**Tableau IV-1:Les différentes broches de la carte ARDUINO UNO** ..... 53
**Tableau IV-2:Caractéristiques de la carte Arduino UNO** ..... 56
**Tableau IV-3:Barre d'Action.** ..... 61
**Tableau IV-4:Barres d'outils de commande** ..... 63

# Listes des abréviations

**EDF : électricité de France.**
**AMR : Automated Reader Metering.**
**AMM :Automated Meter Management.**
**CPL: Courant Porteur en ligne.**
**GSM : Global System for Mobile Communications.**
**IOT: Internet of Things.**
**SRD: service de règlement différé.**
**EEPROM:electrically erasable programmable read-only memory.**
**PMD :Puissance mise à disposition.**
**PMA :Puissance maximum absorbée.**
**MID : Directive sur les Instruments de Mesure.**
**ERDF : Électricité Réseau Distribution France.**
**AMI : Infrastructure de Comptage Avancée.**
**IM : Indicateur de Maximum.**
**ICSP : Programmation Série En Circuit.**
**PWM : Modulation de Largeur d'Impulsion.**
**AREF : Référence Analogique (Analog Reference).**
**ADC : Convertisseur Analogique-Numérique.**
**VREF : Tension de Référence.**
**VCC : Tension d'Alimentation.**
**GND : Masse ou Terre (Ground).**
**EDI : Espace de Développement Intégré.**
**CAO : Conception Assistée par Ordinateur**

# Introduction générale

# Introduction générale

L'avènement de l'électrification à la fin du XIXe siècle a posé des défis considérables aux entreprises de distribution d'électricité, notamment en ce qui concerne la facturation des services. À l'origine, en raison de l'absence de dispositifs de mesure appropriés, ces entreprises recouraient souvent à des tarifs forfaitaires insatisfaisants. L'invention de compteurs d'électricité précis et abordables a permis l'établissement de systèmes de facturation plus élaborés.

Aujourd'hui, les compteurs d'électricité se répartissent en deux grandes catégories : les compteurs électromécaniques et les compteurs électroniques. Ces dispositifs jouent un rôle crucial dans la mesure de l'énergie consommée ou produite. En général, ils nécessitent l'intervention de techniciens pour des opérations courantes telles que la mise en service, le déplacement, la lecture des compteurs et la modification de la puissance.

Cependant, les avancées en électronique ont conduit au développement d'une nouvelle génération de compteurs appelés compteurs intelligents. Ces compteurs permettent aux fournisseurs d'électricité de gérer et de contrôler plus efficacement la consommation d'énergie de leurs clients. Avec les compteurs intelligents, de nombreuses opérations peuvent être effectuées à distance, y compris la lecture des compteurs, la surveillance de la tension, l'ajustement de la puissance et l'activation de certaines fonctions.

Ce manuscrit est structuré en quatre chapitres principaux. Le premier chapitre introduit les concepts de base des compteurs électriques, en illustrant les différents types (intelligent et prépayé), ses avantages et ses besoins. Le deuxième chapitre fournit une description détaillée sur le comptage électrique, en couvrant la partie de tarification et des rappels d'électronique. Le troisième chapitre se concentre sur la partie logicielle (Matlab), en particulier sur l'étude de calcul de puissance d'énergie. Enfin, le quatrième chapitre traite la simulation et l'étude de compteur prépayé à l'aide de logiciel Proteus en utilisant Arduino et GSM.

# I. Chapitre 01 : généralités sur les compteurs d'énergie électrique

## I.1. Introduction

D`es le début de l'´électrification, à la fin du 19e siècle, les sociétés de distribution d'´électricité ont eu à résoudre le problème de la facturation des services rendus à leur clientèle. Faute d'appareils de mesure appropriés, elles ont souvent eu recours à des tarifs forfaitaires peu satisfaisants. L'invention de compteurs d'´énergie électrique assez précis et peu couteux a permis d'instaurer des systèmes de tarification plus élaborés. Les compteurs électriques actuels se divisent en deux catégories principales : les compteurs électromécaniques et les compteurs électroniques. Ils jouent un rôle essentiel dans la mesure de l'énergie consommée ou produite. Ces dispositifs n´nécessitent souvent l'intervention de techniciens pour des opérations courantes telles que la mise en service, le d´emménagement, le relève et la modification de puissance.

Cependant, les avancées technologiques dans le domaine de l'électronique ont donnée naissance à une nouvelle génération de compteurs : les compteurs intelligents. Ces compteurs permettent aux fournisseurs d'´électricité de gérer et de contrôler la consommation d'´énergie de leurs clients de manière plus efficace. Grace à cette fonctionnalité, de nombreuses opérations peut être effectuées à distance, notamment le relevé d'index, la surveillance de la tension, la modification de la puissance de raccordement et l'activation de certaines fonctions.

## I.2. Historiques et évolution des compteurs d'énergie existants

Il y a une époque pour compter le prix des kWh consommés et établir leurs factures, les fournisseurs d'électricité mesuraient l'électricité au poids chez leurs abonnes . . . ! Apparu à la fin du 19e siècle sous une forme bien différente de celle que nous connaissons aujourd'hui, le compteur électrique mérite que l'on s'attarde sur son histoire mouvementée.

### I.2.1 Le compteur électrique d'Edison (les kilos avant les kWh)

Le système de comptage électrique d'Edison révolutionna la tarification de l'électricité à la fin du XIXe siècle. Avant l'avènement des compteurs électriques dans les années 1880, les abonnes étaient soumis à des forfaits basés sur le nombre et la puissance des lampes installées chez eux. Cette méthode, loin d'être transparente en termes de coût, fut remplacée par le compteur électrolytique inventé par Thomas Edison en 1880. Ce dispositif novateur comportait deux électrodes en cuivre, l'une plongée dans une solution acide qui réagissait à l'électricité en formant une substance déposée sur la seconde électrode. La quantité de cette substance déposée était directement proportionnelle à la con- sommation d'électricité de l'abonne. Ainsi, il suffisait de peser cette substance pour déterminer la quantité d'énergie consommée. Chaque mois, un technicien devait collecter les ´électrodes utilisées et les amener au centre de distribution pour les peser, permettant ainsi un calcul précis de la consommation. Ce système, bien que contraignant, marqua une avancée significative dans la mesure et la facturation de l'électricité à l'époque.[1]

## I.2.2 Le premier compteur à disque enfin un peu de simplicité

C'est en 1894 qu'un ingénieur de la compagnie Westinghouse imagine un système de comptage de l'électricité reposant sur un disque mu par induction magnétique et qui tournait d'autant plus vite que la quantité d'énergie con- sommée était grande. Le compteur électrique à disque était né !



**Figure I-1:Le compteur électrique à disque Schallentberger 1894 - Mechanical Engineering Magazine**

## I.2.3 1963, le Compteur Bleu entre dans les foyers français

En 1963, le Compteur Bleu a fait son entrée dans les foyers français ! À cette époque, EDF (électricité de France) a entrepris d'´équiper tous les abonnés français en électricité avec cette nouvelle génération de compteurs électromécaniques à disque. Voici ce qu'il faut savoir sur le Compteur Bleu :

-Robuste et facile d'installation : Le Compteur Bleu était conçu pour durer et résister aux conditions du quotidien.

-Fonctionnement simultané : Enfin, les ménages pouvaient utiliser plusieurs appareils électriques en même temps sans risquer de faire sauter les fusibles.

-Encore en service : Depuis 1963, le Compteur Bleu et ses différentes versions sont toujours présents dans de nombreux foyers français.

C'est grâce à des innovations comme le Compteur Bleu que nous avons pu profiter de l'´électricité de manière plus pratique et efficace ! [2]




**Figure I-2:Publicité pour le Compteur Bleu 1966**

## I.2.4 Les compteurs d'aujourd'hui, électroniques et communicants

Depuis les années 90, l'indéboulonnable compteur bleu à disque a vu arriver d'autres compteurs électriques qui prennent progressivement sa place : Le compteur électronique à affichage digital qui apporte un plus grand nombre d'informations et incorpore un système anti-foudre plus efficace le compteur intelligent, amène à équiper la totalité des foyers abonnés à l'électricité à l'horizon 2021. Ce compteur intelligent procède automatiquement et à distance à des opérations qui nécessitaient l'intervention d'un technicien : mise en service, relève, modification de contrat.[2]



**Figure I-4:compteur électronique**




**Figure I-3:compteur communicant**

## I.3. Les différents types de compteur électrique

Il existe 3 types de compteurs électriques :

- Les compteurs électromécaniques.
- Les compteurs électroniques.
- Les compteurs intelligent.

### I.3.1 Le compteur électromécanique

Les compteurs ´électromécaniques, les premiers types de compteurs électriques inventés à la fin du 19eme siècle, ne sont plus en production. Ils ont été graduellement remplacés au milieu du 20`eme siècle par les compteurs ´électroniques, la seconde génération de compteurs.

On les reconnaît à leur forme carrée et leur couleur bleue ou noire. Ils fonctionnent via un système de disque tournant : lorsque vous consommez de l'électricité, ce disque tourne. Plus votre consommation est élevée, plus ce disque tourne vite. Lorsque qu'il est en mouvement, les chiffres sur un cadran supérieur augmentent : ce sont ces chiffres qui indiquent votre consommation.[3]

### I.3.2 Le compteur électronique [3]

Il s'agit de la deuxième génération de compteurs électriques. Ils sont reconnaissables à leur couleur blanc/beige.

La grande différence entre son prédécesseur et lui est l'absence de disque. Cette fois, c'est un écran digital qui remplace le vieux disque tournant sur le compteur électronique. Grâce à ce type d'affichage, il est ainsi plus pratique de consulter votre index de consommation mais aussi les autres données liées à votre compteur comme :

- La puissance électrique
- L'option tarifaire d'électricité (Base, Heures Pleines/Heures Creuses)
- L'intensité maximale.

### I.3.3 Le compteur intelligent (communicant)

On prend comme exemple le compteur électrique à distance Linky qui sont aujourd'hui installés presque partout en France. Il s'agit de la toute dernière génération de compteurs. Reconnaissable à sa couleur vert fluo et sa forme rectangulaire, ce nouveau compteur intelligent est désormais installé par Enedis depuis fin 2021 dans l'ensemble des foyers français, soit 35 millions de clients abonnés.

Le gros point fort du compteur Linky est de pouvoir transmettre en temps réel à votre fournisseur votre consommation d'électricité, ce qui lui permettra ensuite de vous facturer sur votre consommation réelle, et non plus estimée. Finis donc les relevés de compteurs réguliers des techniciens et les factures de régularisation salées en fin d'année !

En plus, la transmission des données se fait désormais à distance. Enfin, vous pourrez suivre votre consommation bien plus facilement, pour mieux la gérer ensuite.

## I.4. Définition du compteur intelligent

Avant d'explorer les avantages et les inconvénients des compteurs intelligents, il est essentiel de les définir. Le compteur évolue ou compteur intelligent est traduit de l'anglais (smart meter), le compteur n'a rien d'intelligent, car il transmet simplement les informations qu'il affiche et qui sont directement connectées aux bases de données des fournisseurs d'énergie. Ces informations facilitent les relevés à distance, le suivi précis des consommations et la fraude. Ces compteurs intelligents sont en outre communicant et transmet par différents canaux (courant porteur, Internet, téléphone) les informations recueillies

Un compteur intelligent (smart meter) est un dispositif technique qui transmet les données de consommation électrique d'un utilisateur à son fournisseur d'énergie.

S'il se limite à cette fonction, il est qualifié de "Automated Reader Metering" (AMR). Cependant, la plupart des compteurs intelligents actuels permettent également au fournisseur de transmettre des informations à l'utilisateur via la même interface, ce qui le classe alors en tant que "Automated Meter Management" (AMM). Il existe une large variété de compteurs intelligents se différenciant principalement au niveau de leur mode de transmission des informations et de la présence ou non de concentrateurs de données.

### I.4.1 Architecture d'un compteur intelligent [4]

Un compteur intelligent est en général constitué des éléments suivants :

- Une unité pour détecter le courant électrique grâce au capteur de courant ».
- Une unité de communication.
- Une unité de contrôle.
- Une horloge temps réel qui sert à synchroniser le compteur avec l'heure mondiale pour lui permettre de surveiller la consommation durant la journée.
- Une unité d'alimentation qui permet de fournir une tension constante pour le fonctionnement des circuits intégrés constituant le compteur intelligent.

La figure suivante montre un schéma simplifié de l'architecture d'un compteur intelligent :

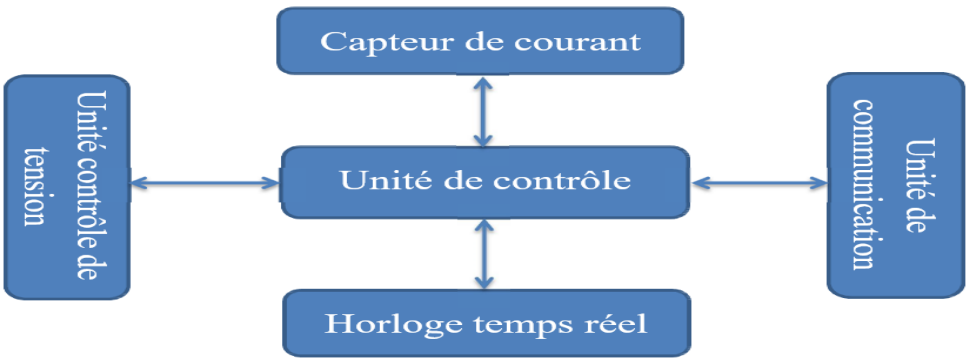



**Figure I-5:Architecture d'un compteur intelligent.**

Quelle que soit la technologie utilisée dans un compteur électrique, les composants matériels de base du compteur intelligent comprennent les éléments suivants comme le montre la figure suivante :

Figure : Les blocs fonctionnels du compteur intelligent.

Donc il y a cinq blocs nécessaires pour réalisation d'un compteur intelligent :

- Acquisition du signal qui comprend la mesure du courant et de la tension.
- Circuit de conditionnement de signal.
- Conversion analogie numérique.
- Calcul par microcontrôleur, microprocesseur etc.
- Communication.

### I.4.2 Installation et mise en service d'un compteur électrique intelligent

Les étapes essentielles pour l'installation d'un compteur intelligent L'adoption d'un compteur électrique intelligent est une avancée significative dans la gestion de votre consommation énergétique. Le processus d'installation commence par une planification minutieuse, où un technicien certifié évalue les besoins spécifiques de votre habitation et l'emplacement optimal pour le compteur. En 2024, les standards de sécurité et de connectivité sont plus élevés que jamais, assurant ainsi une installation fiable et durable.

- **Sécurisation du site :** Avant toute manipulation, il est crucial de couper l'alimentation électrique pour garantir la sécurité des intervenants.
- **Démontage de l'ancien compteur :** Retrait avec précaution du dispositif existant, en veillant à ne pas endommager les câblages en place.
- **Vérification du panneau électrique** : Inspection et mise à niveau si nécessaire pour s'assurer qu'il peut supporter le nouveau compteur intelligent.
- **Installation physique du compteur :** Fixation soignée du nouveau compteur dans son emplacement, avec raccordement aux circuits principaux de la maison.
- **Mise sous tension et tests initiaux :** Rétablissement de l'électricité pour effectuer des tests fonctionnels et vérifier la bonne transmission des données.

### I.4.3 Communication des compteurs intelligents avec les réseaux

La communication entre les compteurs intelligents et le fournisseur d'énergie se fait principalement par le biais de technologies sans fil telles que les réseaux mobiles (GSM/3G/4G) ou par CPL (Courants Porteurs en Ligne), qui utilisent le réseau électrique lui-même pour transmettre les données. En 2024, avec le déploiement du réseau 5G et l'amélioration constante des technologies IoT (Internet of Things), cette communication est non seulement plus rapide mais aussi plus sécurisée. Elle permet une interaction quasi instantanée entre le compteur et le centre de gestion du fournisseur, favorisant ainsi une réponse rapide aux demandes du marché et aux besoins changeants du consommateur.[5]

### I.4.4 Fonctionnement du compteur intelligent

Le compteur intelligent permet de mesurer et d'enregistrer la consommation d'énergie.

- S'il y a une installation de production (solaire par exemple), il permet de suivre l'excédent de production réinjecté dans le réseau.
- Le compteur peut également être connecté à une application de domotique.
- Si besoin, il peut être contrôler à distance par le gestionnaire du réseau de distribution.

La conception et le principe du fonctionnement d'un compteur intelligent d'énergie varie d'un compteur à l'autre ça dépend du protocole de communication et du nombre des fonctionnalités, par exemple :

- **Le compteur d'énergie intelligent CPL**

Ce compteur communicant utilise une technologie établie depuis les années cinquante : le Courant Porteur en Ligne (CPL), qui transmet les informations à travers les câbles électriques existants dans l'habitation. Cette technologie repose sur le couplage d'un signal haute fréquence (HF) avec le signal 50 Hz du réseau électrique (figure I-6). Le signal HF se propage à travers l'installation électrique et peut être reçu et décodé à distance. Ainsi, tout récepteur CPL de même catégorie sur le même réseau électrique peut recevoir le signal CPL.[6]

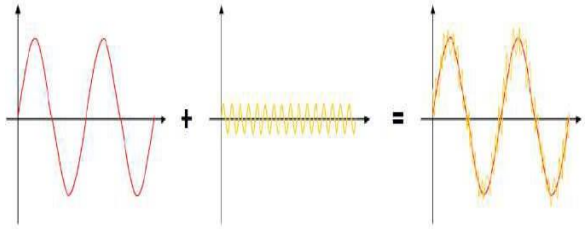


**Figure I-6:Illustration du principe général du CPL**

- **Le compteur d'énergie intelligent avec module GSM**

Ce type de compteur intelligent utilise un mode de communication basé sur un module GSM qui envoie les données et reçoit des ordres à travers des SMS entre les compteurs et agence commerciale de consommation qui collecte les informations dans la région et fait les factures.[7]



**Figure I-7:Compteur d'énergie intelligent avec GSM**

• **Le compteur d'énergie intelligent IOT** Ce compteur utilise une technologie qui s'appelle IOT (internet of things). Cette technologie permet d'envoyer les données et recevoir des ordres en temps réel entre plusieurs appareils ensemble, ce mode de communication nous permet d'avoir beaucoup de fonctionnalités comme : contrôler tous les appareils dans la maison avec un seule télécommande, réduire la consommation d'énergie, éviter des problèmes électriques comme la surcharge [7]

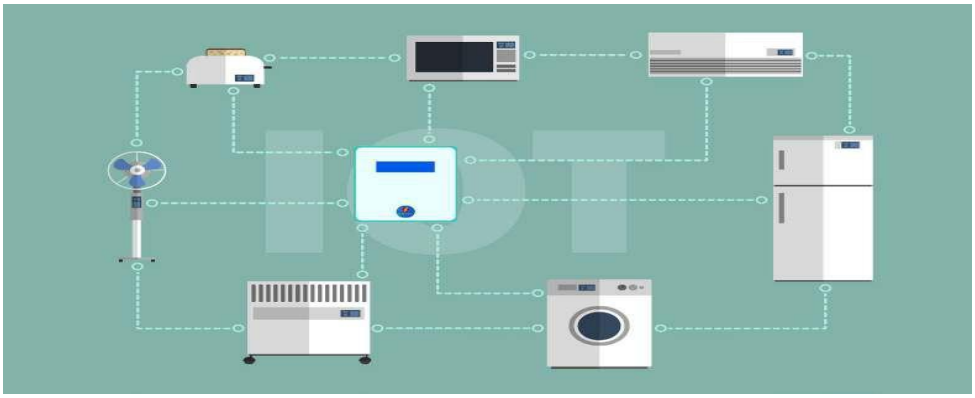


**Figure I-8:Enter Captions**

## I.5. Besoin d'un système de compteurs d'énergie prépayé [8]

La méthode classique de facturation de l'électricité consiste pour une personne de l'unité de distribution à lire le nombre d'unités d'électricité consommées dans le compteur d'énergie, à transmettre ces informations à l'unité de distribution, puis à préparer la facture en fonction des unités consommées pendant une durée déterminée. Cela peut s'avérer assez fastidieux car il implique diverses tâches comme la lecture, puis la préparation du projet de loi. Pourtant, la précision ne peut être garantie car il peut y avoir des erreurs dans la lecture humaine. Même si les compteurs numériques remplacent les compteurs électromécaniques classiques et fournissent de nombreuses lectures précises, le problème de faire délibérément une fausse lecture peut toujours exister (raisons politiques). Malgré cela, la tâche de facturation pour chaque consommateur est un travail fastidieux pour le réseau de distribution. En outre, le consommateur peut délibérément consommer plus

d'énergie que nécessaire et s'abstenir de payer la facture et rien ne peut être fait pour aggraver l'alimentation électrique.

Pour éliminer tous ces problèmes, la méthode la plus pratique consiste à rendre l'ensemble du système prépayé similaire à une recharge de téléphone portable ou à une recharge par SRD. [8]

### I.5.1 Définition de Compteur intelligent à prépaiement

C'est un nouveau type de compteur d'énergie combinant une technologie de comptage prépayé et intelligent, avec des fonctionnalités telles que l'automatisation, la haute précision et l'intelligence. Ce type de compteur d'énergie nécessite un prépaiement avant la consommation d'électricité. Il adopte un système prépayé et les utilisateurs doivent acheter une certaine quantité d'électricité à l'avance avant de pouvoir l'utiliser. Lorsque la consommation d'énergie est épuisée, le compteur électrique coupe automatiquement l'alimentation électrique pour éviter les factures d'électricité impayées. [8]

### I.5.2 Application de compteur intelligent à prépaiement [9]

- Gestion de l'électricité domestique.
- Surveillance de l'électricité dans les établissements commerciaux.
- Surveillance de l'électricité pour les équipements industriels.
- Système d'automatisation de l'alimentation.
- Réponse à la demande de puissance.

### I.5.3 Les avantages de compteur à prépaiement [8]

- Il est très précis car l'idée de lire les unités, puis de facturer manuellement ou tout autre moyen est éliminée.
- Le consommateur ne peut échapper au paiement de la facture d'électricité et l'Office national de l'électricité se libère des dettes.
- Sur le front des consommateurs, la tâche fastidieuse de payer la facture et d'attendre anxieusement la facture est éliminée.
- Le gaspillage d'énergie est diminué car désormais seule l'énergie requise sera consommée telle qu'allouée.
- Le réseau électrique peut surveiller la consommation d'énergie globale et toute tentative de falsification n'est en fait d'aucune utilité et peut être détectée si elle est toujours répandue.

### I.5.4 Kit de compteur d'énergie prépayé simple [8]

Le type le plus simple de compteur d'énergie prépayé se compose de 2 EEPROMs interfacés à un microcontrôleur. Une EEPROM contient le montant du solde rechargé. Le microcontrôleur lit cette balance et la stocke dans l'autre EEPROM avec le tarif.

Le compteur d'énergie fournit des impulsions au microcontrôleur pour chaque unité d'énergie consommée. Le microcontrôleur augmente l'unité d'énergie dépensée d'un et diminue le montant du solde dans l'EEPROM du tarif fixe. Dès que le montant du solde dans l'EEPROM tombe à zéro, le microcontrôleur envoie un signal au pilote de relais qui à son tour coupe le relais, de sorte que l'alimentation principale de la charge est coupée. Un écran LCD est également interfacé au microcontrôleur qui affiche la quantité d'énergie consommée. [8]

Lorsque la carte de recharge est insérée dans le compteur :

- Le microcontrôleur lit le montant du solde et les unités d'énergie allouées depuis l'EEPROM, et les stocke dans sa mémoire RAM.
- Le microcontrôleur est programmé pour effacer les informations présentes dans l'EEPROM, rendant ainsi la carte invalide pour une utilisation ultérieure.

Le fonctionnement du compteur d'énergie est le suivant :

- Le compteur d'énergie envoie un signal électrique à un opto isolateur à chaque unité d'énergie consommée.
- L'opto isolateur convertit ce signal électrique en impulsions électriques qui sont envoyées au microcontrôleur.
- Le microcontrôleur maintient un compteur en incrémentation à chaque impulsion, afin de suivre la valeur de l'énergie consommée. [8]

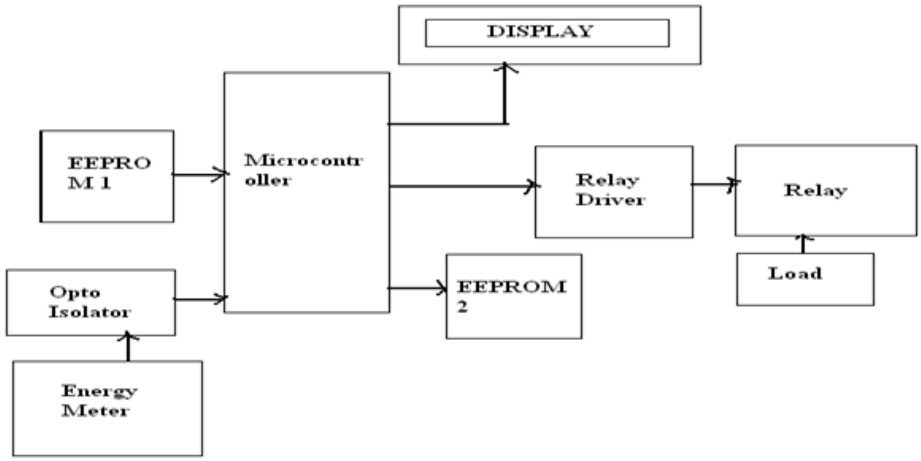



**Figure I-9: Kit de compteur d'énergie prépayé simple**

## I.5.5 Exemples de compteurs d'énergie prépaye

### I.5.5.1 Compteur d'énergie prépayé PE5120[8]

C'est un compteur 3 en 1 à double source. Il surveille également la consommation d'eau et de gaz ainsi que la consommation électrique. Tout ce que le consommateur a à faire est d'afficher la carte sur le panneau avant du compteur pendant une durée de 3 secondes. Le microcontrôleur stocke le nombre d'unités allouées et mesure l'énergie consommée. Ce système coupe automatiquement



**Figure I-10:Compteur d'énergie prépayé PE5120**

l'alimentation une fois que les unités achetées sont épuisées. Ses applications comprennent les centres commerciaux, les townships résidentiels, les bâtiments commerciaux, les quartiers des employés, etc. [8]

### I.5.5.2 Compteur d'énergie prépayé Power Accent [8]

Il est livré avec des fonctionnalités telles que le sabotage mécanique et électrique et se compose d'une carte à puce et d'un logiciel de station de vente pour recharger la carte à puce. Il peut stocker un crédit maximum de 10 000kWh.[8]




**Figure I-11:Compteur d'énergie prépayé Power Accent**

## I.6. Etat de l'art sur les travaux déjà effectués [10]

Avant de se lancer dans un nouveau travail de conception et de réalisation, il est nécessaire de présenter certains travaux antérieurs. L'étude de leurs avantages et de leurs inconvénients permettra d'intégrer toutes les fonctionnalités des précédents systèmes, tout en ajoutant de nouvelles fonctionnalités en partant de leurs limites, afin d'obtenir un système beaucoup plus innovant.

À ce titre, on peut notamment évoquer :

### I.6.1 Un cahier de recherche sur les compteurs intelligents (vecteurs de changements comportementaux) [10]

Cette publication s'interrogeait sur l'utilisation de dispositifs technologiques innovants, s'insérant aussi dans le champ de la sociologie comportementale, pour promouvoir l'adoption de pratiques plus durables par les ménages. Le compteur intelligent, en transmettant en temps réel la consommation d'électricité d'un ménage à son distributeur et au ménage lui-même, est un exemple de dispositif susceptible d'inciter les consommateurs à mieux maîtriser leurs dépenses énergétiques.

Le cahier de recherche dresse un panorama des potentialités offertes par le compteur intelligent et ses fonctions distinctes : une fonction "palliative" qui ne change pas les comportements mais en atténue les conséquences, une fonction "contraignante" qui oblige les ménages à se conformer à un comportement souhaitable, et une fonction "capacitaire" qui donne aux usagers les moyens d'agir plus durablement. [10]

### I.6.2 Les avantages et les inconvénients du compteur électrique intelligent

Cette analyse se penche sur les aspects techniques et de maîtrise des technologies énergétiques, en identifiant les avantages (suivi détaillé de la consommation, gains de productivité) et les inconvénients (coût de l'équipement et de la maintenance) du compteur communicant. [10]

✓ **Avantages**

Une facturation précise : Grâce aux relevés d'index réguliers, le client ne paie que pour la quantité d'électricité qu'il consomme réellement.

La possibilité d'adapter sa consommation d'énergie : En sachant exactement quand et combien d'électricité est consommée, il est plus facile de réduire la consommation d'énergie aux moments où les tarifs sont les plus élevés.

- La rémunération pour l'injection d'électricité : Grâce au compteur communicant, le client peut bénéficier d'une rémunération pour chaque kWh d'électricité injecté dans le réseau.
- La réduction des frais de réseau : Si le client parvient à autoconsommer une grande partie de l'énergie qu'il produit, il peut payer moins de frais de réseau.
- Tarif capacitaire ou proportionnel, cela reste avantageux : On peut faire le choix entre les deux tarifs car avec un compteur analogique, il n'y a que le tarif capacitaire qui peut être appliqué.

✓ **Inconvénients**

- Le coût d'installation : L'installation d'un compteur intelligent peut être plus coûteuse qu'un compteur traditionnel mais reste tout de même abordable
- Le risque de piratage : Les données de consommation électrique collectées par le compteur intelligent peuvent être vulnérables aux cybers attaques.
- La nécessité d'une connexion Internet : Pour fonctionner correctement, le compteur intelligent doit être connecté à Internet en permanence.

### I.6.3 Conception et réalisation d'un compteur d'énergie électrique consultable à distance et accès local par carte à puce [11]

Ce travail s'est limité à la consultation à distance, en se concentrant sur l'aspect communicationnel du compteur.

### I.6.4 L'apport des compteurs intelligents à une consommation plus durable de l'électricité

Cette analyse SWOT [(Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) est une méthode d'analyse stratégique utilisée pour évaluer les forces, les faiblesses, les opportunités et les menaces d'un projet], s'est focalisée sur les enjeux de communication et de consommation liés aux compteurs intelligents.

## I.7. Perspectives d'utilisation de compteurs intelligents en Algérie

### I.7.1 A court terme

Les compteurs intelligents sont capables de relever et de transmettre des données de consommation d'électricité détaillées ainsi que des données techniques, telles que le type de compteur, le numéro de série, la date et l'heure. Celui va minimiser le cout et l'effort des employées qui se déplace pour obtenir ces données.

### I.7.2 A moyen terme

La collecte des données de consommation en fonction de la date et l'heure va permettre d'étudier le comportement des consommateurs tout au long de la journée et à différentes saisons. Cela permet de mieux comprendre le réseau et permet de répondre efficacement à la demande électrique. Après cette étude, l'utilisation de ces compteurs vise à inciter les clients à moins consommer, par l'établissement de prix différenciés en temps réel, aux heures de crêtes (sur-tarification) prévisibles selon les heures de la journée et la saison. Cela est sensé encourager les clients à consommer moins d'énergie et permettre des économies globales d'énergies dans une perspective de développement durable.

## I.8. Conclusion

L'évolution des compteurs électriques, depuis les premiers modèles électromécaniques jusqu'aux compteurs intelligents d'aujourd'hui, témoigne des progrès constants dans la mesure et la facturation de la consommation d'électricité. Les compteurs intelligents représentent une avancée majeure, avec leurs fonctionnalités avancées de communication, de suivi de la consommation et de gestion à distance. Ils permettent une facturation plus juste et transparente, tout en offrant une meilleure compréhension des comportements de consommation, ouvrant la voie à des programmes d'incitation et de sensibilisation pour une utilisation plus durable de l'électricité. ) que l'installation des compteurs intelligents nécessite des investissements initiaux, les bénéfices à long terme, tant pour les fournisseurs que pour les consommateurs, sont substantiels. L'amélioration de l'efficacité énergétique, la réduction des coûts de gestion et la possibilité d'offrir de nouveaux services justifient le déploiement massif de cette nouvelle génération de compteurs.

Enfin, l'intégration des compteurs intelligents dans une vision plus globale de la transition énergétique, avec le développement des énergies renouvelables et des réseaux intelligents, ouvre de nouvelles perspectives pour une gestion optimisée de la production et de la consommation d'électricité, s'inscrivant dans les objectifs de durabilité et de réduction de l'empreinte environnementale du secteur électrique.

# II. CHAPITRE 02 : Comptage électrique et tarification

## II.1. Introduction

Ce chapitre explique les bases du comptage électrique et du calcul de puissance. Il décrit comment l'énergie électrique est mesurée, les erreurs possibles dans ces mesures, et comment l'électricité est tarifée. On y trouve aussi des informations sur les systèmes de tarification de SONELGAZ et leur impact sur la consommation d'énergie. De plus, le chapitre aborde les fraudes liées aux compteurs électriques et les technologies utilisées pour les prévenir. Enfin, il présente les différents types de compteurs, des modèles classiques aux compteurs intelligents, en soulignant leurs avantages et leurs utilisations

## II.2. Comptage Quatre Quadrants [12]

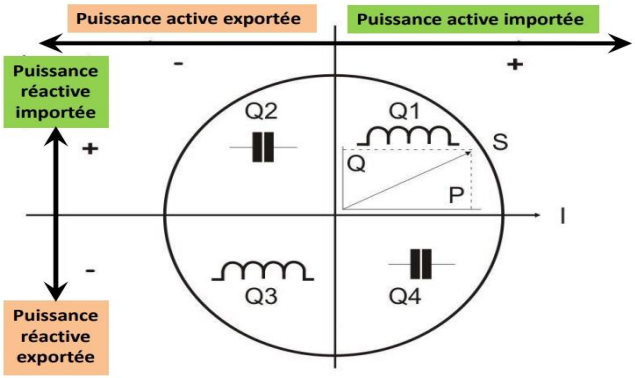



**Figure II-1:Comptage Quatre Quadrants**

## II.3. Erreur en Pourcentage [12]

L'erreur en pourcentage est donnée par la formule suivante :

$$\text{Erreur en pourcentage} = \frac{\text{énergie enregistrée par le compteur - énergie vraie}}{\text{énergie vraie}} \text{x100}$$

**Figure II-2:Erreur de pourcentage**

La valeur vraie ne pouvant pas être déterminée, on prend une valeur approchée avec une précision que l'on peut rattacher à un étalon agréé par le constructeur et par l'utilisateur, ou à un étalon national.[12]

## II.4. Tarification de l'électricité [13]

La tarification de l'électricité peut comprendre un abonnement à un fournisseur d'énergie électrique, un prix dépendant de la consommation (facturée au kilo watt-heure), des frais d'accès à l'électricité (lors d'une première installation ou d'un changement de fournisseur) ainsi que des taxes locales ou nationales. Les tarifs peuvent différer selon les types d'énergies vendues (renouvelables par exemple), le niveau de tension de raccordement, les plages horaires et les périodes de l'année (selon les contrats). Les prix restent parfois réglementés par l'État ou sont définis par des sociétés dans un contexte de concurrence. Les compagnies d'électricité fixent les prix de l'électricité sur la base de ces trois normes Ce qui suit :

- Consommation d'énergie en kilowattheures
- Besoins en puissance active, en kilowatts
- Demande de puissance apparente, en kilovolts ampères

Le terme « tarif » s'applique aux prix réglementés par l'État ; pour les prix de marché, on parle tout simplement de prix.[13]

## II.4.1 Présentation du système tarifaire

### II.4.1.1 Les objectifs [14]

Le système tarifaire de SONELGAZ a pour but :

- D'assurer des recettes à l'entreprise en contrepartie de la vente de ses produits.
- De diminuer les coûts de mise à disposition à la clientèle de l'énergie électrique par l'incitation de celle-ci à consommer durant les périodes les moins chargées (faible demande)
- De minimiser des coûts de transport et de distribution de l'énergie gaz
- D'assurer une égalité de traitement de tous les abonnés par la mise en place de tarifs à l'échelle nationale.
- D'orienter la consommation d'énergie électrique de la clientèle durant les périodes où les réserves tournantes de puissances au niveau des centrales sont importantes en particulier de nuit (faible coût du kWh produit et vendu).

### II.4.1.2 Caractéristiques [14]

- La structure de la tarification est unique pour l'énergie électrique et l'énergie gazière
- Les prix ne varient pas en fonction des saisons
- Les prix sont identiques sur tout le territoire national, ce qui l'inscrit dans la politique de développement équilibré du pays.
- La structure de la tarification doit concorder avec la structure des coûts de fourniture de l'électricité et du gaz.

Pour l'énergie électrique, les prix sont différenciés en fonction des moments de la journée :

- Élevés pour les heures de forte demande
- Bas pour les heures de faible demande.

En conséquence, le prix élevé de l'énergie électrique à la pointe et son bas niveau aux périodes creuses incitent la clientèle à consommer durant les heures les moins chargées.[14]

## II.4.2 Les Formules tarifaires en électricité [14]

L'ensemble des tarifs de l'électricité constitue un système caractérisé par une unicité de la Structure. L'expression générale de cette formule tarifaire est un polynôme composé de trois parties :

- Un terme constant
- Un terme qui facture la puissance
- Un terme qui facture l'énergie.

Cette formule est applicable à l'ensemble des abonnés du territoire national pour les tensions de livraison suivantes :

**Haute Tension** : 60 - 90 - 220 et 400 kV (la tension 90 kV est en extinction)

**Moyenne Tension** : 5,5 -10 - 30 kV

**Basse Tension** : 220 - 380 V

### II.4.2.1 La formule tarifaire en électricité pour les abonnés MT et HT [14]

La formule appliquée se présente comme suit

Redevance PMD PMA Energie Active Energie Réactive

$$R = a + c \times Pc + d \times Pa + \sum \text{eh} \times \text{Eh} + \text{g}(W - rE)$$

Montant : 1ere terme 2éme terme 3éme terme

R : représente le montant de la consommation de l'énergie électrique (DA/mois)

Le 1ere terme 'a' facture la redevance (DA/mois)

Le 2eme terme '$c \times Pc + d \times Pa$ ' facture la puissance (DA/kW/mois)

Le 3eme terme '$\sum \text{eh} \times \text{Eh} + \text{g}(W - rE)$' facture les énergies actives et réactives dans différents postes horaires (DA/kWh).

- Le 1ere terme constant 'a ' : facture les redevances fixes relatives aux frais de gestion technique et commerciale de l'abonné (entretien du raccordement au réseau, entretien courant et vérification du comptage, relève, facturation).
- Le 2ème terme '$c \times Pc + d \times Pa$ ' : facture la puissance selon 2 grandeurs : la puissance mise à disposition et la Puissance maximum absorbée.

- La Puissance maximum absorbée :

La facturation de cet élément correspond au terme $'d \times Pa'$ et dans lequel :

' d ' : est le prix unitaire de la puissance absorbée (DA/kW/mois)

'Pa' : est la puissance maximum absorbée 'PMA' par le client durant la période de facturation (1 mois) donnée par un indicateur de maximum

- La Puissance mise à disposition :

Elle est facturée suivant l'expression '$c \times Pc$ ' dans laquelle :

'c' : est le prix unitaire de la puissance mise à disposition (DA/kW/mois)

'Pc' : mesurée en kW est la puissance mise à disposition. C'est la puissance réservée par le Fournisseur en vertu d'un accord, que le client peut appeler à tout moment selon ses Besoins.

- Le 3ème terme '$\sum \text{eh} \times \text{Eh} + \text{g}(W - rE)$' facture les énergies actives et réactives dans les Différents postes horaires

- L'énergie active : $'\sum \text{eh} \times \text{Eh}'$ est exprimée en kilowatt heure (kWh).

Elle est utilisable, après transformation par le récepteur, sous forme de travail ou de chaleur.

'eh' : Prix unitaire de l'énergie active pour le poste horaire 'h'

'Eh' : Énergie active consommée au cours du mois dans le poste horaire h,

- L'énergie réactive : $'\text{g}(W - rE)'$ exprimée en kilo varheure (kvar/h).

'g' : Prix unitaire de l'énergie réactive

'W' : Énergie réactive consommée au cours du mois

'r' : Valeur du rapport $W/E = tg\emptyset$

'E' : Énergie active consommée au cours du mois dans les différents postes horaires

L'énergie réactive sert en particulier à créer dans les bobinages des moteurs, transformateurs, le champ magnétique sans lequel le fonctionnement serait impossible. Contrairement à la précédente, cette énergie est dite "improductive" pour l'utilisateur.

Les prix de l'énergie réactive donnés dans les barèmes présentés ci-dessous s'entendent pour une fourniture normalement accompagnée d'une proportion d'énergie réactive allant jusqu'à 50% de l'énergie active.

Lorsque la consommation d'énergie réactive durant le mois de consommation dépasse la proportion de 50% de l'énergie active, l'excédent est facturé au prix du tarif appliqué.

L'énergie réactive non consommée en deçà de 50% donne lieu à une bonification par kilovar/heure égale au cinquième (1/5) du prix du kilo-var/h de l'énergie réactive appliquée à l'abonné.

En d'autres termes, avant la facturation du client, le système détermine la valeur de : $tg\emptyset = W/E$

W : étant l'énergie réactive consommée et E énergie active consommée.

Les valeurs de $r = tg\emptyset = W/E$

La Valeur du rapport $tg\emptyset = W/E$ prise égale à 0,50 correspond à cos Ø = 0,894

Si le rapport $tg\emptyset = W/E$

➔ Si le rapport $tg\emptyset = W/E$ est supérieur à 0,5, la facture du client est majorée.

'g' sera le prix du malus et le client sera pénalisé pour une consommation supérieure à 0.5, Cette majoration est déterminée comme suit : $(2W - E)/2 \times g$

(g étant le prix unitaire de l'énergie réactive qui est le malus)

➔ Si le rapport $tg\emptyset = W/E$ est inférieur à 0.5, le client est bonifié.

Alors 'g' sera le prix du bonus et le montant du bonus est déduit de la facture du client.

Le montant du bonus est déterminé comme suit : $(E - 2W)/2 \times g$

(g étant le 1/5 du prix du kilo-var/h du tarif de l'énergie réactive appliquée à l'abonné).

### II.4.2.2 La formule tarifaire en électricité pour les abonnés BT [14]

Pour les abonnés Basse Tension, la formule est simplifiée et prend la forme suivante :

| | | Redevance | | PMD | | Energie active |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $R$ | = | $a$ | + | $c \times Pc$ | + | $\sum eh \times Eh$ |
| Montant | | 1ere terme | | 2eme terme | | 3eme terme |

La PMA et l'énergie réactive ne sont pas facturées à la clientèle Basse Tension

- Le 1ere terme constant 'a ' : facture les redevances fixes relatives aux frais de gestion technique et commerciale de l'abonné (entretien du raccordement au réseau, entretien courant et vérification du comptage, relève, facturation).
  - Le 2ème terme $'c \times Pc'$ : facture la puissance mise à disposition
    Elle est facturée suivant l'expression $'c \times Pc'$ dans laquelle :

    'c' est le prix unitaire (DA/kW/mois.

    'Pc' est la puissance mise à disposition en kW.
  - Le 3ème terme $'\sum eh \times Eh'$: facture les énergies actives dans les différents postes horaires

## II.4.3 Tarification dans les Compteurs en Algérie (2018) [15]

L'électricité est fournie en Algérie par quatre filiales de la Sonelgaz : la SDA (Alger), la SDC (Centre et Sud), la SDO (Ouest) et la SDE (Est). Un kilowattheure est l'énergie nécessaire à faire

tourner un appareil d'une puissance de 1000 watts pendant une heure. Les prix du kWh d'électricité dans toutes les zones de distribution sont identiques et sont fixés par décret étatique et plus particulièrement par la CREG, l'organisme en charge de la régulation du marché énergétique. Il existe trois périodes tarifaires pour caractérisée le prix du kWh [15]

De 17h00÷21h00 heures de pointes à 7.163 DA/kWh,

De 06h00÷17h00 et de 21h00÷22h30 heures pleines à 1.911 DA/kWh,

De 22h30÷06h00 heures creuses à 1.064DA/kWh.

Contrairement au compteur traditionnel, le compteur intelligent possède 4 relevés d'index. Ceux-ci permettent de mesurer l'électricité consommée et injectée en heures creuses et pleines.

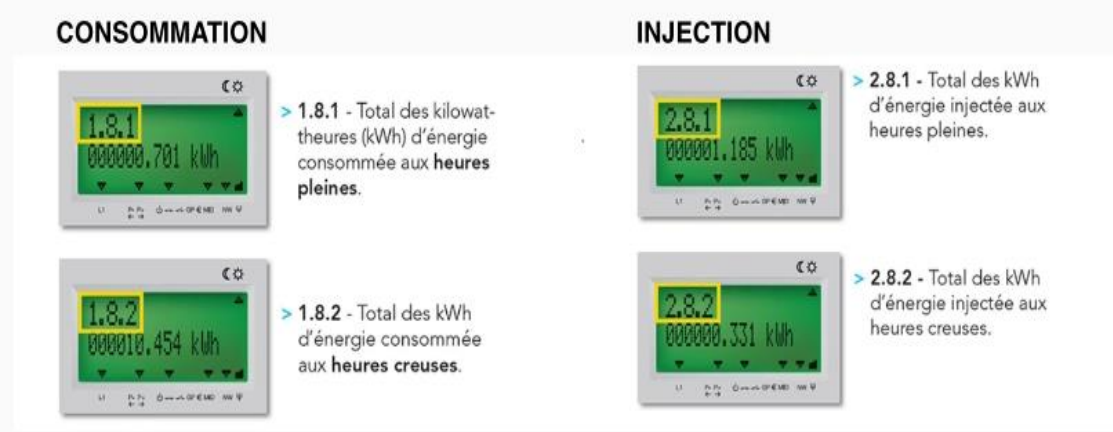



**Figure II-3:Calcul relevés d'index compteur intelligent [16]**

## II.5. Fraude compteur électrique [17]

Le compteur électrique étant fait principalement pour facturer de l'électricité, de nombreux clients s'intéressent à la fiabilité des compteurs électriques face à la fraude. La vulnérabilité des compteurs électriques va dépendre du type de compteur électrique.

Ils peuvent dans certains cas aussi être utilisés pour facturer de l'électricité dans les campings, les marinas, les sous locations...

Pour facturer de l'électricité il faut des compteurs conformes à la directive MID. Cette directive certifie l'inviolabilité des compteurs.[17]




**Figure II-4:cas de fraude**

En effet différents problèmes peuvent sinon exister :

- Le compteur retombe à 0 lorsqu'il y a une coupure d'électricité.
- Le compteur compte à l'envers lorsqu'il est branché à l'envers
- Le compteur ne compte pas de façon précise.

Les fraudeurs qui cherchent à bloquer le compteur peuvent aussi shunter la phase ce qui bloque également le compteur. Pour éviter cela les bornes se trouvent sous des capots qui sont plombés.

### II.5.1 Fraude de compteur électrique type EDF

Les compteurs électriques type EDF sont généralement utilisés par EDF pour facturer de l'électricité. Ils sont donc conformes à la directive MID ce qui est un gage de qualité contre la fraude des compteurs électriques.

Le capot inférieur est normalement accessible par le client. Il y trouve les sorties relais et la télé information client. Ces bornes sont protégées et ne permettent pas de modifier ou bloquer l'index du compteur électrique.

Les bornes de raccordement se trouvent sous le capot supérieur. Ce capot est plombé pour éviter la fraude. Pour bloquer le compteur il suffirait en effet de shunter le compteur en shuntant les bornes 1 et 4 qui correspondent à l'entrée et la sortie de phase et donc du courant.

Le compteur a des alertes en cas de fraude. Un capteur détecte toute ouverture du capot. De plus le compteur détecte lors du shunte du compteur électrique la chute d'intensité qui passe à 0. De même si l'on débranche le compteur, alors la tension tombe à 0 ce qui est détecté par le compteur électrique.[17]

### II.5.2 Fraude Compteur électrique classique

Les compteurs électriques classiques ne sont plus installés par ERDF mais sont encore utilisés. Ils ont plusieurs failles qui permettent de frauder ou de les bloquer. Un simple trou permet de bloquer le disque à l'aide d'une aiguille.

Les vis de réglage qui se trouvent sous le capot permettent de changer le réglage et de le faire tourner moins vite de 30 % approximativement. C'est pour cela que le capot qui couvre le disque est plombé.

Comme avec les autres types de compteurs électriques, il est possible de shunter la phase. Cela bloque la roue et donc le comptage. Pour anticiper toutes fraudes les capots caches bornes devront être plombé systématiquement.

Le principe de fonctionnement du compteur classique répond aux règles physiques décrites par Faraday. Il n'est pas possible de bloquer le disque à l'aide d'un aimant qui induit un champ magnétique constant**.**[17]



**Figure II-5:Fraude compteur électrique classique**

### II.5.3 Fraude Compteur électrique LINKY [17]

Le compteur Linky est certainement le meilleur moyen de lutter contre la fraude. Toutes les alertes de fraude que les compteurs d'aujourd'hui détectent ne pouvaient pas être transmises à ERDF. Le compteur Linky permet d'envoyer instantanément une alerte. Plusieurs choses peuvent être détectées :

Une surconsommation, une sous consommation, une chute d'intensité ou de tension ainsi qu'une ouverture du capot. De plus ERDF a l'historique de toutes les consommations ce qui permet de détecter un comportement anormal qui pourrait ressembler à de la fraude.
Les nouveaux compteurs Linky dit intelligents donneront alors la possibilité d'envoyer une alerte lorsque l'intensité consommée ou la tension chute à 0 ce qui n'est pas normale. La tension ne doit normalement jamais tomber à 0 sauf en cas de coupure de courant. L'intensité elle, n'est normalement jamais nulle car tous les appareils électroniques consomment de l'énergie.
Reste toujours la possibilité de faire une dérivation en amont du compteur électrique. Ce n'est alors pas le compteur électrique mais directement ERDF qui est fraudé. Même dans ce cas-là, la fraude peut être détectée par un comportement anormal du consommateur**.**
Sachant que dans certains pays la fraude représente 20 à 30 % de la consommation, on peut imaginer l'impact et la potentielle baisse du coût de l'électricité envisageable. [17]




**Figure II-6:Fraude Compteur électrique LINKY**

**Filtre cpl anti linky :**
L'installation du filtre CPL PROSTOP65 entre le disjoncteur et le tableau électrique fait barrage aux ondes électromagnétiques qui ne pénètrent plus dans le logement. C'est une véritable protection.[17]

## II.6. Les Cas des Fraudes à Sonelgaz [12]

- Branchements en amont du compteur d'énergie électrique et toute modification sur les bornes de connexions,
- Présence de matériaux ferromagnétiques susceptibles de perturber le bon fonctionnement du compteur,
- Eventuelle ouverture de cache bornes du compteur d'énergie électrique,
- Eventuelle ouverture de cache microcontrôleur du compteur d'énergie électrique,
- Inversion de la phase et le neutre,
- Présence d'éléments de sur chauffe des circuits électroniques susceptible de perturber le bon fonctionnement du compteur. Ce que coute la fraude : En 2018, la fraude a engendré une perte de la distribution de l'ordre de 7 536,12 gigawatts soit 13,28%. La quantité d'énergie fraudée est estimée à 2 430,5 GWH, alors que le préjudice financier est estimé au cours de la même année à 11 182 ,73 milliards de dinars.[12]

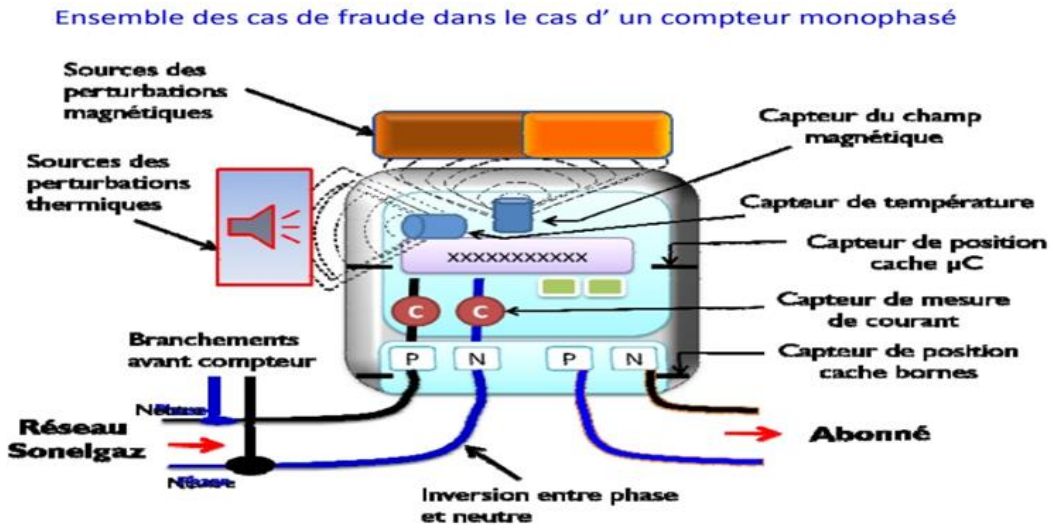



**Figure II-7: Ensemble des cas de fraude dans le cas d'un compteur monophasé**

## II.7. Comptage électrique

### II.7.1 Technologie de comptage

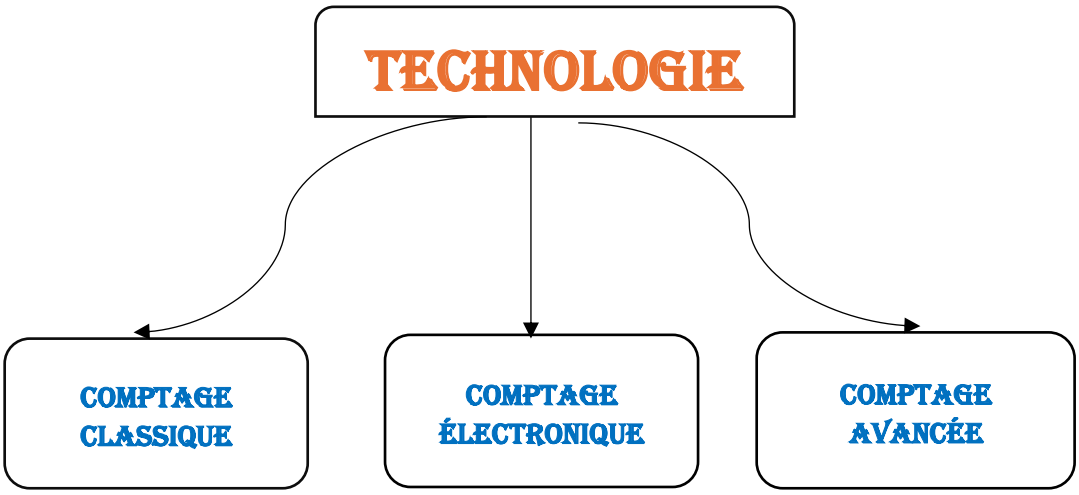



**Figure II-8:Technologie de comptage**

#### II.7.1.1 Comptage Classique [12]

Compteur dans lequel des courants circulant dans des enroulements fixes réagissent sur des courants induits dans des pièces conductrices mobiles, généralement un disque, ce qui entraîne leur mouvement proportionnel à l'énergie consommé par les abonnées.[12]

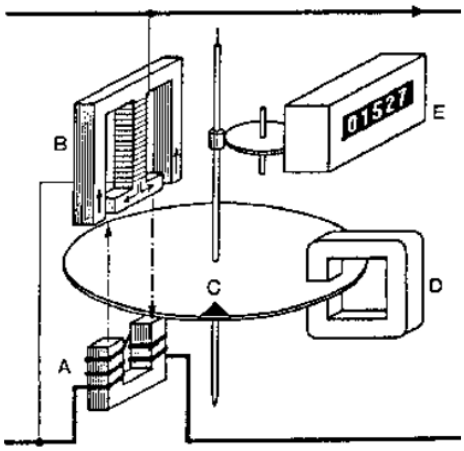



**Figure II-9: Comptage classique**

(A) Bobine courant
(B) Bobine tension
(C) Disque (courants de Foucault)
(D) Aimant permanent
(E) Afficheur

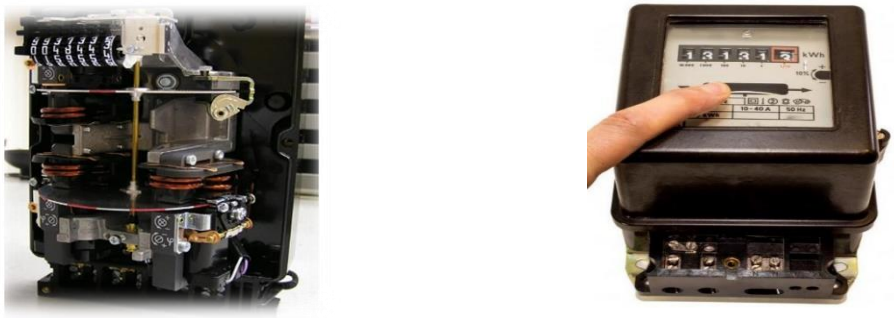


**Figure II-10:Compteur classique**

### II.7.1.2 Comptage Electronique [12]

Compteur dans lequel le courant et la tension appliqués à un élément électronique de mesure produisent une sortie proportionnelle à l'énergie électrique consommé par l'abonné.

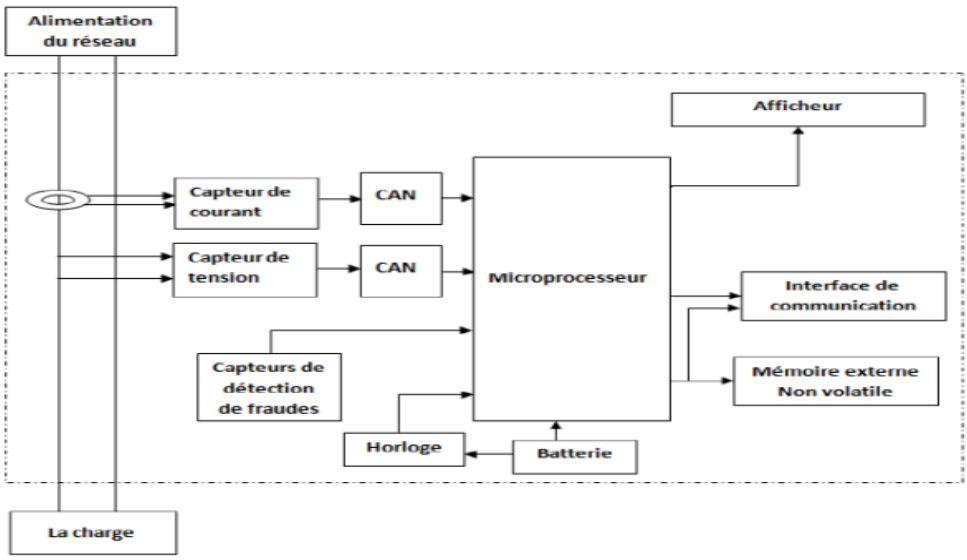



**Figure II-11:Comptage électronique**

### II.7.1.3 Comptage intelligent

Le comptage intelligent est la reconstruction et l'innovation du modèle de comptage traditionnel. C'est la pratique importante du « Internet + » dans le domaine du comptage. Grâce à l'intégration profonde des technologies de l'information modernes et de la technologie de mesure avancée, il est capable de réaliser l'intégration de la science de la gestion des compteurs, intelligence technologique de comptage, digitalisation des moyens de comptage ainsi qu'intégration des informations de comptage. Donc, il fournit des solutions de comptage scientifiques et efficaces pour la croissance économique et sociale.

Le comptage intelligent se manifeste principalement sous deux aspects. Le premier est l'intelligence des instruments de mesure, qui utilise de nouvelles technologies telles qu'intelligence artificielle pour réaliser une détection intelligente sans implication humaine dans le processus de mesure et de test, tandis que l'instrument dispose d'une variété d'interfaces réseau afin d'établir une connexion réseau.

Le deuxième est l'intelligence de la gestion du laboratoire, qui réalise des fonctions comprenant la gestion commerciale sans papier, documents originaux sans papier, gestion de laboratoire sans papier, gestion intelligente des instruments et analyse des mégadonnées.




**Figure II-12:Compteur intelligent**

## II.7.2 Infrastructure de comptage avancée

La mise en œuvre d'Infrastructure de comptage avancée (AMI) est l'une des étapes essentielles et nécessaires à la modernisation du réseau électrique car il utilise un système de communication bidirectionnel pour la surveillance et le contrôle du réseau électrique. L'AMI n'est pas en fait une technologie unique, mais plutôt une intégration de différentes technologies, tel que :

- Compteurs intelligents
- Infrastructure réseau étendue
- Système de management des données du compteur
- Passerelles opérationnelles

Le compteur intelligent recevoir et envoyer des données et des ordres sans l'intervention Physique d'un technicien. Installé chez les clients et relié à un centre de supervision, il est en interaction permanente avec le réseau, qu'il contribue à rendre plus « intelligent ».

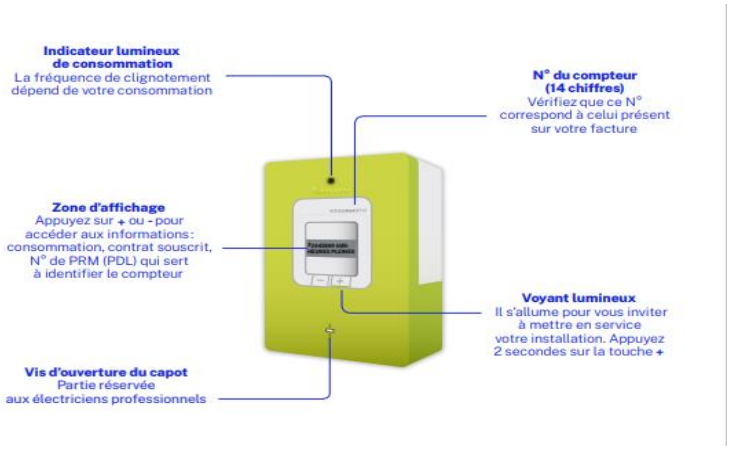



**Figure II-13:Compteur Linky monophasé**

## II.7.3 Etat de l'art sur les méthodes intelligentes utilisées dans les compteurs

L'énergie produite est transmise aux clients par l'intermédiaire de compteurs qui enregistrent les consommations de ces derniers pour ensuite être facturées. La méthode utilisée dans ces compteurs est décrite à la figure 1.8 qui nous renseigne sur le processus partant de l'acquisition jusqu'à l'affichage des données de consommations. Ils utilisent à cet effet trois (03) types de comptage (le comptage BTA ; le comptage HTA/BTA ; le comptage HTA).[18]

### II.7.3.1 Les comptages basse tension (BTA)

Ils se subdivisent en deux groupes :

- Les comptages simple tarif dont l'énergie consommée est enregistrée par des compteurs ordinaires pour des intensités comprises entre 3 et 30 A en monophasé et en triphasé,
- Les comptages double tarif dont l'intensité est supérieure à 30A. Pour ce cas de figure le client alimenté, est situé à quelques mètres du poste de distribution public et que la puissance demandée n'excède pas quelques kilowatts. [10]

### II.7.3.2 Les comptages (HTA/BTA)

Ce type de comptage est généralement utilisé pour les clients privés dont l'alimentation en énergie électrique nécessite la construction d'une ligne moyenne tension et d'un poste de transformation. Ils peuvent être près d'un réseau électrique ou même très éloigné. Ces deux (02) types de comptages

sont autorisés lorsque la puissance installée n'excède pas 1250 kVA, au-delà de cette puissance il faut nécessairement faire un autre type de comptage du coté HTA.[10]

### II.7.3.3 Les comptages HTA

Lorsque la puissance installée est supérieure à 1250 kVA, le comptage est réalisé du coté HTA avec des équipements spéciaux tels que les cellules de comptages. Ce type de comptage est utilisé en industrie dont les besoins en puissance est supérieure à plusieurs kVA. Cette possibilité donne la latitude aux clients d'installer plusieurs transformateurs selon ses besoins avec un seul compteur d'énergie placé au poste de livraison.[10]

La figure suivante montre une architecture plus détaillée d'un compteur intelligent :

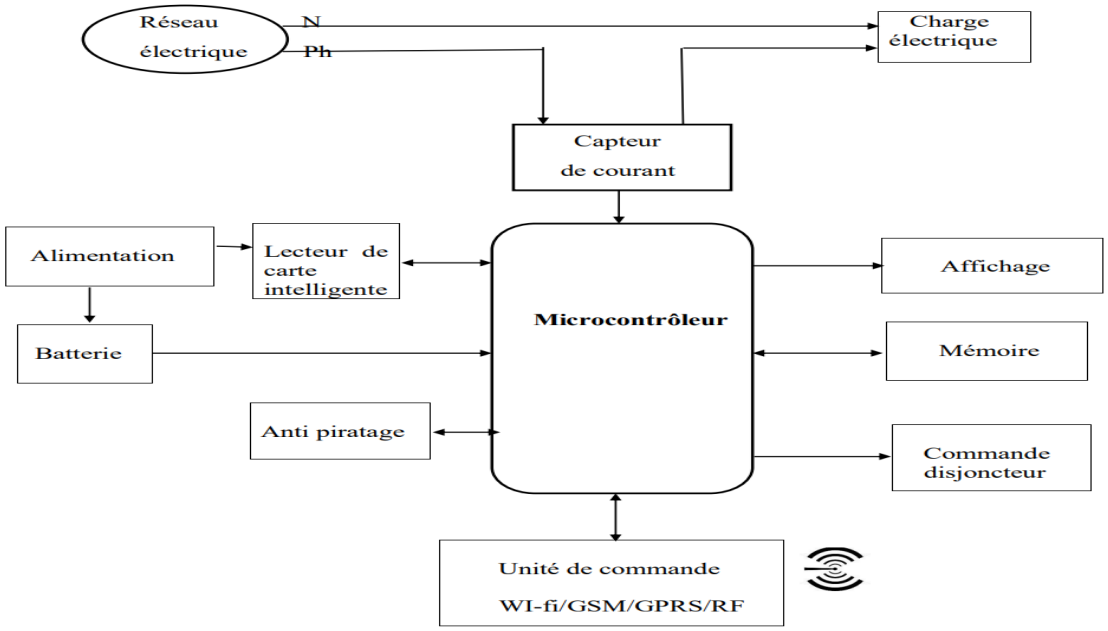



**Figure II-14: Architecture d'un compteur intelligent**

## II.8. Rappels d'électrotechnique

### II.8.1 L'impédance

L'impédance Z d'un élément dans lequel passe un courant I sous la tension U est le produit de la valeur de la tension de sortie et de la valeur du courant de sortie. Son unité est l'Ohm (Ω). $Z=\frac{U}{I}$

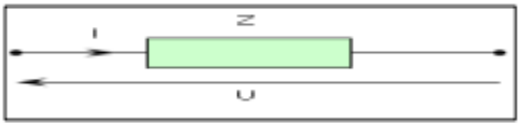
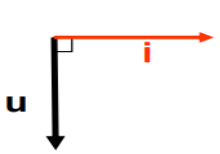
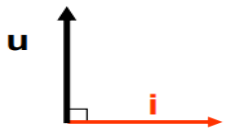
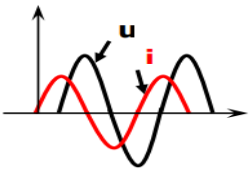
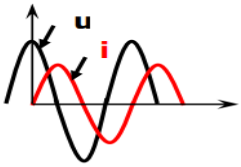
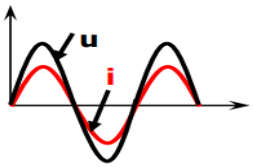



**Figure II-15:l'impédance Z.**

**Tableau II-1:représentation l'influence d'impédance sur la tension et le courant.**

| L'état de condensateur | L'état de la bobine | L'état de resistance | |
|---|---|---|---|
| $Z_C = \frac{1}{C\omega}$ | $Z_L = L\omega$ | $Z = R$ | L'inpedence **Z** |
|  |  |  | **Representation de Fresnel** |
|  |  |  | **Representation cartésienne** |
| la difference de phase entre la tension et le courant est : ($\varphi = -\pi/2$) la tension en retard par rapport le courant. | la difference de phase entre la tension et le courant est : ($\varphi = \pi/2$) la tension en avance par rapport le courant. | la difference de phase entre la tension et le courant est nulle ($\varphi = 0$). | **Difference de phase (φ)** |

Les différentes puissances d'un dipôle sont un circuit R-L-C :

(Tel que : la pulsation ω=2πF (rad/s), et F la fréquence : F=$\frac{1}{T}$ en (HZ), T la période en (seconde (s))).

**Tableau II-2:représentation la relation entre l'impédance et les différentes puissances.**

| Les éléments | La Puissance active P(W) | La Puissance Réactive Q(VAR) | Remarques |
|---|---|---|---|
| ***R*** | $RI^2=\frac{U^2}{R}$ | 0 | R consomme la puissance active |
| ***L*** | 0 | $L\ \omega\ I^2$ | L consomme de la puissance réactive |
| ***C*** | 0 | $\frac{I^2}{C\omega^2} = -U^2C\omega$ | C produit la puissance réactive |

## II.8.2 La puissance électrique

La puissance électrique est la quantité d'énergie transférée à un circuit par unité de temps, et un équipement électrique est caractérisé par sa puissance. La consommation d'énergie dépend à la fois de la puissance de l'appareil et de la durée de son fonctionnement. Par exemple, un appareil de puissance plus élevée consommera plus d'énergie en comparaison à un appareil de puissance moindre fonctionnant pendant la même durée. Il est essentiel de prendre en compte ces deux facteurs pour une utilisation efficace des équipements.

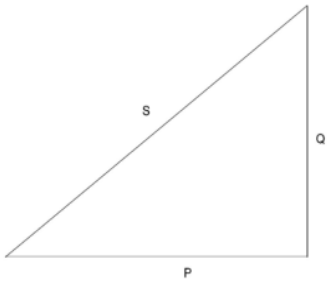



**Figure II-16:Triangle de puissance.**

Il existe deux types de circuits électriques de base : les circuits à courant continu (CC) et les circuits à courant alternatif (CA).

Le courant continu est souvent utilisé dans les piles, tandis que le courant alternatif est utilisé dans nos foyers pour alimenter les appareils électroménagers.

En courant alternatif, la puissance électrique est classée en active, réactive et apparente, et le triangle de puissance décrit la relation entre ces caractéristiques. Il est important de comprendre ces concepts pour une utilisation efficace de l'électricité et une meilleure gestion de l'énergie.

## II.8.3 Les types de puissances

Dans le cas d'un circuit CA monophasé, il existe trois (3) puissances différentes, la puissance apparente, la puissance active et la puissance réactive.

### II.8.3.1 La Puissance active

Est la puissance réellement disponible pour exécuter le travail, elle se mesure en watts(W), elle représente l'essentiel de l'énergie consommée (notamment à la maison) elle s'exprime fonction de tension efficace U et l'intensité efficace I et du déphasage ϕ du courant par apport la tension.

$$\boldsymbol{P = U_{eff}.I_{eff}\cos(\varphi)}$$

**Remarque :** φ la différence de phase entre la tension et le courant en (rad).

### II.8.3.2 La Puissance réactive

On sait peu de choses sur la puissance réactive et c'est plus compliqué à résoudre, cette puissance présente dans de nombreux systèmes, en particulier dans tous les systèmes équipés d'enroulements, cela est nécessaire. Parmi eux, le moteur rotatif, les équipements de réfrigération et les appareils à résistance pure sont les seuls qui ne consomment pas de puissance réactive.

La puissance réactive Q est la quantité de force instantanée. Il dépend des valeurs efficaces de la tension U et du courant I aux conditions sinusoïdales et du déphasage ϕ, mesurés avec un voltmètre et un ampèremètre.

$$\boldsymbol{Q = U_{eff}.I_{eff}\sin(\varphi)}$$

On peut être compensée la puissance réactive par des batteries de condensateurs qui ont la propriété de pouvoir fournir de l'énergie réactive (un moyen d'économiser de l'énergie) réduisant ainsi les factures d'électricité. Mais cela ne s'applique qu'aux gros consommateurs, car les particuliers ne paient pas.

### II.8.3.3 La Puissance apparente

La puissance apparente S d'un circuit à courant alternatif est le produit de la tension efficace à ses bornes et le courant efficace qui le traverse, l'unité de la puissance apparente est le Voltampère (VA).

$$\boldsymbol{S = U_{eff}.I_{eff}}$$

La puissance apparente est la somme (triangulaire) de la puissance active et de la puissance réactive donc on obtenue une formule, liant les trios puissances : $\boldsymbol{S = \sqrt{P^2 + Q^2}}$

S : puissance apparente, en Voltampère (VA).

P : puissance active, en Watts (W).

Q : puissance réactive, en Vars (VAR).

### II.8.3.4 Facteur de puissance

Est le cos de l'angle de la différence de phase entre la tension et le courant, Le facteur de puissance d'un circuit alternatif est donné par l'expression suivante : $\boldsymbol{Fp = cos\varphi = \frac{P}{S}}$

Le facteur de puissance, compris entre 0 et 1 ($0 \leq \cos \phi \leq 1$), varie dans les circuits électriques. Il atteint rarement la valeur d'un, sauf dans le cas des charges purement résistives. Cependant, dans les réseaux ou les circuits à haut rendement, le facteur de puissance tend à être proche d'un.

Les circuits triphasés sont couramment utilisés dans la production, le transport et la distribution d'électricité, ainsi que pour alimenter des charges importantes. Ils offrent deux configurations de connexion des branches : étoile et triangle. Dans ces configurations, les formules de puissance sont les suivantes :

$\boldsymbol{S = \sqrt{3}\, U_{eff}.I_{eff}}$

$\boldsymbol{P = \sqrt{3}\, U_{eff}.I_{eff} \cos(\varphi)}$

$\boldsymbol{Q = \sqrt{3}\, U_{eff}.I_{eff} \sin(\varphi)}$

### II.8.3.5 Le wattmètre

Le wattmètre (Figure II-17) est l'appareil utilisé pour mesurer la puissance électrique active. Il enregistre uniquement la partie active de la puissance. De manière générale, sur la base de ce qui a été dit précédemment, nous avons besoin des valeurs de deux grandeurs élémentaires pour mesurer la puissance active. Ces grandeurs élémentaires sont le courant et la tension. Le produit de ces deux

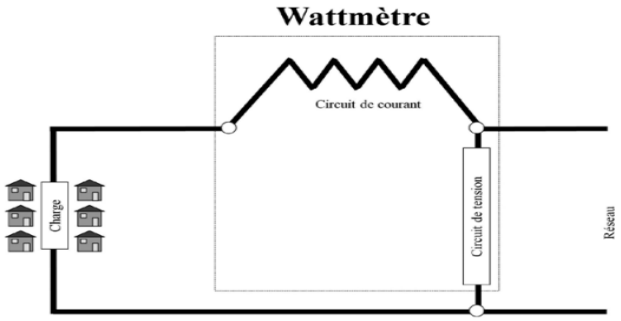



**Figure II-17:Diagramme d'un wattmètre**

grandeurs et de leur interaction mutuelle (cos φ) donne la mesure de la puissance active. Pour les fournisseurs d'énergie, ces éléments constituent la base de mesure de la consommation d'électricité.

### II.8.4 L'énergie électrique

L'énergie électrique est la puissance disponible sur une période donnée. Comme la puissance électrique, elle peut être active, réactive et apparente. Alors : $\boldsymbol{W = (P\ ou\ Q\ ou\ S) \times t}$

Où :

W = énergie (kWh ou kVARh ou kVAh)

P = puissance (kW ou KVAR ou kVA)

t = temps (heures)

À titre d'illustration pratique, si l'on prend un appareil électrique entièrement résistif, avec une charge d'1 kW alimenté pendant 2 heures sans interruption, l'énergie consommée est :

$$\boldsymbol{W = P \times t = 1 \times 2 = 2\ kWh}$$

### II.8.5 Les puissances

#### a) La puissance mise à disposition 'PMD'

La puissance mise à disposition PMD est la puissance réservée par SONELGAZ en vertu d'un contrat avec le client que ce dernier peut appeler à tout moment selon ses besoins. Elle représente la limite de la puissance maximale susceptible d'être appelée par un abonné.

Cette puissance correspond aux investissements consentis par Sonelgaz pour assurer à l'abonné la possibilité d'appeler à son gré et à tout instant une puissance mobilisée par lui.

La puissance est choisie par l'abonné (avec ou sans le conseil de Sonelgaz parmi les valeurs normalisées (en kW) présentées ci-dessous :

Clients alimentés en Basse tension :

PMD (kW) = 6-12-20 et 40 kW

Clients alimentés en HTA (Moyenne Tension)

PMD (kW)=50-80-120-200-320-500-750-1000-1500-2000-2500-3000-4000-4500-7500- 10000-15000.

Clients alimentés en HTB (Haute Tension)

PMD (kW) = 50-120-200-320-500-750-1000-1500-2000-2500-3000-4000-4500-7500-10000-15000.-30000-50000-100000

Au-delà de 100 000 kW, les valeurs des PMD sont arrêtées après discussion avec le client

La PMD est contractée pour une durée d'au moins 5 ans pour les valeurs inférieures à 10 000kW et d'au moins 10 ans pour les valeurs égales ou supérieures à 10 000 kW.

- Révision de la puissance mise à disposition

L'abonné ne peut réviser à la baisse la valeur de la PMD contractée qu'après l'écoulement de ces durées et moyennant des préavis :

- d'un an si la PMD < 10 000kW
- de trois ans si PMD ≥ 10 000kW

La puissance mise à disposition doit être toujours supérieure à la puissance absorbée.

L'abonné peut demander une augmentation de la puissance mise à disposition. La demande de l'abonné est soumise à l'accord de SONELGAZ sur la nouvelle valeur de la puissance et sur sa date de mise à disposition.

- Si Cette puissance est disponible, Sonelgaz satisfait immédiatement la demande de l'abonné
- Si la nouvelle demande nécessite un renforcement du réseau, Sonelgaz satisfera le client dans les limites des délais de réalisation de ce renforcement

- Pour la Moyenne et Haute tension :

La date de mise à disposition de la puissance est aussi contractuellement arrêtée entre l'abonné et Sonelgaz lors du traitement de la demande d'alimentation.

La police d'abonnement ou contrat contenant les conditions générales que le client signe avec Sonelgaz prend effet à la date de fin des travaux de raccordement au réseau de Sonelgaz.

La facturation des termes 'redevance fixe' et 'puissance mise à disposition' commencera à partir de cette date.

- Pour la Basse tension :

Les abonnés ne signent aucun contrat avec Sonelgaz , néanmoins la facture d'énergie fait foi et lie le client à Sonelgaz

Observation :

Il serait intéressant dans le nouveau système de gestion de la clientèle d'introduire la notion de contrat qui n'est autre que la première facture d'énergie à adresser au client

Cette facture contiendra les conditions générales de fourniture

**b) La puissance Maximale absorbée 'PMA'**

C'est la puissance maximum absorbée par l'abonné durant la période de facturation d'un mois et

Qui est donnée par un appareil indicateur de la puissance équipant le panneau de comptage.

Elle est exprimée en kW.

Cet appareil peut être un Indicateur de maximum (IM) ou un scryptomaxigraphe.

La puissance maximum absorbée (PMA) ne doit pas dépasser la puissance mise à disposition contractée par le client.

Si la PMA relevée dépasse la PMD souscrite :

En cas d'un premier dépassement, l'abonné est averti officiellement par Sonelgaz.

Si un deuxième dépassement est observé durant la période des 12 mois qui suit, l'abonné doit :

- Soit, demander une nouvelle PMD que Sonelgaz lui accorde quand le réseau d'alimentation le Permet.

- Ou, prendre les mesures nécessaires (à ses frais) pour limiter la puissance appelée à la valeur De la PMD contractuelle

## II.9. La consommation électrique

### II.9.1 Définition

"Une série temporelle représentant la puissance active moyenne en kilowatts (KW) sur un certain pas de temps, ceci avec une date de début et sur une certaine durée". Cette définition correspond aux données de consommation électrique qui sont utilisées dans la plupart des modèles.

Le mot s'écrit « kilowatt heure » ou « kilo watt-heure » selon le Système international d'unités, ou « kilowattheure » selon les dictionnaires usuels. Le kilo watt-heure est une unité d'énergie correspondant à celle consommée par un appareil de 1 000 watts (soit 1 kW) de puissance pendant une durée d'une heure.

Nous ne prenons pas en compte les pertes sur le réseau électrique. Les pertes sur l'ensemble du réseau de transport et de distribution représentent environ 8% de la consommation intérieure nette, dont 2% sur le réseau de transport, Les 6% de pertes sur le réseau de distribution.

### II.9.2 Consommation électrique d'un client

La consommation électrique d'un client est celle mesurée à son compteur électrique. Il peut s'agir aussi bien de consommation en énergie, relevée régulièrement pour le fournisseur d'électricité pour la facturation, ou celle en puissance, mesurée par les compteurs électriques

Exemple de catégories de clients :

- Industrie
- Agriculture
- Résidentiel

On peut aussi vouloir regrouper les consommations uniquement par types d'appareils.

### II.9.3 Consommation électrique d'un appareil

La consommation électrique d'un appareil peut être mesurée en instrumentant ce dernier avec un wattmètre enregistrant les données de puissance. Ce type de mesure a souvent lieu lors de campagnes de mesures où l'on vient mesurer la consommation électrique d'un grand nombre d'appareils. [19]

Les types d'appareils peuvent être par exemple :

- Eclairage
- Chauffage
- Climatisation
- Eau chaude sanitaire
- Production de froid...etc.

## II.10. Unité de mesure de tension et de courant [20]

Il existe différentes façons de mesurer la tension et le courant pour un compteur intelligent, parmi eux nous avons : les circuits passifs et les capteurs à effet Hall

**a) Circuits passifs**

- **Pont diviseur de tension**

C'est un circuit qui utilise une série de deux résistances pour produire la tension de sortie qui est une fraction de la tension d'entrée en raison de la distribution de la tension entre les deux résistances. La valeur des deux résistances est bien choisie de telle sorte que la tension de sortie est dans la plage acceptable par le microcontrôleur afin d'être converti en valeur numérique. Cette technique a été plus utilisée en raison de sa simplicité et son faible coût.[20]

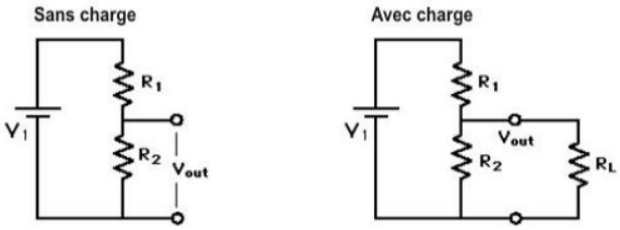



**Figure II-18:Pont de diviseur de tension**

$$V_{out} = V_1 \frac{R_2}{(R_1+R_2)} \qquad V_{out} = V_1 \frac{(\frac{R_2}{R_L})}{(R_1+\frac{R_2}{R_L})}$$

Où $Vout$ = tension de sortie exploitable

V1= Tension d'entrée provenant de la source La valeur de R1 est beaucoup plus grand que R2 (R1> = 500R2) de sorte que la tension de sortie $Vout$ aussi petite que la tension d'entrée d'un microcontrôleur

- **Résistance de shunt**

Dans cette méthode, la détection de courant se fait en plaçant une résistance shunt (une résistance de faible valeur et de haute précision) en série avec une charge dont le courant circulant à travers doit être mesuré. En mesurant la tension aux bornes de cette résistance shunt, le courant circulant dans le circuit peut facilement être connu en appliquant la loi d'Ohm. [20]

$$\boldsymbol{V_{out} = I\, R_{shunt}}$$

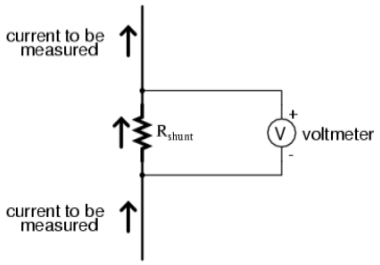



**Figure II-19:Schéma de fonctionnement de résistance de shunt**

L'avantage de cette technique est sa simplicité et sa mise en œuvre, et peut également être appliquer à la fois pour courant continu et courant alternatif.

L'inconvénient de cette technique est :

- Une absence d'isolation galvanique (en cas de court-circuit de la source d'alimentation, la charge peut être en danger d'être brûlé).
- Une dissipation de puissance dans la résistance shunt (la puissance dissipée est proportionnelle au carré du courant circulant à travers la résistance de shunt).
- Un problème de chute de tension en particulier lors de la mesure des courants élevés.

**Transformateur de courant** : Comme tout autre type de transformateurs, un transformateur de courant produit un courant secondaire qui est directement proportionnel à son courant primaire et sont pratiquement en phase. C'est en fait un transformateur abaisseur de courant. [21]

**Bobine de Rogowski :** La bobine de Rogowski est un composant utilisé pour mesurer la variation du courant électrique dans un temps donnée. Il est composé d'enroulement hélicoïdal dans lequel le fil commence à partir d'une extrémité en passant autour d'un conducteur, puis de revient au point de départ.[20]

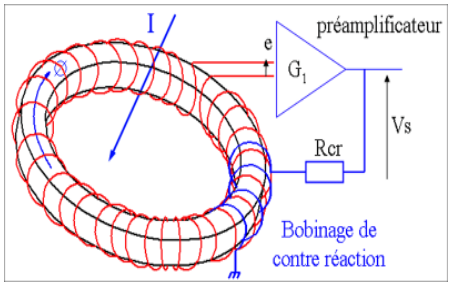



**Figure II-20:Bobine de Rogowski.**

La bobine de Rogowski est une bobine avec un noyau non magnétique, il y a bobine à noyau d'air, qui produit une tension proportionnelle à la dérivée du courant : $V_{out} = k\frac{dI}{dt}$

Pour obtenir le courant on fait l'intégration : $I = \frac{1}{k}\int V_{out}\, dt$

I : courant circulant dans le conducteur ;

K : Constante ;

Selon l'équation précédente, la bobine de Rogowski nécessite la présence d'un circuit intégrateur afin que nous puissions obtenir le courant circulant à travers le conducteur.

Le fait qu'il n'a pas de noyau magnétique, la bobine de Rogowski a beaucoup d'avantages comparait au transformateur de courant, qui sont :

- Pas de saturation et donc une bonne linéarité.
- Peut résister aux fort courant de court-circuit sans dommage, il peut donc être utilisé dans les essais de court-circuit des générateurs.
- Sa réponse est très rapide en raison de la faible inductance.

Bien que bobine de Rogowski offre beaucoup plus avantages qu'un transformateur de courant, l'utilisation d'un intégrateur est l'un des revers de cette technique, comme le circuit intégrateur a besoin d'une tension continue pour son fonctionnement, ce qui introduit une tension continue de décalage à ce capteur, ce qui signifie que la bobine Rogowski ne peut pas mesurer une tension continue en dessous de cette tension.[20]

**b) Capteurs à effet Hall [20]**

Dans ces capteurs, la production de la tension où la différence de potentiel est due à l'écoulement du courant perpendiculairement au champ magnétique. La tension produite est perpendiculaire à la direction de circulation du courant. Ce principe a été nommé d'après Edwin Hall en 1879. Par conséquent, le capteur à effet Hall est un capteur qui produit une tension comme sortie, qui varie en fonction de la variation de champ magnétique produit par le courant d'entrée. En général, ce capteur se compose principalement de deux types :

- **Capteurs à effet Hall en boucle ouverte**

Le conducteur traversé par le courant d'entrée dont on veut le mesurer est placé dans l'entrefer du circuit primaire. Cet écoulement de courant produit une tension de Hall $VH$ qui est proportionnel au courant d'entrée. Fréquemment, on ajoute un circuit à la sortie de ce capteur pour améliorer le signal utilisé et obtenir une tension désirée.[20]

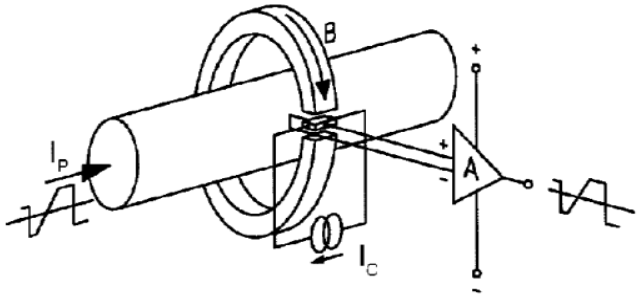



**Figure II-21:Capteurs de courant à effet Hall en boucle ouverte**.

- **Capteurs à effet Hall en boucle fermée**

Ce capteur est constitué du même circuit que celui en boucle ouverte, mais il y a un circuit supplémentaire (bobine secondaire) qui produit un courant en opposition (à l'équilibre) du courant primaire. Ce qui produit un courant de compensation qui est proportionnel au courant primaire. Le courant secondaire produit est l'image du courant primaire et est convertie en tension par une résistance.[20]

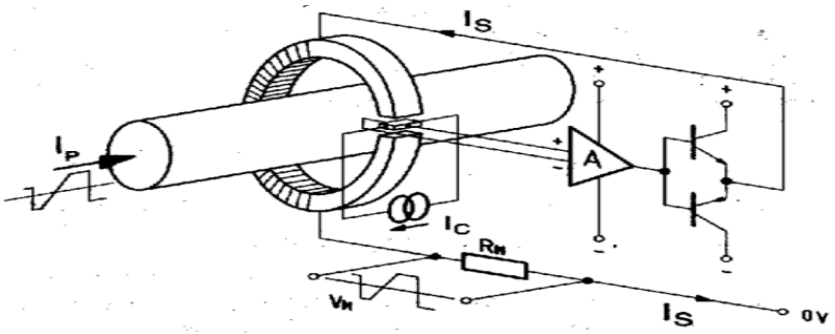



**Figure II-22:Capteur de courant à effet Hall en boucle fermée.**

## II.11. Conclusion

En conclusion, ce chapitre a exploré les principes fondamentaux du comptage électrique et du calcul de puissance. Les compteurs électriques, qu'ils soient électromécaniques, électroniques ou intelligents, sont essentiels pour mesurer avec précision la consommation d'énergie. Le système tarifaire de SONELGAZ vise à garantir une facturation équitable, à encourager une utilisation efficace de l'énergie et à optimiser la distribution en incitant les consommateurs à utiliser l'énergie pendant les périodes de faible demande. Comprendre les différentes composantes de la formule tarifaire permet de mieux appréhender le calcul des coûts pour les consommateurs. En somme, une mesure précise et une tarification juste sont cruciales pour une gestion efficace de l'énerg

# III. Chapitre 03 : Simulation d'un compteur d'énergie utilisant MATLAB/Simulink

## III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous explorons la modélisation d'un compteur d'énergie avec MATLAB/Simulink. Cette étude implique la mesure de la tension et du courant pour diverses charges (R, RL, RC) afin de calculer le facteur de puissance à partir de l'angle de phase. Le système s'ajuste automatiquement si une divergence est détectée, et les résultats sont présentés sous forme graphique, montrant la consommation d'énergie des charges testées. Cette approche est essentielle pour optimiser l'efficacité énergétique dans divers contextes.

## III.2. Présentation de travail

### III.2.1 L'Organigramme du projet

La figure I*V-1* montre l'organigramme de la modélisation du compteur d'énergie à l'aide du logiciel MATLAB / Simulink. La tension et le courant ont été mesurés pour différentes charges, à savoir la charge R, la charge RL et la charge RC. Ce système a utilisé un compteur d'énergie triphasé et la valeur de la tension et du courant a changé en fonction de la charge utilisée. Ensuite, le système doit vérifier la différence d'angle de phase de la charge utilisée afin de s'assurer que le facteur de puissance a été correctement mesuré. Si la différence d'angle de phase ne correspond pas à la condition, la modélisation du système doit recommencer en mesurant la tension et le courant. Après cela, le facteur de puissance peut être mesuré en fonction de la différence d'angle de phase. À partir de la valeur du facteur de puissance, ce système peut identifier le type de charge utilisé. Ensuite, la consommation d'énergie a été augmentée automatiquement. Le temps de réglage pour la simulation de test a été défini pour chacune des charges. La mesure de la consommation d'énergie est présentée sous forme de graphique, montrant les différentes charges utilisées.

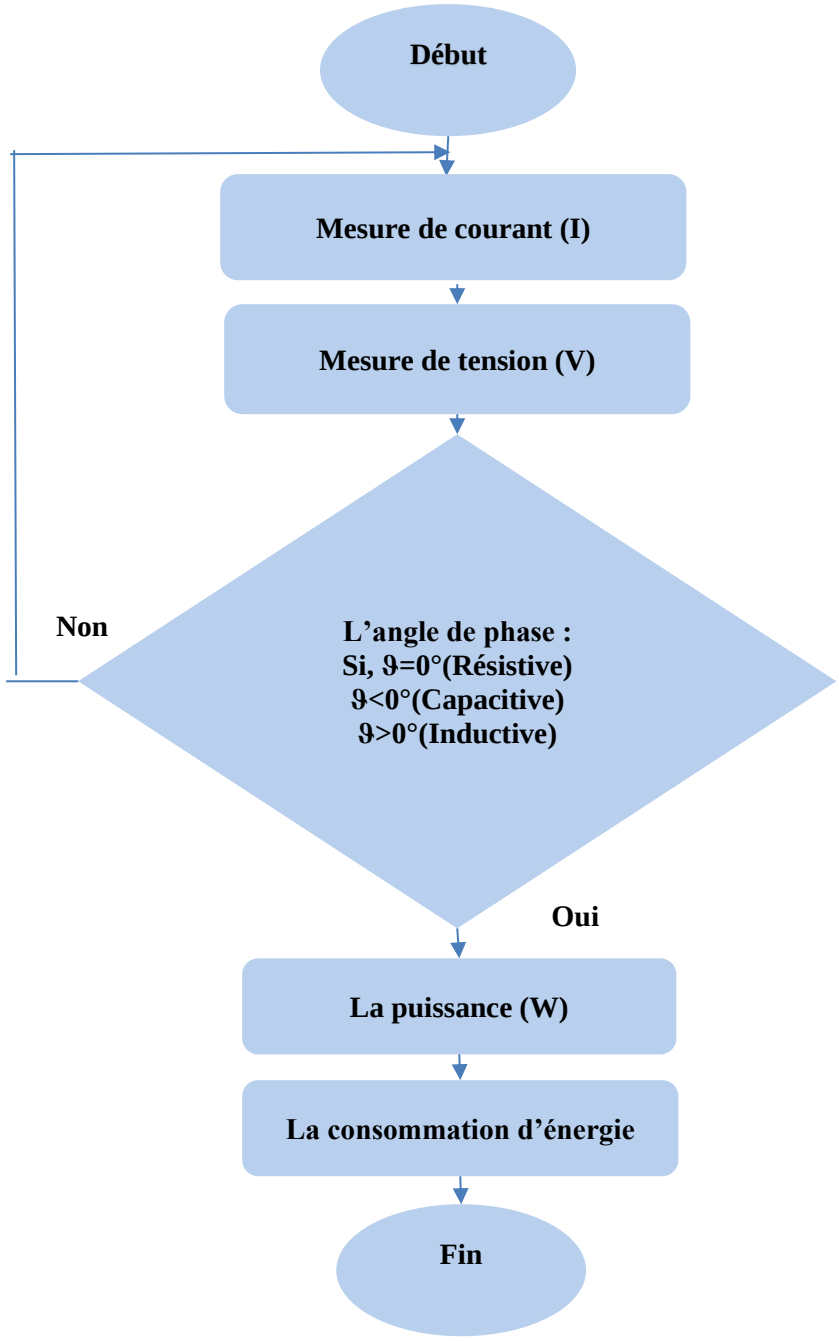



**Figure III-1:Organigramme de la modélisation du compteur d'énergie avec MATLAB / Simulink**

### III.2.2 IV.3. Modélisation mathématique

L'équation 1 représente une expression de la charge mesurée ou de la puissance active pour le système de compteur d'énergie triphasé :

$$P = \sqrt{3}IV \cos \theta \qquad (1)$$

Où P : la charge mesurée ou puissance active
I : le courant
V : la tension aux bornes de la charge
Cos θ : la formule pour trouver le facteur de puissance donnée par l'équation suivante :

$$\cos\theta = V\angle\theta - I\angle\theta \qquad (2)$$

Une expression du courant de sortie est donnée dans l'équation 3 en utilisant la loi d'Ohm

$$I = \frac{V}{R} \qquad (3)$$

Où R est la résistance de la charge.

L'équation (4) est le calcul de base pour la consommation d'énergie (E) de n'importe quelle charge donnée pendant un intervalle de temps où il est de t0 à t1 :

$$E = \int_{t0}^{t1} v(t)i(t)dt \qquad (4)$$

Où v(t) :la tension d'alimentation

i(t) : le courant de charge du système de compteur d'énergie triphasé.

### III.2.3 Le modèle du compteur d'énergie

Le bloc représenté dans la figure 4 est le modèle du compteur d'énergie triphasé qui fournit la consommation d'énergie des différentes charges utilisées. Il y a plusieurs blocs impliqués dans ce système comme indiqué ci-dessous :

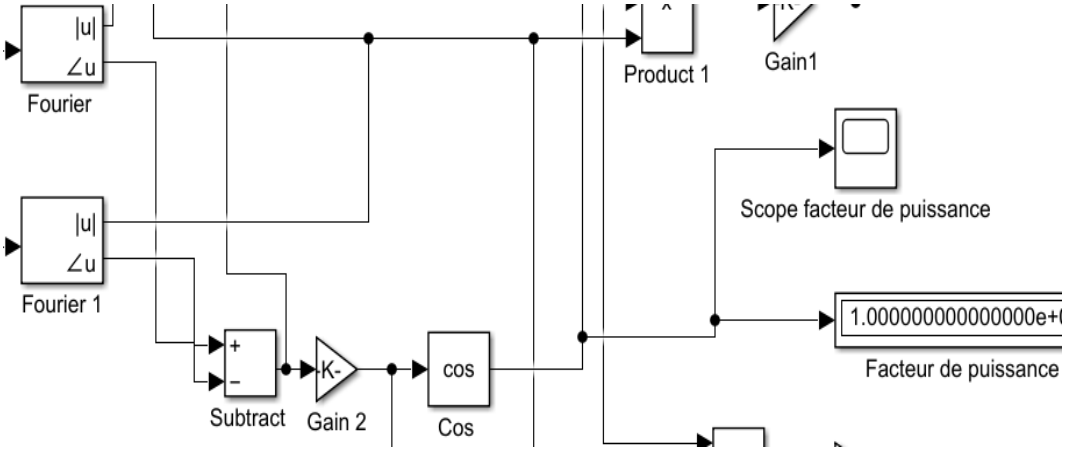



**Figure III-2:block de facteur de puissance**

**Bloc du facteur de puissance :** Le fonctionnement et le calcul du facteur de puissance sont effectués ici. Le facteur de puissance est calculé à partir de la différence d'angle de phase de la tension et du courant.

**Bloc de tension :** Il produit la valeur de la tension de la charge connectée.

**Bloc de courant :** Il produit la valeur du courant de l'alimentation et de la charge connectée.

**Bloc de charge :** Ce bloc contient un commutateur idéal connecté en série avec la charge. La fonction du commutateur idéal dans ce bloc est de simuler la consommation d'énergie de la charge et ce commutateur fonctionne simultanément sur toutes les phases.

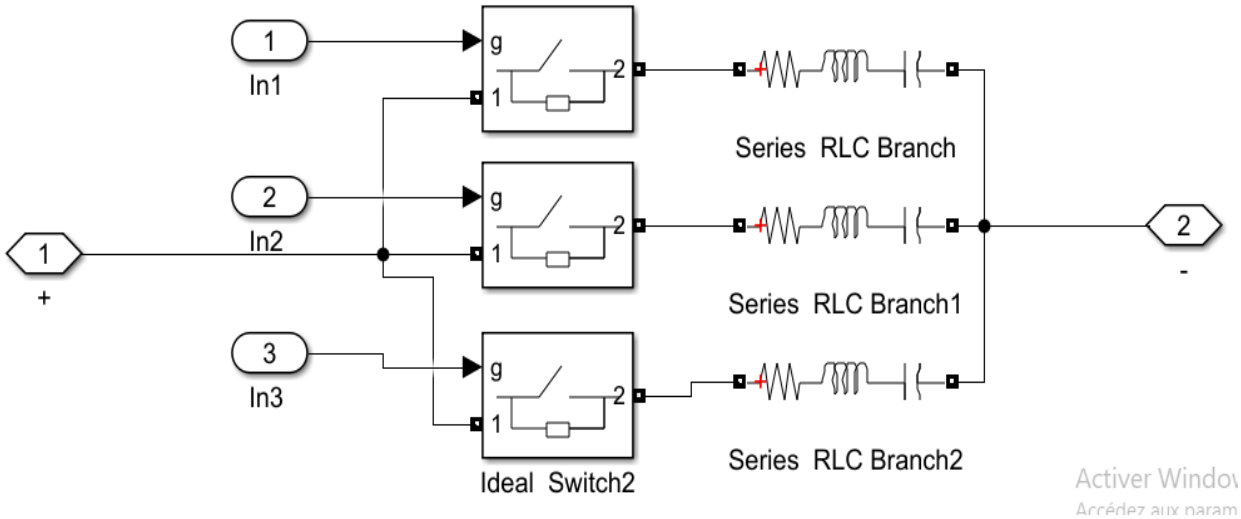



**Figure III-3:sous-système de charge**

**Bloc de mesure d'énergie :** Il fonctionne en affichant la consommation d'énergie pour différents types de charges, et ce bloc convertit la valeur de l'énergie produite de Watt (W) en Kilowatt (kW).

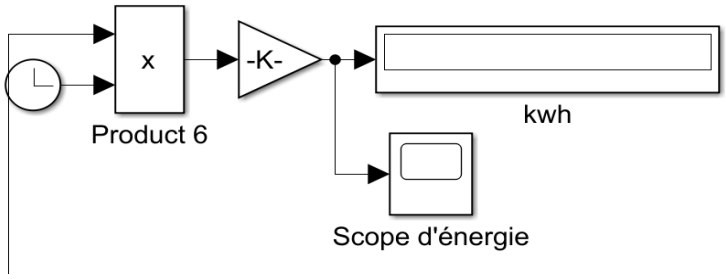



***Figure III-4:circuit de la mesure d'énergie***

**Bloc de mesure d'énergie réactive :** Il fonctionne en affichant la consommation d'énergie pour différents types de charges.

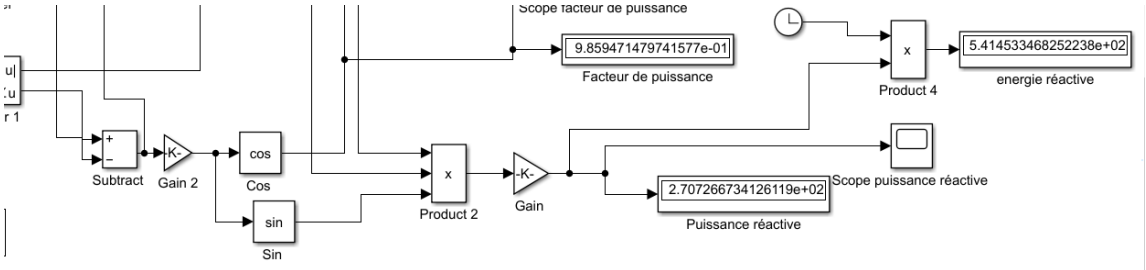



**Figure III-5:circuit de mesure d'énergie réactive**

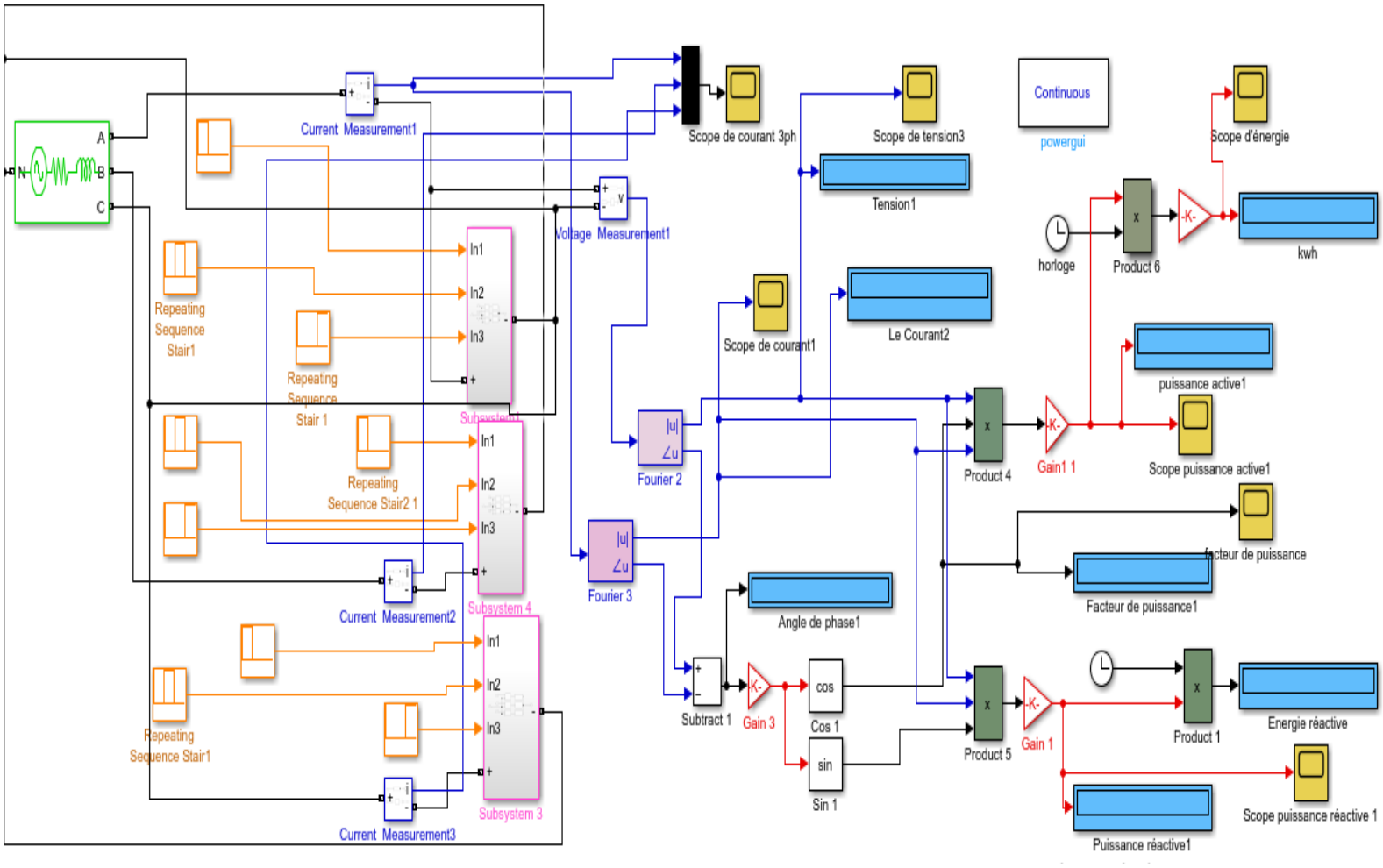



**Figure III-6: Le circuit de compteur d'énergie intelligent triphasé**

### III.2.4 IV.3. Résultat et Interprétation

### III.2.5 Charge R

Les charges résistives sont des charges composées de tout élément chauffant. Différentes valeurs de résistance ont été connectées à un compteur d'énergie triphasé, allant de 100 ohms à 1000 ohms. Les lectures et les mesures du compteur d'énergie ont été prises et enregistrées dans le Tableau 1.

**Tableau III-1: Mesures de puissance active entre la simulation et les calculs de charge R**

| CHARGE(Ω) | LA PUISSANCE MESURE(W) | LA PUISSANCE SIMULE(W) | POURCENTAGE D'ERREUR (%) |
|---|---|---|---|
| **100** | 2968.57 | 2969 | 0.015 |
| **200** | 1280.64 | 1281 | 0.028 |
| **300** | 802.4 | 803 | 0.075 |
| **400** | 582.56 | 584 | 0.25 |
| **500** | 457.61 | 458 | 0.085 |
| **600** | 375.30 | 376 | 0.19 |
| **700** | 319.66 | 320 | 0.11 |
| **800** | 277.43 | 278 | 0.21 |
| **900** | 244.78 | 246 | 0.498 |
| **1000** | 219.69 | 221 | 0.6 |

**Le comportement graphique du compteur d'énergie a été enregistré.**

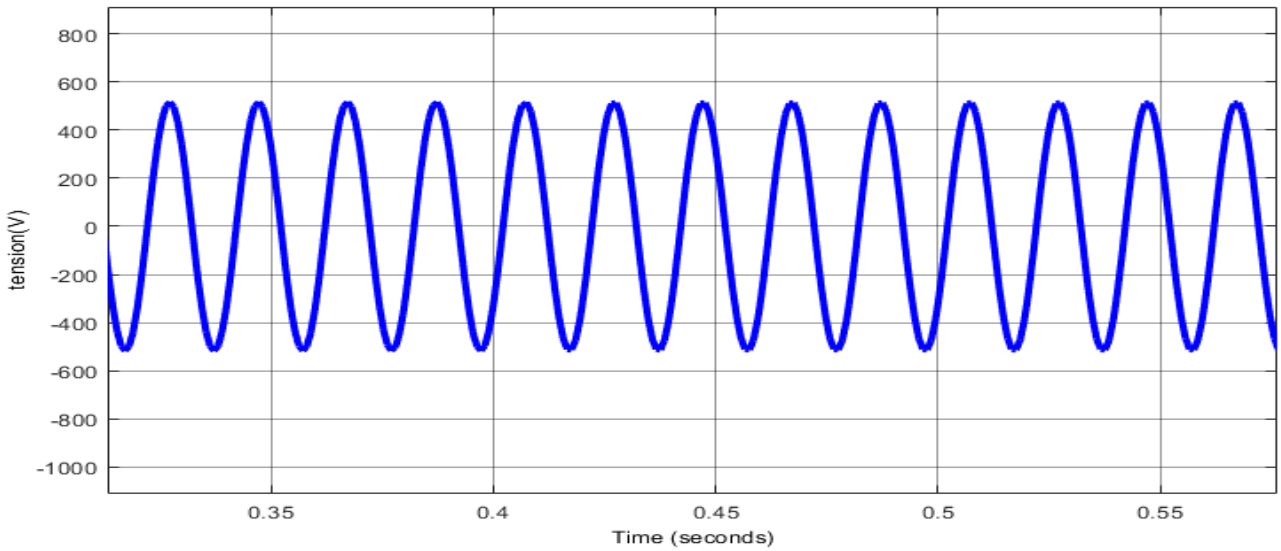



**Figure III-7: signal de tension de 100Ω**

D'après les résultats de la simulation présentés dans la Figure III-7, la valeur de la tension pour une résistance de 100 ohms est de 458V. Ensuite, les tests de simulation ont été enregistrés en faisant varier la charge de 100 ohms, 200 ohms, 300 ohms, 400 ohms, 500 ohms, 600 ohms, 700 ohms, 800 ohms, 900 ohms et 1000 ohms. On observe que la tension reste constante pour l'ensemble des résistances, à mesure que la valeur de la résistance augmente. Cela s'explique par la loi d'Ohm, qui énonce que le courant est directement proportionnel à la tension et inversement proportionnel à la résistance. Dans le système de compteur d'énergie, à mesure que la résistance augmente, le courant diminue et la tension ne change pas.

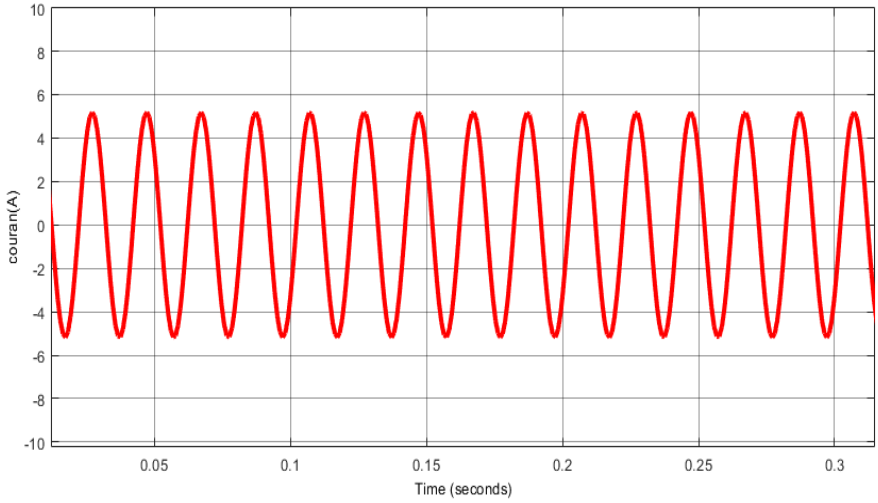



**Figure III-10: signal de courant**

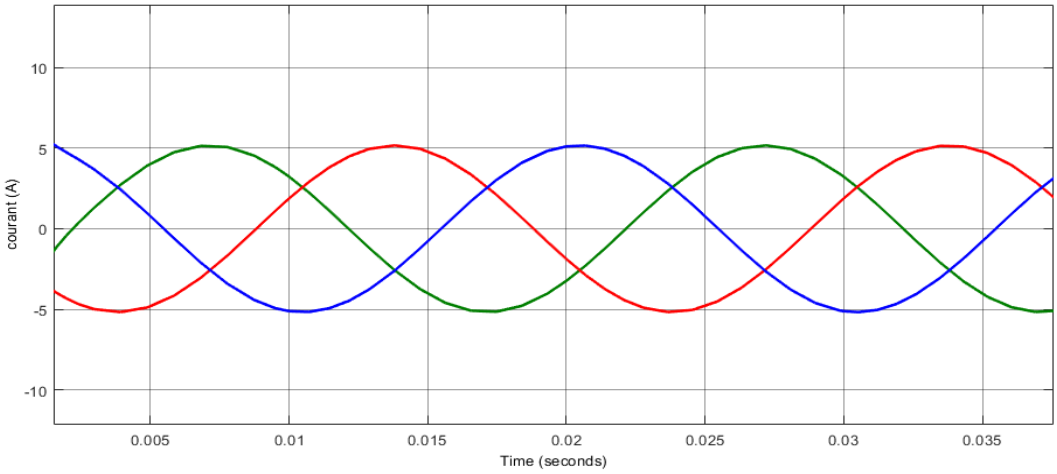



**Figure III-9:signal de courant triphasé**

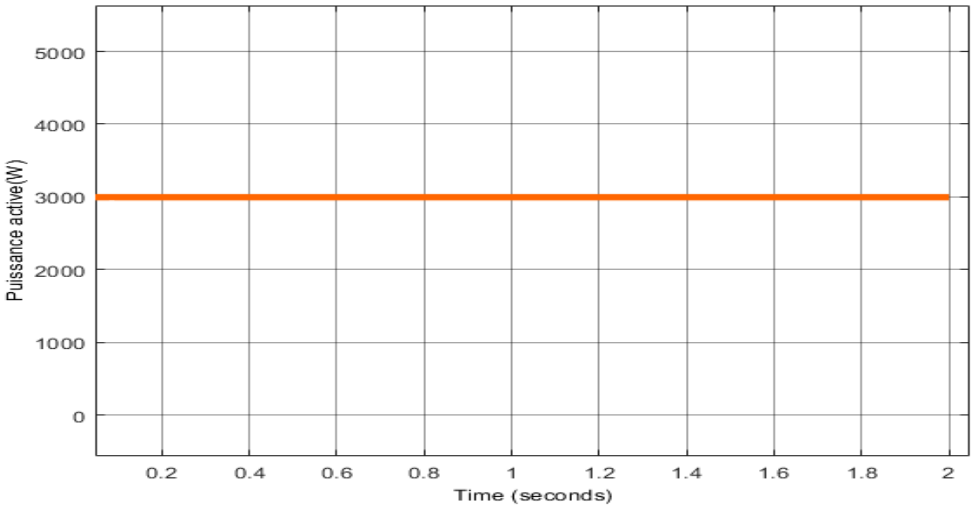



**Figure III-8:courbe de puissance active (W) pour charge R**

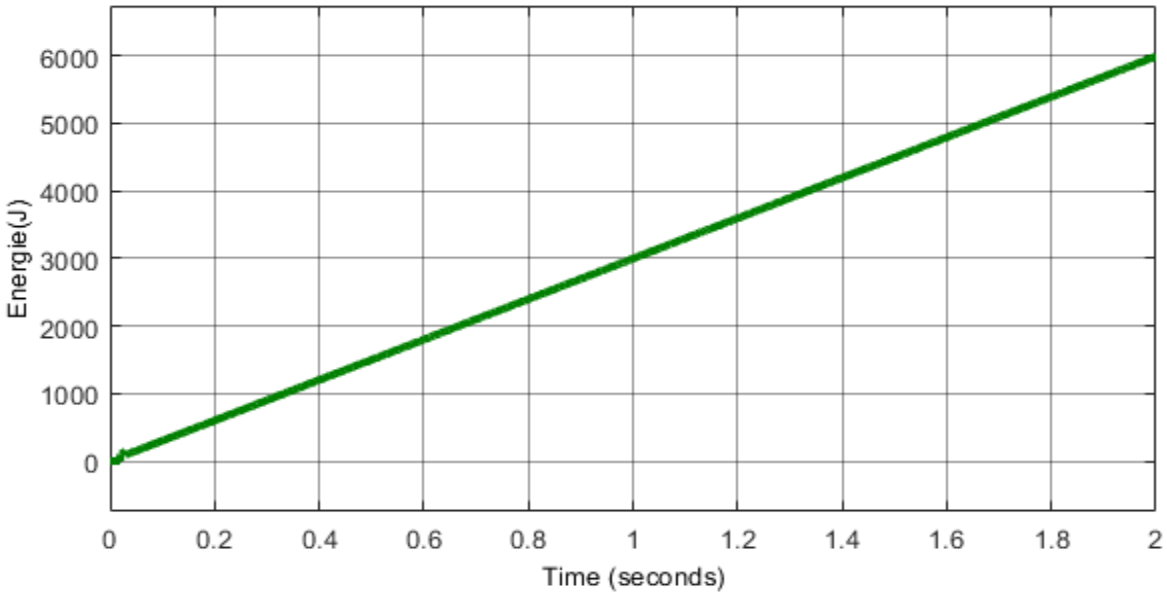



**Figure III-11:courbe d'énergie**

La courbe montre que l'énergie augmente de manière linéaire avec le temps, ce qui indique que la puissance absorbée par la charge résistive est constante et égale à 3000 W. Cela est typique pour une charge purement résistive en courant triphasé lorsque la tension appliquée est constante.

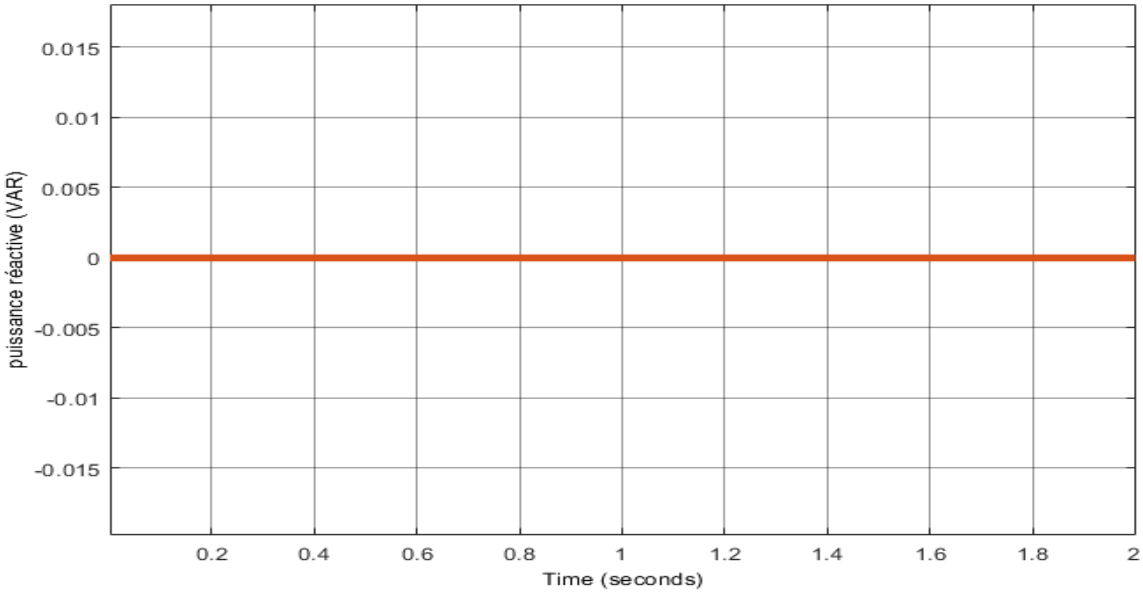



***Figure III-12:courbe de puissance réactive (VAR)***

La puissance réactive est constamment nulle. Cela signifie qu'il n'y a pas de composants réactifs (inductances ou capacités) dans le circuit. Pour une charge purement résistive, la puissance réactive est effectivement nulle, ce qui est confirmé par cette courbe.

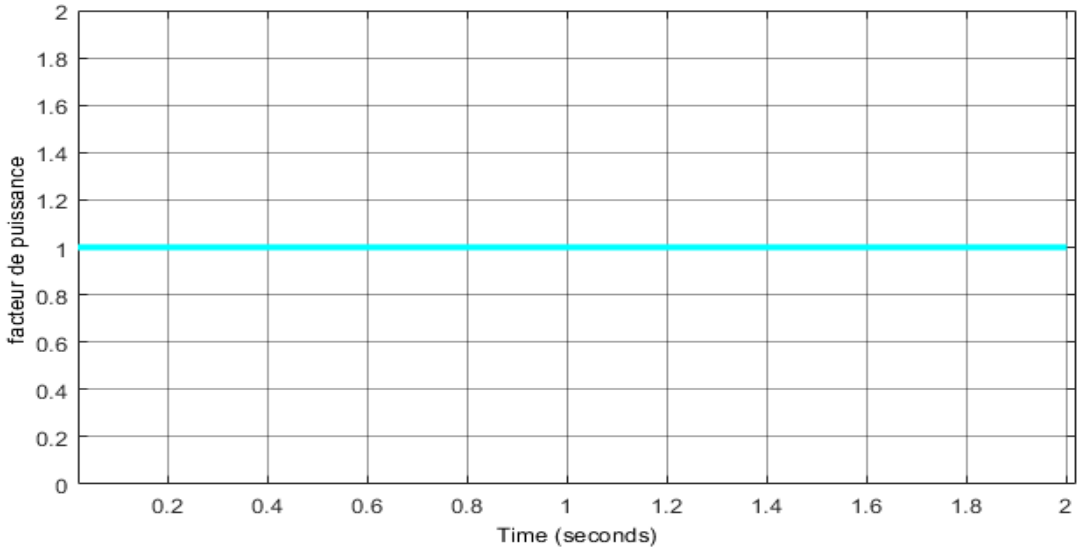



**Figure III-13:Courbe de facteur de puissance**

Un facteur de puissance de 1 signifie que toute la puissance active est utilisée pour faire du travail utile, sans composante réactive. C'est typique pour une charge purement résistive. Un facteur de puissance de 1 indique une efficacité maximale de transfert de puissance, sans pertes dues à la puissance réactive.

**Charge RL**

Un circuit R-L est un circuit électrique composé de résistances (R) et d'inductances (L). Ces circuits sont utilisés pour diverses applications, notamment dans les filtres, les circuits de temporisation et les applications de commande de moteur.

**Graphes de tension et courant**

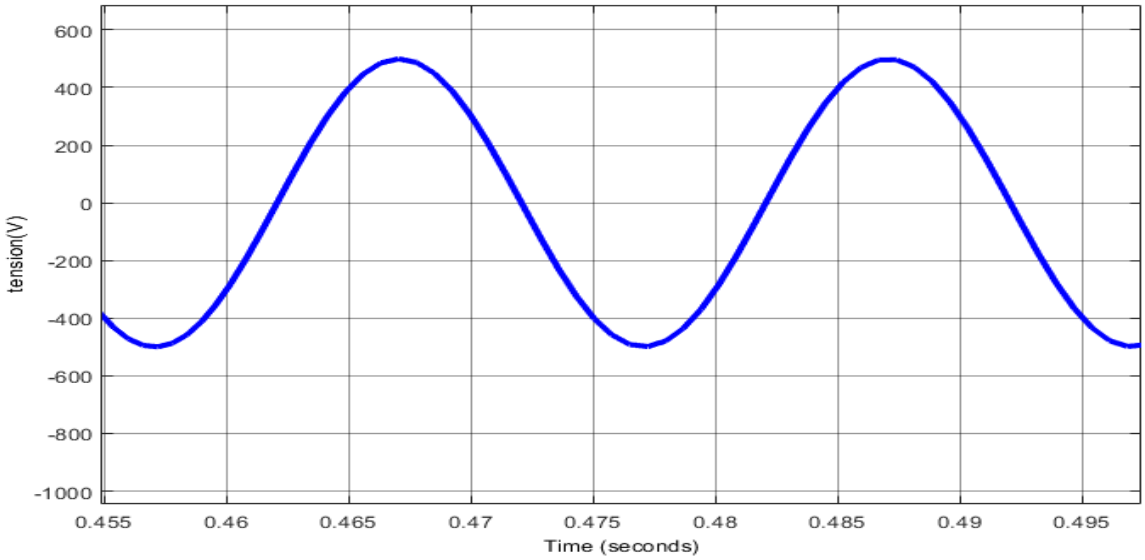



**Figure III-14: graphe de tension avec charge RL**

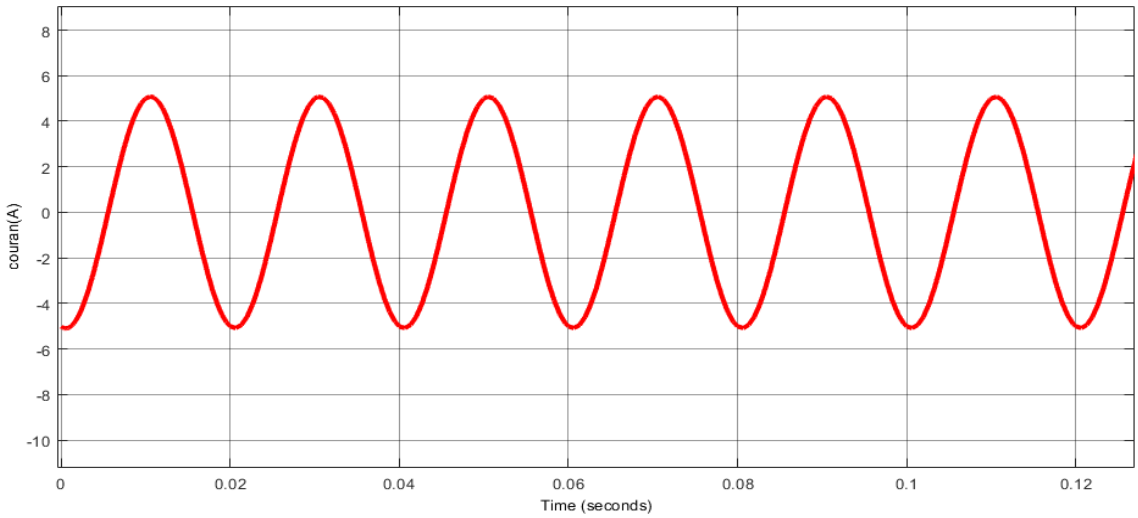



**Figure III-15:graphe de courant**

À partir des Figures et III-14 et III-15, on peut observer les valeurs de la tension et du courant de la charge R-L. La valeur du courant était inférieure à celle de la charge résistive.

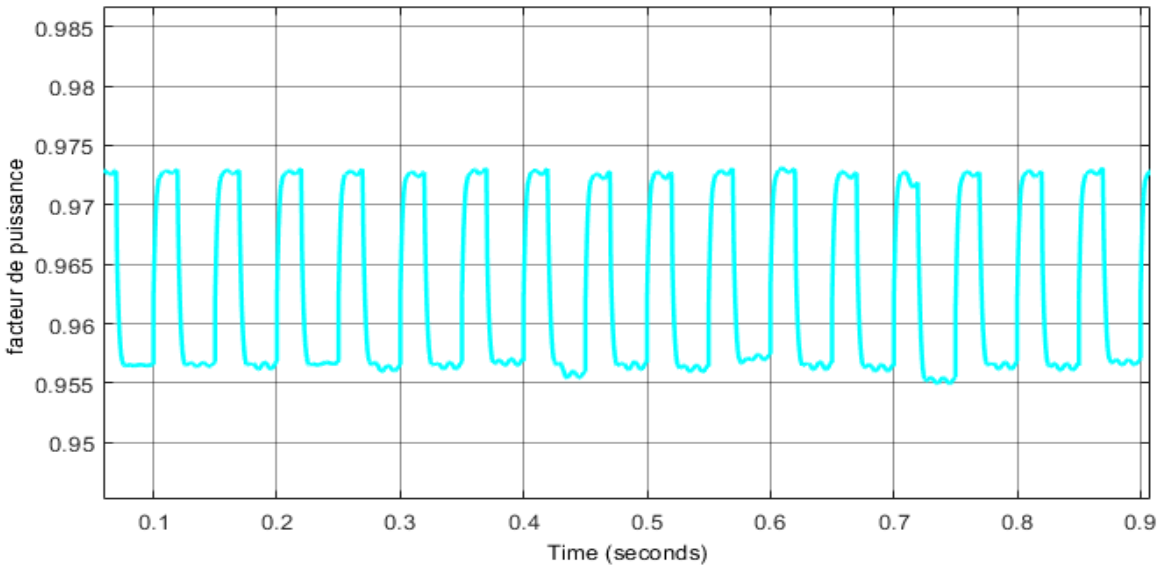



**Figure III-16:graphe de facteur de puissance**

Comme la Figure III-16 montre, le graphe indique un facteur de puissance inférieur à 1 et présente des ondulations. Ces ondulations sont dues au bruit qui pourrait provenir de l'inductance elle-même. Cette perturbation a un effet minime sur le système, ce qui provoque la formation d'ondulations sur le graphe du facteur de puissance.

**Graphe de courant en triphasé**

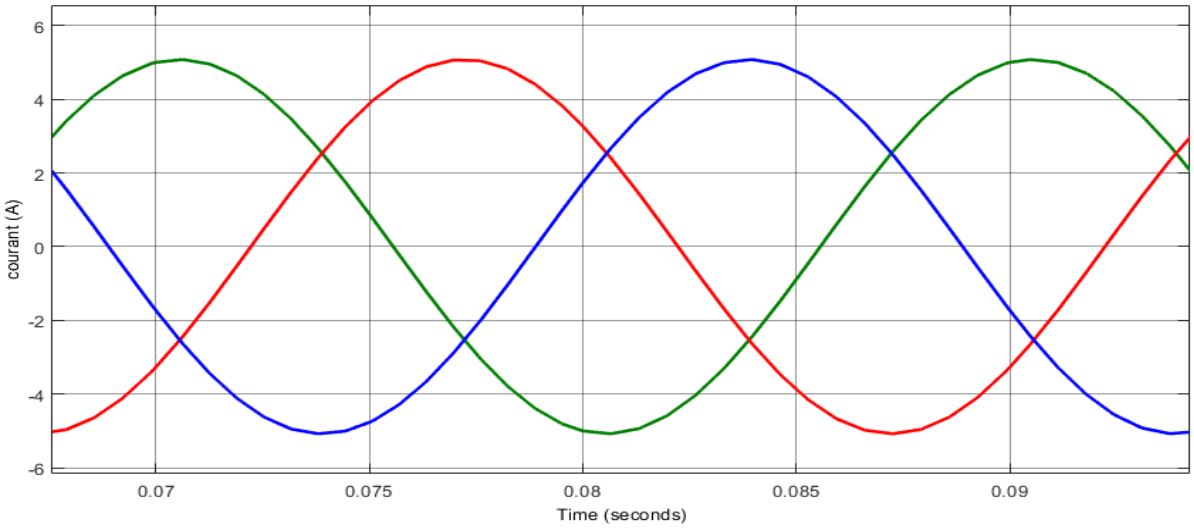



**Figure III-17:courbe de courant triphasée en charge RL**

Ce graphe illustre le comportement transitoire de la puissance réactive dans un circuit RL triphasé, en réponse à des conditions spécifiques telles que des opérations de commutation ou des variations de charge.
Voici une valeur d'énergie réactive afficher dans le block de mesure d'énergie réactive dans le circuit RL

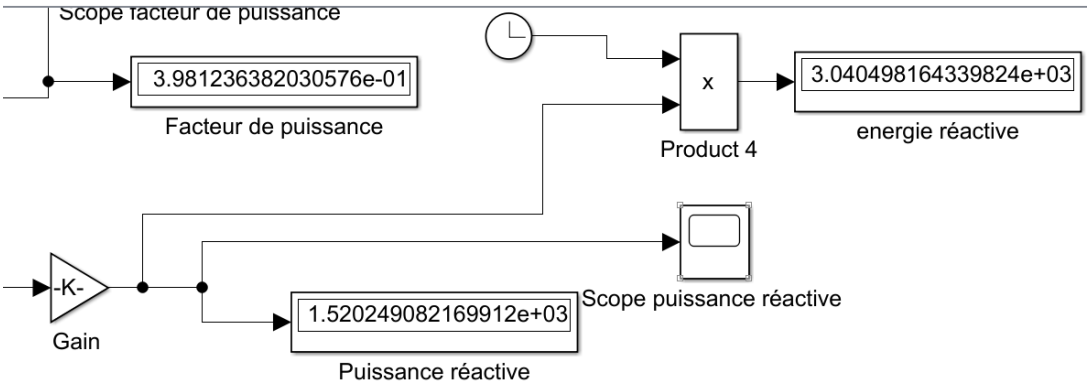



**Figure III-18:valeur d'énergie réactive dans circuit R-L**

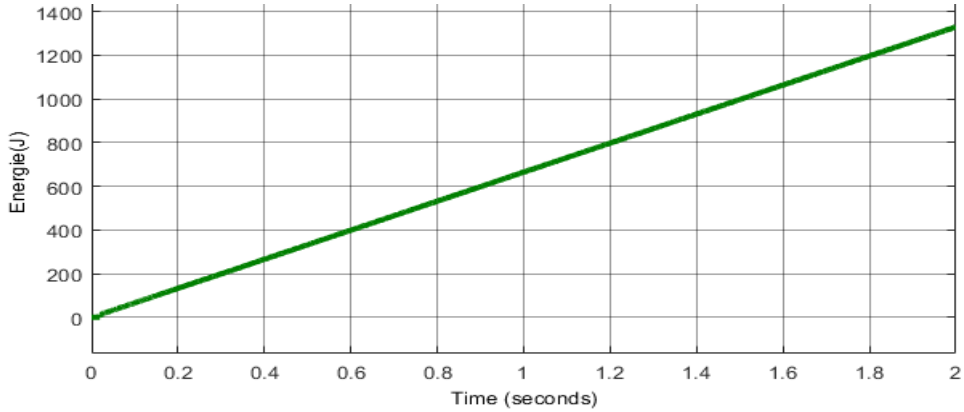



***Figure III-19: graphe de la consommation d'énergie***

## III.3. Conclusion

En conclusion, des compteurs d'énergie triphasés ont été modélisés et conçus, et la performance des trois types de charges a été discutée en détail dans ce chapitre. Ces compteurs, simulés avec précision à l'aide de Simulink, présentent une efficacité satisfaisante en termes de fiabilité pour mesurer la tension, le courant, le facteur de puissance, la puissance active, la puissance réactive et la consommation d'énergie, même en présence de charges non linéaires et de perturbations. Les simulations ont montré que ces compteurs peuvent mesurer précisément les paramètres électriques et afficher les schémas de consommation, aidant ainsi les consommateurs à identifier les sources de gaspillage d'énergie et à adopter des comportements plus économes.

# IV. Chapitre 04 : Etude et simulation du compteur prépayé

## IV.1. Introduction

Ce chapitre se concentre sur la présentation détaillée du matériel et du logiciel utilisés dans le cadre de la réalisation d'un projet basé sur l'Arduino. Ce chapitre explore en profondeur les composants matériels de la carte Arduino Uno, les caractéristiques du microcontrôleur ATMega328, ainsi que les fonctionnalités du logiciel Arduino. En outre, il aborde également l'utilisation d'un joystick comme organe de commande et la description du driver L298 pour le contrôle des moteurs. Ce chapitre vise à fournir une compréhension approfondie du matériel et du logiciel nécessaires pour la mise en œuvre de projets électroniques et robotiques.

## IV.2. Présentation de l'Arduino

L'univers Arduino repose sur deux piliers, le premier s'agit de la carte électronique programmable (Hardware), composée de plusieurs composants semi-conducteurs, de circuits intégrés et des périphériques, le deuxième s'agit de l'interface de programmation (Software), qui possède un langage de programmation très spécifique, basé sur les langages C et C++, adapté aux possibilités de la carte.

L'Arduino est une plateforme de contrôle, elle est constituée de deux parties :

- **Le logiciel (Software)** : gratuit et open source, développé en Java, dont la simplicité d'utilisation relève du savoir cliquer sur la souris.
- **Partie Hardware (Le matériel)** : cartes électroniques dont les schémas sont en libre circulation sur internet.

Le système Arduino permet à l'utilisateur de réaliser un grand nombre de projets puisque l'étendue de l'utilisation de l'Arduino est gigantesque. Voici quelques exemples :

- Contrôler les appareils domestiques.
- Fabriquer son propre robot.
- Faire un jeu de lumières.
- Communiquer avec l'ordinateur.
- Télécommander un appareil mobile.

etc.…

### IV.2.1 La partie Hardware

#### IV.2.1.1 Constitution d'une carte Arduino UNO

La carte Arduino Uno est basée sur un ATMega328 cadencé à 16 MHz. Des connecteurs situés sur les bords extérieurs du circuit imprimé permettent d'enficher une série de modules complémentaires. Elle est une carte électronique de prototypage rapide sur laquelle on peut raccorder des capteurs (entrées) et des actionneurs (sorties). Elle est constituée de plusieurs composants électroniques dont le principal est un microcontrôleur permettant de stocker et d'exécuter un programme informatique.

Pour pouvoir le programmer, il suffit de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB, puis vérifiez le port, après cela, le code peut être envoyé à l'Arduino.

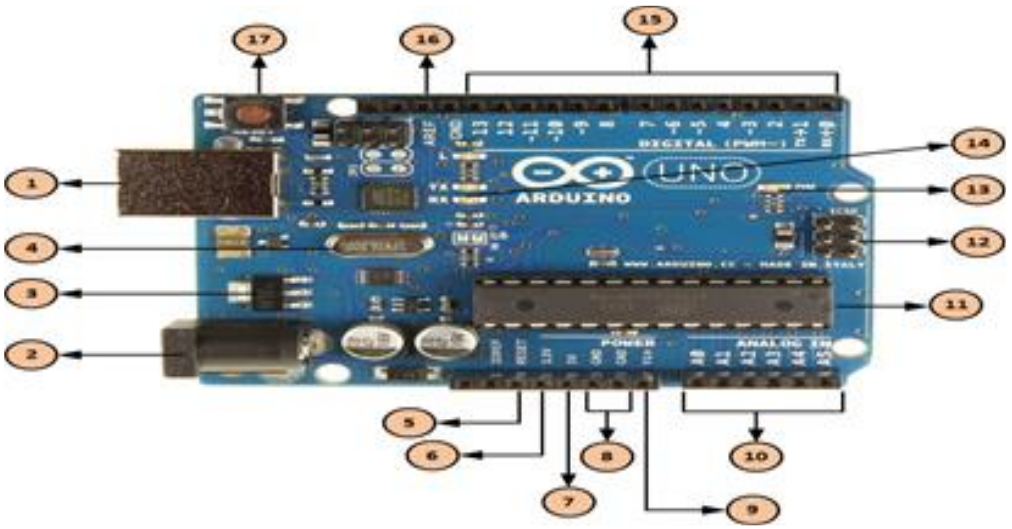



**Figure IV-1:Constitution de la carte Arduino UNO**

**Tableau IV-1:Les différentes broches de la carte ARDUINO UNO**

| | |
|---|---|
| 1 | **Alimentation / Programmation par USB**<br>La carte Arduino peut être alimentée avec un câble USB relié à l'ordinateur. Tout ce qu'il faut, c'est de connecter la carte Arduino à l'ordinateur avec le câble USB type A/B. |
| 2 | **Alimentation via connecteur Jack DC**<br>**Diamètre interne 2.1mm, externe 5.5mm**<br><br>La carte Arduino peut être directement alimentée par ce connecteur Jack DC. Ce connecteur (2) est relié au régulateur de tension intégré à la carte. L'alimentation via ce connecteur (2) doit être comprise entre 5 et 12 V |
| 3 | **Régulateur de tension**<br>La fonction du régulateur de tension (3) est de contrôler la tension d'alimentation de l'Arduino pour la stabiliser à la bonne tension du microcontrôleur et de chaque élément de la carte. La tension de stabilisation est de 5 Volts sur les cartes UNO. |
| 4 | **Oscillateur à quartz**<br>Un oscillateur à quartz est un élément électronique qui a la particularitéde posséder un quartz à l'intérieur qui vibre sous l'effet piézoélectrique. Les propriétés électromécaniques du quartz sont telles qu'on arrive à fairevibrer le quartz à une fréquence très précise. Cet élément aide l'Arduino UNO à calculer les données de temps. Sur le dessus du composant, onpeut lire 16.000H9H. Cela signifie que la fréquence est de 16, 000,000<br>Hertz, soit 16 MHz. |

| | |
|---|---|
| 5,17 | **Arduino Reset**<br>L'Arduino peut être redémarré avec un "Reset". Cela aura pour effet de relancer le programme depuis le début. Le redémarrage de l'Arduino UNO peut se faire de deux manières : soit en utilisant le bouton "Reset" (17), soit en connectant un bouton externe sur la broche de la carte Arduino mentionnée "RESET" (5). |
| 6,7,8,9 | **Broches (3.3, 5, GND, Vin)**<br>3.3V (6) – Broche d'alimentation de tension 3.3 Volts 5V (7) – Broche d'alimentation de tension 5 Volts<br>La plupart des composants destinés à fonctionner avec Arduino fonctionnent bien en 3.3 Volts ou 5 Volts.<br>GND (8) (Ground / Masse) – Il y a plusieurs broches de ce type présentes sur la carte Arduino, elles sont toutes communes et peuvent être utilisées comme masse (potentiel 0 Volts) pour les circuits.<br>Vin (9) – Cette broche permet d'alimenter l'Arduino depuis une source de tension extérieure. Elle est reliée au circuit d'alimentation principale de la Carte Arduino. |
| 10 | **Broches analogiques**<br>L'Arduino UNO possède 5 broches d'entrées analogiques numérotée de A0 jusqu'à A5. Ces broches permettent de lire un signal analogique d'un capteur comme un capteur d'humidité ou de température. La carte Arduino utilise un convertisseur analogique/numérique (convertisseur CAN) pour permettre la lecture du signal par le microcontrôleur. Un signal sera converti sur 10 bits. La valeur pourra être lue sur une echelle 1024 points. |
| 11 | **Microcontrôleur principal**<br>Chaque carte Arduino possède son propre microcontrôleur (11). Il peut être considéré comme le cerveau de la carte Arduino. Le microcontrôleur sur l'Arduino est légèrement différent d'une carte à l'autre. Les microcontrôleurs sont généralement de la société ATMEL. Il faut savoir quel est le microcontrôleur de la carte utilisée, avant de charger un nouveau programme depuis l'IDE Arduino. Cette information est disponible directement sur le composant. |

| | |
|---|---|
| 12 | **Connecteur ICSP**<br>Avant tout, le connecteur ICSP (*In-Circuit Serial Programming*) est une connectique AVR comprenant les broches MOSI, MISO, SCK, RESET, VCC et GND. Il s'agit d'un connecteur de programmation. Ce connecteurpermet entre autres de programmer directement le microcontrôleur sur les couches les plus basses (boot loader, code ASM…). C'est aussi un port appelé port SPI (Serial Peripheral Interface), qui permet de dialoguer avec d'autres composants SPI (écrans, capteurs, etc.…). |
| 13 | **Indicateur LED d'alimentation**<br>Ce voyant doit s'allumer lorsque l'Arduino est connecté à une source d'alimentation pour indiquer que la carte est correctement alimentée. Si cette lumière ne s'allume pas, il y a un problème avec l'alimentation. |
| 14 | **LEDs TX et RX**<br>Sur la carte se trouve deux indicateurs : TX (émission) et RX (réception). Ils apparaissent à deux endroits sur la carte Arduino UNO. Tout d'abord, sur les broches numériques 0 et 1, pour indiquer les broches responsables de la communication série. Deuxièmement, les Leeds TX et RX (13). Le voyant TX clignote à une vitesse variable lors de l'envoi des données série. La vitesse de clignotement dépend de la vitesse de transmission utilisée par la carte. RX clignote pendant le processus de réception. La vitesse de transmission s'exprime en bauds, soit l'équivalent du bits/seconde si le signal est binaire. |
| 15 | **Entrées/Sorties numériques**<br>La carte Arduino UNO possède 14 broches d'Entrées / Sorties numériques (15), dont 6 peuvent fournir une sortie PWM (Pulse Width Modulation). Ces broches peuvent être configurées pour fonctionner comme des broches numériques d'entrée pour lire des valeurs logiques (0 ou 1) ou numériques. Elles peuvent également être utilisées comme des broches de sortie pour piloter différents modules comme des Leeds, des relais, etc. Les broches<br>Étiquetées "~" peuvent être utilisées pour générer des PWM. |
| 16 | **Broche AREF**<br>AREF est l'acronyme anglais de "référence analogique". Cette broche est parfois utilisée pour définir une tension de référence externe (entre 0 et 5 Volts) comme limite supérieure pour les broches d'entrée analogiques. |

### IV.2.1.2 Caractéristiques de la carte Arduino UNO

Dans le tableau III.2, les caractéristiques de la carte Arduino UNO sont présentées.

**Tableau IV-2:Caractéristiques de la carte Arduino UNO**

| | |
|---|---|
| Microcontrôleur | ATmega328 |
| Tension d'alimentation interne | 5V |
| Tension d'alimentation (recommandée) | 6-20V |
| Entrées/sorties numériques | 14 dont 6 sorties PWM |
| Entrées analogiques | 6 |
| Courant max par broches E/S | 40 mA |
| Courant max sur sortie 3,3V | 50mA |
| Mémoire Flash | 32 KB |
| Mémoire SRAM | 2 KB |
| Mémoire EEPROM | 1 KB |
| Fréquence horloge | 16 MHz |
| Dimensions | 68.6mm x 53.3mm |

### IV.2.1.3 Brochage de la carte Uno

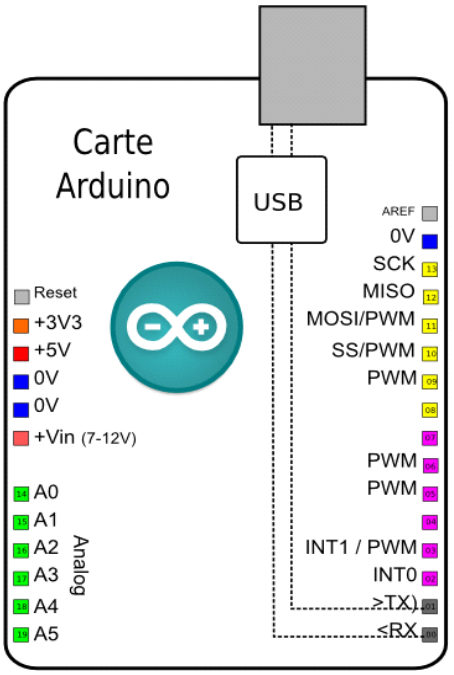



**Figure IV-2:Brochage de la carte Arduino Uno**

## IV.2.2 Capteur de courant

Le Capteur de courant ACS712 : est basé sur la puce ACS712 d'Allegro. Il se connecte en série avec la charge dans un circuit alternatif (AC) ou continu (DC) pour mesurer le courant qui le traverse. Ce capteur utilise le champ magnétique généré par le courant (effet Hall) pour effectuer la mesure. En sortie, il fournit une tension continue proportionnelle au courant détecté, avec une sensibilité de 66mV par Ampère. Il est possible de lire cette tension sur une entrée analogique d'un Arduino pour obtenir la valeur du courant en Ampères ou la puissance en Watts (en multipliant le courant par la tension du circuit). Le capteur est sensible aux champs magnétiques extérieurs, ce qui peut affecter les mesures. Il est également important de faire une lecture à vide pour calibrer le module.[10]

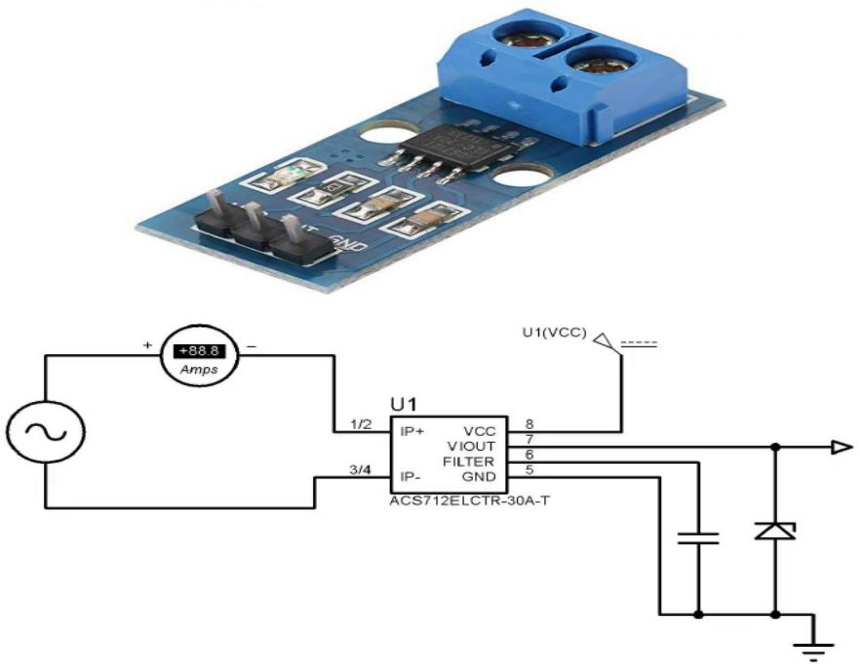



**Figure IV-3: Capteur de courant ACS712**

## IV.2.3 Capteur de tension

Un capteur de tension AC vers DC convertit une tension alternative en une tension continue, en passant par des étapes de redressement, filtrage et régulation. Ce dispositif est essentiel pour mesurer des tensions AC et fournir une sortie DC proportionnelle. En parallèle, un convertisseur de tension 220V vers 5V réduit une tension d'entrée élevée de 220V AC à une sortie basse de 5V DC. Ce processus implique l'utilisation d'un transformateur, d'un pont de diodes, de condensateurs de filtrage et de régulateurs de tension. Ces convertisseurs sont couramment utilisés pour alimenter des appareils électroniques nécessitant une faible tension.[10]

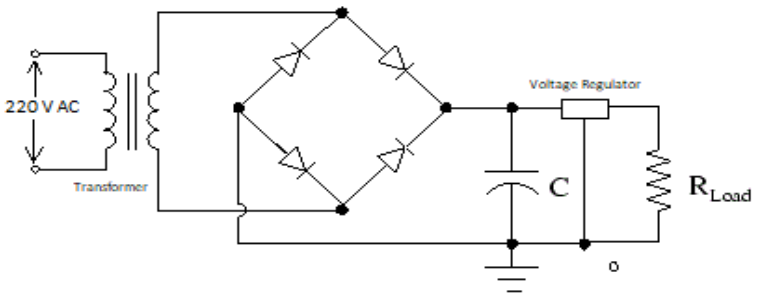



**Figure IV-4:Schéma du capture de tension**

### IV.2.4 Afficheur LCD

Les afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), ou afficheurs à cristaux liquides, sont des modules intelligents et compacts qui nécessitent peu de composants pour fonctionner efficacement. Sur le marché, on trouve une variété d'afficheurs se différenciant par leurs dimensions, allant de 1 à 4 lignes et de 6 à 80 caractères, ainsi que par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service.[10]

Ces afficheurs disposent de deux types de mémoire : la DD RAM (mémoire d'affichage) et la CG RAM (mémoire du générateur de caractères). Leur consommation électrique est relativement faible, variant entre 1 et 5 mA.



**Figure IV-5:Afficheur lcd 16x2**

## IV.2.5 GSM

### IV.2.5.1 Présentation d'un réseau GSM

La norme numérique GSM (Global System for Mobile Communications) est une norme de téléphonie mobile de deuxième génération. Le GSM était initialement conçu pour la communication téléphonique de parole, mais c'est en 1991 que les spécifications techniques sont ajoutées afin de pouvoir fonctionner plus tard dans la bande des 1800MHZ.

### IV.2.5.2 Description du module GSM : (SIM900D)

La carte GSM SIM900D est un module de communication GSM/GPRS, utilisé pour ajouter des capacités de communication mobile à divers projets électroniques. Elle supporte les réseaux GSM/GPRS 850/900/1800/1900 MHz, permettant ainsi d'envoyer et de recevoir des SMS, de passer des appels vocaux et de se connecter à Internet via GPRS. Le module dispose d'une interface UART pour la communication série avec des microcontrôleurs ou des ordinateurs, ainsi que d'une interface audio pour connecter un microphone et un haut-parleur pour les appels vocaux. Une interface SIM standard est également présente pour insérer une carte SIM. Il est fréquent d'utiliser ce module avec des microcontrôleurs tels que l'Arduino, l'ESP8266 et l'ESP32 dans le cadre de projets IoT.[10]

### IV.2.6 La partie software (Logiciel Arduino)

Pour commander Arduino Méga 2560 sur PC on installe le logiciel du même nom Arduino (version 1.8.5 dans notre cas) qui est une application Java et qui a l'interface présentée dans la figure II.4, ci-dessous :

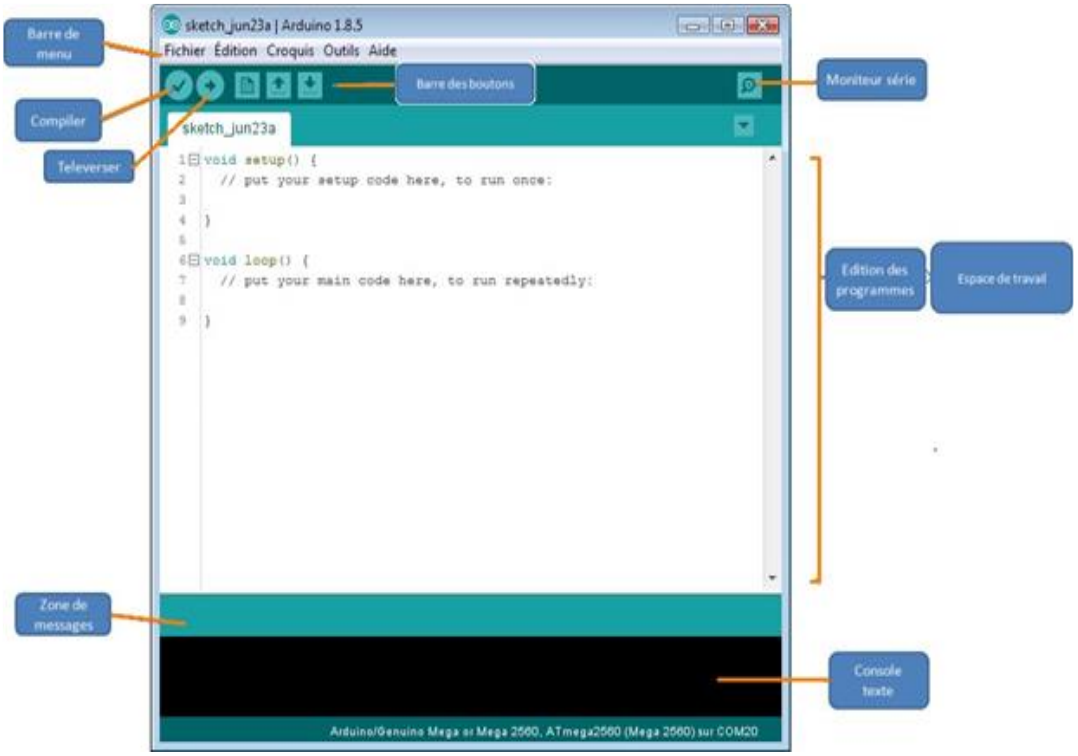



**Figure IV-6:Vue d 'ensemble et interface du logiciel Arduino**

Le logiciel Arduino a pour fonctions principales :

- De pouvoir écrire et compiler des programmes pour la carte Arduino.
- De se connecter avec la carte Arduino pour y transférer les programmes.

L'interface du logiciel contient une BARRE DE MENU comme tous les logiciel, Un MONITEUR SERIE pour afficher sur l'ordinateur les états des variables, des résultats de calculs ou de conversions analogique-numérique. Un EDITEUR (l'espace de travail) pour écrire le code (programme), le logiciel obéit à quelques notions pour pouvoir bien structurer le programme afin de le compiler et d'éviter les erreurs de syntaxe et autres. Une ZONE DE MESSAGES qui affiche l'état des actions en cours, et une CONSOLE TEXTE qui affiche les messages concernant le résultat de la compilation du programme.

Cet espace de développement intégré (EDI) dédié au langage Arduino et à la programmation des cartes Arduino comportent aussi :

Une BARRE DE BOUTONS qui donne l'accès direct aux fonctions essentielles du logiciel tel que :

**Tableau IV-3:Barre d'Action.**

| | |
|---|---|
|  | Bouton Vérifié (Compiler) : il permet de vérifier le programme pour trouver d'éventuelles erreurs. Cette procédure prend un certain temps d'exécution et lorsque elle est terminée, elle affiche un message de type « Binary sketch size: » |
|  | Bouton Upload (Téléverser) : ce bouton permet de compiler et charger leprogramme sur la carte Arduino. |
|  | Bouton New (Nouveau) : ce bouton permet d'ouvrir une nouvelle fenêtre de programmation. |
|  | Bouton Open (Ouvrir) : il fait apparaître un menu qui permet d'ouvrir un programme qui figure dans le dossier de travail ou des exemples de programmes intégrés au logiciel. |
|  | Bouton Save (Sauvegarder) : il permet de sauvegarder le programme. |
|  | Bouton Serial Monitor (Moniteur série) : ce bouton fait apparaître le moniteursérie. |

**Une BARRE DES ERREURS :** pour afficher les erreurs faites au cours du programme, comme l'oubli d'un point-virgule, le manque d'une accolade ou toute autre erreur dans les instructions. Un exemple de ce genre s'affiche en cas d'erreurs :




**Figure IV-7:Message d'Erreur**

### IV.2.6.1 Structure du programme

Le programme comporte trois phases consécutives :

**IV.2.6.1.1 La Définition des constantes et des variables :** Cette partie est optionnelle uniquement pour la déclaration des variables et des constantes chaque entrée et sortie est définie et déclarée, en lui donnant un nom arbitraire et en lui affectant le numéro de l'entrée ou celui de la sortie voulue, sans oublier de préciser le type de la variable.

**IV.2.6.1.2 Configuration des entrées/sorties :** Les instructions viennent après le void setup (), après avoir ouvert une accolade, on peut manipuler les broches de la carte en les configurant comme étant des entrées ou des sorties, selon les besoins. Les entrées analogiques pour les capteurs par exemple, ne sont soumises à aucune configuration, car la carte possède 16 entrées analogiques qui ne font que cela.

**IV.2.6.1.3 Programmation des interactions et comportements :** Celles-ci viennent après le void loop (), c'est la partie principale, ou on rédige les instructions et les opérations comme la lecture des données, les boucles, les affectations...etc. Chacune d'elles doit obligatoirement se terminer par un point-virgule.

**IV.2.6.1.4 Les commentaires :** Comme chaque IDE, des commentaires peuvent être ajoutés au programme. Dans la configuration des entrées/sorties, les commentaires doivent être écrits après un slash « / » ou une étoile « * » ou les deux, tandis que sur une ligne de code, on les écrit après deux slash « // ». [11]

## IV.3. Présentation générale de Proteus

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels incluent dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique.

Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus possède d'autres avantages

- ✓ Pack contenant des logiciels faciles et rapides à comprendre et à utiliser
- ✓ Le support technique est performant
- ✓ L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet.

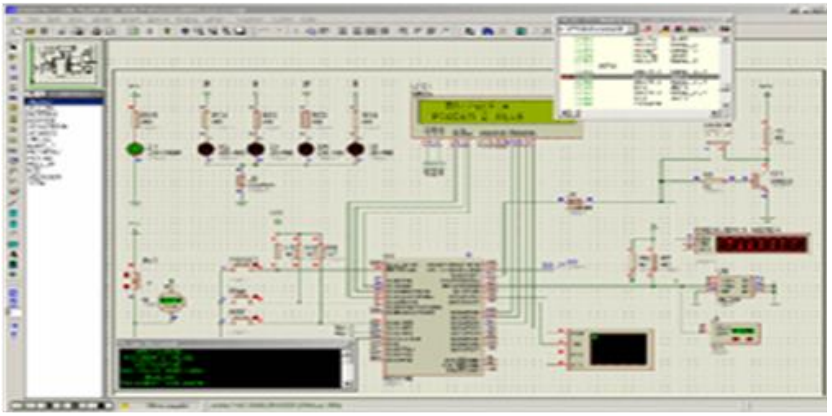


**Figure IV-8:Le logiciel Proteus**

### IV.3.1 L'éditeur de schéma

Le logiciel ISIS de Proteus Professional est principalement connue pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.

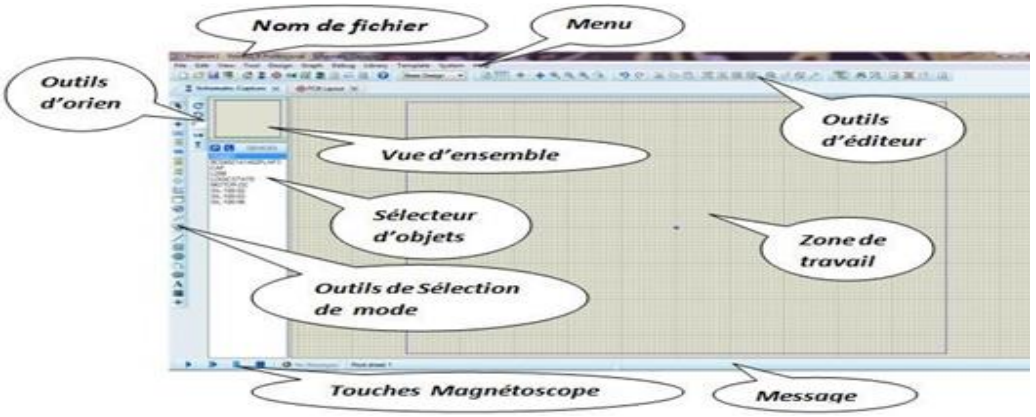



**Figure IV-9:Interface utilisateur ISIS.**

### IV.3.1.1 Interface utilisateur

#### IV.3.1.1.1 Barre de menus

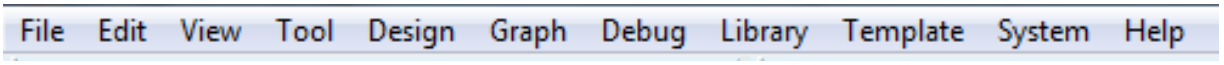



**Figure IV-10:Barre de menu**

Cette barre permet de gérer le travail (ouverture, sauvegarde, impression, mode d'affichage, etc.).

#### IV.3.1.1.2 Barres d'outils de commande

Ces barres fournissent un accès équivalent aux commandes des menus. Elles peuvent être masquées par la commande "Barre d'outils" du menu "Affichage".

**Tableau IV-4:Barres d'outils de commande**

| | |
|---|---|
| Commandes Fichier / Projet |  |
| Commande d'affichage |  |
| Commandes Édition / Bibliothèque |  |
| Commandes Outils |  |

#### IV.3.1.1.3 Barre d'outils de sélection de mode

| Mode Principal | | Mode Gadgets | | Mode Graphique | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Composants | | Terminal | | Ligne |
| | Point de jonction | | Patte de composant | | Rectangle |
| | Label de fil | | Graphe | | Cercle |
| | Script de texte | | Cassette | | Arc |
| | Bus | | Générateurs | | Chemin |
| | Sous circuit | | Sonde de tension | | Texte |
| | Édition | | Sonde de courant | | Symbole |
| | | | Appareils | | Marqueur origine |

**Figure IV-11:Barre d'outils de sélection de mode**

Cette barre permet de sélectionner un outil parmi les 3 modes d'édition disponibles.

#### IV.3.1.1.4 Barre d'outils d'orientation

Cette barre permet d'afficher et de contrôler la rotation et la réflexion d'un objet placé ou à placer.




**Figure IV-12:Barre d'outils d'orientation**

#### IV.3.1.1.5 Zone de travail ou d'édition des schémas

Cet espace rectangulaire correspond à la zone de travail effectif. Tous les schémas apparaîtront dans cette zone et seront visualisés avec le coefficient d'agrandissement ou de réduction choisi.

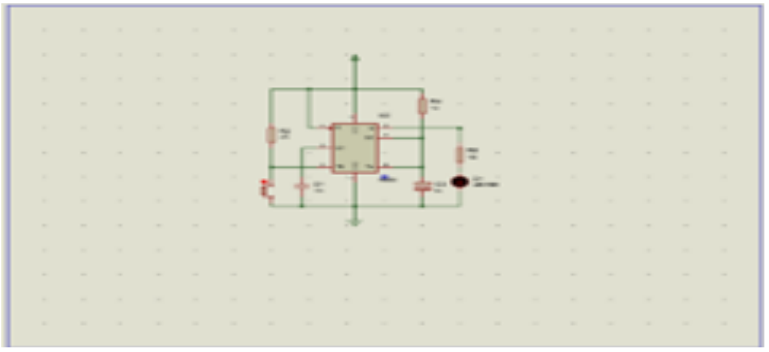


**Figure IV-13:Zone de travail ou d'édition des schémas**

#### IV.3.1.1.6 Sélecteur d'objets

Le sélecteur d'objets liste les différents éléments, selon le mode de travail choisi. Les types d'objets qui peuvent y apparaître sont les composants, les terminaux, les pattes, les symboles graphiques, les marqueurs.




*Figure IV-14:Sélecteur d'objets*

## IV.4. Présentation de travail

Le matériel du compteur d'énergie prépayé comprend plusieurs modules tels que le capteur de courant, le capteur de tension, le détecteur de passage à zéro, le microcontrôleur, l'écran à cristaux liquides (LCD), l'avertisseur sonore et un modem GSM. Ces modules sont intégrés sous la forme d'un schéma fonctionnel, comme le montre la figure IV.15.

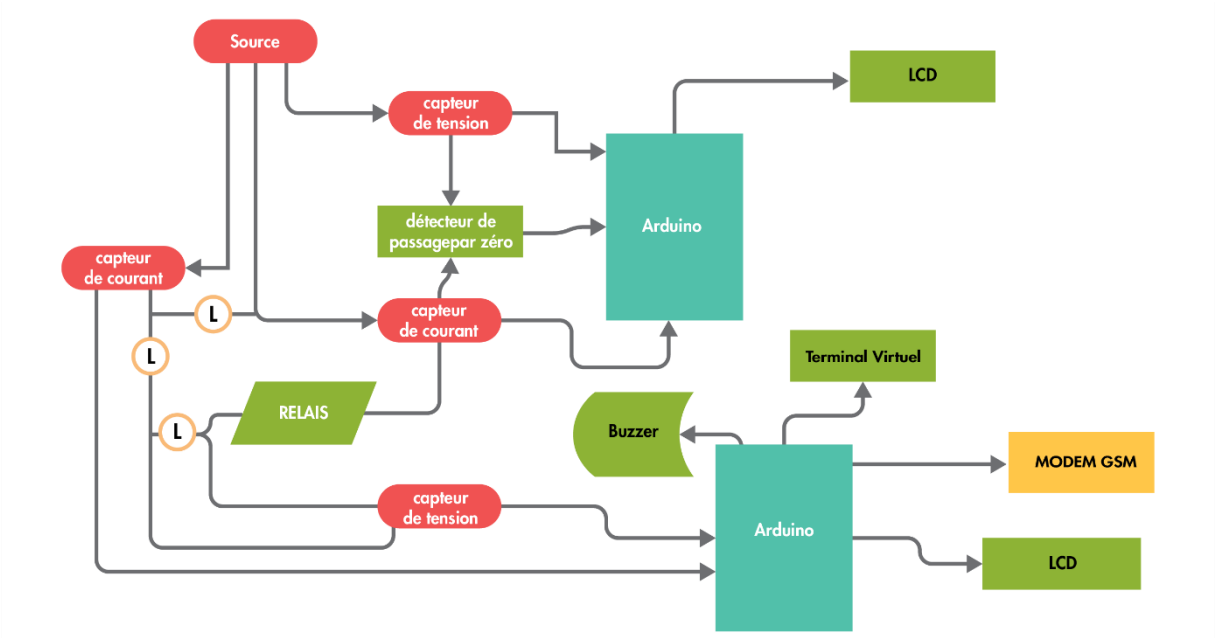



**Figure IV-15:Schema fonctionnel**

La conception de chacun de ces modules est réalisée à l'aide du logiciel Proteus 8. Ce logiciel est largement utilisé pour simuler un système lié à l'électricité.

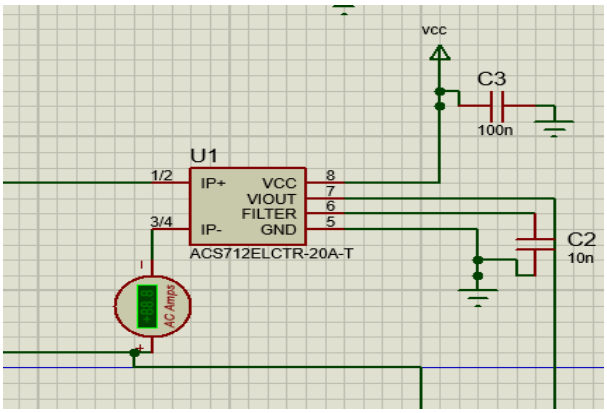
## IV.5. Conception et Description de Schéma proposée

### IV.5.1 Ordinateur

L'ordinateur est utilisé pour programmer et contrôler la carte Arduino. Il envoie des instructions à l'Arduino via une connexion USB.

### IV.5.2 Circuit du capteur de courant

Le capteur de courant a été intégré pour mesurer la quantité de courant électrique circulant dans le réseau domestique. Ce projet utilise un capteur de courant largement répandu et facilement accessible sur le marché, spécifiquement le modèle ACS712, qui est un capteur de courant à effet Hall. Le capteur de courant à effet Hall, tel que le modèle ACS712, fonctionne en détectant le champ magnétique généré par le courant électrique passant à travers un conducteur. Il utilise l'effet Hall pour convertir ce champ magnétique en une tension proportionnelle, qui peut ensuite être interprétée par un microcontrôleur l'Arduino Uno. Ce type de capteur est apprécié pour sa précision et sa capacité à mesurer des courants continus (DC) et alternatifs (AC), ce qui le rend polyvalent pour diverses applications électriques.




***F*igure IV-16: Circuit du capteur de courant**

### IV.5.3 Circuit du mesure de tension

Le système de mesure de tension utilise un capteur de tension avec un régulateur pour abaisser et stabiliser la tension du réseau domestique, permettant à l'Arduino de mesurer et de calculer la tension avec précision. Les valeurs mesurées sont ensuite affichées sur un écran LCD, offrant une visualisation en temps réel pour une gestion efficace du réseau électrique domestique.

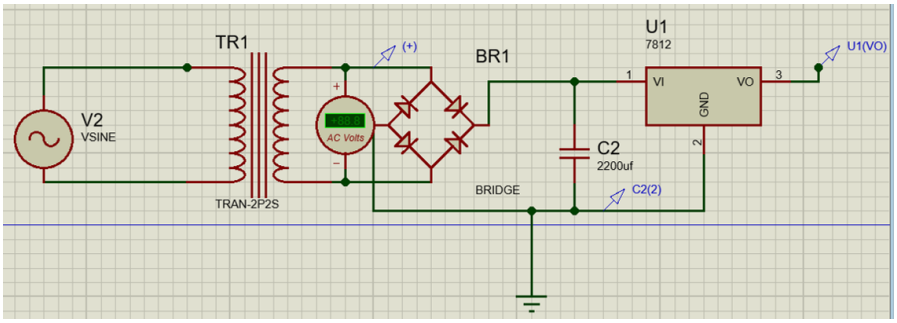



**Figure IV-17:Circuit du capteur de tension**

### IV.5.4 Circuit de détection du passage à zéro

Le détecteur de passage à zéro est une technique utilisée pour détecter le facteur de puissance dans un circuit électrique. Le facteur de puissance est calculé à partir de la différence de phase entre le courant et la tension. Ce détecteur fonctionne en identifiant les moments où la tension et le courant passent par zéro dans leur cycle sinusoïdal.

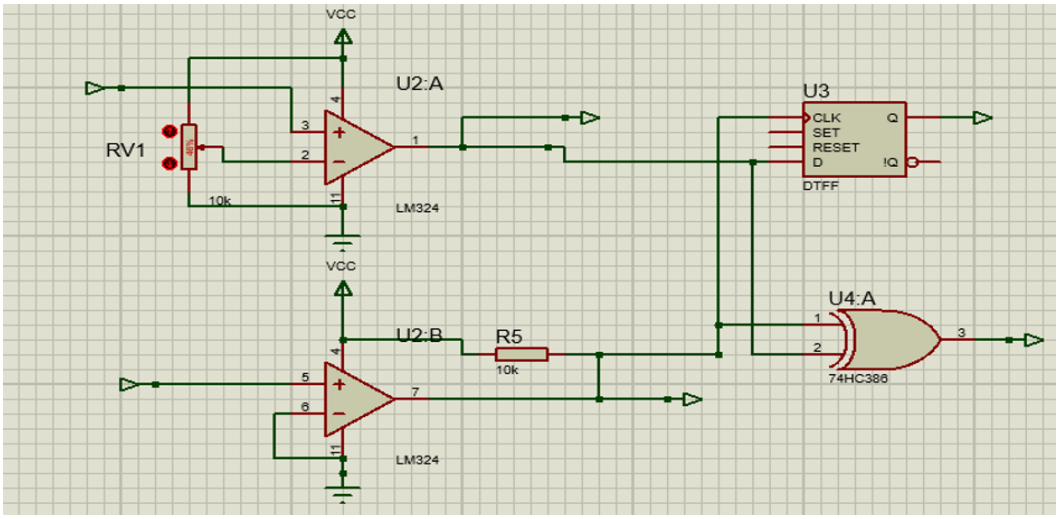



*Figure IV-18:Circuit de détection du passage à zéro*

### IV.5.5 Circuit de Relais (disjoncteur)

Sur la base des résultats calculés par le compteur d'électricité à prépaiement, le système peut détecter un dépassement de la charge spécifiée ou identifier des cas de vol d'électricité. Si une de ces situations est détectée, le système coupe automatiquement l'alimentation électrique pour prévenir tout dommage ou fraude.

Pour permettre cette déconnexion automatique, un module de disjoncteur, tel qu'un relais, est nécessaire. Ce relais agit comme un interrupteur contrôlé électroniquement. Lorsqu'une condition de surcharge ou de vol est détectée, le relais reçoit un signal pour ouvrir le circuit, interrompant ainsi l'alimentation électrique.

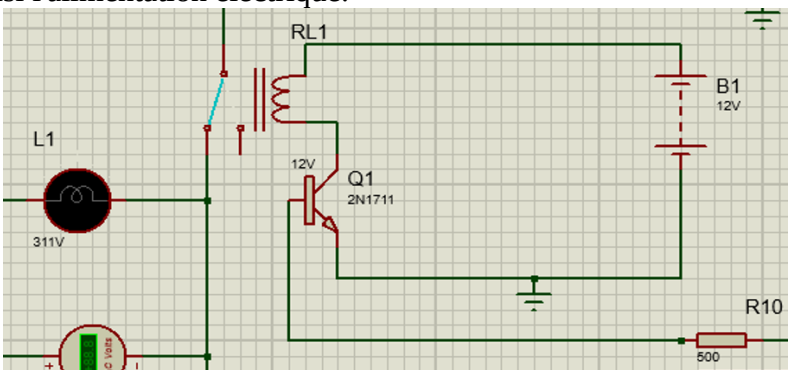



**Figure IV-19:Circuit de Relais**

### IV.5.6 L'écran LCD

Les informations cruciales telles que la tension, le courant, et la puissance doivent être affichées de manière claire pour l'utilisateur. Ces données apparaîtront sur un écran d'affichage intégré au système. Pour cette tâche, un écran à cristaux liquides (LCD) de taille 16x2 est utilisé, capable de présenter deux lignes de 16 caractères chacune.

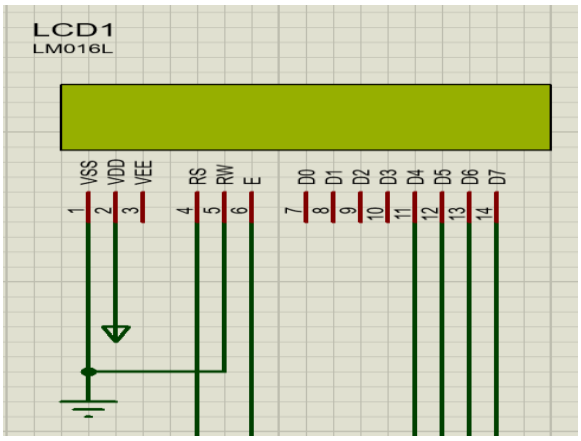



**Figure IV-20:Ercan LCD**

### IV.5.7 Arduino

Le composant central de ce projet est la carte Arduino Uno, un microcontrôleur qui joue un rôle crucial dans la gestion et le traitement des données. En raison de la variété et de la sensibilité des dispositifs connectés, l'Arduino Uno nécessite une consommation d'énergie plus élevée pour fonctionner de manière optimale.

Dans ce système, l'Arduino Uno est connecté à plusieurs capteurs qui mesurent des paramètres électriques. Le capteur de courant, souvent un modèle ACS712, est utilisé pour détecter et mesurer le courant circulant dans le circuit. Ce capteur convertit les valeurs de courant en signaux électriques compréhensibles par la carte Arduino. En parallèle, un circuit de capteur de tension mesure la tension présente dans le système. Ces deux types de capteurs transmettent leurs données aux broches de mesure dédiées sur l'Arduino Uno.

Une fois les données de courant et de tension recueillies, l'Arduino Uno les traite à l'aide d'un programme spécifique écrit en langage Arduino (une variante simplifiée du C++). Ce programme analyse les signaux entrants, convertit les valeurs analogiques en données numériques utilisables, et effectue les calculs nécessaires pour déterminer les mesures précises de courant et de tension.

Les résultats de ces mesures sont ensuite affichés sur un écran à cristaux liquides (LCD) intégré au système. L'écran LCD offre une interface utilisateur pratique, permettant de visualiser en temps réel les valeurs mesurées par les capteurs. Cette fonctionnalité est particulièrement utile pour la surveillance continue et la gestion efficace de la consommation d'énergie.

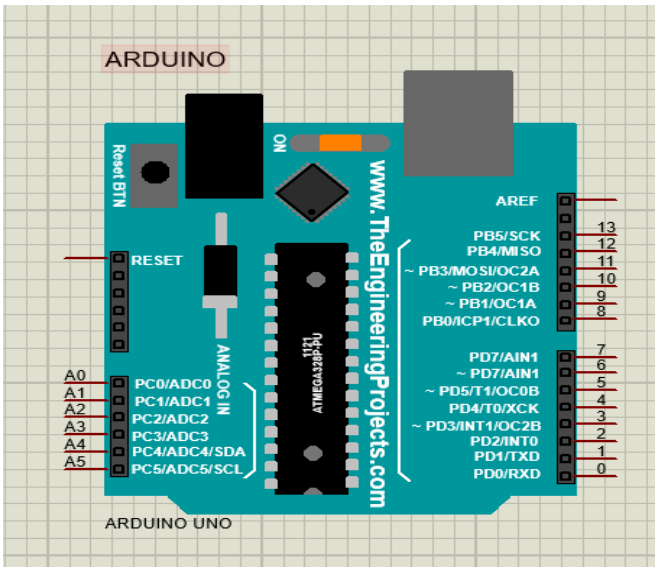



**Figure IV-21:Arduino**

### IV.5.8 Buzzer

Le circuit illustré suivant est conçu pour contrôler le buzzer. L'allumage et l'extinction de l'avertisseur sont commandés par la paire de transistors de commutation (BC 547). L'avertisseur est connecté à la borne collectrice du transistor Q2.

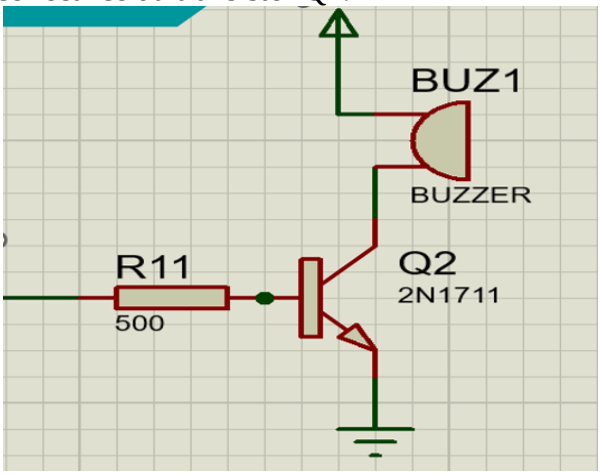



**Figure IV-22:Buzzer**

### IV.5.9 GSM

L'intégration du GSM dans un compteur d'énergie prépayé permet une gestion précise et en temps réel de la consommation et du solde prépayé. Cela facilite la détection rapide de la fraude en envoyant des alertes immédiates en cas d'anomalies détectées, telles que des manipulations du compteur ou des utilisations non autorisées. Cette technologie renforce la sécurité du système en permettant une surveillance continue et proactive, assurant une gestion efficace des ressources énergétiques tout en offrant une expérience utilisateur transparente et sécurisée.

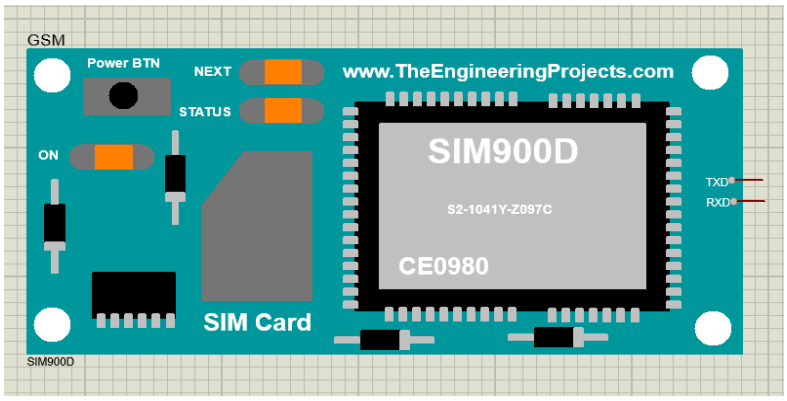



**Figure IV-23:GSM**

## IV.6. Explication de ce projet

Nous avons simulé un projet dans PROTEUS 8 où deux cartes Arduino sont utilisées. Une carte mesure le courant et la tension du circuit, tandis que l'autre communique avec un module GSM pour gérer la recharge, le solde et la consommation d'unités. Nous utilisons le "terminal virtuel" de Proteus pour voir les échanges de données entre le modem GSM et l'Arduino. Il est important de régler le taux de transmission du terminal à 9600 kbps pour une communication correcte. Avant de démarrer le logiciel, nous devons charger le fichier '.hex' du projet dans l'Arduino pour éviter les erreurs. Un buzzer et un relais sont connectés pour les alertes. Le programme est écrit dans Arduino IDE et génère un code hexadécimal nécessaire à charger dans l'Arduino avant de le compiler.

Ce projet vise à gérer la consommation d'énergie et la facturation basée sur la charge et le temps en utilisant Arduino et GSM. Il utilise des capteurs de courant et un circuit de tension pour enregistrer les mesures en temps réel. Les relevés de compteur sont envoyés aux utilisateurs par SMS après une authentification par carte. Chaque compteur d'énergie nécessite un modem GSM avec une carte SIM pour transmettre ces relevés. Ce système offre des économies en améliorant la gestion des ressources et en prévenant la fraude, tout en simplifiant les services pour les utilisateurs de téléphones mobiles.

## IV.7. Simulation

### IV.7.1 Capteur de courant

Le capteur de courant utilise l'effet Hall pour déterminer le courant qui le traverse.

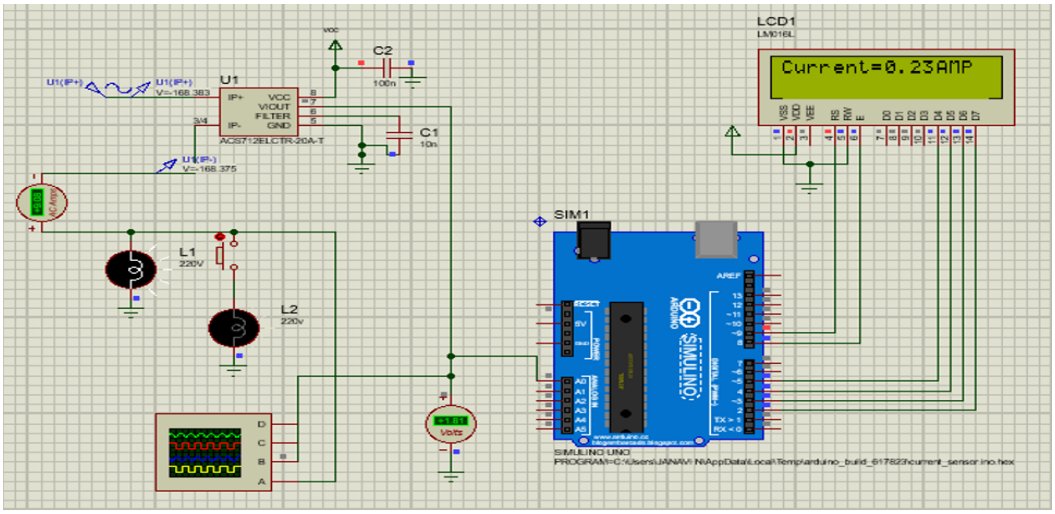



**Figure IV-24:Capture de courant**

### IV.7.2 Mesure de tension :

Le circuit ci-dessus montre que le capteur de tension est composé d'un transformateur abaisseur, d'un redresseur pleine onde, d'un filtre et d'un régulateur de tension, puis d'un ensemble de résistances pour que la tension de cartographie finale soit comprise entre 0 et 5 V et puisse être introduite dans l'Arduino uno.

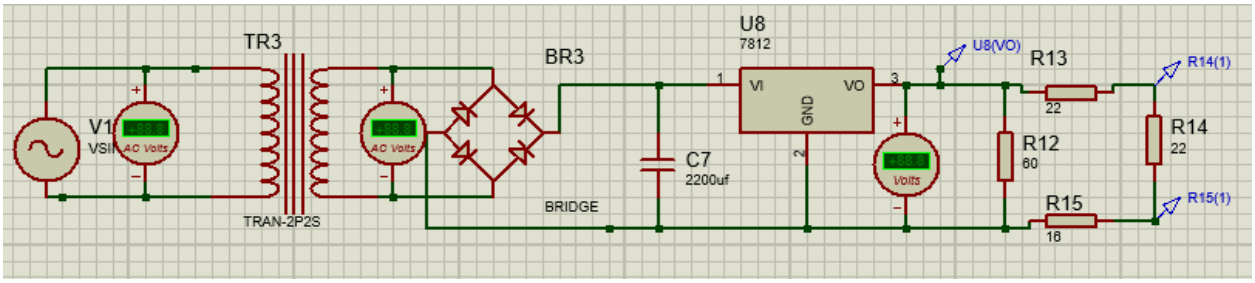



**Figure IV-25:Circuit de capture de tension**

### IV.7.3 Simulation complète du circuit

#### IV.7.3.1 Au cas de fraude

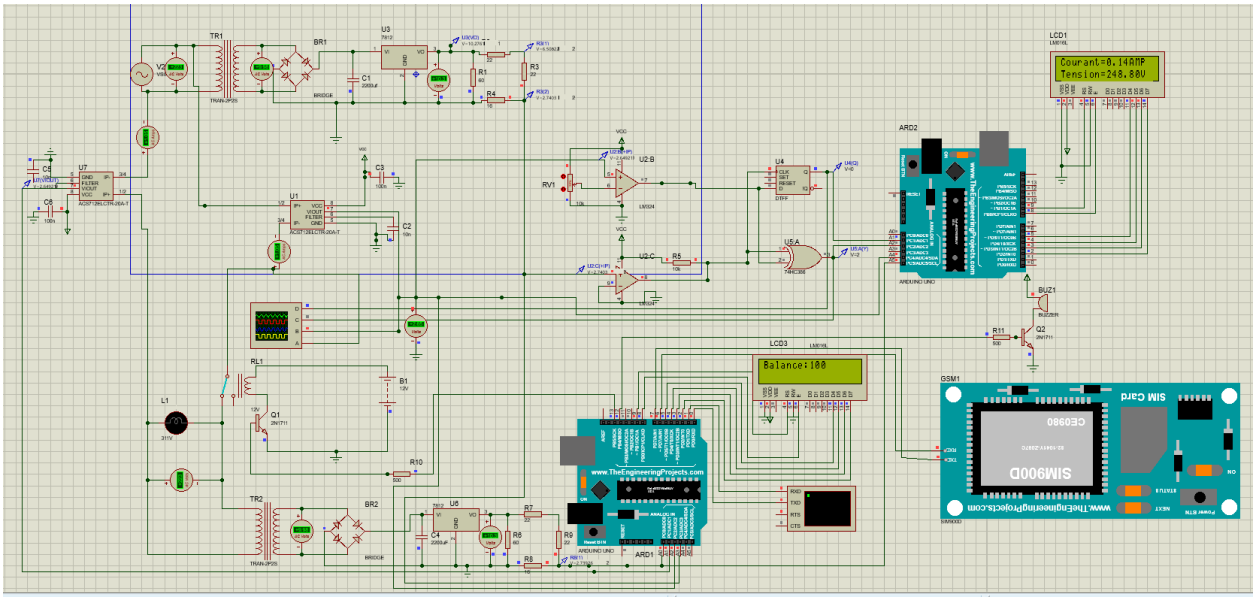



**Figure IV-26:Simulation complète de circuit au cas non-fraude**

#### IV.7.3.2 Résultat

##### IV.7.3.2.1 Affichage du courant, tension

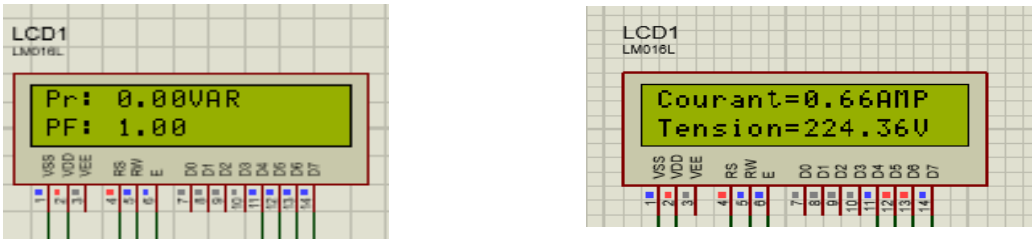



**Figure IV-27:affichage de résultat obtenue**

Après l'exécution de programme voici les valeurs de courant tension facteur de puissance et puissance réactive

- La valeur obtenue montre que la charge est résistive
- L'affichage sur lcd la valeur efficace de la tension et du courant

#### IV.7.3.2.2 Les graphes obtenus

- **Tension et courant**

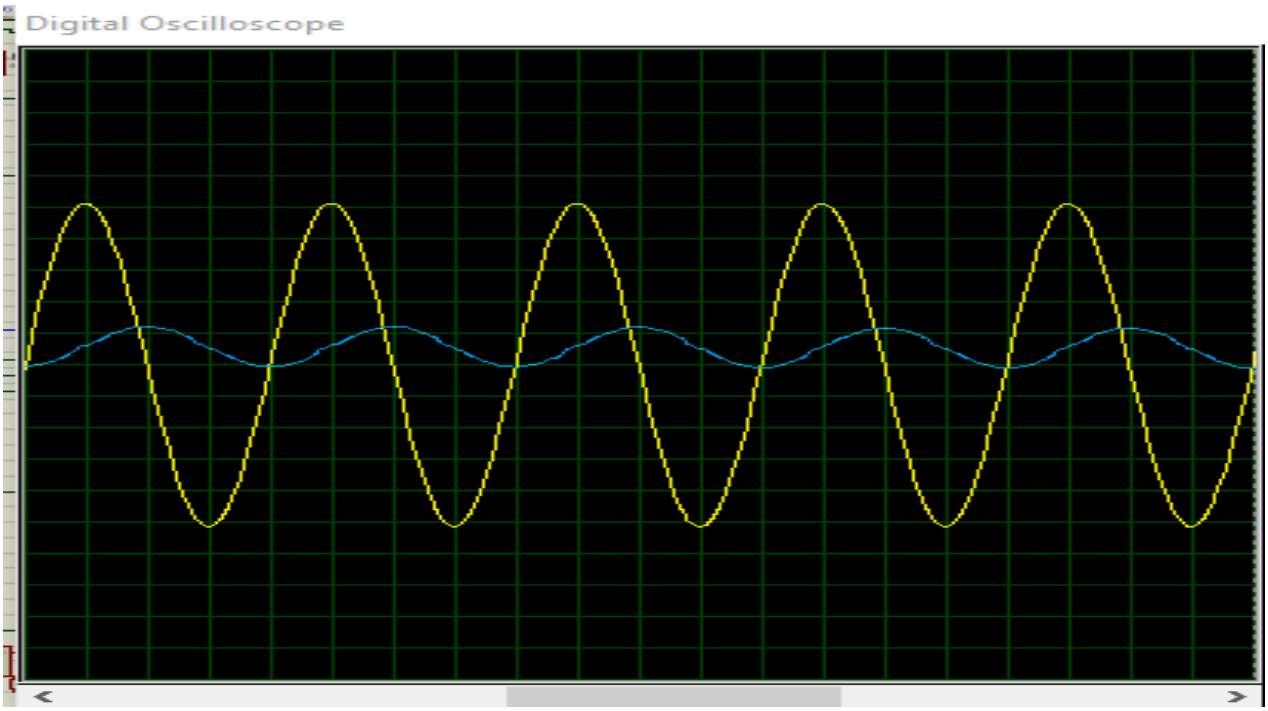



**Figure IV-28:Visualisation de l'allure de tension et courant**

Ce compteur intelligent prépayé, offre une recharge pratique via smartphone, des notifications en cas de faible solde énergétique et la possibilité d'interroger le montant ou la quantité d'énergie souscrite.

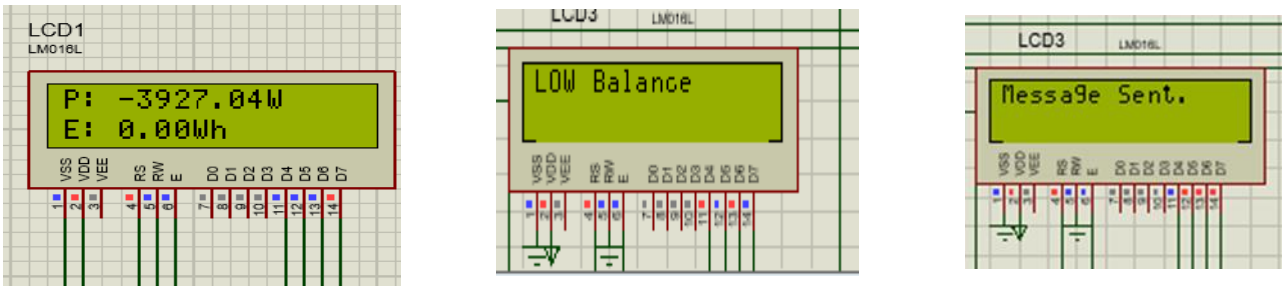



**Figure IV-29:Affichage des notifications au cas de faible solde énergétique**

### Résultat dans Virtual terminal de sms envoyé par module GSM

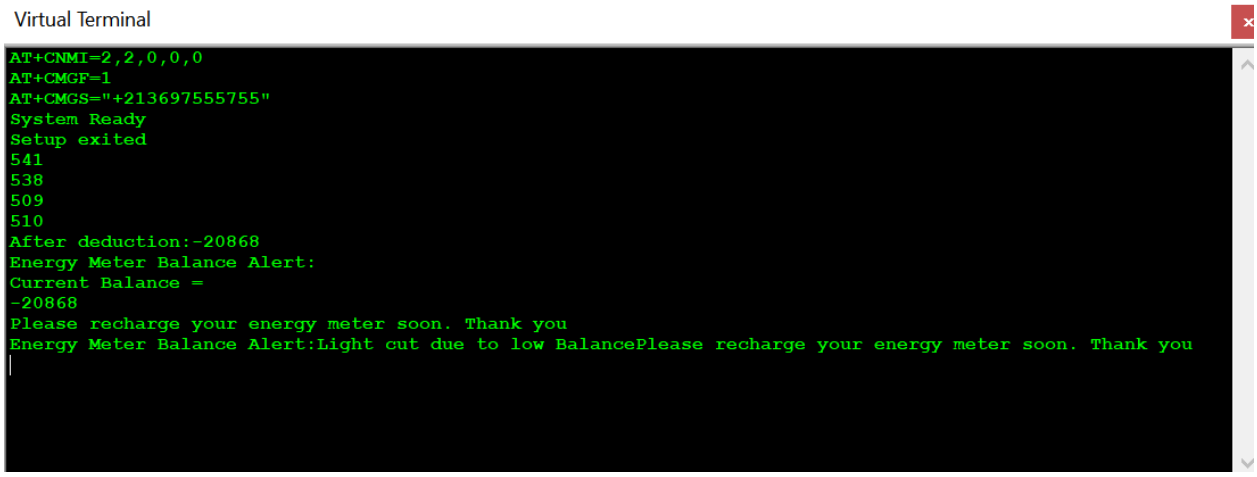



**Figure IV-30:Le msg envoyé par GSM dans le Virtual Terminal**

L'affichage du terminal virtuel montre les commandes AT envoyées au module GSM pour initialiser la communication, envoyer des messages d'alerte de solde bas et gérer la consommation d'énergie. Par exemple, après déduction, si le solde de courant est négatif, une alerte demande de recharger le compteur d'énergie.

Après l'envoie de message d'avertissement, automatiquement la lampe s'éteindre comme le courant est montrer dans le graph il va à 0.

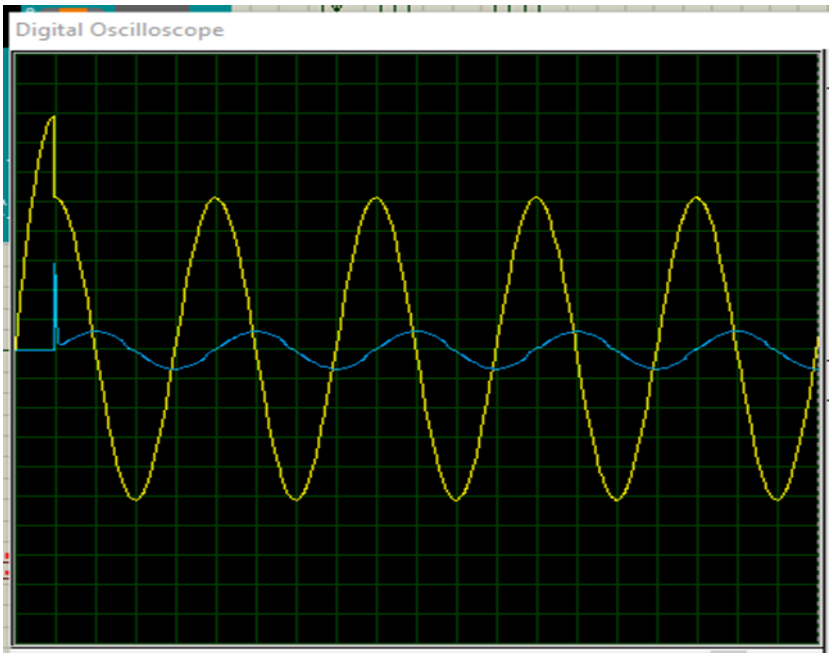



**Figure IV-32:Allure de courant et tension**

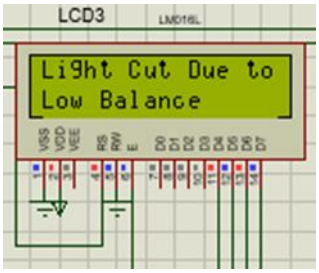



**Figure IV-31:message affiché dans le cas de solde négatif**

.

## IV.8. Conclusion

Ce chapitre a présenté de manière détaillée la conception et la mise en œuvre du système de gestion de la consommation d'énergie basé sur Arduino et des modules GSM. Nous avons exploré les différentes composantes matérielles et logicielles impliquées dans ce projet, telles que les capteurs de courant et de tension, l'afficheur LCD, et les modules GSM pour la communication.

# Conclusion générale

# Conclusion générale

Au cours de ce mémoire, nous avons exploré les différentes facettes des compteurs électriques, en mettant un accent particulier sur l'évolution des modèles électromécaniques aux compteurs intelligents modernes. Le parcours à travers les quatre chapitres principaux nous a permis d'acquérir une compréhension globale et détaillée des composantes essentielles de ce domaine.

Dans le premier chapitre, nous avons introduit les concepts de base des compteurs électriques, en présentant les différentes catégories de compteurs et leurs avantages et besoins. Cette introduction a posé les fondations nécessaires pour aborder les aspects plus techniques des chapitres suivants.

Le deuxième chapitre a fourni une description exhaustive de comptage, en couvrant la partie de tarification. Nous avons examiné la technologie de comptage, soulignant des rappels d'électronique utilisés dans les chapitres suivants.

Le troisième chapitre s'est concentré sur la partie logicielle. Nous avons exploré les diverses facettes des compteurs d'énergie triphasés, en mettant l'accent sur la modélisation et la conception de ces dispositifs. La performance des différents types de charges a été discutée en détail, démontrant une efficacité satisfaisante du compteur d'énergie pour mesurer la tension, le courant, le facteur de puissance, la puissance active, la puissance réactive et la consommation d'énergie.

Enfin, le quatrième chapitre a traité l'étude et la simulation des compteurs intelligents prépayés, en utilisant des outils comme Proteus pour vérifier et valider nos configurations. Nous avons exploré les aspects pratiques de la réalisation et de la simulation, ainsi que les défis liés à la fraude et à la sécurité des données.

À travers cette étude, nous avons démontré l'importance de combiner des connaissances théoriques approfondies avec des compétences pratiques pour réussir dans le domaine de la gestion énergétique. L'évolution des compteurs électriques illustre comment des concepts complexes peuvent être transformés en applications pratiques, offrant ainsi des perspectives prometteuses pour l'avenir de la gestion énergétique et de la durabilité environnementale.

# Bibliographie

[1] : Josephson, Matthew. ***Edison: A Biography***. New York: McGraw-Hill, 1959

[2]:Compteur électrique - Historique | happ-e by ENGIE

[3] :Les différents types de compteurs électriques | lesfurets

[4] : dspace.univ-tlemcen.dz

[5] : Fonctionnement des compteurs électriques intelligents (fairfair.com)

[6] : Lamia HASNAOUI et Salma GABBADI. (Juin 2017). Etude des compteurs d'énergie électrique. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. Maroc

[7] : Master PDF Final_compressed.pdf (univ-ouargla.dz)

[8] : Compteur d'énergie prépayé / prépayé - Introduction et Principes de fonctionnement | UAC Blog (uac-m.org)

[9] : Quelles sont les applications du compteur intelligent à prépaiement ?- Zhejiang Yongtailong Electronic Co., Ltd (ytl-e.com)

[10] : ENSET_EBO_BC_21_0063.pdf (dicames.online)

[11] : Conception et réalisation d'un compteur d'énergie électrique consultable à distance et accès local par carte à puce, rédigé en vue de l'obtention du DIPET II a l'enset de douala par ETOUNDI

[12] : Chapitre V Comptage HTB et HTA (researchgate.net)

[13] : Tarification de l'électricité — Wikipédia (wikipedia.org)

[14] : https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/14921/1/GASMI-NEMLI.pdf

[15] : Prix d'un kWh en Algérie (algerie-electricite.com)

[16] : Perte_connexion_monitoring_SMA (energreen.be)

[17] : Fraude compteur électrique | POLIER

[18] : MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER SPECIALISE EN GENIE ELECTRIQUE–ENERGETIQUE ET ENERGIE RENOUVELABLE Présenté par: Larba DIPAMA

[19] : Modélisation de la consommation électrique à partir de grandes masses de données pour la simulation des alternatives énergétiques du futur (researchgate.net)

[20] : Ms.ELN.Mwinyl+Khamis.pdf (univ-tlemcen.dz)

[21]: GE Publication No. GET-8402, «CT Application Guide for the 489 Generator Management Relay», GE Power Management Technical Notes.