

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION  
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES  
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
École Supérieure en  
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière: Électrotechnique.  
Spécialité : Énergie et environnement.

Présenté par: CHEIKH Ghizléne.  
DAOUD Abir

Thème

**Réalisation d'un compteur d'énergie  
électrique numérique**

Soutenu publiquement, le 29/09 /2020, devant le jury composé de :

FEROUANI abdel-karim	Maitre de conférences «A»	ESSA. Tlemcen	Président
ABDELLAOUI Ghouti	Maitre de conférences «B»	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
MSIRDI Mohammed	Enseignant contractuel	ESSA. Tlemcen	Co- Directeur de mémoire
MEGNAFI Hichem	Maitre de conférences «B»	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
M'HAMEDI Mohammed	Maitre assistant « A »	ESSA. Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire: 2019 /2020

# Dédicaces

## *Dédicace*

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...*

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance... Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail :*

### ***A mon cher père : Kaddour***

*L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne et mon estime et de mon respect, aucun dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que dieu te préserver et te procure santé et long vie.*

### ***A ma cher mère : Zahra***

*Tu m'as donnée la vie, la tendresse et le courage pour réussir.*

*Tout ce je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte. Je t'offre ce modeste travail pour te remercie pour sacrifices et pour l'affectation dont tu m'as toujours entourée.*

***A mes chers frères et sœurs :***

***Khelifa Abelkarim, Zakaria Abdelaziz, Asmaa, pour qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité pour finaliser ce travail. et la petites Sara , que dieu vous réserve un avenir plein de succès et que dieu vous protège.***

***A tous ma famille et mes chères amies.***

*Je les remercie pour leurs soutiens, leurs encouragements et leurs prières pour effectuer ce travail.*

*Sans oublier mon binôme **Abir**, pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

***Ghizlène CHEIKH***

## *Dédicace*

*Avec l'expression de ma reconnaissance, Je tiens C'est avec grande plaisir que je dédie ce modeste travail a ceux qui, quels que soient les termes embrases, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.*

*A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père **Ali**.*

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non âmes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère **Wahiba**.*

*A ma chère sœur **Safia** et mes chers frères **Ayoub et Mohamed Nadir** pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur. A mon adorable petite sœur **Besma** qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.*

*A mes grands-mères, mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.*

*A tous, les amis que j'ai connue jusqu'à maintenant. Je les remercie pour leurs amours et leurs encouragements, leurs tendresses, leurs soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

*Sans oublier mon binôme **Ghizlèn** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

***Abir DAOUD***

# Remerciements

Nous remercions en premier temps notre Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de

**M.ABDELLAOUI Ghouti** : Maitre de conférences classe B à l'école supérieure en sciences appliquées de Tlemcen, nous le remercions pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous adressons également nos sincères remerciements à notre Co-encadrant **M.MSIRDI Mohammed** : Ingenieur en Automatique à l'école supérieures en sciences appliquées de Tlemcen, pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements.

Nous remercions très chaleureusement , le président de jury, Monsieur FEROUANI Abde-karim :Maitre de conférence classe A, les membres de jury :M.MEGNAFI Hichem :Maitre de conférence classe B et M.M'HAMEDI Mohammed :Maitre assistant classe A, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'être rapporteur de notre mémoire.

Notre remerciement s'adresse également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelle.

***Abir DAOUD, Ghizléne CHIEKH***

# Abstract

Through the integration of renewable energies and the development of electricity meters as the basis of the Smart Grid, it will help to improve the technological progress of the grid system. The main advantage of these meters is real-time monitoring of power consumption.

The current study whose theme is "*Realization of a digital electric energy meter*". It has been developed to facilitate the management of electrical energy for both the subscriber and the energy supplier so that the subscriber's home and supplier can independently manage the consumption of electrical energy and remotely control the consumption of its customers.

## **Keyword**

Smart networks, Electricity meter, Node MCU ESP8266, WIFI, Current, Voltage.

# Résumé

Grâce à l'intégration des énergies renouvelables et au développement des compteurs d'électricité comme base du Smart Grid, il contribuera à améliorer le progrès technologique du système de réseau. Le principal avantage de ces compteurs est de suivre la consommation électrique en temps réel .

L'étude actuelle dont le thème est "*Réalisation d'un compteur d'énergie électrique numérique*". Il a été développé pour faciliter la gestion de l'énergie électrique tant pour l'abonné que pour le fournisseur d'énergie afin que le domicile et le fournisseur de l'abonné puissent gérer indépendamment la consommation d'énergie électrique et contrôler à distance la consommation de ses clients.

Notre objectif est d'étudier et de construire un compteur électrique. La carte de commande est contrôlée par un ESP8266, ce dernier permet également le transfert de données vers un Smartphone via un système de communication sans fil tel que le WIFI. Les données capturées sont ensuite visualisées à l'aide d'une application Android, la carte de mesure est constituée de deux capteurs, l'un pour le courant et l'autre pour la tension, et un écran LCD est également utilisé pour l'affichage.

## **Mots clés**

Réseaux intelligents, Compteur électrique, Node MCU ESP8266, WIFI, Courant, Tension.

## ملخص

من خلال تكامل الطاقات المتجددة وتطوير عدادات الكهرباء كأساس للشبكة الذكية، ساعد ذلك في تحسين التقدم التكنولوجي لنظام الشبكة الذكية.

فالميزة الرئيسية لهذه العدادات هي مراقبة استهلاك الطاقة في الوقت الحقيقي لحظياً.

موضوع دراستنا الحالية هو "تحقيق عداد الكتروني للطاقة الكهربائية". و قد قمنا بتطويره لتسهيل إدارة الطاقة الكهربائية لكل من المشتركين وموردي الطاقة بحيث يمكن لمنزل المشترك والمورد إدارة استهلاك الطاقة الكهربائية بشكل مستقل والتحكم فيها من الخارج.

هدفنا دراسة وبناء عداد كهربائي يتم التحكم فيه بواسطة ESP8266، والذي يسمح أيضاً بنقل البيانات إلى هاتف ذكي عبر نظام اتصال لاسلكي مثل WIFI. ثم يتم عرض البيانات الملتقطة على واجهة تطبيق اندرو يد، وتتكون لوحة القياس من مستشعرين (ملتقطين) ، أحدهما للتيار والآخر للجهد ، كما تُستخدم شاشة LCD في عرض القيم الناتجة .

## كلمات مفتاحية

عداد كهربائي، التيار الكهربائي، التوتر، الشبكة الذكية، بيانات.

# Table des matières

<b>Abstarct</b>	<b>ii</b>
<b>Résumé</b>	<b>ii</b>
<b>Table des acronymes</b>	<b>vi</b>
<b>Table des Figures</b>	<b>x</b>
<b>Table des Tableaux</b>	<b>xi</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
1    Problématique . . . . .	2
2    Description du plan de travail . . . . .	3
<b>1 La consommation électrique</b>	<b>4</b>
Introduction . . . . .	5
1.1 La consommation mondiale . . . . .	5
1.2 La consommation en Algérie . . . . .	7
1.3 Le besoin de contrôler la consommation électrique . . . . .	8

1.4	Les compteurs électriques . . . . .	9
1.5	Internet of things (IOT) . . . . .	11
1.5.1	Objet connecté (OC) . . . . .	11
1.5.2	Définition d'Internet of things . . . . .	12
1.5.3	Historique . . . . .	12
1.5.4	Architecture d'IOT . . . . .	13
1.5.5	Applications . . . . .	15
1.5.6	Les enjeux et les défis de l'IOT . . . . .	15
1.5.6.1	Défis Technologiques . . . . .	15
1.5.6.2	Défis Sociaux . . . . .	15
1.5.6.3	Défis environnementaux . . . . .	16
	Conclusion . . . . .	16
<b>2</b>	<b>Les compteurs électriques</b>	<b>17</b>
	Introduction . . . . .	18
2.1	Historique . . . . .	18
2.2	Les différents modèles des compteurs électriques . . . . .	19
2.2.1	Les Compteurs Électromécaniques . . . . .	19
2.2.1.1	Principe de fonctionnement . . . . .	20
2.2.2	Les Compteurs numériques . . . . .	21
2.2.2.1	Principe de fonctionnement . . . . .	21
2.2.3	Les compteurs modulaires . . . . .	23
2.2.3.1	Définition . . . . .	23
2.2.3.2	Différentes types de compteurs modulaires . . . . .	23
2.2.4	Les compteurs de type central de mesure . . . . .	27
2.2.4.1	Définition . . . . .	27
2.2.4.2	Installation des centrales de mesure . . . . .	28
2.2.4.3	Les principaux paramètres mesurés par une centrale . . . . .	28

2.2.5	Compteur de consommation d'appareillage . . . . .	29
2.2.5.1	Définition . . . . .	29
2.2.5.2	Principe de fonctionnement . . . . .	29
2.2.6	Compteur électrique communicant . . . . .	30
2.2.6.1	Définition . . . . .	30
2.2.6.2	Caractéristique des compteurs communiquant . . . . .	32
2.2.6.3	Principe de fonctionnement . . . . .	32
2.2.6.4	Le Courant porteur en ligne CPL . . . . .	33
2.2.6.5	Fonctionnalité du compteur communicant . . . . .	34
2.3	Les avantages et les inconvénients de chaque type . . . . .	36
2.4	Le rôle du compteur électrique . . . . .	38
	Conclusion . . . . .	38
<b>3</b>	<b>Conception matérielle et logicielle</b>	<b>39</b>
	Introduction . . . . .	40
3.1	Description . . . . .	40
3.1.1	Analyse des besoins . . . . .	40
3.1.2	Élaboration du cahier de charge . . . . .	41
3.2	Carte de commande (ESP8266 NodeMCU) . . . . .	41
3.2.1	Présentation de la carte ESP8266 . . . . .	42
3.2.2	Alimentation . . . . .	42
3.2.3	Les broches de NodeMCU . . . . .	43
3.2.4	La mémoire . . . . .	43
3.2.5	Programmation . . . . .	44
3.2.6	Comparaison entre NodeMCU et Arduino . . . . .	45
3.3	Carte de mesure . . . . .	45
3.3.1	Capteur de courant . . . . .	45
3.3.1.1	Présentation . . . . .	45

3.3.1.2	Les différents types de capteurs de courant . . . . .	46
3.3.1.3	Le capteur de courant SCT-013-000 . . . . .	47
3.3.2	Capteur de tension . . . . .	55
3.3.2.1	Présentation . . . . .	55
3.3.2.2	Types de capteurs de tension . . . . .	55
3.3.2.3	Capteur ZMPT101B . . . . .	56
3.4	Affichage . . . . .	63
3.4.1	Présentation . . . . .	63
3.4.2	Fonctionnement d'un afficheur LCD . . . . .	63
3.4.3	La mise en œuvre de l'afficheur LCD . . . . .	64
3.5	La conception logicielle . . . . .	64
3.5.1	Présentation du Logiciel Arduino . . . . .	64
3.5.1.1	L'interface du logiciel Arduino . . . . .	65
3.5.1.2	La structure d'un programme Arduino . . . . .	67
3.5.2	Présentation du Logiciel Proteus . . . . .	68
3.5.2.1	Interface de logiciel ISIS . . . . .	69
3.5.2.2	Les outils de logiciels . . . . .	70
	Conclusion . . . . .	72
<b>4</b>	<b>Simulation et réalisation</b>	<b>73</b>
	Introduction . . . . .	74
4.1	Simulation . . . . .	74
4.1.1	Prototype de simulation sur l'interface du Proteus Isis . . . . .	74
4.1.2	Description des paramètres entrant sur notre prototype . . . . .	75
4.1.2.1	Partie mesure . . . . .	75
4.1.2.2	Partie affichage . . . . .	79
4.1.2.3	Description du programme sur l'interface de Logiciel Arduino IDE . . . . .	79

4.2	Réalisation et tests . . . . .	85
4.2.1	Schéma de réalisation . . . . .	86
4.2.2	Description du prototype générale de compteur intelligent . . . . .	86
4.2.2.1	Le capteur de courant SCT-013-030 et NodeMcu . . . . .	87
4.2.2.2	Le capteur SCT-013 et circuit électrique . . . . .	89
4.2.3	Programmation . . . . .	90
4.2.3.1	Présentation du programme sur l'interface du logiciel Ar- duino IDE . . . . .	90
4.2.3.2	Tests et résultat . . . . .	92
	Conclusion . . . . .	96
	<b>Conclusion générale</b>	<b>96</b>
	<b>Annexes</b>	<b>98</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>99</b>

# Table des acronymes

Acronyme	Signification
<b>ADC</b>	Analog-to –digital Converter
<b>AMM</b>	Advanced Meter Management
<b>AMR</b>	Automatic Meter Reading
<b>AREF</b>	Analogue–REFerence
<b>AT</b>	L’abréviation de Attention
<b>BT</b>	Basse tension
<b>CA</b>	Courant alternatif
<b>CC</b>	Courant continu
<b>CPL</b>	Courant porteur de ligne
<b>DC</b>	Direct Current
<b>EDF</b>	Électricité de France
<b>EEPROM</b>	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
<b>EmonPi</b>	Raspberry Pi Energy Monitoring Shield (en français Bouclier de surveillance énergétique du Raspberry Pi)
<b>EmonTx</b>	Low Power Wireless Energy Monitoring Node
<b>GPIO</b>	General Purpose Input Output
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service

<b>GRDF</b>	Gaz Réseau Distribution France
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communication
<b>HT</b>	Haut Tension
<b>IDE</b>	Integrated Development Environment
<b>IOT</b>	Internet of Things
<b>LCD</b>	Liquid Crystal Display
<b>MT</b>	Moyen Tension
<b>OTA</b>	Over the Air
<b>PCB</b>	Printed Circuit Board
<b>PF</b>	Facteur de Puissance
<b>PDL</b>	Point de Livraison
<b>RAM</b>	Random Access Memory
<b>R<sub>b</sub></b>	Resistance Burder (Resistance de charge)
<b>RMS</b>	Root-Mean-Squard
<b>SDK</b>	Software development Kit
<b>TC</b>	Transformateur de Courant
<b>WIFI</b>	Wireless Fidelity

# Table des figures

1.1	La consommation énergétique mondiale en 2017. . . . .	7
1.2	Une nouvelle dimension pour l'IOT. . . . .	13
1.3	Tirée de la présentation d'une IOT. . . . .	14
2.1	Les compteurs classiques électromécaniques . . . . .	20
2.2	Le principe du fonctionnement. . . . .	22
2.3	Un compteur modulaire monophasé. . . . .	24
2.4	Compteurs électriques EDF. . . . .	24
2.5	Les compteurs électriques exports. . . . .	25
2.6	Les compteurs électriques mobiles. . . . .	26
2.7	Centrale de mesure recdigit NODUSTM et POWER. . . . .	27
2.8	L'architecture d'une centrale de mesure. . . . .	29
2.9	Un consomètre. . . . .	30
2.10	Un compteur communicant. . . . .	31
2.11	Principe de fonctionnement du compteur communicant. . . . .	33
2.12	Principe de fonctionnement du CPL. . . . .	34
2.13	Le chemin de transmission de l'information. . . . .	35
3.1	Schéma synoptique du montage. . . . .	40
3.2	NodeMCU ESP8266. . . . .	42

3.3	Les entrées et les sorties de NodeMCU. . . . .	43
3.4	Le capteur de courant SCT 013000. . . . .	48
3.5	Schéma et la vue interne du capteur SCT013000. . . . .	48
3.6	Carte son d'ordinateur avec un CT sous test. . . . .	52
3.7	Le rapport de saturation du cœur de SCT. . . . .	53
3.8	La courbe de saturation du cœur de capteur SCT. . . . .	54
3.9	L'erreur de phase pour trois valeurs des résistances différentes. . . . .	54
3.10	Capteur de tension de type capacitif et type résistif. . . . .	56
3.11	Schéma de câblage . . . . .	58
3.12	Schéma électrique de ZMPT101B . . . . .	58
3.13	Dimensionnement de capteur ZMPT101B. . . . .	58
3.14	Les caractéristiques de sortie (relation entre courant et voltage) . . . . .	60
3.15	Les caractéristiques de sortie(relation entre courant et angle de phase) . . . . .	60
3.16	L'afficheur LCD utilisé dans la réalisation . . . . .	63
3.17	Le schéma fonctionnel d'un afficheur LCD. . . . .	64
3.18	L'interface de logiciel Arduino. . . . .	65
3.19	Les cinq boutons essentiels pour démarrer le programme. . . . .	65
3.20	Les boutons les plus utiles . . . . .	66
3.21	Structure du logiciel Arduino. . . . .	67
3.22	L'interface de logiciel Proteus. . . . .	69
3.23	L'interface de logiciel ISIS. . . . .	70
3.24	Les outils de logiciel ISIS. . . . .	71
4.1	Simulation Prototype du projet sur Isis Proteus 8 (partie mesure). . . . .	74
4.2	la suite de simulation (partie affichage). . . . .	75
4.3	Arduino Uno sur logiciel Isis. . . . .	76
4.4	Transformateur de tension sur Isis. . . . .	76
4.5	Interface du transformateur abaisseur avec l'Arduino . . . . .	77

4.6	Circuit électrique capteur de courant SCT013 sur Isis. . . . .	78
4.7	Interface du capteur de courant type : Sct-01300 avec l'Arduino. . . . .	79
4.8	Circuit de brochage du LCD avec l'Arduino UNO sur logiciel Proteus. . . . .	80
4.9	Partie affichage. . . . .	80
4.10	Partie calculs et mesure. . . . .	81
4.11	Partie déclaration des bibliothèques et des variables d'entrées. . . . .	81
4.12	Injection du programme dans logiciel Proteus. . . . .	82
4.13	Résultat de simulation. . . . .	83
4.14	Déphasage entre courant et tension pour différentes charges . . . . .	84
4.15	Le facteur de puissance pour une charge inductive et capacitive. . . . .	85
4.16	Le facteur de puissance pour une charge résistive. . . . .	85
4.17	Schéma descriptif du système réalisé. . . . .	86
4.18	Décalage du signal du capteur . . . . .	88
4.19	Les connexions de la prise de capteur. . . . .	89
4.20	L'emplacement correct du SCT-013 avec le câble de la charge. . . . .	90
4.21	La partie de déclaration des variables et des bibliothèques utilisées. . . . .	91
4.22	Partie Wifi du programme (création de la page HTML , des variables d'entrées). . . . .	91
4.23	Partie de Wifi du programme (afficher les variables mesurées sur la page créée). . . . .	91
4.24	Partie d'initialisation de LCD et étalonnage des mesures. . . . .	92
4.25	Partie mesures du programme et affichage des valeurs calculées. . . . .	92
4.26	Circuit de réalisation pour la mesure du courant et de la tension. . . . .	93
4.27	Résultat du test sans charge. . . . .	93
4.28	Résultats du test pour une charge résistive. . . . .	94
4.29	Circuit réalisé pour une charge inductive. . . . .	95
4.30	Résultats du test pour une charge inductive. . . . .	95

# Liste des tableaux

2.1	Les avantages et les inconvénients de chaque type . . . . .	37
3.1	Tableau comparatif entre NodeMCU et Arduino. . . . .	45
3.2	Les spécification électrique du capteur ZMPT101B . . . . .	62
3.3	Les spécification d'environnement du capteur ZMPT101B . . . . .	62

---

# Introduction Générale

L'électricité représente désormais une partie importante de l'énergie consommée dans le monde. Depuis les années 1990, elle mène des recherches sur un enjeu social et un effet de serre importants.

La production d'électricité peut avoir différentes sources, la plus courante étant d'utiliser un générateur qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Cette énergie mécanique provient généralement d'une source d'énergie primaire (fossile, nucléaire ou renouvelable). L'électricité peut également provenir de l'énergie hydraulique, de l'énergie éolienne, des réactions chimiques comme les batteries ou du rayonnement, comme les panneaux solaires. La nécessité de produire de l'électricité en réduisant les émissions de carbone et en promouvant les énergies renouvelables est désormais au centre des préoccupations.

Une caractéristique remarquable de l'électricité est un type d'énergie qui ne peut pas être stocké directement, sauf dans des cas particuliers.

Pour cette raison, il est nécessaire de produire le courant demandé par les clients quand ils en ont besoin, pour fournir la consommation de pointe qui détermine la capacité requise pour la production, le transport et la distribution du courant électrique des installations. Pour limiter au maximum cette capacité, les sociétés de distribution tentent

---

d'offrir aux utilisateurs des prix variables en fonction des heures, des jours et des saisons pour inciter les réseaux à ajuster leurs demandes pour rationaliser la courbe de charge. En particulier, ne provoquez pas de dysfonctionnements généraux, car cela arrive parfois. C'est pour cela, les fabricants de compteurs ont dû développer des systèmes de mesure plus ou moins complexes qui non seulement enregistrent la consommation d'énergie électrique mais gèrent également des tarifs multiples qui prennent en compte au mieux le prix de revient instantané de cette énergie. Les modifications tarifaires sont effectuées par des horloges, des systèmes de télécommande centralisés ou d'autres dispositifs de communication ou de gestion.

Les compteurs électromécaniques sont utilisés depuis longtemps et ont résolu la plupart des problèmes qui se sont posés, mais les progrès de l'électronique et de l'informatique ont conduit à moins de volume et à des systèmes mieux adaptés. Beaucoup plus, c'est la naissance des compteurs communiquant pour l'amélioration de la gestion de l'énergie électrique.

## 1 Problématique

Le compteur communiquant permettra également la centralisation de l'information utile concernant les réseaux électriques en remontant les données directement du consommateur, ou commander l'enclenchement de tout appareil domestique à forte consommation électrique durant les périodes creuses, voire délester automatiquement ces mêmes appareils en période de pointe.

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

---

également les frais de coupure et de rétablir quand les dettes sont remboursées. Face à ces désagréments, les progrès réalisés en électronique et en informatique ont permis de développer un ensemble moins encombrant et capable d'améliorer la gestion de l'énergie électrique qui est le compteur communicant.

## 2 Description du plan de travail

Nous nous intéresserons à présenter brièvement la consommation d'électricité à l'échelle mondiale, notamment en Algérie, puis nous discuterons de la nécessité d'utiliser plusieurs appareils (notamment des compteurs d'électricité) pour contrôler la consommation d'électricité, nous proposons donc différents types de compteurs, Enfin, nous avons présenté notre réalisation et les perspectives proposés.

Le but de ce projet est d'étudier et de concevoir les composants nécessaires à un compteur avancé en calculant la puissance puis l'énergie en temps réel. Pour cette raison, nous avons divisé notre projet comme suit :

- Le premier chapitre donne un aperçu sur la consommation électrique au niveau mondial même à l'échelle nationale. Nous avons également discuté sur l'internet des objets (IOT) en donnant leur définition et l'architecture utilisé aussi nous avons précisé les défis et les enjeux de ce dernier.

- Le deuxième chapitre présente une description détaillée des compteurs électriques sachant que nous décrivons chaque types des compteurs avec leurs principe de fonctionnement et leur avantages et inconvénients.

- Le troisième chapitre est consacré à l'explication de la conception matérielle et logicielle du projet.

- Le quatrième chapitre traite de la mise en œuvre de notre système, des tests et des résultats.

Chapitre **1**

La consommation électrique

# Introduction

Dans ce chapitre, nous allons parler de la consommation d'électricité au niveau international et national en donnant un coup d'œil sur le besoin de contrôler cette consommation, aussi nous allons indiquer une petite définition sur les compteurs électrique et enfin nous allons établir notre problématique.

## 1.1 La consommation mondiale

La consommation mondiale d'énergie continue de croître sans possibilité de ralentissement dans un avenir proche comme le montre la figure 1.1. Cette tendance est favorisée par des facteurs économiques et sociologiques :

- L'augmentation de la population mondiale, en particulier dans les pays où la consommation d'énergie par habitant devrait augmenter à l'avenir. Par exemple, plus d'un milliard de personnes n'ont pas accès à l'électricité aujourd'hui. Environ 40% de la population mondiale vit sous le stress hydrique. Cela signifie que les besoins énergétiques augmenteront à l'avenir afin que la population puisse bénéficier d'un meilleur niveau de vie. Ce besoin énergétique supplémentaire n'est pas équilibré à l'échelle mondiale avec la diminution de la consommation d'énergie dans les pays développés. Selon l'agence internationale de l'énergie, la consommation moyenne d'énergie par personne a augmenté de 10% entre 1990-2008[1].

- L'urbanisation et l'industrialisation, en particulier dans les pays en développement. Cela signifie que l'avantage d'énergie sera nécessaire pour la construction, l'industrie et le transport des personnes et des marchandises.

La majeure partie de l'énergie est maintenant obtenue en brûlant des combustibles fossiles (environ 82% en 2012). Le résultat est l'émission de grandes quantités de  $CO_2$  (32 milliards de tonnes en 2014), qui a un impact reconnu sur le changement climatique avec l'effet de serre[1].

En outre, ces combustibles fossiles sont soumis à des fluctuations de prix en raison

de problèmes géopolitiques et de la concurrence entre les pays.

Pour ces raisons, de nombreux pays se sont engagés à ralentir l'utilisation des combustibles fossiles. Le protocole de Kyoto a été le premier accord international dans lequel les pays industrialisés se sont fixé des objectifs de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre. Un tel engagement a été approuvé lors de la Conférence des Parties en 2015 (COP21) pour limiter le réchauffement climatique dans des limites acceptables (maximum 2°C et 1,5°C si possible)[1].

Pour atteindre ces objectifs, diverses réglementations ont été adoptées dans de nombreux pays, par exemple sur la performance énergétique dans la construction.

L'une des solutions proposées pour résoudre le dilemme entre développement économique et émissions de  $CO_2$  est d'augmenter la part de l'électricité dans le mix énergétique. La production d'électricité représente environ 30% des combustibles fossiles consommés dans le monde et 68% de l'électricité est produite par la combustion de combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) [1]. Les actions doivent donc impliquer deux aspects :

- L'amélioration de l'utilisation des énergies renouvelables (notamment solaire et éolienne). Malheureusement, le coût reste un problème, surtout à une époque où le prix des combustibles fossiles est bas. Un autre problème majeur est la nature fluctuante de la production solaire et éolienne. Le stockage d'énergie est nécessaire, ce qui peut augmenter considérablement le coût des énergies renouvelables.

- Efficacité énergétique. L'objectif est de fournir le même niveau de service tout en consommant moins d'énergie. Il est possible d'économiser jusqu'à 30% d'énergie en utilisant des équipements électriques très efficaces et des contrôleurs intelligents. C'est le moyen le plus efficace pour limiter les émissions de  $CO_2$ , économiser de l'argent et réduire la consommation d'énergie.

Les facteurs influant sur l'évolution de la demande d'énergie dans le monde sont :

- Une augmentation de la population mondiale (9 à 10 milliards de personnes d'ici

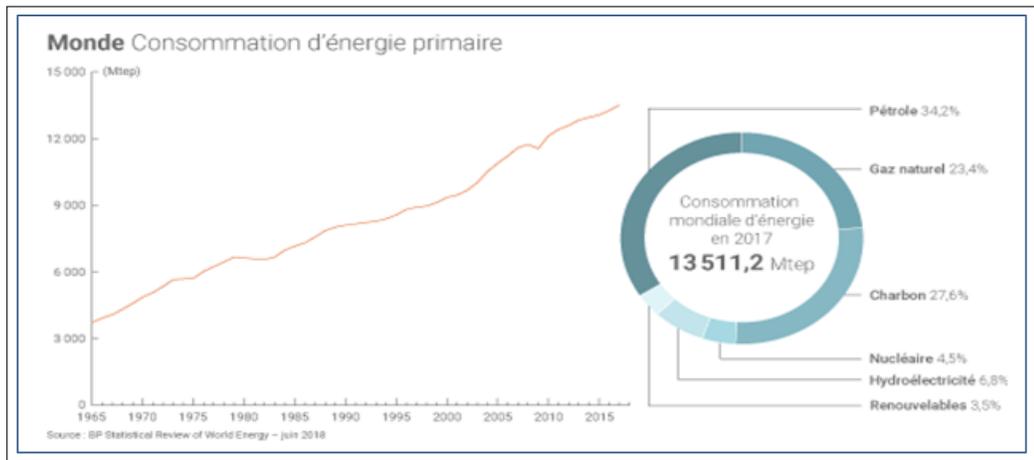


FIGURE 1.1: La consommation énergétique mondiale en 2017.  
[1]

à 2050).

- Les efforts des pays en développement pour combler l'écart économique (8 à 10% de croissance en Chine et en Inde).
- Maintenir une légère croissance de la demande d'énergie dans les pays développés, la demande d'énergie primaire continue d'augmenter, mais varie la répartition géographique.

Aujourd'hui, la région Asie-Pacifique, contre moins de 20% au début des années 1970, qui absorbe plus de 30% de la consommation mondiale[2].

## 1.2 La consommation en Algérie

Le secteur de l'énergie en Algérie a une position dominante dans l'économie, les hydrocarbures représentent 98% des recettes budgétaires et 60% des recettes d'exportation [3].

La consommation des ménages, a touché le seuil de 18 584 tonnes de produits pétroliers durant l'année 2017 pour la consommation résidentiel et l'agriculture, 18 584 tonnes par rapport à l'année précédente alors on remarque une augmentation de 6.6% [3].

Notez que l'énergie consommée par les ménages de l'électricité qui constitue plus de 60% et 98% de l'électricité est produite à partir du gaz naturel [3].

Toutefois, le gouvernement algérien commence à envisager une solution écologique en investissant dans les énergies renouvelables grâce à un programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, l'Algérie jusqu'en 2030, vise à installer des sources renouvelables de capacité 22 000 MW. Mais trois ans après ce plan, le résultat de rapport final de Global Wind Energy Council sur l'énergie éolienne ne mentionne même pas l'Algérie, et le rapport de l'Agence internationale de l'énergie solaire sur l'énergie solaire explique que seule l'Algérie est installée à 300 MW[4].

### 1.3 Le besoin de contrôler la consommation électrique

À l'heure actuelle, une grande proportion des consommateurs d'électricité ont besoin d'outils pour les aider à contrôler et l'amélioration la consommation de l'énergie. Pour atteindre cet objectif, il est important de savoir comment et quand cette énergie est consommée.

Ce qui n'est pas mesuré ne peut pas être développé. Par conséquent, les utilisateurs seront en mesure de prendre les bonnes décisions grâce à l'installation d'équipements de contrôle de la consommation pour réduire la consommation d'électricité et de réaliser des améliorations et des économies dans leur installation.

Nous pouvons vérifier notre consommation d'électricité en regardant régulièrement à notre compteur. La façon la plus simple est de comparer notre consommation à celle enregistrée à la même période au cours de l'année précédente, du mois par jour. Nous pouvons faire un relevé quotidien, annuel ou mensuel. Comprendre les différences de consommation par rapport aux différents mois de l'année peut éclairer d'avantage les causes d'augmentation ou de diminution par rapport à une autre année, mesurer la consommation selon l'appareil avec un wattmètre.

Le wattmètre est un petit appareil qui vous permet de contrôler plus précisément la consommation d'électricité de notre équipement. Nous le branchons dans une prise

électrique et le branchons dans l'appareil que nous voulons mesurer sa consommation. Affiche la consommation en kWh ou en valeur monétaire, selon le modèle, lorsque l'appareil est en veille ou en cours d'exécution.

Cette mesure individuelle permet à tous les membres de la famille de remarquer l'électricité nécessaire pour la télévision, l'ordinateur, la console de jeu, etc. Le point négatif est que si vous voulez tout mesurer, c'est assez ennuyeux. Et soyons d'autres, le calcul général ne sera pas vraiment précis. Mais il n'est pas mauvais de décrire la lueur de l'énergie à la maison. Ces prises électriques ont également des versions intelligentes d'une année à l'autre.

### 1.4 Les compteurs électriques

Le compteur d'électricité est un appareil électrotechnique utilisé pour mesurer la quantité d'énergie électrique consommée en un seul endroit : résidentiel, industriel, etc. Il est utilisé par les fournisseurs d'électricité pour facturer au client la consommation d'énergie.

Dans un premier temps, ces appareils avaient une conception électromécanique, mais maintenant ils ont été remplacés par des modèles électroniques. Les nouvelles versions des compteurs d'électricité sont des compteurs de communication. nous distinguons plusieurs modèles :

- Compteurs classiques électromécaniques.
- Compteurs électroniques.
- Compteurs modulaires.
- Compteurs de type central de mesure.
- Compteur de consommation d'appareillage.
- Compteur électrique communicant. Avec la modernisation de la télécommunication, de l'informatique et de la recherche permanente de la rentabilité, l'idée est venue d'intégrer au compteur classique des moyens de transmettre les index directement au four-

nisseur, réalisant un compteur dit communicant, qui permet de communiquer directement avec les systèmes d'information des gestionnaires de réseau de distribution d'électricité, rendant inutiles les relevés sur site. Le compteur communicant informera le client de sa consommation en temps réel réduisant de ce fait les coûts liés au relevé des compteurs.

Le besoin d'électricité augmente chaque jour en raison du développement de la technologie et de l'augmentation de la population. Une partie importante de la charge du réseau est composée de consommateurs résidentiels et commerciaux. Le comportement de charge de chaque bâtiment est important pour les opérateurs car les effets sur le réseau ne peuvent être négligés. Les maisons intelligentes ont été développées pour aider à réduire la consommation d'électricité d'un bâtiment et améliorer l'efficacité énergétique. De nos jours, les maisons intelligentes sont devenues un élément important des réseaux intelligents. Par conséquent, la nécessité de contrôler la consommation d'énergie électrique dans ces maisons augmente. Pour y parvenir, les méthodes et technologies utilisées doivent être faciles à installer et rentables. Aujourd'hui, l'Internet des objets (IoT) est largement utilisé dans un large éventail de domaines tels que l'industrie automobile, la logistique, la santé, les réseaux intelligents, les villes intelligentes et les maisons intelligentes.

Le compteur intelligent basé sur le Web pour les systèmes de maison intelligente à usage général a été mis en œuvre. L'application réseau IoT a été développée pour surveiller la consommation d'énergie dans une application de maison intelligente. Ce réseau IoT pourrait être amélioré et pourrait surmonter les défis d'efficacité énergétique et de géralité. Outre la surveillance de la consommation d'énergie, l'interface utilisateur Web développée à l'aide de l'ESP8266 pourrait être utilisée pour la mesure et le contrôle de nombreuses grandeurs physiques en fonction des exigences des différentes applications. Le système peut également être utilisé pour développer d'autres applications générales ou éducatives si nécessaire.

## 1.5 Internet of things (IOT)

La révolution de l'Internet des objets (IoT) a créé une nouvelle façon d'utiliser les systèmes informatiques, bénéficiant de la technologie des systèmes embarqués et bien sûr de toutes les avancées dans les protocoles de réseau. Cette révolution a introduit les systèmes informatiques dans la vie quotidienne des humains et leur a permis de vivre dans leur monde réel. Cette émergence a créé un grand nombre d'informations à gérer et un très grand nombre de services à configurer dans l'ensemble du système. Cela a rendu les applications très dynamiques et variées considérablement au fil du temps. De plus, il est difficile pour les développeurs de suivre toutes les modifications et de garantir les mises à jour de leurs applications[5].

### 1.5.1 Objet connecté (OC)

Avant de définir le concept d'Internet des objets, il est important de définir l'objet connecté, qui est un appareil dont la finalité principale n'est pas un système informatique ou une interface d'accès Web, par exemple un tel objet. La conception de la machine à café ou de la serrure n'intègre pas de système informatique ou ne se connecte pas à Internet.

L'intégration de la connexion Internet à OC permet de s'étendre en termes de fonctions et d'interaction avec l'environnement, devenant ainsi un OC Enrichi OC(OCE), par exemple, l'intégration de la connexion Internet à OC. La machine à café le rend accessible à distance[6].

Un objet connecté a une valeur lorsqu'il est connecté à d'autres objets et briques logicielles, par exemple : une montre connectée n'a d'intérêt qu'au sein d'un écosystème orienté santé/bien-être, qui va bien au-delà de connaître l'heure. Un OC à trois éléments clés[6] :

- Les données produites ou reçues, stockées ou transmises.
- Les algorithmes pour traiter ces données.
- L'écosystème dans lequel il va réagir et s'intégrer.

Les propriétés d'usage d'un OC :

- Ergonomie (utilisabilité, maniabilité, etc).
- Esthétisme (formes/couleurs/sons/sensations, etc).
- Usage (histoire culturelle, profil, matrice sociale, etc).
- Méta-Morphisme (adaptabilité, personnalisation, modulation, etc).

### 1.5.2 Définition d'Internet of things

L'Internet des objets ou « Internet of things » est l'interconnexion entre Internet et des objets, des lieux et des environnements physiques.

La définition de l'Internet des objets s'est développée en raison de l'intégration de plusieurs technologies, de l'analyse en temps réel, de l'apprentissage automatique, des capteurs de produits de base et des systèmes embarqués.

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

Il regroupe donc[7] :

- Les objets connectés directement à internet.
- Le machine to machine -M2M- c'est-à-dire la communication entre machines et l'accès au système d'information sans intervention humaine que ce soit Bluetooth, RFID, Wifi, 4G et bientôt la 5G, etc.Surtout avec l'avancement technologique des réseau cédulaire et la couverture qui offre.[8]

• Les « smart connected devices » tels que les tablettes ou smartphones. La figure1.2 montre une nouvelle dimension pour l'IOT.

### 1.5.3 Historique

Le terme Internet des objets a 16 ans d'histoire. Cependant, depuis au moins les années 1970, la véritable idée de connecter des appareils existe depuis plus longtemps. À l'époque, cette idée était souvent appelée «Internet automobile» ou «informatique omni-

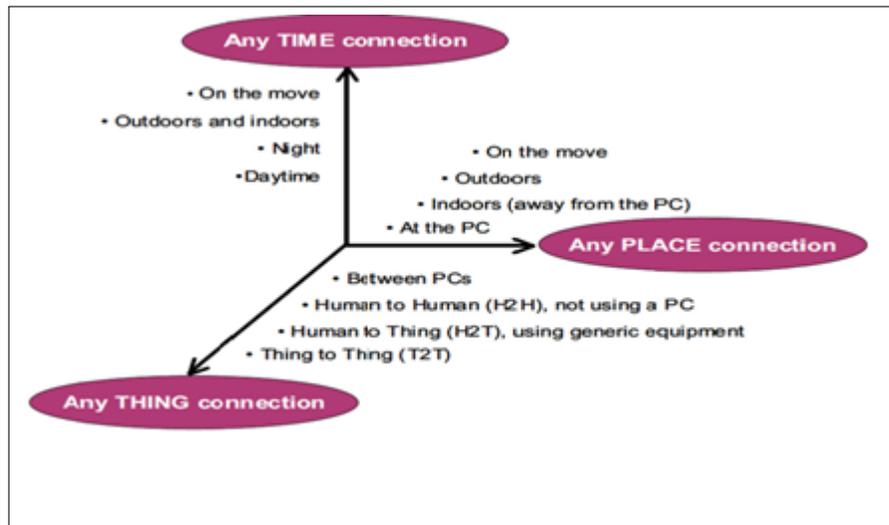


FIGURE 1.2: Une nouvelle dimension pour l'IOT.  
[6]

présente». Mais le véritable terme «Internet des objets» a été inventé par Kevin Ashton pendant son séjour chez Procter& Gamble en 1999[9]. Ashton, qui est engagé dans l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement, espère attirer l'attention des cadres supérieurs sur une nouvelle technologie passionnante appelée RFID. Comme Internet était la nouvelle tendance la plus en vogue en 1999, et parce que cela avait du sens, il a appelé le discours «Internet des objets».

Bien que Kevin ait attiré l'attention de certains dirigeants de Procter& Gamble, le terme «Internet des objets» n'a pas attiré l'attention des gens au cours des dix années suivantes.

### 1.5.4 Architecture d'IOT

En mars 2015, le comité de l'Internet Architecture Board (IAB) a publié la RFC7452. Il fournit quatre modèles communs d'interaction entre les acteurs de l'IoT. La figure 1.3 montre la chaîne de valeur (IoT / M2M)[6].

- Communication entre objets, ce modèle est basé sur une communication sans fil entre deux Objets. Les informations sont transmises via l'intégration de technologies de communication telles que ZigBee ou Bluetooth[5].

- Communication des objets vers le cloud : Dans ce modèle, les données collectées par le capteur sont envoyées à la plateforme de service via le réseau.
- Communication entre l'objet et la passerelle Ce modèle repose sur un intermédiaire qui établit un lien entre le capteur et l'application dans le cloud.
- Des objets au partage des données en back-end :le but de ce modèle est de réaliser le partage de données entre les fournisseurs de services. Il est basé sur le concept de «réseau programmable». Le fabricant définit une API qui permet au fabricant de fonctionner.

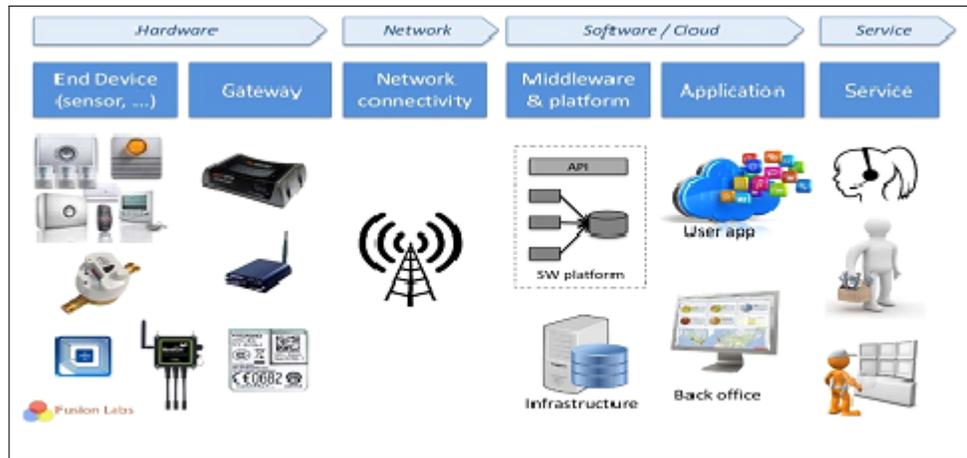


FIGURE 1.3: Tirée de la présentation d'une IOT.  
[6]

### 1.5.5 Applications

Les applications de l'IOT touchent pratiquement aujourd'hui toute la vie quotidienne[6] :

- L'IOT dans le domaine de la santé.
- La révolution numérique en réponse aux impératifs énergétiques.
- La domotique ou maison connectée.
- L'industrie connectée.
- L'Internet des objets dans l'agriculture.
- Les objets connectés dans les élevages.
- Smart retail : des supermarchés branchés.
- Des villes intelligentes et connectées.
- L'Internet des Objets au service de la sécurité routière.
- Gestion de ses appareils avec les accessoires connectés.

### 1.5.6 Les enjeux et les défis de l'IOT

#### 1.5.6.1 Défis Technologiques

Les enjeux de la programmation informatique sont énormes. De nouvelles méthodes de conception, de développement, de débogage et de maintenance doivent émerger.

Le principal défi de la technologie et de l'aspect pratique de l'Internet des objets est de pouvoir gérer l'hétérogénéité de la technologie et des normes d'objet, ainsi qu'un grand nombre d'exigences et d'utilisations applicatives dans les services de sécurité. Ces exigences peuvent changer avec le temps, selon le contexte et les goûts. En effet, comment s'assurer que des millions d'objets hétérogènes équipés de technologies de communication hétérogènes sont authentifiés individuellement dans plusieurs domaines de gestion[6].

#### 1.5.6.2 Défis Sociaux

Le défi pour l'avenir est de répondre de la manière la plus créative possible aux problèmes anthropologiques, aux changements du système climatique, à la biodiversité, aux

impacts industriels et aux transitions énergétiques, aux impacts biopolitiques et à l'accessibilité morale. Diversité culturelle, redéfinissant le concept de « données personnelles. Cependant, cela pose également un problème, c'est-à-dire en proposant des modèles analytiques, en développant continuellement des cadres conceptuels, des méthodes de conception et des règles, dans une société centrée sur les données, en tant que restriction et équilibre de la diffusion des connaissances et des technologies. Grâce aux nouvelles informations d'utilisation collective, tous les utilisateurs peuvent identifier l'utilisation.

### 1.5.6.3 Défis environnementaux

Le nombre croissant d'objets connectés a un impact sur l'environnement. D'une part, l'augmentation des déchets et leur recyclage, d'autre part l'augmentation de la consommation d'énergie, peuvent être transformées en déchets. C'est un enjeu majeur qui attire de plus en plus de gouvernements pour étudier l'impact des objets connectés sur le réchauffement climatique et son impact sur la population. Par exemple : l'union européenne s'est fixé pour objectif 2020 de réduire les émissions de dioxyde de carbone de 20% et d'augmenter l'efficacité énergétique de 20% pour atteindre 20% d'énergie renouvelable[6].

## Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé de la consommation électrique à l'échelle internationale et nationale. Puis nous avons touché le besoin nécessaire de contrôler la consommation électrique et nous avons donné un coup d'œil, sur la définition des compteurs électrique et nous avons terminé par une présentation du l'IOT .

Dans le chapitre suivant nous allons commencer une historique du comptage d'électricité, aussi nous donnons des définitions de chaque type des compteurs électriques et leurs avantages, inconvénients et nous terminons par le rôle de compteur électrique.

Chapitre **2**

Les compteurs électriques

### Introduction

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

### 2.1 Historique

Lorsque les fournisseurs d'électricité ont commencé à compter le prix du kWh consommé et à établir leurs factures, les fournisseurs d'électricité ont mesuré le poids de l'électricité chez leurs abonnés. À la fin du XIXe siècle, une forme différente est apparue aujourd'hui.

En 1880, les abonnés à l'électricité recevaient une facture forfaitaire basée sur les lampes installées avec un abonnement mensuel. Cette formule ne correspondait pas à la réalité des prix[7].

En même année, Thomas Edison a créé un système beaucoup plus efficace : le compteur électrolytique. Ce compteur électrolytique contenait deux électrodes en cuivre. Le premier était sous une solution acide ; choc électrique. Ce matériau a été laissé sur la deuxième électrode[10].

Lorsque l'abonné a consommé plus d'électricité, la masse de matière accumulée dans la deuxième électrode était importante, nous pouvons dire que le poids du matériau accumulé donne la quantité d'énergie consommée.

Pour économiser la consommation, l'électricien a dû apporter les électrodes usagées aux installations de l'entreprise de distribution pour les collecter et les peser chaque mois donc un peu de simplicité à la fin du premier compteur de disques.

En 1894, un ingénieur de Westinghouse a inventé un système de comptage d'électricité basé sur un disque à induction magnétique qui tourne plus rapidement lorsque la

quantité consommée est importante. Le compteur à disque électrique était né.

Au début des années 60, EDF s'est engagé à doter les abonnés français de l'électricité d'une génération particulièrement nouvelle de compteurs électromécaniques à disques robustes et faciles à installer : enfin le Blue Meter qui permet d'utiliser la plupart des appareils électroménagers en même temps sans risque de faire sauter des fusibles[10].

Le Compteur Bleu et ses différentes versions développées depuis 1963 contiennent encore un grand nombre de foyers français[10].

Les compteurs d'aujourd'hui sont plus intelligents et plus communicatifs, c'est un compteur électronique avec affichage numérique qui fournit plus d'informations et comprend un système de protection contre la foudre plus efficace.

Le compteur intelligent Linky mesure toutes les maisons qui seront abonnées à l'électricité jusqu'en 2021. Ce compteur intelligent effectue automatiquement et à distance des opérations qui nécessitent l'intervention d'un technicien : mise en service, lecture, modification du contrat.

## 2.2 Les différents modèles des compteurs électriques

### 2.2.1 Les Compteurs Électromécaniques

La figure 2.1 présente les compteurs classiques électromécaniques qui sont les plus anciens. Ils sont reconnus par leur disque rotatif en proportion de l'énergie consommée. Ils sont connectés à l'aide de trois ports. Ses intérêts sont la grande force et la facilité d'installation. Généralement, les compteurs sur le marché sont des compteurs renouvelés.



FIGURE 2.1: Les compteurs classiques électromécaniques  
.[11]

### 2.2.1.1 Principe de fonctionnement

C'est une situation reconnaissable en raison de sa forme carrée et de sa couleur bleue et noire. Il est fixé au mur à l'aide de trois points de fixation, équipé d'un index de défilement mécanique, on distingue deux modèles monophasé et triphasé. Le compteur monophasé comporte :

- Cinq chiffres qui indiquent la consommation.
- Le numéro de série ou PDL (point de livraison) à souscrire correspond aux trois derniers chiffres.
- Un disque rotatif en aluminium constituant le rotor il effectue la consommation d'hébergement en temps réel.
- Deux inducteurs, l'un de la **Tension** constitué par une bobine comportant un grand nombre de spires de fil fin et l'autre de **L'intensité** constitué par quelques spires de gros fil.
- Un aimant de freinage.
- Un totaliseur d'énergie constitué d'un ensemble d'engrenages pour l'affichage.

Dans les compteurs électromécaniques, l'énergie est calculée en comptant le nombre de tours d'un disque entraîné par des courants induits. Son principe de fonctionnement est basé sur l'électromagnétisme. Un disque mobile (généralement en aluminium) monté sur un arbre rotatif entraîne un mécanisme de comptage mécanique. Ce disque est soumis à des champs magnétiques alternatifs produits par deux électro-aimants disposés autour de lui, l'un est guidé par le courant circulant dans le fil de phase, et l'autre par un courant proportionnel à la tension du réseau.

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

Le compteur dispose également d'un dispositif de freinage qui permet :

- Un étalonnage de l'appareil.
- Une réduction de la vitesse de rotation du disque, limitant ainsi l'usure sur l'axe de rotation.
- Le disque s'arrête immédiatement après une panne de courant.

### 2.2.2 Les Compteurs numériques

Bien que ce type de compteur existe depuis les années 1980, il est apparu dans le paysage français à partir des années 1990. Le système de comptage est électronique et généralement moins encombrant que les compteurs traditionnels. L'opération est réalisée à l'aide d'un shunt. La tension mesurée aux bornes de ce shunt est proportionnelle au courant qui le traverse. Il peut s'agir d'écrans mécaniques ou LCD (numériques). Ces compteurs sont plus sensibles aux surintensités et surtensions et surtout aux coups de foudre[12].

#### 2.2.2.1 Principe de fonctionnement

Le compteur électronique numérique correspond au compteur de deuxième génération. Il n'y a pas de roues, toutes les informations sont affichées sur un seul écran. Le compteur se compose donc d'un cadran ainsi que de deux touches (boutons poussoirs) S

et D. Le compteur affiche en ordre "Option tarifaire sélectionnée" (exemple : tarif de base ou tarif hors pointe aux heures de pointe), puissance souscrite (exprimée en ampères et en kVa), puissance instantanée en watts, intensité maximale atteinte, indice de consommation et numéro de série du compteur.

Pour la mesure des courants forts, le compteur est associé au TC (Transformateur de courant), cela réduit le courant réellement mesuré grâce à l'introduction d'un transformateur.

Le principe de fonctionnement peut être illustré dans le schéma fonctionnel 2.2, qui montre la configuration la plus complète pour les différentes fonctions utilisées. Selon la technologie utilisée pour le compteur, certaines fonctions peuvent être regroupées : par exemple, il existe certains types de multiplicateurs qui fonctionnent directement à partir des signaux de tension et de courant et ne nécessitent donc pas d'obtenir ces données.

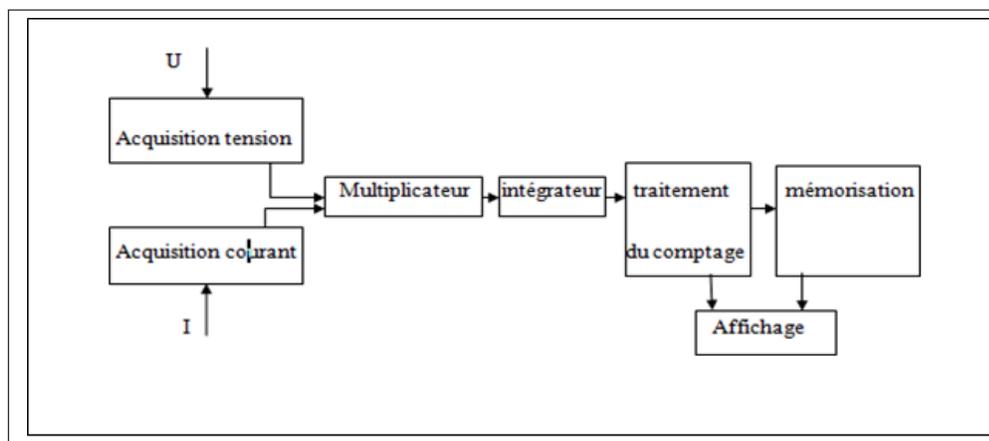


FIGURE 2.2: Le principe du fonctionnement.  
[12]

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

### 2.2.3 Les compteurs modulaires

#### 2.2.3.1 Définition

Les compteurs d'électricité modulaires disposent d'un système de mesure électronique. Ils ont l'avantage de gagner de la place. Il est également facile à installer car ils sont montés sur le rail DIN. L'écran peut être mécanique ou LCD (numérique).

La largeur des compteurs d'électricité modulaires est calculée en modules ,il s'agit d'un multiple du module et il a 17,5 mm de large, ces compteurs monophasés ont généralement une largeur de 1 à 4 modules et pour les compteurs d'électricité modulaires triphasés ont généralement une largeur de 4 à 7 modules[13].

Tous les équipements électriques ont une certaine largeur, qui est déterminée par le nombre de modules.

#### 2.2.3.2 Différentes types de compteurs modulaires

- Monophasé ou triphasé.
- Simple ou double tarif.
- Avec sortie d'impulsion.
- Conforme MID (Pour la facturation d'électricité). Nous définissons chaque type

en commençant par le compteur monophasé et triphasé : Il peut être utilisé dans les zones de camping, les marinas, les bornes de recharge, au soleil, au vent, etc. Pour surveiller la facturation et la consommation comme le montre la figure2.3. Nous proposons des compteurs proposons électriques MID, Modbus, Mbus, certifiés tarif simple et double.



FIGURE 2.3: Un compteur modulaire monophasé.  
[13]

Et ensuite nous avons les compteurs électriques EDF (figure 2.4) qui peuvent être utilisés non seulement pour la mesure mais également pour la sous-mesure. Il est certifié MID et permet une gestion automatique des heures de pointe et des heures creuses. Il permet également de gérer les différents tarifs EJP et TEMPO d'EDF. Il détecte le signal envoyé par le courant porteur par l'EDF et passe d'une recette à l'autre [13].



FIGURE 2.4: Compteurs électriques EDF.

Aussi, les compteurs électriques exports (figure 2.5), ces derniers ont été développés spécialement pour le marché africain. Ils sont très robustes pour une utilisation dans des conditions de température élevée. Leurs conceptions leur permettent d'être facilement scellées. En cas de panne de courant, il est toujours possible de lire l'enregistrement kWh car l'écran est mécanique.



FIGURE 2.5: Les compteurs électriques exports.  
[13]

Et enfin, nous avons en plus les compteurs électriques mobiles (figure 2.6) qui conviennent aux installations temporaires. Nous pouvons les déplacer très facilement. Par exemple, ils sont utilisés dans les terrains de camping, les marinas et les salles d'exposition.



FIGURE 2.6: Les compteurs électriques mobiles.  
[13]

### 2.2.4 Les compteurs de type central de mesure

#### 2.2.4.1 Définition

Nous disons un enregistreur de données ou bien une centrale de donnée qui donne généralement plus d'informations qu'un simple compteur d'électricité. Il donne généralement la tension, l'intensité et mesure également les harmoniques. Il a souvent de la mémoire pour enregistrer ces montants.

Ces centrales de mesure, apparues à la fin des années 80, visaient initialement à fournir certaines fonctions de sortie tout en facilitant l'affichage des principaux paramètres de l'installation électrique à trois sorties[14].

En dix ans, elles se sont considérablement développées pour devenir un organe intelligent permettant de contrôler l'ensemble de l'installation.

Dans le même temps, leur format a été considérablement réduit (il existe aujourd'hui des centrales au format DIN 96 illustrée dans la figure 2.7), et elles sont également de plus en plus simples à mettre en œuvre et à exploiter[14].

Les centrales de futur donnera des informations en plus, tout comme elles peuvent gagner en auto-diagnostic et en expertise (analyse des priorités et des perturbations).



FIGURE 2.7: Centrale de mesure recdigit NODUSTM et POWER.  
[14]

### 2.2.4.2 Installation des centrales de mesure

Les systèmes de mesure trouvent leur place à toutes les étapes du réseau électrique, que ce soit en production, en transport ou en distribution. Différents formats avec ou sans fonction d’affichage, selon l’application, ils sont adaptés aux besoins des réseaux HT, MT ou BT. Par exemple, nous trouverons :

- Pour contrôler la puissance fournie par un alternateur, par exemple dans les centrales électriques.
  - Pour la surveillance à distance des boucles dans tous les centres de distribution de distribution électrique MT.
  - Dans les tableaux de commande du moteur.
  - Pour la surveillance du réseau dans les installations industrielles départs MT / BT.
  - Pour l’inspection et la mesure dans les grandes zones industrielles ou commerciales et le contrôle du comptage divisionnaire BT.
- 
- Pour les consommateurs d’énergie pour l’analyse de la consommation et la gestion de la charge.

La figure 2.8 montre l’architecture d’une unité de mesure, comme l’afficheur, qui est utilisé pour les besoins de maintenance et d’exploitation du réseau, et il présente également l’avantage de mémoriser les valeurs extrêmes atteintes par les paramètres du réseau. Il a la capacité de capter, transformer et utiliser des informations à distance avec différentes sorties (impulsion et analogiques.) et grâce aux sorties d’alarme, l’unité de mesure crée une surveillance de la qualité de la source électrique.

### 2.2.4.3 Les principaux paramètres mesurés par une centrale

Nous avons plusieurs valeurs instantanées, moyennes, maximales et minimales mesurés :

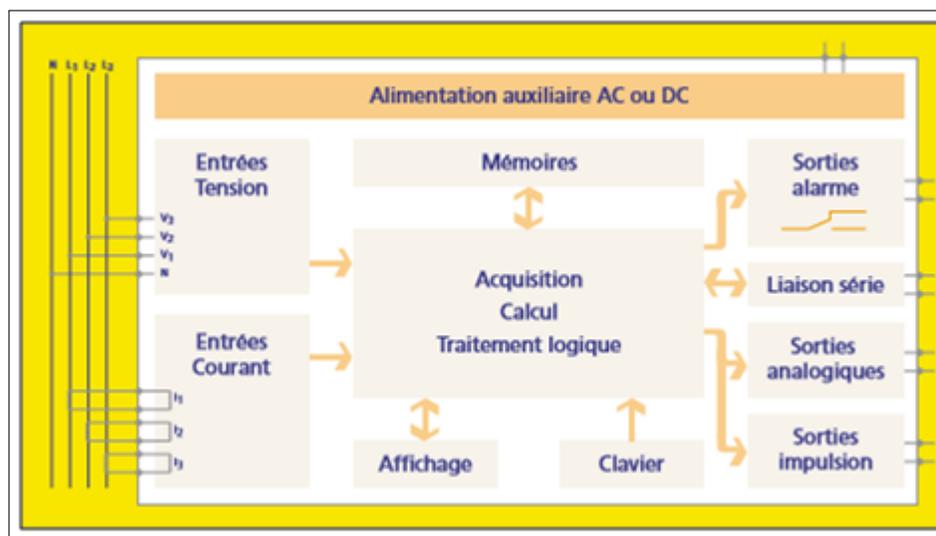


FIGURE 2.8: L'architecture d'une centrale de mesure.  
[14]

- Tensions simples et composées en 3 phases.
- Courant par phase, courant du neutre.
- Puissance active, réactive et Puissance apparente par phase et globale.
- Fréquence.
- Facteur de puissance par phase et global( $\cos\phi$ ).
- Taux de distorsion harmonique par phase, tension et courant.
- Énergie active, réactive et visible consommée.
- Énergie active, réactive et apparente, etc.

## 2.2.5 Compteur de consommation d'appareillage

### 2.2.5.1 Définition

L'appareil de mesure de l'énergie électrique (aussi appelé consomètre(figure2.9)est placé entre la prise et l'appareil à mesurer. Le système de comptage est électronique.

### 2.2.5.2 Principe de fonctionnement

Le principe est simple : insérez la fiche entre la prise et l'appareil, puis un écran affiche la mesure du courant et de la tension et la consommation en direct. La disponibilité

de ces informations peut déjà améliorer vos habitudes, par exemple en incarnant une énergie qui réduit le coût d'une heure.



FIGURE 2.9: Un consommètre.  
[11]

### 2.2.6 Compteur électrique communicant

#### 2.2.6.1 Définition

la figure 2.10 montre un compteur communicant, c'est un système de mesure avancé (intelligent), d'une part, comprend l'installation de compteurs de communication (avec des capacités de communication bidirectionnelles) qui peuvent stocker des informations à partir de mesures d'énergie. D'autre part, la mise en place de systèmes de transmission de données (transmission et réception d'informations) qui permettent aux informations sur les compteurs de circuler rapidement et de manière fiable entre les utilisateurs, les administrateurs réseau et les fournisseurs.



FIGURE 2.10: Un compteur communicant.  
[15]

Il existe en France plusieurs projets des compteurs communicants nous avons les citer par la suite :

— **Linky pour l'électricité**

Enedis, le principal distributeur d'électricité en France, a lancé le projet Linky en 2007 (son nom a été officiellement donné au compteur en mars 2009).

Et en 9 juillet 2013, le Premier ministre français a annoncé le programme de distribution à grande échelle du nouveau compteur. Installation d'Enedis de 3 millions de mètres d'ici 2016 et 35 millions d'installation d'ici 2020[15].

— **Projet GAZPAR Pour le gaz**

GRDF prévoit d'installer des compteurs de communication de gaz appelés Gazpar à partir de fin 2015. GRDF a annoncé qu'après l'installation de 140 000 compteurs Gazpar dans quatre régions pilotes, sa distribution à grande échelle a débuté le 24 mars 2017 à compter du 1er mai 2017 ; 700 000 mètres seront établis d'ici fin 2017 ; Jusqu'à ce que 11 millions de compteurs de gaz en France soient complètement remplacés d'ici 2023[15].

### — Projets de compteurs AMR pour l'eau

Trois grands distributeurs d'eau (Veolia, Lyonnaise des Eaux et Saur) en France, pour équiper toute la ville ou une zone industrielle ou un immeuble d'appartements ou un bureau. Plusieurs fabricants de compteurs proposent des solutions sur mesure (tantôt liées aux données produites, tantôt spécifiques) que celles utilisées pour communiquer les compteurs utilisés pour le gaz et l'électricité, le système de collecte peut être courant pour cela (collecte mobile) par piéton ou véhicule ou collecte via réseau fixe ou mobile)[15].

#### 2.2.6.2 Caractéristique des compteurs communiquant

Nous distinguons deux niveaux d'appareils de mesure avancés :

- Un compteur de communication est un compteur appelé AMR (Automatic Meter Reading) avec des technologies qui mesurent la consommation d'électricité, d'eau ou de gaz en détail et éventuellement en temps réel. La transmission des données a lieu via des ondes radio ou des flux d'opérateurs en ligne au gestionnaire de réseau de distribution (CPL) responsable de la mesure.

- Si le compteur est également "programmable à distance" et équipé d'un dispositif d'arrêt à distance, il est appelé "AMM" (Advanced Meter Management). Ces fonctions constituent la base de l'évolution des réseaux (électricité, eau ou gaz) vers des "réseaux intelligents".

#### 2.2.6.3 Principe de fonctionnement

La communication a lieu entre une série de compteurs installés dans les locaux de l'utilisateur et un concentrateur situé dans la station de distribution publique, grâce à la technologie Line Carrier Current (PLC), qui collecte ces données pour les transmettre à l'administrateur du réseau.

Chaque compteur et concentrateur est associé à un modem PLC qui code et décode les données en un signal électrique et superpose le courant électrique à 50 Hertz.

Ensuite, au niveau des concentrateurs, les données sont codées numériquement, puis transmises via le système de réseau GPRS (General Packet Radio Service) ou GSM (Global System for Mobile Communication) au système informatique de l'administrateur du réseau[12] comme le montre la figure 2.11.

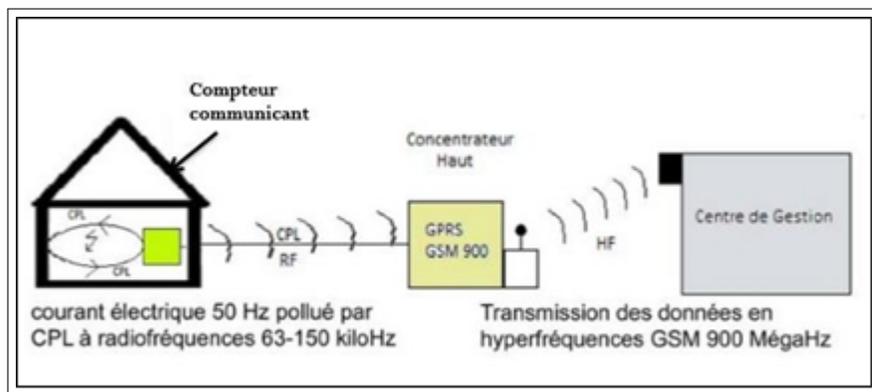


FIGURE 2.11: Principe de fonctionnement du compteur communicant.  
[12]

### 2.2.6.4 Le Courant porteur en ligne CPL

#### A. Principe de fonctionnement

Le compteur de communication utilise la technologie Line Carrier Current (PLC), qui permet d'envoyer et de recevoir des informations sur le câblage électrique existant à la maison.

Le principe est présenté dans la figure 2.12, nous superposons les câbles en un signal électrique de 50 Hz qui transmet un signal haute fréquence (1,6-30 MHz) et un signal de faible amplitude, c'est-à-dire le signal de "codage électrique" des données qu'une personne veut transporter. Compte tenu de sa fréquence et de son amplitude, le signal ajouté ne perturbe pas le courant initialement circulant à 50 Hz et ne décode qu'à la sortie à l'aide d'un filtre passe-haut pour récupérer ce signal (courbe rouge) et décode les données souhaitées[16].

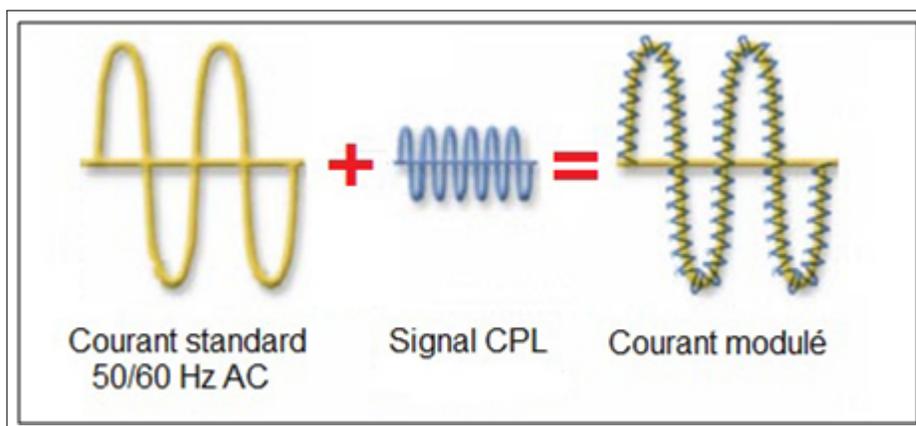


FIGURE 2.12: Principe de fonctionnement du CPL.  
[12]

## B. Transmission de l'information

L'utilisation du courant porteur en ligne permet d'acheminer les informations sur les lignes basses tension. Par conséquent, il est nécessaire d'utiliser une autre technique pour transmettre des informations au fournisseur lorsque les tensions sont moyennes ou élevées.

Pour ce faire, il est prévu d'utiliser le réseau GPRS. Le «General Packet Radio Service» permet de déplacer les données, en particulier pour les données des téléphones portables. Le principe sera donc de placer une carte SIM dans chaque hub qui permettra d'envoyer des informations à un centre de traitement et de récupération de données, en utilisant le schéma 2.13 pour résumer le chemin de transmission de l'information .

### 2.2.6.5 Fonctionnalité du compteur communicant

#### A. Fonctionnalités standards

- Enregistrement de divers indices de consommation.
- Enregistrement de la valeur maximale de la puissance consommée.
- Communication locale.
- Reporter à distance de la production.

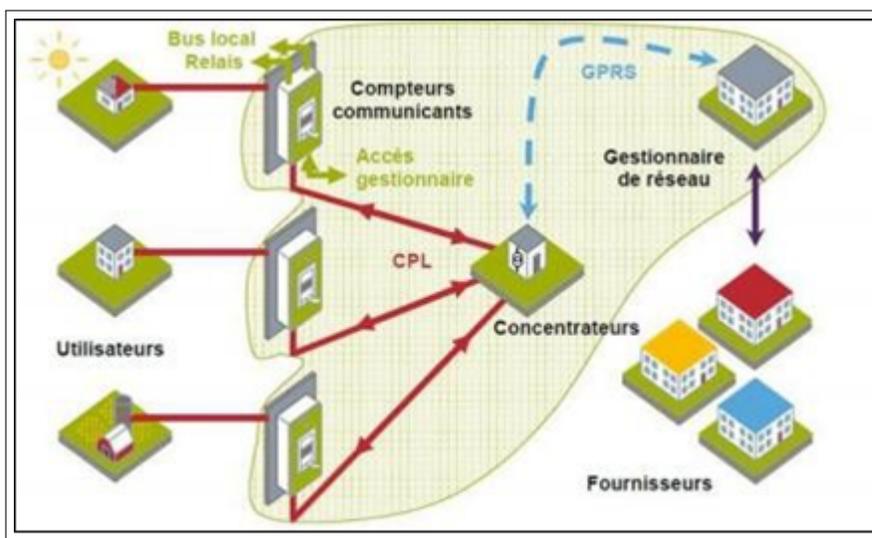


FIGURE 2.13: Le chemin de transmission de l'information.  
[17]

- Mesure de déclenchement à partir de la plage de tension réglementaire.
- Mesure des temps d'arrêt.

### B. Autres fonctionnalités

- Enregistrement de divers indices de consommation pour le fournisseur.
- Lecture de la consommation à distance.
- Courbe de taux de change avec étapes configurables.
- Remplacement pour débrancher l'alimentation.
- Arrêt à distance et autorité de récupération.
- Écran avancé.
- Amélioration de la communication locale.
- Gestion de 7 contacts externes supplémentaires.
- Détection de la fraude.

## 2.3 Les avantages et les inconvénients de chaque type

type de compteurs	Avantages	Inconvénient
Les Compteurs Électromécaniques	Affichage permet de lire et comprendre la coupure de courant. Enregistrement de la dernière valeur dans les cas, de détérioration ou de vandalisme	Affichage mécanique très ancien. Les compteurs électromécaniques sont conçus pour tourner dans un seul sens, mais s'ils inversent le flux d'électricité, ils peuvent également tourner dans l'autre sens, alors le compteur est censé tourner vers l'arrière, donc nous pouvons avoir des fautes sur l'affichage de la consommation.
Les Compteurs numériques	Affichage des différentes informations (tarifs du KWh, Watt, tension). Enregistrement des données calculés sur une mémoire non-volatile. Options de connexion selon les types de réseaux d'alimentation (réseau conventionnel).	La sensibilité aux surintensités et aux surtensions, en particulier à la foudre.

<p>Les Compteurs de type central de mesure</p>	<p>Permettre de connaître la valeur de multiples paramètres du réseau pour les besoins de maintenance et d'exploitation du réseau électrique. Intelligence (Le processeur et la mémoire de l'unité centrale, ainsi que l'horloge interne, fournissent des fonctions d'enregistrement à l'unité centrale). Pour l'opérateur, cela signifie la disponibilité des courbes de charge pour son réseau, l'évolution des principaux paramètres et l'horodatage des événements (alarmes, interruptions, etc). L'analyse de la consommation et la gestion des délestages.</p> <p>Possibilité de proposer des offres tarifaires innovantes. Réduire les délais de livraison des services.</p>	
--	---	--

TABLE 2.1: Les avantages et les inconvénients de chaque type

### 2.4 Le rôle du compteur électrique

Le rôle du compteur d'électricité est de mesurer la quantité d'énergie électrique consommée par l'utilisateur. Bien que l'unité légale soit le joule, cette énergie est donnée en kWh. Cet appareil permet au fournisseur d'électricité de créer une facture indiquant la consommation d'énergie du client. Le prix de l'électricité dépend de votre consommation et suit un code couleur. Le tarif bleu est lié à la consommation résidentielle, les tarifs vert et jaune sont liés à la consommation industrielle ou professionnelle. Les premiers modèles électromécaniques du XIXe siècle ont été remplacés par des versions électroniques actuellement utilisées dans toutes les habitations du XXe siècle[10]. Le compteur électrique affiche la consommation avec un affichage mécanique ou numérique selon le modèle installé. Les modèles actuels sont plus modernes et révèlent de nombreuses informations pratiques telles que les prix, la tension électrique, etc.

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté ce qu'est le compteur d'électricité en général et montré son histoire, son rôle et ses types ; nous avons ajouté un aperçu sur les avantages et les inconvénients de chaque type en expliquant également le rôle d'un compteur électrique.

Chapitre **3**

Conception matérielle et logicielle

### Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les composants qui constituent le compteur, toutes les informations de la carte de commande aussi le chapitre traite des types de capteurs utilisés, il donnera des informations détaillées sur les composants utilisés dans notre projet.

### 3.1 Description

La figure 3.1 présente les éléments essentiels de notre projet, qui consiste à calculer la puissance et envoyer les données par wifi à un smart phone.

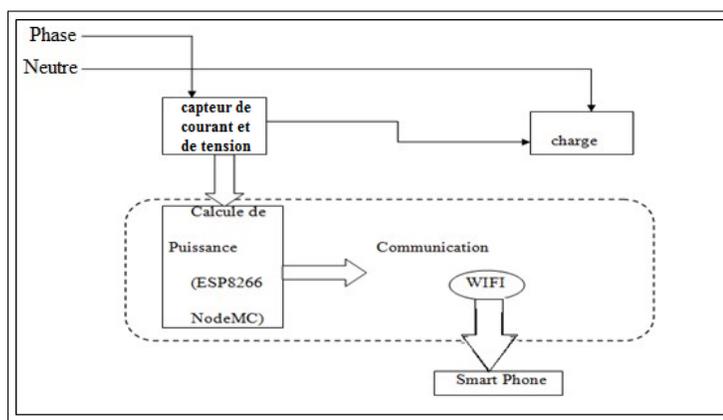


FIGURE 3.1: Schéma synoptique du montage.

#### 3.1.1 Analyse des besoins

Dans notre travail présent, le compteur en cours de conception doit comporter les fonctionnalités suivantes :

- Mesure de courant.
- Mesure la tension.
- Calcule de l'énergie électrique pour différentes charges (Puissance).
- Affichage des données.
- Consultable à distance et envoie les données à une base de donnée au même temps de l'affichage numérique.

### 3.1.2 Élaboration du cahier de charge

Le cahier de charge décrit les différents éléments du système ainsi que les fonctionnalités désirées. Il est essentiel pour mener à bien la réalisation.

Nous avons parlés des fonctionnalités désirées, et maintenant nous avons sélectionnés les éléments nécessaires pour assurer ces fonctionnalités.

Notre réalisation est constitué d'une carte principale (ESP32 NodeMCU) qui garantis la liaison entre notre composant aussi elle peut transmettre les données de la consommation sur un smart phone.

Notre système est constitué d'une :

- Carte de commande (ESP32 NodeMCU).
- Capteur de courant.
- Capteur de tension.
- Afficheur LCD.
- Autres composants nécessaires ( les résistances, les condensateurs).

**Remarque** Notre travail est basée sur l'utilisation d'un microcontrolleur ESP32 DekKit-WROOM ,mais l'hors la situation actuelle ,il n'est pas disponible alors nous choisissons d'utiliser un autre modèle de même famille qu'est ESP8266 NodeMcu.

Nous décisions de séparer la réalisation en deux parties ,une pour la mesure de courant et l'autre pour la tension dans la raison de manque des pins analogiques (Annexe 2).

## 3.2 Carte de commande (ESP8266 NodeMCU)

Dans notre système nous allons utiliser une carte à microcontrôleur de type NodeMCU ESP8266 qui est très convenable pour les systèmes embarqués.

### 3.2.1 Présentation de la carte ESP8266

ESP8266 a été fondée en 2014 par une société chinoise (Espressif), elle est illustrée dans la figure 3.2. Elle était principalement utilisée pour ajouter des fonctionnalités WiFi aux projets Arduino via les commandes AT. Très rapidement, devant la puissance de la puce et avec la sortie d'un SDK par Espressif, une belle communauté a développé des outils et firmwares pour programmer.

L'ESP8266 se compose d'un microcontrôleur 32 bits (Tensilica Xtensa LX106) cadencé à 80 MHz avec 16 Mo de mémoire Flash et 32 Ko + 80 Ko de mémoire RAM. Il intègre la norme WiFi IEEE 802.11 b / g / n avec la possibilité d'authentification avec un mot de passe WEP ou WPA / WPA2. Il dispose de 16 digital I/O (entrées / sorties) pin (GPIO) [18].

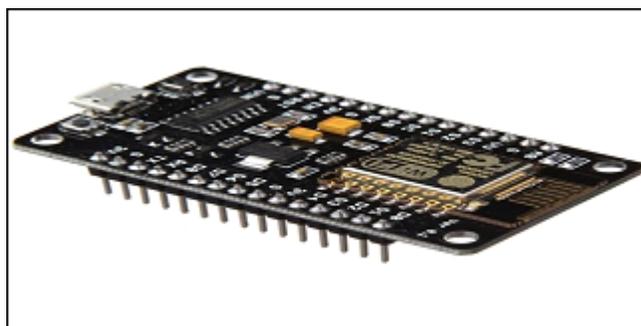


FIGURE 3.2: NodeMCU ESP8266.  
[19]

### 3.2.2 Alimentation

Elle ne doit être alimentée qu'entre 3,0 V et 3,6 V, elle n'est pas intégrée dans une carte de développement. En mode veille, la consommation peut être très faible, mais elle peut atteindre 500 mA via la transmission de données WiFi, il est donc impératif d'utiliser une alimentation régulée. Neil Kolban recommande d'ajouter un condensateur de 10  $\mu$ F entre +3,3 et la masse (GND) pour lisser le signal [18].

### 3.2.3 Les broches de NodeMCU

Le NodeMCU ESP8266 a 16 broches GPIO et une broche d'entrée analogique illustrée dans la figure 3.3. Cependant, seules les broches GPIO peuvent être utilisées pour les opérations d'entrée et de sortie numériques.

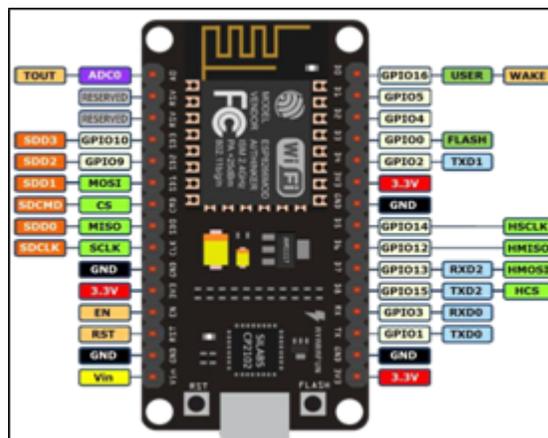


FIGURE 3.3: Les entrées et les sorties de NodeMCU.  
[20]

### 3.2.4 La mémoire

ESP8266 place une mémoire flash plus ou moins grande accessible en SPI. Cette mémoire peut être intégrée au processeur ou associée ultérieurement comme mémoire flash externe sur la carte NodeMCU.

Ce qui est intéressant à savoir, c'est que la mémoire flash est configurée comme suit :

- Espace de stockage pour les logiciels.
- Stockage temporaire pour les mises à jour du firmware OTA (Over the Air).
- Un système de fichiers SPIFFS.
- Un emplacement EEPROM pour la sauvegarde des données par les programmes.
- Un endroit pour stocker la configuration WIFI tout en utilisant le SDK local.

La mémoire EEPROM est particulièrement intéressante car dans cette dernière, des données permanentes peuvent être enregistrées pour nos programmes. Par exemple, si une variable de notre programme est utilisée pour mémoriser un mot de passe et que ce mot de passe peut être modifié, s'il est stocké dans la mémoire EEPROM, nous pouvons trouver ce changement en cas de redémarrage ou de panne de courant.

### 3.2.5 Programmation

L'ESP8266 peut être programmé de plusieurs manières :

- Avec le firmware NodeMCU et des scripts Lua interprétés.
- Avec C++ avec Arduino IDE.
- En JavaScript, avec le firmware Espruino.
- Avec le micrologiciel MicroPython dans MicroPython.
- En C, avec SDK impressionnant ou esp-open-sdk3 SDK.

### 3.2.6 Comparaison entre NodeMCU et Arduino

	Arduino UNO	NodeMCU
Power	5V	3.3V
Fréquence	16MHz	80MHz
Microcontrôleur	ATmega328	ESP8266
Flash Memory	32KB	4MB
SRAM	1 KB	64 KB SRAM / 96KB DRAM
EEPROM	1 KB	Non, utiliser Flash
USB	Oui	Oui
External	Power Port	Oui Non
Pins	32	22
GPIO	14	16 (11 Digital I/O)
Analog I/O	6	1
WiFi	Non	Oui
PWM	6	9
SPI / I2C	Oui	Oui

TABLE 3.1: Tableau comparatif entre NodeMCU et Arduino.  
[20]

## 3.3 Carte de mesure

### 3.3.1 Capteur de courant

#### 3.3.1.1 Présentation

Un capteur de courant mesure le champ magnétique créé par un courant traversant un fil électrique. Il s'agit d'un composant électrique qui convertit le courant électrique détecté en un autre signal électrique proportionnel à la valeur du courant. Le courant est converti selon divers processus physiques pour être une tension mesurable. Ce signal peut alors être une tension analogique, une densité ou une sortie numérique, et donne une mesure d'un courant dans un appareil appelé ampèremètre.

Les capteurs de courant sont largement utilisés dans les réseaux électriques, l'industrie automobile et ferroviaire, et plus généralement dans tous les appareils électriques. Il existe différents capteurs de courant utilisant différentes technologies (loi d'ohm, effet

Hall, magnéto-résistance, etc.).

### 3.3.1.2 Les différents types de capteurs de courant

Nous avons plusieurs types de capteurs de courant, nous pouvons les distinguer selon leurs boucles : les capteurs de courant en boucle ouverte et les capteurs de courant en boucle fermée.

1. Dans le cas d'une boucle ouverte, les courants mesurés sont continus et alternatifs, et il y a une isolation électrique entre le circuit mesuré et la sortie du capteur de courant. Les capteurs de courant en boucle ouverte sont souvent utilisés dans les circuits alimentés par une batterie.

2. Les capteurs de courant en boucle fermée sont également appelés capteurs de débit (flux) nul. Il est équipé d'un capteur à effet Hall qui annule le flux produit par le courant dans le requise.

En fonction des principes physiques utilisés pour transformer et détecter le courant, on peut distinguer plusieurs types de capteurs et de mesures de courant :

- **Shunts** : ils mesurent directement le courant et sont placés en série avec le conducteur traversé par le courant.

- **Transformateurs de courant** : Il s'agit d'un tore ferromagnétique avec enroulement primaire et enroulement secondaire. Le courant traversant l'enroulement primaire crée une induction qui crée une force électromotrice aux bornes de l'enroulement secondaire.

- **Bobines de Rogowski** : similaires aux transformateurs de courant de fonctionnement, mais les bobines qui sont en forme d'enroulements hélicoïdaux ne sont pas magnétiques.

- **Capteurs à effet Hall** : ces capteurs doivent être alimentés par le courant. La tension Hall correspond à une différence de potentiel et génère le signal de sortie.

- **Magnéto-résistances** : ce sont des capteurs magnétiques. Ces magnéto-résistances peuvent être anisotropes, géantes ou à effet tunnel.

•**Fluxâtes** : ce type de capteur possède un noyau ferromagnétique et permet des mesures très précises.

Dans notre réalisation, nous allons utiliser le capteur de courant SCT-013-000 pour leurs avantages et aussi ces bons résultats.

### 3.3.1.3 Le capteur de courant SCT-013-000

#### A. Présentation

Un transformateur de courant est similaire au transformateur de tension le plus courant que nous connaissons tous. Il a un noyau en fer ou en ferrite et deux enroulements. Mais contrairement au transformateur de tension, il est livré avec un seul enroulement du côté secondaire. Nous fournissons l'enroulement primaire sous la forme d'un câble traversant le noyau du transformateur. Et comme son nom l'indique, il fonctionne sur les courants, pas sur les tensions. Par conséquent, dans l'enroulement secondaire, il produira un courant de sortie circulant proportionnellement au courant dans le câble d'enroulement primaire.

Les transformateurs de courant (CT) sont des capteurs utilisés pour mesurer le courant alternatif comme la figure 3.4 indique. Ils sont particulièrement utiles pour mesurer la consommation électrique d'un bâtiment entier (ou sa production sur ce sujet).

#### B. Types de transformateur de courant

Il en existe deux types, ils fonctionnent exactement de la même manière, la différence réside dans leur construction :

1. Transformateur de courant à noyau annulaire. Le noyau est solide et le câble que vous souhaitez insérer doit être retiré pour installer le CT. Par conséquent, il n'est utilisé que là où il est pratique, sûr et légal de déconnecter le circuit. Son avantage est une plus grande précision.

2. Le transformateur de courant à noyau divisé, le noyau se compose de deux parties maintenues ensemble par des clips ou des vis. Deux pièces sont placées autour du

câble et montées. Il n'est pas nécessaire de déconnecter quoi que ce soit. À condition que le transformateur de courant ait une charge connectée, il peut être monté sur un câble isolé et sous tension.

Le type à noyau divisé, comme le CT dans l'image ci-dessous, est particulièrement adapté à une utilisation bricolage, il peut être clips sur un câble sous tension ou neutre entrant directement dans le bâtiment sans avoir à effectuer de travaux électriques élevés.

Il n'a pas de résistance de charge interne, mais un supprimeur de tension temporaire limite la tension de sortie en cas de défaillance de la charge. Il peut développer une tension suffisante pour exploiter pleinement une entrée 5 V.



FIGURE 3.4: Le capteur de courant SCT 013000.

[21]

De vue interne :

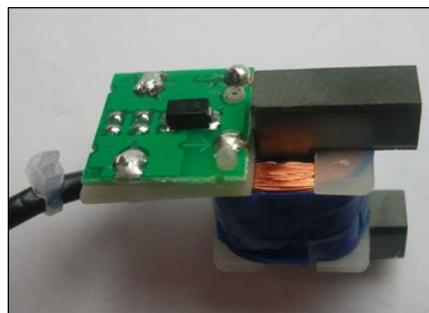
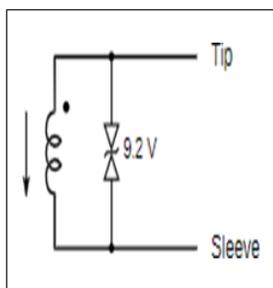


FIGURE 3.5: Schéma et la vue interne du capteur SCT013000.

[22]

La flèche de la figure 3.5 de courant montre le courant qui quitte la surface du transformateur étiqueté (SCT-013-000), c'est-à-dire dans le sens des flèches moulées dans

le boîtier, puis l'extrémité de la fiche est positive par rapport au manchon, aussi l'anneau de prise n'est pas connecté.

Le suppresseur de tension transitoire a pour but de limiter la tension qui peut apparaître sur la fiche et les enroulements à une valeur sûre si le transformateur est déconnecté de la charge sur l'émetteur / l'appareil quoi que le primaire est sous tension.

### C. Applications

- Adapté à la mesure du courant.
- Surveillance et protection des moteurs à courant alternatif.
- Équipements d'éclairage.
- Compresseur d'air.

### D. Caractéristiques[22] • Courant d'entrée : 0~ 100A AC.

- Mode de sortie : 0 ~ 50mA.
- Non linéarité :  $\pm 3\%$ .
- Taux de rotation : 100A : 0,05A.
- Classe de résistance : classe B.
- Température de fonctionnement :  $-25^{\circ}\text{C} \sim + 70^{\circ}\text{C}$ .
- Rigidité diélectrique (entre la coque et la sortie) : 1000 V AC / 1 minute 5mA.
- Fil long : 1 m.
- Taille ouverte : 13 mm  $\times$  13 mm.

### E. Le fonctionnement du CT

Il crée un champ magnétique autour d'un fil transportant un courant électrique, ce fil constitue l'enroulement primaire du transformateur. Le noyau du transformateur en fer (ou ferrite) intensifie la surface et le couple dans l'enroulement secondaire. Et à condition que le champ magnétique change constamment, un courant circule

également dans cet enroulement. Le transformateur de courant ne mesure pas le courant continu.

Si nous voulons la somme des courants (plus précisément la somme des vecteurs), nous pouvons faire passer plus d'un fil à travers l'ouverture d'un transformateur de courant. Il existe deux situations courantes où cela est utile :

**1.** Nous avons un petit courant et il est difficile d'obtenir une lecture précise. Dans ce cas, le diamètre du fil est petit. Il est possible de s'enrouler sur une bobine, et elle peut être connectée à la bobine CT, ou le fil peut être passé à travers l'ouverture CT plusieurs fois dans la même direction, multipliant le courant par le nombre de tour passant le noyau. Nous pouvons corriger la lecture en changeant l'étalonnage de cette entrée.

**2.** Nous avons de très petites charges dans différents circuits et nous voulons mesurer le courant total utilisé par ces circuits. Tous les circuits doivent être dans la même phase et tous les câbles doivent traverser CT dans le même sens. Si un fil passant est dans la direction opposée, le courant dans ce fil est soustrait de la somme.

Nous attirons l'attention sur une note importante qui concerne la résistance de charge parce que le transformateur de courant nécessite cette dernière qui fournit une tension proportionnelle et ferme le circuit secondaire, leur valeur doit être suffisamment faible pour éviter la saturation du cœur.

### F. La sécurité du CT

En général, un transformateur de courant ne doit jamais être placé dans un circuit ouvert après avoir été connecté à un conducteur sous tension. Un CT est potentiellement dangereux dans un circuit ouvert.

- Si nous avons un courant circulant dans le primaire alors que le secondaire du transformateur continuera à transmettre le courant dans une impédance infinie. Cela générera une tension élevée et potentiellement dangereuse aux bornes du secondaire.
- Certains CT ont une protection intégrée c'est-à-dire les diodes de protection Zener,

comme dans SCT-013-000, qui est recommandé pour une utilisation dans ce projet. Si le transformateur de courant est de type "sortie tension", il a une résistance de charge interne. Ainsi, il ne peut pas être placé en circuit ouvert.

### G. CT sous test

Nous allons donner dans ce qui vient un rapport sur les caractéristiques du transformateur de courant CT et son aptitude à être utilisé avec le système OpenEnergy-Monitor EmonTx et EmonPi[22], ces derniers sont utilisés dans le but de surveiller l'alimentation CA pour jusqu'à 4 circuits séparés (maison / bâtiment) à l'aide de capteur CT.

Le transformateur de courant peut être utilisé avec Open Energy emonTx et emonPi. Il peut développer suffisamment de tension pour utiliser pleinement la résolution de l'entrée analogique d'Arduino, et la distorsion de forme d'onde due à la saturation à cette tension secondaire peut être négligée à des fins normales.

Pour les courants d'essai jusqu'à 100 A, le TC primaire se compose de 1 à 20 tours de fil isolé 16 / 0,2 mm. La majorité des tests ont été effectués à 5 A - de sorte que le courant primaire vu par le CT peut être ajusté par étapes de 5 A en ajoutant un nombre variable de spires à l'intérieur du noyau. Pour les tests de saturation jusqu'à 250 A, les 50 passes primaires sont constituées de fil de cuivre émaillé, le courant est réglé dans ce cas[22].

**Remarque** : le courant dépasse le degré de fil utilisé pour l'amorce, mais le chauffage n'est pas un problème, car la bobine est groupée de manière lâche sauf là où elle passe à travers le noyau du transformateur, et chaque test est relativement à court terme).

Le courant primaire a été surveillé avec un shunt de  $0,33\Omega$ . Les potentiomètres, la résistance de limitation de courant et les diodes sur les sorties shunt et CT doivent protéger la carte son de l'ordinateur contre les surtensions et les transitoires de transition. Les potentiomètres sont réglés de manière à ce que la tension ne dépasse



Courant primaire	Courant secondaire	Courant secondaire de conception	Erreur
0,5	0,2534	0,25	1,36%
1	0,504	0,5	0,80%
1,5	0,75	0,75	0,00%
2	1,012	1	1,20%
5	2,45	2,5	-2,00%
dix	5	5	0,00%
20	10,07	dix	0,70%
30	15,25	15	1,67%
40	20,31	20	1,55%
50	25,35	25	1,40%
60	30,6	30	2,00%
70	35,56	35	1,60%
80	40,63	40	1,58%
90	45,69	45	1,53%
100	50,72	50	1,44%
120	60,2	60	0,33%
140	68,7	70	-1,86%
160	74,5	80	
180	78,7	90	
200	81,9	100	
225	84,5	112,5	
250	87,4	125	

FIGURE 3.7: Le rapport de saturation du cœur de SCT.  
[22]

**Commentaire :** Lorsque la saturation est ajustée, l'erreur perd tout son sens au-dessus d'environ 140 A. Dans ce domaine, la forme d'onde devient de plus en plus déformée et inutilisable à des fins de mesure.

Lorsque la saturation est ajustée, l'erreur perd tout son sens au-dessus d'environ 140 A. Dans ce domaine, la forme d'onde devient de plus en plus déformée et inutilisable à des fins de mesure.

L'essai a été répété avec une résistance de  $22\Omega$  en tant que charge, cette fois en mesurant la tension de charge. Des courants jusqu'à 250 A ont été appliqués pour observer l'effet de la saturation du cœur.

La courbe de saturation est montrée dans la figure 3.8 (indiquant le courant ou la tension efficace, il ne montre pas l'état réel, car dans tous les cas, la tension de charge crête à crête n'est plus directement connectée à la tension efficace en saturation - la plage d'entrée  $e_{mTx}$  et  $e_{mPi}$  légèrement supérieure à 100 A et des courants supérieurs à cette valeur maximale endommageront l'entrée ADC.

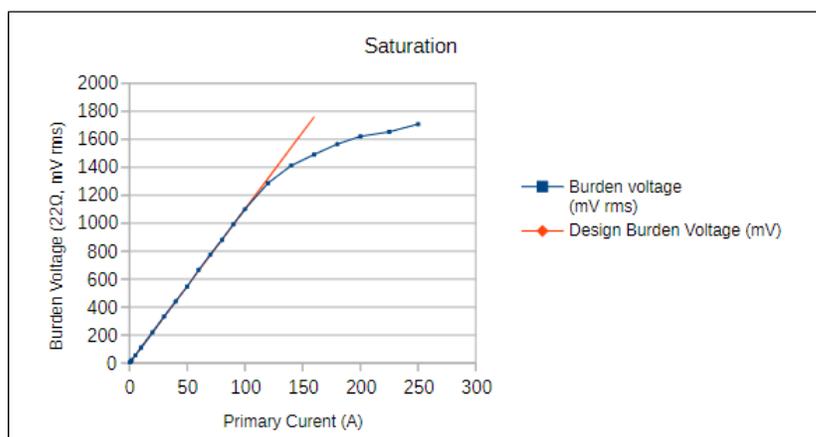


FIGURE 3.8: La courbe de saturation du cœur de capteur SCT.  
[22]

### I. L'erreur de phase

L'erreur de phase a été mesurée pour 3 valeurs de résistance de charge. Les valeurs sélectionnées étaient  $22\Omega$  dans emonPi et emonTx version 3,  $120\Omega$  est la valeur utilisée pour l'entrée haute précision d'emonTx V3 et  $220\Omega$  donne une charge maximale de 0 A avec emonTx ou une charge maximale de 16 A avec blindage emonTx (la résistance de charge est modifiée de manière appropriée)[22].

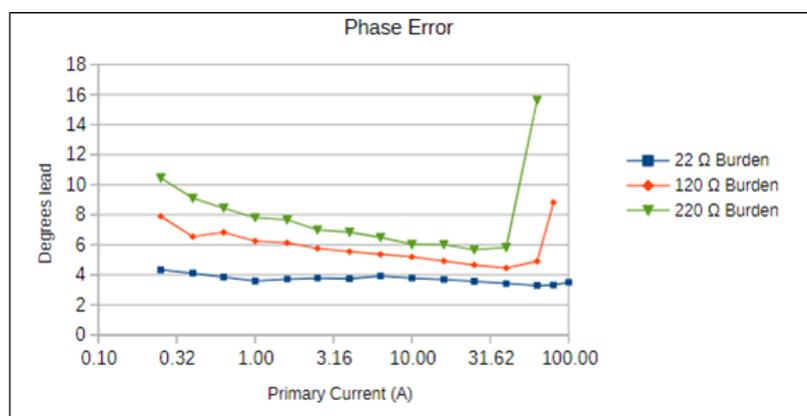


FIGURE 3.9: L'erreur de phase pour trois valeurs des résistances différentes.  
[22]

Ces résultats de la figure 3.9 montrent une amélioration significative par rapport aux versions précédentes lorsque l'erreur de phase est nettement plate sur toute la plage mesurable (en fait, dans une bande supérieure à 1 degré), en particulier lorsqu'une

charge de  $22\Omega$  est utilisée. Ils montrent également que l'augmentation de la valeur de résistance de charge a un prix pour augmenter la précision : l'erreur de phase augmente encore plus à des courants plus faibles. Cependant, ce résultat montre toujours une amélioration par rapport aux exemples de production précédents.

### 3.3.2 Capteur de tension

#### 3.3.2.1 Présentation

Un capteur de tension est un capteur utilisé pour calculer et surveiller la quantité de tension dans un objet. Les capteurs de tension peuvent déterminer à la fois la tension alternative ou le niveau de tension continue. L'entrée de ce capteur peut être la tension alors que la sortie est les interrupteurs, le signal de tension analogique, un signal de courant, un signal sonore, etc.

Les capteurs sont essentiellement un appareil qui peut détecter ou identifier et réagir à certains types de signaux électriques ou optiques. La mise en œuvre de capteurs de tension et de techniques de capteurs de courant est devenue un excellent choix pour les méthodes de mesure de courant et de tension conventionnelles. Certains capteurs fournissent des formes d'onde sinusoïdales ou des formes d'onde d'impulsion comme la sortie et d'autres peuvent générer des sorties comme AM (modulation d'amplitude), PWM (Pulse Width Modulation) ou FM (Frequency Modulation). La mesure de ces capteurs peut dépendre du diviseur de tension.

#### 3.3.2.2 Types de capteurs de tension

Ces capteurs sont classés en deux types comme un capteur de type résistif et un capteur de type capacitif.

##### Capteur de type résistif

Ce capteur comprend principalement deux circuits comme un diviseur de tension et un circuit en pont. La résistance du circuit fonctionne comme un élément sensible. La tension peut être séparée en deux résistances comme une tension de référence et une résistance

variable pour faire un circuit du diviseur de tension. Une alimentation en tension est appliquée à ce circuit. La tension de sortie peut être déterminée par la résistance utilisée dans le circuit. Ainsi, le changement de tension peut être amplifié.

### Capteur de type capacitif

Ce type de capteur se compose d'un isolant et de deux conducteurs au centre. Comme le condensateur est alimenté en puissance avec 5 volts[23], le flux de courant sera là dans le condensateur. Cela peut créer une répulsion des électrons dans le condensateur. La différence de capacité indique la tension et le condensateur peut être connecté au sein de la série.

Les circuits électriques de ces types est indiquée sur la figure3.10 :

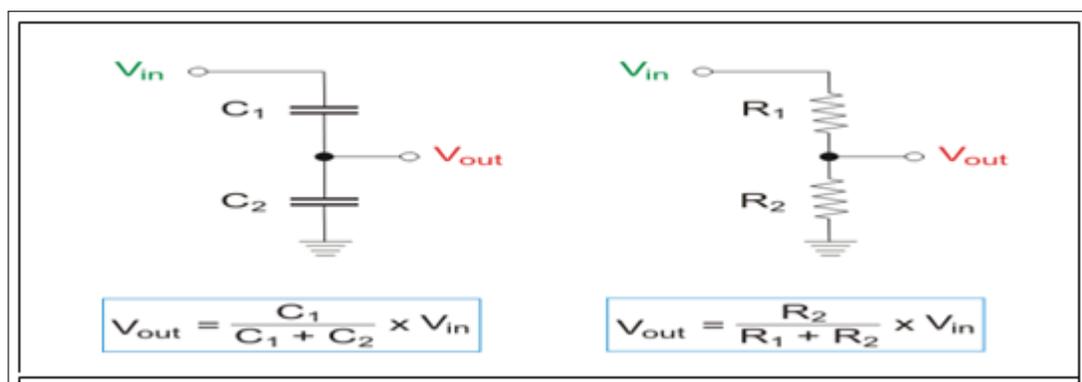


FIGURE 3.10: Capteur de tension de type capacitif et type résistif.  
[23]

### 3.3.2.3 Capteur ZMPT101B

#### A. Description

ZMPT101B, un transformateur de tension idéal pour mesurer la tension alternative. Il a une grande précision, une bonne cohérence pour la mesure de tension et de puissance et il peut mesurer jusqu'à 250V AC. Il est simple à utiliser et est livré avec un potentiomètre de Trim multi-tours pour régler la sortie ADC, Ce module à inductance de tension de sortie monophasée active AC[24].

Le ZMPT101B est un choix idéal pour mesurer la tension alternative en utilisant Arduino / ESP8266 / Raspberry Pi comme une plate-forme open source. Dans de nombreux projets électriques, l'ingénieur s'occupe directement mesures avec peu d'exigences de base comme :

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

### **B. En savoir plus sur ce transformateur de tension**

Le ZMPT101B est un transformateur de tension de haute précision. Ce module facilite la surveillance de la tension secteur CA jusqu'à 1 000 volts[23]. Une toute petite chose de la taille d'un cube de bouillon. Peut contenir jusqu'à 4 kV par tension de claquage, le rapport de spires est de 1 : 1, mais il s'agit d'un transformateur de courant de 2 mA : 2 mA[23].

Autrement dit, nous lui fournissons un courant et supprimons le courant. Le courant d'entrée est simplement réglé par la résistance en série R1, et une résistance d'échantillonnage R2 est utilisée en parallèle pour obtenir la tension de sortie.

### **C. Schéma de capteur ZMPT101B / Schéma de câblage/Dimensionnement**

Nous allons présenter dans les figure 3.11,3.12, 3.13 ,le schéma électrique de capteur ZMPT101B, schéma de câblage et leur dimensionnement :

### **D. Applications**

- Comptage (compteurs d'énergie électrique).
- Mesure de tension alternative.

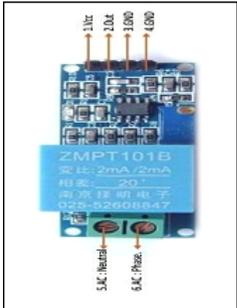


FIGURE 3.11: Schéma de câblage

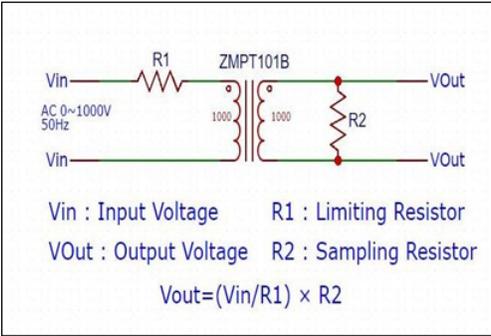


FIGURE 3.12: Schéma électrique de ZMPT101B [24]

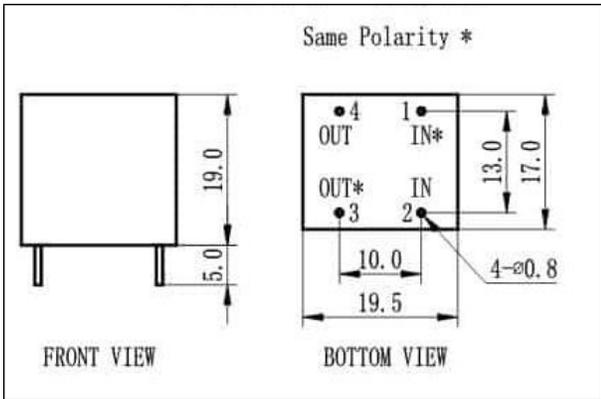


FIGURE 3.13: Dimensionnement de capteur ZMPT101B. [24]

- Détection du courant de surcharge.
- Détection de défaut à la terre.
- Matériel électrique domestique.
- Appareils industriels.
- Équipement d'essai électrique et protection de relais.

### E. Caractéristiques

#### — Caractéristiques générale[24]

- Prix bas.
- Petite taille (49,5 mm x 19,4 mm) et léger.
- Montage facile sur PCB.
- Bonne consistance.
- largement acclamé.

#### — Output Caractéristiques

Les caractéristiques de sortie sont illustrées sur les deux figure 3.14 et 3.15. Les courbes dépendent de la résistance d'entrée du ZMPT101B, la figure 3.14 la relation entre le courant d'entrée RMS et la tension de sortie RMS et la figure 3.15 montre la relation entre le courant d'entrée RMS et erreur d'angle de phase du signal de sortie (la résistance d'entrée R1 est connectée en série avec le transformateur).

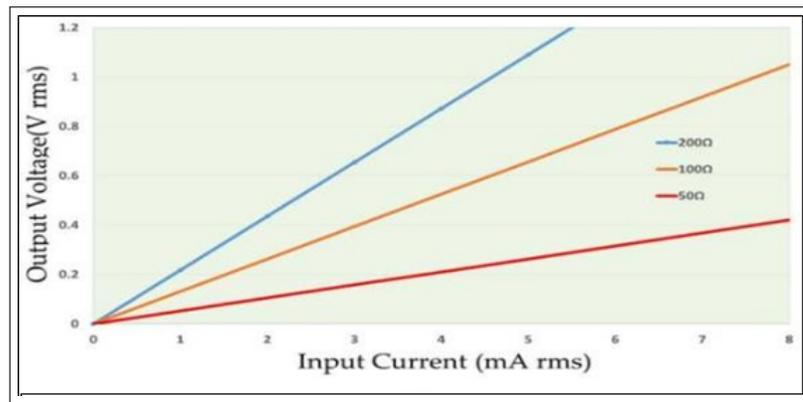
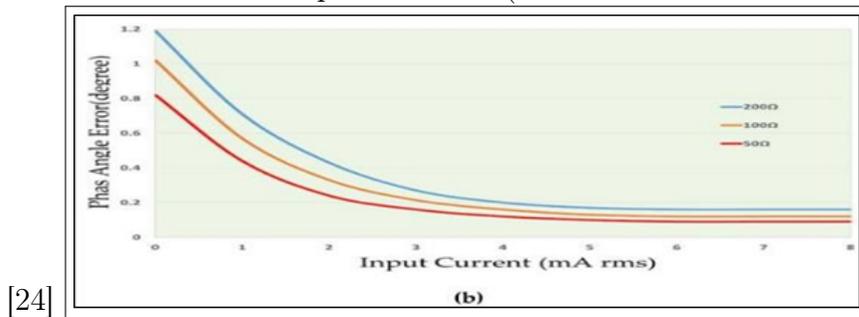


FIGURE 3.14: Les caractéristiques de sortie (relation entre courant et voltage)



[24]

FIGURE 3.15: Les caractéristiques de sortie (relation entre courant et angle de phase)

[24]

### **F. Les spécifications**

Les spécifications électriques et environnementales sont expliquées sur les tableaux suivants :

• **Électriques**

Spécifications	Description
Courant d'entrée nominal	2Ma
Courant de sortie nominal	2Ma
Gamme linéaire	0 1000V 0 10mA
Tension de tenue d'isolement	4000V
Rapport de tours	1000 :1000
Précision de mesure	Classe 0.2
Linéarité	0.1%
Charge nominale	<=2000 hm
Fréquence de fonctionnement	50- 50Hz
Résistance de bobine DC	11020 deg Cel

TABLE 3.2: Les spécification électrique du capteur ZMPT101B [24]

• **Environnementale**

Température de stockage	-40° ~ + 30° C.
la résistance d'isolement	>100 Ω.

TABLE 3.3: Les spécification d'environnement du capteur ZMPT101B [24]

**G. Fonctionnement**

Le capteur de tension alternative peut détecter un champ électrique. La plupart de la détection peut être effectuée par un simple condensateur. Un condensateur a deux conducteurs ou **plaques** qui sont séparés par un non-conducteur appelé diélectrique. Si nous connectons une tension alternative entre les deux conducteurs, un courant alternatif circulera lorsque les électrons seront attirés ou repoussés alternativement par la tension sur la plaque opposée. Il y a un circuit alternatif complet même si aucun fil n'est réellement utilisé. Le champ électrique à l'intérieur du condensateur, entre les deux plaques, est ce qui complète le circuit alternatif. Il le montre en dégageant un bruit audible ou un LED lumière pour indiquer la force du champ

électrique. Plus le champ électrique sur un fil ou un objet est fort, plus le bruit audible sur le détecteur est fort pour aider à guider où l'électricité passe en même temps. Cela donne également à l'électricien un sentiment de sécurité lorsqu'il s'agit d'entrer en contact avec cette partie du circuit. Ce capteur de tension alternative mesure la tension secteur sur le réseau jusqu'à 250 V.

### 3.4 Affichage

#### 3.4.1 Présentation

Les écrans LCD sont devenus indispensables dans les systèmes techniques qui nécessitent l'affichage des paramètres de fonctionnement.

Grâce à la commande par un microcontrôleur, ces écrans permettent une visualisation aisée des messages. Il vous permet également de créer vos propres caractères, la figure 3.16 montre un afficheur LCD de type 24x4.

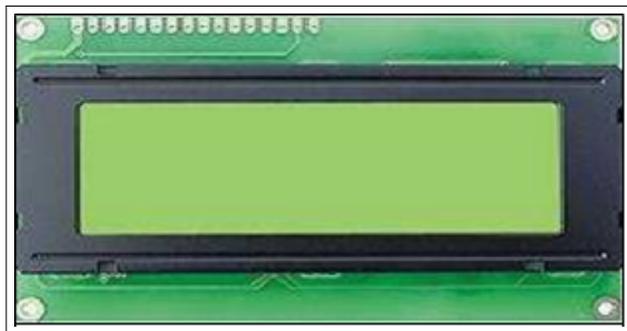


FIGURE 3.16: L'afficheur LCD utilisé dans la réalisation

#### 3.4.2 Fonctionnement d'un afficheur LCD

Nous présentons de la figure 3.17, le principe de fonctionnement d'un afficheur LCD.

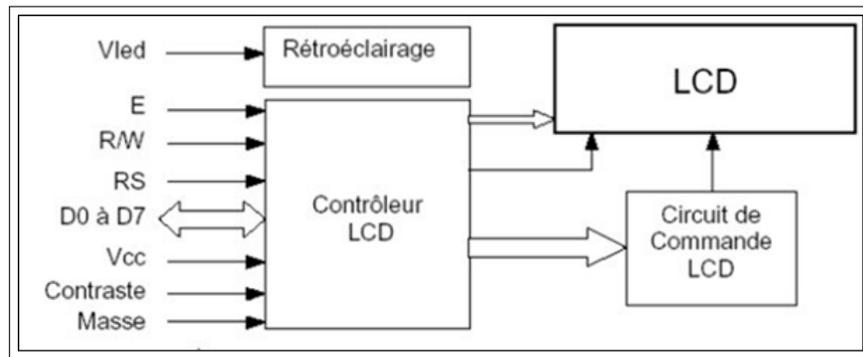


FIGURE 3.17: Le schéma fonctionnel d'un afficheur LCD.  
[25]

### 3.4.3 La mise en œuvre de l'afficheur LCD

L'écran LCD sera contrôlé par un microcontrôleur, ces mises en œuvre sont :

- Matériel : connexion des broches du microcontrôleur à l'écran LCD.
- Logiciel : Utilisation de sous-programmes pour contrôler l'écran LCD (initialisation, suppression de l'écran, affichage d'un caractère, affichage d'une variable, etc.).

## 3.5 La conception logicielle

### 3.5.1 Présentation du Logiciel Arduino

Le logiciel Arduino est un environnement de développement gratuit et open source (IDE) téléchargeable sur le site officiel d'Arduino sur « Arduino.cc ».

L'IDE Arduino permet de :

- Éditer un programme des croquis.
- Compiler ce programme en langage "machine" Arduino.
- Installer le programme dans la mémoire d'Arduino.
- Communiquer avec la carte Arduino via le terminal.

Logiciel Arduino est pour programmer le microcontrôleur, il est basé sur les langages C / C++.

Voici l'interface du logiciel Arduino donnée dans la figure 3.18

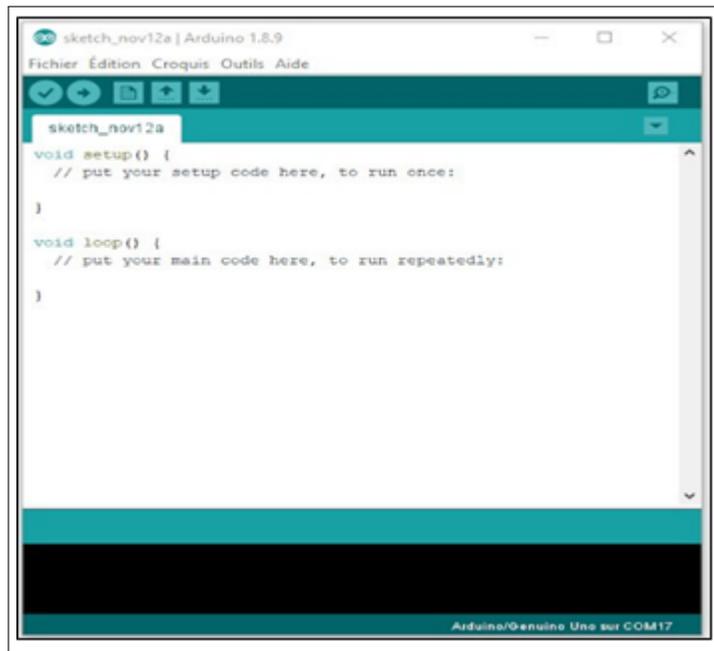


FIGURE 3.18: L'interface de logiciel Arduino.  
[26]

### 3.5.1.1 L'interface du logiciel Arduino

Nous avons un menu à cinq boutons (figure 3.19) du logiciel, ces cinq boutons sont presque tout ce que nous devons faire utiliser pour démarrer le programme.



FIGURE 3.19: Les cinq boutons essentiels pour démarrer le programme.  
[26]

Dans la figure3.20, nous allons présenter chaque bouton et leur utilisation :

	L'utilisation
	Ce bouton vous permet de contrôler votre programme. Logiciel Arduino apprendra ce qui est cohérent avec ce que vous écrivez prévu. Alors c'est pour vérification et compilation.
	Ce bouton pour téléverser, il permet d'installer le programme compilé dans la carte Arduino. Une fois cela fait, Arduino s'exécute le programme dans la mémoire et il sera autonome et non dépendant bien plus qu'un ordinateur!
	Création d'un nouveau programme.
	Ouvrir un programme existant.
	L'enregistrement du programme.
	Il permet de visualiser graphiquement ou sous forme du texte les valeurs des capteurs ou des variables

FIGURE 3.20: Les boutons les plus utiles  
[26]

### 3.5.1.2 La structure d'un programme Arduino

La structure est présentée sur la figure 3.21, elle se compose de trois parties :

- **Zone globale** : permet d'appeler des bibliothèques, de créer des variables globales, de créer de nouvelles fonctions ou procédures pour votre programme.
- **Zone setup** : Une fonction "void setup ()" est utilisée pour initialiser les éléments variables. Cette fonction n'est appelée qu'une seule fois au démarrage par Arduino.
- **Zone void** : Une fonction "void loop ()" est appelée en continu par Arduino et après la fonction de configuration, elle contient Le cœur du programme.

```
Arduino_vers_232_ISET_BIZERTES
int out = 0;
byte in = 0;
byte pinOut = 13;

void setup() {
  // Initialisation du port série
  Serial.begin(9600);
  // Configuration de la sortie
  pinMode(pinOut, OUTPUT);
}

void loop() {
  // Lire l'entree analogique (FIN AD)
  out = analogRead(A0);
  // Convertir en format utilisé
  out = map(out, 0, 1023, 0, 255);
  // Envoyer via le port serie en code (ASCII)
  Serial.write(out);
  // Si les données sont disponibles liis le port série
  if(Serial.available()){
    in = Serial.read();
    // Écrire le contenu du port serie vers FIN I3
    analogWrite(pinOut, in);
  }
  // 20ms d'attente sont nécessaires pour stabiliser le port serie...
  delay(20);
}
```

Téléchargement terminé.

Taille binaire du croquis : 2 986 octets (d'un max de 32 256 octets)

Arduino Uno en COM18

FIGURE 3.21: Structure du logiciel Arduino.

[27]

Pour connecter la NODEMCU ESP8266 avec logiciel IDE et recevoir les instructions de notre programme. Nous devons tout d'abord commencer par la connexion de la carte ESP 8266 via le port USB. Et ensuite, nous cliquons sur le bouton (Outils / Port) en choisissant le port utilisé. Et après, on clique sur (outils / type) pour choisir le type de la carte voulue.

### 3.5.2 Présentation du Logiciel Proteus

Proteus est un outil logiciel de simulation et de conception développé par Labcenter Electronics pour la conception de circuits électriques et électroniques. Il possède également une fonction de dessin 2D CAO. Il possède deux logiciels principaux : ISIS, ARES.

- ISIS est le logiciel utilisé pour dessiner des schémas et simuler les circuits en temps réel. La simulation permet un accès humain pendant l'exécution, fournissant ainsi une simulation en temps réel.

- ARES est utilisé pour la conception de circuits imprimés. Il a la fonction de visualiser la sortie en vue 3D du circuit imprimé conçu avec les composants.

- Le concepteur peut également développer des dessins 2D pour le produit.

Nous présentons sur La figure3.22 la page d'accueil de logiciel.

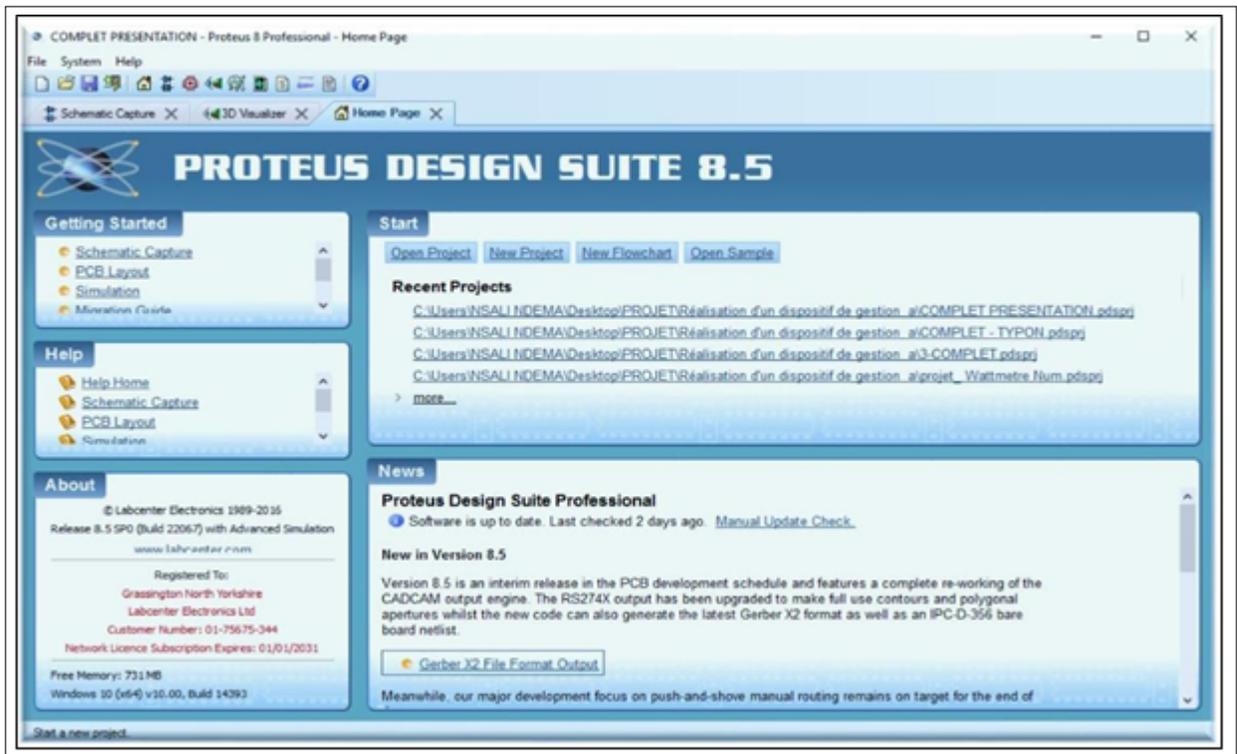


FIGURE 3.22: L'interface de logiciel Proteus.  
[28]

### 3.5.2.1 Interface de logiciel ISIS

ISIS a une large gamme de composants dans sa bibliothèque. Il dispose de sources, de générateurs de signaux, d'outils de mesure et d'analyse tels que l'oscilloscope, le volt-mètre, l'ampèremètre, transformateurs, circuits intégrés numériques et analogiques, commutateurs semi-conducteurs, relais, microcontrôleurs, processeurs, capteurs, etc. la figure 3.23 présente les plus importants des barres sur ce logiciel.

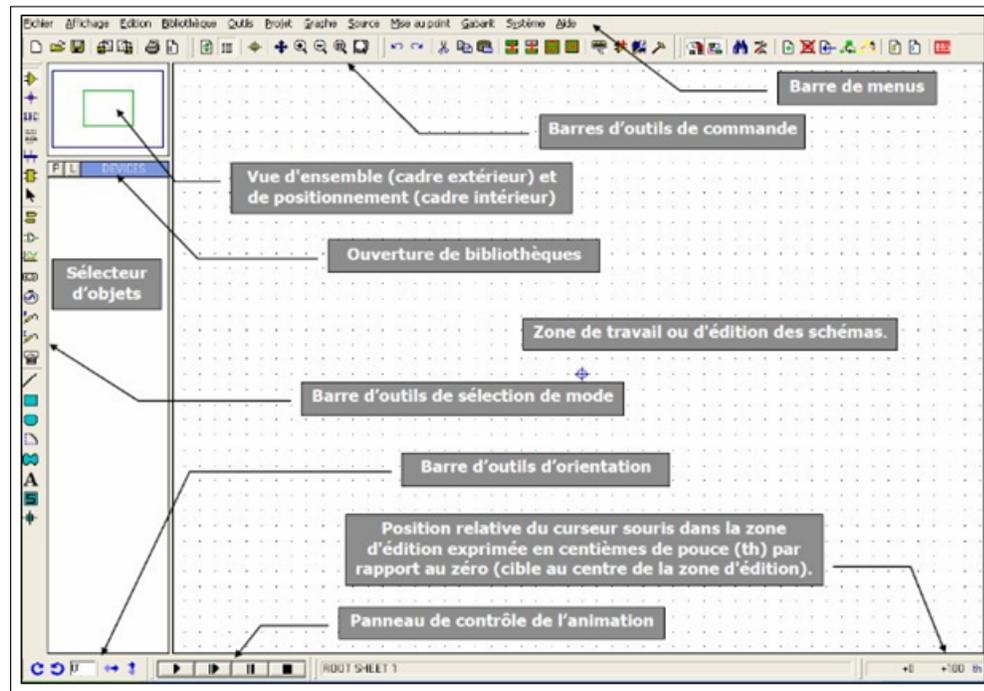


FIGURE 3.23: L'interface de logiciel ISIS.  
[29]

### 3.5.2.2 Les outils de logiciels

La figure 3.24 ci-dessous présente les outils de logiciel et on va savoir les descriptions des principaux outils utilisés pour notre projet [29] :

- **Outil de sélection** : Cet outil sert à sélectionner un ensemble ou un objet du circuit. Suite à cette sélection, l'objet peut ensuite être déplacé, pivoté ou même supprimé.
- **Outil de composition** : Le but de cet outil est de sélectionner un composant dans la bibliothèque, et ensuite de le placer à l'endroit voulu.
- **Label** : L'outil Label sert à nommer les fils reliant les composants.
- **Script de texte** : On utilise cet outil pour écrire du texte sur n'importe quel endroit de la feuille.
- **Bus** : Le mode Bus sert à connecter plusieurs composants sur d'autres à l'aide d'un seul fil. Cet outil est surtout utile pour les microcontrôleurs.

- **Terminal** : L'outil terminal sert à remplacer les fils. Les broches devant être connectées doivent avoir exactement le même nom l'une que l'autre.
- **Broches de composant** : L'outil broche de composant sert à créer des composants qui n'existent pas. Et également de les relier entre eux.
- **Générateur** : Cet outil est utilisé pour générer un courant, qu'il soit sinusoïdale, pulsé, transmit par vague etc.

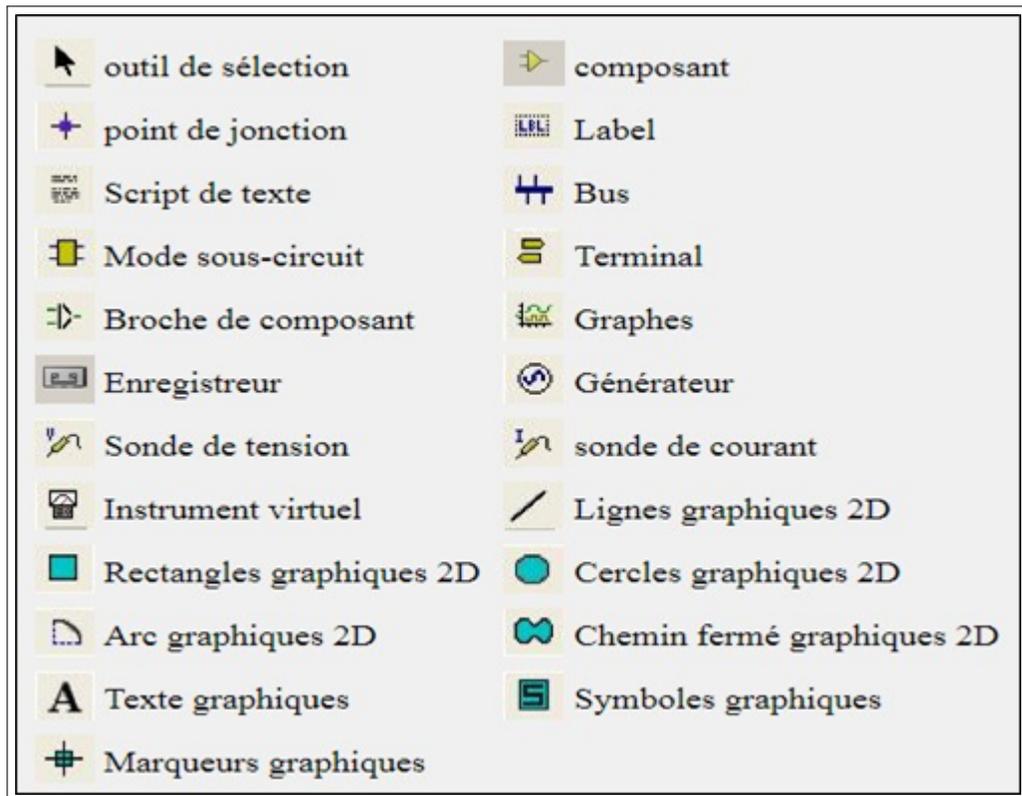


FIGURE 3.24: Les outils de logiciel ISIS.

[28]

### Conclusion

Dans cette partie, nous avons défini la conception matérielle du composants électronique utilisés (capteur du courant , tension) pour la partie mesure ,puis la conception logicielle (Arduino,Porteus Isis) de simulation et programmation,nous seront détaillé la partie simulation et réalisation dans le chapitre suivant.

Chapitre **4**

Simulation et réalisation

## Introduction

Après avoir bien détaillé dans le chapitre précédant la conception des éléments nécessaires pour le fonctionnement de notre système. Dans ce chapitre, nous discuterons de la simulation, la programmation, la mise en œuvre et des tests pour vérifier le fonctionnement de notre compteur tout en respectant des spécifications bien étudiées.

### 4.1 Simulation

#### 4.1.1 Prototype de simulation sur l'interface du Proteus Isis

Les Figures 4.1 et 4.2, présentent le schéma globale de la simulation de notre compteur.

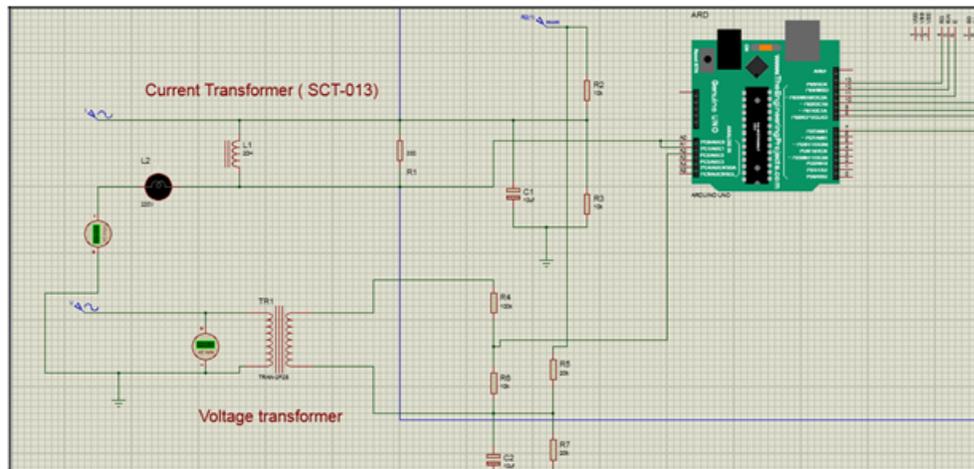


FIGURE 4.1: Simulation Prototype du projet sur Isis Proteus 8 (partie mesure).

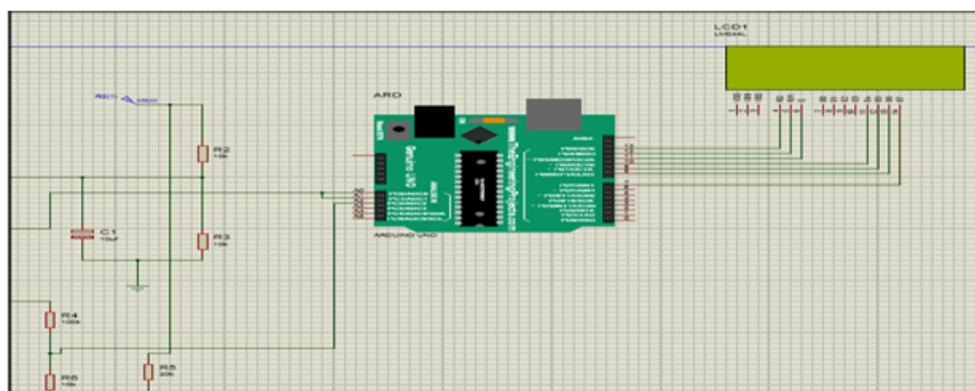


FIGURE 4.2: la suite de simulation (partie affichage).

## 4.1.2 Description des paramètres entrant sur notre prototype

Cette simulation représente notre circuit électronique qui se divise en deux parties : mesure et affichage.

La première partie concerne la simulation des capteurs de mesure contrôler par un microcontrôleur (Arduino), en utilisant des circuits électronique équivalents pour mesurer la tension et courant .La deuxième partie le traduit et l’affiche sur un écran LCD.

### 4.1.2.1 Partie mesure

#### A. Arduino Uno

Dans notre simulation, nous allons utilisé l’Arduino UNO au lieu de NodeMcu (Figure 4.3),car ce dernier ne possède pas une bibliothèque sur logiciel « Isis Proteus ». Néanmoins,il nous permet de simuler le compteur d’électricité et maintenir les mêmes fonctionnalité que le NodeMCU sauf la partie communication.

#### B. Mesure de tension « transformateur de tension »

Pour mesurer la tension alternative à l’aide d’Arduino, nous devons d’abord construire un capteur de tension alternative, La Figure 4.4 montre le schéma électriques basé sur un transformateur abaisseur avec une tension d’environ 230 volt.

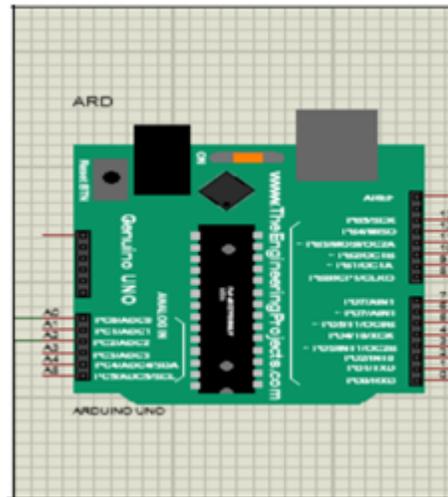


FIGURE 4.3: Arduino Uno sur logiciel Isis.

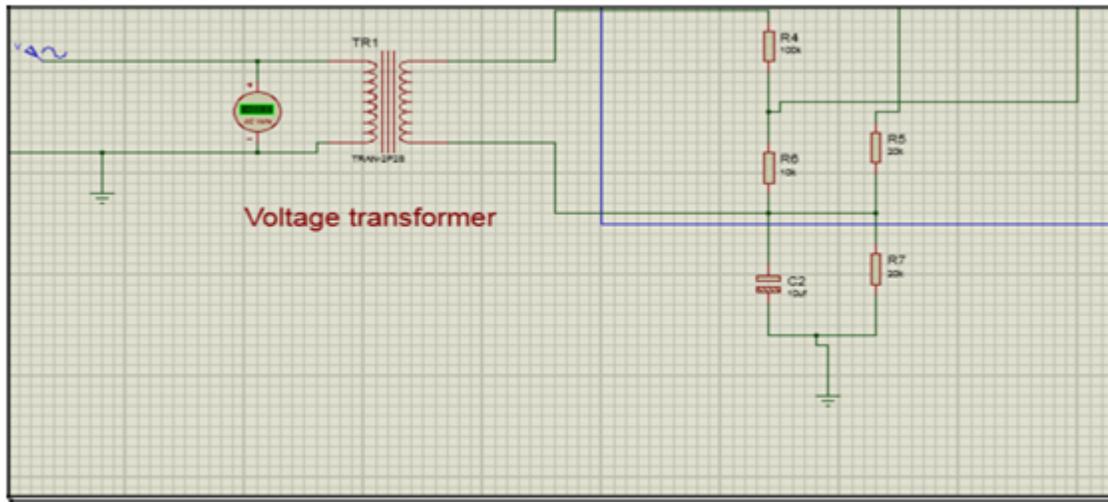


FIGURE 4.4: Transformateur de tension sur Isis.

Pour obtenir cette valeur, il faut passer par quelques étapes :

- D’abord, nous devons réduire la tension, en utilisant un transformateur abaisseur 230v/12v.
- Ensuite, nous avons besoin d’un diviseur de tension, qui peut donner une valeur de tension appropriée comme entrée au microcontrôleur, car il ne mesure que les tensions inférieure de 5 volt, avec un condensateur de quelque microfarads, la Figure 4.5 présente, le circuit et les formes d’ondes de tension.
- Puis l’Arduino prend cette tension comme entrée de la broche A2 sous forme de

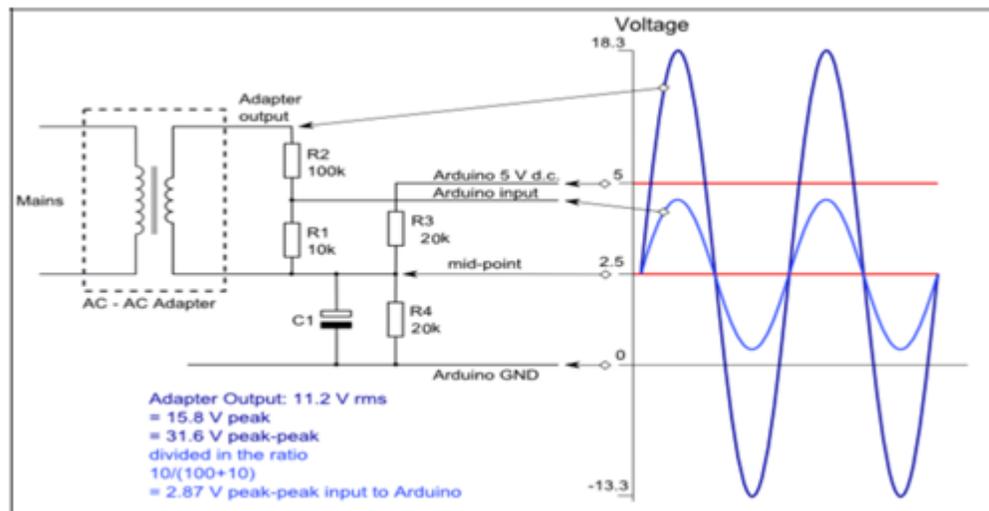


FIGURE 4.5: Interface du transformateur abaisseur avec l'Arduino

valeurs analogiques entre 0 et 1024. 0 étant 0 volt et 1024 étant 5v. Il convertit ensuite cette valeur analogique en AC tension.

- Le microcontrôleur est capable de mesurer sa propre tension de référence, celle-ci et le comptage à pleine échelle sont déjà inclus dans le programme pour rendre plus simple.

### C. Mesure du courant « Ct transformer »

La partie courant, le schéma de la Figure 4.6 présente un circuit électrique d'un capteur de courant SCT-013 sur l'interface de logiciel qui a le rôle de mesurer le courant d'une charge précis.

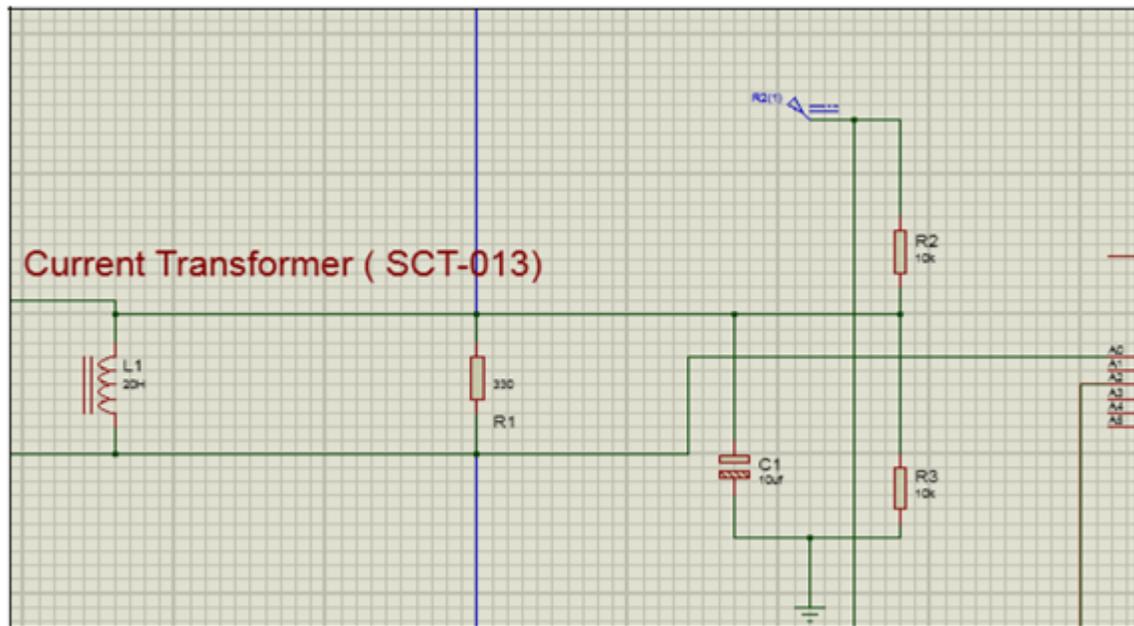


FIGURE 4.6: Circuit électrique capteur de courant SCT013 sur Isis.

Pour connecter un capteur CT à un Arduino le signal de sortie du capteur doit être conditionné afin qu'il réponde aux exigences d'entrée analogiques de l'Arduino, c'est-à-dire une tension positive entre 0V et la tension de référence ADC. Ceci peut être réalisé avec le circuit suivant qui se compose de deux parties principales :

- Le capteur CT(bobine) et la résistance de charge Rb.
- Le diviseur de tension de polarisation (R1, R2) qui fournit la source 2,5 V.
- Le condensateur C1 a une faible réactance, quelques centaines d'ohms et fournit un chemin pour le courant alternatif de contourner la résistance avec une valeur de 10  $\mu$ F convient.
- Pour la mesure du courant et le calcul de calibrage à partir de microcontrôleur, ont même principe de mesure que le transformateur de tension, avec une for-

mule bien simplifier qui inclus dans le programme :

```
emon1.current(0,0.2606368764);// courant: pin d'entrer, calibration.
```

La Figure 4.7 ci-dessous indique l'interface du transformateur de courant avec l'Arduino :

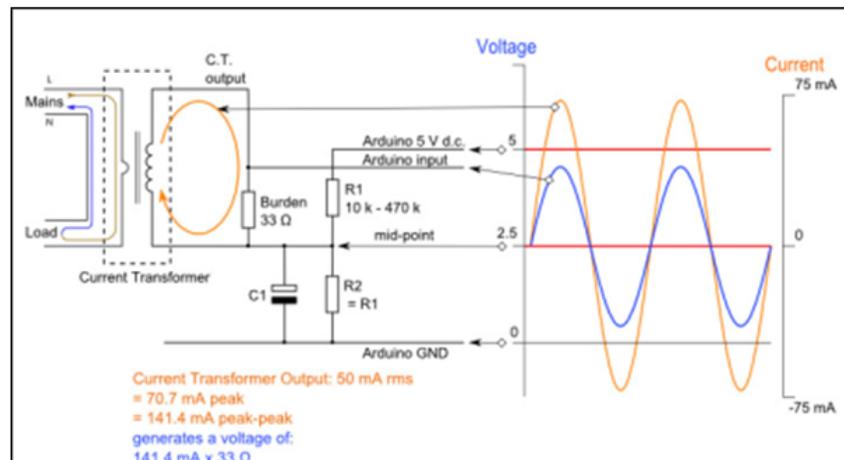


FIGURE 4.7: Interface du capteur de courant type : Sct-01300 avec l'Arduino.

#### 4.1.2.2 Partie affichage

##### L'afficheur LCD (24x4)

C'est un afficheur de type LM041L, de 4 lignes et 24 colonnes , Nous avons choisi ce type pour afficher les variable claire et bien ordonner. La Figure 4.8 présenter le brochage de l'afficheur LCD avec Arduino Uno.

#### 4.1.2.3 Description du programme sur l'interface de Logiciel Arduino IDE

Dans notre système, nous avons utilisé le logiciel de l'Arduino pour le développement du programme en langage évolué(C,C++) ,que nous présentons par la suite .

##### A. Programmation

Le programme est représenté par un langage qui décrit et regroupe les principales étapes à suivre pour le contrôle et la gestion du notre système .Le programme est

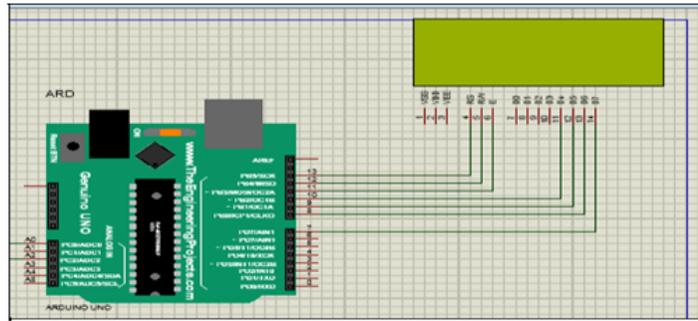


FIGURE 4.8: Circuit de brochage du LCD avec l'Arduino UNO sur logiciel Proteus.

divisé en trois partie :

- Partie affichage(Figure 4.9).
- Partie calcules et mesure (Figure 4.10)
- Partie déclaration les bibliothèques et les variables d'entrées (Figure 4.11).

```
compteur_electrique_simulation $

//partie declaration des bibliothèques utiliser et variables

#include <EmonLib.h> // declaration de la bibliothèque pour les moniteur d'énergie
#include <LiquidCrystal.h> // déclaration de la bibliothèque pour l'affichage
LiquidCrystal lcd(13,12,11,10,9,8,7); // les pins de Lcd
EnergyMonitor emon1; // déclaration des variable

//partie declaration les pins et leur calibrage ,affichage sur l'ecran LCD.
void setup()

{
  Serial.begin(9600); // activer la communication entre l'arduino et l'ordinateur pour la réalisation
  lcd.begin(20,4); // indiquer le nombre des lignes et colonnes de Lcd.
  emon1.current(0,0.2606368764); // courant: pin d'entree, calibration.
  emon1.voltage(2, 230, 1.7); //Voltage: pin d'entree, calibration, déphasage(the correction for the phase errors in the transformers).

  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("compteur"); // affichage sur Lcd ans le 1er colonnes et 2eme lignes
  delay(200);
}
```

FIGURE 4.9: Partie affichage.

```

//partie calculs courant , tension , puissance apparente , facteur de puissance

void loop()
{
  lcd.clear();
  emon1.calcVI(20,2000); //calculer tous.non de demi longueurs d'onde (croisement)time-out
  unsigned long timeMillis=millis(); // Renvoie le nombre de millisecondes depuis que la carte Arduino a commencé à exécuter le programme courant
  unsigned long time=timeMillis/1000;
  float Irms = emon1.Irms; // Calcule la valeur du courant
  float supplyVoltage = emon1.Vrms;//calcule la valeur du tension
  float apparentPower = emon1.apparentPower; //extraire La puissance apparente en variable
  float powerFactor = emon1.powerFactor; //extraire le facteur de puissance en Variable
}

```

FIGURE 4.10: Partie calculs et mesure.

```

// partie affichage sur l'ecran LCD les variables calculer par CT and VT (courant,tension,puissance apparente ,facteur de puissance
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Current");
lcd.print(Irms);
lcd.println(" A");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Voltage= ");
lcd.print(supplyVoltage);
// lcd.print(supplyVoltage);
lcd.println("V");
delay(1000);

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Power= ");
lcd.print(apparentPower);
lcd.println("W");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("PF= ");
lcd.print(powerFactor);
delay(2000);
}

```

FIGURE 4.11: Partie déclaration des bibliothèques et des variables d'entrées.

Nous avons utilisé principalement deux bibliothèques très importantes pour valider le fonctionnement de notre compteur, l'une est « Emonlib.h » qui se spécialise pour les moniteurs d'énergie, elle simplifie le calcul des valeurs de courant et tension entrant, aussi leurs calibrages pour les entrées analogiques du microcontrôleur et calcule des différentes puissances. L'autre est « LiquidCrystal.h » pour afficher les valeurs mesurées sur LCD.

## B. Test et Résultat

Le programme que nous devons injecter au microcontrôleur de la carte Arduino après avoir été converti par l'IDE en code HEX comme le montre est illustré par la Figure 4.12 :

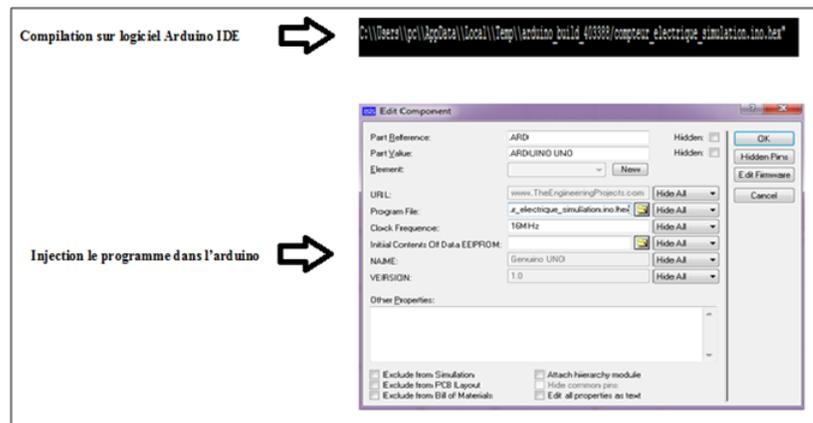


FIGURE 4.12: Injection du programme dans logiciel Proteus.

Les résultats de cette simulation sont représentés sur les figures suivantes dans lesquelles, nous allons comparer les valeurs calculées avec les valeurs mesurées par l'ampèremètre et voltmètre :

- Figure 4.13(a) : Initialisation du compteur.
- Figure 4.13(b) : Résultat de mesure le courant et la tension .
- Figure 4.13(c) : Résultat de calcul de la puissance apparente et le facteur de puissance.
- Figure 4.13(d) : Les valeurs mesurées d'après le voltmètre et l'ampèremètre.

## C. Le facteur de puissance

Le facteur de puissance (Power Factor or PF) est une expression de l'efficacité énergétique. Il est généralement exprimé en pourcentage et plus le pourcentage est faible, la consommation d'énergie est moins efficace.

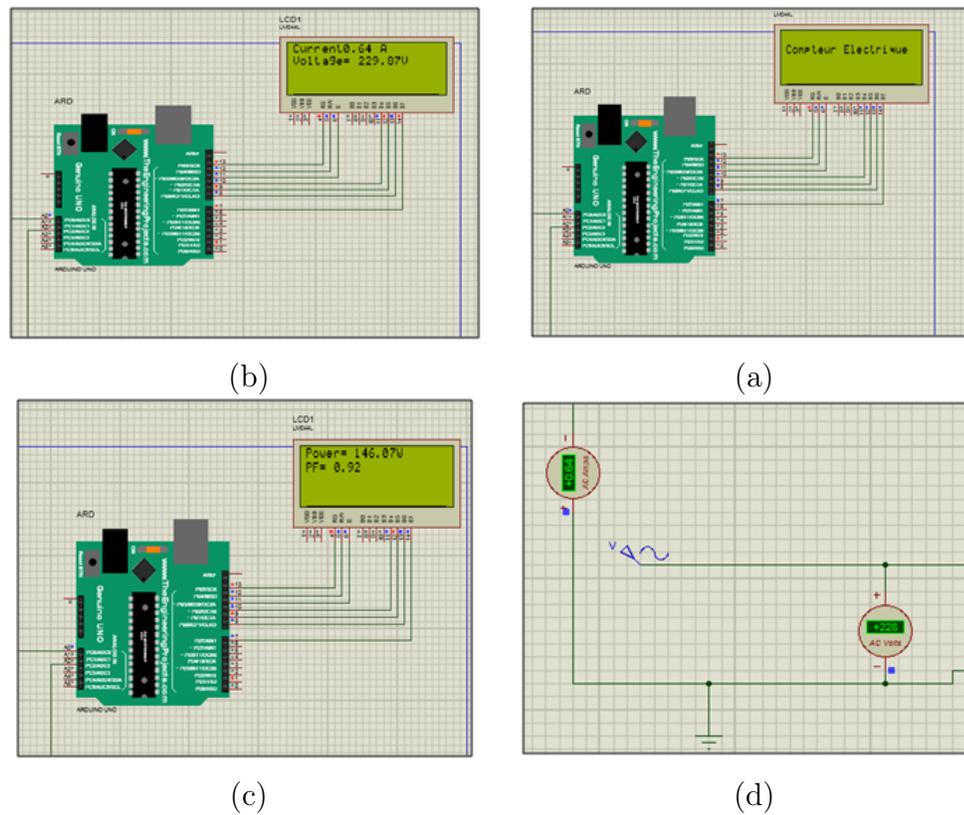


FIGURE 4.13: Résultat de simulation.

Dans les circuits alternatifs, le facteur de puissance est le rapport entre la puissance réelle utilisée pour effectuer le travail et la puissance apparente fournie au circuit.

$$\cos(\theta) = \frac{P, \text{realPower}}{|S|, \text{apparentPower}} \quad (4.1)$$

Le calcul de facteur de puissance nécessite de connaître le décalage en second entre le signal de courant et le signal de tension. Ce décalage est un déphasage compris entre 0 et 1. Il dépend de la nature de charge utilisé et ses puissances active et réactive, soit :

- Charge résistive,  $\varphi=0$  et  $\cos(\varphi)=1$ , le courant et la tension sont en phase.
- Charge inductive ou capacitive,  $\varphi \in [0^\circ, 90^\circ]$  ou  $[-90^\circ, 0^\circ]$ , le courant et la tension sont en opposition de phase comme le montre dans la Figure 4.14.

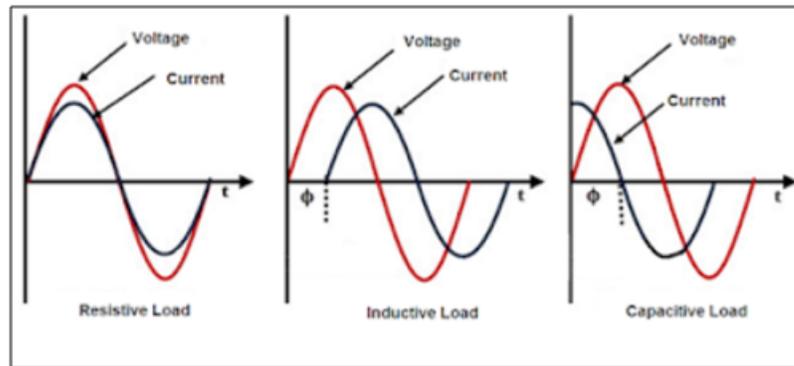


FIGURE 4.14: Déphasage entre courant et tension pour différentes charges

Pour mesurer le facteur de puissance avec le microcontrôleurs « Arduino », nous allons utiliser sur la même expression que le programme précédent « emon1.Power facteur » qui nous facilite le calcul de ce facteur pour les différentes charges, a fin de comprendre bien l'idée voir les figures 4.15, 4.16 :

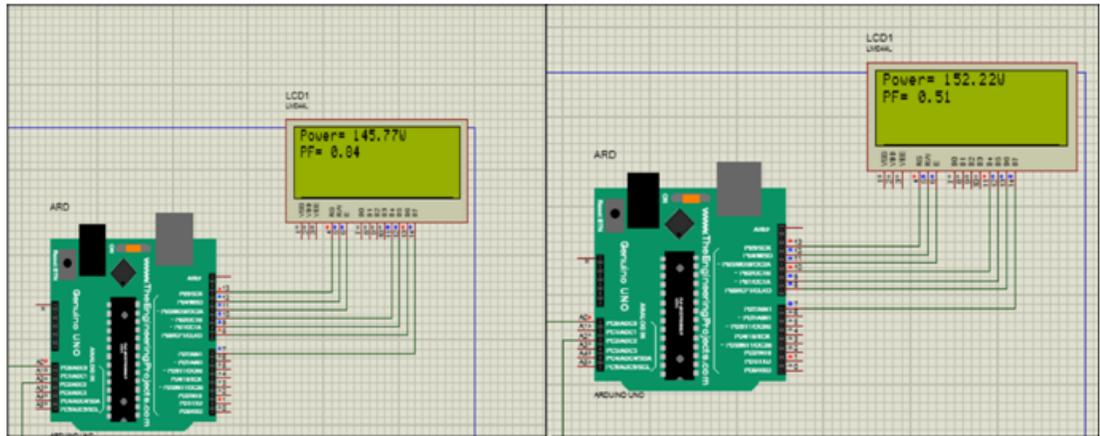


FIGURE 4.15: Le facteur de puissance pour une charge inductive et capacitive.

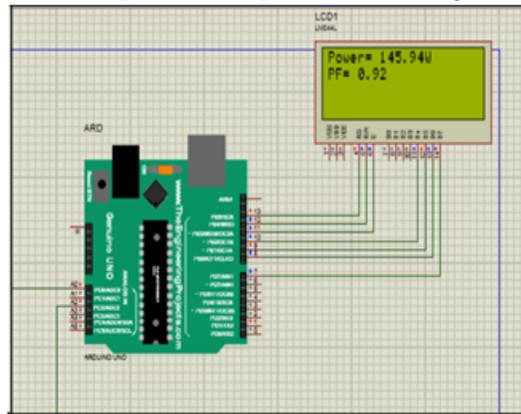


FIGURE 4.16: Le facteur de puissance pour une charge resistive.

## 4.2 Réalisation et tests

Après les étapes de la conception, la programmation et la simulation du circuit électrique de compteur ,qui nous ont permis de déceler et corriger certaines erreurs, nous allons passer à la phase de la réalisation et du tests pratique, avec une démarche bien étudiier que nous allons la représentée par la suite .

D’abord, nous allons décrire les éléments nécessaires pour notre réalisation, puis nous allons discuté en détail les principaux éléments pour la mise en œuvre, que sont :le câblage du capteur de courant SCT-013-00 et son interface avec le microcontrôleur.Ensuite, nous nous allons présenté la partie de communication qui sert à envoyer les valeurs calculer vers une page HTML à l’aide d’un microcontrôleur NodeMCU.

### 4.2.1 Schéma de réalisation

La figure 4.17, présente le prototype du compteur réaliser, indiquant les composants utiliser :

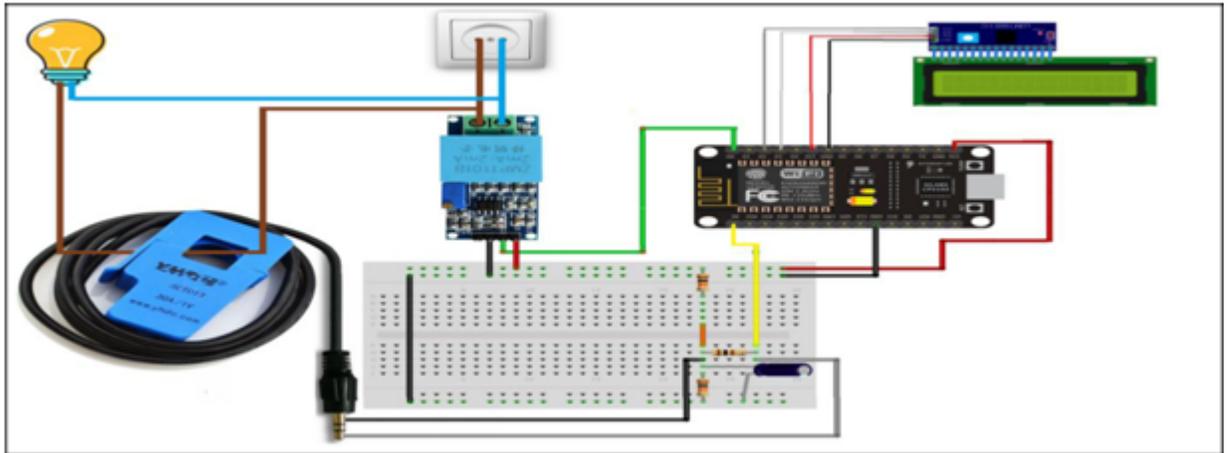


FIGURE 4.17: Schéma descriptif du système réalisé.

### 4.2.2 Description du prototype générale de compteur intelligent

Nous avons pris un chemin pour faire cette réalisation à l'aide des composants nécessaires pour valider le bon fonctionnement de notre compteur .Le chemin est basé sur la réalisation d'un moniteur d'énergie qui suit un cahier des charges bien défini, tel que :

- Mesure de la tension et le courant.
- Calculer la puissance apparente, active et réactive pour différentes charge.
- Calculer le facteur de puissance dépend la nature de charge utilisé.
- Envoyer les calculs à une page HTML bien définie.

En utilisant les principaux composants suivants :

- Capteur de courant SCT-013-030 de (30A).
- Capteur de tension ZMPT101B(une seul phase).
- Un microcontrôleur NODEMCU (ESP8266).
- Un afficheur LCD.

- Une charge.

### 4.2.2.1 Le capteur de courant SCT-013-030 et NodeMcu

#### A. Calculons la résistance de charge du capteur SCT-013

L'objectif de cette partie est d'obtenir une résistance qui nous permet de lire la tension du courant qui traverse le capteur SCT-013. Nous devons atteindre la résolution maximale possible et pour cela nous devons connaître la puissance approximative de l'appareil ou de l'appareil que nous allons mesurer.

Le calcul de la résistance de charge, ne s'applique qu'au type de capteur SCT-013 qui n'inclut pas la résistance de charge, SCT-013-000 avec Arduino et d'autres cartes telles que NodeMCU, nous ne pouvons mesurer que la tension. Si la tension change également entre les valeurs maximale et minimale, cela ne peut être obtenu que via une entrée analogique. Cela nous permettra d'ajuster la précision. Le SCT-013-000 peut mesurer de 50 mA à 100 A. pour calculer la valeur de cette résistance, par cette la formule :

$$Resistancedecharge = \frac{AREF \div 2.0}{(I_{rms} \times 1.414) \div Nbr.tour} \quad (4.2)$$

Pour ce projet, nous ne mesurerons pas de valeurs supérieures à 10A. Ainsi, nous pouvons considérer que le courant maximum est 10 fois inférieur car la plupart des appareils consomment des courants inférieurs à cette valeur. Par conséquent, nous avons adopté la résistance 330Ω.

#### B. La conversion et le décalage le signal de capteur SCT-013-030

Dans la résistance de charge, nous aurons une tension qui varie de 2,5 V à -2,5 V. C'est toujours un signal sinusoïdal. Le problème qui existe est que ni Arduino ni NodeMCU ne lisent les tensions négatives. Nous devons donc modifier le signal pour

qu'il se trouve dans la plage de 0V à 5V. Cela se fait en ajoutant un décalage CC à notre signal comme le montre la figure 4.18. Nous le ferons à travers un circuit appelé circuit offset en DC. Fondamentalement, il consiste à mettre un diviseur de tension et un condensateur. Le condensateur doit être de 10  $\mu\text{F}$  et de quelques centaines de volts. Cela rend la réactance faible et le courant alternatif évite la résistance.

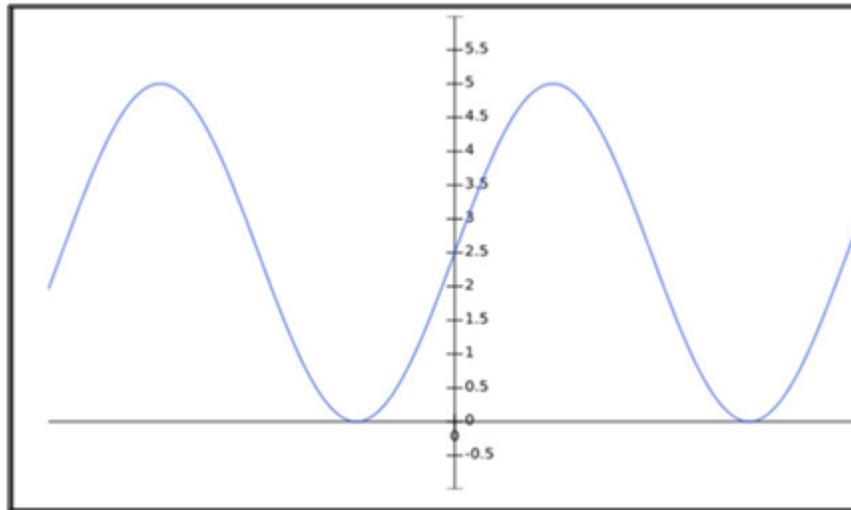


FIGURE 4.18: Décalage le signal du capteur

### C. Calibrage de capteur SCT-013

Cette partie est très importante pour avoir des données de consommation satisfaisantes avec le capteur SCT-013. Nous devons partir du concept que nos appareils ne sont pas parfaits. Il est impossible de fabriquer quoi que ce soit avec une précision absolue. Il existe une relation directement proportionnelle entre la précision et le prix. Plus l'appareil est précis, plus elle est cher. Il y a trois facteurs importants à considérer et qui influencent la précision :

- Rapport de transfert du transformateur.
- La valeur de la résistance à la charge et sa tolérance.
- La précision de l'ADC lors de la mesure de la tension aux bornes de la résistance de charge.

- Le processus de calibrage est simple. Il suffit d'appliquer la formule suivante :

$$F_{calibration} = \frac{CT_{ratio}}{burdenresistance} \quad (4.3)$$

### 4.2.2.2 Le capteur SCT-013 et circuit électrique

Avec tout ce que nous avons vu, nous pouvons maintenant monter le circuit électrique où nous connectons le SCT-013 et NodeMcu. Avant de voir comment connecter les composants, jetons un coup d'œil au connecteur inclus dans la famille SCT-013.

#### A. Connecteur SCT-013

Il s'agit du connecteur appelé jack comme le montre la figure 4.19. Sur le côté du capteur AC SCT-013, la prise mâle a les connexions suivantes :

- Connexion au milieu résistance.
- Connexion à la broche analogique.

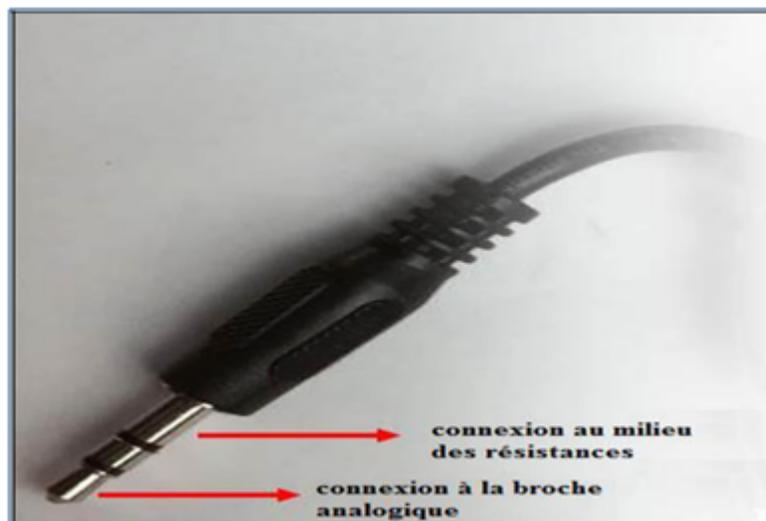


FIGURE 4.19: Les connexions de la prise de capteur.

#### B. correct du capteur SCT-013

Nous allons voir comment nous devons brancher les câbles haute tension avec le capteur de courant alternatif SCT-013 comme le montre la figure 4.20. Nous devons

faire ce brochage d'une certaine manière correcte, sinon nous ne mesurerons pas correctement la consommation.

C'est peut-être l'une des parties les plus complexes de la connexion, car dans de nombreux cas, nous devons retirer la gaine qui recouvre les câbles et exposer la phase et le neutre. La chose la plus importante est que nous devons câbler un seul de ces câbles, sinon la mesure sera nul. Cela est dû au fait que le courant circule dans une direction dans l'un des câbles et circule dans la direction opposée à travers l'autre câble. Si nous serrons les deux fils, un flux magnétique compensera l'autre flux magnétique et s'annulera.

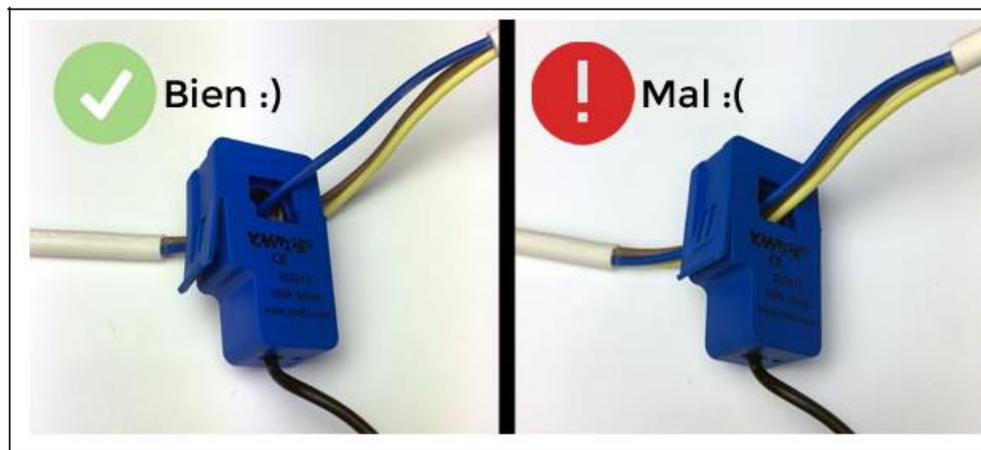


FIGURE 4.20: L'emplacement correct du SCT-013 avec le câble de la charge.

### 4.2.3 Programmation

#### 4.2.3.1 Présentation du programme sur l'interface du logiciel Arduino IDE

La structure du programme de la réalisation est divisée en plusieurs parties, comme le montre la figure ci-dessous :

```

progderéalisation $
/*
//Créer un point d'accès WiFi et fournissez un serveur Web dessus.
//Charger la bibliothèque Wi-Fi et serveur de nodemcu */
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
// Bibliothèque pour capteur de courant */
#include <EmonLib.h> //on inclure la biblio Emonlib pour contrôler les capteur de courant
#include <Wire.h> //..... pour contrôler l'écran LCD
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //..... biblio pour contrôler l'écran en protocole I2c
LiquidCrystal_I2C lcd (0x20,20,4); //..... on déclare l@ I2c de l'écran ainsi que sa taille
//déclaration les types des variables globales pour la partie de communication
#ifndef APSSID
#define APSSID "ESSAT"
#define APPSK "12345678"
#endif

EnergyMonitor emon1; // Crée un instant
float Irms; // déclaration de type de la valeur efficace du courant
float supplyVoltage;
float apparentPower;
float powerFactor;

```

FIGURE 4.21: La partie de déclaration des variables et des bibliothèques utilisées.

```

// partie wifi
const char *ssid = APSSID;
const char *password = APPSK;

ESP8266WebServer server(80); // Définir le numéro de port du serveur Web sur 80

// Variable pour stocker la requête HTTP
String SendHTML(float V, float I, float P, float PF) {

String apparentPower;
String Irms;
String supplyVoltage;
String powerFactor;

Serial.println(P);
Irms = String(I, 2);
supplyVoltage = String(V, 2);
apparentPower = String(P, 2);
powerFactor = String(PF, 2);

String ptr = "<!DOCTYPE html> <html>\n";
ptr += "<head><meta name='viewport' content='width=device-width, initial-scale=1.0, user-scalable=no'>\n";
ptr += "<script type = 'text/JavaScript'>\n";
ptr += "{!--\n";
ptr += "function AutoRefresh( t ) {\n";
ptr += "    setTimeout('location.reload(true);', t);\n";
ptr += "    --}\n";

```

FIGURE 4.22: Partie Wifi du programme (création de la page HTML, les variables d'entrées).

```

ptr += "    setTimeout('location.reload(true);', t);\n";
ptr += "    }\n";
ptr += "    //-->\n";
ptr += "</script>\n";
ptr += "<title>Compteur numérique</title>\n";
ptr += "</head>\n";
ptr += "<body onload = 'JavaScript:AutoRefresh(5000);'>\n";
ptr += "    Courant: "+Irms+" <br>\n";
ptr += "    puissance: "+supplyVoltage+" <br>\n";
ptr += "    puissance: "+apparentPower+" <br>\n";
ptr += "    puissance: "+powerFactor+" <br>\n";
ptr += "</body>\n";
ptr += "</html>\n";
return ptr;
}

void handleRoot() { //L'URL de la page Web est définie sur la racine.
server.send(200, "text/html", SendHTML( supplyVoltage, Irms, apparentPower, powerFactor));
}

```

FIGURE 4.23: Partie de Wifi du programme (afficher les variables mesurées sur la page créée).

```

// partie affichage en lcd
void setup() {
  delay(1000);
  Serial.begin(115200); //on active le monitor serie

  lcd.init();//initialisation l'ecran LCD
  lcd.backlight();// on active le retroéclairage
  lcd.print("Compteur intelligent");
  delay(200);
  Serial.println();//en affiche dans le monitor la variable suivante
  Serial.print("Configuring access point...");
  |
  //Vous pouvez supprimer le paramètre password si vous souhaitez que le point d'accès soit ouvert
  WiFi.softAP(ssid, password);

  IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
  Serial.print("AP IP address: ");
  Serial.println(myIP);
  server.on("/", handleRoot);
  server.begin();
  Serial.println("HTTP server started");

  emon1.current(A0, 30); // Calibration de courant*/
  emon1.voltage(2, 230, 1.7);//Voltage: pin d'entrer, calibration, déphasage
}

```

FIGURE 4.24: Partie d'initialisation de LCD et calibrage les mesures.

```

void loop() {
  server.handleClient();// qui surveille la présence d'un client et délivre la page .
  emon1.calcVI(20,2000); //calculer tous.non de demi longueurs d'onde (croissement)time-out
  unsigned long timemillis=millis(); // Renvoie le nombre de millisecondes depuis que la carte Arduino a commencé à exécuter le programme courant
  unsigned long time=timemillis/1000;
  Irms = emon1.calcIrms(1480); // Calculer Irms : 1480: nombre d'échantillons (14cycle X 106 echantillons de la pin =1480)
  supplyVoltage = emon1.Vrms;//calcule la valeur du tension
  apparentPower = emon1.apparentPower; //extraire La puissance apparente en variable
  powerFactor = emon1.powerFactor;

  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);// apparente de la puissance
  lcd.print("P: ");
  Serial.print(apparentPower);
  lcd.println("WATT ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Current: ");
  Serial.println(Irms);
  lcd.print("A");
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("Voltage: ");
  Serial.println(supplyVoltage);
  lcd.print("V");
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("PF: ");
  Serial.println(powerFactor);
  lcd.home();
  delay(2000);
}

```

FIGURE 4.25: Partie mesures du programme dans et affichage les valeurs calculer.

### 4.2.3.2 Tests et résultat

Afin de vérifier les résultats de calcul obtenus par notre compteur intelligent, nous divisons notre prototype en deux parties, une partie mesure de courant d'après le capteur SCT013 et une partie mesure de la tension à partir de capteur ZMPT101B. Nous avons testé deux types de charges, à savoir :

#### A. Cas d'une charge résistive

Dans le cas d'une charge résistive, nous choisissons d'utiliser une lampe (64W, la tension de fonctionnement est de 230V). Pour assurer l'analyse de cette charge, nous

avons réalisé le montage illustré à la Figure 4.26 : D'après cette figure nous voyons que le capteur de courant(Figure 4.26.a) est placé directement avec la phase de la charge résistive, qu'est raccordé avec le circuit électrique par une résistance burden et le capteur de tension est relié avec la prise d'alimentation (Figure 4.26.b) ,les résultats obtenus sont affichés dans l'afficheur LCD et se transmettent vers une page HTML par le NodeMcu.

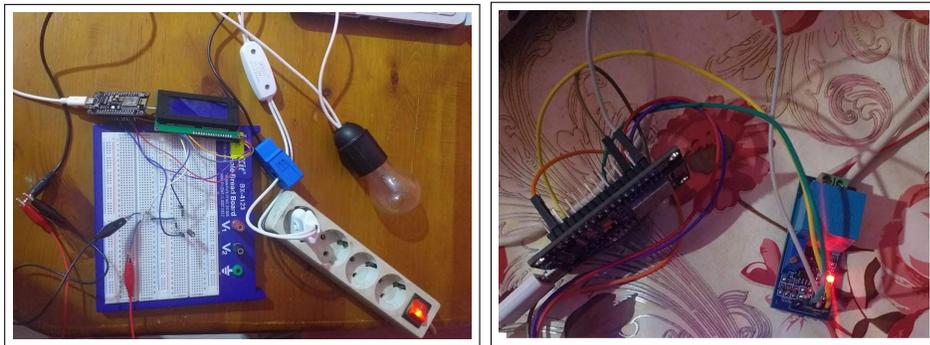


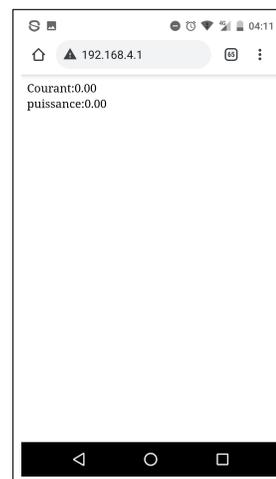
FIGURE 4.26: Circuit de réalisation pour la mesure du courant et de la tension.

Initialisation des résultats sans charge montre sur la Figure 4.27 :

- Figure 4.27.a :Affichage des résultats sur LCD.
- Figure 4.27.b :L'envoi des résultats sur page HTML.



(a)



(b)

FIGURE 4.27: Résultat du test sans charge.

Les résultats de test est illustrée sur la Figure 4.28.



FIGURE 4.28: Résultats du teste pour une charge résistive.

### B. Cas d'une charge inductive

Dans le cas d'une charge inductive ,nous utilisons un petit ventilateur comme le montre la figure 4.29.



FIGURE 4.29: Circuit réaliser pour un charge inductive.

Les résultats du test sont illustrées dans la Figure 4.30.

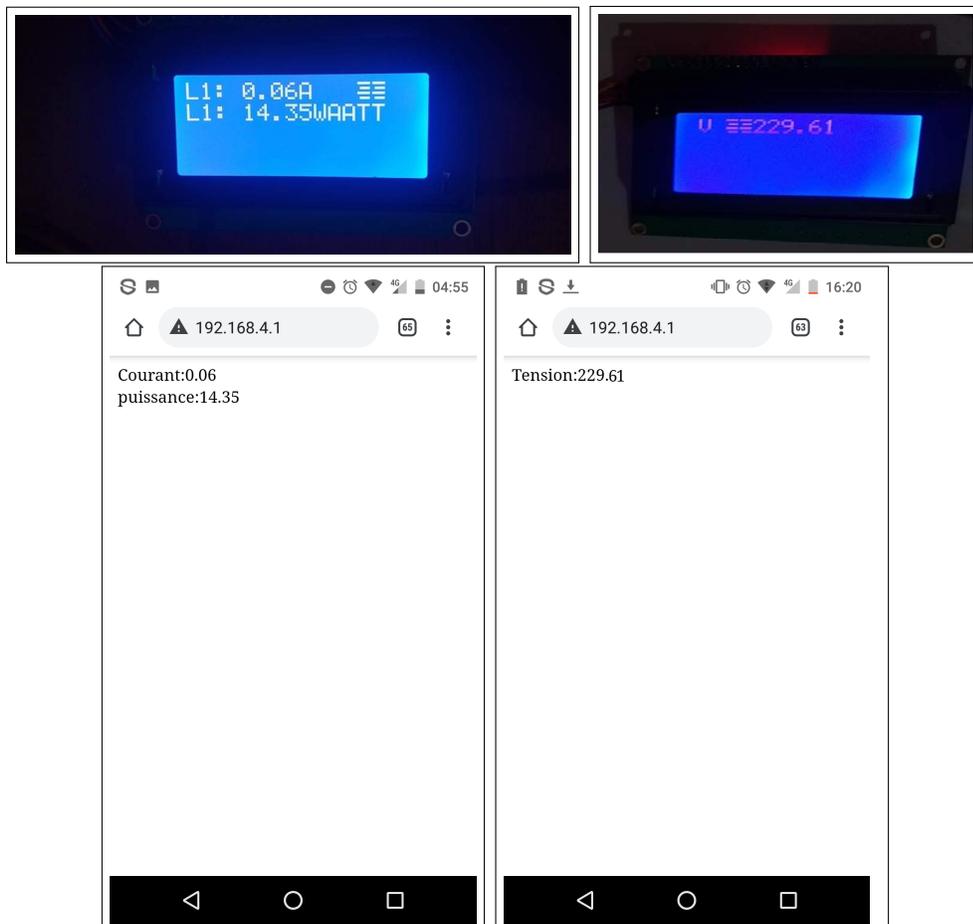


FIGURE 4.30: Résultats du teste pour une charge inductive.

### Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons présenté la simulation des circuit électrique utilisé , avec une description du programme élaboré sous logiciel Arduino permettant l'acquisition, le traitement et l'affichage des données. Puis, nous avons passer à la simulation de système pour les différentes charges, afin de valider le bon fonctionnement de notre réalisation.

A la fin, nous avons présenté notre réalisation par un schéma descriptif des composants utilisé, en se basant sur le comportement du capteur SCT-013 , le microcontrôleur « NodeMCU » et leur rôle dans cette réalisation. Ce circuit électrique est commander par un programme bien défini, basé sur la mesure et l'envoi des résultats .Les résultats obtenus confirme le bon fonctionnement du système, permettant d'obtenir un moniteur d'énergie bien contrôler et plus performant.

D'après ces résultats, nous avons réalisé que notre système est facile à utiliser et non coûteux.

---

## Conclusion générale

Les réseaux intelligents ou "smart grids" sont équipés de capteurs qui collectent et transmettent des données. Le comptage intelligent permettra à l'industrie de l'énergie de gérer le système de production et de distribution de manière plus rentable et facilitera une utilisation accrue des énergies renouvelables. Les compteurs intelligents jouent un rôle important dans l'innovation dans le secteur de l'énergie, ce système permet d'augmenter la précision des lectures de KWh, PF et surveille la quantité de demande réelle d'énergie en plus d'augmenter la sécurité et de ne pas être manipulé par les clients et de découvrir les abus. Le coût de la quantité de facteur de puissance peut être ajouté si le client n'améliore pas les conditions du facteur de puissance. Ainsi que pour augmenter les performances de la programmation de l'exploitation du système de distribution d'énergie électrique en contrôlant la consommation d'énergie des clients. Les objectifs fixés ont été atteints, de concevoir et de développer un appareil qui surveille la consommation d'énergie et envoie ensuite les données via un système de transmission sans fil. Les données sont collectées par un système de gestion des données, qui peut fournir des informations sur la consommation d'énergie aux utilisateurs via Internet. En premier temps, nous avons étudié les facteurs économiques et sociologiques affectant la croissance de la consommation mondiale d'électricité, puis nous avons discuté de l'amélioration de l'utilisation des énergies renouvelables et de l'augmentation de l'efficacité énergétique pour réduire la consommation d'énergie. Aussi, nous devons contrôler la consommation électrique en donnant quelques définitions

des compteurs d'électricité. Enfin, nous avons donné une présentation sur l'Internet des objets qui sert à définir leur concept et leur importance sur la vie. Par la suite, nous avons présenté le compteur d'électricité en général en montrant son histoire, son rôle, les différents types du compteur avec leurs avantages et inconvénients. Dans la partie de conception du matérielle et logicielle, nous avons définis notre cahier des charges en donnant les différents caractéristiques de chaque composant. Aussi nous avons présenté les interfaces des logiciels utilisés. Enfin, dans le dernier chapitre nous avons présenté la simulation des circuits électriques en donnant une description du programme élaboré sous logiciel Arduino qui permet l'acquisition, le traitement, et l'affichage des données. Pour le bon fonctionnement de notre réalisation, nous avons choisis plusieurs types de charge aussi nous avons basé sur le comportement de capteur de courant SCT-013, capteur de tension ZMP101T et le microcontrôleur "NodeMCU".

Ce circuit électrique est contrôlé par un programme bien défini basé sur des mesures et transmet les résultats qui confirment le bon fonctionnement du système, résultant en un moniteur d'énergie bien contrôlé, plus efficace et facile à utiliser et moins cher. Par conséquent, ce mémoire nous a appris beaucoup de choses, comme l'utilisation du logiciel Arduino IDE pour la programmation des microcontrôleurs, l'utilisation du logiciel PROTEUS pour simuler nos circuits électroniques. De plus, ce mémoire ouvre un domaine d'application et des recherches relativement importantes.

Comme perspective, il serait intéressant de développer le dispositif, pour des résultats meilleurs tout en exploitant l'étude, le dimensionnement et la simulation réalisés en vue de commercialiser le dispositif.

# Bibliographie

- [1] W. R. Morrow III, A. Hasanbeigi, J. Sathaye, and T. Xu, “Assessment of energy efficiency improvement and co2 emission reduction potentials in india’s cement and iron & steel industries,” pp. 131–141, 2014.
- [2] A. Chauprade *et al.*, “Géopolitique de l’énergie,” *Revue française de*, 2004.
- [3] M. Mekideche, “Le secteur des hydrocarbures en algérie,” *Confluences Méditerranée*, no. 4, pp. 153–166, 2009.
- [4] I. Agency, “Key world energy statistics,” *International Energy Agency*, 2016.
- [5] G. ABDELLAOUI, H. MEGNAFI, and F. T. BENDIMERAD, “A novel model using reo for iot selfconfiguration systems,” in *020 1st International Conference on Communications, Control Systems and Signal Processing (CCSSP)*. IEEE, 2020, pp. 1-5.
- [6] I. Saleh, “Internet of things (iot) : Concepts, issues, challenges and perspectives,” *Challenges of the Internet of Things : Technology, Use, Ethics*, vol. 7, pp. 1-26, 2018.
- [7] L. Jonckheere, A. De Coninck, and I. Schuiling, “L’état d’avancement de l’internet des objets dans le secteur de la maison intelligente.”
- [8] H. Megnafi, “Frequency plan optimization based on genetic algorithms for cellular networks,” *Journal of Communications Software and Systems*, vol. 16, no. 3, pp. 217–223, 2020.
- [9] T. Salgado and P. Inácio, “Les actions sociotechniques des objets connectés :des réflexions à partir de l’internet des objets,” *Interfaces numériques*, vol. 6, no. 2, 2018.
- [10] D. Z. Souyah and S. Berrichi, “Etude et réalisation d’un wattmètre électronique,” Ph.D. dissertation, Université de Tlemcen, 2017.
- [11] F. LAZAAR and A. KERMAL, “Amélioration d’un prototype de compteur intelligent avec intégration de système de communication.” Ph.D. dissertation, Université de Tlemcen, 2019.

- [12] L. H. . S. GABBADI., “Etude des compteurs d’énergie électrique.” UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE, Tech. Rep., 2017.
- [13] “Compteurs électriques modulaires/disponible enligne : [www.polier.fr](http://www.polier.fr).consultée :12/05/2020.”
- [14] G. C. A. test & mesure., “Dossier equipement électrique,” *Revue d’information technique Réseaux électriquesles centrales de mesure.*, été1999.
- [15] M. N. et Bowen BAI Tanya ANGELOVA, “Compteurs intelligents :état des lieux des déploiements statut des données et respect de la vie privée,” Institut des sciences appliquée ROUEN, Tech. Rep., 19/06/2017.
- [16] A. AZMANI and A. BAB, “Courants porteurs sur lignes et applications domotiques,” Ph.D. dissertation.
- [17] Z. CHAFAA BELAID and H. CHAFA BELAID, “Etude et réalisation d’un système de communication par bluetooth pour un compteur électrique avancé,” Ph.D. dissertation, Université de Tlemcen, 2017.
- [18] E. Datasheet, “Esp8266ex datasheet,” pp. 1–31, 2015.
- [19] E. Enterprise, “Nodemcu esp8266 esp-12e wifi development board,” *INTRODUCTION TO NodeMCU ESP8266*, JULY 2017.
- [20] A. MEDJADJI, “Développement d’une application mobile en utilisant un modèle lot pour l’automatisation d’un site intelligent,” Ph.D. dissertation, Université de Tlemcen, 2018.
- [21] I. Hajar, M. Hafizd, A. W. Dani, S. Miharno *et al.*, “Monitoring of electrical system using internet of things with smart current electric sensors,” *Sinergi*, vol. 22, no. 3, pp. 211–218, 2018.
- [22] “Open energy monitor,ct sensor- yhdc sct-013-000 current transformer disponible enligne :[https ://learn.openenergymonitor.org](https://learn.openenergymonitor.org).consulté le :06/06/2020.”
- [23] A. Kawamura, T. Haneyoshi, and R. G. Hoft, “Deadbeat controlled pwm inverter with parameter estimation using only voltage sensor,” pp. 118–125, 1988.
- [24] M. J. Mnati, A. Van den Bossche, and R. F. Chisab, “A smart voltage and current monitoring system for three phase inverters using an android smartphone application,” *Sensors*, vol. 17, no. 4, p. 872, 2017.

- [25] W. Wan, W. Qiao, W. Huang, M. Zhu, Y. Ye, X. Chen, and L. Chen, “Multiview holographic 3d dynamic display by combining a nano-grating patterned phase plate and lcd.” *Optics express*, vol. 25 2, pp. 1114–1122, 2017.
- [26] M. Aghillas and M. Ilyas, “Etude et réalisation d’un compteur électrique connecté à base de cartes arduino,” Ph.D. dissertation, Université Mouloud Mammeri, 2018.
- [27] M. A. Zerzri, “Arduino et simulink/matlab® un outil innovant à cout réduit pour le prototypage,” *J3eA*, vol. 12, p. 0020, 2013.
- [28] W. A. NACK TONG BONIFACEJOB, NSALI NDEMA REINE LILIANE, “Conception et réalisation d un compteur intelligent de gestion de l énergie en mode prépayé,” Master’s thesis, Ecole Normale Supérieure d’Enseignement Technique.
- [29] T. M. L. I. en Instrumentation et Mesure Physique, *Cours Proteus Proffissionel(ISIS & ARES)*.