

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

*Paix – Travail – Patrie*

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
ECOLE NORMALE SUPERIEUR  
D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE  
D'EBOLOWA  
DEPARTEMENT DE GENIE  
ELECTRIQUE

\*\*\*\*\*



REPUBLIC OF CAMEROUN

*Peace – Work – Fatherland*

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I  
HIGHER TECHNICAL TEACHER  
TRAINING COLLEGE OF  
EBOLOWA  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL  
ENGINEERING

\*\*\*\*\*

**Filière  
Electrotechnique (ET)**

## **CONCEPTION ET REALISATION D'UN COMPTEUR INTELLIGENT PREPAYE**

Mémoire de fin d'étude  
En vue de l'obtention du Diplôme de Professeur d'Enseignement  
Technique et  
Professionnel de 2e grade (DIPET II)

Par : **ASSEMBE Fidèle Gaëtan Wilfried**

Sous la direction de  
**Pr. NDJAKOMO ESSIANE Salomé**  
Maître de conférences  
**Dr. PERABI NGOFFE Steve**  
chargé de cours

**Année Académique : 2019 - 2020**



---

## Dédicace

*À ma famille*

## Remerciements

Ce travail est le fruit des efforts combinés internes et externes des personnes à qui nous ne saurions ne pas exprimer notre reconnaissance et nos remerciements les plus sincères.

Nos remerciements et notre gratitude au Pr. NDJAKOMO ESSIANE Salomé, *Maître de conférences* et directeur de l'ENSET d'Ebolawa ; au Dr. PERABI NGOFFE, *chargé de cours* à l'Université de Douala sous la direction et l'encadrement de qui nous avons eu l'honneur et le plaisir de travailler. Leurs compétences, leurs conseils, leurs critiques, leur rigueur scientifique et leur entière disponibilité nous ont permis de mener ce travail à son terme. Nos remerciements et notre gratitude vont en l'endroit de Madame le Chef de Département de Génie Electrique, par ailleurs directeur, pour son suivi, son orientation et sa rigueur sur le plan académique. Ses conseils, ses critiques, sa rigueur au travail et son entière disponibilité nous ont permis de mener à bien notre cursus académique.

Nos remerciements et notre gratitude à Madame FOUDA BELLA Régine, Chargée d'étude du département génie électrique pour toute l'énergie et le temps consacré pour la bonne marche dudit département.

Nos remerciements et notre gratitude à tout le corps enseignant dudit département pour avoir veillé sur notre suivi académique tout au long de cette formation

Nos remerciements et notre gratitude à l'endroit de mes parents et mes frères et plus précisément à ma sœur jumelle Eve Sandra, pour tous les efforts que vous consentis pour moi avec amour, confiance et patience, vous êtes ma seule raison de vivre, ma motivation et l'énergie qui m'a permis tout au long de cette formation de donner le meilleur de moi..

Nos remerciements et notre gratitude à l'endroit de nos oncles et tantes en particulier a ASSEMBE Pauline pour son soutien inconditionnel.

Nos remerciements et notre gratitude à AMENG Julien, Daniel BIDIAS, ETOGA Hubert, KENGNE Guy, MEYE Ridje, NGUEMETA Bienvenue, NGUISSI Carole, TCHAKOUTEU NANA, ZENEMANG Jean, tous futurs enseignants et camarades pour les moments chaleureux, conseils et la disponibilité dont ils ont fait preuve. C'est par ce «vivre ensemble » que nous avons mené à bien notre cursus jusqu'à la rédaction de ce mémoire.

Et enfin nos remerciements et notre gratitude mes amis qui ont su m'épauler quelques soient les situations HYONGUEBE Pamella, MEYO Franck, MINDJA Fabrice, alemcha MINKO et façon particulière à Pat felix NFANA OYONO pour apport.

---

## LISTE DES ABREVIATIONS

**LCD** : Liquid Crystal Display

**CPL** : Courant Porteur de Ligne

**NA** : Neutre Artificiel

**IN** : Courant de Neutre

**IP** : Courant de Phase

**RAM** : Random Access Memory

**GSM** : Global System for Mobile Communication

**GPRS** : General Packet Radio Service

**TCP / IP** : Transfert Control Protocol / Internet Protocol

**CAO** : Construction Assistée par Ordinateur

**Ws** : Energie souscrite

**Wc** : Energie consommée

**LED**: Light Emitting Diode

**AT** : Advanced Technology

---

## RESUME

Utilisé dans la distribution de l'énergie pour le comptage ou encore la quantification de la consommation mensuelle chez l'abonné, le compteur électrique est de ce fait un élément indispensable. Ce dernier est sujet à une pléthore de problèmes causant ainsi des désagréments chez le consommateur comme chez le fournisseur. A l'origine de ces problèmes on peut citer: la non-conformité à des moments entre la consommation marquée sur les factures et celles qu'affiche le compteur de l'abonné cette défaillance et généralement le fait de la mauvaise relève des agents de terrain; les fraudes ; les longues files d'attente devant les guichets, la corruption des agents de relève, le favoritisme etc. Palier à ces problèmes reviendrait à concevoir un système de comptage intelligent. C'est dans cette logique que se situe notre thème de recherche : **« CONCEPTION ET REALISATION D'UN COMPTEUR INTELLIGENT PREPAYE »**. Bien que des travaux allant dans le même sens que le nôtre ont été effectués, nous leur avons emboité le pas pour non seulement palier aux problèmes en dépassant les limites laissées par les autres mais aussi apporter notre contribution. Pour y parvenir nous avons utilisé Proteus pour modéliser le compteur, l'IDE ARDUINO formaliser nos objectifs avec des lignes de code, MIT INVENTOR pour développer une application qui va inter agir avec le microcontrôleur via le module GSM,... qui sont des outils matériels et logiciels. Une étude expérimentale nous a mené aux résultats escomptés (souscription, contrôle des charges....) partant de la réalisation de la caisse en bois jusqu'au prototype finale passant par la conception du circuit imprimé, la soudure des composants,... pour coût de 276.000 francs cfa. Nous avons donc obtenu un compteur qui est rechargé via son smart phone, notifie le consommateur lorsqu'il atteint 80% de l'énergie souscrite, être interrogé pour le montant / quantité d'énergie souscrite,...

Mots clés : compteur prépayé, énergie, consommation, souscription, application...

---

## ABSTRACT

Used in the distribution of energy for-metering or even the quantification of monthly consumption at the subscriber, the electric meter is therefore an essential element. The latter is subject to a plethora of problems thus causing inconvenience both to the consumer and to the supplier: At the origin of these problems we can note: the non-conformity at the times between the consumption marked on the invoices and that displayed by the subscriber's meter. This is generally due to the poor succession of field agents, fraud, long queues in front of the counters, corruption of the relief agents, favoritism, just to name a few. To overcome these problems would amount to designing an intelligent metering system. It is in this logic that lies our theme: «DESIGN AND PRODUCTION OF A PREPAID SMART METER». Many works going in this direction having been carried out, we follow suit not only to talk about the problems by exceeding their limits but also by making our contribution. To achieve this, we used Proteus to model the meter, the Arduino IDE formalize our objectives with lines of MIT INVENTOR code, to develop an application that will interact with the microcontroller via the GSM module... which are hardware and software tools. An experimental study led us to the discount results (subscription, load control...), starting from the realization of the wooden case to the final prototype, through the realization of the printed circuit, the soldering of the components... we have obtained a meter which is recharged via his smart phone, notifies the consumer when it reaches 80% of the subscribed energy, to be questioned for the amount/quantity of subscribed energy,...

**Keywords:** prepaid meter; energy; consumption; subscription; application.

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> compteur électromécanique [9].....	6
<b>Figure 2:</b> Structure interne [9].....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 3:</b> Vue physique d'un compteur [9].....	7
<b>Figure 4:</b> Synoptique simplifié d'un compteur [10].....	7
<b>Figure 5:</b> Schéma bloc montrant la configuration complète pour diverses fonctionnalités utilisées [10].....	9
<b>Figure 6:</b> image d'un compteur monobloc[3].....	11
<b>Figure 7:</b> image d'un compteur split [3].....	12
<b>Figure 8:</b> Connexion normal de la charge avec le compteur d'énergie[10].....	15
<b>Figure 9:</b> Connexion mixte entre normal et avec une neutre artificielle [10].....	16
<b>Figure 10:</b> Inversement le sens de courant[10].....	16
<b>Figure 11:</b> Absence du neutre[10].....	17
<b>Figure 12:</b> Le by-pass du compteur d'énergie[10].....	18
<b>Figure 13:</b> La fraude avec une double alimentation [10].....	19
<b>Figure 14:</b> carte Arduino uno.....	24
<b>Figure 15:</b> carte teensy [10].....	25
<b>Figure 16:</b> Capteur de courant ACS712 [10].....	26
<b>Figure 17:</b> Capteur de tension AC ZMPT101B [10].....	26
<b>Figure 18:</b> constitution interne du capteur de tension AC ZMPT101B[10].....	27
<b>Figure 19:</b> présentation physique d'un afficheur [10].....	27
<b>Figure 20:</b> présentation du module gsm [10].....	28
<b>Figure 21:</b> Représentation physique du module RTC[10].....	29
<b>Figure 22:</b> synoptique global du système.....	31
<b>Figure 23:</b> représentation du « bête à corne » des objectifs du client et du distributeur.....	32
<b>Figure 24:</b> représentation de l'arbre des objectifs.....	33
<b>Figure 25:</b> représentation du diagramme pieuvre.....	34
<b>Figure 26:</b> Ordinogramme fonctionnel du compteur.....	36
<b>Figure 27:</b> Ordinogramme fonctionnel de la macro étape.....	37
<b>Figure 28:</b> Redresseur AC – DC.....	38
<b>Figure 29:</b> Redresseur DC – DC.....	39
<b>Figure 30:</b> schéma de simulation.....	47
<b>Figure 31:</b> visualisation de l'allure de la tension.....	48
<b>Figure 32:</b> visualisation de la tension et la puissance.....	49
<b>Figure 33:</b> message de souscription reçu par l'abonné.....	49
<b>Figure 34:</b> prototype de la caisse.....	50
<b>Figure 35:</b> prototype physique de la caisse.....	51
<b>Figure 36:</b> disposition de composantes.....	52
<b>Figure 37:</b> carte électronique.....	53
<b>Figure 38:</b> description de la carte.....	54
<b>Figure 39:</b> description du compteur.....	55

---

<b>Figure 40:</b> icone .....	56
<b>Figure 41:</b> page d'accueil.....	56
<b>Figure 42:</b> Page de recharge.....	57
<b>Figure 43:</b> onglet de commande.....	57
<b>Figure 44:</b> interface programme .....	58



---

## LISTE DE TABLEAU

<b>Tableau 1:</b> classification des compteurs.....	13
<b>Tableau 2:</b> Le tableau résume quelque caractéristique du module GSM Sim900A.....	29
<b>Tableau 3:</b> Caractéristique du module .....	30
<b>Tableau 4:</b> Analyse fonctionnelle .....	34
<b>Tableau 5:</b> description de la carte .....	54
<b>Tableau 6:</b> Description du compteur .....	55

## Table des matières

Dédicace .....	II
Remerciements .....	III
LISTE DES ABREVIATIONS .....	IV
RESUME.....	V
ABSTRACT .....	VI
LISTE DES FIGURES.....	VII
LISTE DE TABLEAU.....	IX
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Contexte .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Problématique .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Question de recherche.....</b>	<b>3</b>
<b>4. Objectifs et cahier de charge.....</b>	<b>3</b>
<b>CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE .....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. GENERALITES .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. EVOLUTION TECHNOLOGIQUE DES COMPTEURS D'ENERGIE .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1. Compteurs électromécaniques .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2. Compteurs électronique.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.3. Le compteur communiquant encore appelé compteur intelligent .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.4. Classification des compteurs.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3. La distribution basse tension (BT).....</b>	<b>13</b>
<b>1.3.1. Facturation BT de l'énergie au Cameroun.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.2. Le piratage de l'énergie.....</b>	<b>14</b>
<b>1.4. ETAT DE L'ART .....</b>	<b>19</b>
<b>1.4.1. Etat de l'art sur les méthodes intelligentes utilisées dans les compteurs .....</b>	<b>19</b>
<b>1.4.2. Etat de l'art sur les travaux déjà effectués .....</b>	<b>20</b>
<b>1.5. ANALYSE CRITIQUE .....</b>	<b>22</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>23</b>
<b>CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>24</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1. ETUDE DE QUELQUE COMPOSANT DU SYSTEME .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.1. Microcontrôleur .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.2. Capteur de courant ACS712.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.1. Capteur de tension .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.2. Afficheur LCD .....</b>	<b>27</b>

2.1.3.	Module GSM SIM900A .....	28
2.1.4.	Module RTC .....	29
2.2.	MISE EN ŒUVRE FONCTIONNELLE.....	30
2.2.1.	Synoptique du système .....	30
2.2.2.	Diagramme fonctionnel.....	32
2.2.3.	Ordinogramme fonctionnel.....	35
2.3.	MODELISATION DES ALIMENTATIONS.....	37
2.3.1.	Modélisation du convertisseur AC – DC .....	38
2.3.2.	Modélisation des convertisseurs DC – DC .....	39
2.3.2.1.	Modélisation du convertisseur DC – DC pour alimentation du microcontrôleur... 39	
2.3.2.2.	Modélisation du convertisseur DC–DC pour alimentation du module GSM.....	42
CHAPITRE 3 : RESULTAT ET DISCUSSION .....		46
INTRODUCTION.....		46
3.1.	PRESENTATION DES RESULTATS EN SIMULATION.....	46
3.1.1.	Schéma de simulation .....	46
3.1.2.	Résultat test n° 1 .....	47
3.1.3.	Présentation du test n°2 .....	48
3.1.4.	Présentation du test n° 3.....	49
3.1.5.	Synthèse des résultats en simulation .....	50
3.2.	RESULTATS EXPERIMENTAUX.....	50
3.2.1.	Présentation de la caisse réalisée.....	50
3.2.1.1.	Présentation sur logiciel.....	50
3.2.1.2.	Présentation physique du prototype .....	50
3.2.2.	Présentation du module de comptage .....	51
3.2.2.1.	Implantation de brochage .....	51
3.2.2.2.	Présentation de la carte .....	52
3.2.2.3.	Description des éléments sur la carte .....	53
3.2.2.4.	Description complète de la maquette.....	55
3.2.2.5.	synthèse .....	55
3.2.3.	Résultat de l’application sous androïde .....	56
3.2.3.1.	Présentation de l’icone.....	56
3.2.3.2.	Présentation de la page d’accueil .....	56
3.2.3.3.	Présentation de la page de recharge .....	57
3.2.3.4.	Présentation de l’onglet commande des charges .....	57
3.2.3.5.	Ligne de code .....	58
3.2.3.6.	Synthèse .....	58

---

<b>3.3. DISCUSSION SCIENTIFIQUE.....</b>	<b>58</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>60</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>61</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>62</b>

## INTRODUCTION GENERALE

L'utilisation de l'énergie électrique étant à grande échelle dans l'industrie et même dans les maisons d'habitations, il est donc nécessaire de produire, transporter, et de distribuer en vue de la consommation par les ménages. Cette consommation nécessite un dispositif permettant pour la quantification l'énergie consommée par les ménages afin que ces derniers aient un aperçu de leur coût de consommation. D'où la nécessité mettre au point d'un système de comptage efficace et efficient.

L'arrivée des compteurs a résolu une grande partie de ces problèmes (comptage en Kw/h de la consommation mensuelle...). Il en ressort que ces compteurs bien qu'ayant permis de résoudre le problème de la quantification de la consommation en énergie électrique, présentent encore des limites. Nous pouvons citer entre autre le vol d'énergie, conduisant ainsi un manque à gagner aux les opérateurs en charge de la distribution de l'énergie électrique (au Cameroun cette mission revient à ENEO), la fraude, la non-conformité entre consommation réelle et celle observée sur les factures, les longues files d'attentes pour le paiement des dites factures, l'augmentation du coût de la facturation à l'issue d'une coupure pour facture impayée impayé (pénalités) etc. Toute chose qui entraîne qui est à l'origine des désagréments à la fois chez les consommateurs que chez les fournisseurs.

Cependant, les progrès dans les domaines de l'informatique et de l'électronique ont révolutionné le secteur de l'électricité ceci par la création d'un système de comptage intelligent pour pallier aux problèmes ci-dessus cités en permettant une meilleur communication et gestion de la consommation (maîtriser sa consommation, optimiser la qualité de fourniture de l'électricité...). Ainsi, Mettre le consommateur au cœur de ces interactions nous a permis de nous lancer sur le thème : « **CONCEPTION ET REALISATION D'UN COMPTEUR INTELLIGENT PREPAYE** » Ceci, afin d'inciter le consommateur à changer ses habitudes de consommation et adopter un attitude responsables avec l'utilisation des compteurs intelligents qui lui offre des services tarifaires innovants et attractifs (le prépayé) mais aussi en lui permettant d'avoir des informations sur l'évolution de sa consommation en temps réel . A cet effet, ces compteurs sont bénéfiques non seulement pour le consommateur, mais aussi pour l'opérateur dans la mesure où il leur permettra de réaliser d'importantes économies (plus de déploiement des agents sur le terrain pour la relève des indexes de consommation d'énergie) et d'offrir un meilleur service après-vente aux consommateurs, ils pourront dès lors payer leurs factures à partir du téléphones.

## **1. Contexte**

Etant un bien de consommation à part entière, l'énergie électrique est indéniablement un atout dont ne pourraient s'en passer les pays en voies de développement tel que le nôtre pour développement économique et social.

Depuis sa découverte, on connaît et continue de connaître des avancées technologiques remarquables à tel point qu'à ce l'homme moderne ne se passer de l'énergie électrique. Cette nécessité s'explique par la place de choix qu'occupe l'énergie électrique dans le développement économique des Etats. Mais avant, cette ressource qui provient des sources d'énergies primaires (l'énergie hydraulique, l'énergie solaire, l'énergie éolienne etc.) doit être produite, transportée pour afin être distribuée aux consommateurs. Cette distribution devrait être comptabilisée pour des besoins de rentabilité économique, d'où la nécessité d'introduire un dispositif de comptage (compteurs d'énergie électrique attribué à chaque consommateurs), dispositif que nous allons concevoir.

Ce dispositif innovant permettra d'envoyer des informations, recevoir des notifications (recharge...), de stocker les informations via le GSM, et de maîtriser les niveaux de consommation de chaque utilisateur afin de contrôler les charges.

## **2. Problématique**

Le niveau de vie relativement bas de la plupart des ménages au Cameroun, a parfois amenés les opérateurs de terrain à fournir à leurs clients des appareillages bas de gamme ce qui impacte notre consommation. Cette pratique entraîne très souvent avec elle des désagréments tant économiques que sécuritaires pour le consommateur. Ce dernier pourrait ainsi faire les frais d'une surconsommation avec pour effet immédiat sur la facturation de sa consommation. Le non-paiement des dites factures amène l'opérateur de distribution à suspendre la fourniture en énergie l'abonné. Cette situation n'est guère reluisante pour le consommateur qui devra faire face à des couts supplémentaires en lien avec cette suspension.

La longue attente devant les guichets de paiement, la fraude inhérente à l'installation de l'appareillage, la non-conformité entre la consommation réelle et celle marquée sur les factures, la corruption et le favoritisme dans les guichets de paiements etc. Sont autant de difficultés auxquelles les consommateurs doivent faire face au quotidien. Ce biais est lié au fait que les consommateurs/ménages ne reçoivent pas toujours les informations sur l'évolution de leur consommation au moment opportun.

A cet égard, les progrès scientifiques et technologiques ont été d'un grand apport pour pallier aux défaillances du système actuel. . C'est dans ce cadre que les évolutions dans le secteur de l'électronique ont permis l'implémentation des ensembles miniaturisés et moins encombrants dans l'optique d'améliorer l'offre de service et gérer efficacement la consommation en énergie au moyen de compteur prépayé.

Comprendre son fonctionnement et son usage nous amène à concevoir et à réaliser un compteur intelligent prépayé qui facilitera les transactions aux abonnés en ce sens qu'ils pourront désormais effectuer le paiement de leurs factures librement depuis leurs téléphones portables. Par ailleurs ils pourront également stocker dans une mémoire (carte SD) les informations sur les recharges et la consommation (meilleure traçabilité). A ceci s'ajoutons une supervision/contrôle de la consommation des habitations, bureau etc... depuis notre smartphone

### **3. Question de recherche**

Notre thème nous amène à nous poser la question suivante : « quelle est l'apport du compteur intelligent prépayé sur la consommation et le paiement des factures chez l'opérateur et l'abonné ? »

### **4. Objectifs et cahier de charge**

La conception et la réalisation de ce dispositif a pour objectif la limitation des fraudes et la gestion libérale (intelligente) par un consommateur de l'énergie en mode prépaiement de son installation électrique. Il sera donc capable de :

- Limiter les files d'attente dans le guichet de paiement ;
- Etre rechargé à distance via son téléphone ;
- Faire une traçabilité des différentes consommations ;
- Interrompre et établir l'énergie après épuisement ou recharge de son solde ;
- Interroger son solde de consommation ;
- Mémoriser les données de consommation en cas de coupure et les restituer ;
- Notifier l'abonné (consommateur) du niveau de consommation (lorsque celui-ci atteint la plage critique) ;
- Limiter en cas de variation de la consommation en éliminant certaines charges.

En plus des points ci-dessus cités, nous associons a ce dispositif une supervision/contrôle des charges.

# CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE

## INTRODUCTION

Etant une forme d'énergie, l'électricité a évolué avec le temps et ses applications se sont multipliées dans tous les domaines de l'activité économique et dans les foyers domestiques. Comme elle n'est pas stockable, il a fallu mettre sur pied un système permettant de mesurer au fur et à mesure la consommation, à savoir le compteur électrique. D'abord équipement mesurant une grandeur unique à savoir l'énergie active, le compteur électrique, sous l'impulsion d'un besoin de tarifications plus élaborées et des progrès techniques, est devenu de plus en plus complexe, remplissant de nombreuses fonctions liées directement ou indirectement à la facturation de l'énergie électrique consommée. Il sera donc question dans ce chapitre de parler : des généralités; de l'évolution technologique des compteurs passant par l'étude technologique des compteurs prépayés, la distribution BT (basse tension) puis faire un état de l'art.

### 1.1. GENERALITES

Les habitations actuelles sont équipées des compteurs électriques dit «traditionnel ». Ces compteurs, dispositif électromécanique ou électronique, permettent de mesurer l'énergie consommée par les foyers.

Soit  $x(t)$  une grandeur électrique (volt, ampère, watt, voltampère, etc.) susceptible de varier avec le temps  $t$ . On appelle compteur d'électricité un appareil qui effectue d'une façon continue ou quasi continue l'intégration :

$$\int_0^t x(t)dt \quad (1.1)$$

Ensuite, il donne pratiquement à chaque instant le résultat actuel de cette intégration, soit sous forme convenant à une lecture directe, soit sous toute autre forme adaptée à l'utilisation envisagée. Le comptage de l'électricité s'applique à des grandeurs électriques très diverses. Il est utilisé pour des modes de tarification très variés [1].

Pour que les fournisseurs d'énergie aient connaissance des consommations mensuelles, il faut impérativement procéder à une relève « physique » de l'/des index de cet équipement de comptage. Cette relève est notamment nécessaire dans le cadre de l'établissement des factures de régularisations mensuelles.



---

Les progrès réalisés à cet effet en électronique vers les années 80 vont aboutir à la conception de nouveaux compteurs (compteur prépayé et compteur intelligent) permettant à un abonné de décider de la consommation d'énergie électrique de son domicile.

Avec l'intégration de cette nouvelle fonctionnalité, de nombreuses opérations pourront être réalisées à distance, comme le relevé d'index, mais également le relevé de la tension, la modification de la puissance de raccordement, l'activation d'une fonction «prépaiement» [2], [3].

## **1.2. EVOLUTION TECHNOLOGIQUE DES COMPTEURS D'ENERGIE**

Notons qu'un compteur électrique est un organe électrotechnique servant à mesurer la quantité d'énergie électrique consommée dans un lieu comme une habitation, une industrie etc. Il est utilisé par les fournisseurs d'électricité (ENEO pour le cas du Cameroun) afin de facturer la consommation d'énergie au client. Les premiers compteurs construits dans le passé étaient électromécaniques. Ils étaient conçus sur la base de systèmes à pendules relativement complexes ou de petits moteurs électriques.

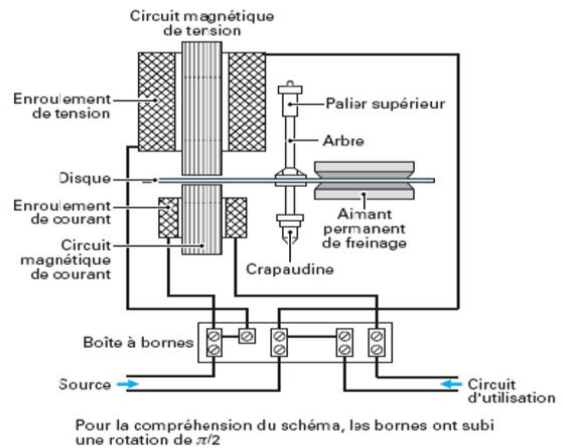
Ces compteurs encore appelé compteur à courant alternatif sont encore en grand nombre électromécaniques, en particulier pour le comptage dit résidentiel, dans les foyers domestiques (maison d'habitation). Cependant, cette technologie dite électromécanique s'est vue remplacer tour à tour par la technologie électronique et celle des compteurs communiquant pour toutes les applications ayant un caractère plus complexe et à exigence de précision plus élevée, à savoir pratiquement toutes les applications en dehors du comptage résidentiel.

### **1.2.1. Compteurs électromécaniques**

Ce sont les plus anciens compteurs. On les reconnaît à leur disque qui tourne proportionnellement à l'énergie consommée. Ils se fixent à l'aide de trois points d'attache. Leur intérêt est leur grande robustesse et leur facilité d'installation. Les compteurs que l'on trouve principalement sur le marché sont des compteurs rénovés. Il s'agit de la première génération de compteurs installés.



a) Compteur



b) structure interne

*Figure 1: compteur électromécanique [9]*

### a. Principe de fonctionnement

Son principe de comptage est le magnétisme. Au-dessus du disque, un premier électroaimant composé d'une bobine de cuivre et d'un noyau de fer est traversé par un courant reçu par le fournisseur ENEO. Il génère alors un champ magnétique dirigé vers le disque. Un second électroaimant similaire reçoit quant à lui le courant utilisé par le domicile. Le deuxième champ ainsi créé varie en fonction de la quantité d'électricité consommée. Pris en sandwich par les deux champs magnétiques opposés, le disque se met en rotation à une vitesse proportionnelle à l'électricité utilisée. Il entraîne dans sa course une série de roues chiffrées donnant ainsi en temps réel l'index en kwh de l'électricité consommée.

### b. Avantages et inconvénients

Il présente l'avantage d'être lu y compris lors de la coupure de courant. De plus, en cas de vandalisme il garde la dernière valeur affichée ce qui rend sa lecture toujours possible.

### 1.2.2. Compteurs électronique

Bien que ce type de compteur existe dès les années 1980 [8], c'est à partir des années 1990 qu'ils font leur apparition dans le paysage français. Le système de comptage est électronique et ils sont souvent moins encombrants que les compteurs classiques. Le fonctionnement se fait à l'aide d'un shunt. La tension mesurée aux bornes de ce shunt est proportionnelle à l'intensité qui le

traverse. Ils peuvent être à affichage mécanique ou LCD (numérique). Ces compteurs sont plus sensibles aux surintensités et surtensions, et tout particulièrement à la foudre. Il s'agit de la deuxième génération de compteurs installés.

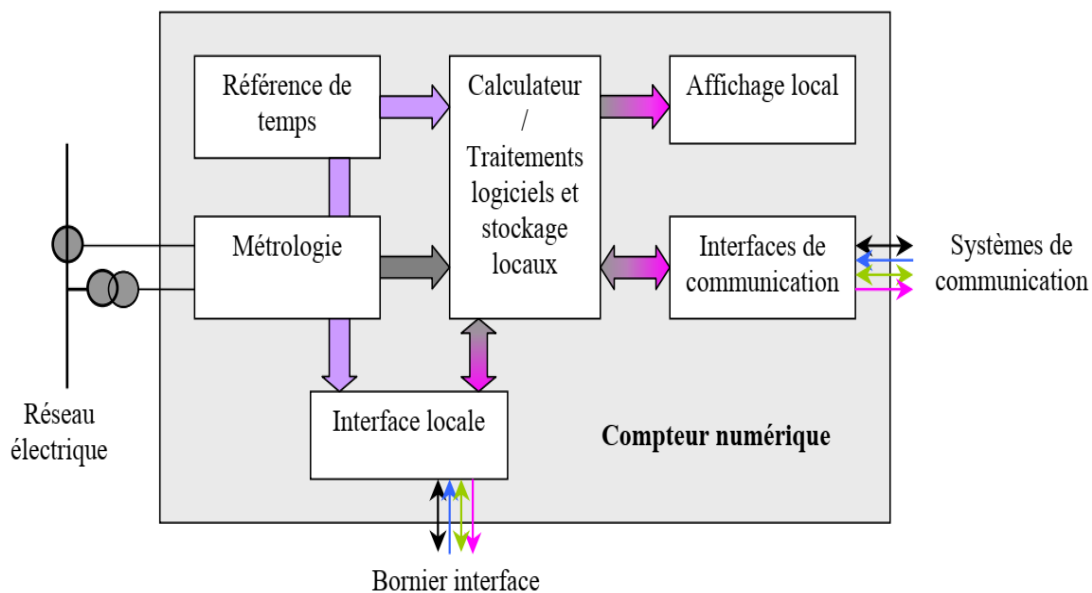


a) Compteur à affichage analogique



b) Compteur à affichage numérique

**Figure 2: Vue physique d'un compteur [9]**



**Figure 3: Synoptique simplifié d'un compteur [10]**

- **La métrologie** c'est un module qui nous permet de faire une étude sur les valeurs instantanées des grandeurs électriques à savoir : le courant de phase, la tension entre phase ou entre phase-neutre. Cet élément nous permet d'effectuer un relevé sur les caractéristiques électriques.
- **Référence de temps** : elle nous permet de donner une référence des mesures et calculs.

---

L'interface locale nous permet de fournir l'énergie à la charge, permet aussi la gestion des différentes commandes.

- **Le calculateur** nous permet de faire un traitement et le stockage des informations reçues à partir de nos différents modules, il nous permet aussi de faire une mise en forme de nos différentes informations reçues.
- **L'afficheur** permet d'afficher les informations après traitement, ou alors permet d'afficher la consommation d'énergie d'un client
- **L'interface de communication** permet de communiquer avec d'autres appareils

#### a. Principe de fonctionnement

Le système de comptage est électronique, il est moins encombrant que les compteurs classiques. Le fonctionnement se fait à l'aide d'un Shunt. La tension mesurée aux bornes de ce shunt est proportionnelle à l'intensité qui le traverse. Pour un compteur d'électricité numérique, la formule fondamentale de la mesure de l'énergie électrique est toujours représentée par l'intégrale :

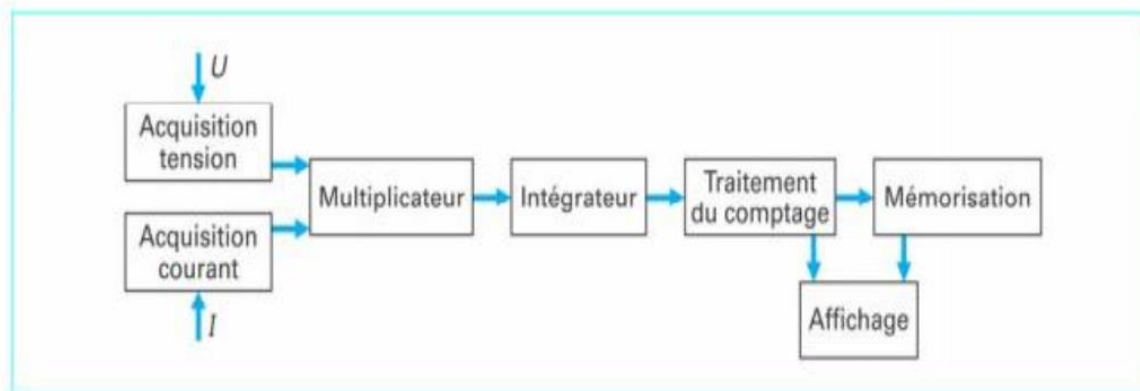
$$w(t) = \int_0^t u(t)i(t)dt \quad (1.2)$$

Avec  $u(t)$  : tension instantanée présentée par le réseau.

$i(t)$  : courant instantané parcouru par le réseau.

Il peut être à afficheur mécanique ou LCD, il s'agit de la deuxième génération des compteurs installés.

Il peut être représenté par le schéma bloc de la figure (5) ci-dessous qui indique la configuration complète pour les diverses fonctionnalités. Selon la technologie employée pour le compteur, certaines fonctions pourront être regroupées : c'est le cas, par exemple de certains types de multiplicateurs qui travaillent directement à partir des signaux de tensions et de courant et ne nécessitent donc pas de circuits d'acquisition de ces données.



**Figure 4:** Schéma bloc montrant la configuration complète pour diverses fonctionnalités utilisées [10]

### b. Avantage et inconvénient

Leur principal avantage est qu'il est moins encombrant et comme inconvénient nous pouvons mentionner le fait que ce dernier une fois l'interruption de l'énergie, aucune valeur n'est présente sur l'écran d'affichage (ceci pour les afficheurs LCD).

### 1.2.3. Le compteur communiquant encore appelé compteur intelligent

Par définition un compteur communiquant est un système de comptage électronique capable non seulement de mesurer l'énergie consommée, mais également de communiquer la consommation ainsi que d'autres paramètres aux gestionnaires du réseau de distribution voir au client via un sous-système (supervision).

Cette ressentie génération de compteur novatrice, en ce sens que de nombreuses opérations seront réalisées à distance, le relevé d'index mais également de la tension ; la modification de la puissance de raccordement et l'activation d'une fonction (prépaiement). En plus de mesurer l'énergie consommée, le compteur intelligent est aussi capable de mesurer d'autres grandeurs, comme la tension par exemple. Cette information, donnée capitale pour le gestionnaire de réseau, offre une meilleure vision de l'état du réseau et permettra de diminuer la fréquence des pannes, minimiser leur ampleur et augmenter la qualité de fourniture. De manière générale, il désigne un système comprenant des compteurs communicants de manière mono ou bidirectionnelle à travers un réseau de communication fixe avec un système informatique central situé chez le gestionnaire de réseau. Ce système permet de fournir différentes fonctionnalités de manière automatisée.

Le compteur intelligent peut offrir des fonctionnalités beaucoup plus évoluées selon la complexité du système. On peut citer entre autre :

- La relève des index à distance sur demande et automatiquement de façon périodique, permettant la tarification sur la base d'index réels (électricité et gaz) et la facilitation des emménagements et déménagements et des changements des fournisseurs.
- La détection des fraudes
- La diminution de la consommation énergétique des consommateurs
- La gestion dynamique de la puissance souscrite (limitation, modification)
- La coupure et la remise en service à distance (principalement électricité)
- Le passage en mode prépaiement (électricité et gaz)
- La gestion des charges (délestage à distance)
- L'information du client notamment sur sa consommation
- Diminution du cout de service rendu
- La facilitation du marché libéralisé
- Commercialisation des services à valeur ajoutée

Cette gamme de compteur intelligent est de plus en plus implémenter dans les pays européens tels que la France (avec les compteurs Linky), le Pays-Bas et le Suède,...[11].

Ces compteurs, qui aident le publique à prendre conscience instantanément de ses consommations au départ étaient mécaniques actionnés par des pièces de monnaie. C'est à parti des années 1980 que les compteurs électroniques, combinés à des méthodes de codages de cartes ont été utilisés pour la conception des compteurs prépayés.

La gamme de compteurs à prépaiement est assez vaste, surtout avec l'arrivée des manufacturiers asiatiques. Mais trois grands fournisseurs occupent, au niveau mondial, une part considérable du marché à savoir Landis and Gyr basé en Suisse, Actaris devenu Itron en France et Conlog en Afrique du Sud.

Il est important de noter que les compteurs à prépaiement ont une double fonction : une fonction classique de dispense d'énergie, et une fonction de décomptage au lieu du comptage dans les autres types de compteurs. Cette fonction de décomptage s'exerce à partir d'une entrée de crédit. L'enregistrement de ce crédit peut se faire de diverses manières, soit par entrée d'un code, soit par des cartes de recharge, etc. De nos jours, ces deux types de recharge à prépaiement existent au niveau des fournisseurs d'énergies actuelles. De ce fait on distingue deux types de compteurs à savoir : le compteur monobloc et le compteur split.

### a. le compteur monobloc

Le compteur monobloc est un compteur prépayé compact dans un boîtier, l'unité de comptage et le clavier sont en un seul bloc. Le fait que le clavier et l'unité de compteur soient regroupés dans un même bloc a accentué la fraude par contournement du compteur, le client à accès au réseau de distribution avant le comptage [3].



*Figure 5: image d'un compteur monobloc [3]*

### b. le compteur split

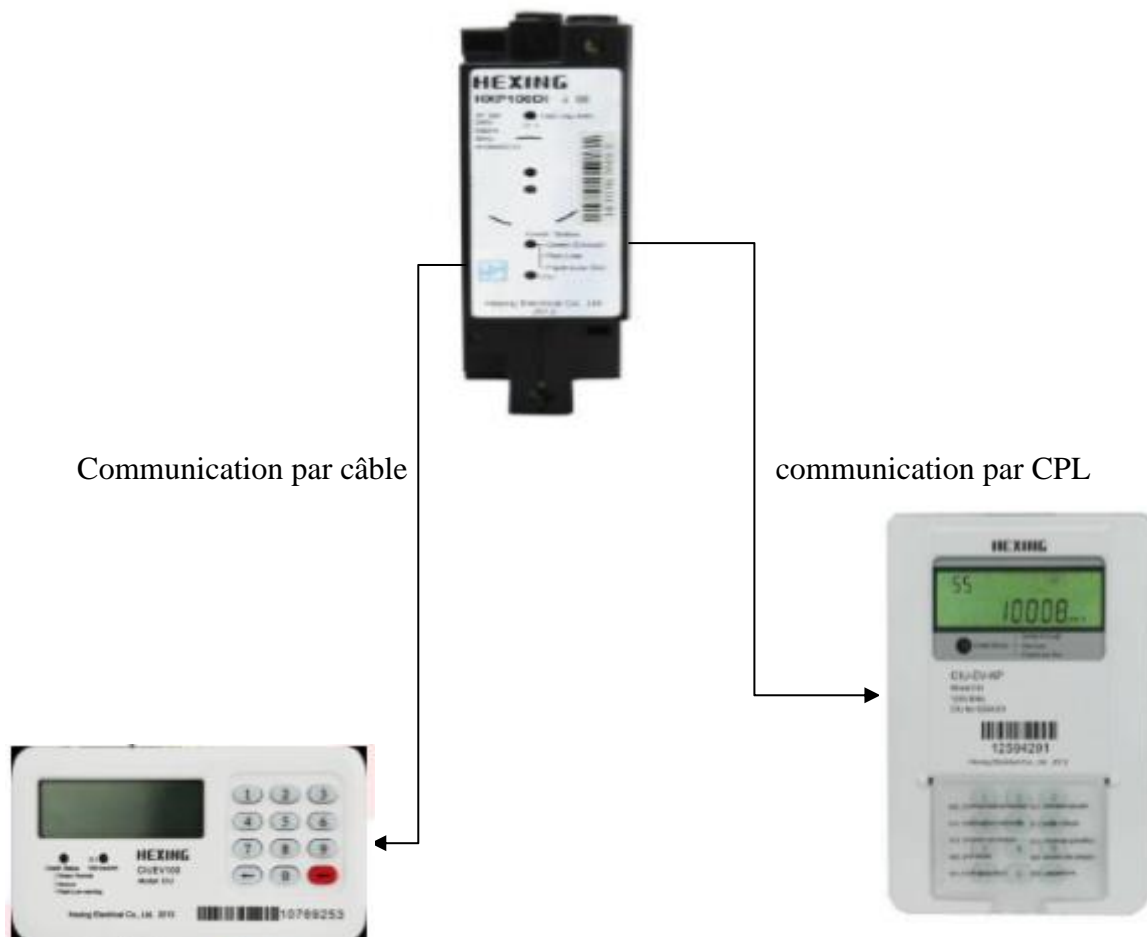
Le compteur Split sur Rail DIN est un compteur prépayé à clavier déporté dans un boîtier sur Rail; l'unité de comptage et le clavier sont séparés et communiquent soit par un câble ou par courant porteur ligne (CPL) L'avantage de ce compteur est qu'il est en deux bloc séparés avec une taille réduite d'où la possibilité de mettre l'unité de comptage hors de portée du client (hors concessions ou en haut de poteau) tout évitant l'encombrement des supports de distribution. Il est composé d'un élément de gestion de l'énergie EMU (Energie Management Unit) et d'un panneau de l'abonné CIU (Customer Interface Unit).

L'EMU contient tous les comptages, le décryptage du paiement et le contrôle de la consommation ;

Le CIU est composé d'une interface, compacte, d'un panneau d'affichage et d'un clavier numérique [2].

Le compteur split est précisément utilisé pour limiter les risques de fraude qui peuvent survenir avec des compteurs monobloc (l'absence de relevé le compteur peut entraîner des dérives chez les usagers les moins scrupuleux). Il est 10 à 15% plus cher que les compteurs monoblocs et

son montage est plus complexe, mais ces coûts sont équilibrés par la diminution des pertes non techniques qu'il engendre.



*Figure 6: image d'un compteur split [3]*

La gestion par prépaiement de ces compteurs est basé sur :

- Des équipements informatiques de gestion (serveur, ordinateur) et des interfaces (imprimantes de codes, gestionnaire de SMS, lecteur de carte de compteur).
- Des logiciels (programmes) de gestion qui permettent de faire fonctionner l'ensemble. Ces deux éléments sont indispensables pour faire fonctionner le prépaiement. Ils assurent des fonctions principales à savoir la gestion des bases de données et la gestion de recharges.



### 1.2.4. Classification des compteurs

Au regard de tout ce qui précède à savoir les avantages et des inconvénients sur les différents compteurs ci-dessus cités, nous pouvons les classer suivants les critères : la robustesse, fiabilité, sensibilité, rapidité, durée de vie. Comme sur le tableau ci-après :

*Tableau 1: classification des compteurs*

<b>Critères</b>	<b>Robustesse</b>	<b>fiabilité</b>	<b>sensibilité</b>	<b>Durée de vie</b>
<b>Compteurs</b>				
<b>Electromécanique</b>	Meilleur			Meilleur
<b>Electronique</b>			Meilleur	
<b>Communiquant</b>		Meilleur	Meilleur	

#### **Explication du tableau:**

En fonction de robustesse le compteur électromécanique est le premier devant tous les autres car il est plus robuste ; en ce qui concerne la fiabilité le c'est le compteur communiquant ou intelligent qui est le premier ( car il permet de réduire les erreurs techniques ...) ; parlant de la sensibilité les compteurs électronique et intelligent sont à la première place, le choix de l'un des deux dépendra de la demande de l'utilisateur ; enfin pour la durée de vie le compteur électromécanique est une fois de plus à la première position.

### 1.3. La distribution basse tension (BT)

Au Cameroun la distribution se fait suivant deux types de réseaux : Réseau de transport (permet d'acheminer l'énergie des sources de production jusqu'au transformateur HTB/HTA encore appelé poste source) et le réseau de distribution (permet d'acheminer l'énergie du transformateur HTB/HTA jusqu'au client final. Il permet de transporter l'énergie électrique à l'échelle locale, des centres de distribution vers le client final qui sont les petites et moyennes entreprises, les villes, les grandes surfaces, les commerces, les artisans, les particuliers... Il peut exister localement des sources de production qui injectent de l'électricité sur le réseau (éolien, microcentrales hydrauliques,...) [4]. A ce titre nous relevons que la distribution BT dans notre pays connaît beaucoup de problèmes. On peut citer entre autres:

- Les perturbations dans le réseau : dû au fait que Certains usagers qui doivent être classés abonnés HTA (clients spéciaux) avec leurs propres transformateurs de

distribution, sont plutôt raccordés au réseau basse tension (abonnés BTA), et perturbent énormément l'alimentation des ménages et autres activités artisanales.

Il s'agit principalement : des postes de soudures de fabrication artisanale, qui certainement ne respectent pas les normes en matière de pollution harmonique ; les fours électriques (souvent à induction) de boulangeries, les machines de menuiserie (machines à bois)

- Mauvaise qualité de tension (surcharge du transformateur, déséquilibre entre phases du réseau)

Dans les branchements chez les usagers suscite des coups dues à la consommation desdits usagers et on y retrouve : Fraude de puissance et branchements pirates, Blocage du compteur non plombé, Détournement partielle de la consommation.

### **1.3.1. Facturation BT de l'énergie au Cameroun [5]**

#### **a. usages domestiques ou résidentiels**

Plages de consommations mensuelles Tarifs

- Consommations inférieures ou égales à 110 kWh 50 FCFA/kWh
- Consommations comprises entre 111 kWh et 400 kWh 79 FCFA/kWh
- Consommations comprises entre 401 et 800 kWh 94 FCFA/kWh
- Consommations comprises entre 801 et 2000 kWh 99 FCFA/kWh

#### **b. autres usages ou non résidentiels**

Plages de consommations mensuelles Tarifs

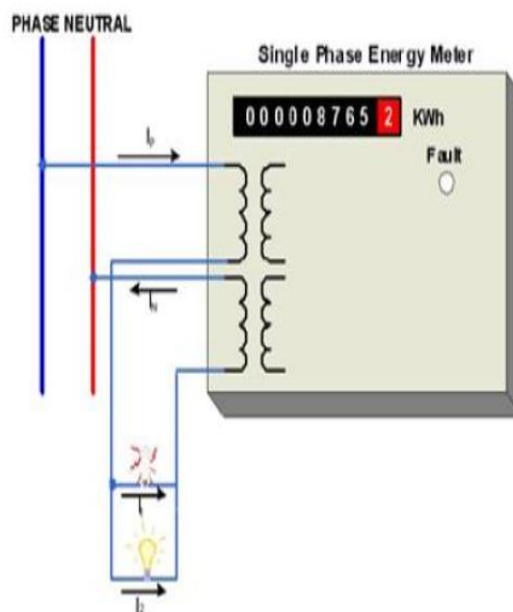
- Consommations inférieures ou égales à 110 kWh 84 FCFA/kWh
- Consommations comprises entre 111 kWh et 400 kWh 92 FCFA/kWh
- Consommations comprises entre 401 et 1000 kWh 99 FCFA/kWh

### **1.3.2. Le piratage de l'énergie**

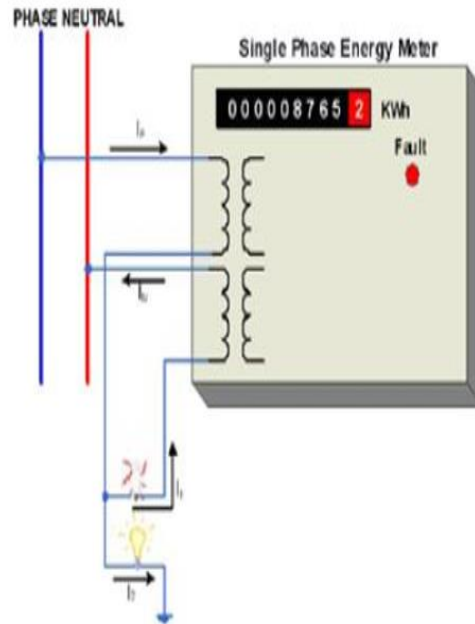
En raison de l'augmentation du coût de l'électricité et la difficulté de paiement, des approvisionnements frauduleux d'énergie sont devenus une préoccupation majeure pour les compagnies en charge de la distribution en électricité à travers le monde car elle engendre des pertes de gain à ces entreprises. Toutefois, La grande partie de ces pertes de recettes peut être récupérée par l'installation des compteurs d'énergie électroniques, car ils peuvent détecter les différents types de fraude. Cette section décrit les différentes techniques de manipulation utilisées par les fraudeurs.

### a. Connexion normale avec un neutre artificiel

Un défaut de terre signifie que certaine de la charge a été connecté à un autre potentiel de la terre et non pas sur le fil neutre. La figure 8 montre une connexion normale de la charge au compteur. On note que le courant passe à travers le fil de phase est la même que sortant du fil neutre ( $I_P = I_N$ ) [12]. La figure 1.9 montre une installation qui utilise un neutre artificielle (NA) où l'une des charges est reliée à la masse et donc une partie du retour du courant  $I_2$  ne passe pas par le compteur. Ainsi, le courant dans le fil de neutre  $I_N$ , est inférieur à celle de la phase ( $I_P$ ).



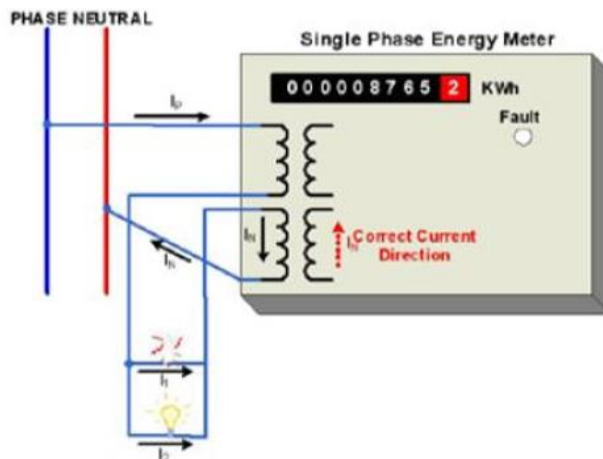
**Figure 7:** Connexion normal de la charge avec le compteur d'énergie [10]



*Figure 8: Connexion mixte entre normal et avec une neutre artificielle [10]*

**b. Inversion du sens du courant**

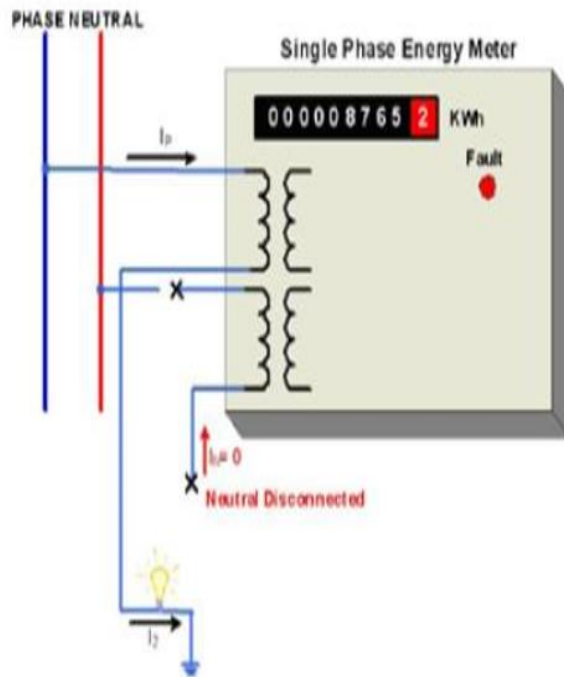
Le courant inverse se produit lorsque la phase et le neutre ne sont pas reliés exactement, provoquant le passage du courant dans la direction opposée à la normale. La figure 10 montre la connexion malhonnête.



*Figure 9: Inversement le sens de courant [10]*

### c. Absence du neutre

La méthode plus commune de manipulation est illustrée à la figure 11. Le vol se fait par l'utilisation d'un autre neutre différent au neutre du compteur d'énergie. Avec le neutre déconnecté, il n'y a pas de tension d'entrée et donc pas de sortie générée par l'alimentation.



*Figure 10: Absence du neutre[10]*

### d. Les interférences magnétiques

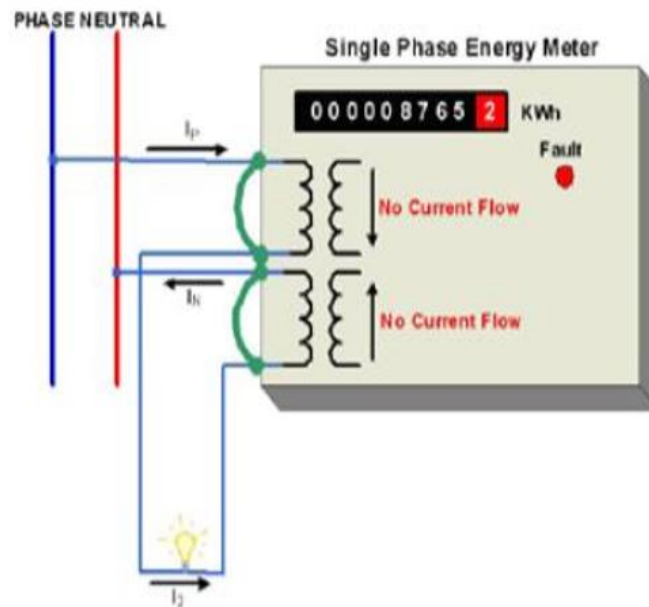
Les Compteurs d'énergie qui utilisent des matériaux magnétiques dans les circuits de mesure de tension et de courant sont affectés par l'influence du champ magnétique créé par l'extérieure. Par exemple, l'utilisation d'un aimant puissant pour changer l'intensité du courant introduit des erreurs importantes dans la mesure. L'idée est de saturer le noyau des capteurs ou de fausser le flux dans le noyau alors que l'enregistrement est erroné.

### e. La mise hors tension du compteur d'énergie électrique

Le Compteur peut être mis hors tension en retirant toutes les connexions de tension.

### f. Le by-pass du compteur d'énergie électrique

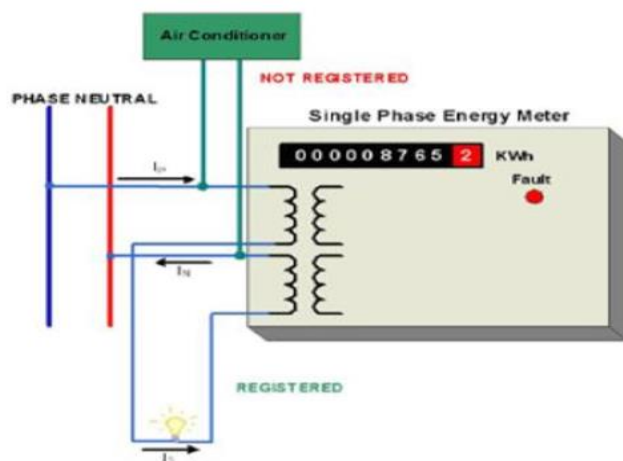
Il y a plusieurs façons de by passer un compteur d'énergie. La façon la plus commune est de mettre un cavalier (Figure 12) dans le compteur tel que la connexion est court-circuité et la consommation d'énergie n'est pas enregistrée. Ce type de dérivation de compteur peut être facilement détecté. Un autre type de dérivation du compteur est le branchement de la charge en amont du compteur.



*Figure 11: Le by-pass du compteur d'énergie [10]*

### g. Le vol d'énergie électrique avec une double alimentation

La figure 13 montre encore une autre technique de fraude pour by passé le compteur où une alimentation supplémentaire est connectée directement à la ligne, de sorte que la consommation n'est pas enregistrée. Habituellement, l'alimentation supplémentaire est faite pour brancher des appareils puissants tels que les climatiseurs. Les autres charges comme la lumière, sont branchées normales (les bornes destinées pour la charge) afin que la compagnie d'électricité ne soit pas suspecte.



**Figure 12:** La fraude avec une double alimentation [10]

## 1.4. ETAT DE L'ART

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

L'énergie produite est transmise aux clients par l'intermédiaire de compteurs qui enregistrent les consommations de ces derniers pour ensuite être facturées. La méthode utilisée dans ces compteurs est décrite à la figure 1.8 qui nous renseigne sur le processus partant de l'acquisition jusqu'à l'affichage des données de consommations. Ils utilisent à cet effet trois (03) types de comptage (le comptage BTA; le comptage HTA/BTA; le comptage HTA) [13].

#### a. Les comptages basse tension (BTA)

Ils se subdivisent en deux groupes :

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

#### b. Les comptages (HTA/BTA)

Ce type de comptage est généralement utilisé pour les clients privés dont l'alimentation en énergie électrique nécessite la construction d'une ligne moyenne tension et d'un poste de transformation. Ils peuvent être près d'un réseau électrique ou même très éloigné. Ces deux (02) types de comptages sont autorisés lorsque la puissance installée n'excède pas 1250 kVA, au-delà de cette puissance il faut nécessairement faire un autre type de comptage du côté HTA.

### **c. Les comptages HTA**

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

#### **1.4.2. Etat de l'art sur les travaux déjà effectués**

Il est nécessaire avant de se lancer dans un travail de conception et réalisation, de présenter certains travaux dont l'étude des avantages et des inconvénients nous permettra non seulement d'intégrer toutes les fonctionnalités des précédents systèmes mais aussi d'en ajouter d'autres en commençant par leurs limites afin d'avoir un système beaucoup plus innovateur.

Nous pouvons à ce titre parler de :

##### **a. cahier de recherche, les compteurs intelligents : vecteurs de changements comportementaux ?**

Cette récente publication s'interrogeait sur l'utilisation de dispositifs techniquement innovants et s'insérant aussi dans le champ de la sociologie comportementale afin de promouvoir l'adoption, par les ménages, de pratiques plus durables. Le compteur intelligent, en tant qu'appareil permettant de transmettre en temps réel la consommation d'électricité d'un ménage à son distributeur d'énergie, et par la suite au ménage lui-même, est ainsi un exemple de ce type de dispositif susceptible d'inciter les consommateurs à adapter leur comportement vers une plus grande maîtrise de leurs dépenses d'énergie.

Le Cahier de Recherche commence par dresser un panorama des potentialités offertes par le compteur intelligent et des dispositifs annexes qui peuvent lui être adjoints. Trois fonctions distinctes ressortent de cet inventaire des possibilités offertes aux ménages. Grâce au déploiement du compteur intelligent dans chaque foyer français, les distributeurs d'électricité disposent d'une meilleure connaissance du réseau et voient sa gestion facilitée. Ils peuvent ainsi mieux prévoir les pics de consommations et valoriser l'utilisation d'énergie propre. En cela, le compteur intelligent offre une fonction « palliative », il ne change pas les comportements des ménages mais rend leurs conséquences moins néfastes. Toutefois, avec des dispositifs tels que l'effacement diffus, le compteur peut aussi avoir un rôle « contraignant », en prenant le pas sur les ménages et en les



forçant à se conformer à un comportement souhaitable. Enfin, le compteur peut aussi avoir une fonction « capacitaire » en donnant à l'utilisateur les moyens d'agir plus durablement s'il en a la volonté. La distribution d'informations détaillées sur la consommation du ménage et sur son évolution est un bon exemple de ce type de fonction.

#### **b. Compteur électrique intelligent Linky : avantage et inconvénients**

Ici il se penche sur le volet qui concerne la maîtrise des technologies des énergies en donnant les avantages et les inconvénients du compteur intelligent Linky.

- identifie de manière plus détaillée et précise, et éventuellement en temps réel la consommation énergétique d'un foyer, d'un bâtiment ou d'une entreprise, et la transmet, par téléphone ou courant porteur en ligne (CPL) au gestionnaire des données de comptage
- permettent des gains de productivité par la suppression des postes liés au relevé des compteurs (un avantage réel pour les entreprises chargées des relevés)
- maîtrise de la consommation...

L'inconvénient majeur est le coût de l'équipement, de la maintenance.

#### **c. Conception et réalisation d'un compteur d'énergie électrique consultable à distance et accès local par carte à puce par ETOUNDI ONGBA [16]**

Comme le titre l'indique il s'est limité à la consultation à distance en d'autre terme, il n'a géré que le volet communicationnel.

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

Ici on s'est attardé à la communication et à la consommation en faisant une analyse des forces, faiblesses, opportunités, menaces (analyse SWOT).

#### **e. avantages et inconvénients des compteurs prépayés pour la Sonabel**

L'intérêt particulier ici est porté sur l'impact de l'exploitation du compteur à prépaiement.

## **f. conception et réalisation d'un compteur intelligent de gestion de l'énergie en mode prépayé rédigé par Nack [18]**

Le but était de faciliter la gestion de l'énergie électrique tant pour l'abonné que pour le fournisseur d'énergie afin de permettre à l'abonné de gérer de façon autonome la consommation en énergie électrique de son domicile et au fournisseur de contrôler à distance la consommation de ses clients

### **1.5. ANALYSE CRITIQUE**

Au regard de ces deux études menées précédemment sur historique renvoyant aux compteurs prépayés et les compteurs intelligents, nous remarquons que jusqu'ici les deux concepts sont toujours pris distinctement l'un de l'autre. Et à cela s'ajoute plusieurs défauts liés au système de prépaiement tant bien chez les fournisseurs que les abonnés nous pouvons citer entre autre:

#### **Pour le fournisseur :**

- Saturation des serveurs des unités de gestion ;
- Défaillance spontanée des unités de gestion et de vente ;
- Difficultés de recouvrement des primes fixes et de la redevance

#### **Pour les clients :**

- Difficultés d'approvisionnement en crédit d'énergie dans certaines agences créant du coup de longues files d'attente ;
- Consommation d'énergie plus grande par rapport aux compteurs classiques qui consomme un peu moins ;
- Risque de dormir sans électricité pour défaut des unités ;
- Difficultés liées au prélèvement de la redevance.
- Coupure brusque sans avertissement en cas d'épuisement des unités.

En ce qui concerne l'état de l'art nous constatons beaucoup de manquements, car tous ceux ayant travaillé sur les thèmes liés au compteur intelligent et compteur intelligent prépayé n'ont pas vraiment pris en compte nous pouvons citer :

- Le volet sécuritaire ;
- Le volet mémorisation (en cas de coupure si les données ne sont pas mémorisées le comptage reprendra à zéro).

---

## **Conclusion**

Parvenu au terme de ce chapitre intitulé : « revue de la littérature », il était question de faire un tour partant des généralités en passant par l'évolution; la distribution BT; de l'état de l'art jusqu'à l'analyse critique pour mieux comprendre des aspects importants sur les compteurs intelligents prépayé qui fait l'objet de notre étude, nous constatons que ces dernier prennent de plus en plus place remplacent ainsi les compteurs classiques. Pour arriver à sa conception il faudrait faire étude du matériel et de définir les méthodes d'où l'intitulé du second chapitre : outils et méthodes.

## CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES

### INTRODUCTION

La réalisation d'un système étant œuvre très complexe, il est à cet effet important de bien le concevoir. Ceci passe par une étude des composants, modules et des méthodes entrant dans le processus de réalisation en fonction de leurs tâches respectives, d'où l'intitulé matériels et méthodes. Pour mener à bien ce chapitre qui nous conduira à la simulation et la réalisation, nous nous intéresserons tour à tour à l'étude des composants, la mise en œuvre fonctionnelle, la modélisation pour les différents niveaux de tension, des outils logiciels puis conclure.

### 2.1. ETUDE DE QUELQUES COMPOSANTES DU SYSTEME

#### 2.1.1. Microcontrôleur

Un **microcontrôleur** étant un circuit intégré rassemblant dans un même boîtier un microprocesseur, plusieurs types de mémoires et des périphériques de communication (Entrées-Sorties). Ces microcontrôleurs se présentent sous forme de cartes et on en distingue plusieurs parmi lesquelles arduino uno et la teensy que nous allons utiliser ici.

##### a. La carte arduino uno

La carte Arduino est un microcontrôleur de la famille ATMEGA. Elle a pour rôle de faciliter l'interfaçage entre la partie matérielle et la partie logicielle d'un système avec la possibilité d'une communication USB ou RS32 sous une tension d'alimentation comprise entre 5V et 12V. Elle a un processeur de 16MHz avec 13 entrées/sorties numériques et 6 entrées analogiques.

Nous l'utiliserons uniquement pour le schéma de simulation sur Proteus.



*Figure 13: carte Arduino uno[10]*

## b. La carte Teensy

Comme l'arduino, la carte teensy est un microcontrôleur qui permet de faciliter l'interfaçage entre la partie matérielle et la partie logicielle d'un système avec la possibilité d'une communication USB. La tension d'alimentation sur la broche Vin des cartes doit être comprise entre 3,6 et 6,0 V (entre 3,7 et 5,5 V pour les cartes Teensy 3.1 et Teensy LC). Comme pour les cartes Arduino, les cartes Teensy sont automatiquement alimentées par le 5 V de l'interface USB.

Notre choix pour la réalisation de notre prototype est porté sur cette dernière car elle présente de nombreux avantages par rapport à la carte arduino uno. Bien qu'elle présente des avantages elle a aussi des inconvénients.

- **Avantage :**

Comme avantage nous pouvons citer sa mémoire flash qui est 8 à 32 fois plus importante que sur une carte arduino uno ; sa fréquence d'horloge, plus importante que celle de l'arduino soit (16Mhz pour arduino et 72 Mhz pour la teensy)...

- **Inconvénient**

L'inconvénient majeur est basé sur l'alimentation. Contrairement à l'arduino dont la plage de tension varie entre 5V et 12V pour la teensy quant à elle varie entre 3,6 et 6,0 V.

Leur point commun réside sur le fait que tous deux sont programmés avec le même IDE arduino qui est le logiciel de programmation.

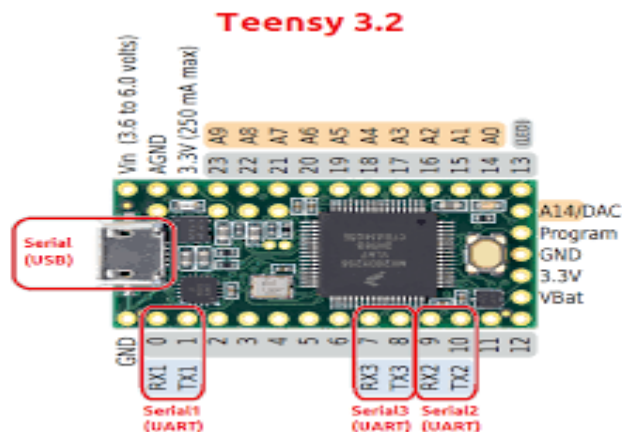


Figure 14: carte teensy [10]

### 2.1.2. Capteur de courant ACS712

Basé sur la puce ACS712 d'Allegro, ce capteur se branche en série avec la charge sur un circuit alternatif ou continu par conséquent, il peut mesurer à la fois des courants de type continu et alternatif d'où son avantage. Il s'alimente sous 5V et utilise le champ magnétique généré par le courant d'où l'effet hall pour mesurer le courant qui le traverse. Le module propose en sortie une tension continue proportionnelle au courant à raison de 0.066V/A.



Figure 15: Capteur de courant ACS712 [10]

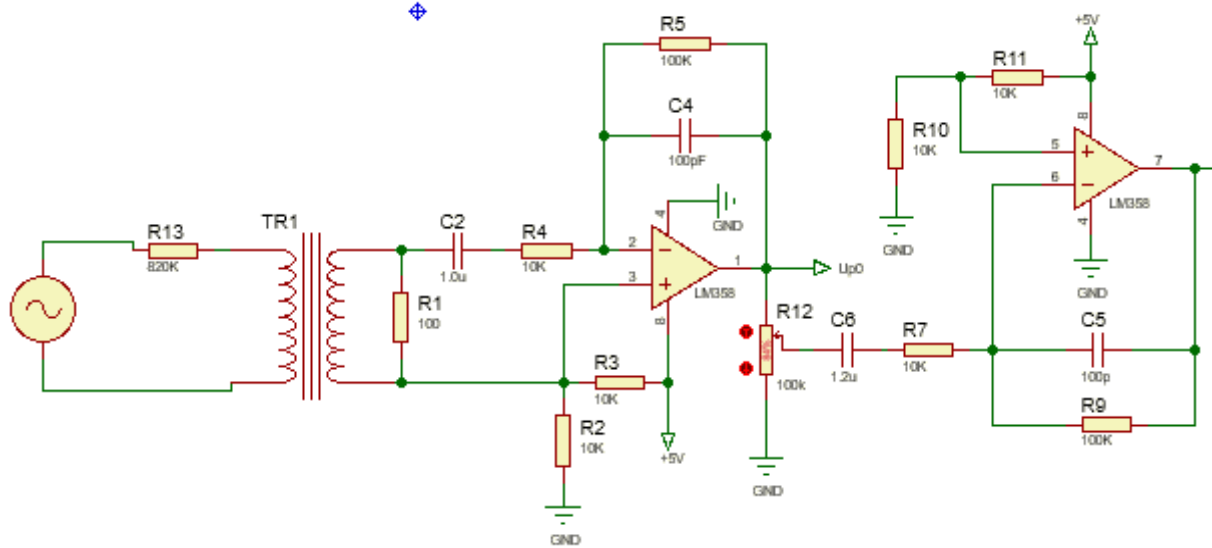
### 2.1.1. Capteur de tension

Destiné au prélèvement, il est un détecteur de tension alternative indiquant l'état d'une arrivée de tension et permet de savoir, à tout moment, si un matériel est correctement alimenté en courant alternatif. Il permet de déterminer simplement la présence ou l'absence d'alimentation électrique et mesure la tension secteur sur le secteur jusqu'à 250 V.

Pour notre travail nous utiliserons le capteur de tension AC ZMPT101B qui est module disposant d'un transformateur idéal et utilisé pour des besoins de mesure de la tension alternative précise avec un transformateur de tension possédant une isolation galvanique élevée et une haute précision. Ce module facilite la surveillance de la tension de secteur alternatif jusqu'à 1000 volts. Il se présente comme sur la figure ci-dessous :



Figure 16: Capteur de tension AC ZMPT101B [10]



**Figure 17:** constitution interne du capteur de tension AC ZMPT101B[10]

### 2.1.2. Afficheur LCD

Les afficheurs LCD (Liquid Crystal Display) encore appelés afficheurs à cristaux liquide sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants pour un bon fonctionnement.

Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et se différencient les uns des autres non seulement par leurs dimensions de 1 à 4 lignes et de 6 à 80 caractères, mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service. Ils possèdent deux types de mémoire à savoir la DD RAM (mémoire d’affichage) et la CG RAM (mémoire du générateur de caractères). Leurs consommations est relativement faible (de 1 à 5mA). Compte tenu du travail qui est le nôtre, nous avons opté pour un afficheur LCD (2×16) c’est-à-dire 2 lignes de 16 caractères présentés sur la figure ci-dessous pour l’affichage des données de notre compteur.

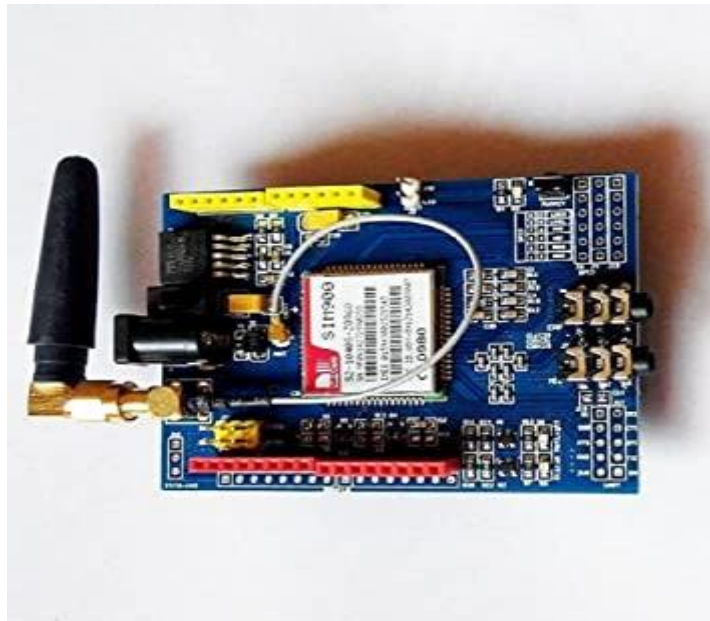


**Figure 18:** présentation physique d’un afficheur [10]

### 2.1.3. Module GSM SIM900A

Le module de communication SIM900A, de SIMCOM, permet d'intégrer la fonction de communication sans fil, via les fréquences 900/1800 MHz à travers les bandes GSM ou GPRS. Le module est alimenté avec une tension d'interface sélectionnable, ce qui permet de connecter 5V et 3.3V sans nécessité de conversion de niveau. La vitesse de transmission est configurable 9600-115200 bits/s par commande selon le protocole AT.

Ce Module GPRS/ GSM est équipé d'une pile TCP / IP interne pour vous permettre de communiquer avec Internet via GPRS. Il est adapté pour la messagerie (SMS), la voix ainsi que les demandes de transfert de données dans l'interface M2M (Machine to Machine). La figure ci-dessous montre le module de communication Sim900a.



*Figure 19: présentation du module gsm [10]*

Ce module a des solutions qu'on peut créer à rendement élevé grâce à son architecture qui est composée principalement d'un microcontrôleur de bande de base, le circuit complet de fréquence radio compris un amplificateur de fréquence et un émetteur récepteur des fréquences radio, d'une autre part il nous offre une flexibilité pour l'intégration facile avec l'interface homme-machine dont il dispose de deux interfaces série (Tx-Rx). Ce type d'interface sera utilisé dans notre projet pour le transfert de données (recharge, notification...). Le tableau résume quelque caractéristique du module Sim900a.



**Tableau 2:** Le tableau résume quelque caractéristique du module GSM Sim900A

Tension d'entrée	5 – 12 DC
Bande de fréquence	GSM 900 MHz, GSM 1800 MHz, GSM 1900 MHz
Puissance de transmission	Classe 4 (2w) à GSM900 MHz Classe 1 (1W) à GSM1800 MHz
Commande	Des commandes AT (GSM 07.07, 07.05 et SIMCOM améliorée Commandes AT)
Connecteur	connecteur SMA avec antenne GSM. Connecteur interface audio Connecteur carte SIM
Température	-20°C +55°C

#### 2.1.4. Module RTC

Le module RTC (Real Time Clock) est une horloge en mesure de fournir secondes, minutes, heures, jour, mois et l'année avec prise en compte des années bissextiles jusqu'en, elle permet d'avoir à disposition de notre programme une horloge autonome, ce qui peut être utile pour synchroniser des étapes du programme sans reposer sur les compteurs internes qui sont souvent surchargés. Une pile de sauvegarde peut être mise en place pour conserver les données en cas de coupure de l'alimentation extérieure. Cet donc dans l'optique d'afficher l'heure et la date sur notre module que nous l'avons utilisé.



**Figure 20:** Représentation physique du module RTC[10]

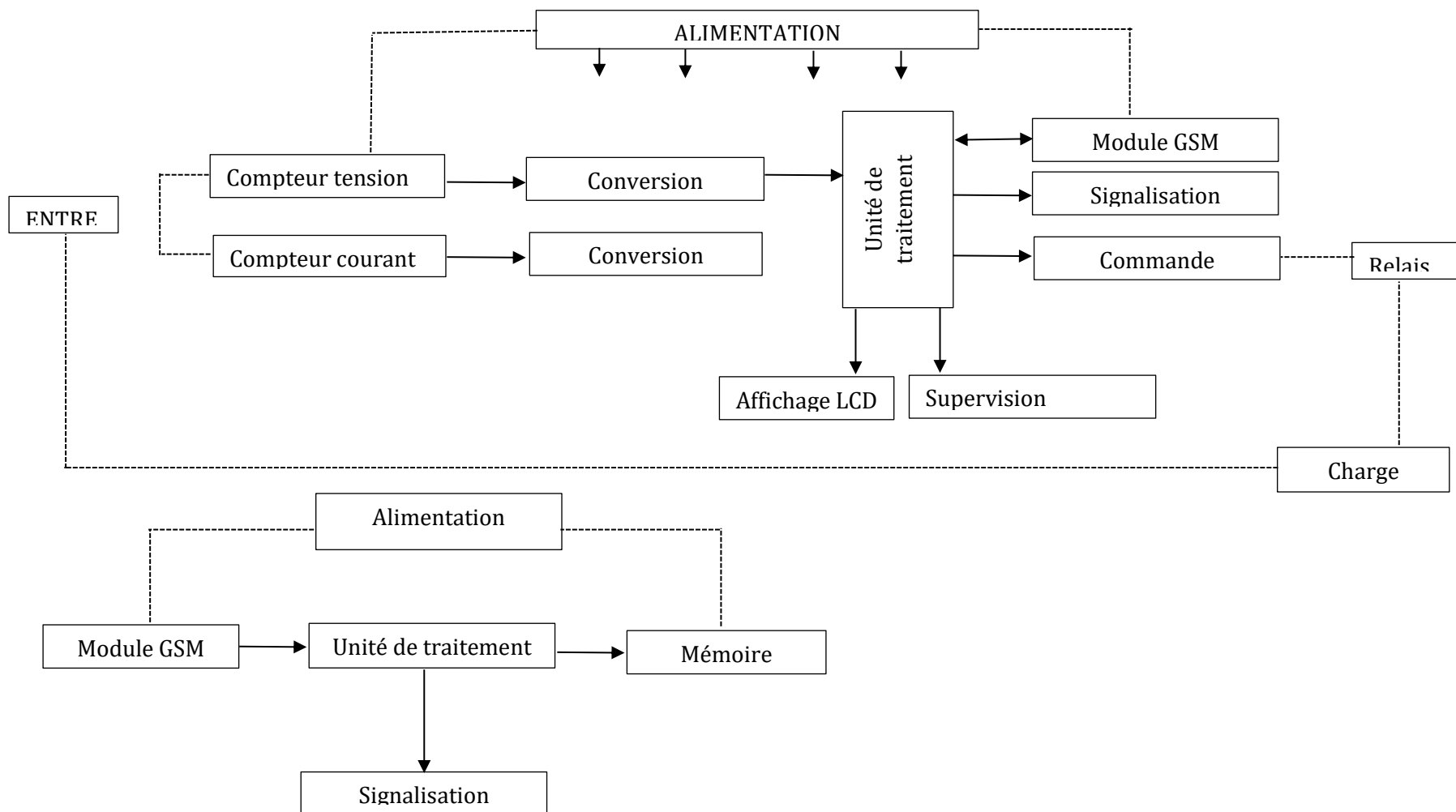
**Tableau 3: Caractéristique du module**

N°	Pins	Désignation
1	X1	Cristal
2	X2	Cristal
3	Vbat	Tension de la batterie
4	GND	Masse
5	SDA	Ligne de données bidirectionnelle (DATA)
6	SCL	Ligne d'horloge de synchronisation bidirectionnelle (CLOCK)
7	SQW/out	Sortie signal carré
8	Vcc	Tension logique 5V

## **2.2. MISE EN ŒUVRE FONCTIONNELLE**

### **2.2.1. Synoptique du système**

Le synoptique représenté à la figure ci-dessous est la structure global de notre projet prenant en compte les éléments qui inter agissent pour son fonctionnement. Il est de ce fait en bloc comprenant des éléments faisant parti du traitement opérant : l'alimentation, un prélèvement en courant, un prélèvement en tension, la conversion (courant, tension), une unité de traitement, un module GSM et wifi, une signalisation, une interface de commande et de contrôle (supervision), un relais, une charge et un afficheur LCD.



*Figure 21: synoptique global du système*

### 2.2.2. Diagramme fonctionnel

Nécessitant une étude détaillée, la conception et la réalisation d'un projet fait appel à de nombreuses méthodes parmi lesquelles le diagramme bête à corne, pieuvre... pour mieux comprendre le fonctionnement. Dans le cadre de notre étude nous nous servons des deux ci-dessus cités.

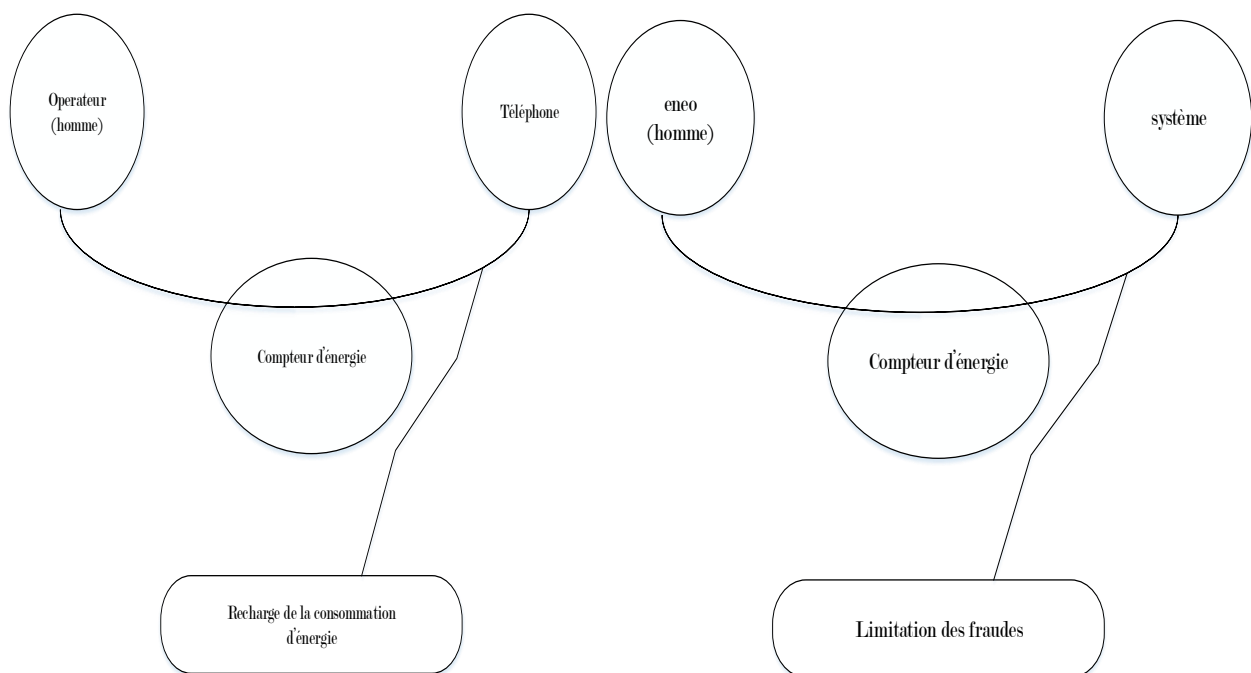
#### a. Diagramme « bête à corne »

Formaliser et identifier les objectifs d'un projet est une phase primordiale dans la conception. Pour mieux expliciter et de manière aisée nous nous servons de ce diagramme qui nous servira de guide pour mener à bien l'analyse fonctionnelle du besoin. Cet outil/méthode a pour objectif de représenter graphiquement l'expression du besoin et repose sur trois questions :

- A qui ou quoi le produit rend-il service ?
- Sur qui ou quoi agit-il ?
- Dans quel but ?

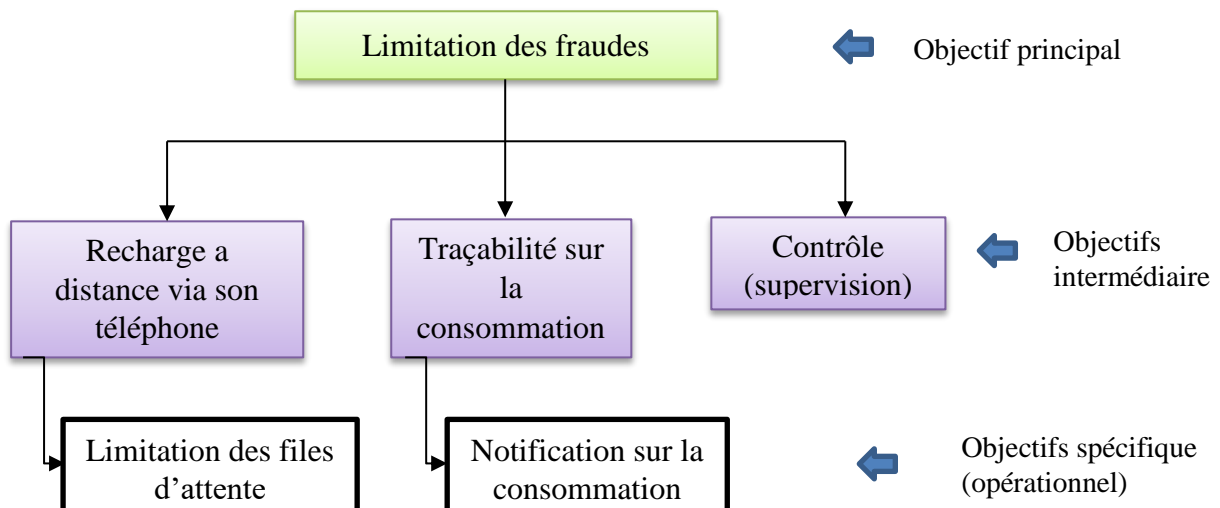
Pour sa construction, il est donc nécessaire de représenter le diagramme proprement dit et de faire un arbre d'objectifs ceci dû au fait que le diagramme est basé sur les objectifs principaux.

- diagramme bête à corne des objectifs du client et de la structure de distribution d'énergie



**Figure 22:** représentation du « bête à corne » des objectifs du client et du distributeur

- Arbre des objectifs : il s'agit d'une représentation graphique qui a pour but de décrire la combinaison et l'architecture des objectifs. Elle fixe un cadre précis pour l'exécution du projet. L'objectif général est divisé en objectifs secondaires (appelés aussi spécifiques, intermédiaires ou encore sous-objectifs) plusieurs fois jusqu'à atteindre un niveau opérationnel.



*Figure 23: représentation de l'arbre des objectifs*

### b. Diagramme Pieuvre

Issue de la méthode APTE (application des techniques d'entreprise), le diagramme pieuvre est un outil de représentation des fonctions d'un objet et de leurs relations. C'est un diagramme d'association car constitué du système et des éléments de son milieu environnant. Il fait apparaître les associations (les fonctions) entre les éléments du milieu environnant et le système.

Montrer les relation de notre objet (compteur) avec son milieu extérieur revient donc a faire le diagramme pieuvre.

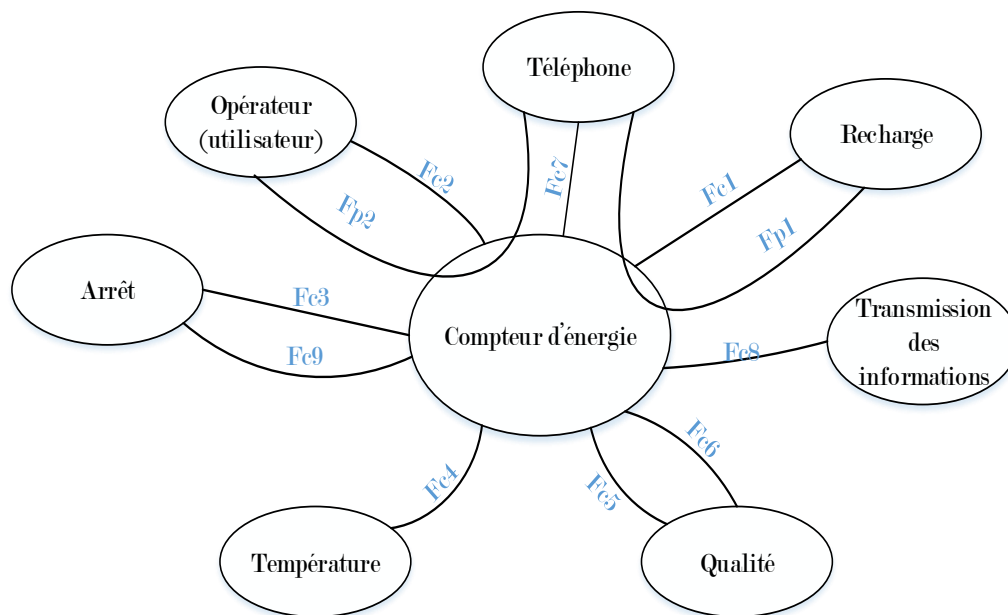


Figure 24: représentation du diagramme pieuvre

Tableau 4: Analyse fonctionnelle

Fonctions de service	Ri	Ra	Fp	Fc	Fu	Fe
Garantir l'alimentation		X		Fc1	x	
Permettre l'utilisation continue		X		Fc2	x	
Interrompre l'énergie à l'épuisement de la consommation prépayée		X		Fc3	x	
Permettre le fonctionnement quelque soit l'environnement		X		Fc4	X	
Permettre/faciliter la lecture aisé des paramètres		X		Fc5	x	
Avoir une bonne MTBF		X		Fc6	x	
Assurer l'affichage des paramètres de contrôle		X		Fc7		x
Faciliter l'échange, le transfert et la notification via (sms...) des informations liées à la consommation		X		Fc8	x	
Permettre l'arrêt d'une tarification et le passage à une autre		X		Fc9	x	
Introduction des données liées a la recharge	x		Fp1		x	
Permettre le renouvellement du prépaiement	x		Fp2		x	

### 2.2.3. Ordinogramme fonctionnel

Pour mener à bien un projet, il est nécessaire de bien élaborer son cahier de charge afin de décrire clairement l'enchaînement des opérations, des décisions ou des fonctions à réaliser à l'aide d'un programme et passant par une représentation graphique.

#### a. Description fonctionnelle

- Entrer le montant prépayé (l'utilisateur envoi un montant au module gsm) ;
- Conversion du montant en énergie ;
- Alimentation des charges ;
- Mesure du courant et de la tension appelée par les charges ;
- Calcul de la puissance appelée par les charges ;
- Si la puissance appelée par les charges est égal a 80% de la puissance prépayé envoi du message a l'utilisateur (message d'alerte) ;
- Supervision / Contrôle :
  - Envoie du message (état des charges du local)
  - Retour du message par le module (état des charges connectées)
  - Commande des charges souhaitées par l'utilisateur.
- Si la puissance des charges égales à la puissance souscrite ou prépayé (arrêt de toutes les charges) ;
- Si on effectue une nouvelle recharge au cour de la consommation :
  - Conversion de la recharge en énergie ;
  - Envoi du message (recharge effectuée)
  - Stockage dans la mémoire
- Consommation de la puissance stockée que si la puissance des charges égal à la puissance souscrite ou prépayé.

#### b. Représentation schématique (voir page suivante)

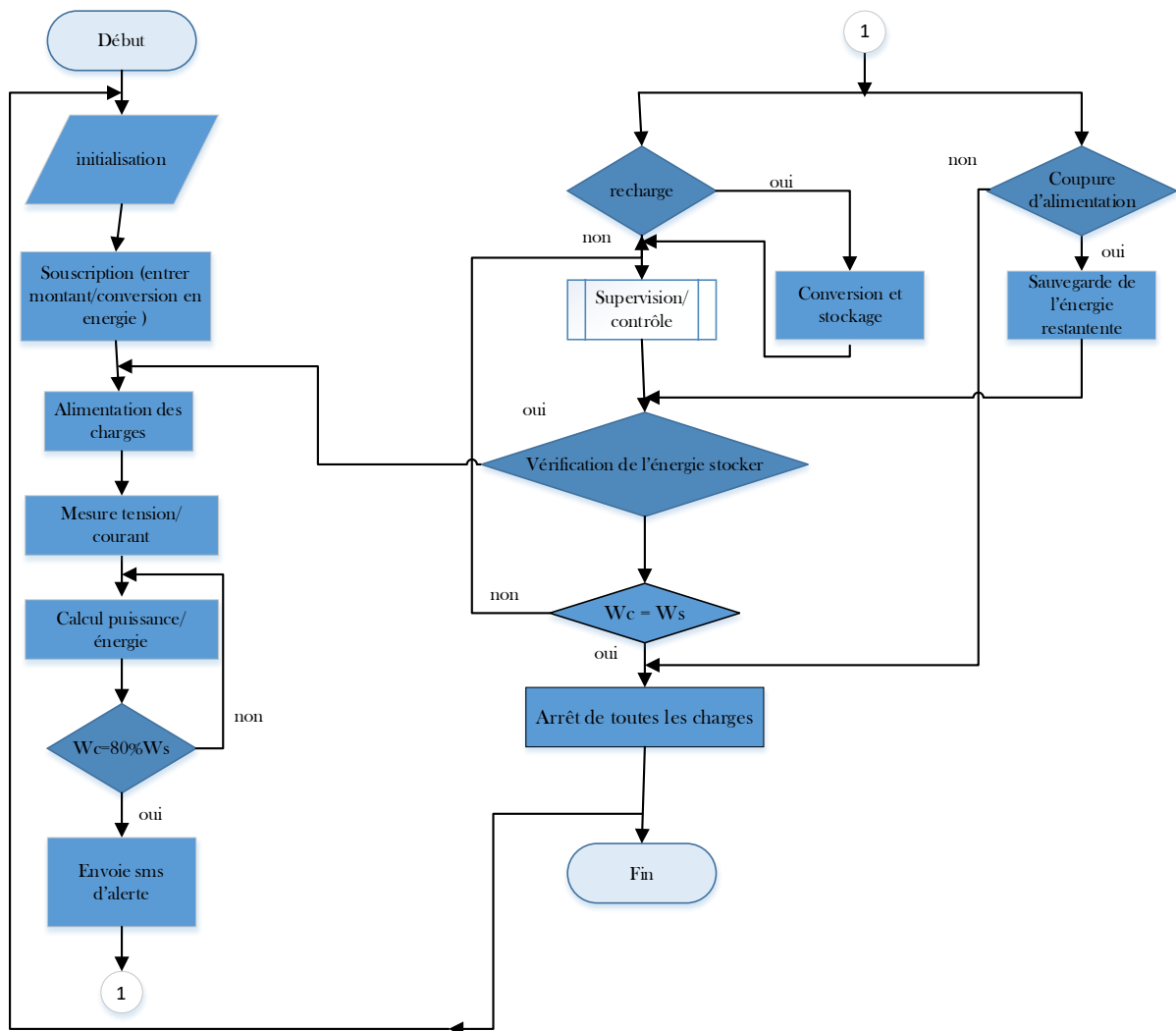
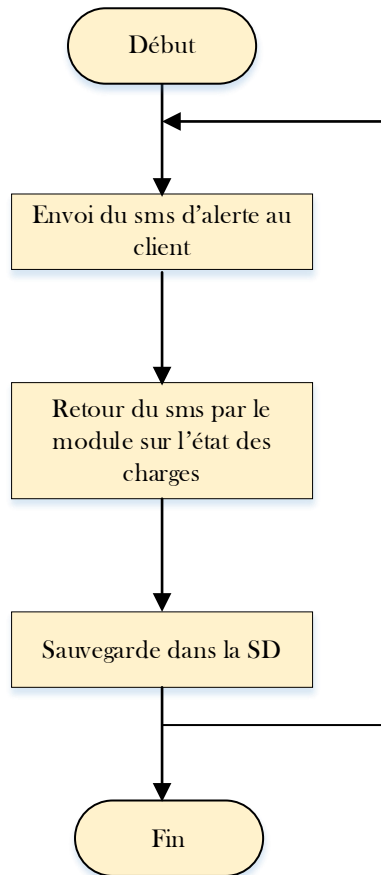


Figure 25: Ordinogramme fonctionnel du compteur





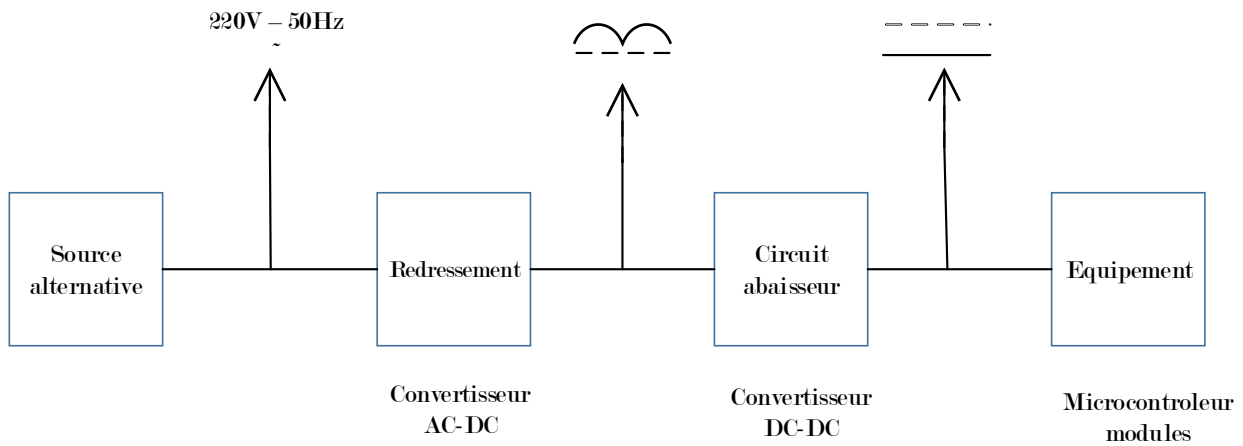
*Figure 26: Ordigramme fonctionnel de la macro étape*

### 2.3. MODELISATION DES ALIMENTATIONS

En effet, modéliser vient du fait que tous nos équipements ne fonctionnent pas avec un même niveau de tension. Pour alimenter ces équipements nous utiliserons un circuit redresseur et un circuit abaisseur comme sur le synoptique qui nous permet de faire les observations suivantes :

- A l'arrivée nous avons un convertisseur AC-DC ;
- Coté alimentation nous avons un convertisseur DC-DC.

Le convertisseur DC-DC utilisé ici sera un hacheur buck.

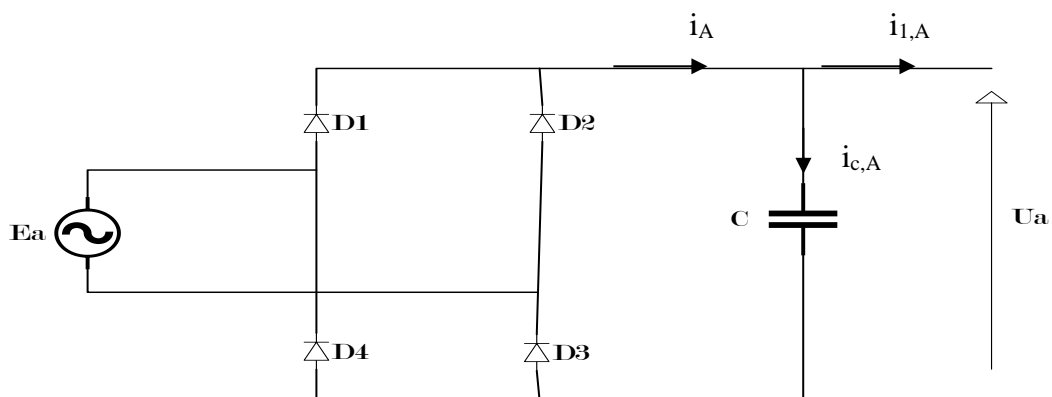


*Synoptique de modélisation d'alimentation*

### 2.3.1. Modélisation du convertisseur AC – DC

#### a. Schéma de puissance

La figure ci-dessous présente un redresseur de type PD2 qui permet de ramener la tension alternative  $E_a$  en une tension unidirectionnelle. Le condensateur  $C$  assure l'élimination des harmoniques nuisible (condensateur de déparasitage). L'étude de la figure se limite sur phase ou sur les deux alternances de  $E_a$ .



*Figure 27: Redresseur AC – DC*



## b. Etude

**Phase 1** :  $E_a > 0$  les diodes (D1,D3) sont « ON » et (D2,D4) « off »

$$\begin{cases} u_a(t) = E_a(t) \\ \frac{d}{dt} u_a(t) = \frac{1}{c_a} i_a(t) - \frac{1}{c_a} i_{1,a}(t) \end{cases} \quad (2.1)$$

**Phase** :  $E_a < 0$  les diodes (D1,D3) sont « off » et (D2,D4) «ON »

$$\begin{cases} u_a(t) = -E_a(t) \\ \frac{d}{dt} u_a(t) = \frac{1}{c_a} i_a(t) - \frac{1}{c_a} i_{1,a}(t) \end{cases} \quad (2.2)$$

**Conclusion :**

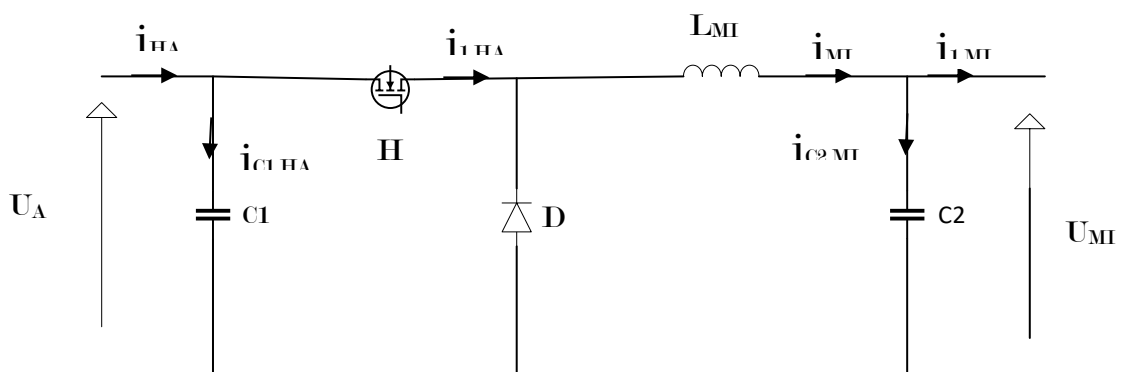
$$\begin{cases} u_a(t) = |E_a(t)| \\ \frac{d}{dt} |E_a(t)| = \frac{1}{c_a} i_a(t) - \frac{1}{c_a} i_{1,a}(t) \end{cases} \quad (2.3)$$

### 2.3.2. Modélisation des convertisseurs DC – DC

#### 2.3.2.1. Modélisation du convertisseur DC – DC pour alimentation du microcontrôleur

##### a. Représentation du circuit

La figure ci-dessous représente un hacheur Buck (abaisseur). Il permet d'adapter les impédances pour permettre une meilleure alimentation du dispositif (microcontrôleur).



*Figure 28: Redresseur DC – DC*

## b. Etude

**Phase 1:** H passant et D bloquée pour  $0 \leq t \leq \alpha T$

A l'entrée on a :  $i_{H,A} = i_{c1,HA} + i_{1,HA} = c_1 \frac{d}{dt} U_A(t) + i_{1,HA}(t)$  or  $i_{1,HA} = i_{MI}$

$$\frac{d}{dt} U_A(t) = \frac{1}{c_1} i_{H,A}(t) - \frac{1}{c_1} i_{MI}(t) \quad (2.4)$$

$$U_A(t) - L_{MI} \frac{d}{dt} i_{MI}(t) - U_{MI}(t) = 0$$

$$\frac{d}{dt} i_{MI}(t) = \frac{1}{L_{MI}} U_A(t) - \frac{1}{L_{MI}} U_{MI}(t) \quad (2.5)$$

En sortie on a :  $i_{MI}(t) = i_{c2,MI}(t) + i_{1,MI}(t) = C_2 \frac{d}{dt} U_{MI}(t) + i_{1,MI}(t)$

$$\frac{d}{dt} U_{MI}(t) = \frac{1}{C_2} i_{MI}(t) - \frac{1}{C_2} i_{1,MI}(t) \quad (2.6)$$

La matrice d'état décrivant cette phase est donnée par l'équation suivante :

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{MI}(t) \\ U_{MI}(t) \\ U_A(t) \end{bmatrix} \\ i_{1,HA} = i_{MI} \end{cases} = \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{L_{MI}} & \frac{1}{L_{MI}} \\ \frac{1}{C_{2,MI}} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{C_{1,HA}} & 0 & 0 \end{pmatrix}}_{A_1} \begin{bmatrix} i_{MI}(t) \\ U_{MI}(t) \\ U_A(t) \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{C_{2,MI}} \\ \frac{1}{C_{1,HA}} \end{pmatrix}}_{B_1} [1 \ i_{1,MI}(t) \ i_{H,A}(t)] \quad (2.7)$$

**Phase 2 :** H bloquée et D passant pour  $\alpha T \leq t \leq T$

A l'entrée on a :  $i_{H,A} = c_1 \frac{d}{dt} U_A(t) + i_{1,HA}(t)$  or  $i_{1,HA} = 0$

$$\frac{d}{dt} U_A(t) = \frac{1}{c_1} i_{H,A}(t) \quad (2.8)$$

$$U_{MI}(t) + L_{MI} \frac{d}{dt} i_{MI}(t) = 0 \Rightarrow \frac{d}{dt} i_{MI}(t) = -\frac{1}{L_{MI}} U_{MI}(t) \quad (2.9)$$

En sortie l'équation est identique a celle donnée par l'équation (2.6)

$$\frac{d}{dt} U_{MI}(t) = \frac{1}{C_2} i_{MI}(t) - \frac{1}{C_2} i_{1,MI}(t)$$

La matrice d'état décrivant cette phase est donnée par l'équation suivante :

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{MI}(t) \\ U_{MI}(t) \\ U_A(t) \end{bmatrix} \\ i_{1,HA} = 0 \end{cases} = \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{L_{MI}} & 0 \\ \frac{1}{C_{2,MI}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_{A_2} \begin{bmatrix} i_{MI}(t) \\ U_{MI}(t) \\ U_A(t) \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{1}{C_{2,MI}} \\ \frac{1}{C_{1,HA}} \end{pmatrix}}_{B_2} [1 \ i_{1,MI}(t) \ i_{H,A}(t)]$$

La matrice d'état moyen sera donnée par l'équation (2.10) suivant la relation :

$$\dot{x} = Ax + Bu \text{ avec } A = A_1\alpha + (1 - \alpha)A_2 \text{ et } B = B_1\alpha + (1 - \alpha)B_2$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{\alpha}{L_{MI}} & \frac{\alpha}{L_{MI}} \\ \frac{\alpha}{C_{2,MI}} & 0 & 0 \\ -\frac{\alpha}{C_{1,HA}} & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -\frac{(1-\alpha)}{L_{MI}} & 0 \\ \frac{(1-\alpha)}{C_{2,MI}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{L_{MI}} & \frac{\alpha}{L_{MI}} \\ \frac{1}{C_{2,MI}} & 0 & 0 \\ -\frac{\alpha}{C_{1,HA}} & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ \alpha \\ -\frac{\alpha}{C_{2,MI}} \\ \frac{\alpha}{C_{1,HA}} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ (1-\alpha) \\ -\frac{(1-\alpha)}{C_{2,MI}} \\ \frac{(1-\alpha)}{C_{1,HA}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -\frac{1}{C_{2,MI}} \\ \frac{1}{C_{1,HA}} \end{pmatrix}$$

D'où :

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{MI}(t) \\ U_{MI}(t) \\ U_A(t) \end{bmatrix} \\ i_{1,HA} = i_{MI}; \ i_{1,HA} = 0 \end{cases} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{L_{MI}} & \frac{\alpha}{L_{MI}} \\ \frac{1}{C_{2,MI}} & 0 & 0 \\ -\frac{\alpha}{C_{1,HA}} & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} i_{MI}(t) \\ U_{MI}(t) \\ U_A(t) \end{bmatrix} \\ + \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ \frac{1}{C_{2,MI}} \\ \frac{1}{C_{1,HA}} \end{pmatrix} [1 \ i_{1,MI}(t) \ i_{H,A}(t)] \quad (2.10)$$

### 2.3.2.2. Modélisation du convertisseur DC–DC pour alimentation du module GSM

#### a. Représentation du circuit

La structure de ce convertisseur est identique à celui de l'alimentation du microcontrôleur.

#### b. Etude

Phase 1: H passant et D bloquée pour  $0 \leq t \leq \alpha T$

A l'entrée on a :  $i_{H,A} = i_{c1,HA} + i_{1,HA} = c_1 \frac{d}{dt} U_A(t) + i_{1,HA}(t)$  or  $i_{1,HA} = i_{GSM}$

$$\frac{d}{dt} U_A(t) = \frac{1}{c_1} i_{H,A}(t) - \frac{1}{c_1} i_{GSM}(t) \quad (2.11)$$

$$U_A(t) - L_{GSM} \frac{d}{dt} i_{GSM}(t) - U_{GSM}(t) = 0$$

$$\frac{d}{dt} i_{MI}(t) = \frac{1}{L_{GSM}} U_A(t) - \frac{1}{L_{GSM}} U_{GSM}(t) \quad (2.12)$$

En sortie on a :  $i_{MI}(t) = i_{c2,GSM}(t) + i_{1,MI}(t) = C_{2,GSM} \frac{d}{dt} U_{GSM}(t) + i_{1,GSM}(t)$

$$\frac{d}{dt} U_{GSM}(t) = \frac{1}{C_2} i_{GSM}(t) - \frac{1}{C_2} i_{1,GSM}(t) \quad (2.13)$$

La matrice d'état décrivant cette phase est donnée par l'équation suivante :

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{GSM}(t) \\ U_{GSM}(t) \\ U_A(t) \end{bmatrix} \\ i_{1,HA} = i_{GSM} \end{cases} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{-1}{L_{GSM}} & \frac{1}{L_{GSM}} \\ \frac{1}{C_{2,GSM}} & 0 & 0 \\ \frac{-1}{C_{1,HA}} & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} i_{GSM}(t) \\ U_{GSM}(t) \\ U_A(t) \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ \frac{1}{C_{1,HA}} \end{pmatrix} [1 \ i_{1,GSM}(t) \ i_{H,A}(t)] \quad (2.14)$$

**Phase 2** : H bloquée et D passant pour  $\alpha T \leq t \leq T$

A l'entrée on a :  $i_{H,A} = c_1 \frac{d}{dt} U_A(t) + i_{1,HA}(t)$  or  $i_{1,HA} = 0$

$$\frac{d}{dt} U_A(t) = \frac{1}{c_1} i_{H,A}(t) \quad (2.15)$$

$$U_{GSM}(t) + L_{GSM} \frac{d}{dt} i_{GSM}(t) = 0 \Rightarrow \frac{d}{dt} i_{GSM}(t) = -\frac{1}{L_{MI}} U_{GSM}(t) \quad (2.16)$$

En sortie l'équation est identique a celle donnée par l'équation (13)

$$\text{Soit : } \frac{d}{dt} U_{GSM}(t) = \frac{1}{C_2} i_{GSM}(t) - \frac{1}{C_2} i_{1,GSM}(t)$$

La matrice d'état décrivant cette phase est donnée par l'équation suivante :

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{GSM}(t) \\ U_{GSM}(t) \\ U_A(t) \end{bmatrix} \\ i_{1,HA} = 0 \end{cases} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{-1}{L_{GSM}} & \frac{1}{L_{GSM}} \\ \frac{1}{C_{2,GSM}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} i_{GSM}(t) \\ U_{GSM}(t) \\ U_A(t) \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ 1 \\ \frac{1}{C_{1,GSM}} \end{pmatrix} [1 \ i_{1,GSM}(t) \ i_{H,A}(t)] \quad (2.17)$$

La matrice d'etat moyen est alors :

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{GSM}(t) \\ U_{GSM}(t) \\ U_A(t) \end{bmatrix} \\ i_{1,HA} = 0 \ i_{1,HA} = i_{GSM} \end{cases} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{-1}{L_{GSM}} & \frac{\alpha}{L_{GSM}} \\ \frac{1}{C_{2,GSM}} & 0 & 0 \\ \frac{-\alpha}{C_{1,HA}} & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} i_{GSM}(t) \\ U_{GSM}(t) \\ U_A(t) \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ 1 \\ \frac{1}{C_{1,HA}} \end{pmatrix} [1 \ i_{1,GSM}(t) \ i_{H,A}(t)] \quad (2.18)$$

## 2.4. Outils logiciels

Dans cette nous ferons brève présentation de tous les logiciels et application conçu pour l'implémentation de notre projet.

### 2.4.1. Proteus

Proteus est une suite logicielle, éditée par la société Labcenter Electronics la seule CAO électronique qui permet la conception d'un système électronique complet et de le simuler, y

compris avec le code des microcontrôleurs. Pour ce faire, elle inclut un éditeur de schéma (ISIS), un outil de placement-routage (ARES), un simulateur analogique-numérique, un environnement de développement intégré pour microcontrôleurs, un module de programmation par algorigrammes ainsi qu'un éditeur d'interface pour smartphone afin de piloter à distance des cartes Arduino ou Raspberry. Il est composé de différents packages qui sont: Proteus PCB pour le circuit imprimé, Proteus VSM pour la simulation, Proteus Visual Designer/IoT Builder pour Arduino/Raspberry pour développer des projets comparables à ceux conçus avec des outils tels que Scratch et App inventor.

C'est ce logiciel que nous avons utilisé pour la réalisation de notre schéma de simulation ceci à l'aide de son éditeur de schéma (ISIS) et pour la conception du circuit imprimé en utilisant cette fois son outil de placement-routage (ARES).

### **2.4.2. Arduino**

Etant une plate-forme comportant : du matériel (une collection de cartes à microcontrôleurs), du logiciel (permettant la programmation, la communication et intégrant de nombreuses bibliothèques de fonctions) et un site Internet (information, téléchargements, documentation, forums, ...).

Il nous a permis d'éditer notre programme de simulation a l'aide de l'IDE de programmation.

### **2.4.3. Solidworks**

Logiciel servant a la conception et la modélisation 3D nous a permis de concevoir la caisse de notre compteur.


### **2.4.4. MIT inventor**

Ce logiciel conçu pour l'implémentation des applications, nous a permis de concevoir notre application androïde pour la recharge, le contrôle/supervision.

## **Conclusion**

Le matériel et méthode abordé dans ce chapitre nous ont permis de présenter quelques éléments matériels, logiciels et d'en proposer un fonctionnement. Autour de ce fonctionnement nous avons ressorti un diagramme bête a corne pour formaliser les objectif, pieuvre qui est un diagramme d'association pour monter les relations de l'objet avec le milieu extérieur. Cette étude





théorique nous a permis de ressortir l'ordinogramme de fonctionnel ceci en fonction de notre cahier de charge nous conduisant de ce fait a partie pratique de notre mémoire intitulée résultat et discussion, partie dans laquelle nous ferons ressortir tous le schéma de simulation sur Proteus, schéma d'implémentation sur easyeda, le typon.

## CHAPITRE 3 : RESULTAT ET DISCUSSION

### INTRODUCTION

L'intelligence et le prépaiement ajouté au compteur électronique avec l'évolution de la technologie a pour objectif de satisfaire à la fois le client (consommateur) et le fournisseur d'énergie. Elle apporte ainsi une solution notoire aux préoccupations de ces derniers. Par ailleurs, les compteurs intelligents permettent une certaine indépendance car le consommateur a le choix de souscrire à sa consommation énergétique depuis son domicile et en fonction de sa bourse. Une telle solution ne peut être optimisée que par l'ajout des fonctionnalités (modification de l'algorithme de fonctionnement). Il est présenté dans le chapitre précédent les données (l'ordinogramme) qui nous a permis de palier au problème selon notre cahier de charge aussi des dispositifs qui favorisent la mise en œuvre de notre système. En se servant de ces données et de notre cahier de charge nous avons implémenté et conçu un compteur intelligent prépayé rechargé via son téléphone porte et permettent la commande des charges (extinction et alimentation). Nous consacrerons ce chapitre aux présentations des résultats partant de la simulation jusqu'à la mise en œuvre du prototype. Il s'agit des résultats de simulation et expérimentaux.

### 3.1. PRESENTATION DES RESULTATS EN SIMULATION

Il est présenté dans cette section, le schéma de simulation dans le logiciel Proteus et les différents résultats obtenus. Ces résultats sont donnés sous forme de tests, tous partant de partant du schéma de simulation et présenté comme suis :

#### 3.1.1. Schéma de simulation

Le schéma de la figure 30 ci-dessous décrit notre système avec les différentes fonctionnalités. On y retrouve les capteurs (courant et tension), les relais, le module gsm pour l'envoi et la réception des messages, le module rtc, le lecteur de sd.

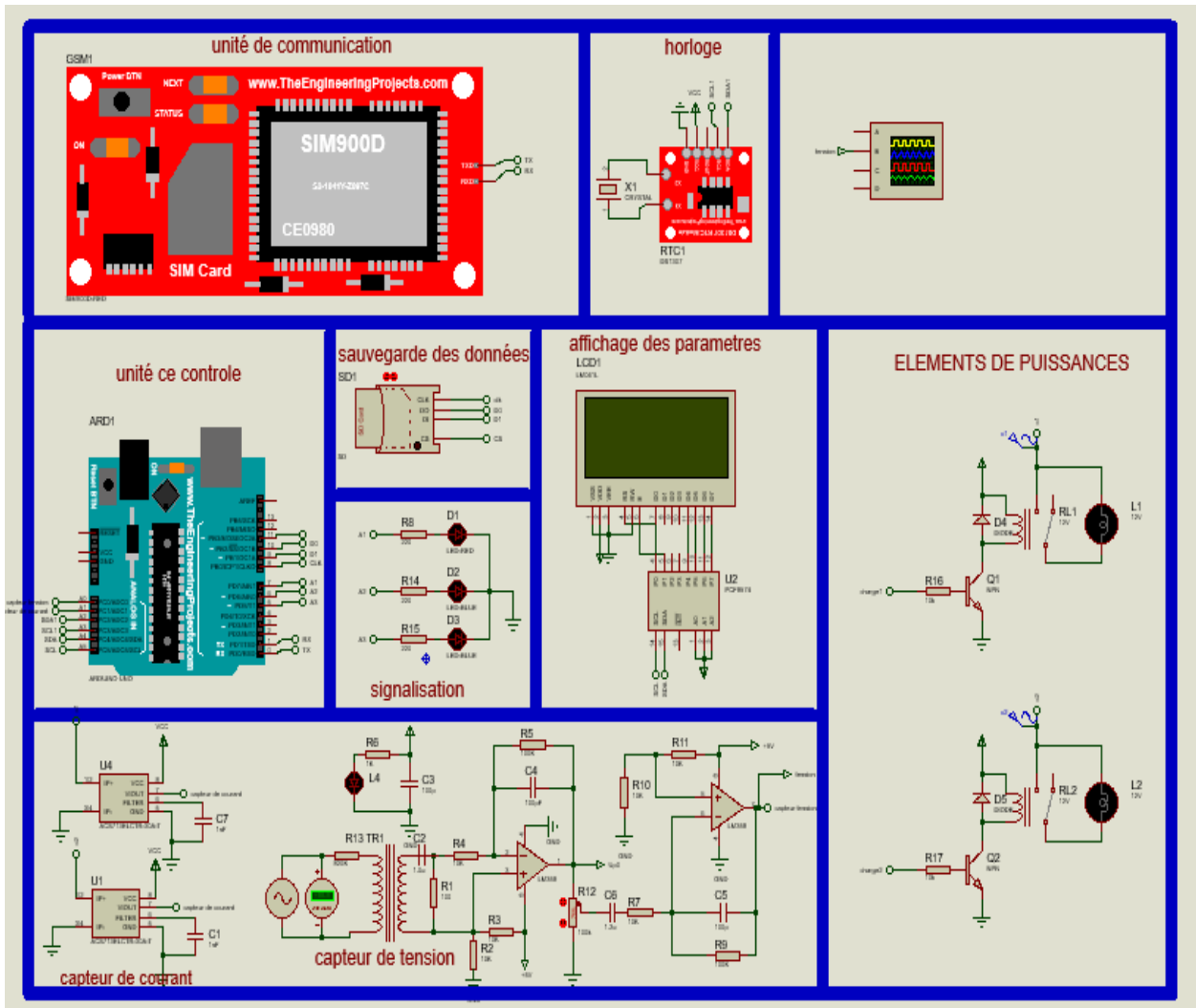
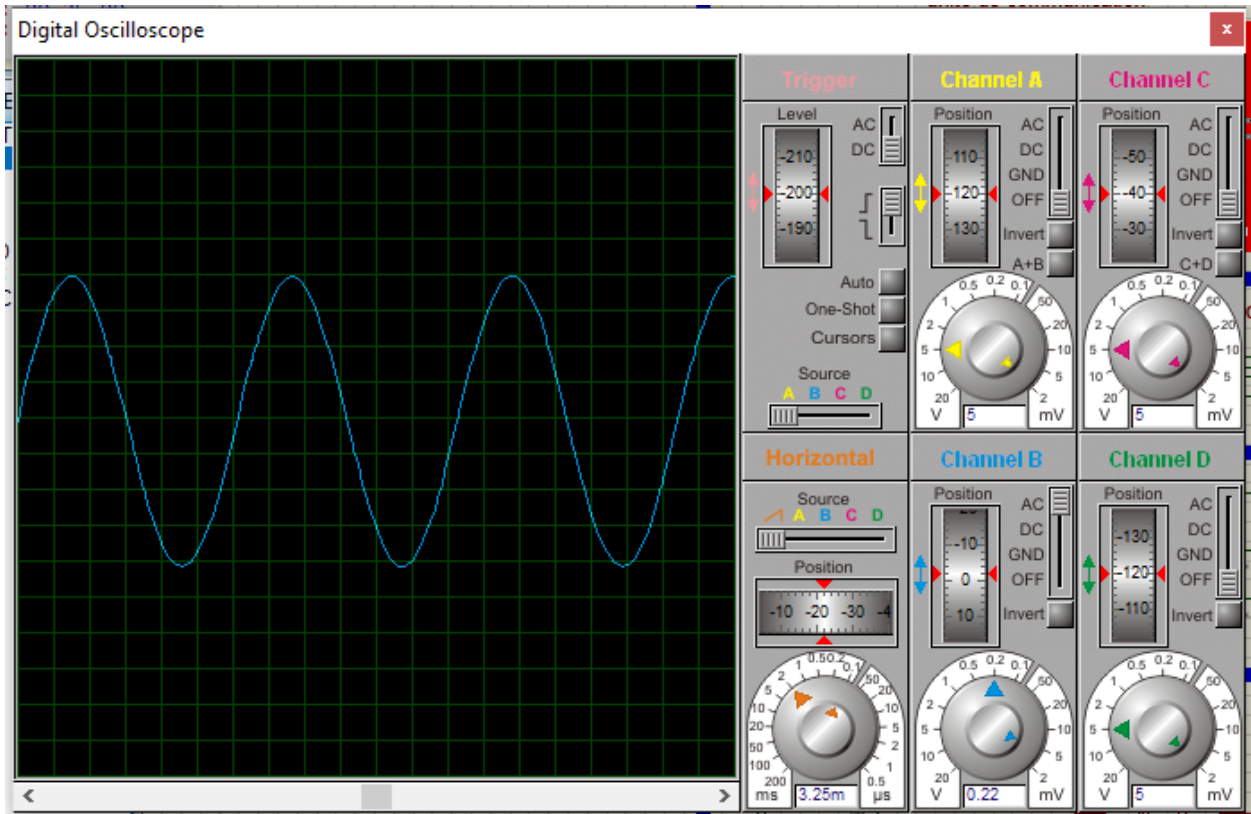


Figure 29: schéma de simulation

### 3.1.2. Résultat test n° 1

Le prélèvement courant tension effectué ici nous permet a notre système de réaliser un wattmètre qui est une fonction essentielle de notre compteur car elle permet le calcul de l'énergie consommée par le client pour son affichage. La figure 31 représenté sur l'oscilloscope ci-dessous permet la visualisation l'allure de la tension.



*Figure 30: visualisation de l'allure de la tension*

### 3.1.3. Présentation du test n°2

La tension d'alimentation étant un paramètre indispensable pour le calcul de la puissance qui aboutira à la souscription d'énergie de consommation, il est de ce fait important de faire ce test pour montrer la valeur affichée sur l'écran. L'image de la figure 32 ci-dessous montre sur un écran la valeur de la tension et la puissance.



*Figure 31: visualisation de la tension et la puissance*

#### 3.1.4. Présentation du test n° 3

La souscription étant l'un des objectifs visés de notre travail, il est donc important de présenter le message de souscription. Notons ici ce test qui consiste à présenter le message de souscription consiste en même temps de simuler l'envoi et la réception des sms. La figure 33 ci-dessous présente le sms de souscription reçu par l'abonné.

```
AT+CMGF=1
AT+CNMI=1,2,0,0,0
AT+CMGF=1
AT+CMGS="+237693033451"
```

vous avez souscrit un montant 1000 FCFA et vous disposez de  
40 kwh

16 juin 10:51

Reçus

RÉPONDRE SUPPRIMER

*Figure 32: message de souscription reçu par l'abonné*

### 3.1.5. Synthèse des résultats en simulation

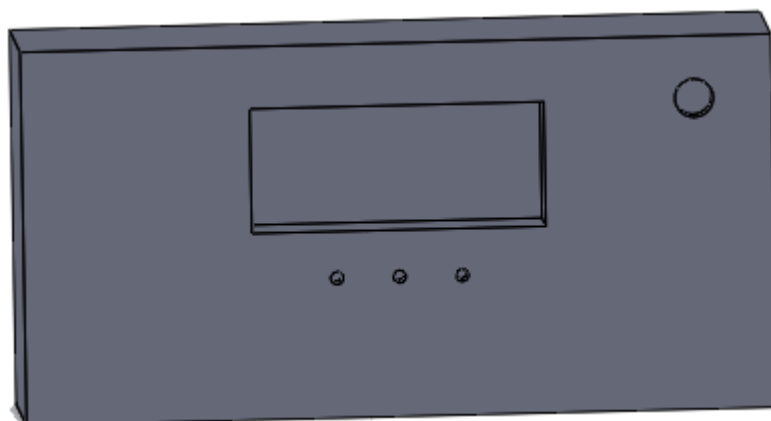
Dans cette section, nous avons présenté trois tests dont le premier consiste à visualiser l'allure de la tension étant donné que cette grandeur permet le calcul de la puissance partant l'énergie pour des fins de souscription. En ce qui concerne le second test il a pour but d'afficher sur une LCD la valeur efficace de la de la tension et la valeur à vide de la puissance. Enfin le test 3 qui consistait à montrer le message de souscription reçu par l'abonné ceci passant par l'envoi et la réception des messages. Il en ressort que ces test ci-dessus effectués permettent de s'enquérir d'autres informations c'est le cas de l'afficheur qui en dehors de la tension, donnera aussi les informations sur l'heure et la date pour ne citer que cela.

## 3.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

### 3.2.1. Présentation de la caisse réalisée

#### 3.2.1.1. Presentation sur logiciel

La figure 34 représente le prototype de la caisse en 3D réalisé sur le logiciel solidworks



*Figure 33: prototype de la caisse*

#### 3.2.1.2. Présentation physique du prototype

Réalisé en matériaux local (bois), la figure 35 présente le prototype physique de notre caisse.



*Figure 34: prototype physique de la caisse*

### **3.2.2. Présentation du module de comptage**

#### **3.2.2.1. Implantation de brochage**

Nous présentons ici le schéma de disposition des différents éléments sur la carte électronique. La figure 36 réalisé avec le logiciel EASYEDA montre cette disposition.

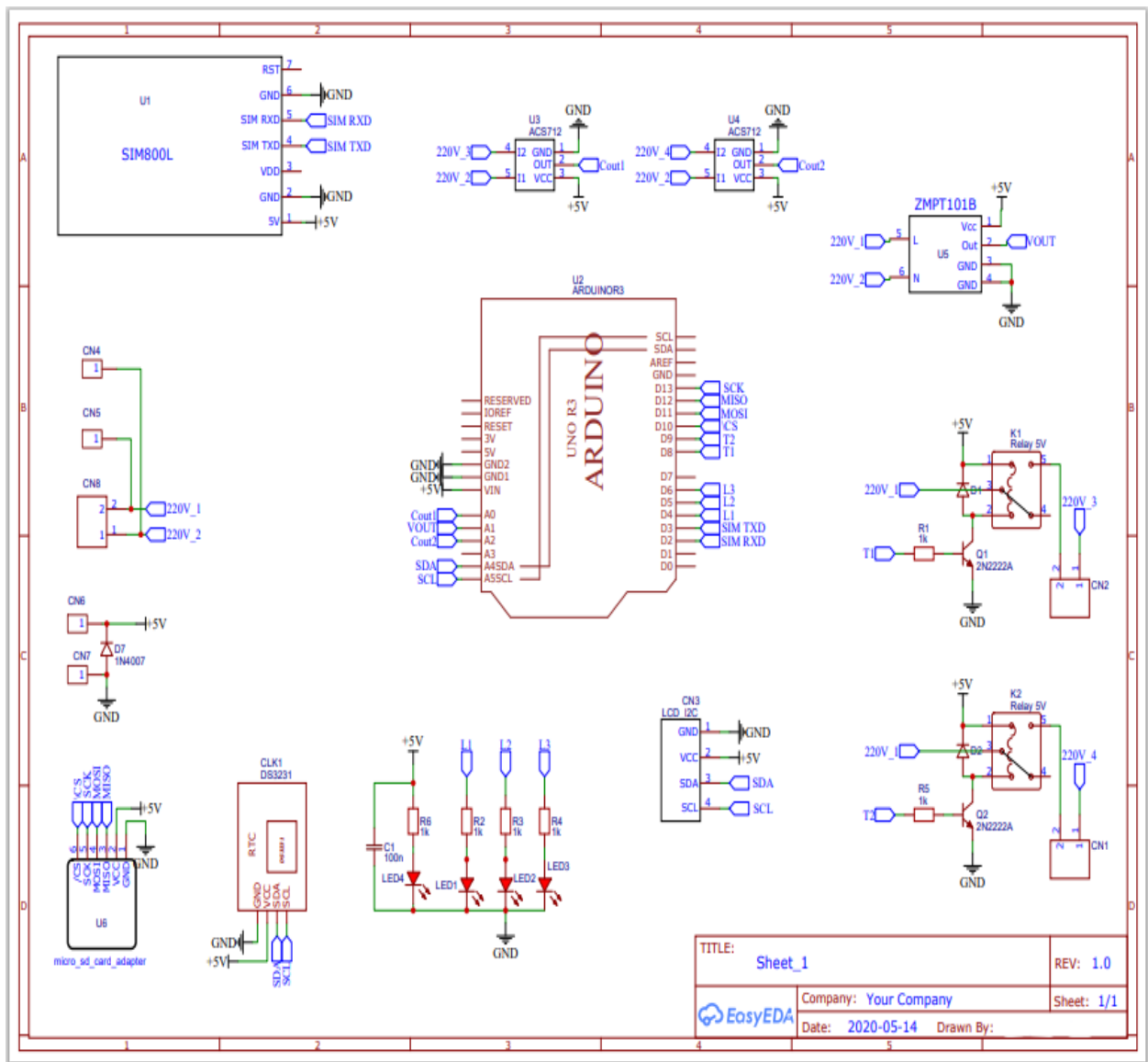
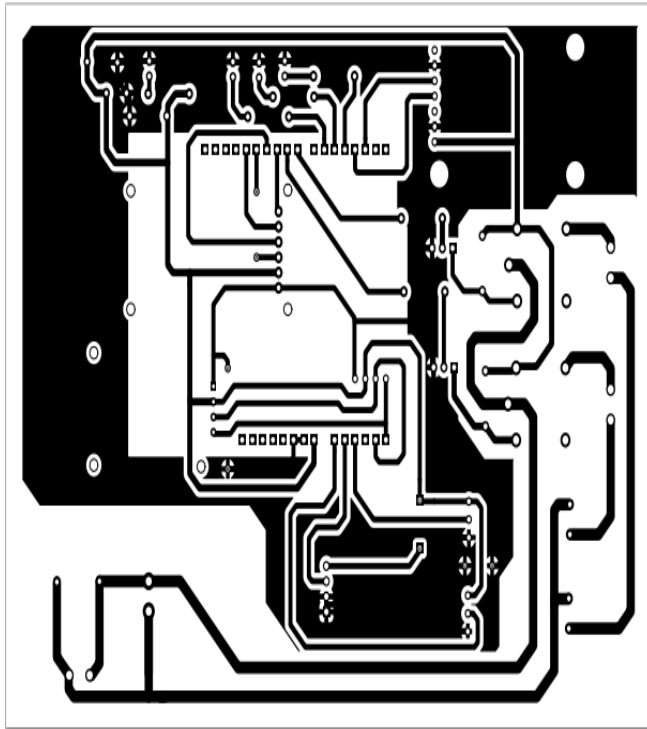


Figure 35: disposition de composants

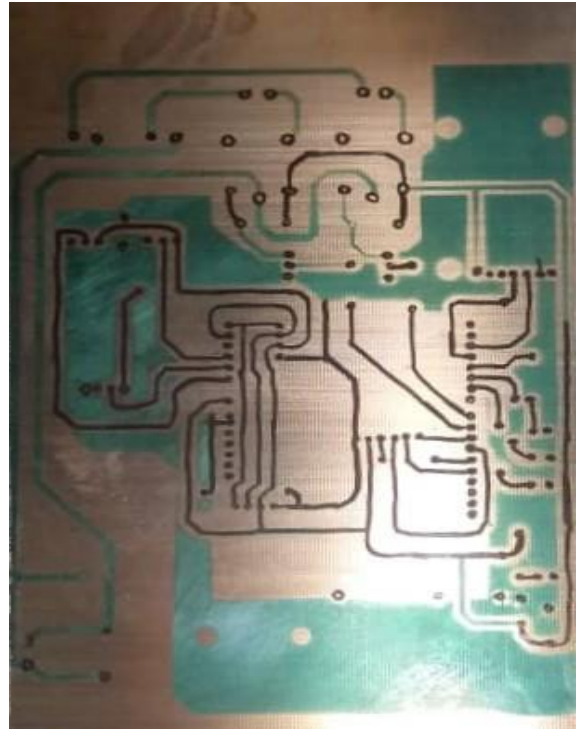
### 3.2.2.2. Présentation de la carte

La mise en œuvre de notre module nous a menés à la réalisation d'une carte électronique. Nous avons à cet effet exploité les logiciels PROTEUS et EASYEDA, les résultats après toutes les opérations sont représentés sur la figure (37) ci-dessous.





a) Typon sur papier

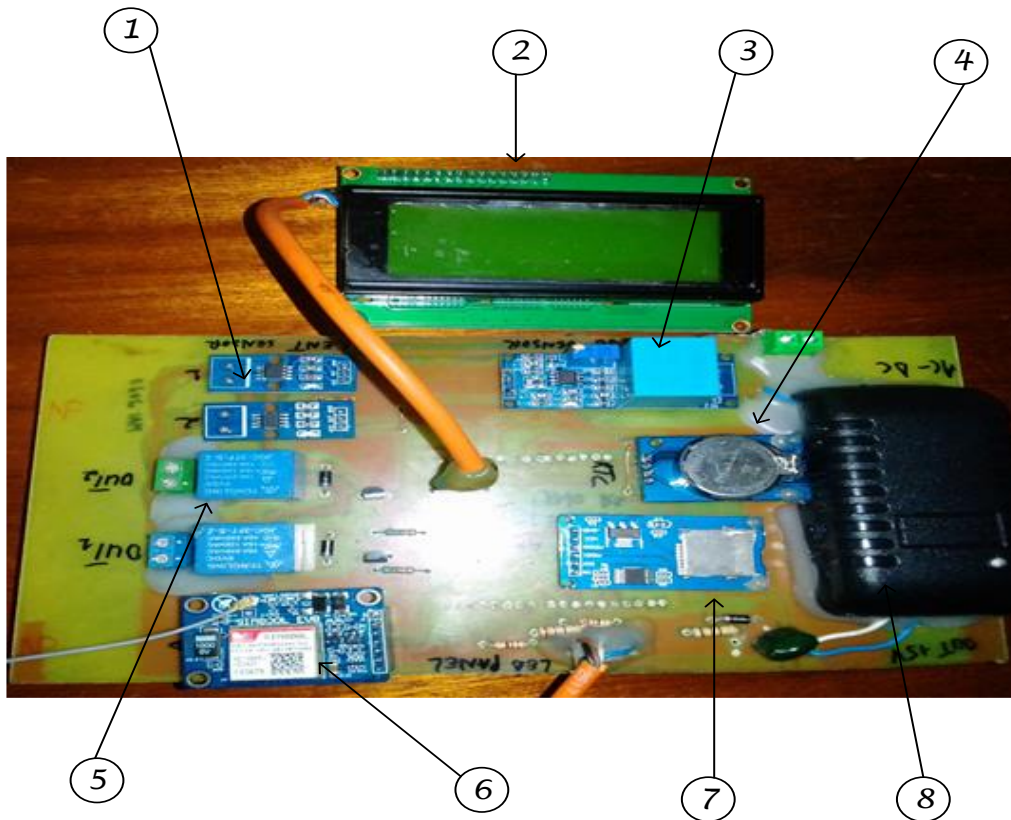


b) typon sur carte imprimée

*Figure 36: carte électronique*

### 3.2.2.3. Description des éléments sur la carte

Les éléments principaux décrivent notre module sont donnés par la figure (38) et détaillés dans le tableau (5).



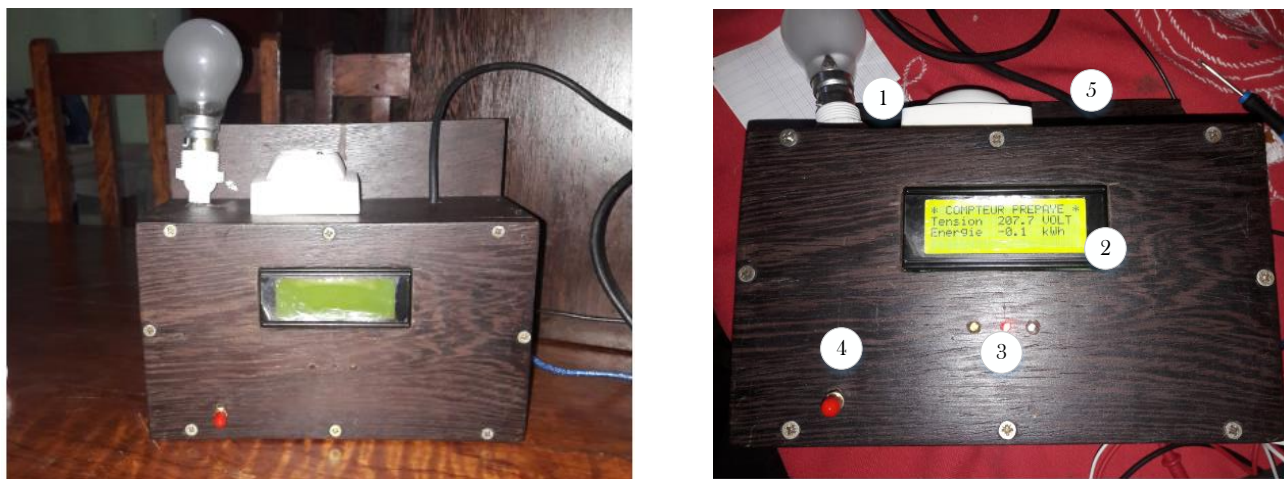
*Figure 37: description de la carte*

*Tableau 5: description de la carte*

N°	Designation	Observations
1	<b>Capteur de courant acs 712 30A</b>	<b>220AC / 5 DC</b>
2	<b>Afficheur lcd 20 * 4</b>	<b>0 – 5V</b>
3	<b>Capteur de tension ZMPT101B</b>	<b>1/1 220V / 5 V</b>
4	<b>Module RTC</b>	<b>0 – 5V</b>
5	<b>Relays</b>	<b>220V</b>
6	<b>Module GSM sim 800L</b>	<b>0 – 5V</b>
7	<b>Lecteur de carte SD</b>	<b>0 – 5V</b>
8	<b>Alimentation</b>	<b>220 V-50hz / 5 V DC</b>

### 3.2.2.4. Description complète de la maquette

La figure 39 ci-dessous représente la maquette complète de notre projet (**compteur**) dont les détails se trouvent contenus dans le tableau 6



*Figure 38: description du compteur*

*Tableau 6: Description du compteur*

N°	Description	Observation
1	<b>Charges (lampe et prise)</b>	<b>220V</b>
2	<b>Afficheur LCD</b>	<b>5V</b>
3	<b>Led</b>	<b>5V</b>
4	<b>Antenne ( module GSM)</b>	<b>5V</b>
5	<b>Source d'alimentation (Eneo)</b>	<b>220V/50Hz</b>

### 3.2.2.5. synthèse

Cette partie (3.2.2) nous a permis de faire le point sur les différents éléments constituant notre module et compteur. Cette carte que nous avons réalisée obéit aux normes de l'électronique pour la réalisation des circuits imprimés. Les composants utilisés ont été dimensionnés et choisis de sorte qu'il résiste aux variations brusques des paramètres du système et conditions de températures. Suite à cette présentation nous allons associer à notre compteur un téléphone portable androïde via le module GSM pour implémenter la méthode des compteurs communicants et le contrôle des charges.

### 3.2.3. Résultat de l'application sous androïde

#### 3.2.3.1. Présentation de l'icône

L'image de la figure (40) représente l'icône de l'application que nous avons développée.



*Figure 39: icône*

#### 3.2.3.2. Présentation de la page d'accueil

La figure (41) montre le premier onglet qui s'affiche à l'ouverture de l'application. On trouve les paramètres de recharge du compteur et de commande des charges qui permettent à l'utilisateur d'opérer un choix sur l'opération à effectuer pour la suite.



*Figure 40: page d'accueil*

### 3.2.3.3. Présentation de la page de recharge

L'onglet de la page liée à la recharge est présenté sur la figure 42 ci-dessous et comporte un espace réservé pour entrer le numéro abonnée, le montant et les paramètres de validation sur la recharge et l'accès à la commande des charges.



*Figure 41: Page de recharge*

### 3.2.3.4. Présentation de l'onglet commande des charges

La figure 43 ci-dessous représente l'onglet réservé à la commande des charges. On y retrouve sur ce dernier le bouton d'allumage et d'extinction des différentes charges.



*Figure 42: onglet de commande*

### 3.2.3.5. Ligne de code

Nous ne saurons arriver aux résultats de final de notre application comme présenté ci-dessus sans toutefois écrire le programme décrivant son fonctionnement. A cet effet la figure 44 présente un extrait du programme.

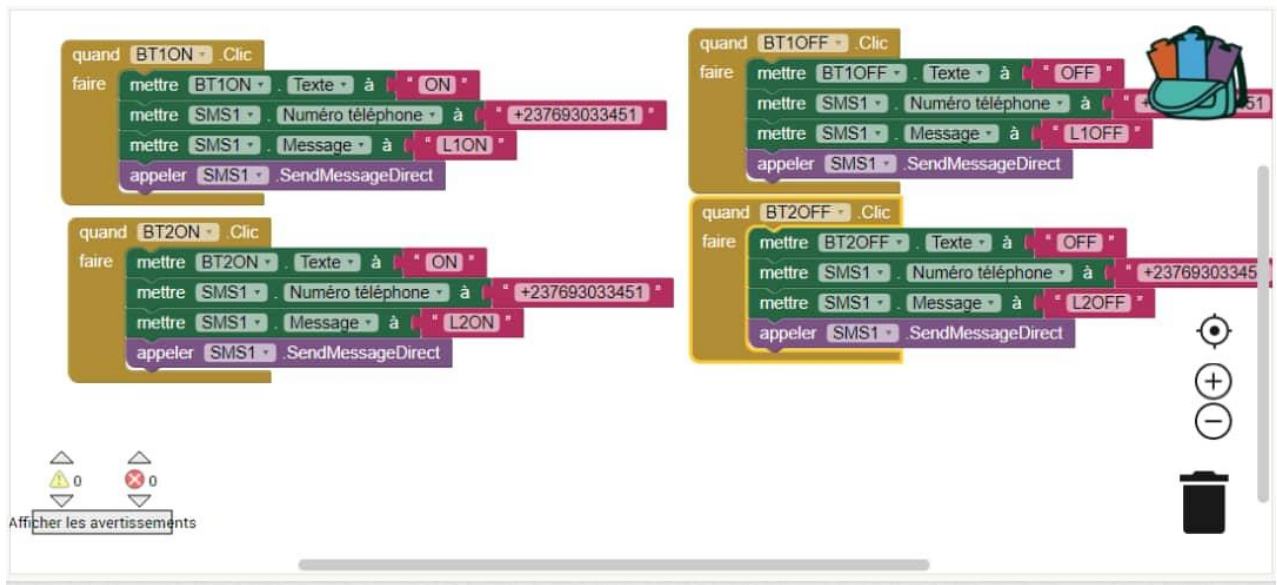


Figure 43: interface programme

### 3.2.3.6. Synthèse

Lors de l'implémentation de notre système nous avons une fonction supervision/control qui consistait à commander les charges au cas où celle-ci serait énergivores. Pour ce faire nous avons choisi le faire via une application androïde afin de faciliter les interactions et permettre une certaine autonomie d'où notre application « my\_icompteur ». En somme tous les tests menés ont été déroulés avec succès.

## 3.3. DISCUSSION SCIENTIFIQUE

Au regard de tous les travaux ci-dessus cités en revue déjà réalisés dans le domaine de l'électronique, en particulier sur les compteurs intelligents et les compteurs prépayés, nous pouvons ressortir quelques points de comparaisons :



- 
- Dans notre prototype, l'utilisateur n'a non plus seulement la possibilité de rechargé à distance mais aussi la supervision/la commande des charges.
  - De même il pourra interroger le solde de son en envoyant une simple commande qui en retour sera notifier de son solde par sms.

## CONCLUSION GENERALE

Arrivé au terme de notre étude portant sur la conception et la réalisation d'un compteur intelligent prépayé, nous avons pu explorer de façon théorique, en simulation et expérimental le comportement dudit compteur. Nos principales contributions ont été les limites liées a la conception du compteur intelligent de gestion d'énergie en mode prépayé rédigé par NACK[18], d'y introduire : la supervision/contrôle et une possibilité d'interroger le solde de l'énergie restante,... Comme l'on montré les résultats en simulation, expérimentaux, la gestion d'énergie, la communication nous ont permis de valider notre procédé en respectant tous les objectifs fixés. Pour ce faire nous avons tout d'abord introduit les fonctionnalités de bases d'un compteur classiques, intelligents et prépayés. Pour faciliter la communication entre le compteur et l'utilisateur, nous nous sommes servis des résultats pour monter une application que nous avons nommé « my\_icompteur ». Cette application pilote les commandes notamment la recharge et la commande des charges (fonction domotique) de notre système. L'échange d'information se faisait autour du module GSM et d'une carte arduino de type UNO. Les résultats expérimentaux ont permis de conclure sur la faisabilité et la possibilité d'implémenter ce système. Ainsi, nos études développées autour de ce thème nous ont permis d'introduire certaines fonctionnalités déjà évoquées plus haut. Il est important de relevé le facteur coût car la réalisation en impose, de ce fait la conception et la réalisation de ce prototype nous a valu 276.000 francs cfa.

Ce travail reste ouvert a de nombreuses perspectives on peut citer entre autre :

- Le calcul de la puissance par la méthode quadratique (ce qui rendrait d'avantage plus fiable le système)
- Lier la sd a une base de données



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Compteurs d'énergie électrique D'après Techniques de l'Ingénieur
- [2] DIEBRIL OUATTARA « avantages et inconvénients des compteurs prépayés pour la SONABEL », Mémoire pour l'obtention du master en électricité, énergétique et énergie renouvelables.
- [3] [www.Cutafrica.com](http://www.Cutafrica.com) > présentation (compteur prépayé).
- [4] Problèmes d'électrification urbaine au Cameroun: diagnostic et proposition de solutions curatives (Adolphe MOUKENGUE IMANO novembre 2015)
- [5] **décision n°\_0096\_/arsel/dg/dcec/sdct du\_28 mai 2012\_ fixant les tarifs de vente hors taxes d'électricité applicables par la société eneo cameroon dès l'année 2012.**
- [6] Compteur communicant et Smart grid
- [7] [www.comptes.fr](http://www.comptes.fr)
- [8] Jean Oswald, *Le Compteur d'électricité, témoin discret d'une révolution domestique*, 1983, 9 p. ([lire en ligne \[archive\]](#)), p. 141 L'avenir des compteurs électroniques
- [9] <https://www.batiproduits.com/fiche/produits/compteur-electronique-multitarifp69045098.html>
- [10] [www.google.fr](http://www.google.fr)
- [11] [www.resa.be](http://www.resa.be) > uploads >2015/ 08>...
- [12] Mohit .A « Prevent hacking, tampering in energy meters», Freescale Semiconductor.
- [13] MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER SPECIALISE EN GENIE ELECTRIQUE-ENERGETIQUE ET ENERGIE RENOUVELABLE Présenté par: Larba DIPAMA
- [14] cahier de recherche, les compteurs intelligents : vecteurs de changements comportementaux ?
- [15] Compteur électrique intelligent Linky : avantage et inconvénients
- [16] Conception et réalisation d'un compteur d'énergie électrique consultable à distance et accès local par carte à puce, rédigé en vue de l'obtention du DIPET II a l'enset de douala par ETOUNDI
- [17] L'apport des compteurs intelligents à une consommation plus durable de l'électricité
- [18] conception et réalisation d'un compteur intelligent de gestion de l'énergie en mode prépayé, rédigé en vue de l'obtention du DIPET I a l'enset de douala par NACK
- [19] Prepaid Electricity Meter using GSM Module

[20] A projet report on « smart energy meter »

## ANNEXES

- Devis estimatif

Qté	Désignation	Détails	PU (FCFA)	PT (FCFA)
<b>Carte Electronique</b>				
02	Carte Arduino Uno	ATMEGA	15.000	30.000
01	Alimentation AC-DC	220V/12V	30.000	30.000
01	Module GSM	SIM800L	15.000	15.000
02	Capteur de courant	ACS 712	7000	14.000
01	Capteur de tension	ZMPT101B	10.000	10.000
01	Afficheur avec I2C	20*4	10000	10.000
01	Module RTC	DS3231	5.000	5.000
01	Lecteur carte SD et carte		15.000	15.000
03	Transistor	NPN	500	1.000
02	Relais	220V	1000	2.000
10	Résistance	1K	100	1.000
10	Diode	LED, de jonction	200	2.000
01	Fiche d'alimentation		1.000	1.000
	Autres composants		25.000	25.000
01	Impression et tirage de la carte		30.000	30.000
	Transport		30.000	30.000
<b>Caisse en bois</b>				
01	Planche de bois	Wengé	15.000	15.000
	Accessoires de fixation		15.000	15.000
	Autres travaux	Vernis, ponçage...	20.000	20.000
	Frais d'exécution		15.000	15.000
<b>TOTAL</b>				<b>276.000</b>

- Extrait du programme

```
SIM800L
1 #include <EEPROM.h>
2 #include <SoftwareSerial.h>
3 #include <Wire.h>
4 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
5 #include "EmonLib.h" //Include Emon Library
6 #include <DS3231.h>
7 #define VOLT_CAL 260.3 // sensibilite du capteur
8
9 //*****VARIABLES MESSAGES*****
10 String InfosMS = ""; // STOCKAGE DE TOUTES LES INFOS DU SMS
11 String Message = ""; // STOCKAGE DU MESSAGE
12 String Numero = ""; // STOCKAGE DU NUMERO
13 String MonNum = "+237696333179"; // VOTRE NUMERO
14 bool SMS = 0;
15 bool NUM = 0;
16 //*****VARIABLES COURANT-TENSION ET PUISSANCE*****
17 int val_sms;
18 long temps;
19 String number = "+237690047796";
20 float realPower;
21 float puissance80;
```

```
Vérifier
SIM800L
82 void loop()
83 {
84
85   while (GSMModule.available())
86   {
87     InfosMS = GSMModule.readString(); // STOCKAGE DES INFOS DU SMS DANS LA VARIABLE "InfosMS"
88     Serial.println(InfosMS); //LIRE LES CARACTERES SUR LE PORT SERIE
89     digitalWrite(5, HIGH);
90     if (InfosMS.indexOf("L1ON")>=0 && verify>0){
91       digitalWrite(8, LOW);b=2;}
92     if (InfosMS.indexOf("L1OFF")>=0){verify_off=1;
93       digitalWrite(8, HIGH);}
94     if (InfosMS.indexOf("L2ON")>=0 && verify>0){
95       digitalWrite(9, LOW);b=2;}
96     if (InfosMS.indexOf("L2OFF")>=0){
97       digitalWrite(9, HIGH);}
98     if (InfosMS.indexOf("L2OFF")>=0){
99       digitalWrite(9, HIGH);}
100    if (InfosMS.indexOf("@")>=0){
101      NouveauSMS();
102      displaySubscription();
```

- Data sheet arduino uno

## Description des pins

Pin Category	Pin Name	Details
Power	Vin, 3.3V, 5V, GND	Vin: Input voltage to Arduino when using an external power source. 5V: Regulated power supply used to power microcontroller and other components on the board. 3.3V: 3.3V supply generated by on-board voltage regulator. Maximum current draw is 50mA. GND: ground pins.
Reset	Reset	Resets the microcontroller.
Analog Pins	A0 – A5	Used to provide analog input in the range of 0-5V
Input/output Pins	Digital Pins 0 - 13	Can be used as input or output pins.
Serial	0(RX), 1(TX)	Used to receive and transmit TTL serial data.
External Interrupts	2, 3	To trigger an interrupt.
PWM	3, 5, 6, 9, 11	Provides 8-bit PWM output.
SPI	10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) and 13 (SCK)	Used for SPI communication.
Inbuilt LED	13	To turn on the inbuilt LED.
TWI	A4 (SDA), A5 (SCA)	Used for TWI communication.
AREF	AREF	To provide reference voltage for input voltage.

### Spécification des broches

Microcontroller	ATmega328P – 8 bit AVR family microcontroller
Operating Voltage	5V
Recommended Input Voltage	7-12V
Input Voltage Limits	6-20V
Analog Input Pins	6 (A0 – A5)
Digital I/O Pins	14 (Out of which 6 provide PWM output)

DC Current on I/O Pins	40 mA
DC Current on 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (0.5 KB is used for Bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frequency (Clock Speed)	16 MHz

- Datasheet du capteur de courant

**COMMON OPERATING CHARACTERISTICS** [1]: Over full range of  $T_A$ ,  $C_F = 1$  nF, and  $V_{CC} = 5$  V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>						
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	$I_{CC}$	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	$C_{LOAD}$	V <sub>IOUT</sub> to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	$R_{LOAD}$	V <sub>IOUT</sub> to GND	4.7	–	–	k $\Omega$
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m $\Omega$
Rise Time	$t_r$	$I_P = I_P(\text{max})$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	$\mu\text{s}$
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$ ; $I_P$ is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	$E_{LIN}$	Over full range of $I_P$	–	1.5	–	%
Symmetry	$E_{SYM}$	Over full range of $I_P$	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(O)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	$t_{PO}$	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$ , 20 A present on leadframe	–	35	–	$\mu\text{s}$
Magnetic Coupling [2]			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance [3]	$R_{F(INT)}$			1.7		k $\Omega$

[1] Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient,  $T_A$ , and internal leadframe temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_J(\text{max})$ , is not exceeded.

[2] 1G = 0.1 mT.

[3]  $R_{F(INT)}$  forms an RC circuit via the FILTER pin.

**COMMON THERMAL CHARACTERISTICS** [1]

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	$T_A$	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
Characteristic	Symbol	Test Conditions	Value		Units	
Junction-to-Lead Thermal Resistance [2]	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board	5		$^\circ\text{C/W}$	
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board	23		$^\circ\text{C/W}$	

**x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS** [1]  $T_A = -40^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$ ,  $C_F = 1\text{ nF}$ , and  $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ , 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	-0.34	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.07	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	0.017	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.004	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Total Output Error [2]	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 20\text{ A}$ , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

[1] Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_J(\text{max})$ , is not exceeded.

[2] Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 20\text{ A}$ . Output filtered.

**x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS** [1]:  $T_A = -40^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$ ,  $C_F = 1\text{ nF}$ , and  $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ , 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	-0.35	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.08	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	0.007	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.002	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Total Output Error [2]	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 30\text{ A}$ , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

[1] Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_J(\text{max})$ , is not exceeded.

[2] Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 30\text{ A}$ . Output filtered.

- Datasheet de tension

## 1、Wiring diagram

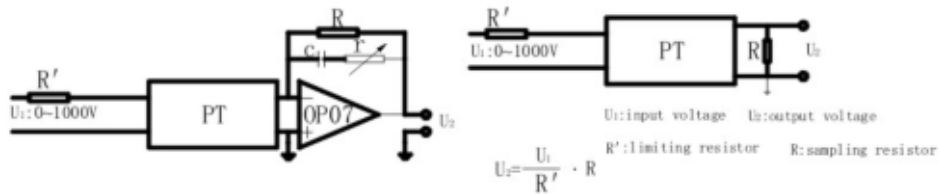


Figure I

Figure II

## 2、Determination of maximum output rms voltage

**$U_{max}$ :**

**$U_{max}$  is decided by the AD peak voltage in the sampling loop in principle.**

**As for Bipolar AD,  $U_{max} = \frac{\text{Peak voltage}}{\sqrt{2}}$**

**As for unipolar AD,  $U_{max} = \frac{\text{peak voltage}}{2\sqrt{2}}$**

**for example:**

**As for  $\pm 5V$  AD, the maximum rms voltage of the transformer:  $U_{max} = 5V / \sqrt{2} = 3.53V$**

**As for  $0 \sim 3.3V$  AD, the maximum rms voltage of**

**the transformer:  $V_{\max} = 3.3V/2\sqrt{2} = 1.16V$**

### **3、 Determination of input current-limiting resistor $R'$**

**Current-limiting resistor  $R' = \frac{V}{I}$**

**V: Rated input voltage**

**I : Rated operating current ( when Coil resistance is compared with current-limiting resistor  $R'$  , it can be ignored.)**

**ZMPT101B/ZMPT107 usually working at rated current:1~2mA. When Rated input voltage  $\leq 100V$  , Usually choosing the operating current  $I=2mA$ ; When Rated input voltage  $\geq 220V$ , To reducing the resistor power, Usually choosing the operating current  $1 mA \leq I \leq 2 mA$ .**

**for example:  $V=100V$ ,  $I=2 mA$ ,**

$$R' = \frac{V}{I} = 50K\Omega$$

**for example:  $V=220V$ ,  $I=1.1mA$ ,**

$$R' = \frac{V}{I} = 200 k\Omega$$

**To improve reliability, the current-limiting resistor selected usually is greater than its 4times the rated power, and generally use a high**



**temperature coefficient metal film resistor.**

#### **4. Determination of the sampling resistor R**

$$R = \frac{V_{outputmax}}{I} = \frac{V_{outputmax}}{V_{inputmax}} \cdot R$$

**for example:**  $V_{outputmax} = 3.53V$ ,  $V_{inputmax} = 120V$ ,  $R = 50 k\Omega$

$$R = \frac{3.53}{120} \times 50 k\Omega = 1.471 k\Omega$$

**Directions:**

**(1) Above formula is also suitable for the two ways of active and passive output .**

**(2)when selecting the sampling resistor, Resistor should not exceed :  $V_{outputmax} \cdot R / V_{inputmax}$**

#### **5. The advantages and disadvantages of the two wiring**

##### **(1). Active output**

**Advantage: high precise, small phase error, high output voltage, strong load capacity.**

**As for unipolar AD, the positive input terminal of the op amp can plus a fixed benchmark reference voltage to solve.**

**Meanwhile, in order to simplify the line, Generally do not access the c and r which are for the phase compensation. If you need to compensate, Usually**

