REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Département du Génie Electrique

Mémoire de fin d'études de Master

Spécialité : Commandes électriques

ETUDE ET REALISATION D'UN COMPTEUR ELECRIQUE

Présenté par :

SAKOUCHI Abderrahim

Proposé et Dirigé par :

Pr. BOUCHHIDA Ouahid

Dr. MOUALDIA Abdelhafidh

Promo :2021

Dédicace

Avec l’expression de tous mes sentiments de respect, je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents, je vous remercie et votre respect pour tout le soutien et les encouragements qu’ils m’ont apportés tout au long de mon parcours académique, qui a conduit au projet de cette étude, ainsi que mes sœurs et tous les professeurs pour tous les conseils et le soutien. Et la confiance qu’ils m’ont accordée au fil des ans, ainsi qu’à tous mes collègues et amis.

Remerciements

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

Je tiens tout d'abord à remercier les professeurs encadrants, Pr .BOUCHHIDA et Dr.MOUALDIA, d'avoir accepté m'encadrer, et pour le sujet qu'ils m'ont proposé, ainsi que pour toutes les observations et conseils constructifs qui ont contribué à approfondir et à développer mes connaissances scientifiques, ainsi que tous les professeurs du Département de Génie Electrique qui ont contribué à mon éducation et ma formation. Je tiens particulièrement à remercier M.AMOQRAN et M.HANINI, ainsi que M. MOULOUD Soufian et M.ANAIBA yahia pour leur précieuse aide et les conseils qu'ils m'ont prodigués tout au long de ce travail.

Merci aux chers parents de m'avoir encouragé et motivé, merci à tous les amis, et merci à tous.

الملخص

في هذا المشروع قمت بتصميم و بناء عداد طاقة.

لقد درست اولا انواع عدادات الطاقة التقليدية و الالكترونية و كذلك الذكية. ثم قمت بإنجاز التصميم العام للعداد باستعمال حساسات الجهد و التيار و كذلك بعض العناصر الالكترونية كالمضخمات العملية و الاوبتوكوبلر و كذلك البوابة المنطقية (بوابة عدم التوافق) بالإضافة الى العنصر الاساسي الاردوينوا ميغا.

الكلمات المفتاحية : عداد الطاقة, *حساسات الجهد و التيار, المضخمات العملية, الاوبتوكوبلر, البوابة المنطقية, الاردوينوا ميغا.*

Abstract

In this project, I designed and built an energy meter.

I first studied traditional and electronic types of energy meters as well as smart ones. Then I did the general design of the meter using voltage and current sensors, as well as some electronics like op-amps and optocouplers, as well as the logic gate (the incompatibility gate). in addition to the main component of the Arduino Mega.

Keywords: Energy meter, Voltage and current sensors Practical amplifiers, The optocoupler, Logic gate, Arduino Mega.

Résumé:

Dans ce projet, j'ai conçu et construit un compteur d’énergie.

J'ai d'abord étudié les types de compteurs d'énergie traditionnels et électroniques ainsi que les smart. Ensuite, j'ai réalisé la conception générale du compteur à l'aide de capteurs de tension et de courant, ainsi que de certains éléments électroniques tels que des amplificateurs opérationnel et des optocoupleurs, ainsi que la porte logique (la porte d'incompatibilité) en plus du composant principal de l'Arduino Mega.

Mots-clés : Compteur d'énergie, Capteurs de tension et de courant Amplificateurs pratiques, L'optocoupleur, Porte logique, Arduino Méga.

Table des matières

Résumé…….

Liste des figures……

Liste des Tableaux……

Liste des abréviations……...

Introduction générale……..1

Chapitre I : Généralités sur le compteur électrique

I.1. Introduction : 2

I.2. Rappels d'électrotechnique.....3

I.2.1. L'impédance 3

I.2.2. Les types de puissances 4

I.3. La consommation électrique.....7

I.3.1. Définition 7

I.3.2. Consommation électrique d'un client 7

I.3.3. Consommation électrique d'un appareil 7

I.4. Tarification de l'électricité.....8

I.5. Les compteurs électriques 8

I.5.1. Les compteurs électromécaniques (à induction).....9

I.5.2. Les Compteurs électroniques.....12

I.5.3. Compteur intelligent 15

I.5.4. Le réseau électrique intelligent 16

I.5.5. Différence entre compteur électrique traditionnel et compteur intelligent.....20

I.6. Les capteurs à effet Hall 20

I.7. Conclusion.....22

Chapitre II: Partie Hardware et Partie software

II.1. Introduction:.....23

II.2. Partie Hardware et Partie software 24
II.2.1. Carte Arduino Mega 24
II.2.2. Capteur de tension Zmpt101b 29
II.2.3. Capteur de courant Acs758 31
II.2.4. Afficheur LCD 34
II.2.5. Optocoupleur 4n35 35
II.2.6. Amplificateur opérationnel LM324 37
II.2.7. La port logique XOR 74LS86N 39
II.3. Partie Software 40
II.3.1. Arduino IDE 40
II.4. Conclusion 43

Chapitre III : Simulation et réalisation de projet

III.1. Introduction 44
III.2. Simulation du projet sous PROTEUS (ISIS) 44
III.2.1. Présentation générale 44
III.2.2. Installer les bibliothèques d'éléments utilisés 45
III.3. Montage 45
III.3.1. La méthode et le détail de travail par logiciel de simulation Proteus 45
III.3.1.1.La première étape 45
III.3.1.2.La deuxième étape (Branchement du capteur de courant) 46
III.3.1.3.La troisième étape (Branchement du capteur de tension) 47
III.3.1.4.La quatrième étape (le circuit électronique pour calculer le déphasage et la fréquence d'alimentation) 49
III.3.1.5.Cinquième étape 50
III.3.1.6.Sixième étape (calcul de puissance active et réactive) 54
III.3.1.7.Septième étape (calcul de l'énergie consommée) 55
III.3.2. La réalisation et les résultats pratiques du compteur d'énergie 57

III.3.2.1.Le schéma global du compteur d'énergie……57

III.3.2.2.Les résultats pratiques……...58

III.4. Conclusion 60

Conclusion générale……..61

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur le compteur électrique

Figure.I. 1 : l'impédance Z. 3
Figure.I. 2: triangle des puissances. 5
Figure.I. 3: Compteur Landis+Gyr des années 1960. 9
Figure.I. 4: l'interface de compteur électromécanique. 9
Figure.I. 5: les composants de compteur électromécanique. 10
Figure.I. 6: compteur électromécanique monophasé 11
Figure.I. 7: compteur électronique. 13
Figure.I. 8: Schéma d'un compteur électronique 14
Figure.I. 9: compteur intelligent monophasé (Linky). 15
Figure.I. 10: Schéma représentée le réseau électrique de base (à doroite) et le réseau électrique intelligent « avec centre de supervision » (à gauche). 17
Figure.I. 11: le réseau électrique intelligent. 19
Figure.I. 12: Compteurs traditionnels Compteurs Intelligents. 21
Figure.I. 13: Capteur de courant en boucle fermé. 22

Chapitre II: Partie Hardware et Partie software

Figure.II. 1: la carte Arduino Mega 24
Figure.II. 2: Schéma électrique de ZMPT101B 30
Figure.II. 3: Schéma de câblage. 30
Figure.II. 4: Dimensionnement de capteur ZMPT101B 30
Figure.II. 5: capteur Acs758 31
Figure.II. 6: Schéma électrique d'Acs758 32
Figure.II. 7: Dimensionnement de capteur Acs758 32
Figure.II. 8: les types de capteur Acs758 33
Figure.II. 9: les pins de l'Afficheur LCD 35
Figure.II. 10: l'installation de l'afficheur LCD 35
Figure.II. 11: le schéma d'optocopleur4n35 36
Figure.II. 12: le schéma général de l'amplificateur opérationnel 37
Figure.II. 13: le schéma de l'amplificateur opérationnel LM324 38
Figure.II. 14: circuit intégré 74LS86N 39
Figure.II. 15: le symbole et la table de port logique XOR 39
Figure.II. 16: L'interface de logicielle Arduino 41

Figure.II. 17: Les boutons d'interphase de programmation arduino. 41
Figure.II. 18: La structure d'un programme arduino. 42

Chapitre III : Simulation et réalisation de projet

Figure.III. 1: L'interface de logiciel proteus 45
Figure.III. 2: le circuit de début de travail avec deux signaux alternatif. 46
Figure.III. 3: Branchement de capteur courant acs758 46
Figure.III. 4: Branchement du capteur de courant acs758. 47
Figure.III. 5:Branchement de capteur Zmpt101b 48
Figure.III. 6: Branchement du capteur de tension ZMPT101B. 48
Figure.III. 7: le circuit électronique pour calculer le déphasage et la fréquence d'alimentation. 50
Figure.III. 8: le signal de sortie de deux capteurs utilisé. 50
Figure.III. 9: les valeurs mesurées pour un circuit R. 51
Figure.III. 10: les différentes signaux de sortie de circuit de calcule. 52
Figure.III. 11: les signaux de sortie de deux capteurs utilisée. 52
Figure.III. 12: Les valeurs mesurées pour un circuit RL. 53
Figure.III. 13: le signal de sortie de l'optocoupleur1 et 2 et le port XOR. 54
Figure.III. 14: La puissance active et réactive mesuré. 54
Figure.III. 15: L'énergie consommée en joule et en kwh. 56
Figure.III. 16: Le schéma global du compteur d'énergie. 57
Figure.III. 17:schéma de réalisation 57
Figure.III. 18: les valeurs mesurées de 1ère cas. 58
Figure.III. 19: les valeurs mesurées de 2ème cas. 59
Figure.III. 20: le signal de sortie de l'optocoupleur1 et 2 59

Liste des Tableaux

Chapitre I : Généralités sur le compteur électrique

Tableau I. 1: représentation l'influence d'impédance sur la tension et le courant... 3
Tableau I. 2: représentation la relation entre l'impédance et les différentes puissances.. 4
Tableau I. 3: Comparaison entre compteur traditionnel et intelligent..... 20

Chapitre II: Partie Hardware et Partie software

Tableau.II. 1: représenté les caractéristiques de la carte Arduino Méga..... 28

Chpaitre III: Simulation et réalisation de projet

Tableau.III. 1: représenté les valeurs réelles et les valeurs mesurées par l'Arduino de circuit R. 51
Tableau.III. 2: représenté les valeurs réelles et les valeurs mesurées par l'Arduino de circuit RL..... 53
Tableau.III. 3: représenté les valeurs réelles et les valeurs mesurées par l'Arduino de circuit RL et la puissance active et réactive. 55
Tableau.III. 4: Les valeurs de puissance calculé en théorique en les valeurs mesurées 56
Tableau.III. 5: les résultat obtenue de 1ère cas..... 58
Tableau.III. 6: les résultats obtenus de 2ème cas 59

Liste des abréviations

U Tension efficace

I Intensité efficace

V voltes

A ampères

Z impédance

R résistance

Ω ohm

L inductance

H henry

C capacité

F farad

S puissance apparente

P puissance active

Q puissance réactive

Fp Facteur de puissance

VA Voltampère

W Watts

VAR Voltampère réactive

t Le temps

T période

s second

AC courant alternative

DC courant continue.

F fréquence

Hz hertz

ω pulsation

E énergie électrique

J Joule

KJ Kilojoule

Wh Wattheures

KWh Kilowattheures

B champs magnétique

USB Universal Serial Bus

UART A universal asynchronous receiver-transmitter

SPI The Serial Peripheral Interface

PWM Pulse-width modulation

I2C Inter-Integrated Circuit

GND Ground

LCD Liquid Crystal Display

Introduction générale

Les chercheurs dans le domaine de l'énergie ont toujours recherché des réseaux électriques plus efficaces et plus stables pour assurer les plus hauts niveaux de sécurité et d'économie dans la consommation d'énergie, car les compteurs électriques jouent un rôle majeur pour atteindre des réseaux plus avancés. A ce jour, nous utilisons encore des compteurs traditionnels, qu'ils soient électromécaniques ou électriques, comme nous attendions toujours que le travailleur de la société d'énergie inspecte ces compteurs et le montant de notre consommation d'énergie, et donc pour obtenir des réseaux électriques plus efficaces, il est nécessaire d'utiliser des compteurs d'énergie intelligents, qui permettent d'assurer la gestion de l'énergie les entreprises avec une information dans tous les temps, ce qui permet la protection des consommateurs et les économies d'énergie, cela permet à la fois au producteur et au consommateur de voir tout ce qui concerne les dangers et la quantité d'énergie consommée et de faire des ajustements au pourcentage de la consommation totale ou de reporter l'utilisation de certains équipements, si possible, à des périodes qui ne sont pas au maximum de la consommation, et donc cela profite à la fois aux sociétés de production et aux consommation aux heures de pointe.

Le but de ce projet est d'étudier et de concevoir un compteur d'énergie par lequel tout ou partie des problèmes mentionnés peuvent être éliminés, j'ai donc divisé ce projet comme suit :

- Le premier chapitre : une description générale des compteurs électrique de toutes sortes, leurs caractéristiques et modes de fonctionnement, ainsi que les réseaux électriques intelligents et leurs spécifications, ainsi que la différence entre les compteurs traditionnels et modernes.
- Chapitre deux : décrit l'équipement utilisé pour réaliser ce projet et explique son fonctionnement en plus des programmes spéciaux utilisés.
- Chapitre trois : décrit l'appareil à réaliser, et les tests et les résultats.

Chapitre I

Généralités sur le compteur électrique

I.1. Introduction :

Pour subvenir aux besoins énergétiques, l'homme a essayé de tirer parti de toutes les ressources et de les convertir en énergie électrique qui est devenue utilisée dans tous les domaines de la vie, qu'ils soient domestiques, commerciaux ou industriels, où cette énergie est transférée par des différentes sources et transportée en trois parties principales :

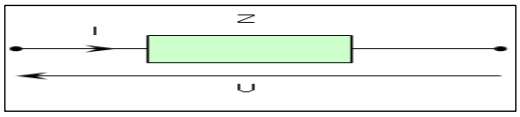
Production, transport et distribution. l'objectif est de fournir l'énergie nécessaire aux consommateurs, et le flux d'énergie dans les réseaux de distribution est unidirectionnel. Quant aux postes de production et réseaux de transport, ils disposent d'un très bon système de communication pour assurer la sécurité de l'ensemble du système et ont une parfaite transmission de l'énergie, en revanche, le système de distribution du réseau électrique traditionnel est un système passif ou le réseau manque de communication et la surveillance, et les consommateurs recherchent toujours un meilleur service et une plus grande efficacité du réseau l'énergie, la précision des mesures et tout ce qui concerne leur consommation d'énergie en temps réel tous les problèmes possibles.

Et parce que les réseaux de distribution traditionnels ne disposent pas de ces services, il est devenu nécessaire de réfléchir et de trouver des solution pour obtenir des services plus efficaces et sûrs , et parmi les solutions les plus marquantes figurent les compteurs d'énergie intelligents qui contribuent à l'intégration des systèmes de communication et à l'automatisation système de contrôle dans le système de distribution, qui a introduit un nouveau système pour le réseau électrique appelé « Smart Electricity Grid »

I.2. Rappels d'électrotechnique

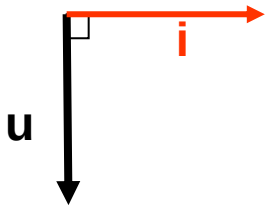
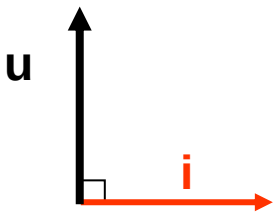
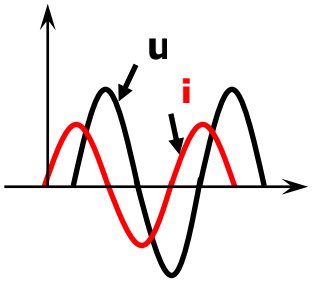
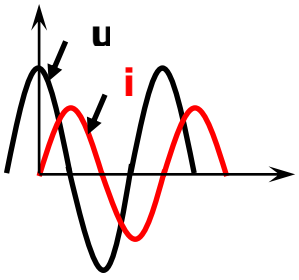
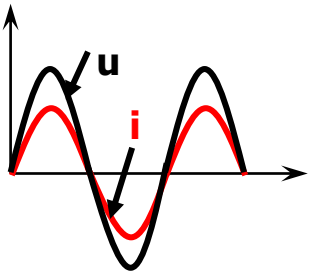
I.2.1. L'impédance

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



$Z=\frac{U}{I}$ (I.1) **Figure.I. 1 :** l'impédance Z.

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

L'état de condensateur	L'état de la bobine	L'état de resistance	
$Z_C = \frac{1}{C\omega}$	$Z_L = L\omega$	$Z = R$	**L'inpedence Z**
			**Representation de Fresnel**
			**Representation cartésienne**

la difference de phase entre la tension et le courant est : ($\varphi = -\pi/2$) la tension en retard par rapport le courant.	la difference de phase entre la tension et le courant est : ($\varphi = \pi/2$) la tension en avance par rapport le courant.	la difference de phase entre la tension et le courant est nulle ($\varphi = 0$).	**Difference de phase (φ)**

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

(Tel que : la pulsation $\omega=2\pi F$ (rad/s), et F la fréquence : F=1/T en (HZ), T la période en (seconde (s))).

Tableau I. 2: représentation la relation entre l'impédance et les différentes puissances.

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

I.2.2. Les types de puissances

Une charge électrique utilisant le courant alternatif monophasé (moteur, lampe, transformateur,...) consomme trois puissances (active, réactive, apparente). Les valeurs de ces puissances vont varier en fonction de la nature des récepteurs (résistif, inductif, capacitif) .Maintenant que nous avons défini la puissance, continuons à parler de ces types, par

conséquent, il existe trois (3) puissances différentes, que nous présenterons plus en détail ultérieurement, à savoir la puissance apparente, la puissance active et la puissance réactive, Ils sont tous connectés via le triangle de puissance suivant :

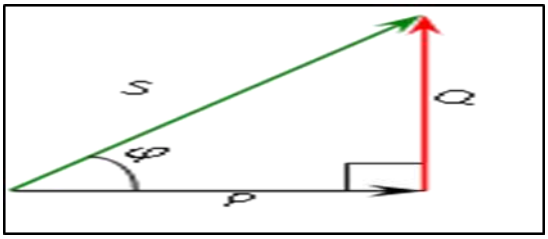


Figure.I. 2: triangle des puissances.

I.2.2.1.La Puissance active

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

$P=U_{eff}*I_{eff}*\cos(\varphi)$. (I.2)

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

I.2.2.2.La Puissance réactive

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

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

$Q=U_{eff}*I_{eff}*\sin(\varphi)$. (I.3)

On peut être compensée la puissance réactive par des batteries de condensateurs qui ont la propriété de pouvoir fournir de l'énergie réactive (un moyen d'économiser de l'énergie)

réduisant ainsi les factures d'électricité. Mais cela ne s'applique qu'aux gros consommateurs, car les particuliers ne paient pas.

I.2.2.3.La Puissance apparente

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

$S=U_{eff}*I_{eff}$ (I.4)

La puissance apparente est la somme (triangulaire) de la puissance active et de la puissance réactive donc on obtenue une formule, liant les trios puissances :

$S=\sqrt{P^2+Q^2}$ (I.5)

1. S: puissance apparente, en Voltampère (VA).

2. P: puissance active, en Watts (W).

3. Q: puissance réactive, en Vars (VAR).

I.2.2.4.Facteur de puissance

Est le cos de l'angle de la différence de phase (φ) entre la tension et le courant, Le facteur de puissance d'un circuit alternatif est donné par l'expression suivante :

$F_P=\cos(\varphi)=\frac{P}{S}$ (I.6)

Le facteur de puissance varie entre 0 et1 ($0\leq\cos\phi\leq1$), dans les circuits électriques, le facteur de puissance n'est pas égal à un sauf dans le cas de charge résistive, mais chaque facteur de puissance était proche de un était un réseau ou un circuit à haut rendement.

Les circuits triphasés on utilisés pour la production, le transport et la distribution d'électricité, et pour alimenter des charges importante. Il existe deux types de connexion des branches de circuits triphasés : étoile et e triangulaire, dans ce cas les formules de puissance sont :

$S=\sqrt{3}*U_{eff}*I_{eff}$ (I.7)

$P=\sqrt{3}*U_{eff}*I_{eff}*\cos(\varphi)$ (I.8)

$$Q=\sqrt{3} * U_{eff} * I_{eff} * \sin(\varphi) \qquad (I.9)$$

I.3.La consommation électrique

I.3.1.Définition

"Une série temporelle représentant la puissance active moyenne en kilowatts (KW) sur un certain pas de temps, ceci avec une date de début et sur une certaine durée". Cette définition correspond aux données de consommation électrique qui sont utilisées dans la plupart des modèles. [7]

Le mot s'écrit « kilowatt heure » ou « kilowatt-heure » selon le Système international d'unités, ou « kilowattheure » selon les dictionnaires usuels. Le kilowatt-heure est une unité d'énergie correspondant à celle consommée par un appareil de 1 000 watts (soit 1 kW) de puissance pendant une durée d'une heure. [8]

Nous ne prenons pas en compte les pertes sur le réseau électrique. Les pertes sur l'ensemble du réseau de transport et de distribution représentent environ 8% de la consommation intérieure nette, dont 2% sur le réseau de transport , Les 6% de pertes sur le réseau de distribution. [7]

I.3.2.Consommation électrique d'un client

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

- industrie
- agriculture
- résidentiel

On peut aussi vouloir regrouper les consommations uniquement par types d'appareils. [7]

I.3.3.Consommation électrique d'un appareil

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

Les types d'appareils peuvent être par exemple :

- éclairage
- chauffage
- climatisation
- eau chaude sanitaire
- production de froid ....ect

I.4.Tarification de l'électricité

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

Les compagnies d'électricité fixent les prix de l'électricité sur la base de ces trois normes Ce qui suit :

1. Consommation d'énergie en kilowattheures
2. Besoins en puissance active, en kilowatts
3. Demande de puissance apparente, en kilovolts ampères

Le terme « tarif » s'applique aux prix réglementés par l'État ; pour les prix de marché, on parle tout simplement de prix. [12]

I.5. Les compteurs électriques

Un compteur électrique est un organe électrotechnique indispensable pour toute installation électrique servant à mesurer et quantifier la quantité d'énergie électrique consommée dans un lieu comme un habitation, industrie, une école, une administration, une entreprise …etc. Il est utilisé par les fournisseurs d'électricité afin de facturer la consommation d'énergie au client. Cette énergie est calculée en fonction de la puissance instantanée et du temps d'utilisation. Le compteur électrique donne des informations en kilowattheure (kWh) : $E(kwh)=P(kw)*t(Heurs)$. (I.10)

A l'origine ces appareils étaient de conception électromécanique, ils sont remplacés dorénavant par des compteurs électroniques. Les nouvelles versions de compteurs électriques sont des compteurs communiquant appelés parfois compteurs intelligents [5]

On distingue 3 types de compteurs électriques :

I.5.1. Les compteurs électromécaniques (à induction)

I.5.1.1. Définition

Les compteurs électromécaniques sont les compteurs les plus anciens et les plus traditionnels installés grâce à sa grande qualité est sa robustesse et sa simplicité d'utilisation. Il s'agit de la première génération des compteurs installés et ils utilisent un dispositif mécanique de comptage pour afficher un seul indice de consommation qui est l'énergie. Ce compteur est généralement situé dans le logement lorsqu'il s'agit d'un logement individuel. Dans le cas d'un immeuble comportant plusieurs logements, il est situé à l'extérieur, souvent dans un compartiment ou local technique qui lui est réservé. [5]



Figure.I. 3: Compteur Landis+Gyr des années 1960.

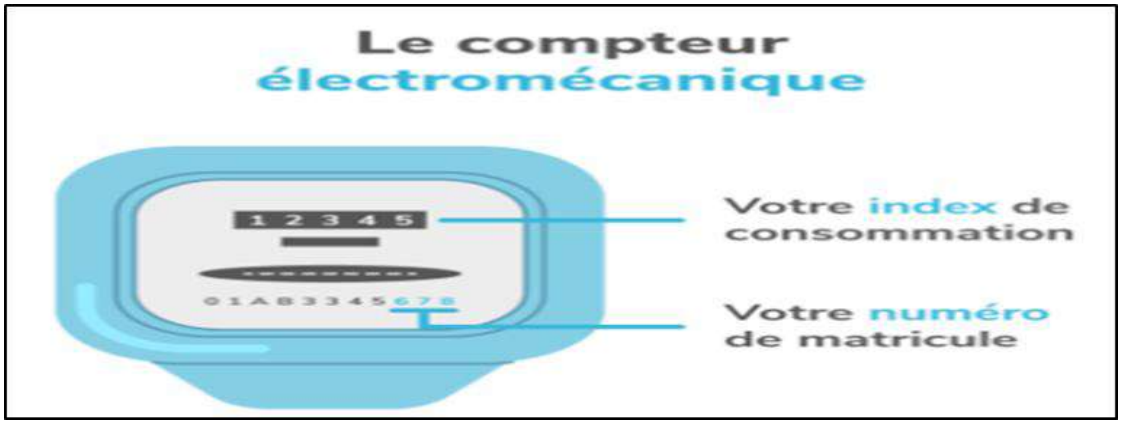


Figure.I. 4: l'interface de compteur électromécanique.

I.5.1.2.Le principe de fonctionnement et la conception

Dans ces compteurs, deux flux magnétiques variables produits par les deux électro-aimants fixes (A) et (B) traversent un disque d'aluminium (C) monté sur un axe vertical, les flux magnétiques alternatifs induisent des courants de l'interaction avec le flux de l'électro-aimant produit un couple moteur.

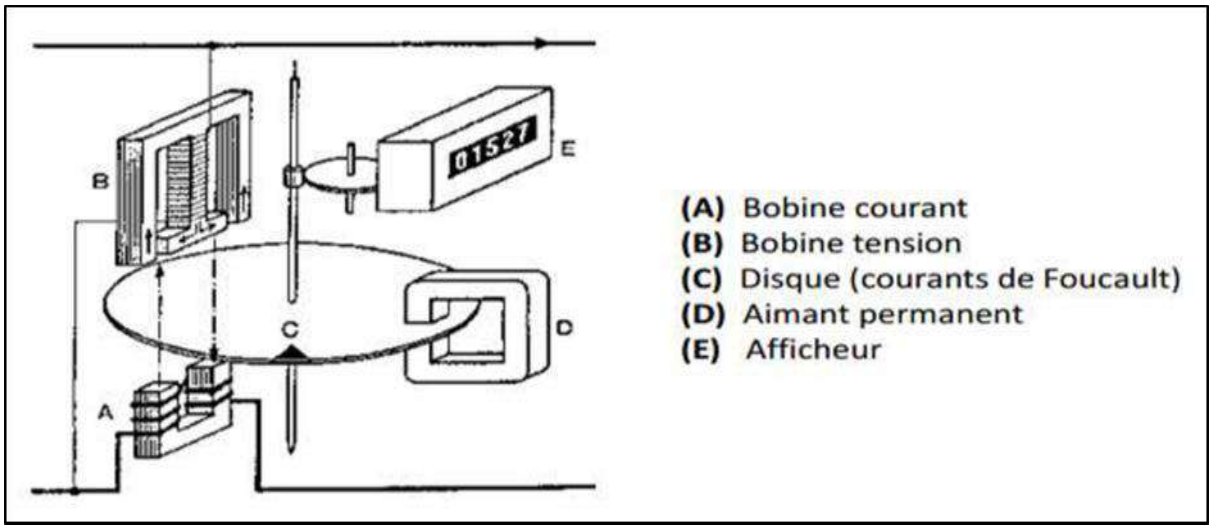


Figure.I. 5: les composants de compteur électromécanique.

L'élément mobile du compteur est un petit moteur électrique à courant alternatif dans lequel deux flux engendrent un champ magnétique tournant. L'un des électro-aimants comporte un enroulement à grand nombre de spires qui présente une forte induction et qui est branché comme un voltmètre sous la tension U appliquée entre les bornes du récepteur, ce qui veut dire que le flux magnétique induit par cet électro-aimant est proportionnel à la tension. L'autre électroaimant comporte un enroulement a un nombre relativement petit de spires, il est branché en série avec le récepteur comme un ampèremètre, il engendre un flux magnétique proportionnel au courant. Donc l'un des flux magnétiques est proportionnel à la tension U, et l'autre au courant I.

Le couple moteur crée par l'interaction des deux flux et exercé sur le disque d'aluminium est proportionnel à la puissance. Pour que le nombre de tours du disque soit proportionnel à l'énergie consommée, on oppose au couple moteur un couple résistant de freinage proportionnel à la vitesse de rotation du disque ce couple moteur est réalisé par l'action du champ d'un aimant permanent sur le disque. En tournant le disque traverse le champ magnétique de l'aimant permanant et devient ainsi le siège d'une force électromotrice induite proportionnelle à la vitesse de rotation et au flux magnétique de l'aimant permanant.

Cette f.e.m induite fait naitre dans le disque un courant proportionnel à la conductivité de l'aluminium.

L'interaction entre le flux magnétique et le courant dans le disque crée un couple résistant qui va s'opposer au couple moteur crée par les deux électroaimants. [3]

L'énergie consommée par le récepteur est proportionnelle au nombre de tours du disque. La rotation du disque est transmise à un mécanisme de comptage, le rapport de transmission est choisi de telle sorte que l'énergie consommée soit indiquée directement par le mécanisme du comptage en KWh.

L'image qui suit montre un compteur à induction monophasé à alimentation directe réseau, 230V, 50Hz, 250trs/ KWh. [4]

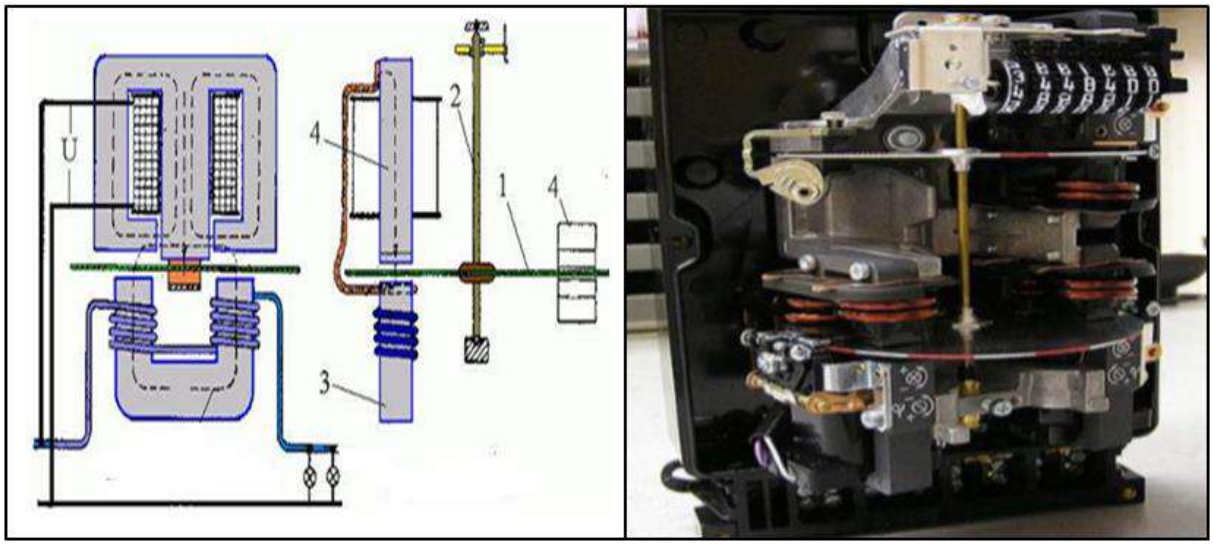


Figure.I. 6: compteur électromécanique monophasé

I.5.1.3.Les avantages et les inconvénients d'un compteur électromécanique (Classique)

a- Les avantages

Ce type de compteur est le plus ancien des affichages mécaniques, il présente l'avantage de :

- Haute fiabilité lors de la coupure de courant et même en cas de court-circuit, ils peuvent continuer à fonctionner après avoir éliminé toutes les conséquences.
- Convient aux réseaux de faible qualité.
- Le prix d'achat est inférieur aux prix des appareils électroniques.

- Pas besoin de configuration supplémentaire. Tout ce qui est nécessaire est le câblage correct.
- De plus en cas de détérioration ou de vandalisme, la dernière formation enregistrée reste affichée ce qui rend sa lecture toujours possible.
- Longue durée de vie grâce à sa grande robustesse et sa grande qualité.
- Sa facilité d'installation et d'utilisation.

b- Les inconvénients

Tandis que ce compteur électromécanique procure à leurs utilisateurs une foule d'avantages, il leur pose des inconvénients et des problèmes comme :

- Précision réduite avec consommation réduite. Cela est dû à une diminution du champ électromagnétique.
- Petite classe de précision. Il ne dépasse pas une valeur de 2 unités.
- Défaillances de suivi avec une forte variation des courants de charge.
- Coefficient élevé de consommation intérieure. C'est-à-dire le compteur lui-même est capable d'influencer partiellement la quantité dans la réception d'électricité.
- Dimensions relativement grandes.

C'est pour ça la technologie a évolué et sont apparus les compteurs numériques. Cependant, il est très aisé de les programmer pour compter l'électricité qui a été prélevée où injectée dans le réseau.

I.5.2.Les Compteurs électroniques

I.5.2.1. Définition

C'est un compteur d'énergie électrique numérique qui fonctionne avec un système de comptage électronique, il s'agit de la deuxième génération des compteurs installés (après le compteur électromécanique), sur lequel on peut lire les informations qui sont affichées sur un dispositif d'affichage à cristaux liquides (LCD). Ce type de compteur est plus sensible aux surintensités et surtensions, et tout particulièrement à la foudre et pour mesurer les fortes intensités. Il y a deux techniques principales pour ce type de compteurs : Les capteurs à effet Hall et la conversion analogique numérique (CAN). [5]

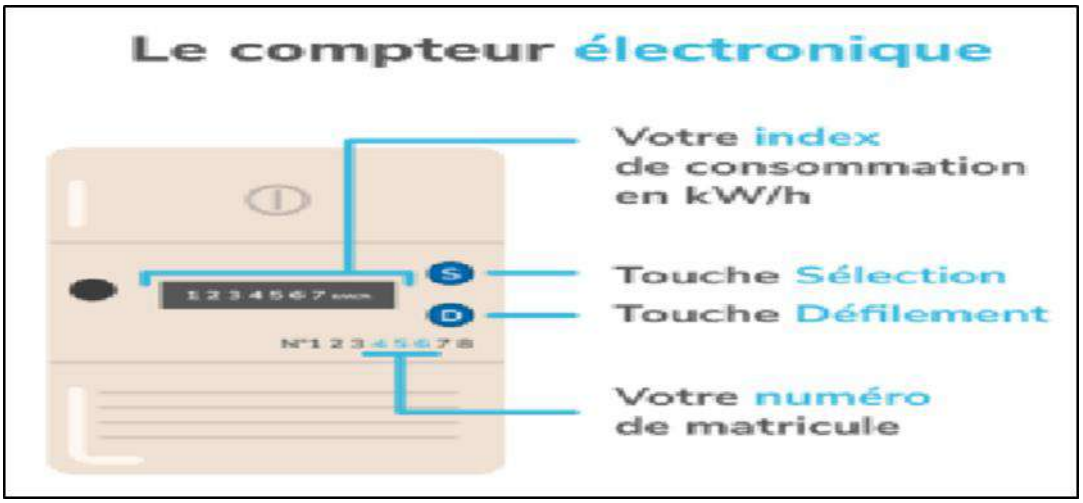


Figure.I. 7: compteur électronique.

I.5.2.2.Le principe de fonctionnement

Maintenant, place aux compteurs électroniques. Ils sont facilement reconnaissables grâce à leur conception basée sur les circuits et les composants électroniques modernes, ils se composent d'un cadran d'affichage digital de la consommation d'électricité et de deux boutons poussoirs S et D pour faciliter la lecture des index et des informations du compteur.

- La touche D (Défilement) : elle permet d'accéder à l'index du compteur.
- La touche S (Sélection) : elle permet de faire défiler les informations qui sont relatives à l'appareil telles que le numéro de série du compteur ; l'option tarifaire ; la puissance instantanée ; le réglage du disjoncteur choisi ; la puissance que vous avez souscrite, le contrôle du fonctionnement de l'écran.

Alors le compteur électronique détecte le signal de tension et de courant par un capteur de tension et un capteur de courant, puis le signal de tension et de courant provenant des capteurs sont multipliés pour obtenir une capacité instantanée et par l'intégration et la multiplication avec le temps de ce dernier, nous obtenons l'énergie consommée en kilowattheures, après ces mesures sont stockées dans des enregistrements. Le compteur est caractérisé par un voyant lumineux sur la façade du compteur indique qu'il fonctionne bien. Ce voyant clignote plus ou moins vite selon la quantité d'électricité consommée.

Outre ses fonctionnalités de comptage, le compteur électronique est mieux armé que son homologue à disque pour protéger l'installation en cas de foudre. [5]

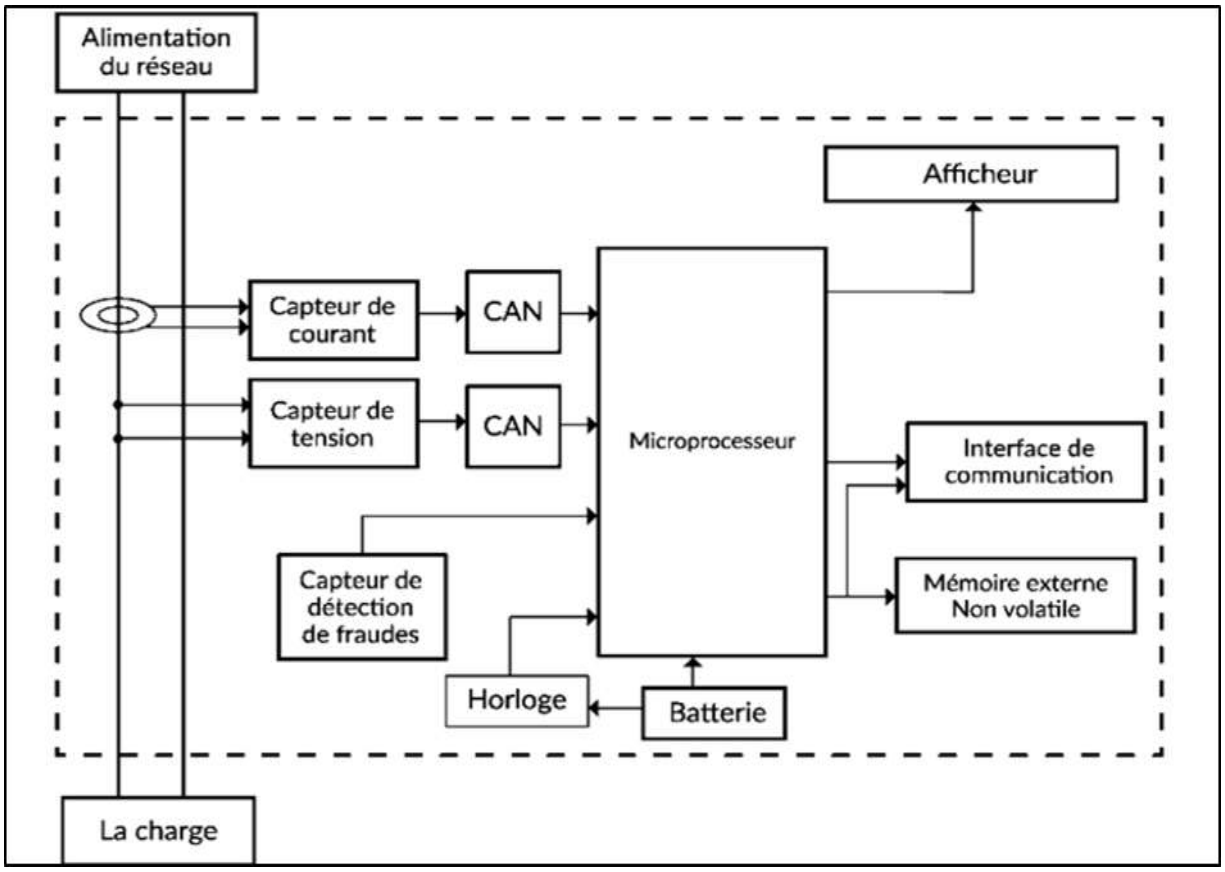


Figure.I. 8: Schéma d'un compteur électronique

I.5.2.3.Les avantages et les inconvénients d'un compteur électronique (numérique)

a- Les avantages

- Le compteur numérique (affichage LCD) présente l'avantage de pouvoir afficher différentes informations : (tarifs du KWh, Watt, tension).
- Les données calculées ainsi que les paramètres programmés sont enregistrées sur une mémoire non-volatile permettant leur sauvegarde en cas de coupure d'alimentation.
- Ces compteurs sont plus sensibles aux surintensités et surtensions, et tout particulièrement la foudre et les pannes de courant pourront être détectées plus rapidement.
- Ce type de compteur est caractérisé par la précision, fiabilité, modularité, souplesse…etc.
- Erreur minimale.
- Dimensions compactes par rapport aux appareils à induction.
- Manque de pièces mécaniques les plus susceptibles de s'user.

b- Les inconvénients

Les compteurs électroniques présentent certains inconvénients tels que :

- Haute sensibilité et instabilité aux fortes modifications réseau.
- Prix élevé, surtout quand il s'agit d'appareils multi-tarifs.
- La réparation coûte très cher.
- Problème de détection des défauts.
- Difficulté à effectuer des réparations.
- Sensibilité à un changement brusque de température.FIGUR

I.5.3.Compteur intelligent

I.5.3.1.Définition

Un smart meter, ou un compteur intelligent, est un compteur d'énergie électrique nouvelle génération avec un système d'information associé. Ce compteur est capable de recevoir des ordres et de transmettre des informations à distance. Pour cela, il communique avec un concentrateur, sorte de Mini-ordinateur intégré aux postes de transformation HTA/BT gérés par la société productrice d'énergie. Ce concentrateur est relié au centre de supervision.

Ce compteur recevoir et envoyer des données et des ordres sans l'intervention physique d'un technicien. Installé chez les clients et relié à un centre de supervision, il est en interaction permanente avec le réseau, qu'il contribue à rendre plus «intelligent». [9]

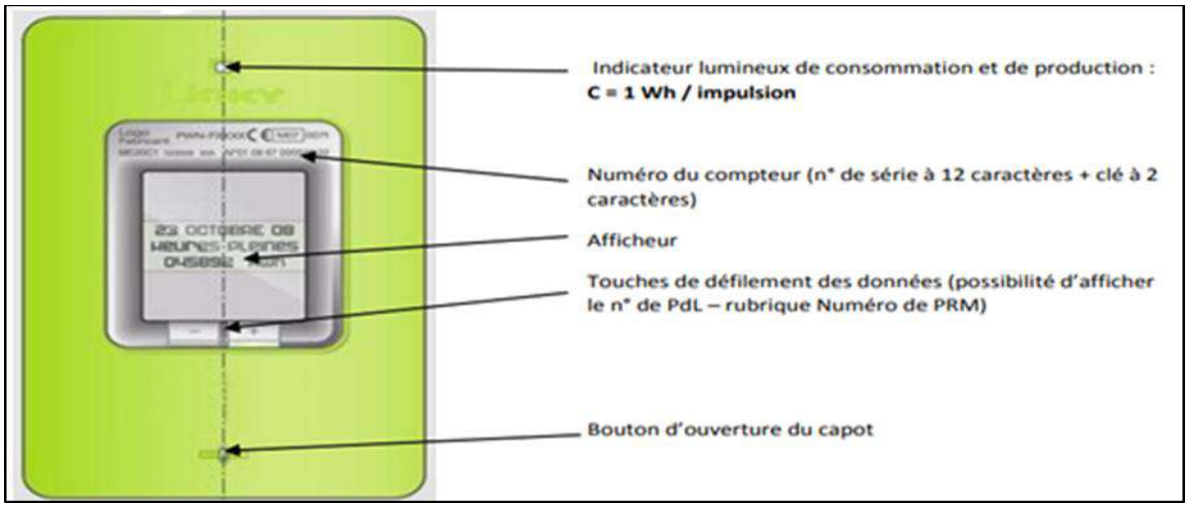


Figure.I. 9: compteur intelligent monophasé (Linky).

I.5.3.2.Les avantages et les inconvénients d'un compteur intelligent

***a)* Les avantages**

- Le « smart meter » permet de relever et contrôler la consommation électrique à distance et permet d'éviter de déranger les clients par les agents que doivent faire la lecture sur place du compteur.
- Il sauvegarde les consommations, compteur par compteur, pour finalement rendre le rapport au gestionnaire.
- Ce type de compteur fait le calcul de la consommation d'énergie avec une manière détaillée et précise en temps réel.
- Une détection plus rapide et automatique des pannes.
- Contribue de réduire le budget et la facture de l'électricité puisque le consommateur dispose d'informations beaucoup plus détaillées relatives à sa consommation qui lui permettent de faire des économies d'énergie en adaptant ses habitudes.
- Faciliter la vie du consommateur dans la mesure où il :
  - ✓ Permet d'être facturé par rapport à sa consommation réelle, et non plus par rapport à une estimation de consommation.
  - ✓ Ne nécessite plus l'intervention d'un technicien pour la mise en service, ou la modification de la puissance.
  - ✓ Lui permet de suivre sa consommation exacte sur internet pour la mieux maîtriser et faire des économies d'énergie.
  - ✓ Absence de dérangement pour les opérations liées au compteur.

b) Les inconvénients

- Difficile à installer puisqu'il se caractérise par des technologies avancées et très sensibles.
- Prix élevé et la réparation coûte très cher.

I.5.4.Le réseau électrique intelligent

I.5.4.1.Définition

Les réseaux intelligents ou « smart grids » sont des réseaux d'électricité qui, grâce à des technologies informatiques, ajustent les flux d'électricité entre fournisseurs et consommateurs.

En collectant des informations sur l'état du réseau, les smart grids contribuent à une adéquation entre production, distribution et consommation.

Il est nécessaire de différencier smart grid et compteur communicant (ou « smart meter »), qui renseigne le consommateur sur sa demande en électricité. « Smart grids » est une appellation générale pour l'ensemble des technologies et des infrastructures « intelligentes » installées. Chez le particulier, le compteur communicant est une première étape dans la mise en place des smart grids. [10]

Les réseaux intelligents peuvent être définis selon quatre caractéristiques en matière de :

- Flexibilité : ils permettent de gérer plus finement l'équilibre entre production et consommation;
- Fiabilité : ils améliorent l'efficacité et la sécurité des réseaux ;
- Accessibilité : ils favorisent l'intégration des sources d'énergies renouvelables sur l'ensemble du réseau ;
- Économie : ils apportent, grâce à une meilleure gestion du système, des économies d'énergie et une diminution des coûts (à la production comme à la consommation).

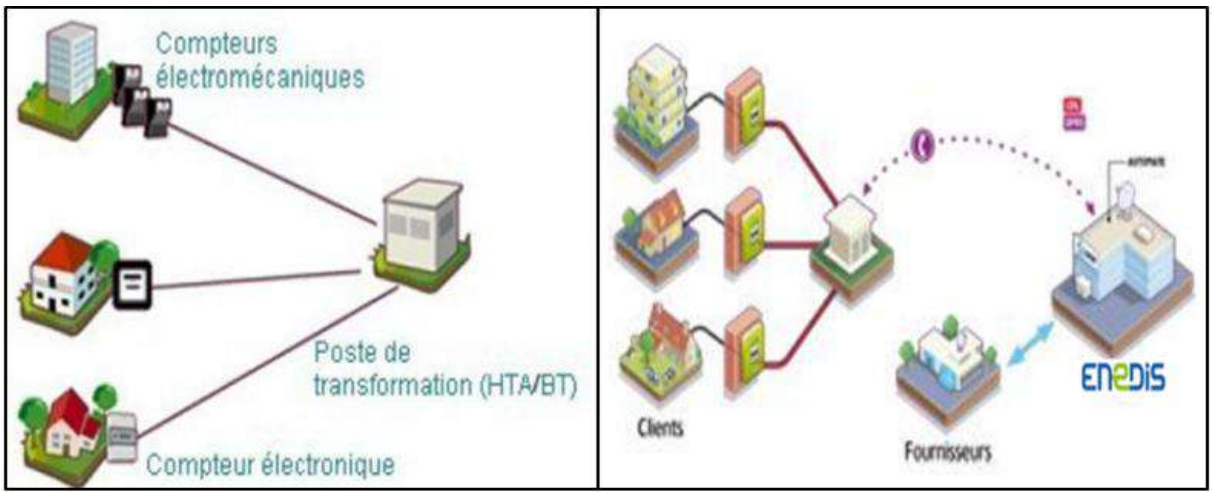


Figure.I. 10: Schéma représentée le réseau électrique de base (à doroite) et le réseau électrique intelligent « avec centre de supervision » (à gauche).

I.5.4.2.Fonctionnement

Au sens large, un réseau intelligent associe l'infrastructure électrique aux technologies numériques qui analysent et transmettent l'information reçue. Ces technologies sont utilisées à tous les niveaux du réseau : production, transport, distribution et consommation. [10]

- Un contrôle des flux en temps réel : des capteurs installés sur l'ensemble du réseau indiquent instantanément les flux électriques et les niveaux de consommation. Les

opérateurs du réseau peuvent alors réorienter les flux énergétiques en fonction de la demande et envoyer des signaux de prix aux particuliers pour adapter leur consommation (volontairement ou automatiquement).

- L'interopérabilité des réseaux : l'ensemble du réseau électrique comprend le réseau de transport et le réseau de distribution. Le premier relie les sites de production d'électricité aux zones de consommation : ce sont les grands axes qui quadrillent le territoire. Le réseau de distribution s'apparente aux axes secondaires. Il achemine l'électricité jusqu'aux consommateurs finaux. Par l'échange instantané d'informations, les smart grids favorise une interopérabilité entre les gestionnaires du réseau de transport et ceux du réseau de distribution.
- L'intégration des énergies renouvelables au réseau : les réseaux intelligents reposent sur un système d'information qui permet de prévoir à court et à long terme le niveau de production et de consommation. Les énergies renouvelables qui fonctionnent souvent par intermittence et de façon peu prévisible (ex : l'éolien) peuvent ainsi être mieux gérées.
- Une gestion plus responsable des consommations individuelle : les compteurs communicants (ou compteurs évolués, « Linky » pour l'électricité) sont les premières versions d'application du réseau intelligent. Installés chez les consommateurs, ils fournissent des informations sur les prix, les heures de pointe de consommation, la qualité et le niveau de consommation d'électricité du foyer. Les consommateurs peuvent alors réguler eux-mêmes leur consommation au cours de la journée. De leur côté, les opérateurs du réseau peuvent détecter plus vite les pannes. [10]

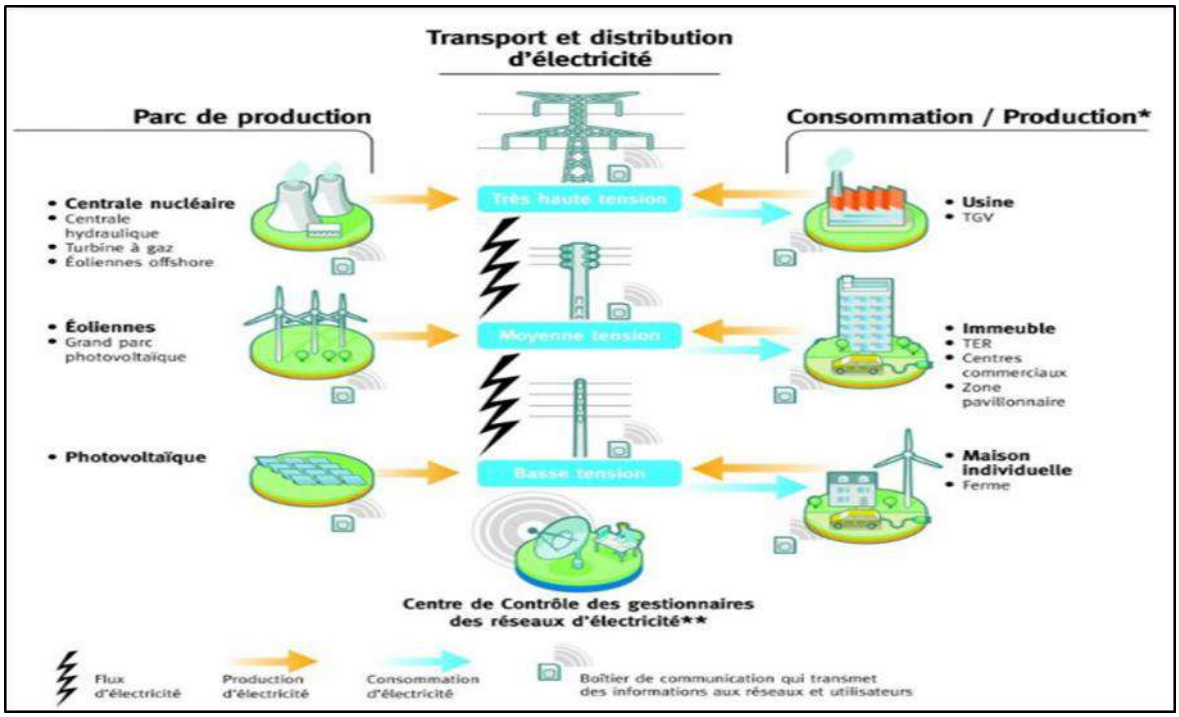


Figure.I. 11: le réseau électrique intelligent.

I.5.4.3.Composants du réseau électrique intelligent

Pour mettre en œuvre un réseau intelligent, une large gamme de technologies devrait être élaboré et mis en œuvre, qui sont essentielles regroupées dans les technologies suivantes :

- Appareils intelligents : capable de décider du moment de consommer la puissance en fonction des préférences du client prédéfinies. Cela peut aider vers la réduction des charges de pointe qui a un impact important sur les coûts de production d'électricité et ainsi diminuer les besoins de nouvelles centrales électriques. Exemple, les consommateurs peuvent économiser jusqu'à 25% sur leur consommation d'énergie quand ils incorporent des outils d'information et de gestion.
- Compteurs électriques intelligents : incorporant les communications dans les deux sens entre les consommateurs et les fournisseurs d'énergie et pour automatiser la collecte de données de facturation et la détection les pannes.
- Sous-stations intelligentes : qui comprennent la surveillance et le contrôle des données opérationnelles critiques et non critiques tels que la performance du facteur de puissance, des dans diffèrent équipement disjoncteurs, des transformateurs, etc. la sous-station transforme la tension dans de nombreux endroits, fournissant de l'énergie de livraison sûre et fiable.

- Communications intégrées : dans diffèrent équipement afin de fournir des informations en temps réel. Les différentes technologies utilisées dans la communication des réseaux électriques intelligents sont de type filaire tel que la fibre optique ou non filaire tel que les xbee, wifi, etc.
- Accès universel : aux sources de productions classiques tel que les centrales ou de production renouvelable tel que les éoliennes et le solaire, à des prix abordables. [4]

*I.5.5.*Différence entre compteur électrique traditionnel et compteur intelligent

D'après ce que nous avons décrit plus haut, nous remarquons qu'il y a une différence importante entre un compteur électrique traditionnel et un compteur intelligent. Cette différence est donnée dans le tableau suivant :

Tableau I. 3: Comparaison entre compteur traditionnel et intelligent

Compteurs traditionnels	***Compteurs Intelligents***
Compteur électromécanique	Compteurs électroniques
Ces compteurs nécessitent une maintenance fréquente afin de maintenir sa précision	Le service se fait tous les 10 à 20 ans principalement pour remplacement de la batterie
Ils exigent un agent de prélèvement	Pas besoin d'agent. Le prélèvement se fait à distance
Il n'y a aucune unité de communication	Il y a unité de communication

I.6.Les capteurs à effet Hall

a) L'effet Hall

C'est un phénomène électromagnétique découvert en 1879 par Edwin Herbert Hall qui a dit : «un courant électrique traversant un matériau baignant dans un champ magnétique engendre une tension perpendiculaire à la direction du courant. » [11].

b) Les capteurs à effet Hall

ce sont des capteurs réalisés à partir des matériaux semi-conducteurs nécessitent d'alimenter par un courant (i)(élément actif), le principe de fonctionnement est de

produire un tension due a l'écoulement de courant d'entrée (courant mesurer Imés) perpendiculairement au champ magnétique , donc la tension produit est varié en fonction de champ magnétique introduit par le courant et ça nous permet visualiser le courant mesuré [6].

On distingue deux types de ces capteurs :

- Capteur de courant en boucle ouverte :

Le flux magnétique créé par le courant primaire Ip est concentré dans un circuit magnétique et mesuré dans l'entrefer à l'aide d'une cellule à effet Hall. Le signal de sortie de la cellule de Hall est amplifié pour obtenir une représentation exacte du courant primaire.

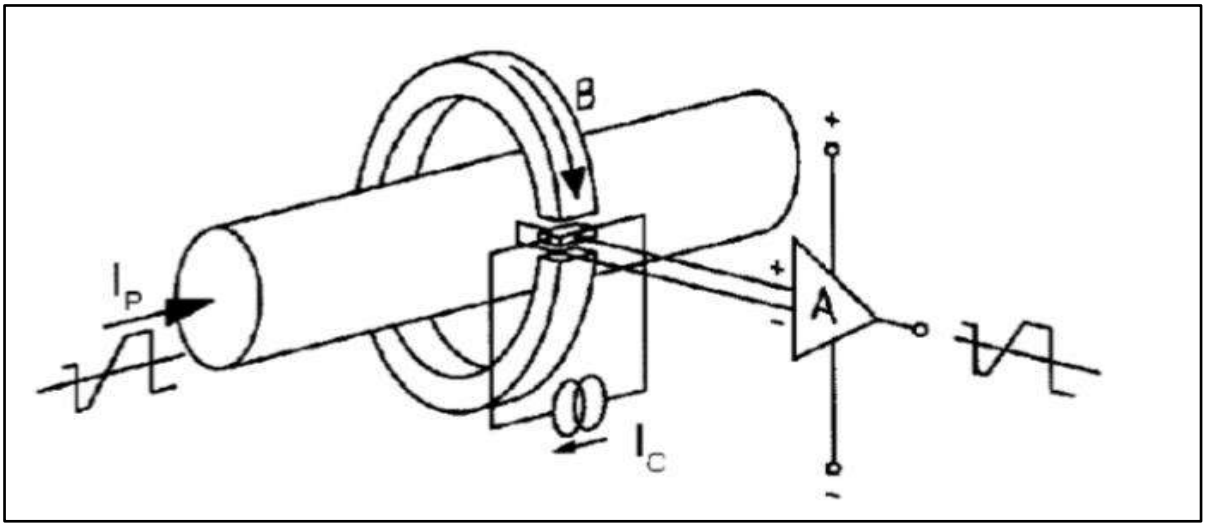


Figure.I. 12: Compteurs traditionnels Compteurs Intelligents.

- Capteur de courant en boucle fermée :

Le flux magnétique créé par le courant primaire I_P est compensé à l'aide d'une bobine secondaire, par l'intermédiaire d'une cellule à effet Hall associée à un circuit électronique. Le courant secondaire de compensation est l'exacte représentation du courant primaire.

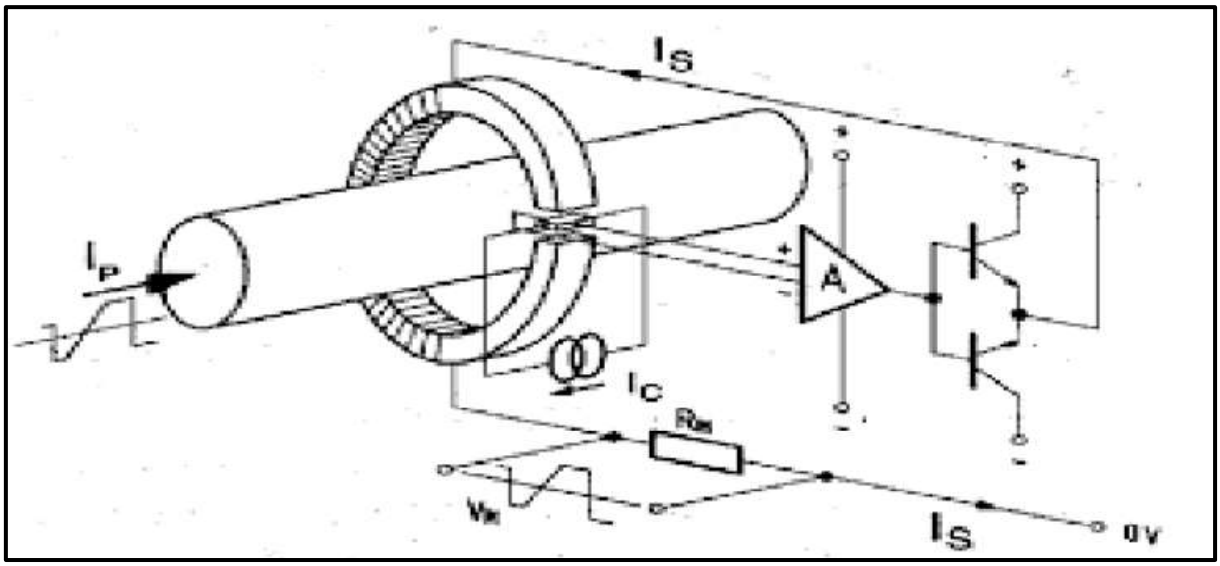


Figure.I. 13: Capteur de courant en boucle fermé.

I.7.Conclusion

Dans ce chapitre, j'ai découvert les types de compteurs électriques, leurs fonctionnements en général, les avantages et les inconvénients de chaque type de compteurs, puis j'ai découvert les réseaux électriques intelligents et leurs avantages, ainsi que la différence entre les compteurs traditionnels et intelligents.

Et à partir de là, il est à conclure que les compteurs d'énergie électrique sont un élément important et nécessaire des réseaux énergétiques, car plus les compteurs sont précis, intelligents et efficaces dans la mesures, ce qui entrainera des économies d'énergie, la protection des consommateurs et l'accès à tout moment. Contrairement aux anciens compteurs, et à cet effet, dans le prochain chapitre, je passerai et détaillerai tous les composants électroniques utilisés dans notre projet pour réaliser ce compteur électrique.

Chapitre II

Partie Hardware et Partie Software

II.1.Introduction:

Le monde a été témoin d'une terrible révolution technologique ces dernière années, qui a touché tous les aspects de la vie, et à la suite de ces progrès, les microprocesseurs ont fait d'énormes progrès en termes de précision et de vitesse élevée dans le traitement de l'information, où le fonctionnement de la plupart des divers éléments électroniques peuvent être réalisés par ces microprocesseurs, où la création de systèmes à base de circuit est devenue très simple grâce aux cartes de développement et aux modules programmables, qui ont de nombreuses fonctions dans le même système.

Dans ce chapitre, je présenterai les composants qui constituent le compteur, le chapitre traite toutes les informations sur la carte de commande, les types de commande et les types de capteurs, ce chapitre donnera des informations détaillées sur mes composants plus d'autre composants qui peuvent être intéressant dans cette réalisation.

II.2.Partie Hardware et Partie software

II.2.1.Carte Arduino Mega

La carte arduino mega est considérée comme l'un des carte de grande taille, car elle fournir 54 ports numériques, ce qui équivaut à 4 fois la carte arduino uno et les 16 ports d'entée analogiques. [2]

II.2.1.1.Microcontrôleur Atmega2560 principal

L'élément le plus important des cartes arduino est le microcontrôleur principal, car c'est lui qui déterminera ses propriétés électroniques et ses avantages. Lorsque la carte est programmée, ce contrôleur est spécifiquement programmé, avec l'application d'alimentation électrique sur la carte, le programme qui y est stocké sera exécuté pour que la carte fonctionne selon ce qui est demandé. [2]

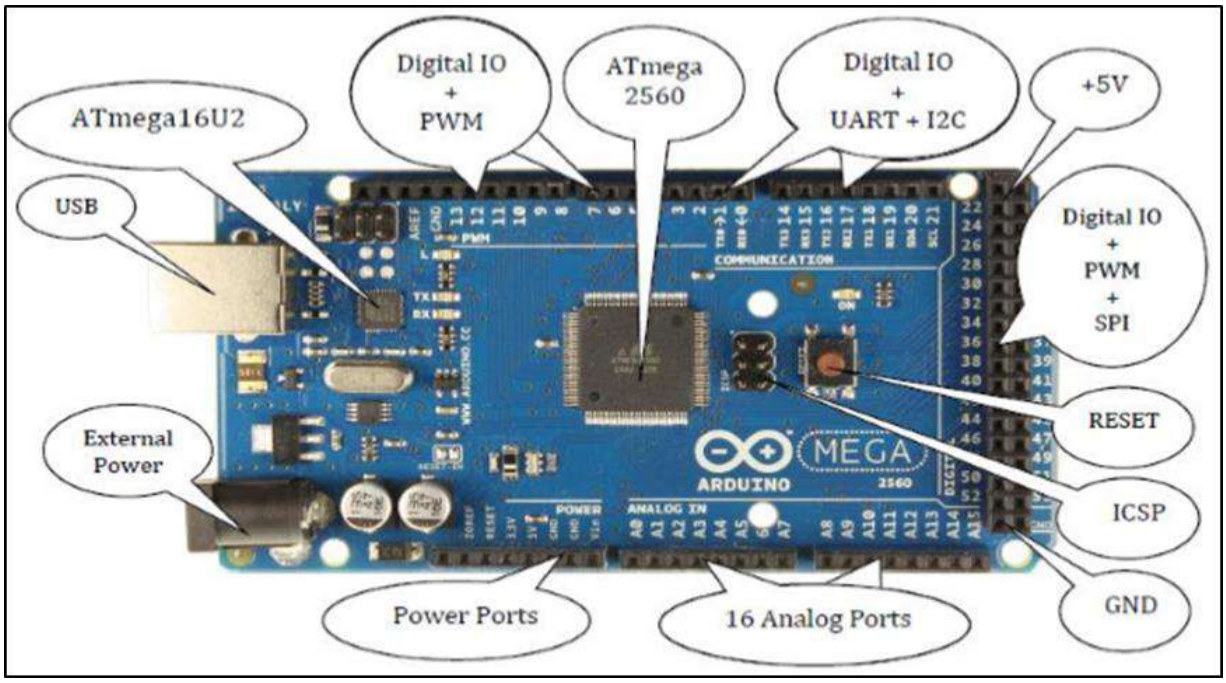


Figure.II. 1: la carte Arduino Mega

La carte Arduino Mega qui contient le microcontrôleur Atmega2560, à coté se trouvent le port ICSP et le bouton de réinitialisation, le microcontrôleur Atmega16U2, 16 ports analogiques et 32 ports numérique, dont certains servent de modules de communication UART ou I2C ou SPI, et d'autres comme générateur de signal PWM.

II.2.1.2.Microcontrôleur Atmega16U2 secondaire :

Le contrôleur principal Atmega2560 ne peut pas échanger de données avec l'ordinateur via le port USB, donc le contrôleur ATmega16U2 a été ajouté à la carte Arduino mega, qui a dans sa structure interne une unité de communication série USB. La Figure.II. 1 représenté où ce contrôleur est placé sur la carte Arduino mega.

Les données échangées entre le contrôleur principale Atmega2560 et l'ordinateur peuvent être un processus de transfert du code de programmation écrit dans l'ordinateur par la programme Arduino cc vers le contrôleur, ou de transfert d'informations pendant le fonctionnement de la carte, comme l'envoi de la valeur de température de la carte à l'ordinateur, et l'envoi de commandes de l'ordinateur à la carte.

Le contrôleur Atmega2560 ne communique pas directement avec le port USB comme nous l'avons mentionné, mais communique plutôt avec le contrôleur ATmega16U2 de maniéré série selon le protocole UART, et à son tour, l'ATmega16U2 communique avec l'ordinateur via le port USB de même manière que la calculateur communique avec l'ATmega2560 via ATmega16U2. Le contrôleur ATmega16U2 peut être considéré comme un commutateur USB vers série UART et vice versa, représenté comme un port COM virtuel sur l'ordinateur.

Le microcontrôleur ATmega16U2 communique avec la ligne de redémarrage du contrôleur principal ATmega2560 car lorsque le contrôleur principal est programmé, il doit être redémarré, et c'est ce que fait ce contrôleur. L'ATmega16U2 communique également avec une horloge de 16 MHZ. [2]

II.2.1.3.Port USB :

Ce port a plusieurs utilisations :

- Programmation de la carte via l'ordinateur.
- Echange de données entre la carte Arduino (contrôleur ATmega2560) et le port USB de l'ordinateur.
- Alimentation de la carte à une tension de +5V lorsque ce port est connecté à l'ordinateur. [2]

II.2.1.4.Port de programmation série (In-circuit Serial Programming) (ICSP):

Nous avons mentionné précédemment qu'il est possible de programmer le contrôleur principal Atmega2560 via le port USB. Il existe une autre manière de la programmer via un port appelé ICSP, illustré à la Figure.II.1.

L'Atmega16U2 dispose d'un port ICSP via lequel il peut programmer. Le processeur de programmation ICSP se fait à l'aide d'un programmeur externe ou d'une autre carte Arduino qui y est connectée. [2]

II.2.1.5.Ports d'alimentation :

La figure (II -1) montre cinq prises de courant sur la carte Arduino Mega, qui sont disposées de droite à gauche comme suite :

- Port Vin : à travers lequel une source d'alimentation externe peut être appliquée à la carte (une batterie par exemple) au lieu du port USB et de la prise de courant. La tension appliquée est comprise entre 7v et 12v environ.
- Deux ports GND en série : terre Arduino, qui peut être utilisée lors de connexion de la carte à d'autres circuits.
- Port +5v : la carte Arduino via cette sortie donne une tension de +5v, elle peut donc être utilisée pour alimenter les circuits externes connectés à la carte.
- Port +3.3v : la carte Arduino donne également via cette sortie une tension de +3.3v, elle peut donc être utilisée pour alimenter les circuits externes connectés à la carte. Le courant maximum fourni par ce port est de 50mA. A gauche des prises, il y a trois autres ports disposés comme suit :
- RESET port : via ce port, la carte Arduino est redémarrée, en lui appliquant un signal faible 0v (signal bas). Un bouton interrupteur momentané peut être connecté, dont une extrémité communique avec ce port, et l'autre extrémité communique avec la terre. Lorsque cet interrupteur est enfoncé, un signal 0v est appliqué à ce port, et la carte redémarré. Le commutateur dans ce cas fonctionne de même manière que le bouton de relecture sur la carte. Ce port peut être utilisé lorsque la carte Arduino est connectée à une plaque connue sous le nom de Shield (une carte spéciale installé au-dessus de l'Arduino d'origine pour étendre son travail) bloquant l'accès au bouton de redémarrage sur la carte Arduino, comme alternative ce port.
- Port IOREF : ce port fournit la tension de référence à laquelle le microcontrôleur fonctionne. Ce port est utilisé par les cartes de blindage Shield pour choisir une

alimentation appropriée ou permettre à un convertisseur de tension sur les prises de fonctionner avec 5v ou 3.3v.

- Un port qui n'est pas actuellement utilisé et qui peut être utilisé ultérieurement pour le développement. [2]

II.2.1.6.Les ports analogiques :

Ces ports permettent l'entrée de signaux analogiques, ce qui produit des capteurs analogiques. Le signal analogique est converti en numérique à l'aide d'un changeur ADC dans le microcontrôleur ATmega2560. La résolution de distinction du commutateur est de 10 bits et la tension de référence est de 5v par défaut, et elle peut être modifiée via le port AREF. Le nombre de ces 16 ports analogiques est A0, A2,....., A15. [2]

II.2.1.7.Les ports numériques :

Toutes ces pins peuvent agir comme des sortie numériques (c'est-à-dire une sortie 0v ou 5v) en fonction du code logiciel. Ou agissent comme des entrées numériques (c'est-à-dire signal d'entrées 0v ou 5v). Ainsi, ces pins doivent se connecter à d'autres composant et circuits électroniques tels que des photodiodes, un écran LCD recevant des bits numériques, un clavier ou un moteur. Chaque broche a une résistance interne (activée par défaut). [2]

Ces pins sont caractérises par des fonctions autres que leur fonction d'entrées et de sorties numériques, qui sont les suivantes :

a) ***Les ports de modulation de largeur d'impulsion (PWM) :*** les ports 0 à 13 peuvent chacun générer un signal de modulation de largeur d'impulsion (PWM). Il est indiqué sur la carte comme (~ symbole) un signal PWM est un signal carré périodique contrôlé par une largeur d'impulsion (1 logique).[3]

b) ***Les ports de communication UART:*** ces ports de 0 et 1 en plus des ports 14 à 19 sont des ports série qu'ils agissent comme une interface avec le protocole série UART, le port avec le symbole TXD est un port pour la transmission de donner et le port avec le symbole RXD est le port pour recevoir des données.
Bus UART1/USB utilise les broches: 0(RX0), 1(TX0).
Bus UART2 utilise les broches: 18(TX1), 19(RX1).
Bus UART3 utilise les broches: 16(TX2), 17(RX2).
Bus UART4 utilise les broches: 14(TX3), 15(RX3). [2][3]***Les ports de***

c) ***communication I2C:*** les deux ports 20(SDA) et 21(SDL), ils agissent comme une interface de communication de protocole série I2C. [3]

d) ***Les ports de l'interruption :*** les ports utilisés comme des interruptions externes sont : Broches 2 (interruption 0), 3 (interruption 1), 18 (interruption 5), 19 (interruption 4), 20 (interruption 3), et 21(interruption2). Ces ports contiennent le symbole INTn (n : nombre d'interruption). [2][3]

e) ***Les ports de protocole SPI :*** ces sont les ports : 50(MISO), 51(MOSI), 52(SCLK), 53(SS). [3]

f) ***Port GND :*** mise à la terre arduino. [2]

g) ***Port AREF :*** tension de référence pour les entrées analogiques. [2]

Ce tableau représente une abréviation de toutes les caractéristiques de l'Arduino Mega [2]:

Tableau.II. 1: représenté les caractéristiques de la carte Arduino Méga.

	MEGA 2560
Microcontrôleur	*ATmega 2560*
Mémoire Programme Flash	*256 KB dont 8 KB sont utilisés par le bootloader*
Mémoire SRAM	*8 KB*
Mémoire EEPROM	*4 KB*
Fréquence d'horloge	*16 MHZ*
Tension de fonctionnement	*5 V*
Tension d'alimentation par le port Vin ou par prise d'énergie (recommandée)	*7-12 V*
Tension d'alimentation (limites)	*6-20 V*
Nombre de ports numériques	*54*
Courant CC (DC) par broche entrée/sortie	*20 Ma (40 Ma au maximum)*
Nombre de ports PWM	
Nombre de ports d'entrée analogiques	*16*
Nombre de ports de sortie analogiques	*Il n'y a pas (0)*
convertisseur A/N	*10 bits de résolution*
Protocoles de communication série	*UART : 4* *I2C : 1* *SPI : 1*

Longueur	*101.52 mm*
Largeur	*53.3 mm*
Poids	*37 gr*

II.2.2.Capteur de tension Zmpt101b

II.2.2.1.Description

ZMPT101B, un transformateur de tension idéal pour mesurer la tension alternative. Il a une grande précision, une bonne cohérence pour la mesure de tension et de puissance et il peut mesurer jusqu'à 250V AC. Il est simple à utiliser et est livré avec un potentiomètre de Trim. Multi-tours pour régler la sortie ADC, Ce module à inductance de tension de sortie monophasée active A. [13]

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

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

II.2.2.2.En savoir plus sur ce transformateur de tension

Le ZMPT101B est un transformateur de tension de haute précision. Ce module facilite la surveillance de la tension secteur CA jusqu'à 250 volts. Une toute petite chose de la taille d'un cube de bouillon. Peut contenir jusqu'à 4 kV par tension de claquage, le rapport de spires est de 1 : 1, mais il s'agit d'un transformateur de courant de 2 mA : 2 mA. Autrement dit, nous lui fournissons un courant et supprimons le courant. Le courant d'entrée est simplement réglé par la résistance en série R1, et une résistance d'échantillonnage R2 est utilisée en parallèle pour obtenir la tension de sortie. [13]

II.2.2.3.Schéma de capteur ZMPT101B / Schéma de câblage/Dimensionnement

Nous allons présenter dans les figures suivantes**,** le schéma électrique de capteur ZMPT101B, schéma de câblage et leur dimensionnement :

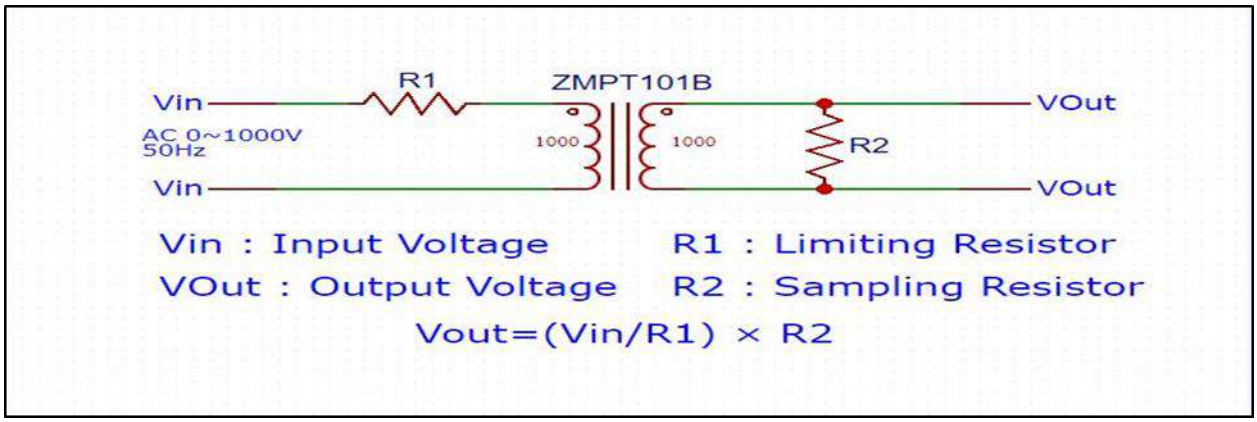


Figure.II. 2: Schéma électrique de ZMPT101B



Figure.II. 3: Schéma de câblage.

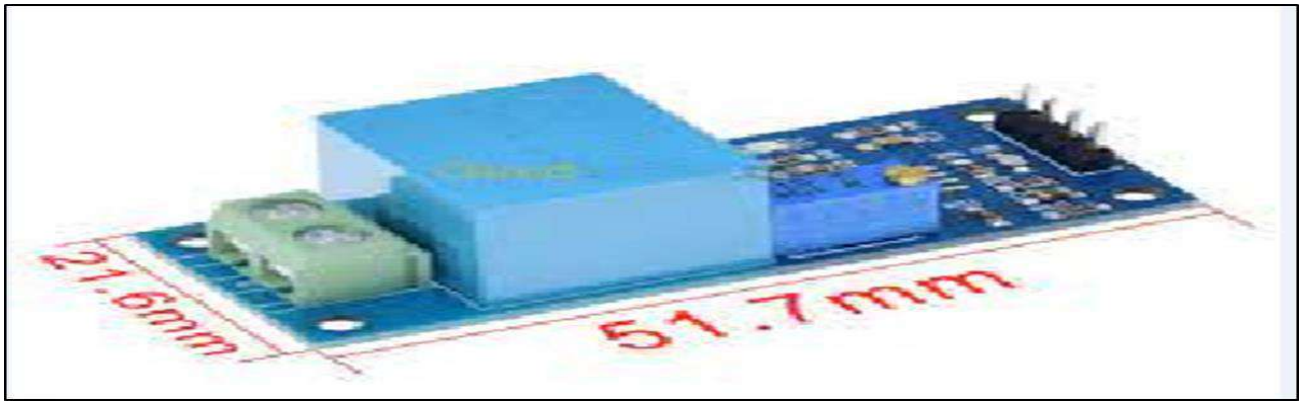


Figure.II. 4: Dimensionnement de capteur ZMPT101B

II.2.2.4.Caractéristique

- Tension de fonctionnement : 5V
- Plage de mesure (AC) : 0 - 1000V
- Fréquence tension : 50Hz
- Isolation galvanique jusqu'à 4000V

- Linéarité : 0.1%
- Dimensions : 51.7 x 21.6 mm
- Courant d'entrée nominal : 2 ma
- Courant de sortie nominal : 2ma [13]

II.2.3.Capteur de courant Acs758

II.2.3.1.Description

L'ACS758 est un appareil de mesure à très haute capacité de courant qui utilise un capteur à effet Hall pour détecter le courant.

Parce qu'il utilise un champ magnétique pour détecter le courant, il n'y a pas de connexion directe entre la source mesurée et le côté basse tension du circuit. Il a une soi-disant isolation galvanique intégrée.

II.2.3.2.Schéma de capteur Acs758 / Schéma de câblage/Dimensionnement

Nous allons présenter dans les figures, le schéma électrique de capteur Acs758, schéma de câblage et leur dimensionnement :

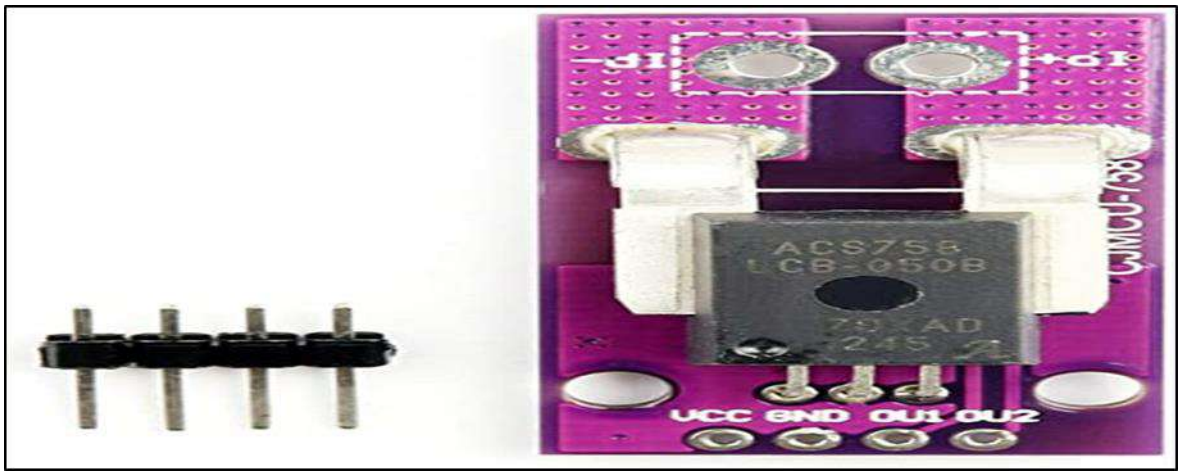


Figure.II. 5: capteur Acs758

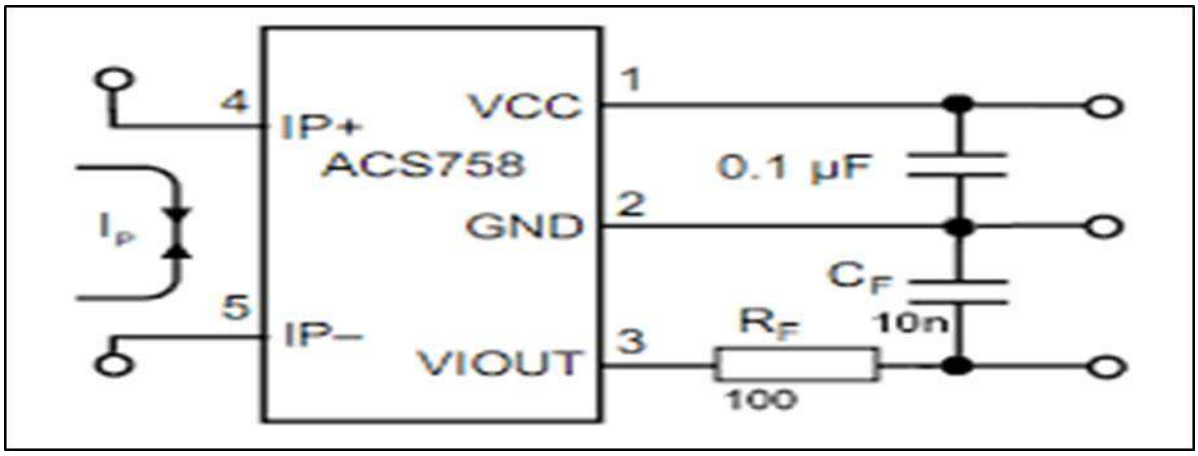


Figure.II. 6: Schéma électrique d'Acs758



Figure.II. 7: Dimensionnement de capteur Acs758

II.2.3.3.Les types de capteur Acs758 :

Cette image résume tous les types disponibles de ce capteur, car il n'y a qu'une seule différence entre eux, qui est la valeur maximale qui peut être mesurée.

Alors que dans notre travail, nous avons utilisé le type qui a une valeur de mesure maximale de 50 A.



Figure.II. 8: les types de capteur Acs758

II.2.3.4.Caractéristiques

a) Caractéristiques générales

- ✓ Performances sonores de pointe grâce à des techniques de conception d'amplificateurs et de filtres exclusives
- ✓ Le blindage intégré réduit considérablement le couplage capacitif du conducteur de courant à la mort en raison de signaux DF / DDT élevés et empêche la compensation de dérive dans les applications haute tension et haute tension
- ✓ Amélioration totale des erreurs obtenue par le gain et la compensation de température de compensation
- ✓ Petite taille d'emballage, avec une facilité d'installation facile.
- ✓ Hall ic homogène pour une grande fiabilité.
- ✓ Ultra faible perte de puissance: résistance de conducteur interne de 100 μΩ.
- ✓ L'isolation galvanique permet une utilisation dans la détection économique de courant élevé des systèmes haute tension. [14]

b) Caractéristiques électriques (X050)

- Tension de fonctionnement: 3.3V ou 5V
- Sortie de tension constante: VCC / 2
- Courant de fonctionnement: 13,5 mAh (MAX)
- Plage de températures de stockage: -65 ° C - 165 ° C
- Courant de sortie maximum (VIOUT-GND): 3 mAh
- Bande passante interne: 120 kHz
- Détection de la plage de courant (A): ± 50

- Linéarité (mV / A): 40
- Température du facteur (° C): -40 à 150
- Poids unitaire: 8,8 grammes

La relation entre la tension de sortie et l'entrée de courant:

VOUT = offset+ V_{sens} ∗I, Où : ($V_{sens} = 40mv/A$), offset est la tension de sortie constante égal VCC / 2, I le courant circulant dans le circuit.

Par exemple, supposons que le modèle de capteur soit 050B, VCC est 5V, Le courant circulant I=10A, donc la tension de sortie est:

(5V / 2) + (40mV / A)*10A]= 2,9V.

II.2.4.Afficheur LCD

Affichage à cristaux liquides, ou e bref, afficheur LCD Liquid Criystal display , l'affichage à cristaux est l'un des moyens les plus importants d'afficher les données qui lui sont envoyées depuis la carte Arduino et se caractérise par une manipulation facile, un faible cout matériel, la possibilité d'afficher des données et certaines symboles et formes, et il contient également un processeur spécial pour faciliter son traitement où il est responsable des opération complexes à afficher à l'écran et il contient également de la mémoire pour enregistrer les caractères à afficher à l'écran. L'écran est disponible en plusieurs tailles, et cet écran est généralement mesuré par le nombre de lignes et de colonnes que l'écran contient, mais quelles que soient les dimensions de l'écran différent, il a toujours les mêmes pôles externes à contrôler [1] :

- Pôles de données : D0 à D7.
- Pôle d'alimentation : VDD=5v.
- Pôle de la terre : VSS=GND.
- Pôle de contrôle du contraste de l'écran : Vee
- Pôle d'activation : E
- Pôle de réglage : RS

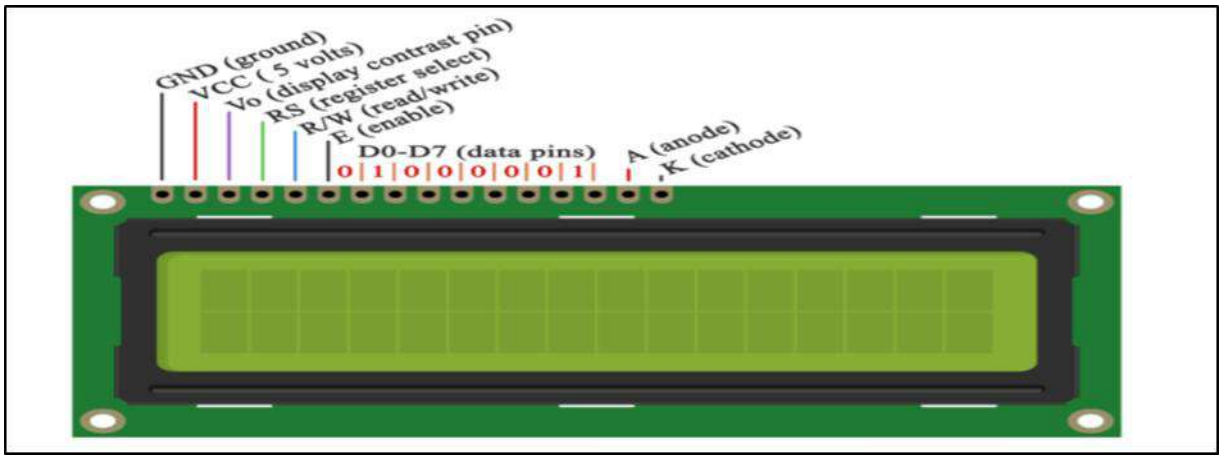


Figure.II. 9: les pins de l'Afficheur LCD

Et lors de la connexion de l'écran d'affichage, il doit être connecté comme suit :

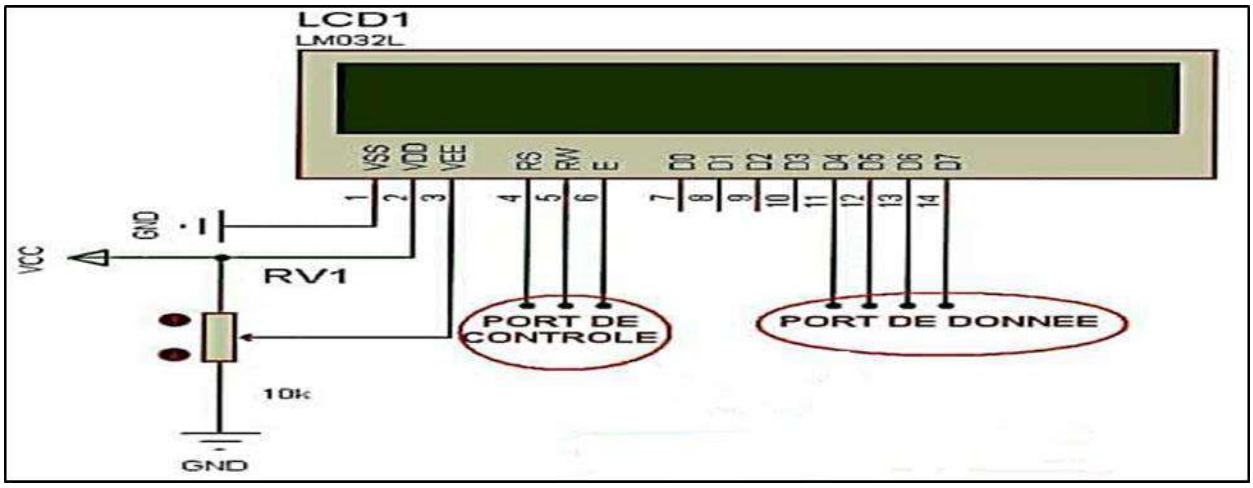


Figure.II. 10: l'installation de l'afficheur LCD

II.2.5.Optocoupleur 4n35

II.2.5.1.Description

Un opto-isolateur (également appelé l'optocoupleur, photocoupleur ou isolateur optique) est un composant électronique qui transfère les signaux électriques entre deux circuits isolés en utilisant la lumière. Les opto-isolateurs empêchent les hautes tensions d'affecter le système recevant le signal. Les opto-isolateurs disponibles dans le commerce supportent des tensions d'entrée-sortie jusqu'à 10 kV et des transitoires de tension avec des vitesses allant jusqu'à 25 kV / µs. [15]

II.2.5.2.Principe de fonctionnement

Un optocoupleur repose sur une LED et un phototransistor ou une photodiode. Lorsqu'on fait passer un courant dans la LED, elle brille (elle émet de l'infrarouge) dans un boitier bien hermétique à la lumière. La lumière émise par la LED sont captés par le phototransistor qui devient alors passant. On peut donc transmettre un courant électrique tout en isolant électriquement. Dans son principe, l'optocoupleur fait les conversions successives : courant électrique - lumière infrarouge - courant électrique. [16]

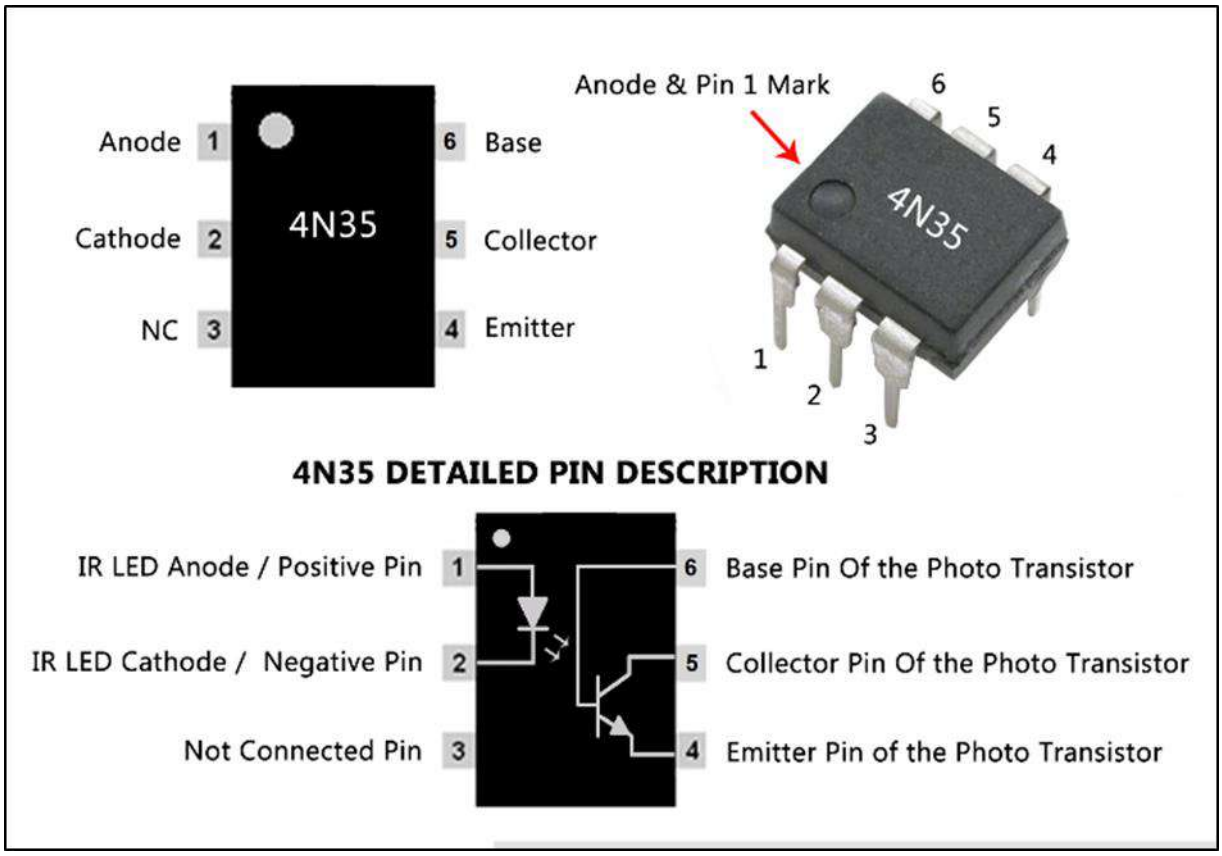


Figure.II. 11: le schéma d'optocopleur4n35

II.2.5.3.Caractéristique

- Type de montage Traversant
- Type de sortie Transistor
- Tension directe maximum 1.5V
- Nombre de canaux 1
- Nombre de broches 6
- Type de boîtier PDIP
- Type de courant d'entrée c.c.
- Temps de croissance 2µs

- Courant d'entrée maximum 60 mA
- Tension d'isolement 5,3 kVrms
- Temps de chute 2µs
- Rapport de transfert de courant minimum 40 % [17]

II.2.6.Amplificateur opérationnel LM324

II.2.6.1.Définition général

Un amplificateur opérationnel (aussi dénommé ampli-op ou ampli op, AO, AOP1, ALI2 ou AIL3) est un amplificateur différentiel à grand gain : c'est un amplificateur électronique qui amplifie fortement une différence de potentiel électrique présente à ses entrées. Initialement, les AOP ont été conçus pour effectuer des opérations mathématiques dans les calculateurs analogiques : ils permettaient d'implémenter facilement les opérations mathématiques de base comme l'addition, la soustraction, l'intégration, la dérivation et d'autres. Par la suite, l'amplificateur opérationnel est utilisé dans bien d'autres applications comme la commande de moteurs, la régulation de tension, les sources de courants ou encore les oscillateurs

Un AOP dispose typiquement de deux entrées, deux broches d'alimentation et une sortie. L'entrée notée e+ est dite non inverseurs tandis que l'entrée e- est dite inverseurs, ceci en raison de leur rôle respectif dans les relations entrée/sortie de l'amplificateur. La différence de potentiel entre ces deux entrées est appelée tension différentielle d'entrée.

La broche d'alimentation positive repérée V_{cc+}est parfois aussi appelée: V_{DD} , V_{cc} ou : V_{S+}. La broche d'alimentation négative repérée V_{cc-} est parfois aussi appelée : V_{SS}, V_{EE} ou V_{S-}, et S la sortie. [18]

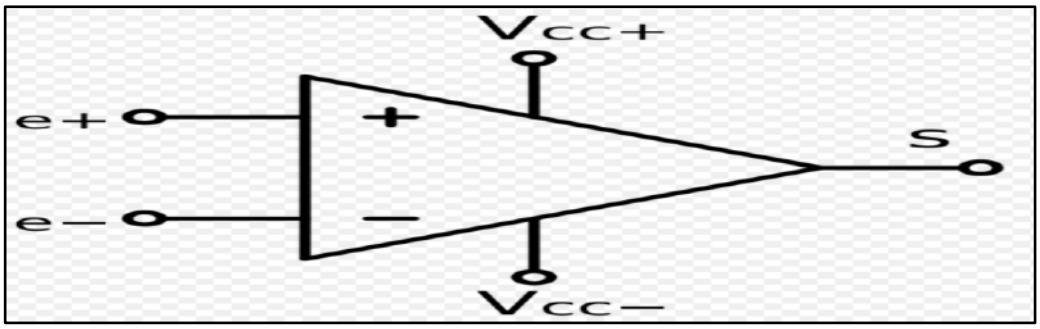


Figure.II. 12: le schéma général de l'amplificateur opérationnel

II.2.6.2.Caractéristiques

- Sorties protégées court-circuitées
- Étage d'entrée véritablement différentiel
- Fonctionnement à alimentation unique : 3,0 V à 32 V
- Courants de polarisation d'entrée faibles : 100 nA maximum (LM324A)
- Quatre amplificateurs par paquet
- Compensé en interne
- La plage de mode commun s'étend à l'alimentation négative
- Brochages standard de l'industrie
- Les pinces ESD sur les entrées augmentent la robustesse sans affecter le fonctionnement de l'appareil
- Préfixe NCV pour les applications automobiles et autres nécessitant des exigences de changement de site et de contrôle uniques ; Qualifié AEC−Q100 et compatible PPAP
- Ces appareils sont sans plomb, sans halogène/sans BFR et sont conformes à la directive RoHS [19]

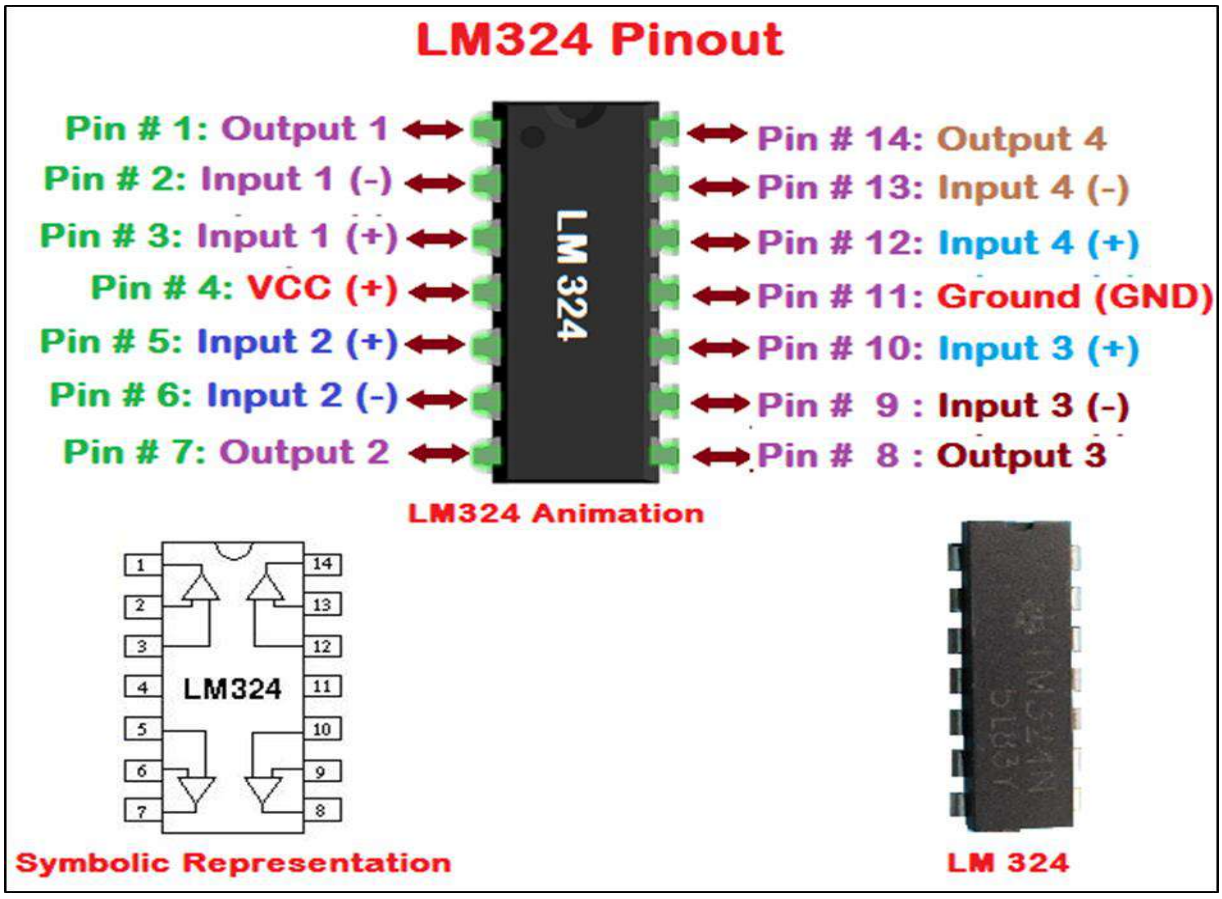


Figure.II. 13: le schéma de l'amplificateur opérationnel LM324

II.2.7.La port logique XOR 74LS86N

Les portes logiques remplissent des fonctions logiques de base et sont les éléments fondamentaux de la technologie numérique. circuits intégrés. La plupart des portes logiques prennent une entrée de deux binaire valeurs, et sortie une valeur unique d'un 1 ou 0. [20]

La porte XOR, abrégée de Exclusive or, est une porte logique avec plusieurs entrées et une sortie. On obtient une sortie (x) égale à 1, si le nombre d'entrées avec la valeur (1) est impair (1, 3, 5..etc) et zéro si leur nombre est pair. Son symbole est traditionnellement un signe plus dans un cercle : " $\oplus$ ". [21]

$X=A\oplus B=\bar{A}.B+A.\bar{B}$

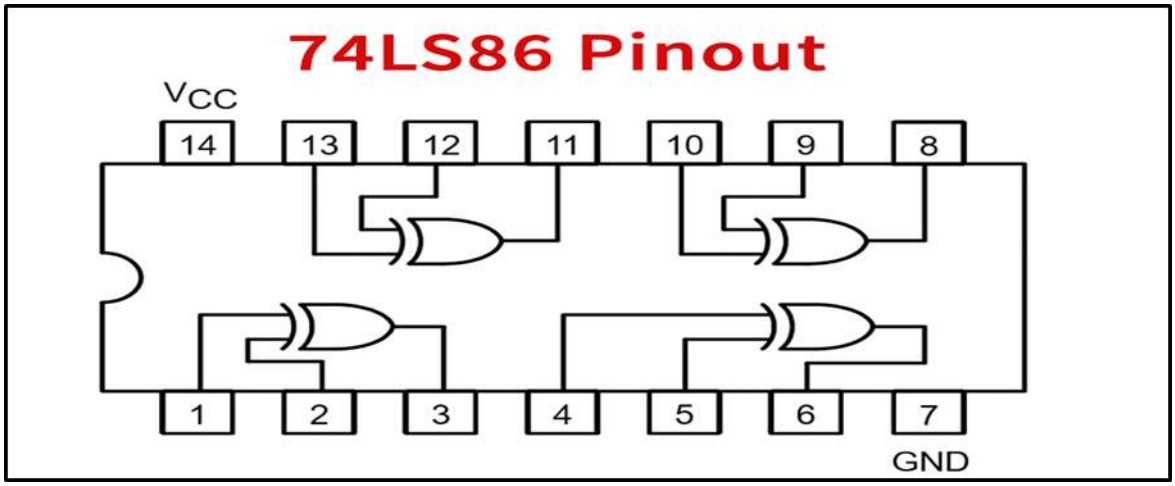


Figure.II. 14: circuit intégré 74LS86N

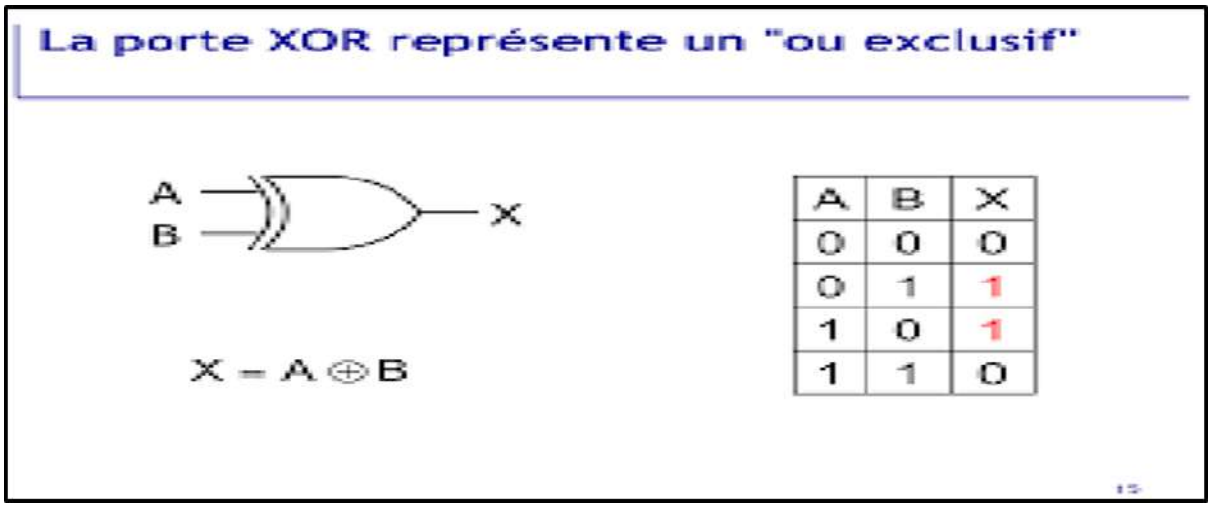


Figure.II. 15: le symbole et la table de port logique XOR

II.3.Partie Software

II.3.1.Arduino IDE

L'environnement de développement Arduino IDE est l'outil utilisé pour écrire des codes avec le langage Arduino C, il est ensuite converti en une forme exécutive qui peut être placée sur le microcontrôleur. Cet environnement de développement est simple et facile à manipuler, et il est presque sans complications dans l'aspect général, il contient seulement ce que le programmeur a besoin pour commencer à développer et en même temps pour charger le code directement au microcontrôleur. [5]

a. Le langage de programmation

Le langage de programmation utilisé est le C++, compilé avec avr-g++, et lié à la bibliothèque de développement Arduino, permettant l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. La mise en place de ce langage standard rend aisé le développement de programmes sur les plates-formes Arduino, à toute personne maîtrisant le C ou le C++. [4]

b. les éléments de l'interface logicielle Arduino

1- ce sont les options de configuration du logiciel.

2-les boutons qui nous servir lorsque on programmer la cartes(Menu).

3-ce bloc va contenir le programme que nous allons créer(fenêtre de programmation).

4-fenêtre de contrôle.

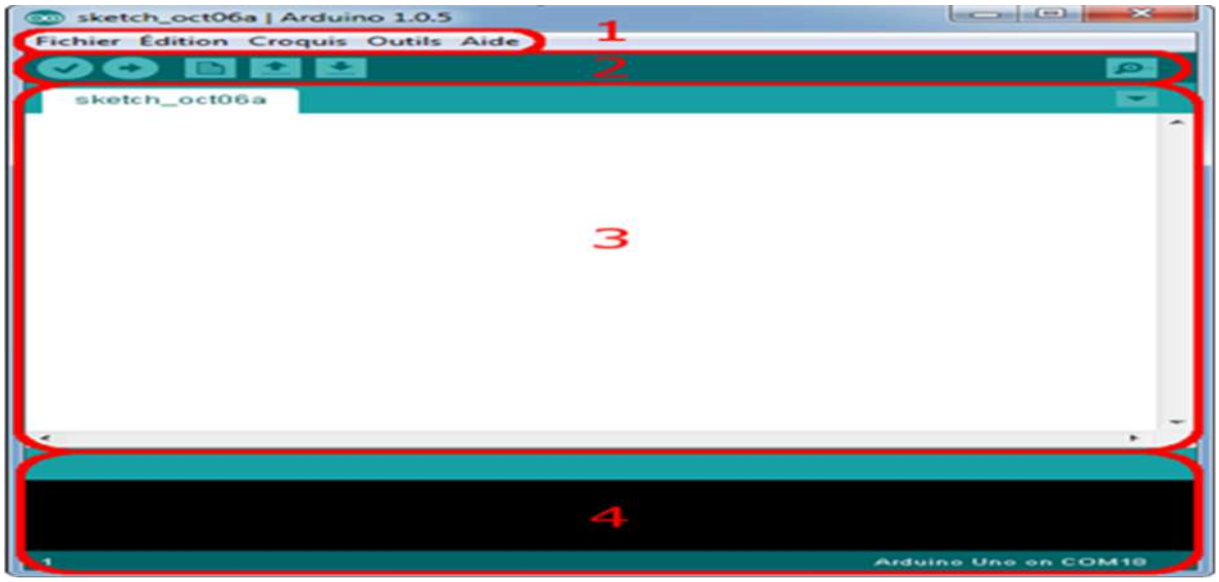


Figure.II. 16: L'interface de logicielle Arduino

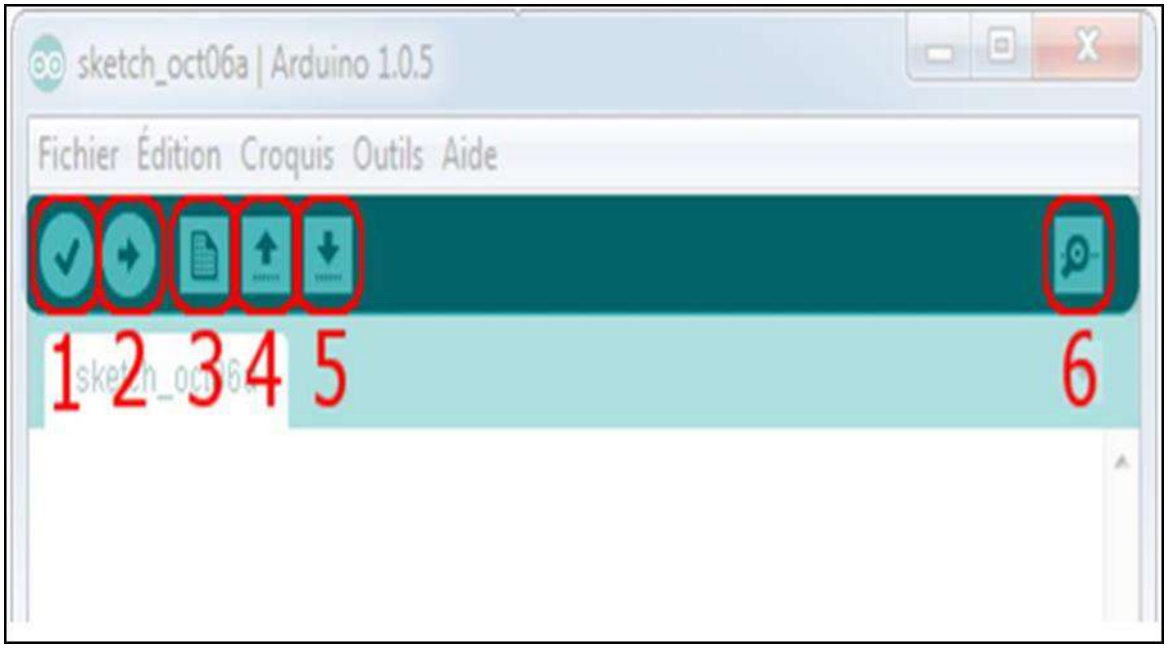


Figure.II. 17: Les boutons d'interphase de programmation arduino.

- Bouton 1 : Ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans le programme
- Bouton 2 : Envoi du programme sur l'Arduino
- Bouton 3 : crée un nouveau fichier.
- Bouton 4 : Ouvrir un fichier existant.
- Bouton 5 : enregistrer un fichier.
- Bouton 6 : ouvre le moniteur série.

c. La structure d'un programme arduino

Elle est composée de 3 zones*:*

- **Zone globale :** Elle permet d'appeler les bibliothèques, créer les variables globales, créer les nouvelles fonctions ou procédures pour votre programme.
- **Zone setup:** Une fonction "void setup ()" permet d'initialiser des éléments, variables. Cette fonction n'est appelée qu'une seule fois au boot par l'arduino.
- **Zone loop:** Une fonction "void loop ()" est appelée constamment par l'arduino et après la fonction setup. Le cœur du programme est là. [4]

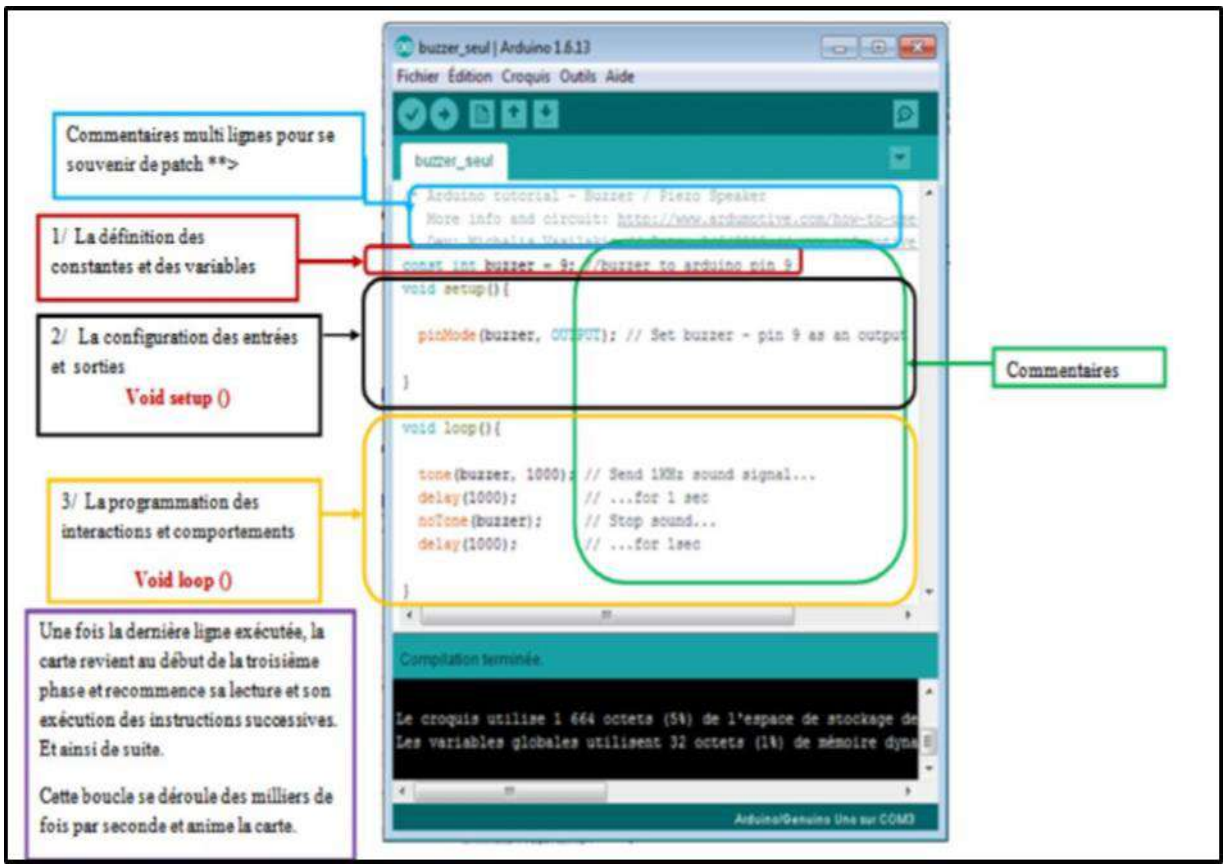


Figure.II. 18: La structure d'un programme arduino.

II.4.Conclusion

Dans ce chapitre, j'ai défini tout l'équipement électronique qui a été utilisé, les caractéristiques de chaque élément et le mode d'utilisation, en plus de présenter ces logiciels, que j'utiliserai dans la partie pratique pour obtenir un compteur avec une bonne efficacité et précision dans les calculs. Le projet et la méthode de travail seront détaillés. Dans le chapitre suivant.

Chapitre III

Simulation et Réalisation de projet

III.1.Introduction

Dans ce chapitre précédent, j'ai présenté tous les éléments que j'utiliserai afin de réaliser ce compteur. Dans ce chapitre, j'expliquerai la méthode et les étapes de travail utilisées pour accomplir ce travail, car j'accomplirai ca travail d'abord à travers la simulation par programme Proteus, puis passer aux travaux pratiques.

III.2. Simulation du projet sous PROTEUS (ISIS)

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels incluent dans Proteus permettent la CAO (Construction Assistée par Ordinateur) dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle: ISIS, ARES, PROSPICE et VSM.[22]

III.2.1.Présentation générale

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

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

✓ ***ISIS***

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisé dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.[22]

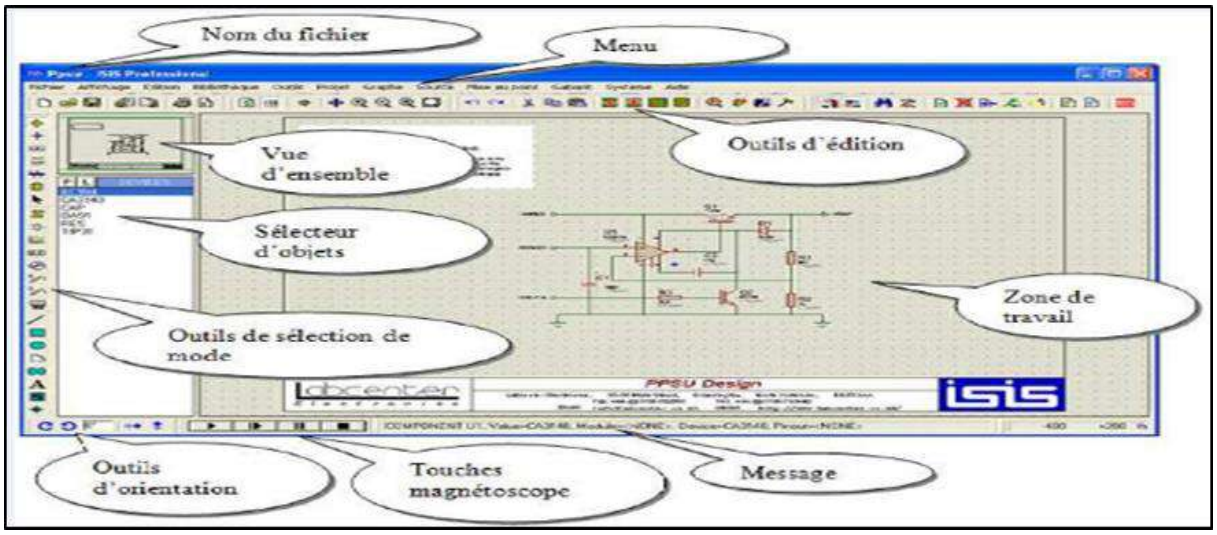


Figure.III. 1: L'interface de logiciel proteus

III.2.2.Installer les bibliothèques d'éléments utilisés

Pour simuler la carte des montages sur Proteus, tout d'abord, il faut télécharger le logicielle et l'installer en suite télécharger les bibliothèques des éléments et les librairies, comme la bibliothèque Arduino, ainsi que tous les capteurs qui fonctionnement avec l'Arduino, ainsi que la bibliothèque Raspberry Pi et de nombreux appareils et équipements différents.

III.3. Montage

III.3.1.La méthode et le détail de travail par logiciel de simulation Proteus

III.3.1.1.La première étape

Au début des travaux, le but était de calculer la valeur efficaces du signal alternatif 50 Hz, où nous avons utilisé deux signaux alternatifs avec une valeur maximale de 5v (car les signaux analogiques que l'Arduino peut lire sont un signal entre zéro et cinq). Où chaque signal est considéré comme un signal de sortie à la fois pour le capteur de tension et le capteur de courant, et ce travail consiste à obtenir la valeur efficaces de chaque sortie sans utiliser le capteur, et c'est un début de travail et de compléter un programme pour le dispositif Arduino qui nous permet de calculer ensemble la valeur efficace des deux signaux alternatifs.

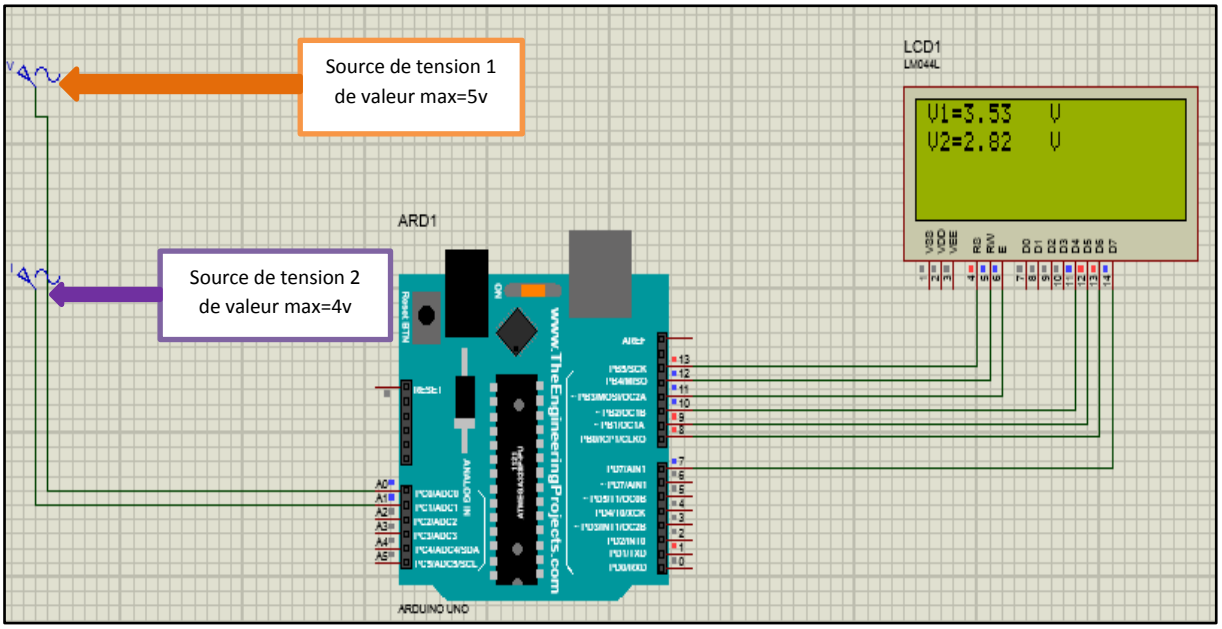


Figure.III. 2: le circuit de début de travail avec deux signaux alternatif.

III.3.1.2.La deuxième étape (Branchement du capteur de courant):

Le capteur de courant ACS758 est installé en série dans les ports P+ et P-, et pour faire fonctionner ce capteur, il doit être alimenté par le port Vcc (+5v ou 3.3v) et le port GND « la terre », et le port OUT (sortie analogique) est connecté au l'Arduino.

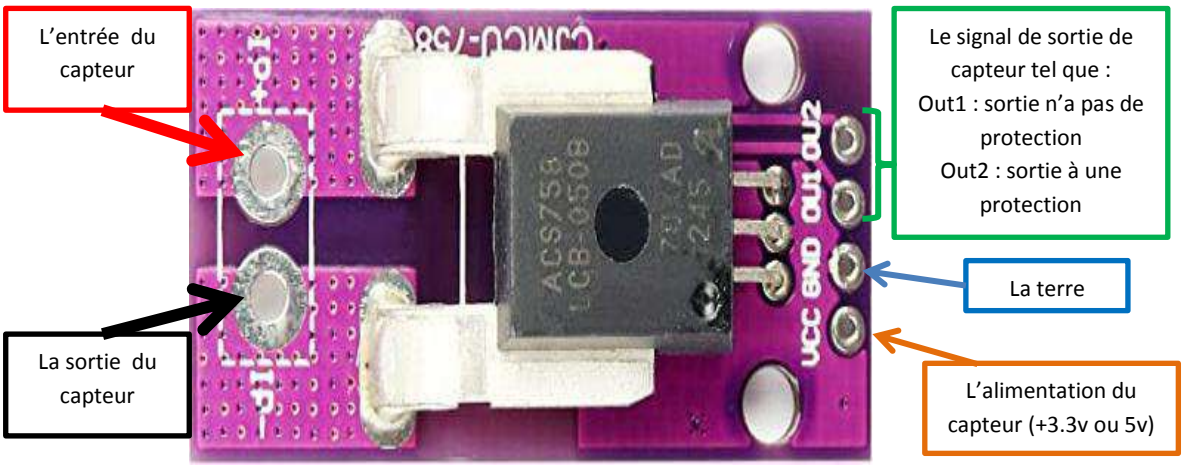


Figure.III. 3: Branchement de capteur courant acs758

Pour la mesure du courant, nous avons utilisé le capteur de courant à effet Hall de type ACS758 qui nous fournit une tension exploitable. Cette tension alimentera la broche AN1 de l'Arduino. Les capteurs de courant ACS758 ont différentes gammes de mesure de ±50A, ±100A et ±150 A et ±200 A. La seule différence entre ces gammes de mesure est dans leur

sensibilité. Dans notre projet nous avons utilisé le capteur de courant ACS758LCB-050B, qui mesurent le courant allant de -50A à + 50A et que nous avons trouvé d'avoir une sensibilité de 40mV/A après une étude de détermination de coefficient de proportionnalité que nous l'avons fait. La valeur, $Vcc/2$ est l'offset de notre capteur qui compense les valeurs négatives instantanées du courant, donc nous avons à la sortie du capteur de courant la tension qui varie entre 0V et 5V. Due au l'offset, nous n'avons pas besoin de redresser courant.

Nous simulons sur le programme Proteus, où nous utilisons un capteur de courant de type ACS758 un circuit électrique avec une charge résistive de 10 ohms et un générateur de tension alternatif 220 volts comme valeur efficace et une fréquence de 50 hertz, où nous mesurerons le courant dans le circuit au moyen d'un ohmmètre et comparer sa valeur avec la valeur calculée par le capteur ACS758 avec Arduino.

V_{sens}=40mv/A $V_{OUT}=\frac{V_{cc}}{2}+V_{sens}*I$ (III.1)

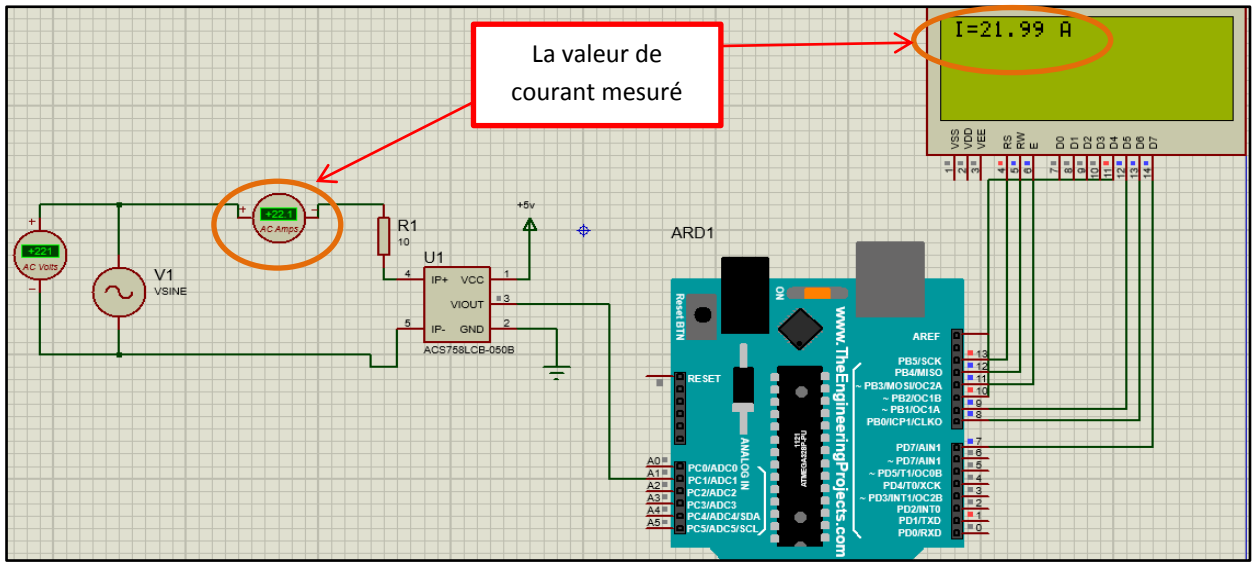


Figure.III. 4: Branchement du capteur de courant acs758.

Après avoir simulé ce circuit, nous remarquons que les valeurs mesurées par le capteur acs758 (I=21.99 A) sont correctes et très proches des valeurs de l'ohmmètre (I=22.1 A).

III.3.1.3.La troisième étape (Branchement du capteur de tension)

Le capteur de tension ZMPT101B est installé en parallèle dans les ports L (phase) et N (neutre), et pour faire fonctionner ce capteur, il doit être alimenté par le port Vcc (+5v ou 3.3v) et le port GND « la terre », et le port OUT (sortie analogique) est connecté au l'Arduino.

Pour mesurer la tension, nous avons utilisé un capteur de tension de type ZMPT101B qui nous fournit une tension exploitable. Cette tension alimentera la broche AN0 dans l'Arduino. La valeur de tension que l'on peut mesurer va de 0 à +250V après une étude pour déterminer le coefficient de proportionnalité que nous avons fait. La valeur, Vcc/2 est l'offset de notre capteur qui compense les valeurs négatives instantanées de tension, nous avons donc en sortie du capteur de tension une tension qui varie entre 0V et 5V. En raison du décalage, nous n'avons pas besoin de redresser la tension

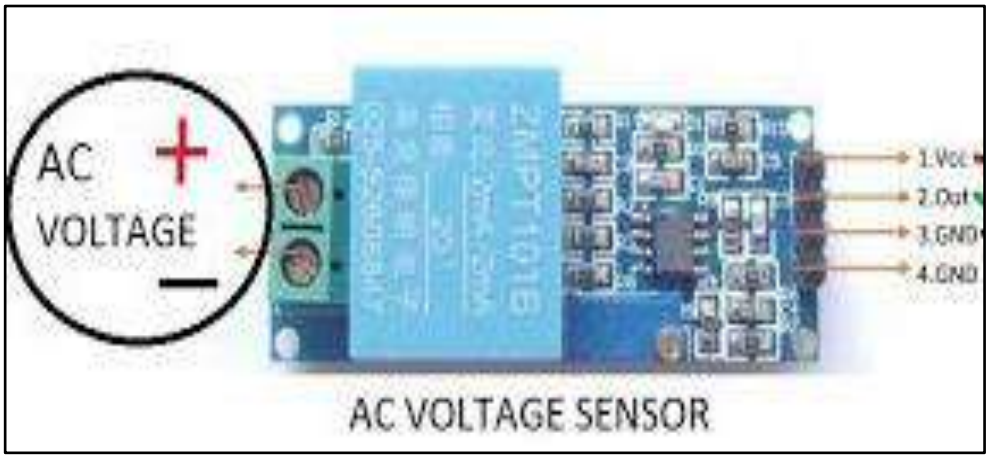


Figure.III. 5: Branchement de capteur Zmpt101b

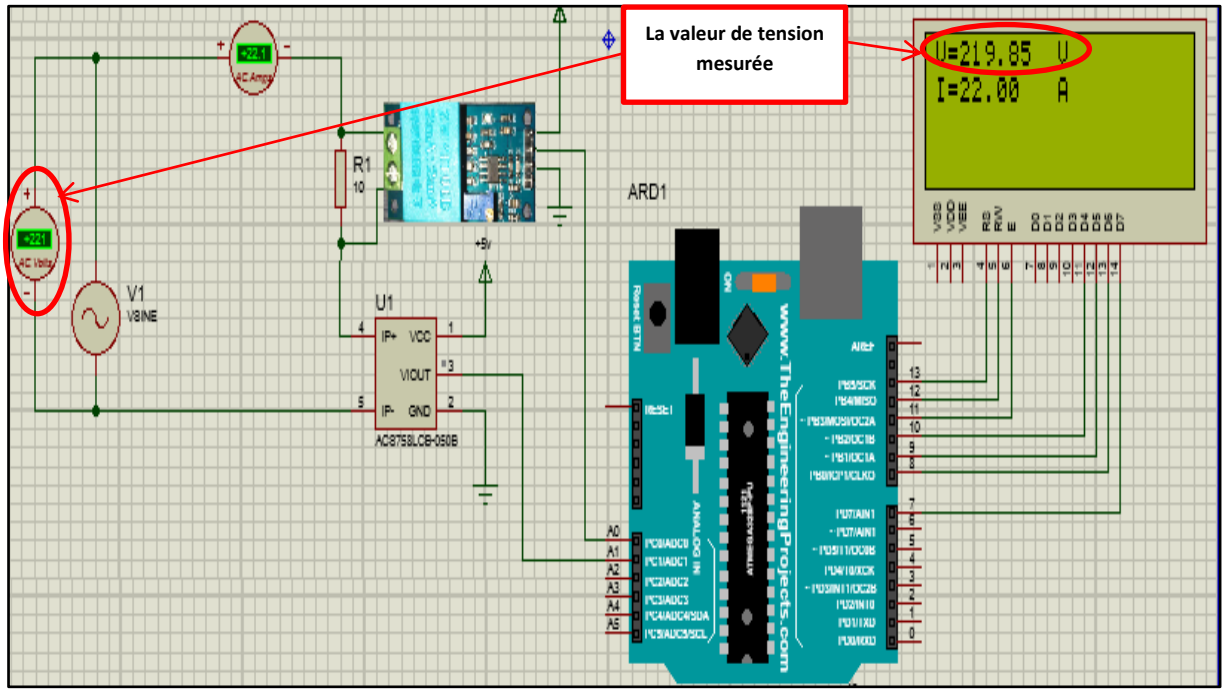


Figure.III. 6: Branchement du capteur de tension ZMPT101B.

III.3.1.4.La quatrième étape (le circuit électronique pour calculer le déphasage et la fréquence d'alimentation)

Afin de calculer le déphasage entre la tension et le courant, ainsi que la fréquence d'alimentation, nous avons utilisé un circuit électronique constitué de plusieurs composants, qui sont le comparateur de type LM324 et l'optocoupleur de type 4n35, ainsi que la porte logique XOR en plus des résistances, où le but de ce circuit est de convertir la sortie du capteur d'un signal analogique en un signal numérique tout en préservant toutes les caractéristiques important du signal sortant des capteurs telles que la fréquence et la déphasage.

Dans le comparateur, il y a deux entrées, la positive (+) et le négative (-). Dans l'entrée positive, nous la connecterons à une sortie de capteur. Dans l'entrée négative, nous la connecterons à la valeur que nous considérons comme une référence ou zéro pour le capteur, soit 2.5 volts, car les capteurs de tension et de courant étaient alimentés avec une tension V_{cc}=5 volts, soit offset=V_{cc}/2.

A la sortie de l'optocoupleur (l'entrée de transistor et la sortie) , on le connecte à une signal continu de 5 volts à pin 5 et à la masse à pin 4, afin d'obtenir une sortie 5v ou 0v, qui est soit un valeur logique zéro ou un, et ceci afin de le connecter avec des entrées numérique de l' Arduino car la valeur logique dans l'Arduino est soit zéro (0 volts) ou un (5 volts) et de même pour la porte logique XOR, ceci afin de garantir des valeur stables et exactes sur l'entrée de l'Arduino et pour d'assurer des calculs précis avec le taux d'erreur le plus bas possible.

Le but de ce circuit est convertir le signal analogique de chaque capteurs en signal numérique pour simplifier le calcule le de déphasage et la fréquence.

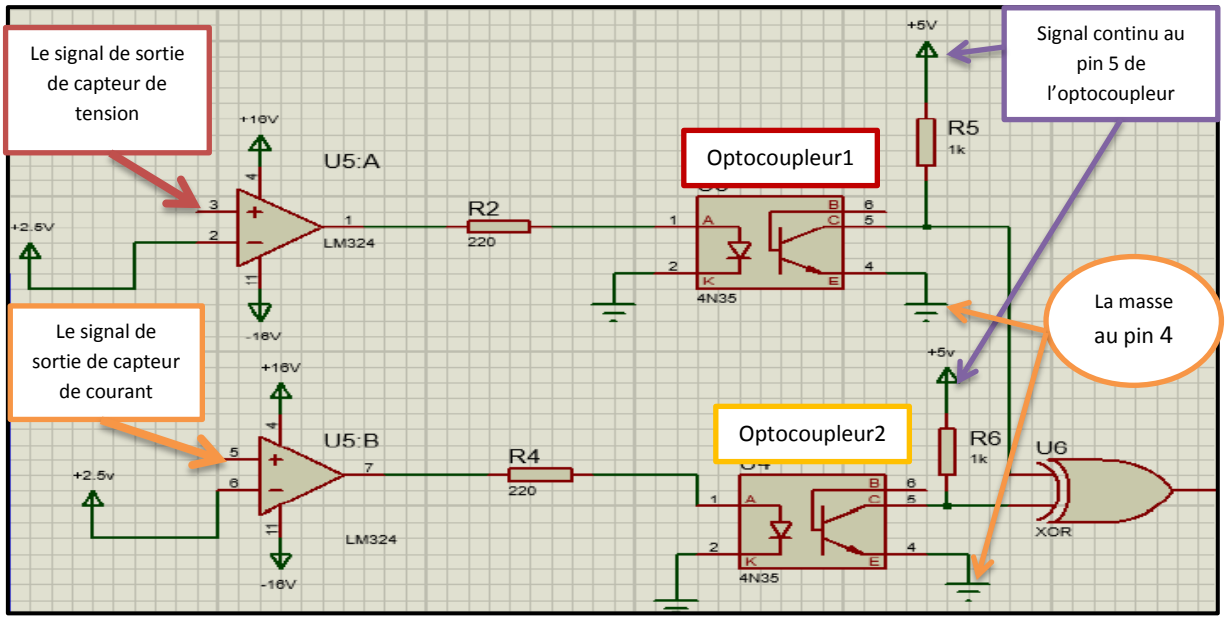


Figure.III. 7: le circuit électronique pour calculer le déphasage et la fréquence d'alimentation.

III.3.1.5.Cinquième étape

a- pour une charge résistive R

Après avoir confirmé le travail des capteurs et la fabrication du circuit électronique dédié au calcul le déphasage (facteur de puissance) et la fréquence, nous allons connecter la sortie de chaque capteur avec le circuit électronique et essayer de calculer le facteur de puissance et la fréquence d'alimentation, sachant que dans ce cas nous avons une charge résistive de 10 ohms et un générateur de tension de valeur efficace 220 volts à une fréquence de 50Hz,donc: V=220v, et I=(V/R)=22A, et $\cos(\varphi) = 1$, et F=50Hz.

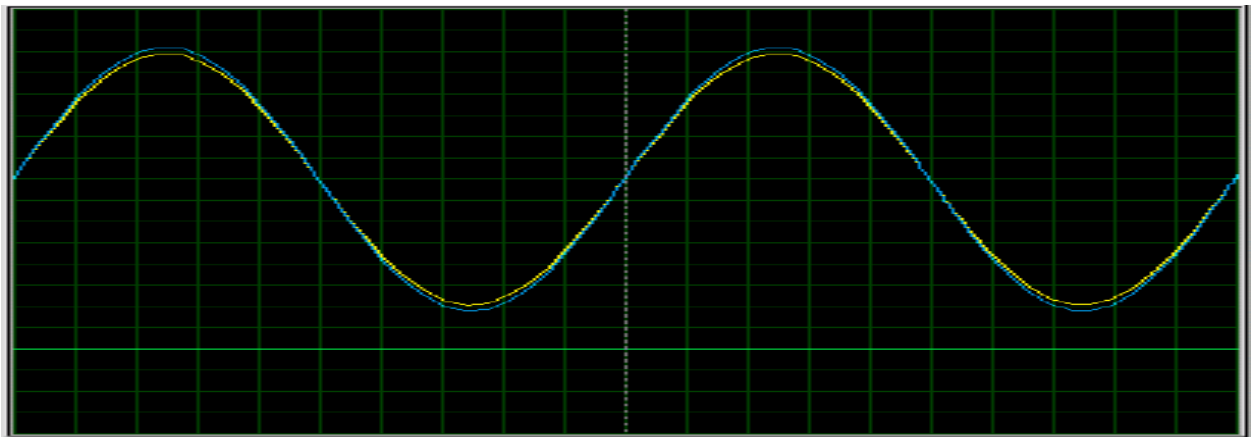


Figure.III. 8: le signal de sortie de deux capteurs utilisé.

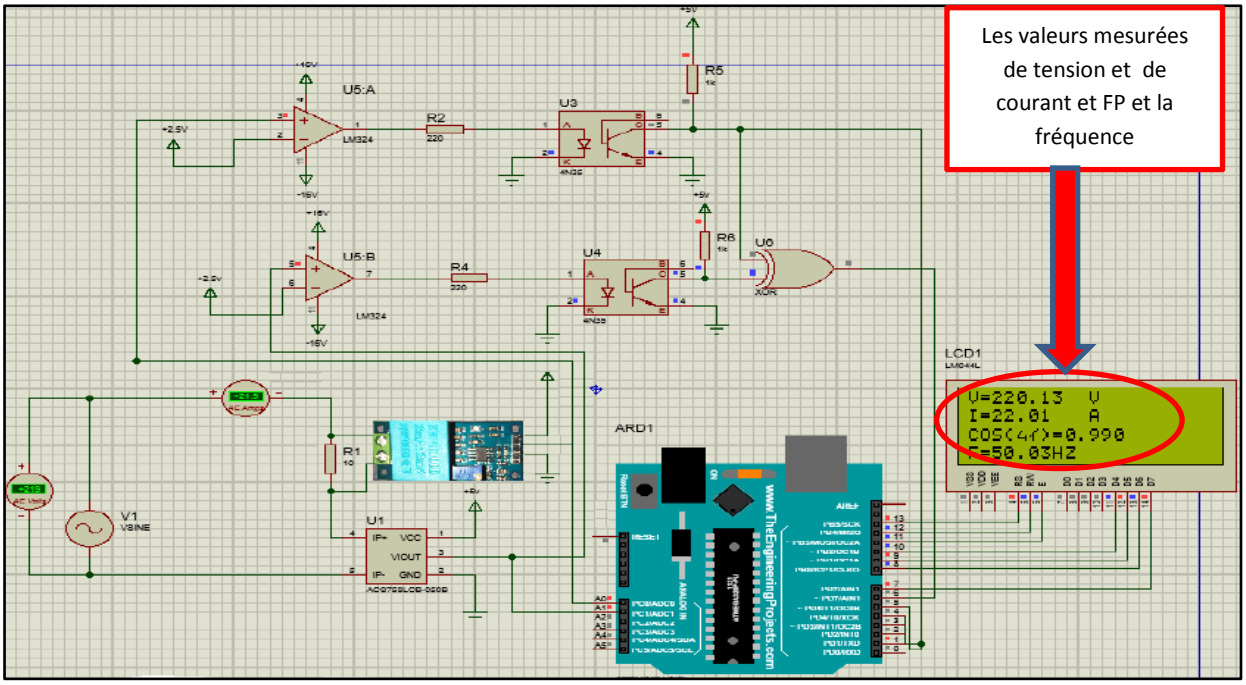


Figure.III. 9: les valeurs mesurées pour un circuit R.

Tableau.III. 1: représenté les valeurs réelles et les valeurs mesurées par l'Arduino de circuit R.

	Les valeurs calculées théoriquement	***Les valeurs mesurées par l'Arduino***
La tension (Volts)	*220*	*220.13*
Le courant (Ampères)	*22*	*22.01*
Facteur de puissance	*1*	*0.99*
La fréquence (Hertz)	*50*	*50.03*

Remarque :

Dans ce cas, on remarque que les valeurs calculées par ce circuit sont très proches des vraies valeurs, avec un faible taux d'erreur.

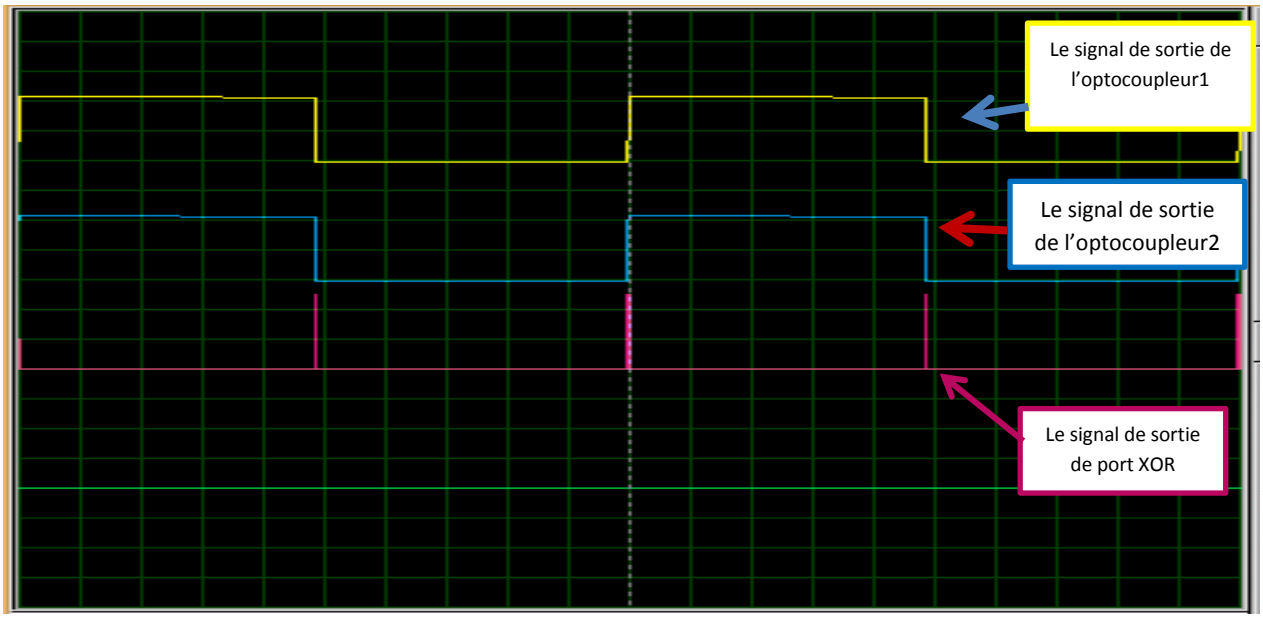


Figure.III. 10: les différentes signaux de sortie de circuit de calcule.

b- pour une charge RL

Avec les mêmes caractéristiques que le circuit précédent, nous changeons seulement la charge R à RL et c'est pour créer un déphasage entre la tension et le courant.

R=10 ohms, L=0.01H donc : Z_L=Lω=(L)$*$(2πF)=(0.01)$*2*\pi*$50=3.14159 ohms, (III.2)

I=$\frac{V}{Z_t}$ = $\frac{220}{\sqrt{Z_L^2+R^2}}$=20.98A (III.3) , et : tan(φ)=$\frac{L\omega}{R}$=$\frac{3.14159}{10}$=0.314159, (III.4)

donc :$\varphi = \tan^{-1}(0.314159)$=17.44 DEG ,donc FP=cos(φ)=0.95

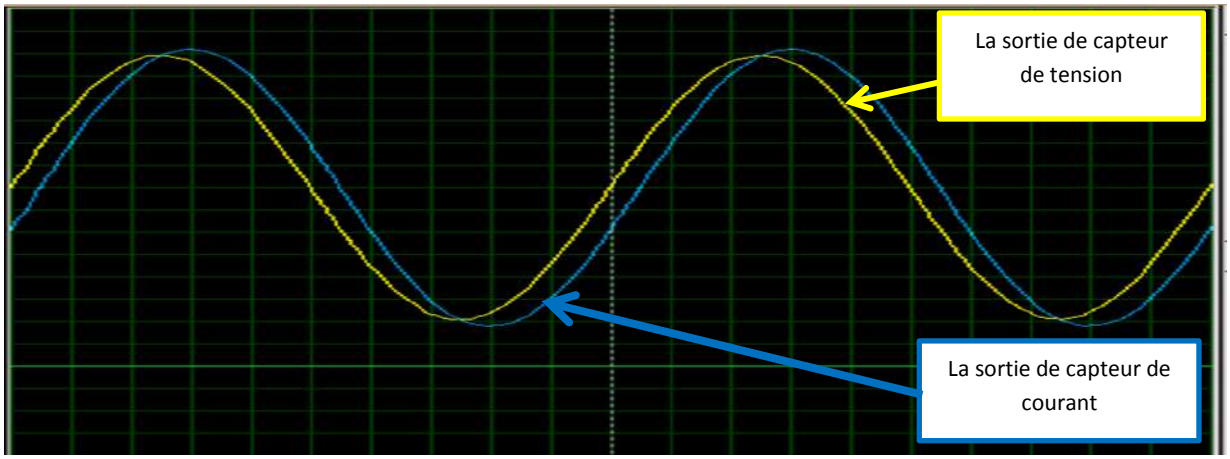


Figure.III. 11: les signaux de sortie de deux capteurs utilisée.

La Figure.III.11 représenter le deux signal de sortie de capteur de tension et de courant où dans ce cas il y a un déphasage de 17.44 DEG entre la tension et le courant.

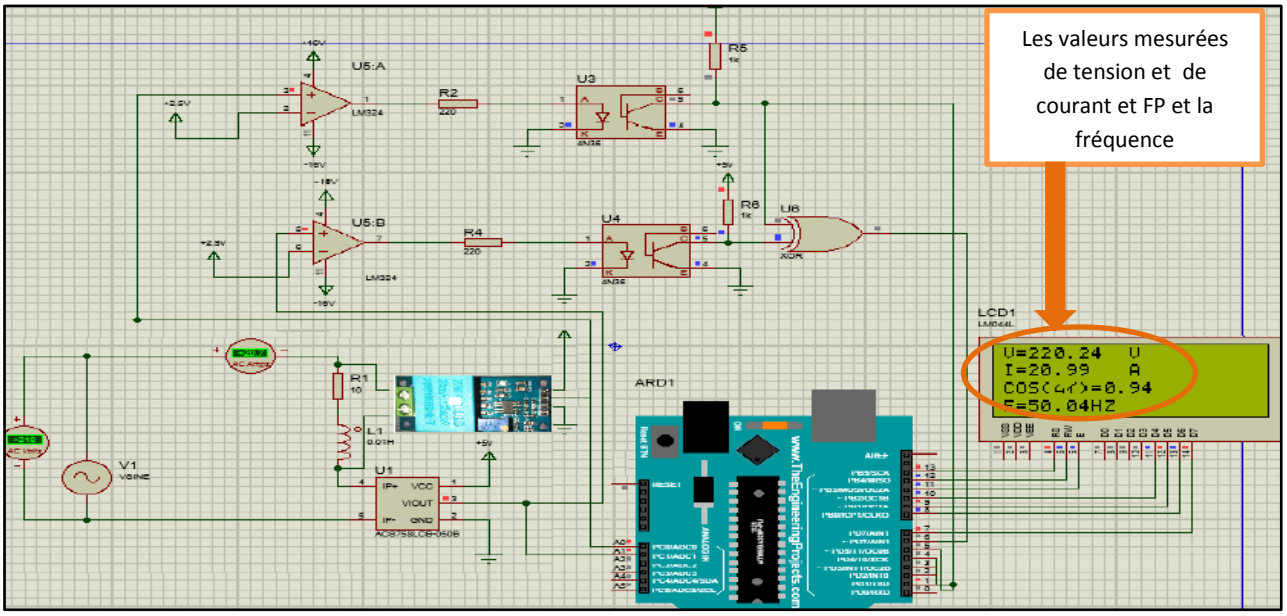


Figure.III. 12: Les valeurs mesurées pour un circuit RL.

Tableau.III. 2: représenté les valeurs réelles et les valeurs mesurées par l'Arduino de circuit RL.

	Les valeurs calculées théoriquement	***Les valeurs mesurées par l'Arduino***
La tension (Volts)	***220***	***220.24***
Le courant (Ampères)	***20.98***	***20.99***
Facteur de puissance	***0.95***	***0.94***
La fréquence (Hertz)	***50***	***50.04***

Remarque :

Dans ce cas, on remarque que les valeurs calculées par ce circuit sont très proches des vraies valeurs, avec un faible taux d'erreur.

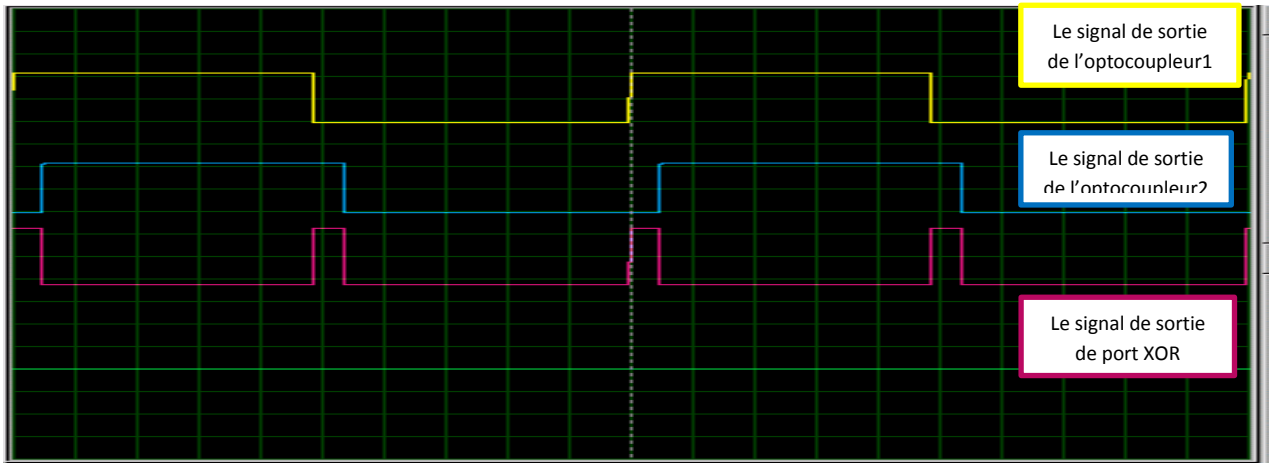


Figure.III. 13: le signal de sortie de l'optocoupleur1 et 2 et le port XOR.

Figure.III.13 représenté le signal de sortie de l'optocoupleur1 et 2 et le port XOR, ou dans ce cas il y a un déphasage et donc il y a un retard dans le signal de sortie de l'optocoupleur2 par rapport à le signal de sortie de l'optocoupleur1 et donc quand le signal de l'optocoupleur1 et 2 sont différents la sortie du port XOR égale à un et donc ce est le temps de retard ou de déphasage.

III.3.1.6.Sixième étape (calcul de puissance active et réactive)

Nous calculons la puissance active et réactive du même circuit précédent RL.

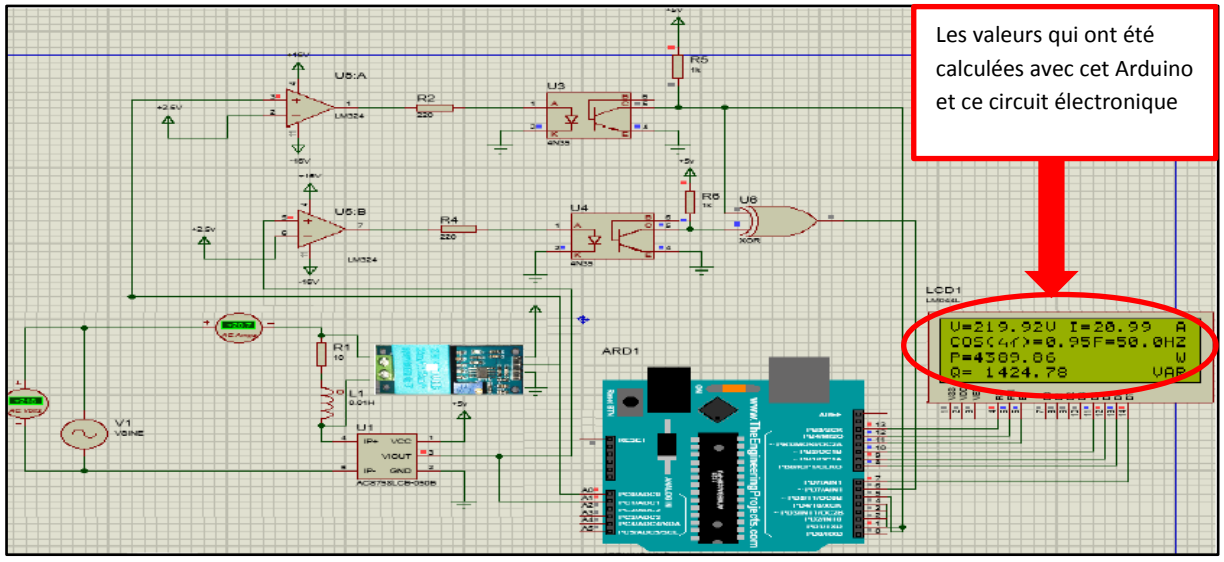


Figure.III. 14: La puissance active et réactive mesuré.

$P = V_{eff} * I_{eff*} \cos(\varphi)$ = (220)∗(20.98)∗(0.95)=4384.82 W (III.5)

$Q = V_{eff} * I_{eff} * \sin(\varphi)$ = (220)∗(20.98)∗(0.31)=1430.836 VAR (III.6)

Tableau.III. 3: représenté les valeurs réelles et les valeurs mesurées par l'Arduino de circuit RL et la puissance active et réactive.

	Les valeurs calculées théoriquement	***Les valeurs mesurées par l'Arduino***
La tension (Volts)	*220*	*220.00*
Le courant (Ampères)	*20.98*	*20.94*
Facteur de puissance	*0.95*	*0.95*
La fréquence (Hertz)	*50*	*50.04*
La puissance active (Watts)	*4384.82*	*4389.86*
La puissance réactive (VAR)	*1430.836*	*1424.78*

Remarque :

On constate d'après les résultats obtenus qu'il existe un taux d'erreur par rapport aux valeurs calculées, mais ces résultats restent acceptables par rapport aux résultats qui été calculés théoriquement.

III.3.1.7.Septième étape (calcul de l'énergie consommée)

Après avoir calculé la valeur efficace de chacun du courant et de la tension, ainsi que le déphasage entre eux, et ainsi calculé la puissance active et réactive en plus de la fréquence d'alimentation, nous pouvons calculer l'énergie consommée selon ce qui suit des relations :

- $E[joule]=P[watts]*t[seconde].$ *(III.7)*
- $E[kilojoule]=P[kilowatts]*t[seconde].$ *(III.8)*
- $E[wattheure]=P[watts]*t[heure].$ *(III.9)*
- $E[kilowattheure]=P[kilowatts]*t[heure].$ *(III.10)*

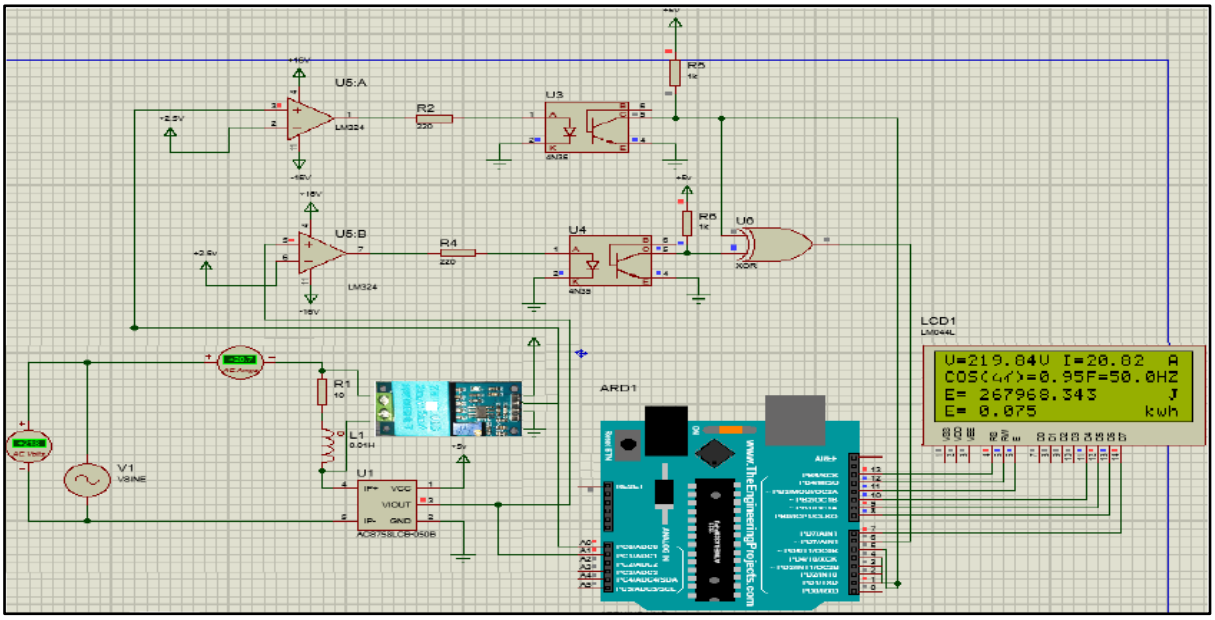


Figure.III. 15: L'énergie consommée en joule et en kwh.

$P = V_{eff} * I_{eff*} \cos(\varphi)$ = (220)∗(20.98)∗(0.95)=4384.82 W

***E**[joule]=**P**[watts]∗**t**[seconde]=4384.82*61.1=267912.502 J*

***E**[kilowattheure]=**P**[kilowatts]∗**t**[heure]=4.38482*0.01697222=0.07442 kwh*

Tableau.III. 4: Les valeurs de puissance calculé en théorique en les valeurs mesurées

	Les valeurs calculées théoriquement	***Les valeurs mesurées par l'Arduino***
L'énergie consommée (joule)	*267912.502*	*267968.343*
L'énergie consommée (kwh)	*0.07442*	*0.075*

Remarque :

Après avoir calculé la valeur de l'énergie consommée théoriquement et au moyen du programme de simulation, les deux valeurs se trouvent proches, mais il existe un taux d'erreur entre elles et cela est dû au fait que lors des simulations d'exécution, le programme de simulation nous donne une valeur supérieure à la valeur réelle (V_{eff} et I_{eff}) pendant une petite période, puis nous donne des valeurs bonnes et précises.

III.3.2. La réalisation et les résultats pratiques du compteur d'énergie

III.3.2.1.Le schéma global du compteur d'énergie

La *figure III.16* suivante présente le circuit électronique de compteur ainsi que le câblage électrique.

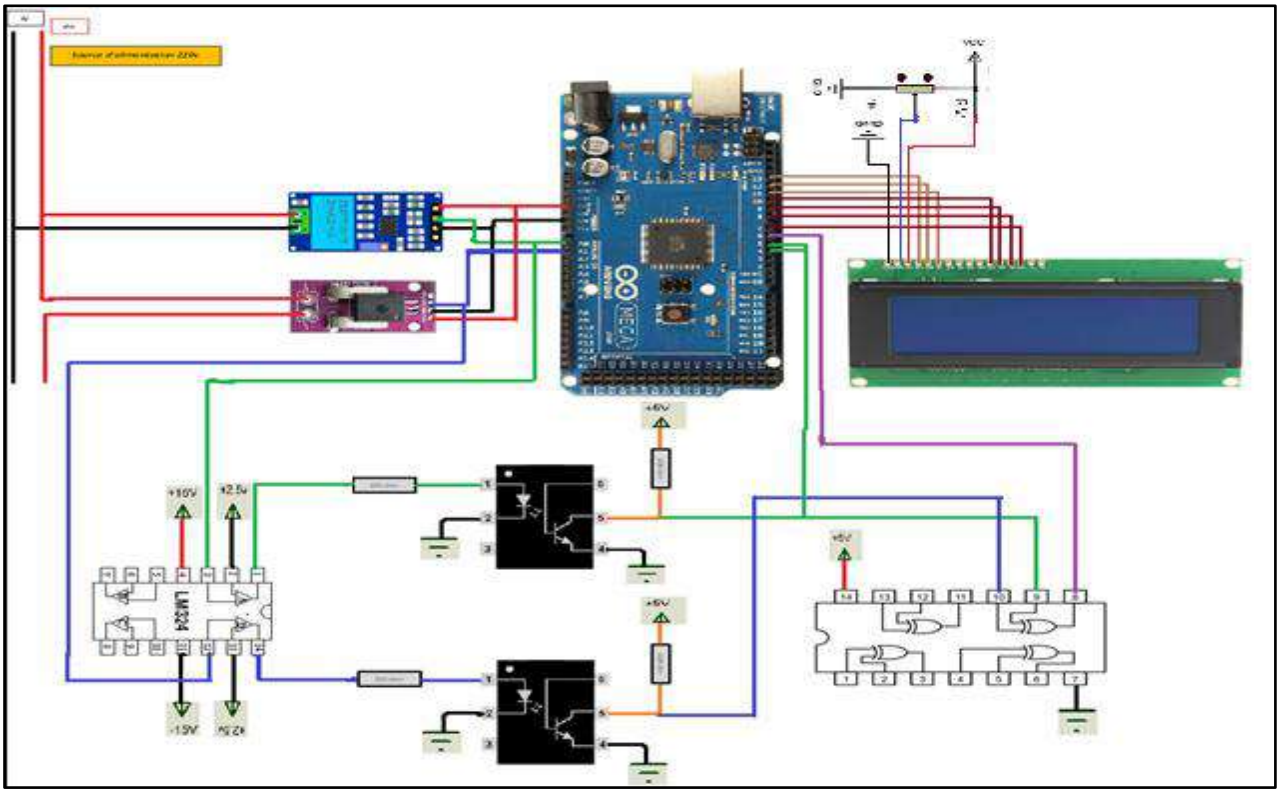


Figure.III. 16: Le schéma global du compteur d'énergie.

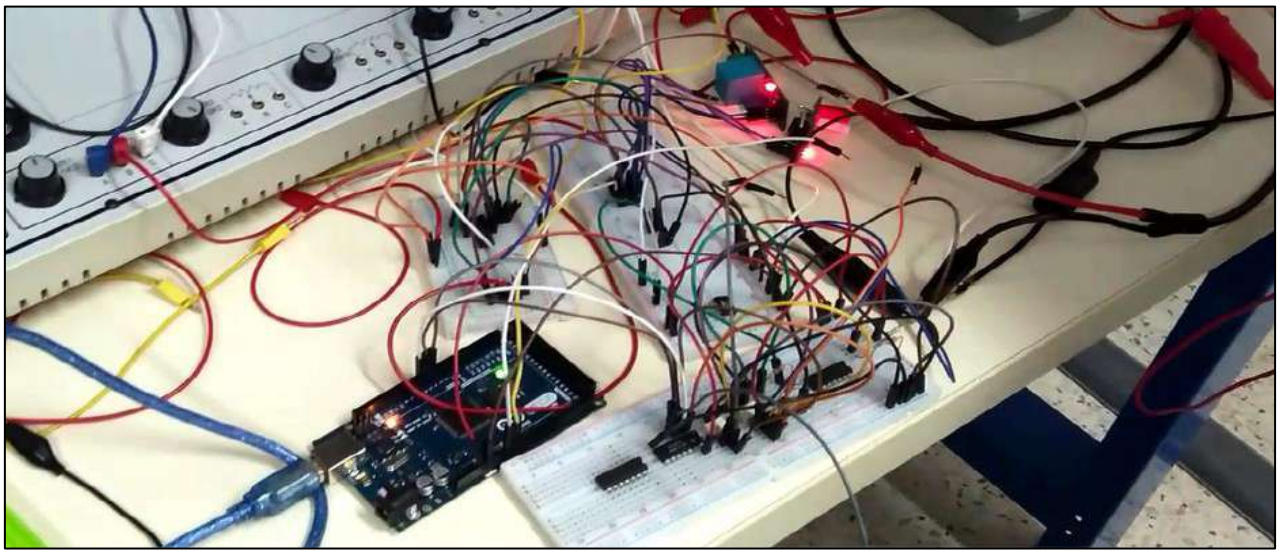


Figure.III. 17:schéma de réalisation

III.3.2.2.Les résultats pratiques

a) Pour une charge résistive

Pour mesurer la tension et le courant, en utilisé un capteur de tension ZMPT101B et un capteur de courant ACS758, ou nous utilisé une charge résistive, et un générateur de tension alternatif de fréquence de 50 hertz.

1ère cas : Les valeurs mesurer par multimètre : V_{eff}*=160.8 V,* I_{eff}*=1.56 A, R=103.1 Ohms, et la charge résistive donc :*$\cos(\varphi)=1$.

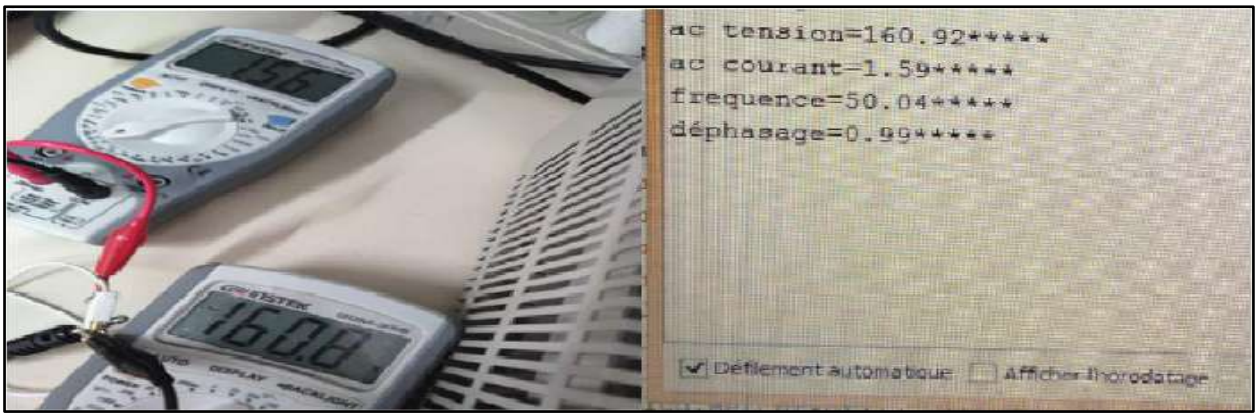


Figure.III. 18: les valeurs mesurées de 1ère cas.

Tableau.III. 5: les résultat obtenue de 1ère cas

	Les valeurs calculées théoriquement	***Les valeurs mesurées par l'Arduino***
La tension (Volts)	***160.8***	***160.92***
Le courant (Ampères)	***1.56***	***1.59***
Facteur de puissance	***1***	***0.99***
La fréquence (Hertz)	***50***	***50.04***

2ème cas : Les valeurs mesurer par multimètre : V_{eff}*=130.9 V,* I_{eff}*=1.27 A, R=103.1 Ohms, et la charge résistive donc :*$\cos(\varphi)=1$.

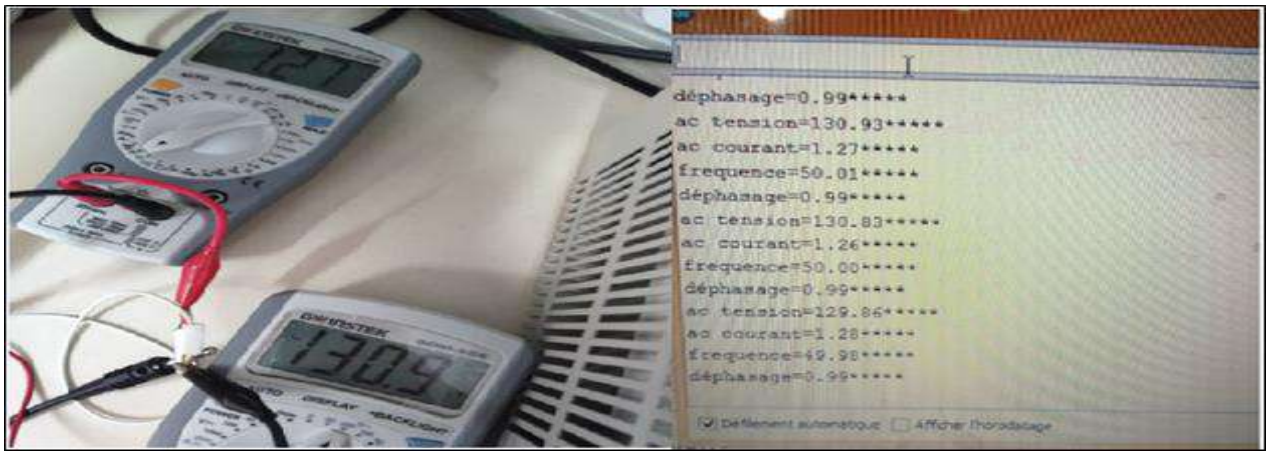


Figure.III. 19: les valeurs mesurées de 2ème cas.

Tableau.III. 6: les résultats obtenus de 2ème cas

	Les valeurs calculées théoriquement	***Les valeurs mesurées par l'Arduino***
La tension (Volts)	***130.9***	***Une valeur variable entre 130.93 et 129.86***
Le courant (Ampères)	***1.27***	***Une valeur variable entre 1.26 et 1.28***
Facteur de puissance	***1***	***0.99***
La fréquence (Hertz)	***50***	**≈ 50**

Remarque :

Après les deux dernières expériences, on constate que les valeurs obtenues sont de bonnes valeurs et que le taux d'erreur est faible, bien que les valeurs mesurées ne soient pas figées, mais elles sont proches des valeurs mesurées par le multimètre.

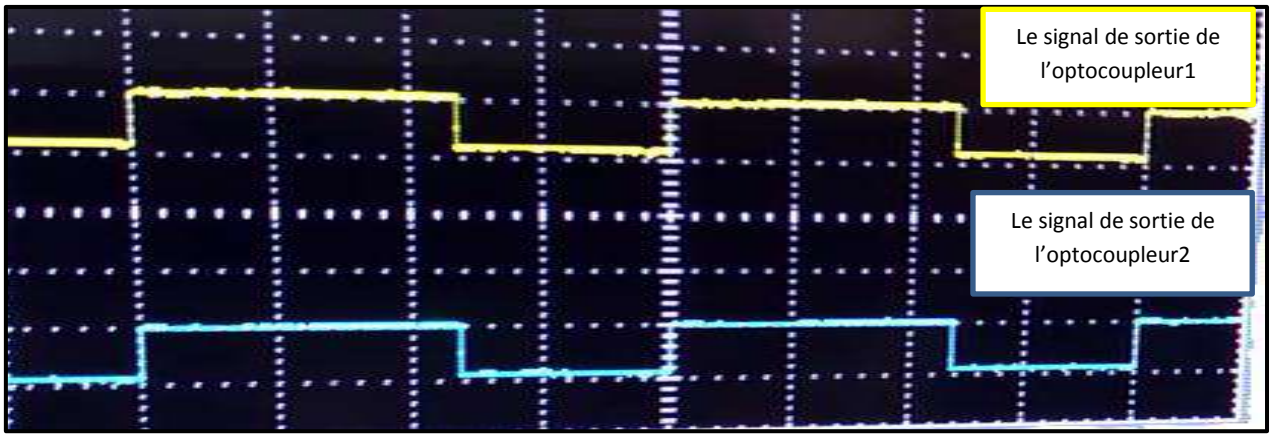


Figure.III. 20: le signal de sortie de l'optocoupleur1 et 2

III.4.Conclusion

Dans ce dernier chapitre, j'ai présenté la structure du circuit de mesure et son fonctionnement, à travers la structure du système de base et les éléments utilisés et la méthode de connexion, en plus des tests que j'ai effectués sur le programme de simulation Proteus, ainsi que le vrai circuit terminé, mais malheureusement je n'ai pas pu atteindre les résultats et l'objectif principale est de construire un compteur d'énergie de haute précision, et cela est dû à mon très modeste manque d'expérience et la limite du temps, mais malgré cela, je veux toujours terminer ce travail dans ma carrière universitaire.

Conclusion générale :

Les réseaux électriques sont l'un des plus grands systèmes construits par l'homme, en raison de c qu'ils contiennent d'éléments et de caractéristiques, et parmi ces éléments se trouvent les compteurs d'énergie, qui sont un appareil utilisé pour mesurer l'énergie consommée dans divers lieux et domaines, qu'ils soient domestiques ou industriel, et l'objectif de ce mémoire n'est pas seulement une étude de compteurs ou la réalisation d'un système de mesure de l'énergie consommée, mais aussi de proposer un prototype simple d'utilisation dans un premier temps. Dans mon projet, je suis principalement intéressé par l'étude et la mise en œuvre d'un système de comptage. Les informations sont obtenues par des capteurs de tension et de courant, et ces informations sont traitées par une carte Arduino.

Enfin, j'ai mis en place les circuits nécessaires pour mesurer l'énergie (tension, courant…) ainsi que l'énergie consommée pour n'importe quelle charge et j'ai fourni tous les éléments, les méthodes et étapes utilisées pour réaliser ce dispositif, mais je n'ai pas pu terminer la partie expérimentale (réalisation) de ce projet, par conséquent, mon travail s'est limité à donner les résultats des simulations auxquelles je suis parvenu.

Il serait bon de compléter l'investigation pratique. Il est proposé de poursuivre ce travail dans les projets suivants l'année prochaine, en profitant de l'étude et de la simulation que j'ai réalisée et en apprenant des erreurs qui s'y sont produites afin d'atteindre l'objectif et de commercialiser l'appareil.

Bibliographie

[1] كتاب الاردوينوا كما لم تعرفه من قبل

[2]كتاب الاردوينوا من البداية حتى الاحتراف (مستوى المبتدئ)

[3] Christian Travernier, Arduino 2e édition

[4] « ETUDE ET réalisation d'un COMPTEUR électrique Connecté à base de cartes arduino » Mémoire de Fin d'Etude de MASTER PROFESSIONNEL UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU

[5] « Etude et réalisation d'un compteur d'énergie intelligent » Mémoire MASTER UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

[6] SOUYAH Djihene Zouaouia et BERRICHI Sofiane, Etude et Réalisation d'un Wattmètre Electronique,Master, Université Abou Baker Belkaïd de Tlemcen 2017.

[7] François-Pascal NEIRAC et Robin GIRARD,Modélisation de la consommation électrique à partir de grandes masses de données pour la simulation des alternatives énergétiques du futur,l'Université de recherche Paris Sciences et Lettres PSL Research University,2017

[8] https://fr.wikipedia.org/wiki/Kilowatt-heure

[9] https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-compteur-intelligent-6952/

[10] https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/reseau-intelligent-smart-grid

[11] https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Hall .

[12] https://fr.wikipedia.org/wiki/Tarification_de_l%27%C3%A9lectricit%C3%A9

[13] « Réalisation d'un compteur d'énergie électrique numérique » mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme l'ingénieur HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES --TLEMCEN--

[14] https://www.ouedkniss.com/capteur-de-courant-acs758-50a-blida-algerie-electronique-electrom%C3%A9nager-d21380861?lang=fr

[15] https://en.wikipedia.org/wiki/Opto-isolator

[16] https://www.astuces-pratiques.fr/electronique/l-optocoupleur-principe-de-fonctionnement

[17] https://fr.rs-online.com/web/p/optocoupleurs/0597302/

[18] https://fr.wikipedia.org/wiki/Amplificateur_op%C3%A9rationnel

[19] datasheet LM324.

[20] https://techlib.fr/definition/logicgate.html

[21].https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D9%88%D8%A7%D8%A8%D8%A9_%D9%81%D8%B5%D9%84_%D8%A5%D9%82%D8%B5%D8%A7%D8%A6%D9%8A

[22] http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php