

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE SUPERIEURE EN SCIENCES APPLIQUEES  
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
École Supérieure en  
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Électrotechnique  
Spécialité : énergie et environnement.

Présenté par : REDHA AGADI

Thème

**Développement d'un dispositif de Télémessure  
temps réel dédié à la consommation  
de l'énergie électrique**

Soutenu publiquement, le 07 juillet 2019, devant le jury composé de :

M. BOUKLI-HACENE Fouad	MCA	ESSA. Tlemcen	Président
M. BENADDA Belkacem	Professeur	UNIV. Tlemcen	Directeur de mémoire
M. ABDELAOUI Ghouti	MCB	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
M. MEGNAFI Hichem	MCB	ESSA. Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2018 /2019



# DÉDICACE

Je dédie ce travail à celle sans qui je ne serais pas ce que je suis, à ma famille bien aimée.

Je dédie ce travail à tous ceux qui ont forgé l'histoire de l'humanité par la grandeur de leurs exploits.

# Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir guidé dans la réalisation de ce travail.

Mes vifs remerciements vont à mon promoteur **Mr.Belkacem BENADDA** pour avoir accepté de m'encadrer, pour leur disponibilité sans limites et leurs précieux conseils au cours de l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie **Mr.ROUISSAT Boucherit** pour son soutien qui ne date pas d'aujourd'hui.

Mes remerciements vont aux membres du jury **Mr.BOUKLI-HACENE Fouad,Mr. ABDELAOUI Ghouti, Mr.MEGNAFI Hichem**, qui ont accepté de juger mon modeste travail

Mes gratitudes vont aussi aux enseignants qui nous ont suivis tout au long de notre cursus universitaire.

Je remercie enfin les membres de ma famille qui ont toujours été à mes côtés pendant ce travaille et qui m'ont toujours encouragé.

Par ailleurs, je ne saurais oublier dans mes remerciements les personnels techniques et administratifs de l'ESSA-T

Mes remerciements ne seraient pas complets si j'oublie mes amis **Younes Karim,Abdelhak Zerguini,Riad Halim, Ahmed Slami ,Mohamed Djilali Elhadj Aissa** et tous les membres de techsquad club.

Enfin, j'exprime ma sincère reconnaissance à tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'élaboration de ce travail.

---

**Résumé** — L'objectif de projet est de développer un système embarqué qui mesure à distance la consommation d'énergie électrique instantanément. Nous proposons un dispositif permettant la mesure instantanée du courant et envoyer les informations à un serveur a distant. Dans ce cadre nous adoptons une étude sur les différents capteurs qui prend en compte divers critères nécessaires à la conception puis nous concevons l'étage dédiée à la mesure de courant en mode DC et AC. Les données mesurées ont été transmises en utilisant la technologie de communication avec un module radio qui rend la conception de l'étage de la télémesure triviale. La méthode abordée nous a permis de développer un système embarqué qui peut faire des mesures programmées périodiquement où a la demande. Le système créé peut être cloné à 255 points de mesures distants et être répartie sur un réseau de distribution avec un certain nombre d'innovations, la technologie numérique, les communications, le contrôle et un meilleur fonctionnement du réseau. Le système fournit aux clients beaucoup plus d'informations sur la manière dont ils utilisent l'énergie et les aide à réduire leur consommation.

**Mots clés :** Télémesure, consommation électrique, mesure de courant, compteur électrique.

---

**Abstract**— The future trend of electrical appliance is to rely more and more on wireless monitoring instead of cables connections, the project aims to develop an embedded system that remotely measures the consumption of electrical energy in real time. We propose a device able to measure the current instantaneously and send information to remote server. In this context we study various sensors that takes into account all criteria useful for the design. We have built stage dedicated to AC and DC current measurement. The measured data are transmitted using wireless module communication technology which help us on designing the telemetry stage. The method approach allowed us to develop an embedded system that can make periodically scheduled or demanded measurements. The created system can be cloned and distributed over electrical distribution network. We have included number of innovations, digital technology, communications, control and better network operation. The system provides customers with much more information on how they use energy and helps them reduce their consumption.

**Keywords :** Telemetry, power consumption, current measurement, electricity meter.

---

**ملخص :** الهدف من المشروع هو تطوير نظام مدمج يقيس أليا استهلاك الطاقة الكهربائية وعن بعد على الفور. في هذا البحث انشاء يسمح الجهاز المقترح بالقياس الفوري للتيار وإرسال المعلومات إلى حاسوب عبر شبكة الانترنت. في هذا السياق، نعتد دراسة على أجهزة الاستشعار المختلفة المخصصة لقياس التيار الكهربائي في كلتا الحالتين المتناوب والمستمر. تم إرسال البيانات المقاسة باستخدام تقنية الاتصال اللاسلكي التي تجعل تصميم مرحلة القياس عن بعد بسيطاً. النظام المدمج المقترح يمكنه إجراء قياسات مجدولة بشكل دوري. يمكن استنساخ النظام الذي تم إنشاؤه في ٢٥٥ نقطة قياس عن بعد وتوزيعها عبر شبكة توزيع التي قد تستغل في تكنولوجيا الرقمنة والتحكم وتشغيل أفضل للشبكة. يزود النظام العملاء بمزيد من المعلومات حول كيفية استخدامهم للطاقة ويساعدهم على تقليل استهلاكهم.

**الكلمات الدالة :** القياس عن بعد ، استهلاك الطاقة ، عداد الكهرباء ، قياس التيار.

---

# Table des Matières

<b>Table des Matières</b>	<b>i</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>iii</b>
Liste des figures . . . . .	iii
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1 COMPTEURS ELECTRIQUES</b>	<b>2</b>
1.1 Introduction . . . . .	3
1.2 Le compteur électrique . . . . .	3
1.3 Les types des compteurs électriques . . . . .	3
1.4 Calcule de l'énergie électrique . . . . .	7
1.5 Tarification . . . . .	8
1.6 La technologie CPL . . . . .	8
1.7 Carte à puce . . . . .	8
1.8 Microcontrôleur . . . . .	9
1.9 Conclusion . . . . .	9
<b>2 CAPTEUR ELECTRONIQUE POUR LA MESURE DE COURANT</b>	<b>10</b>
2.1 Introduction . . . . .	11
2.2 Mesure par résistance de Shunt . . . . .	11
2.3 Les capteurs par transformateurs du courant . . . . .	11
2.4 Les Capteurs magnéto-résistifs . . . . .	12
2.5 Le capteur courant fluxgate . . . . .	13
2.6 Le capteur à effet Hall . . . . .	14
2.7 Capteur de courant ACS712 . . . . .	15
2.8 Conclusion . . . . .	19
<b>3 INTERFACAGE AVEC ARDUINO</b>	<b>20</b>
3.1 Introduction . . . . .	21
3.2 La conversion des mesures liées au courant en DC et AC . . . . .	21
3.3 ARDUINO MEGA . . . . .	23
3.4 Organigramme . . . . .	27
3.5 Conclusion . . . . .	29
<b>4 LA COMMUNICATION SANS FIL AVEC NRF240L</b>	<b>30</b>
4.1 Introduction . . . . .	31
4.2 NRF24L01 (Émetteur-récepteur 2,4 GHz à puce unique) . . . . .	31
4.3 La réalisation du projet . . . . .	36
4.4 Le schéma du projet (fritzing) . . . . .	37
4.5 Organigrammes . . . . .	38
4.6 Conclusion . . . . .	41

<b>Conclusion générale</b>	<b>42</b>
4.7 Références . . . . .	43

# Liste des figures

## Liste des figures

1.1	Quelques types des compteurs électriques.	3
1.2	Fonctionnement du compteur d'énergie à induction	4
1.3	Fonctionnement du compteur électronique numérique	5
1.4	Fonctionnement du compteur d'énergie électroniques numérique.	6
1.5	Le compteur intelligent	7
1.6	La technologie CPL	8
1.7	Le schéma fonctionnel de la carte à puce	8
1.8	Les différents types de microprocesseur	9
2.1	Le circuit de base ampèremètre	11
2.2	Capteurs de transformateur de courant SCT-13	12
2.3	Capteur magnéto-résistif	12
2.4	U(t) est l'impulsion utilisée pour envoyer les impulsions rectangulaires au système et I (t) est la sortie de courant symétrique sur l'axe temporel	13
2.5	U (t) est l'impulsion utilisée pour envoyer les impulsions rectangulaires au système et I (t) est la sortie de courant avec l'élément CC sur l'axe temporel	13
2.6	Capteur de fluxgate de précision et logique	14
2.7	L'effet hall	14
2.8	Le principe de capteur d'effet de Hall1	15
2.9	ACS712 capteur de courant	16
2.10	Le diagramme des pins	17
2.11	Le Schéma fonctionnel Selon la fiche technique de ACS712.	18
3.1	La courbe d'un voltage alternative	21
3.2	La courbe d'un voltage alternative et continue	22
3.3	la courbe d'un alternative voltage	22
3.4	La méthode graphique	23
3.5	la conversion analogique numérique	24
3.6	Arduino mega avec acs712	25
3.7	La valeur de courant DC	25
3.8	La valeur de courant DC	26
3.9	Un signal bruité	26
3.10	La moyenne de mesure.	27
3.11	La courbe d'un voltage alternative	27
3.12	Organigramme pour la mesure de courant.	28
4.1	Module sans fil nRF24L01	31
4.2	nRF24L01 Réseau Multiceiver - Récepteur unique à émetteurs multiples.	32
4.3	Structure améliorée des paquets ShockBurs	33
4.4	les broches	33
4.5	le diagramme	34



4.6 la jonction entre arduino mega et nrf24l01 . . . . .	35
4.7 la jonction entre plusieurs nrf24l01 . . . . .	36
4.8 Master (la réception) . . . . .	37
4.9 Node1 charge DC ou AC . . . . .	38
4.10 Organigramme pour la communication,Master (recevoir) . . . . .	39
4.11 Organigramme pour la communication,Slave (envoi) . . . . .	40

# Introduction générale

Le monde de l'énergie dispose actuellement plusieurs méthodes, outils pour le comptage électrique et beaucoup de progrès ont été effectué (software et hardware) permettant d'améliorer la mesure de l'électricité et de manière fiable. Il existe plusieurs types de compteurs électriques qui peuvent assurer un meilleur comptage électrique pour une meilleure gestion de l'énergie (Mieux compter l'énergie pour mieux la gérer). En effet, si vous connaissez votre consommation, vous êtes capable d'économiser l'énergie et En contrôlant totalement votre consommation, vous pourrez réduire vos émissions de CO2.

Ce travail consiste à réaliser un dispositif de télémesure a temps réel dédié à la consommation de l'énergie électrique. Tout d'abord nous allons présenter dans le premier chapitre, un historique sur les compteurs électriques en citant les différents types, le mode de fonctionnement : analogique, numérique, les approches utilisées pour le calcul de l'énergie électrique. Ensuite, dans un deuxième chapitre, nous allons montrer les techniques courantes utilisées pour la mesure du courant associée avec la consommation de l'énergie électrique et nous proposons d'utiliser le capteur ACS712 et le circuit de connexion utilisé avec ce dernier et Arduino. Le troisième chapitre, présente le développement du firmware Arduino utilisé pour la mesure en continu du courant en mode AC et DC. Enfin dans le quatrième chapitre nous élaborerons un moyen de communication via un protocole radio qui totalement différent du wifi qui opère dans la même bande passante nommé ShockBurst.

## **Chapitre 1**

# **COMPTEURS ELECTRIQUES**

## 1.1 Introduction

la tarification de l'électricité peut inciter les entreprises à réduire leur consommation d'énergie. Pour réduire les factures d'électricité, il est essentiel de permettre aux clients de mieux comprendre quand et où l'électricité est consommée, un avantage clé qui favorise la prolifération des compteurs d'électricité intelligents. En effet, L'installation de compteurs d'énergie aide les clients résidentiels à comprendre la consommation d'énergie à domicile. Beaucoup plus, les données sur la consommation d'énergie fournies par ces appareils, peuvent être utilisées pour améliorer les installations et limiter les pertes d'énergie. Les affichages sans fil de ces compteurs d'énergie peuvent informer en temps réel sur les coûts de la consommation d'énergie et aider les clients à planifier leur consommation, Ce chapitre présente une étude sur le fonctionnement des différents types des compteurs électriques.

## 1.2 Le compteur électrique

un compteur électrique est un appareil utilisé pour mesurer des quantités électriques ou L'énergie électrique consommée par la charge quel que soit son type, de sorte que la quantité de consommation mesurée apparaît comme une mesure enregistrée ou affichée sur un écran numérique. Il existe plusieurs types de compteurs : (Électromécanique (avec disque rotatif) et électronique compteur intelligents (linky)).

Le compteur d'électricité est composé de deux fonctions principales :

- Mesurer l'intensité instantanée.
- Mesurer la tension.

La Consommation d'électricité calculée dans le compteur électromécanique, Sur la base des cycles du disque en rotation, par exemple, dans le mode analogue Mètre : 1 kilowattheure est calculé à la fin du 25 cycle, où cette norme peut être vue à travers la plaque avant du compteur.[1]

## 1.3 Les types des compteurs électriques

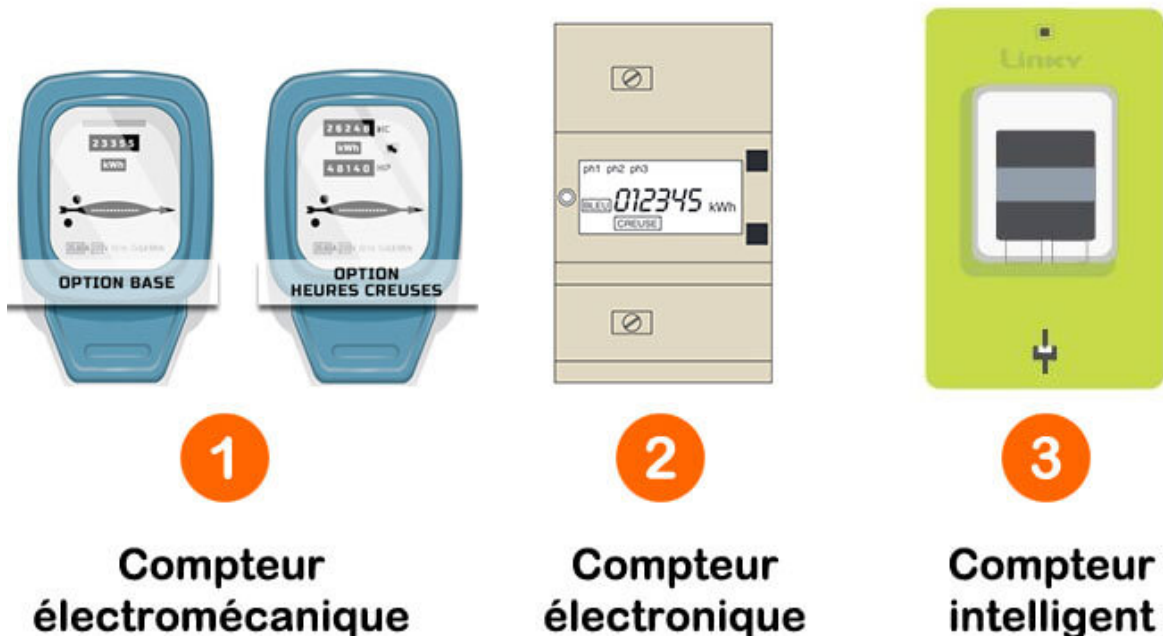


Figure 1.1 – Quelques types des compteurs électriques.[20]

### 1.3.1 Le compteur électrique classique à induction

c'est le type le plus connu et le plus répandu du compteur d'heures en heures. Il consiste en un disque en aluminium rotatif monté sur un axe entre deux électro-aimants. La vitesse de rotation du disque est proportionnelle à la puissance et cette puissance est intégrée par l'utilisation d'un mécanisme de compteur et de trains d'engrenages. Il est composé de deux électroaimants stratifiés en acier au silicium, c'est-à-dire des aimants en série et des aimants shunt. L'aimant en série porte une bobine composée de quelques tours de fil épais connecté en série avec la ligne, tandis que l'aimant shunt porte une bobine avec de nombreux tours de fil fin connectés à travers l'alimentation. L'aimant cassant est un aimant permanent qui applique la force opposée à la rotation normale du disque pour le déplacer en position équilibrée et pour arrêter le disque lorsque l'alimentation est coupée. La série d'aimants produit le flux proportionnel au courant et l'aimant parallèle produit le flux proportionnellement à la tension. Ces deux flux ont un décalage de 90 degrés en raison de leur nature inductive. L'interaction de ces deux champs produit un courant de Foucault dans le disque, en exerçant une force proportionnelle au produit de la tension instantanée, du courant et du déphasage entre eux.

La broche verticale ou l'arbre du disque en aluminium est relié à un mécanisme qui enregistre un nombre proportionnel au nombre de tours du disque. Cette disposition des engrenages définit le numéro dans une série de cadrans et indique l'énergie consommée au fil du temps. Ce type de compteur est simple dans sa construction et la précision est un peu moindre en raison du fluage et d'autres champs externes. Un problème majeur avec ces types de compteurs est leur risque facile de falsification, ce qui nécessite un système de surveillance de l'énergie électrique. Ceux-ci sont très couramment utilisés dans les applications domestiques et industrielles. Ce modèle ne permet pas d'obtenir d'une façon précise la quantité d'électricité consommé.[1]

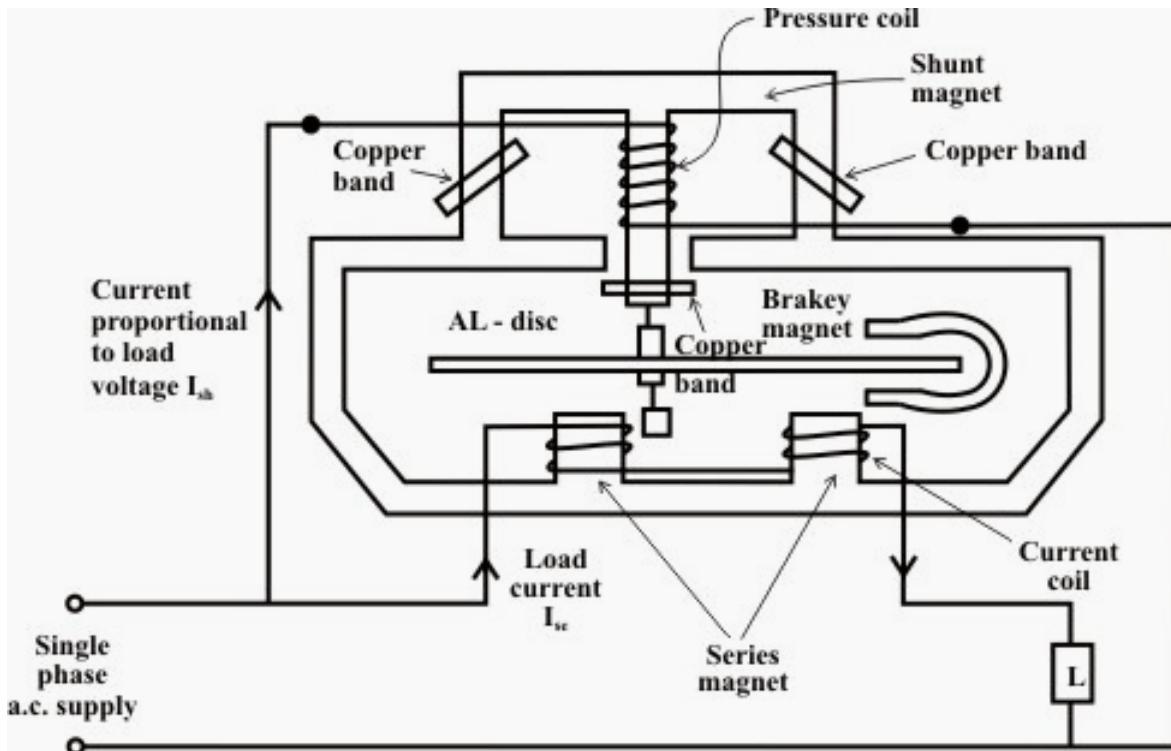


Figure 1.2 – Fonctionnement du compteur d'énergie à induction.[21]

L'équation de vitesse qui est proportionnelle a le couple électrique :

$$E = KVI \sin(a) \tag{1.1}$$

ou

$C_m$  = le couple électrique.

$V$  = Valeur efficace de la tension appliquée.

$K$  = constante du système.

$I$  = Valeur efficace du courant consommé.

$a$  = déphasage entre les flux générés par  $V$  et  $I$ .

### 1.3.2 Le Compteur électronique numérique

Il s'agit d'instruments de mesure précis, de haute précision et fiables par rapport aux compteurs mécaniques classiques. Il consomme moins d'énergie et commence à mesurer instantanément lorsqu'il est connecté à une charge. Ces compteurs peuvent être analogiques ou numériques. Dans les compteurs analogiques, la puissance est convertie en fréquence proportionnelle ou en fréquence du pouls et elle est intégrée par des compteurs placés à l'intérieur. Dans les compteurs électriques numériques, la puissance est mesurée directement par un processeur haut de gamme. La puissance est intégrée par des circuits logiques pour obtenir de l'énergie et également à des fins de test et d'étalonnage. Il est ensuite converti en fréquence ou en fréquence du pouls.[1]

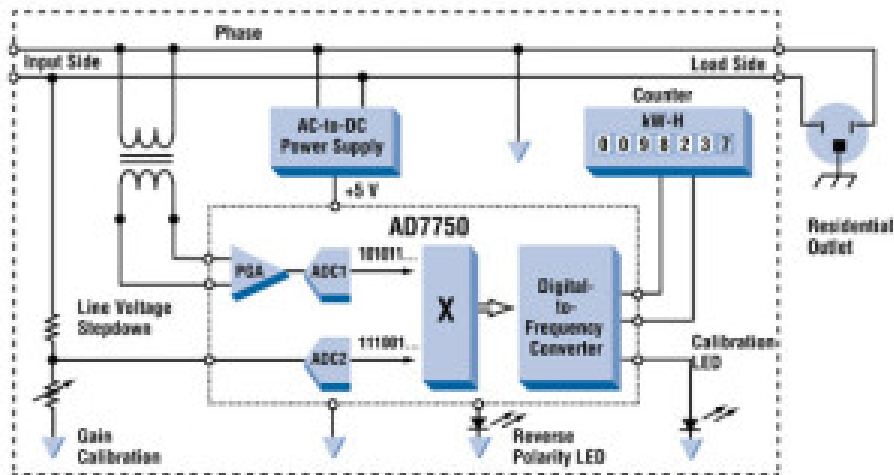


Figure 1.3 – Fonctionnement du compteur électronique numérique.[21]

#### 1.3.2.1 Compteurs d'énergie électroniques analogiques

Dans les compteurs de type analogique, les valeurs de tension et de courant de chaque phase sont obtenues par des diviseurs de tension et des transformateurs de courant, qui sont directement connectés à la charge, comme indiqué sur la figure. Le convertisseur analogique-numérique convertit ces valeurs analogiques en échantillons numérisés, puis est converti en signaux de fréquence correspondants par convertisseur de fréquence. Ces impulsions de fréquence commandent ensuite un mécanisme de comptage dans lequel ces échantillons sont intégrés au fil du temps pour produire la consommation d'électricité..[1]

#### 1.3.2.2 Compteurs d'énergie électroniques numériques

Des processeurs de signaux numériques ou des microprocesseurs à haute performance sont utilisés dans les compteurs électriques numériques. Semblables aux compteurs analogiques, les transducteurs de tension et de courant sont connectés à un CAN haute résolution. Une fois les signaux analogiques convertis en échantillons numériques, les échantillons de tension et de courant sont multipliés et intégrés par des circuits numériques pour mesurer l'énergie consommée.[1]

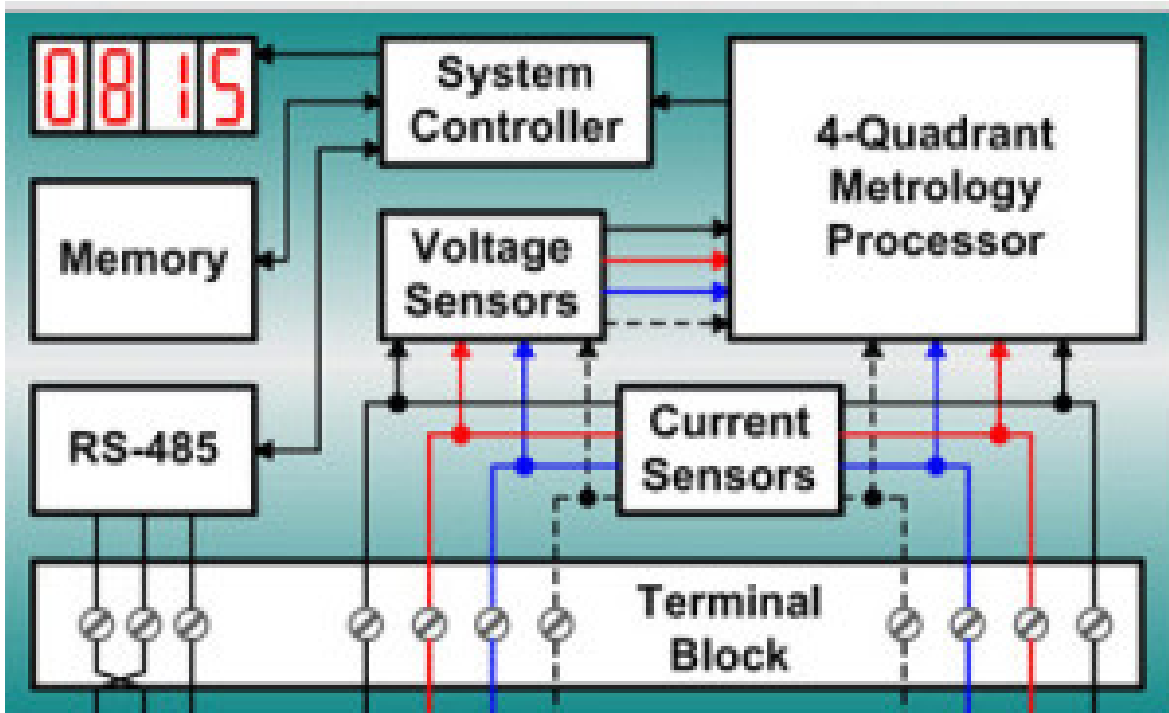


Figure 1.4 – Fonctionnement du compteur d'énergie électroniques numériques.[21]

Le microprocesseur calcule également l'angle de phase entre la tension et le courant, de sorte qu'il mesure et indique également la puissance réactive. Il est programmé de telle sorte qu'il calcule l'énergie en fonction du tarif et d'autres paramètres tels que le facteur de puissance, la demande maximale, etc. et stocke toutes ces valeurs dans une mémoire EEPROM non volatile.

Il contient une horloge en temps réel (RTC) pour le calcul du temps d'intégration de la puissance, des calculs de la demande maximale ainsi que des horodatages de date et d'heure pour des paramètres particuliers. De plus, il interagit avec l'affichage à cristaux liquides (LCD), les appareils de communication et les autres sorties de compteur. Une batterie est fournie pour le RTC et d'autres périphériques importants pour l'alimentation de secours.

### 1.3.3 Le Compteur intelligent

C'est une technologie de comptage avancée qui consiste à placer des compteurs intelligents pour lire, traiter et renvoyer les données aux clients. Il mesure la consommation d'énergie, commute à distance l'alimentation des clients et contrôle à distance la consommation d'électricité maximale. Le système de comptage intelligent utilise la technologie de système d'infrastructure de comptage avancée pour de meilleures performances. Ceux-ci est capable de communiquer dans les deux sens. Ils peuvent transmettre les données aux utilitaires tels que la consommation d'énergie, les valeurs des paramètres, les alarmes, etc., et recevoir des informations provenant d'utilitaires tels que le système de lecture automatique des compteurs, les instructions de reconnexion / déconnexion, la mise à jour du logiciel du compteur et d'autres messages importants. Ces compteurs réduisent le besoin de visiter tout en prenant ou en lisant une facture mensuelle. Les modems sont utilisés dans ces compteurs intelligents pour faciliter les systèmes de communication tels que les communications téléphoniques, sans fil, par câble à fibres optiques et de lignes électriques. Un autre avantage des compteurs intelligents est l'évitement complet de la falsification des compteurs d'énergie lorsqu'il est possible d'utiliser l'alimentation de manière illégale.[9]



Figure 1.5 – Le compteur intelligent.[22]

## 1.4 Calcule de l'énergie électrique

Mesure de la tension, le courant, la fréquence.

### 1.4.1 La tension

C'est la mesure de l'accumulation de charges nécessaires pour créer un potentiel électrique dans un conducteur. L'unité est (volt, V). Pour la mesure de tension il existe plusieurs méthodes parmi eux l'utilisation de transformateur abaisseur avec un bloc de conditionnement.

### 1.4.2 Le courant

c'est le flux d'électrons circulant dans le conducteur. L'unité est (ampèremètre, A). La consommation domestique nécessite pas un courant plus élevé (max 30A), L'utilisation donc d'un simple shunt de courant nous permettra de mesurer le courant consommé.

### 1.4.3 La fréquence

c'est le nombre de fois qu'un phénomène périodique se reproduit par unité de mesure du temps. L'unité (Hertz,H). Rajoute un détecteur de passage par zéro a base d'un amplificateur opérationnel. Il suffit alors de compter le temps entre chaque deux passage par zéro, on obtient ainsi la période.

### 1.4.4 Calcule de l'énergie

L'instrument doit être en mesure de calculer l'énergie électrique consommée en temps réel à partir des quantités mesurées par l'installation réceptrice. La valeur de l'énergie calculée doit être périodiquement cumulée avec l'énergie calculée précédemment. Dans les systèmes électriques, le calcul de l'énergie est basé sur la quantité de courant en ampères via un conducteur (I) et le potentiel ou la tension électrique (V), L'équation générale pour calculer la consommation d'un client en calculant le temps de consommation.[4]

$$E = P * t = V * I * t. \quad (1.2)$$



## 1.5 Tarification

le système de tarification en Algérie a été défini par La Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz (CREG) et se résume dans les tarifs suivant. voir annexe.

## 1.6 La technologie CPL

Grâce à la technologie PLC à haute vitesse, les données informatiques peuvent être transmises via le réseau électrique, un réseau local étendu ou un accès Internet existant partagé par des prises électriques. PLC est basé sur la superposition d'un signal de fréquence plus élevée (bande de 1,6 à 30 MHz) et une basse énergie avec signal électrique de 50 Hz. Sur le système électrique, ce deuxième signal peut être transmis et décodé à distance. Le récepteur CPL à connecteur d'entrée intégré élimine les composants de basse fréquence avant le traitement du signal.[7]

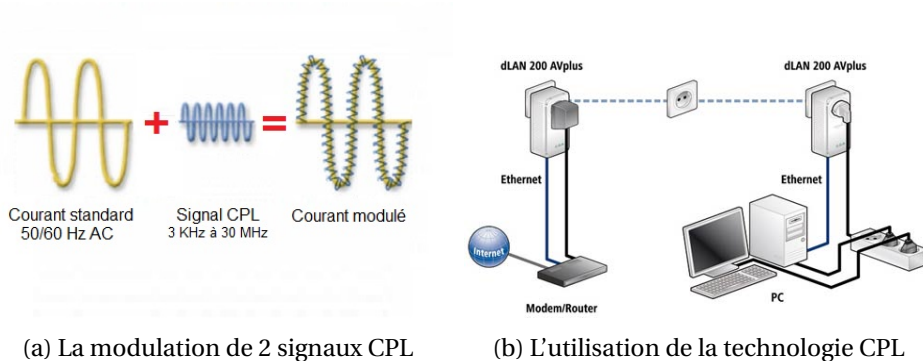


Figure 1.6 – La technologie CPL.[23]

## 1.7 Carte à puce

Une carte à puce est un rectangle en plastique de 1 mm d'épaisseur doté d'un circuit intégré, Il combine un microprocesseur (8 bits et 4 MHz), une ROM, une mémoire de stockage et une RAM de taille variable en fonction de la somme et de la complexité des données. la carte peut stocker des informations en toute sécurité.[4]

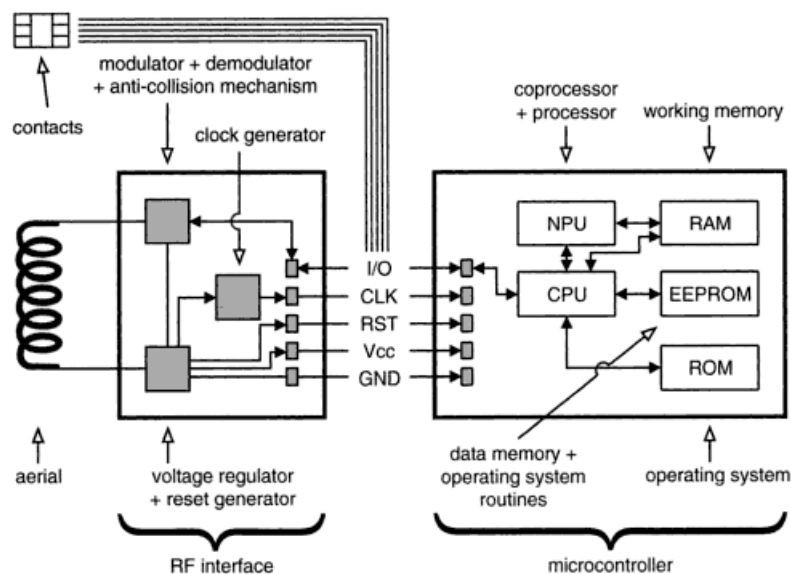


Figure 1.7 – Le schéma fonctionnel de la carte à puce.[24]

## 1.8 Microcontrôleur

Un microcontrôleur est un circuit intégré combinant un microprocesseur, différents types de mémoire et des dispositifs de communication (entrées-sorties) dans un même boîtier. Il est entièrement autonome capable de remplir toutes les fonctions du système, y compris les composants décrits précédemment (signaux, données).[9]

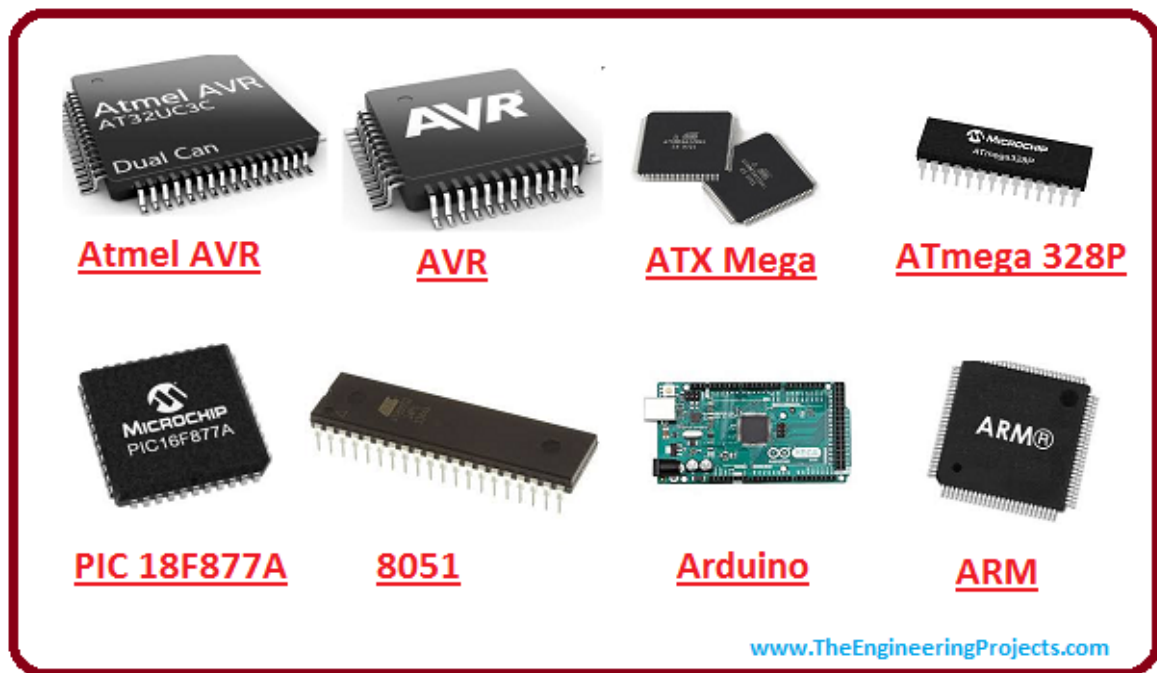


Figure 1.8 – Les différents types de microprocesseur.[25]

## 1.9 Conclusion

Il est évident que les compteurs dédiés à la mesure de l'énergie électrique jouent un rôle primordial dans la gestion de la consommation des individus et la valorisation matérielle des efforts produits par entreprises de distribution de cette énergie. Actuellement différentes technologies sont utilisées pour leurs fabrication. Les compteurs qui sont du type électronique permettent d'avoir des mesures instantanées et précises. Dans le chapitre suivant nous allons aborder les capteurs électroniques dédiées à la mesure du courant électrique.

## **Chapitre 2**

# **CAPTEUR ELECTRONIQUE POUR LA MESURE DE COURANT**

## 2.1 Introduction

Il existe différentes manières pour mesurer le courant, le voltage et la consommation de l'énergie électrique. Leurs propriétés relatives, telles que la nécessité de disposer d'une connexion avec le réseau sujet de la mesure, du type de signal de sortie, et de la précision désirée. Dans ce chapitre nous allons donner un aperçu sur les méthodes traditionnelles dédiée à la mesure du courant électrique et montre plus en détail les types nouveaux des capteurs du courant. Plus particulièrement ceux qui exploitent l'effet Hall avec concentrateurs de champ, capteurs à grille de flux, capteurs de transformateur de courant, Capteurs magnéto-résistifs ainsi.

## 2.2 Mesure par résistance de Shunt

Le courant peut être mesuré par la diminution de la tension sur une résistance shunt, Si la puissance d'une charge réactive doit être mesurée, le déphasage entre tension et courant doit également être observé. La consommation d'énergie est déterminée en intégrant le produit de la tension et du courant sur la période de mesure. Dans les compteurs modernes, ceci est réalisé en utilisant des circuits intégrés spécifiques.

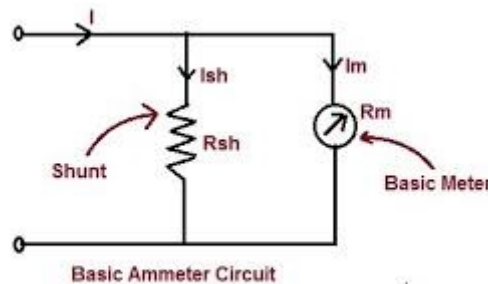


Figure 2.1 – Le circuit de base ampèremètre .[26]

## 2.3 Les capteurs par transformateurs du courant

Les capteurs par transformateur du courant sont basés sur la mesure du champ magnétique autour d'un conducteur de courant. Dans ce cas le transformateur du courant a besoin d'une tension de fonctionnement car la bobine est un composant passif incapable de mesurer le courant continu (CC). Le signal de sortie d'un transformateur de courant peut être une tension ou un courant. La mesure est effectuée à partir d'une résistance considérée comme charge. Une diode de protection est prévue pour limiter les surtensions dues aux effets inductifs de la bobine. Exemple le transformateur de courant à pince SCT-13 présenté à la figure 2.2 dessous. En termes de précision, l'inconvénient de l'utilisation d'une bobine en tant que capteur est sa tendance à résister à toute modification du courant qui la traverse. Un sous-type intéressant des capteurs à base de transformateur est dit Rogowski-coil. Il est flexible et peut donc être installé dans des espaces étroits. Les bobines de Rogowski sont utilisées par exemple avec des compteurs mobiles et portatifs lors de la mesure de courants sans connexion galvanique.[1]



Figure 2.2 – Capteurs de transformateur de courant SCT-13 .[1]

## 2.4 Les Capteurs magnéto-résistifs

La magnétorésistance est une propriété d'une résistance qui modifie la valeur de sa résistance électrique lorsqu'un champ magnétique externe lui est appliqué. Elle a été découverte par William Thomson (devenu Lord Kelvin) en 1857, Il a utilisé des morceaux de fer et de nickel comme sujets de test dans un champ magnétique et a découvert une magnétorésistance anisotrope (AMR).il existe d'autres types des magnétorésistances comprennent par exemple les magnétorésistances géantes (GMR) et colossales (CMR) et le dispositif d'interférence quantique supraconducteur (SQUID). À la température ambiante, la résistance anisotrope dans les alliages Ni-Fe et Ni-Co peut être supérieure à 5%.La base théorique prend en compte le couplage orbite de spin et la division de bande. D'autres propriétés telles que la perméabilité, la magnétostriction et la tension de Hall n'ont pas de relation simple avec magnétorésistance. La magnétorésistance anisotrope a une utilisation importante en tant que détecteur de champ magnétique pour l'enregistrement numérique et les bulles magnétiques. La magnétorésistance géante peut être obtenue en utilisant des couches magnétiques et non magnétiques. Il peut être important à la température ambiante et croître une fois refroidi.[1]



Figure 2.3 – Capteur magnéto-résistif.[9]

## 2.5 Le capteur courant fluxgate

Les capteurs à grille de flux sont basés sur l'hystérésis du matériau de perméabilité. Le matériau est entraîné jusqu'au point de saturation à l'aide d'impulsions à onde carrée. Le champ magnétique externe est connecté à une bobine supplémentaire traçant la courbe d'hystérésis. Lors de la détection du courant, la bobine pour tracer la courbe d'hystérésis ne peut avoir qu'un tour, par ex. il est enfilé dans un toroïde à haute perméabilité. Le signal de sortie est le résultat combiné des deux bobines, souvent mesuré avec une troisième bobine, donnant des impulsions au champ magnétique externe. La figure 2.4 montre la sortie de courant sans champ magnétique externe et la figure 2.5 montre la sortie résultante dans le cas d'un champ magnétique externe existant avec élément à courant continu.[1]

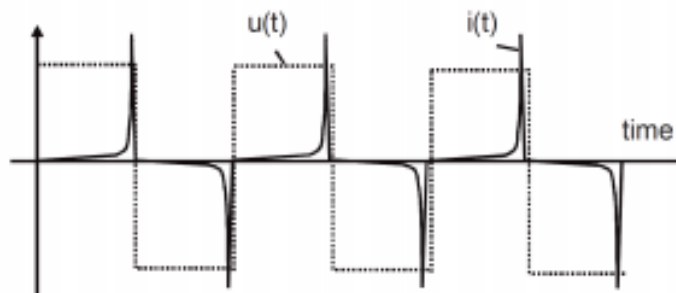


Figure 2.4 –  $U(t)$  est l'impulsion utilisée pour envoyer les impulsions rectangulaires au système et  $I(t)$  est la sortie de courant symétrique sur l'axe temporel.[1]

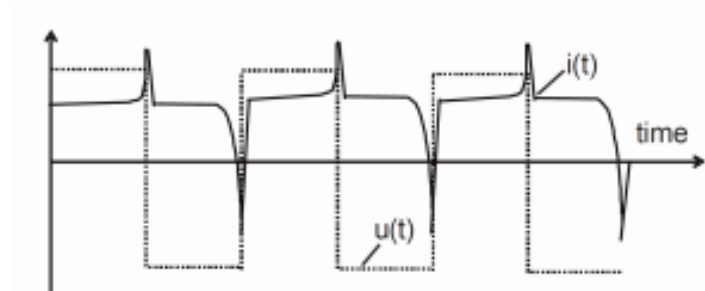


Figure 2.5 –  $U(t)$  est l'impulsion utilisée pour envoyer les impulsions rectangulaires au système et  $I(t)$  est la sortie de courant avec l'élément CC sur l'axe temporel.[1]

La figure 2.6, présente un capteur à grille de flux de précision. Les impulsions du signal de sortie peuvent être arrondies à la sinusoïde avec des condensateurs et la boucle de contre-réaction négative normale peut être mise en œuvre avec une quatrième bobine pour améliorer la précision. Les capteurs à grille de flux sont souvent très précis et sensibles par rapport aux capteurs à effet Hall ou aux transformateurs de courant.



Figure 2.6 – Capteur de fluxgate de précision et logique.[9]

## 2.6 Le capteur à effet Hall

L'effet Hall provoqué par la force de Lorenz peut être observé comme une différence de tension car il provoque un courant circulant dans un champ magnétique qui s'écarte de la direction d'origine. La différence de tension est observée parallèlement à la déviation. Le principe d'un capteur de Hall est illustré à la figure 2.7. L'effet Hall a été découvert par Edwin Hall avec une fine plaque d'or. Plus tard, l'effet Hall s'est révélé plus fort sur les semi-conducteurs. Bien que la plupart des capteurs à effet Hall soient utilisés pour détecter la présence d'une contrepartie magnétique, certains d'entre eux sont spécialement conçus pour mesurer le courant. Un capteur à effet Hall est alimenté en courant constant et toute déviation dans le champ magnétique indique une différence de tension.[9]

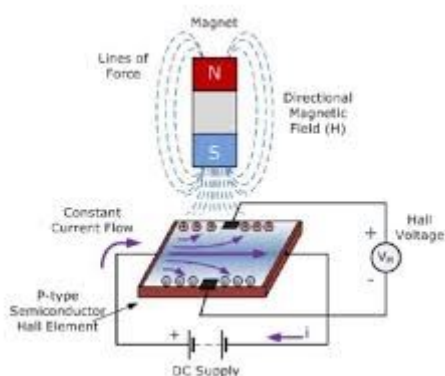


Figure 2.7 – L'effet hall.[9]

### 2.6.1 Le principe de capteur d'effet de Hall

Le champ magnétique oblige les électrons à s'écarter de la ligne droite entre le haut et le bas de la plage conductrice, provoquant une différence de tension directement proportionnelle à l'intensité du courant.

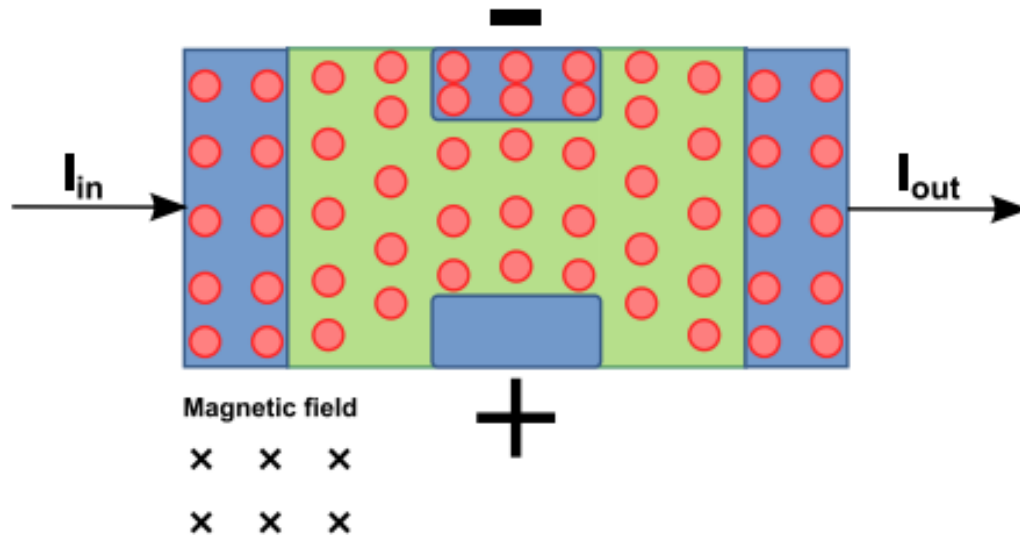


Figure 2.8 – Le principe de capteur d'effet de Hall1.[9]

### 2.6.2 Les avantages des capteurs à effet Hall

- Une connexion galvanique au sujet observé n'est pas nécessaire à moins que la tension soit également mesurée.
- Pas de tension de mode commun pour compliquer la conception du circuit du compteur.
- Pas de digression de tension typique pour shunter les résistances, donc pas de perte d'énergie significative.

En particulier, l'absence de connexion galvanique au sujet de la mesure est un avantage considérable lors de la mesure de tensions élevées. Un capteur à effet Hall permet d'utiliser une alimentation régulière et d'avoir l'ensemble du circuit de mesure sous une tension de sécurité sans risque de choc électrique. Un inconvénient qui est la mesure du simple courant facilite le calcul de la puissance apparente uniquement. la précision du capteur de Hall peut être améliorée, la sensibilité aux bruits externes peut être réduite en plaçant un chemin de haute perméabilité au flux magnétique autour du conducteur de courant, par exemple: un tore en ferrite. La ferrite doit être entièrement coupée là où le capteur de Hall est installé, afin de ne pas laisser un flux magnétique contourner par le chemin de la ferrite. De plus, le conducteur mesuré doit être installé aussi près que possible du centre de la ferrite afin d'éviter toute fuite de flux magnétique de la ferrite. La sensibilité peut être améliorée en utilisant des matériaux de forme toroïdale à perméabilité, en ménageant de minces espaces pour les pièces sensibles aux tores et en faisant passer le conducteur de courant à plusieurs reprises à travers le tore. Il existe à la fois des versions en boucle fermée et en boucle ouverte.

## 2.7 Capteur de courant ACS712

Le module de capteur de courant est un appareil utilisé pour effectuer des mesures de courant. Ce capteur possède trois broches : VCC, GND et OUT. Lorsque le capteur détecte un flux de courant,



il émet un signal de sortie analogique (tension) qui décroît de manière linéaire avec le courant détecté. Ce capteur peut être utilisé dans une grande variété d'applications, notamment les circuits de protection contre les surintensités, les chargeurs de batterie, les alimentations à découpage, les wattmètres numériques, les sources de courant programmables. Le capteur de courant ACS712 utilisé est un capteur de courant à effet Hall. Il fournit un signal de sortie analogique de 0-5V en établissant une connexion en série avec la ligne dont le courant doit être mesuré. La raison de choisir ce modèle sont moins chères, une consommation d'énergie négligeable et compatibles Arduino. [5]

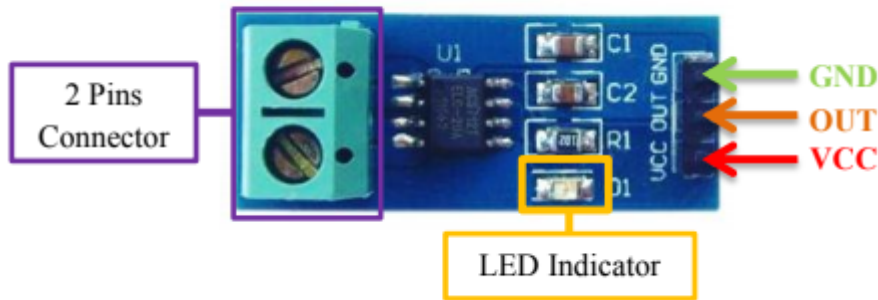


Figure 2.9 – ACS712 capteur de courant[5]

### 2.7.1 Caractéristiques

- Tension d'entrée : DC 5V.
- Sortie : analogique.
- Version : 30 ampères (A).
- Sensibilités : 66mV / A.
- Plage de courant de mesure jusqu'à  $\pm 30A$ .

### 2.7.2 La Définition des Pins

Broche	Description	Fonction
VCC	+5V	Connecter à + 5V
OUT	Sortie analogique	Connectez-vous à la broche analogique du microcontrôleur Quand le courant a augmenté la tension mesurée par le capteur sera diminuée.
GND	La terre	Connecter à la terre
Les 2 pins connecteurs	Broche d'interface	Connectez en série à la charge.

### 2.7.3 Selon la fiche technique du ACS712

#### 2.7.3.1 Caractéristiques et avantages

- Chemin du signal analogique à faible bruit.
- La bande passante de l'appareil est définie via la nouvelle broche FILTER.
- Temps de montée en sortie de 5 s en réponse au courant d'entrée échelonné.
- bande passante 80 kHz.
- Erreur de sortie totale 1,5% à TA = 25 ° C.
- Paquet SOIC8 compact et peu encombrant.
- résistance du conducteur interne de 1,2 m.

- Tension d'isolement minimale de 2,1 kV RMS des broches 1 à 4 aux broches 5 à 8.
- 5,0 V, alimentation simple.
- sensibilité de sortie de 66 à 185 mV / A.
- Tension de sortie proportionnelle aux courants alternatifs ou continus.
- ajusté en usine pour plus de précision.
- Tension de décalage de sortie extrêmement stable.
- Hystérésis magnétique presque nulle.
- sortie radiométrique de la tension d'alimentation.

### 2.7.3.2 Application typique

Application. L'ACS712 émet un signal analogique,  $V_{out}$  qui varie linéairement avec le courant alternatif ou continu unidirectionnel ou le courant primaire échantillonné bidirectionnel,  $I_p$ , dans la plage spécifiée. Cf est recommandé pour la gestion du bruit, avec des valeurs qui dépendent de l'application.[5]

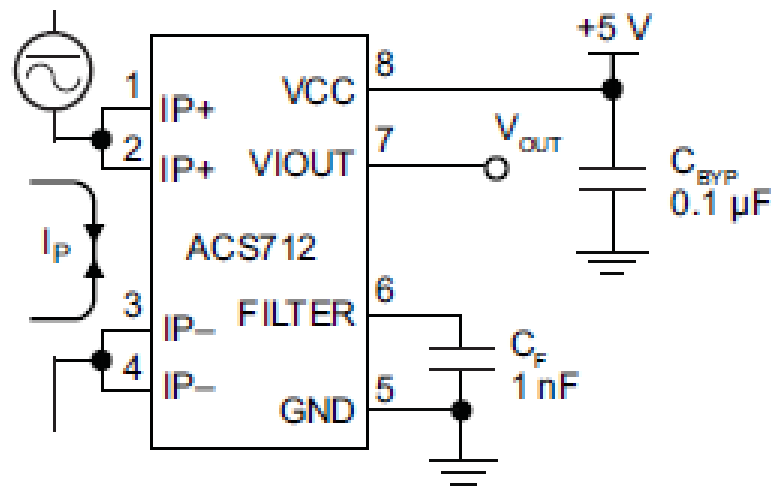
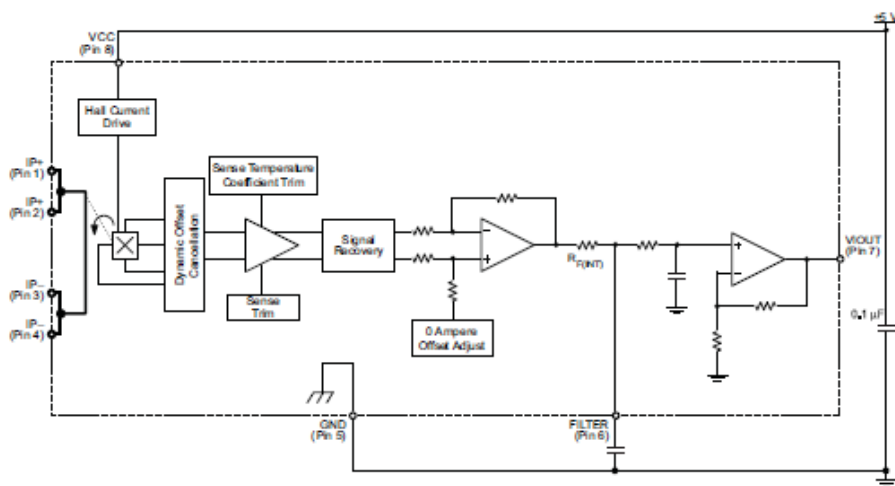
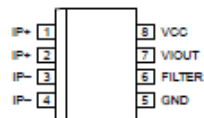


Figure 2.10 – Le diagramme des pins.[5]

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

Figure 2.11 – Le Schéma fonctionnel Selon la fiche technique de ACS712.

## 2.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les différents types de capteurs de courants, et nous avons abordé les aspects se relative au fonctionnement de différents types de capteurs, en mettant le point sur le capteur a effet d'Hall utiliser dans ce projet. Nous avons exprimé la mesure maximale, les limites fréquentielles et les paramètres influençâtes. Dans le chapitre suivant nous allons interfacer le capteur qui fournis une mesure analogique avec arduino mega et étudier les caractéristiques de mesure avec des signaux DC et AC.

## **Chapitre 3**

# **INTERFACAGE AVEC ARDUINO**

### 3.1 Introduction

La mesure de la consommation plus particulièrement celle liée au courant électrique nécessite un capteur. Le plus souvent ces derniers fournissent une tension proportionnelle au courant qui les traverse. Une étude approfondie de la consommation, nécessite l'analyse numérique des différentes mesures en temps réel. Dans le présent chapitre nous allons mettre en pratique les composants choisis pour ce projet en déterminant les méthodes précises pour mesurer le courant en alternatif AC et en continu DC. Nous avons choisi le capteur acs712 interfacé avec une carte Arduino Mega. Nous nous sommes particulièrement intéressés à la mesure instantanée du courant continu et alternatif.

## 3.2 La conversion des mesures liées au courant en DC et AC

### 3.2.1 La différence entre DC et AC

#### 3.2.1.1 Le courant alternatif (AC)

Le courant alternatif (AC) circule dans un sens puis dans l'autre, inversant continuellement le sens. Une tension alternative change continuellement entre positif (+) et négatif (-). Le taux de changement de direction s'appelle la fréquence du courant alternatif et il est mesuré en hertz (Hz), qui correspond au nombre de cycles d'avant en arrière par seconde. L'électricité principale en Algérie a une fréquence de 50Hz. Une alimentation en courant alternatif convient pour alimenter certains appareils tels que les lampes et les appareils de chauffage, mais presque tous les circuits électroniques nécessitent une alimentation en courant continu.[4]

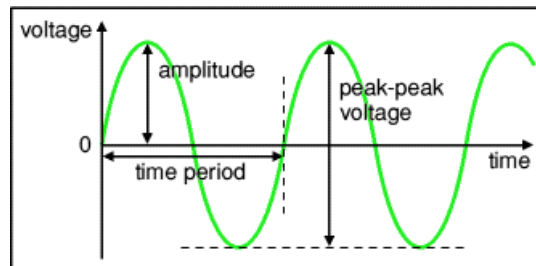


Figure 3.1 – La courbe d'un voltage alternative.[4]

#### 3.2.1.2 Le courant alternatif (DC)

Le courant continu (DC) circule toujours dans le même sens, mais il peut augmenter et diminuer. Une tension continue est toujours positive (ou toujours négative), mais elle peut augmenter et diminuer. Les circuits électroniques nécessitent normalement une alimentation continue constante à une valeur ou une alimentation continue lisse ne présentant qu'une faible variation appelée ondulation. Les cellules, les batteries et les alimentations régulées fournissent un courant continu constant, idéal pour les circuits électroniques. Les alimentations contiennent un transformateur qui convertit l'alimentation secteur en une alimentation basse tension sécurisée. Le courant alternatif est ensuite converti en courant continu par un pont redresseur, mais la sortie varie en courant continu, ce qui ne convient pas aux circuits électroniques. Certaines alimentations incluent un condensateur pour fournir un courant continu lisse qui convient aux circuits électroniques moins sensibles. Les lampes, les chauffages et les moteurs fonctionneront avec n'importe quelle alimentation en courant continu.[4]

### 3.2.2 RMS

Le terme "RMS" signifie "racine-moyenne-carrée". La plupart des livres définissent ce phénomène comme «la quantité de courant alternatif produisant le même effet de chauffage qu'un courant

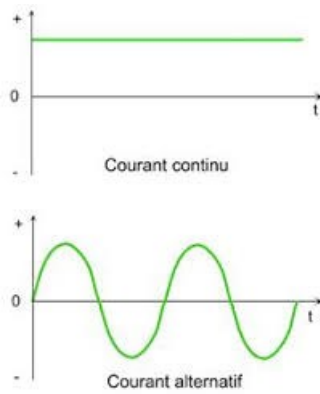


Figure 3.2 – La courbe d'un voltage alternative et continue.[4]

continu équivalent », ou quelque chose de similaire, mais une valeur efficace est bien plus que cela. La valeur efficace est la racine carrée de la valeur moyenne (moyenne) de la fonction carrée des valeurs instantanées. Les symboles utilisés pour définir une valeur RMS sont VRMS ou IRMS. RMS fait référence à des tensions, courants ou formes d'onde complexes sinusoïdaux variant dans le temps, dans lesquels l'amplitude des modifications de forme d'onde varie dans le temps et n'est pas utilisée dans l'analyse de circuit à courant continu ni dans les calculs dans lesquels l'amplitude est toujours constante. Lorsqu'elle est utilisée pour comparer la valeur de tension efficace équivalente d'une forme d'onde sinusoïdale alternative qui fournit le même courant électrique à une charge donnée qu'un circuit CC équivalent, la valeur efficace est appelée « valeur efficace » et est généralement présentée comme suit :  $V_{eff}$  ou  $I_{eff}$ . [4]

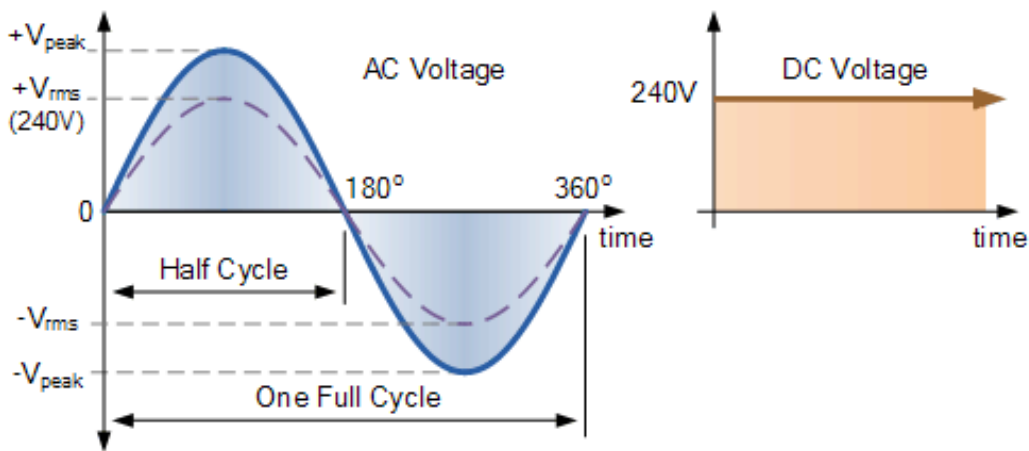


Figure 3.3 – la courbe d'un alternative voltage.[4]

### 3.2.2.1 Les différentes méthodes pour trouver la valeur de RMS

Le courant efficace d'une sinusoïde ou d'une forme d'onde complexe peut être déterminée par deux méthodes de base.

### 3.2.2.2 Méthode graphique

qui peut être utilisée pour trouver la valeur RMS de toute forme d'onde variant dans le temps et non sinusoïdale en traçant un nombre d'ordonnées au milieu sur la forme d'onde. La formule correspondante à la méthode graphique :

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_{12}^2}{10}} \quad (3.1)$$

La méthode graphique est une très bonne moyenne de trouver RMS ou le courant efficace d'une forme d'onde alternative qui n'est ni de nature symétrique ni sinusoïdale. En d'autres termes, la forme d'onde ressemble à celle d'une forme d'onde complexe. Cependant, lorsque nous utilisons des formes d'onde sinusoïdales pures, simplement on utilise une méthode analytique ou mathématique pour trouver la valeur RMS.

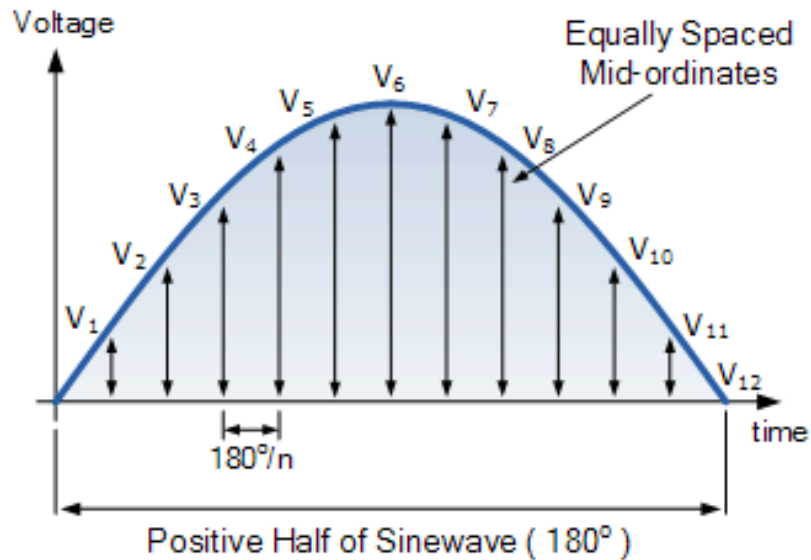


Figure 3.4 – La méthode graphique.[4]

### 3.2.2.3 Méthode analytique

Méthode mathématique permettant de déterminer la valeur efficace ou la valeur efficace de toute tension ou courant périodique à l'aide du calcul.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_m^2 \cos^2(\omega t) dt} \quad (3.2)$$

En intégrant avec  $T=2$ , l'équation devient :

$$V_{RMS} = V_{pk} * \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow V_{RMS} = V_{pk} * 0.7071. \quad (3.3)$$

RMS, qui peut également être appelée valeur efficace, dépend de la magnitude de la forme d'onde et n'est fonction ni de la fréquence de la forme d'onde ni de son angle de phase.

## 3.3 ARDUINO MEGA

Arduino MEGA ADK est une carte à microcontrôleur basée sur l'ATmega2560. Il dispose d'une interface hôte USB, il est basé sur le MAX3421e IC. Il possède 54 broches d'entrée / sortie numériques (dont 15 peuvent être utilisées en tant que sorties PWM), 16 entrées analogiques, 4 UART (ports série matériels), un oscillateur à cristal de 16 MHz, une connexion USB, une prise de courant, un en-tête ICSP, et un bouton de réinitialisation. (Selon la fiche technique).

Pour ce projet, Arduino Mega fonctionne comme le cerveau de l'ensemble compteur intelligent. Il



obtient des lectures analogiques du capteur de courant et calcule la quantité de courant consommée, la tension dans la ligne, la puissance en temps réel et énergie consommée. Sur la base de ces lectures, Arduino Mega calcule la facture et l’affiche toutes ces informations sur le moniteur.

### 3.3.1 La Conversions analogique – numérique

La conversion analogique se fait à partir d’un signal continu échantillonné a une période d’échantillonnage constante, le signal obtenu est un signal échantillonné discret en temps et continue en amplitude, ensuite la quantification de ce signal donne un signal numérique discret, elle est liée à la résolution de CAN (nombre de bit).[12] Le convertisseur analogique numé-

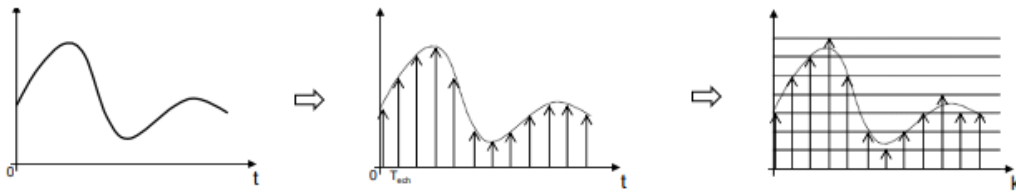


Figure 3.5 – la conversion analogique numérique.[12]

rique échantillonne le signal analogique sur chaque front descendant ou montant de l’horloge d’échantillonnage. À chaque cycle, la CAN récupère le signal analogique, le mesure et le convertit en une valeur numérique. la CAN convertit les données de sortie en une série de valeurs numériques en rapprochant le signal avec une précision fixe. Le convertisseur délivrera en sortie un nombre fini de codes numériques, correspondant à une gamme de tension analogique d’entrée bornée reliée à une résolution qui sera l’intervalle de tension d’entrée à laquelle correspondra un même nombre binaire.

Les CAN peuvent varier considérablement d’un microcontrôleur à l’autre.

La CAN sur l’Arduino est un CAN 10 bits, ce qui signifie qu’il a la capacité de détecter 1 024 niveaux analogiques discrets. Certains microcontrôleurs ont des convertisseurs CAN 8 bits ( 256 niveaux discrets) et certains possèdent des convertisseurs CAN 16 bits( 65 536 niveaux discrets). L’équation de CAN de l’arduino :

La plage de la conversion est 0V— 05V.

La résolution de l’arduino mega est de 0 — 1023.

$$\left[ \frac{1023}{5} \right] = \left[ \frac{\text{LA LECTURE DE CAN}}{\text{TENSION ANALOGIQUE MESUREE}} \right] \quad (3.4)$$

Donc chaque valeur discrète a un 4.88 mv. Le fonctionnement d’un ADC est assez complexe. Il existe différentes manières de réaliser cet exploit, mais l’une des techniques les plus courantes consiste à utiliser la tension analogique pour charger un condensateur interne, puis mesurer le temps de décharge sur une résistance interne. Le microcontrôleur surveille le nombre de cycles d’horloge qui s’écoulent avant la décharge du condensateur. Ce nombre de cycles est le nombre renvoyé une fois la CAN terminé.

### 3.3.2 Capteur de courant Acs712 s’interfaçant avec Arduino mega

ACS712-30A peut mesurer des courants allant jusqu’à ± 30 A et avec une sensibilité de sortie de 66 mV / A sur une alimentation +5 V CC. Pour calculer le courant à partir de la tension de sortie du capteur de courant acs712, nous devons effectuer les calculs en fonction des points suivants :

En l’absence de courant dans le capteur, la tension de sortie sera de  $V_{cc} / 2$ . Où  $V_{cc}$  est la tension d’alimentation fournie à acs712 au capteur de courant. Si  $V_{cc} = 5$  volts, la tension de sortie du capteur de courant sera égale à 2,5 en l’absence de courant

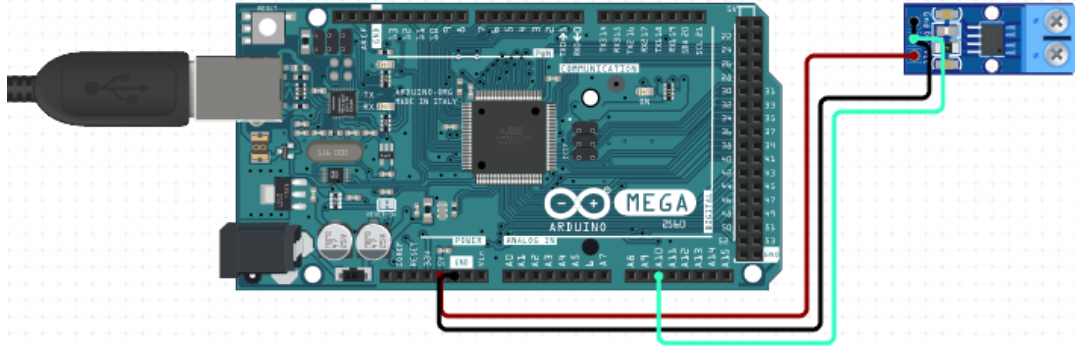
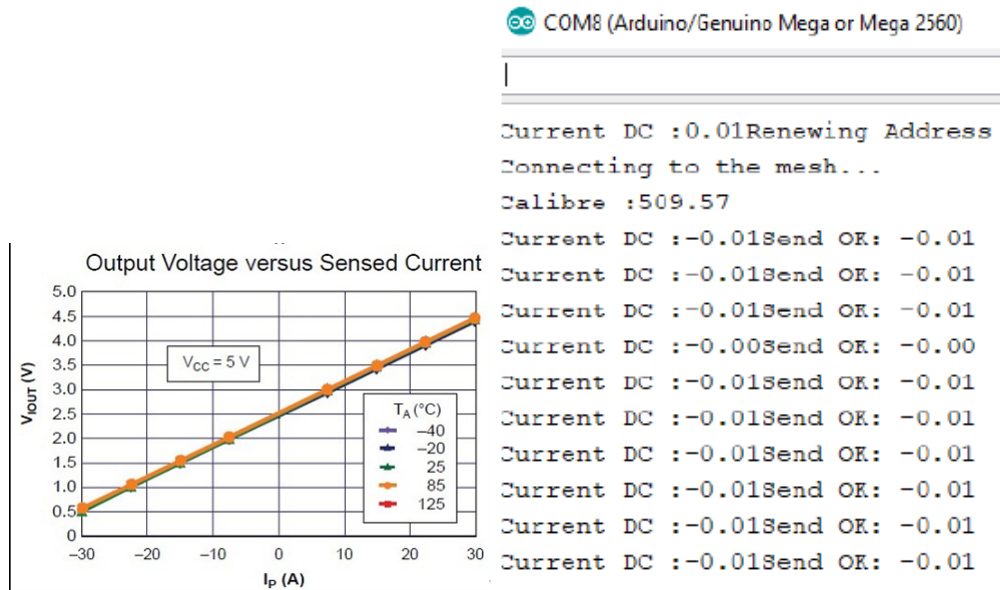


Figure 3.6 – Arduino mega avec acs712

### 3.3.3 Calibrer le capteur de courant acs712

La fiche technique de l'ACS712 indique que le capteur est « ajusté en usine pour plus de précision ». Cela garantit probablement que la sortie sera linéaire. Pour une ligne droite  $y = mx + b$ , la sortie linéaire ( $y$ ) doit être étalonnée pour zéro ( $b$ ) et pour la pente ( $m$ ) de la ligne.



(a) La courbe présente la sortie de capteur.[5]

(b) La valeur de calibre courant sans chargé.

Figure 3.7 – La valeur de courant DC.

Pour linéarise le capteur ACS712 il faut prendre plusieurs mesures du courant et calculer la moyenne. La plage de capteur de curant varie entre -30 A et 30A. La résolution de arduino mega est de 0 à 1023 donc 0 A prendre la valeur de 507.509... 513.Donc en augmentant le nombre de mesure a certain intervalle là où la résolution de capteur se trouve à ...507.509. 513.

### 3.3.4 Mesure de courant DC

La tension de l'arduino mega se varie de 0V -> 5V et CAN (Conversion analogique-numérique) de 0->1023.

La CAN de l'arduino mega est de 4.88 mv par unité.

La sensibilité de capteur de 30 A est de 66mv /A.

Prenant une moyenne de mesure a 50 fois puis une soustraction de la valeur de calibration. Ensuite on multiplie la valeur trouve par le CAN de l'arduino 4.88mv puis on divise par la sensibilité de capteur qui est 66mv/A, enfin on multiplie par 1000 et on affiche la valeur de courant DC.

#### Exemple pratique :

Voici la mesure de courant DC en utilisant :

Alimentation DC variable (fixé à 12 v).

Moteur DC pour varie la charge et la valeur de courant.

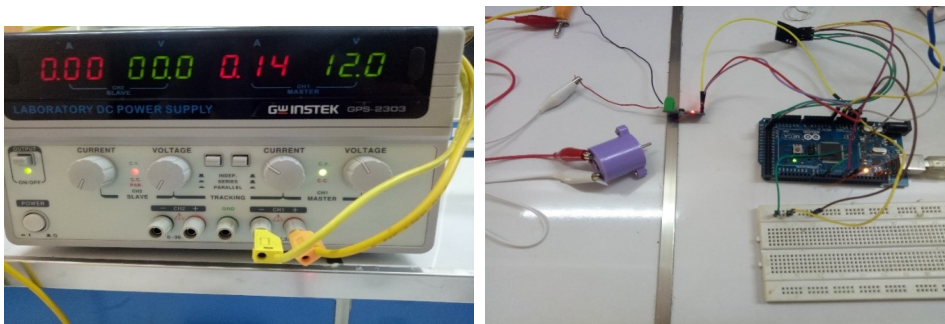


Figure 3.8 – La valeur de courant DC.

### 3.3.5 Mesure de courant AC

De la meme chose que la mesure en DC on prendre une moyenne de mesure puis on soustrait la valeur de calibration.

La moyenne de mesure est prise par rapport à la fréquence de signal trouve 50, car le bruit de signale peut-être donne une valeur erronée.

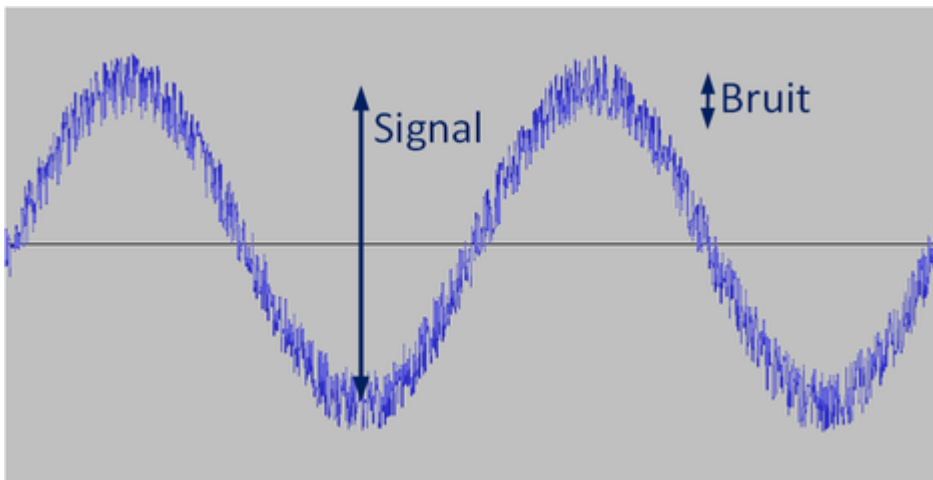


Figure 3.9 – Un signal bruité.[4]

$1/50 = 0.02s$  donc on prend une moyenne de signal a une période T on fait les essais pour s'approcher a la valeur réelle de courant AC. Voir figure 3.10 La valeur trouve après la calibration,

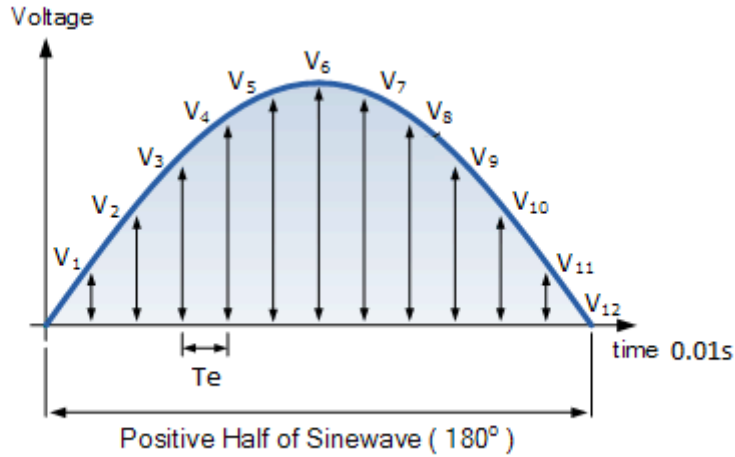


Figure 3.10 – La moyenne de mesure.[4]

on multiplie la valeur trouve par le CAN de l'arduino 4.88mv puis on divise par la sensibilité de capteur qui est 66mv/A pour trouver la mesure instantanée de courant. Nous prenant plusieurs mesures et les comparer pour trouver la valeur maximale de courant après on utilise l'équation (3) pour trouver la valeur réelle de courant.

**Exemple pratique :**

Voici la mesure de courant AC en utilisant :

La tension 220 v,La fréquence 50 hz.

Une la lampe 75 watt .

La valeur de courant théoriquement  $P= U*I \Rightarrow I= P/U =75/220 =0.34$  A. **Remarque :**

```

duree Ac =3 Peak to Peak : 0.86Current AC :0.31Send OK: 0.31
duree Ac =3 Peak to Peak : 0.86Current AC :0.31Send OK: 0.31
duree Ac =3 Peak to Peak : 0.86Current AC :0.31Send OK: 0.31
duree Ac =3 Peak to Peak : 0.86Current AC :0.31Send OK: 0.31
duree Ac =3 Peak to Peak : 0.86Current AC :0.31Renewing Address
duree Ac =3 Peak to Peak : 0.86Current AC :0.31Send OK: 0.31
duree Ac =4 Peak to Peak : 0.86Current AC :0.31Send OK: 0.31
duree Ac =3 Peak to Peak : 0.86Current AC :0.31Send OK: 0.31
duree Ac =3 Peak to Peak : 0.86Current AC :0.31Send OK: 0.31
duree Ac =3 Peak to Peak : 0.86Current AC :0.31Renewing Address
    
```

Figure 3.11 – La courbe d'un voltage alternative.

L'erreur de 0.04 A due à la précision de capteur acs712 et à la CAN de l'arduino mega.

**3.4 Organigramme**

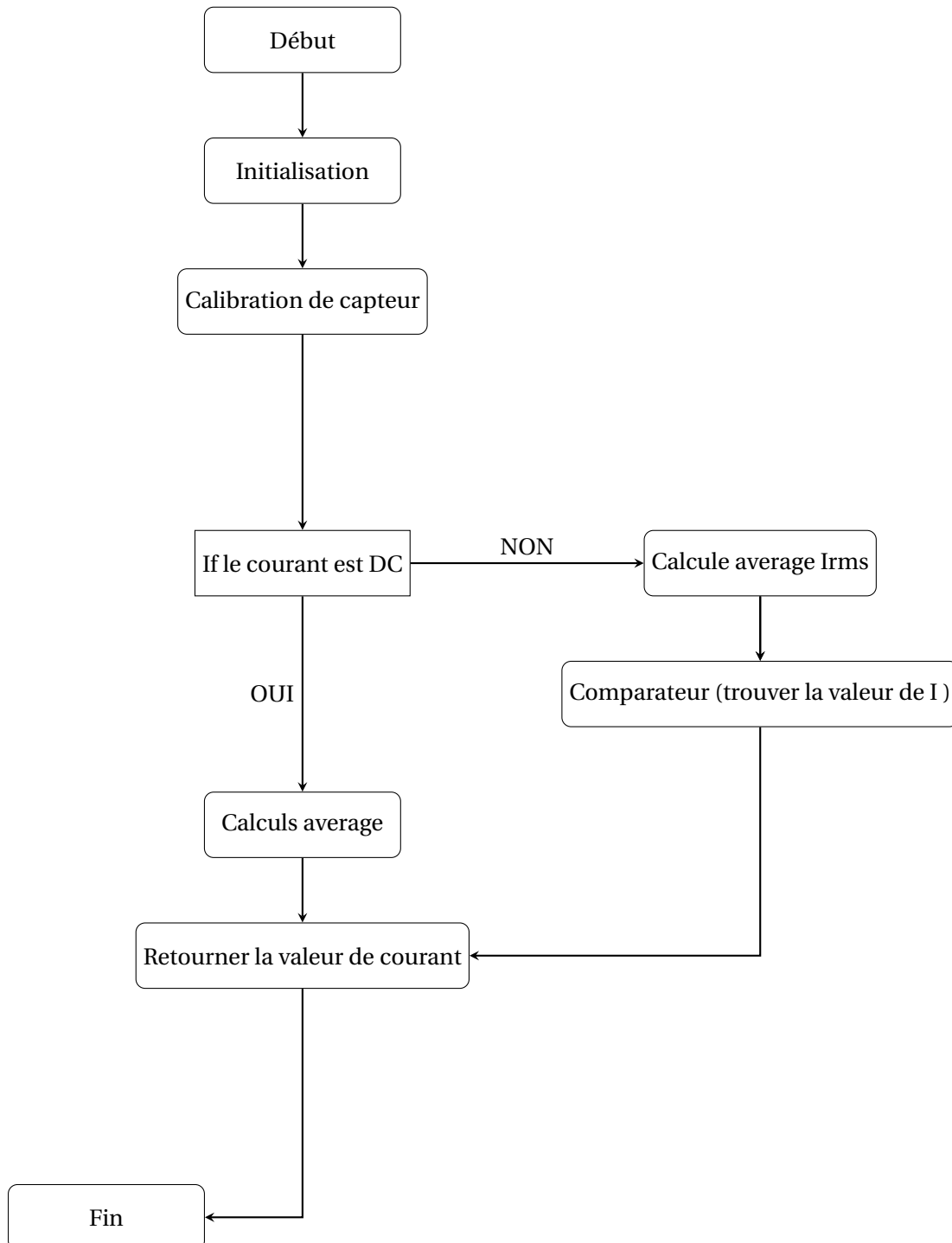


Figure 3.12 – Organigramme pour la mesure de courant.

### **3.5 Conclusion**

ACS712 fournit des solutions économiques et précises pour la détection de courant alternatif ou continu dans les systèmes industriels, commerciaux et de communication. L'appareil n'est pas destiné à des applications étendues, mais est généralement utilisé dans le contrôle de moteur, la détection et la gestion de charge, les alimentations à découpage et la protection contre les surintensités. Dans le chapitre suivant nous allons assurer la communication et le transfert du data (le courant le voltage, la puissance) entre deux arduino mega en utilisant le module nrf 24l01.

## **Chapitre 4**

# **LA COMMUNICATION SANS FIL AVEC NRF240L**

## 4.1 Introduction

Les technologies sans fil connectent des objets hétérogènes pour une intégration complète des services fournis, offrant les ressources nécessaires aux plates-formes, afin que les utilisateurs de données puissent interagir à distance avec des Appareils intelligents, Ces protocoles offrent mobilité et flexibilité à ceux qui les utilisent, et sont chargés de fournir un accès à distance aux propriétaires, aux services publics et aux fournisseurs de services. Ce chapitre présente le contexte des technologies impliquées dans ce projet ainsi certains protocoles de communication en internet des objets, à courte et longue portée, en décrivant leurs caractéristiques et leurs fonctionnalités principales.

## 4.2 NRF24L01 (Émetteur-récepteur 2,4 GHz à puce unique)

Le module d'émetteur-récepteur nRF24L01 (figure1) est conçu pour fonctionner dans la bande de fréquence ISM (industrielle, scientifique et médicale) mondiale de 2,4 GHz et utiliser la modulation GFSK (Gaussian frequency-shift keying) pour la transmission de données. Le taux de transfert de données peut être l'un des 250 kbps, 1 Mbit / s et 2 Mbit / s.

La tension de fonctionnement du module est comprise entre 1,9 et 3,6 V, mais les broches logiques sont tolérantes à 5 V, ce qui permet de le connecter facilement à un microcontrôleur Arduino ou à tout autre microprocesseur logique sans utiliser de convertisseur de niveau logique. Le module prend en charge la puissance de sortie programmable, à savoir. 0 dBm, -6 dBm, -12 dBm ou -18 dBm et consomme incroyablement environ 12 mA pendant la transmission à 0 dBm, ce qui est même inférieur à une seule LED. C'est pourquoi ils sont le périphérique sans fil de prédilection pour les applications à faible consommation.[13]

### La bande de fréquence ISM:

La bande de 2,4 GHz est l'une des bandes industrielle, scientifique et médicale (ISM) réservées au niveau international pour l'utilisation d'appareils de faible puissance sans licence.

Par exemples : les téléphones sans fil, les périphériques Bluetooth, les périphériques de communication en champ proche NFC (Near-field communication) et les réseaux informatiques sans fil (WiFi) utilisent tous les fréquences ISM[19].

### La modulation GFSK :

La modulation par déplacement de fréquence gaussienne (GFSK) est une méthode de modulation de la communication numérique utilisée dans de nombreuses normes telles que Bluetooth. La communication numérique revient à traduire les symboles d'un alphabet discret en un signal que le côté émetteur peut envoyer sur un support de transmission et à partir duquel le côté réception peut récupérer les symboles originaux.[19]

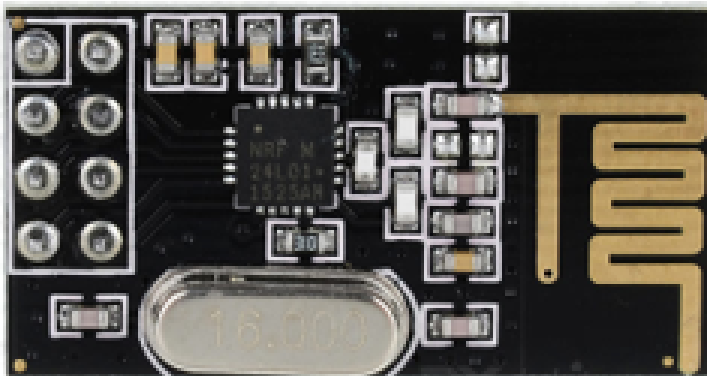


Figure 4.1 – Module sans fil nRF24L01.[19]



#### 4.2.1 Le fonctionnement de NRF24L01

Le module émetteur-récepteur nRF24L01 transmet et reçoit des données sur une certaine fréquence appelée canal. De plus, pour que deux ou plusieurs modules d'émetteur-récepteur puissent communiquer l'un avec l'autre, ils doivent se trouver sur le même canal. Ce canal peut être n'importe quelle fréquence dans la bande ISM à 2,4 GHz ou, plus précisément, entre 2 200 et 2 525 GHz (2 400 à 2 525 MHz).[19]

#### 4.2.2 Le réseaux multiceiver (multi receveurs)

Le nRF24L01 offre une fonctionnalité appelée Multiceiver. Il est une abréviation de Multiple Transmitters Single Receiver. Chaque canal RF est divisé logiquement en 6 canaux de données parallèles appelés canaux de données. En d'autres termes, un canal de données est un canal logique dans le canal RF physique. Chaque canal de données à sa propre adresse physique (adresse de canal de données) et peut être configuré.[19]

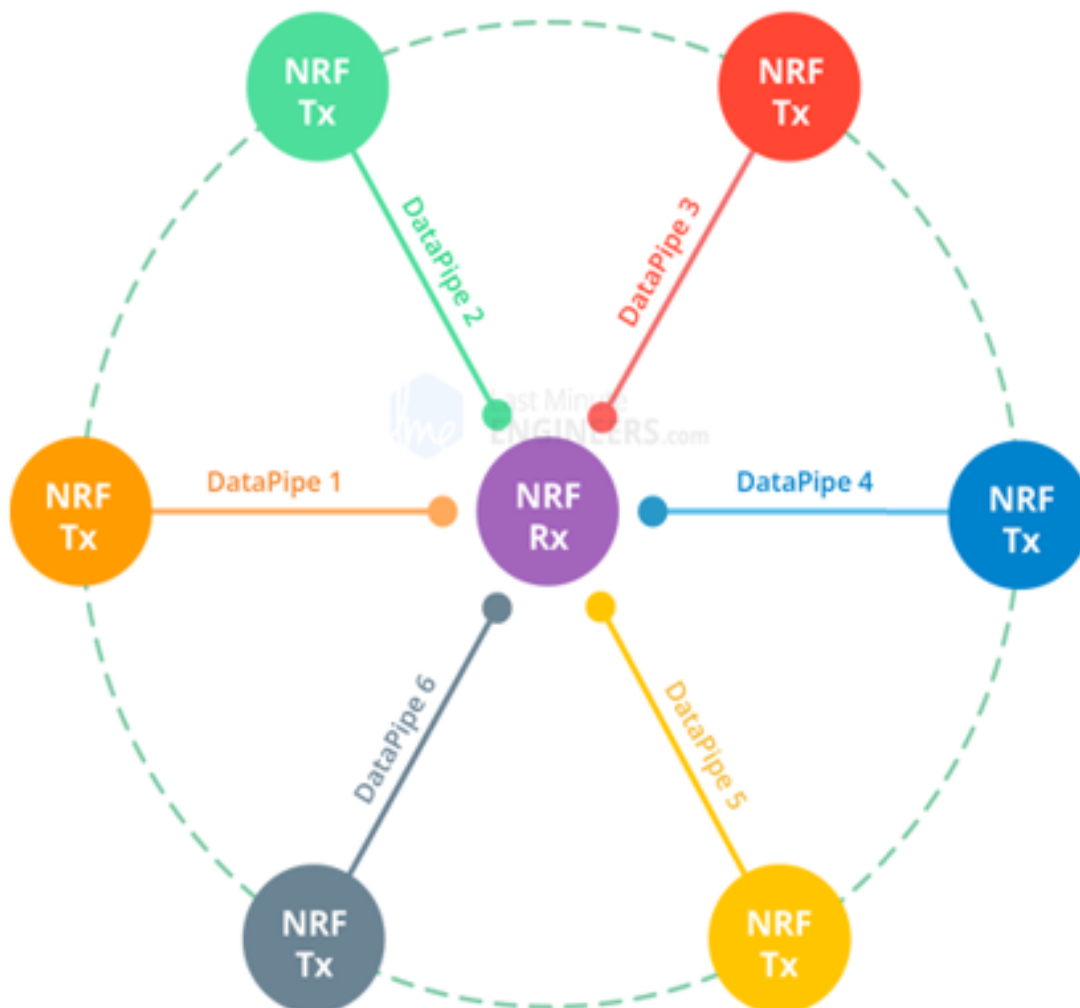


Figure 4.2 – nRF24L01 Réseau Multiceiver - Récepteur unique à émetteurs multiples.[19]

### 4.2.3 la configuration de NRF24L01

#### 4.2.3.1 Interface SPI

Le module émetteur-récepteur nRF24L01 communique via une interface SPI (Serial Peripheral Interface) à 4 broches avec un débit binaire maximal de 10 Mbps. Tous les paramètres tels que le canal de fréquence (125 canaux sélectionnables), la puissance de sortie (0 dBm, -6 dBm, -12 dBm ou -18 dBm) et le débit de données (250kbps, 1Mbps ou 2Mbps) peuvent être configurés via l'interface SPI. Le bus SPI utilise le concept de maître et d'esclave. Dans la plupart des applications, notre Arduino mega est le maître et le module émetteur-récepteur nRF24L01 est l'esclave. Contrairement au bus I2C, le nombre d'esclaves sur le bus SPI est limité. [19]

#### 4.2.3.2 Le Protocole ShockBurst

La structure d'origine de ShockBurst ne comprenait que les champs Préambule, Adresse, Charge utile et Contrôle de redondance cyclique (CRC). ShockBurst amélioré a apporté une fonctionnalité accrue pour des communications améliorées utilisant un champ de commande de paquets PCF (Packet Control Field) récemment introduit. Cette nouvelle structure est excellente pour plusieurs raisons. Premièrement, il autorise les charges utiles de longueur variable avec un spécificateur de longueur de charge utile, ce qui signifie que les charges utiles peuvent varier de 1 à 32 octets. Deuxièmement, il attribue à chaque paquet envoyé un identifiant de paquet, ce qui permet au périphérique récepteur de déterminer si un message est nouveau ou s'il a été retransmis et peut donc être ignoré. Enfin et surtout, chaque message peut demander l'envoi d'un accusé de réception lorsqu'il est reçu par un autre appareil.[19]

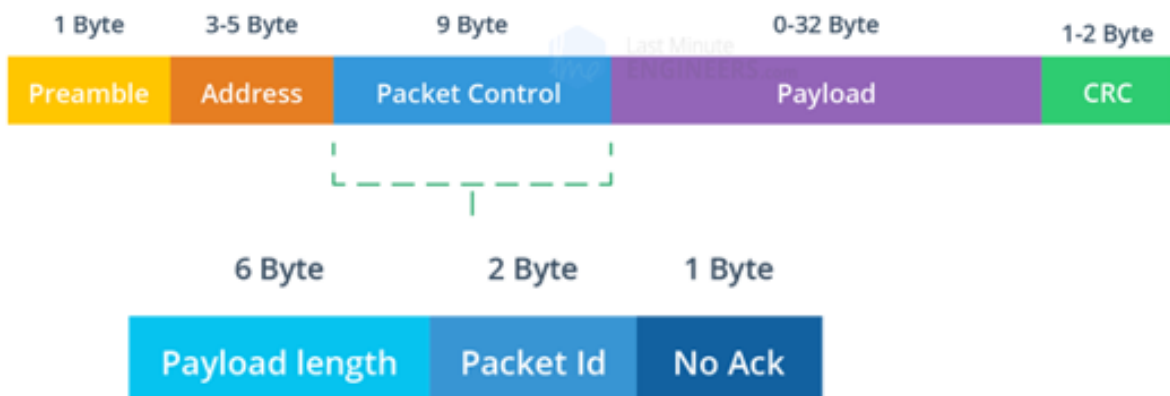


Figure 4.3 – Structure améliorée des paquets ShockBurs.[19]

#### 4.2.3.3 Le Brochage du module d'émetteur-récepteur nRF24L01



Figure 4.4 – les broches.[19]

**GND** est la broche de terre.

**VCC** alimente le module.

**CE(Chip Enable)** est une broche active-HIGH. Lorsque sélectionné, le nRF24L01 transmettra ou recevra, selon le mode dans lequel il se trouve.

**CSN (Chip Select Not)** est une broche active-LOW, Lorsque cette broche devient faible, le nRF24L01 commence à écouter les données sur son port SPI et les traite en conséquence.

**SCK (Serial Clock)** accepte les impulsions d'horloge fournies par le maître du bus SPI.

**MOSI (Master Out Slave In)** est l'entrée SPI du nRF24L01.

**MISO (Master In Slave Out)** est la sortie SPI du nRF24L01.

**IRQ** est une broche d'interruption pouvant alerter le maître lorsque de nouvelles données sont disponibles pour traitement.

#### 4.2.3.4 Le diagramme (selon la fiche technique de module)

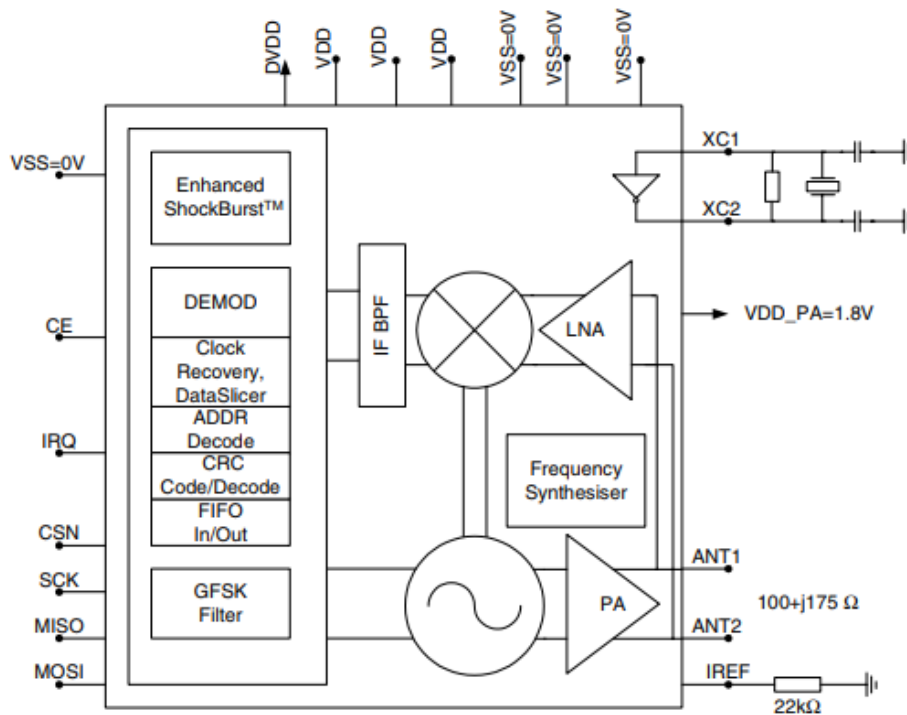


Figure 4.5 – le diagramme.[19]

#### 4.2.4 Arduino mega - nRF24L01

- 3.3V- VCC
- GND-GND
- Pin 7-CSN
- Pin8-CE
- Pin 50-MISO
- Pin 51-MOSI
- Pin 52-SCK.

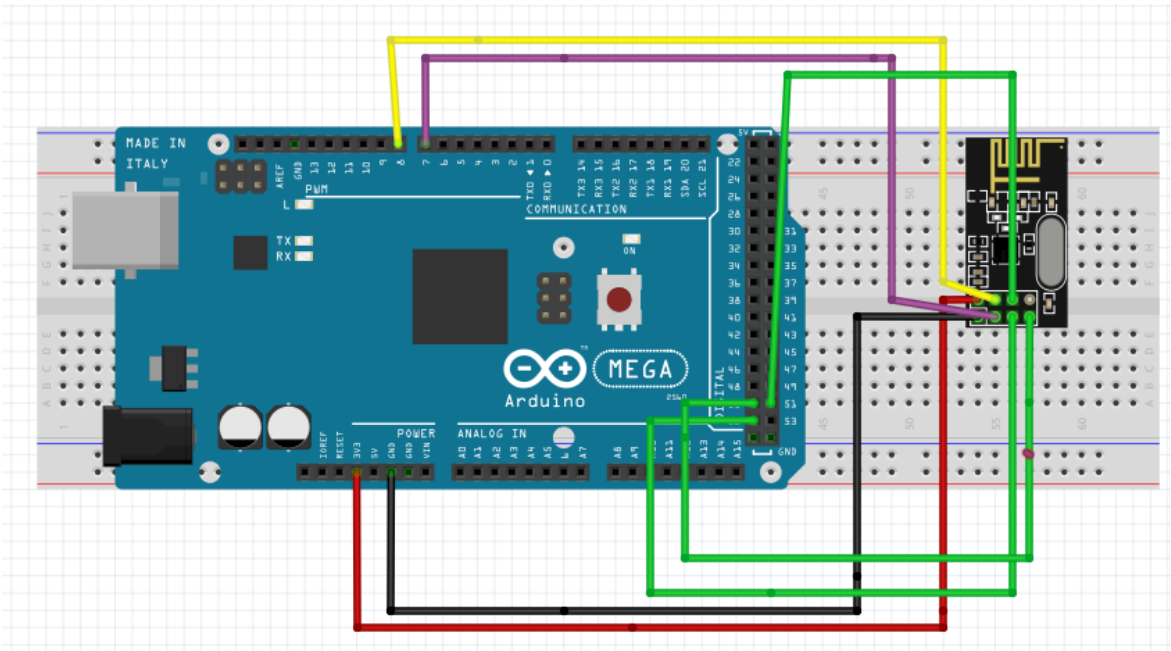


Figure 4.6 – la jonction entre arduino mega et nrf24l01.[19]

#### 4.2.5 Réseau sans fil avec plusieurs modules NRF24L01

Un seul module NRF24L01 peut écouter activement jusqu'à 6 autres modules en même temps. Nous utiliserons la bibliothèque RF24Network, qui permet de créer facilement un réseau sans fil avec de nombreuses cartes Arduino communiquant les unes avec les autres. Voici comment fonctionne la topologie du réseau.

##### 4.2.5.1 RF24

**#include <RF24.h>**

Cette bibliothèque est conçue pour être Conformité maximale au fonctionnement prévu de la puce Facile à utiliser pour les débutants Consommé avec une interface publique similaire à d'autres bibliothèques standard Arduino.[6]

##### 4.2.5.2 RF24Network

**#include <RF24Network.h>**

La bibliothèque RF24Network fournit un système d'adressage et de routage pour les modules radio RF24, qui permet de construire de grands réseaux de capteurs sans fil.[6]

##### 4.2.5.3 RF24Mesh

**#include <RF24Mesh.h>**

RF24Mesh est une bibliothèque C++ / Arduino / Linux / Raspberry Pi permettant à de nombreux périphériques de se connecter simultanément sans fil et de rester connectés dans un réseau de type maillé à l'aide de modules radio nrf24l01 . Les nœuds peuvent communiquer avec n'importe quel autre nœud du réseau, y compris un nœud maître qui gère la plupart des communications et des adressages de type « maillage ». RF24Mesh s'appuie sur les bibliothèques radio RF24Network et RF24 nrf24l01 + existantes et automatise l'adressage afin que les nœuds puissent se déplacer, découvrir d'autres nœuds et acheminer le trafic en conséquence, même sur certains des périphériques les plus petits et les plus économes en énergie. RF24Mesh prend en charge les fonctionnalités des couches inférieures (RF24, RF24Network), notamment les charges utiles volumineuses

/ fragmentées, la multidiffusion, le routage sur de longues distances et permet aux utilisateurs d'interagir directement avec les couches inférieures. [6]

**Implémentation émetteur récepteur :**

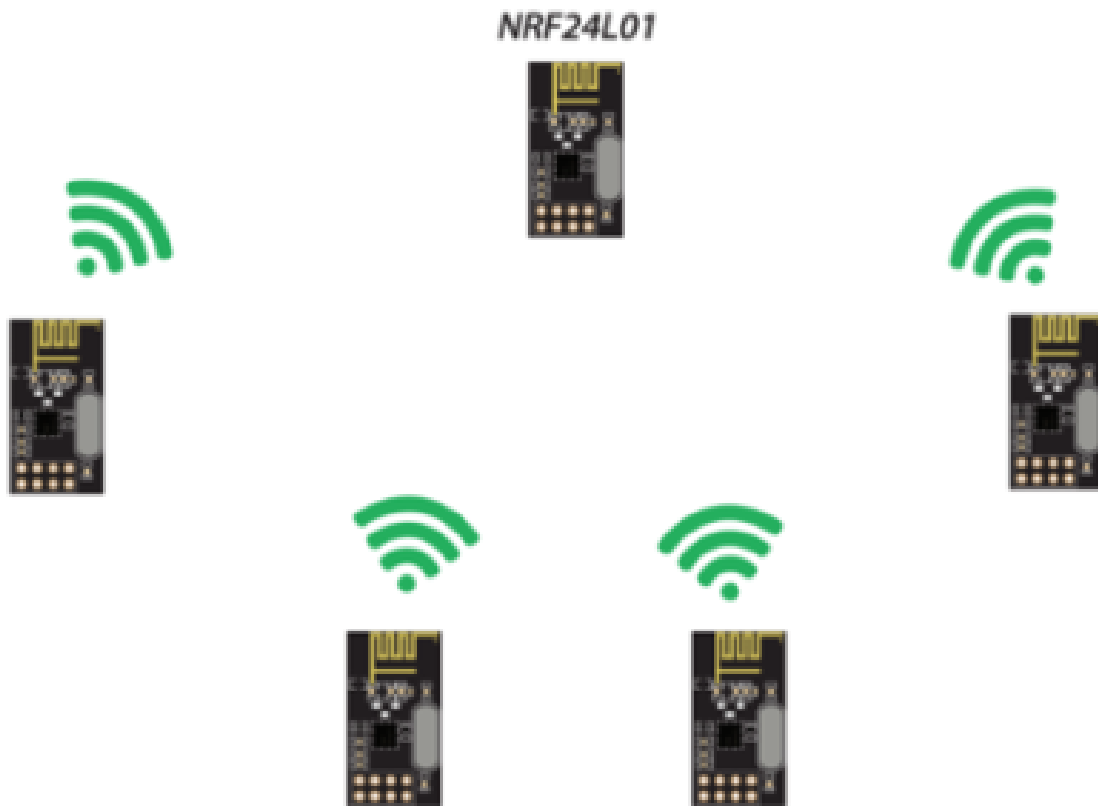


Figure 4.7 – la jonction entre plusieurs nrf24l01.[19]

**RF24 radio(7, 8);**

**RF24Network network(radio);** création de réseaux

**RF24Mesh mesh(radio, network);**

La configuration de pin 7 et 8 comme CE et CS et la création de réseau maillé entre les modules utiliser.

### 4.3 La réalisation du projet

#### les composants

Arduino mega (microcontrôleur), Acs712 (Le capteur de courant), nRF24L01 (Le module radio).

Afficheur lcd graphique 128\*64, résistance variable, les câbles, la plaque d'essai.

#### Cas d'utilisation:

Dans les nodes 1 et 2 Arduino mega récupère les données analogiques du capteur de courant et convertit ces valeurs en valeurs discrètes, nous avons utilisé un capteur de courant ACS 712 de 30 A pour mesurer la quantité de courant consommée puis il envoie les données à l'arduino mega (master) en utilisant le module de wifi nrf24l01.

Dans le node 1 la charge est DC donc arduino mega prend la valeur directe de capteur après le calibrage de capteur.

Dans le node 2 la charge est AC donc arduino mega prend les valeurs mesurées puis il compare entre eux pour trouver la valeur exacte de courant (I peak to peak).

Les trois Arduinos travaillent simultanément et indépendamment. Arduino mega (master) attendra que les réseaux mesh connecte puis il reçoit les données de node 1 et 2. La tension de node 2 (la charge AC) est toujours fixe en 220 volt. La tension de node (la charge DC ) est fixe par le générateur de tension.

#### 4.4 Le schéma du projet (fritzing)

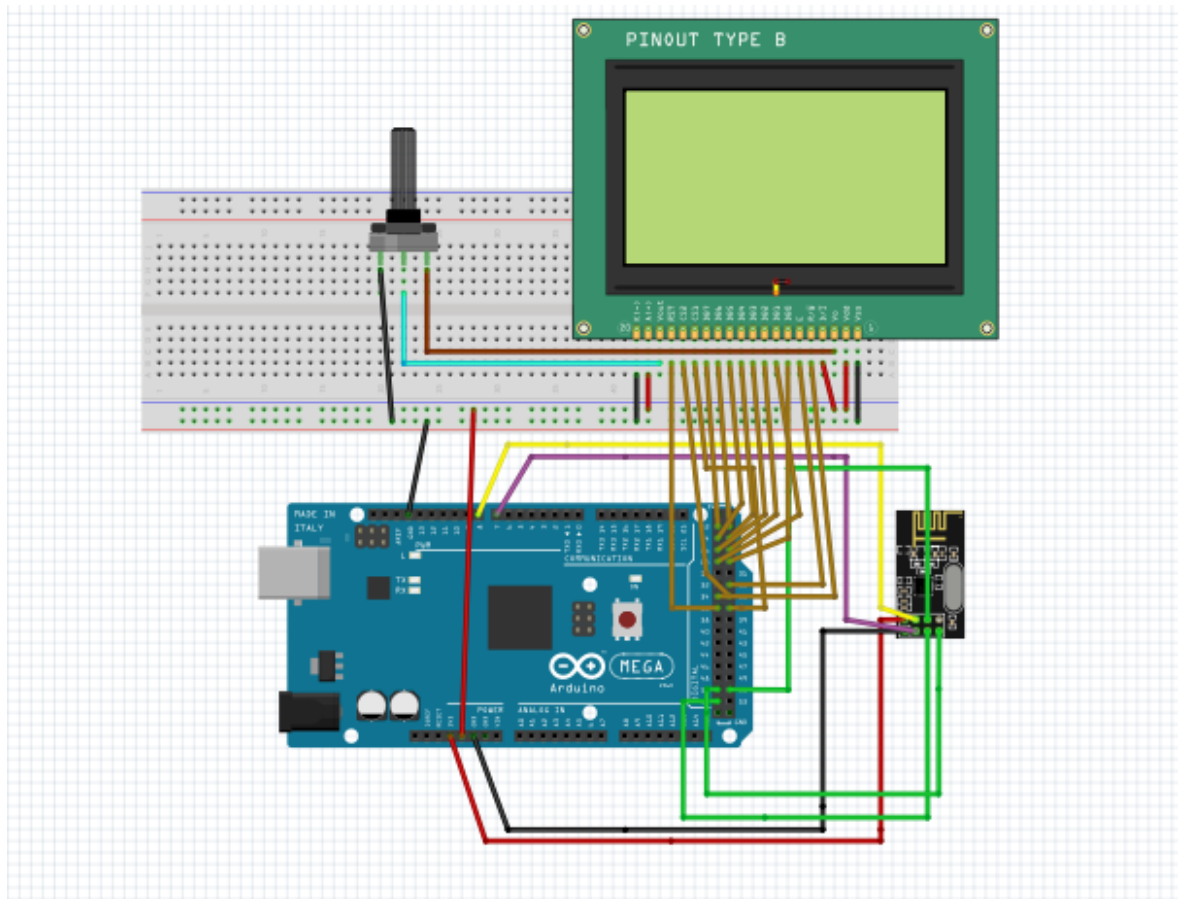


Figure 4.8 – Master (la réception).

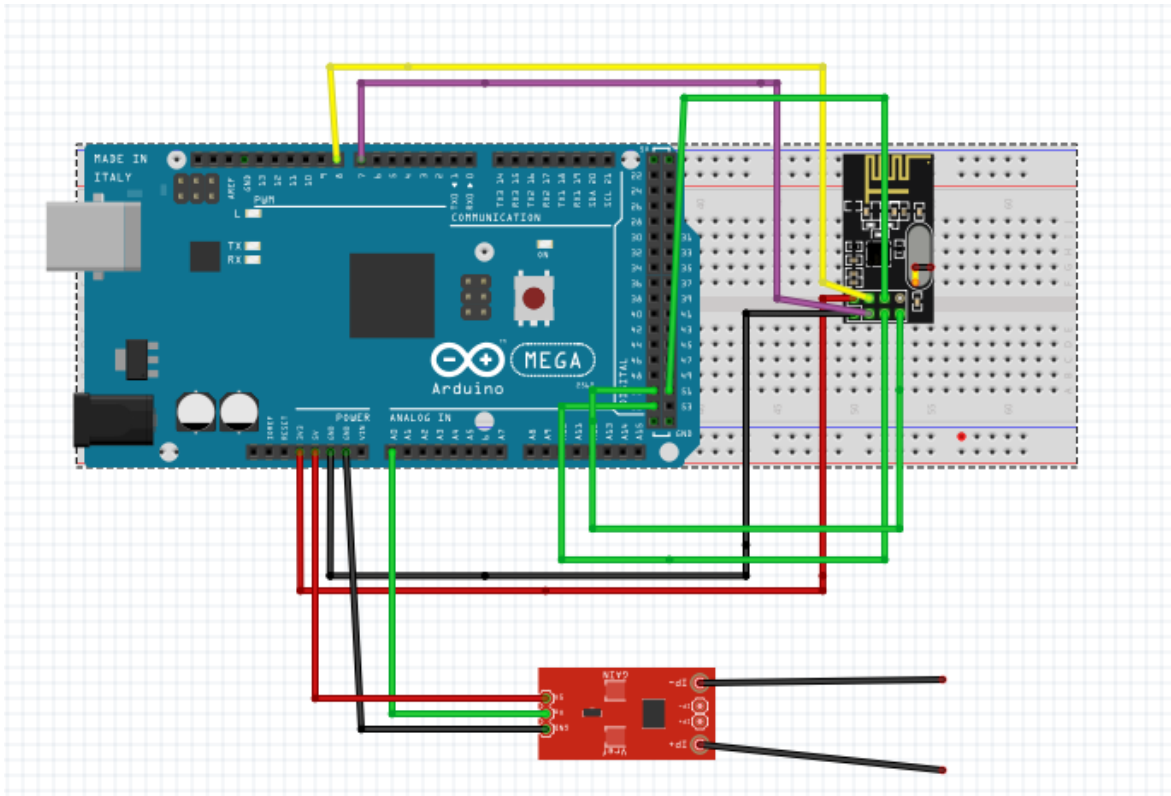


Figure 4.9 – Node1 charge DC ou AC .

## 4.5 Organigrammes

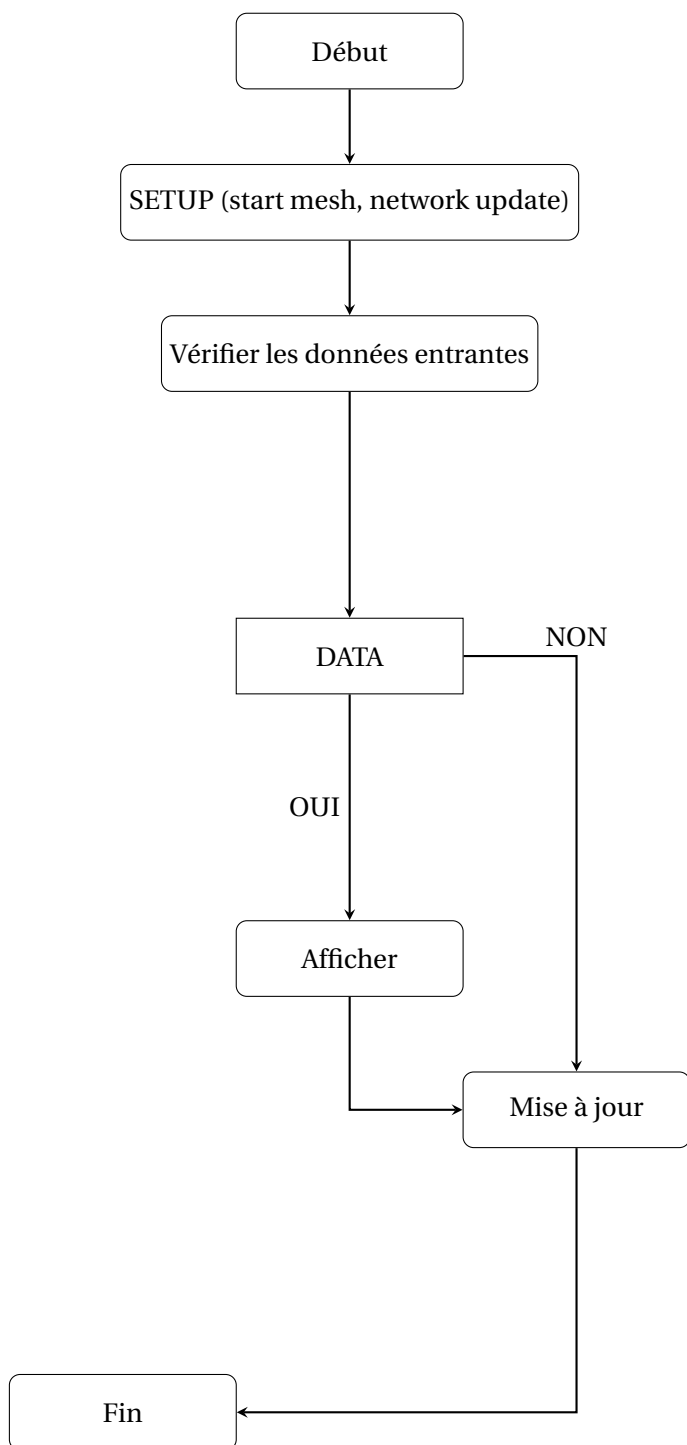


Figure 4.10 – Organigramme pour la communication, Master (recevoir)



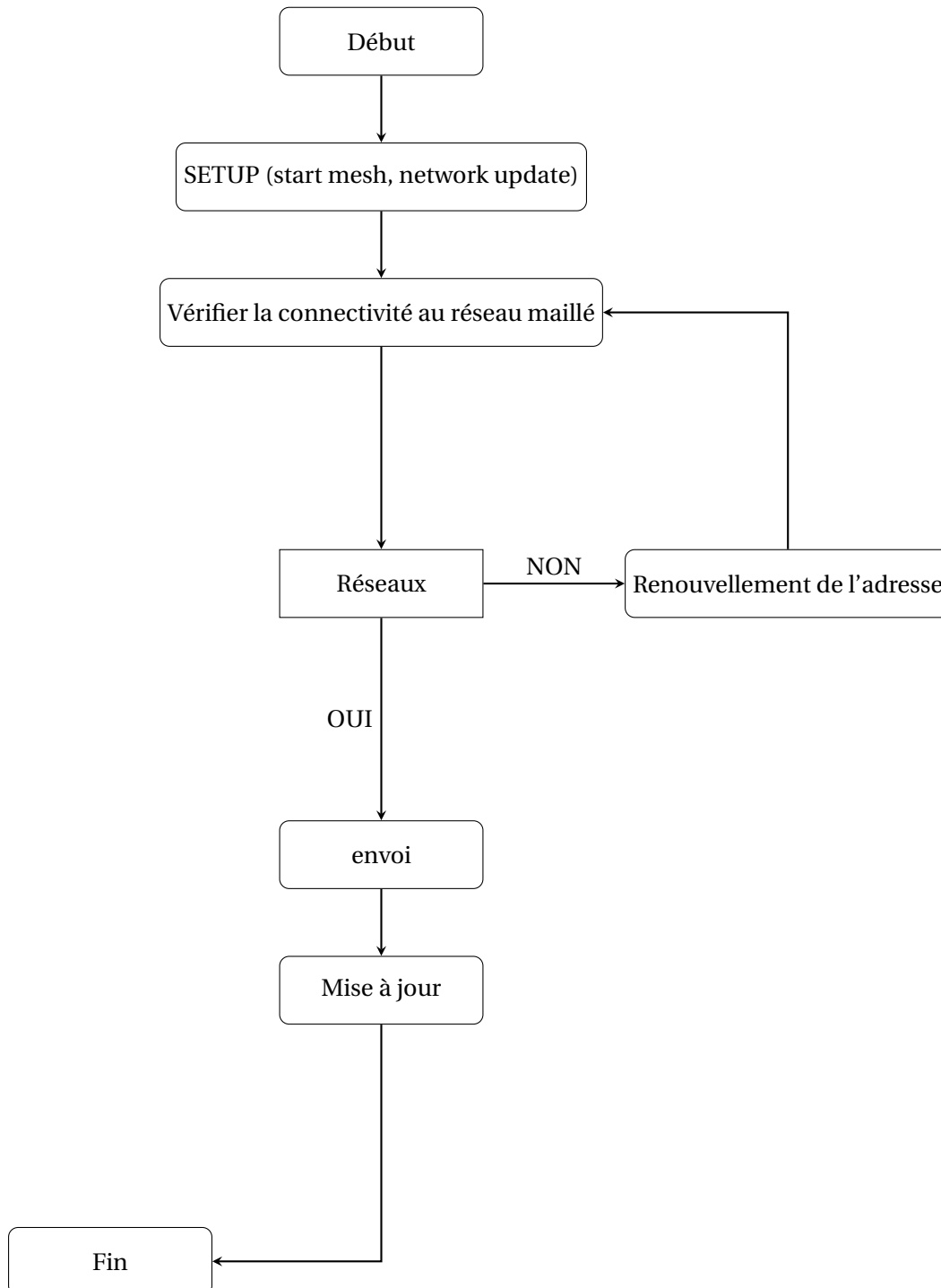


Figure 4.11 – Organigramme pour la communication,Slave (envoi)

## 4.6 Conclusion

Le marché de l'énergie nécessite de récupérer une grande quantité d'informations à partir des compteurs d'énergie afin que le processus de facturation et les estimations de dépenses puissent être aussi précis que possible. Cela souligne l'importance d'un protocole capable non seulement de collecter des données dans différents formats, mais pouvant être adapté aux besoins futurs, comme l'ajout de fonctionnalités supplémentaires si pour cela la technologie utilise pour la communication entre les IOT joue un rôle très important. Dans ce chapitre nous avons présenté un module wifi nrf24l01 qui se trouve dans plusieurs applications, les équipements intelligents de sports, la télémétrie, l'automatisation des maisons. Nous avons utilisé la bibliothèque RF24Mesh qui a amélioré le réseau le system de récolter les données car nous pouvons ajouter des autres Nodes sans avoir perturber le réseau car la bibliothèque fait l'adressage automatiquement.

# Conclusion générale

Dans ce travail nous avons pu réaliser un dispositif de télémesure a temps réel dédié à la consommation de l'énergie électrique. Nous avons alors abordé les compteurs électriques et les différents types existant Grâce à l'étude bibliographique.

Nous avons étudié les méthodes et les techniques de mesure de courant en présentant quelques capteurs et précisant leurs types de fonctionnement, ce qui nous amené a adopté un capteur électrique ACS712 pour faire la mesure de courant.

L'adoption du capteur nécessite à adapter une méthode spécifique pour mesurer le courant électrique en mode AC et en mode DC, pour atteindre à l'algorithme propre à notre a dispositif nous avons étudié les différents paramètres influençant sur la mesure. La CAN, La sensibilité de capteur, la période d'échantillonnage jouent un rôle principal sur la valeur de mesure et la précision des données transmettez au microcontrôleur qui est le responsable d'acheminement et la collection de la mesure.

Nous avons entamé la partie de la communication là où on a utilisé le module radio nrf24l01 pour transmettre les données entre les esclaves (dispositif de mesure) et le maitre (d'acheminement des données), puisque nous avons besoin de collecter les données de plusieurs nœuds Nous avons exploité les caractéristiques des bibliothèques comme RF24Network qui fournit un système d'adressage et de routage pour les modules radio RF24 et comme RF24Mesh qui permette à de nombreux périphériques de se connecter simultanément sans fil et de rester connectés dans un réseau de type maillé pour développer notre propre réseaux de communication . Enfin à travers les microcontrôleurs (arduinosa mega) nous avons pu calculer l'énergie consommé et l'afficher avec le courant et le voltage de réseaux électrique. Comme perspective nous pensons développer une méthode pour éliminer les bruits qui peuvent donne des valeurs erronées de la mesure, aussi nous allons étudier les fréquences de signal et de bruit pour avoir des nouvelles données sur le réseau électrique, Les données récoltées peuvent être associée avec une intelligence artificielle pour détecter les machines connectées au réseau électrique.

## 4.7 Références

- [1] AMIRA, Mr. Abdelkarim .*memoire : Conception et réalisation d'un compteur d'énergie électrique consultable à distance et accès local par carte à puce*. bejaia.
- [2] BA, Michael Tooley. *Electronic Circuits: Fundamentals . s.l. : 3ème edition, Edition Newnes..* 2006.
- [3] ARDUINO WEB SITE,20.05.2019.  
<https://www.arduino.cc>
- [4] AC, DC and Electrical Signals. electronic club,20.05.2019.  
<https://electronicsclub.info/acdc.htm>.
- [5] ACS712 Data sheet. *Allegro MicroSystems, LLC, Copyright 2006-2013*. Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
- [6] Bolling, Barry. *Fundamentals of Electrical Power Measurement* Yokogawa Corporation of America,2012 .
- [7] CPL- Courants porteurs en ligne. commentcamarche,12.04 .2019.  
<https://www.commentcamarche.net/contents/181-cpl-courants-porteurs-en-ligne>.
- [8] How to mechatronics.NRF24L01.01.06.2019.  
<https://howtomechatronics.com/>.
- [9] J, Ylioja. *MASTER'S THESIS WIRELESS MAINS SENSOR FOR MONITORING DOMESTIC ENERGY*. University of Oulu, Oulu, Finland. November 2014.
- [10] ADEME *LE NOUVEAU COMPTEUR D'ÉLECTRICITÉ*.Décembre 2018.
- [11] Martins, Ana Sofia Nóbrega. *Arduino-based IoT Capable Low Cost Smart Meter*. May 2017.
- [12] Morri, Alan S. *Measurement and Instrumentation Principles*. 3ème edition Butterworth-Heinemann, 2008.
- [13] Nordic semiconductor . Enhanced ShockBurst 02.06.2019.  
<https://devzone.nordicsemi.com/nordic/nordic-blog/b/blog/posts/intro-to-shockburstenhanced-shockburst>.
- [14] RF24 NETWORK , RF24Mesh 02.06.2019.  
<https://tmrh20.github.io/>.. <http://tmrh20.github.io>.
- [15] RILEY, MIKE *Programing your home . s.l. : the Pragmatic Programmers, LLC*. February 2012.
- [16] Semiconductor, Nordic. *nref24l01 Single chip 2.4 GHz Transceiver*. Vestre Rosten 81, N-7075 Tiller, Norway .March 2006.
- [17] User Manual ACS712.  
[www.openplatform.cc](http://www.openplatform.cc) juin 2019.
- [18] Walt Boyes. *Instrumentation Reference Book*. 3ème edition; Edition Butterworth-Heinemann, 2003.
- [19] Last minute engineers.  
<https://lastminuteengineers.com/nrf24l01-arduino-wireless-communication>. 5.mai 2019.

- [20] fournisseurs électricité.  
<https://www.fournisseurs-electricite.com/guides/compteur/electricite>
- [21] watelectrical  
<https://www.watelectrical.com/introduction-on-energy-meter-different-types-of-energy-meters/>.
- [22] IOT solution provider.  
<https://www.iotsolutionprovider.com/smart-building/smart-meter-market-powers-up-at-full-speedl>.
- [23] poal.  
<https://www.poal.fr/appfree/filtre-cpl-protection-anti-linky.html>.
- [24] wikipedia.  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Carte\\_puce](https://fr.wikipedia.org/wiki/Carte_puce).
- [25] theengineeringprojects.  
<https://www.theengineeringprojects.com/2018/03/introduction-to-microcontrollers.html>.
- [26] electricalbaba.  
<https://electricalbaba.com/ammeter-shunt-construction-and-calculation/>.

# **Annexes**