



**LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES**  
**Génie Électrique**

**RAPPORT DE FIN D'ÉTUDES**

**Intitulé:**

**Prototypage d'un compteur  
éco-intelligent**

**Réalisé Par :**

- Oumaima Nadah
- Yousra Khai

**Encadré par :**

**P<sup>r</sup>. Zared Kamal (FST FES)**

**M. Hamdaoui Omar (Entreprise)**

**Soutenu le 05-07-2022 devant le jury**

**Pr Ahaitouf Ali (FST FES)**

**Pr Zared Kamal (FST FES)**



# Dédicace

## **A nos chers parents,**

Merci pour votre amour,

Merci pour tous les sacrifices que vous avez fait pour nous.

## **A nos chers mères,**

La femme de ma vie, maman merci d'avoir toujours été là pour moi, j'ai de la chance d'avoir une mère aussi dévouée et attentionnée que toi. Ma vie a pris sens via tout ce que tu m'as appris, apporté, offert. Je ne trouve pas les mots qui puissent être à la hauteur de l'amour que je t'emporte.

## **A nos frères,**

A tous les moments d'enfance passés avec vous, aujourd'hui je chéris ces souvenirs dans ma mémoire comme des moments précieux. Je vous remercie énormément pour tous les moments qu'on partage au quotidien.

## **A nos amies,**

Merci d'être à nos côtés à tout moment.

On a les mêmes intérêts, de plus on partage quelques traits de personnalité, la raison pour laquelle on a pu tisser ce lien d'amitié durant toutes ces années. On est tellement ravies de vous avoir dans notre vie.

## **A tous les gens qui ont crus en nous et nous ont supportés**

On vous dédie ce travail.

# Remerciements

Tout d'abord nous tenons à exprimer notre gratitude la plus sincère et nos vifs remerciements à toute personne qui a contribué à l'accomplissement de ce projet, on est complètement reconnaissantes de tout effort déployé de votre part.

Nous remercions monsieur Ahaitouf Ali de nous avoir fait l'honneur d'examiner notre présentation et notre travail. Et nous tenons à exprimer notre sincère gratitude pour ses conseils et les encouragements appréciés qu'il nous a prodigué.

Que monsieur Zared Kamal, notre encadrant pédagogique, trouve ici l'expression de notre profonde gratitude pour son aide et ses conseils qui nous ont été extrêmement cruciaux et précieux, ainsi que son suivi continu de notre progrès afin que nous puissions mener à bien notre projet.

Notre reconnaissance s'adresse également à notre encadrant à C.E.A.C, c'est grâce à votre confiance et votre soutien technique qu'on a pu profiter pleinement de ce stage.

Tout en ne manquant pas de remercier le personnel du stage qui n'a pas épargner le moindre effort afin d'assurer une ambiance de travail caractérisée par l'entente et le soutien, l'expérience qui était tellement enrichissante et fructueuse.

Nous ne saurons pas terminer ces remerciements sans faire allusion à notre estime envers le corps professoral et administratif pour la qualité d'enseignement et des formations offertes au sein de l'établissement.

Pour finir, nous prions les membres de jury d'agréer l'expression de notre sincère remerciement d'avoir accepté d'évaluer notre travail.

# Table des matières

Dédicace.....	3
Remerciements.....	4
Introduction générale.....	8
Chapitre 1.....	9
1.1 Présentation de l'organisme C.E.A.C :.....	10
1.1.1 Historique :.....	10
1.1.2 Organigramme :.....	10
1.1.3 Ateliers de C.E.A.C :.....	10
1.1.3.1 Injection :.....	10
1.1.3.2 Montage :.....	11
1.1.3.3 Étalonnage :.....	11
1.2 Le compteur électromécanique :.....	13
1.2.1 Définition :.....	13
1.2.2 Types :.....	13
1.2.3 Les composants d'un compteur électromécanique :.....	14
1.2.4 Principe de fonctionnement :.....	15
1.2.5 Les avantages et les inconvénients :.....	16
1.2.6 Conclusion :.....	16
Chapitre 2.....	17
2.1 Introduction :.....	18
2.2 Les composants :.....	18
2.2.1 L'alimentation :.....	19
2.2.2 Microcontrôleur :.....	19
2.2.3 L'interface de communication :.....	20
2.3 Principe de fonctionnement :.....	20
2.4 Les avantages :.....	21
2.5 Internet of Things (IoT):.....	21
2.5.1 Introduction :.....	21
2.5.2 Définition :.....	22
2.5.3 Relation entre IoT et notre projet :.....	22
2.5.4 Conclusion :.....	23
Chapitre 3.....	24
3.1 Cahier de charge :.....	25
3.1.1 Contexte et définition du problème :.....	25
3.1.2 Objectifs du projet :.....	25
3.1.3 Périmètre :.....	25
3.1.4 Description fonctionnelle :.....	25
3.2 Les composants :.....	27
3.2.1 Arduino UNO :.....	27

3.2.2 Capteur de courant ACS712 :.....	28
3.2.3 Capteur de tension :.....	28
3.2.4 Carte WIFI ESP8266 NodeMCU :.....	29
3.2.5 Afficheur LCD 16x2 caractères :.....	30
3.2.6 Conclusion :.....	31
Chapitre 4.....	32
4.1 Tests des composants :.....	33
4.1.1 Test du capteur de courant ACS712 avec Arduino UNO :.....	33
4.1.2 Test du capteur de tension avec Arduino UNO :.....	33
4.1.3 Test de l’afficheur LCD :.....	34
4.2 Simulation du projet :.....	34
4.3 La réalisation pratique du projet :.....	35
4.3.1 La programmation avec Arduino IDE :.....	35
4.3.2 Le projet :.....	35
4.3.3 Présentation du plateforme de communication Blynk :.....	36
4.3.4 Simulation du système de sécurité :.....	37
4.3.5 Conclusion :.....	37
Conclusion générale.....	38
Webographie.....	39

## Liste des figures

Figure 1 : Organigramme de C.E.A.C.....	10
Figure 2 : La presse à injection.....	11
Figure 3 : L'étalonnage.....	11
Figure 4 : Histoire des compteurs.....	12
Figure 5 : Compteur électromécanique triphasée.....	14
Figure 6 : Compteur électromécanique monophasé.....	14
Figure 7 : Le reste des composants.....	14
Figure 8 : Structure interne du compteur électromécanique.....	15
Figure 9 : Évolution des compteurs.....	18
Figure 10 : Schéma de base d'un réseau électrique intelligent.....	19
Figure 11 : Partie interne d'un microcontrôleur.....	19
Figure 12 : Étapes du comptage intelligent.....	20
Figure 13 : Internet des objets.....	22
Figure 14 : Infrastructure IoT.....	23
Figure 15 : Organigramme du travail réalisé.....	26
Figure 16 : Arduino UNO.....	27
Figure 17 : Les types d'Arduino.....	27
Figure 18 : Brochage de l'Arduino Uno.....	27
Figure 19 : Effet Hall.....	28
Figure 20 : Capteur de courant ACS712.....	28
Figure 21 : Schéma du circuit du capteur de tension résistif.....	29
Figure 22 : Schéma du circuit du capteur de tension capacitif.....	29
Figure 23 : Capteur de tension.....	29
Figure 24 : Esp8266 NodeMCU.....	30
Figure 25 : Brochage esp8266.....	30
Figure 26 : Brochage LCD 16x2.....	31
Figure 27 : Résultats du test d'ACS712.....	33
Figure 28 : Test du capteur de courant ACS712.....	33
Figure 29 : Résultats du test du capteur de tension.....	33
Figure 30 : Test du capteur de tension.....	33
Figure 31 : Test de l'afficheur LCD.....	34
Figure 32 : Simulation globale du projet.....	34
Figure 33 : Arduino IDE.....	35
Figure 34 : Projet final du compteur intelligent.....	35
Figure 35 : Blynk.....	36
Figure 36 : Description de fonctionnement de Blynk.....	36
Figure 37 : Contrôle à distance d'une LED par l'application Blynk.....	36
Figure 38 : Simulation du circuit de sécurité.....	37

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Différences entre le compteur monophasé et triphasé.....	13
--	----

# Introduction générale

Autrefois, l'électricité était largement et particulièrement utilisée dans les industries, les travaux menés par un grand nombre de scientifiques ont conduit à l'apparition de machines capables de produire de l'énergie électrique en grande quantité ainsi qu'à la possibilité de la transmettre sur de longues distances, tout cela a contribué à la flexibilité en terme de l'usage de l'électricité qui a vu son champ d'application s'étendre de jour en jour jusqu'à atteindre la vie quotidienne. Ainsi, les compteurs électriques sont apparus pour calculer l'énergie consommée. Mais à cause du grand nombre des compteurs dans chaque cité, la facturation et la collection des informations et des données de consommation sont devenues un souci pour les fournisseurs. D'autre part la consommation quotidienne du client augmente d'une façon rapide. Alors pour résoudre ces problèmes, les inventeurs et les ingénieurs ont décidé d'utiliser les nouvelles technologies informatiques et économiques pour mettre en œuvre ses compteurs électriques qui permettent de faciliter la facturation et de contrôler la consommation du client. Au départ, seuls les compteurs électromécaniques ont été utilisés. Après, il y a eu recours aux compteurs électroniques. Vue le progrès technologique dans les domaines informatiques et de télécommunication, l'électricien est amené à créer de nouvelles catégories des compteurs d'énergie. Dans ce contexte, l'idée de remplacer le compteur électromécanique par un compteur intelligent ou communicant est apparue. C'est un compteur programmable permettant d'envoyer et de recevoir des données tels que la consommation. Par conséquent, le client va être capable de suivre sa consommation en termes d'énergie et de coût.

Ce mémoire est subdivisé en quatre chapitres, et il est organisé comme suit : Dans le premier chapitre, on va faire une étude générale sur les compteurs d'énergie électromécaniques. Pour le deuxième chapitre on va parler du compteur intelligent. Le troisième chapitre est consacré à la conception matérielle et logicielle de notre projet. Dans le dernier chapitre, on va s'intéresser à la réalisation pratique du compteur intelligent proposé.



# Chapitre 1

---

## Contexte général du projet

Ce chapitre a pour but de situer le projet dans son environnement organisationnel et contextuel. On commencera par la présentation de l'organisme de C.E.A.C, puis on entamera une description bien détaillée du compteur électromécanique (ou électromagnétique).

# 1.1 Présentation de l'organisme C.E.A.C :

## 1.1.1 Historique :

C.E.A.C (Construction Électrique Appareillage de Comptage) créé en 1979 avec un capital de 11 millions de dirhams. Elle a débuté par la fabrication des compteurs électromécaniques ainsi que les contacteurs et les relais thermiques, C.E.A.C a cessé de produire ces derniers due à la compétitivité et du fait que cette industrie a connu à l'Allemagne un progrès remarquable. En 1982, C.E.A.C a commencé la fabrication des compteurs monophasés de type 4 et triphasé de type GH sous licence de GANZ (Hongrie). À partir de 1990 et à cause de la crise économique mondiale , des sociétés ont commencé à être vendues. Ainsi, après l'achat de la société GANZ par SHLUMBERGER C.E.A.C commençait à produire sous licence SHLUMBERGER. Elle a passé ensuite sous licence ACTARIS et aujourd'hui elle produit sous licence ITRON. C.E.A.C avait comme activités : la fabrication des compteurs de type C114, la fabrication des compteurs monophasés de type H10, la production des monophasés de type M2XS4 prévue initialement pour l'ONE. Aujourd'hui, C.E.A.C produit uniquement les compteurs monophasés M2X et triphasés C114.

## 1.1.2 Organigramme :

La figure suivante présente l'organigramme de C.E.A.C :

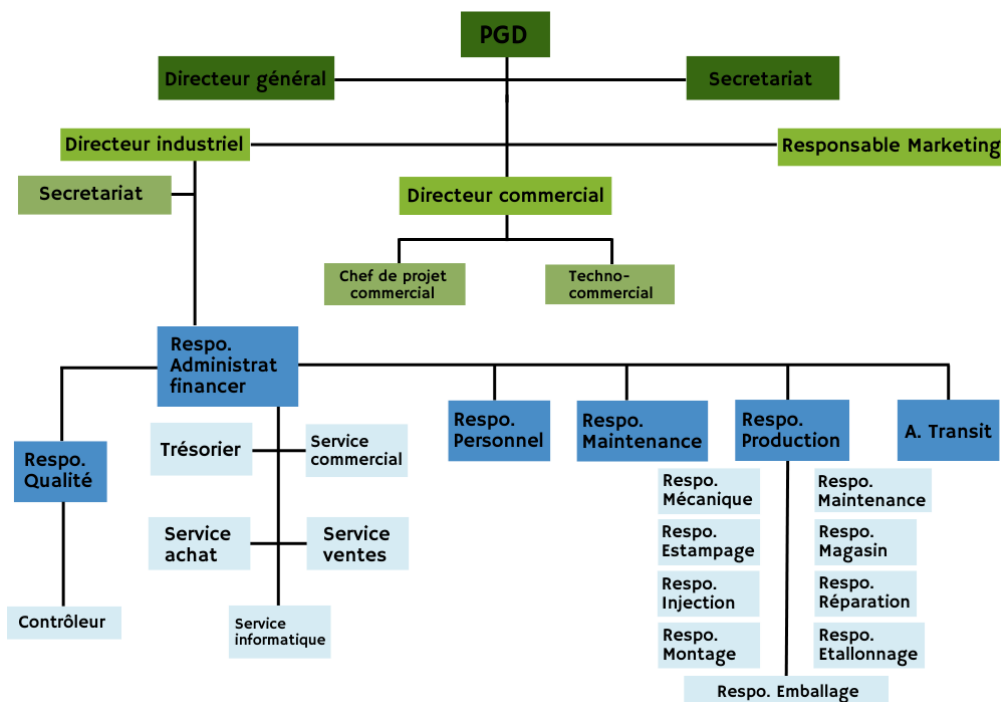


Figure 1 : Organigramme de C.E.A.C

## 1.1.3 Les ateliers de C.E.A.C :

### 1.1.3.1 Injection :



Figure 2 : La presse à injection

La presse à injection a pour rôle la production des pièces (la base et le capot) servant à couvrir le compteur. Son principe de fonctionnement est le suivant : La poudre de bakélite est introduite dans la trémie. Ensuite, elle est ramollie en passant dans une conduite cylindrique couverte de l'huile à une température allant de 50 à 56 °C. Arrivant près de la moule, la matière est injectée grâce à un vérin d'injection pour prendre sa forme finale. La pièce est éjectée puis saisie par un agent manipulateur.

### 1.1.3.2 Montage :

Cet atelier a comme tâche la réalisation des montages des compteurs, il y a toute une équipe de personnel qui s'en charge de placer les pièces nécessaires pour composer un compteur électromécanique.

### 1.1.3.3 Étalonnage :



Figure 3 : L'étalonnage

Après sa sortie de l'atelier de montage, le compteur n'est pas encore prêt à être utilisé, il doit être étalonné afin de s'assurer que la valeur de l'énergie qui sera affichée vers la fin, soit correspondante à un nombre de tours bien précis et que le taux d'erreur soit conforme aux normes imposées par ISO 9001 et à la marge recommandée par la régie. L'atelier de l'étalonnage comporte un ensemble d'opérations servant à déterminer les valeurs des erreurs des compteurs. Pour se faire, différents tests s'effectuent en agissant sur les vis de l'aimant, de la faible charge et du curseur d'une façon à limiter l'erreur.

La figure ci-dessus donne un aperçu sur l'histoire des compteurs :[1]

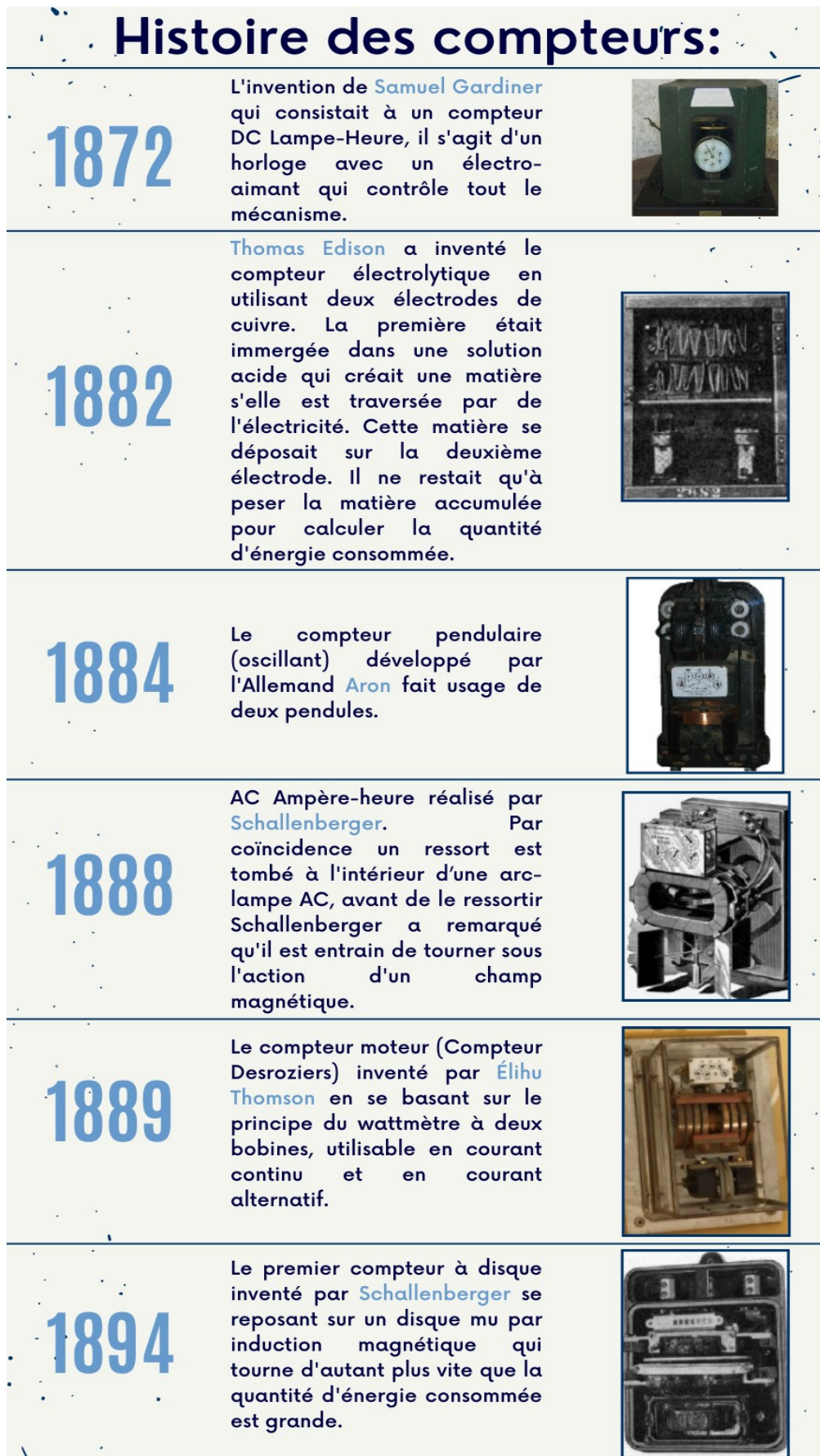


Figure 4 : Histoire des compteurs

## 1.2 Le compteur électromécanique :

### 1.2.1 Définition :

Comme son nom l'indique, le compteur électromécanique est un appareil électrique dont la fonction est de mesurer la consommation d'énergie d'un logement pour ensuite la facturer au consommateur.

### 1.2.2 Types :



On peut distinguer deux types de compteurs électromécaniques :[2]

-Le compteur monophasé (ou deux fils) : c'est un compteur électrique qui exploite le courant monophasé pour alimenter les appareils électriques et les logements en énergie. En observant les raccords de la maison, on trouve deux fils : le conducteur de phase (rouge ou noir), le câble neutre (bleu) plus un fil de terre.

-Le compteur triphasé (ou quatre fils) : Ce type de compteur est particulièrement requis par les installations nécessitant une puissance élevée pour alimenter des appareils très énergivores comme dans les locaux professionnels par exemple. Cette fois-ci en observant les raccords de la maison, on trouve quatre fils : trois conducteurs de phase (rouge ou noir) , un câble neutre (bleu) plus un fil de terre.

Le tableau suivant résume les différences entre les deux types de compteur :[3]

Tableau 1 : Différences entre le compteur monophasé et triphasé

	Monophasé	Triphasé	
Réseau	230 V	230 V	400 V
Nombre de fils	2	3	4
Calibres possibles	5-20A 5-30A 10-30A 10-60A 20-60A	5-20A 5-30A 20-100A 30-90A 20-120A	10-30A 10-60A
Puissance de raccordement	12 kVa	36 kVa	
Exemples d'utilisation	-Les logements. -Éclairage, chauffage. -Appareils électriques et électroménagers.	-Pour une puissance supérieure ou égale à 18kVa. -Pompe à chaleur, piscine chauffée. -Si le compteur est trop éloigné de point de consommation.	
Avantages	-Simple installation. -Moins de disjonctions. -Moins cher.	-Puissance trois fois supérieure à celle du monophasé. -Moins de perte de ligne.	
Inconvénients	-Faible capacité de puissance	-Provoquer des disjonctions. -Coût plus élevé.	
Les prises			



### 1.2.3 Les composants d'un compteur électromécanique :

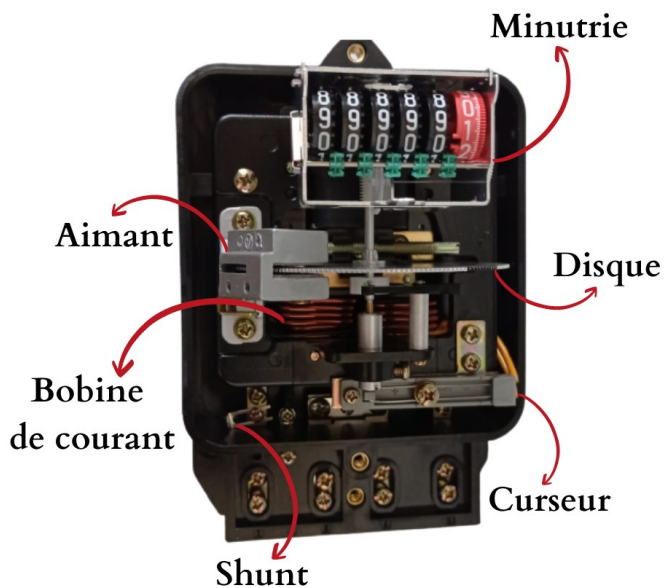


Figure 6 : Compteur électromécanique monophasé

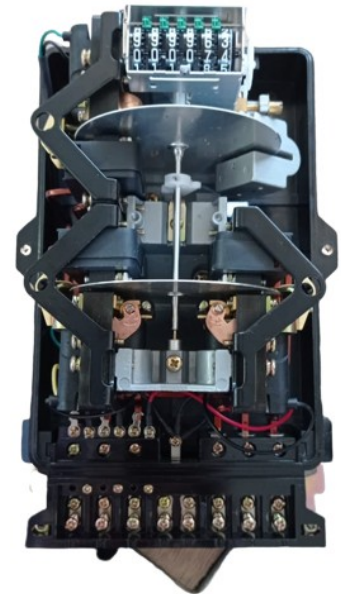


Figure 5 : Compteur électromécanique triphasé



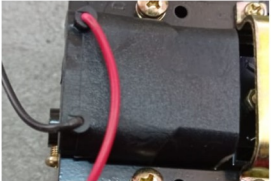



		
<b>Cliquet anti-retour</b>	<b>Pivot supérieur</b>	<b>Bobine de tension</b>
		
<b>Shunt</b>	<b>Pivot inférieur</b>	<b>Faible charge</b>

Figure 7 : Le reste des composants

-Le boîtier : Fabriqué à base de bakélite, il se compose d'une base (socle) où se fixent les composants du compteur par des vis et d'un capot à une partie transparente en polycarbonate donnant une vue sur la minuterie et la plaque signalétique du compteur.

-Le disque : A base d'aluminium, il tourne sous l'action des champs magnétiques générés par les deux bobines.

-La bobine de courant : Une bobine comportant un grand nombre de spires de fil fins, elle engendre un champ magnétique en présence du courant d'alimentation.

-La bobine de tension : Une bobine à plusieurs tours, conçue pour être aussi hautement inductive que possible. Suspendue avec son axe à 90 degrés par rapport à la bobine de courant.

-L'aimant de freinage : Sert à réduire la vitesse de rotation du disque, et il l'arrête instantanément après coupure de courant.

-La minuterie : Organe composé d'un train d'engrenages démultiplicateurs recevant son mouvement du mobile du compteur et actionnant les dispositifs indicateurs du cadran.

-Le curseur : C'est une vis qui sert à régler l'erreur du compteur à partir d'un flux magnétique, ce réglage s'effectue par le changement de la position de cette vis.

-La faible charge : Un guidage qui sert à aligner le champ magnétique dispersé avec le champ de courant.

### 1.2.4 Principe de fonctionnement :

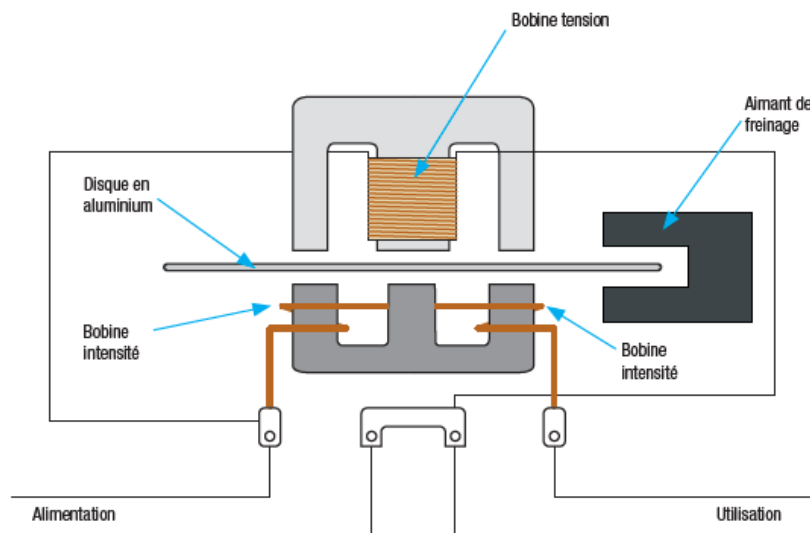


Figure 8 : Structure interne du compteur électromécanique

Il s'agit d'une pièce mobile en matériau conducteur qui est directement affectée par un champ magnétique, il est formé par des bobines conductrices fixes. La partie mobile est un disque en aluminium, et les bobines de courant et de tension produisent des courants, entraînant ce disque. La quantité de ressource consommée est directement proportionnelle au nombre de tours de ce disque. [4] C'est la rotation du disque qui va ensuite entraîner une série de roues chiffrées permettant ainsi de lire en temps réel l'index en kWh de la consommation d'électricité.

Le compteur calcule l'énergie en se basant sur la formule suivante :

$$E = P \cdot t \quad \text{avec : } P = U \cdot I \cdot \cos(\Phi)$$

En régime permanent, le disque tourne à une vitesse constante sous l'action de deux couples antagonistes dont les moments sont :

- le couple moteur dû à l'action simultanée des deux inducteurs (ou bobines) U, I.
- le couple de freinage dû à l'action d'un aimant permanent.

a) Pour le couple moteur, la valeur moyenne résultante est de la forme :

$$M_{UI} = C \times U \times I \times \cos \Phi$$

C : étant la constante caractéristique du compteur représentant la quantité d'énergie électrique qui correspond à un tour complet du disque.

U : la tension de l'alimentation (230 V).

I : l'intensité du courant dans le circuit d'utilisation.

$\Phi$  : le déphasage entre l'intensité et la tension du courant.

$\cos \Phi$  : le facteur de puissance du circuit d'utilisation.

b) Pour le couple de freinage, le moment est de la forme :

$$M_f = D \times \Omega$$

D : étant une constante du compteur dépendant de l'aimant permanent utilisé.

$\Omega$  : étant la vitesse angulaire du disque.

La puissance active consommée est proportionnelle à la vitesse de rotation du disque, et par suite, l'énergie consommée est proportionnelle à la vitesse angulaire de la rotation du disque. Le totaliseur permet de totaliser le nombre de tours évolués et d'afficher la quantité d'énergie consommée en kWh.

### **1.2.5 Les avantages et les inconvénients :**

#### **Les avantages :**

- La simplicité d'installation et d'utilisation.
- La robustesse.
- La fiabilité.
- La précision et l'exactitude des mesures.
- Faible coût.

#### **Les inconvénients :**

- L'impossibilité de suivre et d'optimiser sa consommation.
- La mesure uniquement de l'énergie en kWh.
- L'arrivée ou la présence d'un agent est nécessaire pour relever le prix.
- Le risque des fraudes en arrêtant le disque ou en le ralentissant.

### **1.2.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre on a présenté la société C.E.A.C, au sein de laquelle on a fait notre stage de PFE, on a donné un aperçu sur son historique et ses activités de plus on a parlé de ses différents ateliers. Nous avons également établi une description des compteurs électromécaniques. Dans le chapitre suivant, on entamera le compteur intelligent.



# Chapitre 2

---

## Compteur intelligent

Dans cette rubrique, on va définir le compteur intelligent avec ses composants et on va mettre en lumière ses différentes fonctionnalités pour clarifier la finalité de notre travail. Le chapitre est scindé en deux parties principales : On commencera par lister tous les composants et les éléments d'un compteur intelligent, la deuxième partie porte sur l'IoT et sa relation avec notre projet.

## 2.1 Introduction :

Le compteur d'énergie qui a pour rôle le calcul de la consommation ainsi que l'établissement de la facture, est un élément essentiel pour les sociétés de l'électricité et les consommateurs. Au départ, les compteurs électromécaniques ont été utilisés largement. Après, il y a eu recours aux compteurs électroniques. Et avec l'apparition de l'internet des objets (IoT) et l'innovation technologique, le monde a connu une transformation numérique vertigineuse dans tous les secteurs vitaux et industriels y compris le secteur énergétique. À cet égard et en 1972, Paraskevagos[5] a développé une méthodologie de comptage pilotée par un capteur qui permettait aux compagnies d'électricité d'extraire des données d'utilisation directement de l'équipement sur site dans des bases de données internes via des lignes électriques, il s'agit d'un **compteur électrique communicant**. Avec cette dernière génération des compteurs, il est devenu plus facile de poursuivre la consommation et alors de la contrôler. Et plus important que tout cela, ce n'est pas la peine de se rendre personnellement dans une agence ou d'attendre un agent pour payer les factures d'énergie.

Les compteurs intelligents sont parmi les leviers de la transformation des réseaux de distribution électrique aux réseaux intelligents. Le déploiement des compteurs intelligents devrait permettre de mieux connaître la consommation électrique, faciliter la transition vers les énergies renouvelables et les véhicules électriques, une meilleure gestion de la production et de la distribution d'électricité, et donc de faire des économies.

La figure représente les différents types de compteurs :

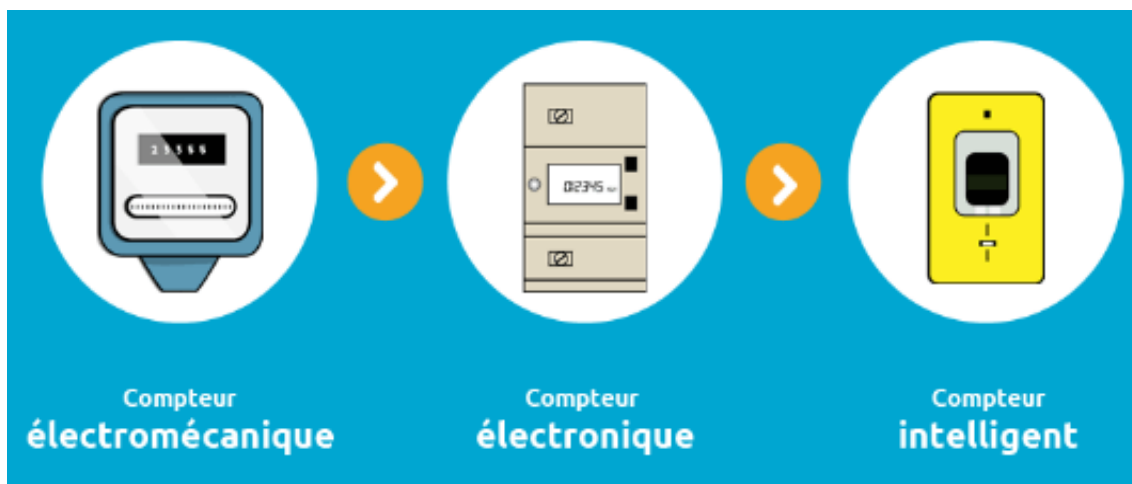


Figure 9 : Évolution des compteurs.

## 2.2 Les composants :

Le compteur intelligent se compose essentiellement de trois parties : L'alimentation, le microcontrôleur et l'interface de communication.

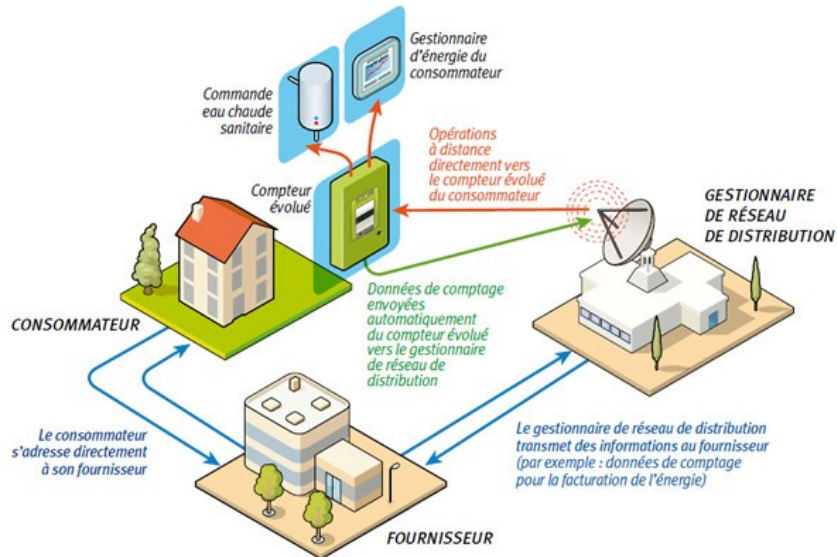


Figure 10 : Schéma de base d'un réseau électrique intelligent.

### 2.2.1 L'alimentation :

Le système est doté d'un circuit d'alimentation qui convertit le courant alternatif AC au courant continu DC. De plus, il est équipé d'une batterie de secours qui alimente temporairement les composants dans le cas de coupure d'électricité.

### 2.2.2 Microcontrôleur :

Les capteurs servent à collecter les données du monde physique qui sont de nature analogique, ces données sont convertit en signaux numériques à l'aide de la partie ADC encastree dans le microcontrôleur. Le microcontrôleur est un circuit intégré et compact, c'est lui qui va traiter les informations provenant des capteurs et qui va donner la réponse voulue aux servo-moteurs.

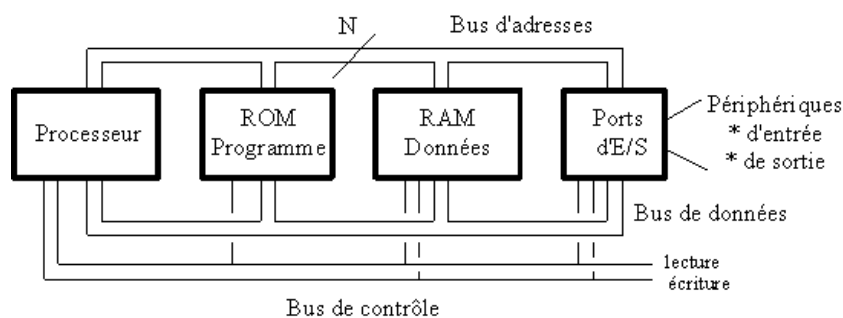


Figure 11 : Partie interne d'un microcontrôleur

Le microcontrôleur est composé de **quatre parties** :

-Un **microprocesseur** qui va prendre en charge la partie traitement des informations et envoyer des ordres. Il est lui-même composé d'une unité arithmétique et logique (UAL) et d'un bus de données. C'est donc lui qui va exécuter le programme embarqué dans le microcontrôleur.

- Une **mémoire de données** (RAM ou EEPROM) dans laquelle seront entreposées les données temporaires nécessaires aux calculs. C'est en fait la mémoire de travail qui est donc volatile.
- Une **mémoire programmable** (ROM), qui va contenir les instructions du programme pilotant l'application à laquelle le microcontrôleur est dédié. Il s'agit ici d'une mémoire non volatile puisque le programme à exécuter est à priori toujours le même.
- La **dernière partie** correspond aux ressources auxiliaires. Celles-ci sont généralement :
  - Ports d'entrées / sorties parallèle et séries.
  - Des timers pour générer ou mesurer des signaux avec une grande précision temporelle.
  - Des convertisseurs A/N pour traiter les signaux analogiques.

### 2.2.3 L'interface de communication :

Sur le marché, de nombreuses solutions existent au niveau des moyens de communication entre les compteurs et le système central. Selon les régions géographiques, la localisation du compteur individuel, l'efficacité et les limites de ces technologies, on peut faire le bon choix.

On peut classer ces protocoles de communication en deux types fondamentaux :

- 1-Technologies filaires (ADSL, Ethernet, PowerLineCommunication (PLC), fibre optique).
- 2-Technologies sans-fil (Broadband over Power Line (BPL), WIFI, RadioFrequency Mesh(RF Mesh), WiMAX, cellulaire(3G-4G-5G..).[6]

## 2.3 Principe de fonctionnement :



Figure 12 : Étapes du comptage intelligent

Comme le compteur classique, le compteur intelligent sert à calculer l'énergie consommée de plus il tient au courant et le consommateur et le fournisseur de cette consommation. Tous les composants du compteur intelligent sont entièrement électroniques et il dispose d'un écran pour l'affichage numérique. Un compteur est doté d'un module de communication qui lui permet de «dialoguer» avec le gestionnaire de réseau. Le compteur intelligent peut ainsi envoyer des messages

électroniques et recevoir des ordres à distance du gestionnaire de réseau de distribution. Il envoie également les mêmes informations à l'écran intégré à la maison (**InHomeDisplay**), afin que l'utilisateur puisse surveiller sa consommation d'énergie en temps réel et donc la gérer.

Le gestionnaire de réseau peut donc interagir avec le compteur pour l'aider dans sa gestion du réseau et il lui permet aussi d'offrir de nouveaux services aux clients (interventions à distance sans prise de rendez-vous ni déplacement). Citons quelques exemples de fonctionnalités offertes par les compteurs intelligents :

- La relève à distance d'index.
- La gestion du prépaiement des consommations d'énergie (en remplacement des compteurs à budget).
- L'ouverture ou la fermeture de l'alimentation en énergie (en cas de déménagement).
- L'adaptation de la puissance du raccordement.
- Le changement de type de tarification (mono-horaire ou bi-horaire), voire potentiellement le développement de nouveaux types de tarifications (saisonniers,...).
- La détection plus facile des pannes sur le réseau.
- La remontée d'alarme en cas de tentative de fraude sur le compteur.

## **2.4 Les avantages :**

- Factures exactes et non estimées.
- Plus d'informations sur la consommation comme : la tension, l'intensité, la puissance instantanée (active et réactive), l'énergie, le prix...
- Surveiller la consommation énergétique de près et en temps réel.
- Améliorer la prise de conscience de la consommation d'énergie pour l'économiser.
- Prélèvement des données se fait à distance sans avoir besoin d'un agent.
- Communication plus facile en cas de déménagement.
- Détection plus rapide et automatique des fraudes et des pannes.
- Divers choix de paiement (mode prépaiement et le mode crédit).
- Simplicité d'intégration des panneaux solaires comme source d'énergie.

Mais il y a également des contraintes qui empêchent l'intégration rapide de ce type de compteur, il est très coûteux et difficile à installer de plus en terme de robustesse il est plus fragile que les compteurs classiques.

## **2.5 Internet of Things (IoT):**

### **2.5.1 Introduction :**



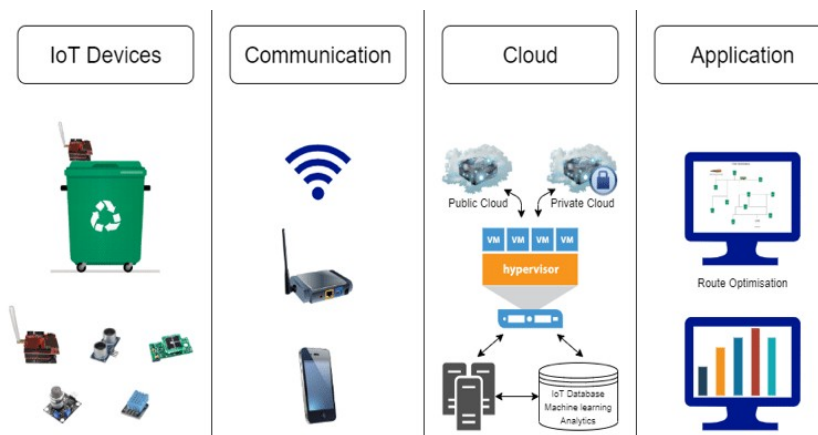


Figure 14 : Infrastructure IoT

La question qui se pose : c'est quoi la liaison entre IoT et notre projet ?

Les capteurs permettent de détecter et répondent à un certain type d'entrée qui est souvent une grandeur physique comme la température, la pression, la force, la luminosité..., cette grandeur est traduite en un signal électrique, ce signal ensuite subit, plusieurs sortes de traitements et de modifications afin de délivrer vers la fin à la sortie une grandeur exploitable. Cette grandeur de sortie peut soit être affichée ou bien on peut la charger dans un site web qui est l'interface de communication entre l'objet et l'utilisateur.

Ce cheminement représente l'infrastructure des projets IoT qu'on appelle des projets à faible coûts et qui consistent à utiliser des capteurs pour détecter des entrées, un simple microcontrôleur ou une carte Arduino ou encore une carte Raspberry pour traiter les données et un moniteur pour les afficher, en plus d'un cloud server (généralement un site web ou une application) d'acquisition de données pour les stocker, les visualiser et les exploiter à distance. Ainsi, notre projet n'est donc qu'une version pixelisée des applications IoT qu'on vient de citer avant.

### 2.5.4 Conclusion :

Ce chapitre a été divisé en deux parties, la première étant la description des fonctionnalités et la présentation des composants du compteur intelligent. Dans la deuxième partie qui concerne l'IoT on a donné une idée générale sur ce sujet et puis on a entamé une explication de sa relation avec notre projet.

# Chapitre 3

---

## Analyse et conception

L'analyse et la conception ont pour objectif de formaliser les étapes préliminaires du développement d'un système, qui dans notre cas est le compteur intelligent. Pour ce faire, on débutera par une explication bien détaillée du cahier de charge et puis on entamera une présentation des différents outils et technologies utilisés pour réaliser ce projet.



## **3.1 Cahier de charge :**

### **3.1.1 Contexte et définition du problème :**

Intégrés dans notre environnement, les systèmes communicants nous ont permis d'améliorer notre quotidien, voire faciliter notre vie. Ce progrès que le monde a connu a vu le jour grâce à l'association entre une multitude de domaines comme : l'électronique, la programmation logicielle des systèmes embarqués, les techniques de transmission avec ou sans fil et les réseaux informatiques. Ainsi, notre projet s'inscrit dans ce contexte, il s'agit d'un prototype d'un compteur intelligent. On a opté pour ce choix dû aux limites et aux lacunes du compteur électromécanique. D'une part, il mesure uniquement l'énergie consommée en kW et non pas d'autres grandeurs donc il ne fournit pas assez d'informations, d'autre part la présence d'un agent est obligatoire pour lire la valeur et calculer le prix à payer et pire que cela, ce compteur ne dispose pas d'une unité de communication.

### **3.1.2 Objectifs du projet :**

Après avoir exposé le problème dans la première partie, ici on va exprimer quelles sont les attentes et les résultats escomptés. Notre projet est un compteur à base de composants électroniques qui fournit plusieurs informations sur la consommation en temps réel, de plus le prélèvement des données se fait à distance sans l'arrivée d'un agent, permettant le fournisseur et l'utilisateur d'être au courant de la consommation. Le projet a pour ultime but l'économisation de l'énergie.

### **3.1.3 Périmètre :**

On va définir le scope de ce projet pour ne pas déborder sur ses objectifs.

- Tout d'abord, il doit être clair que notre compteur n'est pas destiné à être et ne sera pas quelque chose comme les compteurs intelligents existants sur le marché, il sera un projet à faible coût à base d'une carte Arduino et quelques capteurs, le tout sera connecté à un site web par une carte wifi.
- Notre compteur va être lié juste à des LEDs, alors la différence entre les consommations ne sera pas importante et remarquable comme dans le cas réel en présence des appareils énergivores.

### **3.1.4 Description fonctionnelle :**

Notre projet consiste à réaliser un compteur communicant qui calcule la consommation de chaque composant tout seul séparément des autres ainsi que la consommation totale, ensuite, il transmet toutes les informations : courant, tension, puissance, énergie et prix à un site web via une carte wifi ESP8266. A travers la création d'un compte dans ce site web, l'utilisateur pourra avoir accès aux informations nécessaires lui permettant d'essayer de minimiser ses dépenses (l'argent) et de conserver l'énergie. Concrètement, à n'importe quel moment donné l'utilisateur peut consulter son compte et avoir un aperçu sur l'énergie consommée dans le temps réel, ou bien il peut savoir il est

dans quel tronche ou encore connaître les composants les plus gourmands en consommation pour s'assurer de les éteindre juste après l'utilisation. Du coup, notre projet porte le nom d'un compteur **Éco-Intelligent**.

Les fonctionnalités pour chaque composant sont les suivantes :

- Mesurer le courant.
- Mesurer la tension.
- Calculer la puissance et l'énergie instantanée.
- Calculer l'énergie totale pour calculer le prix à payer.
- Afficher sur LCD les courants, les tensions, les puissances instantanées et le prix total.
- Transférer toutes ces données au site web Blynk via la carte ESP8266 NodeMCU.
- Simulation d'un circuit de sécurité.

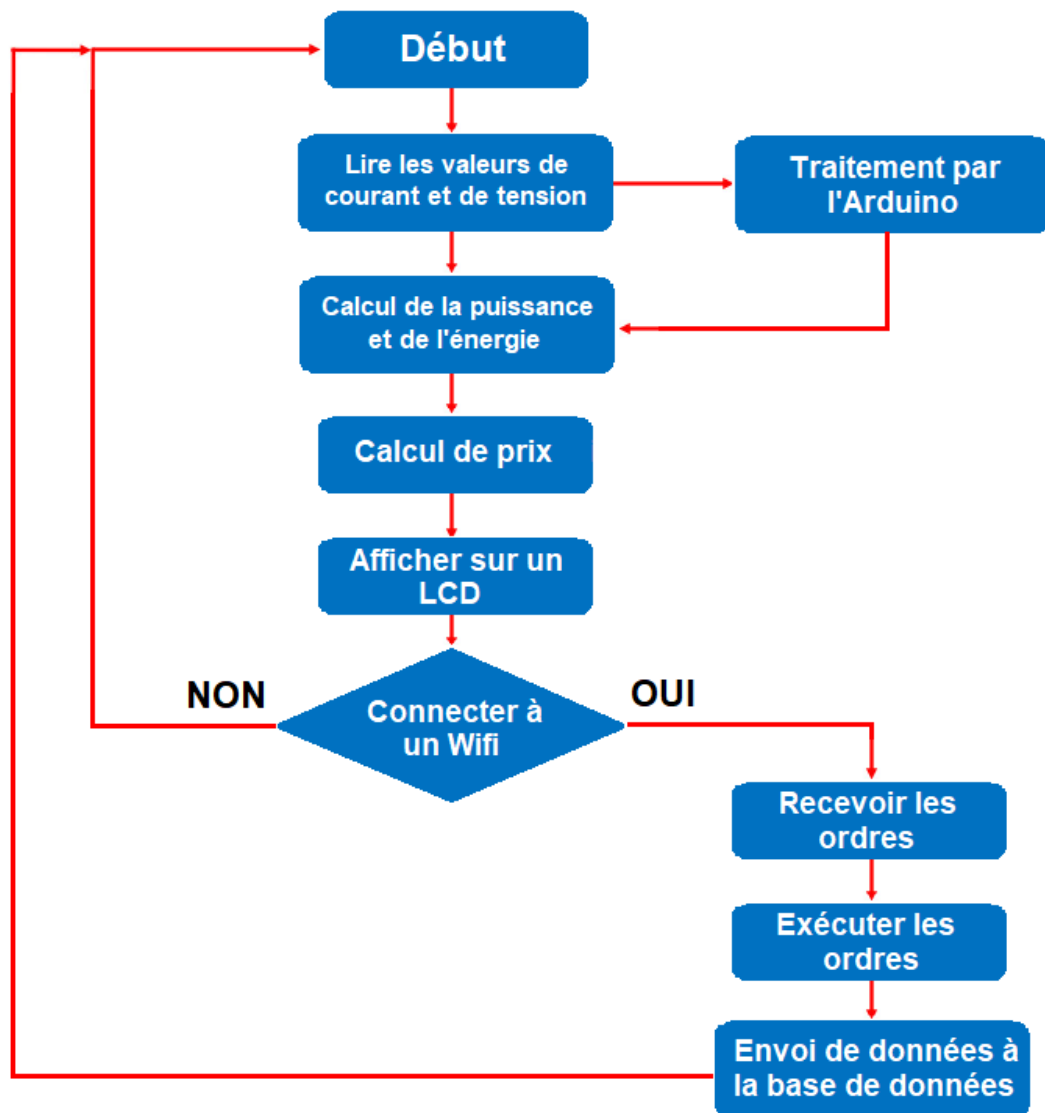


Figure 15 : Organigramme du travail réalisé

## 3.2 Les composants :

### 3.2.1 Arduino UNO :

La carte Arduino est un microcontrôleur, c'est un ensemble matériel et logiciel faciles à utiliser qui permet d'apprendre l'électronique tout en se familiarisant avec la programmation informatique. Arduino est un outil de développement de produits IoT populaire. Nombreux sont les types de cartes Arduino, basiquement elles sont de tailles et de formes différentes et elles remplissent des tâches particulières et distinguées variant d'une carte à une autre selon le besoin et la finalité du projet. Il y a l'Arduino Méga, l'Arduino micro, l'Arduino nano et ainsi de suite...

Arduino Uno est la carte la plus utilisée d'Arduino, car elle convient aux utilisateurs débutants et avancés. On optera pour le choix de l'Arduino Uno.

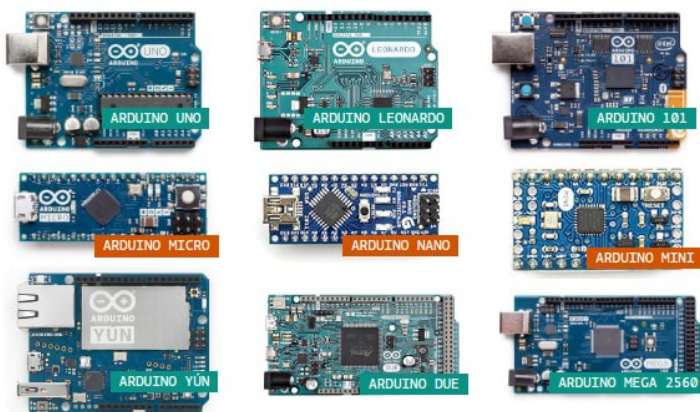


Figure 17 : Les types d'Arduino

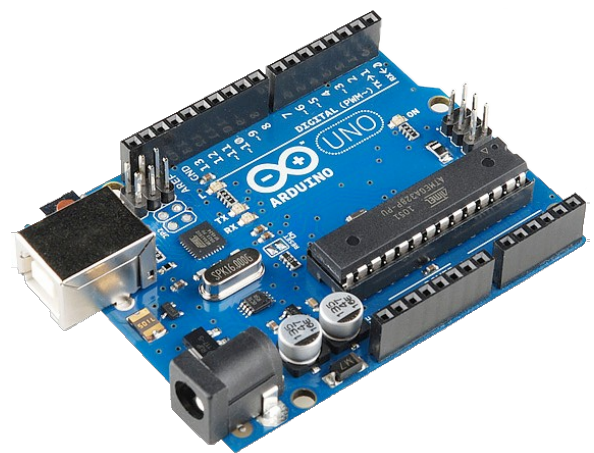


Figure 16 : Arduino UNO

L'Uno est basé sur la puce ATmega328 et dispose de 14 broches d'entrée / sortie numériques. 6 de ces broches peuvent être utilisées pour PWM. De plus, il y a 6 broches d'entrée analogiques, un résonateur 16 MHz, une connexion USB, une prise d'alimentation, un en-tête ICSP et un bouton de réinitialisation.

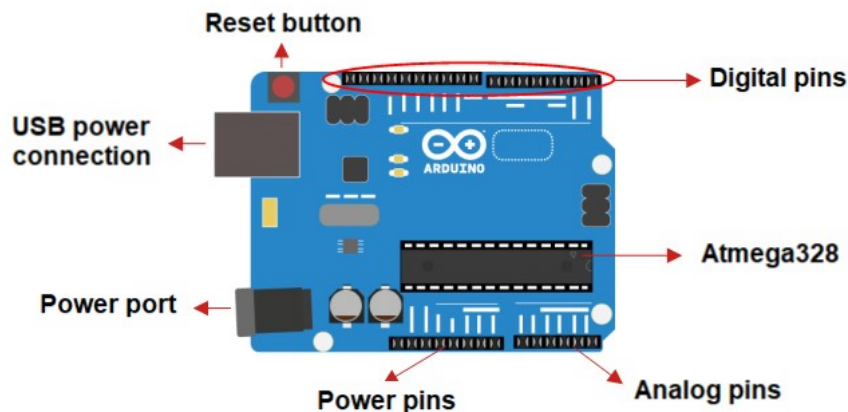


Figure 18 : Brochage de l'Arduino Uno

### 3.2.2 Capteur de courant ACS712 :

Le module ACS712 est une solution économique pour pouvoir mesurer le courant dans un circuit. Le capteur détectera la quantité de courant et fournira une sortie sous forme de tension proportionnelle au courant consommé. Le fonctionnement de ce capteur se base essentiellement sur l'effet Hall. En effet, le capteur est à base d'un conducteur placé dans un champ magnétique  $B$ , lorsqu'il est parcouru par un courant  $I$  (le courant à l'entrée), la tension présente est perpendiculaire au courant et au champ magnétique.

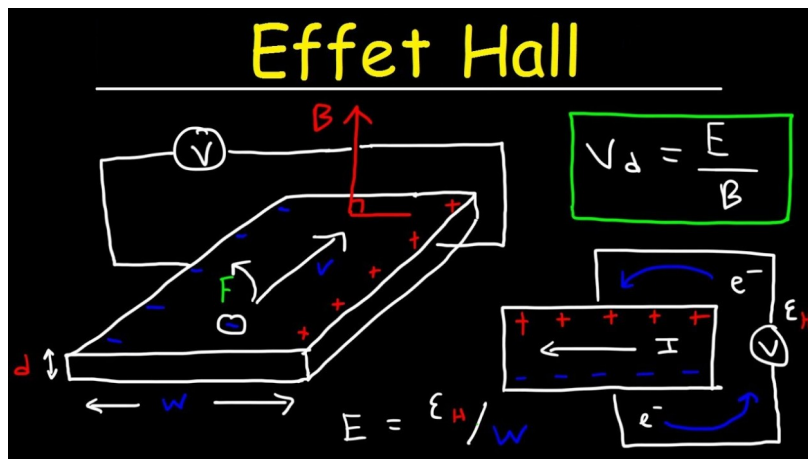


Figure 19 : Effet Hall

Le capteur de tension a les caractéristiques suivantes :

- Dimensions: 31x13x15mm.
- Puce: ACS712ELEC-30A.
- Gamme de courant mesuré: -30A à +30A.
- Sensibilité: 66mV/A.
- Consommation: 10mA.
- Alimentation: 5VDC (4.5-5.5VDC).

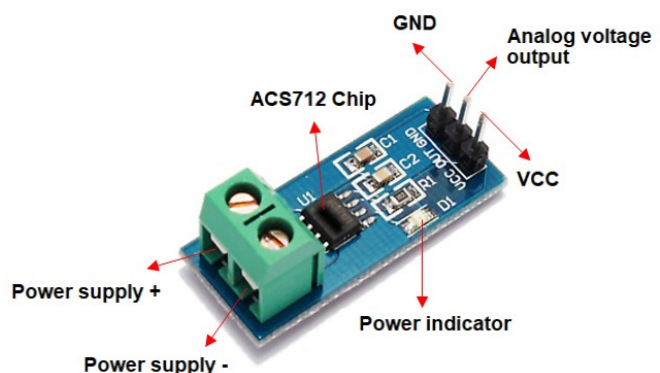
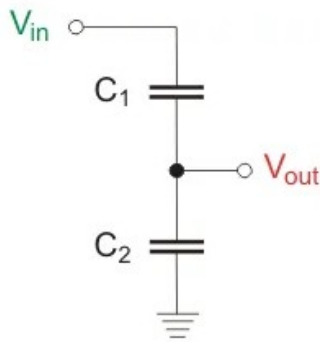


Figure 20 : Capteur de courant ACS712

### 3.2.3 Capteur de tension :

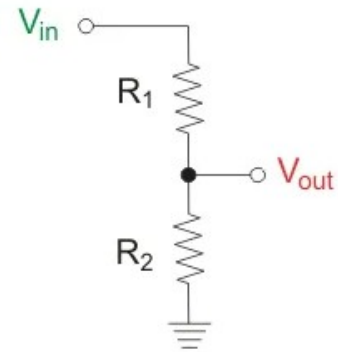
Un capteur de tension peut déterminer, surveiller et mesurer l'alimentation en tension. Il peut mesurer le niveau AC et/ou le niveau de tension DC. Il a comme entrée la tension elle-même, et la sortie peut être des signaux de tension analogiques, des commutateurs, des signaux sonores, des niveaux de courant analogiques, des fréquences ou même des sorties modulées en fréquence.

Son principe de mesure est basée sur le diviseur de tension. On peut distinguer entre deux types de capteurs de tension : Capacitif et résistif.



$$V_{out} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \times V_{in}$$

Figure 22 : Schéma du circuit du capteur de tension capacitif



$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

Figure 21 : Schéma du circuit du capteur de tension résistif

Notre capteur de tension a les caractéristiques suivantes :

- Tension d'entrée : 0 volts – 25 volts.
- Plage de mesure de tension : 0,02445 – 25 Volts.
- Résolution du signal analogique : 0,00489 Volts.
- Ses dimensions : 4 cm x 3 cm x 2 cm.
- C'est un petit appareil portable et fiable.
- C'est un circuit simple et facile à interfacer avec les microcontrôleurs Arduino.

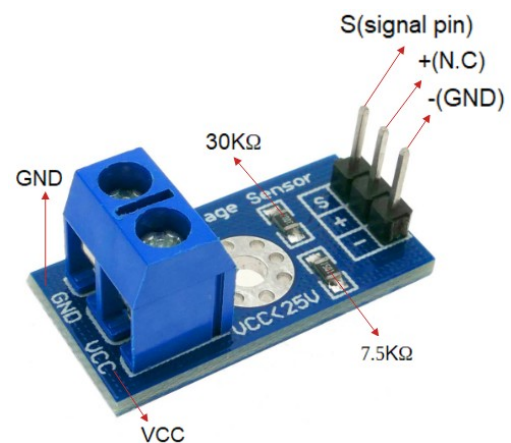


Figure 23 : Capteur de tension

### 3.2.4 Carte WIFI ESP8266 NodeMCU :

La carte NodeMCU ESP8266 possède un module ESP-12E contenant un microprocesseur Tensilica Xtensa® 32-bit LX106. Elle intègre un Wifi émetteur-récepteur ce qui lui permet de se connecter à des réseaux existants ou bien de mettre en place son propre réseau. Avec un total de 30 broches qui l'interfacent avec le monde extérieur, 17 broches GPIO réparties sur les en-têtes de broches des deux côtés de la carte de développement, ils peuvent être affectées à toutes sortes de tâches périphériques. L'alimentation du NodeMCU ESP8266 est fournie via le connecteur USB MicroB intégré.

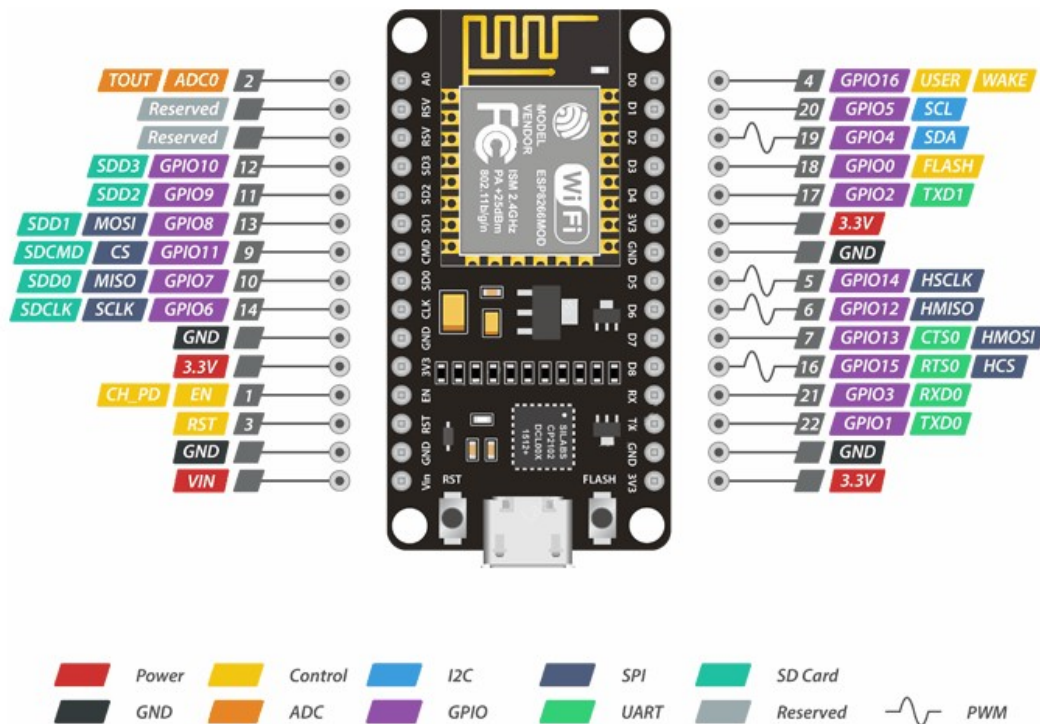


Figure 24 : Esp8266 NodeMCU

Notre carte wifi esp8266 a les caractéristiques suivantes :

- Tension d'alimentation : 7-12V.
- Tension logique : 3.3V.
- Courant de fonctionnement : 80 mA.
- Mémoire flash : 4MB.
- Mémoire RAM : 128KB.
- Fréquence d'horloge : 80 à 160MHz.
- Interface Wifi 802.11 b/g/n 2,4 GHz.
- Vitesse de communication : 4.5 Mbps.
- Une seule entrée analogique(A0).
- 16 I/O digitales.

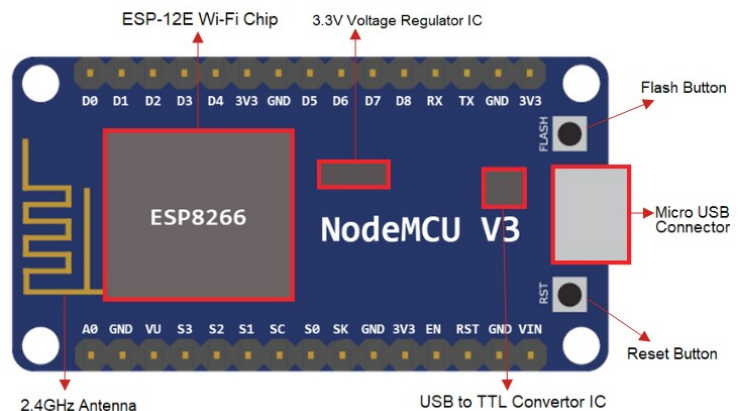


Figure 25 : Brochage esp8266

### 3.2.5 Afficheur LCD 16x2 caractères :

L'afficheur LCD(Liquid Crystal Display) est essentiellement une unité d'affichage qui utilise des cristaux liquides pour former une image visuelle, elle peut afficher 32 caractères ASCII sur deux lignes de 16 caractères chacune. Lorsqu'un courant est appliqué à ces cristaux, ils deviennent opaques, bloquant le rétroéclairage qui se trouve derrière l'écran. En conséquence, cette zone



particulière sera sombre par rapport aux autres. Et c'est ainsi que les caractères sont affichés à l'écran.

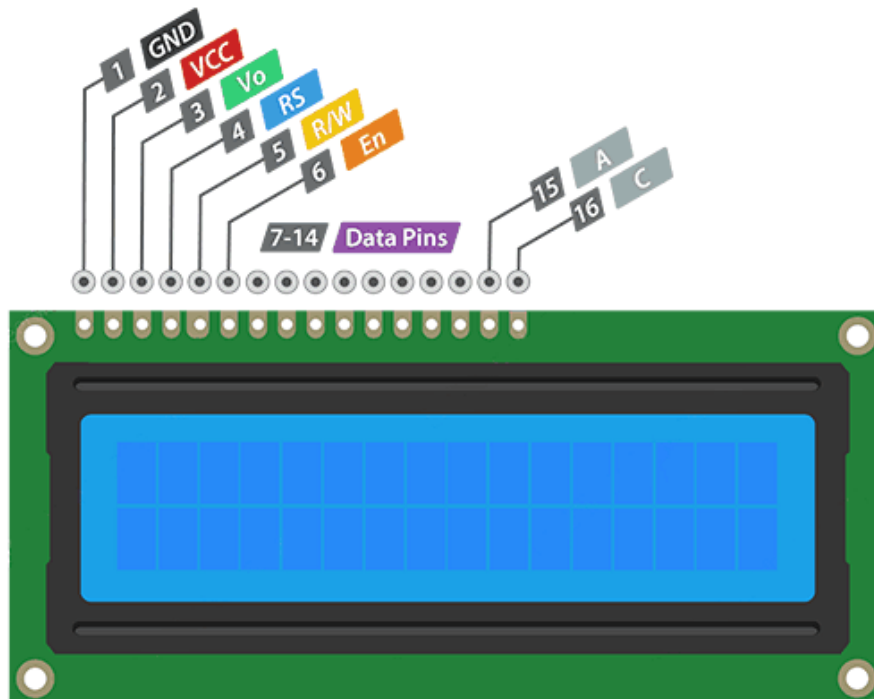


Figure 26 : Brochage LCD 16x2

### 3.2.6 Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à une description bien détaillée du cahier de charge suivi d'une brève présentation de l'ensemble des outils utilisés dans la réalisation de notre projet.

# Chapitre 4

---

## Mise en œuvre

Ce chapitre marque la fin du rapport, il portera sur la réalisation pratique du compteur intelligent. On présentera tout d'abord le test de chaque composant séparément des autres composants et puis on opérera pour une description de notre projet accompagnée de photos démonstratives de ce qu'on a réalisé.



## 4.1 Tests des composants :

### 4.1.1 Test du capteur de courant ACS712 avec Arduino UNO :

Pour ce test on a utilisé une LED rouge en série avec une résistance de 560 Ohm alimentée par une batterie de 4V, le capteur de courant ACS712 est branché avec l'Arduino de tel sorte à capter les valeurs du courant comme les deux figures ci-dessous le montre :

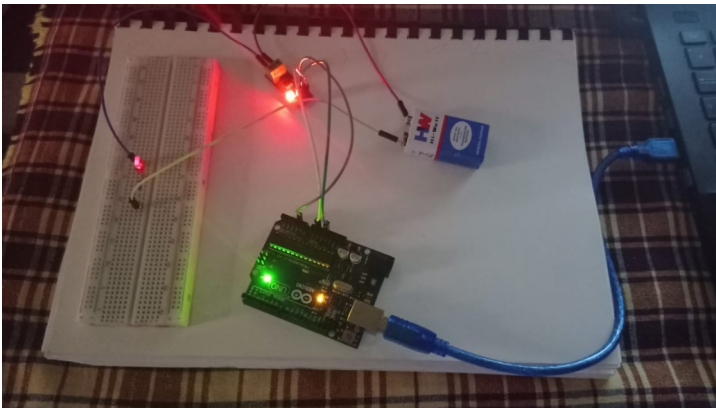


Figure 28 : Test du capteur de courant ACS712

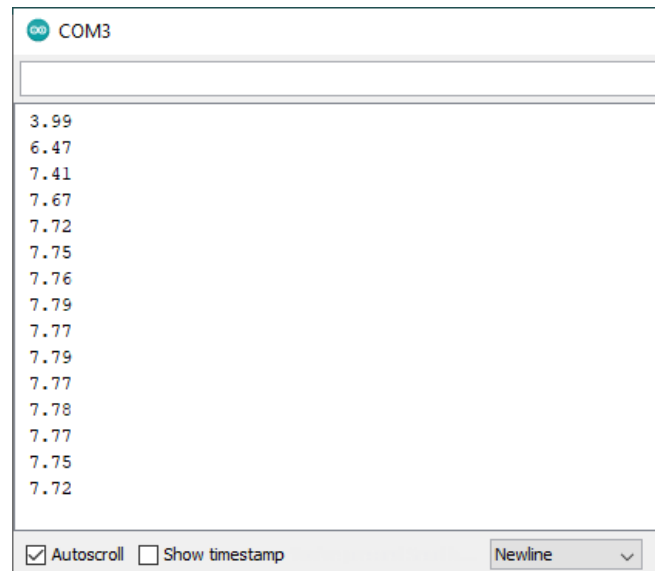


Figure 27 : Résultats du test d'ACS712

### 4.1.2 Test du capteur de tension avec Arduino UNO :

Dans ce test on a câblé notre capteur de tension ( $V_{cc} < 25V$ ) avec l'Arduino UNO alimenté par une batterie de 4V et on a obtenu les résultats ci dessous :

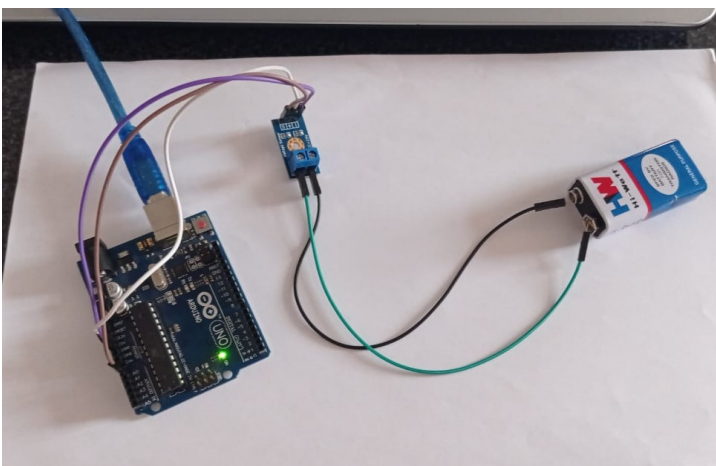


Figure 30 : Test du capteur de tension

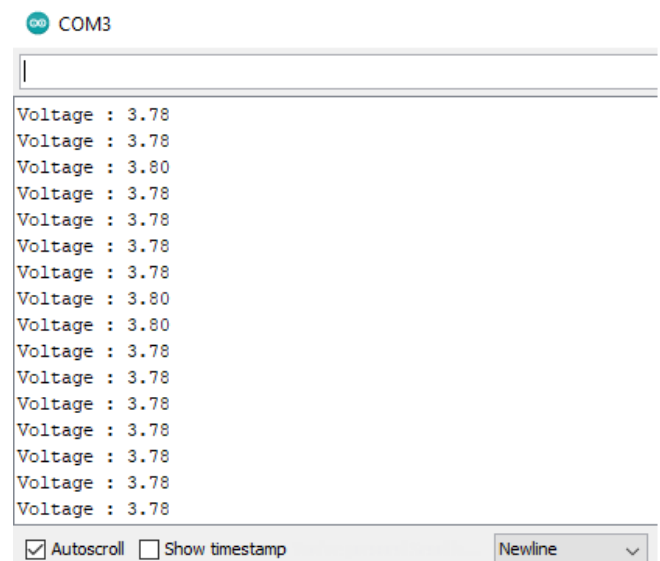


Figure 29 : Résultats du test du capteur de tension

### 4.1.3 Test de l'afficheur LCD :

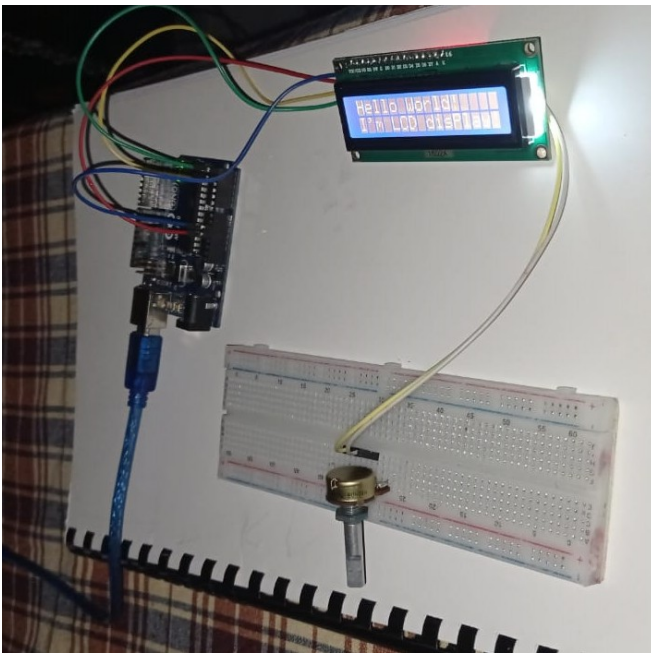


Figure 31 : Test de l'afficheur LCD

Comme la figure ci-contre le montre, on a testé l'afficheur LCD 16x2 en la branchant avec l'Arduino et un potentiomètre de 10 Kohm pour afficher la phrase "Hello World! I'm LCD display".

**N.B:** Le potentiomètre dans ce cas n'a pour rôle qu'à contrôler la luminosité de l'écran du LCD.

### 4.2 Simulation du projet :

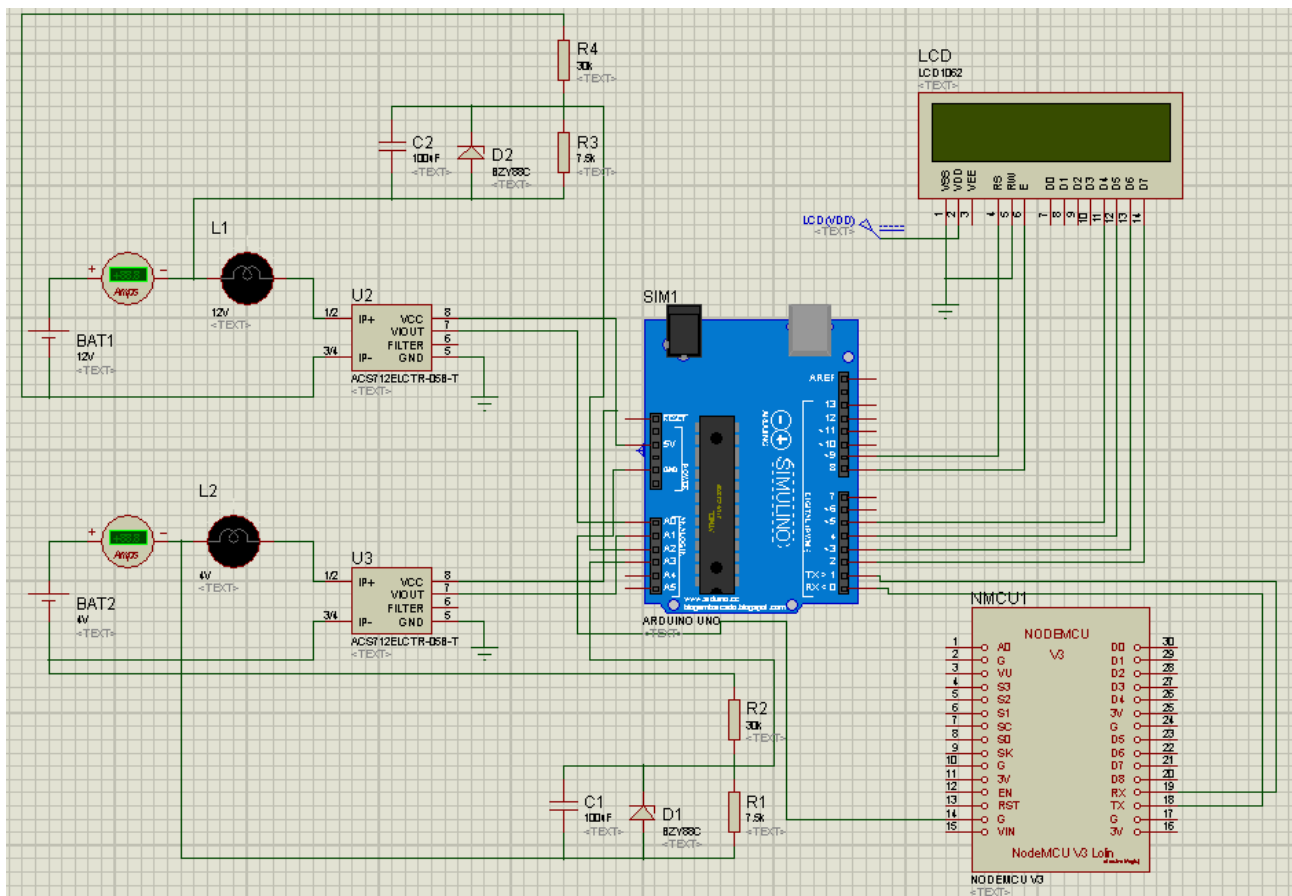


Figure 32 : Simulation globale du projet

## 4.3 réalisation pratique du projet :

Tout d'abord le système d'acquisition de données représente l'interface entre le capteur et l'ordinateur. Ce système est composé de circuit imprimé (Arduino dans notre cas) et de logiciel, permet de recueillir automatiquement les informations analogiques ou numériques provenant du capteur.

### 4.3.1 La programmation avec Arduino IDE :

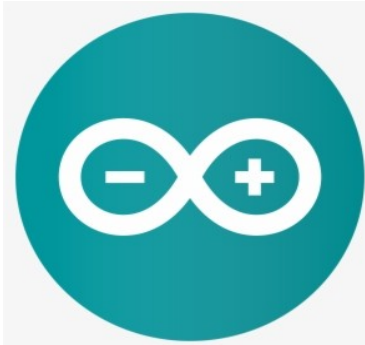


Figure 33 : Arduino IDE

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.

Dans notre projet, on a programmé la carte Arduino Uno et l'ESP8266 NodeMCU (la carte WIFI) avec l'Arduino IDE.

### 4.3.2 Le projet :

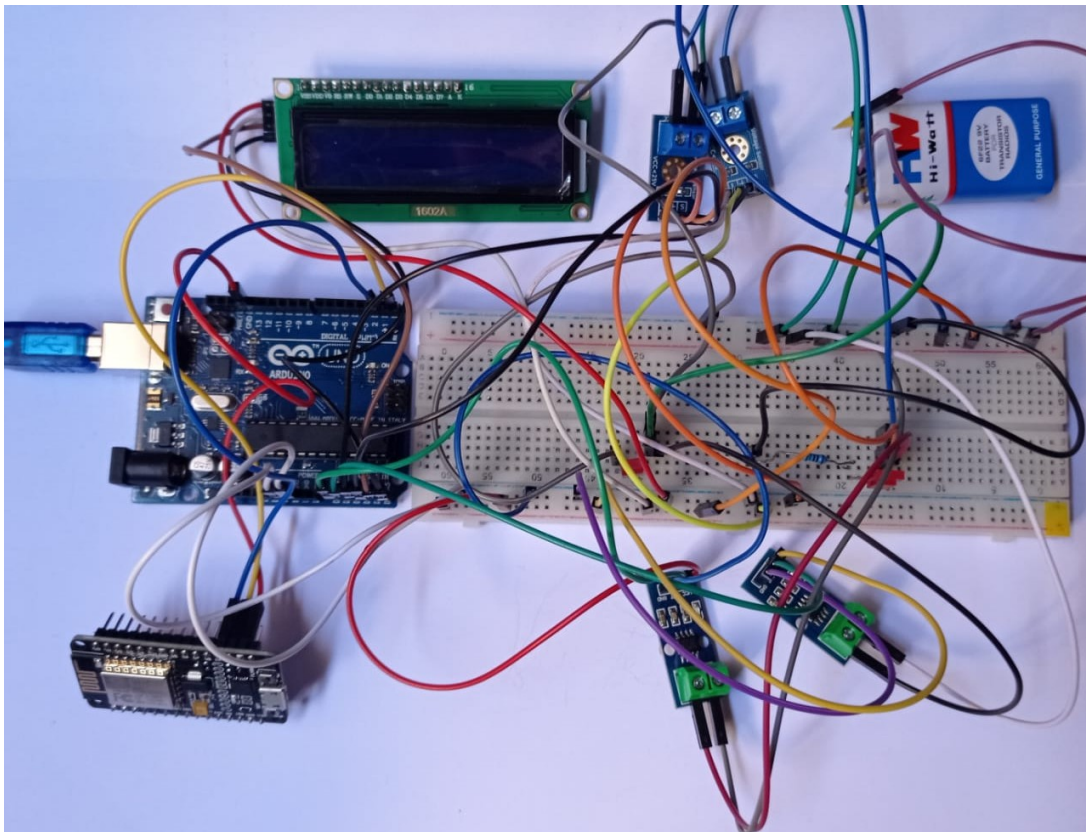


Figure 34 : Projet final du compteur intelligent

### 4.3.3 Présentation du plateforme de communication Blynk :

On va récupérer toutes les données de consommation sur une application qui s'appelle **Blynk**. Blynk est une plate-forme pour l'Internet des Objets (IoT). Elle permet notamment de concevoir une application mobile (Android et iOS) pour contrôler et visualiser les données d'un système embarqué via un serveur cloud public ou privé. La conception de l'application mobile (Android et iOS) à base de widgets (éléments graphiques) est réalisée par simple glisser & déposer sans écrire une ligne de code.

Blynk fournit un serveur Open-Source basé sur Netty qui est chargé de transmettre les messages entre l'application mobile Blynk et le système embarqué (Arduino, ESP8266, ESP32, ...). C'est le serveur Blynk qui est responsable du transfert des messages entre le système embarqué et l'application. [8]



Figure 35 : Blynk

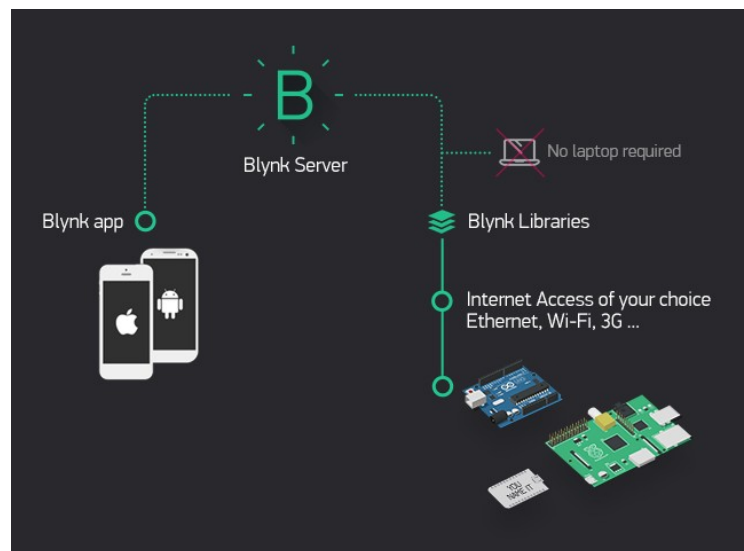


Figure 36 : Description de fonctionnement de Blynk

On a opté pour la réalisation d'une simple application à savoir le contrôle à distance d'une LED en utilisant l'application Blynk comme le montre la figure ci-dessous :

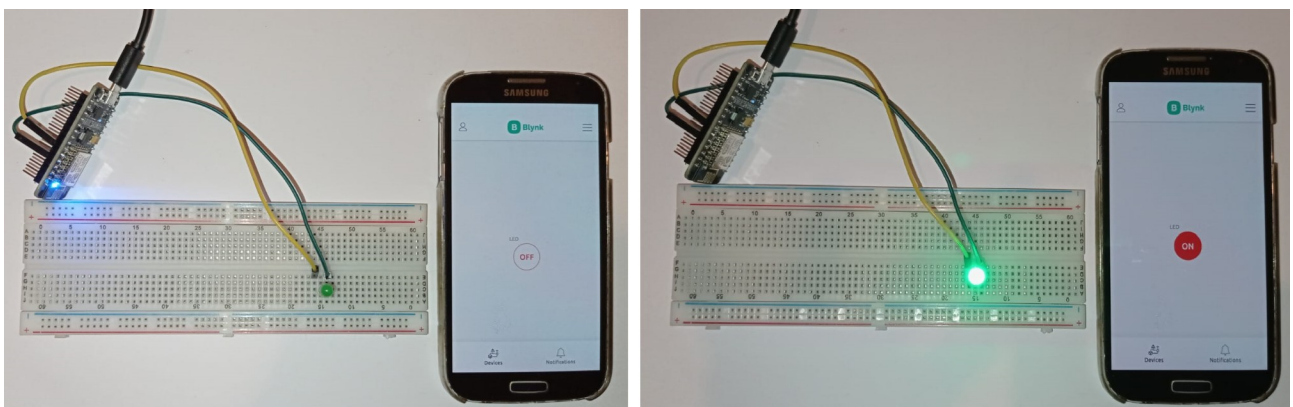


Figure 37 : Contrôle à distance d'une LED par l'application Blynk



**N.B :** Dans la réalisation pratique du compteur éco-intelligent, on a utilisé d'autres fonctionnalités compatibles avec la finalité du projet à l'aide de l'application Blynk.

### 4.3.4 Simulation du système de sécurité :

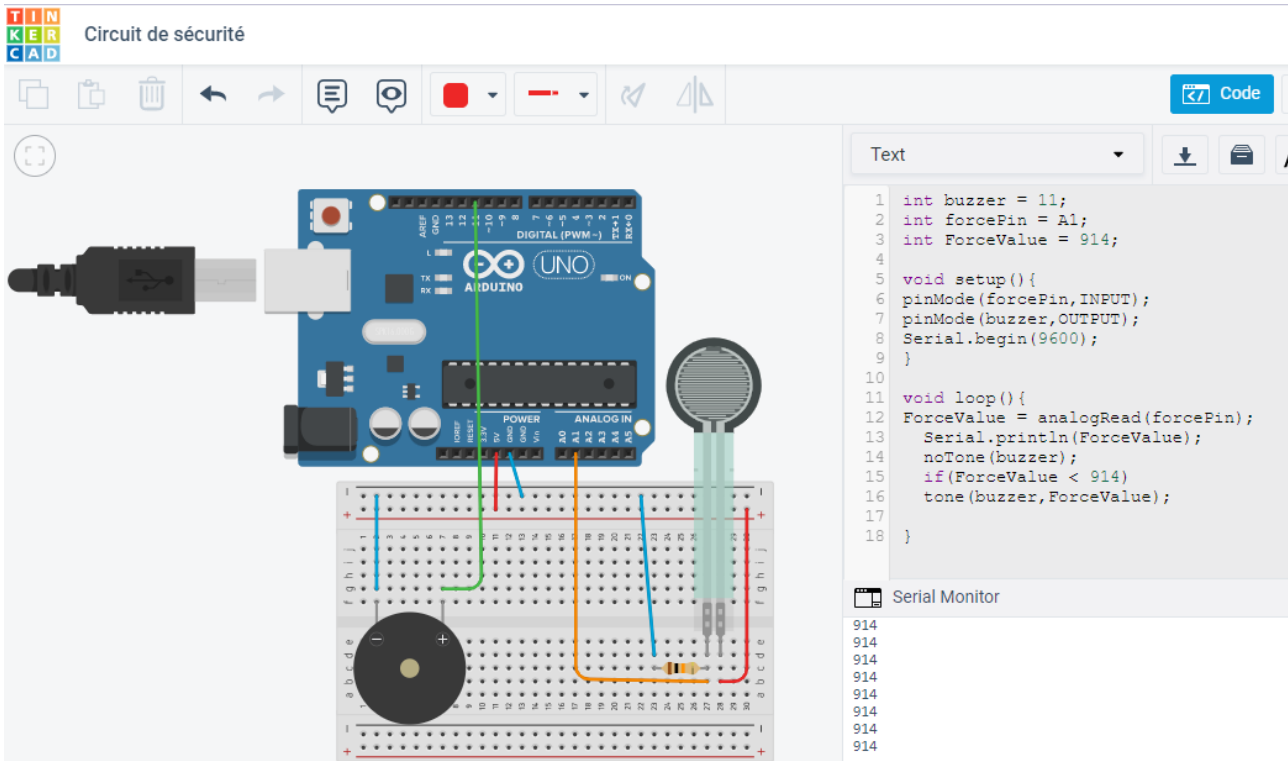


Figure 38 : Simulation du circuit de sécurité

Ce circuit est un système de sécurité conçu pour protéger le compteur contre le vol, son fonctionnement est simple il s'agit d'un capteur de force connecté à une carte Arduino et un buzzer, le compteur est déposé au-dessous du capteur une fois relâché, en d'autres mots une fois le compteur est volé le capteur est actionné et puis le buzzer est activé générant, ainsi, un son indiquant que le compteur est déplacé.

### 4.3.5 Conclusion :

A la fin de ce chapitre, on a testé tout d'abord le matériel utilisé pour la réalisation de notre prototype du compteur intelligent ensuite, on a fait une simulation globale sur le logiciel Proteus de notre projet. Enfin, on a décrit les différentes étapes à suivre dans cette réalisation.

## Conclusion générale

L'utilisation des outils de communication a permis d'améliorer les systèmes de comptage d'énergie classique. Dans ce cadre, ce projet de fin d'études a été proposé pour aider le consommateur à contrôler et vérifier sa consommation d'énergie électrique. On a étudié et réalisé un compteur intelligent d'énergie à base de la carte ESP8266, d'une application Android et le système de IoT (Internet of Things). Dans le premier chapitre, on a présenté le compteur électromécanique. Le deuxième chapitre a porté sur des généralités sur le compteur communicant tel que son principe de fonctionnement, ses avantages et ses inconvénients et ainsi de suite. Dans le troisième chapitre, on a présenté les outils du notre projet que ce soit software ou hardware. Le dernier chapitre a été consacré à la réalisation du compteur d'énergie intelligent par recours aux outils de communication Wi-Fi et un smartphone. Comme extensions de ce travail, on peut citer :

- L'extension du compteur d'énergie communicant pour les systèmes triphasés.
- L'enregistrement des données de consommation dans la base de données et dans un carte mémoire en cas de l'absence de l'internet.
- Ajouter un système de protection intelligent en cas des problèmes électriques.

# Webographie

- 1: <https://mege-paris.fr/2021/02/20/histoire-des-compteurs-delectricite/>
- 2: <https://www.choisir.com/energie/articles/104455/le-compteur-electromecanique>
- 3: <https://www.energuide.be/fr/questions-reponses/que-veut-on-dire-par-raccordement-monophasé-ou-triphasé/1933/#:~:text=En%20théorie%2C%20le%20moyen%20le,il%20s%27agit%20de%20triphasé.>
- 4: <https://ihome.techexpertolux.com/elektrosnabzhenie/ustrojstvo-i-princip-dejstviya-schetchikov-elektroenergii/>
- 5: <https://snapenergylatino.com/history-of-smart-meters/>
- 6: <https://m2mserver.com/en/communications-technologies-in-smart-metering/>
- 7: <https://www.ionos.fr/digitalguide/sites-internet/droit-dinternet/internet-des-objets/>
- 8: <https://blynk.io/>