

**République populaire démocratique algérienne**  
**Ministère de l'éducation supérieure**

**Université Saad Dahlab Blida-1**  
**Faculté de Technologie**

**Département des Énergies Renouvelables**

**Mémoire MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine** : Sciences et technologies

**Filière** : Energies renouvelables

**Spécialité** : Conversion Photovoltaïque

Thème :

**ETUDE ET REALISATION D'UN SMART  
METER BI-DIRECTIONNEL POUR  
APPLICATION SOLAIRE  
PHOTOVOLTAÏQUE**

Présenté par : **ZIOUI Rayane**

Soutenu devant le jury composé par :

|                                    |            |             |              |
|------------------------------------|------------|-------------|--------------|
| Monsieur : <b>DOMAZ Toufik</b>     | Professeur | USDB 1      | Président    |
| Monsieur : <b>BOUZAKI Mustafa</b>  | M.C.B      | USDB 1      | Encadreur    |
| Monsieur : <b>BENAHMED Moumene</b> | M.C.B      | USDB 1      | Examineur    |
| Monsieur : <b>LOUADAH Mourad</b>   | Expert ENR | IRIS JC IND | Co-Encadreur |

**14 Juillet 2021**

### الهمـلـخص:

من المحتمل أن تكون قياسات الطاقة والطاقة الكهربائية هي أهم القياسات وأكثرها أهمية في أنظمة الطاقة وقطاع الطاقة. من ناحية، يتم استخدامها لتحديد كل معاملة طاقة وتعيين قيمة اقتصادية للطاقة المتدفقة عبر قسم معين من الشبكة. من ناحية أخرى، تسمح لمنتجات الطاقة بتسجيل استخدام الطاقة للمستهلكين بدقة مقارنة بإسقاط استهلاك الطاقة.

في السنوات الأخيرة، كانت أهمية قياس الطاقة حادة للغاية بسبب التحول المستمر للطاقة لاستبدال الوقود الأحفوري بالطاقات المتجددة. هناك دعم شعبي واسع النطاق لاستخدام الطاقة المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية، ولكن استخدام الكهرباء من الطاقة الشمسية في الشبكة يصبح مشكلة لأن العرض لا يتوافق مع الطلب. لذلك، فإن سعة التوليد الاحتياطية مطلوبة بسبب الطبيعة المتقطعة للطاقة الشمسية. وقد أدى ذلك إلى زيادة هائلة في أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة والتي تتطلب قياس صافي، مما يسمح للعملاء السكنيين والتجاربيين الذين يولدون الكهرباء الخاصة بهم من الطاقة الشمسية بتغذية الكهرباء التي لا يستخدمونها مرة أخرى في الشبكة. يعد مقياس الطاقة الذكي جهازًا مفيدًا للغاية لقياس ويسجل المعلومات المهمة للمعلومات الكهربائية. معظم عدادات الطاقة الاقتصادية التي تعمل بالتيار المستمر أو التيار المتردد هي عبارة عن مقياس اتجاه واحد يمكنه فقط قياس القيم وتسجيلها في اتجاه واحد. يعد مقياس الطاقة أحادي الاتجاه / أحادي الاتجاه / اتجاه واحد كافيًا لتوليد الطاقة المنزلية والتيار المستمر ولكنه غير مناسب للنظام الذي يتضمن تدفق التيار الأمامي والخلفي كما هو الحال في تطبيق الطاقة الشمسية الكهروضوئية. بالنسبة للنظام الكهروضوئي خارج الشبكة، يشتمل بنك البطارية (DC) على شحن وتفريغ تيار التيار المستمر بينما يتضمن النظام الكهروضوئي على الشبكة استيراد وتصدير تيار التيار المتردد إلى الشبكة المساعدة.

نتيجة لذلك، إذا لم يتم حساب تدفق الطاقة من كلا الجانبين وكانت الطاقة الزائدة التي لا يتم استخدامها أو تخزينها، فإن القياس الدقيق غير ممكن. هذا هو السبب في الحاجة إلى عداد ذكي للقدرة ثنائي الاتجاه يمكنه قياس كل من القوة الإيجابية والسلبية في أي لحظة.

الهدف من هذا المشروع هو تصميم وتطوير وبناء عداد ذكي ثنائي الاتجاه لطاقة التيار المتردد والتيار المستمر باستخدام متحكم دقيق ووظائف المراقبة عن بُعد عبر الإنترنت من خلال تطبيق Blynk للهاتف المحمول. سيوفر عداد الطاقة الذكي هذا حلاً شاملاً كلياً لقياس تطبيقات الطاقة الشمسية الكهروضوئية والتخزين وربط شبكة التيار المتردد بدقة ومرونة لقياس التدفق ثنائي الاتجاه لتيار مستمر وطاقة التيار المتردد.

### الكلمات الدالة

انتقال الطاقة، الطاقات المتجددة، الطاقة الشمسية، عداد الطاقة، ثنائي الاتجاه.

### Résumé

Les mesures de la puissance électrique et de l'énergie sont probablement les mesures les plus importantes et les plus critiques dans les systèmes électriques et le secteur de l'énergie. D'une part, elles sont utilisées pour quantifier chaque transaction énergétique et d'autre part, elles permettent aux producteurs d'électricité d'enregistrer avec précision l'utilisation de l'énergie par les consommateurs et de faire des projections sur la consommation d'énergie.

Ces dernières années, l'importance de la mesure de la puissance ou de l'énergie s'est accrue en raison de la transition énergétique en cours, visant à remplacer les combustibles fossiles par des énergies renouvelables. L'utilisation des énergies renouvelables, en particulier de l'énergie solaire, bénéficie d'un large soutien populaire. Cependant, l'utilisation de l'électricité solaire dans un réseau devient problématique car l'offre ne correspond pas à la demande. Une capacité de production de secours est donc nécessaire en raison de la nature intermittente de l'énergie solaire. Cette situation a entraîné une augmentation spectaculaire des systèmes photovoltaïques raccordés au réseau qui nécessitent un comptage net, permettant aux clients résidentiels et commerciaux qui produisent leur propre électricité à partir de l'énergie solaire de réinjecter dans le réseau l'électricité qu'ils n'utilisent pas.

Un compteur d'énergie intelligent est un appareil très utile qui mesure et enregistre des informations importantes sur les paramètres électriques. La plupart des compteurs d'énergie commerciaux économiques à courant continu ou alternatif sont des compteurs unidirectionnels qui ne peuvent mesurer et enregistrer des valeurs que dans une seule direction. Un compteur unidirectionnel est suffisant pour les ménages typiques et la production d'électricité en courant continu, mais il ne convient pas aux systèmes qui impliquent un flux de courant vers l'avant et vers l'arrière, comme dans les applications photovoltaïques. Dans le cas d'un système PV hors réseau, le banc de batteries (DC) implique la charge et la décharge de courant DC, tandis que le système PV en réseau implique l'importation et l'exportation de courant AC vers le réseau électrique.

Par conséquent, si le flux d'énergie des deux côtés n'est pas calculée et si l'énergie excédentaire n'est pas utilisée ou stockée, il n'est pas possible d'effectuer un comptage précis. C'est pourquoi il faut un compteur intelligent bidirectionnel qui puisse mesurer la puissance positive et négative à tout moment.

L'objectif de ce projet est de concevoir, développer et réaliser un compteur intelligent bidirectionnel d'énergie AC & DC en utilisant un microcontrôleur et des fonctionnalités de surveillance à distance en ligne via l'application mobile Blynk. Ce

## Résumé

---

compteur d'énergie intelligent fournira une solution complète pour mesurer les applications de PV solaire, de stockage et de connexion au réseau AC avec précision et flexibilité pour mesurer le flux bidirectionnel de l'énergie AC et DC.

Mots clés:

La transition énergétique, énergies renouvelables, solaire, un compteur d'énergie, bidirectionnel.

### Abstract

Electric power and energy measurements are probably the most important and critical measurements in power systems and energy sector. On one hand they are used to quantify every energy transaction and assign an economical value to energy flowing through a given section of the grid. On the other hand, they allow power producers to accurately record energy usage of consumers compared to projecting energy consumption.

In more recent years, the significance of power or energy measurement has been very acute due to the ongoing energy transition to replace fossil fuels with renewable energies. There is widespread popular support for using renewable energy, particularly solar energy; however utilizing electricity from solar in a grid becomes problematical as supply does not correspond with demand. Therefore back-up generating capacity is required due to the intermittent nature of solar. This has resulted in a dramatic increase of Grid-Tied Solar PV systems that require Net-Metering, allowing residential and commercial customers who generate their own electricity from solar power to feed electricity they do not use back into the grid.

A smart Energy Meter is a very useful device that measures and records important information of electrical parameters. Most Economic Commercial DC or AC Energy Meters are single direction meter which could only measure and record values in one direction. Uni-directional / one-way / one-direction Energy Meter is sufficient for typical household and DC power generation but it is not suitable for system that involves forward and backward current flow such as in Solar PV Application. For off-grid PV System, the battery bank (DC) involves charging and discharging DC current while on-grid PV System involves import and export AC current to the Grid Utility.

Consequently, if power-flow from both sides is not calculated and surplus power which is not being utilized or stored, accurate metering is not possible. That is why a bidirectional power smart meter is required which can measure both the positive and negative power at any instant.

The aim of this project is to design and build a bidirectional AC & DC Energy smart Meter using a microcontroller and online remote monitoring functionalities through the Blynk mobile application. This smart energy meter will provide a total comprehensive solution for measuring the applications of Solar PV, storage and AC grid connection with accuracy and flexibility to measure 2-direction flow for DC and AC power.

#### **Keywords:**

Energy transition, renewable energies, solar energy, an energy meter, bidirectional.

### Dédicace

Je dédie ce travail qui n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien indéfectible et sans limites de mes chers parents qui ne cessent de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui. Que DIEU les protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour les combler de bonheur.

Je dédie aussi ce travail à :

Mon promoteur Mr BOUZAKI Mustafa.

Mon Co-promoteur *Mr LOUADAH Mourad*.

Mon cher parrain *Mr DOUMAZ Toufik*.

Mon cher frère *Sofiane* et à la meilleure des sœurs « *Oudjedene* » qui font de mon univers une merveille, je leur souhaite beaucoup de bonheur et de réussites ;

Tous mes amis et particulièrement *BOUZEKRINE Sofiane, HOUACHEMI Maamer, TAOUCHE Soulef*, et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, chacun en son nom ;

Tous mes collègues de la société *d'IRIS JC INDUSTRIAL*, en l'occurrence Mr *GOURI Farouk, Mme GUERMACHE Hania* pour m'avoir aidé dans la réalisation de mon mémoire, et plus particulièrement le Directeur Technique Monsieur *SADOUKI Abdullah* pour son temps précieux qu'il m'a consacré ;

A toute ma famille qui m'a soutenu tout au long de mon parcours universitaire, Que ce travail soit l'accomplissement de ses vœux tant souhaité, et le fruit de son soutien infailible, merci d'être toujours là pour moi.

### Remerciement

Tout d'abord je remercie « ALLAH » le tout puissant de m'avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme ma formation et pouvoir réaliser ce travail ;

Je remercie Monsieur Le Président-Directeur Général, *d'IRIS JC INDUSTRIAL, Mr LOUADAH Mourad* pour m'avoir accueilli au sein de son entreprise dans le domaine solaire, d'avoir mis à ma disposition tout les moyens nécessaires, de m'avoir encadré durant mon stage et d'avoir consacré beaucoup de temps et d'efforts afin que ce stage me soit le plus fructueux.

Sans oublier de remercier l'ensemble du personnel *d' IRIS JC INDUSTRIAL* pour m'avoir bien accueilli et plus particulièrement le Directeur Technique Monsieur *SADOUKI Abdullah*, et mes vives remerciements également aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire, ainsi que celles avec lesquelles j'ai pu échanger les idées et qui m'ont aidé pour la rédaction de ce mémoire ;

Je remercie également mon encadreur *Mr BOUZAKI Mustafa* qui a consacré son temps précieux pour l'accomplissement de mon projet.

Mes remerciements s'adressent aussi à mon parrain *Mr. DOUMAZ Toufik*, pour ses précieux conseils, sa disponibilité et pour m'avoir guidé tout au long de cette étude.

Je remercie Monsieur le Président et les membres de jury pour avoir accepté de juger cet humble travail.

Je remercie aussi, l'ensemble des enseignants de notre département des *Energies renouvelables*, pour toutes les instructions et connaissances qu'ils m'ont apporté durant tout mon cursus.

De peur d'en avoir oublié, je souhaite remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de mon parcours universitaire.

### Nomenclatures- Symboles-Acronymes

PV : Photovoltaïques

DC : Energie électrique Continu

AC : Energie électrique Alternatif

Vrms : Tension efficace (Racine moyenne quadratique)

I rms : Courant efficace (Racine moyenne quadratique)

PCC : Point de Couplage Commun

CPL : Le Courant Porteur enLigne

GSM : The Global System for Mobile

IOT : Internet Of Things

IOS : iPhone Operating System

CT : Transformateur du courant

GPIO : A general-purpose input/output

VCC : Alimentation de circuit

GND : Ground

IDE : Integrated Development Environment

Vac : Tension alternative

Iac : Courant alternative

W : La puissance (WATT)

WH : L'énergie (WATT-HEURE)

HZ : Hertz



### Liste des figures

#### CHAPITRE I :

|  |    |
|--|----|
| Figure (I.1): Système solaire photovoltaïque autonome.....                     | 3  |
| Figure (I.2): Système photovoltaïque Hybrides .....                            | 4  |
| Figure (I.3): Système photovoltaïque connecté au réseau .....                  | 5  |
| Figure (I.4) : Facteur de puissance maximal.....                               | 8  |
| Figure (I.5) : Facteur de puissance minimal. ....                              | 8  |
| Figure (I.6): Effet de la troisième harmonique. ....                           | 11 |
| Figure (I.7): Formes d'onde de tension d'un système triphasé déséquilibré..... | 12 |

#### CHAPITRE II :

|   |    |
|---|----|
| Figure (II.1): Illustration du principe général du CPL.....                             | 14 |
| Figure (II.2): Module GSM de compteur intelligent.....                                  | 14 |
| Figure (II.3): illustration du principe général de IOT .....                            | 15 |
| Figure (II.4): installation avec injection totale de la production photovoltaïque. .... | 16 |
| Figure (II.5): installation avec injection du surplus de la production photovoltaïque   | 17 |

#### CHAPITRE III :

|   |    |
|---|----|
| Figure (III.1): Le logo d'Espressif .....                     | 19 |
| Figure (III.2): Module ESP8266 .....                          | 20 |
| Figure (III.3): Les modules ESP32.....                        | 20 |
| Figure (III.5): Brochage de La carte ESP8266 .....            | 22 |
| Figure (III.6): NodeMCU base .....                            | 23 |
| Figure (III.7) : Multi plixer 16.....                         | 23 |
| Figure (III.8) : Adaptateur secteur 12V 2A .....              | 23 |
| Figure (III.9) : Capteur de courant HSTS16L.....              | 24 |
| Figure (III.10): Effet Hall .....                             | 24 |
| Figure (III.11) : capteur de courant ACS712.....              | 25 |
| Figure (III.12) : Capteur de tension.....                     | 26 |
| Figure (III.13) : signal de sortie de capteur de tension..... | 26 |
| Figure (III.14): Arduino IDE .....                            | 28 |

## Liste des figures

---

|  |    |
|--|----|
| Figure (III.15): Barre des menus "Fichier" dans ARDUINO IDE .....                                | 28 |
| Figure (III.16): Préférences dans ARDUINO IDE .....  | 29 |
| Figure (III.17): Gestionnaire de carte dans ARDUINO IDE .....                                    | 30 |
| Figure (III.18): Installation de la bibliothèque 'ESP8266' .....                                 | 30 |
| Figure (III.19): Le choix de la carte .....  | 31 |
| Figure (III.20) : Logo de l'application .....  | 31 |
| Figure (III.21): Schéma de fonctionnement de l'application BLYNK .....                           | 32 |
| Figure (III.22): Les étapes de création de projet dans l'application BLYNK .....                 | 32 |
| Figure (III.23): Gestionnaire de cartes .....  | 33 |
| Figure (III.24) : Installation de la bibliothèque BLYNK .....                                    | 34 |
| Figure (III.25): le schéma de câblage .....  | 35 |
| Figure (III.26): Diviseur de tension .....   | 37 |
| Figure (III.27): Réalisation pratique d'un compteur intelligent bidirectionnelle d'énergie ..... | 38 |
| Figure (III.28): Structure du compteur intelligent d'énergie .....                               | 39 |
| <b>CHAPITRE IV :</b>   |    |
| Figure (IV.1): Les mesures AC Sense direct .....   | 40 |
| Figure (IV.2): Les mesures DC Sense direct .....   | 41 |
| Figure (IV.3): Les mesures DC Sense Inverse .....  | 42 |
| Figure (IV.4): Les mesures DC Sense inverse .....  | 42 |

## Liste des tableaux

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tableau (I,1): Plage de tension au PCC.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>Tableau (I,2) : Limites de la tension et de la fréquence pendant le démarrage d'une centrale solaire. ....</b> | <b>10</b> |
| <b>Tableau (III,1): Les caractéristiques de la carte ESP8266 .....</b>  | <b>21</b> |

### Sommaire :

|   |   |
|---|---|
| :الملخص.....                            |   |
| Résumé.....                             |   |
| Abstract .....                          |   |
| Dédicace.....                           |   |
| Remerciement .....                      |   |
| Nomenclatures- Symboles-Acronymes ..... |   |
| Liste des figures .....                 |   |
| Liste des tableaux .....                |   |
| Sommaire : .....                        |   |
| Introduction Générale.....              | 1 |

### CHAPITRE I :

|   |    |
|---|----|
| Introduction .....  | 2  |
| I.2 Les différents types de systèmes photovoltaïques.....   | 3  |
| I.2.1 Installations photovoltaïques autonomes .....   | 3  |
| I.2.2 Installations photovoltaïques hybride .....   | 4  |
| I. 2.3 Installations photovoltaïques raccordées au réseau.....                                      | 5  |
| I.3 Caractéristiques de puissance et d'énergie d'un système solaire photovoltaïque ....             | 6  |
| I.3.1 Puissance apparente : .....   | 6  |
| I.3.2 Puissance active ou réelle : .....  | 6  |
| I.3.3. La puissance réactive:.....  | 7  |
| I.3.4.Relation entre les puissances apparente, active et réactive : .....                           | 7  |
| I.3.5. Facteur de puissance : .....   | 7  |
| I.3.5.1. Facteur de puissance maximal :.....  | 8  |
| I.3.5.2 Facteur de puissance minimal : .....  | 8  |
| I.4 Critères techniques pour le raccordement des centrales solaires aux réseaux électriques : ..... | 9  |
| I.4.1 Point de couplage commun .....  | 9  |
| I.4.2 Plage de tension .....  | 10 |

|  |    |
|--|----|
| I.4.3 Plage de fréquence :.....  | 10 |
| I.4.4 Démarrage des centrales solaires .....                                   | 10 |
| I.4.5 Conditions de qualité de l'énergie .....                                 | 11 |
| I.4.6 La distorsion harmonique .....   | 11 |
| I.4.7 Limites du déséquilibre de tension .....                                 | 12 |
| I.5 Conclusion : .....   | 12 |
| <b>CHAPITRE II :</b>   |    |
| Introduction .....   | 13 |
| II.2 Compteur photovoltaïque:.....   | 13 |
| II.3 Description générale sur les compteurs intelligents : .....               | 13 |
| II.3.1 Le compteur d'énergie intelligent CPL :.....                            | 14 |
| II.3.2 Le compteur d'énergie intelligent avec module GSM : .....               | 14 |
| II.3.3 Le compteur d'énergie intelligent IOT : .....                           | 15 |
| II.4 L'injection dans les réseaux.....   | 16 |
| II.4.1 Injection totale : .....  | 16 |
| II.4.2 Injection de surplus :.....   | 17 |
| III.5 Les avantages et les inconvénients d'un compteur intelligent : [8] ..... | 17 |
| III.5.1 Les avantages : .....  | 17 |
| III.5.2 Les inconvénients : .....  | 18 |
| III.6 Conclusion : .....   | 18 |
| <b>CHAPITRE III :</b>  |    |
| Introduction .....   | 19 |
| III.2 La carte Espressif l'ESP8266 .....                                       | 19 |
| III.2.1 La définition d'ESP8266.....   | 20 |
| III.3 Les modules et les cartes de développement ESP8266.....                  | 20 |
| III.3.1 Les modules d'ESP8266. ....  | 20 |
| III.3.2 Le module ESP8266 V3 : .....   | 21 |
| III.3.2.1 Les caractéristiques : .....   | 21 |
| III.3.2.2 Les entrées et les sorties : .....                                   | 21 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>III.4 Les composants utilisés :</b> .....  | <b>23</b> |
| <b>III.4.1 NodMCU Microcontrôleur Base</b> .....  | <b>23</b> |
| <b>III.4.2 Module multiplexeur analogique à 16 canaux</b> .....                                       | <b>23</b> |
| <b>III.4.3 Adaptateur secteur 12V 2A</b> .....  | <b>23</b> |
| <b>III.4.4 Capteur de courant HSTS16L</b> .....   | <b>24</b> |
| <b>III.4.4.1 Connexion du câblage</b> .....   | <b>24</b> |
| <b>III.4.5 Le capteur de courant ACS712</b> .....   | <b>25</b> |
| <b>III.4.6 Le capteur de tension ZMPT101B</b> .....   | <b>26</b> |
| <b>III.5 La programmation :</b> .....   | <b>28</b> |
| <b>III.5.1 Arduino IDE :</b> .....  | <b>28</b> |
| <b>III.5.2 Arduino IDE et l'ESP8266 :</b> .....   | <b>28</b> |
| <b>III.6 L'application BLYNK :</b> .....  | <b>31</b> |
| <b>III.6.1 Création de projet :</b> .....   | <b>32</b> |
| <b>III.6.2 Principe :</b> .....   | <b>33</b> |
| <b>III.6.3 Installer la bibliothèque Blynk</b> .....  | <b>33</b> |
| <b>III.7 Schéma de câblage global :</b> .....   | <b>35</b> |
| <b>III.8 Résumé du schéma de câblage :</b> .....  | <b>36</b> |
| <b>III.8.1 Multiplexeur 16 canaux :</b> .....   | <b>36</b> |
| <b>III.8.2 Module de tension AC :</b> .....   | <b>36</b> |
| <b>III.8.3 Capteur à effet Hall</b> .....   | <b>36</b> |
| <b>III.8.4 Entrée de tension DC :</b> .....   | <b>36</b> |
| <b>III.9 La mesure des tensions DC et AC à l'aide de la méthode du diviseur de tension :</b><br>..... | <b>37</b> |
| <b>III.9 Paramètres du widget dans l'application blynk :</b> .....                                    | <b>38</b> |
| <b>III.10 Réalisation pratique :</b> .....  | <b>38</b> |
| <b>CHAPITRE IV :</b>  |           |
| <b>Introduction</b> .....   | <b>40</b> |
| <b>IV.2 Résultat</b> .....  | <b>40</b> |
| <b>IV.2.1 Le sens direct :</b> .....  | <b>40</b> |

## Sommaire

---

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| IV.2.1.1 Les résultats de mesures AC : ..... | 40                          |
| IV.2.1.2 Les résultats de mesures DC : ..... | 41                          |
| IV.2.2 Le sens Inverse : .....               | 41                          |
| IV.2.2.1 Les résultats de mesures AC : ..... | 42                          |
| IV.2.2.2 Les résultats de mesures DC : ..... | 42                          |
| IV.3 Interprétation des résultats : .....    | 42                          |
| Conclusion .....                             | Erreur ! Signet non défini. |
| Conclusion générale: .....                   | Erreur ! Signet non défini. |
| Bibliographie et Webographie.....            |                             |

**INTRODUCTION**

**GENERALE**



### Introduction Générale

La précision de la mesure de la puissance est une exigence vitale du secteur de l'énergie pour les systèmes PV connectés au réseau qui permet de réduire les pertes d'électricité dans système. Selon la règle d'efficacité et de conservation de l'énergie. La tension ou le courant produit dans un dispositif de production d'énergie ou un panneau solaire peut être mesuré facilement, tout comme la puissance.

Mais dans le cas d'un système solaire photovoltaïque relié au réseau, l'énergie peut provenir du réseau au moment où le rayonnement est faible. Cette puissance provenant du réseau est connue sous le nom de puissance positive. Et l'énergie produite par le générateur ou le panneau solaire qui va vers le réseau est appelée énergie négative ou énergie sortante. La puissance entrante et sortante doit être mesurée à l'aide d'un Smart meter bidirectionnel. Dans ce mémoire, un compteur de puissance bidirectionnel a été développé de construire un compteur d'énergie bidirectionnel AC & DC 2 en 1 et à le contrôler via l'application Blynk pour une surveillance à distance en ligne. Ce compteur d'énergie fournit une solution totale pour mesurer l'application solaire PV car il est le plus flexible pour mesurer le flux bidirectionnel pour le courant continu et alternatif. Il peut enregistrer jusqu'à 15 paramètres électriques, en utilisant la carte ESP 8266 comme microcontrôleur. Le code du programme a été développé à l'aide du logiciel Arduino.

Ce compteur intelligent permet de mesurer la puissance entrante (AC du réseau) et la puissance sortante (DC du système photovoltaïques). Nous avons adapté une application « BLYNK » sur un téléphone portable communiquant en « WIFI » avec le microcontrôleur ESP 8266. sans oublié que la mesure des tensions et courant ce fait l'aide respectivement des capteurs ZMPT101B et ASC712.

# **CHAPITRE I**

## **LES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES**

## Introduction

L'épuisement des ressources fossiles, à plus ou moins long terme, et la flambée des cours du brut, la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre rendent urgentes la maîtrise des consommations et la diversification des sources d'énergie : l'utilisation et le développement des énergies renouvelables.[1]

On considère qu'une énergie est renouvelable, toute source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable (d'où son nom) à l'échelle de l'homme mais aussi dans certains cas de l'humanité (solaire par exemple). Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués principalement par le Soleil (l'énergie solaire mais aussi hydraulique, éolienne, biomasse, etc.), la Lune (énergie marémotrice, certains courants : énergie hydrolienne...) et la Terre (géothermique profonde...). [1]

Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée sur la terre. Une partie de ce rayonnement peut être exploitée pour produire directement de la chaleur (solaire thermique) ou de l'électricité. [1]

Parmi les différentes technologies, le photovoltaïque permet la transformation de cette énergie en électricité. Cette transformation s'effectue sans bruit, sans émission de gaz : elle est donc par nature totalement propre. Par ailleurs, l'absence de mise en mouvement de pièces mécaniques lui confère un niveau de fiabilité inégalable (durée de vie moyenne d'un module PV estimée à plus de 25 ans.) L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique. Le terme photovoltaïque vient du grec « phos, photos » qui désigne la lumière et de « voltaïque » mot dérivé du physicien italien Alessandro Volta, connu pour ses travaux sur l'électricité.[2]

## I.2 Les différents types de systèmes photovoltaïques

### I.2.1 Installations photovoltaïques autonomes

Le rôle des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés dans une zone isolée du réseau électrique.

Le champ photovoltaïque voir figure (I.1) peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipement domestique).

Un système de régulation et une batterie d'accumulateurs permettent de stocker l'énergie électrique qui sera ensuite utilisée en l'absence du Soleil.

Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous forme chimique. Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques.

Le régulateur de charge a pour fonction principale de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes. Il est un élément essentiel pour la durée de vie de la batterie. Alternatif. Dans ce cas, l'installation comprendra un onduleur. [3]

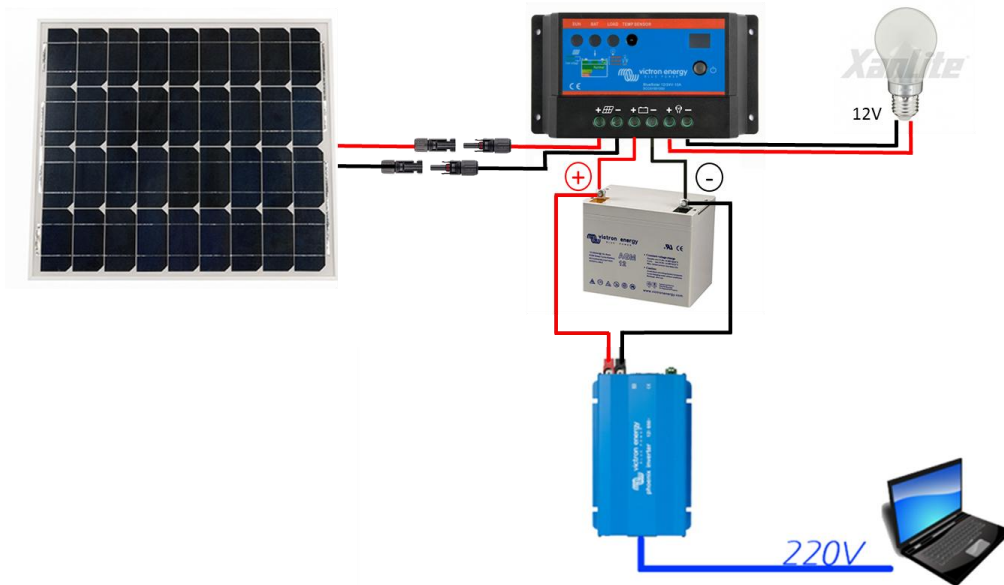


Figure (I.1): Système solaire photovoltaïque autonome

## I.2.2 Installations photovoltaïques hybride

Les systèmes photovoltaïques hybrides intègrent un générateur photovoltaïque et un autre générateur d'électricité comme l'éolienne, un groupe électrogène, un système hydroélectrique et même parfois le réseau public d'électricité.

En général un système de batteries stocke l'énergie et permet ainsi de ne pas perdre l'énergie des sources aléatoires telles que le solaire ou l'éolien.

La difficulté de ce type de système est d'équilibrer les différentes sources d'énergie de façon à toutes les optimiser, étant entendu que les sources thermiques (gazoil, gaz...) et le réseau public, sont toujours les appoints de dernier recours.

Aujourd'hui des systèmes à grande échelle intègrent une gestion fine des systèmes photovoltaïques, on parle souvent de "smart-grid" c'est à dire des réseaux au sein desquels une régulation intelligente et coordonnée assure l'optimisation des différentes sources d'énergie. [3]

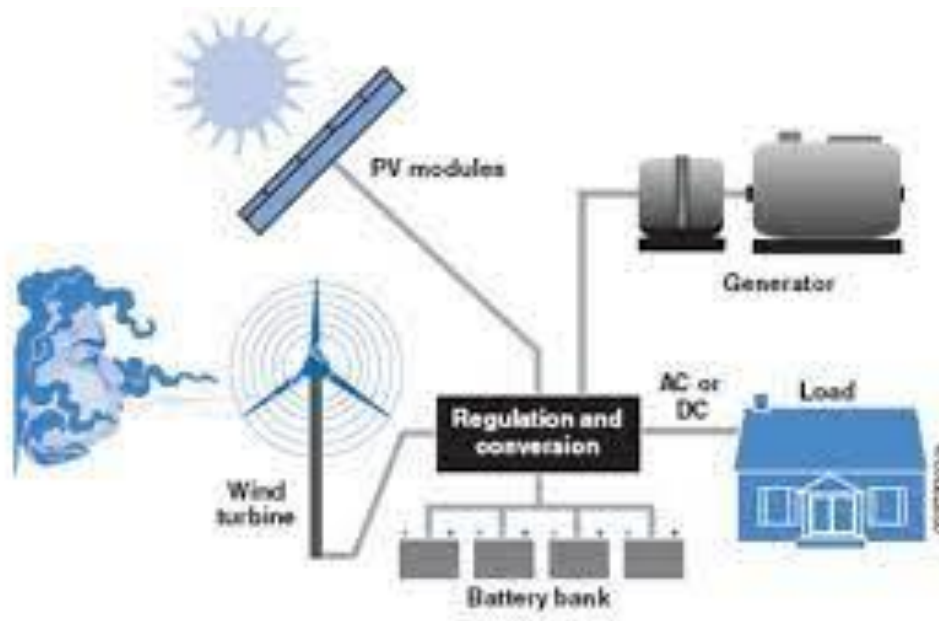


Figure (I.2): Système photovoltaïque Hybrides

**I. 2.3 Installations photovoltaïques raccordées au réseau [3]**

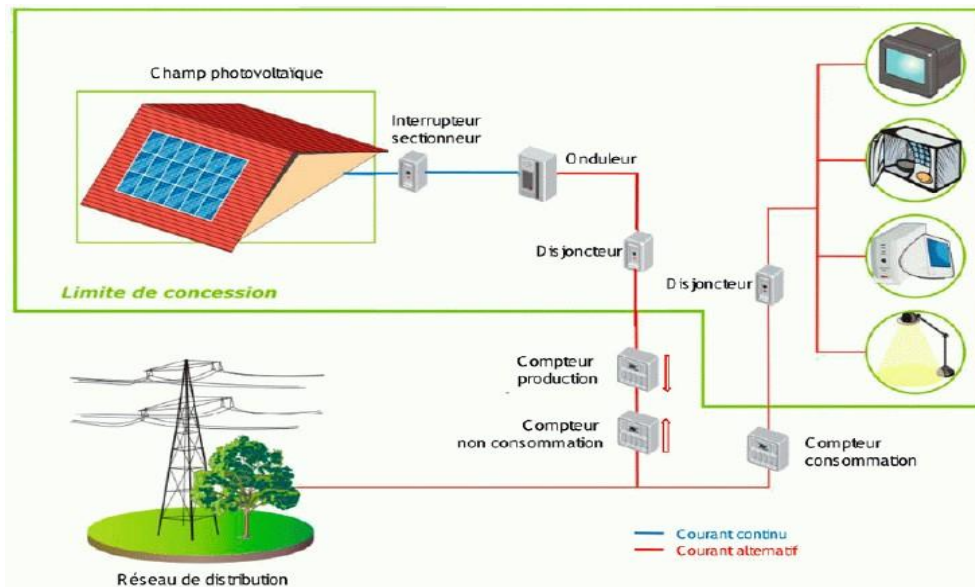
Un tel système s’installe sur un site raccordé au réseau (Sonelgaz en Algérie). Généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d’énergie renouvelable et qui bénéficient d’un bon ensoleillement.

Un générateur photovoltaïque connecté au réseau n’a pas besoin de stockage d’énergie et élimine donc le maillon le plus problématique (et le plus cher). C’est en fait le réseau dans son ensemble qui sert de réservoir d’énergie. Il y’a deux formes d’injection du courant photovoltaïque :

- Soit injecter la totalité de la production photovoltaïque au réseau.
- Soit injecter le surplus de la production photovoltaïque au réseau.

Deux compteurs d’énergie sont nécessaires :

Un compteur comptabilise l’énergie achetée au fournisseur d’énergie (consommation) et un autre compteur mesure l’énergie renvoyée sur le réseau électrique lorsque la production dépasse la consommation. Un troisième compteur est ajouté dans le cas où l’énergie produite est injectée en intégralité dans le réseau (compteur de non-consommation). Un onduleur pour la conversion du courant continu des panneaux en alternatif, et ce dernier doit être homologué par la compagnie d’électricité qui va recevoir ce courant. Afin de s’assurer sur sa qualité « sinusoïdale ». [4]



**Figure (I.3): Système photovoltaïque connecté au réseau**

## I.3 Caractéristiques de puissance et d'énergie d'un système solaire photovoltaïque [5]

Les systèmes photovoltaïques alimentés en courant continu (DC), la puissance électrique dans un circuit DC est définie comme le produit de la tension par le courant.

Mathématiquement :  $V = I * R$

Cependant, dans les circuits alternatifs, le cas n'est pas aussi simple le courant alternatif est un courant qui varie continuellement entre ses valeurs de crête maximale et minimale. La puissance fournie par un tel courant est appelée puissance électrique alternative. Le courant change périodiquement de direction, ce qui introduit l'idée de fréquence et de phase dans la forme d'onde du courant et de la tension.

Par conséquent, le courant alternatif est classé en trois types de puissance :

### I.3.1 Puissance apparente :

Il s'agit de la puissance totale fournie par la source au circuit. Comme son nom l'indique, c'est la puissance qui semble être dissipée dans le circuit. Elle est désignée par S et donnée par :

$$S = V_{rms} * I_{rms}$$

Avec :

$$V_{rms} = \text{RMS (Racine moyenne quadratique) Tension} = V_{peak}/\sqrt{2}$$

$$I_{rms} = \text{RMS (Racine moyenne quadratique) courant} = I_{peak}/\sqrt{2}$$

La puissance apparente est la combinaison de la puissance active et de la puissance réactive, c'est pourquoi elle est mesurée en Volt - Ampère ou VA.

### I.3.2 Puissance active ou réelle :

C'est la puissance qui est réellement fournie par le circuit. Elle est désignée par P et donnée par :

$$P = V_{rms} * I_{rms} * \cos\phi$$

Avec:

$$V_{rms} = \text{Tension efficace (Racine moyenne quadratique)} = V_{peak}/\sqrt{2}$$

$$I_{rms} = \text{courant efficace (Racine moyenne quadratique)} = I_{peak}/\sqrt{2}$$

$\phi$  = l'angle de phase ou la différence de phase entre la tension & le courant.

Il est mesuré en watts.

### I.3.3. La puissance réactive:

La puissance réactive est la puissance qui est dissipée dans la réactance du circuit. Elle est gaspillée dans le câblage des circuits sous forme de chaleur et n'est jamais utilisée à bon escient. Elle est désignée par Q et donnée par ;

$$Q = V_{rms} * I_{rms} * \sin\phi$$

Avec:

$$V_{rms} = \text{Tension efficace (Racine moyenne quadratique)} = V_{peak}/\sqrt{2}$$

$$I_{rms} = \text{courant efficace (Racine moyenne quadratique)} = I_{peak}/\sqrt{2}$$

$\phi$  = l'angle de phase ou la différence de phase entre la tension et le courant.

Comme cette puissance est gaspillée et n'est pas utilisée par le circuit, elle doit être réduite au maximum pour utiliser toute la puissance de la source. Elle est mesurée en Volts-Ampères-Réactifs ou plus communément appelée VAR.

### I.3.4. Relation entre les puissances apparente, active et réactive :

Comme la puissance apparente est la combinaison des puissances active et réactive, elles sont liées l'une à l'autre. Cette relation peut être expliquée à l'aide de l'équation suivante :

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Avec:

S = Puissance apparente

P = Puissance réelle ou active

Q = Puissance réactive

Si l'angle de phase ou la différence de phase entre le courant et la tension  $\phi$  est donné, alors nous pouvons également calculer la puissance active et réactive en utilisant :

$$P = S * \cos \phi$$

$$Q = S * \sin \phi$$

### I.3.5. Facteur de puissance :

Le rapport entre la puissance active ou réelle (la puissance réellement dissipée dans le circuit) et la puissance apparente (la puissance totale fournie au circuit) est appelé facteur de puissance.

Facteur de puissance = P/S

Facteur de puissance =  $V_{rms} I_{rms} \cos\phi / V_{rms} I_{rms}$

Facteur de puissance =  $\cos\phi$

Le facteur de puissance est donc le  $\cos \phi$  où  $\phi$  est la différence de phase entre la tension et le courant due à la réactance. Il est compris entre 0 et 1.



**I.3.5.1. Facteur de puissance maximal :**

Cela signifie que la différence de phase  $\phi = 0^\circ$ , c'est-à-dire que la tension et le courant sont en phase. Cela n'est possible que si la réactance totale du circuit est nulle. Dans ce cas, la puissance réelle P est égale à la puissance apparente S, c'est-à-dire que toute la puissance fournie au circuit est utilisée par celui-ci. Selon la relation :

$$P = S \cos \phi$$

$$P = S (1)$$

$$P = S$$

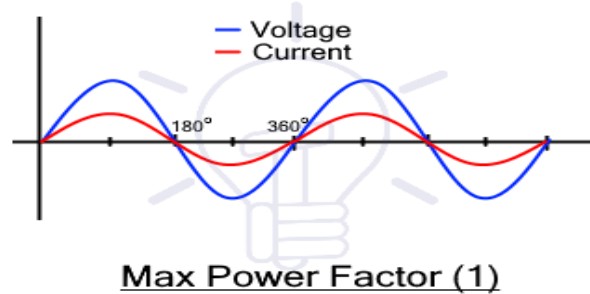


Figure (I.4) : Facteur de puissance maximal.

C'est le meilleur scénario et le facteur de puissance est maintenu aussi proche que possible de 1.

**I.3.5.2 Facteur de puissance minimal :**

Cela signifie que la différence de phase  $\phi = 90^\circ$ , c'est-à-dire que les formes d'onde de la tension et du courant sont séparées de  $90^\circ$ . Le circuit a une réactance pure & il n'y a pas de résistance dans le circuit. Par conséquent, la puissance totale fournie au circuit sera gaspillée dans le câblage et ne sera jamais utilisée à bon escient. Dans ce cas, la puissance active ou la puissance qui est réellement utilisée est nulle et est calculée par la relation suivante,

$$P = S \cos \phi$$

$$P = S (0)$$

$$P = 0$$

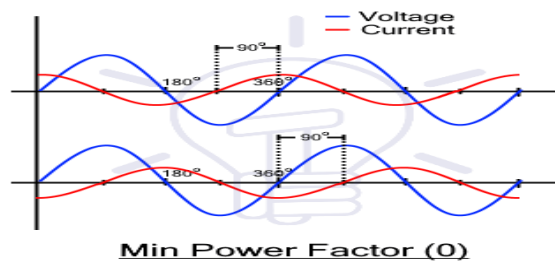


Figure (I.5) : Facteur de puissance minimal.

Par conséquent, un facteur de puissance faible est à éviter en toutes circonstances car il peut réduire l'efficacité du système et gaspiller l'énergie.

## **I.4 Critères techniques pour le raccordement des centrales solaires aux réseaux électriques : [6]**

Ce titre aborde les bases des spécifications techniques de conception, les critères, les termes techniques et les paramètres d'équipement requis pour connecter les centrales solaires aux réseaux électriques. En fonction de sa capacité, une centrale solaire peut être raccordée aux réseaux BT, MT ou HT. Le raccordement d'une centrale solaire de taille moyenne doit satisfaire aux exigences du code de raccordement au réseau de l'énergie solaire et du code approprié : le code de distribution de l'électricité ou le code de réseau, selon le niveau de raccordement. Le raccordement d'une centrale solaire à grande échelle au réseau de transport doit satisfaire aux exigences du SEGCC et du GC. Pour les installations photovoltaïques à petite échelle (SSPV).

Voici les critères qui permettent d'améliorer la sécurité et la fiabilité et de maintenir un fonctionnement optimal. Les spécifications techniques comprennent les variations de tension et de fréquence autorisées, ainsi que les limites de qualité de l'énergie en matière de distorsion harmonique.

### **I.4.1 Point de couplage commun**

Le "point de couplage commun (PCC)" est un point auquel la centrale solaire est raccordée au réseau. Il est parfois appelé "point de raccordement au réseau ". Le PCC est généralement le point de connexion aux bornes haute tension du générateur, du transformateur élévateur.

Il est généralement situé du côté réseau du sectionneur entre la centrale solaire et le réseau. Normalement, le code de connexion au réseau d'énergie solaire spécifie les exigences techniques suivantes au PCC.

### I.4.2 Plage de tension

La centrale solaire raccordée au réseau doit être capable de fournir sa puissance active réelle lorsque la tension au point de couplage commun reste dans les plages indiquées dans le tableau 2. Si le gestionnaire du réseau de transport l'exige, la centrale solaire doit également être capable de se déconnecter automatiquement du réseau à des tensions spécifiées.

Tableau (I, 1): Plage de tension au PCC.

| Plage de tension (pu) | Temps de fonctionnement |
|-----------------------|-------------------------|
| 0.85–1.10             | Illimité                |
| 1.10–1.15             | 30 min                  |

### I.4.3 Plage de fréquence :

En cas de déviation de la fréquence du réseau par rapport à sa valeur admissible, la centrale solaire doit se comporter comme suit :

- a. Si la fréquence est <50 Hz, la centrale solaire continue à injecter de la puissance active jusqu'à ce que la fréquence descende en dessous de 47,5 Hz.
- b. Pour une sur-fréquence comprise entre 50 et 50,2 Hz, la centrale solaire doit maintenir la puissance active à 100%.
- c. Si la fréquence est >50,2 Hz, la centrale solaire doit injecter de la puissance active Jusqu'à 51,5 Hz.

### I.4.4 Démarrage des centrales solaires

La centrale solaire ne doit être raccordée au réseau électrique que si la fréquence et la tension au PCC se situent dans les limites indiquées dans le tableau 3 ou dans la convention de raccordement (AC) entre le gestionnaire du réseau de transport et le propriétaire de la centrale solaire.

Pendant le démarrage d'une centrale solaire, le taux d'augmentation de la puissance active ne doit pas dépasser 10% (de la puissance active nominale de la centrale) par minute.

Tableau (I, 2) : Limites de la tension et de la fréquence pendant le démarrage d'une centrale solaire.

|           |   |
|-----------|---|
| Fréquence | $48.0 \text{ Hz} \leq f \leq 51.0 \text{ Hz}$ |
| Tension   | $0.90 \text{ u} \leq U \leq 1.10 \text{ pu}$  |

### I.4.5 Conditions de qualité de l'énergie

Les centrales solaires raccordées au réseau électrique doivent s'efforcer de maintenir la qualité de la forme d'onde de la tension au PCC. Les centrales solaires doivent se conformer aux exigences spécifiées à la section 5.3 du Code de performance du Code du réseau et/ou de la partie correspondante du Code de distribution d'électricité.

### I.4.6 La distorsion harmonique

Les niveaux de distorsion harmonique maximum au PCC qui sont attribuables à la centrale solaire doivent obéir aux stipulations de la norme IEEE 519-1992, tel que spécifié à la section 5.3.7 du Code de performance et/ou à la section applicable du Code de distribution de l'électricité.

Il est bien connu qu'une charge linéaire, comme les lampes à incandescence ou les appareils de chauffage, tire de la source un courant électrique proportionnel à la tension appliquée, tandis qu'une charge non linéaire, telle qu'un variateur de vitesse, tire des courants distincts de l'onde de tension. Le courant de la charge non linéaire comprend des harmoniques impairs (troisième, cinquième, septième, etc.). L'effet de distorsion de la troisième composante harmonique est illustré à la figure 12. Les composantes des courants harmoniques vont interagir avec les courants de source, provoquant ainsi des harmoniques de tension. Les composantes harmoniques de tension sont superposées à la composante fondamentale de la tension, ce qui entraîne une forme d'onde de tension déformée.

La circulation des courants harmoniques dans les équipements électriques peut causer des problèmes tels que l'échauffement des équipements, la surcharge de la ligne neutre, le déclenchement intempestif des disjoncteurs, l'augmentation de l'effet de peau, etc

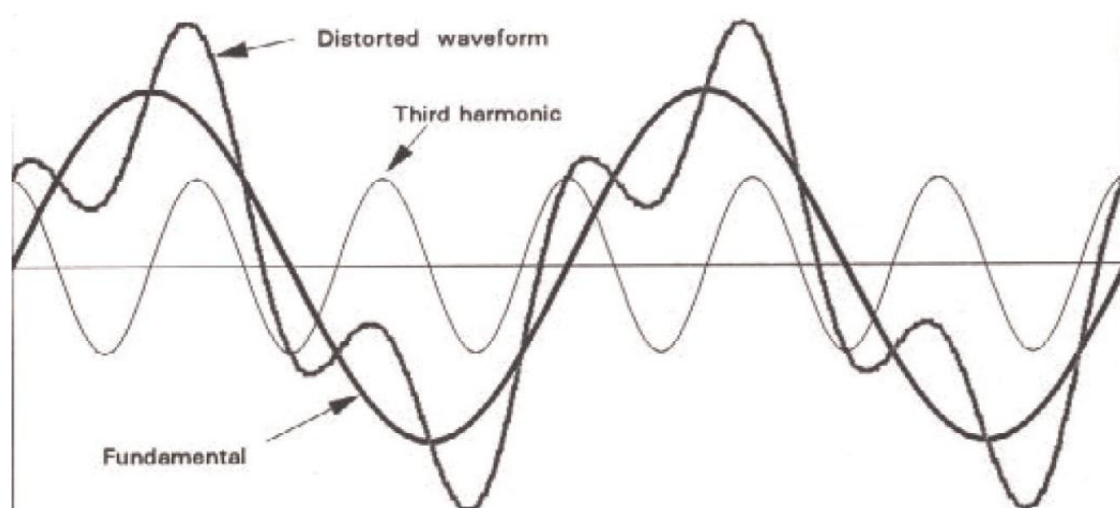


Figure (I.6): Effet de la troisième harmonique.

### I.4.7 Limites du déséquilibre de tension

Le déséquilibre de tension dans le système triphasé se définit comme la différence entre la tension de ligne la plus élevée et la plus basse divisée par la tension de ligne moyenne du système.

Les centrales solaires doivent pouvoir résister à un déséquilibre de tension n'excédant pas à 2% pendant au moins 30 s, comme le stipule la partie 5.3.5 de la section 5 (Code de performance) du Code du réseau et/ou du Code de l'électricité.

Code de performance) du Code de réseau et/ou la section pertinente du Code de distribution.

Un système triphasé est équilibré si les tensions triphasées ont la même amplitude et sont déphasées de  $120^\circ$  l'une par rapport à l'autre. Dans le cas contraire, le système triphasé est déséquilibré. La figure 13 montre les formes d'onde de tension d'un système triphasé déséquilibré. D'un système triphasé déséquilibré.

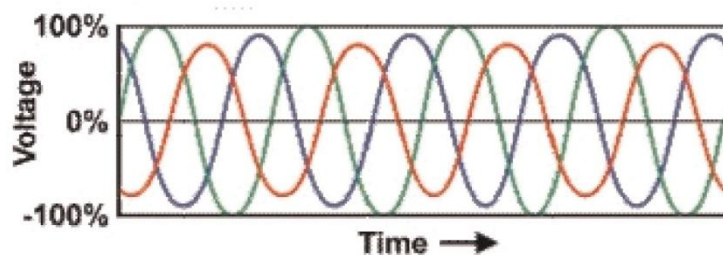


Figure (I.7): Formes d'onde de tension d'un système triphasé déséquilibré.

### I.5 Conclusion :

Dans ce chapitre on a évoqué les différents types d'installations photovoltaïques, en se basant sur le système PV connecté au réseau; on a aussi bien détaillé les Caractéristiques de puissance et d'énergie d'un système solaire photovoltaïque et la relation entre eux.

Pour l'injection sur le réseau il faut respecter les critères techniques pour le raccordement des installations solaires aux réseaux électriques.

# **CHAPITRE II**

## **Les compteurs intelligents**

### **Bi-Directionnels**

## Introduction

Toute une installation photovoltaïque contient un compteur électrique soit 03 compteur dans le cas d'injection total ou deux dans l'injection du surplus pour mesurer la consommation de cette installation.

Dans ce chapitre, on s'intéresse particulièrement au développement des compteurs d'énergie photovoltaïques, leur conception, leurs principes de fonctionnement, et les avantages et les inconvénients de chaque type de compteurs.

### II.2 Compteur photovoltaïque: [7]

Un compteur intelligent est un compteur disposant de technologie AMR (Automated Meter Reading) et il est capable de mesurer l'électricité avec plus de précision et d'enregistrer et communiquer des données sur les mesures effectuées (consommation, qualité du réseau) ainsi que sur les contrats tarifaires proposés par les fournisseurs. Il peut aussi permettre de réguler sa consommation appareil par appareil en temps réel, et ce à distance, que ce soit pour le consommateur ou pour le fournisseur.

Les principales spécificités du compteur intelligent sont les suivantes : il peut être entièrement contrôlé à distance (que ce soit pour le relevé des données, la réduction de puissance ou encore la coupure par le gestionnaire du réseau de distribution). Il doit aussi pouvoir donner au client plusieurs informations telles que sa consommation, relevée à intervalles réguliers, voire en temps réel. Il peut aussi donner les grilles tarifaires

### II.3 Description générale sur les compteurs intelligents : [7]

Le « comptage intelligent » est un concept qui remonte à la fin des années 80, il désigne un système comprenant des compteurs communiquant de manière mono ou bidirectionnelle à travers un réseau de communication fixe avec un système informatique central situé chez le gestionnaire de réseau. Ce système peut communiquer avec l'extérieur ceci signifie qu'il peut recevoir des ordres et envoyer des données et des informations sans l'intervention physique d'un technicien. Il a été conçu pour faciliter la vie des clients et les consommateurs. Il est équipé d'un système informatisé reliés au système électrique du foyer, ce compteur calcule à 1 kwh près le débit de l'électricité consommée. Le chiffre précis en temps réel est fourni par le compteur afin d'informer le consommateur et le distributeur. De plus il transmet simplement les informations qu'il affiche et qui sont directement connectées aux bases de données des fournisseurs d'énergie. Ces informations facilitent les relevés à distance, le suivi précis des consommations et la fraude.

La conception et le principe du fonctionnement d'un compteur intelligent d'énergie varie d'un compteur à l'autre ça dépend du protocole de communication et du nombre des fonctionnalités, par exemple :

### II.3.1 Le compteur d'énergie intelligent CPL :

Ce compteur communiquant utilise une technologie connue depuis les années cinquante : le Courant Porteur en Ligne (CPL) qui permet d'envoyer et de recevoir les informations dans les câbles électriques existant dans l'habitation. Le principe de cette technologie consiste à coupler un signal haute fréquence (HF, un signal à plus haute fréquence et de faible énergie) au signal 50 Hz du réseau électrique (figure 9). Le signal se propage sur l'installation électrique et peut être reçu et décodé à distance. Ainsi le signal CPL est reçu par tout récepteur CPL de même catégorie se trouvant sur le même réseau électrique. [3]

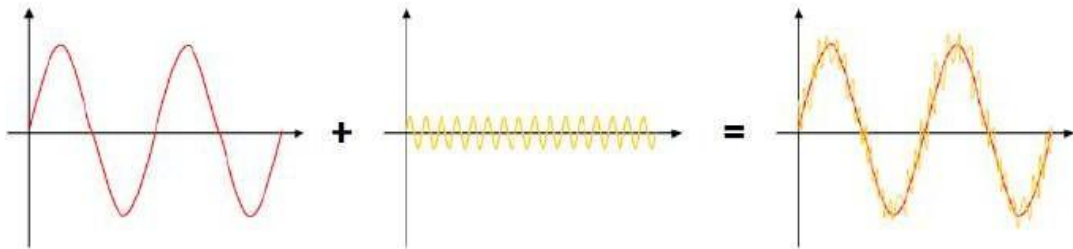


Figure (II.1): Illustration du principe général du CPL

### II.3.2 Le compteur d'énergie intelligent avec module GSM :

Ce type de compteur intelligent utilise un mode de communication basé sur un module GSM qui envoie les données et reçoit des ordres à travers des SMS entre les compteurs et agence commerciale de consommation qui collecte les informations dans la région et fait les factures.



Figure (II.2): Module de GSM



### II.3.3 Le compteur d'énergie intelligent IOT :

Ce compteur utilise une technologie qui s'appelle IOT « internet of things ». Cette technologie permet d'envoyer les données et recevoir des ordres en temps réel entre plusieurs appareils ensemble, ce mode de communication nous permet d'avoir beaucoup de fonctionnalités comme : contrôler tous les appareils dans la maison avec un seule télécommande, réduire la consommation d'énergie, éviter des problèmes électriques comme la surcharge.

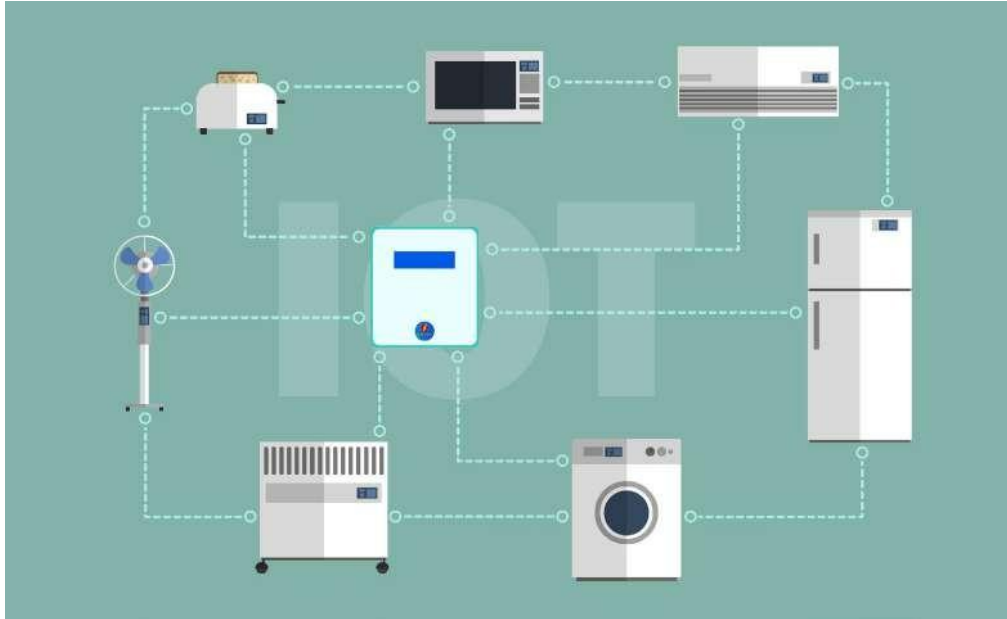


Figure (II.3): illustration du principe général de IOT

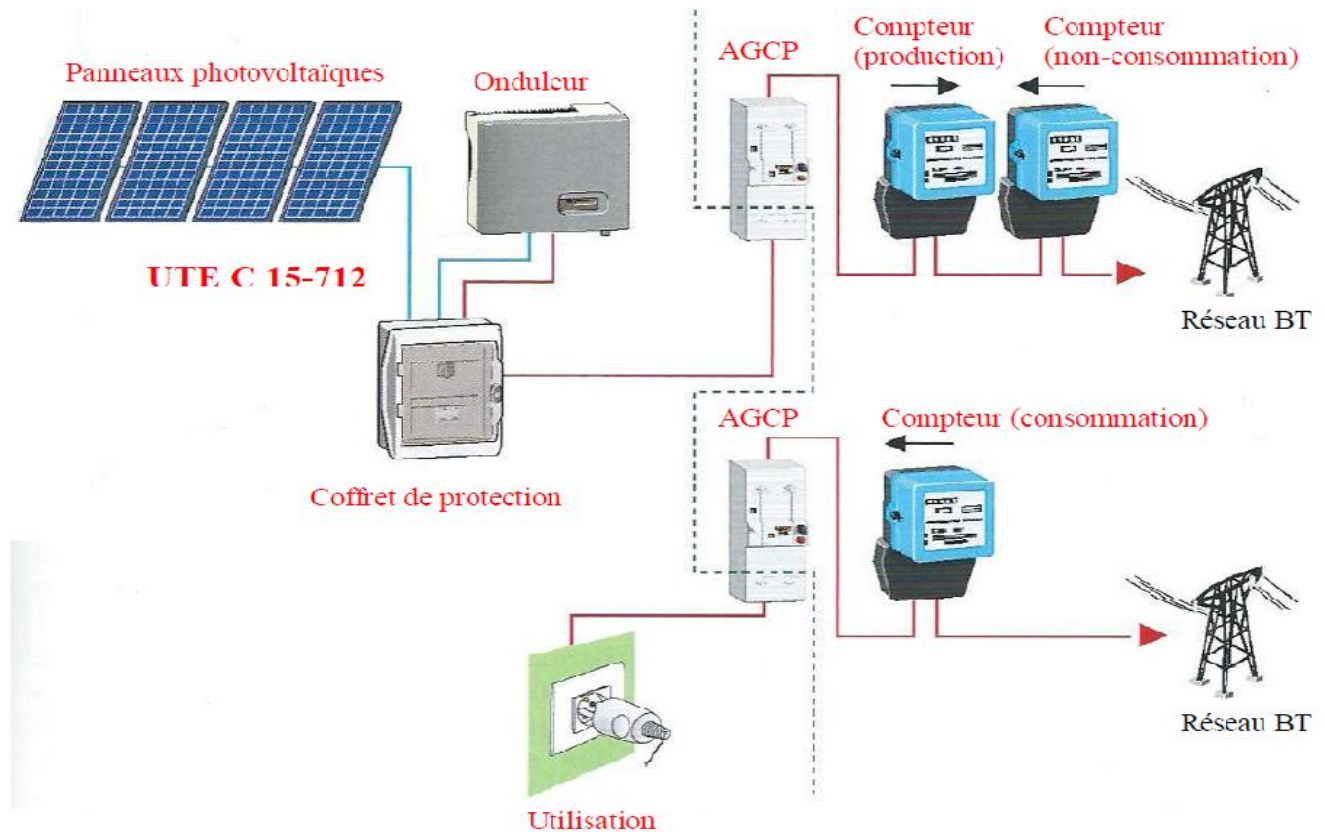
## II.4 L'injection dans les réseaux [7]

### II.4.1 Injection totale :

Toute l'énergie électrique produite par les capteurs photovoltaïques est envoyée pour être revendue sur le réseau de distribution.

Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en deux points :

- ❖ Le raccordement du consommateur qui reste identique avec son compteur de consommation (on ne peut pas utiliser sa propre production).
- ❖ Le nouveau branchement permettant d'injecter l'intégralité de la production dans le réseau, dispose de deux compteurs :
  - l'un pour la production.
  - l'autre pour la non-consommation (permet de vérifier qu'aucun soutirage frauduleux n'est réalisé).



En bleu : énergie électrique continue (DC).

En rouge : énergie électrique alternative (AC).

Figure (II.4): installation avec injection totale de la production photovoltaïque.

### II.4.2 Injection de surplus :

Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en un point, l'utilisateur consomme l'énergie qu'il produit avec le système solaire et l'excédent est injecté dans le réseau. Quand la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'énergie nécessaire. Un seul compteur supplémentaire est ajouté au compteur existant.

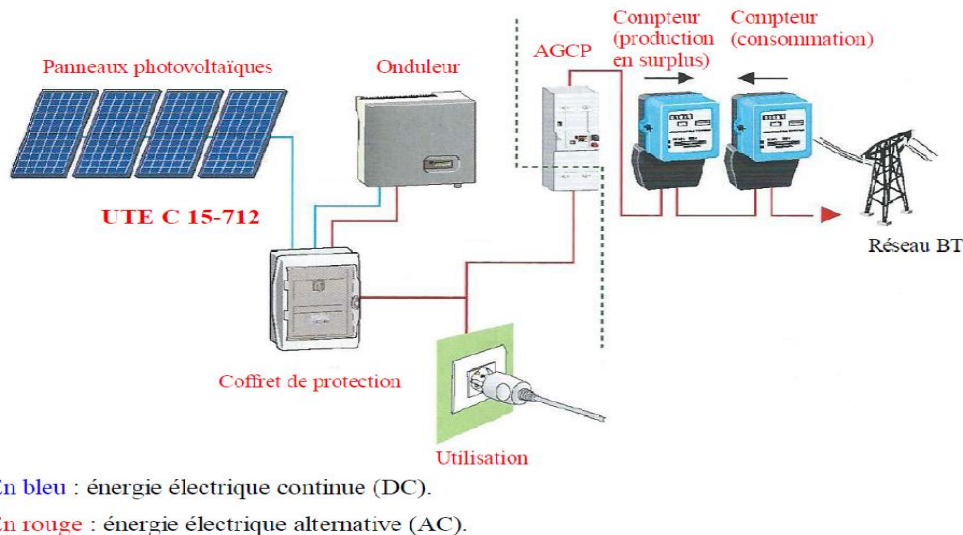


Figure (II.5): installation avec injection du surplus de la production photovoltaïque

## III.5 Les avantages et les inconvénients d'un compteur intelligent : [8]

### III.5.1 Les avantages :

- Le « smart meter » permet de relever et contrôler la consommation électrique à distance et permet d'éviter de déranger les clients par les agents qui doivent faire la lecture sur place du compteur.
- Il sauvegarde les consommations, compteur par compteur, pour finalement rendre le rapport au gestionnaire.
- Ce type de compteur fait le calcul de la consommation d'énergie avec une manière détaillée et précise en temps réel.
- Une détection plus rapide et automatique des pannes.
- Contribue de réduire le budget et la facture de l'électricité puisque le consommateur dispose d'informations beaucoup plus détaillées relatives à sa

consommation qui lui permettent de faire des économies d'énergie en adaptant ses habitudes.

- Faciliter la vie du consommateur dans la mesure où il :
- Permet d'être facturé par rapport à sa consommation réelle, et non plus par rapport à une estimation de consommation.
- Ne nécessite plus l'intervention d'un technicien pour la mise en service, ou la modification de la puissance.
- Lui permet de suivre sa consommation exacte sur internet pour la mieux maîtriser et faire des économies d'énergie.
- Permet de faire la compensation entre le système photovoltaïque et le réseau.

### **III.5.2 Les inconvénients :**

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

### **III.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre, à partir d'étude générale sur l'évolution de la technologie utilisée dans la mesure de la consommation électrique, nous avons parlé sur les types des compteurs d'énergie électrique présents dans les installations électriques et nous avons aussi donné une vision globale et détaillée sur les compteurs et leur fonctionnement ainsi que leurs avantages et les problèmes.

Alors, d'après tout ça on conclut que le compteur d'énergie électrique est un élément important et essentiel dans les réseaux et les installations électriques et il est entendu que plus les compteurs sont précis et intelligents dans la mesure on va trouver que l'équité sera atteinte entre le consommateur et les sociétés de distribution électrique, contrairement aux anciennes technologies des compteurs et à cet effet on va détailler dans le chapitre suivant sur les composants électroniques utilisés dans notre projet pour réaliser le circuit d'un compteur intelligent bidirectionnels.

# **CHAPITRE III**

## **Conception d'un compteur intelligent**

## Introduction

Depuis longtemps, la création des circuits électroniques à partir des composants comme (résistance, capacité, inductance, transistor...) a été difficile, et sa modification est vraiment complexée parce que ses circuits sont fabriqués pour faire un travail spécifique et pour faire un petit changement il faut passer par plusieurs opérations comme (des calculs, Soudage, refaire les schémas...).

Mais après le développement de la technologie électronique, la création des systèmes à base d'un circuit électronique est devenue très simple et facile grâce aux cartes de développements et des modules programmables, qui permettent de réaliser plusieurs fonctions dans le même système.

Dans ce chapitre, nous allons parler spécialement de la carte ESP8266 WROOM mentionnant ses caractéristiques et nous donnerons le schéma de principe de cette carte avec les composants que nous utiliserons dans ce système.

### III.2 La carte Espressif l'ESP8266

Espressif Systems est une multinationale publique, société de semi-conducteurs établis en 2008, avec siège à Shanghai et des bureaux en Grande Chine, en Inde et en Europe. Ils ont une équipe passionnée d'ingénieurs et de scientifiques de partout dans le monde, axée sur le développement de pointe Wifi et Bluetooth, faible puissance IOT solutions. [9]



Figure (III.1): Le logo d'Espressif

La puce ESP8266wifi, faite par Espressif. Elle est apparue sur certains sites chinois au milieu de 2014 et au début il a été utilisé comme « pont » pour connecter les microcontrôleurs (Arduino...) aux réseaux wifi grâce à son très faible coût.

En raison du fait que le micro logiciel original n'était pas bien documenté, qu'il a quelques bogues et qu'il n'offrait que des fonctionnalités « standard », la Communauté des fabricants a mis au point des micro logiciels alternatifs (dont le plus célèbre est sûrement NodeMCU) pour exploiter pleinement la puissance de la puce et construire des systèmes complets, sans avoir besoin de microcontrôleurs externes.

### III.2.1 La définition d'ESP8266

ESP8266 est un système à faible coût et à faible consommation d'énergie sur une puce (SOC) série avec Wifi et double mode Bluetooth capacités.

ESP8266 offre une plateforme robuste, qui aide à répondre aux exigences continues en matière d'utilisation efficace de la puissance, de conception compacte, de sécurité, de haute performance et de fiabilité.

Espressif fournit des ressources matérielles et logicielles de base pour aider les développeurs d'applications à réaliser leurs idées à l'aide du matériel de la série ESP8266. Le cadre de développement de logiciels par Espressif est destiné au développement d'applications IOT avec Wifi, Bluetooth, gestion de l'énergie et plusieurs autres fonctionnalités du système.



Figure (III.2): Module ESP8266

### III.3 Les modules et les cartes de développement ESP8266

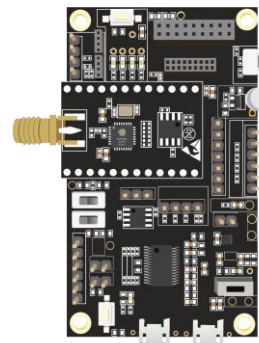
Espressif conçoit et fabrique différents modules et cartes de développement pour aider les utilisateurs à évaluer le potentiel de la famille de puces ESP8266.

#### III.3.1 Les modules d'ESP8266.

Il s'agit d'une famille de modules basés sur ESP8266 avec certains composants clés intégrés, y compris un oscillateur à cristaux et un circuit correspondant à l'antenne. Les modules constituent des solutions prêtes à l'emploi pour l'intégration dans les produits finaux. Combinés à quelques composants supplémentaires, tels qu'une interface de programmation, des résistances d'amorçage et des têtes de broche, ces modules peuvent également être utilisés pour évaluer les fonctionnalités d'ESP8266



a : ESP-Launcher



b : ESP-WROOM-02D

Figure (III.3): Les modules ESP32

### III.3.2 Le module ESP8266 V3 :

#### III.3.2.1 Les caractéristiques :

Dans notre projet on a utilisé la carte **ESP8266**, qui a les Caractéristiques suivantes :



Figure (III.4):Le module ESP8266 V3

Tableau (III,1): Les caractéristiques de la carte ESP8266

| Puce                      | ESPRESSIF-ESP8266  |
|---------------------------|--|
| Microprocesseur           | Microprocesseur Xtensa LX6 simple/double cœur<br>32 bits   |
| Horloge embarquée         | Oscillateur à cristal de 40 MHz  |
| SRAM                      | 520 KO   |
| Flash                     | 4 MO   |
| Nombre des pins           | 38 pins  |
| Interface modulaire       | Carte SD, UART, SPI, SDIO, LED PWM, TV PWM, I2S, I2C, IRGPIO, capteur tactile à condensateur, ADC, préamplificateur DACLNA |
| Tension de fonctionnement | 2.3 V-3.6 V  |
| WI-FI                     | Plage de fréquence : 2.4 GHz ~ 2.5 GHz   |
| Bluetooth                 | Protocole : Conforme à la norme Bluetooth v4.2<br>BR/EDR et BLE  |

#### III.3.2.2 Les entrées et les sorties :

- ✓ **Micro USB** : utilisée pour alimenter et connecter ESP8266 à l'ordinateur.
- ✓ **L'entrée d'alimentation** : par laquelle ESP8266 est connecté à une source d'alimentation externe en tant que batterie si l'USB n'est pas utilisé pour le fonctionnement, pour l'ESP8266 fonctionnant à 2.3 V-3.6 V.
- ✓ **Porte SD** : il contient 4 pins (CS, MOSI, SCLK, MISO), ou On peut lire la carte SD.
- ✓ **Les pins d'énergie** : Comprend des pins d'alimentation de 5V et 3,3V, des ports de mise à la terre GND et un port Vin par lequel l'énergie peut être tirée de l'entrée d'alimentation.



- ✓ Les pins de multifonction : c'est les pins qui peuvent être pin numérique ou

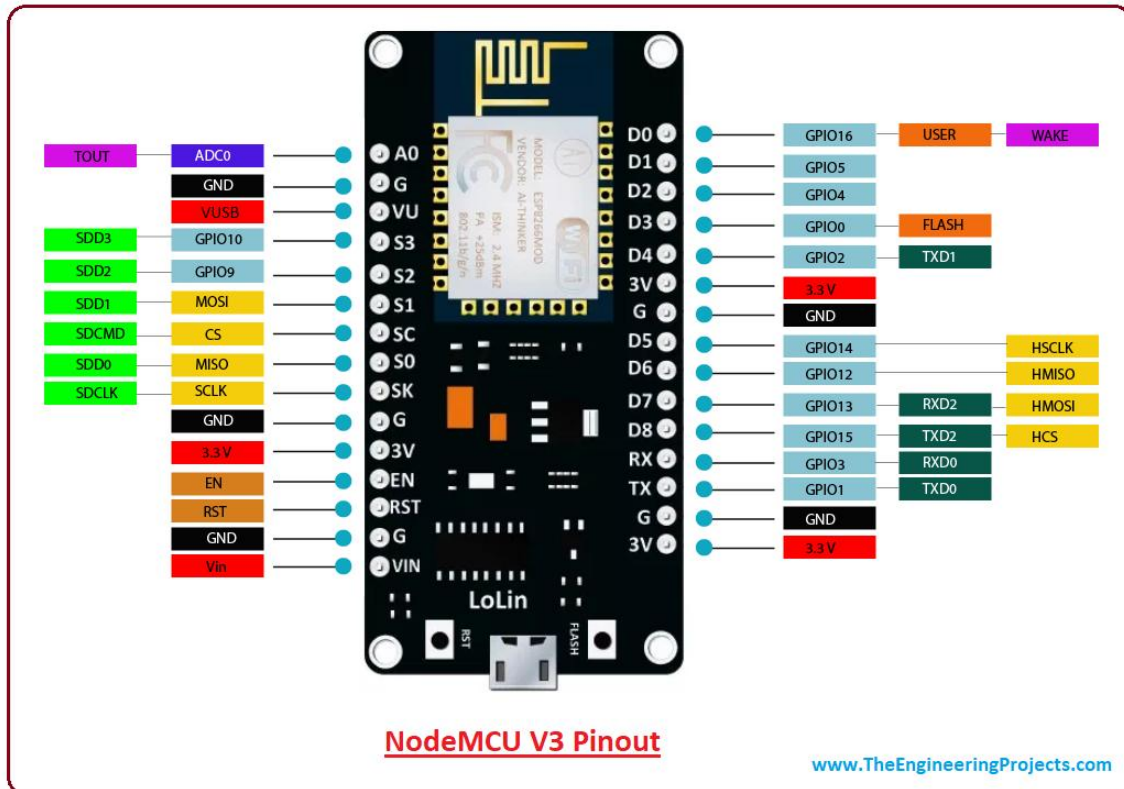


Figure (III.5): Brochage de La carte ESP8266

analogique en même temps.

- ✓ **Bouton reset** : Pour redémarrer le code chargé sur la carte. [11]

## III.4 Les composants utilisés :

### III.4.1 NodeMCU Microcontrôleur Base

La base située en dessous de l'unité NodeMCU peut offrir une plus grande flexibilité au niveau des ports de connexion pour prendre en charge davantage de capteurs. En outre, il dispose également d'un port d'entrée de 12V et peut fournir une alimentation de 5V pour supporter les capteurs.

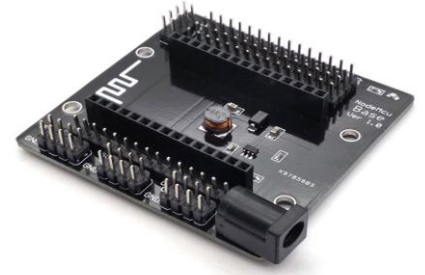


Figure (III.6): NodeMCU base

### III.4.2 Module multiplexeur analogique à 16 canaux

Ce module est une carte d'extension qui permet au Microcontrôleur d'avoir plus de broches analogiques pour la mesure des capteurs. C'est très important pour NodeMCU car il n'a qu'une seule broche analogique.

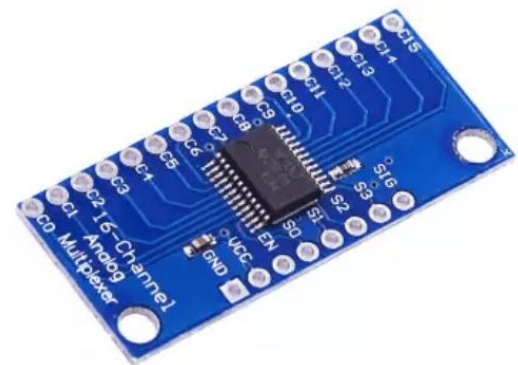


Figure (III.7) : Multiplexeur 16

### III.4.3 Adaptateur secteur 12V 2A

L'adaptateur d'alimentation 12V 2A est une alimentation externe idéale pour les microcontrôleurs tels qu'Arduino UNO et NodeMCU (qui a sa base). Il s'agit d'une source d'alimentation plug and play sans aucun travail de câblage.



Figure (III.8) : Adaptateur secteur  
12V 2A

### III.4.4 Capteur de courant HSTS16L

Le HSTS016L est un dispositif qui détecte le courant à principe de noyau divisé de Hall avec type de noyau divisé en boucle ouverte, installation suspendue, sortie de câble., Haute isolation entre le côté primaire et le circuit du côté vice.

La pince HSTS016L à effet Hall permet de mesurer des courants AC et DC par utilisant utilisent des mâchoires rigides en fer pour concentrer le champ magnétique qui entoure les conducteurs à mesurer.



Figure (III.9) : Capteur de courant HSTS16L

#### III.4.4.1 Connexion du câblage

Fil de blindage à 4 brins :

- Rouge : +5V
- Noir : 0V
- Jaune : Vout
- Blanc : Vref
- 

. Le capteur de courant à effet Hall exploite l'effet Hall pour produire une tension image exacte du courant à mesurer. L'apparition d'un champ électrique transversal et d'une différence de potentiel dans un métal ou un semi-conducteur parcouru par un courant électrique lorsqu'on l'introduit dans un champ d'induction magnétique perpendiculaire à la direction du courant, est appelée effet Hall. [12]

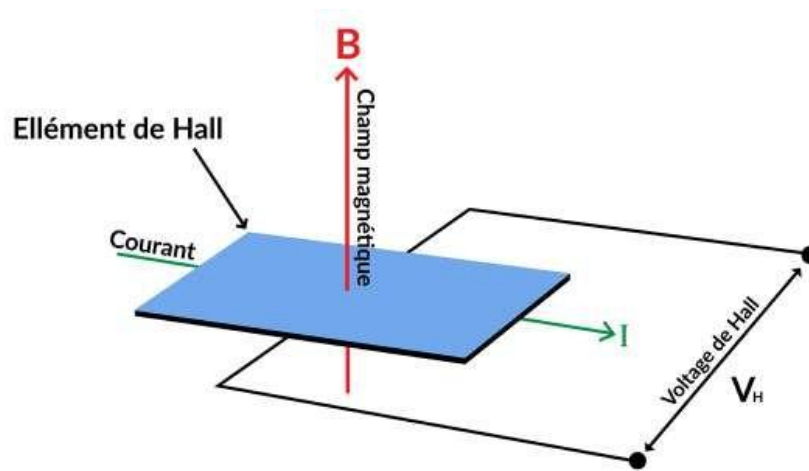


Figure (III.10): Effet Hall

### III.4.5 Le capteur de courant ACS712

On a remplacé le capteur de courant à effet de hall HSTS016L par ACS712 fonctionnant sur le même principe de l'effet Hall. ACS712 est un dispositif qui détecte le courant électrique dans un fil, et génère un signal proportionnel à celui-ci. Le signal généré pourrait être une tension analogique ou numérique. Il peut ensuite être stocké pour une analyse plus approfondie dans un système d'acquisition de données. Le capteur de courant utilisé est un capteur à effet Hall, de modèle ACS712 20A, connecté en série avec la ligne dont le courant doit être mesuré.



**Figure (III.11) : capteur de courant ACS712**

Le capteur ACS712 dispose d'une isolation électrique entre le circuit commande et le circuit auquel nous voulons mesurer le courant.

- Une large gamme de courants qu'ils peuvent mesurer jusqu'à 30 A.
- La résistance d'entrée est faible, ce qui rend l'énergie dissipée à l'intérieurest négligeable.

La valeur de la résistance de sortie est exprimée en pourcentage de la tension d'alimentation, ce qui facilite le comptage dans ce capteur.

## III.4.6 Le capteur de tension ZMPT101B :

ZMPT101B est un capteur de tension de type AC basé sur un transformateur de tension intégré. Et il est caractérisé par :

- Une haute précision.
- Une bonne fiabilité.
- niveau positif où l'ESP8266 peut être détecté, donc le pic va être décalé à 5V.
- Une large gamme de mesure (0-250 AC).
- Très facile à utiliser et à construire.
- Un potentiomètre pour régler la sortie ADC. [13]

Le transformateur de tension intégré l'a réduit à 2,5 V (pic). Puis un décalage de 2,5 V a été inséré pour déplacer le signal vers un.



Figure (III.12) : Capteur de tension

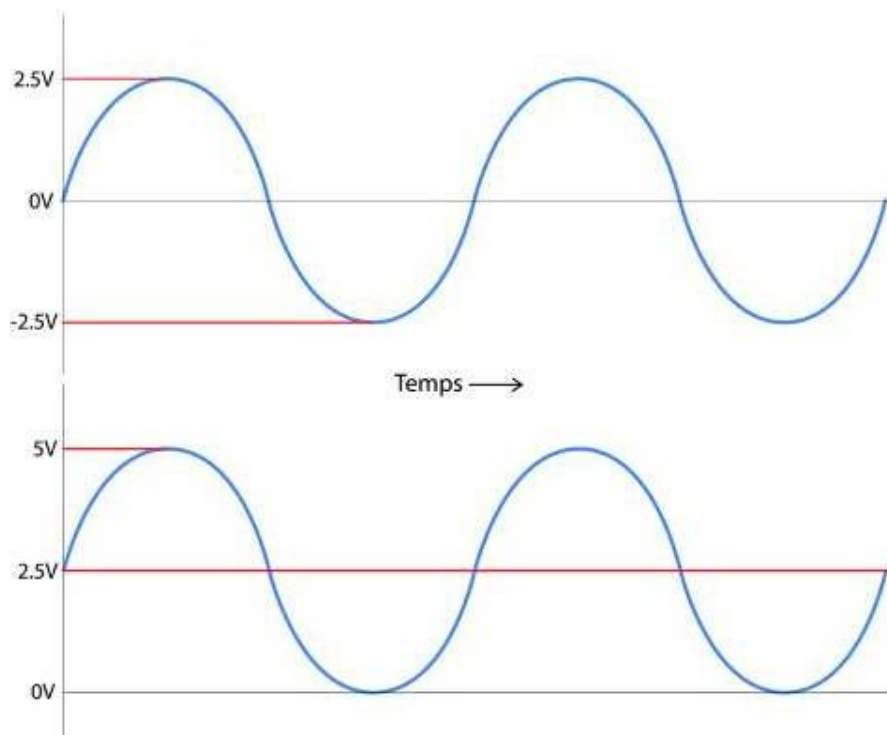


Figure (III.13) : signal de sortie de capteur de tension

Tableau (III.1): Les caractéristiques de capteur de tension

|                                      |                       |
|--------------------------------------|-----------------------|
| <b>Courant d'entrée nominal</b>      | <b>2mA</b>            |
| <b>Courant de sortie nominal</b>     | <b>2mA</b>            |
| <b>Rapport de transformation</b>     | <b>1000:1000</b>      |
| <b>Tension d'isolation</b>           | <b>4000V</b>          |
| <b>Température de fonctionnement</b> | <b>-40°C ~ + 60°C</b> |

On peut utiliser ce capteur de tension dans plusieurs applications :

- Comptage (compteurs d'énergie électrique).
- Détection de défaut de masse.
- Equipement électrique domestique.
- Equipement de contrôle électrique et protection des relais

### III.5 La programmation :

#### III.5.1 Arduino IDE :

L'environnement de développement Arduino IDE est l'outil utilisé pour écrire des codes avec le langage Arduino C, il est ensuite converti en une forme exécutive qui peut être placée sur le microcontrôleur.

Cet environnement de développement est simple et facile à manipuler, et il est presque sans complications dans l'aspect général, il contient seulement ce que le programmeur a besoin pour commencer à développer et en même temps pour charger le code directement au microcontrôleur.



Figure (III.14): Arduino IDE

#### III.5.2 Arduino IDE et l'ESP8266 :

Dans notre projet, on a programmé l'ESP 8266 avec l'ArduinoIDE, et pour faire ça il faut suivre les étapes suivantes :

- En ouvre le programme Arduino IDE est dans la barre des menus on choisit "Fichier" après "Préférences".

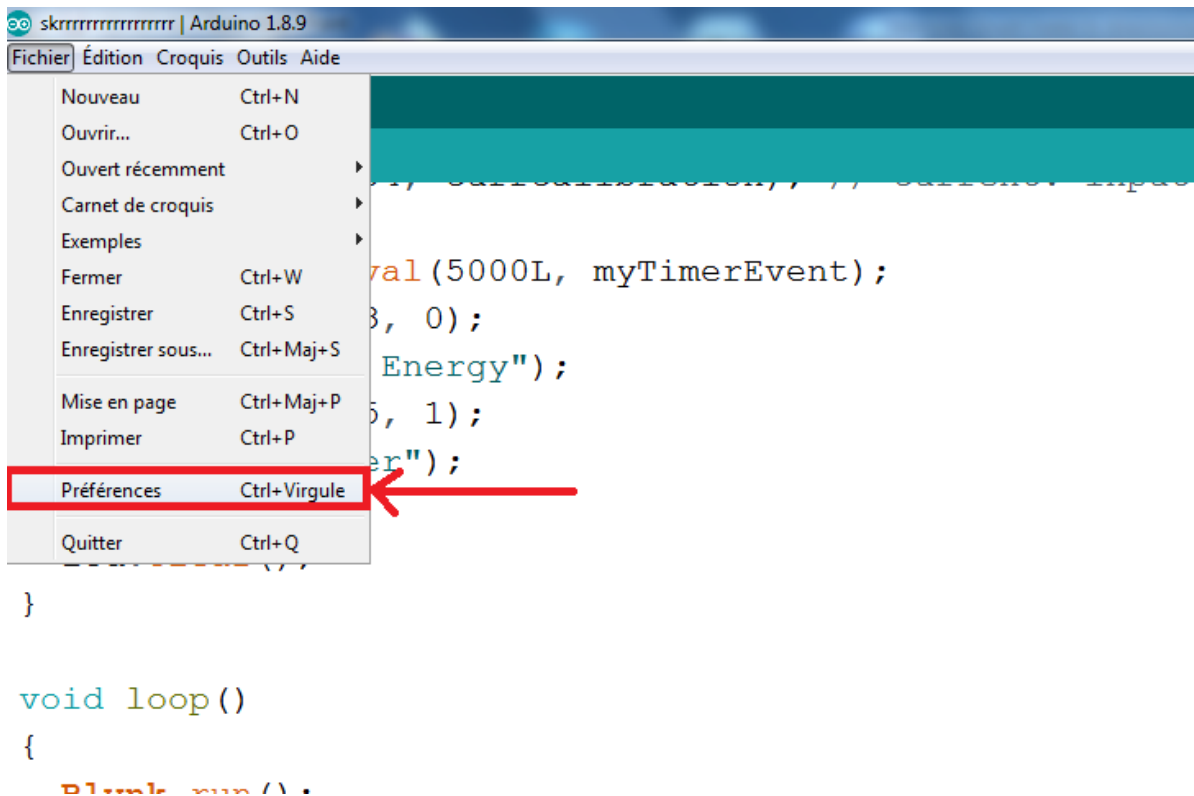


Figure (III.15): Barre des menus "Fichier" dans ARDUINO IDE

- Après la fenêtre de "Préférences" s'ouvre, et dans l'espace de "Additional Boards Manager URLs" on copie ce lien et on click "OK" :

Le Lien : [http://arduino.esp8266.com/stable/package\\_esp8266com\\_index.json](http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json),

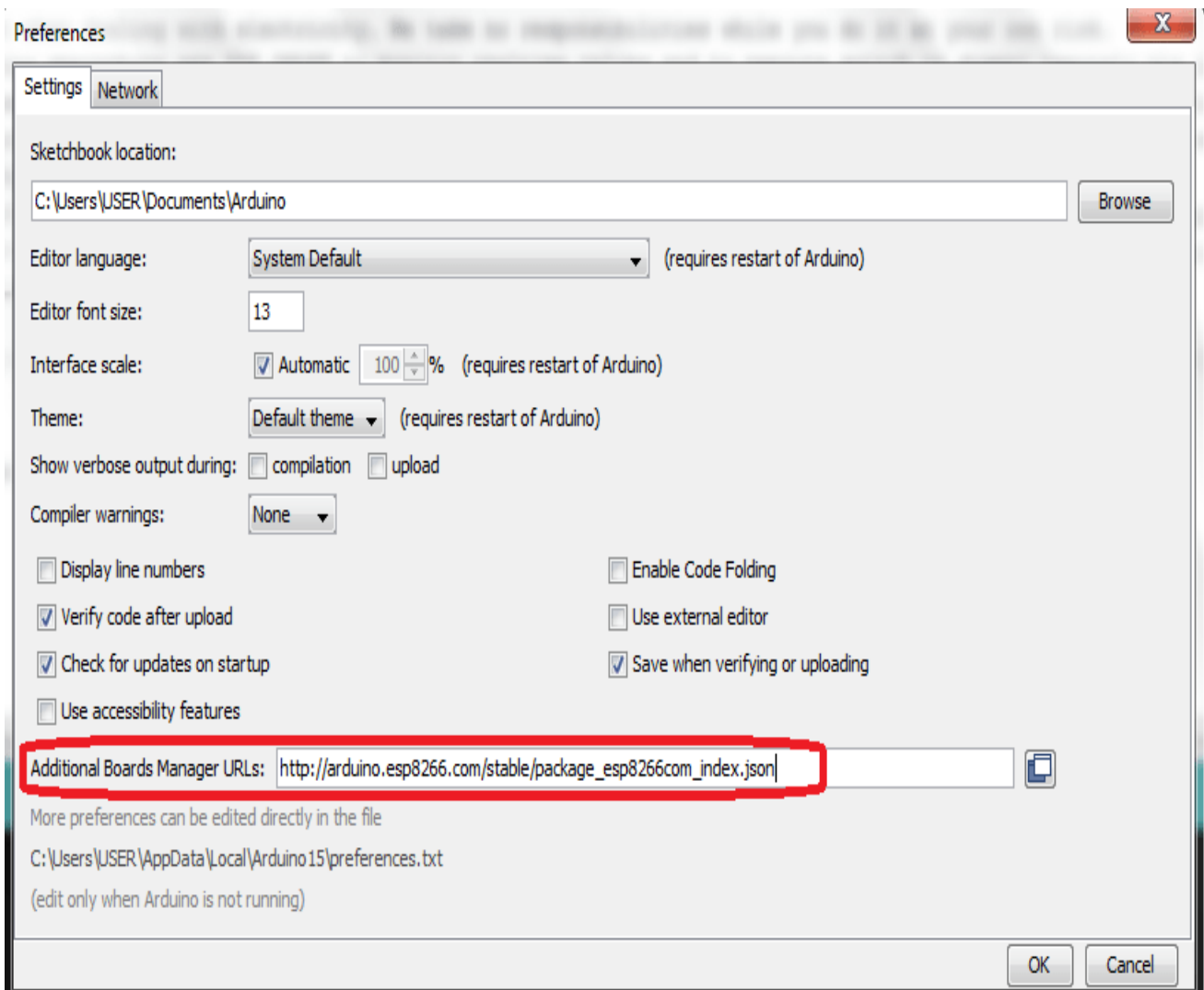


Figure (III.16): Préférences dasn ARDUINO IDE

- Dans la deuxième étape on ouvre la liste de "Tools" et choisit "Board"après "Boards Manager..."



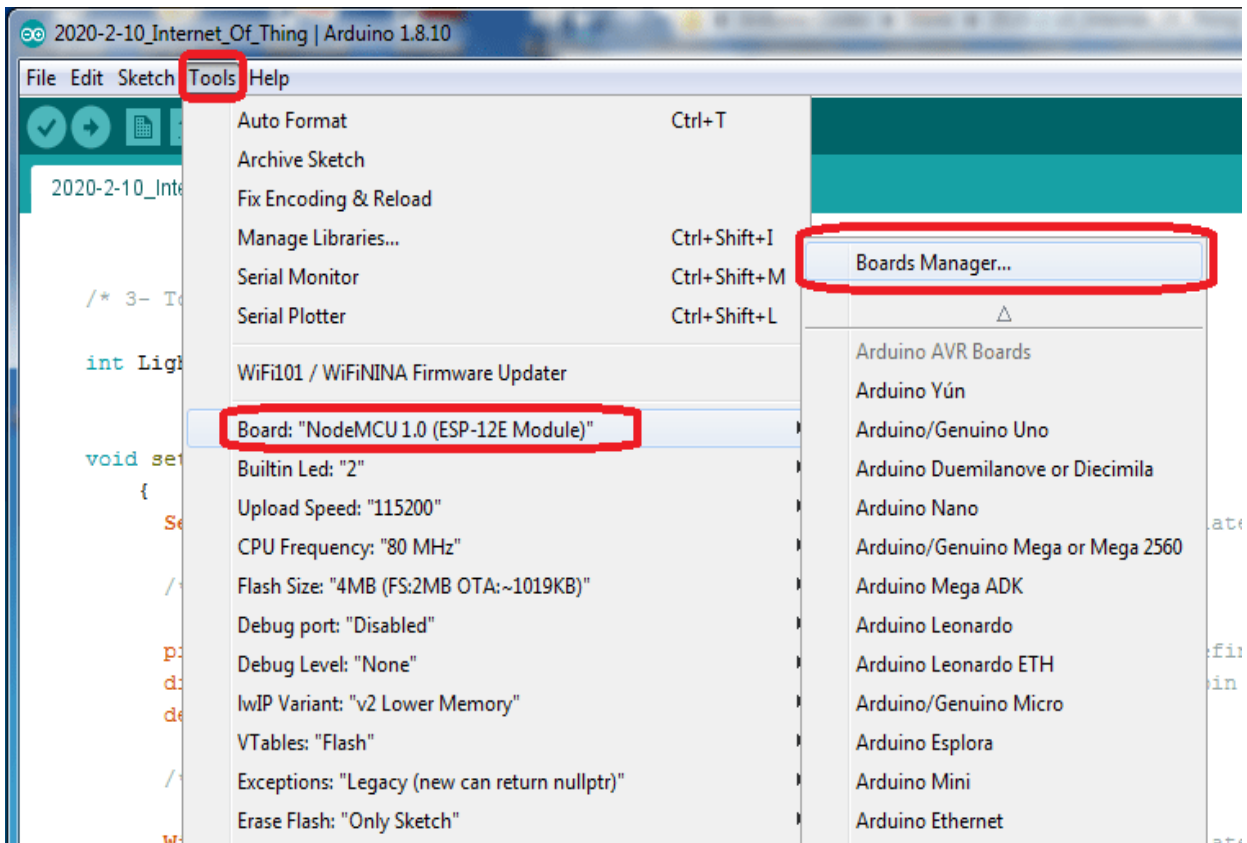


Figure (III.17): Gestionnaire de carte dans ARDIONO IDE

Dans la fenêtre de "Boards Manager" on recherche le mot "ESP8266", un résultat est affiché de "Espressif Systems" qu'il contient le software des cartes ESP8266, on click "Install" et on attend quelques minutes.

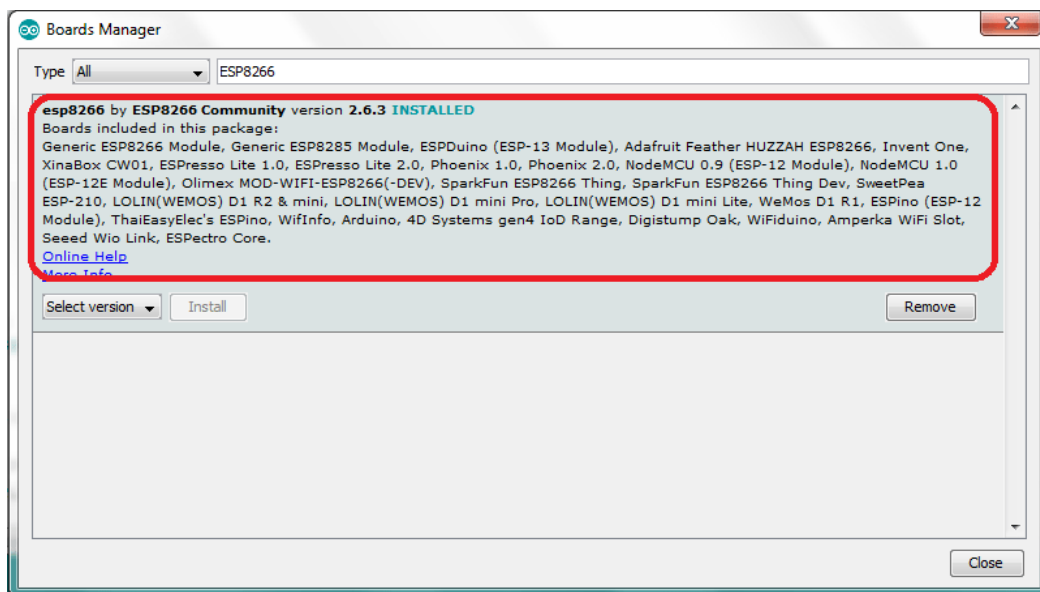


Figure (III.18): Installation de la bibliothèque 'ESP8266'

À la fin d'installation on retour à la liste de "Outils" après "la carte" et maintenant on peut programmer n'importe quel carte ESP8266.

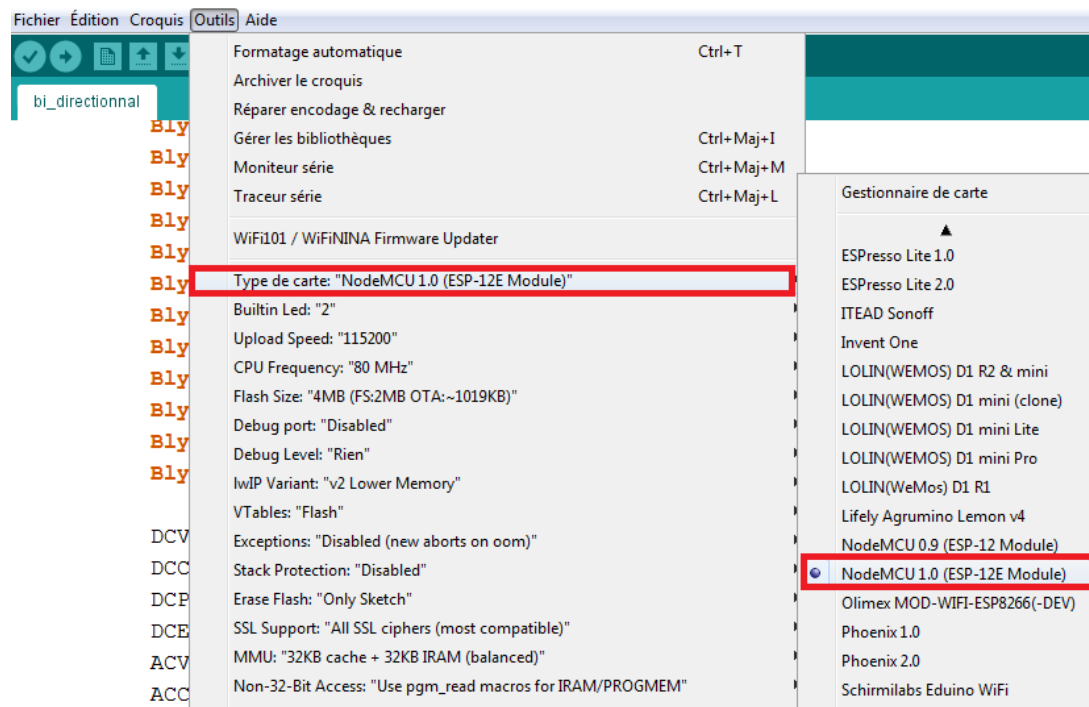


Figure (III.19): Le choix de la carte

### III.6 L'application 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 et déposer sans écrire une ligne de code.



Figure (III.20) : Logo de l'application

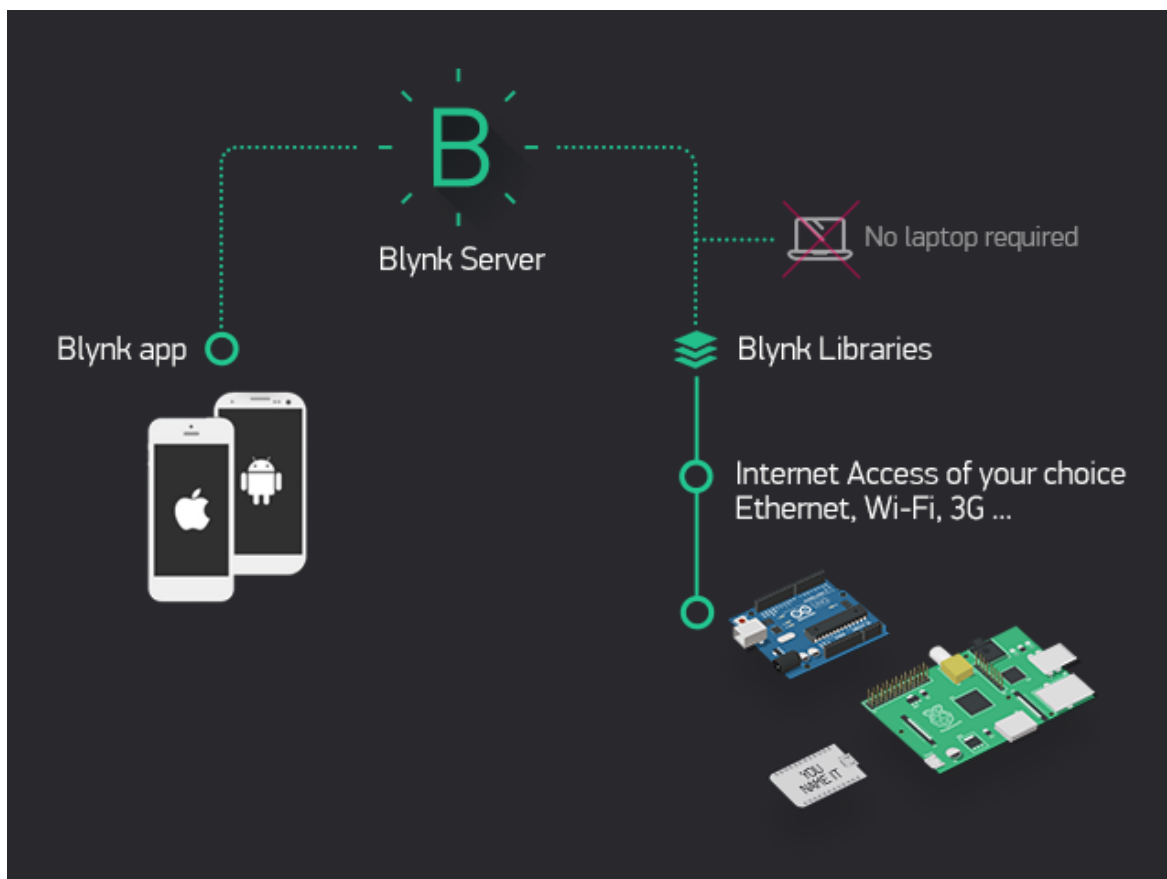


Figure (III.21): Schéma de fonctionnement de l'application BLYNK

### III.6.1 Création de projet :

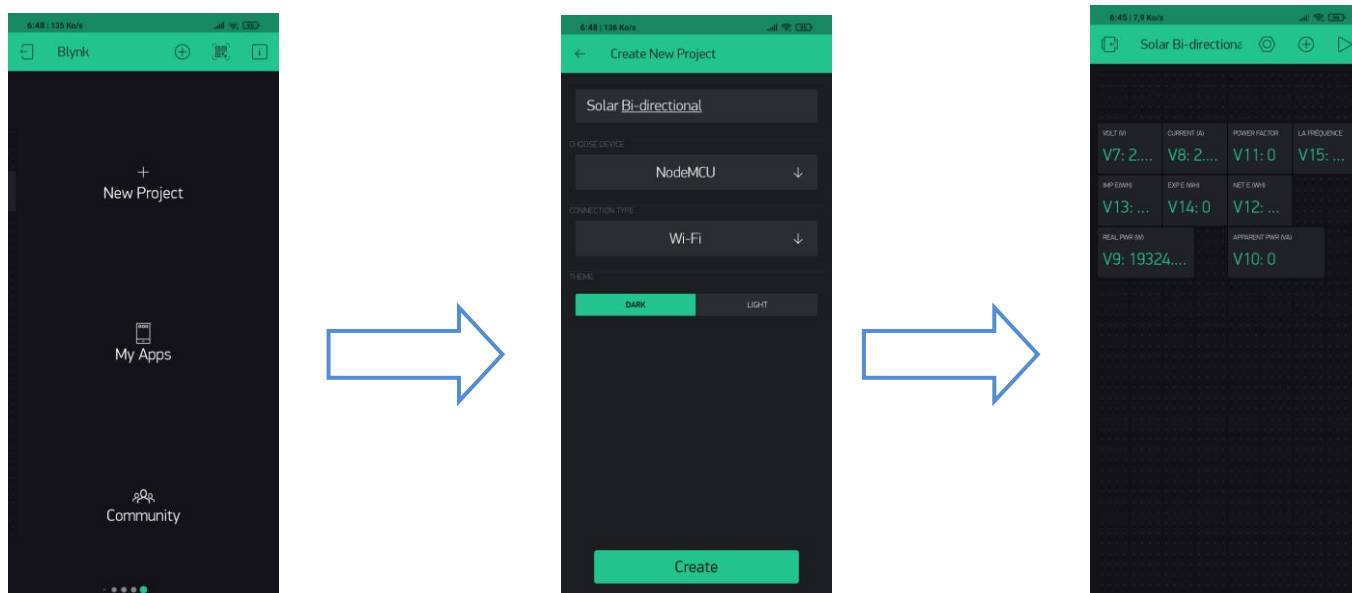


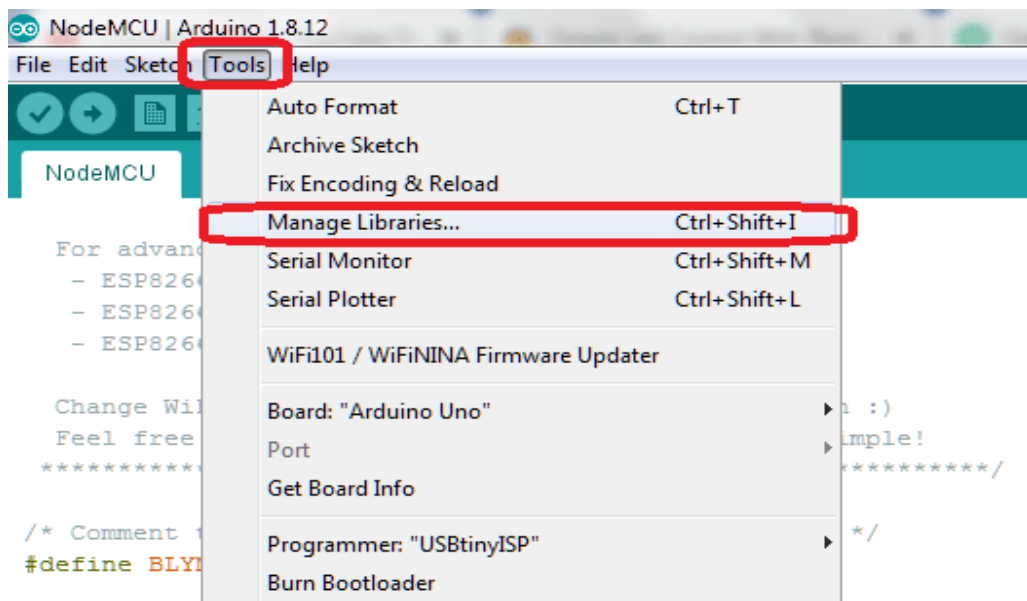
Figure (III.22): Les étapes de création de projet dans l'application BLYNK

**III.6.2 Principe :**

Une application Blynk communique avec un serveur Blynk. Celui-ci peut-être public (Blynk-cloud.com) ou Privé. Le serveur Blynk communique avec le système embarqué via un communication de type Ethernet, Wifi ou GSM, 2G, 3G, LTE, etc ... et la bibliothèque Blynk fournie. Les technologies supportées sont C++, JS, Python, ou HTTP.

**III.6.3 Installer la bibliothèque Blynk**

Si c'est la première fois que vous utilisez le serveur Blynk, ce fichier de bibliothèque Blynk doit être installé dans le logiciel Arduino IDE pour qu'il puisse comprendre la fonction de programmation. Allez dans Outils > Cartes > Gestionnaire de cartes et téléchargez la bibliothèque Blynk de Volodymyr Shymanskyy.



**Figure (III.23): Gestionnaire de cartes**

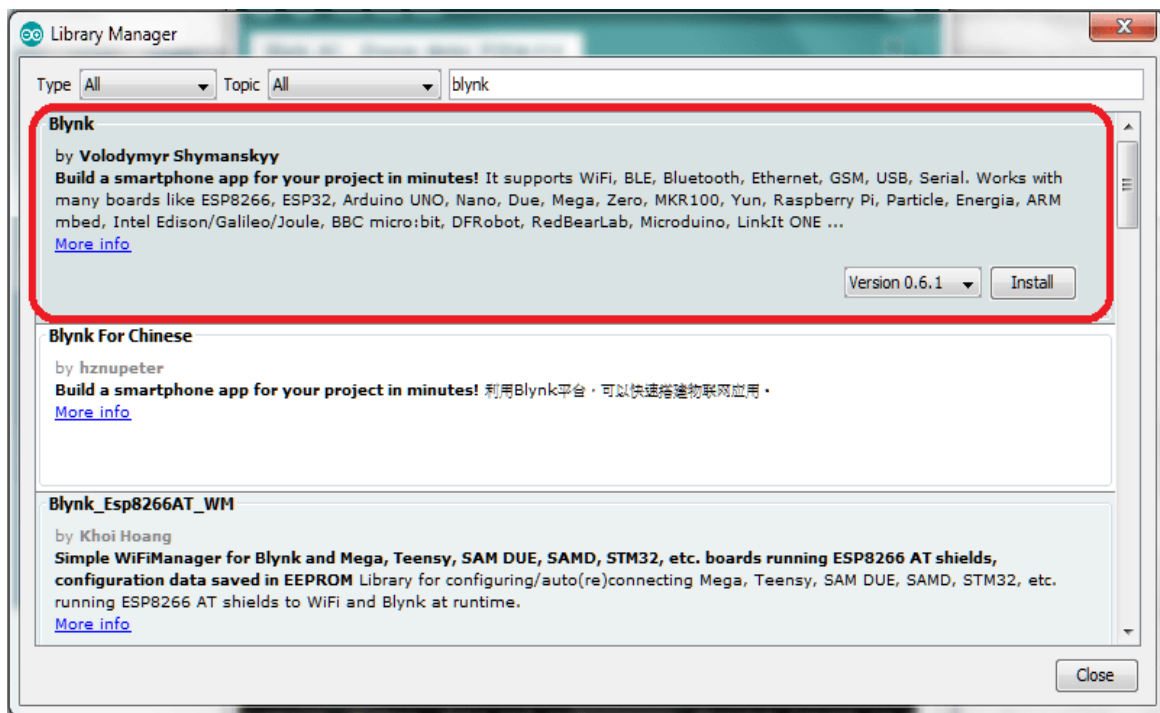


Figure (III.24) : Installation de la bibliothèque BLYNK

### III.7 Schéma de câblage global :

Il ya ci-dessous le schéma de câblage des capteurs et le microcontrôleur

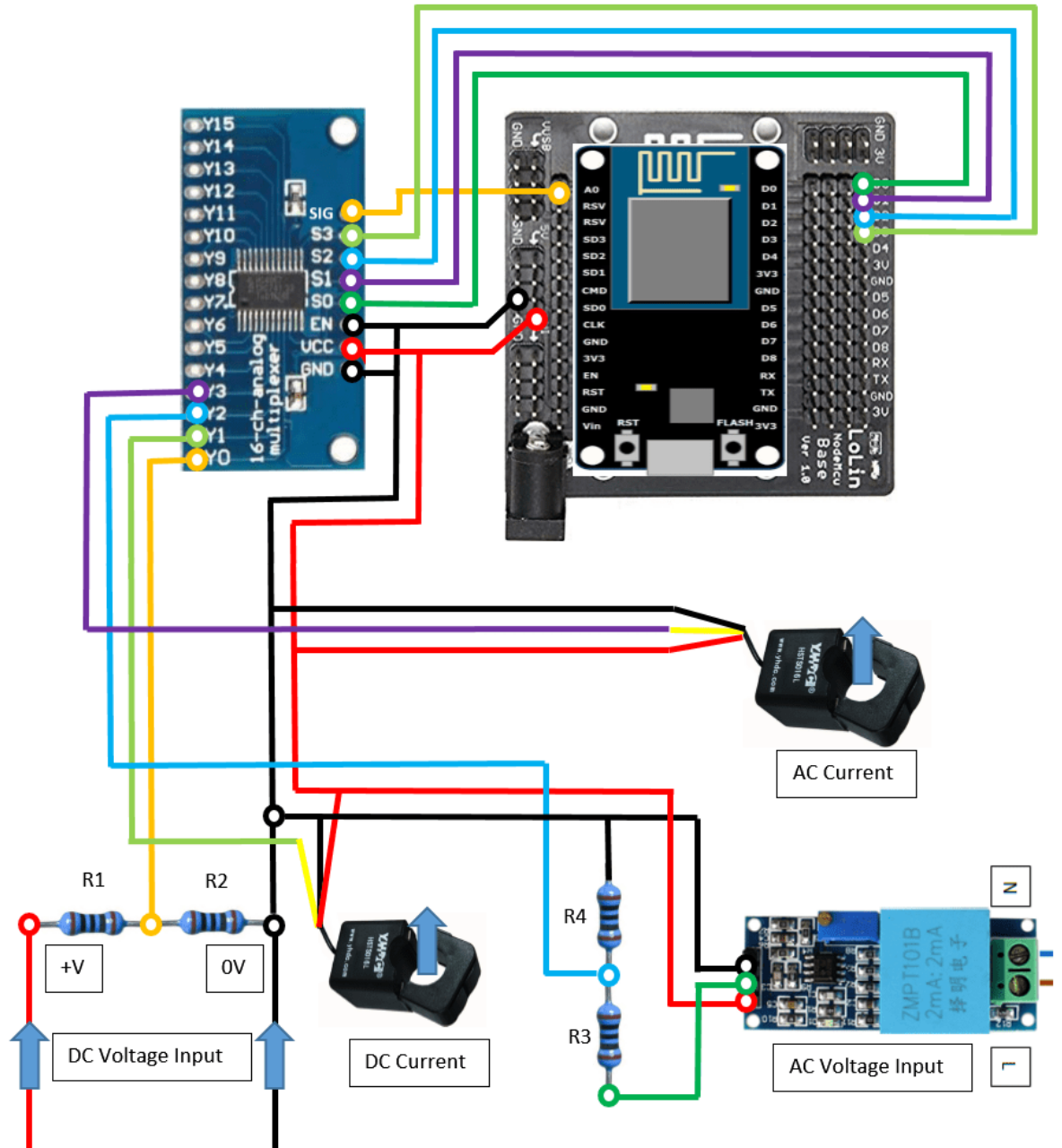


Figure (III.25): le schéma de câblage

### III.8 Résumé du schéma de câblage :

#### III.8.1 Multiplexeur 16 canaux :

SIG à la broche analogique A0 de NodeMCU  
S3 à la broche numérique D3 de NodeMCU  
S2 à la broche numérique D2 de NodeMCU  
S1 à la broche numérique D1 de NodeMCU  
S0 à la broche numérique D0 du NodeMCU  
EN & Gnd to Ground de NodeMCU  
VCC a +5V de NodeMCU (Carte de base)  
C0 (canal 0) à R1 et R2 (mesurer la tension continue)  
C1 (canal 1) au fil jaune du TC à effet Hall (mesure du courant continu)  
C2 (canal 2) à R3 et R4 (mesurer la tension alternative)  
C3 (canal 3) au fil jaune du CT à effet Hall (mesurer le courant alternatif)

#### III.8.2 Module de tension AC :

VCC à +5V de NodeMCU (Carte de base)  
Gnd to Ground de NodeMCU  
SORTIE vers R3  
N au fil AC neutre.  
L au fil AC sous tension.

#### III.8.3 Capteur à effet Hall :

Fil orange aux fils de signal respectifs  
Fil jaune à la masse du NodeMCU  
Fil bleu vers +5V de NodeMCU (Carte de base)

#### III.8.4 Entrée de tension DC :

Positif du fil DC connecté à R1  
Négatif du fil DC connecté à R2

### III.9 La mesure les tensions DC et AC à l'aide de la méthode du diviseur de tension :

NodeMCU ne peut mesurer que la valeur analogique jusqu'à 3,3 V. Les capteurs dont le signal de sortie ne dépasse pas 3,3 V (par exemple, le TC à effet Hall a une sortie maximale de 3,2 V) peuvent être directement connectés au NodeMCU sans aucun problème. Pour un signal supérieur à 3,3 V, un diviseur de tension entre la valeur mesurée (capteur) et le NodeMCU est nécessaire pour réduire la tension de mesure.

Dans cet exemple, nous utiliserons un total de 2 diviseurs de tension (1 pour la tension continue et un autre pour la tension alternative). La mesure de tension continue sera soumise à la tension de mesure maximale. Prenez ce projet comme exemple, j'ai sélectionné des résistances de 20k ohm (R1) et 1k ohm (R2), il a un facteur de réduction de 21,  $(R1 + R2) / (R2)$  afin que la tension continue de mesure puisse mesurer jusqu'à  $21 \times 3,3 \text{ V} = 69,3 \text{ V DC}$ .

Le module de tension alternative sera capable de mesurer la forme d'onde AC et d'envoyer un signal maximum de 5V, il devra donc passer de 5V à 3,3V. J'ai sélectionné les résistances de 200 ohms (R3) et 360 ohms (R4). Il a un facteur de réduction de 1,55,  $(R3 + R4) / (R4)$  et peut donc généralement mesurer jusqu'à  $1,55 \times 3,3 \text{ V} = 5,11 \text{ V}$ , ce qui peut couvrir une entrée maximale de 5,0 V du module de tension alternative. Les valeurs de résistance seront nécessaires pour entrer le code de programmation pour l'ajustement du calcul.

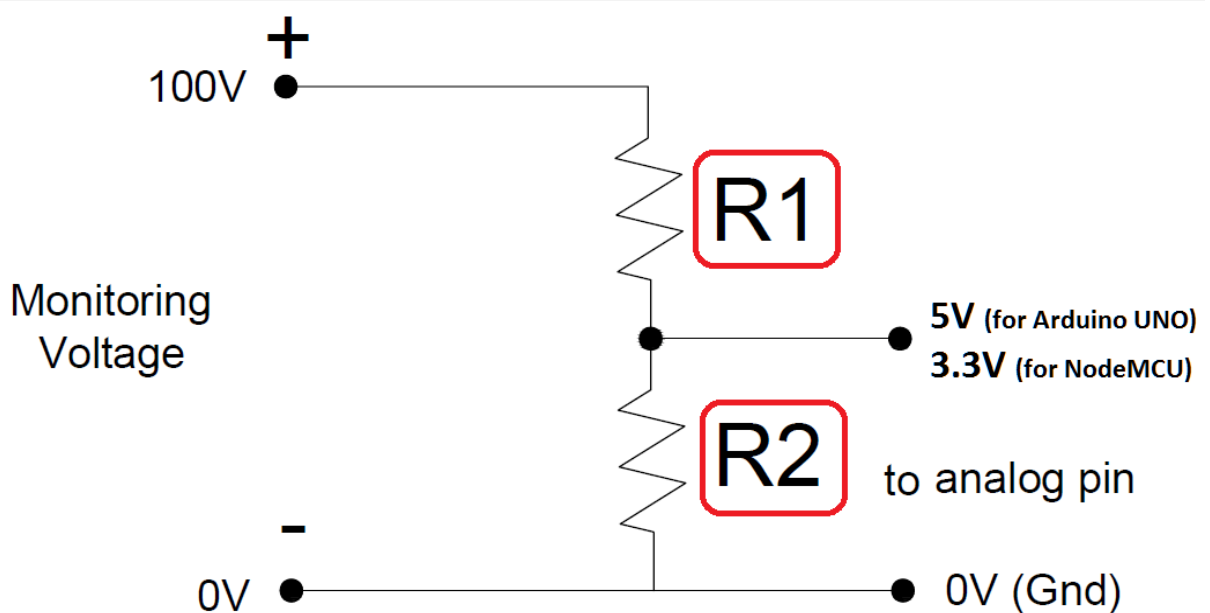


Figure (III.26): Diviseur de tension



### III.9 Paramètres du widget dans l'application blynk :

- Broche virtuelle V7 = tension alternative (RMS) (Vac)
- Broche virtuelle V8 = courant alternatif (RMS) (Iac)
- Broche virtuelle V9 = Puissance réelle AC (Wac)
- Broche virtuelle V10 = Puissance apparente AC (VAac)
- Broche virtuelle V11 = Facteur de puissance (Pf)
- Broche virtuelle V12 = Énergie nette accumulée AC (Wh-ac)
- Broche virtuelle V13 = Énergie d'importation accumulée AC (Wh-ac)
- Broche virtuelle V14 = Énergie d'exportation accumulée AC (Wh-ac)
- Broche virtuelle V15 = Fréquence (Hz)

### III.10 Réalisation pratique :

Les figures (III.27) e (III.28) illustrent la réalisation pratique du compteur intelligent bidirectionnelle d'énergie proposé.

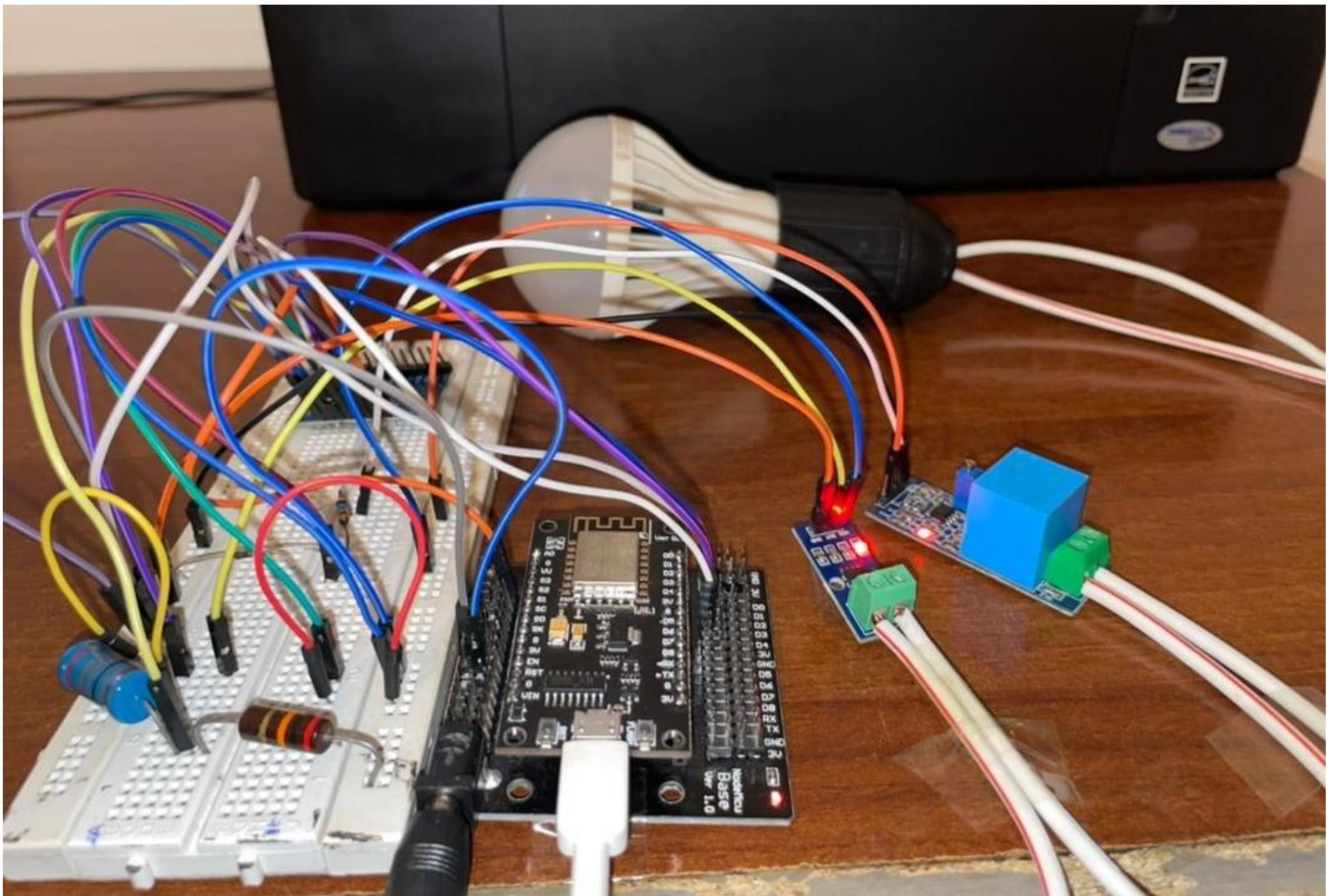


Figure (III.27): Réalisation pratique d'un compteur intelligent bidirectionnelle d'énergie

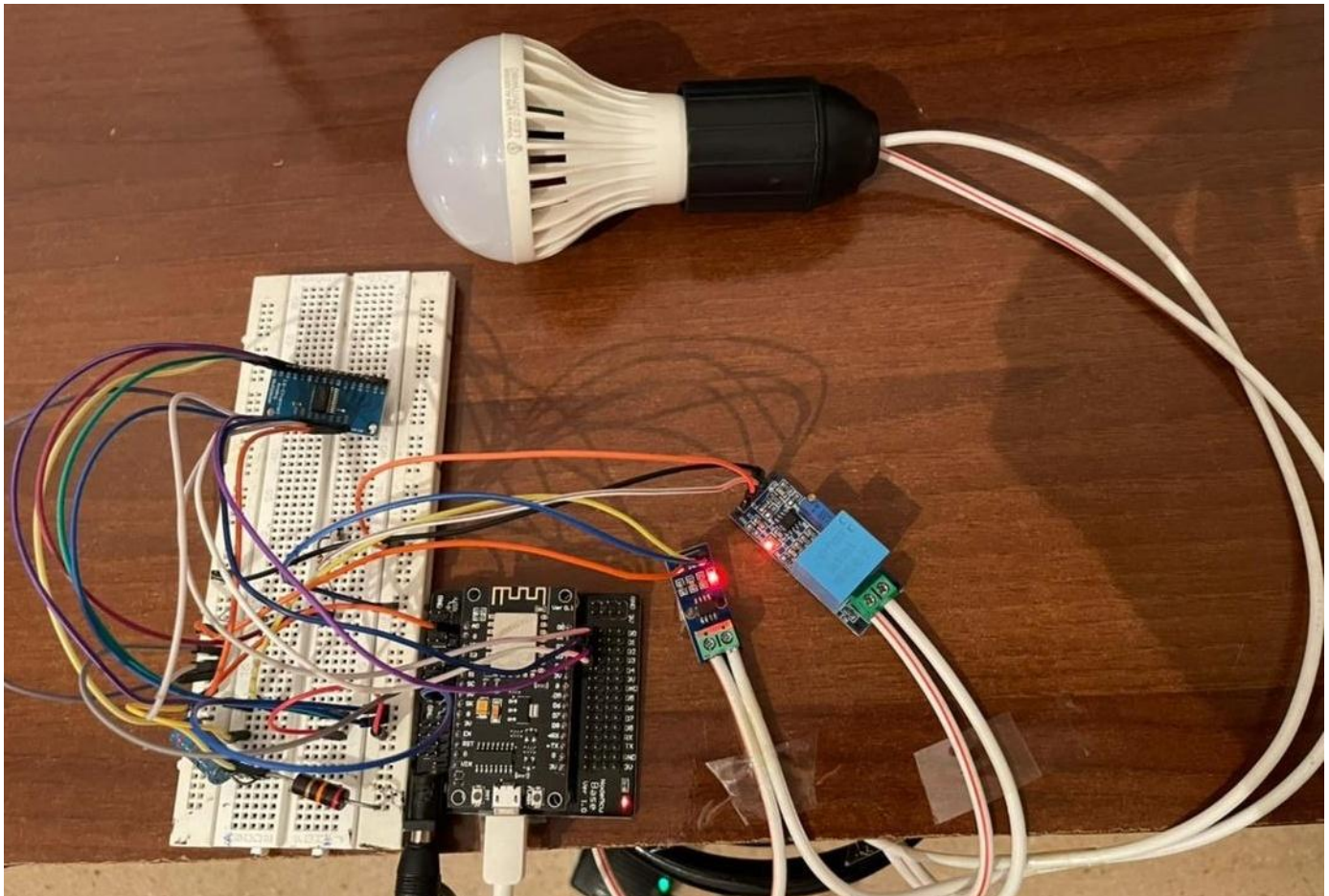


Figure (III.28): Structure du compteur intelligent d'énergie

# CHAPITRE IV

## Résultats et discussions

## Introduction

Dans ce chapitre on va présenter et discuter les résultats de notre smart meter bidirectionnel qui sont illustrés dans l'application BLYNK.

## IV.2 Résultat

### IV.2.1 Le sens direct :

D'après le test de notre smart meter bidirectionnel dans le sens direct, du réseau à la charge, on a obtenu des résultats dans l'application BLYNK, qui sont calculé par notre smart meter a base de microcontrôleur ESP8266 et les capteurs électroniques, il y'a ci-dessous les figures : (IV.1) et (IV.2) des capture d'écran afin de présenter les résultats obtenu :

#### IV.2.1.1 Les résultats de mesures AC :

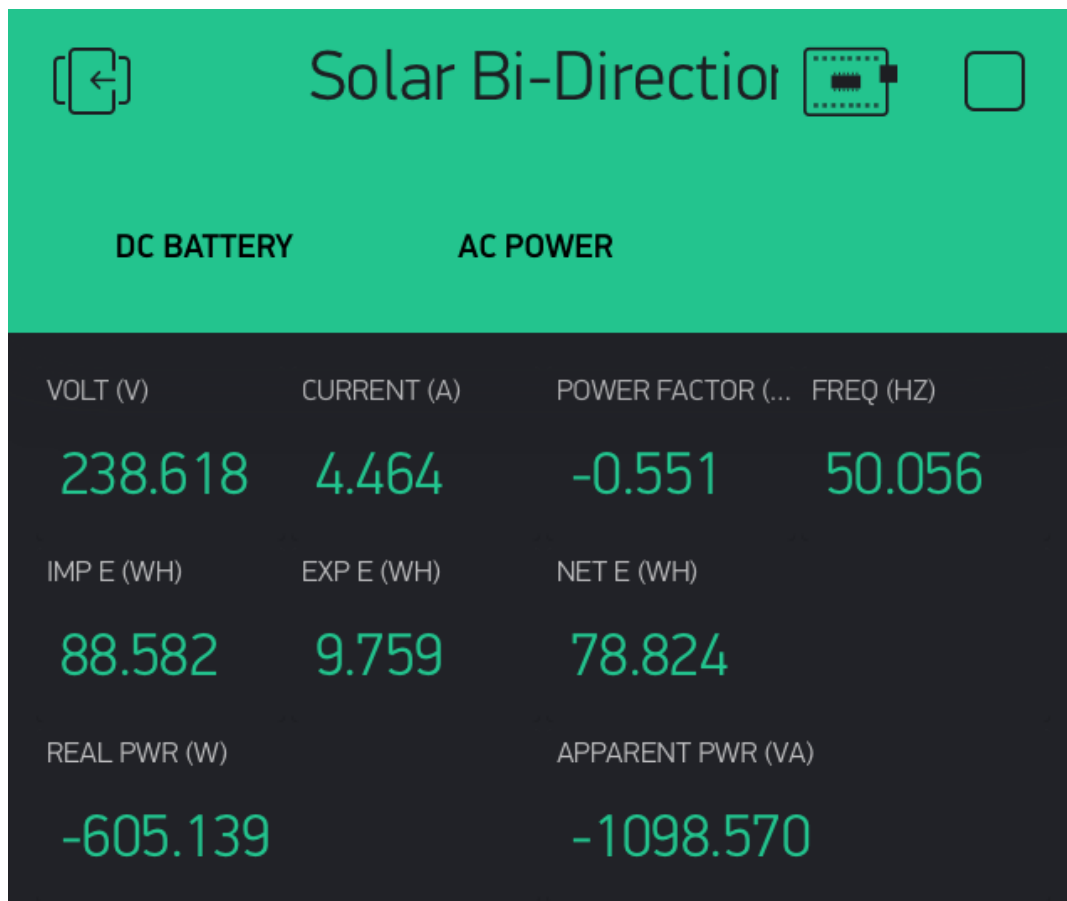


Figure (IV.1): Les mesures AC Sense direct

## IV.2.1.2 Les résultats de mesures DC :

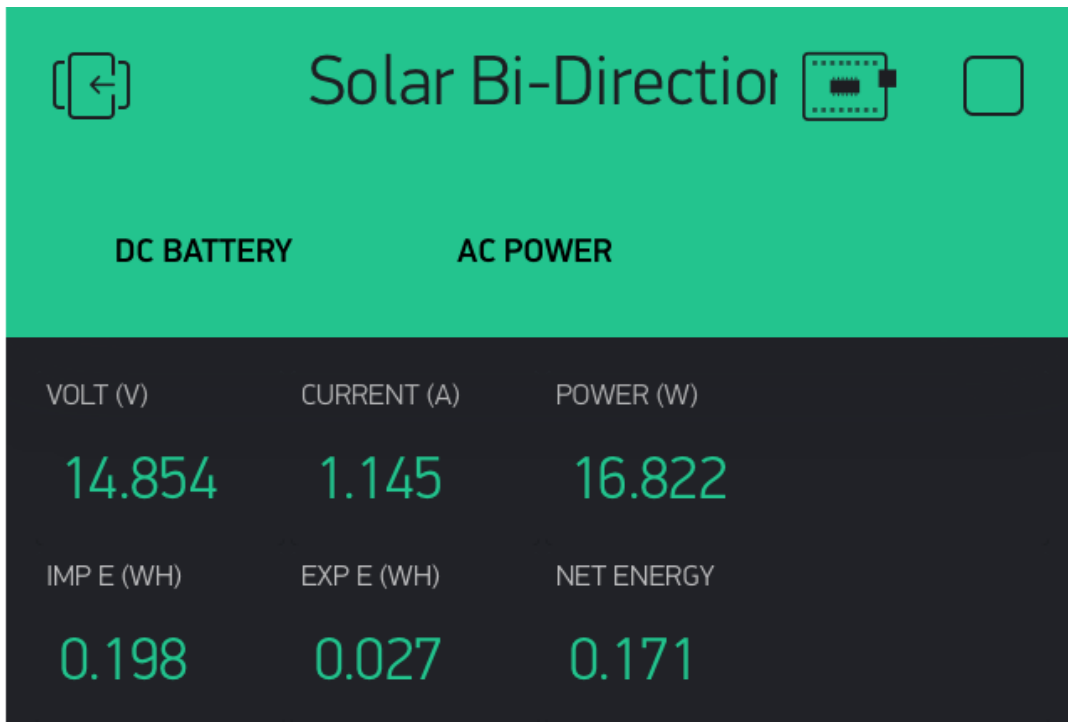


Figure (IV.2): Les mesures DC Sense direct

## IV.2.2 Le sens Inverse :

Dans cette partie, on va faire la même chose mais pour le sens inverse c'est-à-dire du module photovoltaïque au réseau local,

Les figures (IV.3) et (IV.4) représentent les résultats obtenus.



IV.2.2.1 Les résultats de mesures AC :

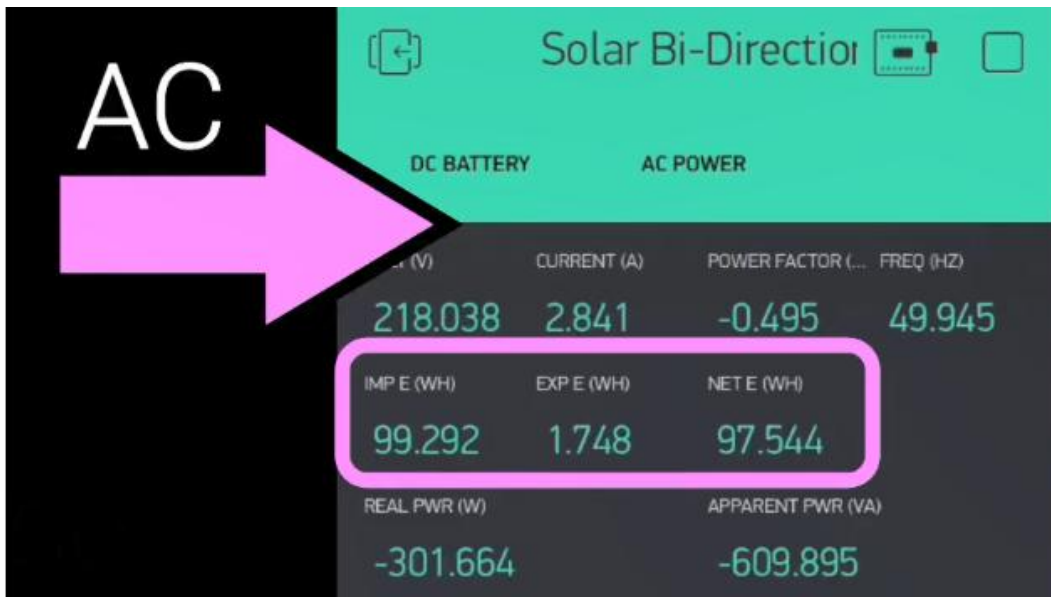


Figure (IV.3): Les mesures AC Sense Inverse

IV.2.2.2 Les résultats de mesures DC :

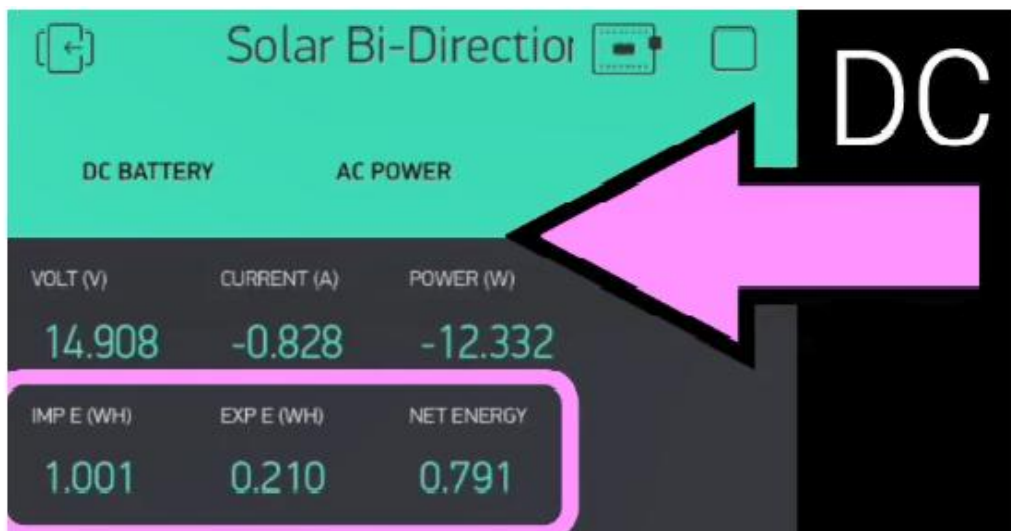


Figure (IV.4): Les mesures DC Sense inverse

IV.3 Interprétation des résultats :

D’après nos résultats on a obtenu 15 paramètres électriques ; les mesures ont faites en deux sens : le sens du courant direct (du réseau à la charge) et le sens du courant inverse (du modules photovoltaïques au réseau électrique)

On a vu que qu’on mesure dans le courant direct on voit que l’énergie importé et l’énergie net continuer à augmenter, et dans l’autre cas on voit le contraire, que l’énergie exporte continue à augmenter et l’énergie net continuer à diminuer.

## **Conclusion**

D'après les résultats obtenus, on conclut que notre smart meter Bidirectionnelle a bien fait son travail, et tous sa on peut l'enregistre et calculer la nette énergie pendant un mois ou dans un trimestre.

**CONCLUSION**

**GENERALE**



### Conclusion générale :

Ces dernières années, l'importance de la mesure de la puissance ou de l'énergie a augmenté en raison de la transition énergétique continue, visant à remplacer les combustibles fossiles par des énergies renouvelables. L'utilisation d'énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire, est largement soutenue. Cependant en raison de l'inadéquation entre l'offre et la demande, l'utilisation de l'énergie solaire dans le réseau peut poser des problèmes. En raison de la nature intermittente de l'énergie solaire, une capacité de production d'énergie de secours est nécessaire. Cela a conduit à une augmentation spectaculaire des systèmes photovoltaïques connecté au réseau qui nécessitent une facturation nette, permettant aux clients résidentiels et commerciaux qui utilisent l'énergie solaire de réinjecter l'énergie dont ils n'ont pas besoin vers le réseau au lieu de l'utiliser.

Dans ce mémoire, on a développé et réaliser en collaboration de l'entreprise **IRIS JC INDUSTRIAL** un compteur intelligent bidirectionnel d'énergie AC & DC, pour les systèmes PV connecté au réseau, en utilisant un microcontrôleur et des fonctionnalités de surveillance à distance en ligne via l'application mobile BLYNK.

Ce compteur d'énergie intelligent fournira une solution complète pour mesurer les applications de PV solaire, de stockage et de connexion au réseau AC avec précision et flexibilité pour mesurer le flux bidirectionnel de l'énergie AC et DC.

On a effectué des tests qui ont montré le bon fonctionnement de notre réalisation et d'avoir enregistré tous les résultats obtenus dans l'application BLYNK.

Comme perspective de ce travail nous content implanté un circuit/programme l'imitateur d'énergie ajout de filtre ne laissant que le passage d'un signal de très bonne qualité (signal purement sinusoïdale). Sans oublié le passage au prototypage et un produit fini.

**BIBLIOGRAPHIE**

**et**

**WEB GRAPHIE**

### Bibliographie et Web graphie

- [1] [http : //www.iufmrese.cict.fr/.../A.../Energie solaire photovoltaïque](http://www.iufmrese.cict.fr/.../A.../Energie_solaire_photovoltaïque)
- [2] [http :  
//www.jsatechnology.net/energie\\_solaire\\_installati\\_panneaux-4Fran](http://www.jsatechnology.net/energie_solaire_installati_panneaux-4Fran)  
MODULE ELECTRICITE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE M 41.1, Edition
- [3] 2009.
- [4] M. BOUKLI-HACENE Omar. Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique. Mémoire de magister. Université ABOU BAKR BELKAID de Tlemcen, 2011
- [5] Stéphane Vighetti : Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau : Choix et dimensionnement des étages de conversion
- [6] *Omar H. Abdalla and Azza A.A. Mostafa* : Technical Requirements for Connecting Solar Power Plants to Electricity Networks
- [7] Lamia HASNAOUI et Salma GABBADI. (Juin 2017). Etude des compteurs d'énergie électrique. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. Maroc.
- [8] Amir Djebiri-Hadjer Bakhaled : Etude et réalisation d'un compteur d'énergie intelligent, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
- [9] <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>
- [10] <https://www.espressif.com/en/products/devkits>
- [11] <http://tvaira.free.fr/esp8266/nodemcu-lolin-esp8266.html>
- [12] MBARKI Imen. (Juillet 2018). Etude et réalisation d'un compteur d'énergie intelligent. Université de Gabès. Tunisie.
- [13] Ahmed J Ali, Ahmed M T Ibraheem and Omar Talal Mahmood. (Janvier 2020). Design of a Smart Control and Protection System for Three-Phase Generator Using Arduino. Dep. of Electrical Power Engineering Technologies, Technical Engineering College/ Mosul, Northern Technical University, Iraq.

# ANNEXES

```

void setup() {
  // Mettez votre code de configuration ici, pour l'exécuter une fois :
}
void loop() {
  // Mettez votre code principal ici, pour l'exécuter de façon répétée :
}

// Compteur d'énergie bidirectionnel DC & AC avec NodeMCU utilisant Blynk By ZIOUI Rayane

/*////////////////////////////////////*/
/* 0- Général */

  /* 0.1- Serveur Blynk et connexion Wifi */

#include <ESP8266WiFi.h>                                 /* Activez l'utilisation du module wifi. Assurez-vous
d'avoir téléchargé et installé la bibliothèque ESP8266. */
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>                          /* Code pour parler avec Blynk*/
char auth[] = "Haa1JxfrcvZfEBJp57UK3iPO3qrDjugD";      // Introduisez le jeton d'authentification pour le
projet depuis Blynk. Vous devriez le recevoir dans votre email.
char ssid[] = "D-Link";                                   // Saisissez le nom de votre wifi. Vous pouvez vérifier le nom
de votre wifi avec votre téléphone intelligent.
char pass[] = "08031963";                                 // Saisissez votre mot de passe wifi.
char server[] = "blynk-cloud.com";                       /* Adresse du serveur Blynk*/

  /* 0.2- Blynk RTC */

BlynkTimer blynkTimer;
long interval = 5000;                                  // Durée du téléchargement des valeurs vers le serveur Blynk en
milli secondes (téléchargement toutes les 5 secondes)
int DCVoltageWait = 1;                                  /* Variable de commutation pour la tension continue */
int DCCurrentWait = 1;                                  /* Variable de commutation pour le courant continu */
int DCPowerWait = 1;                                    /* Variable de commutation pour l'alimentation en courant
continu */
int DCEnergyWait = 1;                                  /* Variable de commutation pour l'énergie DC */
int ACVoltageWait = 1;                                  /* Variable de commutation pour la tension AC */
int ACCurrentWait = 1;                                  /* Variable de commutation pour le courant AC */
int ACPowerWait = 1;                                    /* Variable de commutation pour l'alimentation AC */
int ACEnergyWait = 1;                                   /* Variable de commutation pour l'énergie AC */
int ACFrequencyWait = 1;                                /* Variable de commutation pour la fréquence */
int multiplexerWait = 1;                                /* Variable de commutation pour le multiplexeur 16 canaux */

  /* 0.3- Multiplexeur à 16 canaux */

#define S0 D0                                             /* Assignez la broche S0 du multiplexeur à la broche D0 du
NodeMCU */
#define S1 D1                                             /* Assignez la broche S1 du multiplexeur à la broche D1 du
NodeMCU */
#define S2 D2                                             /* Assignez la broche S2 du multiplexeur à la broche D2 du
NodeMCU */
#define S3 D3                                             /* Assigner la broche S3 du multiplexeur à la broche D3 du
NodeMCU */
#define SIG A0                                           /* Assign SIG pin as Analog output for all 16 channels of
Multiplexer to pin A0 of NodeMCU */
float DC_Voltage;                                       /* Assigner la variable comme valeur de sortie analogique du
canal C0 */
float DC_Current;                                       /* Assigner la variable comme valeur de sortie analogique du
canal C1 */
float AC_Voltage;                                       /* Assigner la variable comme valeur de sortie analogique du
canal C2 */

```

```
float AC_Current; /* Assigner la variable comme valeur de sortie analogique du
canal C3 */
unsigned long channelLastSample = 0; /* Variable de temps pour le multiplexeur */
```

#### **/\* 0.4 - Fonction de décalage initial \*/**

```
float initialAnalogOffset = 9; //4 // Valeur analogique affichée lorsque le capteur fournit une
sortie 0V - utiliser un potentiomètre pour calibrer le multiplexeur
float voltageAtAnalogMax = 3.16; //3.16 // Tension Valeur mesurée lorsque le capteur fournit une
valeur analogique de 1024 (max) - utiliser un potentiomètre et un multimètre.
float analogOffset = ((1024 - initialAnalogOffset) / 1024)*(voltageAtAnalogMax / 3.3); /* Variable pour
le décalage*/
int initialOffsetWait = 1; /* Variable de commutation pour le décalage initial */
unsigned long initialOffsetLastSample = 0; /* Variable de temps pour le décalage initial */
```

#### **/\* 1- Mesure de la tension DC \*/**

```
float voltageSampleReadDC = 0; /* pour lire le capteur analogique d'un échantillon*/
float voltageSampleSumDC = 0; /* accumulation de lectures d'échantillons */
float voltageSampleCountDC = 0; /* pour compter le nombre d'échantillons. */
float voltageMeanDC ; /* pour calculer la valeur moyenne de tous les échantillons*/
float finalVoltageDC = 0; /* indique la lecture finale de la tension*/
float supplyVoltageDC = 3.3; /* Tension de mesure maximale du micro-contrôleur, par
défaut 5V pour UNO, 3.3V pour NodeMCU*/.
float R1 = 20000; // Valeur de la résistance d'entrée pour R1 (en ohm) basée sur la
méthode du diviseur de tension (basée sur le schéma de câblage).
float R2 = 1000; // Valeur de la résistance d'entrée pour R2 (en ohm) basée sur la
méthode du diviseur de tension (basée sur le schéma de câblage).
unsigned long DCVoltageLastSample = 0; /* Variable de temps pour la tension DC */
```

#### **/\* 2- Mesure du courant continu \*/**

```
float mVperAmpValueDC = 2.2; // Par exemple, un transformateur de courant à effet Hall
de 30 A évalué à 30 A, 2,5 V +/- 66 V, mVparAmp sera de 66 mV / 30 = 2,2 mV/A.

float supplyVoltageCDC = 3300; /* Tension de mesure maximale du micro-contrôleur, par
défaut 5000mV pour UNO, 3300mV pour NodeMCU*/.
float currentSampleReadDC = 0; /* pour lire le capteur analogique d'un échantillon*/
float currentSampleSumDC = 0; /* accumulation de lectures d'échantillons */
float currentSampleCountDC = 0; /* pour compter le nombre d'échantillons. */
float currentMeanDC ; /* pour calculer la valeur moyenne de tous les échantillons*/
float finalCurrentDC ; /* la lecture finale du courant sans ajouter de valeur de
décalage*/
float DC_Current_Calibrate=0; /* variable pour le décalage du courant continu */
unsigned long DCCurrentLastSample = 0; /* Variable de temps pour le courant continu */
```

#### **/\* 3- Calcul de la puissance en courant continu \*/**

```
float finalPowerDC; /* Variable pour la valeur de la puissance DC */
```

#### **/\* 4- Calcul de l'énergie en courant continu \*/**

```
float finalEnergyDC; /* Variable pour l'unité d'énergie instantanée */
float netEnergyDC = 0; /* Variable pour l'énergie nette accumulée */
float importEnergyDC = 0; /* Variable pour l'énergie d'importation accumulée */
float exportEnergyDC = 0; /* Variable pour l'énergie d'exportation accumulée */
```

```
/* 5- Mesure de la tension AC */
```

```

float R3 = 200; // Valeur de la résistance d'entrée pour R3 (en ohm) basée sur la
méthode du diviseur de tension (basée sur le schéma de câblage)
float R4 = 360; // Valeur de la résistance d'entrée pour R4 (en ohm) basée sur la
méthode du diviseur de tension (basée sur le schéma de câblage).
float voltageSampleReadAC = 0; /* pour lire le capteur analogique d'un échantillon incluant
voltageOffset1 */
float voltageSampleSumAC = 0; /* accumulation de lectures d'échantillons */
float voltageSampleCountAC = 0; /* pour compter le nombre d'échantillons. */
float voltageMeanAC ; /* pour calculer la valeur moyenne de tous les échantillons, en
valeurs analogiques*/
float RMSVoltageMeanAC ; /* toit carré de la tension moyenne sans valeur d'offset, en
valeur analogique*/.
float adjustRMSVoltageMeanAC; /* RMS y compris voltageOffset2 */
float FinalRMSVoltageAC; /* valeur finale de la tension avec valeur de décalage*/
float voltageOffset1AC = 0.00 ; /* variable pour la première valeur de décalage*/
float voltageOffset2AC = 0.00; /* variable pour la deuxième valeur de décalage*/
float VACResistor; /* Multiplication ou réduction basée sur la méthode du diviseur
de tension*/.
float waveformMagnification = 1.5; // Facteur de réduction de la forme d'onde pour empêcher
la distorsion de la forme d'onde près de la limite. 2 signifie que la forme d'onde est réduite de 50%..
unsigned long ACVoltageLastSample = 0; /* Variable de temps pour la tension AC */

```

### **/\* 6- Mesure du courant alternatif \*/**

```

float mVperAmpValueAC = 2.2; // Par exemple, un transformateur de courant à effet Hall
de 30 A évalué à 30 A, 2,5 V +/- 66 V, mVparAmp sera de 66 mV / 30 = 2,2 mV/A.
float supplyVoltageAC = 3300; /* Tension de mesure maximale du micro-contrôleur, par
défaut 5000mV pour UNO, 3300mV pour NodeMCU*/.
float currentSampleReadAC = 0; /* pour lire le capteur analogique d'un échantillon, y
compris la valeur actuelle de l'Offset*/.
float currentSampleSumAC = 0; /* accumulation de lectures d'échantillons */
float currentSampleCountAC = 0; /* pour compter le nombre d'échantillons. */
float currentMeanAC ; /* pour calculer la valeur moyenne de tous les échantillons, en
valeurs analogiques*/
float RMSCurrentMeanAC ; /* toit carré de currentMean, en valeurs analogiques */
float FinalRMSCurrentAC ; /* la lecture finale du courant RMS*/
float AC_Current_Calibrate=0; /* variable pour le décalage du courant alternatif */
unsigned long ACCurrentLastSample = 0; /* Variable de temps pour le courant alternatif */

```

### **/\* 7- Calcul de la puissance AC \*/**

```

float voltageAC ; /* Variable pour la valeur instantanée de la tension AC */
float currentAC1 ; /* Variable pour une partie de la valeur instantanée du courant
alternatif */
float currentAC2 ; /* Variable pour une partie de la valeur instantanée du courant
alternatif */
float currentAC3 ; /* Variable pour une partie de la valeur instantanée du courant
alternatif */
float powerSampleReadAC=0; /* Variable pour l'échantillon analogique de la puissance
AC */
float powerSampleSumAC = 0; /* accumulation de lectures d'échantillons */
float powerSampleCountAC = 0; /* pour compter le nombre d'échantillons. */
float realPowerAC; /* Valeur réelle finale de la puissance*/
float apparentPowerAC; /* Valeur de la puissance apparente*/
float powerFactorAC; /* Valeur du facteur de puissance*/
unsigned long ACPowerLastSample = 0; /* Variable de temps pour l'alimentation en courant
alternatif */

```

**/\* 8- Calcul de l'énergie AC \*/**

```
float finalEnergyAC;           /* Variable pour l'unité d'énergie instantanée */
float netEnergyAC = 0;        /* Variable pour l'énergie nette accumulée */
float importEnergyAC = 0;    /* Variable pour l'énergie d'importation accumulée */
float exportEnergyAC = 0;    /* Variable pour l'énergie d'exportation accumulée */
```

**/\* 9- Calcul de la fréquence AC \*/**

```
float frequencySampleReadAC; /* Variable pour la forme d'onde analogique de la
tension*/
float frequencyAC;          /* Valeur de la fréquence */
float cycleNumber = 0;     /* Variable pour compter le cycle de la forme d'onde*/.
int ACFrequencyState = 0; /* Etat de commutation basé sur la forme d'onde*/
unsigned long startMillisAC = 0; /* Variable de temps pour l'heure de départ*/
unsigned long currentMillisAC = 0; /* Variable de temps pour chaque forme d'onde*/
unsigned long ACFrequencyLastSample = 0; /* Variable de temps pour le calcul de la fréquence*/
```

```
void setup()
{
```

**/\* 0- General \*/****/\* 0.1- Serveur Blynk et connexion Wifi \*/**

```
WiFi.begin(ssid, pass); /* Fonction pour commencer la connexion Wifi*/
Blynk.config(auth, server); /* Fonction permettant de commencer la connexion au serveur
Blynk*/.
```

**/\* 0.2- Blynk RTC \*/**

```
blynkTimer.setInterval(interval,blynk); /* Minuterie Blynk pour l'envoi des valeurs au serveur
Blynk */
```

**/\* 0.3- Multiplexeur à 16 canaux \*/**

```
pinMode(S0,OUTPUT);  pinMode(S1,OUTPUT); /* Définir la broche du signal numérique
comme sortie vers la broche du multiplexeur SO & S1 */ /*
Define digital signal pin as output to the Multiplexer pin S1 */
pinMode(S2,OUTPUT);  pinMode(S3,OUTPUT); /* Définir la broche du signal numérique
comme sortie vers la broche du multiplexeur S2 & S3 */ /*
pinMode(SIG, INPUT); /* Définir la broche du signal analogique comme entrée ou
récepteur de la broche du multiplexeur SIG */ /*
```

**/\* 0.4- Initial Offset \*/**

```
initialOffsetLastSample = millis(); /* début du comptage du temps pour le décalage initial*/
}
```

```
void loop()
{
```

**/\* 0.1- Serveur et minuteur Blynk \*/**

```
while(!Blynk.connected()){ Blynk.connect();} /* Si Blynk se déconnecte soudainement,
essayez de vous reconnecter à nouveau */
```



```

    Blynk.run(); /* permettre une communication constante entre le serveur
Blynk et le Node MCU*/
    blynkTimer.run(); /* permettre au cycleur d'envoyer des valeurs au serveur
Blynk

```

### **/\* 0.3- Multiplexeur à 16 canaux \*/**

```

    if((multiplexerWait==1) && (millis())>= channelLastSample + 1)) /* Si le multiplexeur permet de
calculer, pour chaque 1 milli seconde, exécuter les codes*/.
    {
        digitalWrite(S0,LOW); digitalWrite(S1,LOW); /* Canal ouvert 0 (broche C0 - sortie binaire
0,0,0,0)*/
        digitalWrite(S2,LOW); digitalWrite(S3,LOW);
        DC_Voltage = analogRead(SIG) - initialAnalogOffset ; /* Enregistrez la valeur en tant que tension
continue, après avoir déduit la valeur de l'offset */

        digitalWrite(S0,HIGH); digitalWrite(S1,LOW); /* Canal ouvert 1 (broche C1 - sortie binaire
1,0,0,0)*/
        digitalWrite(S2,LOW); digitalWrite(S3,LOW);
        DC_Current = analogRead(SIG) - initialAnalogOffset ; /* Enregistrez la valeur en tant que courant
continu, après avoir déduit la valeur de l'offset */

        digitalWrite(S0,LOW); digitalWrite(S1,HIGH); /* Canal ouvert 2 (broche C2 - sortie binaire
0,1,0,0)*/
        digitalWrite(S2,LOW); digitalWrite(S3,LOW);
        AC_Voltage = analogRead(SIG)- initialAnalogOffset; /* Enregistrez la valeur en tant que tension
AC, après avoir soustrait la valeur de l'offset */

        digitalWrite(S0,HIGH); digitalWrite(S1,HIGH); /* Canal 3 (broche C3 - sortie binaire
1,1,0,0)*/
        digitalWrite(S2,LOW); digitalWrite(S3,LOW);
        AC_Current = analogRead(SIG)- initialAnalogOffset; /* Enregistrez la valeur en tant que courant
alternatif, après avoir déduit la valeur de l'offset */

        channelLastSample = millis(); /* Remise à zéro du temps de comptage pour le
prochain cycle*/.
    }

    if((DCVoltageWait == 0) && (DCCurrentWait == 0) && /* Si tous les calculs ont été effectués,
arrêtez les relevés des capteurs*/.
    (ACVoltageWait == 0) && (ACCurrentWait == 0) )
    { multiplexerWait = 0; }

```

### **/\* 0.4 Décalage initial \*/**

```

    if((initialOffsetWait ==1) && (millis() >= initialOffsetLastSample + 15000)) /* Pendant les 15
premières secondes du démarrage, il calcule automatiquement certains décalages pour certains capteurs*/.
    {
        DC_Current_Calibrate = currentMeanDC; /* Offset pour le courant
continu*/
        AC_Current_Calibrate = sqrt(currentMeanAC); /* Offset pour le courant
alternatif*/
        voltageOffset1AC = -sqrt(voltageMeanAC); /* Offset pour la tension AC*/
        multiplexerWait = 1; /* Activation du code de mesure du capteur
du multiplexeur */
        DCCurrentWait = 1; /* Activer le code de calcul du courant
continu */
        ACVoltageWait = 1; /* Activez le code de calcul de la tension
AC */
    }

```

```

    ACCurrentWait = 1; /* Activer le code de calcul du courant
alternatif */
    initialOffsetWait = 2; /* Passage à la deuxième fonction de
décalage initial*/
    initialOffsetLastSample = millis(); /* Début du comptage du temps pour la
deuxième fonction de décalage initial*/
    }

    if(initialOffsetWait ==2) /* Si la deuxième fonction de décalage
initial est activée*/.
    {
        if(millis() >= initialOffsetLastSample + 5000) /* Si après 5 secondes de plus,
exécutez le code*/.
        {
            voltageOffset2AC = -RMSVoltageMeanAC; /* Définir la deuxième valeur
de décalage de la tension*/
            initialOffsetWait = 0; /* Arrêter la fonction de décalage initial
jusqu'à nouvel ordre*/
        }
    }

    /* 1 - Mesure de la tension DC */

    if((DCVoltageWait == 1) && (millis() >= DCVoltageLastSample + 1)) /* Si la tension
continue est autorisée à être calculée, pour chaque milliseconde, exécutez les codes*/.
    {
        voltageSampleReadDC = DC_Voltage; /* lire la valeur d'échantillon du
capteur analogique */
        voltageSampleSumDC = voltageSampleSumDC + voltageSampleReadDC ; /* accumuler la
valeur avec les anciens relevés d'échantillons*/
        voltageSampleCountDC = voltageSampleCountDC + 1; /* compter le nombre
d'échantillons*/
        DCVoltageLastSample = millis(); /* Remise à zéro du temps de
comptage pour le prochain cycle*/.
    }

    if(voltageSampleCountDC == 1000) /* après un compte de 1000 ou 1
seconde, faire le calcul*/
    {
        voltageMeanDC = voltageSampleSumDC/voltageSampleCountDC; /* calculer la
valeur moyenne de tous les relevés d'échantillons effectués*/
        finalVoltageDC = ((voltageMeanDC*supplyVoltageDC)/1024) / (R2/(R1+R2))* analogOffset; /*
Calculer la tension finale */
        voltageSampleSumDC =0; /* pour remettre à zéro les valeurs des
échantillons accumulés pour le prochain cycle */
        voltageSampleCountDC = 0; /* pour réinitialiser le comptage pour
le prochain cycle */
        DCVoltageWait = 0; /* Arrêter la fonction de calcul jusqu'à
nouvel ordre*/
    }

    /* 2- Mesure du courant continu */

    if((DCCurrentWait ==1) && (millis() >= DCVoltageLastSample + 1)) /* Si le
courant continu est autorisé à être calculé, pour chaque milliseconde, exécuter les codes*/.
    {
        currentSampleReadDC = DC_Current - DC_Current_Calibrate; /* lire la
valeur de l'échantillon analogique, y compris la valeur du décalage*/.
        currentSampleSumDC = currentSampleSumDC + currentSampleReadDC ; /*
accumuler les valeurs analogiques totales pour chaque lecture d'échantillon*/
    }

```

```

    currentSampleCountDC = currentSampleCountDC + 1;                               /* compter le
nombre d'échantillons*/
    DCVoltageLastSample = millis();                                               /* Remise à zéro du temps
de comptage pour le prochain cycle*/.
}

```

```

    if(currentSampleCountDC == 1000)                                             /* après un compte de
1000 ou 1 seconde, faire le calcul*/
    {
        currentMeanDC = currentSampleSumDC/currentSampleCountDC ;               /*
moyenne des valeurs analogiques accumulées*/
        finalCurrentDC = (((currentMeanDC /1024)*supplyVoltageCDC) /mVperAmpValueDC)* analogOffset;
/* calculer le courant RMS final*/
        if((finalCurrentDC <= (66/mVperAmpValueDC/100)) && (finalCurrentDC >= (-
66/mVperAmpValueDC/100))) /* si le courant détecté est inférieur à 1% par rapport à la valeur nominale, réglez
la valeur du courant sur 0A*/.
        { finalCurrentDC =0; }
        currentSampleSumDC =0;                                                  /* pour remettre à zéro les
valeurs des échantillons accumulés pour le prochain cycle */
        currentSampleCountDC=0;                                                /* pour remettre à zéro le
nombre d'échantillons pour le prochain cycle */
        DCCurrentWait = 0;
    }

```

### **/\* 3- Calcul de la puissance en courant continu \*/**

```

    if((DCPowerWait == 1) && (DCVoltageWait == 0) && (DCVoltageWait ==0))        /* Si
le code de la puissance DC est autorisé à calculer, alors que le calcul de la tension DC et du courant DC est
terminé, exécutez le code*/.
    {
        finalPowerDC = finalVoltageDC*finalCurrentDC;                           /* La puissance DC
est le courant x la tension */
        DCPowerWait = 0;                                                        /* Arrêter la fonction de calcul
jusqu'à nouvel ordre*/
    }

```

### **/\* 4- Calcul de l'énergie DC \*/**

```

    if((DCEnergyWait == 1) && (DCVoltageWait == 0) && (DCVoltageWait ==0) && (DCPowerWait ==
0)) /* Si l'énergie DC est autorisée à être calculée, alors que la puissance DC, la tension DC et le courant
DC ont été calculés, exécutez le code*/.
    {
        finalEnergyDC = ((finalPowerDC / 3600)* (interval/1000)) ;              /* Calculer la
valeur de l'échantillon d'énergie*/
        netEnergyDC = netEnergyDC + finalEnergyDC;                             /* Calculer l'énergie
nette accumulée*/
        if( finalPowerDC >= 0)                                                 /* Si la valeur de la puissance est
supérieure à 0*/
        { importEnergyDC = importEnergyDC + finalEnergyDC; }                 /* Ajouter la
valeur de l'échantillon d'énergie à la variable d'importation*/.
        if(finalPowerDC < 0)                                                  /* Si la valeur de la puissance est
inférieure à 0*/
        { exportEnergyDC = exportEnergyDC - finalEnergyDC; }                 /* Ajouter la
valeur de l'échantillon d'énergie à la variable d'exportation*/.
        DCEnergyWait = 0;                                                      /* Arrêter la fonction de calcul
jusqu'à nouvel ordre*/
    }
}

```

**/\* 5- Mesure de la tension AC \*/**

```

if((ACVoltageWait == 1) && (millis() >= ACVoltageLastSample + 1)) /* Si la
tension AC est autorisée à être calculée, pour chaque 1 milli seconde, exécutez les codes*/.
{
    voltageSampleReadAC = AC_Voltage + voltageOffset1AC; /* lire la valeur
de l'échantillon analogique, y compris la valeur du décalage*/.
    voltageSampleSumAC = voltageSampleSumAC + sq(voltageSampleReadAC); /*
accumuler les valeurs analogiques totales pour chaque lecture d'échantillon*/
    voltageSampleCountAC = voltageSampleCountAC + 1; /* compter le
nombre d'échantillons*/
    ACVoltageLastSample = millis(); /* Remise à zéro du temps
de comptage pour le prochain cycle*/.
}

if(voltageSampleCountAC == 1000) /* après un compte de
1000 ou 1 seconde, faire le calcul*/
{
    voltageMeanAC = voltageSampleSumAC/voltageSampleCountAC; /*
calculer la valeur moyenne de tous les relevés d'échantillons effectués*/
    RMSVoltageMeanAC = (sqrt(voltageMeanAC))*waveformMagnification; /*
calculer la tension RMS en incluant le rapport d'amplification vers la forme d'onde.*/
    adjustRMSVoltageMeanAC = RMSVoltageMeanAC + voltageOffset2AC; /*
calculer la tension RMS en incluant la deuxième valeur de décalage */
/* square root of the average value*/
    VACResistor = R4 / (R3 + R4); /* Calcul du diviseur de
tension*/
    FinalRMSVoltageAC = adjustRMSVoltageMeanAC*(0.66/VACResistor); /*
tension efficace finale avec décalage du diviseur de tension*/
    if(FinalRMSVoltageAC <= 2.5) /* pour éliminer toute valeur
fantôme ou fausse lorsqu'aucune tension n'est mesurée*/.
    {FinalRMSVoltageAC = 0;}
    voltageSampleSumAC =0; /* pour remettre à zéro les
valeurs des échantillons accumulés pour le prochain cycle */
    voltageSampleCountAC=0; /* pour remettre à zéro le
nombre d'échantillons pour le prochain cycle */
    ACVoltageWait = 0; /* Arrêter la fonction de calcul
jusqu'à nouvel ordre*/
}

```

**/\* 6- Mesure du courant alternatif \*/**

```

if((ACCurrentWait ==1) && (millis() >= ACVoltageLastSample + 1)) /* Si le
courant alternatif est autorisé à être calculé, pour chaque 1 milli seconde, exécutez les codes*/.
{
    currentSampleReadAC = AC_Current - AC_Current_Calibrate; /* lire la
valeur de l'échantillon analogique, y compris la valeur du décalage*/.
    currentSampleSumAC = currentSampleSumAC + sq(currentSampleReadAC); /*
accumuler les valeurs analogiques totales pour chaque lecture d'échantillon*/
    currentSampleCountAC = currentSampleCountAC + 1; /* compter le
nombre d'échantillons*/
    ACVoltageLastSample = millis(); /* Remise à zéro du temps
de comptage pour le prochain cycle*/.
}

if(currentSampleCountAC == 1000) /* après un compte de
1000 ou 1 seconde, faire le calcul*/
{
    currentMeanAC = currentSampleSumAC/currentSampleCountAC; /*
moyenne des valeurs analogiques accumulées*/
}

```

```

    RMSCurrentMeanAC = sqrt(currentMeanAC); /* racine carrée de
la valeur moyenne*/
    FinalRMSCurrentAC = (((RMSCurrentMeanAC /1024) *supplyVoltageAC) /mVperAmpValueAC);
/* calculer le courant RMS final*/
    if(FinalRMSCurrentAC <= (66/mVperAmpValueAC/100)) /* si le courant
détecté est inférieur ou égal à 1 % de la valeur nominale, régler la valeur du courant sur 0A*/.
    { FinalRMSCurrentAC =0; }
    currentSampleSumAC =0; /* pour remettre à zéro les
valeurs des échantillons accumulés pour le prochain cycle */
    currentSampleCountAC=0; /* pour remettre à zéro le
nombre d'échantillons pour le prochain cycle */
    ACCurrentWait = 0; /* Arrêter la fonction de calcul
jusqu'à nouvel ordre*/
}

```

### **/\* 7- Calcul de la puissance AC \*/**

```

    if((ACPowerWait ==1) && (millis() >= ACPowerLastSample + 1)) /* Si
l'alimentation AC est autorisée à calculer, pour chaque 1 milli seconde, exécuter les codes*/
    {
        voltageAC = waveformMagnification*(AC_Voltage + voltageOffset1AC); /*
Calculer la valeur de la tension instantanée*/
        currentAC1 = AC_Current - AC_Current_Calibrate; /* Calculer une
partie de la valeur courante instantanée*/
        currentAC2 = (currentAC1/1024)*supplyVoltageAC; /* Calculer une
partie de la valeur courante instantanée*/
        currentAC3 = currentAC2/mVperAmpValueAC; /* Calculer une
partie de la valeur courante instantanée*/
        powerSampleReadAC = voltageAC * currentAC3 ; /* Obtenir la
valeur instantanée de l'échantillon de puissance réelle*/
        powerSampleSumAC = powerSampleSumAC + powerSampleReadAC ; /*
accumuler les valeurs totales des échantillons*/
        powerSampleCountAC= powerSampleCountAC + 1; /* compter le
nombre d'échantillons*/
        ACPowerLastSample = millis(); /* Remise à zéro du temps
de comptage pour le prochain cycle*/.
    }

    if(powerSampleCountAC == 1000) /* après un compte de
1000 ou 1 seconde, faire le calcul*/
    {
        realPowerAC = powerSampleSumAC / 1000; /* calculer la
puissance réelle finale*/
        if(realPowerAC < 0)
        { FinalRMSCurrentAC = - FinalRMSCurrentAC; } /* Fournir la
direction actuelle */
        apparentPowerAC = FinalRMSVoltageAC * FinalRMSCurrentAC; /* calculer
la puissance apparente finale*/
        powerFactorAC = realPowerAC / apparentPowerAC; /* calculer le
facteur de puissance final*/
        if(realPowerAC < 0)
        { powerFactorAC = -1* (realPowerAC / apparentPowerAC); } /* Le facteur
de puissance sera une valeur négative si la puissance réelle est négative*/.
        if(powerFactorAC > 1 || powerFactorAC <-1) /* Si le facteur de
puissance est supérieur à 1 ou inférieur à -1, mettre le facteur de puissance à 0*/.
        { powerFactorAC = 0; }
        powerSampleSumAC = 0; /* pour remettre à zéro les
valeurs des échantillons accumulés pour le prochain cycle */
        powerSampleCountAC = 0; /* pour remettre à zéro le
nombre d'échantillons pour le prochain cycle */
    }

```

```

    ACPowerWait = 0; /* Arrêter la fonction de calcul
jusqu'à nouvel ordre*/
}

```

### **/\* 8- Calcul de l'énergie AC \*/**

```

if((ACEnergyWait == 1) && (ACVoltageWait == 0) && (ACVoltageWait == 0) && (ACPowerWait ==
0)) /* Si l'énergie AC est autorisée à être calculée, alors que le calcul de la puissance AC, de la tension
AC et du courant AC est terminé, exécutez le code*/.
{
    finalEnergyAC = ((realPowerAC / 3600)* (interval/1000)); /* Calculer la
valeur de l'échantillon d'énergie*/
    netEnergyAC = netEnergyAC + finalEnergyAC; /* Calculer l'énergie
nette accumulée*/
    if( realPowerAC >= 0) /* Si la puissance réelle est
supérieure à 0*/
    { importEnergyAC = importEnergyAC + finalEnergyAC; } /* Ajouter la
valeur de l'échantillon d'énergie à la variable d'importation*/.
    if(realPowerAC < 0) /* Si la puissance réelle est
inférieure à 0*/
    { exportEnergyAC = exportEnergyAC - finalEnergyAC; } /* Ajouter la
valeur de l'échantillon d'énergie à la variable d'exportation*/.
    ACPowerWait = 0; /* Arrêter la fonction de calcul
jusqu'à nouvel ordre*/
}

```

### **/\* 9- Mesure de la fréquence AC \*/**

```

if((ACFrequencyWait == 1) && (millis() >= ACFrequencyLastSample + 1)) /* Si la
fréquence est autorisée à calculer, pour chaque 1 milli seconde, exécuter les codes*/.
{
    frequencySampleReadAC = AC_Voltage + voltageOffset1AC; /* Lire la
forme d'onde de la tension AC*/

    if((ACFrequencyState == 0) && (frequencySampleReadAC < 0)) /* Début et
mode veille lorsque la forme d'onde est négative*/
    { ACFrequencyState = 1; }

    if((ACFrequencyState == 1) && (frequencySampleReadAC >= 0)) /*
Démarriage du temps de comptage lorsque le signal est supérieur à 0 */
    { startMillisAC = millis();
    ACFrequencyState = 2; }

    if((ACFrequencyState == 2) && (frequencySampleReadAC < 0)) /* Quand la
forme d'onde devient négative, on passe en mode veille.
    { ACFrequencyState = 3; }

    if((ACFrequencyState == 3) && (frequencySampleReadAC >= 0)) /* Lorsque
la forme d'onde redevient positive, elle complète un cycle*/.
    { cycleNumber = cycleNumber + 1; /* Chaque fois qu'il
s'active, ajoute la valeur du numéro de cycle*/.
    currentMillisAC = millis(); /* Enregistrer l'heure actuelle à
chaque fois qu'il s'active*/.
    ACFrequencyState = 2; } /* retour à l'étape précédente
pour le prochain cycle*/

    if(cycleNumber == 45) /* Lorsque le nombre de cycles
atteint 45 (doit être inférieur à 47 pour 50Hz ou 55 pour 60Hz*/).
    { frequencyAC = 1000 / ((currentMillisAC - startMillisAC) / cycleNumber); /* Calculer
la valeur de la fréquence*/

```

```

        cycleNumber = 0; /* Remise à zéro du numéro de
cycle pour la prochaine série*/.
        ACFrequencyState = 0; /* Réinitialise l'état de la forme
d'onde pour le prochain ensemble*/.
        ACFrequencyWait = 0; /* Arrêter la fonction de calcul
jusqu'à nouvel ordre*/
        ACFrequencyLastSample = millis();}
    }
}

```

```

void blynk() /* Pour chaque cycle de répétition (5 secondes par défaut), exécuter les codes*/
{
if((initialOffsetWait == 0)&&(ACFrequencyWait==0)) /* Assurez-vous que
le code de décalage initial et les codes de fréquence sont inactifs avant de commencer à télécharger les valeurs*/.
{
    Blynk.virtualWrite(V1,finalVoltageDC);
    Blynk.virtualWrite(V2,finalCurrentDC);
    Blynk.virtualWrite(V3,finalPowerDC);
    Blynk.virtualWrite(V4,netEnergyDC);
    Blynk.virtualWrite(V5,importEnergyDC);
    Blynk.virtualWrite(V6,exportEnergyDC);
    Blynk.virtualWrite(V7,FinalRMSVoltageAC);
    Blynk.virtualWrite(V8,FinalRMSCurrentAC);
    Blynk.virtualWrite(V9,realPowerAC);
    Blynk.virtualWrite(V10,apparentPowerAC);
    Blynk.virtualWrite(V11,powerFactorAC);
    Blynk.virtualWrite(V12,netEnergyAC);
    Blynk.virtualWrite(V13,importEnergyAC);
    Blynk.virtualWrite(V14,exportEnergyAC);
    Blynk.virtualWrite(V15,frequencyAC);
    DCVoltageWait = 1; /* active tous les codes de calcul
après le téléchargement de toutes les valeurs dans Blynk*/.
    DCCurrentWait = 1;
    DCPowerWait = 1;
    DCEnergyWait = 1;
    ACVoltageWait = 1;
    ACCurrentWait = 1;
    ACPowerWait = 1;
    ACEnergyWait = 1;
    ACFrequencyWait = 1;
    multiplexerWait = 1;
}
}
}

```