

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

**en Electrotechnique**

**Spécialité Commandes électriques**

**par BENCHAFA Meriem**

**et AOUN Zoulikha**

**Sujet**

**Réalisation d'un système d'acquisition et de monitoring pour  
une microcentrale solaire photovoltaïque**

Soutenu publiquement, le 26 / 06 / 2023, devant le jury composé de :

M BRIKCI NIGASSA M. Amine	Maitre-assistant A	Univ. Tlemcen	Président
M LOUCIF Mourad	Maitre de conférences B	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
M MECHERNENE Abdelkader	Maitre de conférences A	Univ. Tlemcen	Co- Directeur de mémoire
M Driss Younes	Maitre-assistant B	Univ. Tlemcen	Examinateur 1
Melle ATTIA Sefia	Doctorante	Univ. Tlemcen	Invité 1

Année universitaire : 2022 / 2023

---

## Dedicaces 1

Avec l'aide de Dieu tout puissant, nous avons achevé ce modeste travail que je dédie :

- à mes parents, que je remercie infiniment pour leur soutien matériel et moral, j'espère pouvoir leur rendre ne serait-ce qu'une fraction du bonheur qu'ils m'ont offert.
- à mes sœurs : Hakima, Fatma et Ilham et mes frères : Youcef et Ibrahim
- à mes amis : Meriem Benchafa, B. Fouad, Samy et Adel.
- enfin à toute la promotion Electrotechnique, option : Commande électrique de l'année universitaire 2022-2023.

AOUN Zoulikha  
Tlemcen, le 26 Juin 2023

---

## Dedicaces 2

**J**E dédie ce modeste travail à tout ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent projet, ainsi je le dédie à :

- celle qui m'a élevé et éduqué, ma mère bien-aimée, tu as été ma plus grande source de soutien et d'inspiration tout au long de ma vie. Ta force, ton amour inconditionnel et ta sagesse m'ont guidé à chaque étape de mon parcours ;
- Malheureusement, mon père n'est plus parmi nous, mais il a toujours désiré mon succès et m'a soutenu dans mes projets. Sa présence a été ma source de force et de stabilité.
- à ma sœur Noura et mon frère Abdel Kader, compagnons de ma vie, sources de bonheur, votre présence et votre soutien m'ont toujours inspiré ;
- à mes amis de l'université : Samy Bendiabdallah et Adel Gahhar, Vous étiez là à chaque étape de ce travail avec zèle, merci pour votre aide ;
- à ma chère collègue Zolikha Aoun, cette thèse porte aussi ton empreinte, signe de notre travail commun, merci pour ton engagement et ta contribution dévouée.

BENCHAFA Meriem  
Tlemcen, le 26 Juin 2023

---

## Remerciements

Ce document présente les travaux effectués dans le cadre de notre projet de fin d'étude de Master au Département de Génie Électrique et Électronique de la Faculté de Technologie de l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen.

En premier lieu, nous tenons à exprimer notre gratitude à nos encadrants, Messieurs Mourad LOUCIF et Abdelkader MECHERNENE, tout deux Maitres de Conférences à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, pour nous avoir proposé et dirigé ce travail, nous les remercions pour nous avoir fait profiter de leur expérience, pour orientations qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous sommes sensibles à l'honneur que nous a fait Monsieur BRIKCI NIGASSA Mohammed Amine, Maitre Assistant à l'Université Abou Bekr Belkaïd, pour avoir accepté de présider et de nous honorer de sa présence au sein du jury de soutenance du présent mémoire ; qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre respect.

Enfin, nous tenons également à adresser nos vifs remerciements au Messieur Dris Younes Maitre Assistant à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, nous le remercions chaleureusement pour avoir accepté d'examiner le présent mémoire et pour leur observations et remarque pertinente et constructive.

Nous remercions également Mademoiselle Sefia ATTIA, Doctorante à la Faculté de Technologie de l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, pour sa coopération, son aide et sa gentillesse.

Merci enfin à tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont aidé et donc ont contribué au succès de ce travail.

*AOUN Zoulikha      BENCHAFA Meriem*  
*Tlemcen, le 26 Juin 2023*

# TABLE DES MATIÈRES

DEDICACES 1	i
DEDICACES 2	ii
REMERCIEMENTS	iii
NOMENCLATURE	xi
GLOSSAIRE	xiii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I GÉNÉRALITÉS SUR LES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES ET LES SYSTÈMES DE MONITORING	<b>3</b>
I.1 INTRODUCTION	4
I.2 CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE	4
I.2.1 Effet photovoltaïque	5
I.2.2 Principe de la cellule photovoltaïque	5
I.2.3 Différents types de cellules photovoltaïques	5
I.2.3-a Cellules monocristallines	5
I.2.3-b Cellules poly cristallines	6
I.2.3-c Cellules amorphes	6
I.2.4 Modélisation d'une cellule photovoltaïque	6
I.2.4-a Générateur photovoltaïque idéal	6
I.2.4-b Générateur photovoltaïque réel	7
I.2.5 Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque	8
I.2.5-a Caractéristique Courant-Tension	8
I.2.5-b Caractéristique courant-puissance	9
I.3 GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE	10
I.3.1 Générateur photovoltaïque (Panneau solaire)	10
I.3.2 Constitution d'un panneau solaire	10
I.3.3 Associations des cellules photovoltaïques	11
I.3.3-a Association en parallèle	11
I.3.3-b Association en séries	11
I.3.3-c Association série-parallèle	12
I.3.4 Protection des générateurs photovoltaïques	13
I.3.5 Facteurs influençant le fonctionnement	13

I.3.5-a	Influence de l'ensoleillement . . . . .	13
I.3.5-b	Influence de la température . . . . .	14
I.3.6	Fonctionnement optimum d'un générateur photovoltaïque . . . . .	14
I.3.7	Intérêt d'un fonctionnement à puissance maximale . . . . .	15
I.3.8	Etage d'adaptation avec fonction MPPT . . . . .	16
I.3.9	Algorithmes de recherche du maximum de puissance (MPPT) . . . . .	16
I.4	ARCHITECTURES DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES . . . . .	17
I.4.1	Définition d'une chaîne de puissance et rendements associés . . . . .	17
I.4.2	Installation PV isolée du réseau . . . . .	18
I.4.3	Installation PV raccordée au réseau . . . . .	19
I.5	ONDULEUR CENTRALISÉ VERSUS MICRO-ONDULEUR . . . . .	20
I.5.1	Définition de l'onduleur centralisé et du micro-onduleur . . . . .	20
I.5.2	Différences entre le micro-onduleur et l'onduleur centralisé . . . . .	21
I.6	AUTOCONSUMMATION ÉNERGÉTIQUE . . . . .	21
I.6.1	Définition de l'autoconsommation énergétique . . . . .	21
I.6.2	Architecture photovoltaïque pour l'autoconsommation . . . . .	22
I.6.2-a	Autoconsommation directe . . . . .	22
I.6.2-b	Autoconsommation avec revente . . . . .	22
I.6.2-c	Autoconsommation avec stockage . . . . .	23
I.6.3	Avantage des systèmes photovoltaïques pour l'autoconsommation . . . . .	23
I.7	SYSTÈMES DE SURVEILLANCE DES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES CONNEX- TÉS . . . . .	24
I.7.1	Surveillance des systèmes photovoltaïques . . . . .	24
I.7.2	Exemples de systèmes photovoltaïques connectés . . . . .	25
I.7.2-a	Exemple 1 : . . . . .	25
I.7.2-b	Exemple 2 : . . . . .	25
I.8	CONCLUSION . . . . .	26
II	DESCRIPTION, CONCEPTION MATÉRIELLE ET VISUALISATION SUR UNE PAGE WEB . . . . .	<b>27</b>
II.1	INTRODUCTION . . . . .	28
II.2	CAHIER DES CHARGES . . . . .	28
II.3	STRUCTURE ET FONCTIONNALITÉS . . . . .	29
II.4	CONCEPTION MATÉRIELLE . . . . .	31
II.4.1	Module de développement ESP32 . . . . .	31
II.4.1-a	Description de la carte ESP32 WROOM . . . . .	31
II.4.1-b	Caractéristiques de la carte ESP 32 WROOM . . . . .	31
II.4.1-c	Pins de la carte ESP32 WROOM . . . . .	32
II.4.1-d	Fonctionnement de certaines broches de l'ESP32 . . . . .	32
II.4.1-e	Outil de développement Arduino-IDE . . . . .	34
II.4.1-f	Interruptions externes . . . . .	34
II.4.1-g	Timers et alarmes . . . . .	35
II.4.1-h	Connexion WiFi . . . . .	35
II.4.1-i	Modes économie d'énergie de l'ESP32 . . . . .	36
II.4.2	Capteurs de tension et de courant . . . . .	37

II.4.2-a	Capteur de la tension alternative (Transformateur abaisseur de tension) . . . . .	37
II.4.2-b	Capteur du courant alternatif (SCT-013-000) . . . . .	37
II.4.3	Circuit de mesure pour tension et courant . . . . .	38
II.4.3-a	Circuit de mesure de la tension alternative . . . . .	38
II.4.3-b	Circuit de mesure du courant alternatif . . . . .	39
II.4.4	Circuit de raccordement à l'ESP32 . . . . .	40
II.4.5	Circuit d'alimentation . . . . .	40
II.4.6	Réalisation pratique . . . . .	42
II.4.6-a	Matériel requis . . . . .	42
II.4.6-b	Montage et connexions électriques . . . . .	42
II.4.6-c	Fonctionnement avec le circuit d'alimentation . . . . .	43
II.5	CONCEPTION LOGICIELLE . . . . .	44
II.5.1	Calcul des valeurs efficaces et des puissances . . . . .	45
II.5.1-a	Calcul des valeurs efficaces de la tension et du courant . . . . .	46
II.5.1-b	Calcul des valeurs des puissances apparente et active . . . . .	47
II.5.2	Code . . . . .	47
II.6	RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS . . . . .	48
II.6.1	Résultats sur Page Web . . . . .	48
II.6.1-a	A vide et avant réglage des coeffs $KV$ et $KI$ . . . . .	48
II.6.1-b	En charge et après réglage des coeffs $KV$ et $KI$ . . . . .	49
II.6.2	Interprétation . . . . .	50
II.7	CONCLUSION . . . . .	51
III	INTERFAÇAGE ET SURVEILLANCE AVEC THINGSPEAK ET BLYNK . . . . .	<b>52</b>
III.1	INTRODUCTION . . . . .	53
III.2	STRUCTURE ET FONCTIONNALITÉS . . . . .	53
III.3	OUTILS LOGICIELS ET SERVICES EN LIGNE . . . . .	54
III.4	THINGSPEAK . . . . .	55
III.5	CONFIGURATION DE THINGSPEAK . . . . .	56
III.6	RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS SOUS THINGSPEAK . . . . .	57
III.6.1	Résultats sous ThingSpeak . . . . .	57
III.6.2	Interprétations des résultats sous ThingSpeak . . . . .	59
III.7	BLYNK . . . . .	60
III.8	CONFIGURATION DE BLYNK . . . . .	60
III.9	RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS SOUS BLYNK . . . . .	63
III.9.1	Résultats sous Blynk . . . . .	63
III.9.2	Interprétations des résultats sous Blynk . . . . .	64
III.10	CONCLUSION . . . . .	65
IV	INTERFAÇAGE, SURVEILLANCE ET VISUALISATION AVEC INFLUXDB ET GRAFANA . . . . .	<b>66</b>
IV.1	INTRODUCTION . . . . .	67
IV.2	STRUCTURE ET FONCTIONNALITÉS . . . . .	67
IV.3	OUTILS LOGICIELS ET SERVICES EN LIGNE . . . . .	68

---

IV.3.1	Définition d'un serveur	68
IV.3.2	MQTT - Mosquito	69
IV.3.3	Node-Red	69
IV.3.4	Influxdb	70
IV.3.5	Grafana	70
IV.4	MÉTHODOLOGIE ET DÉVELOPPEMENT DE PROJET	70
IV.4.1	Configuration de Mosquitto sur le Raspberry Pi	71
IV.4.2	Code MQTT	71
IV.4.3	Résultat	72
IV.5	NODE-RED	73
IV.5.1	Installation de Node-red	73
IV.5.2	Configure Node-RED Settings	74
IV.5.3	Start Node-RED	75
IV.5.4	Access Node-RED	75
IV.5.5	La réalisation de notre système	76
IV.5.6	Programmation Node-red	76
IV.5.7	Principe de fonctionnement de système propose	76
IV.5.8	Les résultats dans la programmation Node-Red	79
IV.6	GRAFANA	80
IV.6.1	Influxdb	81
IV.6.2	Visualisation dans Grafana	82
IV.6.3	Creation d'un Dashbord	83
IV.6.4	Tension	84
IV.6.5	Courant	85
IV.6.6	Puissance active	86
IV.6.7	Puissance apparente	87
IV.6.8	Facteur de puissance	88
IV.7	CONCLUSION	88
	CONCLUSION GÉNÉRALE	89
	BIBLIOGRAPHIE	94
	ANNEXE A	1
	ANNEXE B	3
	ANNEXE C	6

# TABLE DES FIGURES

I.1	Principe de la conversion photovoltaïque . . . . .	4
I.2	Différents types de cellules photovoltaïques . . . . .	5
I.3	Modèle d'un générateur photovoltaïque idéal. . . . .	6
I.4	Modèle de la cellule <i>PV</i> avec prise en compte de perte en tension et courant de fuite. . . . .	7
I.5	Caractéristique courant-tension et puissance-tension d'une cellule <i>PV</i> . . . . .	9
I.6	Caractéristique . . . . .	10
I.7	Caractéristiques résultantes d'un groupement de <i>Np</i> cellule en en parallèle . . . . .	11
I.8	Caractéristiques résultantes d'un groupement de <i>Ns</i> cellule en en séries . . . . .	12
I.9	Groupement mixte de cellules identiques et ses caractéristiques résultantes. . . . .	12
I.10	Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique $I = f(V)$ et $P = f(V)$ . . . . .	13
I.11	Influence de la température sur la caractéristique $I = f(V)$ et $P = f(V)$ . . . . .	14
I.12	Fonctionnement d'un <i>GPV</i> en connexion directe et en fonction de la charge . . . . .	15
I.13	Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque avec <i>CS</i> contrôlé par une commande <i>MPPT</i> sur charge <i>DC</i> . . . . .	16
I.14	Installation photovoltaïque d'un système en site isolé. . . . .	18
I.15	Installation photovoltaïque raccordée au réseau. . . . .	19
I.16	Onduleur centralisé versus micro-onduleur. . . . .	20
I.17	Onduleur centralisé . . . . .	21
I.18	Autoconsommation énergétique . . . . .	22
I.19	Autoconsommation avec stockage . . . . .	23
I.20	Systèmes de surveillance . . . . .	24
I.21	Système photovoltaïque connecté à un onduleur . . . . .	25
I.22	Système photovoltaïque connecté à un réseau intelligent . . . . .	26
II.1	Transformateur àbaisseur de tension 220V/6V . . . . .	29
II.2	Transformateur de courant 100A/50mA . . . . .	30
II.3	ESP32 Wroom Devkit Full Pinout . . . . .	30
II.4	ESP32 Wroom Devkit Full Pinout [5] . . . . .	32
II.5	Circuit de raccordement de esp32 [5] . . . . .	38
II.6	Capteur de mesure de courant alternatif . . . . .	39
II.7	Circuit de raccordement de esp32 [5] . . . . .	40
II.8	Circuit d'alimentation . . . . .	41
II.9	Test de la réalisation pratique . . . . .	42
II.10	Charge résistive monophasé . . . . .	43
II.11	Valeur de tension affichée comparée avec le voltmètre . . . . .	43
II.12	Valeur de courant affichée comparée avec l'ampèremètre . . . . .	44

---

II.13 Logiciel Arduino . . . . .	44
II.14 Interface Arduino . . . . .	45
II.15 Visualisation dans la page web . . . . .	48
II.16 Résultats dans la page web pour différents charges variable de 25% et 50% . . . . .	49
II.17 Résultats dans la page web pour différents charges variable de 65% et 85% . . . . .	49
III.1 Plate-forme ThingSpeak . . . . .	55
III.2 Étapes pour le loger au service . . . . .	56
III.3 Étapes 1 pour le loger au service . . . . .	56
III.4 Étapes 2 pour le loger au service . . . . .	57
III.5 Étapes 3 pour le loger au service . . . . .	57
III.6 Moniteur série . . . . .	58
III.7 Tention et courant . . . . .	58
III.8 Puissance active et puissance apparente . . . . .	59
III.9 Facteur de puissance et energie . . . . .	59
III.10Interface de Blynk . . . . .	61
III.11Étapes 1 pour le loger au service . . . . .	61
III.12Étapes 2 pour le loger au service . . . . .	62
III.13Étapes 3 pour le loger au service . . . . .	62
III.14Étapes 4 pour le loger au service . . . . .	62
III.15Tension et Courant . . . . .	63
III.16Energie et facteur de puissance . . . . .	63
III.17Puissance active et puissance apparente . . . . .	63
IV.1 Logo de Mosquitto [35] . . . . .	69
IV.2 Lodo de Node-RED [35] . . . . .	69
IV.3 Logo de InfluxDB [35] . . . . .	70
IV.4 Logo de Grafana [35] . . . . .	70
IV.5 Raspberry Pi . . . . .	71
IV.6 Serial monitor de programme . . . . .	72
IV.7 Install Node-RED on Raspberry Pi [39] . . . . .	73
IV.8 Node-RED package installation [39] . . . . .	73
IV.9 Configure Node-RED Settings [39] . . . . .	74
IV.10Execution de node-red dans le terminal [39] . . . . .	75
IV.11Fenetre de Node-Red . . . . .	75
IV.12Schéma de Node-RED . . . . .	76
IV.13Schéma de Node-RED . . . . .	76
IV.14Debug . . . . .	77
IV.15Fonction JavaScript . . . . .	77
IV.16Schéma de Node-RED . . . . .	78
IV.17Configuration du noeud MQTT . . . . .	78
IV.18Configuration du noeud influxdb out . . . . .	79
IV.19Messages MQTT . . . . .	79
IV.20Datasource . . . . .	81
IV.21Adresse de InfluxDB . . . . .	81

---

IV.22	InfluxDB Details	82
IV.23	Database InfluxDB	82
IV.24	Compte de Grafana	83
IV.25	Visualisation graphique dans Grafana	84
IV.26	Tension efficace	85
IV.27	Courant efficace	86
IV.28	Puissance active	86
IV.29	Puissance apparente	87
IV.30	Facteur de puissance	88
31	CaracteristiquesDu MicroOnduleur APsystem YC500I	1
32	Charge TP4056	4
33	Régulateur de tension MCP1700-3302	4
34	Caractéristiques du transformateur de tension 220V/6V	5
35	ESP 32	5

---

## Nomenclature

Les principales notations et abréviations utilisées dans cette thèse sont explicitées ci-dessous, sous leur forme la plus couramment employée dans le domaine du génie électrique.

### Indices et exposants

Symbole	Signification
Isc	Courant de court-circuit (Short circuit current)
Ipv	Courant du panneau photovoltaïque
Iph	Courant généré par la lumière incidente
Id	Courant de la diode
Vpv	Tension du panneau PV
G	Rayonnement sur la surface de panneau PV
Voc	Tension en circuit ouvert
Ns	Nombre de cellules en série
Np	Nombre de cellules en parallèle
Rs	Résistance en série de panneau solaire
Rp	Résistance en parallèle de panneau solaire
Is	Courant de saturation inverse de la diode
VT	Potentiel thermique

### Paramètres

Nom	Symbole	Unité
Impédance	$Z$	$\Omega$
Réactance	$X$	$\Omega$
Résistance	$R$	$\Omega$
Inductance	$L$	H
Moment d'inertie	$J$	kg.m <sup>2</sup>
Coefficient de frottement	$f_v$	N.s/rad

**Grandeurs électriques et mécaniques**

<b>Nom</b>	<b>Symbole</b>	<b>Unité</b>
Temps	$t$	s
Tension	$U$	V
Courant	$I$	A
Puissance	$P$	W
Flux magnétique	$\phi$	Wb
Induction magnétique	$B$	T
Facteur de puissance	$\cos \varphi$	/
Fréquence	$f$	Hz
Pulsation électrique	$\omega$	rad/s
Pulsation mécanique de rotation	$\Omega$	rad/s
Moment d'un couple	$C$	mN
Angle (position)	$\theta$	°, rad

---

## Glossaire

Acronyme	Signification
PV	Photovoltaïque
GPV	Générateur Photovoltaïque
DC	Courant Continu (Direct Current)
AC	Courant Alternatif (Alternative Current)
F.e.m	Force électromotrice
I <sub>cc</sub>	Courant de court-circuit
V <sub>co</sub>	Tension en circuit ouvert
FF	Facteur de forme
P <sub>pv</sub>	Puissance mesurée aux bornes de la cellule PV
V <sub>pv</sub>	Tension mesurée aux bornes de la cellule PV
I <sub>pv</sub>	Intensité mesurée aux bornes de la cellule PV
I <sub>gcc</sub>	Courant de court-circuit du module résultant
V <sub>gco</sub>	Tension du circuit ouvert du module résultant
MPPT	Maximum Power Point TracKing
CS	Convertisseur statique
TSMC	Taiwan Semiconductor Manufacturing Company
GPIO	Pins de la carte ESP32 WROOM
ADC	Convertisseur Analogique-Numérique (Analog to Digital Converter)
DAC	Convertisseur Numérique-Analogique
SPI	Serial Peripheral Interface
I2C	Inter-Integrated Circuit
PWM	Pulse Width Modulation
IDE	Integrated Development Environment (Arduino)
SCT-013-000	Capteur de courant alternatif
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
IFTTT	If This Then That
TCP/IP	Control Protocol /Internet Protocol
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
QR	Quick Response code
API	Application programming interface
REST	Representational State Transfer

---

## Introduction générale

L'énergie solaire photovoltaïque est devenue une alternative populaire et durable aux sources d'énergie traditionnelles. Les micro-centrales solaires photovoltaïques offrent une solution économe en énergie pour répondre aux besoins locaux en électricité. Cependant, pour optimiser leur efficacité et garantir leur bon fonctionnement, il est essentiel de mettre en place un système d'acquisition et de monitoring fiable.

Aujourd'hui, les systèmes photovoltaïques sont de plus en plus courants et font partie intégrante de la transition vers une énergie plus propre et renouvelable. Les systèmes de monitoring jouent un rôle crucial dans l'optimisation et la gestion de ces installations, en offrant une surveillance continue et une analyse approfondie des données pour garantir leur efficacité et leur fiabilité.

Le monitoring en temps réel de ces données permet de détecter rapidement d'éventuels problèmes de fonctionnement, tels que des pannes ou des baisses de performance des panneaux solaires. En identifiant ces problèmes rapidement, il est possible de prendre des mesures correctives pour maximiser la production d'électricité et assurer la durabilité et la rentabilité de la micro-centrale solaire.

L'objectif principal de ce système est de fournir une vue d'ensemble en temps réel de la performance de la micro-centrale solaire. Grâce à des capteurs et des dispositifs de mesure appropriés, il est possible de collecter des données précises sur la production d'électricité, la consommation d'énergie, les variations de température et d'autres facteurs environnementaux.

### Formulation du problème et objectifs

L'objectif est de développer un système d'acquisition et de suivi fiable pour les micro-centrales solaires photovoltaïques à faible coût. Cette démarche vise principalement à fournir une vue d'ensemble en temps réel de leurs performances, permettant ainsi d'optimiser leur efficacité, de détecter rapidement les problèmes potentiels, et de garantir leur durabilité et leur rentabilité. Bien que l'énergie solaire photovoltaïque soit devenue une alternative populaire et durable, il reste essentiel d'améliorer son efficacité et de garantir le bon fonctionnement de ces installations.

## Organisation du mémoire

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres, comme suit :

- Dans le premier chapitre, on va présenter sur une introduction au domaine des systèmes photovoltaïques, l'importance du monitoring dans les systèmes photovoltaïques, les revues de littérature sur les systèmes de monitoring existants et l'objectif et méthodologie de la recherche
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des composants matériels nécessaires pour le monitoring des systèmes photovoltaïques, la conception et mise en place d'un système de monitoring basé sur ces composants, la visualisation des données de courant, de tension, calculs des puissances active et apparente, du facteur de puissance et de l'énergie produite par le système.
- Le troisième chapitre est dédié à l'étude de la présentation des plateformes ThingSpeak et Blynk pour l'interfaçage et la surveillance des données, l'intégration du système de monitoring avec ThingSpeak et Blynk, la visualisation des données de courant, de tension, calculs des puissances active et apparente, du facteur de puissance et de l'énergie produite par le système.
- Le quatrième chapitre est consacré à la présentation des outils InfluxDB et Grafana pour l'interfaçage, la surveillance et la visualisation des données, l'intégration du système de monitoring avec InfluxDB et Grafana, la configuration de la base de données InfluxDB pour le stockage des données, la visualisation des données de courant, de tension, calculs des puissances active et apparente, du facteur de puissance et de l'énergie produite par le système via Grafana.

Dans la dernière partie, une conclusion résume l'ensemble des travaux présentés et des perspectives pour de futurs travaux sont suggérés.

## Chapitre I

---

# Généralités sur les systèmes photovoltaïques et les systèmes de monitoring

---

### SOMMAIRE

---

I.1	INTRODUCTION . . . . .	4
I.2	CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE . . . . .	4
I.2.1	Effet photovoltaïque . . . . .	5
I.2.2	Principe de la cellule photovoltaïque . . . . .	5
I.2.3	Différents types de cellules photovoltaïques . . . . .	5
I.2.4	Modélisation d'une cellule photovoltaïque . . . . .	6
I.2.5	Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque . . . . .	8
I.3	GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE . . . . .	10
I.3.1	Générateur photovoltaïque (Panneau solaire) . . . . .	10
I.3.2	Constitution d'un panneau solaire . . . . .	10
I.3.3	Associations des cellules photovoltaïques . . . . .	11
I.3.4	Protection des générateurs photovoltaïques . . . . .	13
I.3.5	Facteurs influençant le fonctionnement . . . . .	13
I.3.6	Fonctionnement optimum d'un générateur photovoltaïque . . . . .	14
I.3.7	Intérêt d'un fonctionnement à puissance maximale . . . . .	15
I.3.8	Etage d'adaptation avec fonction MPPT . . . . .	16
I.3.9	Algorithmes de recherche du maximum de puissance (MPPT) . . . . .	16
I.4	ARCHITECTURES DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES . . . . .	17
I.4.1	Définition d'une chaîne de puissance et rendements associés . . . . .	17
I.4.2	Installation PV isolée du réseau . . . . .	18
I.4.3	Installation PV raccordée au réseau . . . . .	19
I.5	ONDULEUR CENTRALISÉ VERSUS MICRO-ONDULEUR . . . . .	20
I.5.1	Définition de l'onduleur centralisé et du micro-onduleur . . . . .	20
I.5.2	Différences entre le micro-onduleur et l'onduleur centralisé . . . . .	21
I.6	AUTOCONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE . . . . .	21
I.6.1	Définition de l'autoconsommation énergétique . . . . .	21
I.6.2	Architecture photovoltaïque pour l'autoconsommation . . . . .	22
I.6.3	Avantage des systèmes photovoltaïques pour l'autoconsommation . . . . .	23
I.7	SYSTÈMES DE SURVEILLANCE DES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES CONNEX- TÉS . . . . .	24
I.7.1	Surveillance des systèmes photovoltaïques . . . . .	24
I.7.2	Exemples de systèmes photovoltaïques connectés . . . . .	25
I.8	CONCLUSION . . . . .	26

---

## I.1 Introduction

Le coût croissant de l'énergie conventionnelle d'une part et la limitation de ses ressources d'autre part font de l'énergie photovoltaïque de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses avec des avantages tels que l'abondance, la dépollution et la disponibilité. En tout point de la terre, il y a plus de quantités. Il existe actuellement un regain d'intérêt pour les appareils qui utilisent l'énergie solaire, en particulier pour les applications dans les zones reculées.

La conversion photovoltaïque est l'une des façons les plus intéressantes d'utiliser l'énergie solaire. Il peut alimenter directement et de manière autonome des équipements fiables avec une durée de vie relativement longue, réduisant ainsi la maintenance [45].

Le but d'un système photovoltaïque (*PV*) est d'utiliser l'énergie solaire pour la convertir directement par l'effet photovoltaïque afin de répondre aux besoins en énergie électrique des utilisateurs.

## I.2 Conversion photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque de silicium est composée de deux types de matériaux semi-conducteurs, l'un présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit d'électrons .

Un atome de silicium compte 4 électrons périphériques. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau *N* diffusent dans le matériau *P*. En traversant la cellule photovoltaïque, les photons arrachent des électrons aux atomes de silicium des deux couches *N* et *P*. Les électrons libérés se déplacent alors dans toutes les directions. Après avoir quitté la couche *P*, les électrons empruntent ensuite un circuit pour retourner à la couche *N*. Ce déplacement d'électrons n'est autre que de l'électricité [18].

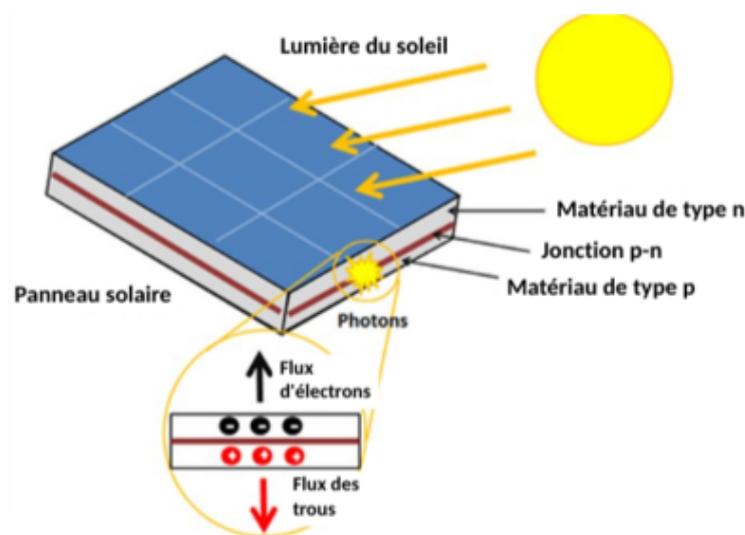


FIGURE I.1 – Principe de la conversion photovoltaïque

### I.2.1 Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules généralement à base de silicium. Pour obtenir une puissance suffisante, les cellules sont reliées entre elles et constituent le module solaire.

L'ensemble de panneaux photovoltaïques interconnectés forme le générateur. Celui-ci est caractérisé par sa puissance crête exprimée en kilowatt crête ( $KWc$ ) [23].

### I.2.2 Principe de la cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un capteur constitué d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la convertit directement en courant électrique. La propriété des matériaux semi-conducteurs pour absorber le rayonnement lumineux. Ainsi, le choix des matériaux pour la conception des cellules  $PV$  se fait en fonction de certaines de leurs propriétés physiques électroniques lorsqu'elles sont excitées par des photons du spectre solaire et en fonction de leur longueur d'onde. Une fois libérées, ces charges se déplacent à travers le matériau, formant souvent un courant continu ( $DC$ ) [26].

La circulation de ce courant génère alors une force électromotrice ( $fem$ ) aux bornes du semi-conducteur, correspondant à un phénomène physique appelé effet photovoltaïque [26].

### I.2.3 Différents types de cellules photovoltaïques



FIGURE I.2 – Différents types de cellules photovoltaïques

#### I.2.3-a Cellules monocristallines

Pour ce genre d'applications technologiques, le silicium pur est obtenu à partir de la silice de quartz ou de sable par transformation chimique métallurgique. Elle se caractérise par [1] :

- méthode de production laborieuse et difficile, et donc, très chère ;
- il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur ;
- un taux de rendement excellent de 15% et jusqu'à 24% en laboratoire [1].

### I.2.3-b Cellules poly cristallines

Le silicium poly-cristallin est un matériau composé de cristaux juxtaposés obtenus par moulage. Elle se caractérise par [1] :

- coût de production moins élevé ;
- procédé moins gourmand en énergie ;
- rendement de 13% et jusqu'à 20% en laboratoire.

### I.2.3-c Cellules amorphes

Ces technologies qui étaient initialement chères étaient réservées aux applications spatiales et aux technologies de concentration.

Avec l'augmentation des volumes de production, le prix de revient de ces technologies a baissé pour devenir compétitif avec les technologies cristallines de la première génération. Ces technologies sont caractérisées par des efficacités de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique allant de 6% à 5 à 15% [1] .

## I.2.4 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

### I.2.4-a Générateur photovoltaïque idéal

Une cellule photovoltaïque peut être simplement décrite comme une source de courant idéale produisant un courant  $I_{Ph}$  proportionnel à la puissance lumineuse incidente, connectée en parallèle avec une diode correspondant à la région de transition  $pn$  de la cellule photovoltaïque. Si une charge résistive est connectée aux bornes du générateur photovoltaïque, ce dernier débite une partie du courant  $I$ , le reste du courant  $I_D$  est débité dans les diodes. alors nous avons une relation pour un générateur  $PV$  idéal, la tension aux bornes de la résistance est égale à la tension aux bornes de la diode on a alors la relation [23].

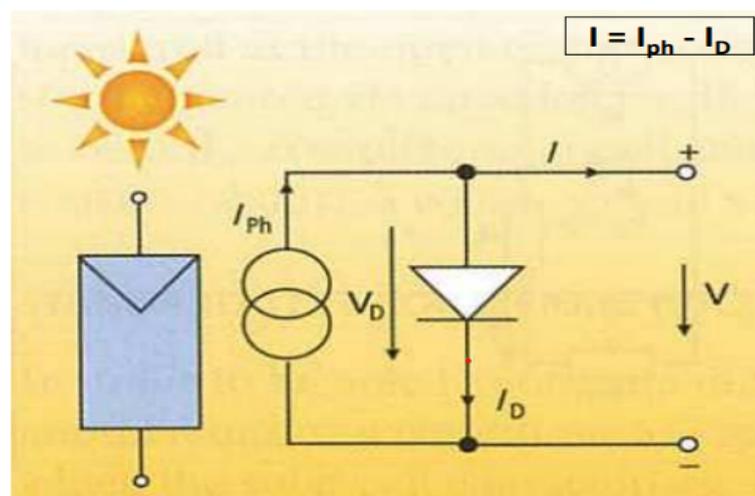


FIGURE I.3 – Modèle d'un générateur photovoltaïque idéal.

La diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique  $I$ - $V$  est donnée par la relation

$$I_D = I_s \left( \exp \frac{V_D}{V_T} - 1 \right) \quad (\text{I.1})$$

Avec :

$I_s$  : Courant de saturation inverse de la diode.

$V_T$  : potentiel thermique avec

$$V_T = \frac{K_T}{q}$$

Le courant débité équivaut à :

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_s \left( \exp \frac{V_D}{V_T} - 1 \right) \quad (\text{I.2})$$

Le modèle est encore théorique et ne prend pas en compte le comportement des cellules photovoltaïques en conditions réelles. Cependant, il reste valable sous certaines hypothèses (indépendamment de la perte de tension, du courant de fuite, etc.). Il existe d'autres modèles, théoriques certes, mais qui expliquent plus fidèlement le comportement des cellules photovoltaïques [23].

#### I.2.4-b Générateur photovoltaïque réel

Dans le cas réel, on observe une perte de tension en sortie ainsi que des courants de fuite, par contre Le modèle photovoltaïque précédent ne rendait pas compte de tous les phénomènes présents lors de la conversion d'énergie lumineuse. On modélise donc cette perte de tension par une résistance en série  $R_s$  et les courants de fuite par une résistance en parallèle  $R_p$  [23].

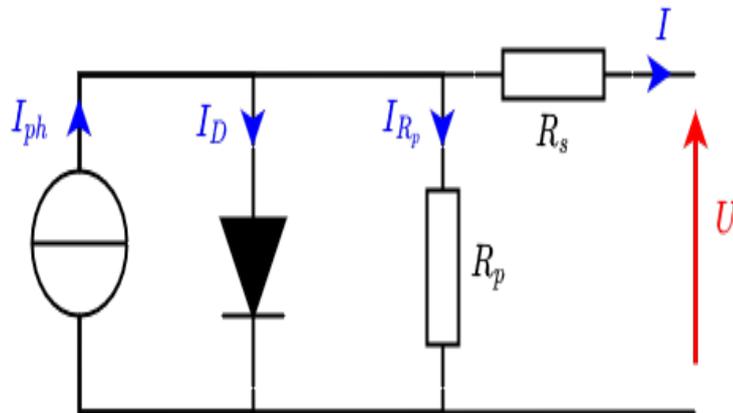


FIGURE I.4 – Modèle de la cellule  $PV$  avec prise en compte de perte en tension et courant de fuite.

on a :

$$I = I_{ph} - I_D - I_{Rp} \quad (I.3)$$

$$I_{Rp} = \frac{V_D}{R_p} = \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (I.4)$$

$$I = I_{ph} - I_D - I_{Rp} = I_{ph} - I_s \left( \exp \frac{V_T}{V_D} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (I.5)$$

## I.2.5 Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque

il existe plusieurs indicateurs permettant de mesurer les performances des modules PV. La puissance crête ( $wc$ ) est un des indicateurs les plus significatifs, elle représente la puissance électrique maximale que le panneau peut fournir dans les conditions de mesures normalisées.

### I.2.5-a Caractéristique Courant-Tension

C'est une caractéristique fondamentale d'un panneau photovoltaïque typique sous des conditions constantes d'irradiation et température donnés, définissant cet élément comme générateur. Elle est identique à celle d'une jonction  $P-N$  avec un sens bloqué, mais décalé le long de l'axe du courant d'une quantité directement proportionnelle à l'éclairement. Elle se trace sous un éclairement fixe et une température constante.

#### 1. Courant de court-circuit $I_{cc}$ :

Si les deux électrodes sont court-circuitées au moyen d'un ampèremètre, les électrons expulsés par le champ interne de la jonction vont générer un courant de court-circuit  $I_{cc}$ , qui correspond au photo courant induit par rayonnement  $I_{ph}(I_{cc} = I_{ph})$  [36].

#### 2. Tension en circuit ouvert $V_{co}$ :

Si la cellule est laissée en circuit ouvert, les porteurs générés par le rayonnement et séparés par le champ interne s'accumuleront de chaque côté de la jonction, provoquant une auto-polarisation de la jonction dans le sens direct. Cette auto-polarisation induit un courant de diode égal et opposé au photo courant dans le sens direct. Alors la tension mesurée à La tension aux bornes des électrodes est appelée tension de circuit ouvert  $V_{co}$ . C'est la tension qui doit être appliquée à la diode dans le sens direct pour produire un courant égal au photo courant et elle est donnée par la relation [36].

$$V_{co} = \left( \frac{K_T}{q} \right) \cdot \ln \left[ \left( \frac{I_{cc}}{I_0} \right) + 1 \right] \quad (I.6)$$

#### 3. Le Rendement :

Le Rendement est le facteur très remarquable pour les paramètres des composantes photovoltaïque il définit la puissance maximale  $P_{max}(I_{opt}, V_{opt})$  produite par la cellule et la puissance du rayonnement solaire qui arrive sur la cellule [1].

Il est donné par :

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{inc}} = \frac{I_{opt} * V_{opt}}{P_{inc}} \quad (I.7)$$

Avec  $P_{inc}$  est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale des photopiles, ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Si  $S$  est la surface de la cellule en  $m^2$  et  $E$  est l'éclairement-irradiant en  $W/m^2$ . Le rendement énergétique s'écrit :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc} \cdot S} \quad (I.8)$$

#### 4. Facteur de forme :

On dit aussi facteur de courbe ou facteur de remplissage (fil factor), le rapport entre la puissance maximum fournie par la cellule et le produit du courant de court-circuit par la tension de circuit-ouvert, donne une image de la qualité du panneau solaire [12]. Le facteur de forme noté  $FF$  est défini comme :

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{co} \cdot I_{cc}} = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (I.9)$$

#### I.2.5-b Caractéristique courant-puissance

Dans des modalités ambiantes de fonctionnement fixes (éclairage, température, vitesse de circulation de l'air ambiant, etc.). La puissance  $P_{pv}$  débitée par le module photovoltaïque dépend du point de fonctionnement de cette dernière ; c'est le produit de l'intensité de courant  $I_{pv}$  et de la tension entre ses bornes  $V_{pv}$ . Le point  $M$  représente la puissance maximale débitée par le module [36] .

$$F = V_{pv} * I_{pv} \quad (I.10)$$

$P_{pv}$  : puissance mesurée aux bornes de la cellule PV ;

$V_{pv}$  : tension mesurée aux bornes de la cellule PV ;

$I_{pv}$  : intensité mesurée aux bornes de la cellule PV .

En pratique, la trajectoire déterminant d'une cellule PV est plus arrondie, et la tension au point de puissance maximum  $V(P_{max})$  est inférieure à la tension de circuit ouvert  $V_{co}$ , de même que le courant fourni  $I(P_{max})$  est inférieur, pour cette même tension, au courant de court-circuit  $I_{cc}$  [36] .

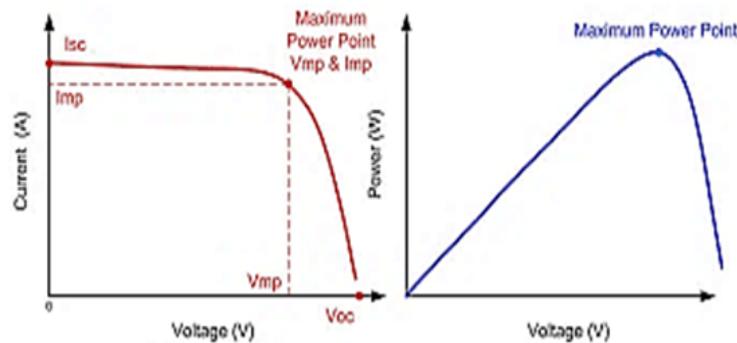


FIGURE I.5 – Caractéristique courant-tension et puissance-tension d'une cellule PV

## I.3 Générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque est un ensemble d'équipements mis en place pour exploiter l'énergie photovoltaïque afin de satisfaire les besoins en charge. En fonction de la puissance désirée, les modules peuvent être assemblés en panneaux pour constituer un "champ photovoltaïque". Relié au récepteur sans autre élément, le panneau solaire fonctionne "au fil du soleil", c'est-à-dire que la puissance électrique fournie au récepteur est fonction de la puissance d'ensoleillement. Elle est donc à son maximum lorsque le soleil est au zénith et nulle la nuit [23].

### I.3.1 Générateur photovoltaïque (Panneau solaire)

Un générateur *PV* est composé de plusieurs modules *PV* connectés en série ou en parallèle pour former des modules photovoltaïques, ces derniers sont reliés entre eux pour former un générateur photovoltaïque .

La connexion des cellules en série augmente la tension de sortie en conservant le même courant qui traverse les cellules, par contre la connexion en parallèle augmente le courant et conserve la même tension [13].

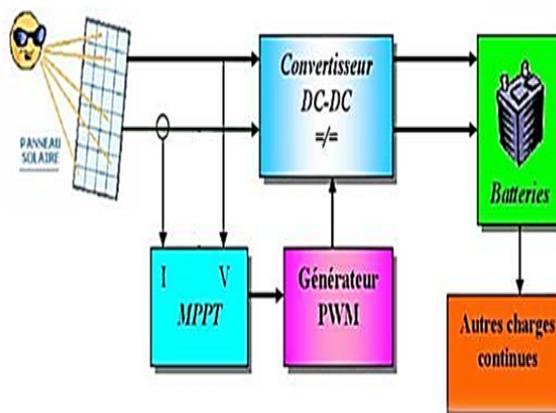


FIGURE I.6 – Caractéristique

### I.3.2 Constitution d'un panneau solaire

Une cellule photovoltaïque seule est ordinairement peu utilisable ; son faible épaisseur la rend très fragile et elle produit une très faible puissance électrique de l'ordre de 1 à 3W, avec une tension de moins de 1V. Ainsi pour accroître la puissance, on assemble ces cellules soit en série, soit en parallèle.

Les cellules sont assemblées pour former un *GPV* élémentaire (module photovoltaïque). Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant.

### I.3.3 Associations des cellules photovoltaïques

#### I.3.3-a Association en parallèle

Dans un groupement connecté en parallèle de  $NP$  cellules illustré sur la figure I.7, permet d'accroître le courant de sortie de générateur ainsi créé. Dans Une association de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants [1].

Si vous souhaitez un générateur photovoltaïque avec un courant de sortie plus important, vous pouvez soit utiliser une cellule photovoltaïque avec une surface plus importante et un rendement plus élevé, soit combiner plusieurs modules photovoltaïques aux caractéristiques similaires en parallèle [1]. L'équation (I.11) résume les propriétés électriques d'une association de  $Np$  cellules en parallèle

$$I_{pcc} = N_p * I_{cc} \quad (I.11)$$

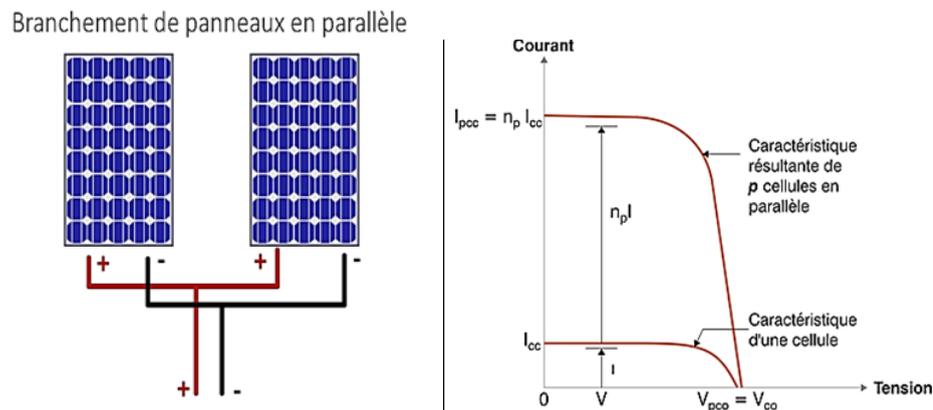


FIGURE I.7 – Caractéristiques résultantes d'un groupement de  $Np$  cellule en en parallèle

C'est très mauvaise configuration parceque on le voit on a un courant exactement élevé parceque que tous les courant n'additionnement dans un montage en parallèle

#### I.3.3-b Association en série

D'autre part Dans un groupement en série Comme illustré sur la figure I.8, le même courant traverse chaque cellule tandis que la tension globale est la somme des tensions à travers toutes les cellules qui est obtenue en multipliant point par point et pour un même courant, la tension  $V_{oc}$  par  $Ns$ . On note aussi que l'impédance optimale de l'association sera deux fois plus grande que celle de la cellule de base [8].

L'équation (I.12) résume les propriétés électriques d'une série de  $Ns$  cellules :

$$V_{sco} = N_s * V_{co} \quad (I.12)$$

La figure(I.8) montre la caractéristique résultante ( $I_{scc}$ ) obtenue en associant en série (indices)  $n$  cellules identiques ( $I_{cc}, V_{co}$ ).

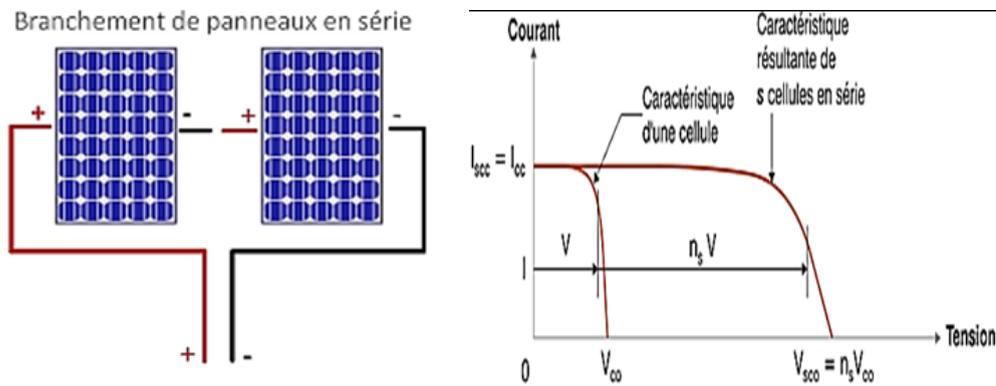


FIGURE I.8 – Caractéristiques résultantes d’un groupement de  $N_s$  cellule en en série

### I.3.3-c Association série-parallèle

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, on est obligé d’utiliser un groupement mixte, c’est à dire Série-Parallèle.

GPV se déduit donc théoriquement de la combinaison de La caractéristique électrique globale courant/tension des cellules élémentaires supposées identiques qui le composent par deux affinités de rapport  $N_s$  parallèlement à l’axe des tensions et de rapport  $N_p$  parallèlement à l’axe des courants, ainsi que l’illustre la figure(I.9),  $N_s$  et  $N_p$  sont respectivement les nombres total de cellules en série et en parallèle [22].

$I_{gcc} = N_p * I_{cc}$  : courant de court-circuit du module résultant ;

$V_{gco} = N_s * V_{co}$  : tension du circuit ouvert du module résultant.

La réalisation d’un générateur photovoltaïque en vue d’augmenter la tension (Regroupement en série) ou augmenter le courant (Regroupement en parallèle) par l’association d’un grand nombre de cellules élémentaires de même technologie et de caractéristiques identiques. Le câblage série-parallèle est donc utilisé pour obtenir un module PV (ou panneau PV) aux caractéristiques souhaitées (courant et tension suffisants)[22].

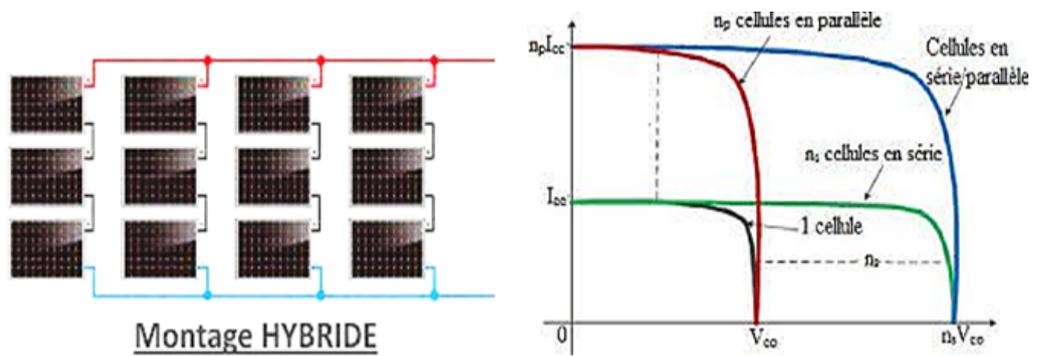


FIGURE I.9 – Groupement mixte de cellules identiques et ses caractéristiques résultantes.

### I.3.4 Protection des générateurs photovoltaïques

Tandis que, nous en boîte une installation photovoltaïque, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter sa passage de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement en cas d'ombrage. Pour cela, deux types de protections sont classiquement utilisés dans les installations actuelles.

- diode anti retour utilisée pour la protection dans le cas des connexions en parallèle pour éviter les courants négatifs dans *GPV*.
- diode by-pass utilisée pour isoler un module *PV* en cas où l'éclairement n'est pas homogène en évitant l'échafaudement des cellules ce qui est susceptible de la détruire par claquage. Cela nous permettant de ne pas perdre la totalité de la production.

### I.3.5 Facteurs influençant le fonctionnement

Les affectations du système photoélectrique dont les résultats dans les conditions de changement d'intensité lumineuse et de température sont représentées par les nombres suivants. Ces chiffres représentent le courant et la puissance du générateur *PV* en termes de tension [23].

#### I.3.5-a Influence de l'ensoleillement

L'ensoleillement est le paramètre le plus influant sur la cellule *PV*. L'ensoleillement est le paramètre le plus influant sur la cellule *PV*. Cette déniée est caractérisée par la courbe de production du courant en fonction de la tension à ses bornes, depuis le court-circuit (tension nulle, courant théorique maximal) jusqu'au circuit ouvert (tension maximale, courant nul).

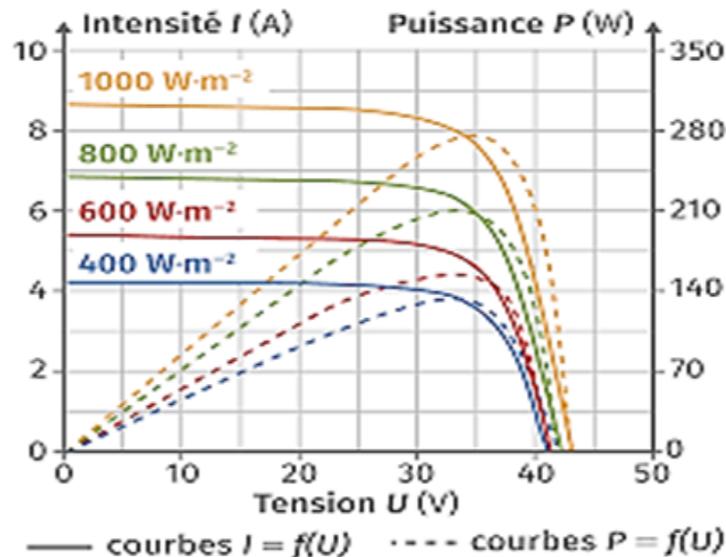


FIGURE I.10 – Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique  $I = f(V)$  et  $P = f(V)$

Il est clair que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, mais reste quasiment identique même à faible éclairement. Ceci implique donc que :

- la puissance optimale de la cellule ( $P_{max}$ ) est pratiquement proportionnelle à l'éclairement.
- Les points de puissance maximale se situent à peu près à la même tension.

### I.3.5-b Influence de la température

La température est un paramètre essentiel dans le fonctionnement des cellules photovoltaïques car les propriétés électriques d'un semi-conducteur sont très sensibles à la température. La figure I.11 illustre respectivement les caractéristiques  $I - V$  et  $P - V$  de la cellule [16].

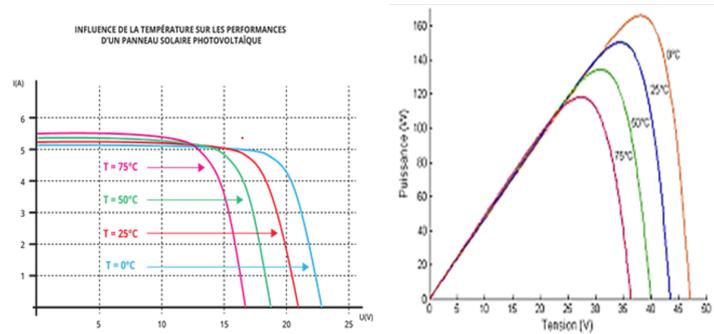


FIGURE I.11 – Influence de la température sur la caractéristique  $I = f(V)$  et  $P = f(V)$

Nous remarquons que le courant dépend de la température puisque le Courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, on constate que la Température influence négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente.

### I.3.6 Fonctionnement optimum d'un générateur photovoltaïque

La recherche du point de fonctionnement optimal Dans un système électrique comprenant une source et une charge, par des techniques d'optimisation représente ce qui est le plus essentiel. Dans le cas du photovoltaïque, cette démarche est plus compliquée du fait que la caractéristique des cellules dépend fortement de l'ensoleillement et de la température ambiante, entre autres. Il faut trouver un dispositif permettant de fonctionner à tout moment suivant le point de fonctionnement optimal. Ces dernières années plusieurs dispositifs ont été développés, aussi élaborés les uns que les autres. Dans la référence, les auteurs passent en revue les différentes méthodes de maximisation de puissance classées en deux catégories : les méthodes indirectes et les méthodes directes [23].

Dans l'éventualité de de sources énergétiques, cela se traduit par des points de puissance maximum. Ce type de commande est souvent nommé dans la littérature (Recherche du Point de Puissance Maximum) ou bien (Maximum Power Point Tracking) en anglo-saxon (*MPPT*). Le principe de ces commandes est d'effectuer une recherche du point de puissance maximal (*PPM*) tout en assurant une parfaite adaptation entre le générateur et sa charge de façon à transférer le maximum de puissance [23].

### I.3.7 Intérêt d'un fonctionnement à puissance maximale

Il existe de plusieurs applications qui important un lien directe entre le *GPV* et la charge. Ce choix se distingue par son fonctionnement simple et à une très grande crédibilité, essentiellement en raison du manque d'équipements électroniques, sans parler du faible dépense. La Figure I.12a illustre cette situation. Si cette charge est une batterie, lorsque le module n'est pas allumé, il peut être utilisé comme récepteur, et la batterie peut se décharger sur le *GPV*, et en elle sera irrémédiablement endommagée. ainsi, afin d'éviter cette situation, une diode unidirectionnelle doit être placée sur le lien entre le *GPV* et la charge. [14].

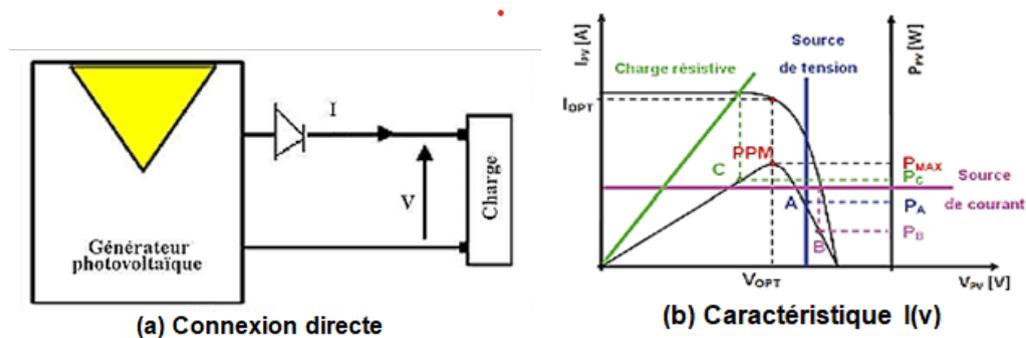


FIGURE I.12 – Fonctionnement d'un *GPV* en connexion directe et en fonction de la charge

Effectivement, le point de fonctionnement du *GPV* est généré par l'intersection entre la courbe  $I$  du *GPV* et la courbe  $I$  de la charge. En effet, les charges  $AC$  sont totalement incompatibles avec les liaisons directes, car le *GPV* fournit une alimentation  $DC$ . Il existe trois types de charges  $DC$  : les charges à résistance pure, les charges à source de tension et les charges à source de courant.

- point  $A$  pour une charge résistive,
- point  $B$  pour une charge de type source de tension,
- point  $C$  pour une charge en source de courant.

La puissance fournie par le générateur Pour ces trois points  $PA'$ ,  $PB'$  et  $PC'$ , comme le montre la Figure I.12b, les valeurs de ces puissance sont inférieures à la puissance maximale disponible  $P_{MAX}$ . Pourtant, une partie de la puissance dissipée pouvant être délivrée au terminal du *GPV* conduira à terme à une perte importante de production d'énergie [14].

### I.3.8 Etage d'adaptation avec fonction MPPT

Un *GPV* a des caractéristiques *MPP*. Ces caractéristiques dépendent particulièrement du niveau rayonnement et de la température de la cellule. De plus, selon les courbes de charge transmises par le *GPV*, on constate qu'il existe une très grande différence entre la puissance potentielle du générateur et la puissance effectivement transmise à la charge par liaison directe .

Afin d'extraire la puissance maximale disponible sur le terminal *GPV* et de l'envoyer à la charge à tout moment, une technique courante consiste à utiliser un étage un niveau d'adaptation entre *GPV* et charge.

Cette travaille comme une interface entre les deux composants et contrôle les actions pour s'assurer que la puissance maximale délivrée par le générateur d'émission est le plus proche possible du  $P_{MAX}$  disponible [14].

### I.3.9 Algorithmes de recherche du maximum de puissance (MPPT)

La chaîne d'alimentation d'un *GPV*, où la charge en courant continu est fournie par un générateur via un convertisseur statique (*CS*) commandé par un *MPPT*, est illustrée à la figure I.13. Son effet est de modifier le rapport cyclique de *CS* afin que la puissance fournie par *GPV* soit la  $P_{MAX}$  disponible à ses bornes. L'algorithme *MPPT* peut être plus ou moins complexe pour trouver le *PPM* et est généralement basé sur la variation du rapport cyclique du hacheur dans le but d'atteindre le *PPM* en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée  $CS(IetV)$  [10].

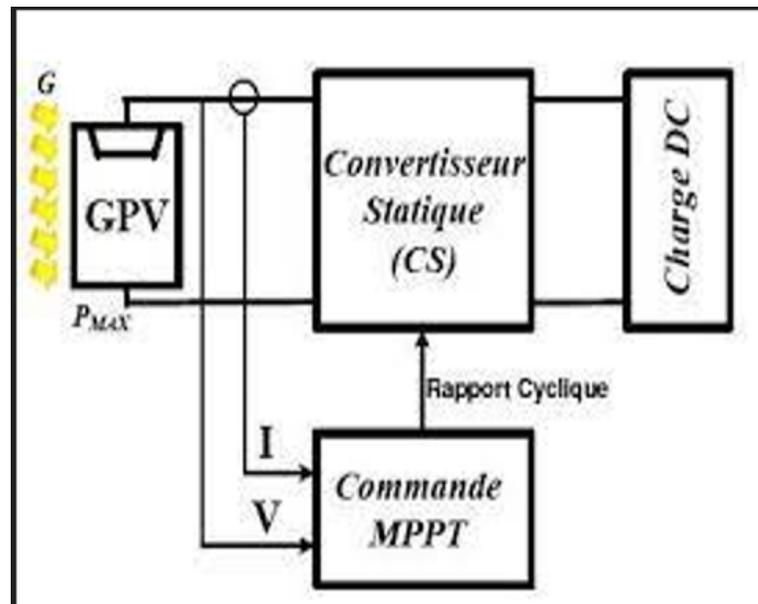


FIGURE I.13 – Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque avec *CS* contrôlé par une commande *MPPT* sur charge *DC*.

## I.4 Architectures des systèmes photovoltaïques

Une architecture fortement distribuée cette approche, consistant à répartir la gestion du générateur *PV*, permet de se rapprocher au plus près de la production photovoltaïque et ainsi en optimiser la puissance électrique globalement produite. Pour cela, nous avons développé des prototypes de micro-convertisseurs dédiés aux applications faibles puissances photovoltaïques. Les mesures journalières effectuées nous ont permis d'étudier avec précision l'intérêt de l'architecture distribuée et d'obtenir des résultats de validation montrant les perspectives à venir. Plusieurs solutions d'architectures se dégagent avec différents bilans des gains énergétiques qu'elles apportent [34].

### I.4.1 Définition d'une chaîne de puissance et rendements associés

La puissance délivrée par le *GPV* notée *PPV* est plus ou moins éloignée du potentiel productible noté *P<sub>MAX</sub>* en fonction de l'étage d'adaptation utilisé pour réaliser la conversion et le transfert énergétique. Nous l'associons au point de fonctionnement du *GPV* et nous le notons *MPPT*. Ce rendement *MPPT* est obtenu en divisant la puissance disponible aux bornes du *GPV* par la puissance maximale potentiellement délivrable par ce même *GPV* ( $< 1s$ ). Il sera donc représentatif d'un instant donné, de conditions météorologiques précises et de modes de fonctionnement donnés. En résumé, ce rendement représente un rendement instantané des performances du *GPV* [34].

$$\eta_{MPPT} = \frac{P_{pv}}{P_{Max}}$$

Pour transférer la puissance électrique produite, le mode de transfert utilisé peut présenter plus ou moins un taux de pertes lié à sa constitution. Nous définissons pour qualifier ces étages de conversion électrique-électrique et de transfert, le rendement de conversion d'un étage d'adaptation noté convertisseur, défini en (3-5), et permettant d'évaluer les pertes liées à la conversion de puissance associée à l'étage d'adaptation. Là aussi, ce type de rendement dépend du temps et des conditions de fonctionnement. Il est nécessaire, pour obtenir une grande précision sur cette grandeur, d'effectuer les mesures de courant et de tension en entrée et en sortie de l'étage au même instant garantissant ainsi la connaissance précise du transfert de puissance effectué à un instant donné [34].

$$\eta_{conv} = \frac{P_{out}}{P_{pv}}$$

Le rendement global de la chaîne de conversion photovoltaïque, noté  $\eta$ , peut donc être défini comme le produit des trois rendements précédemment définis sur le même intervalle de temps.

$$\eta_{TOTAL} = \frac{P_{MAX} [W]}{G [W/m^2] \cdot A [m^2]} \cdot \frac{P_{pv} [W]}{P_{MAX} [W]} \cdot \frac{P_{out}}{P_{pv}}$$

Ce rendement traduit la capacité de la totalité d'une chaîne *PV* à produire plus ou moins de l'énergie électrique. Cela permet également de comprendre la différence entre un rendement

effectué en laboratoire sur des matériaux et des cellules *PV* sous température et irradiation contrôlées et le rendement réel des *GPV* installés fonctionnant en conditions réelles [34].

Ce rendement de et le rendement de l'étage d'adaptation sont en effet étroitement associés aux systèmes de gestion et de conversion de l'énergie *PV*. Ils définissent respectivement sa capacité à exploiter plus ou moins bien la puissance produite par un *GPV* et la capacité de transfert vers une charge dans les meilleures conditions.

#### I.4.2 Installation PV isolée du réseau

Les installations photovoltaïques (*PV*) en sites isolés se composent de quatre éléments principaux [24] :

- des panneaux solaires, dont le rôle est de fournir de l'énergie à la charge et à la batterie ;
- Les batteries, dont le rôle est de stocker l'énergie et de la récupérer lorsque l'ensoleillement est insuffisant ;
- un régulateur dont le rôle est de réguler la charge et la décharge de la batterie ;
- Onduleur, dont le rôle est d'assurer la conversion *DC* – *AC*. Il permet à l'alimentation *CA* d'être fournie à partir du *CC* au récepteur.

Afin de mieux comprendre la fonctionnalité du système, il est nécessaire de comprendre la structure technique et la fonction de chaque élément.

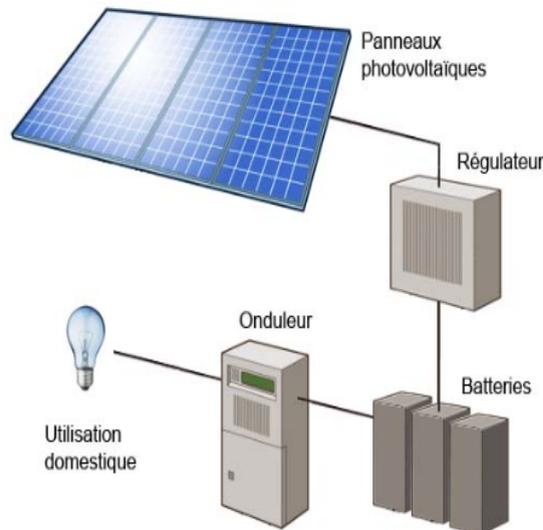


FIGURE I.14 – Installation photovoltaïque d'un système en site isolé.

Ce type de montage est adapté aux installations ne pouvant être raccordées au réseau. L'énergie produite doit être directement consommée et/ou stockée dans des accumulateurs pour permettre de répondre à la totalité des besoins.

### I.4.3 Installation PV raccordée au réseau

Les systèmes de production d'énergie photovoltaïque connectée à un réseau sont une résultante de la tendance à la décentralisation du réseau électrique. L'énergie est produite plus près des lieux de consommation. Il produit sa propre électricité et achemine son excédent d'énergie vers le réseau, auprès duquel il s'approvisionne au besoin, ces transferts éliminent le besoin d'acheter et d'entretenir une batterie [45].

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 [40].

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 » [40].

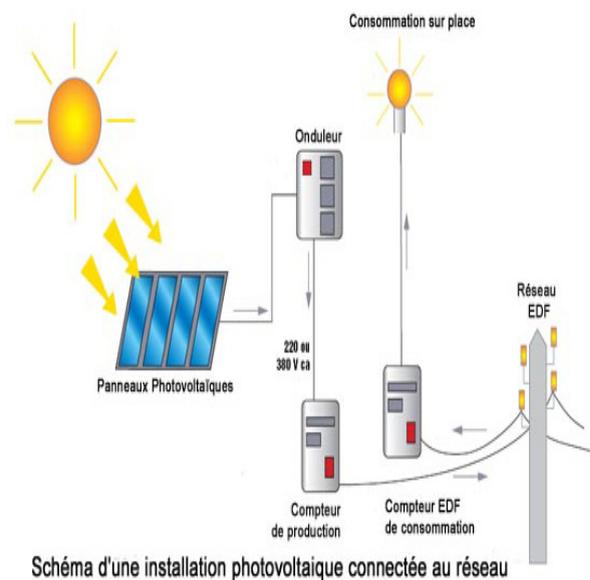


FIGURE I.15 – Installation photovoltaïque raccordée au réseau.

## I.5 Onduleur centralisé versus micro-onduleur

L'onduleur centralisé et le micro-onduleur sont des technologies différentes qui peuvent être utilisées pour convertir l'énergie solaire en énergie électrique. Les deux technologies ont leurs avantages et leurs inconvénients.

Un onduleur centralisé est une solution plus rentable et plus efficace pour les systèmes d'énergie solaire de grande taille. Il est capable de gérer plusieurs panneaux solaires à la fois et peut fournir une puissance plus importante. Cependant, il est plus coûteux à l'achat et nécessite une installation plus complexe.

Un micro-onduleur est une solution plus abordable et plus facile à installer. Il est conçu pour gérer un seul panneau solaire à la fois et ne peut pas fournir autant de puissance qu'un onduleur centralisé. Cependant, il est plus facile à installer et peut être installé par un particulier.

En conclusion, l'onduleur centralisé et le micro-onduleur sont deux technologies différentes qui peuvent être utilisées pour convertir l'énergie solaire en énergie électrique. Chacune a ses avantages et ses inconvénients et convient à des applications différentes.

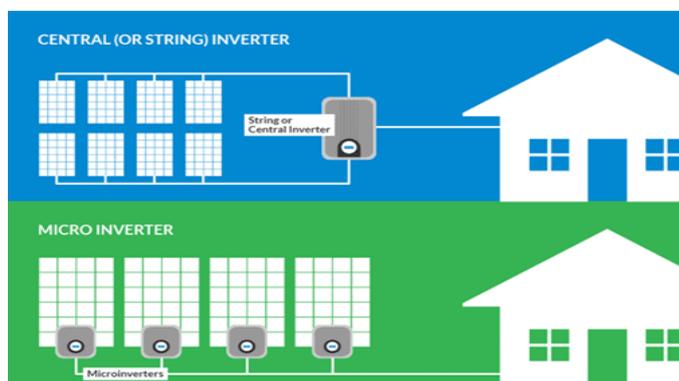


FIGURE I.16 – Onduleur centralisé versus micro-onduleur.

### I.5.1 Définition de l'onduleur centralisé et du micro-onduleur

L'onduleur centralisé est un dispositif qui convertit l'énergie électrique produite par une source d'énergie renouvelable, comme le soleil ou le vent, en énergie électrique utilisable pour alimenter des appareils électriques. Il est généralement installé à un endroit central et peut fournir de l'énergie à plusieurs appareils à la fois.

Le micro-onduleur est un dispositif qui convertit l'énergie électrique produite par une source d'énergie renouvelable, comme le soleil ou le vent, en énergie électrique utilisable pour alimenter des appareils électriques. Il est généralement installé à un endroit spécifique et ne peut fournir de l'énergie qu'à un seul appareil à la fois.[30]



FIGURE I.17 – Onduleur centralisé

### I.5.2 Différences entre le micro-onduleur et l'onduleur centralisé

Le micro-onduleur et l'onduleur centralisé sont des technologies utilisées pour convertir le courant continu produit par des panneaux solaires en courant alternatif. Cependant, ils présentent des différences notables.

Le micro-onduleur est un dispositif qui se connecte directement à chaque panneau solaire et convertit le courant continu en courant alternatif. Il est généralement installé sur le toit et peut être contrôlé individuellement. Cela permet une plus grande flexibilité et une meilleure gestion de l'alimentation.

L'onduleur centralisé, d'autre part, est un dispositif qui se connecte à plusieurs panneaux solaires et convertit le courant continu en courant alternatif. Il est généralement installé à l'intérieur et ne peut pas être contrôlé individuellement. Cela limite la flexibilité et la gestion de l'alimentation. [30]

## I.6 Autoconsommation énergétique

L'autoconsommation énergétique est le fait de produire sa propre énergie et de la consommer directement. Elle peut être réalisée à l'aide de panneaux solaires, d'éoliennes ou d'autres sources d'énergie renouvelable. L'autoconsommation permet aux particuliers et aux entreprises de réduire leurs factures d'électricité et de contribuer à la transition énergétique. Elle peut également aider à réduire les émissions de gaz à effet de serre en remplaçant les sources d'énergie non renouvelables par des sources d'énergie renouvelables. [17]

### I.6.1 Définition de l'autoconsommation énergétique

L'autoconsommation énergétique est une forme d'utilisation de l'énergie produite par des sources renouvelables, telles que le solaire, l'éolien ou la géothermie. Elle consiste à consommer directement l'énergie produite, sans passer par un réseau public. L'autoconsommation énergétique permet aux consommateurs de réduire leurs factures d'électricité et de devenir plus autonomes en matière d'approvisionnement énergétique. [19]

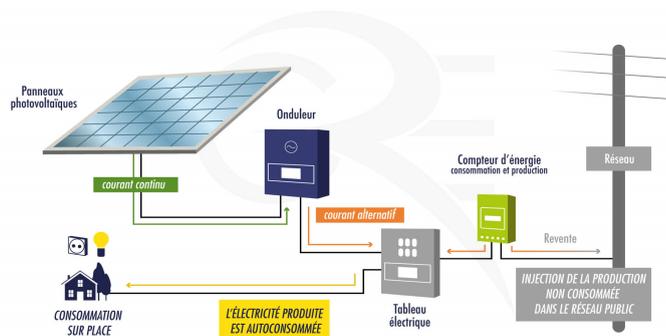


FIGURE I.18 – Autoconsommation énergétique

## I.6.2 Architecture photovoltaïque pour l'autoconsommation

L'architecture photovoltaïque pour l'autoconsommation est une solution qui permet aux propriétaires de maisons et d'entreprises de produire leur propre électricité à partir de l'énergie solaire. Elle est composée d'un système photovoltaïque qui convertit l'énergie solaire en électricité et d'un système de stockage qui stocke l'électricité produite pour une utilisation ultérieure. Les propriétaires peuvent alors consommer l'électricité qu'ils produisent et réduire leurs factures d'électricité. De plus, cette architecture permet aux propriétaires de participer à la transition énergétique en produisant de l'énergie renouvelable et en contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.[9]

### I.6.2-a Autoconsommation directe

L'autoconsommation directe est une forme d'autoconsommation qui consiste à consommer l'énergie produite par des sources d'énergie renouvelables, telles que le solaire, l'éolien ou l'hydroélectricité, sans passer par un réseau électrique. Cette forme d'autoconsommation permet aux consommateurs de produire leur propre énergie et de la consommer immédiatement, ce qui leur permet de réduire leurs factures d'énergie et de contribuer à la transition énergétique. Les systèmes d'autoconsommation directe peuvent être installés à la fois sur les sites résidentiels et commerciaux et sont généralement composés d'un ou plusieurs panneaux solaires, d'une batterie et d'un onduleur.

### I.6.2-b Autoconsommation avec revente

L'autoconsommation avec revente consiste à produire de l'électricité à partir d'une source renouvelable et à la revendre à un fournisseur d'électricité. Cette méthode est particulièrement intéressante pour les propriétaires qui souhaitent réduire leurs factures d'électricité et contribuer à la transition énergétique. En effet, elle permet aux propriétaires de produire leur propre électricité à partir d'une source renouvelable et de la revendre à un fournisseur d'électricité à un prix plus avantageux que celui proposé par le fournisseur. De plus, en revendant l'électricité produite, les propriétaires peuvent bénéficier d'un crédit d'impôt pour leurs investissements dans les énergies renouvelables.

### I.6.2-c Autoconsommation avec stockage

L'autoconsommation avec stockage est une solution qui permet aux propriétaires de systèmes d'énergie renouvelable de consommer leur propre énergie produite et de stocker l'excès pour une utilisation ultérieure. Cette solution est particulièrement utile pour les propriétaires qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment, car elle leur permet de stocker leur excès d'énergie et de l'utiliser plus tard. Elle peut également être utilisée pour s'assurer que les propriétaires disposent toujours d'une source d'énergie fiable, même lorsque leurs systèmes d'énergie renouvelable ne produisent pas suffisamment d'énergie. Les batteries sont le moyen le plus courant de stocker l'énergie, mais il existe également des solutions de stockage thermique et hydroélectrique.

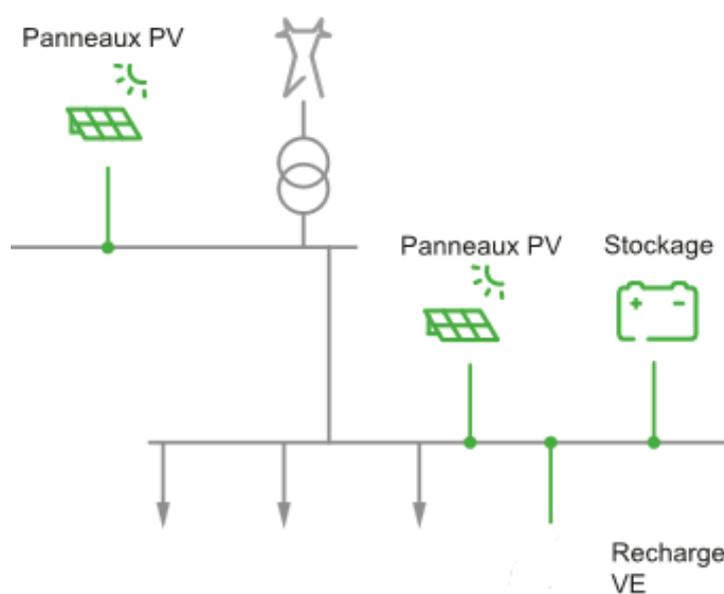


FIGURE I.19 – Autoconsommation avec stockage

### I.6.3 Avantage des systèmes photovoltaïques pour l'autoconsommation

- \* Économies d'énergie : les systèmes photovoltaïques permettent aux propriétaires de produire leur propre électricité et de réduire leurs factures d'électricité.
- \* Autonomie énergétique : les systèmes photovoltaïques offrent une autonomie énergétique, ce qui signifie que les propriétaires peuvent produire leur propre électricité sans avoir à dépendre des fournisseurs d'électricité.
- \* Réduction des émissions : les systèmes photovoltaïques sont une source d'énergie renouvelable et ne produisent pas de gaz à effet de serre, ce qui contribue à la réduction des émissions de carbone et à la protection de l'environnement.
- \* Durabilité : les systèmes photovoltaïques sont conçus pour durer plusieurs années et peuvent être installés sur des toits ou des terrains.

- \* Faible entretien : les systèmes photovoltaïques nécessitent peu d'entretien et peuvent fonctionner sans interruption pendant de nombreuses années

## I.7 Systèmes de surveillance des installations photovoltaïques connectés

Les systèmes de surveillance des installations photovoltaïques connectés sont conçus pour surveiller et gérer les performances des systèmes photovoltaïques. Ces systèmes peuvent être utilisés pour surveiller la production d'énergie, le rendement, les conditions météorologiques et les données de maintenance. Les systèmes de surveillance connectés peuvent aider à améliorer la productivité et à réduire les coûts d'exploitation des systèmes photovoltaïques. Les systèmes de surveillance peuvent également fournir des informations précieuses sur les performances des systèmes photovoltaïques et permettre aux propriétaires de prendre des mesures pour améliorer leur rendement

### I.7.1 Surveillance des systèmes photovoltaïques

Surveillance des systèmes photovoltaïques qui implique l'utilisation de divers appareils pour mesurer le courant et la tension, ainsi qu'un module de surveillance[3]. Cela inclut des modules tels que Solarcheck qui peuvent être utilisés pour surveiller les lignes photovoltaïques. De plus, il existe des systèmes disponibles qui offrent une surveillance flexible à la fois localement (sur l'écran) ou à distance sur le Web, avec des fonctionnalités telles qu'une navigation intuitive et des alarmes en cas de perte d'efficacité[11]. Ces systèmes permettent également aux utilisateurs de contrôler leurs installations de n'importe où à l'aide d'une application ou d'un appareil mobile.

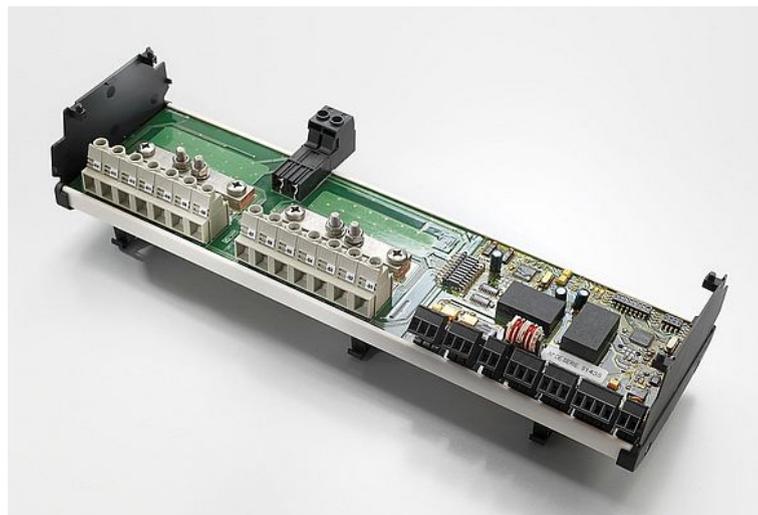


FIGURE I.20 – Systèmes de surveillance

## I.7.2 Exemples de systèmes photovoltaïques connectés

Les systèmes photovoltaïques connectés sont des systèmes qui permettent de convertir l'énergie solaire en électricité et de la stocker dans des batteries. Ces systèmes sont connectés à un réseau électrique et peuvent être contrôlés à distance. Ils peuvent être utilisés pour alimenter des maisons, des entreprises ou des installations industrielles.

### I.7.2-a Exemple 1 :

Système photovoltaïque connecté à un onduleur : un système photovoltaïque connecté à un onduleur est un système qui convertit l'énergie solaire en électricité et la transmet au réseau électrique. L'onduleur est un dispositif qui permet de contrôler le flux d'énergie entre le système photovoltaïque et le réseau électrique.



FIGURE I.21 – Système photovoltaïque connecté à un onduleur

### I.7.2-b Exemple 2 :

Système photovoltaïque connecté à un réseau intelligent : un système photovoltaïque connecté à un réseau intelligent est un système qui permet aux producteurs d'énergie solaire de communiquer avec le réseau électrique. Le réseau intelligent peut surveiller et contrôler le flux d'énergie entre le système photovoltaïque et le réseau électrique, ce qui permet aux producteurs d'énergie solaire de maximiser leur production et leur retour sur investissement.

## GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

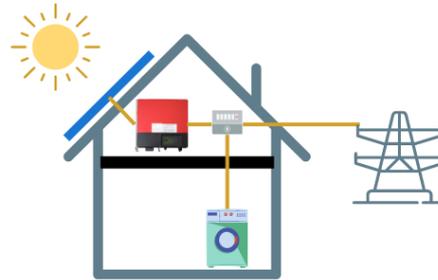


FIGURE I.22 – Système photovoltaïque connecté à un réseau intelligent

## I.8 Conclusion

Après avoir étudié les différents aspects de la conversion photovoltaïque, il est clair que l'énergie solaire est une source d'énergie renouvelable importante pour l'avenir. L'effet photovoltaïque et le principe de la cellule photovoltaïque sont des concepts clés dans la compréhension de la technologie des cellules photovoltaïques. Les différents types de cellules photovoltaïques, ainsi que leur modélisation et leurs caractéristiques, montrent la complexité de cette technologie. Le générateur photovoltaïque est un exemple de la mise en œuvre de cette technologie pour la production d'énergie solaire. Les facteurs influençant le fonctionnement des systèmes photovoltaïques sont nombreux, mais l'architecture des systèmes photovoltaïques, tels que l'onduleur centralisé versus micro-onduleur, peut influencer considérablement leur performance. Enfin, l'autoconsommation énergétique et les systèmes de surveillance des installations photovoltaïques connectées sont des domaines en pleine expansion qui permettent une utilisation plus efficace de l'énergie solaire.

En conclusion, la technologie photovoltaïque a un potentiel énorme pour répondre aux besoins énergétiques de la société tout en réduisant notre impact environnemental.

## Chapitre II

---

# Description, conception matérielle et visualisation sur une page Web

### SOMMAIRE

---

II.1 INTRODUCTION . . . . .	28
II.2 CAHIER DES CHARGES . . . . .	28
II.3 STRUCTURE ET FONCTIONNALITÉS . . . . .	29
II.4 CONCEPTION MATÉRIELLE . . . . .	31
II.4.1 Module de développement ESP32 . . . . .	31
II.4.2 Capteurs de tension et de courant . . . . .	37
II.4.3 Circuit de mesure pour tension et courant . . . . .	38
II.4.4 Circuit de raccordement à l'ESP32 . . . . .	40
II.4.5 Circuit d'alimentation . . . . .	40
II.4.6 Réalisation pratique . . . . .	42
II.5 CONCEPTION LOGICIELLE . . . . .	44
II.5.1 Calcul des valeurs efficaces et des puissances . . . . .	45
II.5.2 Code . . . . .	47
II.6 RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS . . . . .	48
II.6.1 Résultats sur Page Web . . . . .	48
II.6.2 Interprétation . . . . .	50
II.7 CONCLUSION . . . . .	51

---

## II.1 Introduction

Dans un monde où la connectivité et l'énergie solaire sont de plus en plus importants, les routeurs solaires sont devenus une solution attrayante pour fournir une connectivité Internet dans des régions éloignées ou des zones où l'alimentation électrique traditionnelle n'est pas facilement disponible. Un aspect crucial de la surveillance et de l'optimisation des performances des routeurs solaires est la mesure de la puissance générée par les panneaux solaires pour garantir un fonctionnement efficace et une utilisation maximale de l'énergie solaire.

Dans cette introduction, nous explorerons l'utilisation d'un ESP32, un microcontrôleur polyvalent, pour mesurer la puissance des panneaux solaires d'un routeur solaire. L'ESP32 est un choix populaire en raison de sa connectivité Wi-Fi intégrée, de ses capacités de traitement et de son faible coût. En utilisant cet ESP32, nous pourrions collecter différentes mesures, telles que la tension et le courant, afin de surveiller la puissance solaire générée.

Une fois que nous avons collecté ces mesures, nous pouvons les afficher sur un petit serveur Web intégré dans l'ESP32. Cela permettra une visualisation en temps réel des données de puissance, offrant ainsi une transparence et une compréhension plus approfondie du fonctionnement du routeur solaire. Les utilisateurs pourront accéder à l'interface Web depuis un navigateur sur leur appareil connecté et surveiller les performances du routeur solaire.

Dans ce chapitre, nous explorerons les étapes nécessaires pour mesurer la puissance solaire à l'aide de l'ESP32, la manière d'afficher les données sur un serveur Web intégré et les avantages que cela peut apporter à la gestion des routeurs solaires.

## II.2 Cahier des charges

Pour un projet de mesure de puissance solaire avec un ESP32 et l'affichage des données sur un serveur Web :

1. Objectif du projet :
  - Mesurer la puissance générée par les panneaux solaires d'un routeur solaire à l'aide d'un ESP32.
  - Afficher les mesures de tension, de courant et de puissance sur un petit serveur Web intégré dans l'ESP32.
  - Permettre aux utilisateurs d'accéder à l'interface Web depuis un navigateur et de surveiller les performances du routeur solaire en temps réel.
2. Spécifications techniques :
  - Utilisation d'un ESP32 comme microcontrôleur principal pour collecter les mesures de tension et de courant des panneaux solaires.
  - Utilisation de capteurs appropriés pour mesurer la tension et le courant avec précision.
  - Programmation de l'ESP32 pour calculer la puissance en utilisant les mesures de tension et de courant.

- Configuration d'un serveur Web intégré sur l'ESP32 pour afficher les données de puissance en temps réel.
  - Interface utilisateur simple et conviviale sur l'interface Web pour afficher les mesures de puissance.
3. Fonctionnalités :
- Mesure précise de la tension et du courant des panneaux solaires.
  - Calcul en temps réel de la puissance générée par les panneaux solaires.
  - Affichage des mesures de puissance sur une interface Web.
  - Rafraîchissement régulier des données pour une visualisation en temps réel.
  - Possibilité de configurer des seuils de puissance pour des alertes.
  - Compatibilité avec différents navigateurs Web pour un accès facile.
4. Contraintes :
- Alimentation électrique fournie par les panneaux solaires et une batterie intégrée à l'ESP32 pour une utilisation autonome.
  - Utilisation de capteurs de tension et de courant adaptés aux spécifications des panneaux solaires.
  - Respect des normes de sécurité électrique lors de la manipulation des composants électroniques.
5. Livrables attendus :
- Schéma de connexion et de montage des composants.
  - Code source du programme ESP32 pour mesurer la puissance solaire.
  - Interface Web fonctionnelle pour afficher les mesures de puissance.
  - Documentation détaillée sur l'installation, la configuration et l'utilisation du système.

N'oubliez pas d'adapter ce cahier des charges en fonction de vos besoins spécifiques et des contraintes techniques auxquelles vous pourriez être confronté.

## II.3 Structure et fonctionnalités

Alors les puissances en va dites c'est la tension multiplie par le courant  $P = U \cdot I$ .

Pour mesure les tensions en prendre un transformateur abaisseur de tension par exemple 230V vers 6V



FIGURE II.1 – Transformateur àbaisseur de tension 220V/6V

Pour mesurer les courants on prend un pince ampérométrique de types par exemple 100A qui passe au centre sur le fil de phase en va fournir 50 mA ce que n'appelle également transformateur de courant.



FIGURE II.2 – Transformateur de courant 100A/50mA

Ceci va être contrôlé par ce que appelle microcontrôleur, ici on va prendre ESP32 c'est un petit système microcontrôleur intéressant par ce qu'il permet de mesurer des tensions analogiques sur 12 bits qui a implémenté dessus un petit serveur web qui va ne fournir sur notre téléphone par exemple ou sur un pc et bien les informations mesurées par notre système.



FIGURE II.3 – ESP32 Wroom Devkit Full Pinout

On y rajoute également dans les fonctionnalités la possibilité d'actionner des relais parce que en cas de surproduction il est très intéressant de commuter un relais qui va enclencher un système pour consommer l'excès de production que l'on a.

## II.4 Conception matérielle

Pour réaliser le routeur Solaire pour mesuré la puissance avec un ESP32, il faut les matériels suivants :

### II.4.1 Module de développement ESP32

L'ESP32 est une famille de microcontrôleurs sur puce à faible coût et à faible consommation d'énergie avec Wi-Fi intégré et Bluetooth bimode. La série ESP32 comprend des versions double cur et monocur du microprocesseur Tensilica Xtensa LX6, y compris des commutateurs d'antenne intégrés, des baluns RF, des amplificateurs de puissance, des amplificateurs de réception à faible bruit, des filtres et une gestion de l'alimentation du module. ESP32 a été créé et développé par Espressif Systems et fabriqué par TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) en utilisant leur procédé 40nm [33].

L'ESP32 a été lancé pour la première fois par Expressif System en septembre 2016 pour environ 5 [33].

#### II.4.1-a Description de la carte ESP32 WROOM

La carte ESP-WROOM-32 est l'une de meilleure carte de prototypage de la famille NODEMCU8266, et cela pour sa petite taille, son faible coût et sa faible consommation d'énergie, elle est dotée des modules de communication sans fil WI-FI et Bluetooth, elle permet d'implémenter une grande variété d'application comme les réseaux de capteurs à faible consommation et l'encodage vocal [28].

Au cœur de ce module se trouve la puce ESP32, conçue pour être évolutive et adaptative. ESP32 intègre un riche ensemble de périphériques, allant du capteur tactile capacitif, capteurs à effet Hall, amplificateurs de détection à faible bruit, interface de carte SD, Ethernet, SDIO/SPI haute vitesse, UART, I2S et I2C. Le courant de veille de la puce ESP32 est inférieur à 5 A. ESP-WROOM-32 prend en charge des débits de données jusqu'à 150 Mbps, En tant que telle, la puce offre le meilleur de l'industrie et les meilleures performances optimisées pour l'intégration électronique [44].

#### II.4.1-b Caractéristiques de la carte ESP 32 WROOM

Le dispositif utilise la norme de 802,11b/g/n permettant un débit allant jusqu'à 150 Mbps, pour le Bluetooth, la norme utilisé est 4.2. Il dispose d'un capteur Hall et un capteur de température. L'alimentation doit être entre 2,7 et 3,6 Volt. Le courant moyen est de 80 mA, et il supporte la pile de protocole TCP/IPv4, v6 avec SSL [15].

Il dispose 520 Kb de RAM dont 8Kb réservée pour le module RTC et 8Ko de mémoire EEPROM pour stocker des données durant le fonctionnement.

Le module ESP32-WROOM contient 4Mo de mémoire flash pour le programme accessible par le code. Il existe différents modèles. Le module ESP32WROOM est soudé sur la plaquette de développement.

On appelle ce que l'on voit sur les côté castillation c'est essentiellement la bordure de la plaquette de PCB du module qui est faite des demi trous plaqués et on soude chacun de ces petites trous par la plaquette principale, on nomme ça des castillassions [15], présenter dans le tableau II.1.

TABLE II.1 – Caractéristiques techniques de la carte ESP-WROOM-32

Microcontrôleur	ESP32-S
Tension de fonctionnement	3-5 V
Pins I /O digitales	18
Pinces d'E / S numériques PWM	16
Pins output Analogiques	2
Courant DC pour la broche 3.3V	50 mA
SRAM	512 kB
Mémoire Flash	16 MB
fréquence de l'horloge	Jusqu'à 240 MHz
Wi-Fi	802.11 b/g/n

### II.4.1-c Pins de la carte ESP32 WROOM

Découvrez au sein d'une même page toutes les informations pertinentes sur le pinout de l'ESP32 afin d'utiliser correctement ces pins GPIO pour votre projet d'électronique DIY. Même s'il existe de nombreuses variations de cartes ESP32, le fonctionnement des pins reste le même. Par contre, il se peut que certaines broches ne soient pas accessibles en fonction de votre modèle [4].

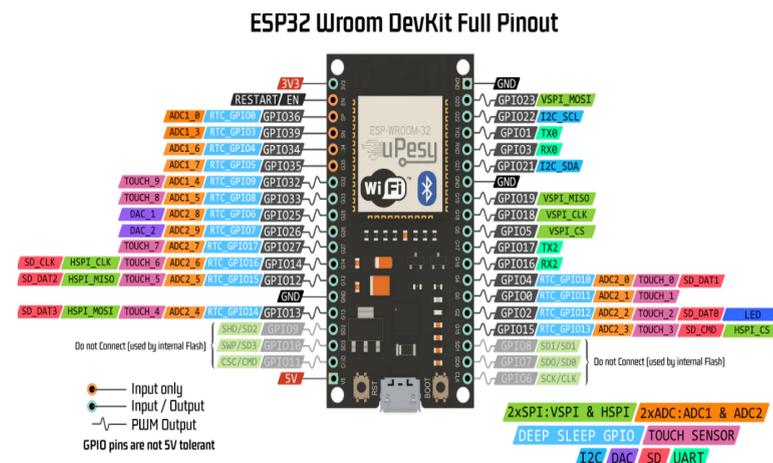


FIGURE II.4 – ESP32 Wroom Devkit Full Pinout [5]

### II.4.1-d Fonctionnement de certaines broches de l'ESP32

Le but est de nous informer sur les limitations de certaines broches GPIO de l'ESP32 afin d'éviter des mauvaises surprises dans nos projets ou des erreurs incompréhensibles dans nos programmes. [21] .

Les cartes de développement basées sur ESP32 ont généralement 33 broches en plus de l'alimentation. Certaines broches GPIO ont des fonctions spécifiques [21] :

Si votre carte ESP32 possède des broches GPIO6, GPIO7, GPIO8, GPIO9, GPIO10, GPIO11, elles ne doivent pas être utilisées car elles sont liées à la mémoire flash de l'ESP32 : si elles sont utilisées, l'ESP32 ne fonctionnera pas [21].

**Convertisseur Analogique-Numérique (Analog to Digital Converter : ADC)** La carte intègre des ADC SAR 12 bits et prend en charge les mesures sur 15 canaux (broches compatibles analogiques). Certaines de ces broches peuvent être utilisées pour construire un amplificateur à gain programmable qui est utilisé pour la mesure de petits signaux analogiques [37].

L'ESP32 est également conçu pour mesurer les tensions tout en fonctionnant en mode veille [37].

**Convertisseur Numérique-Analogique : DAC)** La carte dispose de deux canaux DAC 8 bits pour convertir les signaux numériques en véritables tensions analogiques. Ce double DAC peut piloter d'autres circuits [37].

**SPI (Serial Peripheral Interface)** ESP32 dispose de trois SPI (SPI, HSPI et VSPI) en modes esclave et maître. Ces SPI prennent également en charge les fonctionnalités SPI générales suivantes : 4 modes de synchronisation du transfert au format SPI. Jusqu'à 80 *MHz* et les horloges divisées de 80 *MHz*. FIFO jusqu'à 64 octets. Tous les SPI peuvent également être utilisés pour se connecter au Flash/SRAM externe et à l'écran LCD [37].

**I2C (Inter-Integrated Circuit)** L'ESP32 dispose de deux interfaces I2C (Inter-Integrated Circuit) qui sont marquées sur le module avec les noms SDA et SCL.

Voici les broches correspondantes de l'ESP32 pour chaque interface I2C :

- **Interface I2C 0 :**
  - \* SDA : GPIO 21
  - \* SCL : GPIO 22
- **Interface I2C 1 :**
  - \* SDA : GPIO 17
  - \* SCL : GPIO 16

Il est important de noter que ces broches peuvent varier selon le fabricant du module ESP32 que vous utilisez, ou selon la configuration que vous avez définie dans votre code. Assurez-vous donc de vérifier la documentation de votre module ou votre code pour connaître les broches exactes utilisées pour les interfaces I2C.

De plus, il est important de connecter les broches SDA et SCL aux broches correspondantes de l'appareil I2C que vous souhaitez contrôler. Assurez-vous également que les niveaux de tension sont compatibles entre l'ESP32 et l'appareil I2C, et utilisez les résistances de tirage appropriées sur les lignes SDA et SCL si nécessaire.

**PWM (Pulse Width Modulation) :**

La carte dispose de 25 canaux (presque toutes les broches GPIO) de broches PWM contrôlées par le contrôleur de modulation de largeur d'impulsion (PWM). La sortie PWM peut être utilisée pour piloter des moteurs numériques et des LED. Le contrôleur se compose de temporisateurs PWM et de l'opérateur PWM. Chaque temporisateur fournit une synchronisation sous forme synchrone ou indépendante, et chaque opérateur PWM génère la forme d'onde pour un canal PWM [37].

**II.4.1-e Outil de développement Arduino-IDE**

L'IDE Arduino (Integrated Development Environment) est un outil de développement open-source utilisé pour programmer des cartes de développement basées sur des microcontrôleurs Arduino. Il fournit une interface graphique conviviale pour écrire, télécharger et déboguer le code Arduino.

L'IDE Arduino est un outil de développement essentiel pour les projets basés sur des microcontrôleurs Arduino, offrant une interface conviviale pour écrire, télécharger et déboguer le code, ainsi qu'une grande variété de cartes de développement et de bibliothèques tierces pour étendre ses fonctionnalités..

**II.4.1-f Interruptions externes**

L'ESP32 peut être soumis à diverses interruptions externes pour déclencher des actions en réponse à des événements spécifiques.

Voici quelques exemples d'interruptions externes que l'ESP32 peut gérer :

1. **Interruptions de broches d'E/S** : L'ESP32 dispose de plusieurs broches d'E/S qui peuvent être configurées comme entrées ou sorties. Les interruptions peuvent être configurées pour être déclenchées lorsqu'une broche d'E/S spécifique change d'état (par exemple, de haut à bas ou de bas à haut).
2. **Interruptions de temps** : L'ESP32 dispose d'un compteur de temps intégré qui peut être utilisé pour déclencher des interruptions à des intervalles de temps spécifiques. Cela peut être utile pour des applications de minuterie ou pour effectuer des tâches périodiques.
3. **Interruptions de communication** : L'ESP32 dispose de plusieurs interfaces de communication, y compris UART, SPI et I2C. Les interruptions peuvent être configurées pour être déclenchées lorsqu'un événement de communication spécifique se produit, comme la réception d'un caractère sur une interface UART.
4. **Interruptions de veille** : L'ESP32 dispose de plusieurs modes de veille qui peuvent être utilisés pour économiser l'énergie. Les interruptions peuvent être configurées pour sortir l'ESP32 de son mode de veille lorsqu'un événement spécifique se produit, comme la réception d'un signal sur une broche d'E/S.

La gestion des interruptions externes est effectuée par le noyau du système de l'ESP32, qui peut être programmé en utilisant le langage de programmation C/C++. Les interruptions

peuvent être configurées en utilisant les fonctions d'interruption de broche, de minuterie, de communication ou de veille appropriées fournies par l'ESP32 SDK.

#### II.4.1-g Timers et alarmes

L'ESP32 dispose également d'un système de temporisation et d'alarme intégré qui peut être utilisé pour programmer des événements périodiques ou uniques.

Voici comment utiliser les timers et les alarmes de l'ESP32 :

##### 1. Configuration d'un timer :

L'ESP32 dispose de 4 timers matériels qui peuvent être configurés pour déclencher une interruption après une période définie. Voici les étapes à suivre pour configurer un timer :

- sélectionnez le numéro de timer que vous souhaitez utiliser (0 à 3) ;
- initialisez le timer avec la fonction `timerBegin()` ;
- configurez la période du timer avec la fonction `timerAlarmWrite()` ;
- attachez une fonction de rappel (callback) à l'interruption du timer avec la fonction `timerAttachInterrupt()` ;
- Activez le timer avec la fonction `timerAlarmEnable()`.

##### 2. Configuration d'une alarme :

L'ESP32 dispose également d'un système d'alarme intégré qui peut être utilisé pour programmer des événements uniques ou récurrents. Voici les étapes à suivre pour configurer une alarme :

- initialisez l'alarme avec la fonction `alarmeBegin()` ;
- configurez l'heure à laquelle l'alarme doit se déclencher avec la fonction `alarmWrite()` ;
- attachez une fonction de rappel (callback) à l'interruption de l'alarme avec la fonction `alarmAttachInterrupt()` ;
- Activez l'alarme avec la fonction `alarmEnable()`.

#### II.4.1-h Connection WiFi

Le module ESP32 est intégré d'une connectivité Wifi lui permettant d'envoyer en temps réel, le module est constitué principalement d'un microprocesseur dont celui-ci se comporte comme un arduino, pour cette raison on peut le programmer à travers le logiciel arduino [43].

Pour téléverser le programme de l'ordinateur vers l'ESP32 une première étape consiste à connecter le module à un PC par l'intermédiaire d'un programmeur.

Hébergé d'un serveur web le module ESP32 est capable de créer son propre réseau Wifi ce qui lui permet l'autonomie de générer une connexion et envoyer à n'importe quel endroit [43] .

Pour se connecter à un réseau Wi-Fi avec l'ESP32, vous pouvez utiliser la bibliothèque WiFi.h qui est incluse dans l'IDE Arduino. Voici les étapes à suivre :

1. Inclure la bibliothèque WiFi.h dans votre code :  
`include <WiFi.h>`
2. Définir les informations du réseau Wi-Fi :  
`const char* ssid = "nom du reseau wifi";`  
`const char* password = "mot de passe du reseau wifi";`
3. Initialiser la connexion Wi-Fi :  
`WiFi.begin(ssid, password);`
4. Attendre que la connexion soit établie :  
`while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)`  
`delay(1000);`  
`Serial.println("Connexion en cours au Wi-Fi...");`
5. Afficher l'adresse IP attribuée au module ESP32 :  
`Serial.println("Connexion Wi-Fi établie!");`  
`Serial.print("Adresse IP : ");`  
`Serial.println(WiFi.localIP());`
6. Vous pouvez maintenant utiliser la connexion Wi-Fi pour envoyer ou recevoir des données

#### II.4.1-i Modes économie d'énergie de l'ESP32

L'ESP32 est un microcontrôleur très populaire qui est utilisé dans de nombreuses applications, y compris l'IoT (Internet des objets). Il est connu pour sa faible consommation d'énergie, ce qui le rend idéal pour les appareils alimentés par batterie. Pour économiser encore plus d'énergie, l'ESP32 dispose de différents modes économie d'énergie. Voici une liste de ces modes :

1. **Modèle actif** : Lorsque l'ESP32 est en mode actif, il fonctionne à pleine vitesse et consomme le plus d'énergie. C'est le mode par défaut [29].
2. **Modèle sommeil** : Dans ce mode, l'ESP32 est en veille et consomme très peu d'énergie. Cependant, il est toujours capable de réagir aux interruptions et de sortir du mode sommeil.
3. **Modèle sommeil profond** : Dans ce mode, l'ESP32 consomme encore moins d'énergie que dans le mode sommeil. Cependant, il ne peut pas réagir aux interruptions et doit être réinitialisé pour sortir de ce mode.
4. **Modèle hibernation** : Ce mode est similaire au mode sommeil profond, mais il utilise encore moins d'énergie. Cependant, il nécessite plus de temps pour sortir du mode hibernation et récupérer toutes les données [29].
5. **Modèle modem-sommeil** : Dans ce mode, seul le sous-système Wi-Fi est en veille, tandis que le reste du système reste actif. Cela permet à l'ESP32 de répondre rapidement aux demandes du Wi-Fi tout en économisant de l'énergie.

## II.4.2 Capteurs de tension et de courant

Les capteurs de tension et de courant jouent un rôle essentiel dans de nombreux systèmes électriques et électroniques.

Ils permettent de mesurer avec précision la tension et le courant présents dans un circuit, ce qui est crucial pour la surveillance, le contrôle et la protection des équipements électriques.

les capteurs de tension et de courant, tels que le transformateur de tension 220V/6V et le transformateur de courant 100A/50mA, sont des composants essentiels pour mesurer et contrôler la tension et le courant dans les systèmes électriques. Ils permettent de garantir un fonctionnement sûr et efficace des équipements électriques, en fournissant des mesures précises et fiables.

### II.4.2-a Capteur de la tension alternative (Transformateur abaisseur de tension)

Un transformateur 220V/6V est un dispositif qui permet de transformer la tension secteur de 220V en une tension de 6V, généralement utilisée pour alimenter des appareils électroniques basse tension [II.3](#).

On a utilisé un diviseur de tension au niveau de primaire pour abaisser la tension de réseau électrique et la comparer sa phase avec la tension du secondaire. Ensuite on a utilisé un filtre passe bas avec un potentiomètre réglable pour corriger le déphasage entre la tension abaissée et la tension de sortie au niveau du transformateur [\[5\]](#).

### II.4.2-b Capteur du courant alternatif (SCT-013-000)

La série SCT013 est un capteur basé sur un transformateur de courant [II.2](#). Ils mesurent l'intensité du courant traversant un conducteur sans couper ou modifier le conducteur lui-même. L'image miroir du courant fourni est proportionnelle à l'intensité du primaire. La mesure est effectuée par induction électromagnétique.

Le capteur SCT013 a un noyau divisé (comme un clip). Idéal pour l'éclairage, les moteurs à courant alternatif, la mesure de courant et la protection contre les surintensités. Applicable aux circuits déjà réalisés [\[6\]](#).

Le SCT-013-000 fonctionne en mesurant le courant alternatif qui passe à travers le conducteur. Il est conçu pour mesurer des courants allant jusqu'à 100 A avec une sortie de 50 mA à pleine échelle. Le capteur est doté d'un noyau de fer doux qui permet de concentrer les lignes de champ magnétique autour du conducteur traversant le capteur, créant ainsi une tension proportionnelle au courant qui peut être mesurée par un circuit électronique. Le SCT-013-000 est facile à utiliser et peut être connecté directement à un module de traitement de signal pour convertir la sortie en une valeur de courant lisible par l'utilisateur. Cependant, il est important de noter que le capteur SCT-013-000 ne doit pas être utilisé pour mesurer des courants continus, car cela pourrait endommager le capteur.

### II.4.3 Circuit de mesure pour tension et courant

La mesure de 2 tensions représentant le courant et la tension d'alimentation se fait par l'entrée analogique de l'ESP32. Ces entrées acceptent des tensions comprises entre 0 et 3.3V et numérisent la valeur sur 12 bits avec des valeurs comprises entre 0 et 4095. Pour s'adapter à la dynamique d'entrée, créez une référence de tension/2 au milieu de la plage  $1,65\text{ V} = 3,3\text{ V} / 2$  [5].

Nous obtenons 3,3 V de l'ESP32, via un pont composé de 2 résistances de 4700 ohms à la masse (R6 et R7), nous donnant une tension de référence de 1,65 V au milieu. Pour éviter le bruit de mesure, un condensateur de 470 uF (C2) filtre 3,3 V et un autre de 10 uF (C1) filtre le point médian de 1,65 V [5].

Afin de ne pas dépasser le signal mesuré de 3,3V crête à crête ou 1,65V crête, nous fixons une limite efficace maximale de  $\pm 1\text{V}$  [5]. Pour une sonde de courant avec 80A et une résistance de 24 ohms, on obtient environ 1V.

$$24 * \frac{80}{2000} = 0.96\text{V}$$

Chez moi, souscrivant à 12KVA, je ne devrais pas dépasser 60A.

Pour la mesure de tension, il faut mettre un pont de résistances (R4 et R5) pour abaisser le 6V autour de 1V efficace.

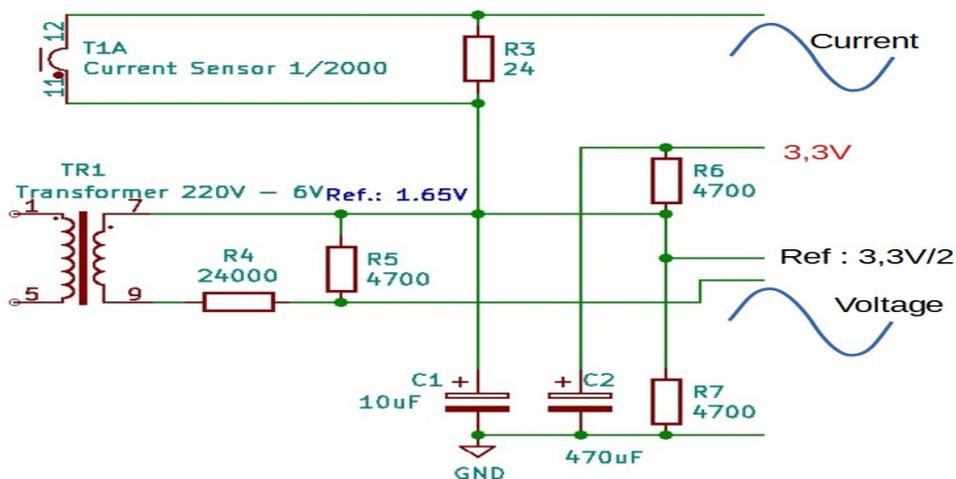


FIGURE II.5 – Circuit de raccordement de esp32 [5]

#### II.4.3-a Circuit de mesure de la tension alternative

Pour mesurer la tension alternative du réseau, nous utiliserons ce circuit connecté à une entrée ADC du module Master ou d'un Arduino [42].

Le circuit de mesure de la tension alternative décrit dans le contexte utilise un pont de résistances pour abaisser une tension de 6V à environ 1V efficace, afin de respecter la limite maximale de  $\pm 1\text{V}$  établie pour la mesure sur l'ESP32.

Le pont de résistances est composé de deux résistances, R4 et R5, qui sont connectées en série avec la source de tension alternative.

Dans ce cas, la tension alternative de 6V est abaissée à environ 1V efficace. La valeur précise de tension dépendra des valeurs spécifiques des résistances utilisées dans le pont.

Dans ce cas, les valeurs des résistances R4 et R5 sont déterminées de manière à abaisser la tension alternative de 6V à environ 1V efficace, compte tenu des autres contraintes du système. Il est important de noter que le choix des valeurs de résistance doit prendre en compte la puissance dissipée par les résistances et les limitations du composant de mesure utilisé.

#### II.4.3-b Circuit de mesure du courant alternatif

Pour mesurer le courant alternatif total (près du wattmètre) ou le courant fourni à l'utilisateur (appareils électroménagers, moteurs, PC, chargeurs de batterie, etc.), utilisez un transformateur de courant, connecté à l'entrée ADC du module principal ou au Arduino, à travers ce circuit [42].

Le circuit de mesure du courant alternatif nécessite l'utilisation d'une sonde de courant appropriée, telle qu'un transformateur de courant, pour convertir le courant alternatif en une tension mesurable. Le courant alternatif traversant le conducteur induit un champ magnétique dans le noyau, ce qui entraîne l'apparition d'une tension proportionnelle sur les enroulements secondaires du transformateur. La tension induite sur les enroulements secondaires du transformateur de courant est ensuite adaptée pour être mesurée par l'ESP32. Il est donc nécessaire de convertir la tension induite par le transformateur de courant en une plage compatible avec les entrées de l'ESP32.

Le pont diviseur est composé de résistances appropriées qui permettent d'ajuster la tension mesurée pour correspondre à la plage acceptable par l'ESP32. En utilisant les valeurs appropriées de résistance, on peut obtenir une tension proportionnelle au courant alternatif mesuré dans une plage acceptable. En résumé, le circuit de mesure du courant alternatif utilise un transformateur de courant pour convertir le courant alternatif en une tension mesurable. Cette tension est ensuite adaptée à la plage acceptable par l'ESP32 en utilisant un pont diviseur de tension.

Le trou dans le transformateur ne doit laisser passer qu'un seul fil comme illustré la photo gauche. Au lieu d'un cordon d'alimentation complet, il se compose de deux ou trois fils, comme le montre la photo de droite [42].

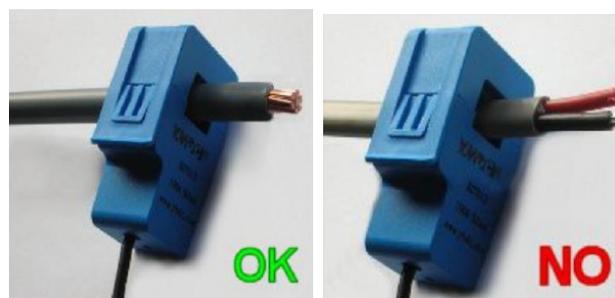


FIGURE II.6 – Capteur de mesure de courant alternatif

### II.4.4 Circuit de raccordement à l'ESP32

La chasse au trésor avec ces cartes intégrées ESP32 est pour trouver les GPIO disponibles, pas pour la programmation flash etc [5].

Dans notre cas nous mesurons les tensions suivantes :

- \* **GPIO 35** : La tension de référence théorique est de 1,65V.
- \* **GPIO 33** : Représente la tension du courant à mesurer.
- \* **GPIO 32** : tension de sortie du transformateur.

Les 2 LED sur GPIO 18 et 19 clignotent toutes les 2 secondes. C'est jaune si on consomme du courant, vert si on en fournit, parce qu'on est en surproduction [5].

2 relais statiques sur GPIO 22 et 23 permettent :

allumer les lumières de la pièce commandée par l'interrupteur sur GPIO 05,

Activer le relais de puissance de démarrage du chauffe-eau en cas de génération de puissance élevée [42].

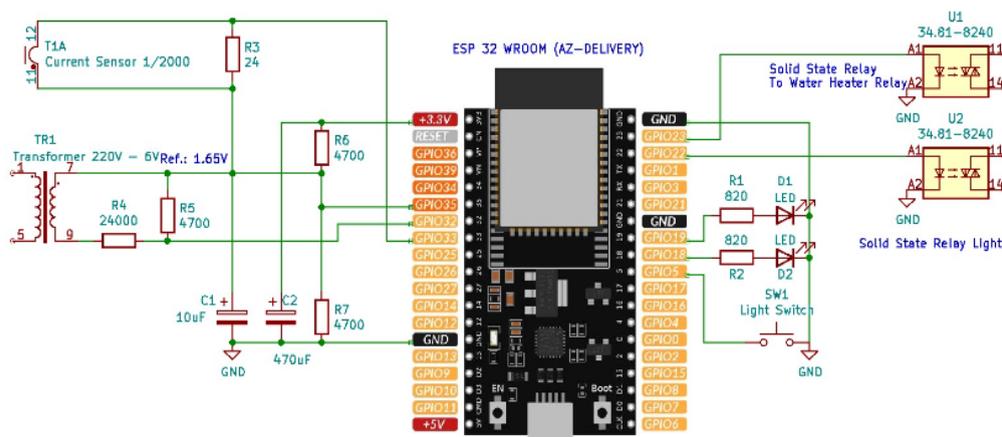


FIGURE II.7 – Circuit de raccordement de esp32 [5]

### II.4.5 Circuit d'alimentation

Le circuit d'alimentation de notre projet comprend un ESP32 et utilise plusieurs broches GPIO pour différentes fonctions. Voici une explication plus détaillée de chaque élément du circuit :

1. **Tension de référence (GPIO 35)** : La broche GPIO 35 est utilisée comme tension de référence, théoriquement fixée à 1,65V. Cette tension de référence fournit une valeur de tension stable utilisée pour d'autres mesures ou opérations dans le circuit.
2. **Tension représentant le courant à mesurer (GPIO 33)** : La broche GPIO 33 est utilisée pour mesurer le courant. La tension présente sur cette broche est utilisée pour représenter le courant mesuré. En mesurant cette tension, vous pouvez obtenir une indication de la valeur du courant dans le circuit.

- 3. Tension en sortie du transformateur (GPIO 32) :** La broche GPIO 32 est utilisée pour mesurer la tension en sortie du transformateur. Cette broche vous donne une indication de la tension de sortie du transformateur utilisé dans le circuit.

En ce qui concerne les LED et les relais, voici leur fonctionnement :

Deux LED sont connectées aux broches GPIO 18 et 19. Ces LED clignotent toutes les 2 secondes. La LED jaune indique la consommation de courant, ce qui signifie qu'elle s'allume lorsque du courant est prélevé dans le circuit. En revanche, la LED verte indique la surproduction de courant, ce qui signifie qu'elle s'allume lorsque le circuit fournit plus de courant qu'il n'en consomme.

Deux relais solides sont connectés aux broches GPIO 22 et 23. Ces relais permettent d'accomplir les tâches suivantes :

Allumer une lumière dans le local : L'un des relais est utilisé pour contrôler l'alimentation d'une lumière dans un local spécifique. Il est commandé par l'interrupteur connecté à la broche GPIO 05.

Exciter le relais de puissance du chauffe-eau : L'autre relais est utilisé pour exciter le relais de puissance responsable de la mise en marche du chauffe-eau. Il est activé en cas de production importante d'électricité.

En résumé, le circuit d'alimentation de notre projet utilise les broches GPIO de l'ESP32 pour mesurer des tensions, contrôler des LED clignotantes et activer des relais pour allumer une lumière ou démarrer un chauffe-eau en fonction de la consommation ou de la surproduction d'électricité.

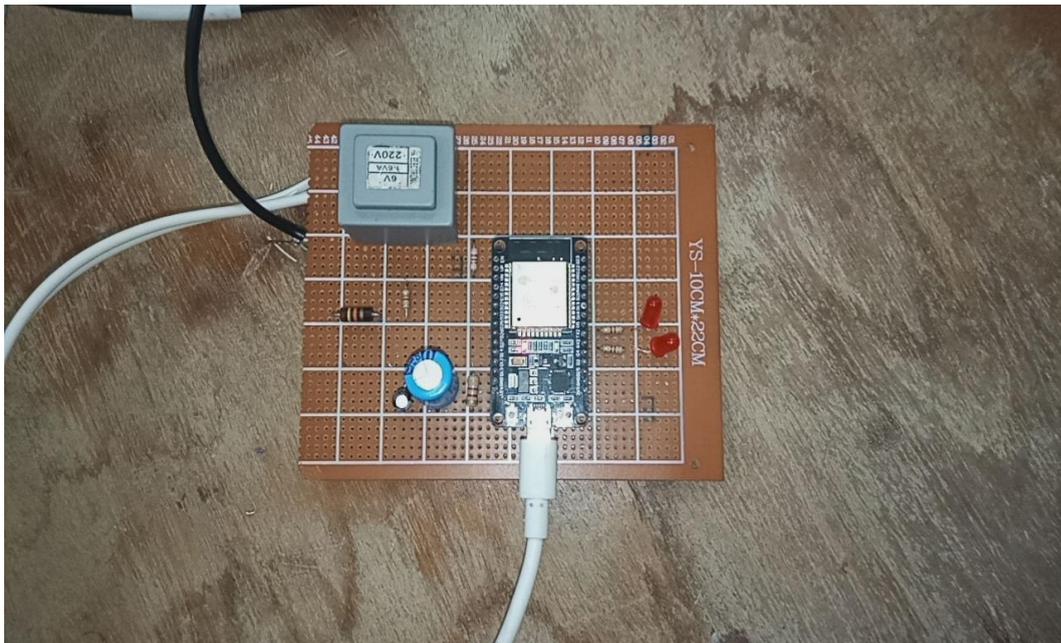


FIGURE II.8 – Circuit d'alimentation

## II.4.6 Réalisation pratique

Après avoir une vue générale et le cahier de charge du projet, il faut passer à la réalisation et la programmation sans oublier les tests et essais pour évaluer la réalisation.

### II.4.6-a Matériel requis

- Circuit d'alimentation
- Un Voltmètre
- Un Ampèremètre
- Une alimentation 230 V
- Une charge résistive
- Des fils de connexion

On alimente le circuit avec une alimentation de 230V provenant du laboratoire de recherche.

### II.4.6-b Montage et connexions électriques

On alimente le circuit avec une alimentation de 230V provenant du laboratoire de recherche.



FIGURE II.9 – Test de la réalisation pratique

### II.4.6-c Fonctionnement avec le circuit d'alimentation

1. **Charge résistive** : Dans le cadre de notre projet, j'ai l'intention d'utiliser une charge résistive portative fonctionnant à 80% de sa capacité. Cette charge sera utilisée pour simuler une consommation électrique réduite, tout en maintenant les paramètres électriques nécessaires à mes tests et vérifications de sécurité.



FIGURE II.10 – Charge résistive monophasé

#### 2. Réglage fin de la valeur "Voltage coeff." :

- Connecter un voltmètre (ou testeur) en parallèle à l'entrée du circuit de mesure de tension.
- Le voltmètre doit être réglé en courant alternatif pour les mesures de courant alternatif et sa pleine échelle doit être adaptée à la tension à mesurer.
- Ajustez cette valeur jusqu'à ce que la valeur "Voltage" ou "Tension RMS" affiche la même tension que celle indiquée par le voltmètre. Si les tensions évoluent avec le temps, essayez de les régler de manière assez similaire. Une tolérance d'un pour cent est déjà bonne.

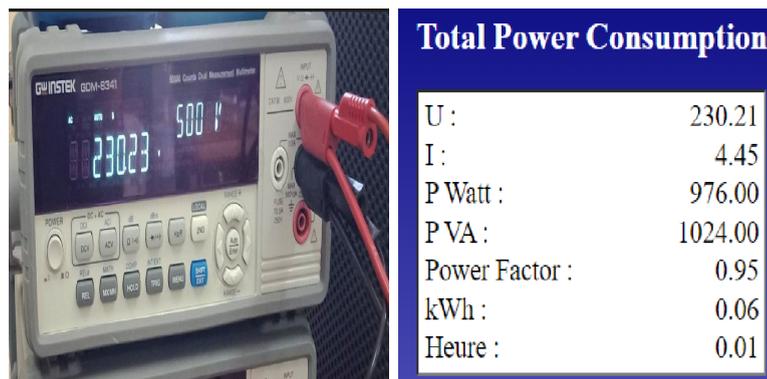


FIGURE II.11 – Valeur de tension affichée comparée avec le voltmètre

### 3. Réglage fin de la valeur "Current coeff."

- Connecter un ampèremètre (ou testeur) en série avec l'entrée du circuit de mesure de courant.

Attention : en série, pas en parallèle, sinon vous ferez un court-circuit dangereux.

- L'ampèremètre doit être réglé sur AC pour les mesures de courant alternatif et sa pleine échelle doit être adaptée au courant à mesurer.
- Connectez une charge importante en série entre le circuit de mesure et l'ampère-mètre. Attention : tous en série les uns avec les autres. La charge doit être résistive et au moins à moitié pleine échelle.
- Ajustez cette valeur jusqu'à ce que la case "Courant" ou "Courant RMS" affiche la même tension indiquée par l'ampère-mètre. Si le courant change avec le temps, essayez de les régler de manière assez similaire. Une tolérance d'un pour cent est déjà bonne.

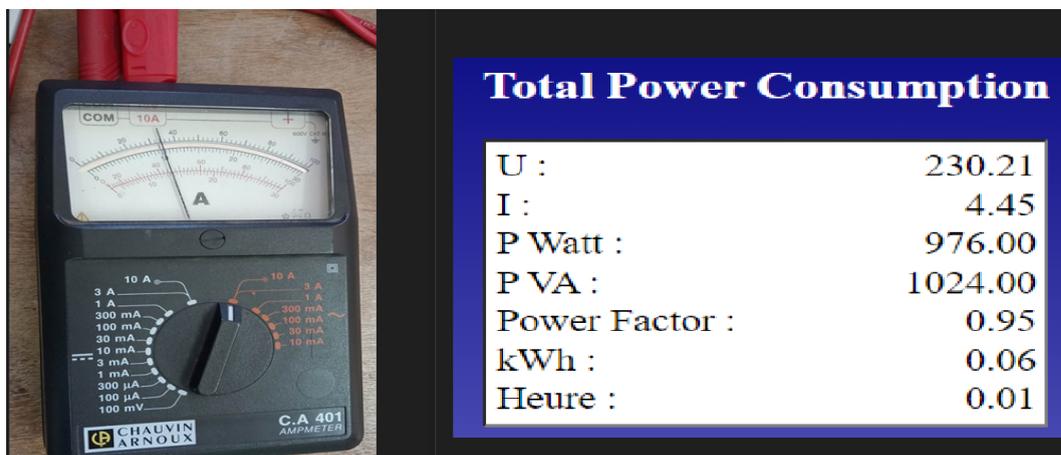


FIGURE II.12 – Valeur de courant affichée comparée avec l'ampère-mètre

## II.5 Conception logicielle

Un IDE est un logiciel de programmation qui vous permet d'écrire, de modifier et de convertir des programmes en une série d'instructions que la carte comprend. Il est programmé par code et contient une cinquantaine de commandes différentes. Le langage Arduino IDE est un mélange de C et de C++, il possède un jeu d'instructions très riche. [33].



FIGURE II.13 – Logiciel Arduino

Le logiciel Arduino est un environnement de développement (IDE) open source et gratuit, téléchargeable sur le site officiel Arduino .

L'IDE Arduino offre une interface minimale et épurée simple d'utilisation qui regroupe tous les outils qui permettent de programmer pour l'Arduino présenté dans la figure(II.14).

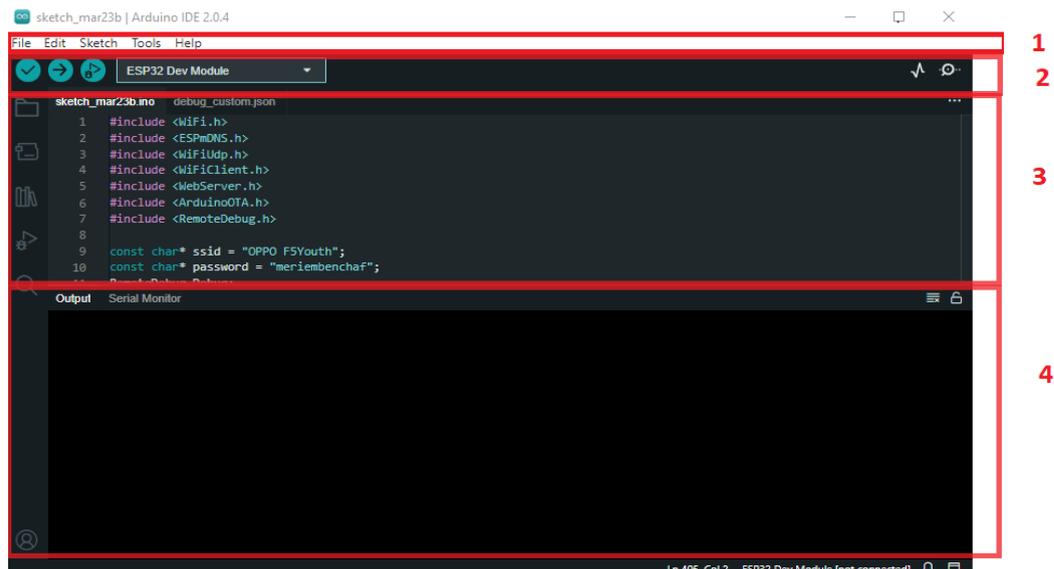


FIGURE II.14 – Interface Arduino

- **Barre1** : Options de configuration du programme telles que : [33]
  - Créez de nouveaux programmes ou ouvrez des programmes existants.
  - Enregistrer/Demander où enregistrer le document actuel.
  - La liste entière défile vers le bas pour révéler les exemples de noms de programme
- **Barre2** : Bouton de programmation de la carte : [33]
  - Validation : Vérifie les erreurs dans le code.
  - Upload : compilez le code et téléchargez le programme sur la carte Arduino.
  - Nouveau : Crée une nouvelle esquisse.
  - Ouvrir (Ouvrir) : Ouvre l'un des croquis existants.
  - Enregistrer : enregistrez l'esquisse.
  - Serial Monitor : Autorise l'accès aux ports série (en RX/TX).
- **Barre3** : programme à créer [33].
- **Barre4** : débogueur (affichage des erreurs de programmation).

### II.5.1 Calcul des valeurs efficaces et des puissances

Pour calculer les valeurs efficaces (RMS) et les puissances dans le contexte de la mesure de puissance solaire avec un ESP32, vous aurez besoin des mesures de tension et de courant.

Calcul de la valeur efficace (RMS) :

La valeur efficace d'un signal est une mesure de sa valeur moyenne sur une période de temps donnée. Pour calculer la valeur efficace des mesures de tension et de courant, vous pouvez utiliser la formule de code suivante :

```

void ComputePower() {
float V;
float I;
Uef = 0;
Ief = 0;
PW = 0;
for (int i = 0; i < 100; i++) {
    V = kV * float(value1[i]);
    Uef += sq(V);
    I = kI * float(value2[i]);
    Ief += sq(I);
    PW += V * I;
}
Uef = sqrt(Uef / 100);
Ief = sqrt(Ief / 100);
PW = floor(PW / 100);
PVA = floor(Uef * Ief);
PowerFactor = floor(100 * PW / PVA) / 100;
Wh += PW / 360; //Every 10s
}

```

Cette fonction est responsable du calcul de la puissance. Elle utilise une boucle for pour parcourir les 100 échantillons stockés dans value1 et value2. À chaque itération, elle calcule les valeurs de tension ( $V$ ) et de courant ( $I$ ) en les multipliant par des coefficients kV et kI respectivement. Ensuite, elle met à jour les variables Uef, Ief et PW en ajoutant les carrés de  $V$  et  $I$  et en multipliant  $V$  par  $I$ . Après la boucle, elle calcule la racine carrée de Uef et Ief, arrondit PW à l'entier inférieur et effectue d'autres calculs pour les variables PVA et Facteur de puissance. Finalement, elle met à jour la variable Wh en ajoutant PW divisé par 360 (pour un intervalle de temps de 10 secondes).

### II.5.1-a Calcul des valeurs efficaces de la tension et du courant

La mesure des 2 valeurs représentant la tension et le courant prend environ 150µs. En pratique, on prévoit sur une période de 20ms (1/50Hz) de prélever 100 couples de valeurs, ce qui donnera une bonne description de la tension à priori sinusoidale et du courant souvent chahuté par les alimentations à découpage.

$$I_{eff} = \frac{\sqrt{\sum (I \times I)}}{100} \quad (\text{II.1})$$

$$U_{eff} = \frac{\sqrt{\sum (V \times V)}}{100} \quad (\text{II.2})$$

Il est important de s'assurer que les échantillons de tension et de courant sont pris de manière synchrone pour des résultats préc

### II.5.1-b Calcul des valeurs des puissances apparente et active

Une fois que vous avez calculé les valeurs efficaces de tension (VRMS) et de courant (IRMS), vous pouvez calculer la puissance en utilisant l'une des méthodes suivantes :

Puissance apparente (VA) : La puissance apparente représente la puissance totale consommée par un circuit. Elle est calculée en multipliant la valeur efficace de la tension (VRMS) par la valeur efficace du courant (IRMS) :

$$P_{VA} = I_{eff} \times U_{eff} \quad (\text{II.3})$$

Puissance active ( $W$ ) : La puissance active représente la puissance réellement utilisée par un circuit. Elle est calculée :

$$P_w = \frac{\sum(V \times I)}{100} \quad (\text{II.4})$$

Il est important de noter le facteur de puissance  $\cos(\phi)$  et l'angle de déphasage ( $\phi$ ). En utilisant ces formules, vous pourrez calculer les valeurs efficaces et les puissances pour surveiller les performances du routeur solaire et optimiser l'utilisation de l'énergie solaire générée.

## II.5.2 Code

L'ensemble du code est écrit en utilisant l'IDE Arduino. Il est injecté dans un premier temps par la liaison série, puis une fois en place, on peut le modifier si besoin par le WIFI, qui permet d'afficher sur une Page Web [5] .

### 1. Mesure de tension :

- La tension mesurée par le transformateur est convertie en une valeur numérique à l'aide de la fonction `analogRead()`
- La valeur numérique est ensuite convertie en tension réelle en utilisant la formule `voltage = analogRead(referenceVoltagePin) * (3.3 / 4095.0)`.
- La tension est stockée dans la variable `voltage`

### 2. Mesure de courant :

- Le courant mesuré par le capteur de courant est converti en une valeur numérique à l'aide de la fonction `analogRead()`
- La valeur numérique est ensuite convertie en courant réel en utilisant la formule `current = analogRead(currentSensorPin) * (3.3 / 4095.0)`.
- Le courant est stocké dans la variable `current`.

### 3. LED :

- Deux LED sont connectées, une jaune sur le GPIO 18 et une verte sur le GPIO 19.
- Les GPIO 18 et 19 sont configurés en mode de sortie.
- L'état des LED est déterminé en fonction de la valeur du courant mesuré.
- Si le courant est supérieur à zéro, la LED jaune est allumée et la LED verte est éteinte, indiquant une consommation de courant.
- Sinon, la LED jaune est éteinte et la LED verte est allumée, indiquant une surproduction de courant.

#### 4. Relais :

- Les GPIO 22 et 23 sont configurés en mode de sortie
- L'état des relais est contrôlé par l'interrupteur connecté au GPIO 05.

#### 5. Page web

- Les valeurs des variables voltage, current, yellowLEDState, greenLEDState et lightState sont incluses dans la page HTML générée.
- La page HTML est renvoyée en réponse à la requête.

Une fois le code téléchargé et l'ESP32 connecté au réseau WiFi, vous pourrez accéder aux mesures et aux états des LED et de la lumière en ouvrant l'adresse IP de l'ESP32 dans un navigateur web. La page affichera les différentes mesures ainsi que la tension et le courant pendant une période de 20 ms.

## II.6 Résultats et interprétations

### II.6.1 Résultats sur Page Web

Le code installé sur l'ESP32 comprend un serveur Web qui permet d'afficher sur une page, les différentes mesures ainsi que les courbes de la tension et du courant durant une période de 20 ms. Il suffit de rentrer l'adresse IP de l'ESP32 dans le champ d'adresse de votre navigateur web.

#### II.6.1-a A vide et avant réglage des coeffs $KV$ et $KI$

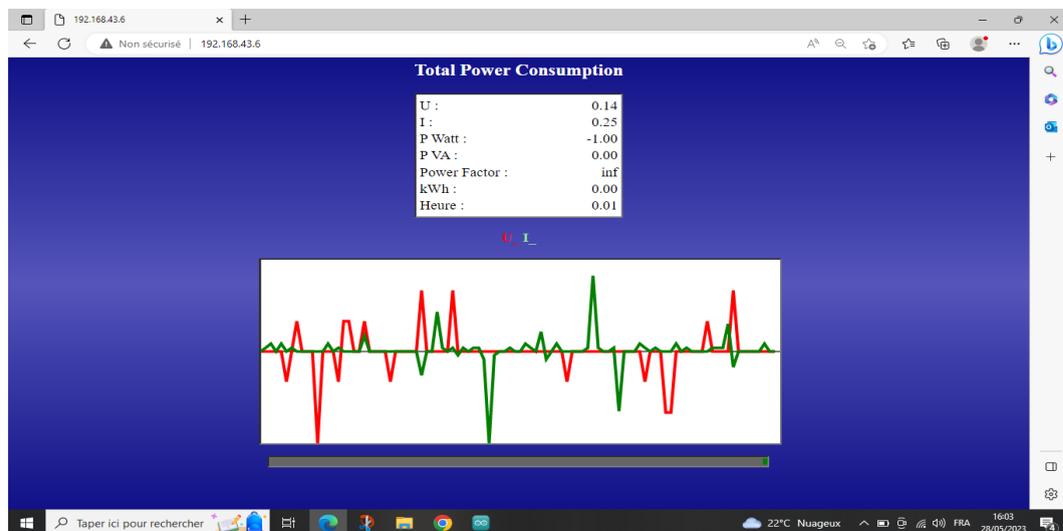


FIGURE II.15 – Visualisation dans la page web

#### 1. Consommation d'énergie équilibrée :

- Lorsque la tension et le courant sont en phase, cela indique que la charge connectée au système consomme une quantité d'énergie équilibrée.
- Cela signifie que la puissance active (mesurée en watts) est utilisée de manière optimale sans produire d'énergie réactive inutile.

## 2. Efficacité énergétique :

- Lorsque la tension et le courant sont en phase, le facteur de puissance (FF) est proche de 1.
- Un facteur de puissance élevé (proche de 1) indique que le système utilise efficacement l'énergie électrique sans pertes significatives.
- Cela se traduit par une utilisation efficace de l'énergie, réduisant les pertes d'énergie et augmentant l'efficacité globale du système.

### II.6.1-b En charge et après réglage des coeffs $KV$ et $KI$

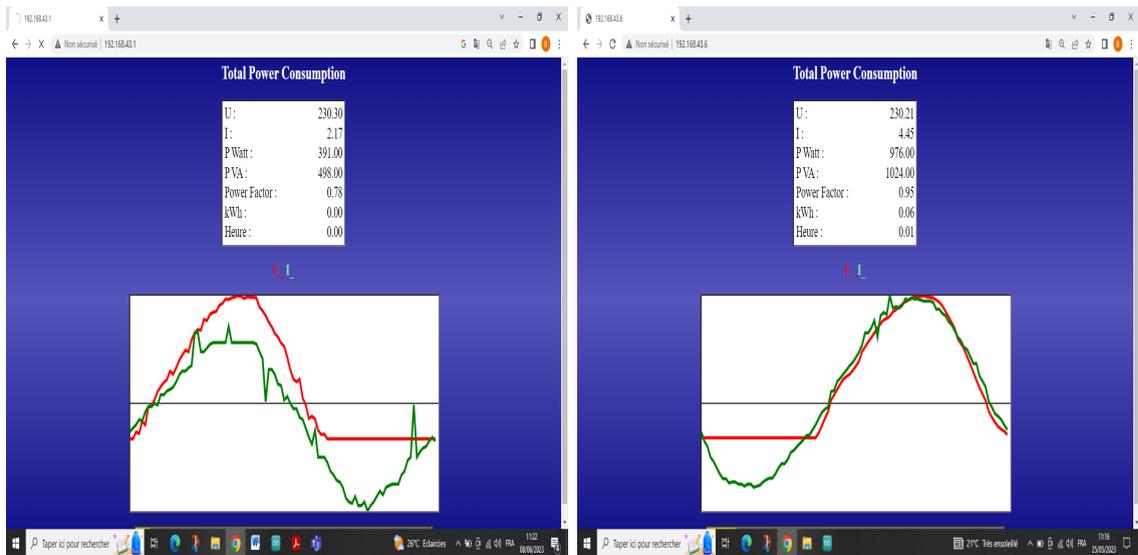


FIGURE II.16 – Résultats dans la page web pour différents charges variable de 25% et 50%

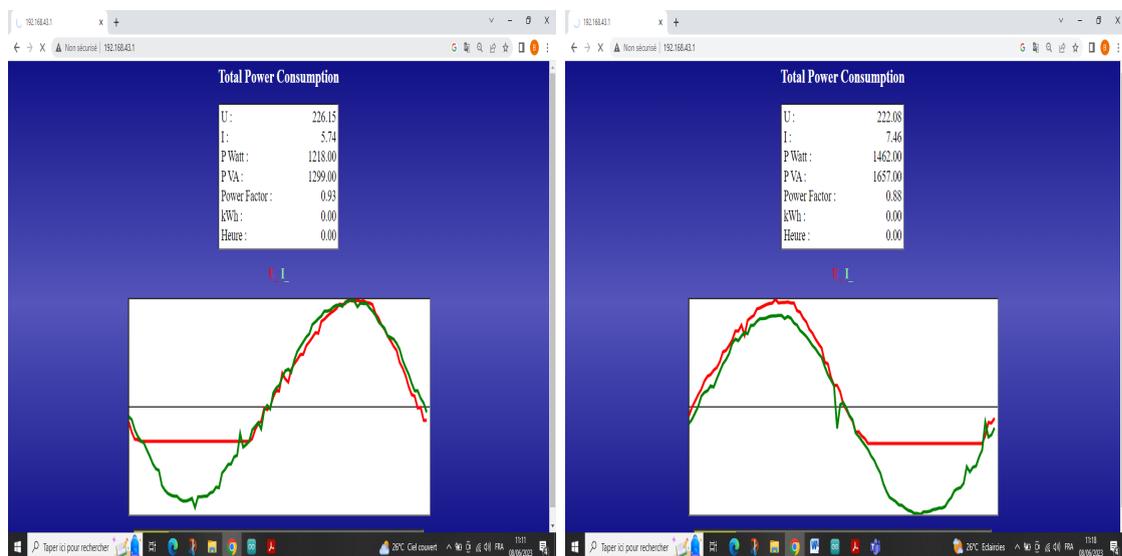


FIGURE II.17 – Résultats dans la page web pour différents charges variable de 65% et 85%

## II.6.2 Interprétation

Diminution de la tension : L'augmentation de la charge peut entraîner une diminution de la tension électrique mesurée. Cela est dû à la résistance interne du système qui provoque une chute de tension lorsque la charge augmente. La diminution de la tension est souvent proportionnelle à l'augmentation de la charge.

Augmentation du courant : En augmentant la charge, vous pouvez observer une augmentation du courant électrique mesuré. Cela est dû à la loi d'Ohm, qui indique que le courant est directement proportionnel à la tension et inversement proportionnel à la résistance. L'augmentation de la charge entraîne une diminution de la résistance équivalente, ce qui permet à un courant plus élevé de circuler à travers le circuit.

Ces observations sont courantes dans les circuits électriques où une charge résistive est utilisée. La variation de la tension et du courant en fonction de la charge peut être représentée graphiquement par des courbes qui démontrent cette relation. Lorsque vous observez ces changements, il est important de surveiller la capacité de votre système à maintenir une tension stable dans des conditions de charge plus élevée. Une diminution excessive de la tension peut indiquer des limites de capacité ou des problèmes de dimensionnement du système.

Il est essentiel de dimensionner correctement votre système et de prendre en compte la capacité de la source d'alimentation, la résistance interne, et les limites de tension et de courant pour garantir un fonctionnement fiable et stable dans différentes conditions de charge.

La puissance électrique est le produit de la tension et du courant ( $P = V \times I$ ). Lorsque vous augmentez la charge, à tension constante, le courant augmente, ce qui entraîne une augmentation de la puissance consommée par la charge.

Par conséquent, en augmentant la charge, la puissance totale consommée par le système augmentera proportionnellement, ce qui se reflétera dans les courbes de puissance.

Le facteur de puissance (FF) est le rapport entre la puissance active (réelle) et la puissance apparente d'un circuit. Il indique l'efficacité avec laquelle l'énergie électrique est convertie en travail utile.

Lorsque la tension et le courant sont en phase, le facteur de puissance est généralement élevé et proche de 1.

Cependant, lorsque vous augmentez la charge, le facteur de puissance peut diminuer légèrement en raison de la présence de résistances internes, d'inductances ou de condensateurs qui peuvent créer un léger déphasage entre la tension et le courant.

Il est important de maintenir un facteur de puissance élevé pour éviter les pertes d'énergie inutiles, les chutes de tension excessives et les problèmes de stabilité du système.

Lorsque vous augmentez la charge dans un système où la tension et le courant sont en phase, cela entraîne une augmentation de la puissance totale consommée par la charge. Le facteur de puissance peut légèrement diminuer, mais il est souhaitable de le maintenir aussi proche de 1 que possible pour une utilisation efficace de l'énergie.

En résumé, , cela indique une consommation d'énergie équilibrée, une efficacité énergétique élevée et une charge principalement résistive. Cela est généralement souhaitable car cela signifie que votre système utilise efficacement l'énergie et fonctionne de manière optimale.

## II.7 Conclusion

En conclusion, le projet du routeur solaire avec mesure de puissance et affichage des courbes de tension et de courant sur une page web offre plusieurs avantages et possibilités.

Surveillance de la consommation d'énergie : Grâce à la mesure de tension et de courant, ainsi qu'à l'affichage des courbes correspondantes sur une page web, vous pouvez surveiller en temps réel la consommation d'énergie de votre routeur solaire. Optimisation de l'efficacité énergétique : En visualisant les courbes de tension et de courant, ainsi que le facteur de puissance, vous pouvez identifier les fluctuations, les pics de consommation et les problèmes potentiels, ce qui vous permet d'optimiser l'efficacité énergétique de votre système. Contrôle à distance et automatisation : L'utilisation d'un microcontrôleur ESP32 et d'une page web vous permet de contrôler et de surveiller votre routeur solaire à distance. Vous pouvez activer/désactiver les relais, afficher les mesures en temps réel et effectuer des actions programmées en fonction des données collectées.

En combinant des fonctionnalités de mesure de puissance, d'affichage des courbes de tension et de courant, et de contrôle à distance, ce projet de routeur solaire offre une solution pratique et durable pour l'alimentation énergétique et la surveillance de votre réseau. Il permet une utilisation efficace de l'énergie solaire, une optimisation de la consommation d'énergie et une prise de décision éclairée pour une gestion énergétique plus responsable.

## Chapitre III

---

# Interfaçage et surveillance avec ThingSpeak et Blynk

### SOMMAIRE

---

III.1 INTRODUCTION . . . . .	53
III.2 STRUCTURE ET FONCTIONNALITÉS . . . . .	53
III.3 OUTILS LOGICIELS ET SERVICES EN LIGNE . . . . .	54
III.4 THINGSPEAK . . . . .	55
III.5 CONFIGURATION DE THINGSPEAK . . . . .	56
III.6 RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS SOUS THINGSPEAK . . . . .	57
III.6.1 Résultats sous ThingSpeak . . . . .	57
III.6.2 Interprétations des résultats sous ThingSpeak . . . . .	59
III.7 BLYNK . . . . .	60
III.8 CONFIGURATION DE BLYNK . . . . .	60
III.9 RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS SOUS BLYNK . . . . .	63
III.9.1 Résultats sous Blynk . . . . .	63
III.9.2 Interprétations des résultats sous Blynk . . . . .	64
III.10 CONCLUSION . . . . .	65

---

## III.1 Introduction

L'interfaçage et la surveillance sont deux concepts étroitement liés dans le domaine de l'informatique et de l'ingénierie électronique. L'interfaçage se réfère à la connexion de différents composants électroniques ou informatiques afin de permettre la transmission de données ou de signaux entre eux. La surveillance, quant à elle, consiste à surveiller et à mesurer les performances des systèmes électroniques afin de s'assurer qu'ils fonctionnent correctement et de détecter toute défaillance éventuelle.

Dans le domaine de l'informatique, l'interfaçage est souvent utilisé pour permettre la communication entre différents logiciels ou systèmes informatiques. Par exemple, les API (interfaces de programmation d'application) permettent à différents logiciels de communiquer entre eux et de partager des données.

La surveillance est également importante dans de nombreux domaines de l'ingénierie électronique, notamment dans les systèmes de contrôle et d'automatisation. Les systèmes de surveillance peuvent être utilisés pour surveiller les niveaux de température, de pression, de vibration et d'autres paramètres critiques, afin de garantir que les machines et les équipements fonctionnent en toute sécurité et efficacement. En somme, l'interfaçage et la surveillance sont deux concepts essentiels pour garantir le bon fonctionnement et la sécurité des systèmes électroniques et informatiques.

## III.2 Structure et fonctionnalités

ThingSpeak et Blynk sont deux plateformes IoT populaires qui permettent l'interfaçage et la surveillance de périphériques connectés à Internet. Voici un aperçu de leurs structures et fonctionnalités :

- \* **Connectivité** : ThingSpeak prend en charge une variété de protocoles de communication, notamment HTTP, MQTT et TCP/IP, ce qui permet une intégration facile avec une large gamme de périphériques connectés.
- \* **Collecte de données** : ThingSpeak permet de collecter et de stocker des données provenant de capteurs et de périphériques connectés à Internet. Les données peuvent être envoyées à ThingSpeak en utilisant des protocoles de communication standard ou en utilisant des bibliothèques de développement pour les microcontrôleurs.
- \* **Visualisation** : ThingSpeak offre une interface Web conviviale pour la visualisation et l'analyse des données collectées. Les données peuvent être affichées sous forme de graphiques, de tableaux et de cartes.
- \* **Analyse** : ThingSpeak prend en charge l'analyse de données en temps réel à l'aide de Matlab, ce qui permet une analyse avancée des données collectées.

**Blynk** : Blynk est une plateforme IoT qui permet de contrôler et de surveiller des périphériques connectés à Internet à l'aide d'un smartphone ou d'une tablette. Blynk offre une interface utilisateur intuitive pour la création d'applications IoT personnalisées sans nécessiter de compétences en programmation. Voici quelques-unes des fonctionnalités de Blynk :

- \* Interface utilisateur : Blynk offre une interface utilisateur conviviale pour la création d'applications IoT personnalisées. Les utilisateurs peuvent créer des interfaces utilisateur personnalisées en utilisant des widgets tels que des boutons, des graphiques et des jauges [2]
- \* Connectivité : Blynk prend en charge une variété de protocoles de communication, notamment HTTP, MQTT et TCP/IP, ce qui permet une intégration facile avec une large gamme de périphériques connectés.
- \* Notifications : Blynk permet de recevoir des notifications en temps réel sur un smartphone ou une tablette en cas de détection d'un événement spécifique, tel qu'une alerte de sécurité ou un changement de l'état d'un périphérique [2]
- \* Partage : Blynk permet de partager des applications IoT personnalisées avec d'autres utilisateurs en utilisant des codes QR ou des liens.

### III.3 Outils logiciels et services en ligne

ThingSpeak et Blynk sont deux plateformes logicielles qui permettent l'interfaçage et la surveillance d'appareils connectés à Internet des objets (IoT). Voici quelques outils logiciels et services en ligne qui peuvent être utilisés pour travailler avec ces deux plateformes :

- \* Matlab : ThingSpeak est développé par MathWorks, la même société qui a créé Matlab, un environnement de développement numérique utilisé dans les sciences et l'ingénierie. Matlab peut être utilisé pour développer des algorithmes de traitement de données pour les appareils IoT, qui peuvent ensuite être téléchargés sur ThingSpeak pour l'analyse et la visualisation.[7]
- \* Arduino IDE : Blynk peut être intégré avec Arduino, une plateforme de développement de matériel open-source utilisée pour les projets IoT. L'Arduino IDE peut être utilisé pour programmer des appareils Arduino qui se connectent à Blynk pour le contrôle et la surveillance.
- \* IFTTT : If This Then That (IFTTT) est un service en ligne qui permet de créer des applets pour l'automatisation de tâches. ThingSpeak et Blynk peuvent être intégrés avec IFTTT pour créer des applets qui déclenchent des actions lorsqu'un événement se produit sur les appareils IoT connectés.[7]
- \* MQTT : MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) est un protocole de communication léger utilisé pour les appareils IoT. ThingSpeak et Blynk prennent en charge MQTT pour la communication entre les appareils IoT et les plates-formes de surveillance et de contrôle.
- \* Node-RED : Node-RED est un outil logiciel open-source utilisé pour créer des flux de traitement de données pour les appareils IoT. ThingSpeak et Blynk peuvent être intégrés avec Node-RED pour créer des nuds de flux pour l'analyse et la visualisation des données.
- \* Google Sheets : ThingSpeak peut être intégré avec Google Sheets pour stocker les données de capteurs dans des feuilles de calcul Google Sheets pour une analyse et une visualisation ultérieures.

- \* Grafana : Grafana est une plateforme de surveillance et de visualisation open-source utilisée pour les données de séries chronologiques. ThingSpeak et Blynk peuvent être intégrés avec Grafana pour créer des tableaux de bord de surveillance personnalisés pour les données d'appareils IoT [25]

### III.4 ThingSpeak

ThingSpeak est une plateforme de cloud computing pour l'Internet des objets (IoT) développée par MathWorks, la même société qui a créé Matlab. ThingSpeak permet aux développeurs d'appareils IoT de collecter, stocker, analyser et visualiser les données de capteurs de manière facile et efficace[27]. ThingSpeak est basé sur une architecture ouverte qui permet aux développeurs de connecter facilement leurs appareils IoT à la plateforme en utilisant des protocoles de communication standard tels que HTTP, MQTT et Arduino. Les développeurs peuvent également créer des applications personnalisées en utilisant des outils tels que Matlab, Simulink et le langage de script ThingSpeak pour effectuer des analyses de données avancées. ThingSpeak offre également des fonctionnalités de visualisation de données telles que des graphiques en temps réel, des tableaux de bord personnalisables et des notifications par e-mail ou SMS pour les événements critiques. Les développeurs peuvent également intégrer ThingSpeak avec d'autres services en ligne tels que IFTTT, Zapier, Google Sheets et Twitter pour créer des workflows d'automatisation avancés. ThingSpeak est disponible en tant que service cloud public gratuit avec des limites de données mensuelles, ou en tant que service cloud privé pour les entreprises qui souhaitent héberger la plateforme sur leurs propres serveurs. La plateforme est utilisée dans une variété de secteurs tels que l'agriculture, l'industrie, la domotique, la santé et l'environnement pour surveiller et contrôler les appareils IoT[32].

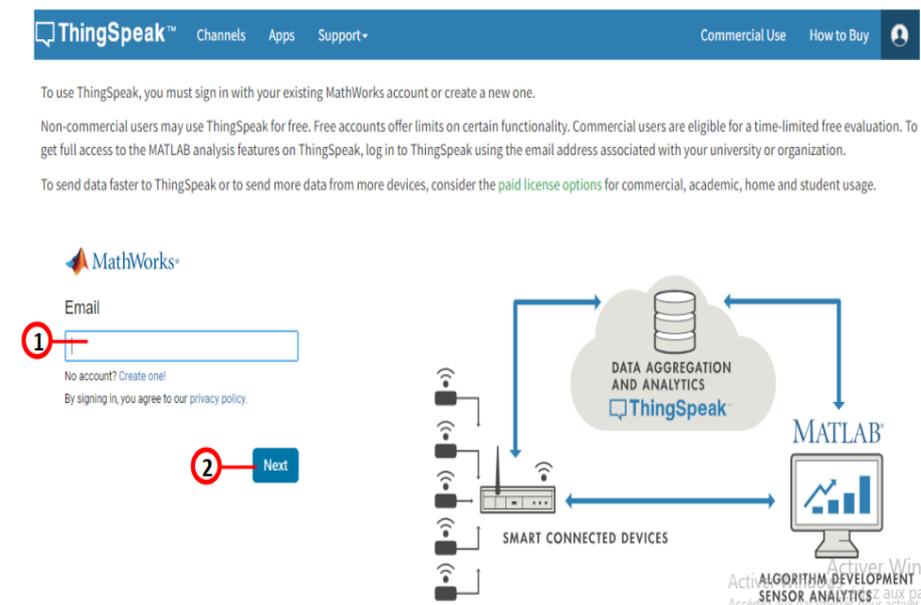


FIGURE III.1 – Plate-forme ThingSpeak

## III.5 Configuration de ThingSpeak

En ThingSpeak vous avez besoin d'un compte utilisateur et d'une chaîne. Un canal est où vous envoyez des données et à quel endroit ThingSpeak stocke ces données. Chaque chaîne possède jusqu'à 8 champs de données, des champs d'emplacement et un champ d'état. Vous pouvez envoyer.

Les données sont envoyées à ThingSpeak toutes les 15 secondes, mais la plupart des applications Fonctionne très bien à chaque minute.

- il faut s'inscrire pour avoir un compte sur le site de ThingSpeak
- Créer une nouvelle chaîne
- Noter la clé API d'écriture et l'ID de canal ces derniers sont nécessaires pour collecter les informations
- Les notes complètes sur l'API d'interface REST pour ThingSpeak sont disponibles dans sa documentation

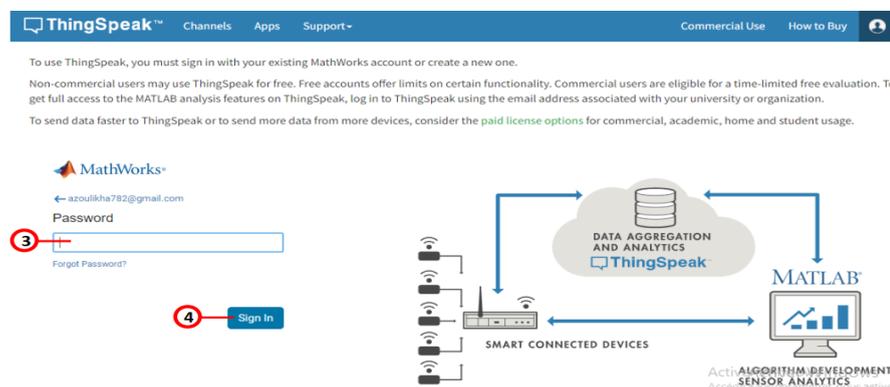


FIGURE III.2 – Étapes pour le logger au service

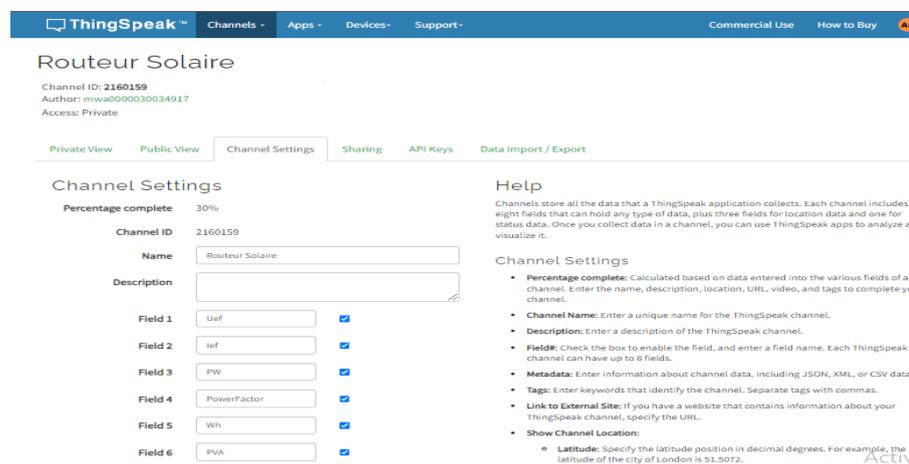


FIGURE III.3 – Étapes 1 pour le logger au service

The screenshot shows the 'API Keys' configuration for the 'Routeur Solaire' channel. The 'Write API Key' section contains a key 'AYUXPX088PNTB95H' and a 'Generate New Write API Key' button. The 'Read API Keys' section contains a key 'DOFFIN904NWC5UWG', a 'Note' field, and buttons for 'Save Note' and 'Delete API Key'. There is also an 'Add New Read API Key' button. On the right, there is a 'Help' section with 'API Keys Settings' and 'API Requests' examples.

FIGURE III.4 – Étapes 2 pour le logger au service

The screenshot shows the 'My Channels' page. It features a 'New Channel' button, a search bar, and a table of channels. The table has columns for 'Name', 'Created', and 'Updated'. The channel 'Routeur Solaire' is listed with a creation date of 2023-05-23 and an update date of 2023-06-09 00:01. Below the table are buttons for 'Private', 'Public', 'Settings', 'Sharing', 'API Keys', and 'Data Import / Export'. On the right, there is a 'Help' section with 'Examples' for various devices like Arduino, ESP8266, and Raspberry Pi.

FIGURE III.5 – Étapes 3 pour le logger au service

## III.6 Résultats et interprétations sous ThingSpeak

### III.6.1 Résultats sous ThingSpeak

Les résultats de "ThingSpeak" permettent l'affichage et la visualisation en temps réel données collectées sous forme de graphique.

Notre résultats on a branché l'alimentation de charge résistive fonctionne à (50 %, 65 %, 25 %,...) de sa capacitéII.10 avec le circuit d'alimentationII.8 et on a télécharger le programme dans Arduino qui envoie les résultats à la plateforme "ThingSpeak" Cela permet de dessiner des courbes représentant les variations des mesures.

```
15:43:34.623 ->
15:43:34.623 -> Uef228.87V
15:43:34.623 ->
15:43:34.623 -> PowerFactor0.81
15:43:36.602 -> PW922.00WAT
15:43:36.602 ->
15:43:36.602 -> Ief4.32A
15:43:36.602 ->
15:43:36.602 -> Uef229.13V
15:43:36.602 ->
15:43:36.602 -> PowerFactor0.93
15:43:39.344 -> PW877.00WAT
15:43:39.344 ->
15:43:39.344 -> Ief4.27A
15:43:39.344 ->
15:43:39.344 -> Uef228.37V
15:43:39.344 ->
15:43:39.344 -> PowerFactor0.89
15:43:41.700 -> PW829.00WAT
15:43:41.700 ->
15:43:41.700 -> Ief4.38A
15:43:41.700 ->
15:43:41.700 -> Uef227.37V
15:43:41.700 ->
15:43:41.700 -> PowerFactor0.83
```

FIGURE III.6 – Moniteur série

Le résultat obtenu de notre montage réalisé précédemment est les courbes des le figures III.7 III.8 III.9 qui représente les différentes mesures varient durant un temps donné (notre résultat est pris le lundi 29/05/2023) .

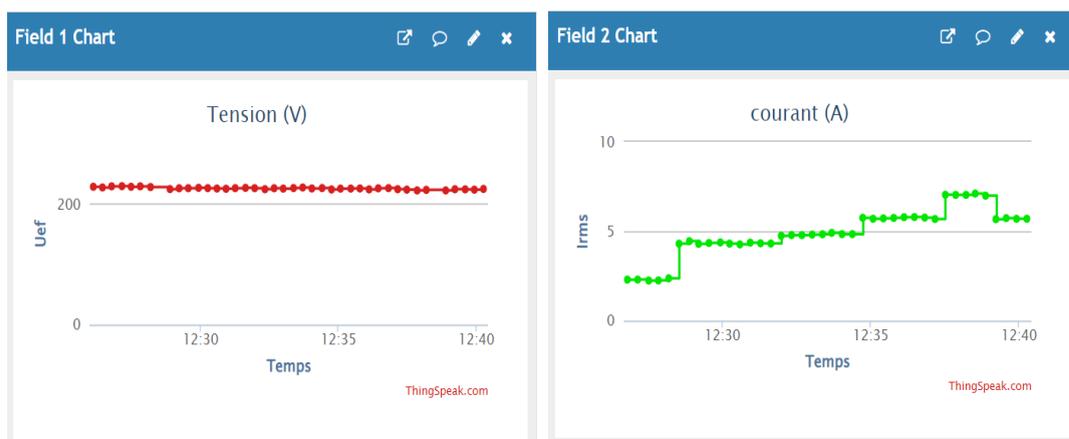


FIGURE III.7 – Tention et courant

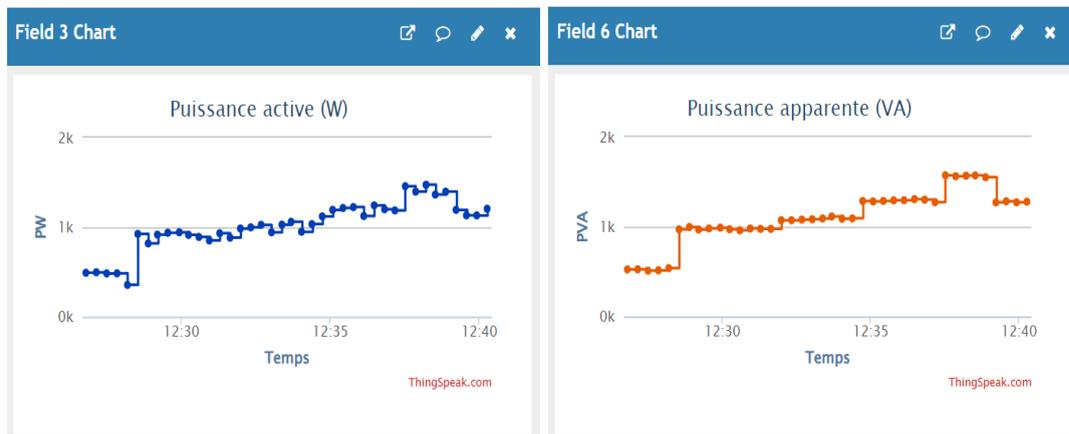


FIGURE III.8 – Puissance active et puissance apparente

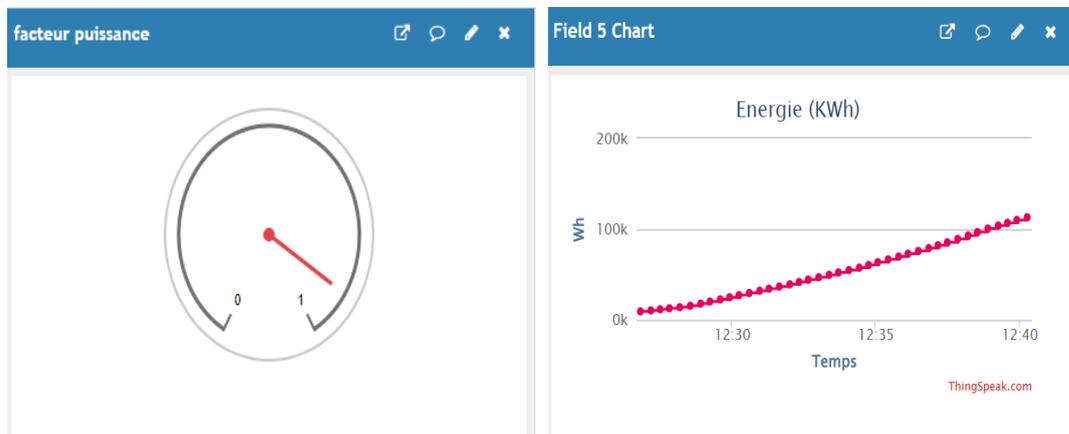


FIGURE III.9 – Facteur de puissance et energie

### III.6.2 Interprétations des résultats sous ThingSpeak

Lorsqu'une charge résistive est alimentée en courant, la tension aux bornes de la charge peut diminuer à mesure que le courant augmente. Cela peut être interprété à travers les différentes variables suivantes on observe ça dans l'intervalle [ 12 : 30 à 12 : 40 ] :

**Puissance active** : La puissance active est la composante réelle de la puissance électrique consommée par la charge. Dans une charge purement résistive, la puissance active est proportionnelle au carré du courant traversant la charge ( $P = I^2 * R$ ).

lorsque le courant augmente, la puissance active augmente également. Cependant, si la tension diminue simultanément, la puissance active peut sembler constante, car l'augmentation du courant compense la diminution de tension.

**Puissance apparente** : La puissance apparente est la combinaison de la puissance active et de la puissance réactive (qui est générée dans les charges inductives et capacitatives). Dans une charge purement résistive, la puissance apparente est égale à la puissance active ( $P_{apparente} = P_{active}$ ). Par conséquent, lorsque le courant augmente dans une charge résistive,

la puissance apparente augmente également, à moins qu'il n'y ait d'autres éléments réactifs dans le circuit qui pourraient influencer la puissance apparente.

**Énergie** : L'énergie consommée par une charge résistive est le produit de la puissance active et du temps ( $E = P * t$ ). Si la tension diminue pendant que le courant augmente, la puissance active peut rester relativement constante, ce qui signifie que l'énergie consommée par la charge résistive reste stable dans cet intervalle.

**Facteur de puissance** :

Le facteur de puissance est le rapport de la puissance active à la puissance apparente ( $\cos \phi = P_{active} / P_{apparente}$ ). Dans une charge résistive, le facteur de puissance est toujours égal à 1, car il n'y a pas de composante réactive. Par conséquent, si la tension diminue et que la puissance active reste constante, le facteur de puissance ne sera pas affecté.

En résumé, la diminution de tension observée lors de l'augmentation du courant dans une charge résistive peut être interprétée par une compensation entre la diminution de tension et l'augmentation du courant afin de maintenir la puissance active constante. Cela peut être attribué à des facteurs tels que la résistance interne de la source d'alimentation ou la chute de tension dans les fils du circuit, qui peuvent entraîner une perte de tension avec une augmentation de courant.

## III.7 Blynk

Blynk est une plateforme de développement d'applications IoT (Internet des objets) qui permet aux développeurs de créer des applications pour contrôler des dispositifs connectés à distance, tels que des capteurs, des actionneurs, des modules Wi-Fi et des microcontrôleurs.

Blynk fournit un environnement de développement convivial et interactif qui permet aux utilisateurs de créer rapidement des applications IoT sans avoir à écrire de code complexe. Les utilisateurs peuvent créer des interfaces utilisateur personnalisées en utilisant des widgets tels que des boutons, des graphiques, des jauges et des graphiques à barres, puis connecter ces widgets aux dispositifs connectés en utilisant des "Virtual Pins" (broches virtuelles).[\[38\]](#)

Blynk prend en charge une variété de plateformes matérielles, y compris Arduino, Raspberry Pi, ESP8266, ESP32, Particle, et bien d'autres. Il est également compatible avec une variété de protocoles de communication tels que Bluetooth, Wi-Fi, Ethernet, et GSM.

Blynk fournit également une application mobile pour iOS et Android qui peut être utilisée pour surveiller et contrôler les dispositifs connectés à distance. Les utilisateurs peuvent également partager leurs projets avec d'autres utilisateurs de Blynk en utilisant la fonctionnalité de partage intégrée [\[38\]](#).

## III.8 Configuration de Blynk

- 1 Téléchargez l'application Blynk depuis l'App Store ou Google Play Store et créez un compte.
- 2 Créez un nouveau projet dans l'application Blynk et choisissez le type de connexion que vous souhaitez utiliser (Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet, etc.)

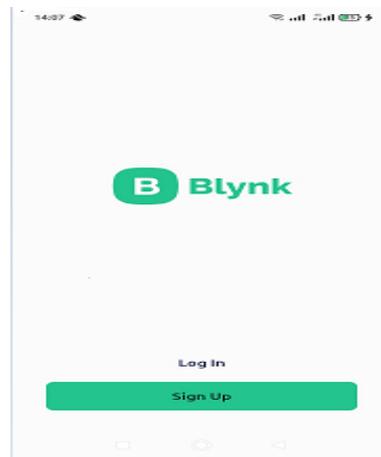


FIGURE III.10 – Interface de Blynk

- 3 Générez une clé d'authentification en appuyant sur le bouton "Auth Token" dans l'application Blynk. Cette clé sera utilisée pour connecter votre appareil à la plateforme Blynk.
- 4 Dans votre code Arduino, ajoutez la bibliothèque Blynk et configurez la connexion Wi-Fi ou Ethernet si nécessaire.
- 5 ajoutez le code nécessaire pour lire les entrées de votre appareil et contrôler les sorties en utilisant les widgets de l'application Blynk.
- 6 Utilisez la clé d'authentification que vous avez générée précédemment pour connecter votre appareil à la plateforme Blynk.
- 7 Testez votre projet en utilisant l'application Blynk pour vérifier que tout fonctionne correctement.

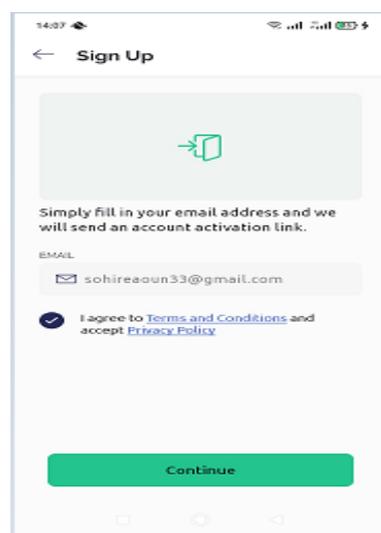


FIGURE III.11 – Étapes 1 pour le logger au service

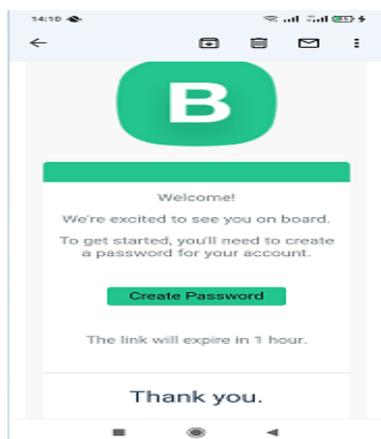


FIGURE III.12 – Étapes 2 pour le loger au service

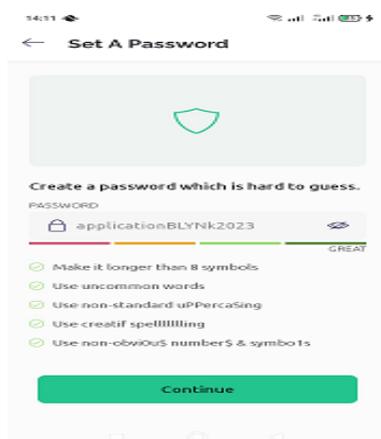


FIGURE III.13 – Étapes 3 pour le loger au service

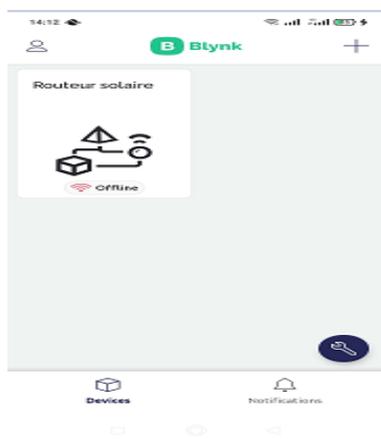


FIGURE III.14 – Étapes 4 pour le loger au service

## III.9 Résultats et interprétations sous Blynk

### III.9.1 Résultats sous Blynk

En branchant l'alimentation de charge résistive fonctionne à (50 %, 65 %, 25 %,) de sa capacité [II.10](#) avec le circuit d'alimentation [II.8](#) et télécharge le programme dans Arduino qui envoie les résultats à la plateforme "Blynk" Cela permet de dessiner des courbes représentant les variations des mesures (La même chose que pour Thingspeak).

Le résultat obtenu de notre montage réalisé précédemment montrent les courbes dans les figures [III.15](#) [III.16](#) [III.17](#) qui représente les différentes mesures varient durant un temps donné (notre résultat est pris le lundi 29/05/2023).

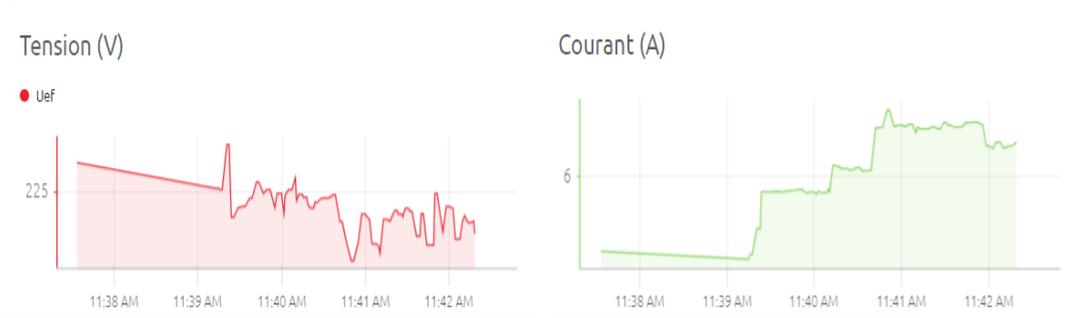


FIGURE III.15 – Tension et Courant

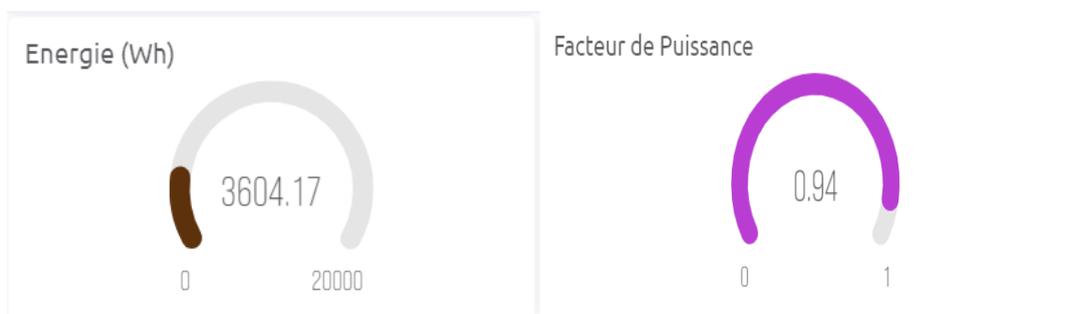


FIGURE III.16 – Energie et facteur de puissance

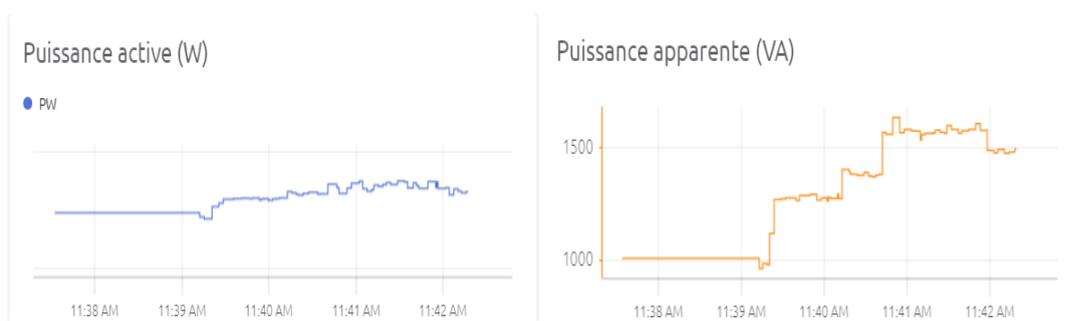


FIGURE III.17 – Puissance active et puissance apparente

### III.9.2 Interprétations des résultats sous Blynk

Lorsqu'une charge résistive est alimentée en courant via la plateforme Blynk et que les données sont observées sur ThingSpeak, on peut interpréter la diminution de tension observée lors de l'augmentation du courant de la manière suivante on observe ça dans l'intervalle [ 11 : 38 à 11 : 42]

:

**Puissance active** : La puissance active, qui représente la composante réelle de la puissance électrique consommée par la charge, est directement proportionnelle au carré du courant traversant la charge ( $P = I^2 * R$ ).

Lorsque le courant augmente, la puissance active augmente également. Cependant, si la tension diminue simultanément, la puissance active peut sembler constante, car l'augmentation du courant compense la diminution de tension.

**Puissance apparente** : La puissance apparente est la combinaison de la puissance active et de la puissance réactive (provenant des charges inductives et capacitives). Dans une charge purement résistive, la puissance apparente est égale à la puissance active ( $P_{apparente} = P_{active}$ ). Par conséquent, lorsque le courant augmente dans une charge résistive, la puissance apparente augmente également, à moins qu'il n'y ait d'autres éléments réactifs dans le circuit qui pourraient influencer la puissance apparente.

**Énergie** : L'énergie consommée par une charge résistive est le produit de la puissance active et du temps ( $E = P * t$ ). Si la tension diminue pendant que le courant augmente, la puissance active peut rester relativement constante, ce qui signifie que l'énergie consommée par la charge résistive reste stable.

**Facteur de puissance** : Le facteur de puissance est le rapport de la puissance active à la puissance apparente ( $\cos f = P_{active} / P_{apparente}$ ). Dans une charge résistive, le facteur de puissance est toujours égal à 1, car il n'y a pas de composante réactive. Par conséquent, si la tension diminue et que la puissance active reste constante, le facteur de puissance ne sera pas affecté.

En résumé, la diminution de tension observée lors de l'augmentation du courant dans une charge résistive alimentée via la plateforme Blynk et surveillée sur ThingSpeak peut être interprétée comme une compensation entre la diminution de tension et l'augmentation du courant afin de maintenir la puissance active constante. Cette diminution de tension peut être attribuée à des facteurs tels que la résistance interne de la source d'alimentation ou la chute de tension dans les fils du circuit, qui peuvent entraîner une perte de tension avec une augmentation de courant.

## III.10 Conclusion

En conclusion, ThingSpeak et Blynk sont deux plateformes de communication IoT qui permettent de surveiller et de contrôler des appareils connectés à distance. ThingSpeak offre une solution de stockage de données en temps réel et une interface web conviviale pour visualiser et analyser les données, tandis que Blynk permet de créer facilement des interfaces utilisateur personnalisées pour contrôler les appareils à distance via une application mobile.

En combinant les deux plates-formes, les utilisateurs peuvent créer des systèmes de surveillance et de contrôle avancés pour diverses applications IoT. Les données peuvent être collectées à partir de capteurs et d'autres appareils connectés à ThingSpeak, puis utilisées pour déclencher des actions ou envoyer des alertes à l'utilisateur via Blynk.

## Chapitre IV

---

# Interfaçage, surveillance et visualisation avec Influxdb et Grafana

### SOMMAIRE

---

IV.1 INTRODUCTION . . . . .	67
IV.2 STRUCTURE ET FONCTIONNALITÉS . . . . .	67
IV.3 OUTILS LOGICIELS ET SERVICES EN LIGNE . . . . .	68
IV.3.1 Définition d'un serveur . . . . .	68
IV.3.2 MQTT - Mosquito . . . . .	69
IV.3.3 Node-Red . . . . .	69
IV.3.4 Influxdb . . . . .	70
IV.3.5 Grafana . . . . .	70
IV.4 MÉTHODOLOGIE ET DÉVELOPPEMENT DE PROJET . . . . .	70
IV.4.1 Configuration de Mosquitto sur le Raspberry Pi . . . . .	71
IV.4.2 Code MQTT . . . . .	71
IV.4.3 Résultat . . . . .	72
IV.5 NODE-RED . . . . .	73
IV.5.1 Installation de Node-red . . . . .	73
IV.5.2 Configure Node-RED Settings . . . . .	74
IV.5.3 Start Node-RED . . . . .	75
IV.5.4 Access Node-RED . . . . .	75
IV.5.5 La réalisation de notre système . . . . .	76
IV.5.6 Programmation Node-red . . . . .	76
IV.5.7 Principe de fonctionnement de système propose . . . . .	76
IV.5.8 Les résultats dans la programmation Node-Red . . . . .	79
IV.6 GRAFANA . . . . .	80
IV.6.1 Influxdb . . . . .	81
IV.6.2 Visualisation dans Grafana . . . . .	82
IV.6.3 Creation d'un Dashbord . . . . .	83
IV.6.4 Tension . . . . .	84
IV.6.5 Courant . . . . .	85
IV.6.6 Puissance active . . . . .	86
IV.6.7 Puissance apparente . . . . .	87
IV.6.8 Facteur de puissance . . . . .	88
IV.7 CONCLUSION . . . . .	88

---

## IV.1 Introduction

L'interfaçage et la surveillance avec InfluxDB et Grafana offrent une solution complète pour la collecte, le stockage, l'interrogation et la visualisation des données en temps réel. Ces outils sont utilisés dans de nombreux domaines pour surveiller les systèmes, analyser les performances, gérer l'IoT et bien plus encore. En combinant la puissance d'InfluxDB pour la gestion des séries temporelles avec les fonctionnalités de visualisation riches de Grafana, vous pouvez créer des tableaux de bord personnalisés et interactifs pour obtenir des informations précieuses à partir de vos données en temps réel.

Dans ce chapitre, nous explorerons l'utilisation d'InfluxDB et Grafana pour l'interfaçage, la surveillance et la visualisation des données d'un projet de Routeur Solaire.

Notre objectif est de créer une interface conviviale qui affiche différentes mesures, telles que la tension, le courant efficace et la puissance, en utilisant un module ESP32. L'intégration d'InfluxDB, une base de données de séries chronologiques hautement performante, et Grafana, un outil de visualisation de données flexible, nous permettra de stocker et de représenter graphiquement ces mesures en temps réel.

## IV.2 Structure et fonctionnalités

La solution d'interfaçage, de surveillance et de visualisation du projet de Routeur Solaire utilisant InfluxDB et Grafana se compose de plusieurs composants et offre diverses fonctionnalités clés. Voici une description de la structure et des fonctionnalités principales :

### 1. Composants de base

- **ESP32** : Le microcontrôleur ESP32 est utilisé pour collecter les données environnementales telles que la tension, le courant et la puissance du routeur solaire. Il est également responsable de l'envoi de ces données à InfluxDB.
- **Capteurs de mesure** : Des capteurs de tension, de courant et de puissance sont connectés à l'ESP32 pour collecter les mesures précises du routeur solaire. Ces capteurs peuvent varier en fonction des besoins spécifiques du projet.
- **InfluxDB** : InfluxDB est une base de données de séries chronologiques conçue pour stocker et interroger efficacement des données temporelles. Il est utilisé pour stocker les mesures collectées par l'ESP32, permettant ainsi une analyse et une visualisation ultérieures.
- **Grafana** : Grafana est un outil de visualisation de données open-source qui permet de créer des tableaux de bord interactifs et personnalisés. Il se connecte à InfluxDB pour récupérer les données stockées et les affiche de manière visuellement attrayante.

### 2. Flux de données en temps réel

L'ESP32 collecte les mesures du routeur solaire à intervalles réguliers. Il envoie ensuite ces données à InfluxDB en utilisant des protocoles de communication tels que MQTT ou HTTP.

Ce flux de données en temps réel garantit que les mesures sont continuellement mises à jour dans la base de données, permettant une surveillance en temps réel des performances du routeur solaire.

### 3. Stockage et requêtes de données

InfluxDB stocke les mesures dans une base de données spécifique dédiée au projet de Routeur Solaire. Il utilise un modèle de données flexible basé sur des tags, des champs et des horodatages pour organiser les données. InfluxDB permet également d'exécuter des requêtes de données avancées pour extraire des informations spécifiques sur les performances du routeur solaire à partir des données stockées.

### 4. Tableaux de bord et visualisation

Grafana se connecte à InfluxDB pour récupérer les données de mesure. Il offre une interface conviviale permettant de créer des tableaux de bord personnalisés. Les utilisateurs peuvent ajouter des graphiques, des jauges, des tableaux et d'autres éléments visuels pour afficher les mesures de tension, de courant et de puissance du routeur solaire. Grafana permet également d'appliquer des filtres, des agrégations et des intervalles de temps pour analyser les données de manière approfondie.

### 5. Personnalisation et alertes

Grafana offre de nombreuses options de personnalisation pour adapter les tableaux de bord à des besoins spécifiques. Les utilisateurs peuvent choisir différents types de graphiques, définir des seuils d'alerte et configurer des notifications en cas de dépassement de ces seuils. Cela permet une surveillance proactive du routeur solaire et une réaction rapide en cas de problèmes.

En utilisant cette structure et ces fonctionnalités, le projet de Routeur Solaire peut bénéficier d'un système complet d'interfaçage, de surveillance et de visualisation des mesures de tension, de courant et de puissance. Cela permet une évaluation précise des performances du routeur solaire et une optimisation continue de son efficacité énergétique.

## IV.3 Outils logiciels et services en ligne

Les outils logiciels et services en ligne sont des ressources utilisées pour faciliter différentes tâches, du développement à la gestion des données. Voici une liste d'outils logiciels et services en ligne couramment utilisés dans divers domaines :

### IV.3.1 Définition d'un serveur

Un Raspberry Pi est un ordinateur monocarte de petite taille, populaire dans le domaine des projets électroniques et de l'informatique embarquée. Il peut être utilisé comme serveur dans de nombreuses applications, offrant une solution économique et polyvalente.

Un serveur Raspberry Pi offre une solution économique et polyvalente pour des besoins de serveur légers à moyens. Cependant, il convient de noter que les performances du Raspberry Pi peuvent être limitées par rapport à des serveurs plus puissants, il est donc important de considérer les exigences spécifiques de votre projet et de vous assurer que le Raspberry Pi répond à vos besoins en termes de puissance de calcul, de stockage et de connectivité.

### IV.3.2 MQTT - Mosquito

MQTT, abréviation de Message Queuing Telemetry Transport; est un protocole de messagerie open source qui fournit une communication non persistante entre les appareils en transmettant des messages [20].

Il a été créé en 1999 par Andy Stanford-Clark, ingénieur chez IBM, et Arlen Nipper chez EuroTech, principalement dans la communication M2M pour permettre à deux appareils utilisant des technologies différentes de communiquer. Après être devenu une norme ISO en 2016, MQTT a connecté des millions d'appareils dans le monde entier dans diverses applications et industries. C'est une technologie du futur; déclare Fabien Pereira Vaz, responsable des ventes techniques chez Paessler AG. Les géants du Web comme AWS ou Microsoft utilisent MQTT pour télécharger des données sur leurs plateformes cloud [20].



FIGURE IV.1 – Logo de Mosquitto [35]

### IV.3.3 Node-Red

Node-RED est un outil de développement de programmation visuelle basé sur les flux développé à l'origine par IBM pour connecter des périphériques matériels, des API et des services en ligne dans le cadre d'objets Internet [41].

Node-RED fournit un éditeur basé sur un navigateur Web pour connecter facilement les flux à l'aide des différents nuds du panneau, qui peuvent être déployés dans son environnement d'exécution en un seul clic. De plus, vous pouvez créer vos propres fonctions basées sur JavaScript. Les éléments d'application peuvent être enregistrés ou partagés pour être réutilisés. Le runtime est construit sur Node.js et les flux créés dans Node-RED sont stockés à l'aide de JSON [41].

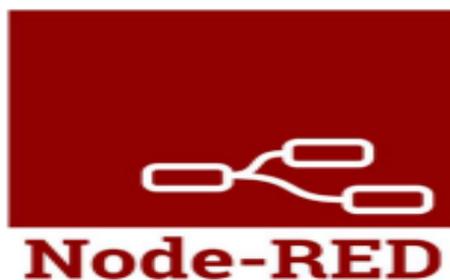


FIGURE IV.2 – Logo de Node-RED [35]

### IV.3.4 Influxdb

InfluxDB est une base de données de séries temporelles open source (TSDB) développée par InfluxData. Il est écrit en gigaoctets et est optimisé pour un stockage et une récupération rapides et à haute disponibilité de données de séries chronologiques dans des domaines tels que la surveillance opérationnelle, les métriques d'application, les données de capteurs IoT et l'analyse en temps réel [41].



FIGURE IV.3 – Logo de InfluxDB [35]

### IV.3.5 Grafana

Grafana est une solution open source pour exécuter des analyses de données, extraire des mesures significatives sur de grandes quantités de données et surveiller nos applications avec des tableaux de bord personnalisables [41].

Grafana se connecte à toutes les sources de données possibles, communément appelées bases de données, telles que Graphite, Prometheus, Influx DB, Elasticsearch, MySQL, PostgreSQL, etc. Cet outil aide à rechercher, analyser et surveiller les données sur une période de temps, techniquement connue sous le nom d'analyse de séries chronologiques [41].



FIGURE IV.4 – Logo de Grafana [35]

## IV.4 Méthodologie et développement de projet

Nous présenterons dans la suite, le Raspberry Pi que lon a utilisé dans notre projet. Ce dernier est considéré comme le cerveau de notre système parce que joue le rôle dun serveur Web affichant en temps réel plusieurs valeurs stockée dans une base de données.

Pour toutes les preuves de concept que nous allons réaliser dans ce projet, nous réaliserons des simulations virtuelles mais nous mettrons également en place de vrais capteurs. Pour ce faire, nous allons connecter notre Raspberry avec des appareils ESP32 via MQTT. Dans l'un des ESP32, vous aurez connecté un appareil de tension, de courant. Dans l'autre, une led sera connectée qui s'allumera lorsqu'une alerte précédemment programmée est activée [41].



FIGURE IV.5 – Raspberry Pi

#### IV.4.1 Configuration de Mosquitto sur le Raspberry Pi

Installez et configurez le broker MQTT Mosquitto sur votre Raspberry Pi [41]. Configurez les autorisations et les topics pour permettre à l'ESP32 de publier les mesures et de souscrire aux commandes.

#### IV.4.2 Code MQTT

Le système solaire qui génère de l'électricité et vous souhaitez surveiller la production d'énergie à distance. Vous pouvez utiliser l'ESP32 avec ce programme pour mesurer la puissance produite par le système solaire et publier ces mesures sur un serveur MQTT. Ensuite, vous pouvez développer une application pour afficher et surveiller les mesures de puissance sur un appareil mobile ou un ordinateur.

Le code que vous avez fourni, consiste à surveiller et contrôler la consommation d'énergie d'un système solaire. Elle utilise un ESP32 connecté à un réseau Wi-Fi et à un broker MQTT pour collecter et publier les mesures de puissance solaire. Elle peut être utilisée pour surveiller les performances du système solaire et prendre des décisions en fonction de la production d'énergie.

### IV.4.3 Résultat

Après avoir les résultats sur le serial monitor .

```

15:06:12.569 -> {"PW":493,"Ief":2.292785168,"Uef":230.9717102,"PVA":529,"PowerFactor":0.930000007}
15:06:17.557 -> {"PW":455,"Ief":2.165530205,"Uef":230.3170471,"PVA":498,"PowerFactor":0.910000026}
15:06:22.605 -> {"PW":433,"Ief":2.119102478,"Uef":229.6849976,"PVA":486,"PowerFactor":0.889999986}
15:06:27.625 -> {"PW":402,"Ief":2.079964399,"Uef":229.650589,"PVA":477,"PowerFactor":0.839999974}
15:06:32.651 -> {"PW":421,"Ief":2.243326664,"Uef":229.5249329,"PVA":514,"PowerFactor":0.810000002}
15:06:37.638 -> {"PW":385,"Ief":2.240593195,"Uef":229.3196411,"PVA":513,"PowerFactor":0.75}
15:06:42.678 -> {"PW":345,"Ief":2.54654789,"Uef":228.4138184,"PVA":581,"PowerFactor":0.589999974}
15:06:47.710 -> {"PW":454,"Ief":2.146934986,"Uef":229.8791504,"PVA":493,"PowerFactor":0.920000017}
15:06:52.726 -> {"PW":470,"Ief":2.201245308,"Uef":230.1983795,"PVA":506,"PowerFactor":0.920000017}

```

FIGURE IV.6 – Serial monitor de programme

- Tension efficace : Cette valeur représente la tension mesurée en volts (V). Dans votre cas, la tension est proche de 230V, qui est la valeur de référence pour les réseaux électriques domestiques. Des petites variations peuvent être observées en raison de l'augmentation de la charge.
- Variation de tension : Cette valeur indique la différence entre la tension mesurée et la valeur de référence de 230V. Une variation positive signifie que la tension mesurée est inférieure à 230V. Cela peut être dû à l'augmentation ou à la diminution de la charge sur le système solaire.
- Courant efficace : Cette valeur représente le courant mesuré en ampères (A). Assurez-vous que le courant efficace ne dépasse pas 8A, car cela pourrait indiquer un dépassement de la capacité du système ou de la limite de sécurité.
- Facteur de puissance : Le facteur de puissance est une mesure de l'efficacité de la conversion de l'énergie électrique en énergie utilisable. Un facteur de puissance proche de 1 indique une charge résistive, où l'énergie électrique est convertie efficacement en travail utile.
- Puissance active : C'est la puissance réelle mesurée en watts (W). Elle représente la quantité d'énergie réellement utilisée par la charge.
- Puissance apparente : C'est la puissance totale mesurée en voltampères (VA). Elle représente la quantité totale d'énergie qui est convertie et transférée par le système, qu'elle soit réellement utilisée ou non.

Ces mesures vous permettent de surveiller les performances de votre système solaire en termes de production et d'utilisation d'énergie. Vous pouvez ajuster ou prendre des décisions en fonction de ces valeurs pour optimiser l'utilisation de l'énergie solaire et maintenir le système dans des limites sûres et efficaces.

## IV.5 Node-red

### IV.5.1 Installation de Node-red

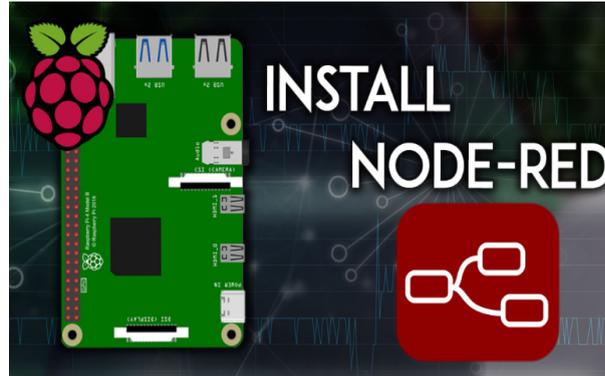


FIGURE IV.7 – Install Node-RED on Raspberry Pi [39]

Tout d'abord, nous allons exécuter quelques commandes pour mettre à jour le dépôt apt-get [41] :

```
sudo apt-get update
```

```
sudo apt-get upgrade
```

Les développeurs de Node-RED fournissent un script pour installer Node.js, npm et Node-RED sur un Raspberry Pi. Le script peut également être utilisé pour mettre à niveau une installation existante lorsqu'une nouvelle version est disponible.

L'exécution de la commande suivante téléchargera et exécutera le script [41].

```
bash < (curl -sL https://raw.githubusercontent.com/nodered/linux-installers/master/deb/update-nodejs-andnodered)[39].
```

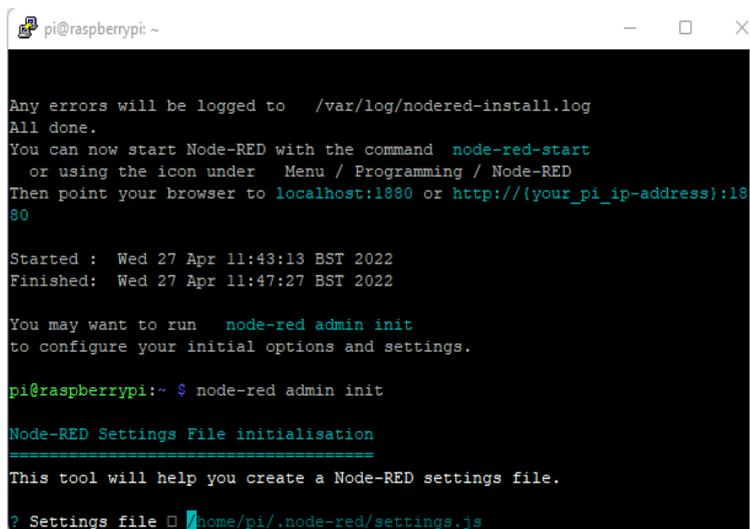
```
pi@raspberrypi: ~  
┌───┴───  
Stop Node-RED  
Remove old version of Node-RED  
Remove old version of Node.js  
Install Node.js 14 LTS v14.19.3 Npm 6.14.17  
Clean npm cache  
Install Node-RED core 2.2.2  
Move global nodes to local  
Npm rebuild existing nodes  
Install extra Pi nodes  
Add shortcut commands  
Update systemd script  
  
Any errors will be logged to /var/log/nodered-install.log  
All done.  
You can now start Node-RED with the command node-red-start  
or using the icon under Menu / Programming / Node-RED  
Then point your browser to localhost:1880 or http://[your_pi_ip-address]:1880  
  
Started : Mon 6 Jun 17:26:50 WEST 2022  
Finished: Mon 6 Jun 17:32:27 WEST 2022  
  
You may want to run node-red admin init  
to configure your initial options and settings.  
pi@raspberrypi:~$
```

FIGURE IV.8 – Node-RED package installation [39]

## IV.5.2 Configure Node-RED Settings

Après installation, il est recommandé de configurer les options et les paramètres initiaux. Exécutez la commande suivante [39] :

**node-red admin init**



```
pi@raspberrypi: ~  
Any errors will be logged to /var/log/nodered-install.log  
All done.  
You can now start Node-RED with the command node-red-start  
or using the icon under Menu / Programming / Node-RED  
Then point your browser to localhost:1880 or http://{your_pi_ip-address}:1880  
  
Started : Wed 27 Apr 11:43:13 BST 2022  
Finished: Wed 27 Apr 11:47:27 BST 2022  
  
You may want to run node-red admin init  
to configure your initial options and settings.  
  
pi@raspberrypi:~ $ node-red admin init  
Node-RED Settings File initialisation  
-----  
This tool will help you create a Node-RED settings file.  
? Settings file  /home/pi/.node-red/settings.js
```

FIGURE IV.9 – Configure Node-RED Settings [39]

- Appuyez sur Entrée pour créer un fichier Node-RED Settings sur `/home/pi/.node-red/settings.js`
  - Voulez-vous configurer la sécurité des utilisateurs? Oui.
  - Saisissez un nom d'utilisateur et appuyez sur Entrée (vous devez vous en souvenir plus tard).
  - Ensuite, vous devez définir les autorisations des utilisateurs. Nous définirons l'accès complet, assurez-vous que l'option d'accès complet est surlignée en bleu et appuyez sur Entrée.
  - Vous pouvez ajouter d'autres utilisateurs avec des permissions différentes si vous voulez. Nous allons simplement créer un utilisateur pour l'instant. Vous pouvez toujours ajouter d'autres utilisateurs plus tard.
  - Voulez-vous activer la fonctionnalité Projets? Non.
  - Saisissez un nom pour votre fichier de flux. Appuyez sur Entrée pour sélectionner le nom par défaut `flows.json`.
  - Fournissez une phrase de passe pour chiffrer votre fichier d'identifiants. Apprenez-en davantage sur ce que c'est une phrase de passe.
  - Sélectionnez un thème pour l'éditeur. Appuyez simplement sur Entrée pour sélectionner la valeur par défaut.
  - Appuyez à nouveau sur Entrée pour sélectionner l'éditeur de texte par défaut.
  - Autoriser les nuds de fonction à charger des modules externes? Oui.
- La configuration Node-RED a réussi. Tous les paramètres sont enregistrés sur `settings.js`.

### IV.5.3 Start Node-RED

Exécuter la commande suivante pour démarrer Node-RED [39] :

**node-red-start** Vous devriez obtenir un message similaire sur le Terminal [39] :

```

pi@raspberrypi: Node-RED console
Settings file written to /home/pi/.node-red/settings.js
pi@raspberrypi:~$ node-red-start
Start Node-RED
Once Node-RED has started, point a browser at http://192.168.1.106:1880
On Pi Node-RED works better with the Firefox or Chrome browser

Use node-red-stop to stop Node-RED
Use node-red-start to start Node-RED again
Use node-red-log to view the recent log output
Use sudo systemctl enable nodered.service to autostart Node-RED at every boot
Use sudo systemctl disable nodered.service to disable autostart on boot

To find more nodes and example flows - go to http://flows.nodered.org

Starting as a systemd service.
6 Jun 17:41:23 - [info]
Welcome to Node-RED
-----
6 Jun 17:41:23 - [info] Node-RED version: v2.2.2
6 Jun 17:41:23 - [info] Node.js version: v14.19.3
6 Jun 17:41:23 - [info] Linux 5.15.32-v8+ arm64 LE
6 Jun 17:41:23 - [info] Loading palette nodes
6 Jun 17:41:25 - [info] Settings file : /home/pi/.node-red/settings.js
6 Jun 17:41:25 - [info] Context store : 'default' (module=memory)
6 Jun 17:41:25 - [info] User directory : /home/pi/.node-red
6 Jun 17:41:25 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
6 Jun 17:41:25 - [info] Flows file : /home/pi/.node-red/flows.json
6 Jun 17:41:25 - [info] Creating new flow file
6 Jun 17:41:25 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
6 Jun 17:41:25 - [info] Starting flows
6 Jun 17:41:25 - [info] Started flows

```

FIGURE IV.10 – Execution de node-red dans le terminal [39]

### IV.5.4 Access Node-RED

Node-RED fonctionne sur le port 1880. Pour accéder à Node-RED, ouvrez un navigateur et saisissez l'adresse IP Raspberry Pi suivie de :1880 [39].

**192.168.43.94 :1880**

Maintenant, nous avons accès à Node-RED. Vous pouvez commencer à construire vos flux [39] .

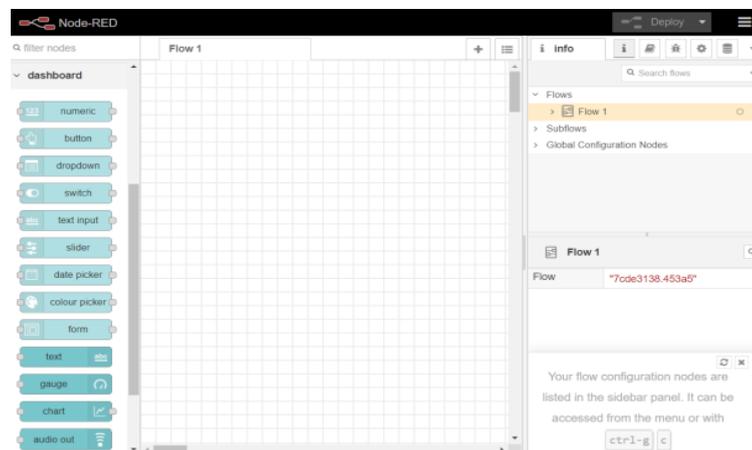


FIGURE IV.11 – Fenêtre de Node-Red

### IV.5.5 La réalisation de notre système

Dans notre projet, nous avons créé une solution pour envoyer des données à distance via le protocole MQTT qui contient un Broker (mosquitto), et la forme générale de notre projet est représentée dans la figure suivante.



FIGURE IV.12 – Schéma de Node-RED

### IV.5.6 Programmation Node-red

On a réaliser le programme suivant sur notre Node-Red comme la figure IV.13 est présenté :

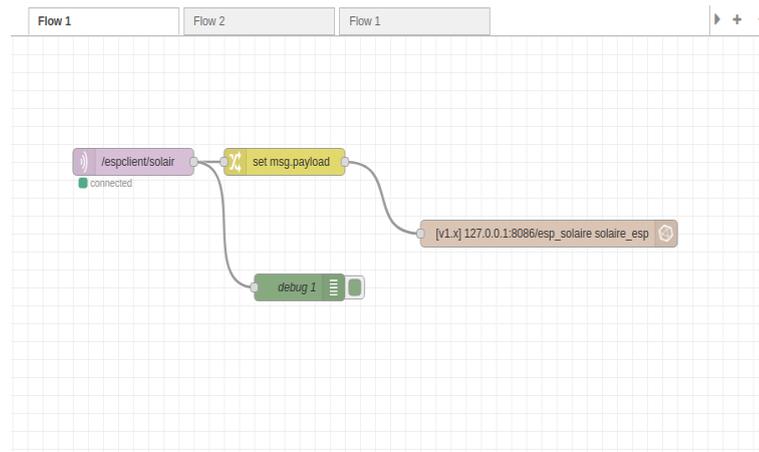


FIGURE IV.13 – Schéma de Node-RED

### IV.5.7 Principe de fonctionnement de système propose

Le système que nous proposons est une résolution pour envoyer et recevoir un collection des informations par exemple un message par un moyen de communication(PC ,Smart Phone ..) à distance [31].

Dans notre projet nous avons détailler comment mesurer la tension, le courant, la puissance active et apparente et le facteur de puissance par le et le protocole MQTT, et l'envoyer depuis le lieu de mesure à plusieurs PC distants. Notre travail est devisé en parties :

- **Partie 1** : Commençons par un processus très simple qui lit les valeurs de tension, courant, puissance (réelle et apparente et facteur de puissance).

Nous avons implémenté le programme suivant sur notre Node-Red comme le montre la Figure IV.13.

un noeud debug : qui affiche le msg.payload.

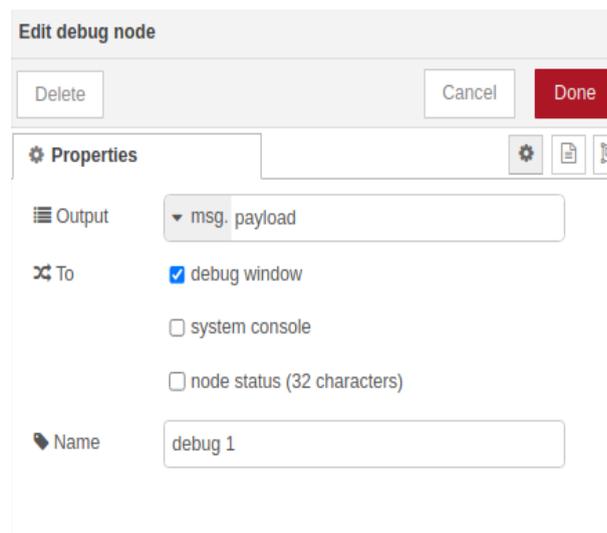


FIGURE IV.14 – Debug

un noeud de fonction : les noeuds de fonction sont utilisés pour transmettre des messages via des fonctions JavaScript Dans l'image ci-dessous, il nous montre comment nous écrivons la fonction :

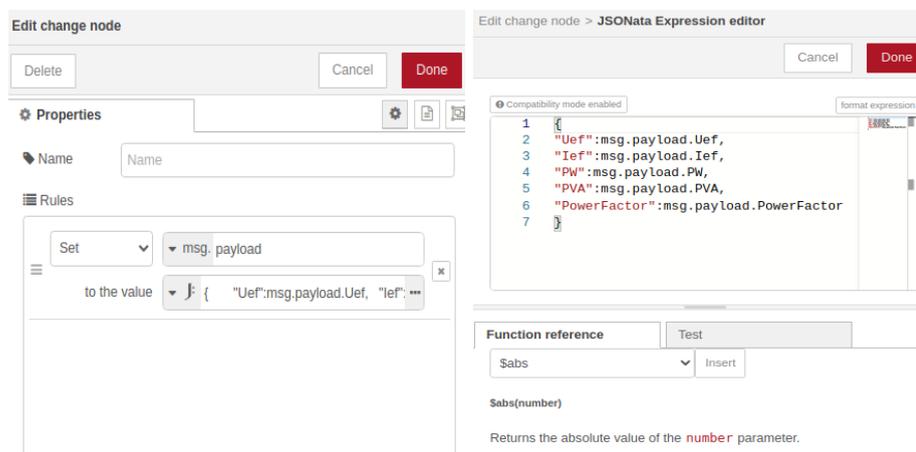


FIGURE IV.15 – Fonction JavaScript

- **Partie 2** : Dans cette partie, nous utilisons le protocole MQTT pour envoyer des données à distance, pour lequel nous utilisons les noeuds indiqués sur la figure pour envoyer des données MQTT.



FIGURE IV.16 – Schéma de Node-RED

Envoyez via le protocole MQTT, cliquez sur le noeud pour configurer les paramètres du protocole MQTT (sujet, adresse du courtier, etc.)  
Nous avons sélectionné le topic `"/espclient/solair"` avec la même adresse proxy `"192.168.43.94 :1883"`, comme le montre la Figure IV.17 :

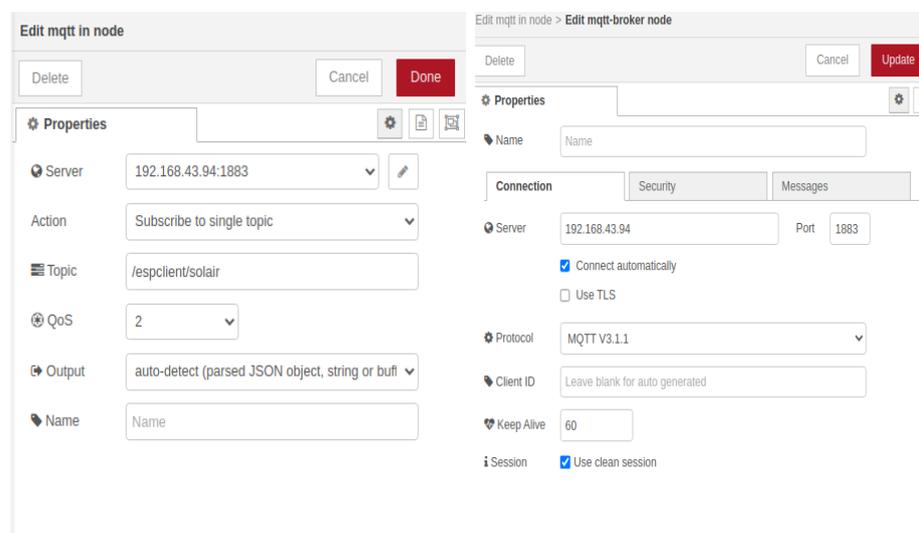


FIGURE IV.17 – Configuration du noeud MQTT

- **Partie 3** : Dans cette partie, nous utilisons le noeud influxdb out  
Le noeud Edit InfluxDB 8086 Out est un noeud dans le framework Node-RED qui permet d'envoyer des données vers une base de données InfluxDB sur le port 8086. Il est généralement utilisé pour stocker des données provenant de capteurs ou d'autres sources dans une base de données InfluxDB.

Le noeud Edit InfluxDB 8086 Out vous permet de spécifier la configuration de connexion à votre base de données InfluxDB, telle que l'adresse IP du serveur, le nom de la base de données, les informations d'identification, etc. Vous pouvez également spécifier le format des données que vous souhaitez envoyer à la base de données, y compris les mesures, les tags et les champs.

Une fois configuré, ce noeud envoie les données que vous lui transmettez à la base de données InfluxDB. on a utiliser noeud Node-RED pour collecter les données provenant de différentes sources, les traiter et les préparer, puis les envoyer au noeud "Edit InfluxDB 8086 Out" pour les stocker dans votre base de données InfluxDB.

En résumé, le noeud "Edit InfluxDB 8086 Out" dans votre projet Raspberry Pi avec

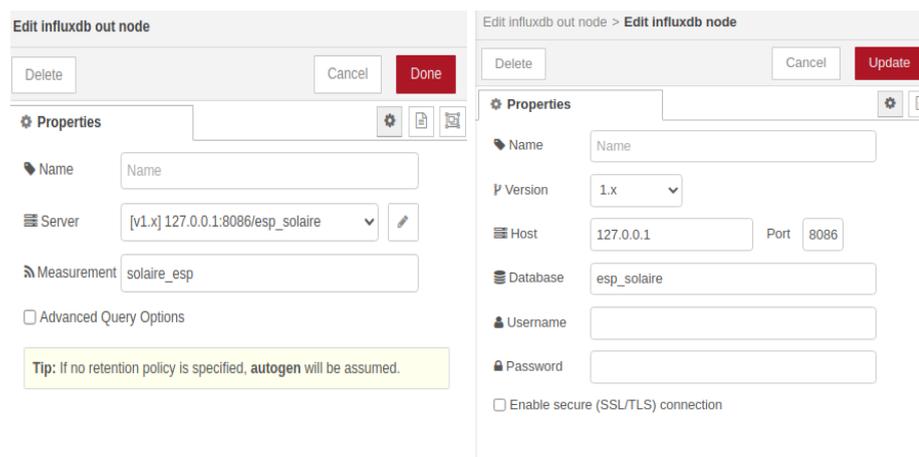


FIGURE IV.18 – Configuration du noeud influxdb out

Node-RED est responsable de l'envoi des données vers une base de données InfluxDB, vous permettant ainsi de stocker et de gérer des séries temporelles de données.

#### IV.5.8 Les résultats dans la programmation Node-Red



FIGURE IV.19 – Messages MQTT

**Interprétation :**

Lorsque vous utilisez le programme dans un flux Node-RED pour recevoir les messages MQTT et les afficher dans le nud "Debug" ou les utiliser dans d'autres nuds, vous pouvez interpréter les résultats de la manière suivante :

- Tension efficace : La valeur du message "payload" représente la tension mesurée en volts (V). Vous pouvez utiliser cette valeur dans d'autres nuds ou l'afficher dans le nud "Debug" pour suivre la variation de la tension efficace au fil du temps.

Variation de tension : Vous pouvez calculer la variation de tension en soustrayant la valeur du message "payload" de la valeur de référence de 230V. Une valeur positive indique que la tension mesurée est inférieure à 230V. Vous pouvez utiliser cette valeur pour détecter les fluctuations de tension et prendre des mesures appropriées si nécessaire.

- Courant efficace : Effectivement, lorsque la charge sur un système électrique augmente, le courant tend à augmenter tandis que la tension a tendance à diminuer. Cela est principalement dû aux caractéristiques des éléments du circuit électrique et à la loi d'Ohm.

Lorsque vous ajoutez une charge supplémentaire à votre système solaire, elle augmente la demande d'énergie et donc le courant qui circule dans le circuit. Cela peut être dû à des appareils électriques supplémentaires ou à une utilisation plus intensive des appareils existants.

- Facteur de puissance : La valeur du message "payload" représente le facteur de puissance. Vous pouvez l'utiliser pour évaluer l'efficacité de la conversion d'énergie de votre système. Un facteur de puissance proche de 1 indique une charge résistive, tandis qu'une valeur inférieure peut indiquer la présence de charges réactives.
- Puissance active : La valeur du message "payload" représente la puissance active mesurée en watts (W). Vous pouvez utiliser cette valeur pour suivre la quantité d'énergie réellement utilisée par la charge.
- Puissance apparente : La valeur du message "payload" représente la puissance apparente mesurée en voltampères (VA). Vous pouvez utiliser cette valeur pour évaluer la quantité totale d'énergie qui est convertie et transférée par le système.

En utilisant Node-RED, vous pouvez configurer différents nuds pour afficher ces valeurs dans des tableaux de bord, des graphiques ou les stocker dans une base de données. Vous pouvez également mettre en place des seuils d'alerte pour être averti lorsque des valeurs dépassent des limites spécifiques. Cela vous permet de surveiller et d'analyser les performances de votre système solaire de manière visuelle et automatisée.

## IV.6 Grafana

Premièrement dans Grafana est d'ajouter la source de donnée (InfluxDB dans notre cas). Allons dans Administration puis Datasource puis Add Datasource et ajoutons la base Influxdb

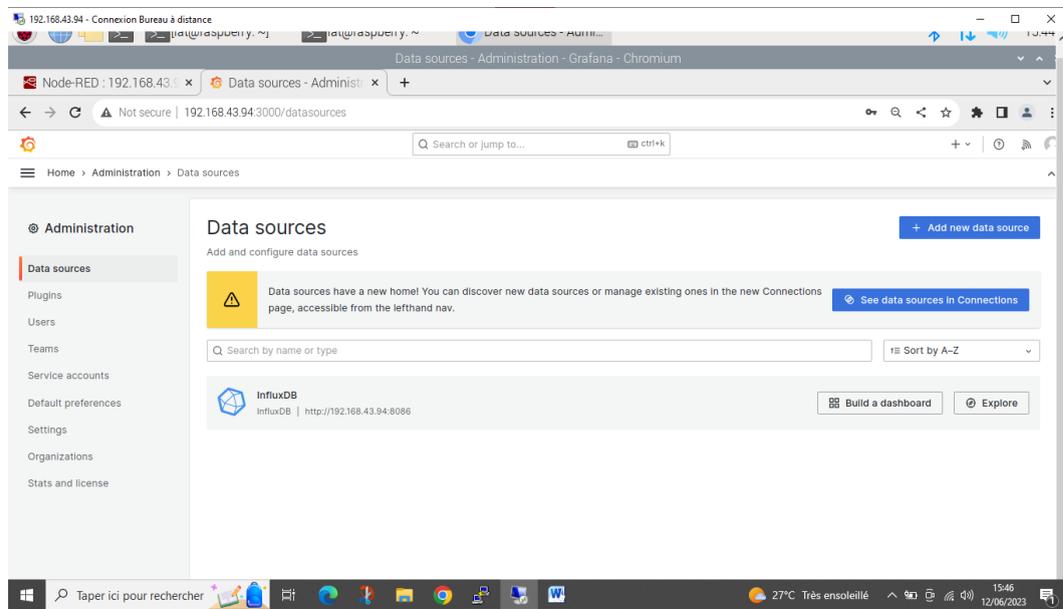


FIGURE IV.20 – Datasource

### IV.6.1 Influxdb

Ensuite en créer la source de donnée :

Database : influx\_db

Username : influx\_user

Password : influx\_password

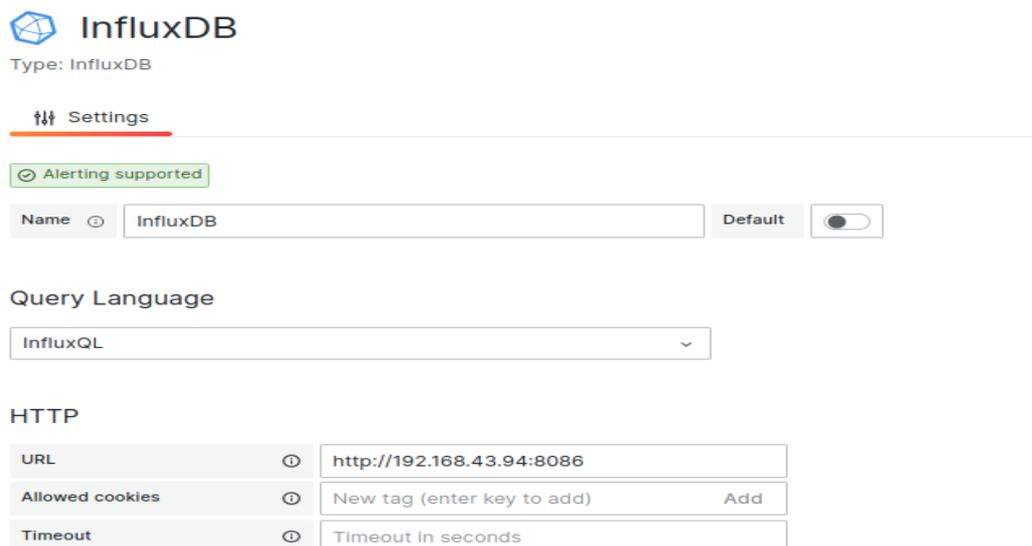


FIGURE IV.21 – Adresse de InfluxDB

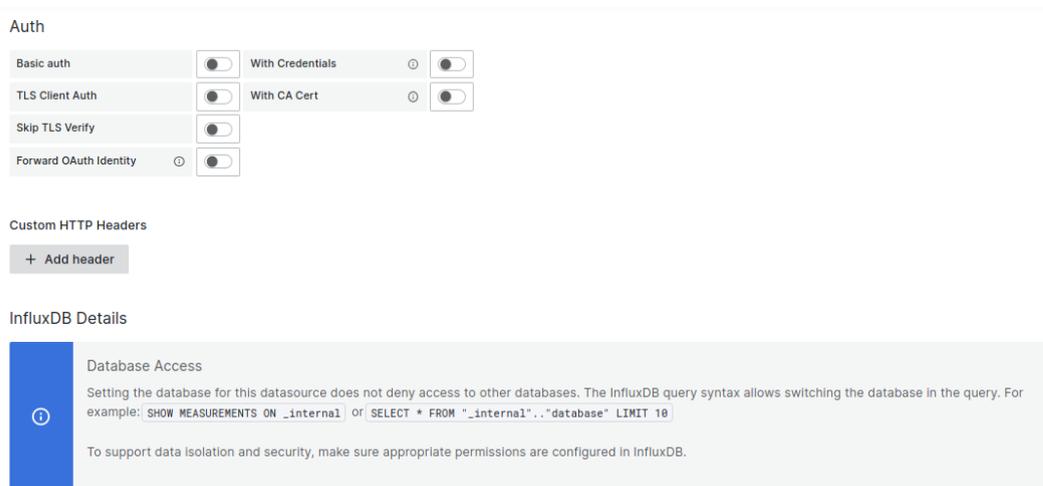


FIGURE IV.22 – InfluxDB Details

Database	esp_solaire
User	
Password	Password
HTTP Method	GET
Min time interval	10s
Max series	1000

FIGURE IV.23 – Database InfluxDB

## IV.6.2 Visualisation dans Grafana

Pour créer un compte Grafana sur votre Raspberry Pi, vous pouvez suivre ces étapes :

1. Accédez à la page de téléchargement de Grafana à l'adresse suivante : <https://grafana.com/grafana/download>
2. Choisissez la version appropriée de Grafana pour votre Raspberry Pi. Grafana prend en charge différentes architectures, assurez-vous donc de choisir la version compatible avec votre modèle de Raspberry Pi.
3. Une fois que vous avez téléchargé le fichier d'installation, ouvrez un terminal sur votre Raspberry Pi.
4. Naviguez jusqu'au répertoire où vous avez téléchargé le fichier d'installation de Grafana à l'aide de la commande `cd`.
5. Décompressez le fichier d'installation à l'aide de la commande suivante :  
`tar zxvf nom_du_fichier.tar.gz`

6. Après avoir décompressé le fichier, accédez au répertoire Grafana en utilisant la commande **cd**.
7. Lancez l'installation de Grafana en exécutant la commande suivante :  
**sudo ./bin/grafana-server**
8. Attendez que l'installation soit terminée. Vous devriez voir des messages dans le terminal indiquant que Grafana a démarré.
9. Ouvrez un navigateur sur un autre appareil connecté au même réseau que votre Raspberry Pi.
10. Accédez à l'adresse IP de votre Raspberry Pi, suivie du port 3000. l'adresse IP de notre Raspberry Pi est 192.168.43.94, vous devez accéder à `http://192.168.1.100:3000`.
11. Vous devriez voir la page de connexion Grafana. Cliquez sur "Create account" pour créer un nouveau compte.

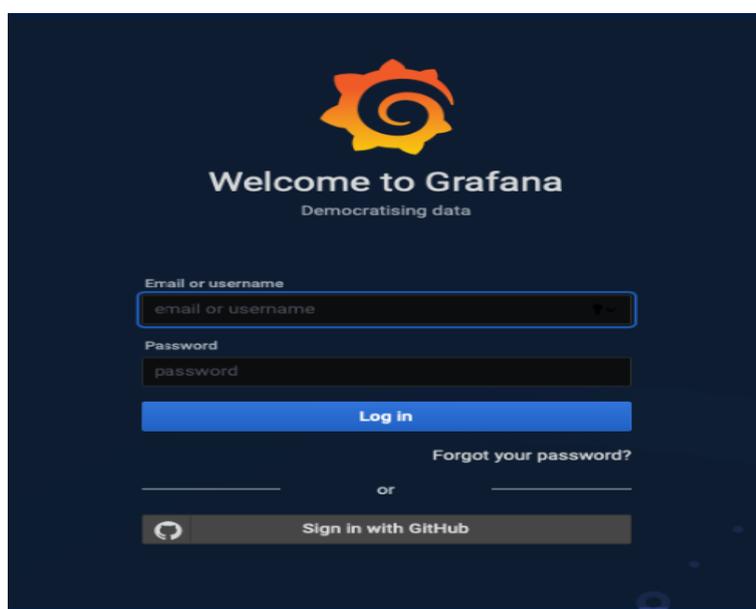


FIGURE IV.24 – Compte de Grafana

12. Remplissez les informations demandées, telles que le nom d'utilisateur, l'adresse e-mail et le mot de passe, pour créer votre compte Grafana.
13. Une fois le compte créé, vous pourrez vous connecter à Grafana en utilisant vos informations d'identification.
14. C'est tout ! nous avons maintenant créé un compte Grafana sur notre Raspberry Pi. nous pourrez utiliser Grafana pour visualiser et analyser des données à partir de différentes sources.

### IV.6.3 Création d'un Dashboard

Pour créer un dashboard dans Grafana et afficher les différentes mesures des courbes nous suivre ces étapes :

1. Assurons-nous d'avoir configuré et connecté notre source de données solaire à Grafana. Cela en utilisant un plugin spécifique pour notre source de données ou en utilisant des outils tels que InfluxDB ou Prometheus pour collecter les données solaires.
2. Une fois que nous avons configuré notre source de données, connectons-nous à Grafana et Accéderons à notre tableau de bord.
3. Créer un nouveau dashboard sur le bouton "Create"
4. Sur la page de création du dashboard, nous verrons une zone vide où nous pouvons ajouter des panels. sur le bouton "Add panel" pour ajouter un nouveau panel.
5. Dans la fenêtre de configuration du panel, sélectionne le type de graphique approprié pour afficher les courbes de mesure. Par exemple, vous pouvez choisir le type de graphique "Time series" pour afficher les mesures dans le temps.
6. Configurez les options du panel telles que le titre, la plage de temps, l'échelle, etc.
7. Sous l'onglet "Metrics", sélectionnons la source de données solaire à partir de laquelle vous souhaitez extraire les mesures. Choisissons les mesures spécifiques que vous souhaitez afficher, telles que la tension, le courant efficace, la puissance active, la puissance apparente et le facteur de puissance.
8. Configurons les options de visualisation du graphique, telles que les couleurs, les légendes, les unités, etc., pour correspondre à vos préférences.
9. Une fois que nous avons ajouté tous les panels souhaités, cliquons sur le bouton "Save" pour enregistrer votre dashboard.

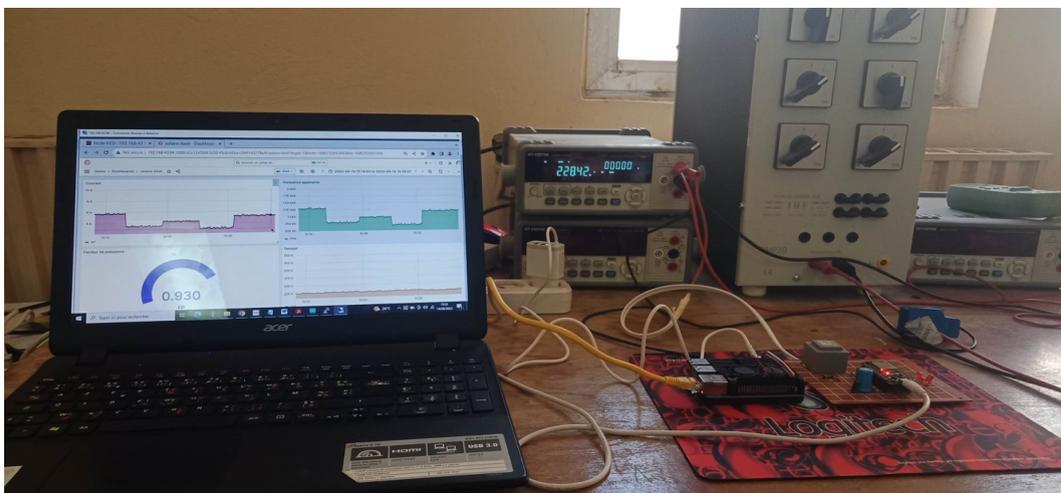


FIGURE IV.25 – Visualisation graphique dans Grafana

#### IV.6.4 Tension

La tension mesurée entre 13 :40 à 14 :10 représente la valeur efficace du tension électrique dans votre système solaire. La stabilité de la tension efficace à 230V avec de légères variations peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment :

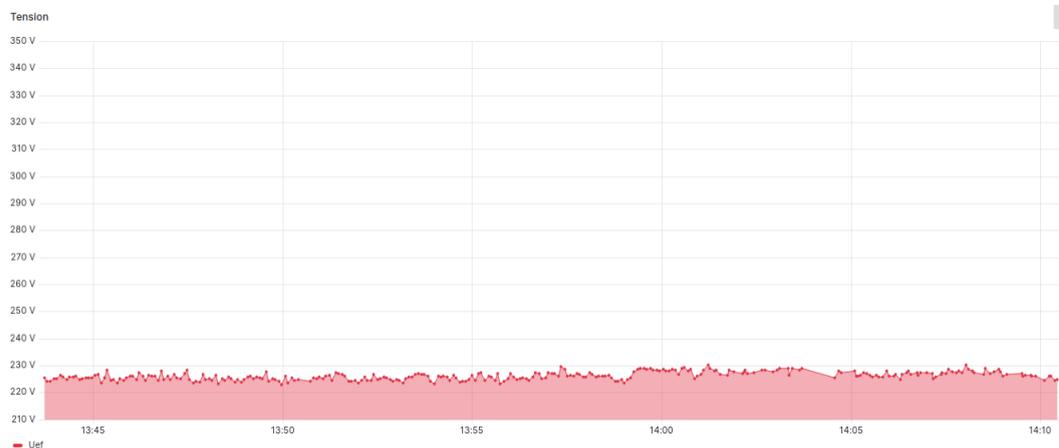


FIGURE IV.26 – Tension efficace

- **Instabilité du réseau électrique** : Les réseaux électriques peuvent présenter des fluctuations de tension en raison de la demande fluctuante d'électricité, des variations de charge sur le réseau et d'autres facteurs externes tels que les variations de la production d'énergie. Ces fluctuations peuvent entraîner de légères variations de la tension efficace mesurée.
- **Charge et décharge du système** : Lorsque vous ajoutez ou supprimez une charge du système, cela peut entraîner des fluctuations temporaires de la tension. Par exemple, lorsqu'une charge est connectée, elle peut entraîner une légère chute de tension en raison de la demande accrue d'énergie. De même, lorsque la charge est déchargée, la tension peut légèrement augmenter.
- **Caractéristiques des appareils connectés** : Certains appareils électriques peuvent avoir une demande d'énergie variable, ce qui peut également influencer la stabilité de la tension mesurée.

Il est important de noter que de légères variations de la tension dans une plage normale (comme de 230V à 229V) sont généralement acceptables et ne devraient pas causer de problèmes majeurs pour la plupart des équipements électriques. Cependant, des fluctuations excessives ou des chutes de tension importantes peuvent avoir un impact négatif sur les appareils sensibles.

### IV.6.5 Courant

Le courant mesuré indique l'intensité du courant électrique qui circule dans votre système solaire.

Dans notre scénario, nous indiquons que de 13 :45 à 14 :10, il y a une variation de courant efficace avec une charge initiale de 7,2A, qui diminue ensuite à 3,5A.

- Charge initiale à 7,2A : À 13 :45, nous avons connecté une charge au système, ce qui a entraîné une demande d'énergie plus élevée et donc un courant efficace de 7,2A. Cela indique que votre système fonctionnait à pleine capacité pour alimenter cette charge.

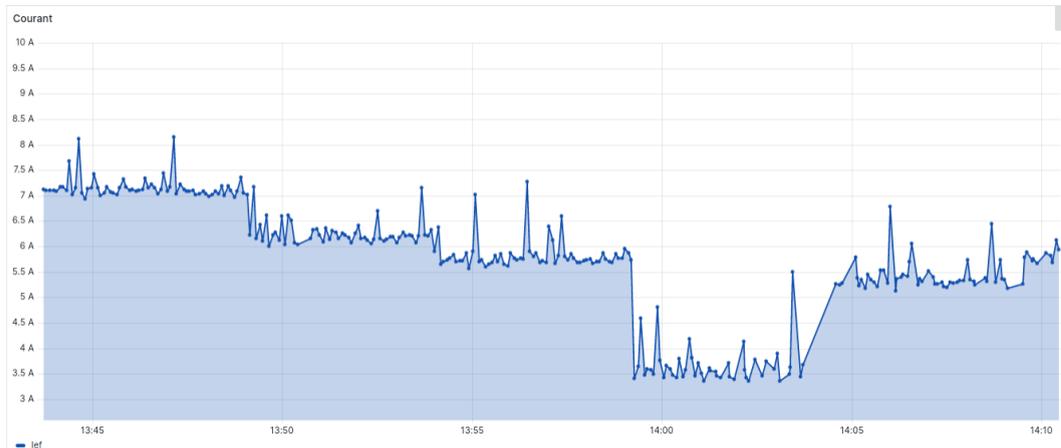


FIGURE IV.27 – Courant efficace

- Diminution à 3,5A : Au fil du temps, la charge a été déchargée progressivement, entraînant une diminution du courant efficace à 3,5A. Cela peut être dû à divers facteurs tels que la réduction de la demande d'énergie ou la déconnexion partielle de la charge du système.
- Charge et décharge : nous mentionnons ensuite que nous avons fait des cycles de charge et de décharge pour obtenir des variations de courant efficace. Cela signifie que nous avons ajouté et supprimé des charges à intervalles réguliers, ce qui a entraîné des augmentations et des diminutions du courant efficace au fil du temps.

En observant ces variations de courant efficace, vous pouvez obtenir des informations sur la demande d'énergie de notre système, la capacité de charge et de décharge, ainsi que la stabilité globale de notre alimentation électrique.

#### IV.6.6 Puissance active

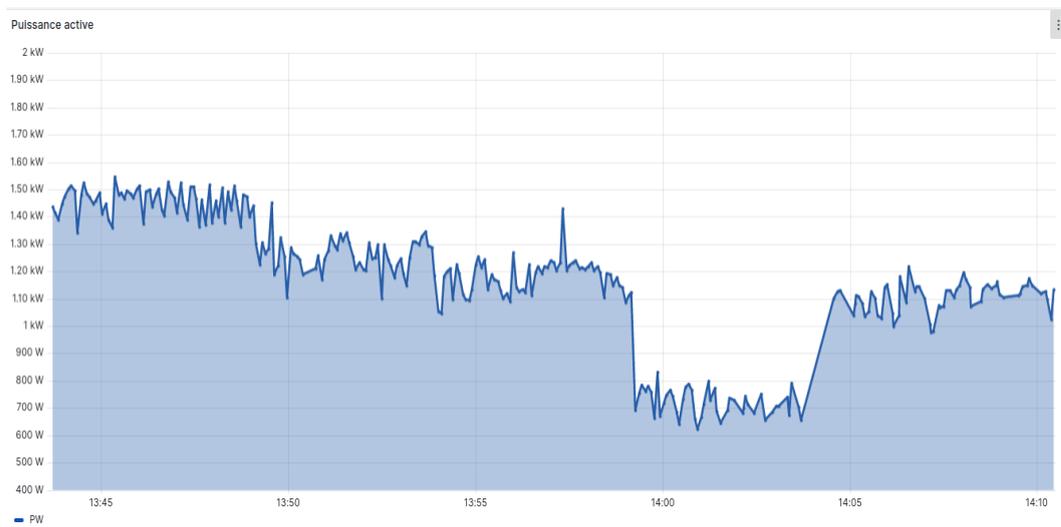


FIGURE IV.28 – Puissance active

La puissance active représente l'énergie réellement utilisée par les charges dans votre

système solaire. Vous pouvez surveiller cette valeur pour évaluer la consommation d'énergie et détecter toute augmentation ou diminution significative qui pourrait indiquer des problèmes de performance ou de surcharge.

- Puissance active de 1,4 kW en charge : Lorsque votre système est en charge avec un courant efficace de 7,2A, la puissance active atteint 1,4 kW. La puissance active est le produit du courant efficace, de la tension et du facteur de puissance. Une valeur plus élevée de courant efficace indique une plus grande demande d'énergie et donc une puissance active plus élevée.
- Diminution à 700 watts en décharge : Lorsque vous déchargez votre système et que le courant efficace diminue à 3,5A, la puissance active diminue également à 700 watts. Cela indique une réduction de la demande d'énergie et donc une diminution de la puissance active. Lorsque la charge est réduite ou déconnectée, la puissance active diminue proportionnellement.

Il est important de noter que la puissance active représente la quantité réelle de puissance consommée par le système, qui est mesurée en watts. Une diminution de la puissance active pendant la décharge peut être le résultat d'une réduction de la charge connectée au système.

#### IV.6.7 Puissance apparente

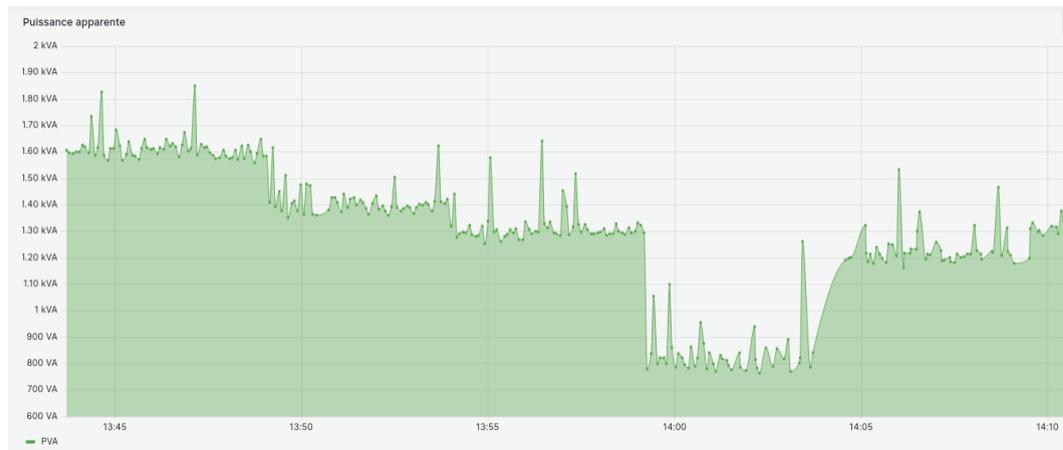


FIGURE IV.29 – Puissance apparente

La puissance apparente mesure la quantité totale d'énergie convertie et transférée dans le système. Cela représente la combinaison de la puissance active et de la puissance réactive. En surveillant cette valeur, vous pouvez évaluer l'efficacité globale du système et détecter les pertes d'énergie.

- Puissance apparente de 1,6 kVA en charge : Pendant la charge, lorsque le courant efficace est de 7,2 A, la puissance apparente atteint 1,6 kVA. La puissance apparente est le produit du courant efficace et de la tension. Elle représente la quantité totale de puissance consommée par le système, y compris la puissance active et la puissance réactive. Une valeur plus élevée de courant efficace entraîne une augmentation de la puissance apparente.
- Diminution à 800 VA après la décharge : Lorsque vous déchargez votre système et que le courant efficace diminue à 3,5 A, la puissance apparente diminue également à 800 VA.

800 VA. Cela indique une réduction de la demande d'énergie totale du système. La puissance apparente diminue lorsque la charge est réduite ou déconnectée.

### IV.6.8 Facteur de puissance

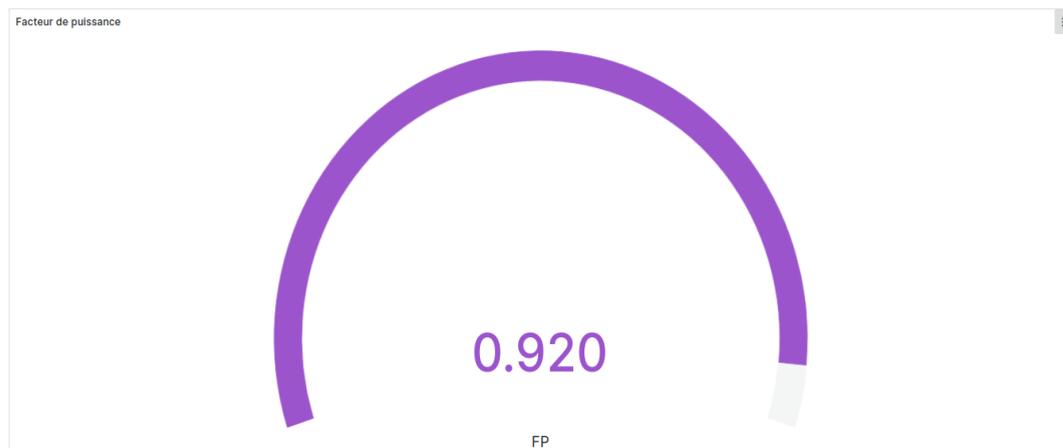


FIGURE IV.30 – Facteur de puissance

Le facteur de puissance (power factor en anglais) est une mesure de l'efficacité avec laquelle l'énergie électrique est convertie en travail utile dans un système. Il est défini comme le rapport de la puissance active à la puissance apparente. Un facteur de puissance idéal est 1, ce qui signifie que toute l'énergie électrique fournie est utilisée efficacement pour effectuer un travail utile.

## IV.7 Conclusion

En conclusion de ce chapitre, nous avons réalisé un routeur solaire en utilisant un ESP32 et Node-RED, et nous avons mis en place un protocole MQTT pour mesurer la tension, le courant efficace, la puissance active et apparente, ainsi que le facteur de puissance. Les mesures ont été affichées à l'aide de messages dans Node-RED.

De plus, nous avons mis en place un système de transfert de données à partir d'InfluxDB vers une base de données stockée dans un Raspberry Pi. Cela nous permet de stocker toutes les données collectées de manière centralisée et sécurisée.

Enfin, nous avons utilisé Grafana pour visualiser les données sous forme de graphiques. Grafana nous permet de créer des tableaux de bord personnalisés et de suivre les performances du routeur solaire en temps réel.

Ce chapitre nous a permis de mettre en place une solution complète pour surveiller et analyser les performances de notre routeur solaire. Les données collectées nous permettront d'optimiser son fonctionnement et de prendre des décisions éclairées pour maximiser son rendement énergétique. Dans le prochain chapitre, nous continuerons à améliorer notre système en ajoutant de nouvelles fonctionnalités et en affinant nos mesures.

---

## Conclusion générale

Le but de ce travail Ce travail traite de différents aspects liés aux systèmes photovoltaïques, à leur conversion et à leur surveillance. Le premier chapitre donne une introduction générale aux systèmes photovoltaïques et aux systèmes de monitoring, tandis que les chapitres suivants se concentrent sur des aspects plus techniques tels que la conversion photovoltaïque, les générateurs photovoltaïques, les architectures des systèmes photovoltaïques, l'onduleur centralisé versus micro-onduleur, l'autoconsommation énergétique et les systèmes de surveillance des installations photovoltaïques connectées.

Les chapitres suivants se concentrent sur la conception matérielle et logicielle des systèmes de monitoring. Le cahier des charges donne une description des exigences spécifiques pour la conception du système de surveillance. La structure et les fonctionnalités du système de surveillance sont ensuite détaillées, suivies de la conception matérielle et logicielle.

Les deux derniers chapitres présentent l'interfaçage et la surveillance avec les plateformes IoT ThingSpeak et Blynk. Les structures et les fonctionnalités de ces plateformes sont expliquées, ainsi que les outils logiciels et services en ligne disponibles. Les configurations et les résultats obtenus pour chaque plateforme sont également présentés et interprétés, aussi quand nous avons utilisé Raspberry Pi dans l'installation des services MQTT, Node-RED et InfluxDB qui permettent l'envoi des résultats dans gravana. Cette utilisation de Raspberry Pi démontre également l'importance de l'intégration de différents outils et technologies pour la surveillance efficace des systèmes photovoltaïques.

En somme, ce travail fournit une vue d'ensemble complète des différents aspects impliqués dans la conception, l'installation, l'interfaçage et la surveillance des systèmes photovoltaïques. Les informations et les outils présentés dans ce travail peuvent être utiles pour les professionnels, les chercheurs et les étudiants qui s'intéressent à l'énergie solaire et aux technologies de surveillance.

### Problème raconte

- quand on a dépasser le 8A l'alimentation déclanche
- Lorsque on une copure d'électricité il faut formater raspberry de nouveau pour continuer le travail

## Perspectives pour de futurs travaux

Tout travail étant perfectible, nous proposons une liste non exhaustive de travaux sur concernant des thématiques qui pourraient encore améliorer les performances de la station météorologique réalisée :

- Amélioration des performances des systèmes photovoltaïques : Les recherches peuvent se concentrer sur l'amélioration des rendements de conversion et des performances des générateurs photovoltaïques
- Intégration de systèmes de stockage d'énergie : Les systèmes de stockage d'énergie, tels que les batteries, jouent un rôle important dans l'utilisation efficace de l'énergie solaire.
- Développement de systèmes de surveillance avancés : Les technologies de surveillance des installations photovoltaïques continuent de se développer rapidement
- Intégration de l'intelligence artificielle : L'intelligence artificielle peut jouer un rôle crucial dans l'optimisation et la gestion des systèmes photovoltaïques.
- Intégration des systèmes photovoltaïques dans les bâtiments intelligents : Les bâtiments intelligents offrent un fort potentiel pour l'intégration des systèmes photovoltaïques.

---

## Bibliographie

- [1] Imane ABBAD et Nacer HEBBIR : Simulation de l'effet des paramètres climatiques (température, poussière et éclairement) sur le rendement d'une cellule solaire. 2019.
- [2] B-Rasso ABIR : *Conception d'un système de gestion d'une cité intelligente*. mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master académique, l'université de Badji Mokhtar, Annaba, 2021.
- [3] Z. AGHEZZAF : *Conception et réalisation d'une plateforme IoT pour la surveillance des installations photovoltaïques*. mémoire de fin d'études d'ingénieur, école Nationale Supérieure d'électricité et de Mécanique de Casablanca, 2019.
- [4] D. ALEXIS : Utiliser les pins gpio de esp32. <https://www.upesy.fr/blogs/tutorials/esp32-pinout-reference-gpio-pins-ultimate-guide>, 2022.
- [5] F1ATB ANDRE : Routeur solaire. mesure de puissance avec un esp32 flatb. <https://f1atb.fr/index.php/fr/2022/06/02/mesure-de-puissance-avec-un-esp32/>, 2022.
- [6] Aminou BABA-DJIMBA SOUMANOU, Macaire AGBOMAHENA, Médésu SOGBOHOSSOU, Maurel AZA-GNANDJI et Pierre AGUEMON : Gestion de la consommation d'énergie dans un logement. 2022.
- [7] Mohamed BACHIR : *Commande a distance d'un robot mobile via l'IoT*. mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master académique, l'université de Saad Dahlab de -Blida, 2018.
- [8] Bouthayna BECHERIF et Ghizlen AILAS : *Etude et simulation dun système photovoltaïque de production énergie électrique monophasé non connecté au réseau*. Thèse de doctorat.
- [9] C-A. BÉLANGER : *"Architecture photovoltaïque pour l'autoconsommation : étude de cas et dimensionnement"*. mémoire de fin d'études d'ingénieur, Université de Sherbrooke, 2016.
- [10] Faiza BELHACHAT, C LARBES, L BARAZANE et S KHARZI : Commande neuro-floue d'un hacheur mppt. In *4ème conférence internationale " Computer Integrated Manufacturing"*, CIP, volume 7, pages 03–04, 2007.
- [11] W. BERTHIER : *"Système de supervision et de monitoring de centrales photovoltaïques"*. mémoire de fin d'études d'ingénieur, école Nationale Supérieure d'ingénieurs de Caen, 2017.

- [12] Idris BOUCHELIT, Soufyan BOUBEKEUR et N HENINI : *Conception d'un système intelligent pour la supervision et la surveillance d'un champ photovoltaïque*. Thèse de doctorat, 2019.
- [13] Selsabil BOUGHERARA et Soulef CHEBIRA : *Synthèse d'une loi de commande du MPPT pour un système de conversion à un seul étage MINISTRY*. Thèse de doctorat, Directeur : Mr ABDI Sidi Mohammed/Co-Directeur : Mr OUDJAMA Farid, 2022.
- [14] Meriem BRAHAMI : *Réalisation et automatisation d'un tracker solaire en vue de production optimale de l'énergie photovoltaïque*. Thèse de doctorat.
- [15] Cherief DAHbia : *Contrôleur d'accès à base de technologie RFID*. Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri, 2018.
- [16] Abdallah DAHMANI et Abderafik KAADI : *Etude et commande d'un système de pompage photovoltaïque*. Thèse de doctorat.
- [17] L. DESFORGES : *"Autoconsommation photovoltaïque : évaluation des enjeux pour le réseau électrique"*. Université de Lorraine, 2017.
- [18] Pape Alioune DIA : *Conception d'une carte électronique «low-cost» de monitoring de systèmes photovoltaïques*. 2021.
- [19] M. DUMONT : *"étude de l'autoconsommation photovoltaïque en France et en Allemagne"*. mémoire de fin d'études d'ingénieur, école Nationale Supérieure de l'énergie, l'Eau et l'Environnement de Grenoble,, 2017.
- [20] C. GARCIA-MONTERO : comment fonctionne ce protocole. <https://www.journaldunet.fr/MQTT-tech/dictionnaire-de-l-iot/1440686-mqtt-comment-fonctionne-ce-protocole>, 2022.
- [21] R. HAJJI : Utiliser les pins de la carte esp32. <https://apcpedagogie.com/utiliser-les-pins-de-la-carte-esp32>, 2022.
- [22] Nourelhouda HAMMIM et Fatma-Zohra NACEF : *Réalisation d'un système d'acquisition de données en vue de supervision et surveillance d'un système photovoltaïque en temps réel*. Thèse de doctorat, université akli mohand oulhadj-bouira, 2022.
- [23] ROUBI HOUDHEYFA et AIB HICHEM : *Amélioration de la commande MPPT d'un système Photovoltaïque par backstepping*. Thèse de doctorat, Université Mohamed Boudiaf M'SILA, 2019.
- [24] Patrick HOUÉE : Une installation photovoltaïque en site isolé. *In article, forum des technologies*, page 32, 2011.
- [25] S-Otsmane KADDA : *"Conception et réalisation d'un système d'accès intelligent pour la domotique à base d'Arduino"*. publisher = mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master académique ,Centre Universitaire Belhadj Bouchaïb Ain Temouchent, year = 2019,.
- [26] Zaiem KAMAR : *Commande d'un système photovoltaïque par contrôleur neuro-flou réduit*. *Mémoire de Master*. Unicersité Badji Mokhtar Annaba, 2019.
- [27] K.LOUNES et N.Bey IMAD : *Contrôle de la qualité de l'eau á travers l'usage d'une plateforme électronique*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Masterde l'Université Akli mohand oulhadj-bouira, 2022.

- [28] Benneni LAMIA, Boussaad Wafa et Aribi CHAIMA : *Etude et réalisation d'un système d'alarme autonome basé sur le microcontrôleur NodeMCU ESP8266*. Thèse de doctorat, faculté des sciences et de la technologie univ bba, 2022.
- [29] (s.d). LETMEKNOW : Les sleep modes de esp32. <https://letmeknow.fr/fr/blog/142-tutoriel-les-sleep-modes-de-lesp32>.
- [30] M-Z. MERAH, M.and Kari : "*Conception, simulation et réalisation d'un onduleur assisté (Grid-Tie Inverter)*". Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master académique, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, 2015.
- [31] MOULAI MOSTEFA, M BOUHEDDA *et al.* : Conception d'un système d'acquisition des données en temps réel a base de iot en utilisant le protocole mqtt. 2021.
- [32] M.TEDJINI et D.DIHIA : *Réalisation d'une serre agricole intelligente et contrôlable à distance par Internet*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master de l'Université Abou Bakr Belkaidâ Tlemcen, 2017,2018.
- [33] ABED OUSSAMA et AMIRI SAMIR : *Etude et Réalisation d'un système de reconnaissance faciale basé sur une carte ESP32-cam et la librairie Open CV pour le langage Python*. Thèse de doctorat, faculté des sciences et de la technologie univ bba, 2022.
- [34] Stéphane PETIBON : *Nouvelles architectures distribuées de gestion et conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques*. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2009.
- [35] Sergio PONS VILLANUEVA : *Sistema de captura y monitorización de variables fisiológicas basado en tecnologías iot y plataformas de bajo coste*. 2021.
- [36] Nouredine RAHAL et Ramdane BOUIZRI : *Etude d'une source d'énergie renouvelable couplée au réseau*. Thèse de doctorat, université Akli Mohand Oulhadj-Bouira, 2020.
- [37] Adel ROZTANE et Weam ALI MERINA : *Utilisation des objets connectés dans la gestion efficace des poteaux incendie*. Thèse de doctorat, Directeur : Mr MEGNAFI Hicham/Co-Directeur : Mr BENNACER Djamel, 2022.
- [38] and B-Hatem S-AMMAR : "*étude et réalisation d'un système d'irrigation intelligente*" *publisher = mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master académique, l'université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi-Bordj Bou Arreridj, year = 2021,*.
- [39] S. SANTOS : Install node-red on raspberry pi random nerd tutorials. <https://randomnerdtutorials.com/install-node-red-raspberry-pi/>, 2022.
- [40] Fellouah SOFIANE et Mesbahi SIHAM : *Etude d'un système photovoltaïque connecté au réseau*. Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri, 2015.
- [41] Andreu SOLER MASCARELL : Home automation platform based on node red. B.S. thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2021.
- [42] S. THEREMINO : Powermeter v1.0 instructions. <https://www.theremino.com>, page 22, 2018.
- [43] Abou Abakar ZARA : Développement d'un système de télésurveillance autonome dédié à un environnement difficile. 2020.
- [44] N ZERROUKI *et al.* : Conception et réalisation d'un enregistreur de présence à empreintes digitales. 2021.

- 
- [45] Z ZERROUKI et R BEREKSI REGUIG : *Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome*. Thèse de doctorat, 2017.

A.2. Caractéristiques du micro-onduleur APsystem YC500I



FIGURE 31 – CaracteristiquesDu MicroOnduleur APsystem YC500I

### A.3.Caractéristiques du capteur de courant SCT-013-000

model: SCT013

Characteristics:

Split core, 0.333V output, Built-in with sampling resistance,  
leading wire 1 metre, standardΦ3.5 three core plug output,,  
(Patent no.: ZL 2015 3 0060067.X)

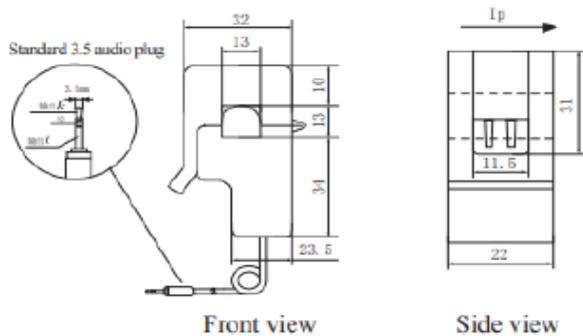
Technical index:

Suspended mounting, output with cable  
Operation temperature: -25 C ~+70 C  
Storage temperature: -30 C ~+90 C  
work voltage: ≤660V  
Work frequency: 50Hz-1KHz  
Dielectric strength: 3.5KV 50Hz 1min

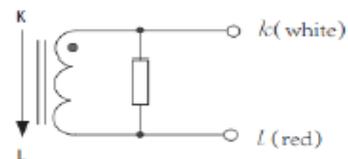
Technical Parameters table:

Rated input(Effective value)	10 20 30 50 80 100 A	
measurement range	20%~120%	A
Rated output	0.333	V
Accuracy	1	%
Linearity	1	%
frequency	50 ~ 1K	Hz
weight	50	g
Order Format: model Input output Accuracy SCT013/xxA/0.333V/1%		
Noted: The rated current ≤100A are the standard product		

Outline size: (in:mm):



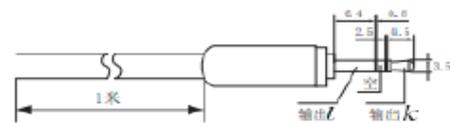
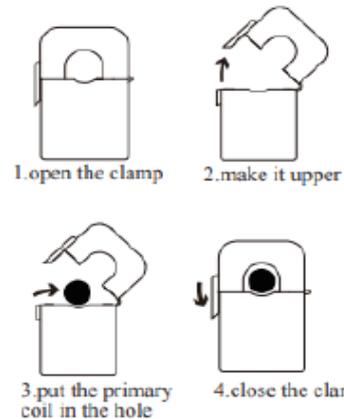
Wiring schematic:



Voltage output type : Built-in with sampling resistance  
Voltage output type : not allowed secondary short circuit.  
When the plug without audio frequency,  
the white line is the end of the same name

#### Installation Diagram

Primary coil through hole method



Standard three core plug schematic diagram

### B.2. Caractéristiques du module de charge TP4056

Le module de charge TP4056 est un module de charge de batterie très populaire et largement utilisé. Voici ses caractéristiques principales :

- Tension d'entrée : Le module TP4056 peut être alimenté par une tension d'entrée allant de 4,5 V à 5,5 V. Il est couramment utilisé avec une alimentation de 5 V telle qu'une prise USB ou une alimentation CC.
- Tension de charge : Le TP4056 est conçu pour charger des batteries lithium-ion (Li-ion) ou lithium-polymère (Li-po) à une tension constante de 4,2 V.
- Courant de charge : Le module TP4056 peut fournir un courant de charge maximal de 1 A. Cependant, certaines variantes du module peuvent être configurées pour des courants de charge plus faibles, tels que 500 mA ou 100 mA.
- Protection contre les surintensités : Le TP4056 est équipé d'une protection contre les surintensités intégrée pour éviter les dommages causés par des courants de charge excessifs.
- Indicateur de charge : La plupart des modules TP4056 sont équipés d'un indicateur de charge LED qui s'allume lorsqu'une batterie est en cours de chargement et s'éteint lorsque la charge est terminée.
- Protection contre les surtensions : Le module dispose d'une protection contre les surtensions pour éviter que la batterie ne soit surchargée.
- Protection contre les sous-tensions : Le TP4056 intègre également une protection contre les sous-tensions pour éviter la décharge excessive de la batterie.
- Temporisation de fin de charge : Une fois que la tension de la batterie atteint 4,2 V, le TP4056 maintient la charge pendant un certain temps (environ 1 à 2 heures) avant de l'arrêter complètement. Cela permet d'optimiser la charge et d'équilibrer la tension de la batterie.
- Petite taille : Le module TP4056 est généralement compact et facile à intégrer dans différents projets électroniques.



FIGURE 32 – Charge TP4056

### B.3. Caractéristiques du régulateur de tension MCP1700-3302

Le MCP1700-3302 est un régulateur de tension linéaire à faible chute de tension produit par Microchip Technology. Voici ses principales caractéristiques :

- Tension de sortie : La tension de sortie du MCP1700-3302 est fixée à 3,3 volts. Cela signifie qu'il fournit une tension régulée de 3,3 V à partir d'une source d'alimentation non régulée.
- Tension d'entrée : La tension d'entrée maximale supportée par le MCP1700-3302 est de 6 volts. Veillez à ne pas dépasser cette tension, car cela pourrait endommager le régulateur.
- Courant de sortie : Le courant de sortie maximum du MCP1700-3302 est de 250 mA. Cela signifie qu'il peut fournir jusqu'à 250 mA de courant régulé à la charge connectée.
- Faible chute de tension : Le MCP1700-3302 est conçu pour avoir une faible chute de tension. La tension de sortie est maintenue près de la tension d'entrée, même lorsque le courant de sortie augmente. Cela permet d'obtenir une régulation efficace de la tension.
- Faible consommation d'énergie : Le MCP1700-3302 est optimisé pour une faible consommation d'énergie. Il possède un faible courant de repos, ce qui le rend adapté aux applications alimentées par batterie ou nécessitant une efficacité énergétique élevée.
- Protection contre les surcharges thermiques et les courts-circuits : Le régulateur est équipé d'une protection intégrée contre les surcharges thermiques et les courts-circuits. Cette fonctionnalité permet de protéger le régulateur et la charge connectée en cas de conditions anormales.



FIGURE 33 – Régulateur de tension MCP1700-3302

#### B.4. Caractéristiques du transformateur de tension 220v/6v

- Rapport de transformation
- Puissance nominale
- Isolation
- Fréquence



FIGURE 34 – Caractéristiques du transformateur de tension 220V/6V

#### B.4. Voici quelques-unes de ses principales caractéristiques :ESP 32

- Puissance de traitement
- Connectivité sans fil
- Sécurité
- Faible consommation d'énergie

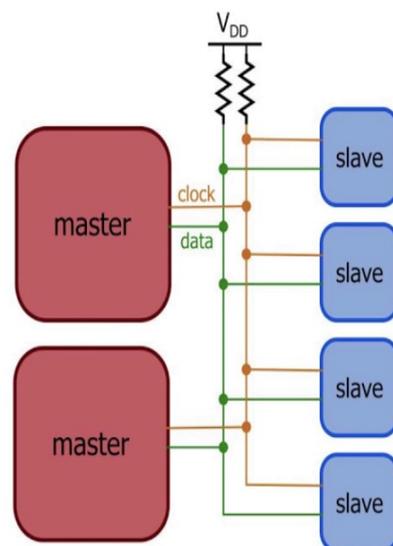


FIGURE 35 – ESP 32

## C.1. Bus I<sup>2</sup>C (Inter Integrated Circuit)

### INTER-INTEGRATED CIRCUIT (I<sup>2</sup>C)

- ▶ **Serial, 8-bit oriented, Bidirectional Half Duplex, 2-wire bus** used for communications between integrated circuits on the same PCB.
- ▶ Developed by **Philips Semiconductors** in 1982 (now **NXP Semiconductors**).
- ▶ Only two bus lines are required: a **serial data line (SDA)** and a **serial clock line (SCL)**.
- ▶ Master device **generates** the clock signal and **terminates** the transfer.
- ▶ Each device is **software addressable by a unique address**.
- ▶ Master/Slave relationships exist at all times; masters can operate as **master-transmitters** or as **master-receivers**.
- ▶ **True multi-master** bus including **collision detection, arbitration** (using **wired-AND**) and **clock synchronization** to prevent data corruption.



Source: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-the-i2c-bus/>

Source: UM10204, I<sup>2</sup>C-bus specification and user manual, Rev. 6 – 4 April 2014, User manual

## C.2. Bus SPI (Serial Peripheral Interface)

### SPI - Serial Peripheral Interface

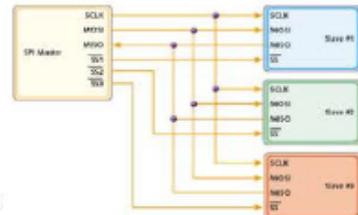
#### Bus de communication série synchrone

- Dédicé pour établir une communication inter-composants, voir inter-cartes, au sein d'un même système
- Standard établi par **Motorola** et repris par différentes marques
- Full Duplex
- Maître-esclaves – Un seul maître possible sur le bus
- Plusieurs esclaves peuvent coexister sur un bus
- La sélection du destinataire se fait par une ligne dédiée *chip select*.



SPI est disponible sur bon nombre de microprocesseurs et de microcontrôleurs : 68XX, 683XX, MCORE, MPC8260, DSP 56XXX de Motorola, mais aussi chez Atmel, Microchip, Texas Instruments etc ...

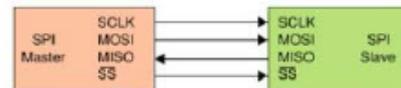
SPI est dédié aux applications nécessitant des transferts de flots de données telles que : communication entre des microprocesseurs ou des DSP, convertisseurs A/N ou N/A, CODEC ( coder - decoder ) etc...



#### Les signaux :

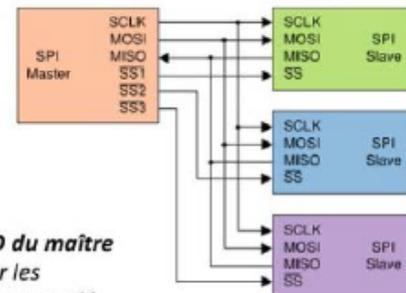
Le bus SPI contient 4 signaux logiques :

- **SCLK** — Horloge (génééré par le maître)
- **MOSI** — Master Output, Slave Input (génééré par le maître)
- **MISO** — Master Input, Slave Output (génééré par l'esclave)
- **SS** — Slave Select, Actif à l'état bas (génééré par le maître)



Il existe d'autres noms qui sont souvent utilisés :

- **SCK** — Horloge (génééré par le maître)
- **SDI, DI, SI** — Serial Data IN
- **SDO, DO, SO** — Serial Data OUT
- **nCS, CS, nSS, STE** — SS



Dans le cas de la convention de nommage SDI/SDO, le SDO du maître doit-être relié au SDI de l'esclave et vice-versa. Pour éviter les confusions au moment du câblage, il est donc souvent recommandé d'utiliser les dénominations **MISO-MOSI** qui évitent une certaine ambiguïté.

## Résumé :

Ce mémoire aborde les domaines en expansion de l'autoconsommation énergétique et des systèmes de surveillance des installations photovoltaïques connectées. Il présente la réalisation d'un système d'acquisition et de monitoring pour une microcentrale solaire photovoltaïque. Le projet comprend la mise en place d'un circuit d'alimentation avec une carte ESP32 et un module WiFi, permettant de mesurer les valeurs efficaces (tension, courant) et les puissances. Les résultats sont affichés sur une page web ainsi que sur les applications Thingspeak et Blynk. La surveillance et la visualisation en temps réel des données sont réalisées à l'aide d'InfluxDB et Grafana, accessibles sur divers appareils. L'objectif principal est d'améliorer l'efficacité des installations solaires grâce à un suivi solaire et à la collecte de données pour une surveillance optimisée.

**Mots clés :** photovoltaïque, l'autoconsommation énergétique, système d'acquisition, carte ESP32, InfluxDB, Grafana

---

## Abstract

This dissertation addresses the expanding areas of energy self-consumption and connected photovoltaic monitoring systems. It presents the realization of a system of acquisition and monitoring for a solar photovoltaic micro-plant. The project includes the installation of a power circuit with an ESP32 board and a WiFi module, allowing measuring the effective values (voltage, current) and the powers. The results are displayed on a web page as well as on the Thingspeak and Blynk applications. Real-time data monitoring and visualization is performed using InfluxDB and Grafana, which are accessible on various devices. The main objective is to improve the efficiency of solar installations through solar monitoring and data collection for optimized monitoring.

**Keywords:** Photovoltaic, energy self-consumption, acquisition system, ESP32 board, InfluxDB, Grafana

---

## ملخص

تتناول هذه الأطروحة المجالات المتزايدة للاستهلاك الذاتي للطاقة وأنظمة المراقبة الكهروضوئية المتصلة. وهو يعرض تحقيق نظام لاقتناء ورصد محطة صغيرة للطاقة الشمسية الكهروضوئية. يتضمن المشروع تركيب دائرة طاقة مع ESP32 ووحدة WiFi، لوحدهما يسمح بقياس القيم الفعالة (الجهد والتيار) والقوى. يتم عرض النتائج على صفحة الويب وكذلك على Thingspeak, Blynk. الهدف الرئيسي . يتم إجراء مراقب البيانات وتصورها في الوقت الفعلي باستخدام InfluxDB, Grafana, تطبيقات. المتاحين على اجهزة هو تحسين كفاءة المنشآت الشمسية من خلال رصد الطاقة الشمسية وجمع البيانات من أجل الرصد الأمثل.

**الكلمات المفتاحية:** الكهروضوئية الاستهلاك الذاتي للطاقة ، نظام اقتناء، لوحة ESP32

**.InfluxDB ،Grafana**