

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث 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 : Mokhtar BELMEKHFI

Et : Mohammed Ramzi Anes BOUABDALLAH

Sujet

**Développement d'un outil de surveillance connecté
pour une installation photovoltaïque**

Soutenu en vidéo conférence, le 29/ 09 / 2020 devant le jury composé de :

Sidi Mohamed MELIANI	Maitre de conférences 'A'	Univ. Tlemcen	Président
Mourad LOUCIF	Maitre de conférences 'B'	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
Abdelkader MECHERNENE	Maitre de conférences 'B'	Univ. Tlemcen	Co-Directeur de mémoire
Boumediene BENYAHIA	Maitre de conférences 'A'	Univ. Tlemcen	Examineur

Année universitaire 2019/2020

Dedicaces 1

J_E dédie ce travail :

- à mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études ;
- à mes chers frères pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral ;
- à toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

En espérant que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux et le fruit de votre soutien infallible.

Je vous remercie d'avoir toujours été là pour moi.

BELMEKHFI MOKHTAR
Tlemcen, le 29 septembre 2020

JE dédie ce travail :

- à mes parents, à qui j'adresse toute ma gratitude car c'est grâce à eux que j'ai atteint mon objectif ;
- à mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement ;
- à tout ce ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans ce travail ;
- aux martyrs de la lutte de libération nationale qui par leur sacrifice ont permis à nos générations d'accéder à la liberté et à la science.

BOUABDALLAH MOHAMMED RAMZI ANES
Tlemcen, le 29 septembre 2020

Remerciements

Ce document présente les travaux effectués dans le cadre de notre projet de fin d'étude de Master au Département de Génie Electrique et Electronique 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, le Docteur Abdelkader Mechernene et le Docteur Mourad Loucif, tout deux Maitres de Conférences à l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen. Nous désirons également remercier notre Co-encadreur, le Docteur Mourad Loucif, Maitre de Conférence à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen.

Nous sommes particulièrement sensibles à l'honneur que nous a fait le Docteur Sidi Mohamed Meliani, Maitre de Conférence à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, de présider notre jury de soutenance.

Nous tenons également à adresser nos remerciements au Docteur Boumediene Benyahia, Maitre de Conférences, pour avoir examiné ce travail, pour ses observations pertinentes et ses remarques constructives.

Nous remercions tout le personnel technique du Département de Génie Electrique et Electronique de la Faculté de Technologie de l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen.

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

BOUABDALLAH Mohammed Ramzi BELMEKHFI Mokhtar
Tlemcen, le 29 septembre 2020

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACES 1	i
DEDICACES 2	ii
REMERCIEMENTS	iii
NOMENCLATURE	xi
GLOSSAIRE	xiii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I SYSTÈMES SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES AUTONOMES	4
I.1 INTRODUCTION	5
I.2 TECHNIQUES PHOTOVOLTAÏQUES	5
I.2.1 Intérêt d'un fonctionnement à puissance maximale	5
I.2.2 Etage d'adaptation avec fonction MPPT	6
I.2.2-a Convertisseurs statiques	7
I.2.3 Algorithmes de recherche du maximum de puissance (MPPT)	12
I.2.3-a Algorithme Perturb-Observe	12
I.2.3-b Algorithme Incrément de la Conductance	13
I.3 INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES CONNECTÉES AU RÉSEAU ÉLECTRIQUE	15
I.4 SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AUTONOMES	16
I.4.1 Systèmes photovoltaïques autonomes hybrides	17
I.4.2 Systèmes photovoltaïques autonomes sans batteries	18
I.4.3 Systèmes photovoltaïques autonomes avec batteries	19
I.4.4 Systèmes photovoltaïques autonomes centralisé	19
I.4.5 Systèmes photovoltaïques autonomes sur réseau décentralisé	19
I.4.6 Systèmes photovoltaïques autonomes sur réseau diesel	19
I.5 STOCKAGE PAR BATTERIE D'ACCUMULATEURS	19
I.5.1 Principe de fonctionnement	19
I.5.2 Caractéristiques des batteries	21
I.5.3 Différents types d'accumulateurs	21
I.5.4 Système de régulation de charge	22
I.6 DÉFINITION DES OBJETS CONNECTÉS (IoT)	23
I.6.1 Composantes de l'IoT	24
I.6.2 Les objets (Capter des données) [4]	25

I.6.3	Les réseaux (Transmettre les données)	25
I.6.4	Les données	25
I.6.5	Les informations	26
I.6.6	Les applications d'exploitation (Surveillance et la prise de décision)	26
I.6.7	Quelques exemples d'application IoT [28]	26
I.7	SURVEILLANCE (MONITORING) DES INSTALLATIONS SOLAIRES [36][33]	27
I.8	CONCLUSION	27
II	ETUDE DU PROJET EXISTANT	28
II.1	INTRODUCTION	29
II.2	PRÉSENTATION DU SYSTÈME EXISTANT	29
II.2.1	Fonctions principales	29
II.2.2	Spécifications techniques	29
II.3	PRÉSENTATION ET CARACTÉRISATION DU MODULE PHOTOVOLTAÏQUE	30
II.3.1	Présentation	30
II.3.2	Caractéristiques	30
II.3.3	Simulation des caractéristiques d'un panneau solaire	31
II.4	PRÉSENTATION DU SYSTÈME GLOBAL	32
II.4.1	Schéma structurel global	32
II.4.2	Schéma structurel global sur Proteus-Isis	32
II.4.3	Fonctionnement	32
II.5	DIMENSIONNEMENT ET TESTS DES DIFFÉRENTS ÉTAGES	36
II.5.1	Etude et rôle du convertisseur Buck synchrone	36
II.5.1-a	Présentation	36
II.5.1-b	Principe	36
II.5.2	Dimensionnement du convertisseur Buck synchrone	37
II.5.2-a	Calcul de l'inductance	37
II.5.2-b	Calcul de la capacité du condensateur	38
II.5.2-c	Choix du transistor MOSFET	38
II.5.2-d	Choix du driver de MOSFET	39
II.5.2-e	Test du signal de commande du transistor MOSFET	39
II.5.2-f	Test du convertisseur Buck synchrone	40
II.5.3	Mesure de tension	40
II.5.3-a	Principe de mesure	40
II.5.3-b	Dimensionnement	41
II.5.3-c	Test du diviseur de tension	41
II.5.4	Mesure de courant	41
II.5.4-a	Présentation du capteur de courant	41
II.5.4-b	Principe de la mesure	42
II.5.4-c	Dimensionnement calibrage	43
II.5.4-d	Test du capteur ACS712	44
II.5.5	Affichage LCD et visualisation par LED	44
II.5.5-a	Principe	45
II.6	SIMULATION GLOBALE	46
II.7	ALGORITHME DU FONCTIONNEMENT DU CHARGEUR SOLAIRE	48

II.8	RÉALISATION DU PROTOTYPE	49
II.9	CONCLUSION	51
III	SYSTÈME MESURE DE TEMPÉRATURE ET D'ÉCLAIREMENT	52
III.1	INTRODUCTION	53
III.2	ANALYSE FONCTIONNELLE	53
III.3	MATÉRIEL	54
III.3.1	wemos	54
III.3.2	Le capteur DHT11	55
III.3.3	Le capteur TSL2561	56
III.4	TEST DES DIFFÉRENTS CAPTEURS	57
III.4.1	Test du DHT11	57
III.4.2	Test du TSL2561	57
III.5	TEST EXPÉRIMENTALE	58
III.6	RÉALISATION DU CIRCUIT IMPRIMER	59
III.6.1	Elaboration du typon	59
III.6.1-a	Typon côté piste	59
III.6.1-b	Typon côté composants	59
III.6.2	Photo de circuit imprimer	60
III.6.2-a	Avant soudeur	60
III.6.2-b	Après soudeur	61
III.7	CONCLUSION	61
IV	GRAFANA ET BASE DE DONNÉES	62
IV.1	INTRODUCTION	63
IV.2	LES INTERFACES	63
IV.2.1	MQTT	63
IV.2.2	Node-RED	65
IV.2.3	InfluxDB	66
IV.2.4	Grafana	67
IV.3	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	67
IV.3.1	Arduino wemos	67
IV.3.2	Io.Adafruit	68
IV.3.3	Node-RED	69
IV.3.4	Influxdb	72
IV.3.5	grafana	74
IV.4	CONCLUSION	77
V	LOGICIEL M.P.D.B ET L'APPLICATION ANDRIOD MQTT	78
V.1	INTRODUCTION	79
V.2	LE LOGICIEL M.P.D.B	79
V.2.1	Connexion	79
V.2.2	Sélection des Base de données	80
V.2.3	M.P.D.B	81
V.2.3-a	Statistique	81
V.2.3-b	Power	82

V.2.3-c Météo	84
V.3 L'APPLICATION ANDROID	85
V.4 TEST FINAL	89
V.4.1 GRAFANA	90
V.4.2 Logiciel M.P.D.B	93
V.5 CONCLUSION	98
 CONCLUSION GÉNÉRALE	 99
 BIBLIOGRAPHIE	 102
 ANNEXE A : DÉTAILS DES MODÈLES SIMULINK	 1
 ANNEXE B : DOCUMENTATION TECHNIQUE	 3
 ANNEXE C : LISTING DES CODES UTILISÉS	 7
 ANNEXE C : QUEL PROTOCOLE CHOISIR POUR VOS OBJETS CONNECTÉS ?	 28

TABLE DES FIGURES

I.1	Connexion directe et leur caractéristique courant-tension [32]	6
I.2	Étage d'adaptation [21]	7
I.3	Convertisseur statique avec la commande MPPT [21]	7
I.4	Tension V_e et V_s dans le convertisseur DC/DC [24]	8
I.5	Structure de convertisseur Buck [19]	8
I.6	Schéma équivalent pendant ($0 \leq t \leq \alpha T$) [38]	9
I.7	Schéma équivalent pendant ($\alpha T \leq t \leq T$) [38]	10
I.8	Formes d'ondes des courants et des tensions d'un convertisseur Buck [19]	11
I.9	Schéma du principe de la méthode Perturb-Observe [18]	12
I.10	Algorithme Perturb-Observe [22]	13
I.11	Principe de la méthode de Incrément de la Conductance [22]	14
I.12	Algorithme d'incrément de la conductance [22]	15
I.13	Système PV raccordé au réseau [23]	15
I.14	Système PV raccordé au réseau sans stockage d'énergie [23]	16
I.15	Système PV raccordé au réseau avec stockage d'énergie [23]	16
I.16	Système photovoltaïque autonome	17
I.17	Exemple d'architecture d'un système photovoltaïque autonome hybride	17
I.18	Tableau synoptique des systèmes sans stockage de l'énergie par filières	18
I.19	Principe de fonctionnement d'une cellule [30]	20
I.20	L'Internet des objets regroupe tous les objets physiques communicants dotés d'une identité numérique unique	24
I.21	Les cinq composantes d'un IoT	25
II.1	Panneau solaire utilisé	30
II.2	Schéma équivalent du panneau solaire	31
II.3	Caractéristique $P = f(V)$ d'un PV	31
II.4	Caractéristique de tension	32
II.5	Schéma structurel global	34
II.6	Schéma structurel global sur Proteus-Isis	35
II.7	Convertisseur Buck synchrone	37
II.8	MOSFET à canal N (IRFZ44N)	38
II.9	Schéma de liaison entre la carte Arduino et le MOSFET	39
II.10	Signal PWM et le MOSFET	40
II.11	Schéma de liaison entre l'Arduino et le convertisseur Buck synchrone	41
II.12	Allures des tensions V_e et V_s du convertisseur	42
II.13	Diviseurs de tension	42
II.14	Schéma de liaison entre la carte Arduino et le diviseur de tension	43

II.15 Evolution des tensions V_e et V_s d'un diviseur de tension	44
II.16 Capteur de courant ACS712	44
II.17 Caractéristique $V_{out} = f(I_p)$	45
II.18 Schéma de liaison entre la carte Arduino et le l'ACS712	45
II.19 Schéma de liaison entre la carte Arduino et l'afficheur LCD	46
II.20 Afficheur LCD	46
II.21 Schéma de liaison du système global	47
II.22 Batterie chargée à 100%	47
II.23 Batterie chargée à 50%	48
II.24 Batterie chargée à 20%	48
II.26 Algorithme du fonctionnement	48
II.27 Face verso du typhon	49
II.28 Face verso du typhon	49
II.29 Vue du circuit imprimé	50
II.30 Vue du circuit imprimé avec composants soudés	50
II.31 Prototype avec charge et batterie	51
II.32 Prototype en fonctionnement avec son panneau	51
III.1 le principe de fonctionnement	53
III.2 WEMOS [6]	54
III.3 le capteur d'humidité et de température [7].	55
III.4 le capteur d'éclairement [8].	56
III.5 test du DHT11	57
III.6 test expérimentale	58
III.7 la température et l'éclairement affichées par le moniteur série	58
III.8 Typon côté piste	59
III.9 Typon côté composants	59
III.10 Circuit imprimé avant la soudure des composants	60
III.11 Circuit imprimé après la soudure des composants	61
IV.1 IO Adafuit icon	65
IV.2 Node-RED icon	66
IV.3 InfluxDB icon	66
IV.4 Grafana icon	67
V.1 Connexion	79
V.2 ID Mot de Passe Incorrect	80
V.3 sélection de date pour télécharger base de données	80
V.4 Chargement des données depuis le serveur	81
V.5 Section de Statistique Globale.	81
V.6 Section de Statistique des paramètres électriques de panneau solaire	82
V.7 Section de Statistique des variations de météo	82
V.8 Section de Power contient les détails de variation électrique de la partie électronique de panneau solaire et batterie	83
V.9 Section de Power contient les détails de variation électrique de la partie électronique de panneau solaire	83

V.10 Section de Power contient les détails de variation électrique de la partie électronique de Batterie	84
V.11 Section de météo contient les détails de variation température	84
V.12 Section de météo contient les détails de variation d'ensoleillement	85
V.13 source	88
V.14 batterie voltage	90
V.15 charging	90
V.16 curent panel	91
V.17 curent panel	91
V.18 voltage panel	92
V.19 temperature	92
V.20 ensoleillement	93
V.21 solar panel	93
V.22 battery	94
V.23 temperature	94
V.24 ensoleillement	95
V.25 Power statistic	95
V.26 Meteo statistic	96
V.27 solar panel	96
V.28 battery	97
V.29 temperature	97
V.30 ensoleillement	98
31 Fiche technique d'un panneau solaire de 80 w	1
32 Caractéristique d'un panneau solaire de 80 w	2
33 Caractéristique d'un panneau solaire de 50 w	2
34 MOSFET à canal N (IRFZ44N)	3
35 Driver IR2104	3
36 Schéma de brochage et tableau de la liste des terminaux	4
37 Performance caractéristiques (x05B)	4
38 Performance caractéristique $I_P = 5A$	5
39 Application typique et Tableau de liste des terminaux	6

Nomenclature

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

Indices et exposants

Symbole	Signification
η_{MPPT}	Rendement de la commande MPPT
η_{CONV}	Rendement du convertisseur
P_{out}	Puissance délivrée en sortie du convertisseur
η_{TOTAL}	Rendement total de la chaîne de conversion
$\bar{\eta}_T$	Rendements moyens journaliers
δ_α	Changement du Rapport cyclique du convertisseur
η_{pv}	Rendement maximum du panneau solaire
n_p	Nombre des cellule en parallèle
n_s	Nombre des cellule en série
μ_{Ics}	Coefficient de temps ératuration du photo-courant
N_s	Nombre de module connectés en série dans une branche
N_p	Nombre de branche
n_{cs}	Nombre de cellule en série dans un module

Constantes

Nom	Symbole	Valeur	Unité
Charge de l'électron	q	$1,602 \times 10^{-19}$	Colomb
Constante de Boltzmann		$1,38 \times 10^{-23}$	J/k
Energie de gap de la cellule	E_g	$1,7 \times 10^{-19}$	eV

Grandeurs physiques et électriques

Nom	Symbole	Unité
Courant fourni par la cellule	I	A
Tension aux bornes de la cellule	V	V
Photo-courant	I_{Ph}	A
Courant de saturation de la diode	I_s	A
Température effective de la cellule	T	Kelvin
Irradiance effective	ϕ	W/m ²
Irradiance de référence	ϕ_{ref}	W/m ²
Température de référence	T_{ref}	Kelvin
Tension en circuit ouvert	V_{co}	V
Courant de court-circuit	I_{cc}	A
Courant de court-circuit total	I_{cc}^t	A
Tension à vide totale	V_{co}^t	V
Courant de court-circuit maximale	I_{CCM}	A
Tension en circuit ouvert maximale	V_{CoM}	V
Puissance maximale	P_{max}	W
Courant et tension du GPV	I_{PV}, V_{PV}	A, V
Tension de référence	V_{ref}	V
Surface active du panneau	A_{eff}	m ²
Puissance délivrée en sortie du convertisseur	P_{out}	W
Irradiation constante	G	W/m ²
Eclairement global sur le plan des modules	E	W/m ²
Température ambiante	T_a	Kelvin
Température de référence ambiante	T_{aref}	Kelvin
Température d'utilisation de cellule	$NOCT$	Kelvin
Coefficient de courant en température	α	A/°C
Courant de court-circuit de référence	I_{ccref}	A
Tension à vide de référence	V_{0cref}	V
Courant référence de saturation inverse de diode	I_{0ref}	A
Courant de diode et courant shunt	I_D, I_{sh}	A, A
Courant délivré par le générateur	I	A
Tension aux bornes du générateur	V	V
Résistance série	R_s	Ω
Résistance shunt (ou parallèle)	R_{sh}	Ω

Glossaire

Acronyme	Signification
P	Positive
N	Négative
PN	Jonction PN
Si	Silicium
CdS	Sulfure de cadmium
CdTe	Tellure de cadmium
CIS	Alliages de cuivre indium et sélénium
Al-BSF	Aluminium back surface field
PERC	Passivated emitter and rear cell
a-Si	Silicium amorphe
PV	Photovoltaïque
MPPT	Maximum Power Point Tracker
GPV	Générateurs photovoltaïques
DC	Direct current
AC	Alternating current
CS	Convertisseur statique
PPM	Point de puissance maximale
PetO	Perturbation et observation
SOC	State of charge

Introduction générale

Par énergie renouvelable, on entend des énergies issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée qui regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue [27].

L'Algérie, pays du soleil et de l'espace, peut s'inspirer de ces programmes pour une exploitation à grande échelle de l'énergie solaire. Elle a les moyens humains et financiers à la mesure de ces programmes. L'enjeu est grand, et vital. L'Algérie est dans le monde l'un des pays de fort potentiel d'exportation de l'énergie électrique solaire [27].

Le générateur photovoltaïque est le seul convertisseur direct pour transformer la lumière en énergie électrique, et offre la possibilité de produire de l'électricité directement à partir d'une ressource renouvelable et largement disponible. Leurs développements constituent de ce fait, un enjeu majeur dans la perspective d'un approvisionnement énergétique compatible avec les contraintes d'environnement locales et globales. Le champ d'utilisation des systèmes photovoltaïques est large avec beaucoup de configurations autonomes et reliées au réseau de distribution. Les applications de l'énergie solaire incluent le pompage d'eau, la réfrigération, la climatisation, les sources lumineuses, les véhicules électriques, les centrales photovoltaïques, les utilisations militaires et le domaine spatial [27].

Comme tout système énergétique, les générateurs photovoltaïques ont besoin d'être suivi pour la vérification du bon fonctionnement et de la détection des pannes. Il existe plusieurs stratégies de monitoring photovoltaïque en fonction de la puissance de l'installation et de sa nature, il peut être réalisé sur site ou à distance. Il peut mesurer la seule production, récupérer une partie des données ou l'ensemble des données des matériels communicants (sondes, compteurs, ... etc). Les outils de monitoring peuvent être dédiés à la seule supervision ou offrir des fonctionnalités supplémentaires. [25].

Ce mémoire est organisé et divisé en cinq chapitres, comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présentons le convertisseur Buck utilisé dans ce travail puis, les méthodes MPPT, comme l'algorithme d'incrément de l'inductance, la méthode de perturbation et observation.

Techniquement, le MPPT fait appel à une interface entre le panneau et la charge qui est généralement un dispositif de conversion de puissance. L'énergie solaire n'étant pas disponible la nuit, il est nécessaire d'équiper les systèmes photovoltaïques autonomes par des batteries d'accumulateurs qui permettent de stocker l'énergie et de la restituer en temps voulu. Pour les systèmes raccordés au réseau de distribution électrique, le stockage de l'énergie et bien évidemment pas indispensable. Enfin, nous présentons ce que l'on désigne aujourd'hui par Objets Connectés (IOT) et leur application dans les applications de surveillance (Monitoring) des installations solaires.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons l'organisation et le principe du chargeur de batterie solaire intelligent, réalisé par nos camarades de la promotion précédente. Ensuite, nous présentons les différentes caractéristiques du module photovoltaïque, enfin nous donnons une description détaillée du fonctionnement du système à concevoir.

Dans le troisième chapitre, nous présentons des tests simulation et expérimentaux en vue de la validation du fonctionnement d'une petite station de météo, que nous exploiterons dans la suite du projet. Nous exposons aussi la réalisation d'un typon, afin de réaliser un circuit imprimé pour implanter les composants de la station de météo.

Le quatrième chapitre est consacré au principe de fonctionnement des interfaces (No-dRed et MQTT) et leurs interactions pour définir une base de données sur *influxDB* et des signaux en temps réel sur l'afficheur temps réel *Grafana*.

Dans le cinquième chapitre, nous nous intéressons au principe de fonctionnement de l'application *Andriod MQTT* que nous avons conçu, de même nous détaillons la réalisation d'une application permettant de surveiller les signaux mesurés sur le chargeur de batterie solaire à partir de la base de données.

Remarque

Il est à noter qu'un objectif important de ce projet consistait en l'amélioration du premier prototype réalisé l'an passé par nos camarades. En effet, nous avons projeté avec nos encadrants la réalisation d'un second prototype pour lequel nous aurions :

- utiliser d'autres convertisseurs DC-DC plus performants en présence de système de stockage, tel que le hacheur bidirectionnel SEPIC.
- utiliser des transistors MOSFET(s) plus rapides permettant d'augmenter la fréquence de découpage du convertisseur DC-DC et ainsi de limiter les pertes de commutation (avec l'insertion de radiateurs), tout en diminuant les ondulations.
- augmenter la puissance du système PV en intégrant plusieurs PV et intégrant un nombre plus important de batterie, et ceci en utilisant des transistors connectés selon un montage Darlington.

Malheureusement, l'accès aux laboratoires de notre université nous a été interdit depuis la mi-mars, pour cause de l'épidémie du "Corona-Virus" dans notre pays, les mesures de confinement et les précautions sanitaires qui s'en sont suivies. Nous sommes conscient que cette situation laisse notre travail inachevé, et donc les améliorations et la réalisation d'un nouveau prototype n'ont pu être effectués. Nous espérons que ces objectifs seront menés à terme par nos collègues de la prochaine promotion de Master Electrotechnique.

Chapitre I

Systemes solaires photovoltaïques autonomes

SOMMAIRE

I.1	INTRODUCTION	5
I.2	TECHNIQUES PHOTOVOLTAÏQUES	5
I.2.1	Intérêt d'un fonctionnement à puissance maximale	5
I.2.2	Etage d'adaptation avec fonction MPPT	6
I.2.3	Algorithmes de recherche du maximum de puissance (MPPT)	12
I.3	INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES CONNECTÉES AU RÉSEAU ÉLECTRIQUE	15
I.4	SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AUTONOMES	16
I.4.1	Systemes photovoltaïques autonomes hybrides	17
I.4.2	Systemes photovoltaïques autonomes sans batteries	18
I.4.3	Systemes photovoltaïques autonomes avec batteries	19
I.4.4	Systemes photovoltaïques autonomes centralisé	19
I.4.5	Systemes photovoltaïques autonomes sur réseau décentralisé	19
I.4.6	Systemes photovoltaïques autonomes sur réseau diesel	19
I.5	STOCKAGE PAR BATTERIE D'ACCUMULATEURS	19
I.5.1	Principe de fonctionnement	19
I.5.2	Caractéristiques des batteries	21
I.5.3	Différents types d'accumulateurs	21
I.5.4	Systeme de régulation de charge	22
I.6	DÉFINITION DES OBJETS CONNECTÉS (IoT)	23
I.6.1	Composantes de l'IoT	24
I.6.2	Les objets (Capter des données) [4]	25
I.6.3	Les réseaux (Transmettre les données)	25
I.6.4	Les données	25
I.6.5	Les informations	26
I.6.6	Les applications d'exploitation (Surveillance et la prise de décision)	26
I.6.7	Quelques exemples d'application IoT [28]	26
I.7	SURVEILLANCE (MONITORING) DES INSTALLATIONS SOLAIRES [36][33]	27
I.8	CONCLUSION	27

I.1 Introduction

La plus grande partie de l'énergie consommée par l'homme provient des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel, . . . etc.) dont l'utilisation massive conduit à l'épuisement de ses réserves et suppose une menace réelle pour l'environnement, qui se manifeste principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre. D'autre part, il y a inégalité extrême de la distribution de la consommation de l'énergie. De nombreuses populations, spécialement dans les zones rurales isolées des pays en voie de développement, qui bénéficient d'un fort ensoleillement, sont confrontées à de grands problèmes pour satisfaire leurs besoins en énergie.

L'énergie solaire photovoltaïque de part ses caractéristiques de modularité qui permet de l'adapter à des besoins énergétiques divers, autonomie, fiabilité et viabilité sur le plan économique, permet d'apporter de réelles solutions telles que l'éclairage public et domestique, le pompage de l'eau pour la consommation, l'irrigation, le balisage, . . . etc. La conversion photovoltaïque est l'un des modes les plus intéressants d'utilisation de l'énergie solaire. Elle permet d'obtenir de l'électricité de façon directe et autonome à l'aide d'un matériel fiable et de durée de vie élevée, permettant une maintenance réduite. [35]

Ces systèmes photovoltaïques sont installés pour assurer un fonctionnement autonome sans recours à d'autres sources d'énergie. Généralement, ces systèmes sont utilisés dans les régions isolées et éloignées du réseau. Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes ont les possibilités de couplage direct à une charge adaptée ou autorise le couplage avec une adaptation d'impédance, appelée MPPT (Maximum Power Point Tracking). Elles permettent le fonctionnement au fil du soleil ou avec stockage d'énergie électrique. [39]

I.2 Techniques photovoltaïques

I.2.1 Intérêt d'un fonctionnement à puissance maximale

Le point de fonctionnement du GPV dépend directement de la charge qu'il alimente. Chaque charge, (batteries, certains appareils électroménagers destinés à des réseaux continus isolés) a son comportement propre. De plus, souvent, la variation du comportement de la charge varie brutalement en fonction de la consommation des utilisateurs, ce qui est souvent difficile à prévoir surtout sur des petits réseaux locaux. Ainsi pour qu'une connexion source-charge soit possible, un point de fonctionnement correspondant à l'intersection des caractéristiques électriques doit exister.

Pour mieux comprendre ceci, prenons par exemple le cas d'une connexion directe entre un GPV et une charge (Figure I.1). Nous regardons l'influence de la nature de la charge qu'elle soit une simple charge résistive ou bien même une batterie [32].

La figure I.1a montre la connexion directe entre un GPV et une charge.

La figure I.1b met en évidence les points de fonctionnement résultants de l'association du GPV sous deux niveaux d'éclairement (E_1, E_2) avec plusieurs charges résistives (R_1, R_2, R_3, R_4) et avec le branchement direct d'une batterie (V_b).

Les points PPM1 et PPM2 correspondant au fonctionnement optimal du GPV.

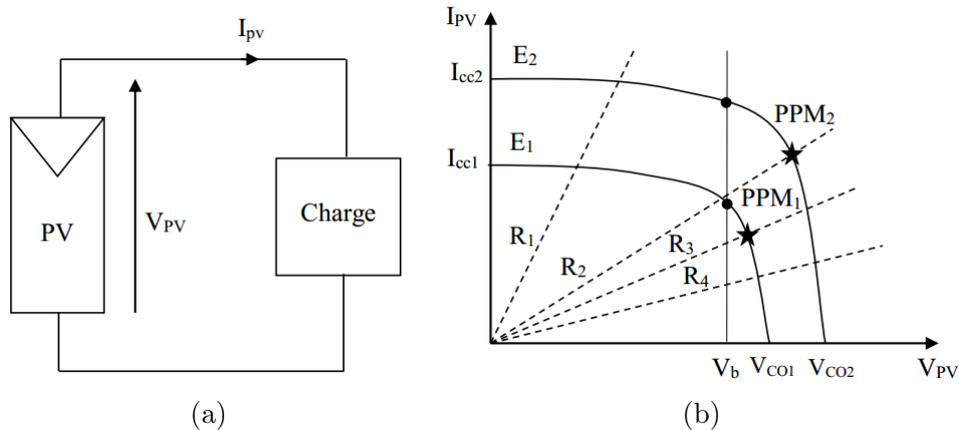


FIGURE I.1 – Connexion directe et leur caractéristique courant-tension [32]

Nous pouvons constater sur la figure I.1, que le fonctionnement du GPV dépend fortement des caractéristiques de la charge à laquelle il est associé. En effet, pour la charge résistive de différentes valeurs, l'adaptation optimale ne se produit que pour un seul point de fonctionnement particulier, nommé point de puissance maximal (PPM) il est noté dans notre cas PPM_1 et PPM_2 . Ceux-ci correspondent à la puissance maximale que peut délivrer un GPV pour une courbe $I(V)$ donnée.

Pour la charge de type batterie, le point de connexion source-charge n'est pas optimal. Ainsi, lorsque l'on réalise une connexion directe source-charge, le rendement de l'ensemble est alors rarement optimal. Afin d'extraire en chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV, nous introduisons un étage d'adaptation entre le générateur et la charge pour coupler les deux éléments le plus parfaitement possible [32].

I.2.2 Etage d'adaptation avec fonction MPPT

Nous pouvons trouver un très fort écart entre la puissance potentielle du générateur et celle réellement transférée à la charge en mode connexion directe.

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV et de la transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le GPV et la charge comme décrit dans la figure I.2.

Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de P_{max} disponible [21].

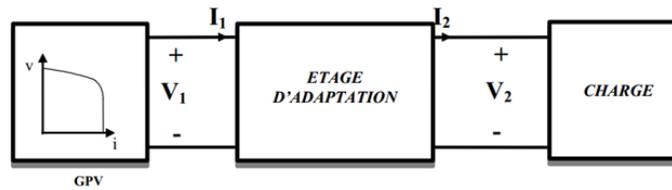


FIGURE I.2 – Étage d'adaptation [21]

La chaîne de puissance d'un GPV où une charge DC est alimentée par un générateur à travers un convertisseur statique (CS) commandé par une MPPT qui peut être représentée comme indiquée sur la figure I.3. La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du CS de telle sorte que la puissance fournie par le GPV soit le P_{max} disponible à ses bornes.

L'algorithme MPPT peut être plus ou moins complexe pour rechercher le PPM, mais en général il est basé sur la variation du rapport cyclique du CS jusqu'à se placer sur le PPM en fonction des évolutions des paramètres d'entrée du CS (I_{PV} et V_{PV}) [21].

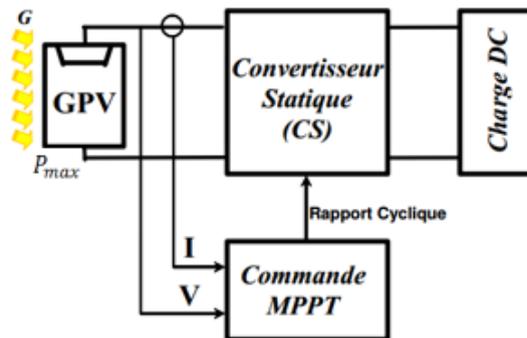


FIGURE I.3 – Convertisseur statique avec la commande MPPT [21]

I.2.2-a Convertisseurs statiques

Les convertisseurs sont des appareils servent à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant en une tension continue différente ou une tension alternative [24].

Convertisseur DC/AC (Onduleur) : La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu en courant alternatif. Un onduleur est habituellement conçu pour fonctionner sur une plage assez réduite. Il est très efficace pour des caractéristiques d'entrées et de sortie fixe. Son coût assez élevé et la nature variable de l'ensoleillement et du couple résistant des pompes en générale ont longtemps exclu l'emploi des moteurs à courant alternatif pour le pompage solaire [24].

Convertisseur DC/DC (Hacheur) : Les convertisseurs DC/DC permettent d'adapter la source d'énergie électrique à un récepteur donné, ils ont pour fonction de fournir une tension continue variables à partir d'une tension continue fixe comme illustré dans la figure I.4.

Cette conversion d'énergie s'effectue grâce un découpage haute fréquence caractérisée par un rendement élevé . Ces convertisseurs peuvent êtres de type éleveurs de tension Boost ou abaisseur-élevateur Buck-Boost ou abaisseur de tension (Buck) [24].

Dans ce travail, c'est un convertisseur continu-continu de type buck qui est utilisé.

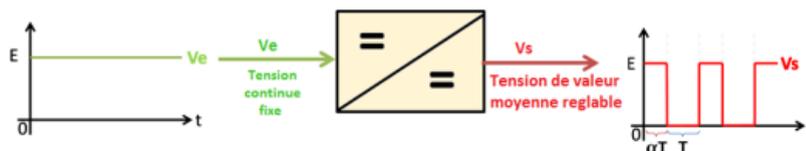


FIGURE I.4 – Tension V_e et V_s dans le convertisseur DC/DC [24]

Convertisseur Buck (Hacheur série) Un convertisseur Buck permet de convertir une tension continue en une tension continue d'une faible valeur, c'est un abaisseur de tension.

La topologie du convertisseur Buck est donnée par la figure I.5. Les composants clés sont l'inductance L , le commutateur K , la diode D et le condensateur C . Celui-ci se charge par le commutateur K , qui maintient la tension à ces bornes jusqu'à l'ouverture de K qui décharge son énergie à travers la diode dans la charge R pour un cycle de période de fonctionnement [19].

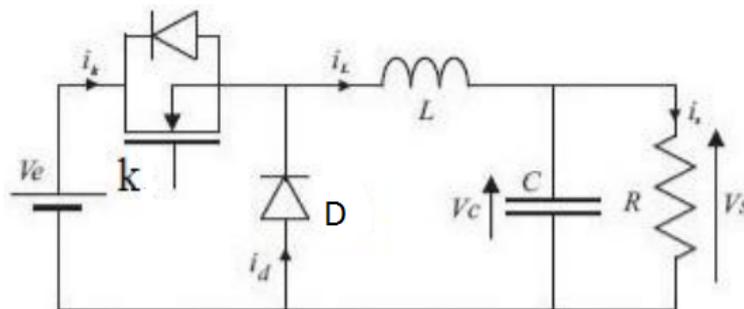


FIGURE I.5 – Structure de convertisseur Buck [19]

Nous devons mettre en évidence deux points importants.

Le premier est relatif à la nature des commutations au sein de la cellule constituée par K et D : l'amorçage et le blocage commandés de K entraînent respectivement le blocage et l'amorçage spontanés de D .

Le second est relatif aux natures des interrupteurs K et D :

- Interrupteurs K : cet interrupteur doit supporter une tension positive, et doit pouvoir conduire un courant positif. En outre, on doit être en mesure de pouvoir commander son amorçage et son blocage. Cet interrupteur devra donc être de type transistor (bipolaire, MOS, IGBT ou GTO).
- Interrupteur D : cet interrupteur doit supporter une tension inverse, et doit pouvoir conduire un courant positif. En outre, toutes les commutations de cet interrupteur peuvent être spontanées. Cet interrupteur sera donc de type diode D [38].

Le couple de composants L et C forment un filtre passe-bas, pour limiter les ondulations du courant dans la charge, ainsi que les ondulations de la tension aux bornes de la charge [38].

Fonctionnement du convertisseur Buck

L'interrupteur K se ferme et s'ouvre pendant une période T .

- Il est fermé pendant l'intervalle $(0, \alpha T)$: la diode est bloquée, la source primaire fournit de l'énergie à l'inductance L et à la résistance R
- Il est ouvert de αT à T : la diode est passante et assure la continuité du courant et la décharge de L [38].

* **Première séquence de conduction** ($0 \leq t \leq \alpha T$) : Dans ce mode de fonctionnement, le courant dans l'inductance ne s'annule jamais. A $t=0$ on ferme l'interrupteur K, la diode D est bloquée.

Le schéma équivalent du circuit est représenté sur la figure I.6.

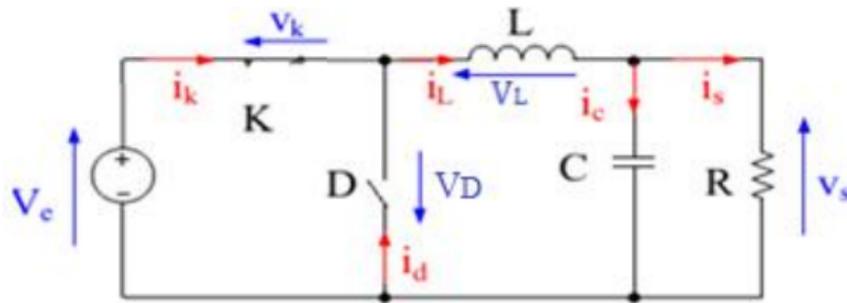


FIGURE I.6 – Schéma équivalent pendant $(0 \leq t \leq \alpha T)$ [38]

Dans cette phase, la variation temporelle du courant dans l'inductance est donné par l'équation (I.1) :

$$v_e(t) = v_L(t) + v_K(t) + v_s(t) \quad (\text{I.1})$$

Dans le cas d'un interrupteur idéal on a : $v_K(t) = 0$

$$v_e(t) = v_L(t) + v_s(t) \quad (\text{I.2})$$

$$v_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = v_e(t) - v_s(t) \quad (\text{I.3})$$

A partir de la solution de l'équation du premier ordre, nous obtenons [38] :

$$i_L(t) = \frac{v_e - v_s}{L} \cdot t + I_{Lmin} \quad (\text{I.4})$$

$$i_L(0) = I_{Lmin} \quad (\text{I.5})$$

$$i_L(\alpha T) = \frac{v_e - v_s}{L} \cdot \alpha T + I_{Lmin} \quad (\text{I.6})$$

****Détermination de l'ondulation de courant** L'ondulation de courant crête à crête ΔT ; peut-être déterminé à partir de l'équation (I.6) par l'expression suivante [38] :

$$\Delta T_L = I_{Lmax} - I_{Lmin} = \frac{v_e - v_s}{L} \cdot \alpha T \quad (\text{I.7})$$

***Deuxième séquence du conduction** ($\alpha T \leq t \leq T$)

A l'instant $t = \alpha T$ en ouvre l'interrupteur K et la diode devient conductrice Le schéma équivalent du circuit est le suivant [38]

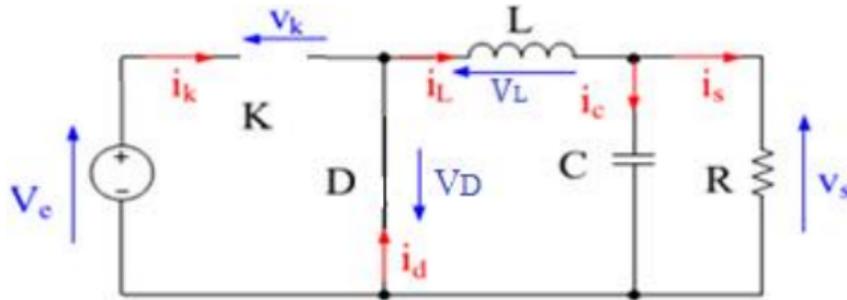


FIGURE I.7 – Schéma équivalent pendant ($\alpha T \leq t \leq T$) [38]

Dans cette phase la variation du courant dans l'inductance est donnée par l'équation (I.8) :

$$v_L(t) + v_D(t) + v_s(t) = 0 \quad (\text{I.8})$$

Dans le cas d'un interrupteur idéal on a : $v_D(t) = 0$

$$v_L(t) = -L \frac{di_L(t)}{dt} = v_s(t) \quad (\text{I.9})$$

A partir de la solution de l'équation du premier ordre, nous obtenons :

$$i_L(t) = -\frac{v_s}{L} \cdot (t - \alpha T) + A \quad (\text{I.10})$$

$$i_L(\alpha T) = I_{Lmax} = A \quad (I.11)$$

$$i_L(t) = -\frac{v_s}{L} \cdot (t - \alpha T) + I_{Lmax} \quad (I.12)$$

et

$$i_L(T) = -\frac{v_s}{L} \cdot (T - \alpha T) + I_{Lmax} = I_{Lmin} \quad (I.13)$$

****Détermination de l'ondulation de courant** L'ondulation de courant crête à crête ΔI_L ; peut-être déterminée à partir de l'équation (I.13) par l'expression suivante [38] :

$$\Delta I_L = I_{Lmax} - I_{Lmin} = \frac{v_s}{L} (1 - \alpha) \cdot T \quad (I.14)$$

Des équations (I.7) et (I.14) on déduit :

$$v_s = \Delta V_e \quad (I.15)$$

Le rapport cyclique α est défini comme étant le rapport entre la durée de conduction de l'interrupteur K et la période de commutation T :

$$\alpha = \frac{t_{on}}{T} \quad (I.16)$$

Les caractéristiques des tensions et des courants du convertisseur Buck dans le cas de la conduction continue sont décrites par la figure (I.8), comme suit [19] :

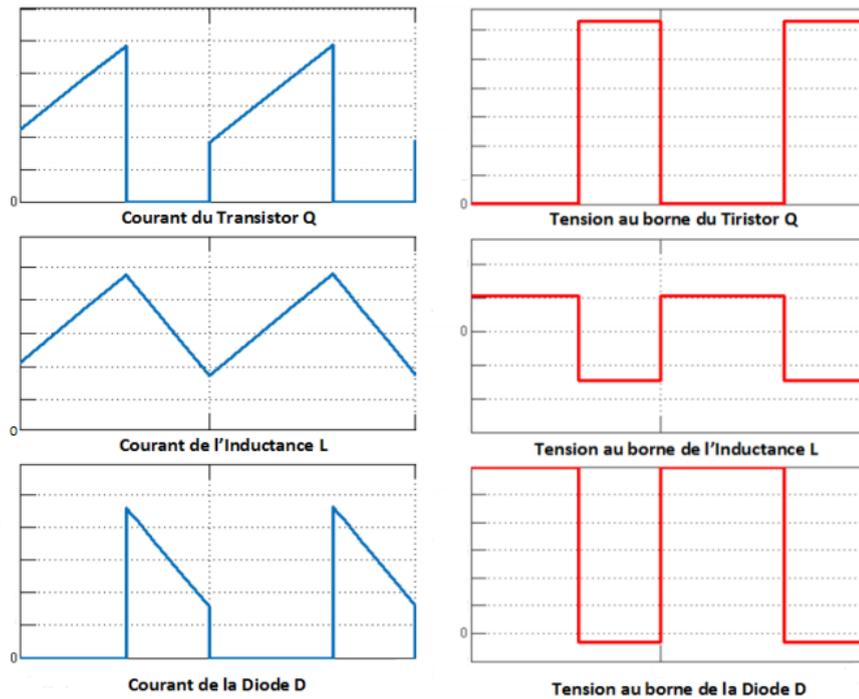


FIGURE I.8 – Formes d'ondes des courants et des tensions d'un convertisseur Buck [19]

I.2.3 Algorithmes de recherche du maximum de puissance (MPPT)

La commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) est une commande essentielle pour un fonctionnement optimal du système photovoltaïque.

Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique en l'amenant à la valeur optimale de manière à maximiser la puissance délivrée par le panneau PV. Pour cette raison, on va présenter et étudier par la suite les algorithmes de commande les plus populaires.

I.2.3-a Algorithme Perturb-Observe

La figure I.9 montre le principe de l'algorithme *P&O*. Premièrement, le courant et la tension du générateur photovoltaïque sont détectés à un point puis la puissance est calculée correspondant à ce point.

Si la puissance est supérieure à sa valeur précédente alors la puissance augmente (> 0) dans cette direction le point de fonctionnement se déplace vers son point de puissance maximale et la tension est perturbée par augmentation ce qui signifie que le rapport cyclique du convertisseur a été augmenté.

Si la puissance tirée du générateur photovoltaïque est inférieure à celle de précédente (< 0) alors le point de fonctionnement se déplace loin de la puissance maximale, la tension est alors perturbée dans le sens inverse en diminuant la tension pour la diminution du rapport cyclique.

Si la valeur de puissance est la même que la précédente ($P = 0$) alors le point de puissance maximum est atteint [20][22].

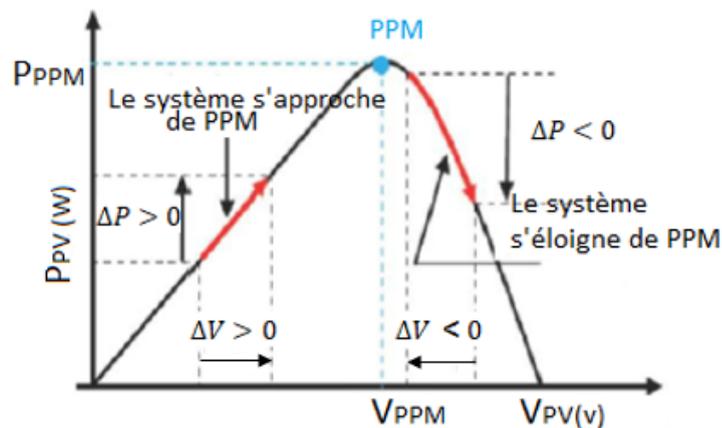


FIGURE I.9 – Schéma du principe de la méthode Perturb-Observe [18]

La figure I.10 représente l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type *P&O*, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension) sont nécessaires pour déterminer la puissance du GPV à chaque instant.

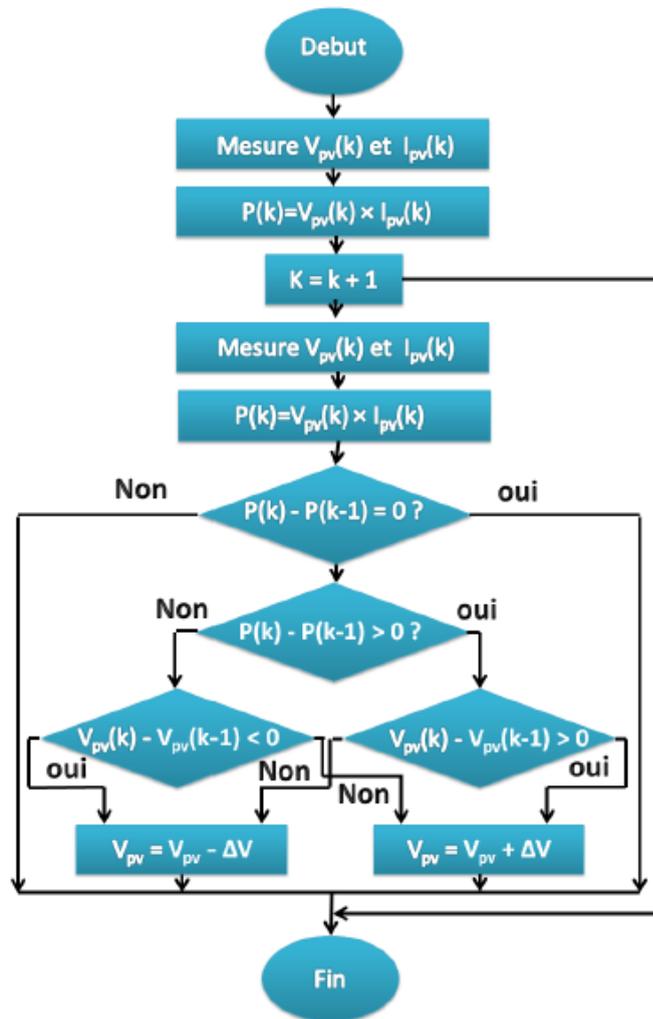


FIGURE I.10 – Algorithme Perturb-Observe [22]

I.2.3-b Algorithme Incrément de la Conductance

La méthode d'incrément de la conductance a été proposée pour éviter les inconvénients de la méthode *P&O* de recherche du MPP.

Cette méthode fonctionne à l'aide de deux capteurs de tension et de courant qui détecte la tension et le courant de sortie du générateur photovoltaïque [22].

Elle est basée sur le fait que le point de puissance maximale (MPP) n'est atteint si la dérivé (dP/dV) de la courbe de puissance du panneau est nulle, positif à gauche et négative à droite.

La puissance du panneau solaire est donnée par :

$$P = VI \quad (\text{I.17})$$

La dérivé partielle dP/dV est donnée par [22] :

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(VI)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (\text{I.18})$$

$$\frac{1}{V} \frac{dP}{dV} = \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} \quad (\text{I.19})$$

On définit la conductance de la source comme :

$$G = I/V \quad (\text{I.20})$$

et la conductance incrémentale par :

$$\Delta G = dI/dV \quad (\text{I.21})$$

Donc le principe de cet algorithme est basé sur la connaissance de la valeur de la conductance $\mathbf{G=I/V}$ et l'incrément de la conductance (\mathbf{dG}) pour en déduire la position du point de fonctionnement par rapport MPPT. Soit :

$$\frac{dP}{dV} > 0 \text{ ou } \frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \text{ à gauche de MPPT}$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \text{ ou } \frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V} \text{ décroissance de MPPT}$$

$$\frac{dP}{dV} = 0 \text{ ou } \frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \text{ au de MPPT}$$

Le principe de la méthode de la conductance incrémental est illustré par la figure I.11

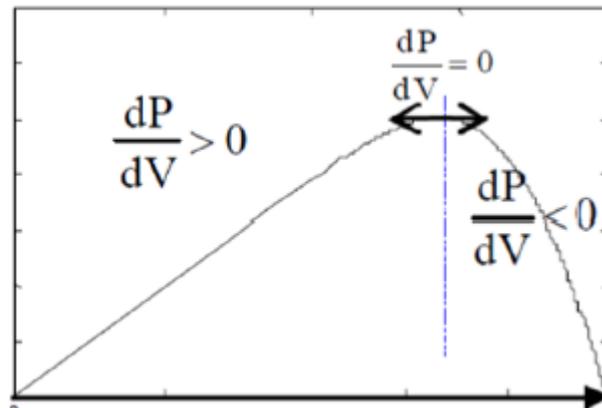


FIGURE I.11 – Principe de la méthode de Incrément de la Conductance [22]

Et son algorithme est présenté sur la figure I.12 [22] :

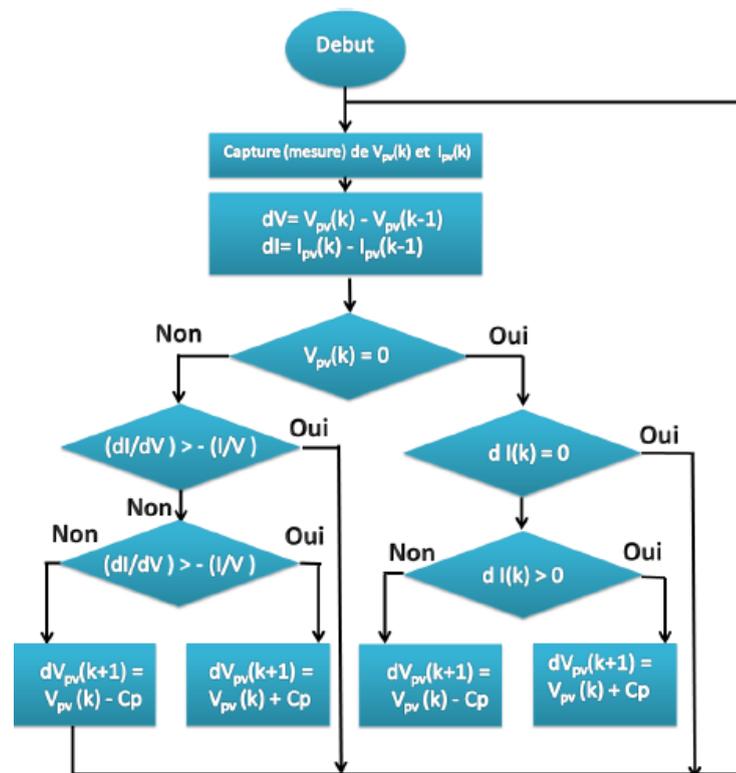


FIGURE I.12 – Algorithme d'incrémation de la conductance [22]

I.3 Installations photovoltaïques connectées au réseau électrique

Dans cette catégorie, trois types de systèmes sont généralement rencontrés dans les applications PV. La figure I.13 montre un exemple typique de grandes centrales PV qui ont pour objectif la fourniture d'électricité en haute ou en moyenne tension aux réseaux électriques. La totalité de l'énergie produite sera vendue et les charges sur place seront alimentées par le réseau public.

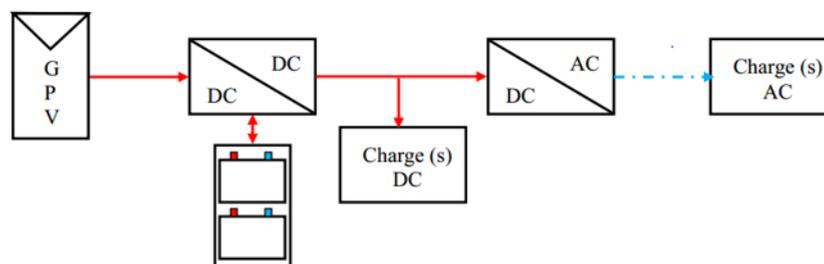


FIGURE I.13 – Système PV raccordé au réseau [23]

La figure I.14 présente un exemple d'installations raccordées au réseau et produisant de l'électricité au lieu même de consommation tout en évitant les pertes de transport et de distribution. Dans ces systèmes, on peut être dispensé du coûteux et problématique stockage d'énergie. D'autre part, si la consommation locale est supérieure à la production de la centrale, l'appoint est fourni par le réseau. Dans le cas contraire, l'énergie est fournie au réseau public et sert à alimenter les consommateurs voisins.

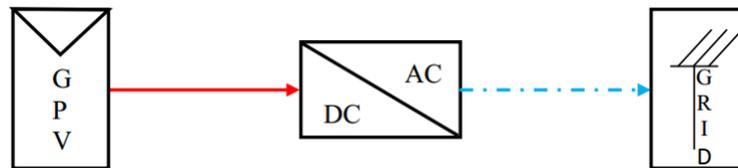


FIGURE I.14 – Système PV raccordé au réseau sans stockage d'énergie [23]

Troisième type de structure est illustré dans la figure (I.15). Cette topologie est connectée au réseau et en même temps admet un système de stockage qui peut être utile en cas de panne du réseau. L'énergie produite alimente les usagers sur place, le surplus sera stocké dans des batteries jusqu'à la limite de charge et puis le reste sera injecté dans le réseau. Dans le cas où la production et le stockage ne suffit pas pour approvisionner toutes les charges, on fait appel au réseau public [23].

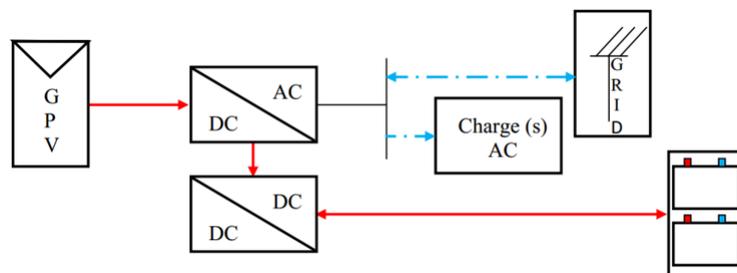


FIGURE I.15 – Système PV raccordé au réseau avec stockage d'énergie [23]

I.4 Systèmes photovoltaïques autonomes

La seule production électrique de ce type de systèmes est d'origine photovoltaïque. Un schéma d'un système photovoltaïque autonome est représenté sur la figure I.16). Du fait de la dé-corrélation entre production photovoltaïque et alimentation des charges du consommateur, un système de stockage est utilisé en tampon, celui-ci étant rechargé en cas de surplus de production et déchargé en cas de surconsommation.

En raison de sa maturité technologique et de son faible coût d'investissement, le moyen de stockage universellement répandu pour de telles applications est du type électrochimique Plomb-Acide. Cependant, de nouvelles technologies sont actuellement envisagées comme celles au Lithium. Les performances de ce type de système sont directement liées à son dimensionnement.

Un sous-dimensionnement a notamment pour conséquences un vieillissement prématuré du système de stockage ainsi qu'un accroissement des délestages de consommation et de production alors qu'un sur-dimensionnement peut conduire à un surcoût économique.

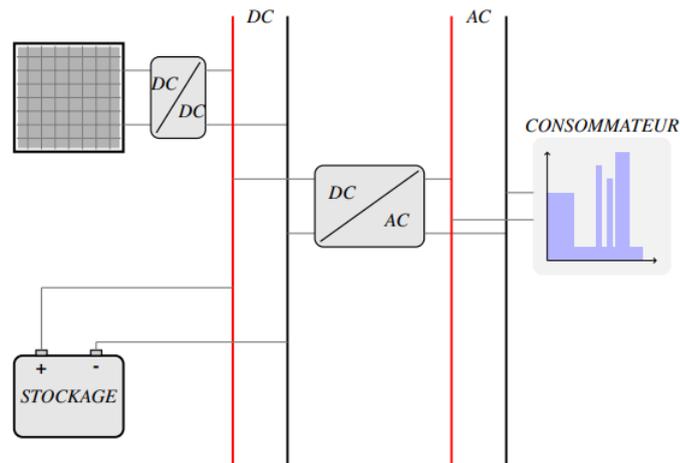


FIGURE I.16 – Système photovoltaïque autonome

I.4.1 Systèmes photovoltaïques autonomes hybrides

Dans ce type de système, un second producteur d'énergie (le plus souvent un groupe électrogène) est utilisé pour palier les insuffisances de la production photovoltaïque. L'idée étant de faire appel à l'énergie de ce producteur lorsque le système n'est plus en mesure de subvenir aux besoins du consommateur et/ou que l'état de charge de l'accumulateur est trop faible. La figure I.17 représente une architecture possible d'un système photovoltaïque autonome hybride.

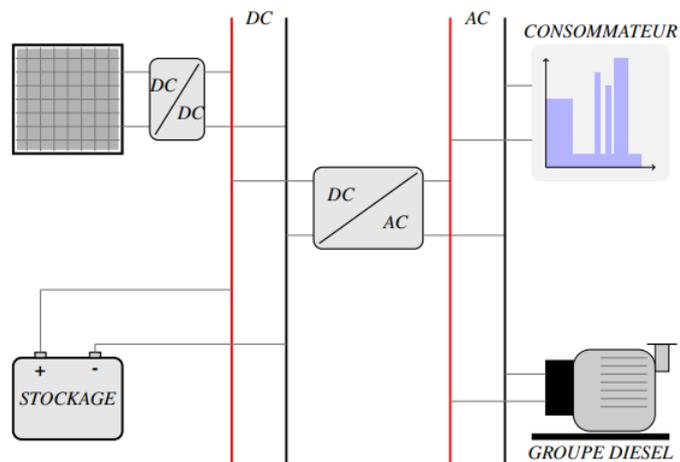


FIGURE I.17 – Exemple d'architecture d'un système photovoltaïque autonome hybride

L'avantage de ce type de système est que le consommateur ne se trouve jamais en situation d'être délesté, le groupe électrogène assure la fourniture d'énergie lorsque la production est insuffisante (sauf cas où le réservoir du groupe électrogène est vide). Les coûts d'investissement des panneaux photovoltaïques et du système de stockage peuvent être minimisés. Par contre, les coûts de fonctionnement principalement liés au prix du combustible du groupe électrogène sont plus importants que pour un système autonome non hybride.

Notons que d'autres types d'hybridations ont déjà été envisagés, parmi lesquels :

Hybridation Photovoltaïque / Éolien : La complémentarité de production d'énergie d'origine photovoltaïque ou éolienne est recherchée et permet notamment de réduire le coût global, en particulier les besoins en stockage.

Hybridation Photovoltaïque / Pile à Combustible : Une pile à combustible associée à un réservoir d'hydrogène et à un électrolyseur permet de stocker le surplus d'énergie photovoltaïque produite en évitant le sur-dimensionnement de l'accumulateur électrochimique. Ce type d'hybridation se heurte au coût d'investissement prohibitif de la pile à combustible, ainsi qu'à sa faible durée de vie (actuellement quelques milliers d'heures) [37].

I.4.2 Systèmes photovoltaïques autonomes sans batteries

Ce type de système ne requiert pas de stockage d'électricité, soit parce que la production d'énergie des cellules est suffisante sous un faible éclairage (ex. calculatrice), soit que le temps de fonctionnement de la charge n'est pas critique (ex pompe à eau).

Les systèmes sans stockage de l'énergie électrique sont représentés sur la figure I.18 par les filières (3-8) et (3-8-9) ou (4-8) et (4-8-9).

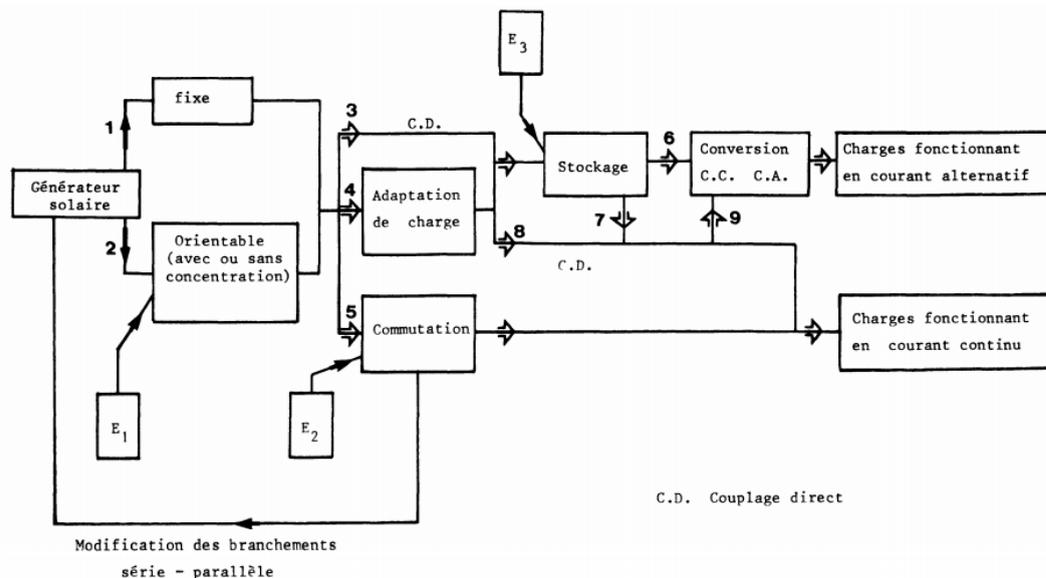


FIGURE I.18 – Tableau synoptique des systèmes sans stockage de l'énergie par filières

Le couplage direct (1-3-8) conduit à la plus simple des chaînes photovoltaïques, et le problème à résoudre est de concevoir l'ensemble du système de façon à extraire le maximum de puissance du générateur photovoltaïque à tous les niveaux de flux solaire [1, 2]. Un bref rappel des conditions auxquelles doit satisfaire la charge pour atteindre un tel objectif va permettre de montrer qu'il existe des cas où l'adaptation en couplage direct ne peut être optimisée et où il faut alors faire appel à un adaptateur de charge (1-4-8). Nous nous sommes intéressés essentiellement au cas des charges continues, le cas des charges alternatives sans stockage électrique a été envisagé [34].

I.4.3 Systèmes photovoltaïques autonomes avec batteries

C'est le système le plus commun, le champ PV sert de chargeur pour la batterie. L'électricité peut alors être utilisée en tout temps. Ce système est bien adapté pour l'éclairage d'une maison où il faut de l'électricité lorsqu'il ne fait plus jour [1].

I.4.4 Systèmes photovoltaïques autonomes centralisé

Ce système fonctionne comme une centrale électrique normale mais doit tenir compte de la fluctuation de la production d'énergie qui est liée à l'ensoleillement.

I.4.5 Systèmes photovoltaïques autonomes sur réseau décentralisé

Ce système photovoltaïque est branché directement sur un réseau électrique, mais il est installé près de la demande. Il peut être installé, par exemple, sur une résidence individuelle ou sur un centre commercial, de telle sorte qu'il alimente cette charge et fournit l'excédent de sa production sur le réseau durant le jour. Durant la nuit, la charge puise l'énergie requise sur le réseau. Ce système permet de diminuer les frais de transport d'électricité et la surcharge de ligne, particulièrement en ce qui a trait aux charges adaptées à la production photovoltaïque tels les systèmes d'air conditionné (gestion de la demande). Ce système permet aussi d'éviter le stockage classique sur batteries (d'où réduction du coût global) [1].

I.4.6 Systèmes photovoltaïques autonomes sur réseau diesel

Ce système est utilisé principalement dans les communautés ou les villages éloignés. Le générateur PV est branché en parallèle avec les génératrices au diesel du réseau villageois et fournit l'électricité sur ce réseau lorsque l'ensoleillement le permet. Il permet de réduire la consommation d'un carburant diesel très coûteux en régions éloignées et diminue les temps de fonctionnement des génératrices [1].

I.5 Stockage par batterie d'accumulateurs

I.5.1 Principe de fonctionnement

Lorsqu'on parle de stockage d'électricité, on pense immédiatement aux batteries électrochimiques qui constituent ainsi les références en la matière.

Une batterie est un assemblage de plusieurs cellules, unités indépendantes et complètes possédant toutes les caractéristiques électrochimiques nécessaires au stockage. Leur assemblage au sein d'un module, appelé batterie, est uniquement destinée à disposer d'une tension plus élevée. Une cellule est constituée de trois éléments de base :

- une électrode positive (cathode),
- une électrode négative (anode),
- un électrolyte.

Globalement, l'objectif d'une cellule est de créer une différence de potentiel entre les deux électrodes liées à leurs matériaux constitutifs. L'électrolyte permet la migration des ions entre l'anode et la cathode tout en interdisant le transfert des électrons. Ceux-ci devront transiter au travers d'un circuit électrique qui est la charge [30].

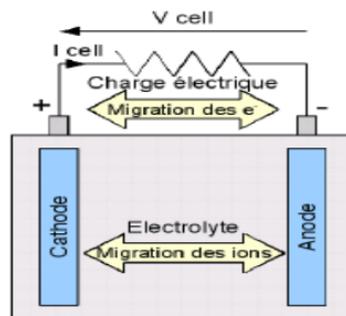


FIGURE I.19 – Principe de fonctionnement d'une cellule [30]

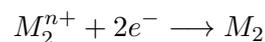
Deux électrodes plongeant dans un électrolyte constituent une chaîne électrochimique. Des lames métalliques de nature différente peuvent jouer, par exemple, le rôle d'électrodes. La chaîne électrochimique joue le rôle d'un générateur de courant par la conversion de l'énergie chimique en énergie électrique. C'est au niveau de ces électrodes que se passent les réactions électrochimiques. On peut décrire en générale ces réactions comme suit :

Au niveau de l'anode (Electrode négative) se fait la réaction de l'oxydation pendant la décharge et cela se caractérise par la formule suivante [30] :



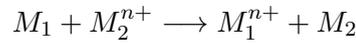
M_1 : étant l'espèce active de l'anode.

Les électrons libérés vont transiter via le circuit extérieur pour atteindre la cathode, qui est l'électrode positive, là où se fait la réaction de réduction :



M_2 : étant l'espèce active de la cathode.

La réaction de l'oxydoréduction globale est la suivante [30] :



I.5.2 Caractéristiques des batteries

Les paramètres électriques suivants sont généralement employés pour caractériser une batterie [26].

- **La tension nominale U** : D'une batterie correspond au nombre d'éléments qui la constitue multiplié par 2,1 Volts [26].
- **Résistance interne** : La résistance est déterminée en fonction de ses composants, à savoir : la résistance de l'électrolyte, la résistance de contact entre les électrodes et les cellules, et la résistance des matériaux propre à chacune des électrodes [19].
- **La capacité nominale** : Représente la quantité d'énergie disponible c'est à dire le nombre maximal d'ampères-heures (Ah) qui peut être extrait de la batterie [26], elle est proportionnelle à la dimension de la batterie [19].
- **Le rendement** : C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur [19].
- **Température** : La température influe sur le rendement de la batterie. Afin d'avoir un rendement optimal, la température idéal est de $25^\circ C$ [19].
- **Profondeur de décharge** : Cette caractéristique est exprimée en pourcentage et elle représente l'énergie maximale qui doit être extraite de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge, elle influence sur la durée de vie de la batterie [19].
- **L'état de charge SOC** : Est le rapport entre la capacité présente et la capacité nominale q_{max} avec ($0 \leq SOC \leq 1$) :

$$SOC = \frac{q}{q_{max}} \quad (I.22)$$

- Si $SOC = 1$, la batterie est totalement chargée.
 - Si $SOC = 0$, la batterie est totalement déchargée.
- **La durée de vie** : est le nombre de cycles charge/décharge que la batterie peut soutenir avant de perdre 20 % de sa capacité nominale [26].

I.5.3 Différents types d'accumulateurs

On peut distinguer différents types d'accumulateurs :

- **Accumulateur au plomb Pb** : Inventé par Gustave Planté confère en 1859, utilisée pour les systèmes automobiles, démarrage des moteurs à combustion et le stockage d'énergie photovoltaïque. Néanmoins, cette technologie est assez polluante, le nombre de cycle est assez bas et son énergie est limitée [20][29].

- **Accumulateur Nickel-Cadmium NiCd** : Inventé en 1899 par le suédois Waldemar Junger, la première batterie rechargeable avec stockage est simple, adapté à différents niveaux de charge et sa charge est très rapide. Leur coût est trois fois supérieur par rapport aux batteries au plomb [19].
- **Accumulateur Li-ion** : Il ne présente aucun effet mémoire et une faible auto-décharge. Bien qu'il ne nécessite pas de maintenance, sa durée de vie est faible. Paradoxalement, il possède un nombre correct de cycle de vie. Des efforts pour pallier ce manque de durée de vie sont en train d'être réalisés, notamment en changeant la structure de l'électrode. L'amélioration des performances de ce modèle est en plein essor. Le lithium étant un métal très léger, son poids est également un avantage. La principale faiblesse de ce modèle réside dans son aspect sécuritaire : la surchauffe peut entraîner l'explosion. Pour assurer la sécurité, la batterie doit être munie d'un système de protection. L'autre moyen développé est de modifier le couple, en utilisant un accumulateur Li Polymère [19].

I.5.4 Système de régulation de charge

Le régulateur de charge est un système automatique dont la fonction principale est d'assurer le contrôle de l'état de charge de la batterie. Quand la batterie est chargée à un certain niveau, il faut arrêter le courant de charge. Il faut savoir qu'il y a trois types de régulateur :

1. **Régulateur tous ou rien** Le régulateur ON/OFF c'est comme interrupteur qui fonctionne en deux état 0 et 1 et utilise pour couper la charge lorsque la tension de la batterie est jusqu'à la limite
2. **Les régulateurs de charge PWM (Pulse Width Modulation)** : Les régulateurs solaires traditionnels intégrant la technologie PWM relient les panneaux solaires au banc de batteries. Dans cette utilisation directe, la tension de sortie des panneaux est réduite à la tension nominale des batteries. Cela est dû au fait que les batteries sont une charge importante vis-à-vis du courant limité en sortie des panneaux. La tension V_{mp} (pour tension à puissance maximale) correspond ici à l'abscisse V_{max} . au point d'inflexion de la courbe $I = f(V)$ du module solaire, (Point de puissance max P_{max} . Les puissances des modules sont spécifiés à la tension de puissance maximale [22]. Du fait que les régulateurs PWM fonctionnent rarement à la tension V_{mp} des panneaux solaires, l'énergie qui aurait pu charger les batteries et alimenter les charges du système est simplement dissipée. Et plus l'écart entre la tension V_{mp} des panneaux et la tension des batteries est élevée, plus l'énergie est gaspillée[17].
3. **Le contrôleur de charge MPPT (Maximum Power Point Tracker)** : Les régulateurs MPPT traquent avec une grande rapidité et une grande précision la tension V_{mp} des panneaux solaires. Ils balaient une plage de tension en entrée pour déterminer constamment à quel point se trouve la puissance maximale délivrée par les panneaux. Le régulateur MPPT prélève la puissance à cette tension V_{mp} et la renvoie vers les batteries sous une tension plus basse, ce qui a pour effet d'augmenter le courant de charge. Comme les puissances en entrée et en sortie du régulateur sont égales (dans un modèle au rendement à 100%, les pertes dues à la conversion et

au câblage sont négligées), un abaissement de la tension entraîne nécessairement une augmentation proportionnelle du courant. La puissance, exprimée en Watts, est égale au produit de la tension et du courant, ainsi, si la tension est réduite, le courant augmente nécessairement pour maintenir le ratio entrée/sortie égal. Pour un rendement de 100% :

$$\text{Puissance d'entrée} = \text{Puissance de sortie}$$

Les graphiques précédents présentent l'avantage d'un régulateur MPPT versus un régulateur PWM. La conséquence directe de cette formule : moins les batteries sont chargées (faible tension), plus elles recevront un courant boosté. C'est précisément à ce moment qu'elles vont avoir besoin d'un important courant de charge [17].

I.6 Définition des objets connectés (IoT)

L'Internet des Objets, appelé en anglais *Internet of Things* (IoT) désigne une technologie d'avant-garde, où les objets traditionnellement non connectés qui nous entourent (comme des lampes, machines, vêtements, .), qu'ils soient physiques ou virtuels, ont désormais la capacité de communiquer entre eux en temps réel. Ce réseau d'objets permettent le partage de leurs données par l'intermédiaire d'une plate-forme Cloud et ce, sans intervention humaine. Grâce à l'optimisation des interactions entre les humains et les machines et à la multiplication des flux de données, que les objets connectés offrent la possibilité de définir les besoins précis d'un individu, de sorte à lui offrir un bien ou un service unique [2]

Si le concept est apparu autour des années 2000, l'Internet des Objets a réellement fait son entrée dans le monde des affaires qu'en 2010. Actuellement, 12 % des entreprises ont investi dans une solution IoT et il est à prévoir que d'ici deux à cinq ans, ce taux d'adoption ira jusqu'à 24 %. L'impact mondial de la technologie s'annonce d'ailleurs majeur puisque le marché devrait croître de 3,9 trillions à 11,9 trillions de Dollars US, d'ici 2025 [3].

Selon l'UIT (Union Internationale des Télécommunications), l'IoT est défini comme "*une infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physique ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution*" [2].

Au fil du temps, le terme a évolué et il englobe maintenant tout l'écosystème des objets connectés. Cet écosystème englobe, des fabricants de capteurs, des éditeurs de logiciels, des opérateurs historiques ou nouveaux sur le marché, des intégrateurs, [28].

D'un point de vue conceptuel, l'Internet des objets caractérise des objets physiques connectés ayant leur propre identité numérique et capables de communiquer les uns avec les autres. Ce réseau crée en quelque sorte une passerelle entre le monde physique et le monde virtuel. D'un point de vue technique, l'IoT consiste en l'identification numérique directe et normalisée (adresse IP, protocoles smtp, http...) d'un objet physique grâce à un système de communication sans fil qui peut être une puce RFID, Bluetooth ou Wi-Fi (voir figure I.20)[36].



FIGURE I.21 – Les cinq composantes d'un IoT

I.6.2 Les objets (Capter des données) [4]

Les objets sont tous les équipements actifs ou passifs pouvant générer de la donnée exploitable et créatrice de valeur pour les utilisateurs. Les objets sont composés d'éléments passifs : les capteurs, et pour certains d'éléments actifs les rendant capables de traitements de la donnée et de transmission de celle-ci. Les données sont aussi diverses que les métiers. Nous pouvons aussi bien avoir des données de température, d'humidité, de positionnement, de temps de fonctionnement, de niveau, d'alerte

I.6.3 Les réseaux (Transmettre les données)

Les réseaux sont le maillon prépondérant d'un projet d'IoT, ils doivent répondre à un critère d'usage [4] : La couverture de la zone d'usage des objets : sur un campus, sur une ville, à l'ensemble de la planète.

Et ils doivent répondre à une contrainte : L'objet disposera-t-il d'une source d'énergie en permanence ?

Cela conditionne :

- l'architecture de la solution,
- la conception de l'objet,
- le cycle de vie de la solution.

En effet, toutes les technologies ne sont pas adaptées à tous les cas d'usages et leur déploiement. Je propose ici de faire un rapide tour d'horizon de quelques technologies.

I.6.4 Les données

Dans un projet d'IoT, les données sont surtout des éléments bruts que nous récoltons depuis les objets ou les outils de process industriels pour l'IoT.

Afin de créer de la valeur pour les utilisateurs de ces données, il est absolument nécessaire de les stocker, archiver et sauvegarder dans des bases de données et de correctement structurer cette dernière. En effet une base de données correctement structurée améliorera la performance des services IoT d'exploitation.

I.6.5 Les informations

Les informations sont les résultantes des données traitées, corrélées et analysées. Ces informations doivent être stockées, archivées et sauvegardées dans des bases de données.

Prenons un exemple simple fréquemment utilisé :

- Le capteur de votre porte d'entrée donne une donnée : *PORTE OUVERTE OU FERMÉE*,
- Nous disposons d'une donnée universelle : *L'HEURE*.
- L'information sera de vous **alerter** : " *Votre porte est ouverte et à cette heure ce n'est pas normal* ".

Le système a corrélé deux données, le capteur de porte et l'heure, pour générer une information.

I.6.6 Les applications d'exploitation (Surveillance et la prise de décision)

Les applications d'exploitation sont les interfaces Homme-machine (IHM) dans lesquelles nous pouvons visualiser les données sous forme de tableau de bord. On dispose alors de différents outils tels que des graphiques, des tableaux de données, des rapports. Cependant, ces bibliothèques d'objets ne suffisent pas à faire une bonne application d'exploitation.

Aussi, il est nécessaire de développer, des mécanismes complémentaires, tels que *l>alerting par mail* ou SMS à des équipes d'exploitation afin d'intervenir sur des incidents. Pour cela, on met également en place des mécanismes de comparaison entre les mesures reçues et des constantes ou entre un jeu de mesure. Enfin les applications d'exploitation sont accessibles à travers des appareils mobiles tels que les smartphones et les tablettes... , etc.

I.6.7 Quelques exemples d'application IoT [28]

Aujourd'hui, de nombreuses applications à usage grand public ont été développées et commercialisées : badges télépéage, montres connectées, appareils électroménagers... etc. Mais, l'IoT contribue également à l'optimisation ou à la création de nouveaux usages pour les entreprises et l'industrie. Certains secteurs d'activité présentent un fort potentiel de développement. Nous citerons en exemple :

- L'industrie avec la maintenance prédictive, la gestion automatisée d'alerte, l'optimisation de processus, l'amélioration des rendements et des approvisionnements... , etc.
- Les villes avec la gestion des stationnements, optimisation des flux de circulation, la gestion de l'éclairage public, la gestion des consommations énergétiques, la collecte des ordures ménagères... , etc.
- Le transport avec l'optimisation de flux de passager, l'optimisation des tournées de livraison... , etc.
- Le *Retail* avec la réduction de la fraude, l'optimisation d'inventaire, la gestion de stock automatisée... , etc.

I.7 Surveillance (Monitoring) des installations solaires [36][33]

La définition exacte du monitoring est l'analyser, la surveillance ou le contrôle de quelque chose a un endroit quelconque. Dans les systèmes photovoltaïques, le monitoring est utilisé pour l'acquisition des données du système de surveillance à travers des capteurs mis en place sur les PV(s), différents capteurs sont inclus pour mesurer l'irradiance, la température, ainsi que les courants, les tensions et les puissances mesurés cotés DC et AC du système, l'acquisition des données peut être réalisée a l'aide d'un microcontrôleur connecté a un réseau WIFI, ou envoyé à l'aide d'un système Bluetooth ou encore directement branché par bus. Actuellement, de nombreux acteurs spécialisés dans le domaine du monitoring des installations solaires photovoltaïques intègrent des solutions basé sur la technologie des IoT(s). En effet, celles-ci produisent de grandes quantités de données, dont le stockage et le traitement entrent dans le cadre de ce que l'on appelle le Big-Data.

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les notions fondamentales concernant l'énergie solaire, les techniques photovoltaïques. Ainsi, nous avons décrit, en vue de la conception et la réalisation de notre projet, les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes. Nous avons aussi mis en évidence les deux architectures usuelles de systèmes PV, soit les installations solaires photovoltaïques isolée ou raccordée au réseau de distribution. Nous avons détaillé l'étude sur du convertisseur DC/DC type Buck, pour construire une source de tension continu réglable et intégrer une solution permettant d'optimiser la puissance fournie par le GPV, consistant à introduire un étage d'adaptation associé à une commande MPPT. Les méthodes habituellement utilisées pour réaliser la recherche du point où la puissance d'un générateur PV ont été passé en revue, et plus particulièrement l'algorithme "Perturbation-Observation". Enfin nous avons donné une définition des objets connectés (IoT) et montrer leur utilité de manière générale pour les système de domotique et les applications industrielles, puis et la surveillance (monitoring), la supervision et le contrôle des installations solaires photovoltaïques.

SOMMAIRE

II.1	INTRODUCTION	29
II.2	PRÉSENTATION DU SYSTÈME EXISTANT	29
II.2.1	Fonctions principales	29
II.2.2	Spécifications techniques	29
II.3	PRÉSENTATION ET CARACTÉRISATION DU MODULE PHOTOVOLTAÏQUE	30
II.3.1	Présentation	30
II.3.2	Caractéristiques	30
II.3.3	Simulation des caractéristiques d'un panneau solaire	31
II.4	PRÉSENTATION DU SYSTÈME GLOBAL	32
II.4.1	Schéma structurel global	32
II.4.2	Schéma structurel global sur Proteus-Isis	32
II.4.3	Fonctionnement	32
II.5	DIMENSIONNEMENT ET TESTS DES DIFFÉRENTS ÉTAGES	36
II.5.1	Etude et rôle du convertisseur Buck synchrone	36
II.5.2	Dimensionnement du convertisseur Buck synchrone	37
II.5.3	Mesure de tension	40
II.5.4	Mesure de courant	41
II.5.5	Affichage LCD et visualisation par LED	44
II.6	SIMULATION GLOBALE	46
II.7	ALGORITHME DU FONCTIONNEMENT DU CHARGEUR SOLAIRE	48
II.8	RÉALISATION DU PROTOTYPE	49
II.9	CONCLUSION	51

II.1 Introduction

Au cours de ce chapitre, nous présentons le prototype développé par nos camarades, Meryem Mostfaoui et Amina Melih, de la promotion 2018/2019, intitulé " Réalisation d'un contrôleur de charge photovoltaïque pour batterie basé sur une carte Arduino " [31]. Nous allons utiliser ce prototype, afin de l'intégrer dans notre projet en y associant une stratégie IoT dans un but de surveillance (Monitoring) des principales grandeurs caractéristiques du fonctionnement du système.

Ce projet est composé de plusieurs parties, nous allons les définir, voir le dimensionnement des différents étage le composant, puis quelques tests nous permettrons de valider leur fonctionnement validation et les testerons en simulation à l'aide du logiciel Isis disponible dans l'environnement Proteus.

II.2 Présentation du système existant

II.2.1 Fonctions principales

Le projet réaliser satisfait à certaines fonctions et spécifications techniques :

1. Stocker l'énergie produite par le PV dans une batterie traditionnelle au plomb.
2. Permettre l'utilisation d'une charge électrique en courant continu.
3. Offrir un port USB pour la recharge de tablettes, téléphones portables, ou autres gadgets ... etc.
4. Optimiser la puissance fournie par le PV à l'aide d'un algorithme MPPT.
5. Délivrer des indications par LED concernant l'état de charge de(s) batterie(s).
6. Afficher sur écran LCD (20x4) les tensions, courants, puissances, ... etc.
7. Offrir une liaison sans fil WIFI pour la collecte et la sauvegarde des informations du système.
8. Intégrer les protection contre les surtensions, les courts-circuits et les surcharges.
9. Intégrer une protection contre les inversions de polarité.

II.2.2 Spécifications techniques

Ce projet comprend les caractéristiques suivantes :

1. Tension nominale = 12 V.
2. Courant maximal = 5 A.
3. Courant de charge maximal = 5 A.
4. Tension de panneau solaire de circuit ouvert = 22,2V.
5. Puissance du panneau solaire = 50 W (disponible 80 W).

II.3 Présentation et caractérisation du module photovoltaïque

II.3.1 Présentation

Le panneau solaire photovoltaïque est de type monocristallin, il est équipé de cellules grade "A" de marque allemande Solarworld. Ce module solaire à haut rendement est capable de produire 250 Wh par jour. Il s'intègre parfaitement pour un système d'éclairage ou bien la création d'un système électrique solaire. Ce module est équipé de 36 cellules au silicium monocristallin. Une diode by-pass est intégrée pour une protection totale contre l'effet de point chaud (Hot-Spot).

La fiche technique du panneau de 50 Watts est donnée dans l'Annexe A.

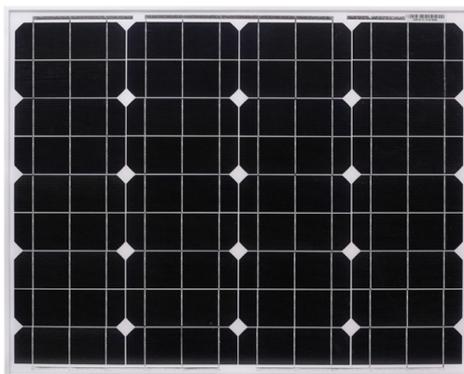


FIGURE II.1 – Panneau solaire utilisé

II.3.2 Caractéristiques

Les informations techniques sont indiquées dans le tableau suivant :

TABLE II.1 – Caractéristique du PV - 50 Watts

Données	Valeur
Puissance nominale	50 W
Tolérance	5%
Rendement	16%
Type de cellule	Silicium monocristallin
Tension à P_{max} (V_{mp})	18 V
Courant à P_{max} (I_{mp})	2,78 A
Courant de court-circuit (I_{cc})	3,16 A
Tension de circuit ouvert (V_{co})	22,2 V
Test STD	AM1.5, 25° C , 1000W/m ²
Poids	4 kg
Diodes anti-retour	3
Boîtier de jonction	Étanche IP65
Température d'utilisation	-40° C +85° C

II.3.3 Simulation des caractéristiques d'un panneau solaire

La figure II.2.a représente le modèle à une diode du PV. R_1 et R_2 sont les résistances série et shunt, E_1 représente nombre cellule $D = 36$ (G_1 est une source de courant).

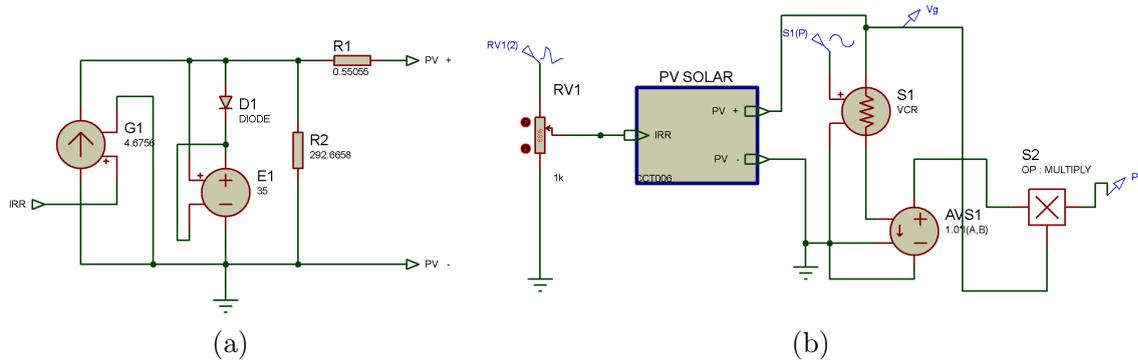


FIGURE II.2 – Schéma équivalent du panneau solaire

Dans la figure II.2.b, le modèle du PV est encapsulé et délivre en sortie l'image du courant, nous obtenons la puissance par la multiplication des deux grandeurs I et V . Cette modélisation nous permet de tracer les caractéristiques de courant $I = f(V)$ et de puissance $P = f(V)$ du panneau de 50 W (Figures II.3 et II.4.

A cause de l'indisponibilité du panneau de 50 W initialement prévu, un panneau de caractéristiques identique de 80 W a été choisi. Toutefois, des précautions ont été prises lors de la réalisation pratiques (Fusible de 5 A, emploi sous des éclairagements inférieurs aux conditions standard ensoleillement . . . , etc).

La caractéristique $P = f(V)$ du panneau est illustré dans la figure II.3. On observe que la puissance est montée jusqu'à 50 W, c'est la valeur maximale du panneau solaire.

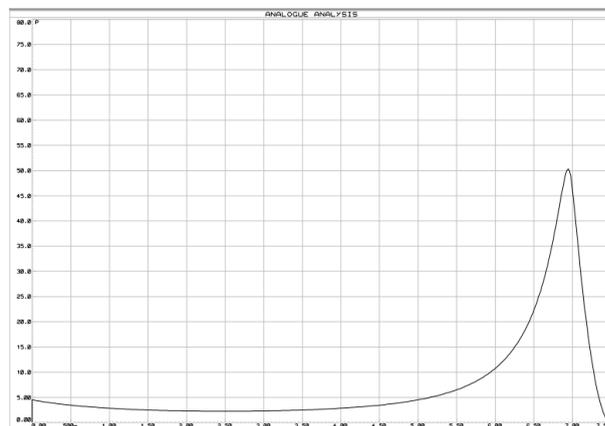


FIGURE II.3 – Caractéristique $P = f(V)$ d'un PV

La figure II.4 représente la caractéristique $I = f(V)$ avec la tension de circuit ouvert est égale à 22 V et le courant de court-circuit est 3 A. Les allures et valeurs obtenues en simulations sont donc conformes à celles caractérisant un panneau réel.

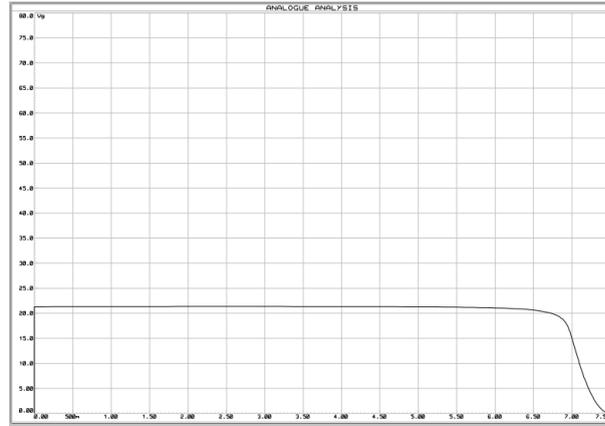


FIGURE II.4 – Caractéristique de tension

II.4 Présentation du système global

II.4.1 Schéma structurel global

Le schéma structurel global du prototype réalisé est représenté sur la figure II.5.

II.4.2 Schéma structurel global sur Proteus-Isis

Le schéma structurel du prototype a été implanté Proteus-Isis (Figure II.6).

II.4.3 Fonctionnement

Dans un objectif de clarté, le schéma structurel ci-dessus peut être divisé en trois parties :

Protection Le panneau solaire et la batterie sont connectés respectivement sur les connecteurs JP1 et JP2, la charge est connectée sur JP3. Le système est protégé contre les courts-circuit par deux fusibles UR (Ultra-Rapide) de calibre 5 A, le première est placé après l'entrée du panneau, le deuxième en sortie avant la charge. Les diodes D4 (coté panneau) et D5 (côté charge), de type TVS, protègent le système contre les surtensions.

Deux circuits diviseurs de tension (R_1, R_2) et (R_3, R_4) permettant de mesurer les tensions délivrées par le panneau solaire et aux bornes de la batterie. Leurs sorties délivrent les signaux de mesure vers les broches analogiques A0 et A2 de la carte Arduino. Les condensateurs en céramique C_3 et C_4 sont utilisés pour le filtrage des grandeurs mesurées en éliminant les parasites de haute fréquence.

Le module ACS712 est un capteur de courant à effet Hall, et sert à la mesure du courant délivré par le panneau photovoltaïque. Ce capteur délivre un signal, image du courant mesuré, sur la broche analogique A1 de la carte Arduino. ACS712 lit la valeur actuelle et la convertit en une valeur de tension. La valeur reliant les deux mesures est appelée sensibilité.

Le panneau solaire étant équivalent à une source de courant, le condensateur C1 assure au montage branché entre ses bornes (*Convertisseur Boost + batterie*), la nature de source de tension, (Principe de compatibilité des sources).

Puissance et commande Le MOSFET Q1 sert de protection contre l'inversion de polarité. En effet il empêche la circulation d'un courant depuis la batterie vers le panneau solaire dans le cas où la tension de la batterie est supérieure à celle du panneau (éclairage faible). Ce transistor est passant avec lorsque le MOSFET Q2 est lui même passant.

Le convertisseur abaisseur (Buck) est de type synchrone, son interrupteur principal est le MOSFET Q2. Il est constitué des deux transistors Q2 et Q3, de la diode D3, de la bobine L1 et son circuit de décharge (R6,C8) du condensateur C2. Le MOSFET Q3 remplace la diode habituellement utilisé dans le cas du Hacheur Boost afin de diminuer la chute de tension à ses bornes dans la phase de récupération. Ce MOSFET est donc commander de manière synchrone et en complémentaire avec le transistor Q2.

Les MOSFET(s) choisis comporte une diode intégré en parallélise inverse pour les rendre bidirectionnel, afin de compenser l'effet de la diode interne (chute de tension) une diode ultra rapide D3 (UF4007) est placée en parallèle entre le drain et la source du transistor. Le MOSFET Q4 est utilisé pour contrôler la charge et ainsi permettre sa connexion aux bornes de la batterie ou pas. Le montage pilotant cet interrupteur est constitué de du transistor bipolaire T1 et de résistances (R9, R10). Un niveau bas sur la broche D6 de la carte de commande bloquera T1 et saturera le MOSFET Q4, la charge est reliée à la batterie. Un niveau haut provoquera le débranchement de la charge.

La commande des interrupteurs Q1, Q2 et Q3 est confié au circuit driver en demi-pont IR2104. Il pilote les MOSFET haut Q2 et bas Q3 en utilisant le signal PWM de la carte Arduino (broche D9). Le circuit intégré prend le signal PWM entrée du microcontrôleur, puis commande deux sorties pour un transistor MOSFET haut et un autre bas. L'IR2104 peut également être arrêté avec le signal de contrôle en imposant un niveau bas, depuis la broche D8 de la carte de commande, sur l'entrée 3 du driver.

La diode D2 et le condensateur C7 constitue le "circuit de démarrage" (encore appelé "Pompe de charge " qui génère la tension de commande de grille côté haut pour Q1 et Q2 (Broche 5 LO)et coté bas pour Q3 (Broche 7 HO). Ce circuit forme en fait un doubleur de tension et génère deux fois la tension d'alimentation (broche 1) et l'applique sur la broche 8 (VB). Cette tension sert à introduire des temps morts entre les signaux de commutation délivrées sur les sortie Ho et Lo afin d'éviter les court-circuits causés par la fermeture simultanée des transistors haut et bas. Par conséquent, ce circuit d'amorçage ne fonctionne que lorsque les MOSFET(s) commutent.

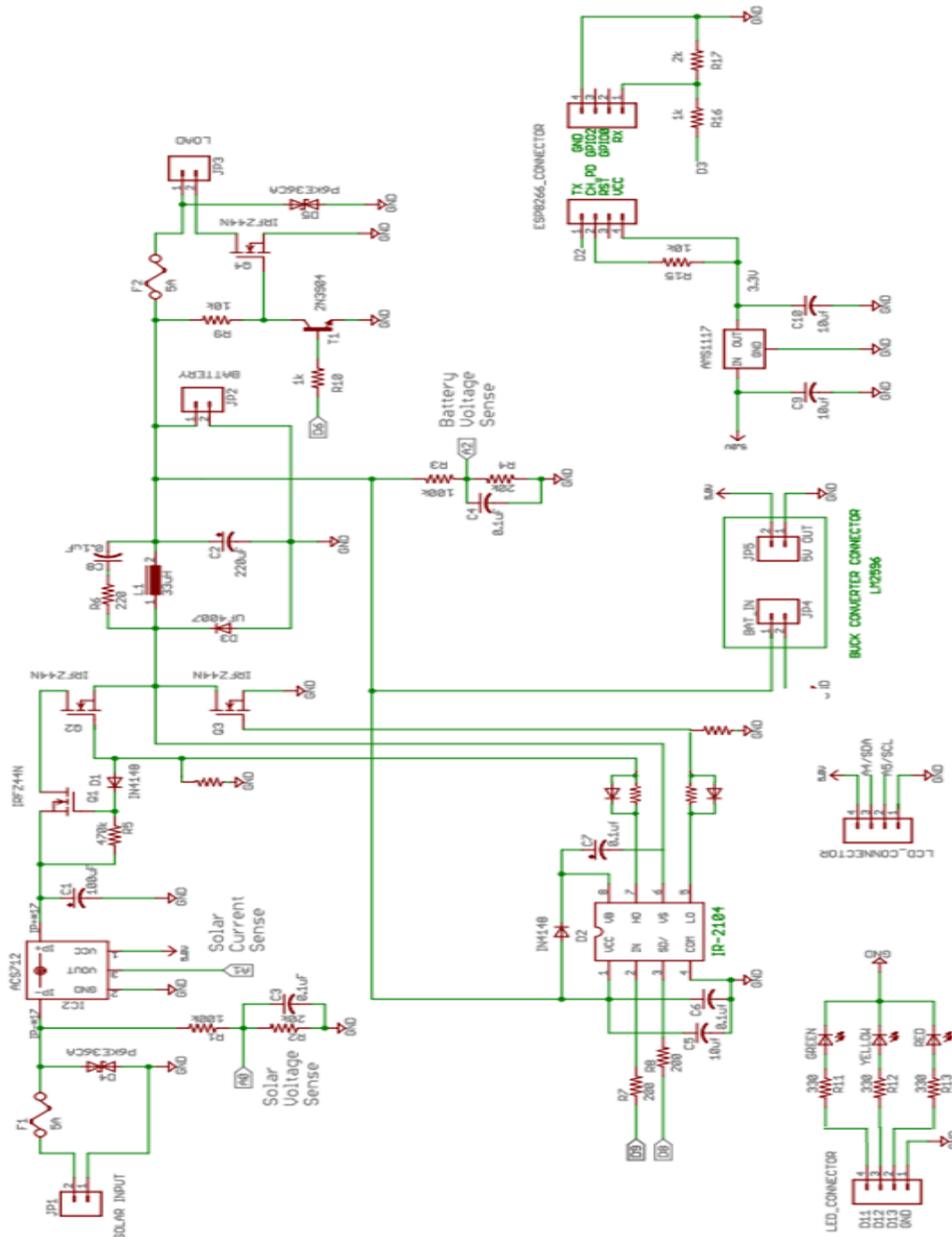


FIGURE II.5 – Schéma structurel global

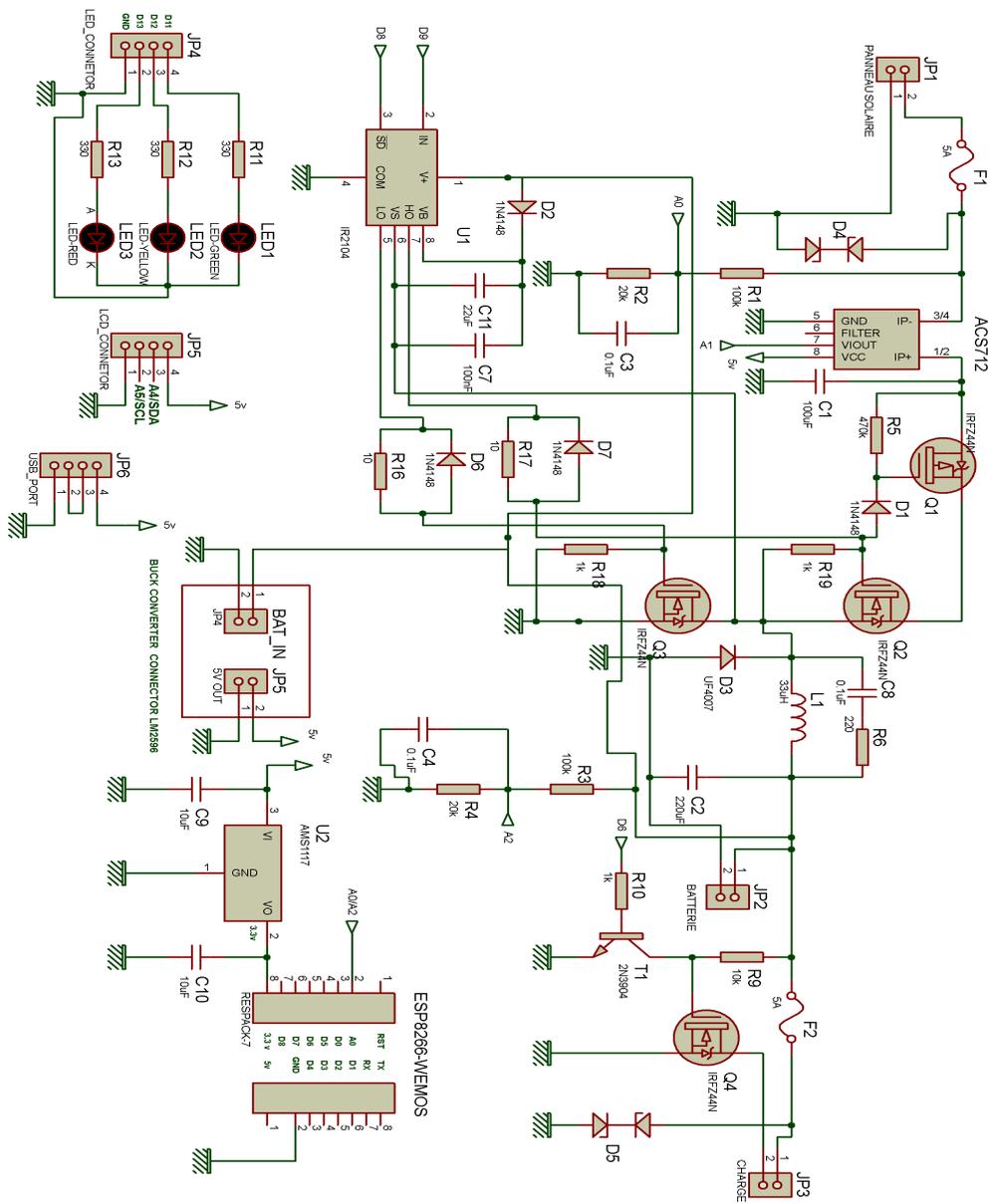


FIGURE II.6 – Schéma structurel global sur Proteus-Isis

Affichage Led(s) - Ecran LCD - WiFi : Les trois LED(s) rouge, vert et jaune sont connectées aux broches numériques de la carte Arduino et affiche l'état de charge de la batterie. Les informations délivrées par les Led(s) seront :

- Basse tension : Led rouge.
- Tension normale : Led verte.
- Entièrement chargé : Led jaune.

Un écran LCD 20×4 caractères est utilisé pour surveiller les paramètres du panneau solaire, de la batterie et de la charge. Pour simplifier, un écran LCD I2C est choisi, il ne nécessite que quatre fils pour faire interface avec la carte Arduino. Le rétro-éclairage de l'écran LCD consommant beaucoup d'énergie, un potentiomètre (avec interrupteur) est intégré pour contrôler le rétro-éclairage. Par défaut, le rétro-éclairage est éteint.

L'écran LCD donnera les indications suivantes :

- Colonne-1 : Tension, courant et puissance du panneau solaire.
- Colonne-2 : Tension de la batterie, état du chargeur et SOC.
- Colonne 3 : Cycle de service PWM et état de charge.

Le circuit ESP8266 est un petit module de WIFI qui permet aux microcontrôleurs de se connecter à un réseau Wi-Fi et d'établir de simples connexions TCP/IP à l'aide de commandes de style Hayes. Il est alimenté par le régulateur linéaire AMS1117 pour maintenir une tension constante et stable. La résistance de ce régulateur varie en fonction de la charge, ce qui donne une tension de sortie constante 3.3 Volts.

La tension d'entrée du circuit AMS1117 est délivrée par un convertisseur BUCKT (Alimentation à découpage avec rapport cyclique ajustable et conservé fixe $\alpha = 12/3.3$) qui délivre les 3.3 Volts nécessaires à partir des 12 Volts de l'alimentation.

II.5 Dimensionnement et tests des différents étages

II.5.1 Etude et rôle du convertisseur Buck synchrone

II.5.1-a Présentation

C'est un convertisseur Buck pour lequel la diode de roue libre est remplacée par un transistor MOSFET pour diminuer la chute de tension apparaissant à ses bornes lors de la phase de récupération du convertisseur. En effet la chute de tension que présente ce transistor entre Drain et Source est moindre en raison de la faible résistance R_{DS} .

II.5.1-b Principe

Le convertisseur Buck synchrone constitue de deux MOSFET pour être un circuit plus efficace. Le deuxième MOSFET est synchronisé avec le premier MOSFET. Mais ils ne sont jamais allumés en même temps par ce que dans cet cas le courant passera directement au terre et fait un court circuit.

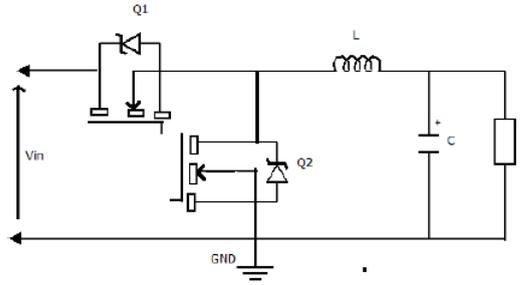


FIGURE II.7 – Convertisseur Buck synchrone

II.5.2 Dimensionnement du convertisseur Buck synchrone

II.5.2-a Calcul de l'inductance

Cet élément est le plus délicat à déterminer, en effet, si elle est trop faible, elle ne permet pas le fonctionnement de la carte puissance, et si elle est trop forte elle provoquera d'importantes pertes de puissance par effet Joule. En effet, une bobine réelle peut être représentée par une bobine parfaite en série avec une résistance [32].

La valeur de l'inductance L est déterminée en suivant les étapes suivantes :

★ Courant de sortie

$$I_s = \frac{P_e}{V_s} = \frac{50}{12} = 4.16A = 4.2A \quad (\text{II.1})$$

★ Rapport cyclique

$$\alpha = \frac{V_s}{V_e} = \frac{12}{15} = 0.8 \Rightarrow \alpha = 80\% \quad (\text{II.2})$$

★ **Courant d'ondulation** Pour une bonne conception, la valeur typique du courant d'ondulation est comprise entre 30 et 40 % du courant de charge. Soit $\Delta I_L = 35\%$ du courant nominal.

$$\Delta I_L = I_s * 0.35 = 4.2 \times 0.35 = 1,47A \quad (\text{II.3})$$

★ Courant de la bobine

$$I_L = I_s + (\Delta I_L/2) = 4,2 + (1,47/2) = 4,935A = 5A \quad (\text{II.4})$$

★ Calcul de l'inductance L de la bobine

$$L = (V_e - V_s) \times \alpha \times \frac{1}{F_{sw}} \times \frac{1}{\Delta I_L} \quad (\text{II.5})$$

$$L = (15,0 - 12,0) \times 0,8 \times \frac{1}{50k} \times \frac{1}{1.47} = 32,65 \mu H \approx 33 \mu H \quad (\text{II.6})$$

Le choix se porte sur une bobine de $33 \mu H$, devant supporter un courant supérieur à 5A.

II.5.2-b Calcul de la capacité du condensateur

Il était nécessaire de placer un condensateurs en sortie comme en entrée de notre convertisseur statique, il en fallait un de forte capacité et un de faible capacité pour filtrer les fortes et les faibles fréquences.

Le but du condensateur de sortie est en effet de filtrer les variations de tension en sortie du convertisseur Buck (pour minimiser le dépassement de tension et les ondulations présentes à la sortie d'un convertisseur abaisseur). La tension de sortie V_s est la tension aux bornes du condensateur de sortie de capacité C [32].

$$C_{out} = \frac{\Delta I_L}{(8 \times F_{sw} \times \Delta V_L)} = \frac{1,47}{(8 \times 50000 \times 0,02)} = 183,75 \mu F \quad (\text{II.7})$$

Le choix s'est porté sur un condensateur électrolytique 220 μF -30 Volts.

II.5.2-c Choix du transistor MOSFET

Le composant essentiel d'un convertisseur abaisseur est le MOSFET. Les paramètres caractéristiques pour le choix d'un MOSFET sont les suivants :

- Tension nominale : V_{ds} de MOSFET doit être supérieure à 20% ou plus de la tension nominale.
- Courant d'évaluation : i_{ds} de MOSFET doivent être supérieurs à 20% ou plus que le courant nominal.
- Résistance ON $R_{ds(on)}$: sélectionné un MOSFET à faible résistance ON.
- Perte de conduction : Cela dépend du $R_{ds(on)}$ et du rapport cyclique. Conservez le minimum de perte de conduction.
- Perte de commutation : Une perte de commutation se produit pendant la phase de transition. Elle dépend de la fréquence de commutation, de la tension, du courant, ..., etc.

Le transistor choisit est de type MOSFET, c'est un transistor utilisé dans les montages de forte puissance crée pour supporter des tensions élevées. Nous avons choisi le transistor IRFZ44N [16].

La figure II.8 illustre le MOSFET à canal N (IRFZ44N) choisi, il peut fonctionner avec des tensions V_{DS} jusqu'à 55 Volts et des courants I_D jusqu'à 49 A.

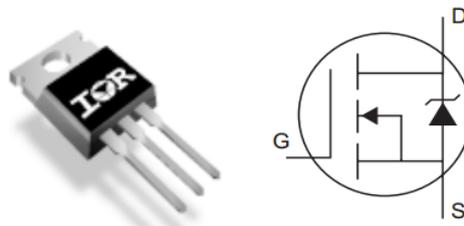


FIGURE II.8 – MOSFET à canal N (IRFZ44N)

Il est caractérisé par une faible résistance $R_{ds(on)}$ en fonctionnement de $17.5 \text{ m}\Omega$ (donc de résistance 10 à 4 fois plus faible que les autres résistances du circuit).

II.5.2-d Choix du driver de MOSFET

La présence d'un driver de MOSFET va garantir l'augmentation de l'intensité commandant le MOSFET, puisque si les courants sont de trop faible intensité ou si la tension de sortie n'atteint pas exactement le seuil nécessaire à la commutation du MOSFET, le montage devient totalement inefficace.

Donc un driver MOSFET permet à un microcontrôleur de recevoir le signal numérique à faible courant pour piloter la gâchette du transistor. Le driver IR2104 a été choisi.

II.5.2-e Test du signal de commande du transistor MOSFET

- * Test avec le code de programme disponible dans l'annexe C.
- * Test avec un exemple de simulation dans logiciel Proteus.

La figure (II.9) illustre le schéma de liaison entre L'Arduino et le transistor MOSFET et le driver IR2104 et le montage ci-dessous permet d'étudier la commutation d'un MOSFET.

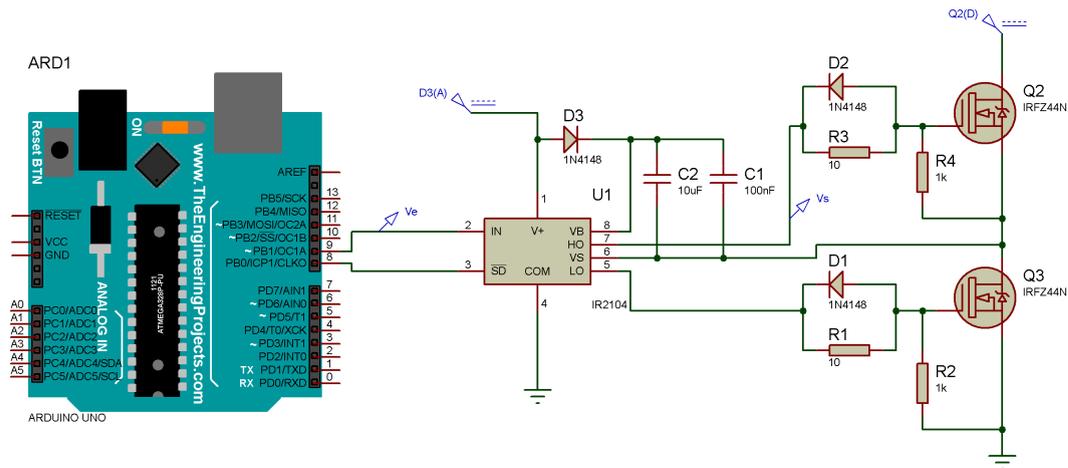


FIGURE II.9 – Schéma de liaison entre la carte Arduino et le MOSFET

La carte Arduino délivre un signal carré PWM avec un rapport cyclique 1/2, prenant une alimentation de 12 V. Lorsque la grille G est à 12 V par rapport à la source S, le transistor est à l'état passant. Le dipôle Drain-Source est alors équivalent à une résistance R_{DS}^{ON} de l'ordre de 1Ω .

Lorsque la tension grille-source est inférieure à un seuil, le transistor est bloqué et la résistance Drain-Source est pratiquement infinie.

* Signal du MOSFET avec leur driver IR2104

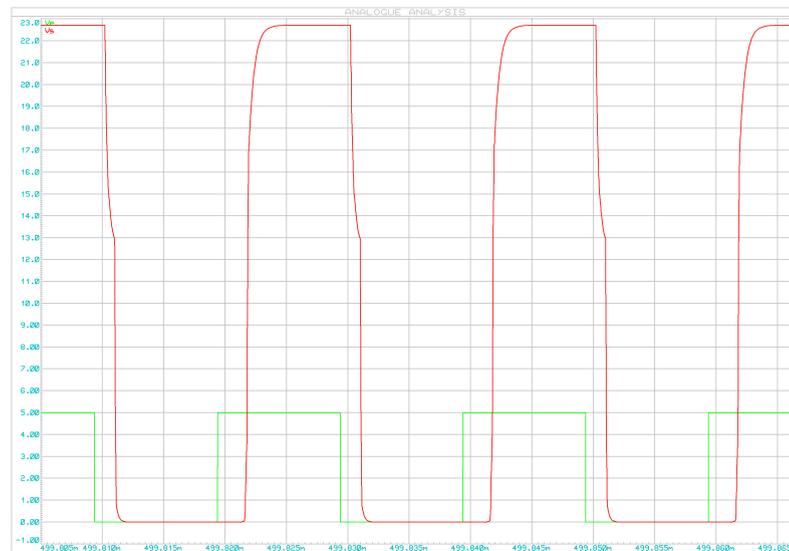


FIGURE II.10 – Signal PWM et le MOSFET

La forme d'onde obtenue lors des tests est présentée ci-dessus, dans l'objectif de générer un courant par modulation de largeur d'impulsion (MLI).

Il faut augmenter la fréquence de découpage de manière à réduire l'ondulation du courant, pour une fréquence de 50 kHz voici la tension de commande V_s (en sortie du driver IRF2104) broche HD en rouge et la tension V_{PWM} broche IN du driver en vert donc la commutation est satisfaisante pour cette fréquence.

II.5.2-f Test du convertisseur Buck synchrone

- * Test avec le code de programme disponible dans l'annexe C.
- * Test avec un exemple de simulation dans logiciel Proteus pour le convertisseur Buck synchrone.

La figure II.11 illustre le schéma de liaison entre l'Arduino et le convertisseur Buck synchrone avec le driver IR2104. N nous avons donné un rapport cyclique de 50% avec une alimentation de 12V en entrée. La sortie de convertisseur doit être continue et égale à 6V.

* Signal du MOSFET avec le driver IR2104

La figure II.12 montre deux signaux continus, le premier est un signal d'entrée 12V représenté de couleur verte et le deuxième est le signal de sortie 5.8V de couleur rouge. Donc le convertisseur est bien le convertisseur Buck avec rapport cyclique 50%.

II.5.3 Mesure de tension

II.5.3-a Principe de mesure

Nous avons mesuré la tension maximale du panneau solaire, de la batterie et un diviseur de tension constitué de deux résistance pour diminuer la tension mesurée dans la plage des entrées analogique de la carte Arduino (On ne doit pas dépasser pas 5 V).

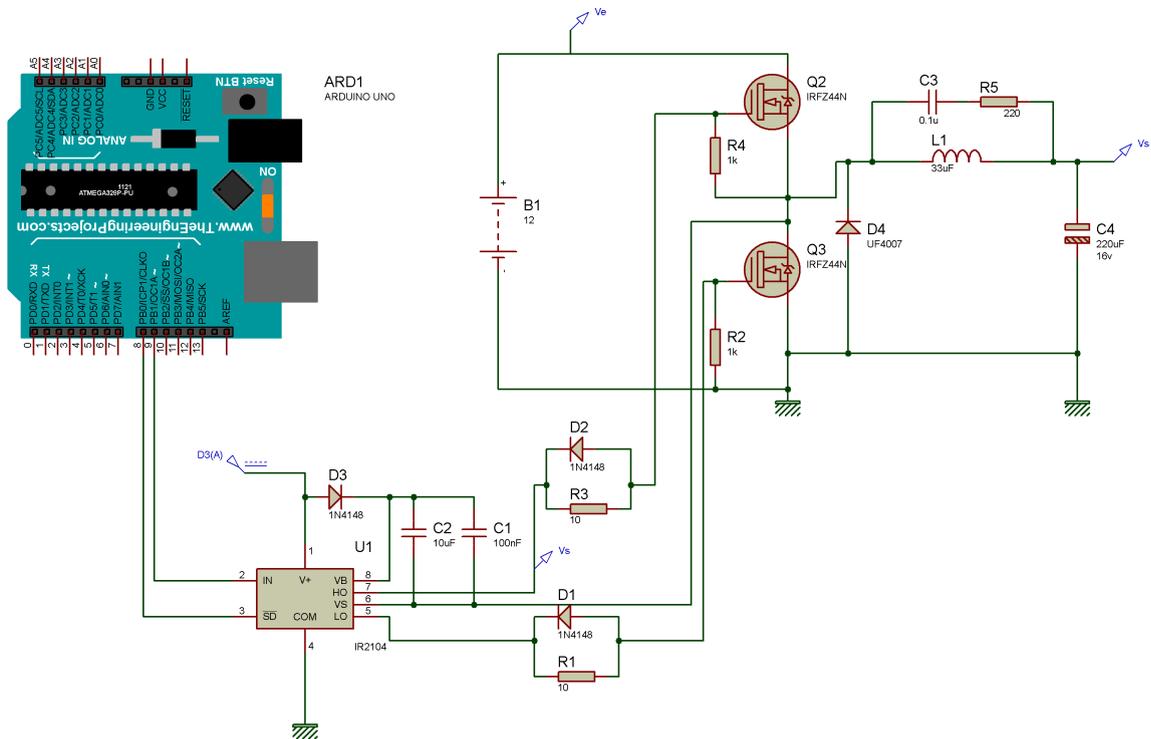


FIGURE II.11 – Schéma de liaison entre l'Arduino et le convertisseur Buck synchrone

II.5.3-b Dimensionnement

Pour un circuit de diviseur de tension on calcule :

$$V_{out} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} V_{in} \quad (\text{II.8})$$

$$V_{in} = \frac{(R_1 + R_2)}{R_2} V_{out} \quad (\text{II.9})$$

II.5.3-c Test du diviseur de tension

- * Test avec le code de programme disponible dans l'annexe C.
- * Test avec un exemple de simulation dans logiciel Proteus pour le diviseur de tension.

La figure II.14 illustre le schéma de liaison entre l'arduino et le diviseur de tension. Nous avons deux résistances $R_1 = 100 \text{ K}\Omega$ et $R_2 = 20 \text{ K}\Omega$. Nous appliquons une tension de 12V aux bornes des R_1 et R_2 pour obtenir une tension de 2V à la borne de R_2 . L'évolution de la tension de sortie est montrée sur la figure II.15.

II.5.4 Mesure de courant

II.5.4-a Présentation du capteur de courant

Dans notre projet nous avons utilisé le capteur de courant ACS712ELCTR-05B-T représenté sur la figure (II.16).

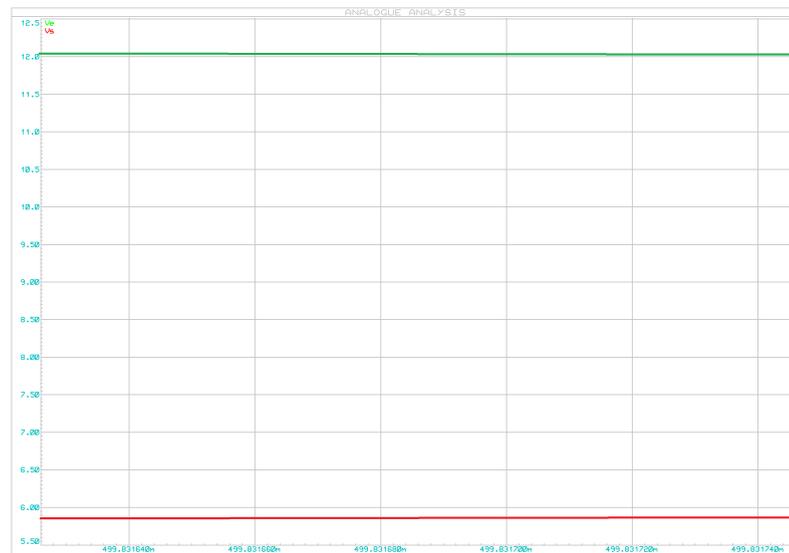
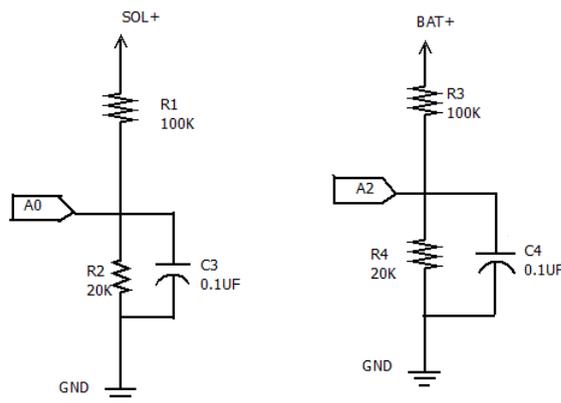
FIGURE II.12 – Allures des tensions V_e et V_s du convertisseur

FIGURE II.13 – Diviseurs de tension

La carte courant du Capteur ACS712 5A est une carte à effet Hall intégré et linéaire basé sur capteur de courant ACS712. Le capteur ACS712 donne une mesure précise du courant pour les deux signaux AC et DC. Les conducteur en cuivre épais permettent la survie de l'appareil jusqu'à 5 fois le courant nominal.

L'ACS712 émet un signal de sortie analogique en tension qui varie linéairement avec le courant détecté. Le dispositif exige 5 V continu et utilise un couple de condensateurs de filtrage.

II.5.4-b Principe de la mesure

Le capteur de courant à effet Hall ACS712(5A) est utilisé pour la mesure du courant, puis lit cette valeur et la convertit en une valeur de tension appropriée. La valeur qui relie les deux mesures est la sensibilité. La sensibilité est 185 mV/A, le capteur peut mesurer des courants positifs et négatifs (Plage-5A à 5A).

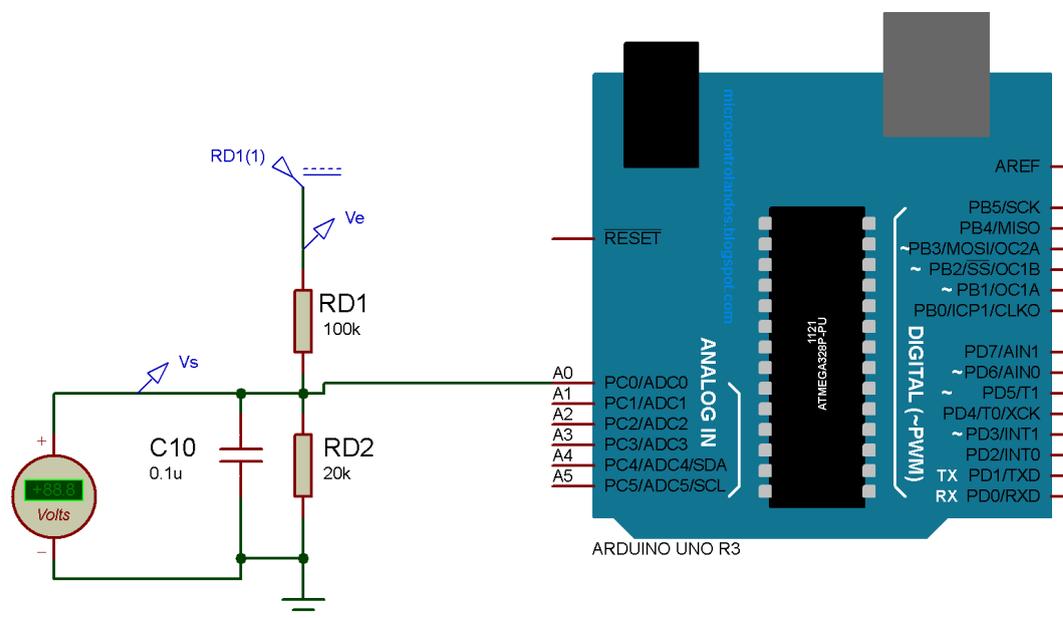


FIGURE II.14 – Schéma de liaison entre la carte Arduino et le diviseur de tension

L'alimentation est de 5 V et la tension de détection moyenne est de 2.5 V en l'absence de courant comme illustre dans la figure (II.17).

II.5.4-c Dimensionnement calibrage

Les capteurs de courant ACS712 génère une tension de sortie qui est directement proportionnel au courant circulant à travers le circuit. C'est un dispositif actif qui signal qu'elle a besoin d'une alimentation de tension V_{cc} pour son fonctionnement.

En fonctionnement à vide, la tension de sortie est égale à $\frac{V_{cc}}{2}$ et lorsque la charge est connectée, la tension de sortie est égale à [30] :

$$V_{out} = \frac{V_{cc}}{2} + 0.185I_p \quad (\text{II.10})$$

Pour transférer la valeur analogique à une valeur numérique nous avons utiliser la relation suivant :

$$V_{out} = \frac{5}{1023} \times V_{vla} \quad (\text{II.11})$$

où : V_{vla} est la valeur de lecture analogique et V_{out} est la valeur de lecture numérique.

Comme indiqué dans les fiches techniques, le décalage est de 2,5V (lorsque le courant est égale à zéro, la sortie du capteur génère 2,5V). Pour calculer le courant on a utilisé la relation suivante :

$$I_p = \frac{(V_{out} - 2.5)}{0.185} \quad (\text{II.12})$$

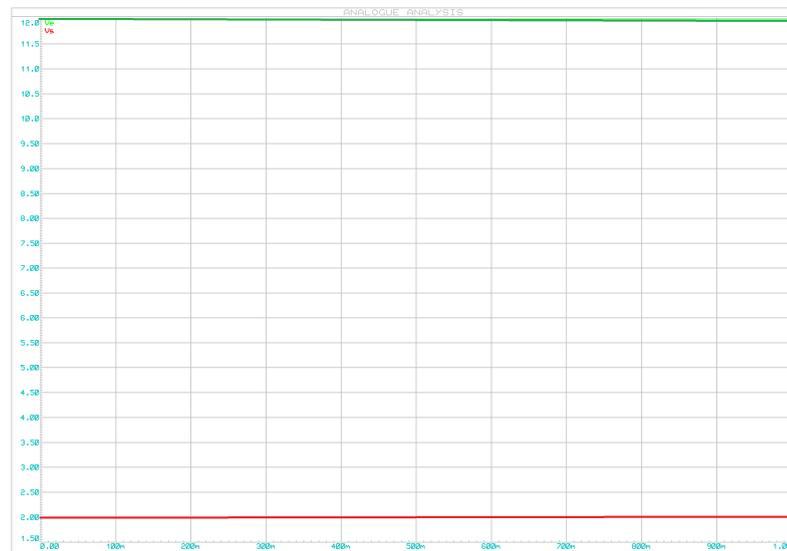
FIGURE II.15 – Evolution des tensions V_c et V_s d'un diviseur de tension

FIGURE II.16 – Capteur de courant ACS712

II.5.4-d Test du capteur ACS712

* Test avec le code de programme disponible dans l'annexe C.

* Test avec un exemple de simulation dans logiciel Proteus avec le capteur ACS712.

La figure II.19 illustre le schéma de liaison entre la carte Arduino et le l'ACS712. Nous avons deux résistances variables, la première est fixée à $12\ \Omega$ la valeur maximum, pour la seconde nous changeons la valeur de 0 à $230\ \Omega$ pour obtenir une marge de courant $I_p =]-5, 5[$ équivalente d'une marge de tension de 1.5 à 3.5 Volts $V_{out} =]1.5, 3.5[$ avec $I_p = 0A \Rightarrow V_{out} = 2.5V$.

II.5.5 Affichage LCD et visualisation par LED

Présentation de l'afficheur LCD

Les afficheurs LCD travaillent en parallèle et sont constitué de 4 bits, ils sont utilisé pour enregistré les broches du microcontrôleur. En mode 4 bits, l'écran LCD est relie avec l'Arduino en utilisant 7 broches de D0 à D7 équipés d'adaptateur I2C (port série) type PCF8574. Le rôle de cet étage intermédiaire est de transformer les informations de Arduino vers LCD par liaison série/parallèle.

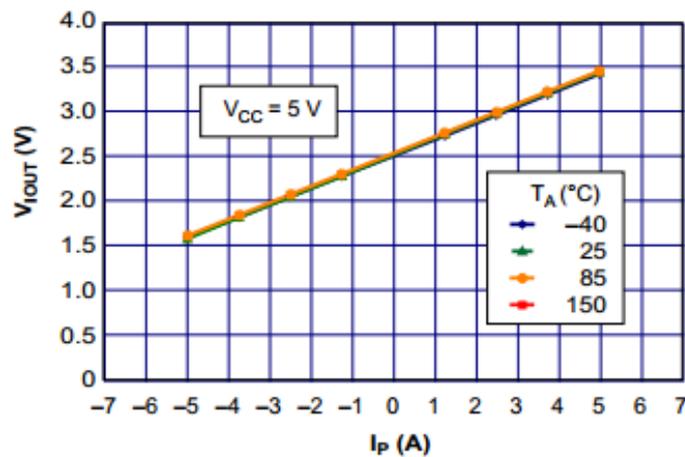
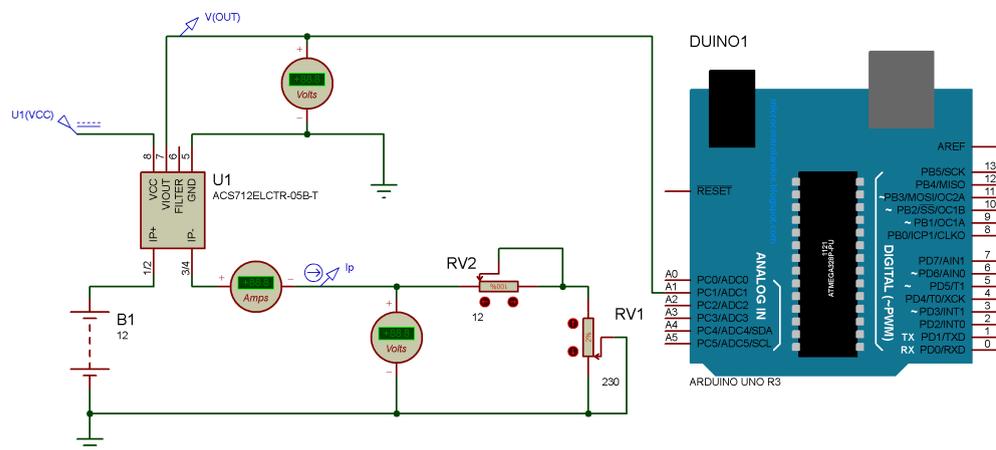
FIGURE II.17 – Caractéristique $V_{out} = f(I_p)$ 

FIGURE II.18 – Schéma de liaison entre la carte Arduino et le l'ACS712

Le PCF8574 fournit une extension Entrée/Sortie distance a usage général via le bus I2C bidirectionnel à deux fils (horloge série (SCL), données série(SDA)) et supporte un courant de faible consommation.

II.5.5-a Principe

Un écran LCD 20×4 est capable d'afficher quatre ligne de 20 caractères, il est utilise pour contrôler les paramètres du panneau, de la batterie et de la charge comme expliqué précédemment.

* Test avec le code de programme disponible dans l'annexe C.

* Test avec un exemple de simulation dans logiciel Proteus avec l'afficheur LCD.

La figure II.19 illustre le schéma de liaison entre l'Arduino et LCD I2C. PCF8574 permet de convertir le transfert des données série vers un transfert des donnés en parallèle, le potentiomètre permet de varier le rétro-éclairage de l'affichage LCD.

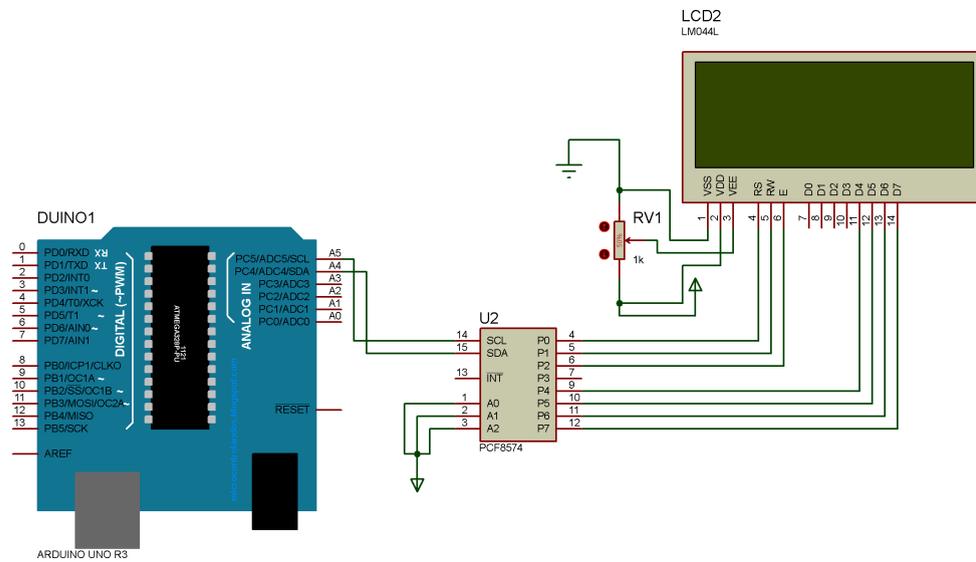


FIGURE II.19 – Schéma de liaison entre la carte Arduino et l'afficheur LCD

L'écran LCD affiche trois colonnes et quatre lignes, comme indiqué sur la figure II.20.



FIGURE II.20 – Afficheur LCD

II.6 Simulation globale

- * Test avec un code de programmation situé dans l'annexe C.
- * Test avec un exemple de simulation avec le logiciel Proteus.

Les résistances R_4 et R_{V1} représentent la batterie de 13 V et les trois LED(s) montre les états de la charge de la batterie. La batterie est alimentée par un panneau solaire de 50 W.

Lorsque la batterie est :

- sous chargé complète à 100%, la LED verte est allumé et l'affichage du LCD est tel que le montre la figure II.22 ;
- sous charge moyenne à 50%, la LED jaune est allumée et l'affichage du LCD est tel que le montre la figure II.23 ;
- sous charge faible à 20%, la LED rouge est allumée et l'affichage du LCD est tel que le montre la figure (II.24).

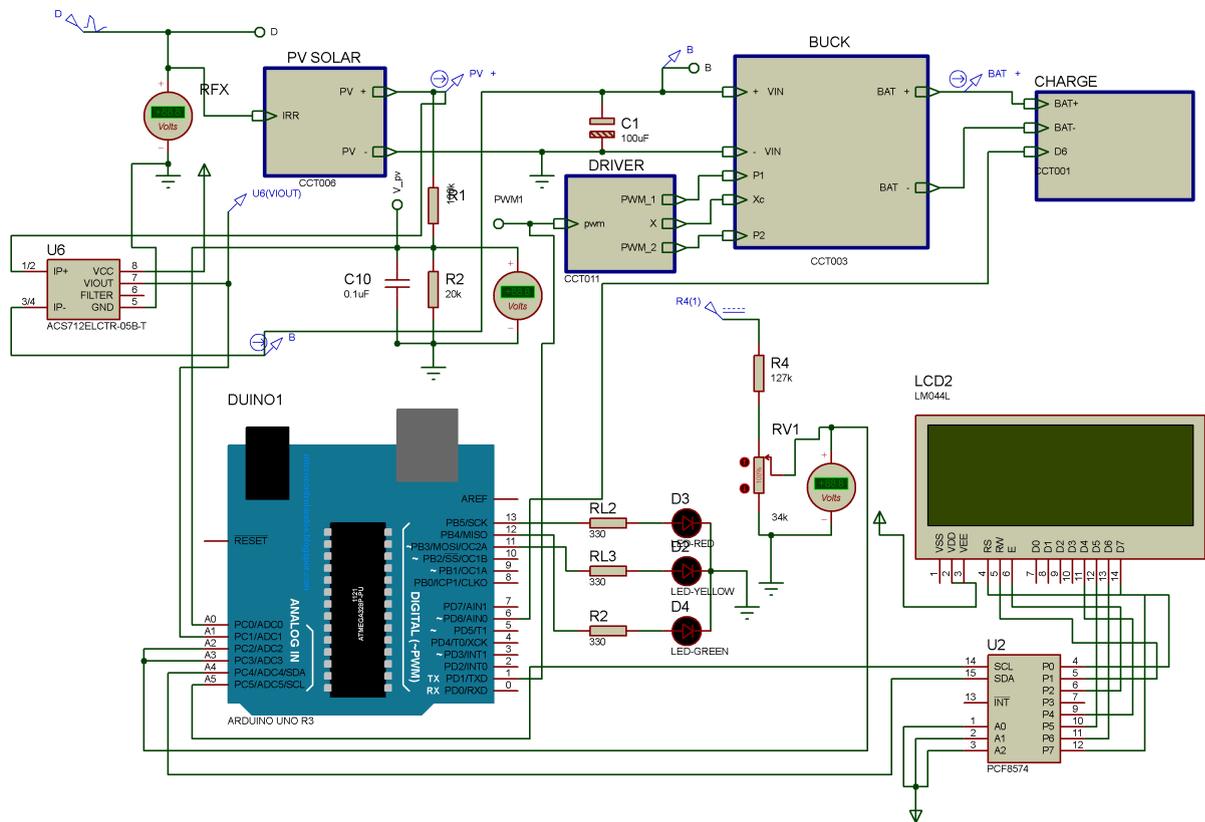


FIGURE II.21 – Schéma de liaison du système global

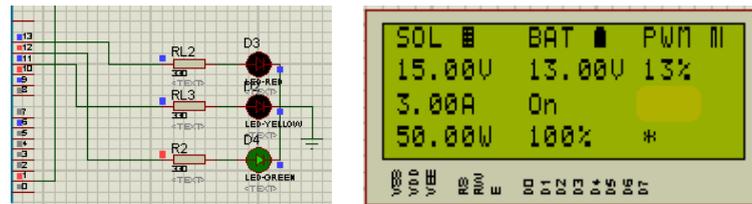


FIGURE II.22 – Batterie chargée à 100%

L'Arduino génère un signal PWM avec une commande MPPT pour régler le rapport cyclique au niveau de convertisseur Buck et permet ainsi de conserver la puissance maximale.

Nous voyons sur l'écran LCD que la puissance est restée presque constante, environ à 50 W, ainsi la commande MPPT permet d'obtenir la puissance maximale.

Nous avons un signal bleu ciel qui représente le signal d'entrée de valeur en volts de 14V et le signal violet c'est le signal de sortie de valeur en volts de 13V avec un signal de PWM qui joue sur le rapport cyclique pour garder la puissance à valeur maximale.

* Le signal d'entrée et de sortie du système

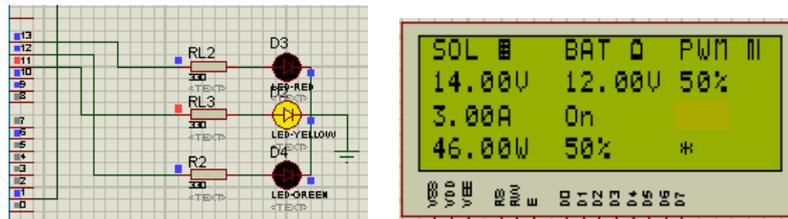


FIGURE II.23 – Batterie chargée à 50%

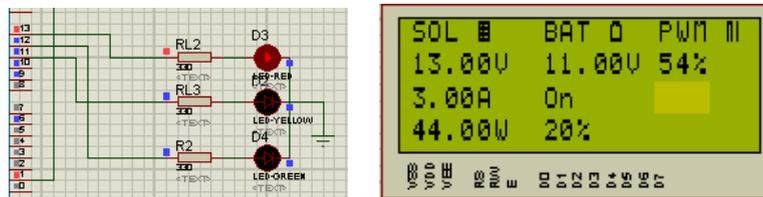


FIGURE II.24 – Batterie chargée à 20%

II.7 Algorithme du fonctionnement du chargeur solaire

Le fonctionnement du chargeur de batterie réalisé est décrit par l’organigramme suivant.

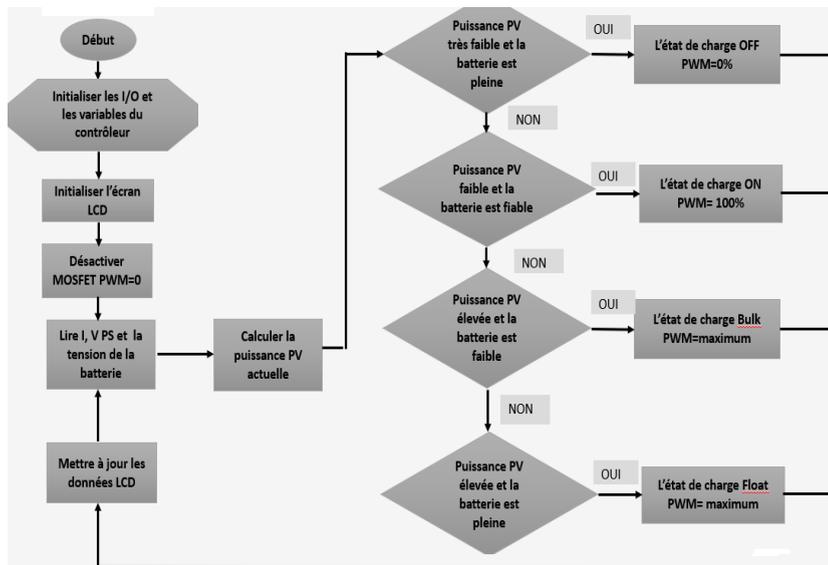


FIGURE II.26 – Algorithme du fonctionnement

II.8 Réalisation du prototype

Les figures II.27 et II.28 montrent les typons du circuit imprimé double face, réalisé sous Proteus-Arés, pour le système photovoltaïque étudié.

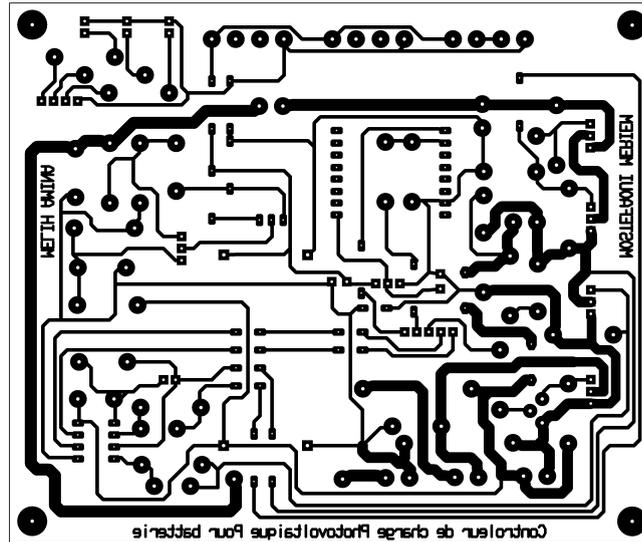


FIGURE II.27 – Face verso du typhon

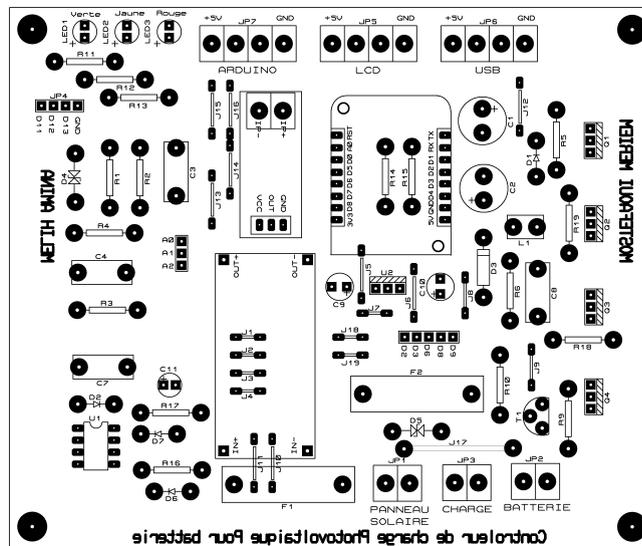


FIGURE II.28 – Face verso du typhon

Les figures II.29 et II.30 montrent le circuit imprimé réalisé avant et après soudure des composants.

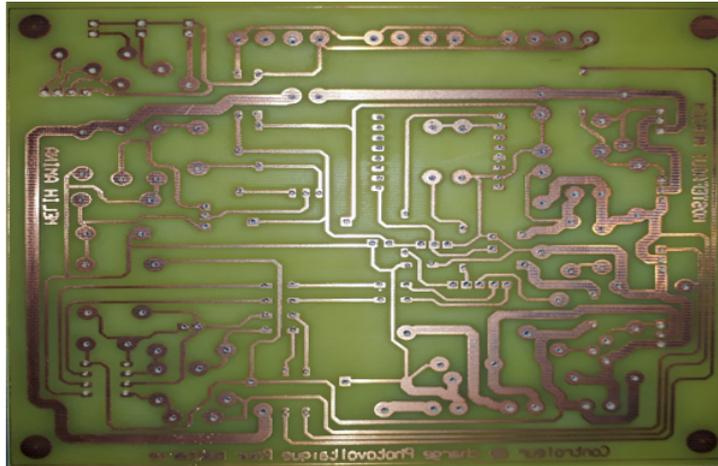


FIGURE II.29 – Vue du circuit imprimé

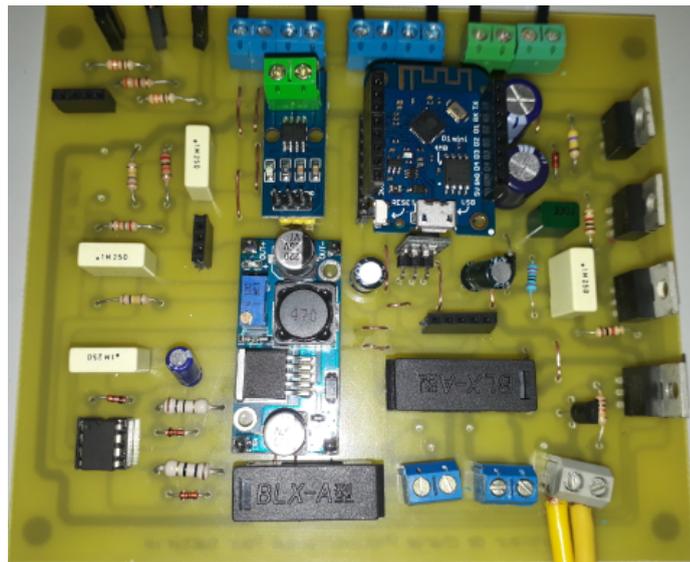


FIGURE II.30 – Vue du circuit imprimé avec composants soudés

La figure II.31 montrent le prototype achevé, branché à la batterie et une charge et en fonctionnement, quant à la figure II.32, elle donnent une vue du prototype connoté au panneau solaire et sous ensoleillement lors des essais.



FIGURE II.31 – Prototype avec charge et batterie

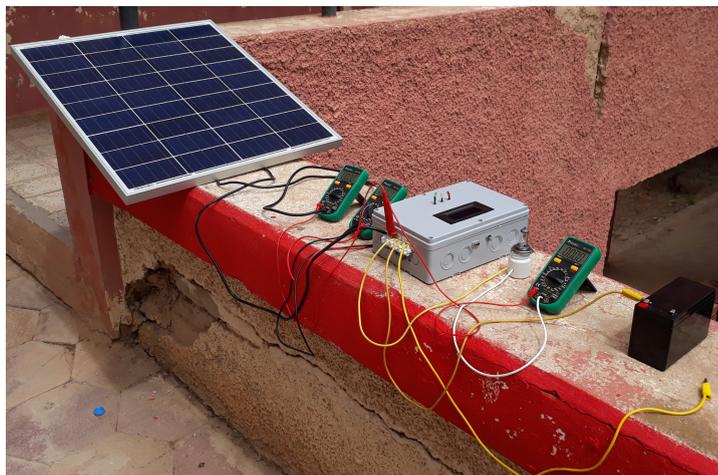


FIGURE II.32 – Prototype en fonctionnement avec son panneau

II.9 Conclusion

Au début de ce chapitre, nous avons présenté le système existant, suivi par une présentation des différentes caractéristiques du modules photovoltaïque. Enfin nous avons donné une exposé détaillé du fonctionnement du système. Le dimensionnement et les tests des différents étages ont été effectué, ce qui nous a permis de calibrer les étages de mesure et de valider les codes de programmation correspondants.

Chapitre III

Systeme mesure de temperature et d'eclairage

SOMMAIRE

III.1 INTRODUCTION	53
III.2 ANALYSE FONCTIONNELLE	53
III.3 MATÉRIEL	54
III.3.1 wemos	54
III.3.2 Le capteur DHT11	55
III.3.3 Le capteur TSL2561	56
III.4 TEST DES DIFFÉRENTS CAPTEURS	57
III.4.1 Test du DHT11	57
III.4.2 Test du TSL2561	57
III.5 TEST EXPÉRIMENTALE	58
III.6 RÉALISATION DU CIRCUIT IMPRIMER	59
III.6.1 Elaboration du typon	59
III.6.2 Photo de circuit imprimer	60
III.7 CONCLUSION	61

III.1 Introduction

Comme tout système de production d'énergie, les générateurs photovoltaïques ont besoin d'être suivis pour détecter les pannes et vérifier leur bon fonctionnement. Il existe plusieurs stratégies de monitoring photovoltaïque en fonction de la puissance de l'installation et sa nature.

Le monitoring peut être réalisé sur site ou à distance. Il peut mesurer la seule production, récupérer toutes les données de l'onduleur ou récupérer l'ensemble des données des matériels communicants (des sondes, des compteurs, etc.). Les outils de monitoring peuvent être dédiés à la seule supervision ou offrir des fonctionnalités supplémentaires [5].

III.2 Analyse fonctionnelle

- Pouvoir récupérer, stocker et utiliser les données relatives au panneau solaire à distance.
- Renvoyer toutes les valeurs des capteurs toutes les minutes entre 6h du matin et 22h.
- Possibilité de mettre le système de mesure à l'extérieur.
- Toutes les valeurs seront envoyées au serveur MQTT Adafruit.

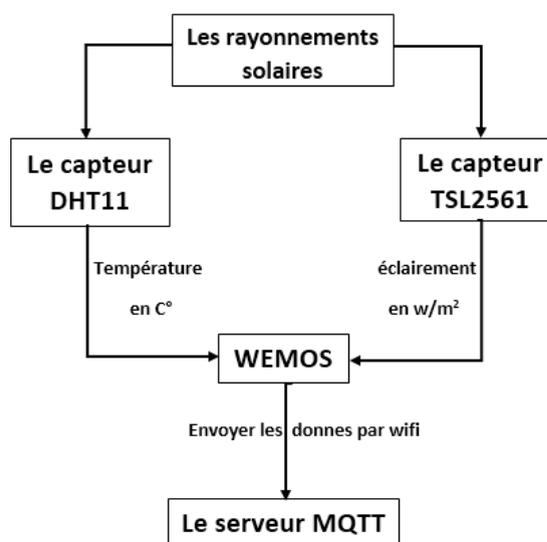


FIGURE III.1 – le principe de fonctionnement

III.3 Matériel

III.3.1 wemos

Description

La majorité des bibliothèques et exemples Arduino fonctionneront avec très peu ou sans modification sur le Mini D1, à 160 Mhz au lieu de 8/16Mhz et avec 4Mb de ROM (espace disponible pour l'application = capacité totale - espace alloué au bootloader et au firmware).

Le module Mini D1 comporte un chipset CH340 pour la communication UART et son propre système d'auto-reset garantissant un upload automatique sous Arduino. Il comporte également un régulateur LDO 3.3V, une entrée 3.3V, une entrée 5.0V et une prise micro USB pour alimentation et programmation / debug (UART via USB). Le chipset CH340 est compatible avec tous les systèmes et désormais très largement utilisé. 11 ports sont disponibles sur la carte, dont tous comportent un interrupt (IRQ), offrent le PWM, l'I2C et le 1-wire sauf D0. De nombreux headers mâle et femelle sont fournis dont des headers femelle double longueur.

Comme toutes les cartes de développement à base d'ESP8266, il est très facile de la programmer à l'aide de l'IDE Arduino ou PlatformIO. Elle est supportée nativement par le SDK d'Espressif [6].

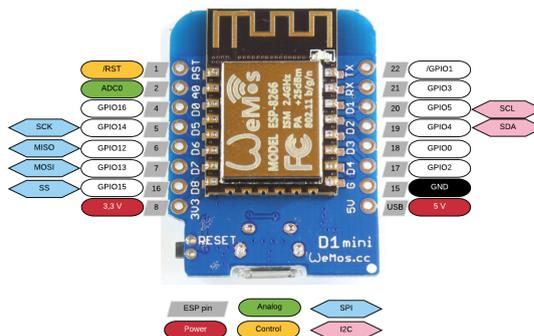


FIGURE III.2 – WEMOS [6]

Caracteristiques techniques

- SoC : ESP-8266EX d'Espressif
- WiFi 802.11 b/g/n, antenne céramique + connecteur IPEX pour antenne externe
- Tension de fonctionnement : 3.3V
- Broches d'E/S : 11
- Entrée analogique : x1, tension max admissible 3.2V
- UART : x1

- Fréquence CPU : 80 MHz/160 MHz
- Mémoire Flash : 16Mo (128MBit)
- Port micro USB pour la programmation et la mise au point
- Convertisseur série vers USB CP2104.
- Linux, Android et macOS
- Alimentation 5V
- Puissance Max. 5V via le port USB ou le Pin 5V sur la carte
- Un bouton de réinitialisation qui réinitialise le SoC et les broches 3,3V et GND
- Dimensions : 34.2 x 25.6mm

III.3.2 Le capteur DHT11

Description

Ce capteur d'humidité et de température est très répandu dans le contrôle de climatisation, il est constitué d'un capteur de température à base de NTC et d'un capteur d'humidité résistif, un microcontrôleur s'occupe de faire les mesures, les convertir et de les transmettre.

Ce capteur est calibré en usine et ses paramètres de calibration sont stockés dans la mémoire OTP (Rom) du microcontrôleur.

Il s'interface grâce à un protocole semblable à 1Wire sur 1 seul fil de données, une bibliothèque pour Arduino est disponible, il est possible de déporter le capteur jusqu'à 20 m.

Cette version est constituée uniquement du capteur, il possède 4 broches espacées de 2,45mm (0,1") ce qui permet de le brancher facilement sur une breadboard.

Seul 3 broches sont utiles : VCC, GND et Data [7].



FIGURE III.3 – le capteur d'humidité et de température [7].

Caractéristiques techniques

- Alimentation : 3 à 5 V
- température : de 0 à 50°C, précision : +/- 2°C
- Humidité : de 20 à 96% RH, précision +/- 5% RH

III.3.3 Le capteur TSL2561

Description

Le capteur de luminosité TSL2561 est un capteur de lumière numérique avancé, idéal pour une large utilisation de détection de luminosité. Comparé aux capteurs à bas pris de type LDR, ce capteur est beaucoup plus précis, permettant un calcul exact du nombre de Lux et pouvant être configuré pour différent gain et échantillonnage afin de mesurer des Lux entre 0,1 et +40000. Doté de deux diodes mesurant les spectres infrarouges et la lumière visible, vous mesurer les deux indépendamment.

Ce capteur numérique dispose d'une liaison I2C avec 3 adresses configurables, ce qui permet d'en utiliser 3 avec seulement 4 fils : 3V, SDA, SCL et GND.

La consommation est très faible avec 0,5mA en fonctionnement et $15\mu A$ en mode veille [8].



FIGURE III.4 – le capteur d'éclairage [8].

Caracteristiques techniques

- Se rapproche de la réponse de l'oeil humain
- Plage de température : -30 à 80 °C
- La plage dynamique (Lux) : 0,1 à 40000 Lux
- Plage de tension : 2.7-3.6V
- Cette carte utilise le bus I2C avec des adresses 7 bits 0x39 0x29,, 0x49, sélectionnable avec des cavaliers.

III.4 test des différents capteurs

III.4.1 Test du DHT11

- Testez-le avec un code de programme dans logiciel Arduino ci-joint pour un capteur de température et d'humidité :

Le code de programme est situé dans l'Annexe C.

- Testez-le avec un exemple de simulation dans logiciel Proteus ci-joint pour le capteur de température et d'humidité :

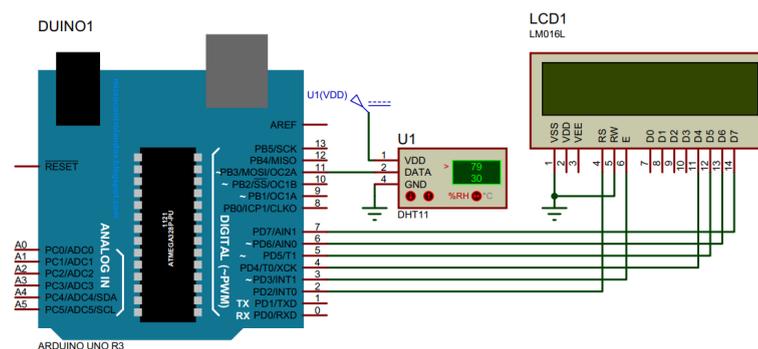
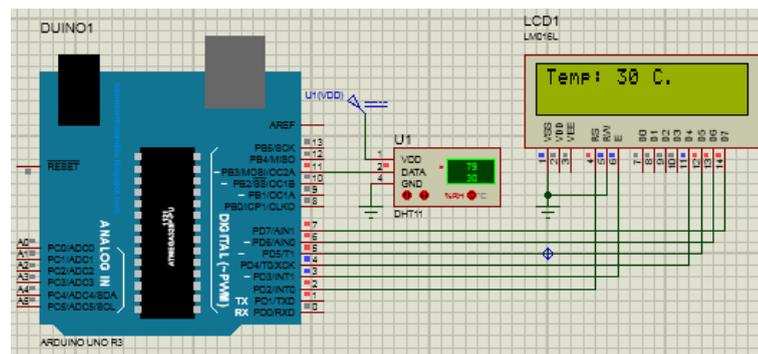


FIGURE III.5 – test du DHT11



affichage de la température sur écran LCD

III.4.2 Test du TSL2561

Nous n'avons pas trouvé la bibliothèque de ce capteur pour le logiciel proteus et vu que la période est courte nous n'avons pas crée cette bibliothèque pour faire ce test.

III.5 Test expérimentale

— Test avec un code de programmation situé dans l'Annexe C :

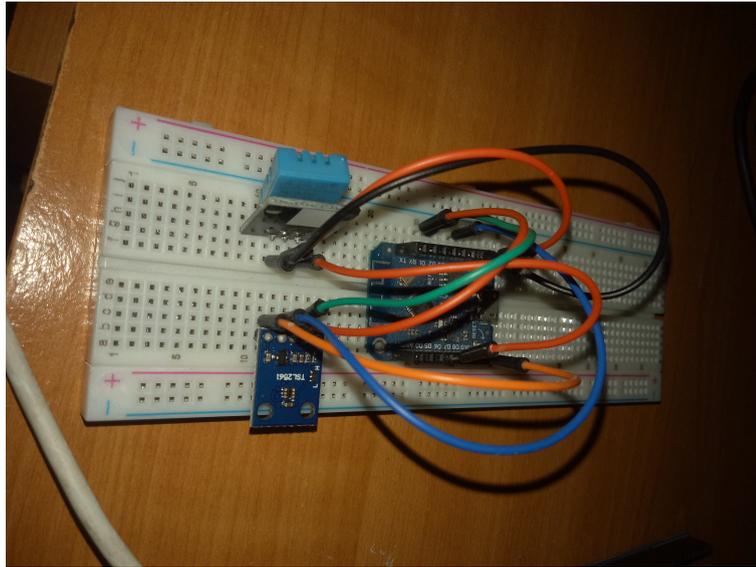


FIGURE III.6 – test expérimentale

la figure (III.7) montre les valeurs des mesures correspondantes mesurées par la mini station de météo et affichées par le moniteur série.

```
COM8
04:13:44.760 -> Attempting MQTT connection...connected
04:13:45.030 -> TEMPERATURE : 27 C,
04:13:45.030 -> ENSOLEILLEMENT : 26.39 Watts/m2
04:13:45.030 ->
04:14:00.024 -> Attempting MQTT connection...connected
04:14:00.742 -> TEMPERATURE : 27 C,
04:14:00.742 -> ENSOLEILLEMENT : 26.39 Watts/m2
04:14:00.776 ->
04:14:15.762 -> Attempting MQTT connection...connected
04:14:16.206 -> TEMPERATURE : 27 C,
04:14:16.206 -> ENSOLEILLEMENT : 26.39 Watts/m2
04:14:16.239 ->
04:14:31.265 -> Attempting MQTT connection...connected
04:14:31.674 -> TEMPERATURE : 27 C,
04:14:31.674 -> ENSOLEILLEMENT : 0.52 Watts/m2
04:14:31.709 ->
04:14:46.710 -> Attempting MQTT connection...connected
04:14:47.018 -> TEMPERATURE : 27 C,
04:14:47.018 -> ENSOLEILLEMENT : 0.51 Watts/m2
04:14:47.052 ->
04:15:02.036 -> Attempting MQTT connection...connected
04:15:02.445 -> TEMPERATURE : 27 C,
04:15:02.445 -> ENSOLEILLEMENT : 0.51 Watts/m2
04:15:02.479 ->
04:15:17.489 -> Attempting MQTT connection...connected
04:15:17.866 -> TEMPERATURE : 27 C,
04:15:17.866 -> ENSOLEILLEMENT : 0.51 Watts/m2
```

FIGURE III.7 – la température et l'éclairement affichées par le moniteur série

III.6 Réalisation du circuit imprimier

III.6.1 Elaboration du typon

Nous avons utilisé le logiciel PROTEUS (ARES) pour réaliser le typon. Nous avons réalisé un circuit imprimé simple face (PCB : Printed Bircuit Coard).

III.6.1-a Typon côté piste

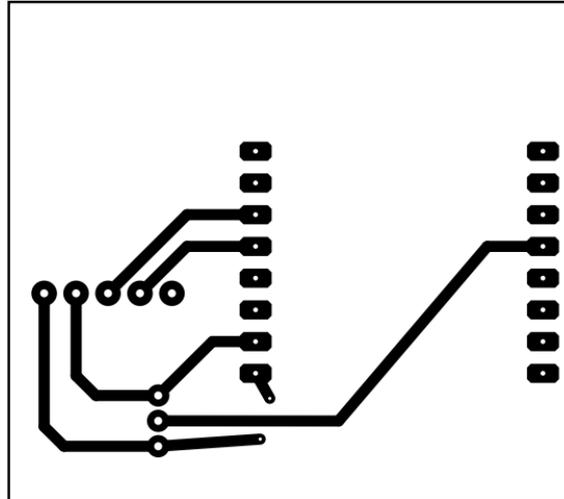


FIGURE III.8 – Typon côté piste

III.6.1-b Typon côté composants

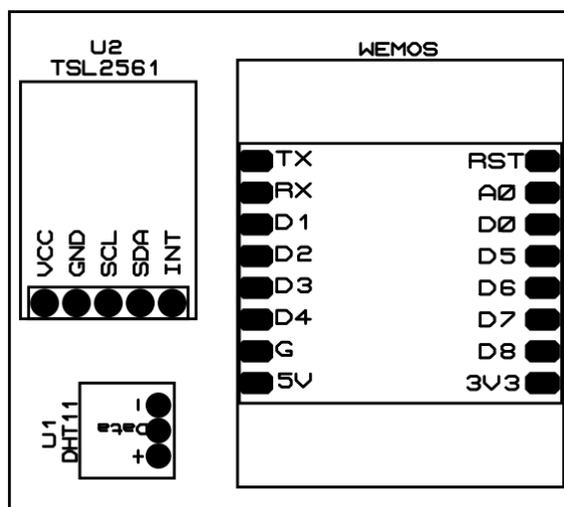


FIGURE III.9 – Typon côté composants

III.6.2 Photo de circuit imprimé

III.6.2-a Avant soudeur

Pour fabriquer un circuit imprimé les étapes suivantes sont nécessaires :

- Découper la plaque pré-sensibilisée selon les dimensions données par le typon, puis retirer l'adhésif.
- Placer la plaque pré-sensibilisée dans l'insoleuse et régler la minuterie pour un temps d'environ 2 minutes.
- Tremper la plaque pré-sensibilisée dans un bain révélateur en suivant bien les consignes de sécurité.
- Rincer abondamment la plaque avec de l'eau.
- Gravure : Placer la plaque pré-sensibilisée dans la graveuse et régler la minuterie sur environ 20 minutes.
- Nettoyer le circuit imprimé à l'aide d'un chiffon imbibé d'alcool jusqu'à faire disparaître la couche photosensible.

Malheureusement, nous n'avons pas réalisé le circuit imprimé à cause du virus COVID19. Mais nous avons réalisé un modèle en 3D à l'aide du logiciel PROTEUS comme illustre dans la figure (III.10) et la figure (III.11).

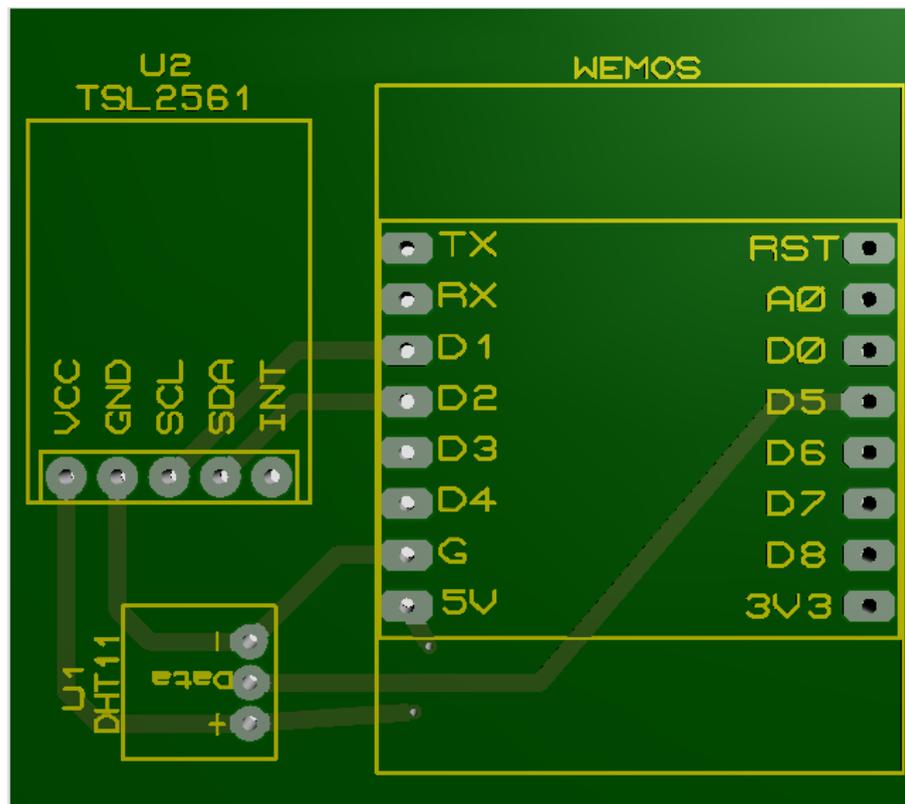


FIGURE III.10 – Circuit imprimé avant la soudure des composants

III.6.2-b Après soudeur

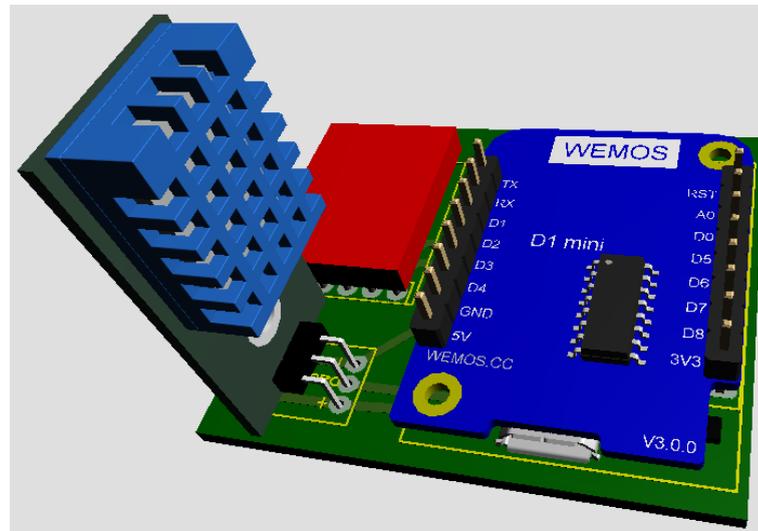


FIGURE III.11 – Circuit imprimé après la soudure des composants

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait un test expérimentale et en simulation du fonctionnement du station de météo.

Nous avons ensuite réalisé sous Proteus-Ares un typon afin de réaliser un circuit imprimé pour implanter les composants du station de météo.

Les informations de cette station est envoyé par WEMOS vers l'interface MQTT pour créer une base de donnée et observer le changement de la température et l'éclairement en temps réel.

Chapitre IV

Grafana et base de données

SOMMAIRE

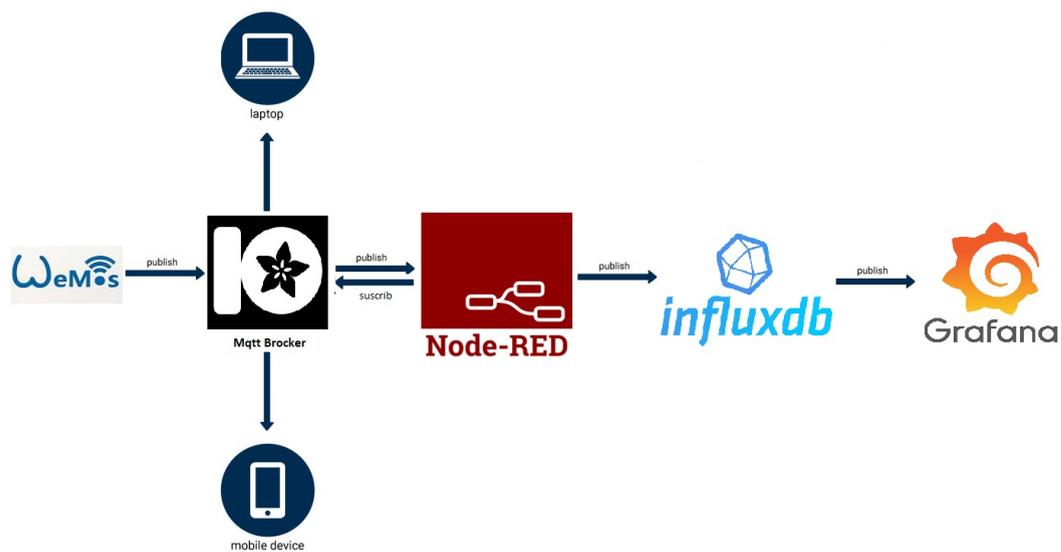
IV.1 INTRODUCTION	63
IV.2 LES INTERFACES	63
IV.2.1 MQTT	63
IV.2.2 Node-RED	65
IV.2.3 InfluxDB	66
IV.2.4 Grafana	67
IV.3 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	67
IV.3.1 Arduino wemos	67
IV.3.2 Io.Adafruit	68
IV.3.3 Node-RED	69
IV.3.4 Influxdb	72
IV.3.5 grafana	74
IV.4 CONCLUSION	77

IV.1 Introduction

Dans cette partie nous allons afficher les données obtenus a l'aide de l'arduino uno et wemos.

Et pour aborder a tous cela et obtenir une station de monitoring a l'aide de grafana et ainsi une base de données (influx db).

Cette manuvre contient un cycle spécifié pour que tous les donnés soient publier dans toutes les interfaces ceux graph explique parfaitement le fonctionnement de cette manuvre.



IV.2 Les interfaces

IV.2.1 MQTT

Sa veut dire quoi MQTT ? MQTT, ou transport de télémétrie de file d'attente de messages, est un protocole de communication d'appareil pris en charge par Adafruit IO. À l'aide d'une bibliothèque ou d'un client MQTT, vous pouvez publier et vous abonner à un flux pour envoyer et recevoir des données de flux [9].

C'est quoi le role de adafruit ? Adafruit IO est un système qui rend les données utiles. Notre objectif est de faciliter l'utilisation et de permettre des connexions de données simples avec peu de programmation requise.

IO inclut des bibliothèques clientes qui encapsulent nos API REST et MQTT. IO est basé sur Ruby on Rails et Node.js [10].

MQTT garantit que les messages sont envoyés aux bons appareils pendant la communication en utilisant des rubriques. Une rubrique fonctionne de la même manière qu'un chemin de fichier et dirige la communication en filtrant les messages en fonction des éléments spé-

cifiés dans la fonction de rubrique.

MQTT was first developed in 1999 as a lightweight messaging protocol to enable low-energy monitoring of an oil pipeline. 16 years later, it's proved to be the most efficient programming language for IoT-enabled devices, which also rely on low-energy communications, and was adopted as an international standard for IoT last year by OASIS. This widespread adoption will enable IoT to innovate more quickly by creating an open standard that companies will be able to build upon.

MQTT a pris de l'ampleur ces dernières années depuis que l'Internet des objets est devenu une solution de communication entre appareils physiques. Plus précisément, l'IoT a besoin de la capacité de fonctionner avec des appareils de faible puissance pour réussir, et MQTT répond à tous les besoins de l'IoT dans ce sens. Ce protocole de publication-abonnement est spécialisé dans la connexion d'appareils à faible bande passante avec des processeurs limités et avec très peu de frais généraux, ce qui en fait une solution idéale pour la connexion et la communication entre un petit nombre d'appareils à faible consommation d'énergie et un concentrateur central. La plupart des applications MQTT sont dans une configuration en étoile et concentrateur, comme de nombreux capteurs de surveillance d'énergie poussant la communication vers un emplacement de surveillance distant pour analyse.

Le protocole est également utile pour traiter des quantités élevées de décalage ou de latence, ou des connexions instables, car MQTT ne transmet que jusqu'à 256 Mo de données par message, et les charges utiles de données plus petites sont moins affectées par la latence que les plus grandes. Il est capable de transmettre de petits morceaux de données rapidement et efficacement sans exiger beaucoup de l'appareil, du concentrateur ou de la connexion réseau.

Un autre avantage est que MQTT est flexible en fonction de la qualité des performances et de la transmission des messages requise, ce qui est important car de nombreux appareils utilisés à des fins IoT sont des appareils de base sans grande capacité de performance.

Les messages MQTT reçoivent un niveau QoS (Quality of Service), qui détermine le niveau de performance et la manière dont les messages sont envoyés. Une qualité de service plus élevée signifie des performances moins bonnes mais une fiabilité élevée. Par exemple, une QoS 2 garantit que les messages arrivent toujours exactement une fois, mais entraîne de faibles performances; tandis qu'une QoS 0 n'affecte pas négativement les performances de l'appareil, mais risque de perdre le message.

De même, MQTT propose une fonction "Dernière volonté et testament", que votre équipe de consultants peut configurer pour renvoyer un message spécifique lorsque l'appareil tombe en panne pour une raison donnée. Par exemple, vous pouvez demander à votre appareil de renvoyer un message "Hors réseau" lorsqu'il n'est plus connecté, vous indiquant que vous devez remettre l'appareil à portée ou résoudre un problème de connexion. Cela réduit la probabilité de manquer des transmissions en raison de la communication avec un appareil qui n'est plus disponible pour la communication.

MQTT garantit que les messages sont envoyés aux bons appareils pendant la communication en utilisant des rubriques. Une rubrique fonctionne de la même manière qu'un chemin de fichier et dirige la communication en filtrant les messages en fonction des éléments spécifiés dans la fonction de rubrique.

Une fois que MQTT est configuré avec ses sujets, ses paquets de contrôle, QoS et LWT tous configurés, il s'exécute de manière fiable (en fonction de la QoS) et est très pratique. Ceci est idéal pour la collecte continue de données à partir d'un grand réseau de périphériques qui nécessite une surveillance régulière, et il continuera à extraire des données vers un serveur de concentrateur de données désigné sur une base à long terme [11].



FIGURE IV.1 – IO Adafuit icon

IV.2.2 Node-RED

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

Node-RED fournit un éditeur de flux basé sur un navigateur Web, qui peut être utilisé pour créer des fonctions JavaScript. Les éléments des applications peuvent être enregistrés ou partagés pour être réutilisés. Le runtime est construit sur Node.js. Les flux créés dans Node-RED sont stockés à l'aide de JSON. Depuis la version 0.14, les nuds MQTT peuvent établir des connexions TLS correctement configurées.

En 2016, IBM a contribué à Node-RED en tant que projet JS Foundation open source [12].

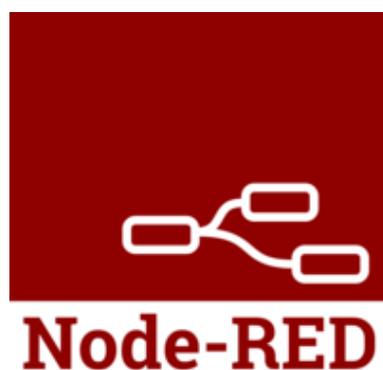


FIGURE IV.2 – Node-RED icon

IV.2.3 InfluxDB

InfluxDB est une base de données de séries chronologiques open source (TSDB) développée par InfluxData. Il est écrit en Go et optimisé pour un stockage et une récupération rapides et à haute disponibilité de données de séries chronologiques dans des domaines tels que la surveillance des opérations, les mesures d'application, les données de capteurs de l'Internet des objets et l'analyse en temps réel. Il prend également en charge le traitement des données de Graphite.

InfluxDB n'a pas de dépendances externes [8] et fournit un langage de type SQL, écoutant sur le port 8086, [9] avec des fonctions centrées sur le temps intégrées pour interroger une structure de données composée de mesures, de séries et de points. Chaque point se compose de plusieurs paires clé-valeur appelées le fieldset et un horodatage. Lorsqu'ils sont regroupés par un ensemble de paires clé-valeur appelé le jeu de balises, ceux-ci définissent une série. Enfin, les séries sont regroupées par un identifiant de chaîne pour former une mesure.

Les valeurs peuvent être des entiers 64 bits, des virgules flottantes 64 bits, des chaînes et des booléens. Les points sont indexés en fonction de leur heure et de leur jeu d'étiquettes. Les politiques de rétention sont définies sur une mesure et contrôlent la façon dont les données sont sous-échantillonnées et supprimées. Les requêtes continues s'exécutent périodiquement, stockant les résultats dans une mesure cible [13].



FIGURE IV.3 – InfluxDB icon

IV.2.4 Grafana

Grafana est une application Web d'analyse et de visualisation interactive multi-plateforme open source. Il fournit des graphiques, des alertes et des notifications pour le Web lorsqu'il est connecté à des sources de données prises en charge. Il est extensible via un système plug-in. Les utilisateurs finaux peuvent créer des tableaux de bord de surveillance complexes [4] à l'aide de générateurs de requêtes interactifs.

En tant qu'outil de visualisation, Grafana est un composant populaire dans la surveillance des piles, souvent utilisé en combinaison avec des bases de données de séries chronologiques telles que InfluxDB, Prometheus et Graphite ; plateformes de surveillance telles que Sensu, Icinga, Zabbix, Netdata, et PRTG ; Des SIEM comme Elasticsearch et Splunk ; et d'autres sources de données.

Grafana a été publié pour la première fois en 2014 par Torkel Ödegaard en tant que ramification d'un projet chez Orbitz, il ciblait des bases de données de séries chronologiques telles que InfluxDB, OpenTSDB et Prometheus, mais a évolué pour prendre en charge des sources relationnelles telles que MySQL, PostgreSQL et Microsoft SQL Server. En 2019, Grafana Labs a obtenu 24 millions de dollars de financement de série A [14].



FIGURE IV.4 – Grafana icon

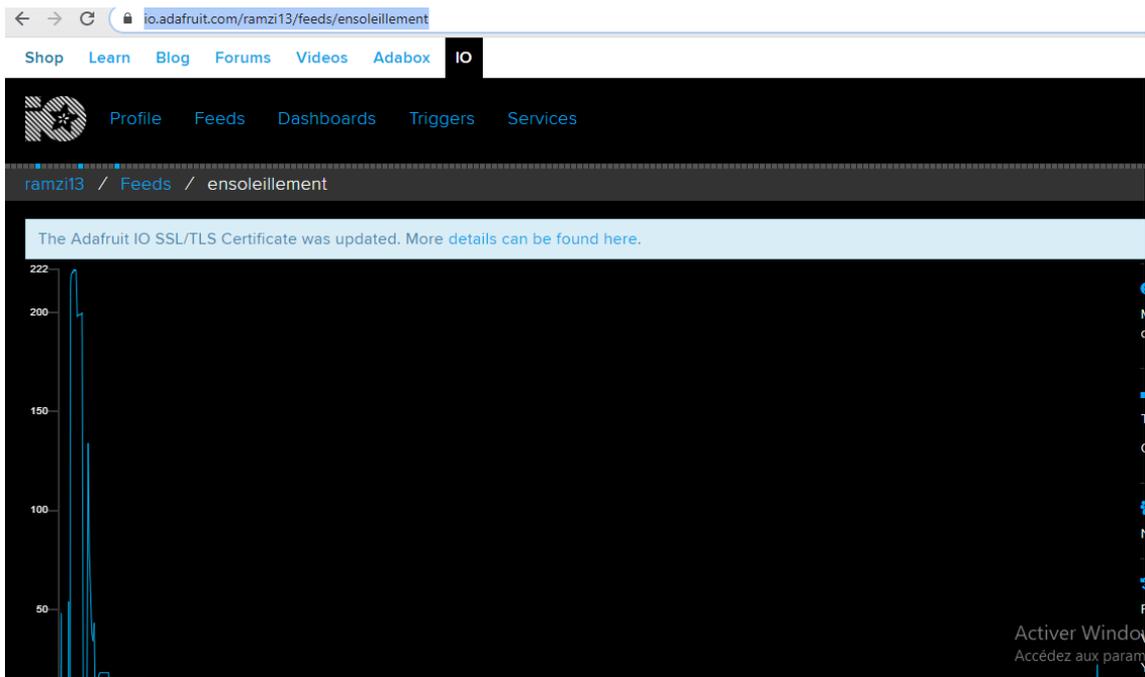
IV.3 Principe de fonctionnement

IV.3.1 Arduino wemos

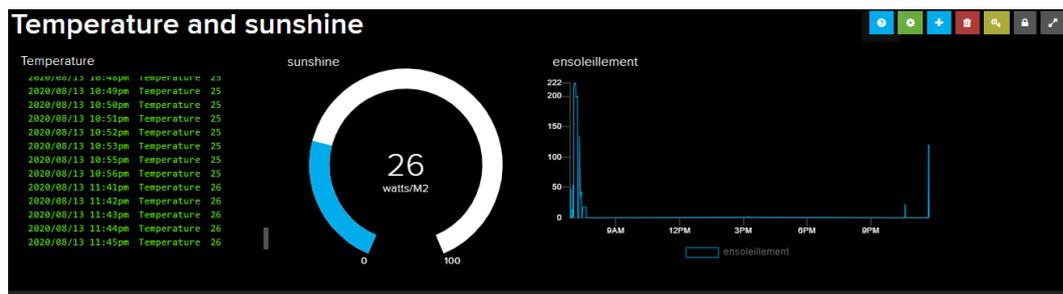
La température venant du capteur DHT11 ainsi que l'ensoleillement venant du capteur TSL2561 vont être acheminés dans des cases en format string pour être ainsi envoyés vers le serveur local (IOadafruit-MQTT) comme montre le code de programmation suivant (annexe C)

IV.3.2 Io.Adafruit

Dans le serveur MQTT chaque valeur a sa propre case appelée feed comme montre l'exemple suivant :



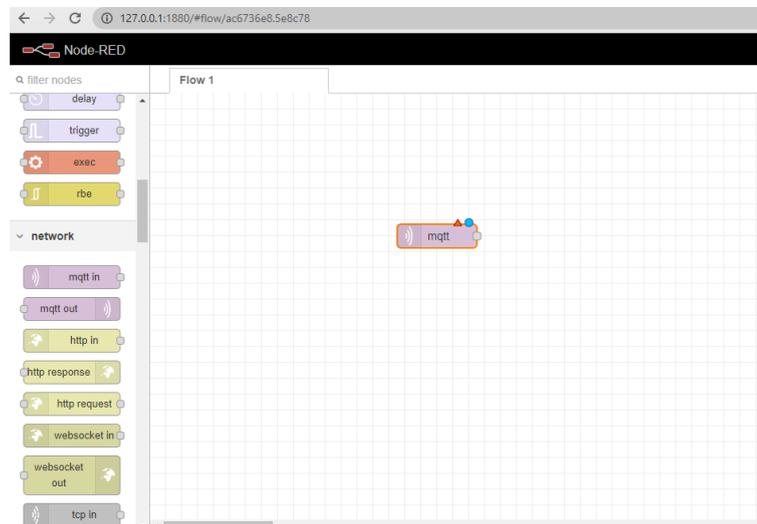
A l'aide de ces feeds on peut avoir un tableau de bord (Dashboard) qui nous récite les différents changements de valeurs des capteurs a travers le temps, cela avec différents bloc d'affichage (gauge, stream, line chart)



IV.3.3 Node-RED

Ici Vient le rôle du Node-RED ;

Le Node-RED à l'aide de sa fenêtre MQTT in va déchiffrer l'information venant de la source spécifié.



A l'aide d'un afficheur de message entrant appelé debug, l'information va être debuggée ainsi être afficher en format " msg ".



L'affichage sera comme suit [l'expéditeur/debug/format de l'information " string "]

```
16/08/2020 à 20:09:17 node: 674cd75f.da8ed8
ramzi13/feeds/temperature : msg.payload : string[2]
"29"
```

Le Node-RED est un outil de développement très fiable vu la vitesse de lecture ainsi que la précision de lecture, on peut crée un tableaux de bord a l'aide de node red (Dashboard).

Et cela on ajoutant un nud de cryptage appelée fonction qui transforme l'information string en une variable flottante, le but de transformation du format c'est la lecture de influxdb de l'information sachant que Influxdb n'accepte que les formats flottant.



Maintenant avec l'insertion de la fonction on constate le changement du format du message.

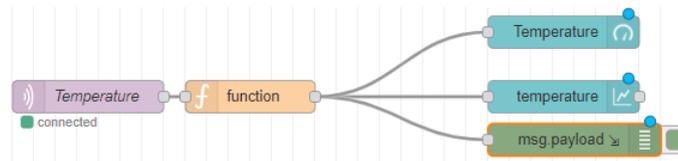
```
16/08/2020 à 20:31:14 node: 2a99826d.7594de
ramzi13/feeds/temperature : msg.payload : number
29
```

Pour la création de la Dashboard on besoin des outils d'affichage, sur node-red existe plusieurs outils d'affichage parmi les plus utiles et celebre il existe

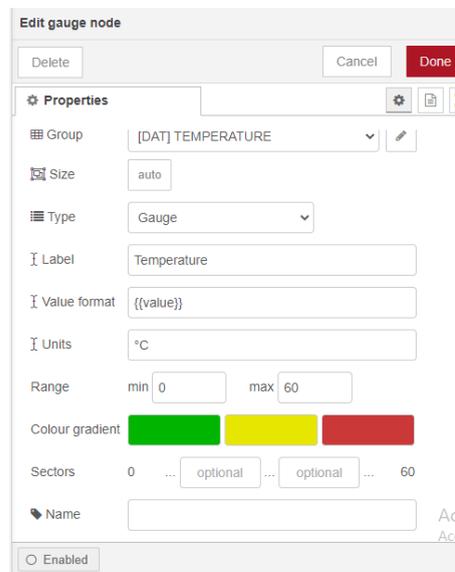
The screenshot displays three categories of dashboard widgets in Node-RED:

- TEXT**: Includes 'form', 'text', 'gauge', and 'chart' widgets. A tooltip for the 'text' widget states: "Will display a non-editable text field on the user interface. node-red-dashboard : ui_text".
- GAUGE**: Includes 'text', 'gauge', and 'chart' widgets. A tooltip for the 'gauge' widget states: "Adds a gauge type widget to the user interface. node-red-dashboard : ui_gauge".
- CHART**: Includes 'text', 'gauge', 'chart', and 'audio out' widgets. A tooltip for the 'chart' widget states: "Plots the input values on a chart. This can either be a time based line chart, a bar chart (vertical or horizontal), or a pie chart. node-red-dashboard : ui_chart".

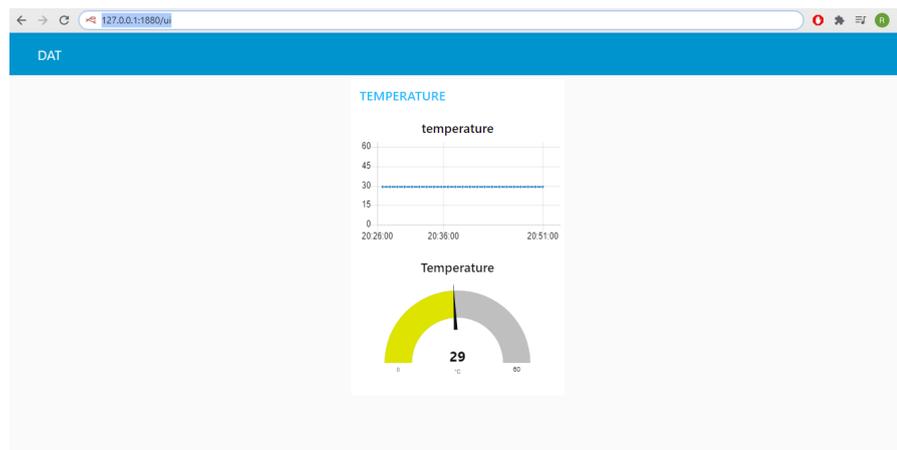
Dans notre cas on va se contenter Just de deux outils (gauge et chart) on les inserts en parallèle sous le format suivant :



Pour chaque il a une configuration à effectuer pour que l'afficheur sois comme veut le manipulateur de l'éditeur dans notre cas o va voir la configuration de la gauge :



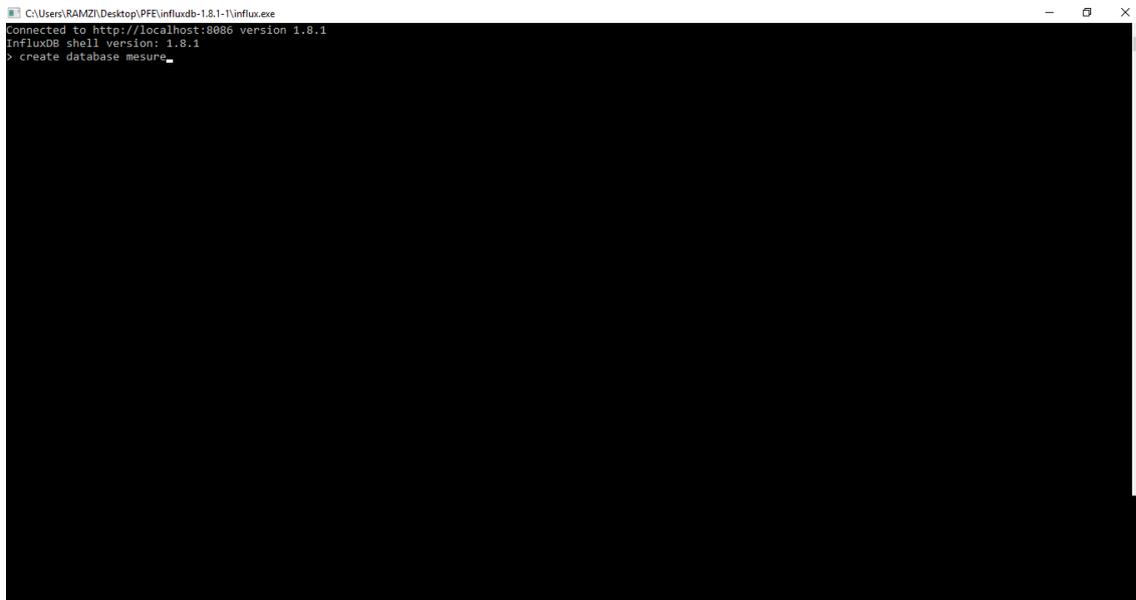
Pour visualiser la Dashboard il faut aller dans l'adresse suivante (<http://127.0.0.1:1880/ui>)



IV.3.4 Influxdb

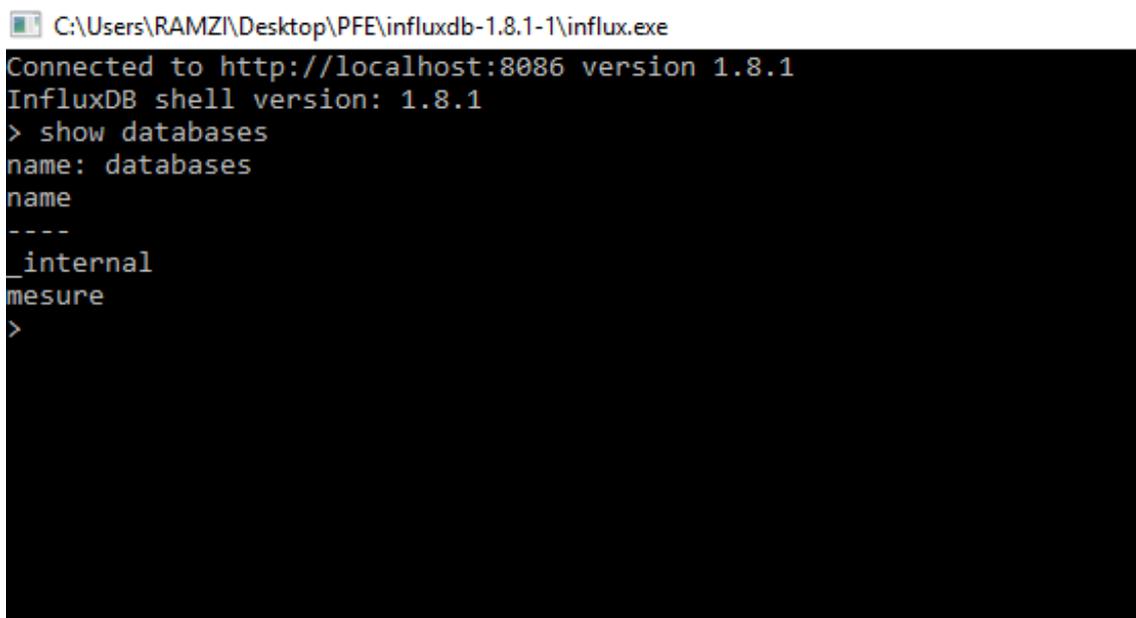
Pour la base donnée local on utilisera influx dB, dans cette recherché on a utilisé la version (influxdb-1.8.1-1).

Pour créer une base donnée il faut a l'aide de la fenêtre commande créer une base de donn e a l'aide de l'instruction "create database".



```
C:\Users\RAMZI\Desktop\PFE\influxdb-1.8.1-1\influx.exe
Connected to http://localhost:8086 version 1.8.1
InfluxDB shell version: 1.8.1
> create database mesure_
```

On va vérifier si notre base de donn e a bien été crée avec l'instruction "show databases"



```
C:\Users\RAMZI\Desktop\PFE\influxdb-1.8.1-1\influx.exe
Connected to http://localhost:8086 version 1.8.1
InfluxDB shell version: 1.8.1
> show databases
name: databases
name
----
_internal
mesure
>
```

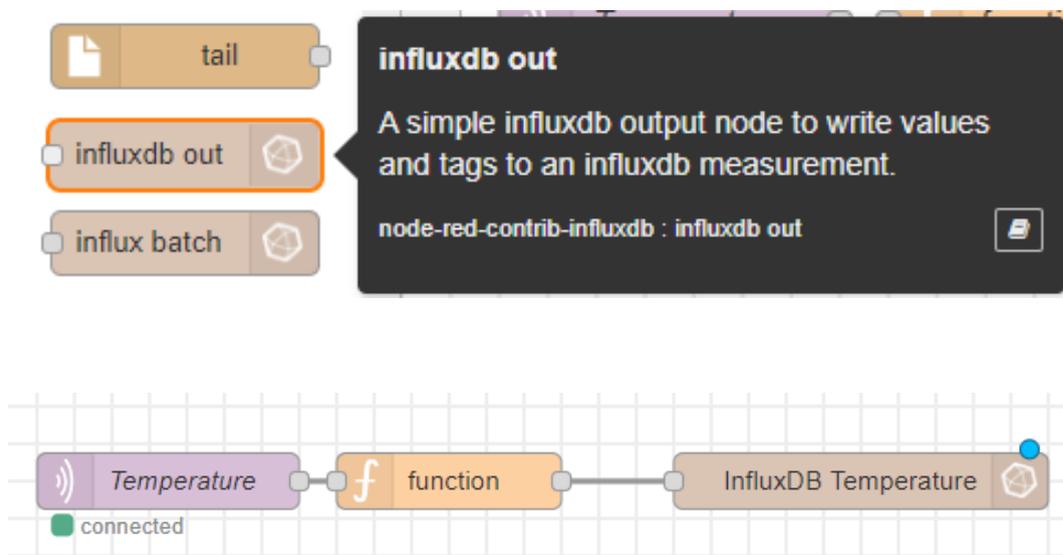
Ainsi notre base de donn e a bien été crée, maintenant nous allons voir les différentes

clés de notre base de données mais d'abord il faut choisir la base à utiliser et cela avec l'instruction "use mesure".

Après avoir reçu la réponse "Using database mesure " on utilise bien la base mesure on passe alors à l'aperçue des clés avec l'instruction "show field keys" on aperçoit les différents sous bases ou clés comme montre l'image suivante :

```
CAUsers\RAMZI\Desktop\PFE\influxdb-1.8.1-1\influx.exe
connected to http://localhost:8086 version 1.8.1
InfluxDB shell version: 1.8.1
> show databases
name: databases
----
internal
mesure
> use mesure
Using database mesure
> show field keys
name: Temperature
fieldKey fieldType
-----
value float
name: batterie_voltage
fieldKey fieldType
-----
value float
name: charging
fieldKey fieldType
-----
value float
name: curent_panel
fieldKey fieldType
-----
value float
name: humidity
fieldKey fieldType
-----
value float
name: voltage_panel
fieldKey fieldType
-----
value float
>
```

Ainsi on constate les différentes bases avec le format <string>, pour affecter des informations sur ces différentes bases on doit aboutir à travers Node-RED, et cela on injectant le nud Influxdb out.



Pour la vérification de l'écriture de la base on aboutit avec l'instruction "select * from Temperature"

Et on obtient les résultats suivant :

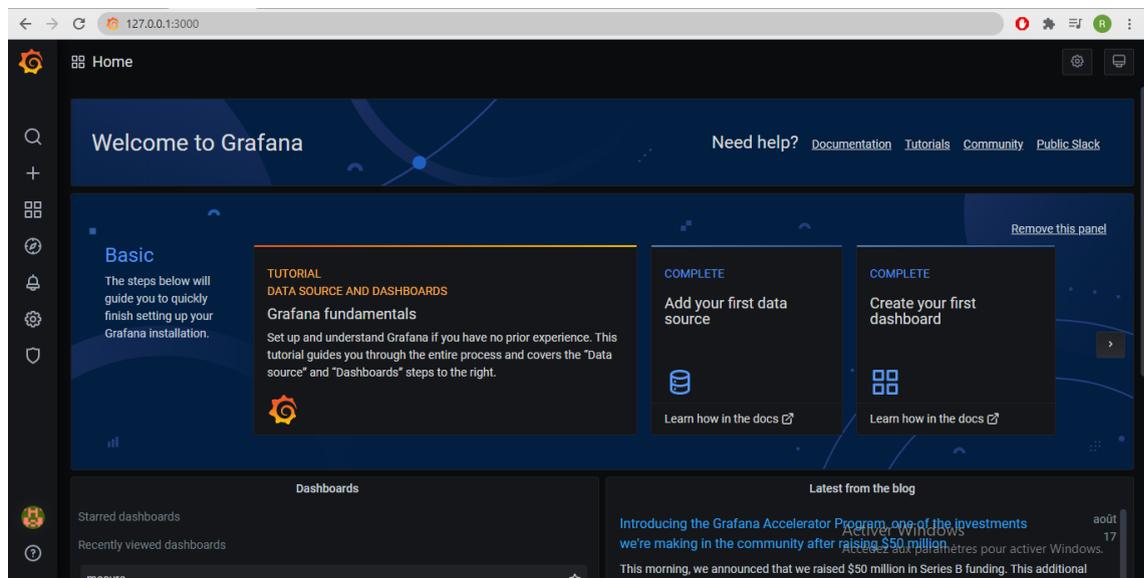
```

C:\Users\RAMZI\Desktop\PFE\influxdb-1.8.1-1\influx.exe
> select * from Temperature
name: Temperature
time                 value
-----
159729922866770000  32
1597299294623303100  32
1597299360456775100  32
1597299426507964000  32
1597299492496661900  32
1597299558414247100  31
1597299624331980500  31
1597299690375014000  31
1597299756242954400  31
1597299822164284700  30
1597299888119119100  30
1597299954078316600  31
1597300019997061100  31
1597300085833127000  31
1597300151830417100  30
1597300217629032000  30
1597300283756128500  31
1597300350189455000  32
1597300415581370400  31
1597300481577520300  32
1597300547536281900  32
1597300613452794800  32
1597300679406563300  32
1597300745359124000  29
1597300811206719900  28
1597300877242329600  29
1597300943123299800  28
1597301009126583600  28
1597301075091727500  28
1597301149318144300  28
1597301206671456700  29
1597301273901677600  29
1597301339852263900  29
1597301407982928800  28
1597301471788994000  28
1597301537616068000  28
1597301603612175600  29
1597301669532802700  29
1597301735447569900  28
1597301801446720300  28

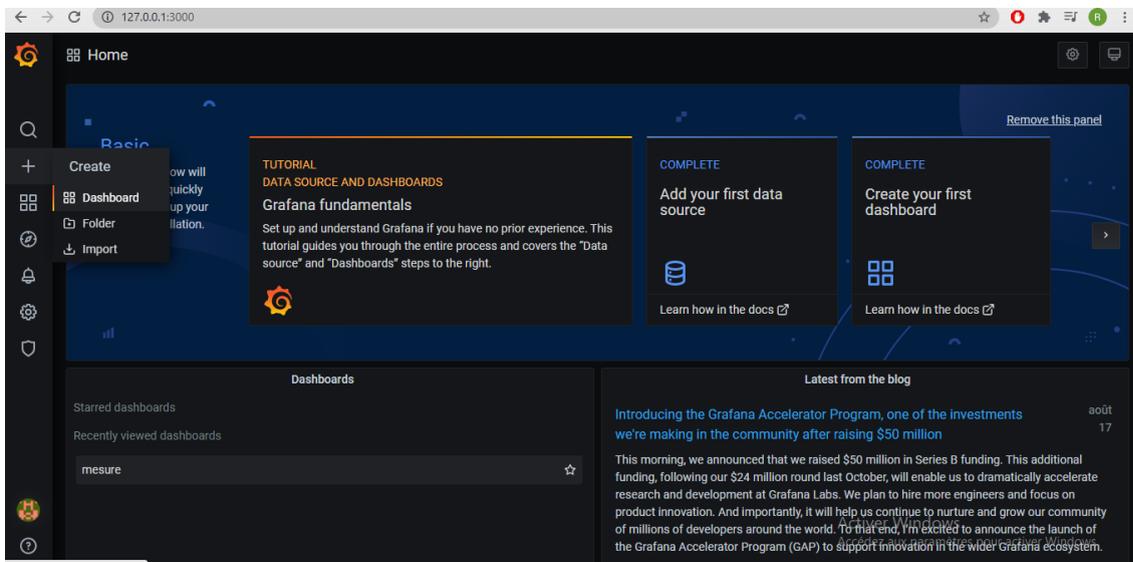
```

IV.3.5 grafana

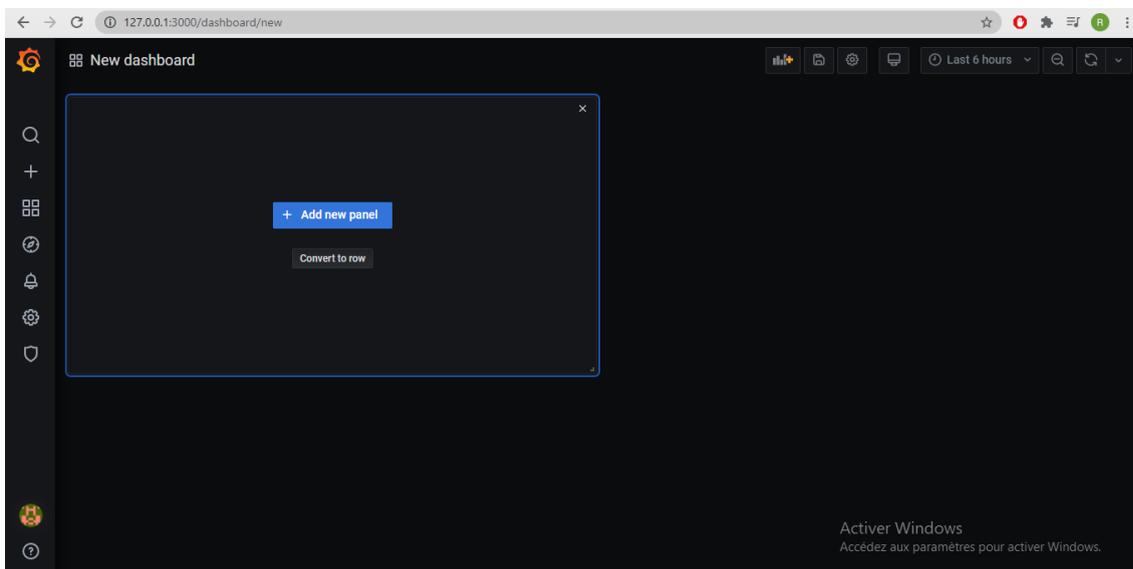
Grafana est un afficheur utilise par les plus part des entreprises et chercheurs c'est l'un de meilleur de sa catégorie, pour aller a l'interface de grafana il faut aller dans l'adresse (<http://127.0.0.1:3000/>)



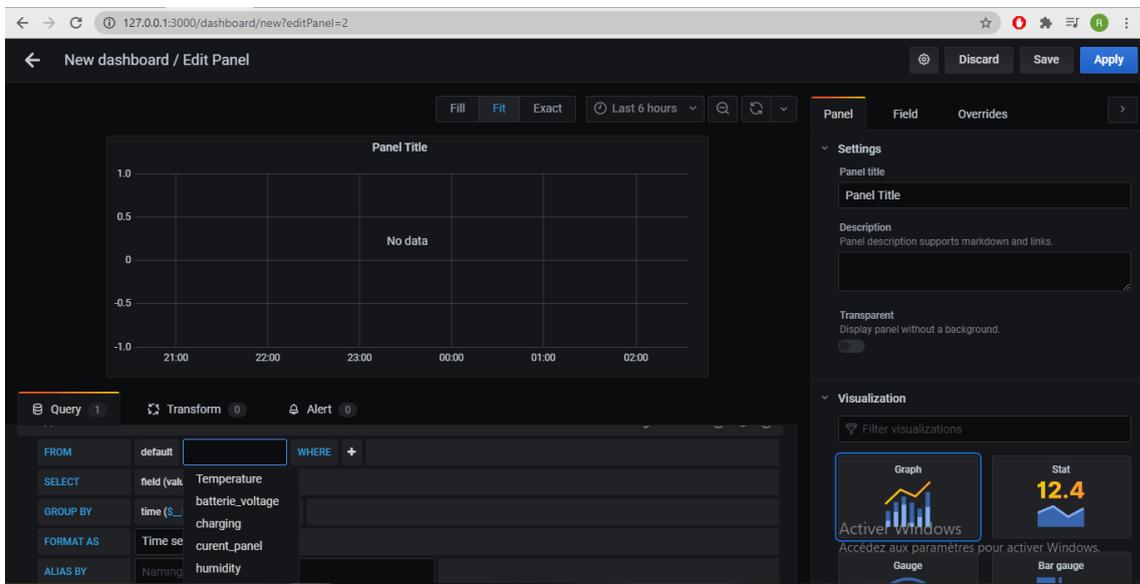
Pour la création d'un afficheur il faut l'insigne (+) create puis sur Dashboard



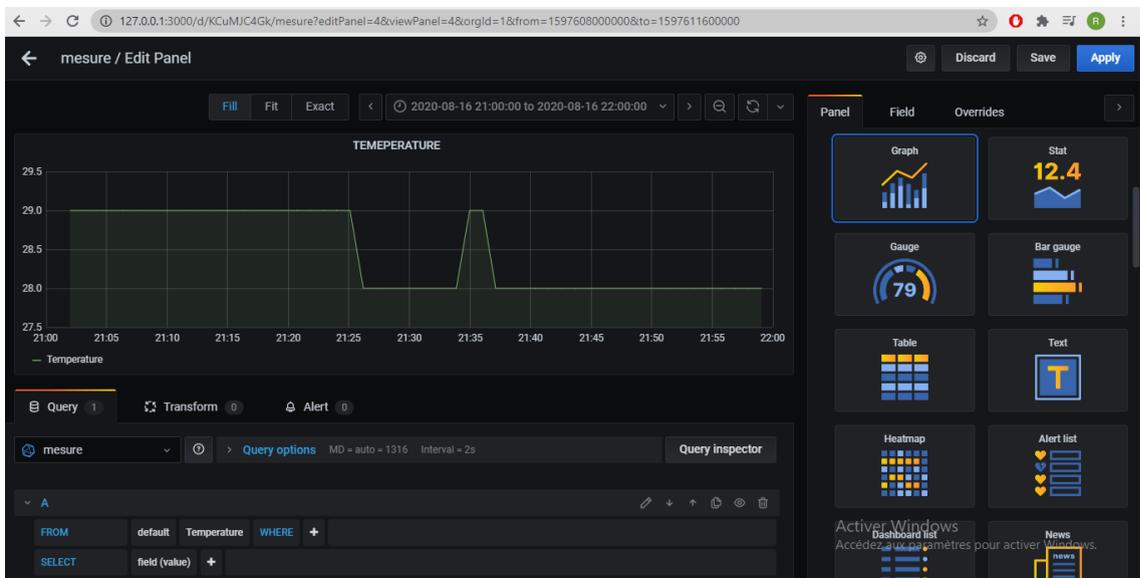
Puis aller sur add new panel



Après avoir ajouté un nouveau panneau (panel) c'est le tour de le configurer, et cela on allant sur le côté query et change le récepteur (il est configuré par défaut) faut le changer par la base qu'on veut afficher dans notre cas c'est mesure, puis il faut sélectionner le tableau qu'on veut afficher de notre base, dans cet exemple c'est Temperature



Après la configuration de notre panel les données seront tous afficher, il nous reste juste la configuration de l'afficheur au choix de l'auditeur il existe plusieurs visualisations (graph, state, gauge, table...).



IV.4 conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre les différentes interfaces et leurs rôles.

Ensuite nous avons vu le principe de fonctionnement des interfaces entre eux pour obtenir à la fin une base de données sur influxDB et des signaux en temps réel sur l'afficheur Grafana.

Enfin nous avons conclu que le serveur MQTT joue le rôle principal dans ce projet .

L'affichage final du projet sur Grafana sera présenté à la fin du chapitre suivant.

Chapitre V

logiciel M.P.D.B et l'application andriod MQTT

SOMMAIRE

V.1 INTRODUCTION	79
V.2 LE LOGICIEL M.P.D.B	79
V.2.1 Connexion	79
V.2.2 Sélection des Base de données	80
V.2.3 M.P.D.B	81
V.3 L'APPLICATION ANDROID	85
V.4 TEST FINAL	89
V.4.1 GRAFANA	90
V.4.2 Logiciel M.P.D.B	93
V.5 CONCLUSION	98

V.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter une application Android et notre logiciel. Ces deux outils permis d'afficher le changement de la température et de la lumière et aussi les différentes informations du projet existant (tension et courant du panneau solaire, batteries voltage).

V.2 Le logiciel M.P.D.B

Le logiciel continent trois parties :

V.2.1 Connexion

Où sur se connecter avec un nom d'utilisateur et un mot de passe, et peut récupérer le mot de passe en cas d'oublié. L'enterait est de mettre les bases de données en sécurité.

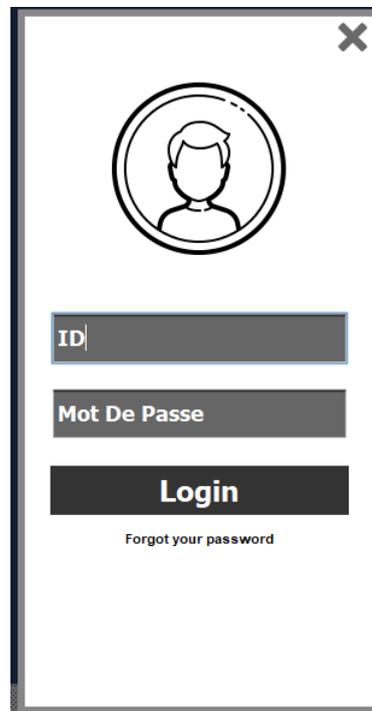


FIGURE V.1 – Connexion

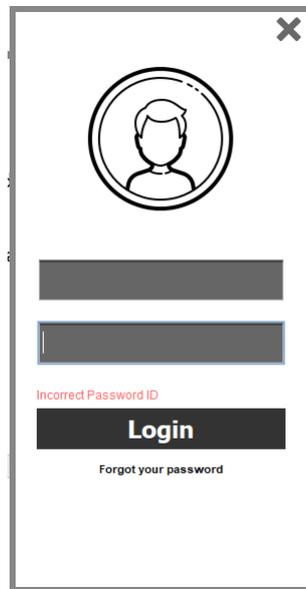


FIGURE V.2 – ID Mot de Passe Incorrect

V.2.2 Sélection des Base de données

À travers cette partie, on peut choisir un jour pour l'étude et télécharger la base de données de jour sélectionné pour l'étude des variations des paramètres en panneau solaire selon la variation de la météo.

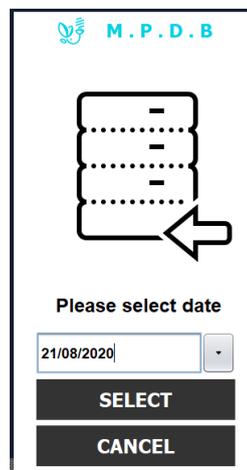


FIGURE V.3 – sélection de date pour télécharger base de données

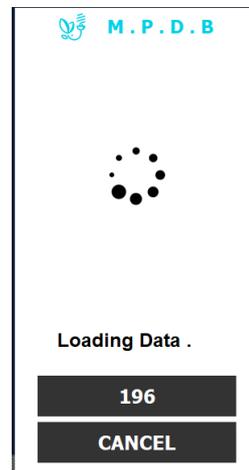


FIGURE V.4 – Chargement des données depuis le serveur

V.2.3 M.P.D.B

Contient trois blocs menu principales :

V.2.3-a Statistique

Affichage globale des valeurs des paramètres de panneau solaire et la météo de ce point qui on a posé le panneau.



FIGURE V.5 – Section de Statistique Globale.

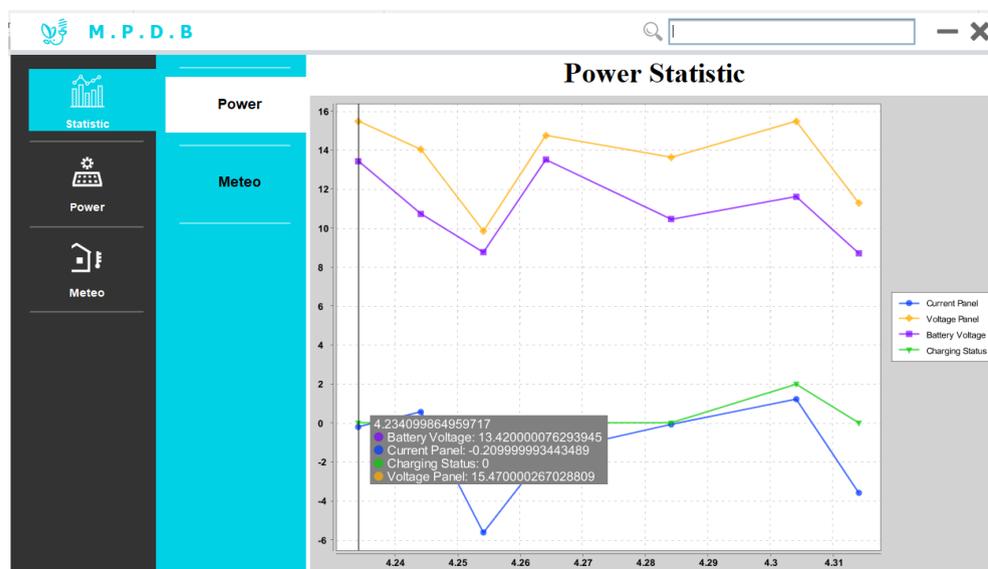


FIGURE V.6 – Section de Statistique des paramètres électriques de panneau solaire

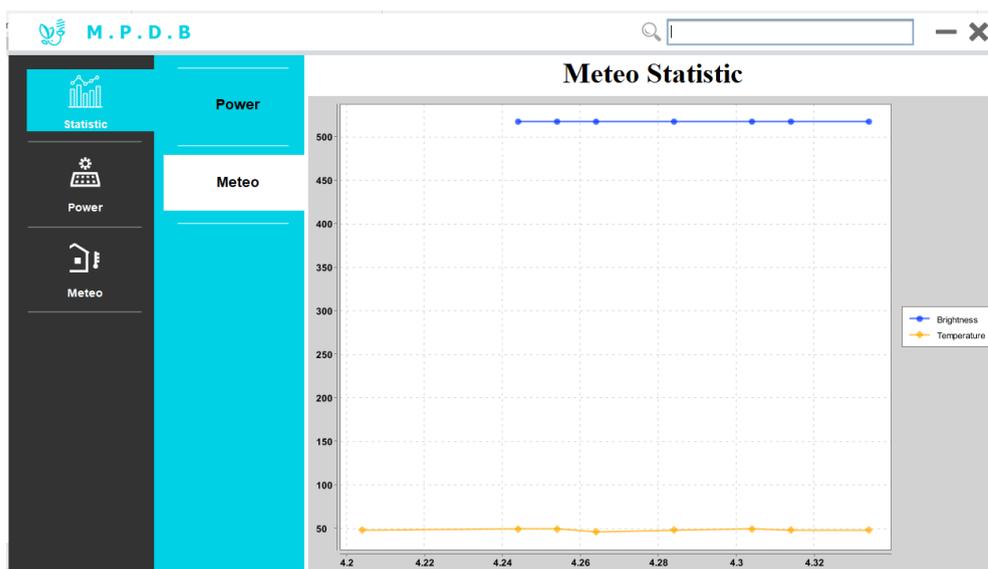


FIGURE V.7 – Section de Statistique des variations de météo

V.2.3-b Power

Affichage détaillée des valeurs des paramètres de panneau solaire :

- Courant électrique de Panneau solaire
- La tension électrique de panneau solaire
- Etat de chargement de batterie
- Voltage électrique de batterie



FIGURE V.8 – Section de Power contient les détails de variation électrique de la partie électronique de panneau solaire et batterie



FIGURE V.9 – Section de Power contient les détails de variation électrique de la partie électronique de panneau solaire

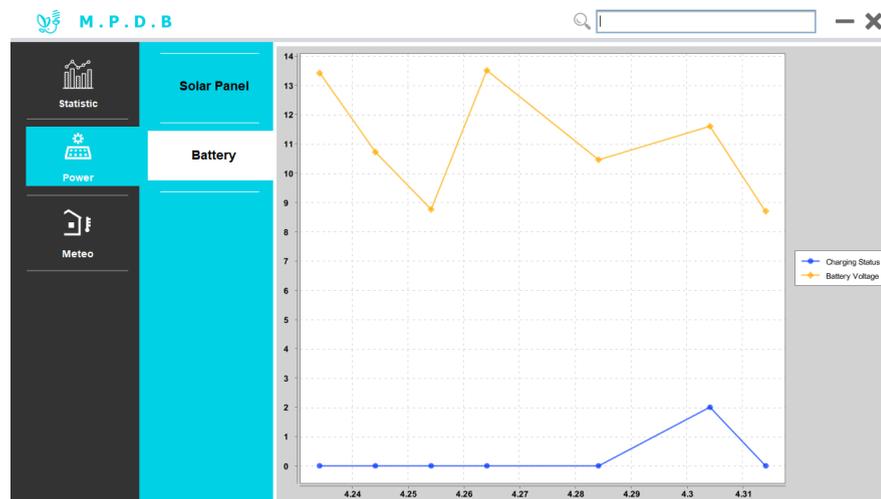


FIGURE V.10 – Section de Power contient les détails de variation électrique de la partie électronique de Batterie

V.2.3-c Météo

Affichage détaillée des valeurs des paramètres de météo :

- Température
- Luminosité

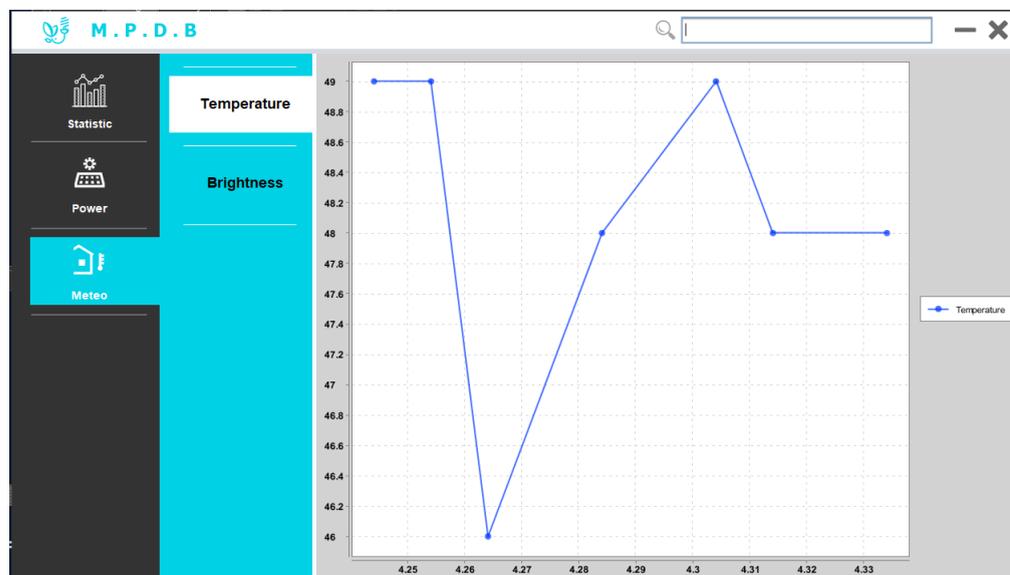


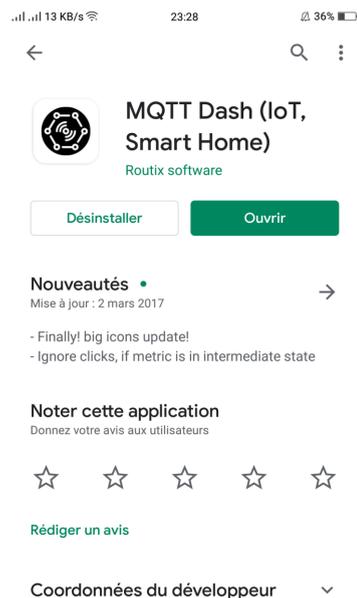
FIGURE V.11 – Section de météo contient les détails de variation température



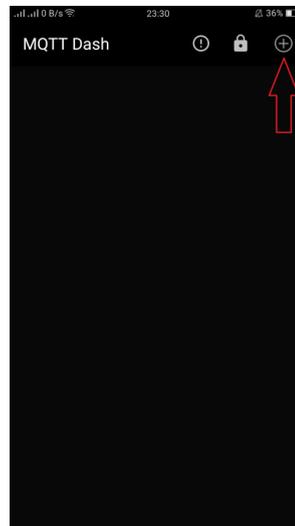
FIGURE V.12 – Section de météo contient les détails de variation d'ensoleillement

V.3 L'application Android

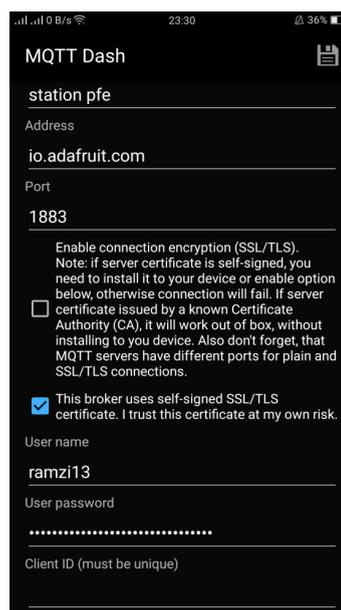
Pour consulter les différentes mesures à travers un téléphone portable on a besoin d'une application qui servira de récepteur pour les données, après plusieurs recherches on a abouti à une application qui réceptionne les différentes mesures à travers la MQTT, cette application est : MQTT Dash (IoT, Smart Home) qui est prête à être téléchargée sur PlayStore



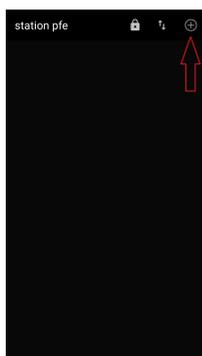
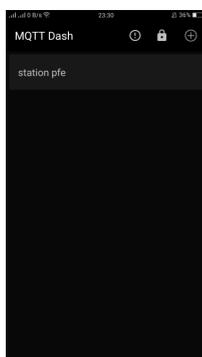
Après installation on ouvre l'application elle ressemble à cela



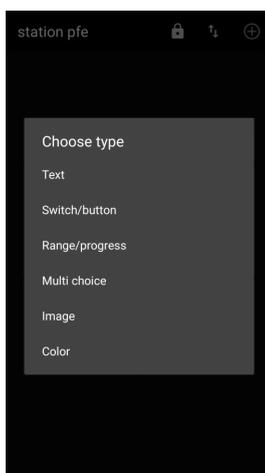
On a abouti alors à l'ajout d'une dashboard à travers l'icône " + "



Pour que les mesures soient publiées dans cette application, elle doivent être récupéré de la mqtt de io.adafruit,il faut configurer l'adresse (io.adafruit.com),ainsi que l'user name et le mot de passe. Après avoir connecté notre application à notre interface mqtt il faut passer alors au réglage de la dash board



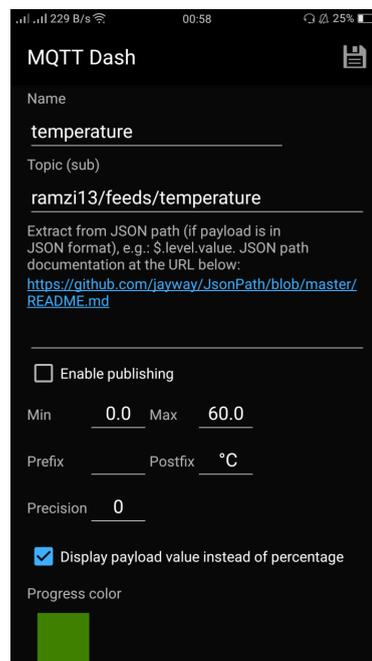
Pour l'ajout du panel il faut cliquer sur l'icône " + " et on choisit le type de panel qu'on veut avoir pour cela il en existe plusieurs (Text,Switch)



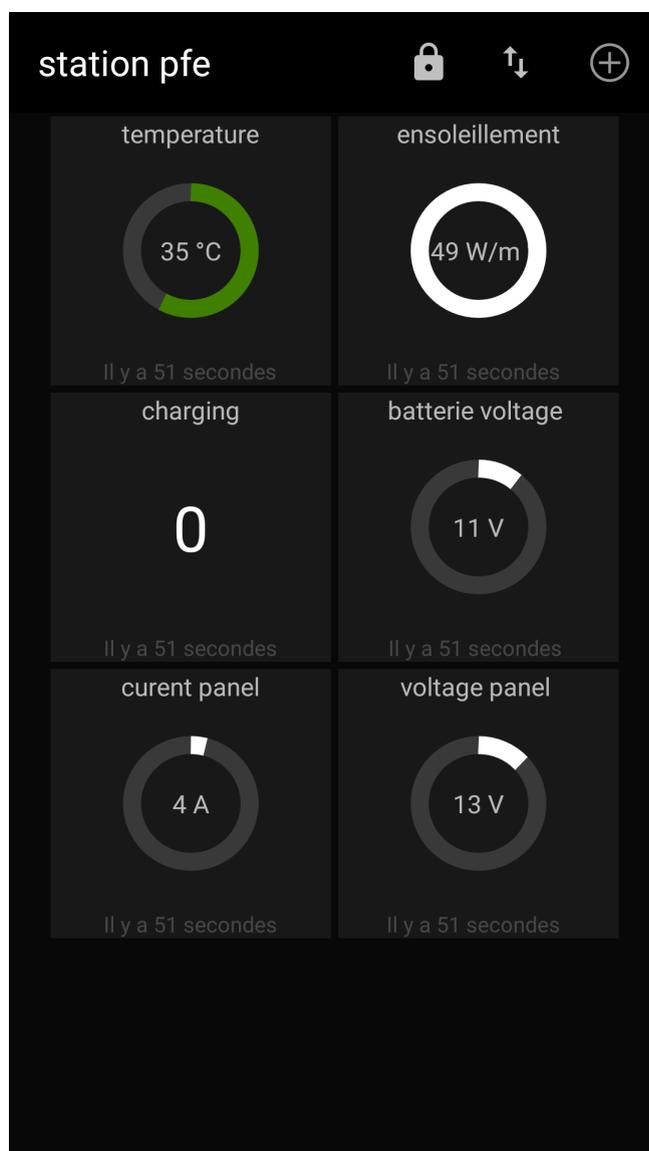
Après le choix du type du panel il faut passer à la config du panel, mettre un nom a ce panel, le topic c'est la source ou bien l'adresse d'où viennent les informations de ce pante dans notre cas c'est (ramzi13/feeds/temperature).



FIGURE V.13 – source



Après l'ajout de tous les panels notre application ressemblera à cela



V.4 Test final

Nous avons fait un test d'une semaine (28/08/2020 jusqu'à 02/09/2020).

localisation du test :[15]

Nous avons obtenu les résultats suivants :

V.4.1 GRAFANA



FIGURE V.14 – batterie voltage



FIGURE V.15 – charging

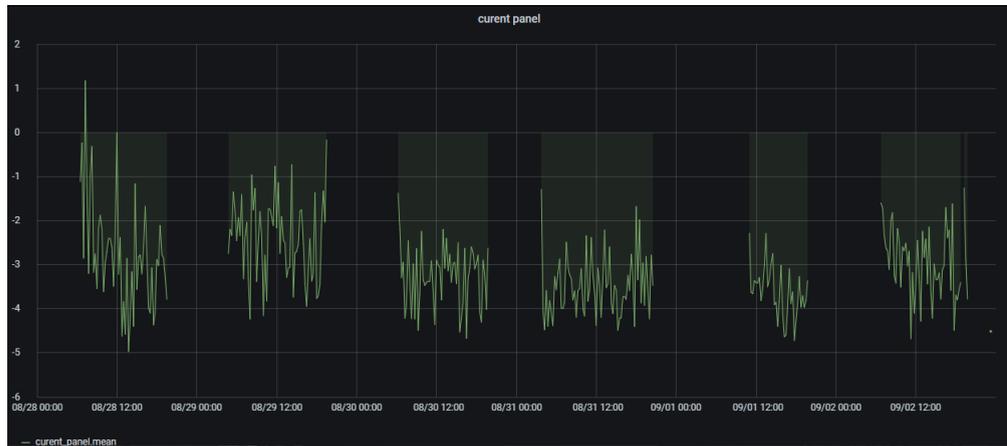


FIGURE V.16 – curent panel

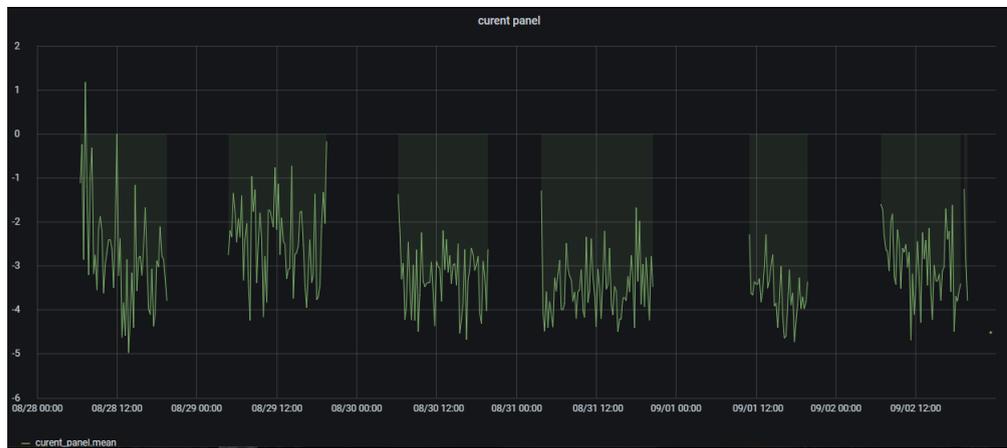


FIGURE V.17 – curent panel

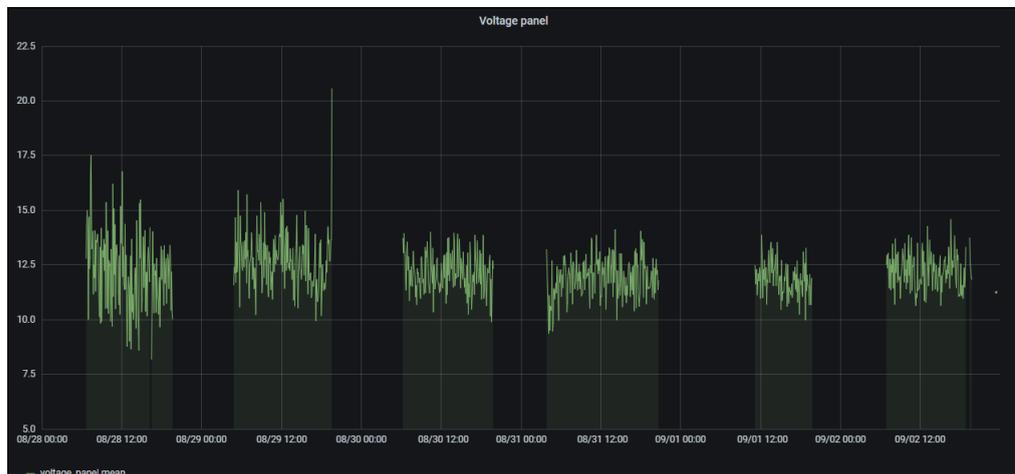


FIGURE V.18 – voltage panel

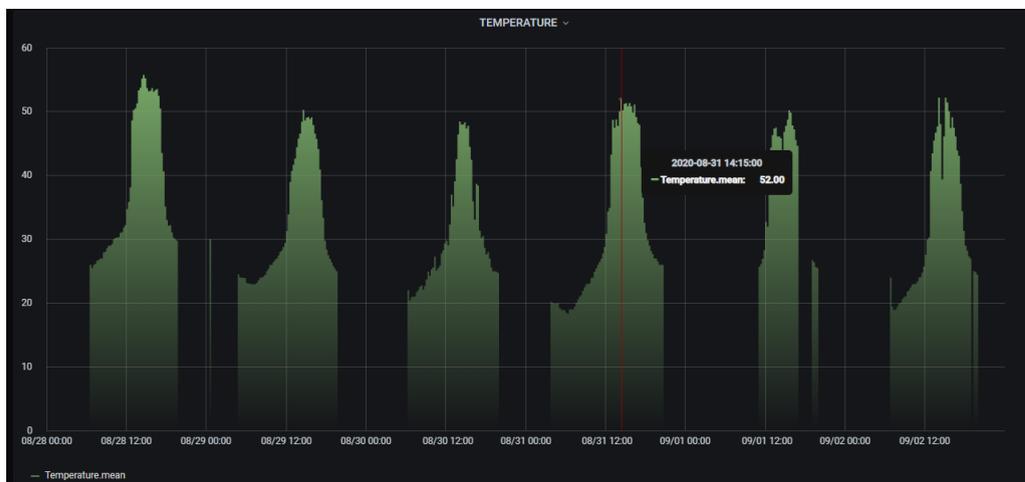


FIGURE V.19 – temperature

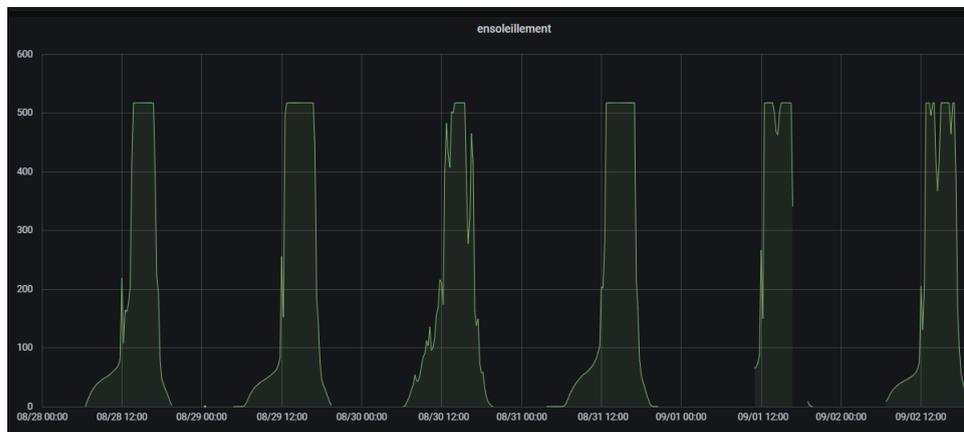


FIGURE V.20 – ensoleillement

V.4.2 Logiciel M.P.D.B

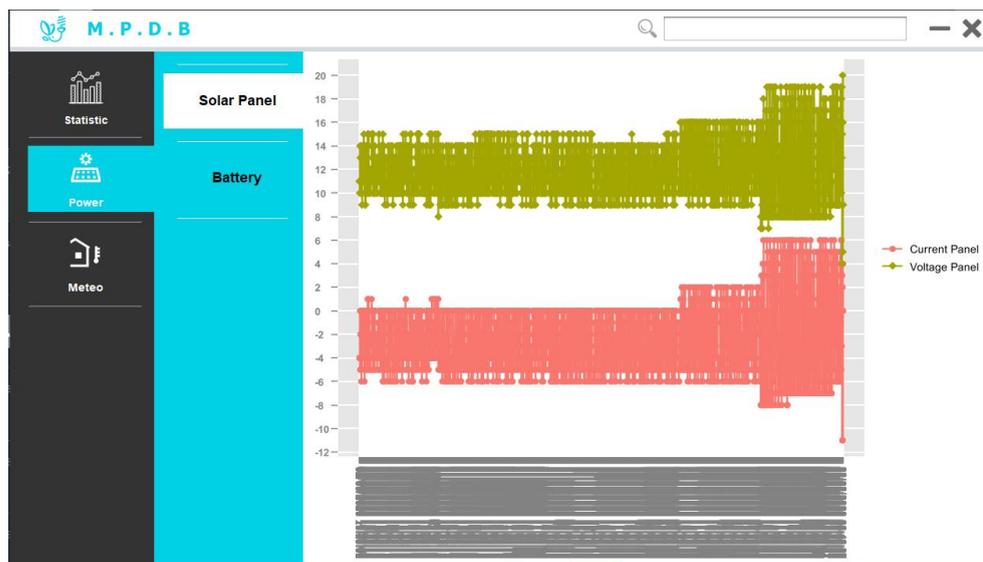


FIGURE V.21 – solar panel

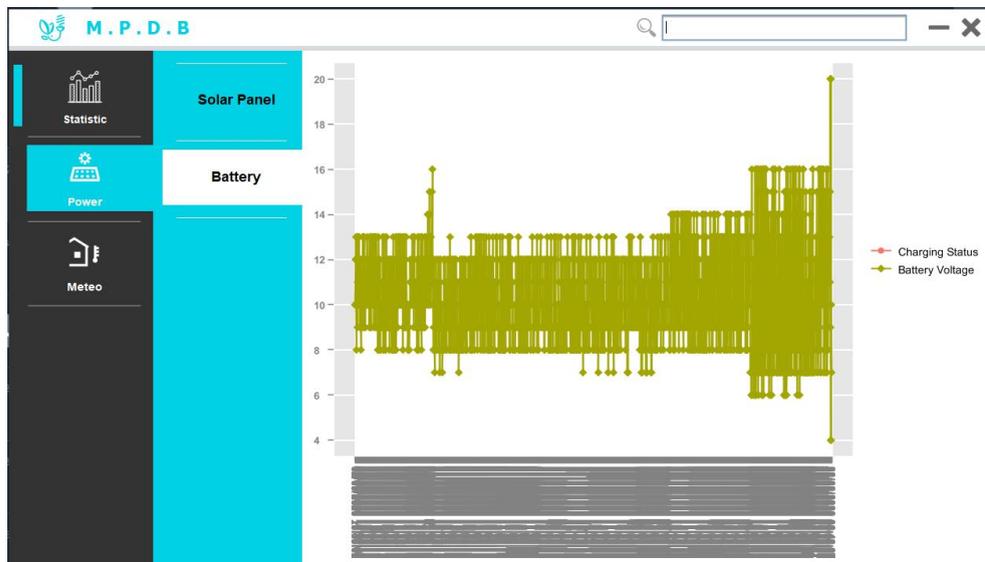


FIGURE V.22 – battery

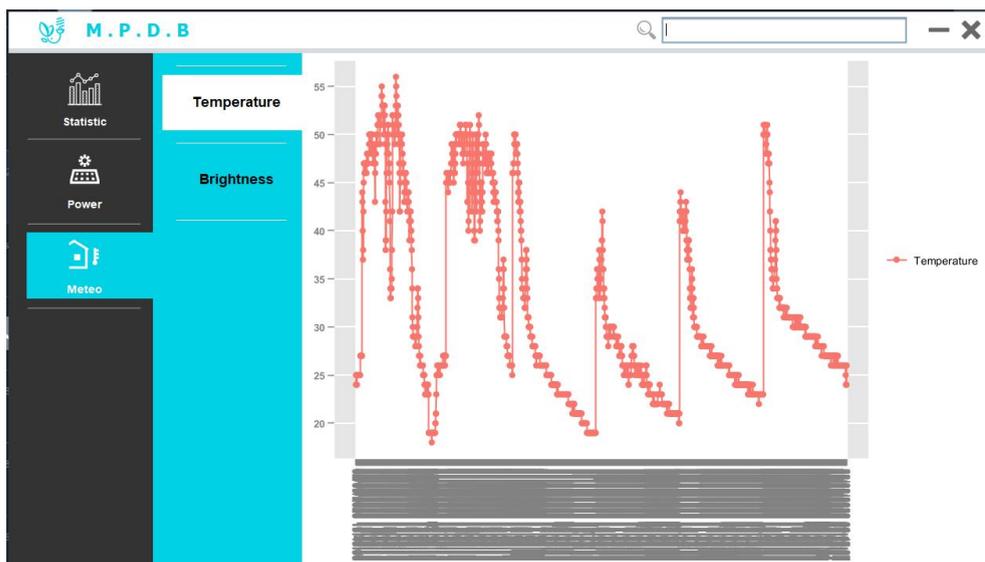


FIGURE V.23 – temperature

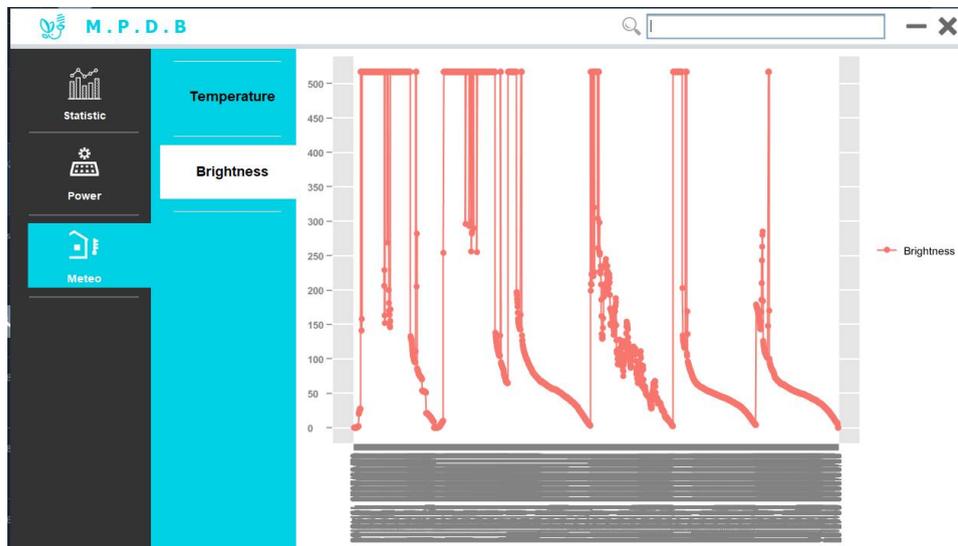


FIGURE V.24 – ensoleillement

Vu que les signaux invisible clairement nous avons fait un zoom :
 le jour : 02/09/2020 la durée : 16 :44 jusqu'à 23 :29

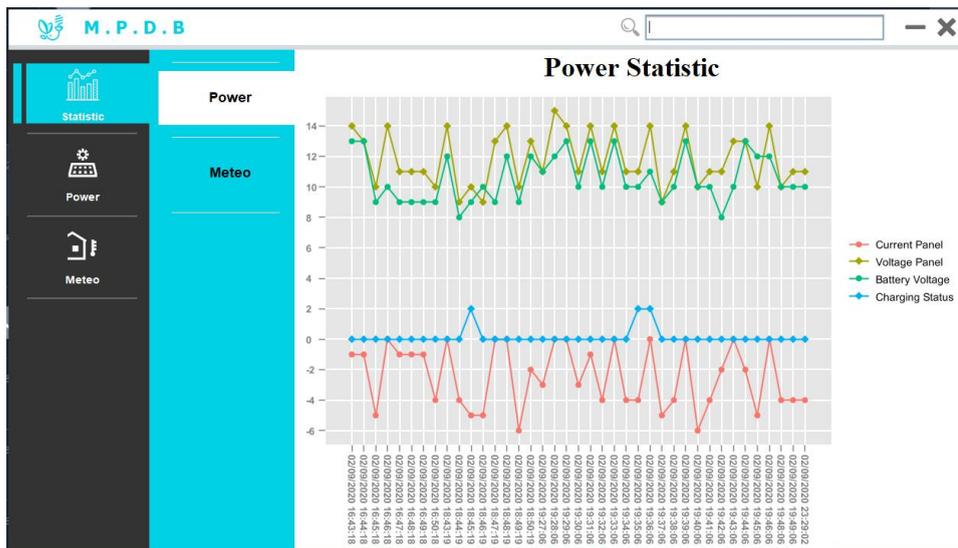


FIGURE V.25 – Power statistic

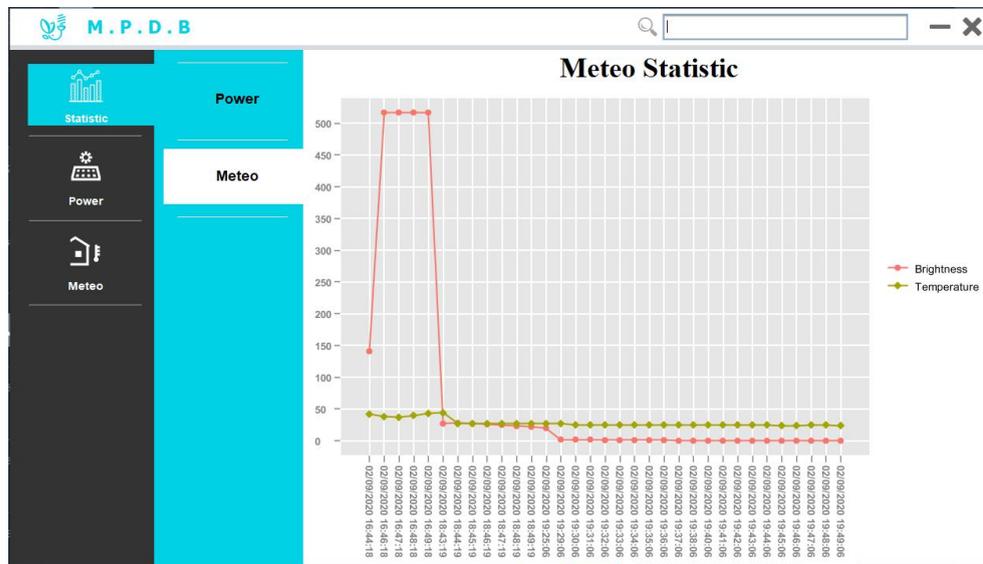


FIGURE V.26 – Meteo statistic

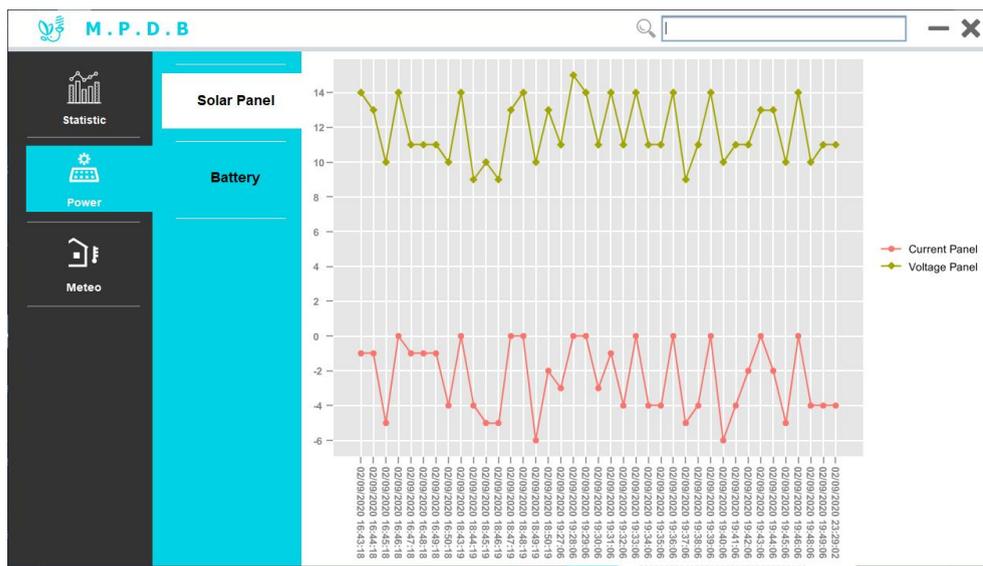


FIGURE V.27 – solar panel

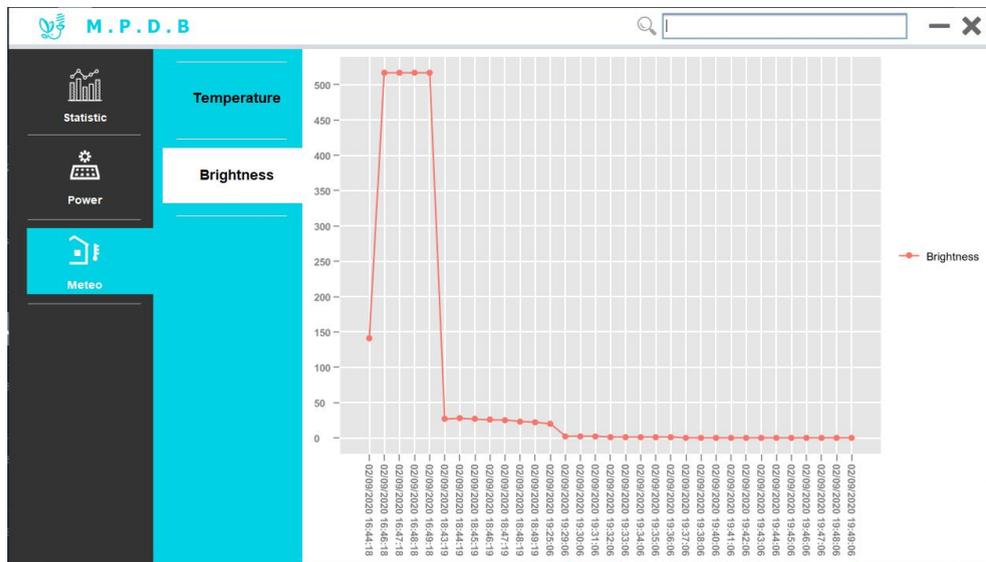


FIGURE V.30 – ensoleillement

V.5 Conclusion

nous avons expliqué comment fonctionner l'application android et notre logiciel.

L'avantage du logiciel M.P.D.B est que nous pouvons partager nos résultats avec une entreprise, par exemple, sans donner notre programme principal. Il suffit de lui donner notre programme, et à travers lui, elle pourra voir les résultats par contre pour partager GRAFANA il faut partager aussi MQTT et NODRED car il y a une connexion locale entre les trois interfaces donc nous lui donnera le programme principal.

l'application est facile à utiliser et nous pouvons voir les changements en temps réel mais nous ne pouvons pas voir les résultats précédents car Elle n'a pas de lien avec la base de données.

Conclusion générale

L'objectif de ce projet de fin d'étude consiste à développer un système de surveillance (monitoring) connecté capable de mesurer en temps réel les données issues d'une installation photovoltaïque et de les transmettre au moyen d'une liaison Wifi vers un ordinateur via une base de données, et ainsi effectuer son contrôle en temps réel. Ce projet constitue cinq chapitres :

Dans Le premier chapitre, nous avons privilégié l'algorithme MPPT dit "Perturbe-Observe" pour la recherche du point de puissance maximal du générateur photovoltaïque. Puis, nous avons étudié les convertisseurs statiques, nous avons parlé de les installations photovoltaïques connectées au réseau électrique, systèmes photovoltaïques autonomes, le stockage par batterie d'accumulateur, Les objets connectés (IOT) et La surveillance (Monitoring) des installations solaires.

Le deuxième chapitre, nous avons présenté le système existant et aussi le schéma global avec la description du fonctionnement, nous avons effectué le dimensionnement, puis les tests des tests de simulation afin de valider le fonctionnement et les codes programmes associés aux différents étages tels que le convertisseur BUCK synchrone, les étages de mesure des tensions et courant, ainsi que l'affichage par LCD et LED(s).

Le troisième chapitre, nous avons présenté le principe de fonctionnement de la petits station de météo et le matériel (wemos, DHT11 et TSL2561). Nous avons fait un test expérimentale et en simulation du fonctionnement du station de météo. Malheureusement, nous n'avons pas réalisé le circuit imprimé à cause du virus COVID19. Mais nous avons réalisé un modèle en 3D à l'aide du logiciel PROTEUS.

Le quatrième chapitre, nous avons présenté les différentes interfaces et leurs rôles, Ensuite nous avons vu le principe de fonctionnement des interfaces (NodRed et MQTT) entre eux pour obtenir à la fin une base de données sur influxDB et des signaux en temps réel sur l'afficheur Grafana. Le cinquième chapitre, nous avons présenté l'application andriod MQTT et le logiciel M.P.D.B., et nous avons fait un test global d'une semaine.

Bibliographie

- [1] <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/internet-internet-objets-15158/>. Consulté le 10 juin 2020.
- [2] <https://letmeknow.fr/shop/fr/cartes-compatibles/1748-wemos-d1-mini-7091357107897.html>. Consulté le 01 août 2020.
- [3] https://letmeknow.fr/shop/fr/environnementaux/1449-capteur-temperature-humidite-3614.html?search_query=dht11&results=4. Consulté le 01 août 2020.
- [4] <https://boutique.semageek.com/fr/895-capteur-de-luminosite-lux-lumiere-ts12561.html>. Consulté le 01 août 2020.
- [5] https://www.univ-usto.dz/laboratoires/laar/images/Doctorat/These_NAIM_Houcine_partie_4.pdf. Consulté le 28 juillet 2020.
- [6] <https://www.talsom.com/insights/definition-internet-des-objets/>. Consulté le 10 juin 2020.
- [7] <https://www.digora.com/fr/blog/definition-IoT-et-strategie-IoT>. Consulté le 10 juin 2020.
- [8] https://fr.wikipedia.org/wiki/Monitoring_photovolta%C3%AFque. Consulté le 01 août 2020.
- [9] <https://learn.adafruit.com/adafruit-io/mqtt-api>. Consulté le 13 août 2020.
- [10] <https://learn.adafruit.com/adafruit-io/overview>. Consulté le 13 août 2020.
- [11] <https://www.thinglogix.com/why-the-mqtt-protocol-is-ideal/>. Consulté le 13 août 2020.
- [12] <https://en.wikipedia.org/wiki/Node-RED>. Consulté le 13 août 2020.
- [13] <https://en.wikipedia.org/wiki/InfluxDB>. Consulté le 13 août 2020.
- [14] <https://en.wikipedia.org/wiki/Grafana>. Consulté le 13 août 2020.
- [15] <https://maps.app.goo.gl/7DeH9q2hM246R6eMA>.
- [16] *Chargeur de Batterie par Panneaux Solaires*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Licence SDI EEA Ingénierie Electrique, Université Paul Sabatier, 2009 - 2010.
- [17] *L'évolution des régulateurs de charges solaires photovoltaïques*. Électricité hors construction, juin-juillet-aout 2011.

- [18] S. ABADA : *Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur Sepic*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université Laval, Québec-Canada, 2011.
- [19] A. ABID et Y. BECHLAGHEM : *Etude et dimensionnement d'un convertisseur SEPIC pour une application photovoltaïque*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 2016 - 2017.
- [20] A. ADDOU : *Dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome pour l'alimentation d'une ferme*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen-Algérie, Faculté de technologie, 2016.
- [21] M. ANGEL CID PASTOR : *Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques*. Thèse présenté pour l'obtention de grade de Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 29 septembre 2006.
- [22] A. AOUCHICHE et M. AÏT CHEIKH : *Poursuite du point de puissance maximale d'un système photovoltaïque par les méthodes de l'incrémentation de conductance et la perturbation observation*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Revue des Energies Renouvelables, 2013.
- [23] A. BELKAÏD : *Conception et implémentation d'une commande MPPT de haute performance pour une chaîne de conversion photovoltaïque autonome*. Thèse présenté pour l'obtention du diplôme de Doctorat, Université Ferhat Abbas - Setif 1, 19/10/2015.
- [24] M. BOUDEHOUCHE et M. OUENNOUGHI : *Gestion d'un système photovoltaïque avec stockage*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université Abderrahmane Mira De Bejaïa, 2015-2016.
- [25] B BOUDERHEM et Y SALHI : *Conception et Réalisation d'un Hacheur Boost MPPT à Base d'une Carte ARDUINO Application PV*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 01/06/2017.
- [26] M. BOUKLI et O. HACENE : *Conception et Réalisation d'un Générateur Photovoltaïque Muni d'un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Energétique*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen, DECEMBRE 2011.
- [27] S DJERIOU : *Simulation d'un système photovoltaïque alimentant une machine asynchrone*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université Ferhat Abbas de Setif, 03/07/ 2011.
- [28] Jayavardhana GUBBI, Rajkumar BUYYA, Slaven MARUSIC et Marimuthu PALANISWAMI : Internet of things (iot) : A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7):1645–1660, 2013.
- [29] E. KECHAR et I. TOUAÏBIA : *Influence des rayonnements solaires sur le rendement des panneaux photovoltaïques*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Revue des Energies Renouvelables, 2015.
- [30] K. MAZOUZ : *Étude d'une batterie de stockage dans un système photovoltaïque*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université Abderrahmane-Mira-Bejaia, 2012.

- [31] A. MOSTFAOUI, M. et Melih : *Réalisation d'un contrôleur de charge photovoltaïque pour batterie basé sur une carte Arduino*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, 01/06/2017.
- [32] S. MOUHADJER : *Optimisation du transfert d'énergie en conversion photovoltaïque par la recherche du point de puissance maximale*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, avril 2009.
- [33] Suprita M PATIL, M VIJAYALASHMI et Rakesh TAPASKAR : Iot based solar energy monitoring system. *In 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, pages 1574–1579. IEEE, 2017.
- [34] JA ROGER, J PIVOT et P GUCHER : Les générateurs photovoltaïques autonomes sans batteries. *Revue Phys. Appl*, 15(1980):603–609, 1980.
- [35] S SEMAOUI, A HADJ ARAB, B AZOUI, I HADJ MAHAMMED et Y BAKELLI : Etude d'un système pv autonome destiné à l'électrification d'un village au sud. *National Colloquy on Solar Energy, Bejaia, Algeria*, pages 29–30, 2006.
- [36] Andreas S SPANIAS : Solar energy management as an internet of things (iot) application. *In 2017 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA)*, pages 1–4. IEEE, 2017.
- [37] Yaël THIAUX : *Optimisation des profils de consommation pour minimiser les coûts économique et énergétique sur cycle de vie des systèmes photovoltaïques autonomes et hybrides-Evaluation de la technologie Li-ion*. Thèse de doctorat, 2010.
- [38] M. TOUAREF : *Etude et simulation d'un convertisseur AC/DC type BUCK (Abaisseur de tension)*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 03 Juin 2014.
- [39] Zolikha ZERROUKI et Rym BEREKSI REGUIG : *Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome*. Thèse de doctorat, 2017.

Annexe A : Détails des modèles Simulink

Panneau solaire 80 W

Fiche technique

SY-M80W High Efficiency, High Quality PV Module

Electrical Characteristics	SY-M80W
Maximum power (Pmax)	80W
Voltage at Pmax (Vmp)	17.4V
Current at Pmax (Imp)	4.62A
Open-circuit voltage (Voc)	22.0V
Short-circuit current (Isc)	4.85A
Temperature coefficient of Voc	-0.40 ± 0.05%/°C
Temperature coefficient of Isc	(0.065 ± 0.01)%/°C
Temperature coefficient of power	-0.5 ± 0.05%/°C
NOCT (Air 20°C; Sun 0.8kW/m ² ; wind 1m/s)	47 ± 2°C
Operating temperature	-40°C to 85°C
Maximum system voltage	600V DC
Power tolerance	+ 3%
Cells	multicrystalline silicon solar cell
No. of cells and connections	36(4X9)
Module Dimension	900mm[35.43in.]x670mm[26.38in.]x30mm[1.18in.]
Weight	6.9kg[15.21lbs]

* STC: Irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, module temperature 25°C
* Specifications are subject to change without notice at any time.

Module Diagram

Dimensions in brackets are in inches. Un-bracketed dimensions are in millimeters. Unit:mm[in.]

I-V Curves

I-V Curves of PV module SY-M80W

I-V Curves of PV module SY-M80W at various cell temperatures

Key Features:

- High module efficiency and stable power output
- Based on leading process technology
- Outstanding electrical performance under high temperature conditions or low irradiance conditions
- Easy of installation and all-weather applications
- 5 years product warranty(materials and workmanship)
- 20 years module power output warranty
- Peak power of single module is guaranteed in +3% power tolerance
- Strong framed module, passing loaded test of 5400 Pa (IEC61215 2nd)
- The manufacture is certified for ISO 9001:2000

Product's Guarantee

- 5 years products life warranty
- 15 years module power output no less 90%
- 20 years module power output no less 80%

Applications

- Off grid residential roof-tops
- Off grid commercial/industrial roof-tops
- Rural area applications
- Solar power system
- Other off-grid applications

SUNYO®
SUNYO00 Solar Technology

Address: Youyi Village, Luoyang Town, Wujin District, Changzhou, Jiangsu, P.R.China
Tel: 86-519-88790861
86-519-88791862
Fax: 86-519-88792861
E-mail: info@sunyoo.com
Website: www.sunyoo.com

FIGURE 31 – Fiche technique d'un panneau solaire de 80 w

Caractéristique du PV 80 W

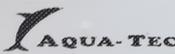
 AQUATEC BIOTECHNOLOGIE Biotechnologie	
PV Module Electricity Performance Parameter	
Model:	SY-M80W
Cell type:	High quality efficiency polycrystalline cell
Glass type:	Tempered Glass
Maximum Power (Pmax)	80W
Voltage at Pmax (Vmp)	17.6V
Current at Pmax (Imp)	4.56A
Open-circuit voltage (Voc)	22.0V
Short circuit current (Isc)	4.84A
Max System Voltage	600V
Tolerance	5%
NOTE: POWER MEASURED UNDER STANDARD TEST CONDITIONS: 1000W/M ² AM 1.5 GLOBAL, 25 °C CELL TEMPERATURE	
WARRANTY 5 Years Manufacturers life guarantee 10 Years output power no less 90% ; 20 Years output power no less 80%	
WARNING! This solar module produces electricity when exposed to light. Cover all modules in the PV array with opaque material before making any wiring connections or opening the terminal box.	
  	

FIGURE 32 – Caractéristique d'un panneau solaire de 80 w

Caractéristique du PV 50 W

Données	Valeur
Puissance nominale	50W
Tolérance	+0 / 5%
Rendement du panneau	16%
Type de cellule	Silicium monocristallin
Taille des cellules	36pcs
Voltage Mpp	18V
Intensité Mpp	2,78A
Intensité de court-circuit	3,16A
Voltage circuit ouvert	22,2V
Garantie	5 ans
Test STD	AM1.5, 25°C, 1000W/m ²
Tension max	1000V DC
Taille (Long. x Larg. x Haut.)	630x 545 x 25 mm
Cadre	Aluminium
Poids	4 kg
Garantie de puissance	10 ans à 90% et 25 ans à 80%
Diodes anti-retour	3
Boîtier de jonction	étanche IP65
Température d'utilisation	-40°C +85°C
Qualité de fabrication	Cadre aluminium anodisé Feuille de EVA Verre trempé 3.2mm parfaitement transparent Film TPT (tedlar, polyester, tedlar)

FIGURE 33 – Caractéristique d'un panneau solaire de 50 w

Annexe B : Documentation technique

MOSFET(IRFZ44N)

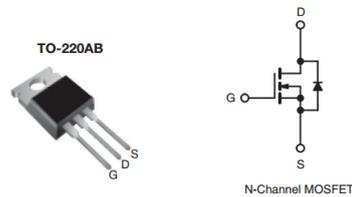


FIGURE 34 – MOSFET à canal N (IRFZ44N)

Driver de MOSFET (IR2104)

Lead Definitions

Symbol	Description
IN	Logic input for high and low side gate driver outputs (HO and LO), in phase with HO
SD	Logic input for shutdown
V _B	High side floating supply
HO	High side gate drive output
V _S	High side floating supply return
V _{CC}	Low side and logic fixed supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

Lead Assignments

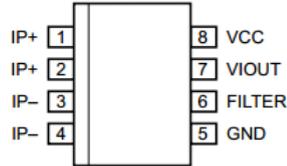
<p>8 Lead PDIP</p>	<p>8 Lead SOIC</p>
IR2104	IR2104S

FIGURE 35 – Driver IR2104

Capteur de courant ACS712

(A)

Pin-out Diagram



Terminal List Table

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

FIGURE 36 – Schéma de brochage et tableau de la liste des terminaux

(B)

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.26	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.054	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 5\text{ A}$. Output filtered.

FIGURE 37 – Performance caractéristiques (x05B)

(C)

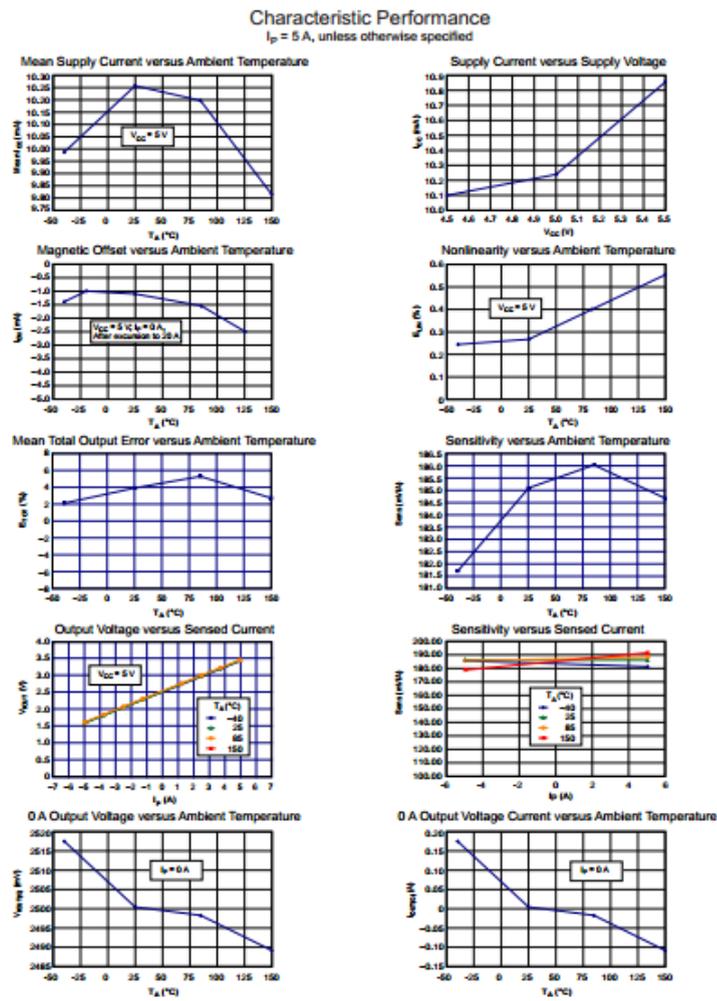
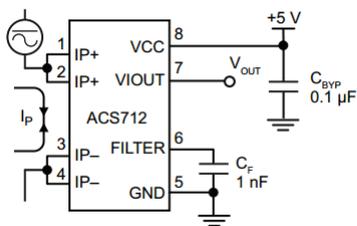


FIGURE 38 – Performance caractéristique $I_P = 5\text{ A}$

(D)



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

FIGURE 39 – Application typique et Tableau de liste des terminaux

Annexe C : Listing des codes utilisés

Test de MOSFET et BUCK

```
// Buck Converter test code

include <TimerOne.h>

void setup()

// Initialize the digital pin as an output.
// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards
pinMode(13, OUTPUT);
pinMode(9, OUTPUT);
pinMode(8, OUTPUT);
digitalWrite(8, HIGH);
Timer1.initialize(20); // set a timer of length 8uS
//Timer1.attachInterrupt( timerIsr );
// attach the service routine here

//Set duty cycle
// Timer1.pwm(9,256); // 25% duty cycle
Timer1.pwm(9, 512); // 50% duty cycle
//Timer1.pwm(9, 768); // 75% duty cycle

void loop()

// Main code loop
// TODO : Put your regular (non-ISR) logic here

///

---


///

---


// Custom ISR Timer Routine
///

---


///

---


```

```
void timerIsr()

// Toggle LED
digitalWrite( 13, digitalRead( 13 ) ^ 1);
```

Test diviseur de tension

```
// Code for dc voltage measurement by using a voltage divider circuit
int temp=0;
float sum =0;
float VOLTSSCALE = 0;
float volt = 0;
void setup()

Serial.begin(9600);

void loop()

for(int i = 0; i < 100; i++) // loop through reading raw adc values 100 number of
times

temp=analogRead(A1); // read the input pin
sum += temp; // store sum for averaging
delay(2);

sum=sum/100;
// Calibration for Voltage

VOLTSSCALE = 0.00488*(120/20); //ThevoltagedividerresistorsareR1 = 100kandR2 =
20k//5/1024 = 0.00488
volt = VOLTSSCALE * sum;
volt = (temp/1023) * 5;
Serial.println(volt);
Serial.println("V");
delay(50);
```

Test de capteur de courant ACS712

```
// Code pour la mesure du courant a l'aide d'un capteur de courant a effet Hall ACS712  
(5A)
```

```
int temp=0;  
float sum =0;  
float AMPSSCALE = 0;  
float amps = 0;  
void setup()  
  
Serial.begin(9600);  
  
void loop()  
  
for(int i = 0; i < 100; i++) // Lire en boucle des valeurs brutes de l'adc 100 fois  
  
temp=analogRead(A1); // Lire la broche d'entrée  
sum += temp; // Stocker la somme pour la moyenne  
delayMicroseconds(50);  
  
sum= sum /100;  
// Calibrage du courant  
AMPSSCALE = 0.00488/0.185; //5/1024 = 0.00488 //Sensitivity = 185mV(Sensibilit )  
amps = -AMPSSCALE * sum + 13.51; //2.5/0.185 = 13.51  
Serial.print(amps);  
Serial.println("A");  
delay(500);
```

Test de L'écran LCD 20*4

```
// Get the LCD I2C Library here :
// https://bitbucket.org/fmalpartida/new-liquidcrystal/downloads
// SDA....>A4
//SCL....>A5
include <LiquidCrystal_I2C.h >
include <Wire.h >

byte solar[8] =//icon for termometer

0b11111,
0b10101,
0b11111,
0b10101,
0b11111,
0b10101,
0b11111,
0b00000
;

byte battery[8]=

0b01110,
0b11011,
0b10001,
0b10001,
0b11111,
0b11111,
0b11111,
0b11111,
;

byte pwm [8]=

0b11101,
0b10101,
0b10101,
0b10101,
0b10101,
0b10101,
0b10101,
0b10111,
;
// set the LCD address to 0x27 for a 20 chars 4 line display
```

```

// Set the pins on the I2C chip used for LCD connections :
// addr, en,rw,rs,d4,d5,d6,d7,bl,blpol
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); // Set the LCD I2C address
int backlight_Pin = 5;
int backlight_State = 0;
float sol_volts = 0;
float sol_amps = 0;
float sol_watts = 0;
float bat_volts = 0;
int value = 0;
int value1 = 0;
float pct = 0;
void setup() /* ----- (SETUP : RUNSONCE) ----- */
Serial.begin(9600); // Used to type in characters
pinMode(backlight_Pin, INPUT);

lcd.begin(20,4); // initialize the lcd for 16 chars 2 lines, turn on backlight

lcd.noBacklight();

lcd.createChar(1,solar);

lcd.createChar(2, battery);

lcd.createChar(3, pwm);

//----- Write characters on the display -----
// NOTE : Cursor Position : (CHAR, LINE) start at 0

lcd.clear();
/*-(end setup )-*/
void loop()

//value=analogRead(A4);
// value1=analogRead(A5);
symbol();
backlight_State = digitalRead(backlight_Pin);
if ( backlight_State == HIGH)

lcd.backlight(); // finish with backlight on
delay(10000); // adjust back light on time
lcd.noBacklight();

void symbol()

```

```
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("SOL");  
lcd.setCursor(4, 0);  
lcd.write(1);  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print(solvolts);  
lcd.print("V");  
lcd.setCursor(0, 2);  
lcd.print("1.03A");  
lcd.setCursor(0, 3);  
lcd.print(solwatts);  
lcd.print("W");  
lcd.setCursor(8, 0);  
lcd.print("BAT");  
lcd.write(2);  
lcd.setCursor(8, 1);  
lcd.print(batvolts);  
lcd.print("V");  
lcd.setCursor(8, 2);  
lcd.print("of f");  
lcd.setCursor(8, 3);  
lcd.print(pct);  
lcd.print("%");  
lcd.setCursor(15, 0);  
lcd.print("PWM");  
lcd.write(3);  
lcd.setCursor(15, 1);  
lcd.print(0);  
lcd.print("%");  
lcd.setCursor(15, 2);  
lcd.print(0);  
lcd.print("%");
```

Programme final

```

////////////////////////////////////
#include "TimerOne.h" // using Timer1 library from http://www.arduino.cc/playground/Code/Timer1
#include <LiquidCrystalI2C.h > //usingtheLCDI2CLibraryfromhttps://bitbucket.org/fmalpartida
#include < Wire.h >
#include < SoftwareSerial.h > //usingtheSoftwareSeriallibraryRef :
http://www.arduino.cc/en/Reference/SoftwareSerialConstructor
// -----
//////////ArduinopinsConnections//////////
//A0 – Voltagedivider(solar)
//A1 – ACS712Out
//A2 – Voltagedivider(battery)
//A4 – LCDSDA
//A5 – LCDSCL
//D2 – ESP8266Tx
//D3 – ESP8266Rxthroughthevoltagedivider
//D5 – LCDbackcontrolbutton
//D6 – LoadControl
//D8 – 2104MOSFETdriverSD
//D9 – 2104MOSFETdriverIN
//D11 – GreenLED
//D12 – YellowLED
//D13 – RedLED

////////// Definitions //////////
// Turn this on to use the ESP8266 chip. If you set this to 0, the periodic updates will not
happen
#define ENABLE_DATALOGGER 0

#define LOAD_ALGORITHM 0

#define SOL_AMPS_CHAN 1 // Defining the adc channel to read solar amps
#define SOL_VOLTS_CHAN 0 // defining the adc channel to read solar volts
#define BAT_VOLTS_CHAN 2 // defining the adc channel to read battery volts
#define AVG_NUM 8 // number of iterations of the adc routine to average the adc readings

// ACS 712 Current Sensor is used. Current Measured = (5/(1024 *0.185))*ADC - (2.5/0.185)

#define SOL_AMPS_SCALE 0.026393581 // the scaling value for raw adc reading to get
solar amps // 5/(1024*0.185)
#define SOL_VOLTS_SCALE 0.029296875 // the scaling value for raw adc reading to
get solar volts // (5/1024)*(R1+R2)/R2 // R1=100k and R2=20k
#define BAT_VOLTS_SCALE 0.029296875 // the scaling value for raw adc reading to
get battery volts

```

```

#define PWM_PIN 9 // the output pin for the pwm (only pin 9 available for timer 1 at
50kHz)
#define PWM_ENABLE_PIN 8 // pin used to control shutoff function of the IR2104
MOSFET driver (high the mosfet driver is on)
#define PWM_FULL 1023 // the actual value used by the Timer1 routines for 100% pwm
duty cycle
#define PWM_MAX 100 // the value for pwm duty cycle 0-100%
#define PWM_MIN 60 // the value for pwm duty cycle 0-100% (below this value the cur-
rent running in the system is = 0)
#define PWM_START 90 // the value for pwm duty cycle 0-100%
#define PWM_INC 1 //the value the increment to the pwm value for the ppt algorithm

#define TRUE 1
#define FALSE 0
#define ON TRUE
#define OFF FALSE

#define TURN_ON_MOSFETS digitalWrite(PWM_ENABLE_PIN, HIGH) // enable
MOSFET driver
#define TURN_OFF_MOSFETS digitalWrite(PWM_ENABLE_PIN, LOW) // disable
MOSFET driver

#define ONE_SECOND 50000 //count for number of interrupt in 1 second on interrupt
period of 20us

#define LOW_SOL_WATTS 5.00
//-----
//Defining led pins for indication
#define LED_GREEN 11
#define LED_YELLOW 12
#define LED_RED 13
//-----
// Defining load control pin
#define LOAD_PIN 6 // pin-2 is used to control the load
//-----
// Defining lcd back light pin
#define BACK_LIGHT_PIN 5 // pin-5 is used to control the lcd back light
// -----For ESP8266-----
// replace with your channel's thingspeak API key
String apiKey = "DPK8RMTFY2B1XCAF" ;
// connect 2 to TX of Serial USB
// connect 3 to RX of serial USB
SoftwareSerial ser(2,3); // RX, TX
//-----

```

```
//////////////////////////////////////BIT MAP ARRAY//////////////////////////////////////  
//-----
```

```
byte battery_icons[6][8]=
```

```
0b01110,  
0b11011,  
0b10001,  
0b10001,  
0b10001,  
0b10001,  
0b10001,  
0b10001,  
0b11111,  
,
```

```
0b01110,  
0b11011,  
0b10001,  
0b10001,  
0b10001,  
0b10001,  
0b11111,  
0b11111,  
,
```

```
0b01110,  
0b11011,  
0b10001,  
0b10001,  
0b10001,  
0b11111,  
0b11111,  
0b11111,  
,
```

```
0b01110,  
0b11011,  
0b10001,  
0b11111,  
0b11111,  
0b11111,  
0b11111,  
0b11111,  
,
```

```
0b01110,
```

```
0b11011,
0b11111,
0b11111,
0b11111,
0b11111,
0b11111,
0b11111,
0b11111,
,

0b01110,
0b11111,
0b11111,
0b11111,
0b11111,
0b11111,
0b11111,
0b11111,
0b11111,
;
define SOLAR_ICON 6
byte solar_icon[8] = //icon for termometer

0b11111,
0b10101,
0b11111,
0b10101,
0b11111,
0b10101,
0b11111,
0b00000
;
#define PWM_ICON 7
byte _PWM_icon[8]=

0b11101,
0b10101,
0b10101,
0b10101,
0b10101,
0b10101,
0b10101,
0b10111,
;
byte backslash_char[8]=

0b10000,
```

```

0b10000,
0b01000,
0b01000,
0b00100,
0b00100,
0b00010,
0b00010,
;
//-----
// global variables

float sol_amps; // solar amps
float sol_volts; // solar volts
float bat_volts; // battery volts
float sol_watts; // solar watts
float old_sol_watts = 0; // solar watts from previous time through ppt routine
unsigned int seconds = 0; // seconds from timer routine
unsigned int prev_seconds = 0; // seconds value from previous pass
unsigned int interrupt_counter = 0; // counter for 20us interrupt
unsigned long time = 0; // variable to store time the back light control button was pressed
in millis
int delta = PWM_INC; // variable used to modify pwm duty cycle for the ppt algorithm
int pwm = 0; // pwm duty cycle 0-100%
int back_light_pin_State = 0; // variable for storing the state of the backlight button
boolean load_status = false; // variable for storing the load output state (for writing to
LCD)

enum charger_mode off, on, bulk, bat_float charger_state; // enumerated variable that
holds state for charger state machine
// set the LCD address to 0x27 for a 20 chars 4 line display
// Set the pins on the I2C chip used for LCD connections :
// addr, en,rw,rs,d4,d5,d6,d7,bl,blpol
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); //Set the LCD I2C address
// -----
// This routine is automatically called at powerup/reset
// -----
void setup() //run once, when the sketch starts
pinMode(PWM_ENABLE_PIN, OUTPUT); //set the digital pin as output
TURN_OFF_MOSFETS; // turn off MOSFET driver chip
charger_state = off; // start with charger state as off
lcd.begin(20,4); // initialize the lcd for 16 chars 2 lines, turn on backlight

// create the LCD special characters. Characters 0-5 are the various battery fullness icons
// icon 7 is for the PWM icon, and icon 8 is for the solar array
lcd.backlight();

```

```

for (int batchar = 0; batchar < 6; ++batchar)
lcd.createChar(batchar, battery_icons[batchar]);

lcd.createChar(PWM_ICON, _PWM_icon);
lcd.createChar(SOLAR_ICON,solar_icon);
lcd.createChar('
', backslash_char);
pinMode(LED_RED, OUTPUT);
pinMode(LED_GREEN, OUTPUT);
pinMode(LED_YELLOW, OUTPUT);
Timer1.initialize(20); // initialize timer1, and set a 20uS period
Timer1.pwm(PWM_PIN, 0); // setup pwm on pin 9, 0% duty cycle
Timer1.attachInterrupt(callback); // attaches callback() as a timer overflow interrupt
Serial.begin(9600); // open the serial port at 9600 bps :
ser.begin(9600); // enable software serial
ser.println("AT+RST"); // reset ESP8266
pwm = PWM_START; //starting value for pwm
pinMode(BACK_LIGHT_PIN, INPUT);
pinMode(LOAD_PIN,OUTPUT);
digitalWrite(LOAD_PIN,LOW); // default load state is OFF
digitalWrite(BACK_LIGHT_PIN,LOW); // default LCD back light is OFF

// display the constant stuff on the LCD
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("SOL");
lcd.setCursor(4, 0);
lcd.write(SOLAR_ICON);
lcd.setCursor(8, 0);
lcd.print("BAT");

//-----
// Main loop
//-----
void loop() read_data(); // read data from inputs
run_charger(); // run the charger state machine
print_data(); // print data
load_control(); // control the connected load
led_output(); // led indication
lcd_display(); // lcd display
#if ENABLE_DATALOGGER wfi_datalog(); // sends data to thingspeak
#endif

//-----
// This routine reads and averages the analog inputs for this system, solar volts, solar
amps and

```

```

// battery volts.
//-----
int read_adc(int channel)
int sum = 0;
int temp;
int i;
for (i=0; i<AVG_NUM; i++) // loop through reading raw adc values AVG_NUM number of times

temp = analogRead(channel); // read the input pin
sum += temp; // store sum for averaging
delayMicroseconds(50); // pauses for 50 microseconds

return(sum / AVG_NUM); // divide sum by AVG_NUM to get average and return it

//-----
// This routine reads all the analog input values for the system. Then it multiplies them
by the scale
// factor to get actual value in volts or amps.
//-----
void read_data(void)

sol_amps = (read_adc(SOL_AMPS_CHAN) * SOL_AMPS_SCALE -13.51);
sol_volts = read_adc(SOL_VOLTS_CHAN) * SOL_VOLTS_SCALE;
bat_volts = read_adc(BAT_VOLTS_CHAN) * BAT_VOLTS_SCALE;
sol_watts = sol_amps * sol_volts;

//-----
// This is interrupt service routine for Timer1 that occurs every 20uS.
//-----
void callback()

if (interrupt_counter++ > ONE_SECOND)
interrupt_counter = 0;
seconds++;

//-----
// This routine uses the Timer1.pwm function to set the pwm duty cycle.
//-----
void set_pwm_duty(void)
if (pwm > PWM_MAX) // check limits of PWM duty cycle and set to PWM_MAX
pwm = PWM_MAX;

else if (pwm < PWM_MIN) // if pwm is less than PWM_MIN then set it to PWM_MIN
pwm = PWM_MIN;

```

```
if (pwm < PWM_MAX)
Timer1.pwm(PWM_PIN,(PWM_FULL * (long)pwm / 100), 20); // use Timer1 routine
to set pwm duty cycle at 20uS period

else if (pwm == PWM_MAX) // if pwm set to 100% it will be on full but we have
Timer1.pwm(PWM_PIN,(PWM_FULL - 1), 20); // keep switching so set duty cycle at
99.9%

void run_charger(void)

static int off_count = OFF_NUM;

switch (charger_state)
case on : if (sol_watts < MIN_SOL_WATTS) // if watts input from the solar panel is
less than
charger_state = off; // the minimum solar watts then
off_count = OFF_NUM; // go to the charger off state
TURN_OFF_MOSFETS;
else if (bat_volts > (BATT_FLOAT - 0.1)) // else if the battery voltage has gotten above
the float
charger_state = bat_float; // battery float voltage go to the charger battery float state
else if (sol_watts < LOW_SOL_WATTS) // else if the solar input watts is less than low
solar watts
pwm = PWM_MAX; // it means there is not much power being generated by the solar
panel
set_pwm_duty(); // so we just set the pwm = 100% so we can get as much of this power
as possible

// and stay in the charger on state
else
pwm = ((bat_volts * 10) / (sol_volts / 10)) + 5; // else if we are making more power
than low solar watts figure
out what the pwm
charger_state = bulk; // value should be and change the charger to bulk state

break;
case bulk :
if (sol_watts < MIN_SOL_WATTS) // if watts input from the solar panel is less than
charger_state = off; // the minimum solar watts then it is getting dark so
off_count = OFF_NUM; // go to the charger off state
TURN_OFF_MOSFETS;

else if (bat_volts > BATT_FLOAT) // else if the battery voltage has gotten above
the float
```

```

charger_state = bat_float; // battery float voltage go to the charger battery float state

else if (sol_watts < LOW_SOL_WATTS) // else if the solar input watts is less than
low solar watts
charger_state = on; //itmeansthereisnotmuchpowerbeinggeneratedbythesolarpanel
TURN_ON_MOSFETS; //sogotochargeronstate

else//thisiswherewedothePeakPowerTrackingroMaximumPowerPointalgorithm
if (old_sol_watts >= sol_watts) // if previous watts are greater change the value of
delta = -delta; // delta to make pwm increase or decrease to maximize watts

pwm += delta; // add delta to change PWM duty cycle for PPT alorythm (compound
addition)
old_sol_watts = sol_watts; // load old_watts with current watts value for next time
set_pwm_duty(); // set pwm duty cycle to pwm value

break;
case bat_float :

if (sol_watts < MIN_SOL_WATTS) // if watts input from the solar panel is less than
charger_state = off; // the minimum solar watts then it is getting dark so
off_count = OFF_NUM; // go to the charger off state
TURN_OFF_MOSFETS;
set_pwm_duty();

else if (bat_volts > BATT_FLOAT) // If we've charged the battery abovethe float
voltage
TURN_OFF_MOSFETS; // turn off MOSFETs instead of modifying duty cycle
pwm = PWM_MAX; // the charger is less efficient at 99% duty cycle
set_pwm_duty(); // write the PWM
else if (bat_volts < BATT_FLOAT) // else if the battery voltage is less than the float
voltage - 0.1
pwm = PWM_MAX; set_pwm_duty(); // start charging again
TURN_ON_MOSFETS; if (bat_volts < (BATT_FLOAT - 0.1)) // if the voltage drops
because of added load,
charger_state = bulk; // switch back into bulk state to keep the voltage up

break;
case off : // when we jump into the charger off state, off_count is set with OFF_NUM
TURN_OFF_MOSFETS; if (off_count > 0) // this means that we run through the off
state OFF_NUM of times with out doing
off_count--; // anything, this is to allow the battery voltage to settle down to see if the
// battery has been disconnected
else if ((bat_volts > BATT_FLOAT) (sol_volts > bat_volts)) charger_state = bat_float;

```

```

// if battery voltage is still high and solar volts are high
TURN_ON_MOSFETS;

else if ((bat_volts > MIN_BAT_VOLTS) (bat_volts < BATT_FLOAT) (sol_volts
> bat_volts))
charger_state = bulk;
TURN_ON_MOSFETS;

break;
default :
TURN_OFF_MOSFETS;
break;

```

```

//-----
-
//////////////////////////////////////LOAD CONTROL//////////////////////////////////////
//-----
-

```

```

void load_control()
#if LOAD_ALGORITHM == 0
load_on(sol_watts < MIN_SOL_WATTS bat_volts > LVD);
#else

load_on(sol_watts > MIN_SOL_WATTS bat_volts > BATT_FLOAT);
#endif

```

```

void load_on(boolean new_status)
if (load_status != new_status)
load_status = new_status;
digitalWrite(LOAD_PIN, new_status ? HIGH : LOW);

```

```

//-----
// This routine prints all the data out to the serial port.
//-----

```

```

void print_data(void)
Serial.print(seconds,DEC);
Serial.print(" ");
Serial.print("Charging = ");
if (charger_state == on) Serial.print("on ");
else if (charger_state == off) Serial.print("off ");
else if (charger_state == bulk) Serial.print("bulk ");

```

```
else if (charger_state == bat_float) Serial.print("float");
Serial.print(" ");
```

```
Serial.print("pwm = ");
if(charger_state == off)
Serial.print(0,DEC);
else
Serial.print(pwm,DEC);
Serial.print(" ");
```

```
Serial.print("Current (panel) = ");
Serial.print(sol_amps);
Serial.print(" ");
```

```
Serial.print("Voltage (panel) = ");
Serial.print(sol_volts);
Serial.print(" ");
```

```
Serial.print("Power (panel) = ");
Serial.print(sol_volts);
Serial.print(" ");
```

```
Serial.print("Battery Voltage = ");
Serial.print(bat_volts);
Serial.print(" ");
```

```
Serial.print("°");
delay(1000);
```

```
//-----
//-----Led Indication-----
//-----
void light_led(char pin)
```

```
static char last_lit;
if (last_lit == pin)
return;
if (last_lit != 0)
digitalWrite(last_lit, LOW);
digitalWrite(pin, HIGH);
last_lit = pin;
```

```
// display the current state via LED as follows :
// YELLOW means overvoltage (over 12.53 volts)
```

```
// RED means undervoltage (under 11.96 volts)
// GREEN is between 11.96 and 12.53 volts
void led_output(void)

static char last_lit;
if(bat_volts > 12.53 )
light_led(LED_YELLOW);
else if(bat_volts > 11.96)
light_led(LED_GREEN);
else
light_led(LED_RED);

//-----
//----- LCD DISPLAY -----
//-----

void lcd_display()
static bool current_backlight_state = -1;
back_light_pinstate = digitalRead(BACK_LIGHT_PIN);
if(current_backlight_state != back_light_pin_State)

current_backlight_state = back_light_pin_State;
if (back_light_pin_State == HIGH)
lcd.backlight(); // finish with backlight on
else
lcd.noBacklight();

if (back_light_pin_State == HIGH)

time = millis(); // If any of the buttons are pressed, save the time in millis to "time"

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(sol_volts);
lcd.print("V ");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print(sol_amps);
lcd.print("A ");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print(sol_watts);
lcd.print("W ");
lcd.setCursor(8, 1);
lcd.print(bat_volts);
lcd.setCursor(8,2);
```

```

if (charger_state == on)
lcd.print("on ");
else if (charger_state == off)
lcd.print("off ");
else if (charger_state == bulk)
lcd.print("bulk");
elseif(charger_state == bat_float)
lcd.print(""); lcd.setCursor(8,2); lcd.print(" float");
// -----
// ----- BatteryStateOfCharge -----
// -----
int pct = 100.0 * (bat_volts - 11.3)/(12.7 - 11.3);
if(pct < 0)
pct = 0;
elseif(pct > 100)
pct = 100;

```

```

lcd.setCursor(12,0);
lcd.print((char)(pct*5/100));

```

```

lcd.setCursor(8,3);
pct = pct - (pct%10);
lcd.print(pct); lcd.print("% ");

```

```

// -----
// ----- Duty Cycle -----
// -----

```

```

lcd.setCursor(15,0);
lcd.print("PWM");
lcd.setCursor(19,0);
lcd.write(PWM_ICON);
lcd.setCursor(15,1);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(15,1);
if (charger_state == off)
lcd.print(0);
else
lcd.print(pwm);
lcd.print("% ");

```

```

// -----
// ----- Load Status -----
// -----

```

```

lcd.setCursor(15,2);
lcd.print("Load");

```

```
lcd.setCursor(15,3);
if (load_status)

lcd.print("On ");

else

lcd.print("Off ");

spinner();
backLight_timer();
// call the backlight timer function in every loop

void backLight_timer()
if((millis() - time) <= 15000) // if it's been less than the 15 secs, turn the backlight on
lcd.backlight(); // finish with backlight on
else
lcd.noBacklight(); // if it's been more than 15 secs, turn the backlight off

void spinner(void)
static int cspinner;
static char spinner_chars[] = '*','*', '*',' ',' ';
cspinner++;
lcd.print(spinner_chars[cspinner%(spinner_chars)]);
```

Test du capteur DHT11

```
#include <dht.h>
dht DHT;
#define DHT11_PIN 11
# include "LiquidCrystal.h" // lcd library
const int rs = 2, en = 3, d4 = 4, d5 = 5, d6 = 6, d7 = 7;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7); int t; // temperature in celcius

void setup()

lcd.begin(16, 2);

void loop()

Serial.begin(9600);
// READ DATA
```

```
int chk = DHT.read11(DHT11_PIN);  
// DISPLAY DATA  
t = DHT.temperature;  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("Temp : ");  
lcd.print(t);  
lcd.print(" C.");  
delay(100);
```

Page Web, url : <https://www.idelecplus.com/blog/domotique-protocole>,
Consulté le 10/07/2020

Domotique : Protocole de communication pour les objets connectés

Dans cet article, nous aborderons la définition de ce qu'est un protocole en domotique ainsi que la présentation de quelques-uns parmi les plus répandus.

Comment fonctionne un protocole ?

Un protocole domotique est un langage utilisé pour établir la communication entre les différents appareils connectés. Pour pouvoir communiquer entre eux, deux appareils doivent donc avoir le même langage de communication, c'est-à-dire le même protocole. Ainsi, de la même manière que plusieurs langues existent en Europe, il existe aussi plusieurs protocoles en domotique. Ainsi, au moment où l'on opte pour une technologie en domotique, il est nécessaire de se doter d'appareils et d'objets connectés qui partagent un protocole similaire.

Les deux types de protocoles

Il existe deux types de protocoles domotiques : les protocoles à courte portée et les protocoles à longue portée, que nous détaillons ci-après.

Protocoles à courte portée

Z-WAVE

Il s'agit d'un protocole de communication dédié à la domotique. Z-wave est un protocole sans-fil apprécié pour sa facilité d'installation et sa portée de 30m environ. Le réseau fonctionne selon un maillage qui implique que l'ensemble des objets connectés au système émettent des données et sont en mesure de relayer les informations transmises par ses voisins. Ainsi, ce maillage va pouvoir permettre l'élargissement de la portée des appareils.

Le Z-Wave est une technologie bidirectionnelle en retour d'état qui permet de garantir que les ordres donnés soient exécutés comme il faut. Ce protocole se distingue aussi par sa rapidité et sa fiabilité par rapport à un code 32 bits, lequel bloque tout équipement qui ne dispose pas du code adéquat. La technologie utilisée par Z-Wave est une technologie radio de faible puissance dans la bande fréquence de 868,42 MHz.

Le protocole de communication Z-Wave permet de connecter jusqu'à 232 appareils et peut être utilisé sur un très large choix de produits, le tout à des prix abordables comparés à certaines technologies filaires. De plus, Z-Wave est plus simple d'utilisation et plus rapide.

ZIGBEE

ZIGBEE est également un réseau maillé permettant le transfert d'un grand nombre de données. D'ailleurs, par rapport au Z-Wave, il permet de transmettre un volume de données plus important mais en étant moins onéreux et plus facile d'utilisation. La portée moyenne de ce protocole de communication est de 100 m.

Zigbee se base sur le protocole IEEE802.15., un réseau sans fil industriel opérant à 2.4Hz et qui cible les applis recevant une faible quantité de données dans une zone limitée.

Zigbee présentent de nombreux points positifs, à ne citer que son fonctionnement ne requérant qu'une basse consommation, sa fiabilité, son évolutivité ainsi que sa robustesse. Ce protocole est bien placé au sein des systèmes machine to machine et applications IoT.

WIFI

Le WI-FI est un protocole universel permettant le transfert rapide d'un grand nombre de données. Il s'agit d'une technologie de transmission haut-débit sans fil utilisant les ondes radio. Le terme « ?WIFI? » est la dénomination de la norme IEEE 802.11 qui désigne le standard international décrivant les caractéristiques d'un réseau local sans fil ou WLAN.

Ce protocole de communication utilise la radio fréquence pour permettre à deux appareils de communiquer entre eux et permet aussi de lier des routeurs à divers appareils comme les PC, les tablettes ou Smartphones.

Le WIFI est aussi utilisé pour connecter des objets et c'est d'ailleurs une technologie très répandue. Elle utilise une large bande passante et nécessite une assez forte quantité d'énergie. Ainsi, elle requiert une forte consommation et des composants assez chers, ce qui fait que la grande majorité des concepteurs d'objets connectés la boudent encore.

Bluetooth

Le Bluetooth est un protocole de communication inventé en 1994 par la société suédoise Ericsson. Il s'agit d'un standard de transfert de données sans-fil utilisant une faible bande passante qui ne lui permet de transférer que peu de données à courte distance.

Le Bluetooth est néanmoins très peu énergivore et est inclus dans quasiment tous les téléphones mobiles et Smartphones et autres objets connectés. Le Bluetooth possède aussi de nombreuses applications (smartwatch, moniteur de fréquence cardiaque, oreillette sans fi, etc.).

Les protocoles à longue portée

Lora

Il s'agit d'un protocole basse consommation à faible coût permettant de transférer des données sur de très grandes distances. En effet, sa portée va de deux à cinq kilomètres en milieu urbain et peut aller jusqu'à quarante-cinq kilomètres en milieu rural.

Le protocole de communication Lora vise un large éventail d'applications et a été conçu pour offrir une connexion de faible puissance avec des caractéristiques qui lui permettent de supporter une communication bidirectionnelle sécurisée mobile pour les objets connectés.

Lora est très peu énergivore et est en mesure de supporter de larges réseaux afin de transférer des données. Néanmoins, ce protocole ne peut faire transiter que 0.3 à 0.5 kilobits par secondes.

Sigfox

Sigfox est un protocole de communication avec une portée qui se positionne entre la WI-FI et la connexion cellulaire. En milieu urbain, il a une portée de dix kilomètres et cela peut aller jusqu'à cinquante kilomètres en campagne. Sigfox utilise des bandes ISM libres d'utilisation afin de transmettre des données d'un spectre très étroit à ou depuis des objets connectés.

Le protocole Sigfox possède de très nombreuses applications machine to machine fonctionnant avec un faible volume de données et utilise une technologie nommée Ultra Narrow Band. Il est spécialement conçu pour gérer une faible vitesse de transfert de données et ne requiert qu'une basse consommation d'énergie.

Cependant, ce protocole de communication ne peut transporter que de très faibles quantités de données (entre 10 et 100 bits/seconde au maximum). Si au départ il était monodirectionnel, il permet dorénavant l'envoi d'informations aux objets connectés malgré l'impossibilité de réaliser rapidement d'importantes mises à jour.

Sigfox est déjà déployé dans plus de 10 000 objets connectés et est utilisé dans les principales villes européennes. C'est un protocole robuste qui est en mesure de communiquer avec des millions d'appareils qui fonctionnent sur batteries sur des distances de plusieurs kilomètres carré grâce à un réseau intéressant pour les applications machine to machine.

Cellulaire

Il s'agit de réseaux basés sur la technologie GSM qui sont fournis par des opérateurs mobiles et permettant le transfert d'une quantité importante de données sur une longue portée.

Les réseaux cellulaires mobiles nécessitent d'installer une carte SIM dans l'appareil à connecter pour que ce dernier soit identifié sur le réseau de communication. La quatrième génération (4G) des standards pour la téléphonie mobile permet une communication mobile très haut débit.

ENOCEAN

Il s'agit d'un protocole de communication très peu énergivore permettant l'envoi des trames de radio sans fil et sans pile. EnOcean utilise la bande des 868 MhZ et une technologie autonome puisant l'énergie de son environnement afin d'émettre un signal et de communiquer avec d'autres produits utilisant le même protocole.

Facile à utiliser et installer, EnOcean utilise des périphériques qui ne nécessitent qu'un minimum de maintenance car n'utilisant pas de piles et sont donc très peu énergivores. Cela a aussi l'avantage de rallonger la durée de vie des objets connectés.

Le protocole de communication EnOcean fonctionne de manière très simple et n'a pas impérativement besoin d'un contrôleur domotique. En effet, EnOcean est 100% Standalone. La majorité des nouveaux produits de ce protocole sont bidirectionnels et peuvent être utilisés comme répéteurs WIFI.

Sa portée sans fil va de 30m en intérieur, à 300m à l'extérieur en fonction de l'environnement et des conditions d'emploi. En outre, il faut savoir que tout produit EnOcean est défini par un profil d'équipement « ?EEP ? » développé par l'alliance EnOcean. Il s'agit d'une norme internationale ouverte et interopérable.

Les protocoles présentés ci-dessus figurent parmi les plus répandus sur le marché de la domotique à l'heure actuelle, mais il faut s'attendre à voir de nouveaux protocoles apparaître dans un contexte où les objets connectés sont de plus en plus prisés.

DÉVELOPPEMENT D'UN OUTIL DE SURVEILLANCE CONNECTÉ POUR UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

Résumé

Les générateurs photovoltaïques ont besoin d'être suivis pour vérifier leur bon fonctionnement, détecter les pannes éventuelles ou pour une meilleure gestion de l'énergie. C'est le but de l'opération de supervision ou de monitoring. Ce travail concerne la réalisation et à la mise en place d'une stratégie IoT pour un système d'acquisition de mesures significatives (tension, intensité, puissance, éclairage, température) en temps réel, d'un générateur solaire. Le but du projet est d'exercer une surveillance de l'activité du système, en utilisant des capteurs de courant, de tension, de température, de lumière. Les valeurs renvoyées par les capteurs ont été prélevées toutes les minutes entre 6h du matin et 22h. Le système développé offre les fonctions suivantes : Récupérer, stocker et utiliser les données relatives au panneau solaire à distance ; collecter les données des capteurs à l'aide d'un module ou Wemos ; transmettre ces données via une liaison WiFi vers une base de données InfluxDB installée sur un PC ; afficher les mesures en ligne sur un dashboard à l'aide du logiciel Grafana. Enfin, une application (IoT) sur Android a été conçue pour la surveillance du système photovoltaïque et son fonctionnement validé afin de consulter les mesures à travers un téléphone portable ou une tablette.

Mots clés

Générateur photovoltaïque ; Surveillance ; Acquisition des données ; Objet connecté ; Communication sans fil WiFi ; Base de données ; InfluxDB ; Grafana

DEVELOPMENT OF A CONNECTED MONITORING TOOL FOR A PHOTOVOLTAIC INSTALLATION

Abstract

Photovoltaic generators need to be monitored to check their proper functioning, detect possible breakdowns or for better energy management. This is the purpose of the supervision or monitoring operation. This work concerns the realization and the implementation of an IoT strategy for a system of acquisition of significant measurements (voltage, intensity, power, illumination, temperature) in real time, of a solar generator. The aim of the project is to monitor the activity of the system, using current, voltage, temperature and light sensors. The values returned by the sensors were taken every minute between 6 a.m. and 10 p.m. The developed system offers the following functions : Retrieve, store and use data relating to the solar panel remotely ; collect sensor data using a module or Wemos ; transmit this data via a Wifi link to an InfluxDB database installed on a PC ; display the measurements online on a dashboard using the Grafana software. Finally, an application (IoT) on Android has been designed for monitoring the photovoltaic system and its validated operation in order to view the measurements through a mobile phone or tablet.

Keywords

Photovoltaic generator ; Monitoring ; Data acquisition ; Connected object ; Wireless communication WiFi ; Database ; InfluxDB ; Grafana