

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen

Faculté de Technologie

N° attribué par la bibliothèque

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : « Electrotechnique »

Option : « Commandes électriques »

préparé au Département de Génie Electrique et Electronique (GEE)

et présenté par

Meriem MOSTFAOUI et Amina MELIH

Intitulé du mémoire

Réalisation d'un contrôleur de charge
photovoltaïque pour batterie basé sur une carte
Arduino

sous la direction du Dr. Abdelkader Mechernene

soutenu publiquement le 04 Juillet 2019 devant la commission d'examen
composée de :

B. CHERKI	Président	Professeur	U.A.B - Tlemcen
A.MECHERNENE	Encadreur	Maitre de Conférences	U.A.B - Tlemcen
M.LOUCIF	Co-encadreur	Maitre de Conférences	U.A.B - Tlemcen
S.M.MELIANI	Examineur	Maitre de coonférence	U.A.B - Tlemcen
C.M.BENHABIB	Examineur	Maitre de Conférences	U.A.B - Tlemcen

Année universitaire 2018 - 2019

Dedicaces 1

JE dédie ce travail :

- à mon père, grâce à qui je n'ai jamais manqué de rien ;
- à ma mère qui m'a toujours soutenu ;
- à mes frères ;
- à mes collègues de la faculté de Technologie, Merah Mohammed, Dris Younes et Belarbi Abdelmalek.
- 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.

Amina Melih
Tlemcen, le 04 juillet 2019

Dedicaces 2

J_E dédie ce travail :

- à mon père, à qui j'adresse toute ma gratitude car c'est grâce à lui que j'ai atteint mon but ;
- à mon cousin Amin Saadaoui et mon collègue Chakib Zendaghi.
- 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.

Meriem Mostefaoui
Tlemcen, le 04 juillet 2019

Remerciements

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

En premier lieu, nous tenons à exprimer notre gratitude à notre encadreur, le Docteur Abdelkader Mechernene, Maître de Conférence à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen. Nous désirons également remercier notre Co-encadreur, le Docteur Mourad Loucif, Maître de Conférence à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen.

Nous sommes particulièrement sensibles à l'honneur que nous a fait B. CHERKI, Professeur à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, de présider notre jury de soutenance.

Nous tenons également à adresser nos remerciements aux Docteurs S.M. Meliani et M.C. Benhabib, tous deux Maîtres de Conférences, pour avoir examiné ce travail et pour leurs remarques constructives.

Nous remercions aussi les enseignants Zine Saadi ; Amar Necaibia ; Abdelkhalak Bouchentouf et l'ingénieur Ayoub Ghaffour qui ont contribué à suivre notre travail, à bien le diriger et à utiliser ses connaissances, ainsi que les remarques constructives que nous devons améliorer dans ce travail et, grâce à eux, nous pouvons atteindre notre objectif.

Nous remercions également tout le personnel technique du Département de Génie Électrique et Électronique 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.

Melih Amina Mostefaoui meriem
Tlemcen, le 04 juillet 2019

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACES 1	i
DEDICACES 2	ii
REMERCIEMENTS	iii
NOMENCLATURE	xi
GLOSSAIRE	xiv
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I TECHNIQUES SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES	3
I.1 INTRODUCTION	4
I.2 CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE	4
I.2.1 Effet photovoltaïque	4
I.2.2 Principe de la cellule photovoltaïque	4
I.2.3 Différents types de cellules photovoltaïques	5
I.2.3-a 1 ère génération : Cellules cristallines	6
I.2.3-b 2 ème génération : Couches minces	7
I.2.3-c 3ème génération : Perovskites, multijonction, concentration	7
I.2.4 Modélisation d'une cellule photovoltaïque	8
I.2.4-a Modèle à une diode	8
I.2.4-b Modèle à deux diodes	9
I.2.5 Modélisation mathématique d'un panneau photovoltaïque	10
I.2.6 Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque	12
I.2.6-a Caractéristique Courant-tension	12
I.2.6-b Caractéristique Puissance-Tension	13
I.3 GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE	13
I.3.1 Constitution d'un générateur photovoltaïque	13
I.3.2 Associations des modules photovoltaïques	14
I.3.2-a Association en série	14
I.3.2-b Association en parallèle	14
I.3.2-c Association hybride (en série et en parallèle)	14
I.3.3 Protection des générateurs photovoltaïques	15
I.4 FACTEURS INFLUENÇANT LE FONCTIONNEMENT	16
I.4.1 Influence de l'ensoleillement	16

I.4.2	Influence de la température	17
I.5	FONCTIONNEMENT OPTIMUM D'UN GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE	18
I.5.1	Intérêt d'un fonctionnement à puissance maximale	18
I.5.2	Etage d'adaptation avec fonction MPPT	19
I.5.2-a	Les convertisseurs statiques	19
I.5.3	Algorithmes de recherche du maximum de puissance (MPPT)	24
I.5.3-a	Algorithme Perturber et Observer	24
I.5.3-b	Algorithme Incrément de la Conductance	25
I.6	STOCKAGE PAR BATTERIE D'ACCUMULATEURS	27
I.6.1	Principe de fonctionnement	27
I.6.2	Caractéristiques des batteries	28
I.6.3	Différents types d'accumulateurs	29
I.6.4	Système de régulation de charge	30
I.7	ARCHITECTURES DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES	31
I.7.1	Installation PV isolée du réseau	31
I.7.2	Installation PV raccordée au réseau	32
I.8	CONCLUSION	33
II	CAHIER DES CHARGES, DIMENSIONNEMENT ET TESTS	35
II.1	INTRODUCTION	36
II.2	CAHIER DES CHARGES	36
II.2.1	Fonctions principales	36
II.2.2	Spécifications techniques	37
II.3	PRÉSENTATION ET CARACTÉRISATION DU MODULE PHOTOVOLTAÏQUE	37
II.3.1	Présentation	37
II.3.2	Caractéristiques	38
II.3.3	Simulation des caractéristiques pour un panneau solaire	38
II.4	PRÉSENTATION DU SYSTÈME GLOBAL	40
II.4.1	Schéma structurel global	40
II.4.2	Schéma structurel global sur Proteus-Isis	41
II.4.3	Fonctionnement	42
II.5	PRÉSENTATION DE LA CARTE ARDUINO UNO	44
II.5.1	Quelle est la carte Arduino?	44
II.5.2	Les informations sur la carte Arduino UNO :	44
II.5.3	Description :	45
II.5.4	Logiciel Arduino :	45
II.5.4-a	Environnement de développement intégré :	45
II.6	DIMENSIONNEMENT ET TEST DES DIFFÉRENTS ÉTAGES	46
II.6.1	Etude et rôle du convertisseur Buck synchrone	46
II.6.2	Dimensionnement du convertisseur Buck synchrone	46
II.6.3	Mesure de tension	51
II.6.4	Mesure de courant	53
II.6.5	Affichage LCD et visualisation par LED	55
II.7	TEST FINALE (SIMULATION GLOBALE)	57
II.8	CONCLUSION	59

III RÉALISATION PRATIQUE	60
III.1 INTRODUCTION	61
III.2 VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE DE DÉFERRENT ÉTAGE	61
III.2.1 Test du panneau solaire	61
III.2.2 Test du signale de commande du transistor MOSTEF	62
III.2.3 Test du convertisseur Buck synchrone	63
III.2.4 Test du diviseur de tension	65
III.2.5 Test du capteur ACS712	67
III.2.6 Test du l'afficheur LCD	68
III.2.7 Test du module WI-FI WEMOS D1 mini	68
III.2.7-a Présentation	68
III.2.7-b Caractéristique	69
III.2.7-c Exemple d'utilisation	69
III.3 RÉALISATION	72
III.3.1 Elaboration du typon	72
III.3.1-a Typon côté piste	72
III.3.1-b Typon côté composants	72
III.3.2 Photo de circuit imprimer	73
III.3.2-a Avant soudeur	73
III.3.2-b Après soudeur	74
III.3.2-c Photo de circuit imprimer finale	74
III.4 ESSAIS	75
III.4.1 Essais de Batterie sans panneau solaire :	75
III.4.1-a Charger un téléphone portable :	75
III.4.1-b Alimentation d'une Lampe de 55W :	75
III.4.2 Essais de Batterie avec panneau solaire :	77
III.4.2-a Faible éclairnement	77
III.4.2-b Forte éclairnement	80
III.4.3 Les courbes de Batterie de panneau solaire on ligne	80
III.4.3-a Courbe de la tension de batterie :	80
III.4.3-b Courbe de la tension de panneau solaire :	83
III.5 CONCLUSION	84
 CONCLUSION GÉNÉRALE	 85
 BIBLIOGRAPHIE	 89
 ANNEXE A : PANNEAU SOLAIRE	 1
 ANNEXE B : COMPOSANT	 4
.1 MODULE WIFI ESP8266	7
.1.1 WEMOS D1 MINI	7
.1.2 Schéma structurale d'un module WEMOS	8
 ANNEXE C : PROGRAMME DES TESTS	 9

TABLE DES FIGURES

I.1	Dopage pour réaliser une jonction PN	5
I.2	Cellule photovoltaïque	5
I.3	Cellules polycristallines [1]	6
I.4	Cellules monocristallines [1]	6
I.5	Cellules à couches minces [1]	7
I.6	Cellule photovoltaïque "Troisième génération" [1]	7
I.7	Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à une diode [19]	8
I.8	Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à deux diodes [19]	9
I.9	Représentation d'un module photovoltaïque[9]	10
I.10	Schéma équivalent d'un générateur photovoltaïque [9]	10
I.11	Caractéristique $I = f(V)$ d'une cellule idéale	12
I.12	Caractéristique $I = f(V)$ d'une cellule idéale	12
I.13	Caractéristique d'une cellule PV	13
I.14	Constitution d'un générateur photovoltaïque [7]	13
I.15	Association en série avec leur caractéristique courant-tension [16]	14
I.16	Association en parallèle avec leur caractéristique courant-tension [16]	14
I.17	Association hybride avec caractéristique courant-tension[16]	15
I.18	Diodes de protection des modules [7]	15
I.19	Caractéristiques $I(V)$ d'un Générateur PV [16]	16
I.20	Caractéristiques $P(V)$ d'un Générateur PV [16]	16
I.21	Courbes $I(V)$ d'un générateur PV à $G = 1000W/m^2$ [16]	17
I.22	Courbes $P(V)$ d'un générateur PV à $G = 1000W/m^2$ [16]	17
I.23	Connexion directe et leur caractéristique courant-tension[12]	18
I.24	Étage d'adaptation [14]	19
I.25	Convertisseur statique avec la commande MPPT [14]	20
I.26	La tension V_e et V_s dans le convertisseur DC/DC [13]	20
I.27	Structure de convertisseur BUCK [6]	21
I.28	Schéma équivalent pendant ($0 \leq t \leq \alpha T$) [17]	22
I.29	Schéma équivalent pendant ($\alpha T \leq t \leq T$) [17]	22
I.30	Formes d'ondes des courants et des tensions d'un convertisseur Buck [6]	23
I.31	Schéma du principe de la méthode de Perturb-Observe[15]	24
I.32	Algorithme Perturb-Observe [8]	25
I.33	Schéma de la méthode de Incrément de la Conductance [8]	26
I.34	Algorithme d'incrément de la conductance [8]	27
I.35	Principe de fonctionnement d'une cellule [11]	28
I.36	Caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ d'un panneau solaire [4]	31
I.37	Couplage direct GPV-charge [7]	31

I.38	Système PV autonome (étage 1 est DC/AC) [7]	32
I.39	Système PV autonome (étage 1 est DC/DC) [7]	32
I.40	Système PV raccordé au réseau [7]	32
I.41	Système PV raccordé au réseau sans stockage d'énergie [7]	33
I.42	Système PV raccordé au réseau avec stockage d'énergie [7]	33
II.1	Panneau solaire monocristallin	37
II.2	Schéma équivalent de panneau solaire 50w	38
II.3	Caractéristique $P = f(V)$ d'un PV	39
II.4	Caractéristique de tension 50w	39
II.5	Schéma structurel global	40
II.6	Schéma structurel global sur Proteus-Isis	41
II.7	Différents types d'Arduino	44
II.8	Description de l'ARDUINO	45
II.9	La fenêtre de logiciel Arduino	45
II.10	Convertisseur Buck synchrone	46
II.11	MOSFET à canal N (IRFZ44N)	48
II.12	Schéma de liaison entre L'ARDUINO et le MOSFET	49
II.13	Signal d'un PWM et le MOSFT	49
II.14	Schéma de liaison entre L'ARDUINO et le convertisseur Buck synchrone	50
II.15	Signaux des tensions V_e et V_s du convertisseur	51
II.16	Diviseurs des tensions	51
II.17	Schéma de liaison entre L'ARDUINO et le diviseur de tension	52
II.18	Signale des tensions V_e et V_s d'un diviseur de tension	53
II.19	Capteur de courant ACS712	53
II.20	Caractéristique $V_{out} = f(I_p)$	54
II.21	Schéma de liaison entre L'ARDUINO et le l'ACS712	55
II.22	Schéma de liaison entre L'ARDUINO et LCD	56
II.23	Afficheur LCD	56
II.24	Schéma de liaison du système globale	57
II.25	Batterie chargée à 100%	57
II.26	Batterie chargée à 50%	58
II.27	Batterie chargée à 20%	58
II.28	Les tensions V_e et V_s avec signal PWM	58
III.1	Traceur de caractéristique de type EKO Instruments MP-160	61
III.2	Caractéristiques $I = f(V)$ et $P = f(V)$ du panneau de puissance 50 W	62
III.3	Circuit réaliser pour tester le transistor MOSFET	62
III.4	Signale de commande PWM	63
III.5	Signaux aux bornes des grilles des deux transistors MOSFET(s)	63
III.6	Circuit réaliser pour tester le convertisseur Buck synchrone	64
III.7	Tension V_e d'entrée du convertisseur BUCK avec le signal PWM	64
III.8	Tension V_s de sortie du convertisseur BUCK avec signal PWM	65
III.9	Circuit réaliser pour tester le diviseur de tension	65
III.10	Tension d'alimentation de 7 V avec le moniteur série	66

III.11	Tension d'alimentation de 12 V avec le moniteur série	66
III.12	Tension d'alimentation de 20 V avec le moniteur série	66
III.13	Circuit réaliser pour tester le capteur ACS712	67
III.14	Mesures relevées sur les appareils de mesure pour V_{out} et I_p	67
III.15	Trois intensités du courant I_p affichées par un ampèremètre	67
III.16	Trois intensités du courant I_p affichées par le moniteur série	68
III.17	Circuit réaliser pour tester l'écran LCD	68
III.18	Wemos D1 mini	69
III.19	Circuit réalisé pour tester WeMos D1 mini	70
III.20	Affichage de l'adresse I_P dans moniteur série	70
III.21	serveur Web	70
III.22	Paramètre du Channel	71
III.23	Clé API	71
III.24	Les valeurs de la Température et l'Humidité sou forme graphique	71
III.25	Typon côté piste	72
III.26	Typon côté composants	72
III.27	Circuit imprimé avant la soudure des composants	73
III.28	Circuit imprimé après la soudure des composants	74
III.29	Circuit imprimé sous sa forme finale	74
III.30	Circuit réalisé pour charger un téléphone portable	75
III.31	Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED vert	75
III.32	Circuit réalisé pour allumé une Lampe de 55W	76
III.33	Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED rouge	76
III.34	Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED jaune	76
III.35	Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED vert	77
III.36	Tension d'un panneau solaire a vide	77
III.37	Circuit réalisé pour allumer la lampe et charger la batterie	78
III.38	Tension et courant d'un panneau solaire en charge	78
III.39	Circuit de charge avec le courant de charge	78
III.40	Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED rouge	79
III.41	Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED jaune	79
III.42	Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED vert	79
III.43	Tension et courant de panneau solaire	80
III.44	Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED vert	80
III.45	Paramètre de la chaîne	81
III.46	Clé API	81
III.47	Les tensions de batterie affiché sur moniteur série	82
III.48	Courbe de tension de la batterie	82
III.49	Tensions de batterie affiché sur moniteur série	83
III.50	Courbe de tension de panneau solaire	83
51	Fiche technique d'un panneau solaire de 80 w	1
52	Caractéristique d'un panneau solaire de 80 w	2
53	Caractéristique d'un panneau solaire de 50 w	2
54	Fiche technique d'un panneau solaire de 50 w	3
55	MOSFET à canal N (IRFZ44N)	4

56	Driver IR2104	4
57	Schéma de brochage et tableau de la liste des terminaux	5
58	Performance caractéristiques (x05B)	5
59	Performance caractéristique $I_P = 5A$	6
60	Application typique et Tableau de liste des terminaux	7
61	WEMOS D1 MINI	7
62	Schéma structurale	8

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}	Le rendement du convertisseur
P_{out}	Puissance délivrée en sortie du convertisseur
η_{TOTAL}	Le rendement total de la chaîne de conversion
$\bar{\eta}_T$	Rendements moyens journaliers
δ_α	Changement du Rapport cyclique du convertisseur
η_{pv}	Le 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 photocourant
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 lélectron	q	$1,602 \times 10^{-19}$	Colomb
Constante de boltzmann	k	$1,38 \times 10^{-23}$	j/k
Energie de gap de la cellule	Eg	$1,7 \times 10^{-19}$	ev

Grandeurs électriques et mécaniques

Nom	Symbole	Unité
Courant fourni par la cellule	I	A
Tension 'a la borne de la cellule	V	V
Photocourant	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}	<i>Kelvin</i>
La tension en circuit ouvert	V_{co}	V
Courant de court-circuit	I_{cc}	A
Courant de court-circuit totale	I_{cc}^t	A
Tension à vide totale	V_{co}^t	V
Courant de court-circuit maximale	I_{CCM}	A
La tension en circuit ouvert maximale	V_{CoM}	V
La puissance maximale	P_{max}	W
Courant du GPV	I_{PV}	A
Tension du GPV	V_{PV}	V
la tension de référence	V_{ref}	V
Surface active du panneau	A_{eff}	m^2
Puissance délivrée en sortie du convertisseur	P_{out}	W
Une irradiation constante	G	W/m^2
Eclairage global sur le plan des modules	E	$[W/m^2]$
Température ambiante	T_a	<i>kelvin</i>
Température de référence ambiante	T_{aref}	<i>kelvin</i>
Température d'utilisation de cellule	$NOCT$	<i>kelvin</i>
Coefficient de courant en température	α	$[A/^\circ C]$
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	I_D	A
Courant shunt	I_{sh}	A
Courant délivré par le générateur	I	A
Tension à la borne du générateur	V	V

Paramètres

Nom	Symbole	Unité
Résistance série	R_s	Ω
Résistance shunt (ou parallèle)	R_{sh}	Ω

Glossaire

Acronyme	Signification
P	Positive
N	Négative
PN	Une jonction PN
Si	Silicium
CdS	Sulfure de cadmium
CdTe	Tellure de cadmium
CIS	des alliages de cuivre indium et sélénium
Al-BSF	aluminium back surface field
PERC	passivated emitter and rear cell
a-Si	Le silicium amorphe
PV	Photovoltaïque
MPPT	Maximum Power Point Tracker
GPV	Générateurs photovoltaïques
DC	Direct current
AC	Alternating current
CS	Un 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 [16].

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 [16].

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 la contrainte d'environnement local et global. 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, réfrigération, climatisation, sources lumineuses, véhicules électriques, centrales photovoltaïques, utilisation militaire, domaine spatial, et dans les systèmes hybrides [16].

Les panneaux solaires a une caractéristique importante est la puissance maximale disponible est fournie seulement en un seul point de fonctionnement appelé «Maximum Power Point » (MPP), défini par une tension et courant donnés, et ce point se déplace en fonction des conditions météorologiques (ensoleillement, température, etc.) ainsi que des variations de la charge. Extraire le maximum de puissance nécessite donc un mécanisme de poursuite de ce point qu'on appelle «Maximum Power Point tracking » MPPT [18].

L'objectif de ce travail est la conception et la réalisation d'un système PV à base d'une carte Arduino UNO. Ce système PV commandé par une commande MPPT « perturbation et observation » assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le panneau solaire [18].

Ce mémoire est divisé en trois chapitres suivants :

Dans le premier chapitre, nous étudions le rayonnement solaire et sa conversion par effet PV, le générateur PV et sa modélisation. Ensuite, nous allons présentons le convertisseur Buck utilisé dans ce travail puis, les méthodes MPPT, comme l'algorithme d'incrémenta-tion 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 raccor-dés au réseau de distribution électrique, le stockage de l'énergie et bien évidemment pas indispensable.

Dans le deuxième chapitre, nous allons diviser notre système a plusieurs parties pour tester différent étage de mon system PV, Ces tests sont effectués par la simulation (en logiciel Proteus).

Le troisième chapitre présente le travail de la réalisation pratique de différent étage de mon system PV puis en assemblera les parties dans un circuit imprimer ce qu'il appelle régulateur de charge qui nous permet de poursuivre l'état de charge et décharge d'une batterie.

Chapitre I

Techniques solaires photovoltaïques

SOMMAIRE

I.1	INTRODUCTION	4
I.2	CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE	4
I.2.1	Effet photovoltaïque	4
I.2.2	Principe de la cellule photovoltaïque	4
I.2.3	Différents types de cellules photovoltaïques	5
I.2.4	Modélisation d'une cellule photovoltaïque	8
I.2.5	Modélisation mathématique d'un panneau photovoltaïque	10
I.2.6	Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque	12
I.3	GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE	13
I.3.1	Constitution d'un générateur photovoltaïque	13
I.3.2	Associations des modules photovoltaïques	14
I.3.3	Protection des générateurs photovoltaïques	15
I.4	FACTEURS INFLUENÇANT LE FONCTIONNEMENT	16
I.4.1	Influence de l'ensoleillement	16
I.4.2	Influence de la température	17
I.5	FONCTIONNEMENT OPTIMUM D'UN GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE	18
I.5.1	Intérêt d'un fonctionnement à puissance maximale	18
I.5.2	Etage d'adaptation avec fonction MPPT	19
I.5.3	Algorithmes de recherche du maximum de puissance (MPPT)	24
I.6	STOCKAGE PAR BATTERIE D'ACCUMULATEURS	27
I.6.1	Principe de fonctionnement	27
I.6.2	Caractéristiques des batteries	28
I.6.3	Différents types d'accumulateurs	29
I.6.4	Système de régulation de charge	30
I.7	ARCHITECTURES DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES	31
I.7.1	Installation PV isolée du réseau	31
I.7.2	Installation PV raccordée au réseau	32
I.8	CONCLUSION	33

I.1 Introduction

L'énergie photovoltaïque repose sur un phénomène appelé Effet photovoltaïque qui résulte de la transformation directe de la lumière fournie par le soleil sous forme lumineuse en énergie électrique à travers des processus de conversion dans une cellule photovoltaïque.

Dans ce chapitre, nous allons voir les différents types de cellule ainsi que les modes de montage qui conduisent au module PV. L'association de de cellules photovoltaïques permet de réaliser un générateur PV. Nous allons étudier le fonctionnement d'une cellule et en déduire son modèle mathématique afin de tracer les caractéristiques de la cellule, en montrant l'influence des conditions météorologiques (éclairage et température).

Un générateur photovoltaïque (GPV) alimente une charge continue ou alternative via une interface d'électronique de puissance, c'est l'on nomme étage d'adaptation. Nous présenterons une étude détaillée du convertisseur électronique de puissance.

Chaque système photovoltaïque doit être doté d'un régulateur afin de gérer la charge des accumulateurs. Deux types principaux sont utilisés couramment : le contrôleur PWM et le contrôleur MPPT, aussi nous montrerons leurs caractéristiques et leurs principales différences.

L'un des principaux inconvénients de l'énergie solaire est son caractère intermittent. Pour une utilisation permanente, il est donc nécessaire de stocker l'énergie électrique produite. Le stockage de l'énergie électrique produite par les systèmes photovoltaïques est généralement assuré par des batteries d'accumulateurs. Les systèmes photovoltaïques peuvent être utilisée comme sources d'énergie en site isolé, ou bien en application connectées au réseau de distribution (BT, MT, HT).

I.2 Conversion photovoltaïque

I.2.1 Effet photovoltaïque

En 1839 le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire électricité dans un matériau semi-conducteurs faits généralement du silicium. C'est l'effet photovoltaïque. Ceci est fait par le rayonnement émis par le soleil est porteur de photons. Les semi-conducteurs, en absorbant les photons, produisent des électrons et des trous, tous deux étant porteurs de charge. Le rayonnement solaire doit alors provoquer un déplacement d'électron d'un conducteur à l'autre et générer une tension électrique. Alors la cellule photovoltaïque est un composant électronique qui lorsqu'il est exposé au spectre solaire génère une tension électrique par effet photovoltaïque.

I.2.2 Principe de la cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est un semi-conducteur de silicium. formé de deux couche la première est incorpore un nombre d'atomes de bore, dopé P. et autre couche est incorpore un nombre d'atomes de phosphore, dopé N comme illustré dans la figure (I.1).

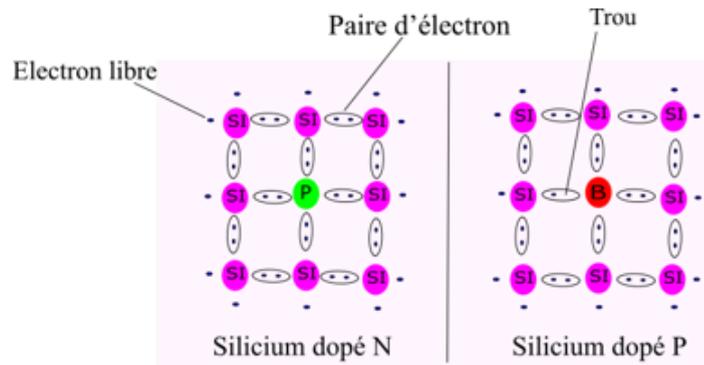


FIGURE I.1 – Dopage pour réaliser une jonction PN

Et ce dernier a créé une jonction PN avec une barrière de potentiel. Les atomes de la jonction PN contiennent une énergie créée par absorption semi-conductrice de photons de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P), entre les deux couches crée une différence de potentiel. La structure d'une cellule photovoltaïque est illustrée dans la figure (I.2) :

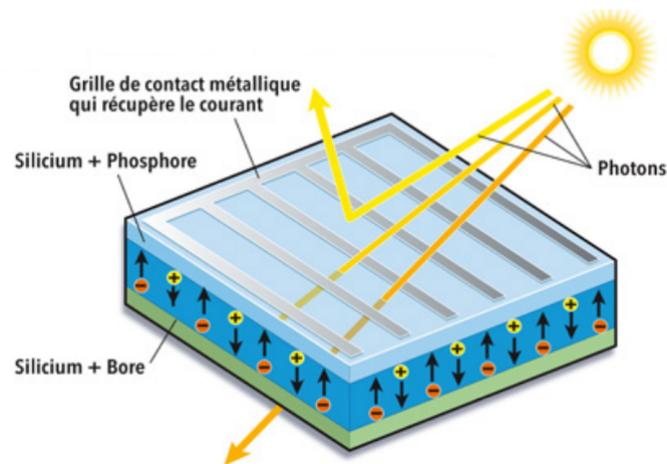


FIGURE I.2 – Cellule photovoltaïque

I.2.3 Différentes types de cellules photovoltaïques

Toutes les cellules sont créées à partir de matériaux semi-conducteurs. La plupart du temps, c'est le silicium (Si) qui est utilisé mais on rencontre aussi le sulfure de cadmium (CdS), le tellure de cadmium (CdTe), des alliages de cuivre indium et sélénium (CIS) [1].

Trois générations principales de cellules existent suivant leur mode de production :

I.2.3-a 1 ère génération : Cellules cristallines

Ces cellules, généralement en silicium, ne comprennent qu'une seule jonction p-n. La technique de fabrication de ces cellules, basée sur la production de "wafers" à partir d'un silicium très pure, reste très énergivore et coûteuse. La limite théorique de rendement de ce type de cellule est de $\pm 27\%$ [1].

On distingue deux types de cellules cristallines :

Les cellules polycristallines : Le refroidissement du silicium en fusion est effectué dans des creusets parallélépipédiques à fond plat. Par cette technique, des cristaux orientés de manière irrégulière se forment. Cela donne l'aspect caractéristique de ces cellules bleutées présentant des motifs générés par les cristaux. le rendement est de 16 à 18 % (Soit de 160 à 180 Wc/m^2) [1].

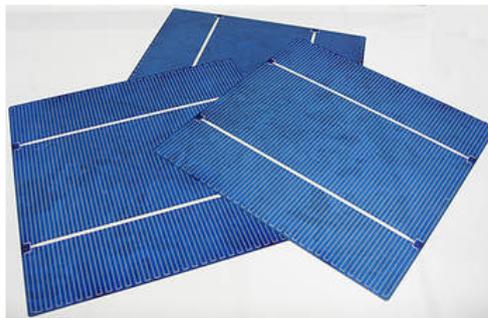


FIGURE I.3 – Cellules polycristallines [1]

Les cellules monocristallines : Ces cellules sont constituées de cristaux très purs obtenus par un contrôle strict et progressif du refroidissement du silicium. Le rendement est de 17 à 20 % (Soit de 170 à 200 Wc/m^2).

Les cellules sont de type "Al-BSF" (aluminium back surface field) l'évolution vers des cellules "PERC" (passivated emitter and rear cell) permettra prochainement de monter à $\pm 23\%$ tandis que les cellules à hétérojonctions promettent déjà d'atteindre les 26% [1].

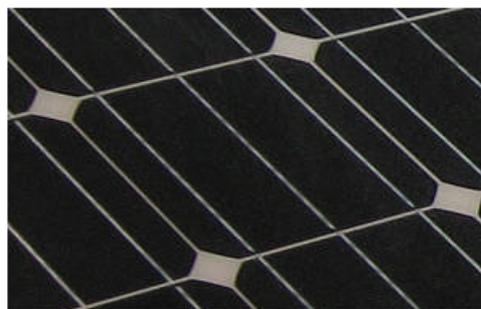


FIGURE I.4 – Cellules monocristallines [1]

I.2.3-b 2^{ème} génération : Couches minces

Dans le cas de "couches minces", le semi conducteur est directement déposé par vaporisation sur un matériau support. Le silicium amorphe (a-Si), le tellure de cadmium (CdTe), le diséléniure de cuivre indium (CIS). Ce sont des cellules de cette technologie que l'on retrouve dans les montres, calculatrices dites solaires !

- Le rendement de silicium amorphe est de 6 à 7 % soit 60-70 Wc/m^2 .
- CdTe présente de bonnes performances, mais la toxicité du cadmium reste problématique pour sa production. Le rendement de 11 à 15 % soit 110-150 Wc/m^2 [1].



FIGURE I.5 – Cellules à couches minces [1]

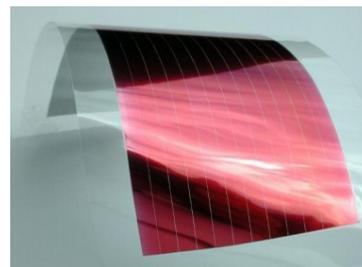
I.2.3-c 3^{ème} génération : Perovskites, multijonction, concentration

Pour améliorer les rendements des cellules, la recherche se tourne actuellement vers plusieurs pistes dont notamment :

- Cellules Perovskites sont des cellules composées d'un élément hybride organique-inorganique ayant une structure de perovskite. le rendement est passé à 22,1 %.
- Cellules multicouches : superposition de multiples cellules aux propriétés différentes. Les rendements obtenus sous concentration sont très prometteurs (au delà de 30 %).
- Cellules à concentration : (permet d'utiliser des photons à basse énergie qui ne sont habituellement pas absorbés par la cellule [1].



Cellule à concentration



Cellule organique

FIGURE I.6 – Cellule photovoltaïque "Troisième génération" [1]

I.2.4 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

I.2.4-a Modèle à une diode

Le fonctionnement d'un module photovoltaïque est décrit par le modèle « standard » à une diode. Pour une seule cellule PV, est généralisé à un module PV en le considérant comme un ensemble de cellules identiques branchées en série ou en parallèle [19].

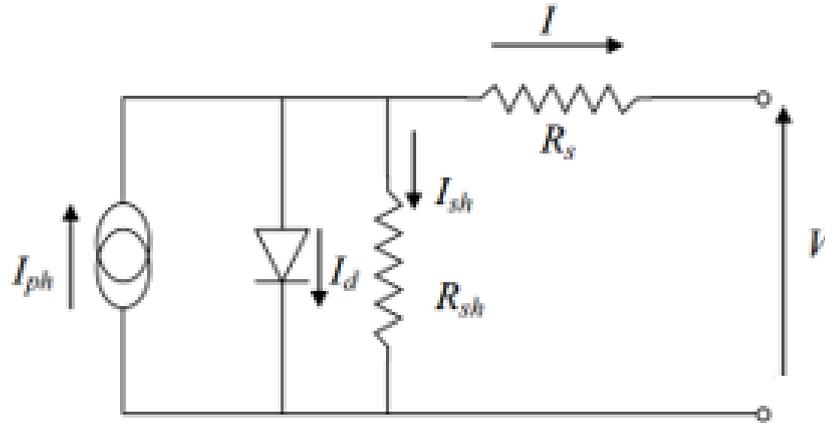


FIGURE I.7 – Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à une diode [19]

Le courant fourni par la cellule est donné par la relation

$$I = +I_{Ph} + \frac{V + R_s I}{R_{sh}} - I_s \left[\exp \left\{ \frac{q(V + R_s I)}{A k T} \right\} - 1 \right] \quad (\text{I.1})$$

où :

I : Courant fourni par la cellule [A].

V : Tension à la borne de la cellule [V].

I_{Ph} : Photocourant [A], proportionnel à l'irradiance ϕ , avec correction selon T.

I_s : Courant de saturation de la diode [A], dépendant de la température .

R_s : Résistance série [Ω].

R_{sh} : Résistance shunt (ou parallèle) [Ω]

q : Charge de l'électron = $1,602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb.

k : Constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ J/K.

T : Température effective de la cellule [Kelvin].

A : Facteur de qualité de la diode (Facteur d'idéalité de la jonction), normalement compris entre 1 et 2.

Il faut noter que ces deux résistances sont liées à la technologie d'élaboration des électrodes. Il faut minimiser R_s de telle sorte que R_{sh} soit très important. Le photocourant I_{ph} varie avec l'irradiance, il est déterminé par rapport à des valeurs données aux conditions de référence [19] :

$$I_{ph} = \frac{\phi}{\phi_{ref}} \cdot [I_{phref} + \mu_{Ics} \cdot (T - T_{ref})] \quad (\text{I.2})$$

où :

ϕ et ϕ_{ref} : Irradiance effective et de référence [W/m^2].

T et T_{ref} : Température effective et de référence [k].

μ_{Ics} : Coefficient de température du photocourant (ou courant de court-circuit), il est souvent donné par le fabricant, il est en général positif mais très faible.

Le courant de saturation de la diode est supposé variable avec la température selon l'expression :

$$I_s = I_{sref} \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^3 \cdot \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_g}{a \cdot k} \right) \cdot \left(\frac{1}{T_{ref}} \right) - \left(\frac{1}{T} \right) \right] \quad (I.3)$$

où :

E_g : Énergie de gap de la cellule. (Silicium cristallin $E_g = 1,12 \times 10^{-19}$ eV, Silicium amorphe $E_g = 1,7 \times 10^{-19}$ eV, CIS = $1,03 \times 10^{-19}$ eV, CdTe = $1,5 \times 10^{-19}$ eV) [19].

I.2.4-b Modèle à deux diodes

Nous avons, cette fois-ci, deux diodes pour représenter les phénomènes de polarisation de la jonction PN. Ces diodes symbolisent la recombinaison des porteurs minoritaires, d'une part en surface du matériau et d'autre part dans le volume du matériau. Le schéma d'une cellule photovoltaïque est illustré dans la figure(I.8) [19].

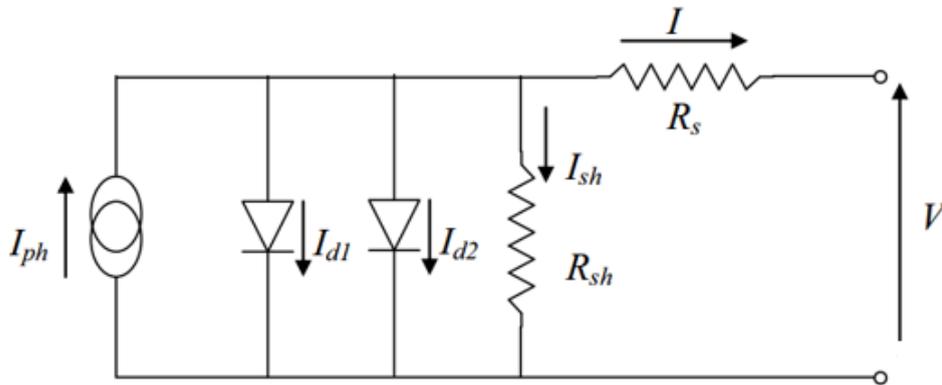


FIGURE I.8 – Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à deux diodes [19]

Le courant fourni par la cellule est donné par la relation (I.4)[19].

$$I = I_{ph} + \frac{V + R_s I}{R_{sh}} - I_{s1} \left[\exp \left\{ \frac{q(V + R_s I)}{A k T} \right\} - 1 \right] - I_{s2} \left[\exp \left\{ \frac{q(V + R_s I)}{2 A k T} \right\} - 1 \right] \quad (I.4)$$

I.2.5 Modélisation mathématique d'un panneau photovoltaïque

Nous avons vu que plusieurs cellules PV sont groupées pour constituer des modules ou des panneaux PV. Ces derniers contiennent N_p branches en parallèle, chacune avec N_s cellules connectées en série figure (I.9) [9].

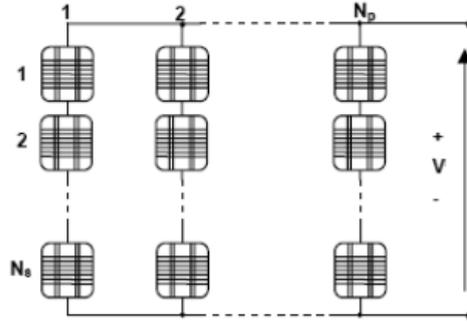


FIGURE I.9 – Représentation d'un module photovoltaïque[9]

Le modèle du panneau photovoltaïque est obtenu en remplaçant chaque cellule dans la figure (I.9) par le schéma équivalent présenté dans la figure (I.10) (en considérant que les cellules sont semblables et sont soumises aux mêmes conditions). Dans le modèle mathématique du panneau PV, qui sera présenté par la suite [9].

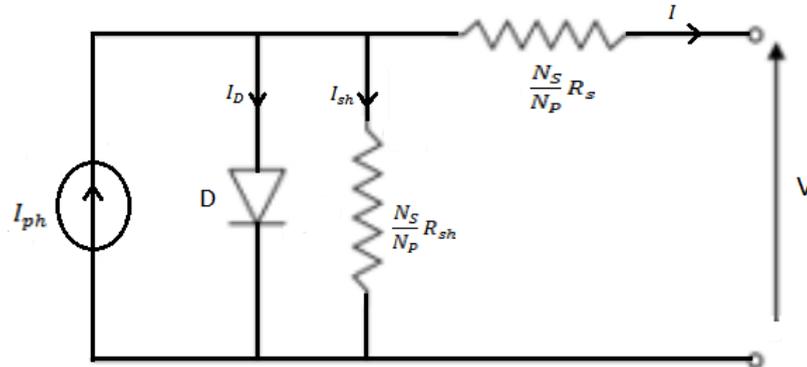


FIGURE I.10 – Schéma équivalent d'un générateur photovoltaïque [9]

Nous avons :

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (I.5)$$

$$I_{ph} = N_p \cdot p_1 \cdot E (1 + p_2 \cdot \Delta T) \quad (I.6)$$

$$I_D = N_P I_0 \left[\exp \left(\frac{q \left(V + \left(\frac{N_s R_s}{N_p} \right) I \right)}{A \cdot n_{cs} \cdot N_s K \cdot T_c} \right) - 1 \right] \quad (I.7)$$

$$I_{sh} = N_p \frac{V + \left(\frac{N_s R_s}{N_p} \right) I}{N_s R_{sh}} \quad (I.8)$$

où :

$$p_1 = \frac{I_{phref}}{E_{ref}} = \frac{(R_s + R_{sh})I_{ccref}}{R_{sh} \cdot E_{ref}} \quad (I.9)$$

$$p_2 = \frac{\alpha}{I_{phref}} = \frac{\alpha \cdot R_{sh}}{R_{sh} E_{ref}} \quad (I.10)$$

I_0 le courant de saturation inverse de diode. dépend fortement à la température, donné par :

$$I_0 = I_{0ref} \left(\frac{T_c}{T_{cref}} \right)^3 \exp \left[\left(\frac{E_g}{AK} \left(\frac{1}{T_{cref}} - \frac{1}{T_c} \right) \right) \right] = p_3 T_c^3 \exp \left(-\frac{E_g}{AK T_c} \right) \quad (I.11)$$

$$I_{0ref} = \frac{I_{ccref}}{\exp \left(\frac{q \cdot V_{0cref}}{A \cdot n_{cs} N_s \cdot k \cdot T_{cref}} \right) - 1} \quad (I.12)$$

donc :

$$p_3 = \frac{I_{ccref} \exp \left(\frac{E_g}{A \cdot K \cdot T_{cref}} \right)}{\left(\exp \left(\frac{q \cdot V_{0ref}}{A \cdot n_{cs} \cdot N_s \cdot K \cdot T_{cref}} \right) - 1 \right) T_{cref}^3} \quad (I.13)$$

$$\Delta T = T_c - T_{cref} \quad (I.14)$$

La température de la cellule peut être calculée à partir de la température ambiante et celle d'irradiation comme suit :

$$T_c = T_a + E \left(\frac{NOCT - T_{cref}}{800} \right) \quad (I.15)$$

Avec :

I_D : Courant de diode [A].

I_{sh} : Courant shunt [A].

I : Courant délivré par le générateur [A].

V : Tension à la borne du générateur [A].

N_s : Nombre de module connectés en série dans une branche.

N_p : Nombre de branche.

E : Eclairage global sur le plan des modules [W/m^2].

T_c : Température de la cellule [kelvin].

T_{cref} : Température de référence de la cellule [298 kelvin].

T_a : Température ambiante [kelvin].

T_{aref} : Température de référence ambiante [kelvin].

$NOCT$: Température d'utilisation de cellule [kelvin].

n_{cs} : Nombre de cellule en série dans un module.

α : Coefficient de courant en température [$A/^\circ C$].

I_{ccref} : Courant de court-circuit de référence.

V_{0cref} : Tension à vide de référence.

I_{0ref} : Courant référence de saturation inverse de diode.

I.2.6 Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque

I.2.6-a Caractéristique Courant-tension

La figure (I.11) montre que la caractéristique $I(V)$ d'une cellule Photovoltaïque est non linéaire d'une cellule idéale.

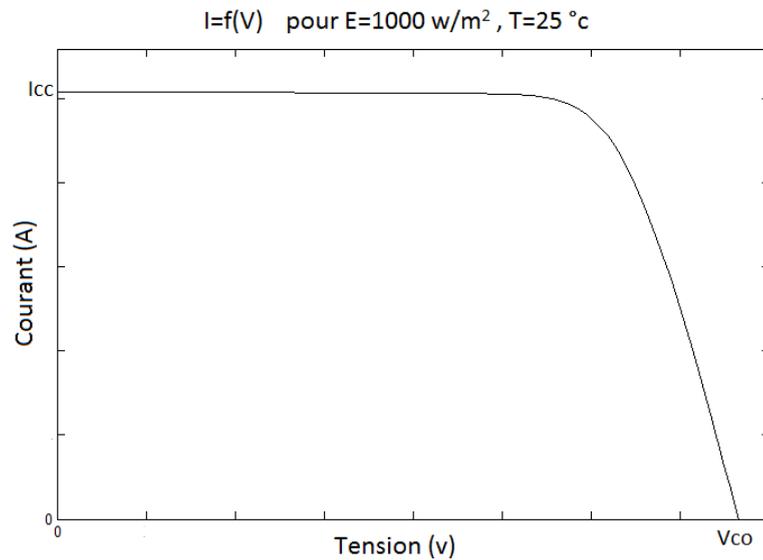


FIGURE I.11 – Caractéristique $I = f(V)$ d'une cellule idéale

En effet elles déterminent l'allure de la caractéristique $I = f(V)$ dans la figure (I.12) d'une cellule réelle est non linéaire avec l'influence des résistances shunt et série. Le MPP correspond au point de fonctionnement pour lequel la cellule PV opère avec un maximum de puissance.

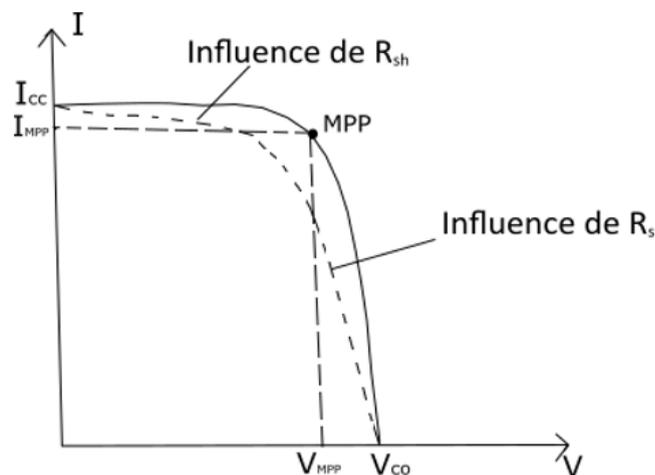


FIGURE I.12 – Caractéristique $I = f(V)$ d'une cellule idéale

I.2.6-b Caractéristique Puissance-Tension

La figure (I.13) montre l'allure d'une caractéristique de la puissance. La puissance maximum qui se trouve être atteinte pour une plage restreinte de valeur devra être recherchée à tout instant [2].

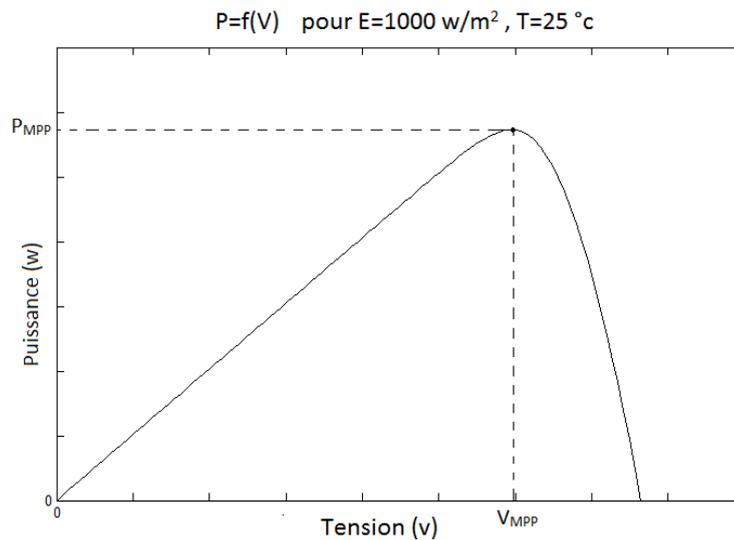


FIGURE I.13 – Caractéristique d'une cellule PV

I.3 Générateur photovoltaïque

I.3.1 Constitution d'un générateur photovoltaïque

Le panneau solaire c'est l'ensemble de plusieurs cellules PV doivent être connectées entre elles en série, pour former ce qu'on appelle : « un module ». Les modules peuvent être assemblés en série et/ou en parallèle pour former des panneaux, eux-mêmes interconnectés pour former un champ PV, figure (I.14) [7].

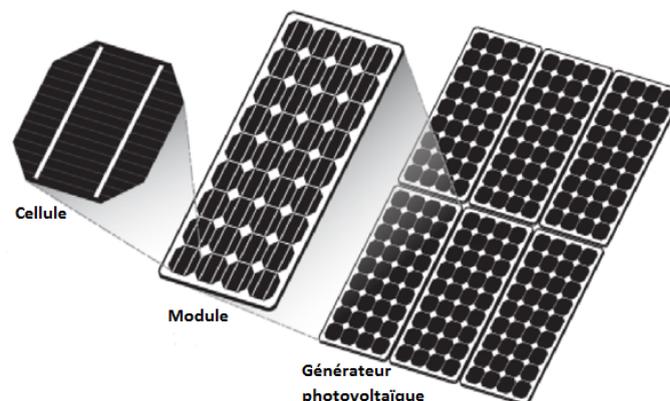


FIGURE I.14 – Constitution d'un générateur photovoltaïque [7]

I.3.2 Associations des modules photovoltaïques

I.3.2-a Association en série

En additionnant des modules identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de modules en série comme est illustré dans la figure(I.15) [16].

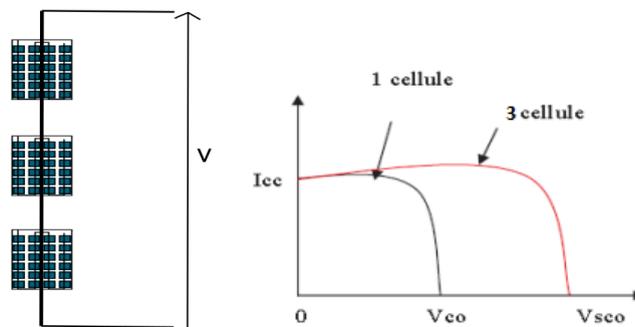


FIGURE I.15 – Association en série avec leur caractéristique courant-tension [16]

I.3.2-b Association en parallèle

En additionnant des modules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche, comme est illustré dans la figure(I.16) [16].

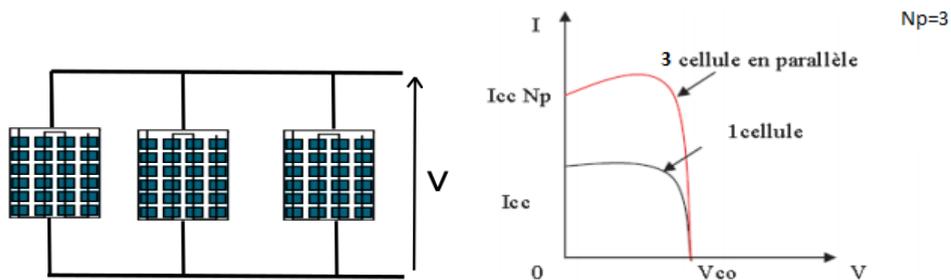


FIGURE I.16 – Association en parallèle avec leur caractéristique courant-tension [16]

I.3.2-c Association hybride (en série et en parallèle)

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces modules, les valeurs du courant de court-circuit total et de la tension à vide totale sont données par les relations :

$$I_{cc}^t = n_p \cdot I_{cc} \quad (I.16)$$

$$V_{oc}^t = n_s \cdot V_{oc} \quad (I.17)$$

Avec :

n_p : nombre des modules en parallèle.

n_s : nombre des modules en série .

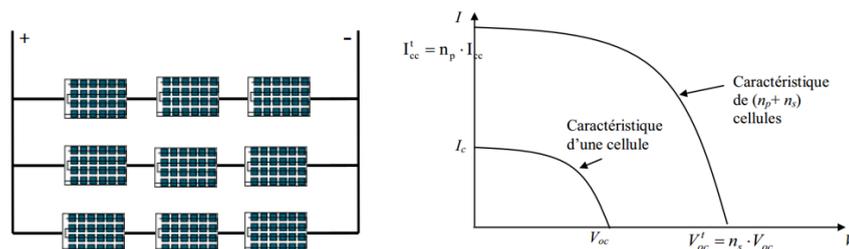


FIGURE I.17 – Association hybride avec caractéristique courant-tension[16]

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces modules, les valeurs du courant de court-circuit I_{cc} et de la tension à vide V_{oc} sont plus ou moins importantes comme illustre dans le figure (I.17) [19].

I.3.3 Protection des générateurs photovoltaïques

Le passage d'un module à un panneau se fait par l'ajout des diodes de protection, figure (I.18).

Dans un assemblage parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et les courants s'ajoutent. Dans des conditions défavorables (éclairage non uniforme et circuit ouvert), une cellule faible peut être parcourue en inverse par le courant produit par les autres cellules et ainsi dissiper une puissance importante et être détruite. Pour éviter cet effet, il faut mettre une diode en série qui interdit tout courant inverse.

Par contre, dans un assemblage série, le courant constant et les tensions s'additionnent. Dans certaines conditions, une cellule peut être soumise à la tension des autres cellules appliquée en inverse et ainsi fonctionner en récepteur en dissipant une puissance importante et être détruite si la contrainte thermique est trop forte ou si la tension d'avalanche est dépassée. Pour éviter cela, il faut disposer une diode en parallèle, aux bornes d'un module [7].

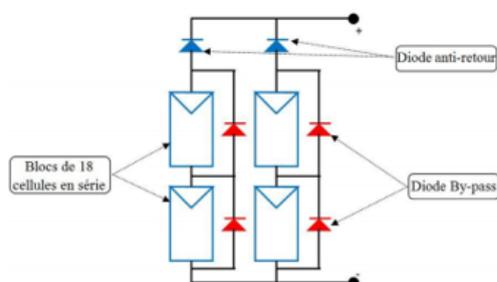


FIGURE I.18 – Diodes de protection des modules [7]

I.4 Facteurs influençant le fonctionnement

I.4.1 Influence de l'ensoleillement

Une baisse de l'ensoleillement provoque une diminution de la création de paires électron-trou avec un courant changé à l'obscurité. Le courant du panneau solaire étant égal à la soustraction de la photo courant et du courant de diode à l'obscurité, il y'a une baisse du courant solaire I_{ccm} proportionnelle à la variation de l'ensoleillement accompagnée d'une très légère diminution de la tension V_{com} et donc un décalage du point P_{max} du panneau solaire vers les puissances inférieures. Les figures (I.19) et (I.20) représentent les caractéristiques I(V) et P(V) respectivement d'un générateur photovoltaïque pour une température constante ($T = 25^{\circ}C$) et un ensoleillement variable [16].

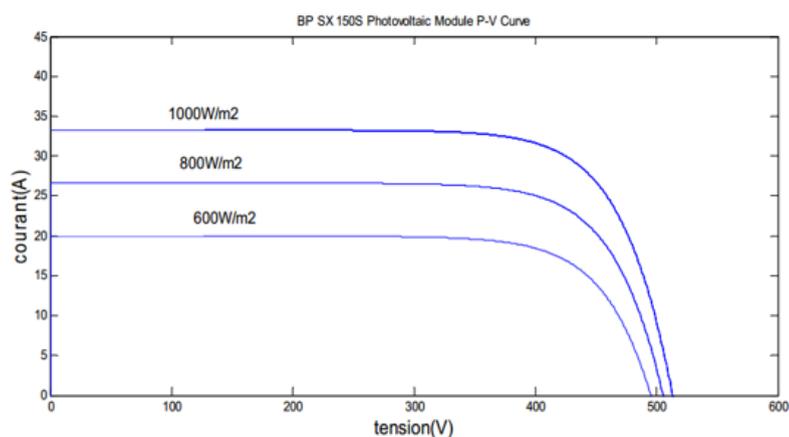


FIGURE I.19 – Caractéristiques I(V) d'un Générateur PV [16]

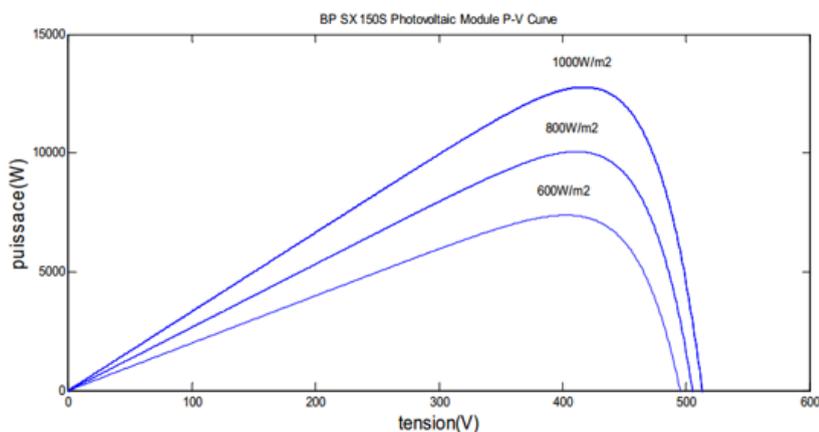


FIGURE I.20 – Caractéristiques P(V) d'un Générateur PV [16]

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

- La puissance optimale de la cellule (P_{max}) est pratiquement proportionnelle à l'éclairement.
- Les points de puissance maximale se situent à peu près à la même tension [16].

I.4.2 Influence de la température

On s'aperçoit que le courant délivré par chaque cellule dépend de la température interne de la jonction PN qui constitue la cellule PV. Si on considère le réchauffement d'un module PV de 25°C à 100°C et si l'on considère en première approximation que la température face arrière de chaque cellule est proche de la température de la jonction PN, alors on peut considérer l'influence de la température. On s'aperçoit que la tension de circuit ouvert décroît en fonction d'une augmentation de la température. Par conséquent, on perd de la puissance disponible aux bornes du module PV. La figure (I.21) présente des courbes I(V) et La figure (I.22) présente des courbes P(V) pour différentes températures de fonctionnement du générateur photovoltaïque à une irradiation constante [16].

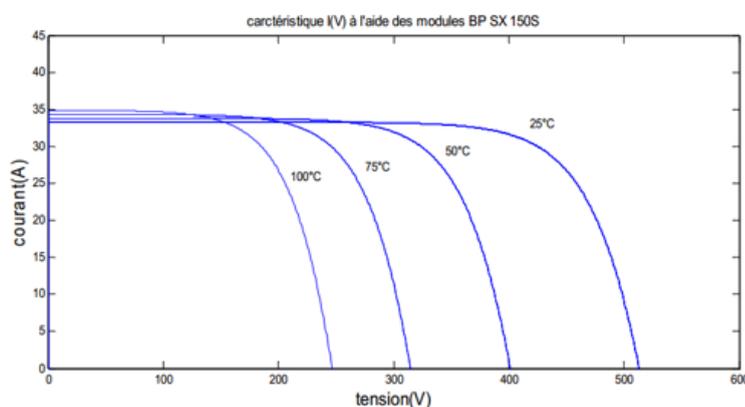


FIGURE I.21 – Courbes I(V) d'un générateur PV à $G = 1000\text{W}/\text{m}^2$ [16]

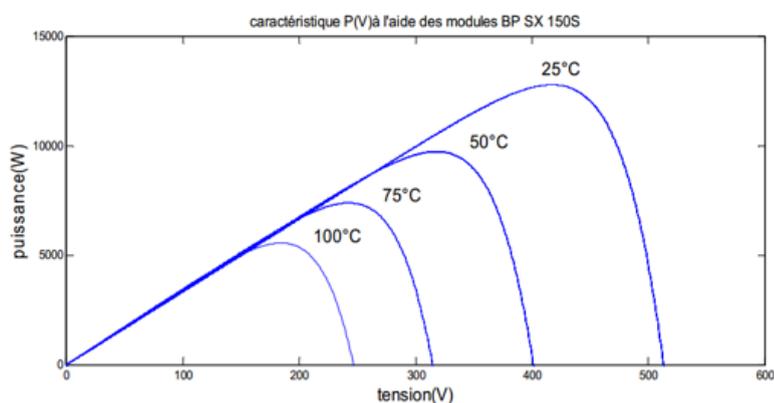


FIGURE I.22 – Courbes P(V) d'un générateur PV à $G = 1000\text{W}/\text{m}^2$ [16]

Nous remarquons que la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la

température augmente. Par conséquent la puissance extractible diminue.

La variation de la température du site sera impérativement prise en compte. Il est important de savoir que la puissance du panneau diminue environ de 0,5 % par chaque degré d'augmentation de la température de la cellule au-dessus de 25°C [16].

I.5 Fonctionnement optimum d'un générateur photovoltaïque

I.5.1 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. Nous regardons l'influence de la nature de la charge qu'elle soit une simple charge résistive R ou bien même une batterie. Comme illustré dans la figure (I.23) où les points PPM1 et PPM2 correspondent au fonctionnement optimal du GPV [12].

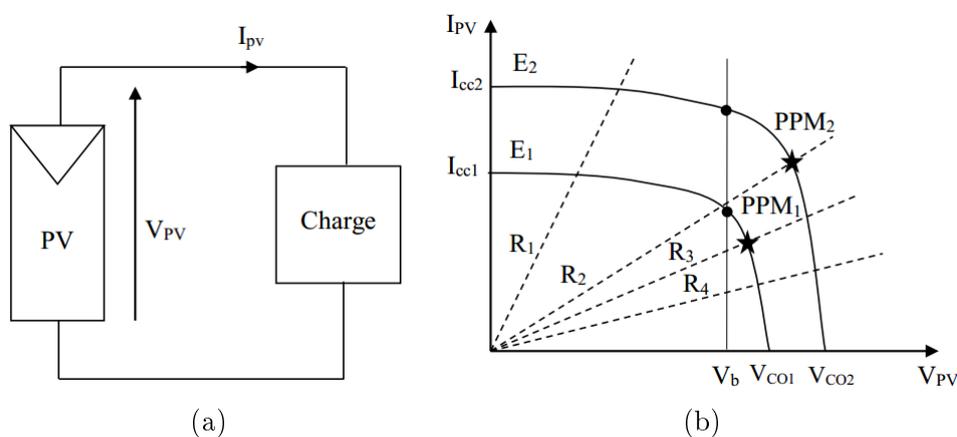


FIGURE I.23 – Connexion directe et leur caractéristique courant-tension[12]

où :

- (a) Connexion directe entre un GPV et une charge.
- (b) Points de fonctionnement résultant de l'association du GPV sous deux niveaux d'éclairement (E_1, E_2) avec une charge soit résistive R , variable (R_1, R_2, R_3, R_4) ou bien d'une batterie (V_b).

Nous pouvons constater sur la figure (I.23), 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 [12].

I.5.2 Étage 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.24). 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 [14].

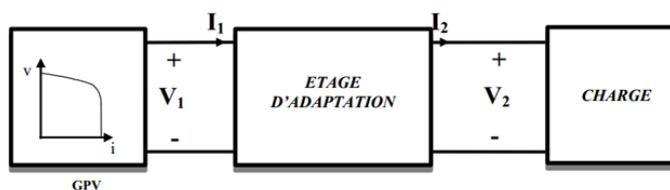


FIGURE I.24 – Étage d'adaptation [14]

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 peut être représentée comme indiquée sur la figure (I.25). 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 compliqué 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}) [14].

I.5.2-a Les 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 [13].

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

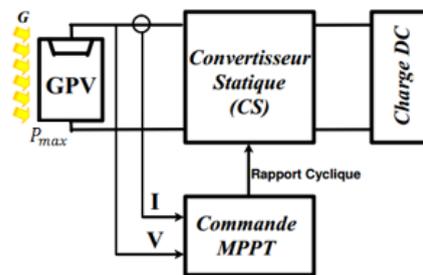


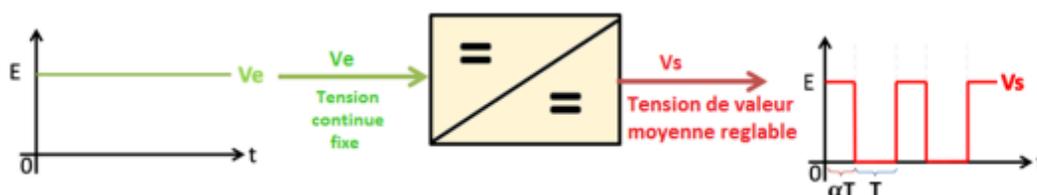
FIGURE I.25 – Convertisseur statique avec la commande MPPT [14]

couple résistant des pompes en générale ont longtemps exclu l'emploi des moteurs à courant alternatif pour le pompage solaire [13].

Convertisseur DC/DC (Hacheur) Les convertisseurs DC/DC permettent d'adapter la source d'énergie électrique a 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.26).

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-éleveur (Buck-Boost) ou abaisseur de tension (Buck) [13].

Notre étude est consacré sur le convertisseur type buck .

FIGURE I.26 – La tension V_e et V_s dans le convertisseur DC/DC [13]

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.27). Les composants clés ont l'inductance (L), le commutateur (K), la diode (D) et le condensateur (C). Celui-ci se charge par le commutateur (K) et qui maintient la tension à ces bornes jusqu'à

l'ouverture de (K) qui fait décharger son énergie à travers la diode sur le charge (R) pour un cycle de période de fonctionnement [6].

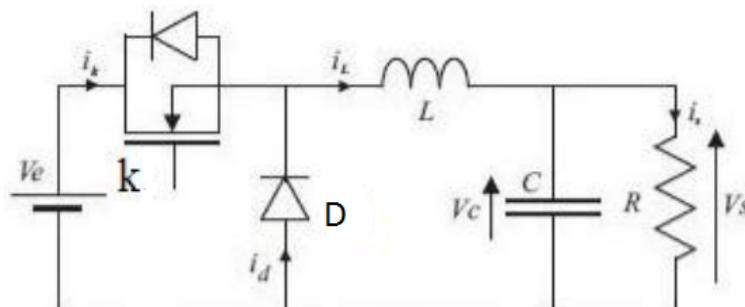


FIGURE I.27 – Structure de convertisseur BUCK [6]

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) [17].

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[17].

Le fonctionnement principal d'un convertisseur Buck est :

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 [17].

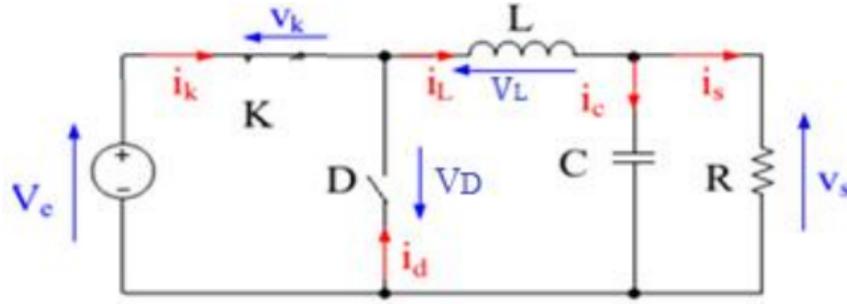
* **Première séquence de conduction** $(0 \leq t \leq \alpha T)$: Dans ce mode de fonctionnement, le courant dans l'inductance ne s'annule jamais. A $t=0$ on ferme l'interrupteur K, la diode D est bloquée. Le schéma équivalent du circuit est le figure (I.28) :

Dans cette phase la variation du courant dans l'inductance est donne par l'équation (I.18) :

$$v_e(t) = v_L(t) + v_K(t) + v_s(t) \quad (\text{I.18})$$

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

$$v_e(t) = v_L(t) + v_s(t) \quad (\text{I.19})$$

FIGURE I.28 – Schéma équivalent pendant ($0 \leq t \leq \alpha T$) [17]

$$v_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = v_e(t) - v_s(t) \quad (\text{I.20})$$

A partir de la solution de l'équation du premier ordre, nous obtenons [17] :

$$i_L(t) = \frac{v_e - v_s}{L} \cdot t + I_{Lmin} \quad (\text{I.21})$$

$$i_L(0) = I_{Lmin} \quad (\text{I.22})$$

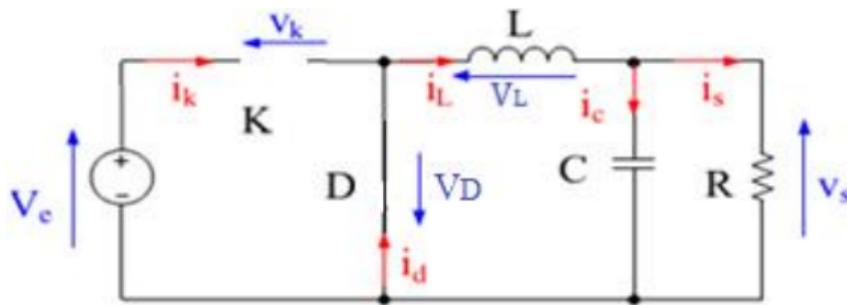
$$i_L(\alpha T) = \frac{v_e - v_s}{L} \cdot \alpha T + I_{Lmin} \quad (\text{I.23})$$

****Détermination de l'ondulation de courant :** L'ondulation de courant crête à crête ΔT ; peut-être déterminé à partir de l'équation (I.23) par l'expression suivante [17] :

$$\Delta T_L = I_{Lmax} - I_{Lmin} = \frac{v_e - v_s}{L} \cdot \alpha T \quad (\text{I.24})$$

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

A l'instant $t = \alpha T$ on ouvre l'interrupteur K et la diode devient conductrice Le schéma équivalent du circuit est le suivant [17] :

FIGURE I.29 – Schéma équivalent pendant ($\alpha T \leq t \leq T$) [17]

Dans cette phase la variation du courant dans l'inductance est donne par l'équation (I.25) :

$$v_L(t) + v_D(t) + v_s(t) = 0 \quad (\text{I.25})$$

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

$$v_L(t) = -L \frac{di_L(t)}{dt} = v_s(t) \quad (\text{I.26})$$

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

$$i_L(t) = -\frac{v_s}{L} \cdot (t - \alpha T) + A \quad (\text{I.27})$$

$$i_L(\alpha T) = I_{Lmax} = A \quad (\text{I.28})$$

$$i_L(t) = -\frac{v_s}{L} \cdot (t - \alpha T) + I_{Lmax} \quad (\text{I.29})$$

et

$$i_L(T) = -\frac{v_s}{L} \cdot (T - \alpha T) + I_{Lmax} = I_{Lmin} \quad (\text{I.30})$$

****Détermination de l'ondulation de courant :**

L'ondulation de courant crête à crête ΔI_L ; peut-être déterminée à partir de l'équation (I.30) par l'expression suivante [17] :

$$\Delta I_L = I_{Lmax} - I_{Lmin} = \frac{v_s}{L} (1 - \alpha) \cdot T \quad (\text{I.31})$$

Des équations (I.24) et (I.31) on déduit :

$$v_s = \Delta V_e \quad (\text{I.32})$$

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 :

$$\alpha = \frac{t_{on}}{T} \quad (\text{I.33})$$

Les caractéristiques des tensions et des courants du convertisseur Buck dans le cas de la conduction continue sont décrites par la figure (I.30), comme suit [6] :

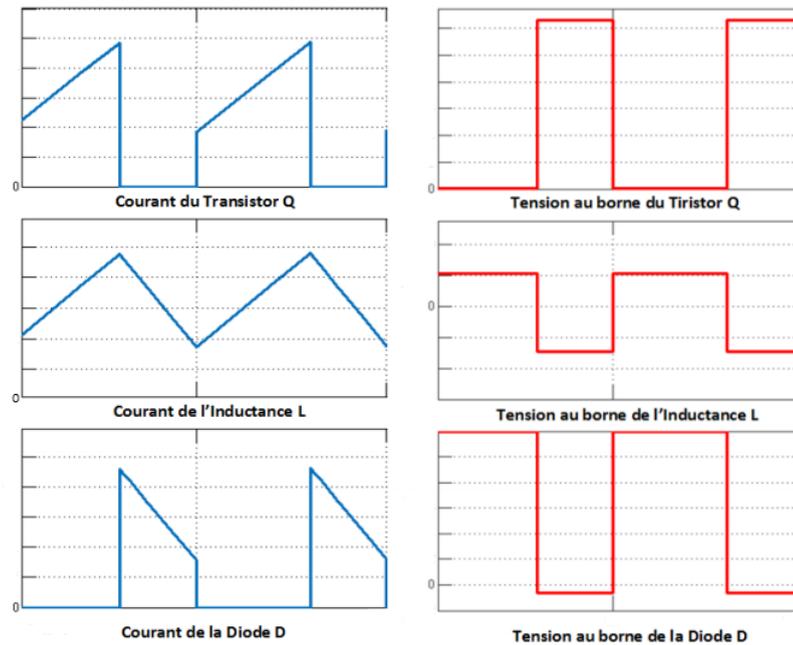


FIGURE I.30 – Formes d'ondes des courants et des tensions d'un convertisseur Buck [6]

I.5.3 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.5.3-a Algorithme Perturber et Observer

La figure (I.31) 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 [5][8].

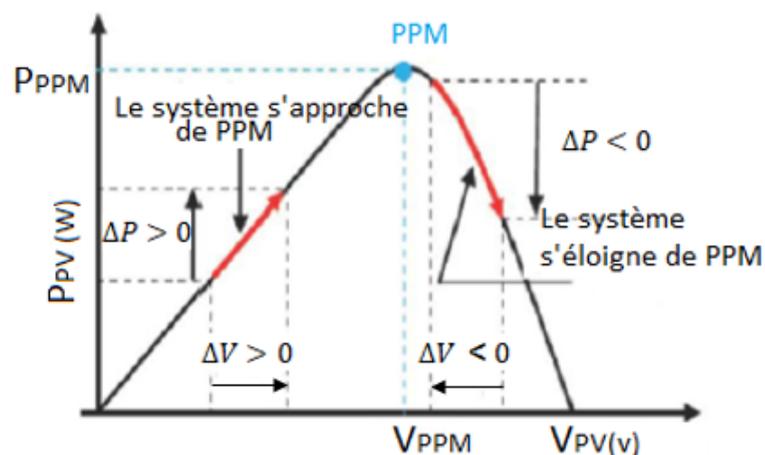


FIGURE I.31 – Schéma du principe de la méthode de Perturb-Observer[15]

La figure (I.32) 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.

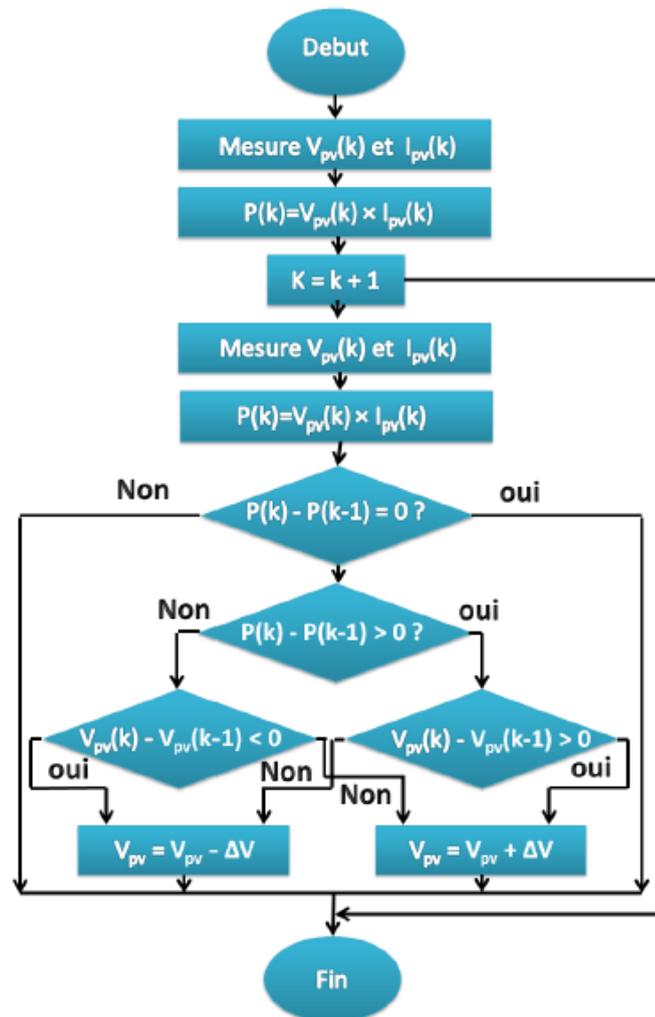


FIGURE I.32 – Algorithme Perturb-Observe [8]

I.5.3-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 [8].

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 :

$$P = VI \quad (\text{I.34})$$

La dérivé partielle dP/dV est donnée par [8] :

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(VI)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (\text{I.35})$$

$$\frac{1}{V} \frac{dP}{dV} = \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} \quad (\text{I.36})$$

On définit :

La conductance de la source $G = I/V$ et l'incrémentale conductance $\Delta G = dI/dV$.

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 PMP.

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

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

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

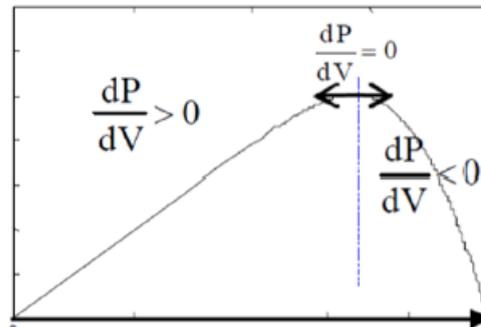


FIGURE I.33 – Schéma de la méthode de l'incrément de la Conductance [8]

L'algorithme de la méthode de conductance incrémental est présenté dans la figure(I.34) [8] :

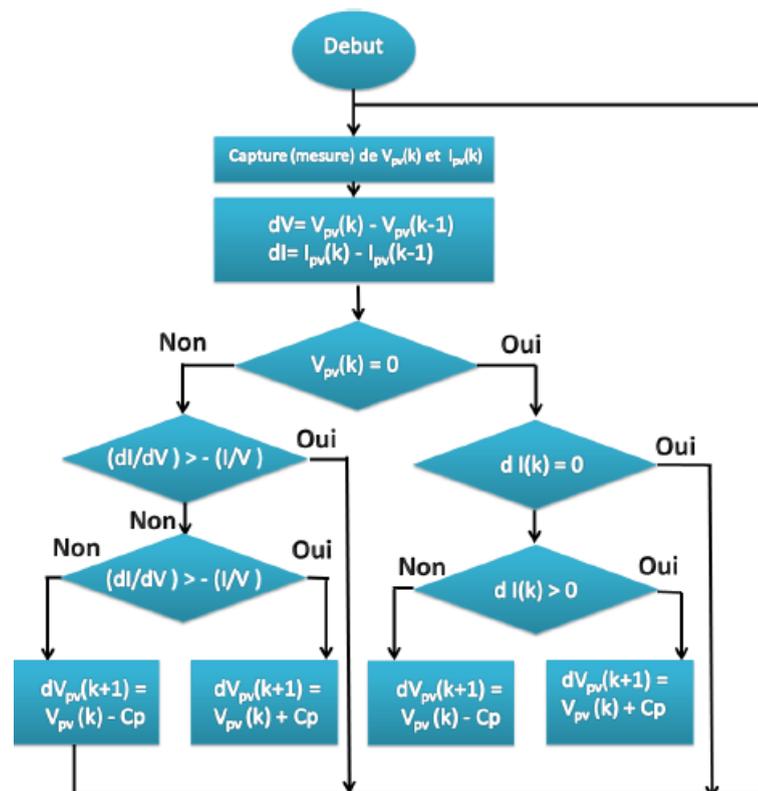


FIGURE I.34 – Algorithme d'incrément de la conductance [8]

I.6 Stockage par batterie d'accumulateurs

I.6.1 Principe de fonctionnement

Lorsqu'on parle de stockage d'électricité, on pense immédiatement aux batteries électrochimiques qui constituent ainsi les références en la matière. Le stockage d'énergie sous forme chimique dans les batteries électrochimiques est de loin la technique la plus répandue pour le stockage de l'énergie électrique. 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 s'appelle batterie est uniquement destinée à disposer d'une tension plus relevée aux bornes du dispositif. 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 [11].

Deux électrodes plongeant dans un électrolyte constituent une chaîne électrochimique.

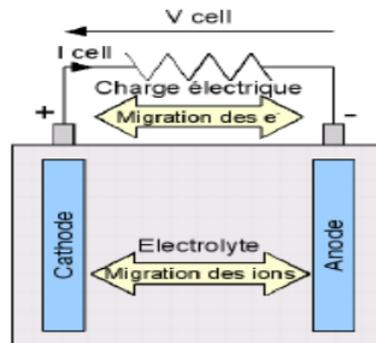


FIGURE I.35 – Principe de fonctionnement d'une cellule [11]

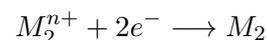
Des lames métalliques de nature différente peuvent jouer, par exemple, le rôle d'électrodes. La chaîne électrochimique joue le rôle d'un générateur de courant par la conversion de l'énergie chimique en énergie électrique. C'est au niveau de ces électrodes que se passent les réactions électrochimiques.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

Au niveau de l'anode qui est l'électrode négative se fait la réaction de l'oxydation pendant la décharge et cela se caractérise par la formule suivante [11] :



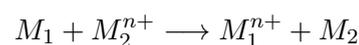
M_1 : étant l'espèce active de l'anode.

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 [11] :



I.6.2 Caractéristiques des batteries

Les paramètres électriques suivants sont généralement employés pour caractériser une batterie [9].

- **La tension nominale U** : D'une batterie correspond au nombre d'éléments qui la constitue multiplié par 2,1V [9].
- **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 [6].

- **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 [9], elle est proportionnelle à la dimension de la batterie [6].
- **Le rendement** : C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur [6].
- **Température** : La température influe sur le rendement de la batterie. Afin d'avoir un rendement optimal, la température idéal est de 25°C [6].
- **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 [6].
- **L'état de charge SOC** : Est le rapport entre la capacité présente et la capacité nominale q_{max} avec ($0 \leq SOC \leq 1$) :

$$SOC = \frac{q}{q_{max}} \quad (\text{I.37})$$

- 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 [9].

I.6.3 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 [5][10].
- **Accumulateur Nickel-Cadmium NiCd** : Inventé en 1899 par le suédois Waldemar Junger. la première batterie rechargeable avec stockage est simple, adapté à différents niveau de charge et sa charge est très rapide. Leur coût du produit est trois fois supérieur par rapport aux batteries de plomb.[6].
- **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 réalisé, 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 [6] .

I.6.4 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 certain niveau, il faut arrêter le courant de charge. Il faut savoir qu'il y a trois types de régulateur de charge :

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, le point de puissance maximale P_{max} . La puissance des modules sont donc spécifiés à la tension de puissance maximale [8].

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[4].

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% :

$$Puissance_d'entre = Puissance_de_sortie \quad (I.38)$$

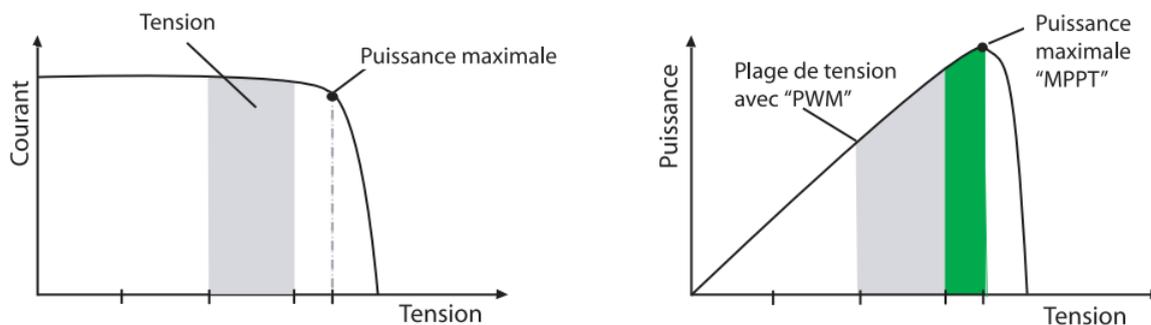


FIGURE I.36 – Caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ d'un panneau solaire [4]

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 [4].

I.7 Architectures des systèmes photovoltaïques

I.7.1 Installation PV isolée du réseau

Dans le cas d'installations autonomes, les systèmes PV fonctionnent indépendamment des réseaux électriques. L'énergie produite par les panneaux solaires PV est utilisée immédiatement (pompage d'eau, ventilation etc...) ou stockée dans des batteries pour une utilisation différée. Le courant continu produit alimente directement des appareils prévus à cet effet ou est transformé en alternatif via un onduleur. La configuration la plus simple des systèmes autonomes est le couplage direct où le GPV est directement connecté à la charge continue figure (I.37) [7].



FIGURE I.37 – Couplage direct GPV-charge [7]

Pour des applications qui ont besoin de l'énergie électrique même la nuit et lors des moments d'obscurité, un système de stockage peut être ajouté au système. L'énergie produite par le dispositif solaire est emmagasinée dans l'accumulateur d'énergie en vue d'être utilisée au moment du manque de l'éclairage.

Deux architectures plus courantes des systèmes PV autonomes avec stockage d'énergie alimentant à la fois des charges DC et AC sont illustrées dans les figures (I.38) et (I.39). La seule différence entre les deux réside dans le fait que la sortie du GPV est connectée à

un convertisseur DC/AC pour la première, et à un convertisseur DC/DC pour la seconde [7].

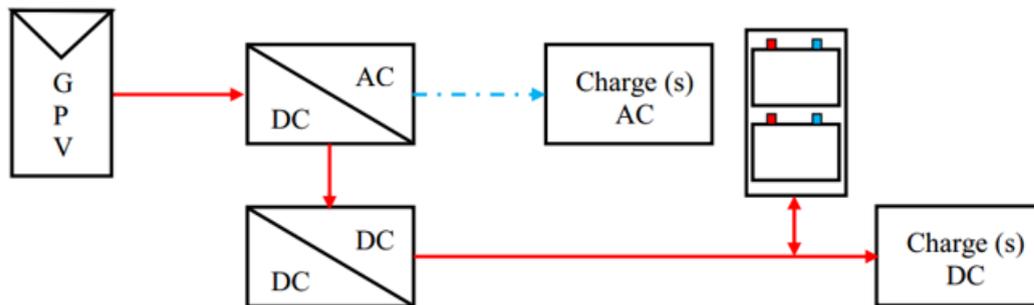


FIGURE I.38 – Système PV autonome (étage 1 est DC/AC) [7]

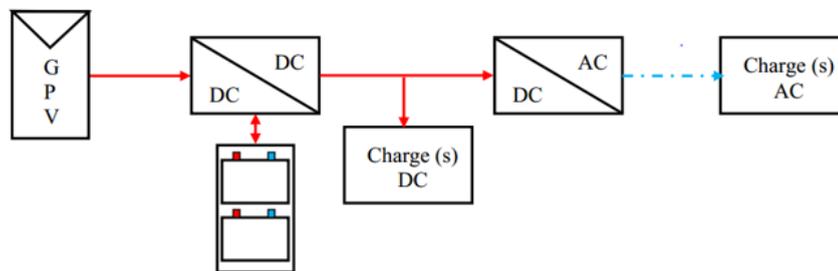


FIGURE I.39 – Système PV autonome (étage 1 est DC/DC) [7]

I.7.2 Installation PV raccordée au réseau

Dans cette catégorie, trois types de systèmes sont généralement rencontrés dans les applications PV. Figure (I.40) montre un exemple typique de grande 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.

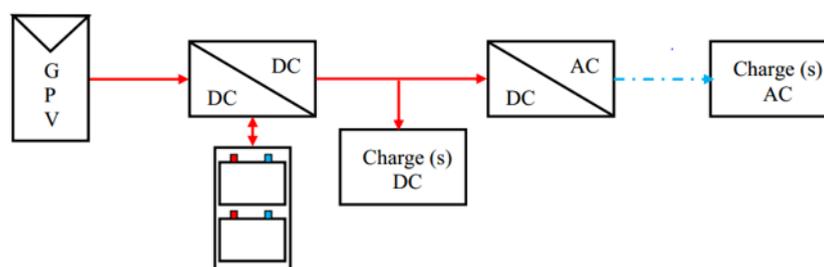


FIGURE I.40 – Système PV raccordé au réseau [7]

Figure(I.41) 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.

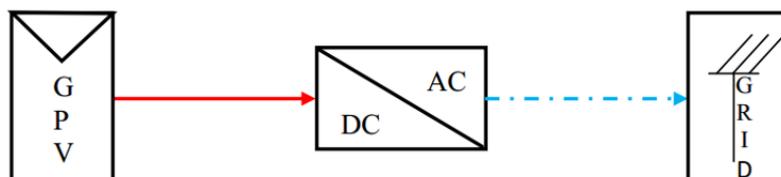


FIGURE I.41 – Système PV raccordé au réseau sans stockage d'énergie [7]

Troisième type de structure est illustré dans la figure (I.42). 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 [7].

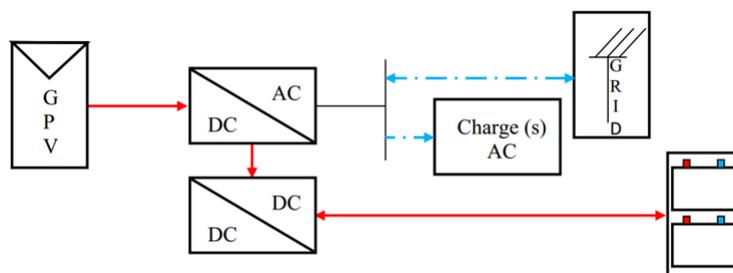


FIGURE I.42 – Système PV raccordé au réseau avec stockage d'énergie [7]

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les notions fondamentales concernant l'énergie solaire, le principe de la conversion PV, ainsi nous avons étudié le fonctionnement d'une cellule PV et nous avons exposé son modèle mathématique, ce dernier permettant de tracer et d'analyser les caractéristiques de la cellule photovoltaïque. Nous avons aussi mis en évidence les différents paramètres influant (effets résistifs et conditions climatiques) sur les performances des cellules solaires. Nous avons aussi cité les différents types de cellule PV ainsi que les modes de montage conduisant au module PV. Enfin, nous avons présenté les différentes associations de module PV employées pour la réalisation d'un panneau photovoltaïque.

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 mis en évidence les deux architectures usuelles de systèmes PV, soit les installations solaires photovoltaïques isolée ou raccordée au réseau de distribution. Dans le chapitre prochain, nous présenterons le cahier des charges, le dimensionnement et les simulations des différents étages de notre projet seront traités.

Chapitre II

Cahier des charges, dimensionnement et tests

SOMMAIRE

II.1	INTRODUCTION	36
II.2	CAHIER DES CHARGES	36
II.2.1	Fonctions principales	36
II.2.2	Spécifications techniques	37
II.3	PRÉSENTATION ET CARACTÉRISATION DU MODULE PHOTOVOLTAÏQUE	37
II.3.1	Présentation	37
II.3.2	Caractéristiques	38
II.3.3	Simulation des caractéristiques pour un panneau solaire	38
II.4	PRÉSENTATION DU SYSTÈME GLOBAL	40
II.4.1	Schéma structurel global	40
II.4.2	Schéma structurel global sur Proteus-Isis	41
II.4.3	Fonctionnement	42
II.5	PRÉSENTATION DE LA CARTE ARDUINO UNO	44
II.5.1	Quelle est la carte Arduino?	44
II.5.2	Les informations sur la carte Arduino UNO :	44
II.5.3	Description :	45
II.5.4	Logiciel Arduino :	45
II.6	DIMENSIONNEMENT ET TEST DES DIFFÉRENTS ÉTAGES	46
II.6.1	Etude et rôle du convertisseur Buck synchrone	46
II.6.2	Dimensionnement du convertisseur Buck synchrone	46
II.6.3	Mesure de tension	51
II.6.4	Mesure de courant	53
II.6.5	Affichage LCD et visualisation par LED	55
II.7	TEST FINALE (SIMULATION GLOBALE)	57
II.8	CONCLUSION	59

II.1 Introduction

Au cours de ce chapitre, nous allons présenter le cahier des charges qui doit être respecté lors de la conception du présent projet et servir à formaliser les besoins et à les expliquer aux différents acteurs et intervenants pour s'assurer sa compréhension et éventuellement lui apporter des modifications et des éventuelles améliorations.

Nous allons distinguer le cahier des charge technique et cahier des charges fonctionnel, dont le but de mettre les bases et les propriétés importantes pour la réalisation du contrôleur de charge.

Il est important de noter que nous avons dimensionner notre système pour un panneau solaire de 50 W, mais malheureusement une fois commencer la conception nous n'avons pas pu trouver de panneau ayant cette puissance. Nous avons donc opté pour un PV de 80 W et pris certaines dispositions (Limitations, fusible de 5 A, ...) pour assurer l'intégrité du système.

Ce projet est composé de plusieurs étages. Dans ce chapitre, nous les définirons, les dimensionnerons et les testerons, les uns après les autres séparément, à l'aide de tests de simulation effectués sous Proteus-Isis.

II.2 Cahier des charges

II.2.1 Fonctions principales

Le projet que nous devons concevoir doit satisfaire à certaines fonctions et spécifications techniques.

Donc, les fonctions principales du contrôleur de charge photovoltaïque que nous devons réaliser sont :

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 permettre la recharge de tablette, téléphone portable, ou autres gadgets ...
4. Optimiser la production de 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 de type WIFI pour collecter et enregistrer sur PC les 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 propriétés suivantes :

1. Tension nominale = 12V.
2. Courant maximal = 5A.
3. Courant de charge maximal = 5A.
4. Tension de panneau solaire de circuit ouvert = 22.2V.
5. Puissance du panneau solaire = 50W (disponible 80 W).

II.3 Présentation et caractérisation du Module photovoltaïque

II.3.1 Présentation

Le panneau solaire photovoltaïque 50 watts monocristallin 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'intégrera parfaitement pour un système d'éclairage ou bien la création d'un système électrique solaire. L'utilisation de ce module est prévue en site autonome, il est équipé de 36 cellules au silicium monocristallin. La connexion électrique s'effectue sur les pattes à l'intérieur du boîtier. Une diode by-pass est intégré pour une protection totale contre l'effet de point chaud (hot-spot).

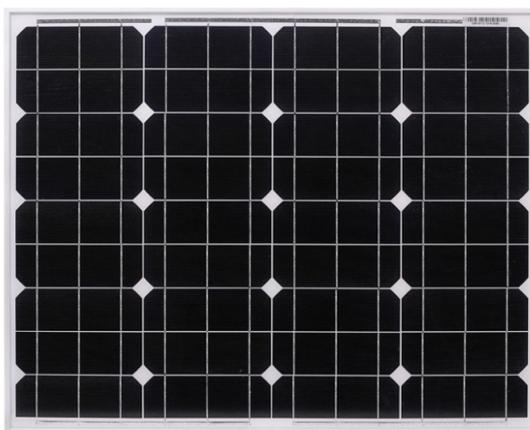


FIGURE II.1 – Panneau solaire monocristallin

À cause de manque le panneau solaire de 50W nous remplaçons par un panneau de 80w pour la réalisation pratique et prendre des précautions dans des caractéristiques inégales entre les deux panneaux.

Nous avons représenter le panneau solaire de 80W, composé de cellules monocristallines, à haut rendement énergétique, qui permettent de capter l'énergie solaire pour recharger nos batteries.

La fiche technique et les caractéristiques de ce panneau est situé dans l'Annex A.

II.3.2 Caractéristiques

Les informations techniques données dans le tableau suivant :

TABLE II.1 – Caractéristique d'un PV 50W

Données	Valeur
Puissance nominale	50W
Tolérance	5 %
Renement	16%
Type de cellule	silicium monocristalin
Tension à Pmax (V_{mp})	18V
Courant à Pmax (I_{mp})	2.78A
Courant de court-circuit (I_{cc})	3.16A
Tension de circuit ouvert (V_{co})	22.2V
Test STD	AM1.5, 25°C , 1000W/m ²
Poids	4 Kg
Diodes anti-retour	3
Boitier de jonction	étanche IP65
Température d'utilisation	-40°C +85°C

II.3.3 Simulation des caractéristiques pour un panneau solaire

La figure(II.2,(a)) représente le modèle à un diode d'un PV de 50 w. R1 et R2 sont des résistance série et shunt respectivement et E1 représente nombre de diode d'un panneau complet D=36 et G1 c'est la source de courant.

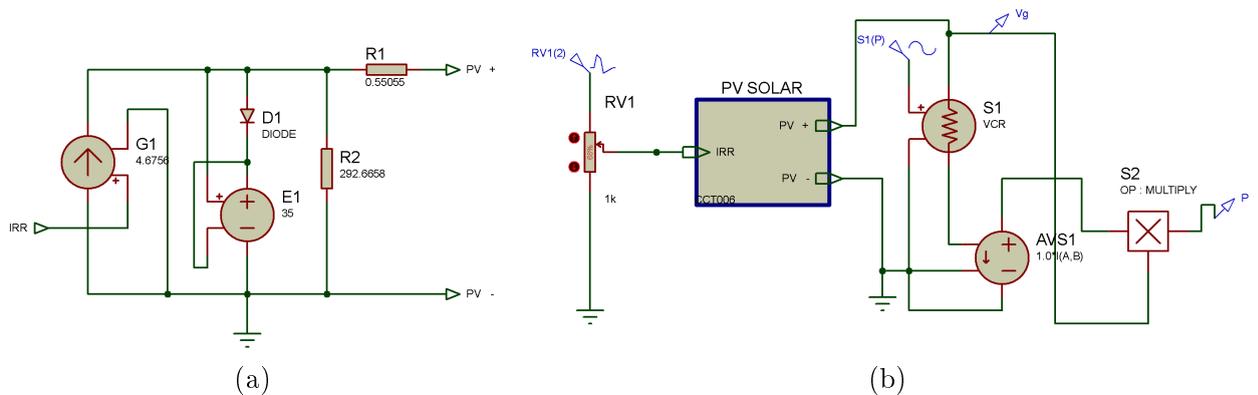


FIGURE II.2 – Schéma équivalent de panneau solaire 50w

Dans la figure (II.2,(b)) nous mettrons le modelé dans un bloc et nous sortant l'image de courant à l'aide de VCR et AVS1 et nous obtenons la puissance par la multiplication des deux grandeur la tension et le courant afin d'obtenir les caractéristiques $I = f(V)$ et $P = f(V)$.

* Les signaux $I = f(V)$ et $P = f(V)$ du panneau solaire :

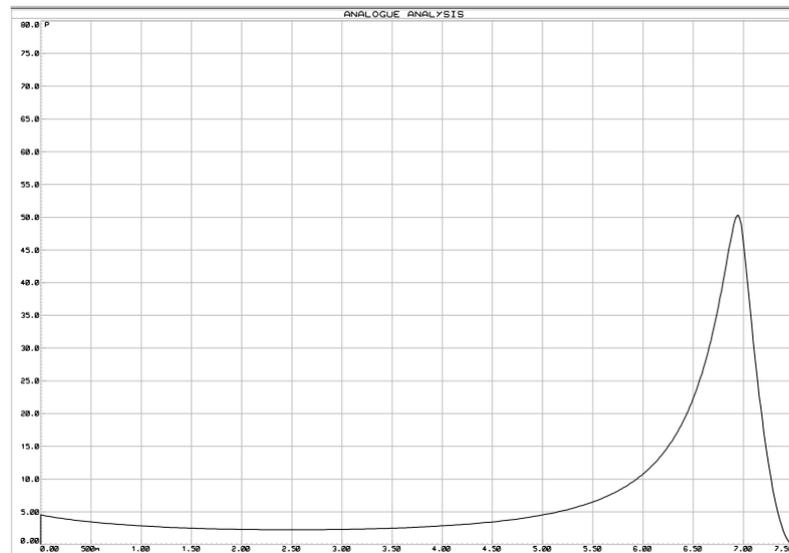


FIGURE II.3 – Caractéristique $P = f(V)$ d'un PV

La caractéristique $P = f(V)$ d'un panneau est illustré dans la figure (II.3) Nous apercevons que la puissance est montée jusqu'à 50W c'est une valeur maximale d'un panneau solaire.



FIGURE II.4 – Caractéristique de tension 50w

La figure (II.4) représente la caractéristique $I = f(V)$ avec la tension de circuit ouvert est égale à 22V et le courant de court-circuit est de valeur 3A donc les valeurs du simulations sont proportionnelle sur les normes de panneau réelle.

II.4.2 Schéma structurel global sur Proteus-Isis

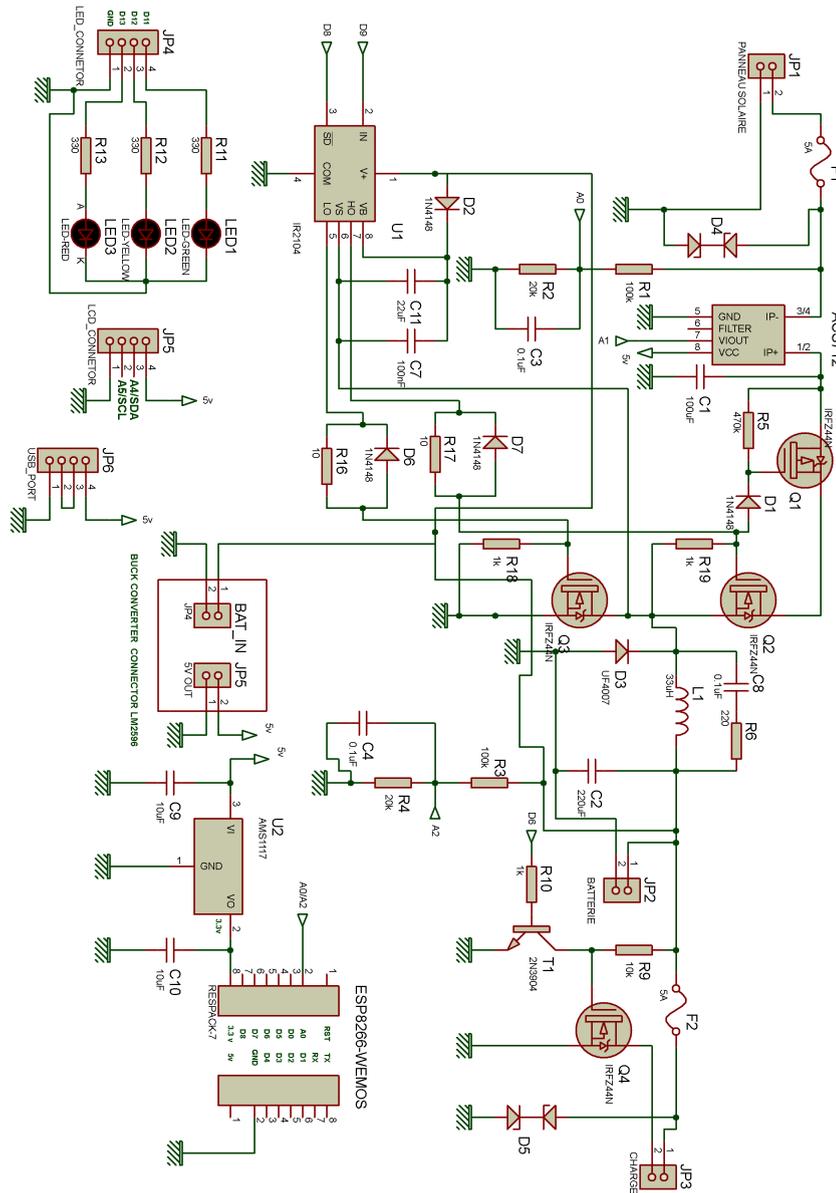


FIGURE II.6 – Schéma structurel global sur Proteus-Isis

II.4.3 Fonctionnement

Le panneau solaire et la batterie sont connectés respectivement sur les connecteurs JP1 et JP2, la charge est connectée sur JP3.

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

Premièrement : Partie de protection.

Le système est protégé contre les court-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 et D5 sont des diodes de type TVS, utilisées pour la protection contre les surtensions, l'une est située coté panneau et l'autre côté charge.

Deux circuits diviseurs de tension (R1, R2 et R3, R4) permettant de mesurer les tensions délivrées par le panneau solaire et aux bornes de la batterie. Les sorties des diviseurs délivrent les signaux de mesure vers les broches analogiques A0 et A2 de la carte Arduino. Les condensateurs en céramique C3 et C4 sont utilisés 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, ceci dans un but de compatibilité des sources (Principe de l'électronique de puissance).

Deuxièmement : 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 parallèle inverse pour les rendre bidirectionnel, aussi 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 délivrés sur les sortie Ho et Lo an 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.

Troisièmement : 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 délivré 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 Présentation de la carte Arduino UNO

II.5.1 Quelle est la carte Arduino ?

C'est une carte de développement électronique consistant en un circuit électronique open source avec un microcontrôleur de ATMEL sur une carte programmée par ordinateur.

Nous avons choisi la carte Arduino UNO, pour sa disponibilité, sa capacité mémoire et le nombre suffisants de ports analogiques et numérique pour l'interfaçage avec notre projet.

II.5.2 Les informations sur la carte Arduino UNO :

Il existe plusieurs types d'Arduino, comme indique la figure (II.7)

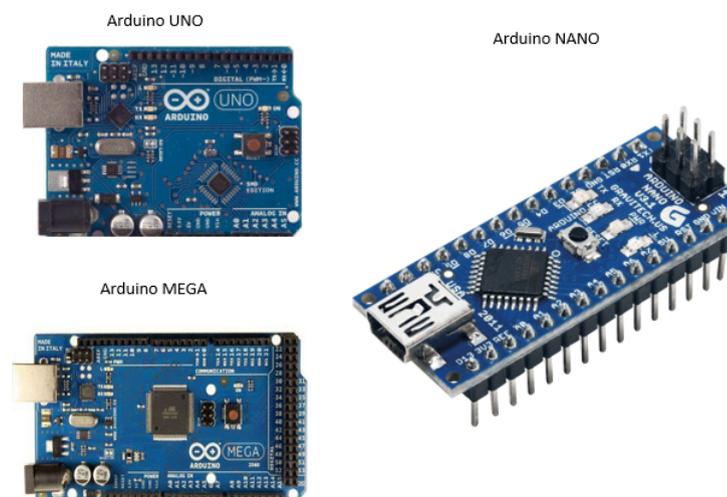


FIGURE II.7 – Différents types d'Arduino

La carte Arduino UNO est une carte officielle équipée d'un microcontrôleur basé sur l'ATmega328 et programmable avec logiciel.

C'est l'une des cartes Arduino les plus célèbres au monde, car elle est bon marché et possède un nombre de pattes approprié. Il y a 14 broches qui peuvent être utilisées comme

entrée ou sortie pour signal numérique (1 ou 0), 6 broches PWM, 6 broches analogique et une sortie pour le système de communication série UART.

II.5.3 Description :

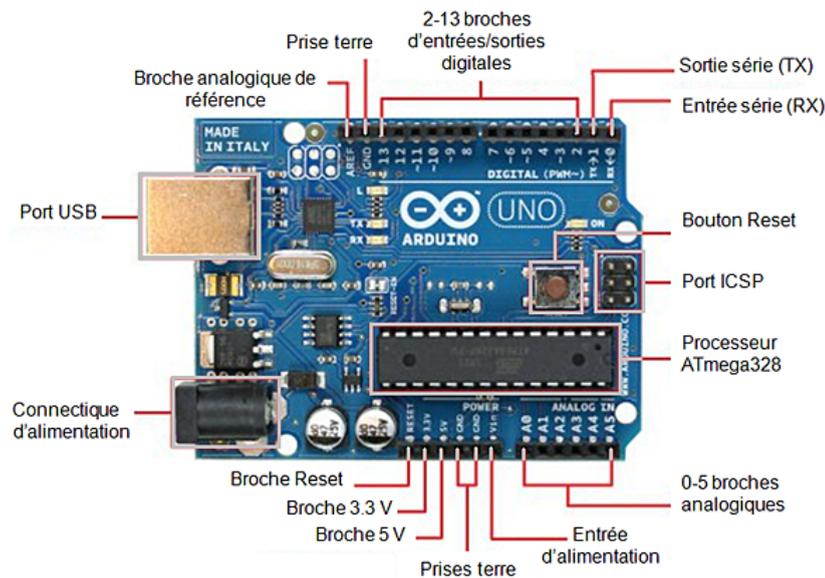


FIGURE II.8 – Description de l'ARDUINO

II.5.4 Logiciel Arduino :

La carte Arduino est programmé via le programme Arduino IDE(Environnement de développement intégré),qui gratuit d'Arduino.

II.5.4-a Environnement de développement intégré :

L'interface contient quatre sections principales comme indiqué dans la figure (II.9).

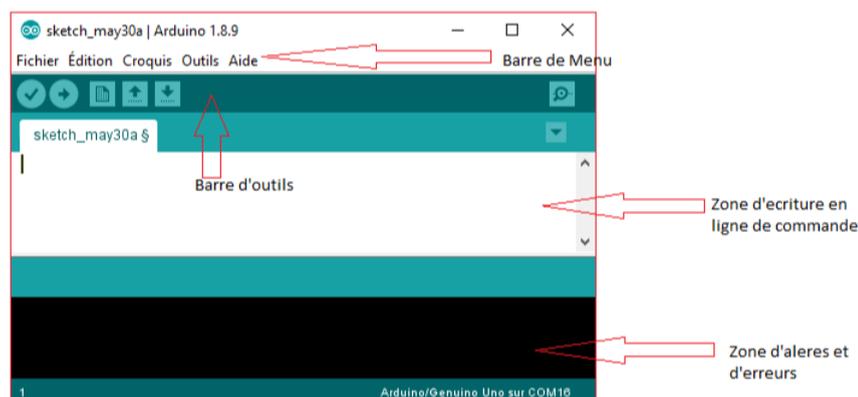


FIGURE II.9 – La fenêtre de logiciel Arduino

II.6 Dimensionnement et test des différents étages

II.6.1 Etude et rôle du convertisseur Buck synchrone

Presentation

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 RDS.

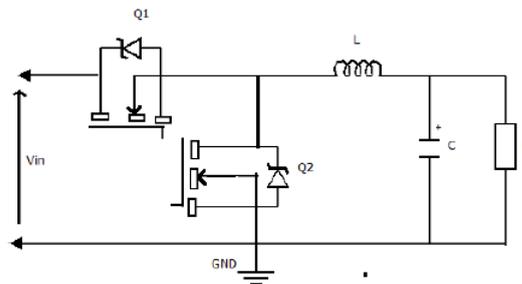


FIGURE II.10 – Convertisseur Buck synchrone

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.

II.6.2 Dimensionnement du convertisseur Buck synchrone

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[12].

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** :

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

★ **Calculer la valeur de la bobine L** :

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

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

Nous avons choisis une bobine de $33 \mu H$, elle devra supporter un courant supérieur à $5A$.

Calcul de la capacité du condensateur

Il était nécessaire de placer un condensateur 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 . Pour faire ce calcul [12] :

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

En prenant une marge, nous choisissons un condensateur électrolytique $220\mu F - 30$ Volts.

Choix du transistor MOSFET

Le composant essentiel d'un convertisseur abaisseur est le MOSFET. Les quelques paramètres de base pour le choix d'un MOSFET.

1. Tension nominale : V_{ds} de MOSFET doit être supérieure à 20% ou plus de la tension nominale.
2. Courant d'évaluation : i_{ds} de MOSFET doivent être supérieurs à 20 % ou plus que le courant nominal.
3. Résistance ON ($R_{ds(on)}$) : sélectionné un MOSFET à faible résistance ON.

4. Perte de conduction : Cela dépend du $R_{ds(on)}$ et du rapport cyclique. Conservez le minimum de perte de conduction.
5. 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...

Dans notre conception, nous avons choisi un transistor de type MOSFET. C'est un transistor utilisé dans le montage de forte puissance crée pour supporter des tensions élevées. Nous avons choisi le transistor IRFZ44N [3].

La figure (II.11) illustre le MOSFET à canal N (IRFZ44N) est choisi pour notre réalisation, il peut fonctionner avec des tensions V_{DS} jusqu'à 55 Volts , et des courant I_D jusqu'à 49 A.

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 faibles que les autres résistances du circuit).

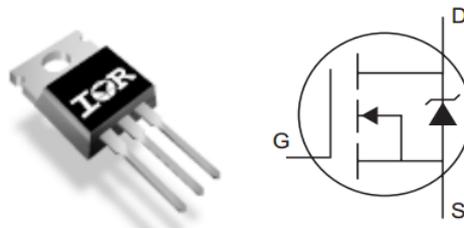


FIGURE II.11 – MOSFET à canal N (IRFZ44N)

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 de sortie numérique à faible courant pour piloter la gâchette du transistor. Nous avons choisi le driver IR2104.

Test du signal de commande du transistor MOSFE

- * Testez-le avec un code de programme dans logiciel **Arduino** ci-joint pour un transistor MOSFET. :

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

- * Testez-le avec un exemple de simulation dans logiciel **Proteus** ci-joint pour un transistor MOSFET. :

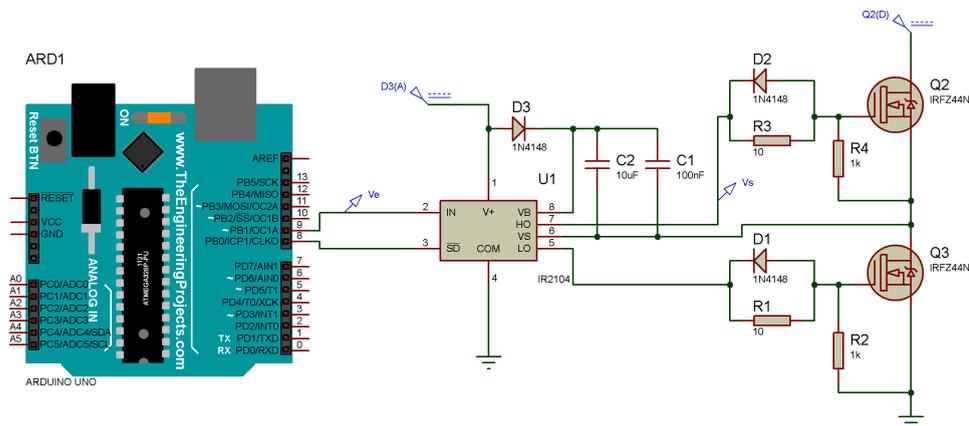


FIGURE II.12 – Schéma de liaison entre L'ARDUINO et le MOSFET

La figure (II.12) illustre le schéma de liaison entre L'ARDUINO et le transistor MOSFET et le driver IR2104 et le montage ci-dessus permet d'étudier la commutation d'un MOSFET.

L'Arduino délivre un signal carrée 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.

- * Le signale de MOSFET avec leur driver IR2104 :

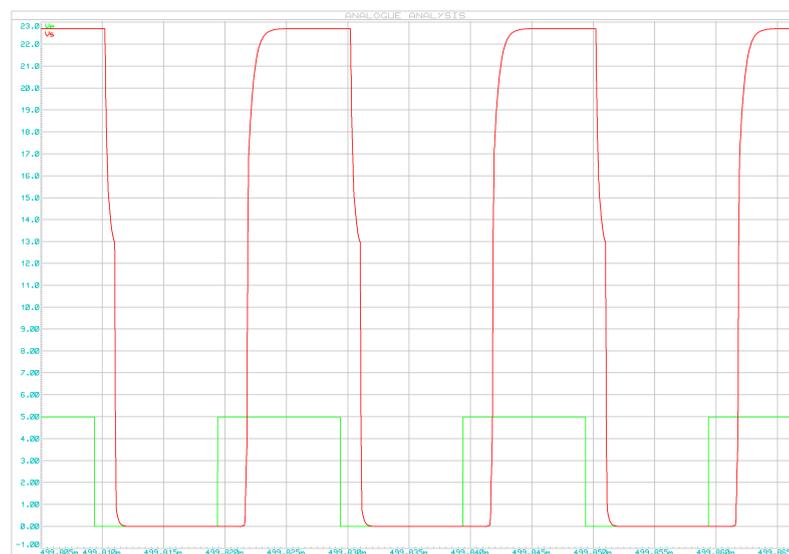


FIGURE II.13 – Signale d'un PWM et le MOSFT

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.

Nous choisissons pour le test 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. La commutation est satisfaisante pour cette fréquence.

Test du convertisseur Buck synchrone

- * Test avec un code de programme dans logiciel Arduino. **Arduino** :

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

- * Test avec un exemple de simulation dans logiciel **Proteus** pour un convertisseur Buck synchrone :

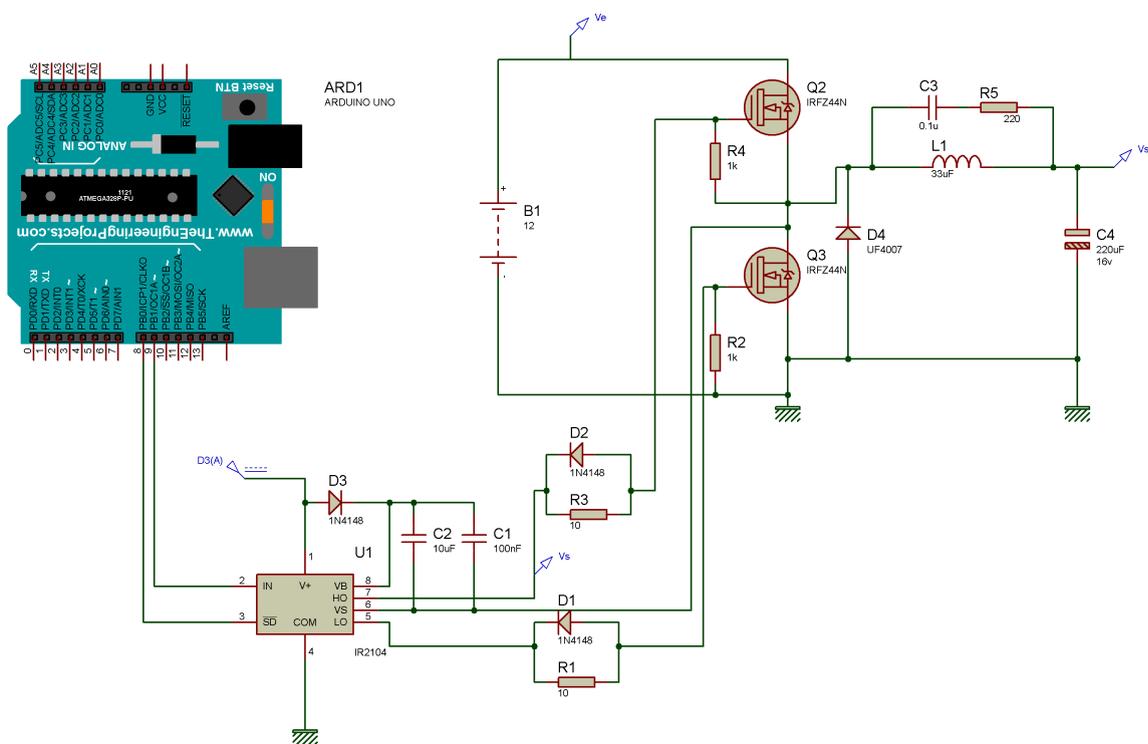


FIGURE II.14 – Schéma de liaison entre L'ARDUINO et le convertisseur Buck synchrone

La figure (II.14) 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 de MOSFET avec le driver IR2104 :

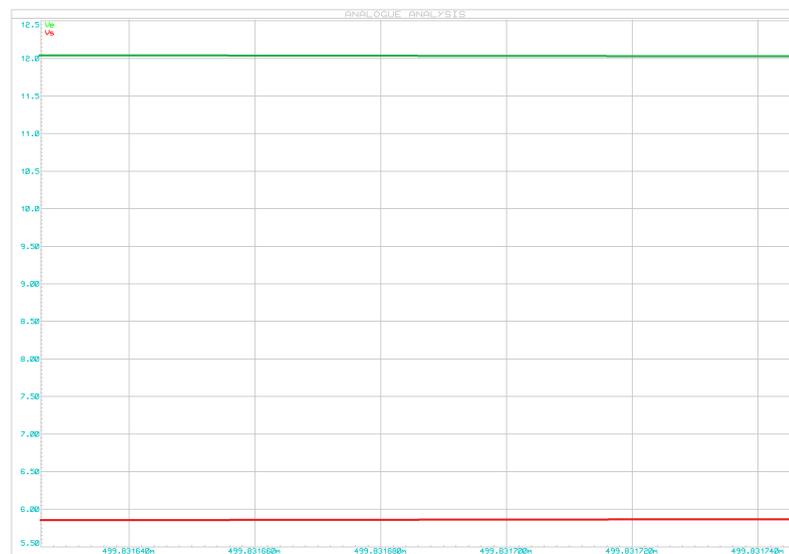


FIGURE II.15 – Signaux des tensions V_e et V_s du convertisseur

Nous avons dans la figure (II.15) deux signaux, 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. La sortie doit être continue et abaissé (convertisseur Buck avec rapport cyclique 50%).

II.6.3 Mesure de tension

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 entrés analogique de la carte Arduino (On ne doit pas dépasser pas 5 V).

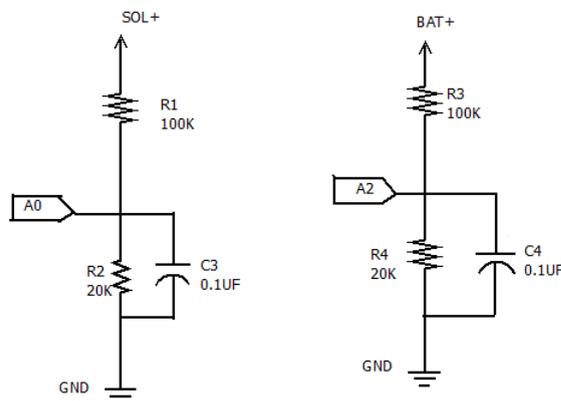


FIGURE II.16 – Diviseurs des tensions

Dimensionnement

Pour un circuit de diviseur de tension on calcule :

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

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

Test du diviseur de tension

- * Testez-le avec un code de programme dans logiciel **Arduino** ci-joint pour un diviseur de tension :

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

- * Testez-le avec un exemple de simulation dans logiciel **Proteus** ci-joint pour le diviseur de tension :

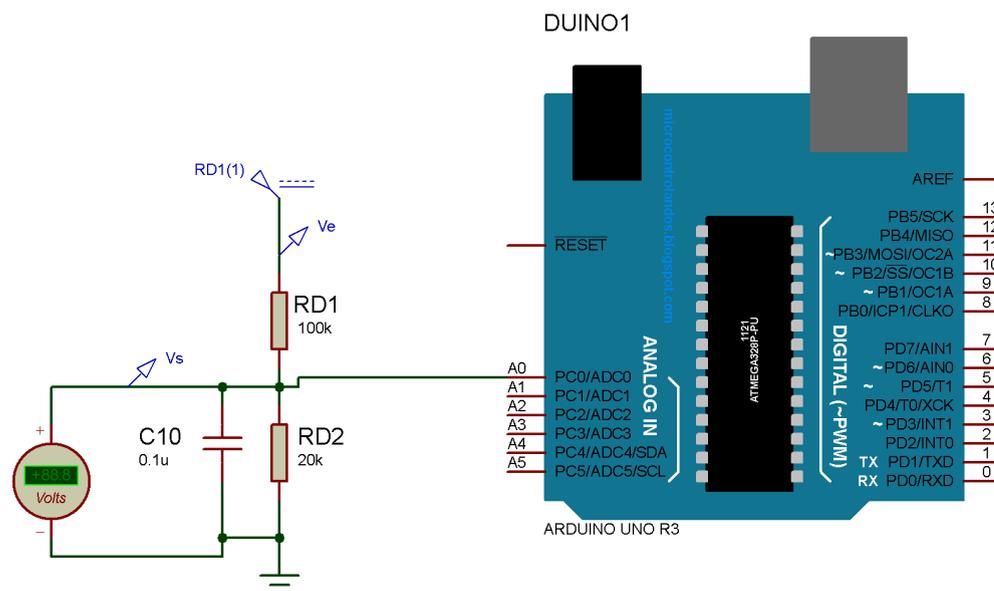
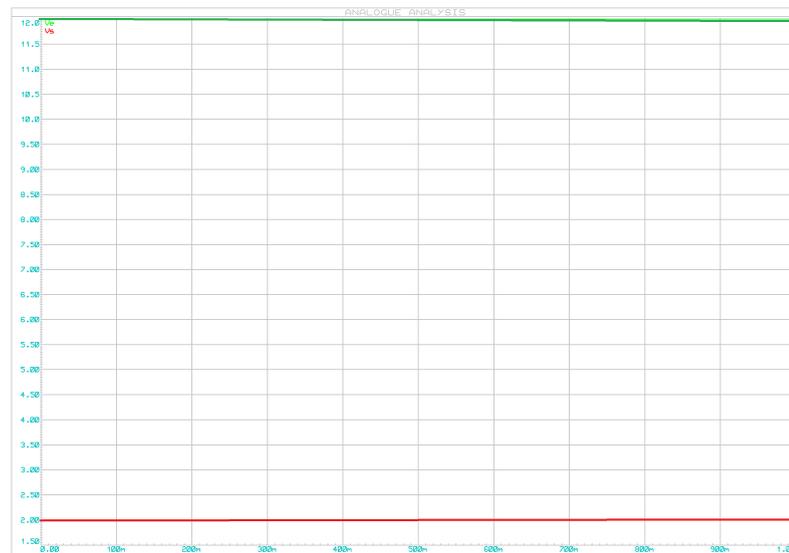


FIGURE II.17 – Schéma de liaison entre L'ARDUINO et le diviseur de tension

La figure (II.17) illustre le schéma de liaison entre l'ARDUINO et le diviseur de tension. Nous avons deux résistances $R_1 = 100K\Omega$ et $R_2 = 20K\Omega$. 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 . Le graphe de la tension de sortie est montrée sur la figure (II.18).

FIGURE II.18 – Signale des tensions V_e et V_s d'un diviseur de tension

II.6.4 Mesure de courant

Présentation du capteur de courant

Dans notre projet nous avons utilisé le capteur de courant ACS712ELCTR-05B-T représenté sur la figure (II.19). 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.



FIGURE II.19 – Capteur de courant ACS712

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

Le 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 $185mV/A$, le capteur peut mesurer des courants positifs et négatifs (plage $-5A$ à $5A$). 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.20).

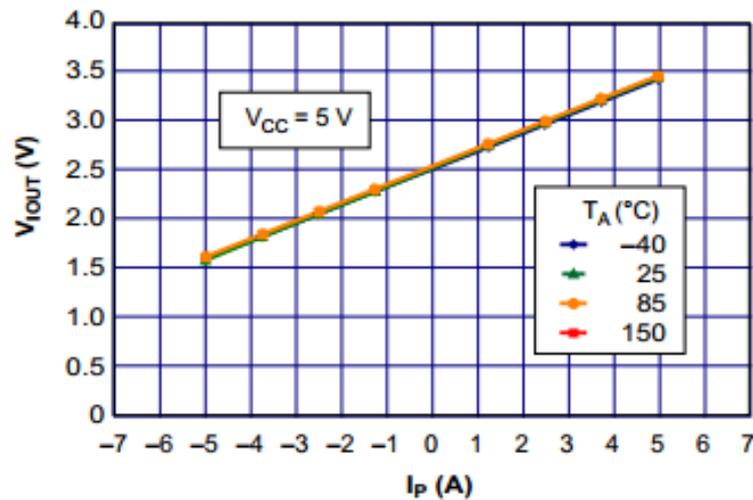


FIGURE II.20 – Caractéristique $V_{out} = f(I_p)$

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 [11] :

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

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} : Valeur de lecture analogique.

V_{out} : 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 :

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

Test du capteur ACS712 :

- * Testez-le avec un code de programme dans logiciel **Arduino** ci-joint pour un capteur ACS712 :

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

- * Test avec un exemple de simulation avec le logiciel **Proteus** :

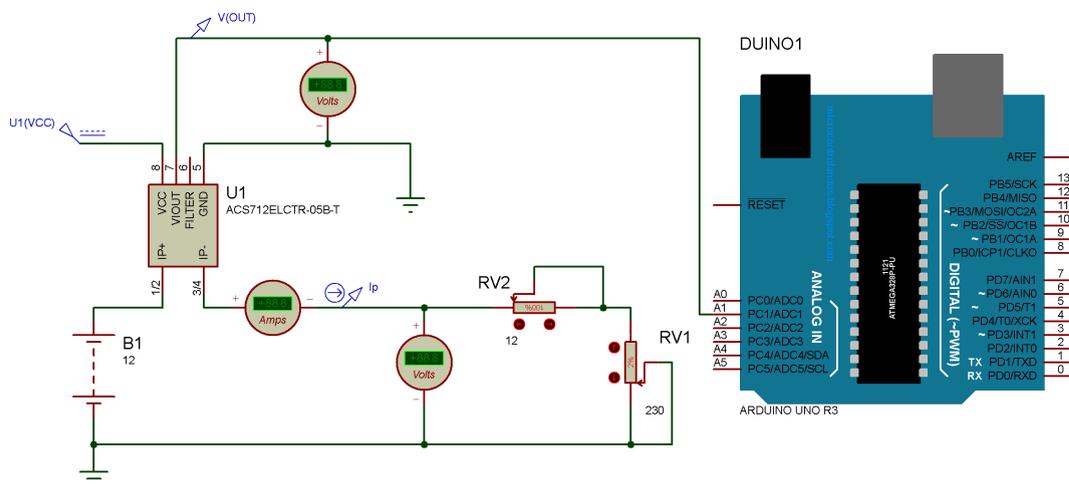


FIGURE II.21 – Schéma de liaison entre L'ARDUINO et le l'ACS712

La figure (II.22) illustre le schéma de liaison entre l'ARDUINO et le l'ACS712. Nous avons deux résistances variables, la première est fixée à 12Ω la valeur maximum, pour la seconde nous changeons la valeur de 0 à 230Ω 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.6.5 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 intermédiaire est de transformer les informations de Arduino vers LCD par liaison série/parallèle..

Le PCF8574 fournit une extension d'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.

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 labatterie et de la charge comme expiqué précédemment.

- * Test avec le code de programme situé dans l’Annexe C :
- * Test avec un exemple de simulation avec le logiciel Proteus :

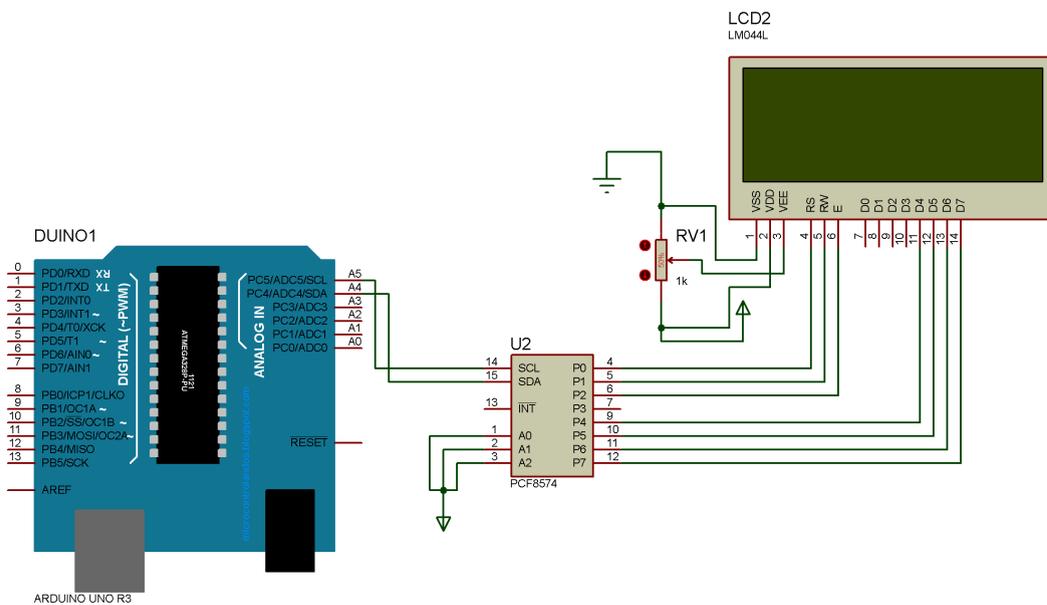


FIGURE II.22 – Schéma de liaison entre L’ARDUINO et LCD

La figure (II.22) 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 varie le rétro-éclairage de l’affichage LCD.

L’écran LCD affiche trois colonnes et quatre lignes , comme indiqué sur la figure (II.23).



FIGURE II.23 – Afficheur LCD

II.7 Test finale (simulation globale)

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

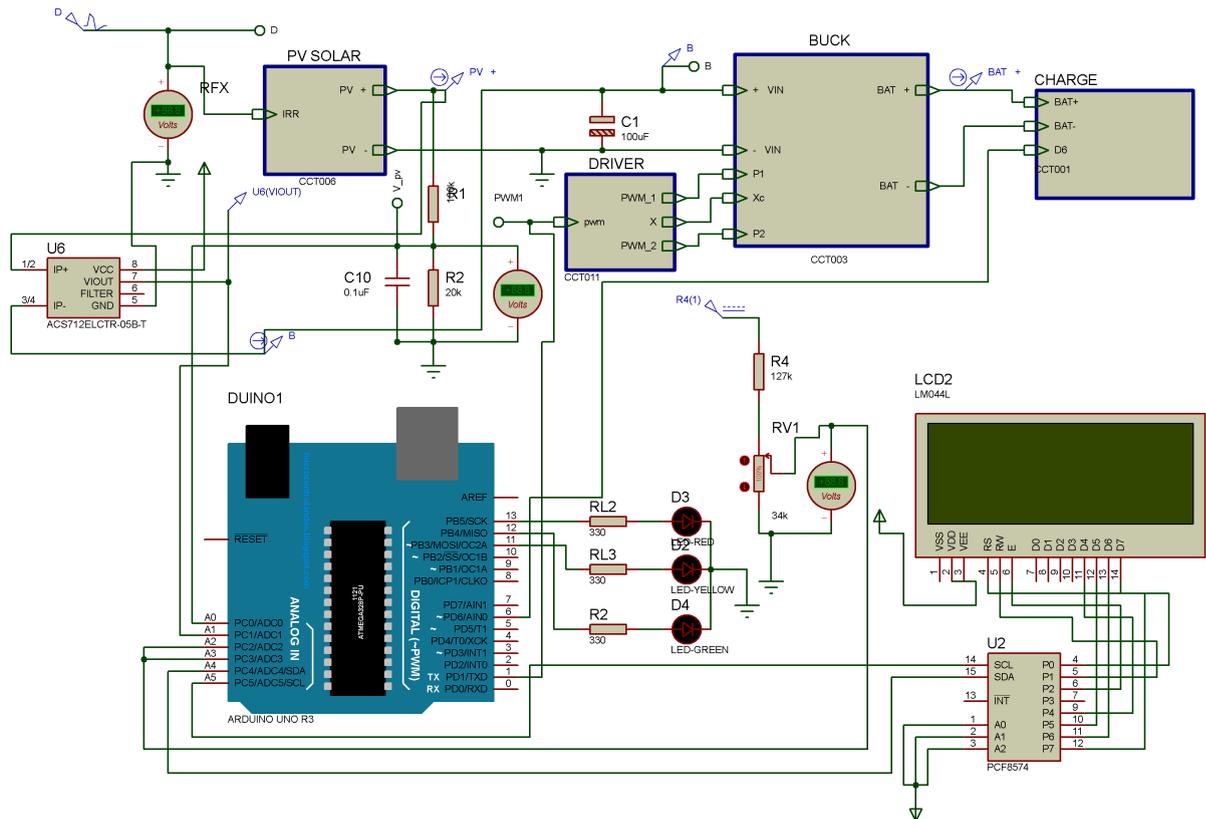


FIGURE II.24 – Schéma de liaison du système globale

Les résistances R4 et RV 1 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 :

- Chargé (100%) la LED vert est allumé est LCD est afficher comme la figure (II.25)

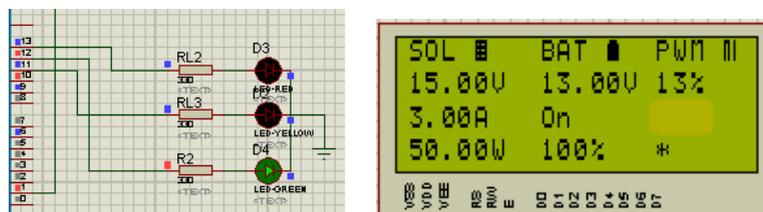


FIGURE II.25 – Batterie chargée à 100%

- Moyenne (50%) la LED jaune est allumée est LCD est affiché comme la figure (II.26)

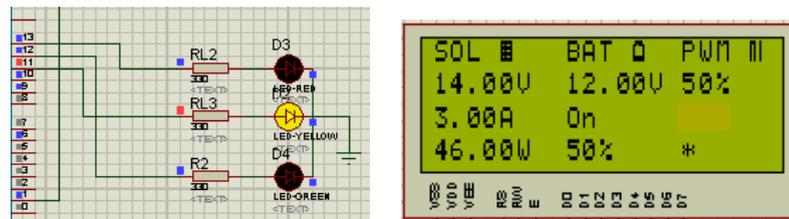


FIGURE II.26 – Batterie chargée à 50%

- Faible (20%) la LED grenat est allumée est LCD est affiché comme la figure (II.27)

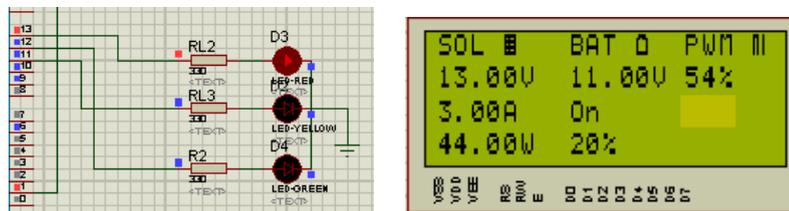
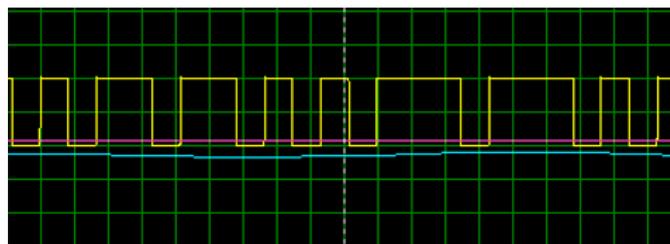


FIGURE II.27 – Batterie chargée à 20%

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.

* Le signale d'entrée et de sortie du notre système :

FIGURE II.28 – Les tensions V_e et V_s avec signal PWM

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

II.8 Conclusion

Au début de ce chapitre, nous avons présenté les conditions et exigence du cahier des charges, suivit par une présentation des différentes caractéristiques du modules photovoltaïque, enfin nous avons donné une exposé détaillé du fonctionnement du système à concevoir.

Le dimensionnement et les tests des différents étages ont été effectués, ce qui nous a permis de calibrer les étages de mesure et de valider les codes de programmation correspondants.

Le chapitre suivant sera consacré à la réalisation du chargeur solaire et à la présentation des résultats expérimentaux.

SOMMAIRE

III.1 INTRODUCTION	61
III.2 VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE DE DÉFERRENT ÉTAGE	61
III.2.1 Test du panneau solaire	61
III.2.2 Test du signal de commande du transistor MOSTEF	62
III.2.3 Test du convertisseur Buck synchrone	63
III.2.4 Test du diviseur de tension	65
III.2.5 Test du capteur ACS712	67
III.2.6 Test du l'afficheur LCD	68
III.2.7 Test du module WI-FI WEMOS D1 mini	68
III.3 RÉALISATION	72
III.3.1 Elaboration du typon	72
III.3.2 Photo de circuit imprimer	73
III.4 ESSAIS	75
III.4.1 Essais de Batterie sans panneau solaire :	75
III.4.2 Essais de Batterie avec panneau solaire :	77
III.4.3 Les courbes de Batterie de panneau solaire on ligne	80
III.5 CONCLUSION	84

III.1 Introduction

Dans les chapitres précédents, nous avons vu la description des composants nécessaires à la réalisation du présent projet, une description détaillée a été donnée sur les différents étages le constituant, puis des essais en simulation sous Proteus-Isis afin de valider les codes de programmation utilisés et calibrer les mesures de courant et de tension.

Dans ce chapitre, nous intéressons à l'étude expérimentale du système photovoltaïque constitué du panneau photovoltaïque de 80 W connecté au convertisseur statique piloté par la carte Arduino, et qui sert à charger la batterie de 12 V. Le système nous impose d'utiliser un convertisseur de type abaisseur pour diminuer la tension délivrée par le panneau.

Nous aborderons aussi la partie pratique qui repose notamment sur la conception du système de mesure de tension et de courant, la conversion analogique-numérique, l'afficheur LCD pour indiquer les états de la batterie, ainsi que l'intégration du module WEMOS D1 mini devant collecter et enregistrer les données sur un ordinateur.

La réalisation pratique concerne également la conception du typon et du circuit imprimé qui devra supporter les principaux composants. Enfin, quelques essais expérimentaux viendront valider le fonctionnement du chargeur réalisé.

III.2 Vérification expérimentale de différent étage

III.2.1 Test du panneau solaire

Lors du stage effectué à l'Unité de Recherche des Energies Renouvelables, situé à Adrar, nous avons utilisé un traceur des courbes $I = f(U)$ et $P = f(U)$ de type EKO Instruments MP-160, montré sur la figure (III.1) pour obtenir la caractérisation d'un panneau solaire de 50 W. Cet équipement permet de relever les caractéristiques d'un panneau photovoltaïque de manière précise et rapide.



FIGURE III.1 – Traceur de caractéristique de type EKO Instruments MP-160

La caractérisation obtenue pratiquement sous l'éclairement reçu par le panneau photovoltaïque était de $0.940179[kW/m^2]$ avec une température de $28^\circ C$. Les résultats expérimentaux fournis par le traceur EKO sont donnés par les caractéristiques $I = f(U)$ et $P = f(U)$ de la figure (III.2).

Ces caractéristiques ont permis de déterminer les différents paramètres du panneau, soit : $V_{mpp} = 13.866V$, $I_{mpp} = 3.5885A$, $P_{mpp} = 49.7586W$.

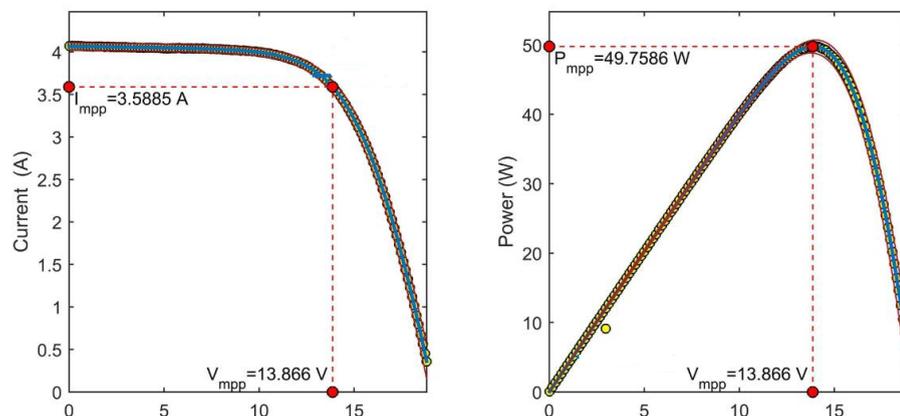


FIGURE III.2 – Caractéristiques $I = f(V)$ et $P = f(V)$ du panneau de puissance 50 W

III.2.2 Test du signal de commande du transistor MOSTEF

Nous avons réalisé le circuit montré sur la figure (III.3) pour vérifier la commutation du MOSFET, devant fournir un signal carré à partir du signal PWM généré.

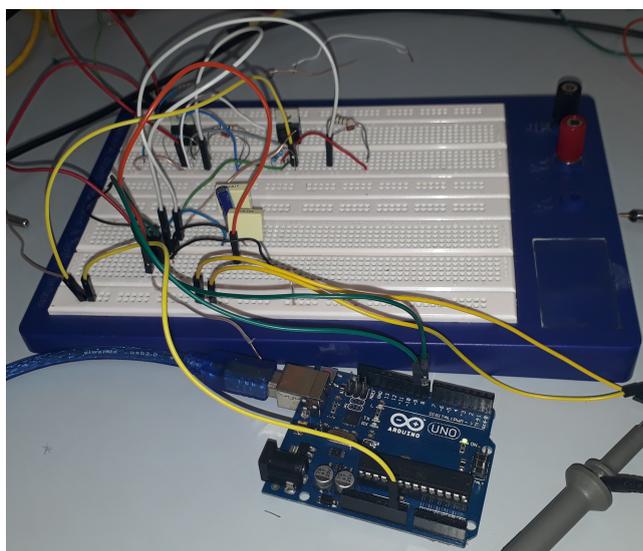


FIGURE III.3 – Circuit réalisé pour tester le transistor MOSFET

La figure (III.4) montre l'allure de la commande PWM de fréquence $50kHz$ et rapport cyclique de 50% pour piloté le MOSFET.

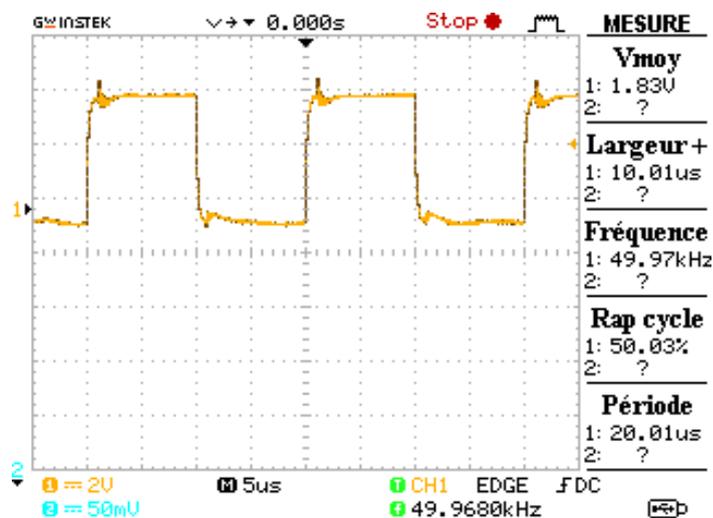


FIGURE III.4 – Signale de commande PWM

La figure (III.5) représente les signaux des grilles (Gate) des deux MOSFET(s), ces deux transistors fonctionnent donc bien de manière complémentaire, comme prévu dans le chapitre précédent.

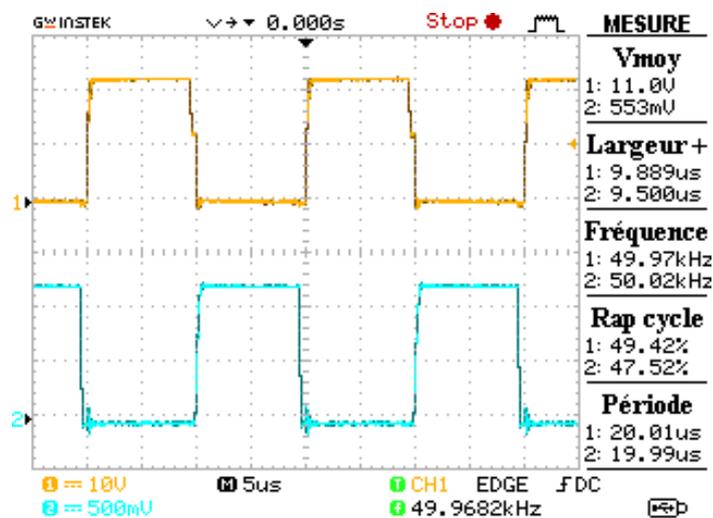


FIGURE III.5 – Signaux aux bornes des grilles des deux transistors MOSFET(s)

III.2.3 Test du convertisseur Buck synchrone

Nous avons réalisé le circuit de la figure (III.6) pour vérifier le fonctionnement du convertisseur BUCK synchrone.

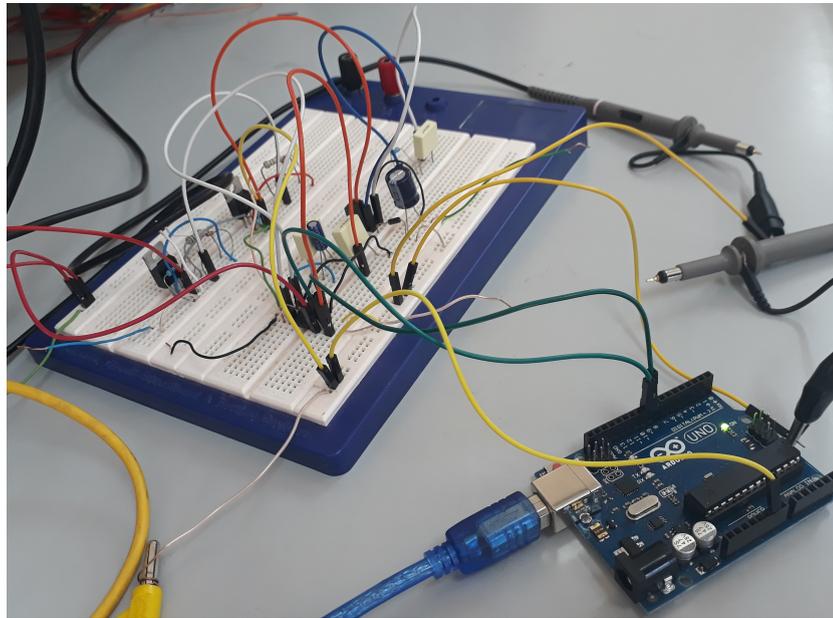
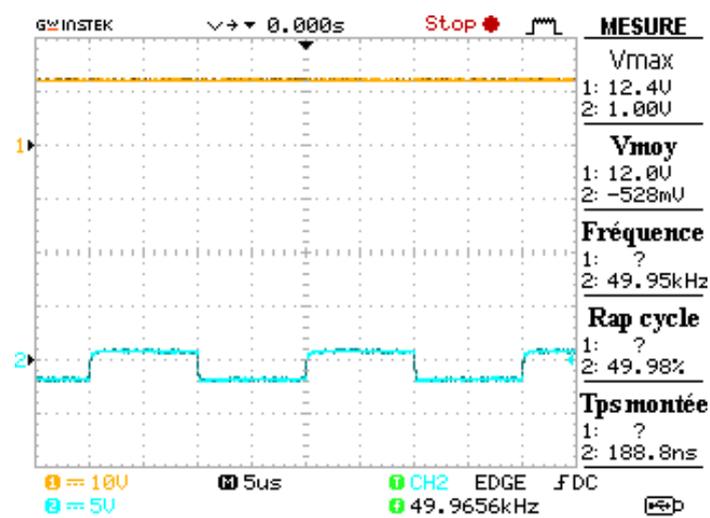
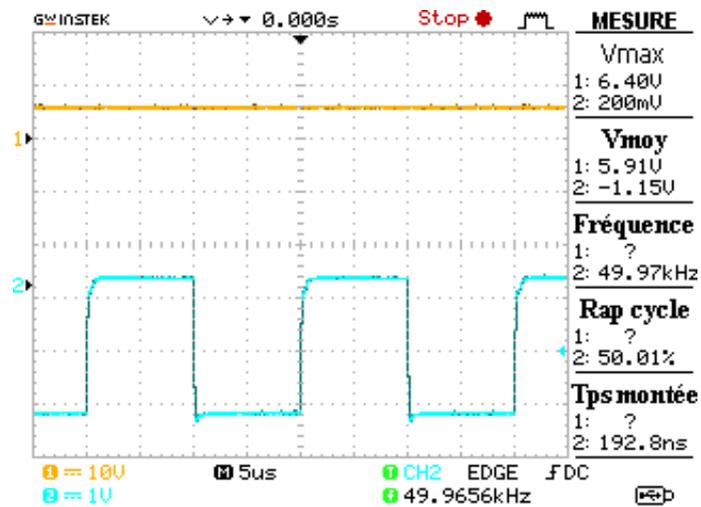


FIGURE III.6 – Circuit réaliser pour tester le convertisseur Buck synchrone

Nous remarquons, sur la figure (III.7), que la tension d'entrée du convertisseur BUCK est de valeur 12V et la tension de sortie de valeur 6 V avec un rapport cyclique de 50% sous la fréquence de 50 kHz. Donc le BUCK fonctionne correctement, il abaisse la tension d'entrée à 6 V comme illustré dans la figure (III.8).

FIGURE III.7 – Tension V_e d'entrée du convertisseur BUCK avec le signal PWM

FIGURE III.8 – Tension V_s de sortie du convertisseur BUCK avec signal PWM

III.2.4 Test du diviseur de tension

Pour la mesure de la tension disponible en sortie du panneau solaire et du convertisseur BUCK ,nous avons utilisé un diviseur de tension.

Nous avons donc réalisé le circuit représenté sur la figure (III.9) pour le tester.

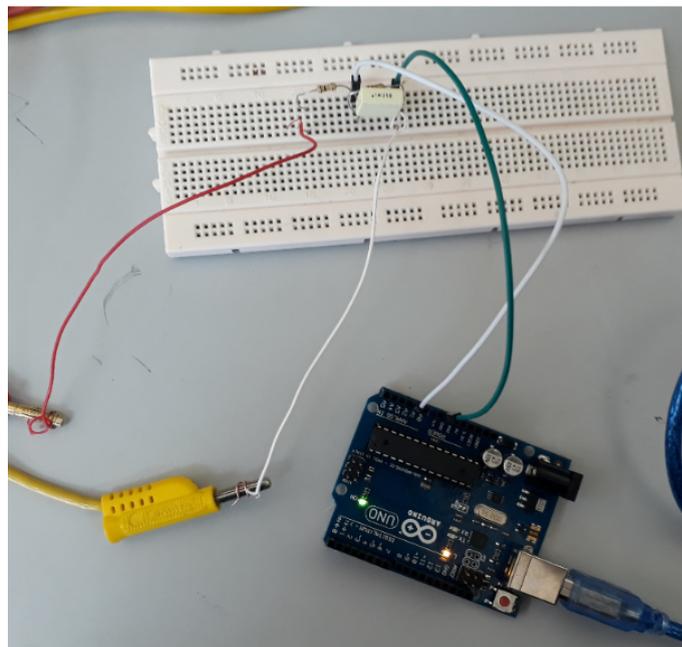


FIGURE III.9 – Circuit réaliser pour tester le diviseur de tension

* Test avec le moniteur série et variation de la tension d'alimentation.

Nous avons soumis le montage sous différentes valeurs de la tension d'alimentation :

1. Tension d'alimentation de 7 V :

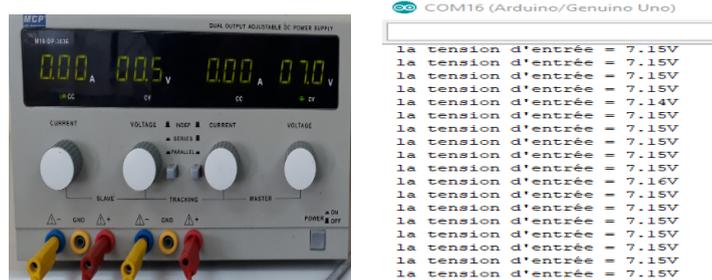


FIGURE III.10 – Tension d'alimentation de 7 V avec le moniteur série

2. Tension d'alimentation de 12 V :

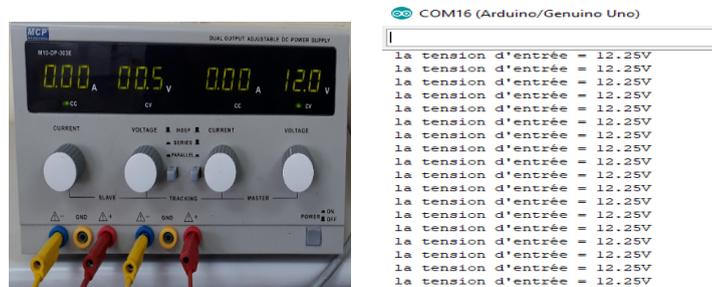


FIGURE III.11 – Tension d'alimentation de 12 V avec le moniteur série

3. Tension d'alimentation de 20 V :

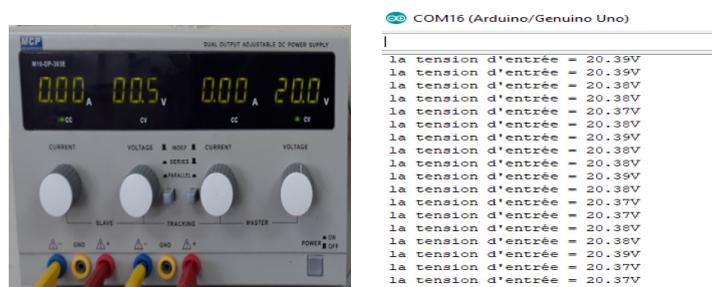


FIGURE III.12 – Tension d'alimentation de 20 V avec le moniteur série

III.2.5 Test du capteur ACS712

Nous avons réalisé un circuit figure (III.13).

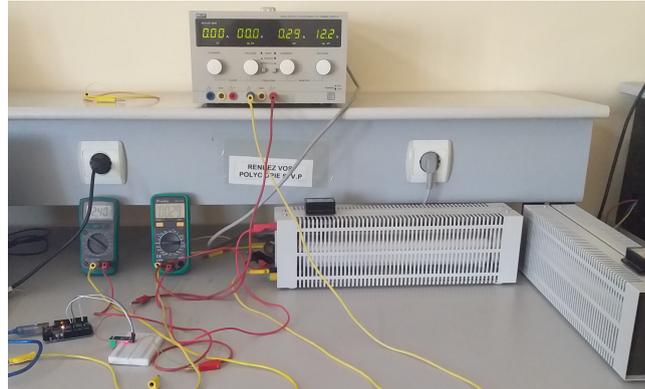


FIGURE III.13 – Circuit réaliser pour tester le capteur ACS712

La figure (III.14) montre un exemple de mesure effectuée par le capteur ACS712 ($I_P = 0A$ et $V_{out} = 2.5V$)



FIGURE III.14 – Mesures relevées sur les appareils de mesure pour V_{out} et I_P

La figure (III.15) montre trois intensités du courant I_p données par l'ampèremètre et



FIGURE III.15 – Trois intensités du courant I_p affichées par un ampèremètre

la figure (III.16) montre le valeurs des mesures correspondantes mesurées par le capteur ACS712 et affichées par le moniteur série.

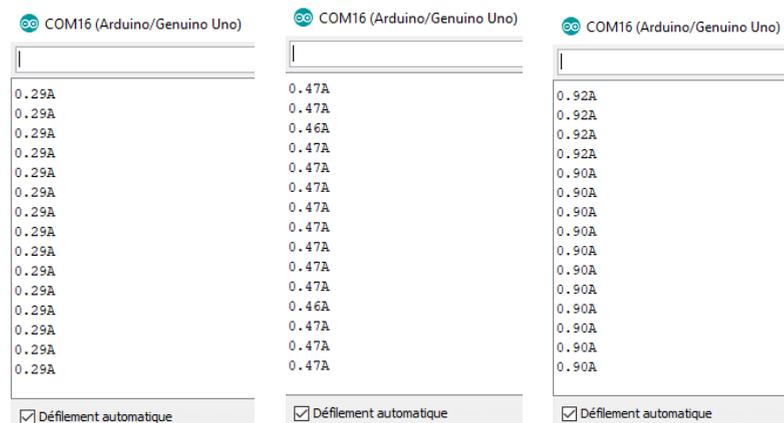


FIGURE III.16 – Trois intensités du courant I_p affichées par le moniteur série

III.2.6 Test du l'afficheur LCD

Pour afficher les informations de panneau solaire, de la batterie et de la commande PWM, un écran LCD de 20 colonnes et 4 lignes a été utilisé Figure (III.17).

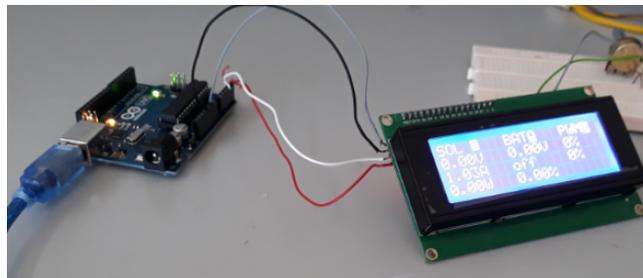


FIGURE III.17 – Circuit réaliser pour tester l'écran LCD

Pour pouvoir afficher les caractères sur un écran LCD, nous faut activer individuellement chaque pixel d'écran.

Pour varier éclairage de l'écran LCD, nous reions les broches des LED(s) dans i2c avec le potentiomètre.

III.2.7 Test du module WI-FI WEMOS D1 mini

III.2.7-a Présentation

WEMOS D1 mini est une petite carte qui utilise la puce ESP8266 Wi-Fi. Ce petit module permet aux microcontrôleurs de se connecter à un réseau Wi-Fi.



FIGURE III.18 – Wemos D1 mini

III.2.7-b Caractéristique

Les informations techniques données dans le tableau suivant :

TABLE III.1 – Caractéristique d'un WEMOS D1 mini

<i>Donnes</i>	<i>Valeur</i>
Tension de fonctionnement	3.3V
Broches d'E / S numériques	11
Broches d'entrée analogiques	1 (entrée maxi : 3.2V).
Vitesse de l'horloge	80MHz/160MHz
Flash	1M octets.
Longueur	34.2mm
Largeur	25.6mm
Poids	10g

III.2.7-c Exemple d'utilisation

Ce exemple est un guide qui explique comment créer un serveur Web autonome ESP8266 contrôlant l'humidité et la température. Ce serveur Web ESP8266 est réactif pour les mobiles et peut être consulté avec n'importe quel appareil doté d'un navigateur sur votre réseau local.

Code programme : Le code de ce programme est situé dans l'Annexe C. (Il est nécessaire de copier le code sur IDE d'Arduino, puis sur WEMOS D1.

Circuit de l'exemple : Un voyant est connecté à GPIO 4 (D2), puis GND et Vcc sont reliés au bornes GND et Vcc du capteur DHT11 selon la figure (III.19).

Ouvrir le moniteur série avec un débit en bauds de 9600.

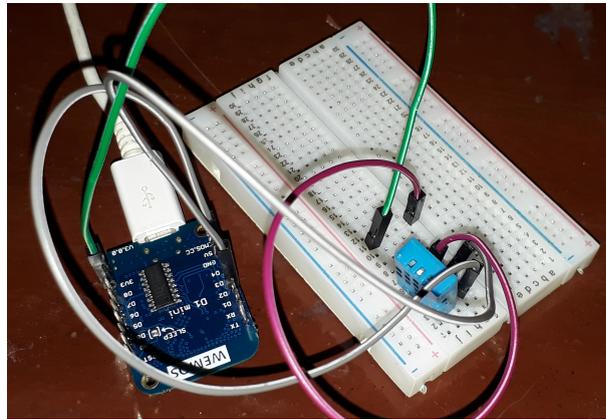


FIGURE III.19 – Circuit réalisé pour tester WeMos D1 mini

Recherche de l'adresse IP de l'ESP : Appuyer sur le bouton ESP8266 RESET pour afficher l'adresse IP de l'ESP sur le moniteur série.

```

Starting
..Mode: STA
PHY mode: N
Channel: 1
AP id: 0
Status: 5
Auto connect: 1
SSID (12): DJAWEB_40882
Passphrase (9): 138754104
BSSID set: 0

WiFi connected..!
Got IP: 192.168.1.6
HTTP server started

```

FIGURE III.20 – Affichage de l'adresse I_P dans moniteur série

Accéder au serveur Web : Ouvrir votre navigateur, taper l'adresse IP de l'ESP et on obtient alors la page suivante. Cette page est envoyée par l'ESP8266 lorsque l'on fait une requête sur l'adresse IP de l'ESP.

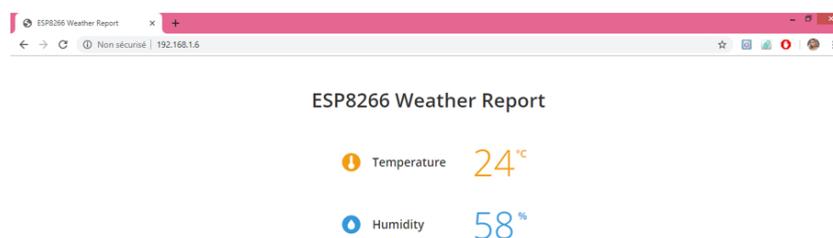


FIGURE III.21 – serveur Web

Les valeurs des température et l'humidité sous forme des courbes en ligne :
Aller sur le site <https://translate.google.com> pour créer un Channel que l'on appelle (la mesure) comme illustre la figure (III.22).

La mesure

Channel ID: **797055**
Author: **mostefaoui95**
Access: Private

Mesure de la température et de l'humidité à l'aide
du capteur DHT11
wemos, dht11, humidité

FIGURE III.22 – Paramètre du Channel

Cliquez sur API Keys pour à extraire la clé API figure (III.23), copiers cette clé et Channel ID dans le code programme, puis téléverser le programme dans le module WIFI WEMOS.

Écrire une clé API

clé

FIGURE III.23 – Clé API

Enfin, on obtient les variations de la température et l'humidité afin de tracer en ligne les courbes comme illustre la figure (III.24).

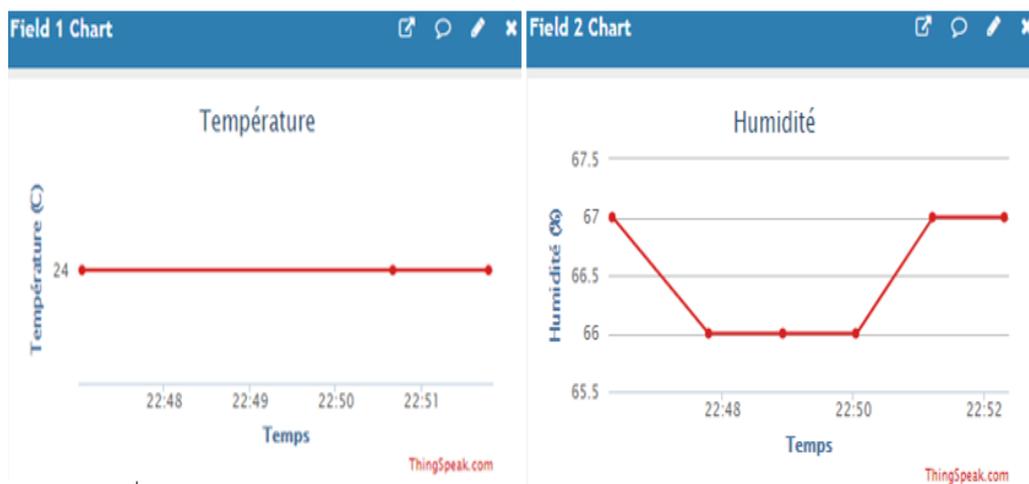


FIGURE III.24 – Les valeurs de la Température et l'Humidité sou forme graphique

III.3 Réalisation

III.3.1 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.3.1-a Typon côté piste

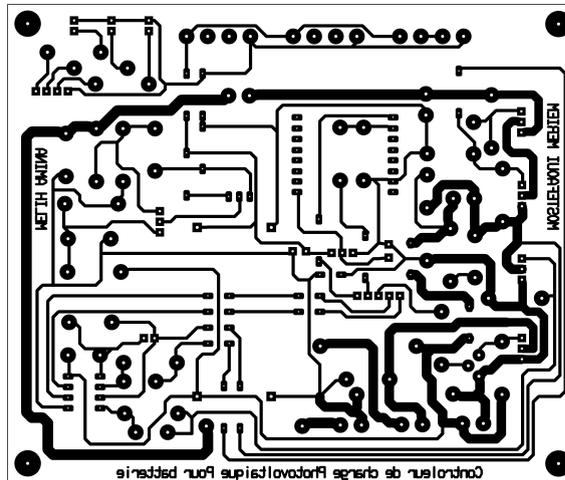


FIGURE III.25 – Typon côté piste

III.3.1-b Typon côté composants

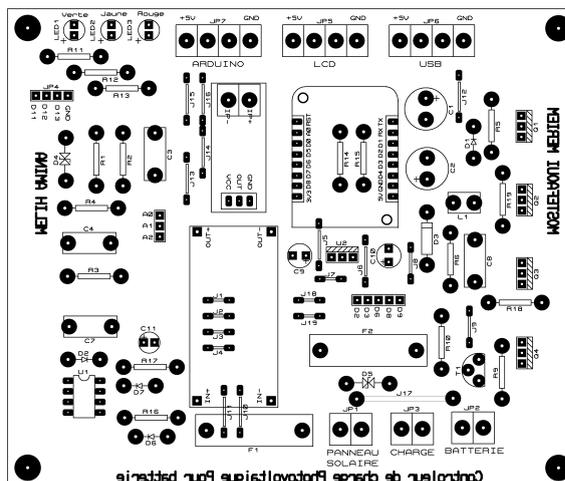


FIGURE III.26 – Typon côté composants

III.3.2 Photo de circuit imprimer

III.3.2-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.

Finalement, le circuit imprimé est prêt comme illustre dans la figure (III.27).

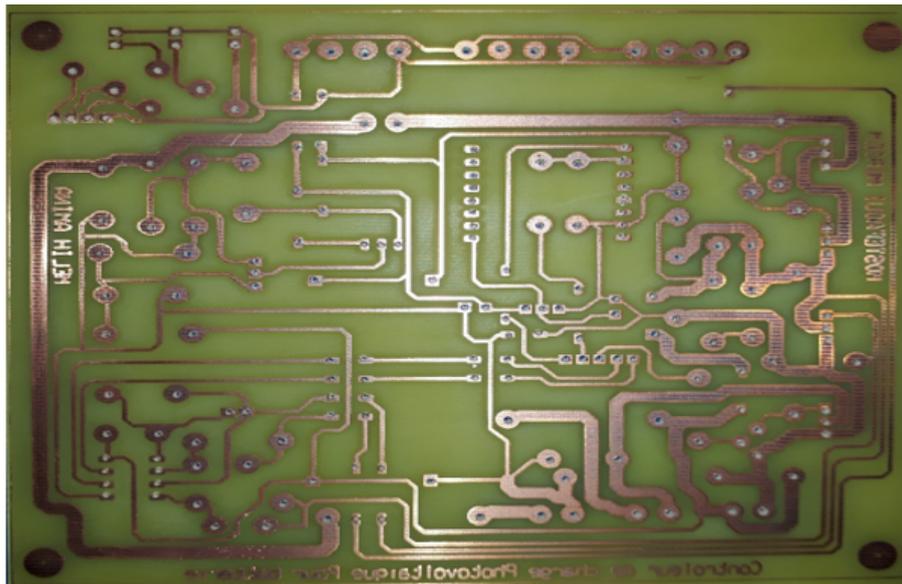


FIGURE III.27 – Circuit imprimé avant la soudure des composants

III.3.2-b Après soudeur

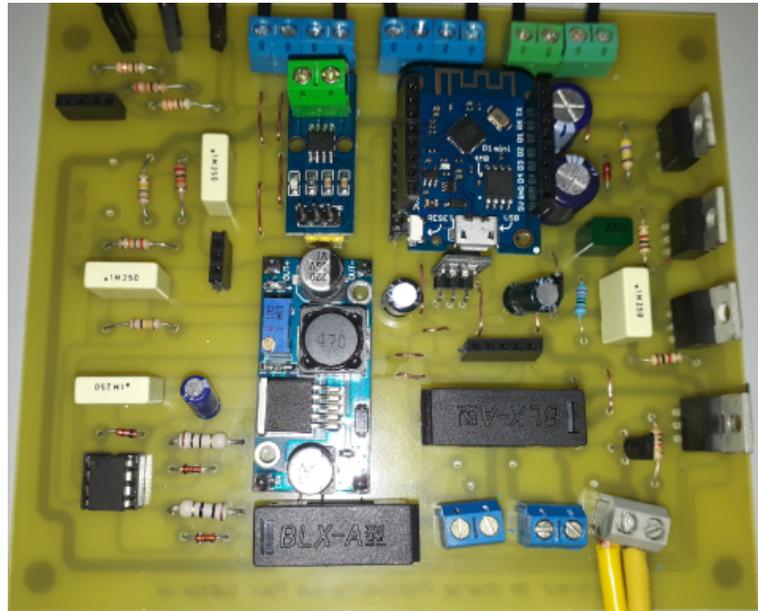


FIGURE III.28 – Circuit imprimé après la soudure des composants

III.3.2-c Photo de circuit imprimé finale

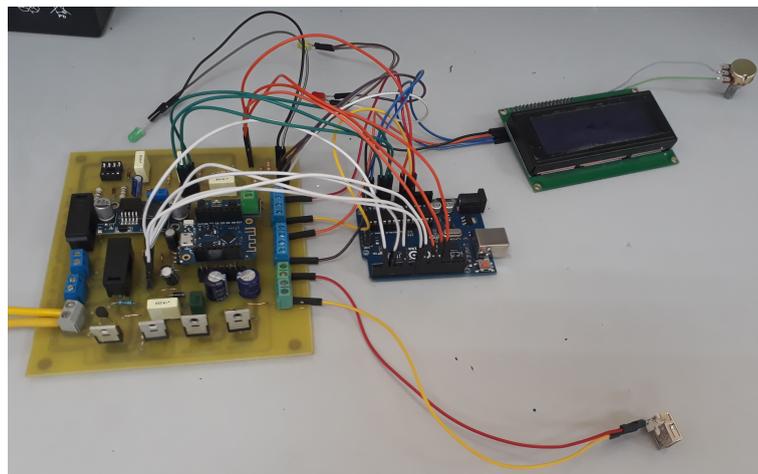


FIGURE III.29 – Circuit imprimé sous sa forme finale

III.4 Essais

III.4.1 Essais de Batterie sans panneau solaire :

III.4.1-a Charger un téléphone portable :

Nous avons réalisés un circuit figure (III.30) pour charger un téléphone portable à l'aide de la batterie de 12 V.



FIGURE III.30 – Circuit réalisé pour charger un téléphone portable

La figure (III.31) montre l'état du batterie. La LED verte est allumée, donc la batterie est chargée. La tension de la batterie est de 12.54 V et le SOC de 80 % ces donné afficher par l'écran LCD.

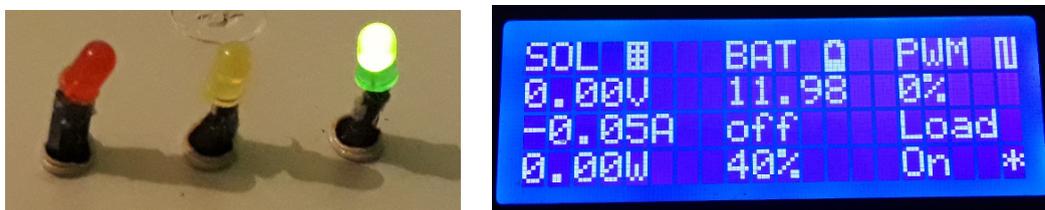


FIGURE III.31 – Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED vert

III.4.1-b Alimentation d'une Lampe de 55W :

Nous avons réalisé un circuit figure (III.32) pour allumer une Lampe de 55 W.



FIGURE III.32 – Circuit réalisé pour allumé une Lampe de 55W

La batterie est passe par trois états lorsque la Lampe est alimenté. Les trois états du batterie sont situé par la suite :

* États faible de la batterie :

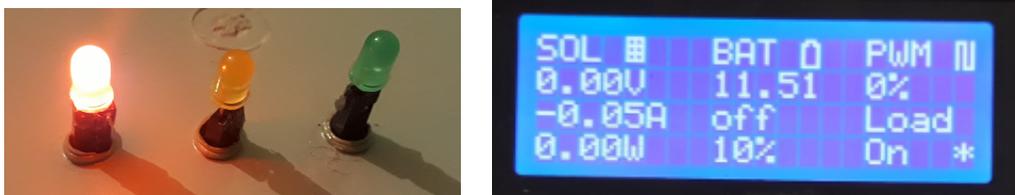


FIGURE III.33 – Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED rouge

- États moyenne de la batterie :



FIGURE III.34 – Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED jaune

- États charge de la batterie :



FIGURE III.35 – Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED vert

Les figures (III.33), (III.34), (III.35) montrent les indicateurs de tension de la batterie en allumant le voyant correspondant :

- La tension de la batterie est 11.51V, la LED rouge est allumée.
- La tension de la batterie est 12.42V, la LED jaune est allumée.
- La tension de la batterie est 12.80V, la LED rouge est allumée.

III.4.2 Essais de Batterie avec panneau solaire :

III.4.2-a Faible éclaircissement

Nous mettons le panneau en face au soleil, il est connectés en parallèle aux voltmètre, puis nous lisons la valeur de la tension. Cette tension est mesurée à vide et de valeur de 21.2V comme illustré dans la figure (III.36) :



FIGURE III.36 – Tension d'un panneau solaire a vide

Nous avons réalisés un circuit figure (III.37) pour allumer la lampe et charger la batterie.



FIGURE III.37 – Circuit réalisé pour allumer la lampe et charger la batterie

Nous utilisons un panneau solaire de 80W relié en série avec un ampèremètre pour obtenir le courant du PV et en parallèle avec le voltmètre pour lire la tension du PV et aussi nous utilisons un autre Ampèremètre pour observer le courant de charge, les figures (III.38),(III.39).



FIGURE III.38 – Tension et courant d'un panneau solaire en charge



FIGURE III.39 – Circuit de charge avec le courant de charge

Nous avons trois étapes consiste à définir les indicateurs de tension de la batterie en allumant le voyant correspondant. Nous utilisons un écran LCD qui affiche les données de batterie et de PV :

- Etats faible du batterie : LED rouge s'allume lorsque la batterie est chargé 20% (états faible) et la tension de batterie est égale 11.63V, figure(III.40).



FIGURE III.40 – Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED rouge

- Etats moyenne du batterie : LED jaune s'allume lorsque la batterie est chargé 60% (états moyenne) et la tension de batterie est égale 12.25V, figure(III.41).



FIGURE III.41 – Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED jaune

- Etats charge du batterie : LED vert s'allume lorsque la batterie est chargé 90% (états chargé) et la tension de batterie est égale 12.69V, figure(III.42).



FIGURE III.42 – Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED vert

La puissance de PV fournie est très faible (temps nuageux), l'état de charge est réglé sur Off, le pilote MoSFET est activé et le taux PWM est défini sur 0%.

S'il fait nuageux et que le niveau de tension de la batterie est supérieur au seuil de 11.96V, la batterie fournit son énergie à la charge pour alimenter la lampe de 55W.

III.4.2-b Forte éclaircement

La figure (III.43) donne la valeur de tension et de courant de panneau solaire, le courant est de $2.2A$ et la tension est de $20.2V$.



FIGURE III.43 – Tension et courant de panneau solaire

Le niveau de tension de la batterie est supérieur à $12.53V$, la LED vert est allumée comme illustre dans la figure (III.44).

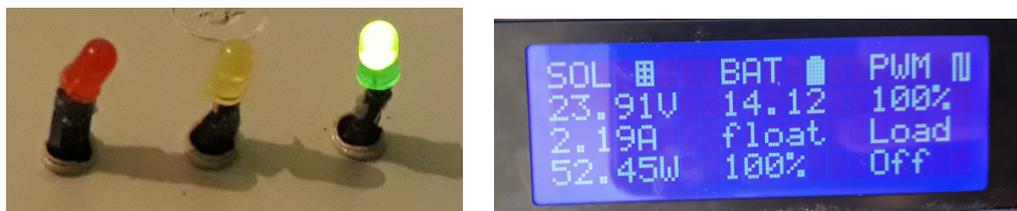


FIGURE III.44 – Informations affichées sur l'écran LCD avec l'indication de la LED vert

La puissance de panneau solaire fournie est moyenne à élevée et que le niveau de la batterie est complètement chargé, l'état de charge est défini sur Float, le pilote MOSFET est active et le taux PWM est défini sur Maximum 100% dans ce cas.

S'il fait ensoleillement et que le niveau de tension de la batterie est supérieur au seuil de $11.96V$, cette fois, la charge est alimentée par la batterie et par l'énergie excédentaire fournie par le panneau solaire.

III.4.3 Les courbes de Batterie de panneau solaire on ligne

III.4.3-a Courbe de la tension de batterie :

Nous avons créée une chaîne sur le site *ThingSpeak.com*, les étapes de création de une chaîne est démontré dans la figure (III.45).

Identifiant de chaîne: 784397 | MESURE TENSION DU BATTERIE
Auteur: mostefaoui95
Accès: privé

Vue privée Vue publique Paramètres de la chaîne Partage Clés API

Paramètres de la chaîne

Pourcentage achevé 50%

Identifiant de la chaîne 784397

prénom Batterie

La description MESURE TENSION DU BATTERIE

Champ 1 tension de batterie

L
c
P
c
le
F

FIGURE III.45 – Paramètre de la chaîne

Après la création de la chaîne, nous copions la clé API figure (III.46) et le nombre de identifiant de la chaîne (ID) dans mon code de programme.

Vue privée Vue publique Paramètres de la chaîne Partage Clés API

Écrire une clé API

Clé W0J779PYG32DNMGR

Générer une nouvelle clé API d'écriture

FIGURE III.46 – Clé API

Puis nous téléversons le programme et ouvrons le moniteur série pour voir l'adresse IP et la variation de tension de la batterie en fonction de temps comme illustre dans la figure (III.47).

III.4.3-b Courbe de la tension de panneau solaire :

Nous faisons les mêmes étapes pour le panneau solaire, les valeurs de tension de panneau solaire est affiché sur le moniteur figure série (III.49).

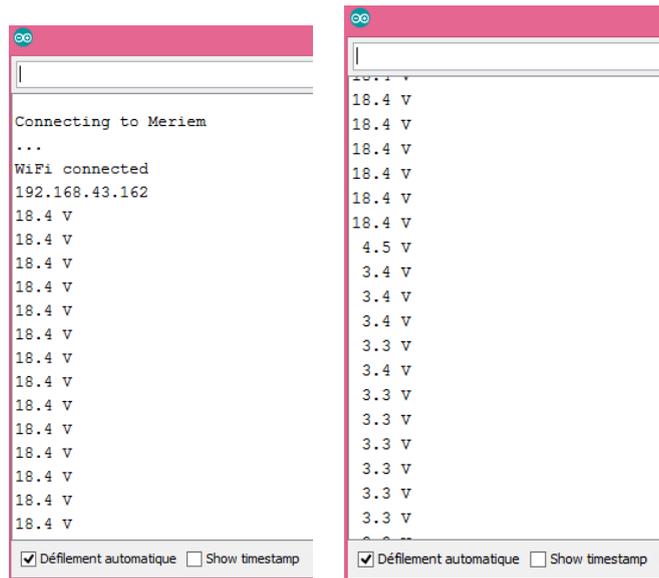


FIGURE III.49 – Tensions de batterie affiché sur moniteur série

Puis nous affichons ces tensions sous forme de courbe sur site *ThingSpeak.com* comme illustre dans la figure (III.50). Lorsque nous mettons un couvercle sur le panneau solaire, la tension de panneau solaire est diminuée de 18.4V à 3.3V.

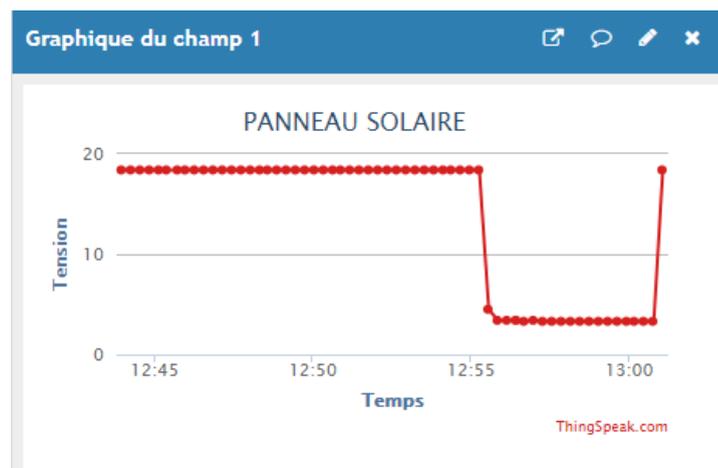


FIGURE III.50 – Courbe de tension de panneau solaire

III.5 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, Nous avons fait un vérification expérimentale du fonctionnement des différents étages et nous avons trouvé les mêmes résultats en simulations.

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

Plusieurs essais ont été effectuée montrant lefficacité du chargeur solaire conçu. De même, une liaison sans fil WIFI a été établi permettant la collecte d'information concernant le panneau solaire et la batterie.

Donc en conclusion, les objectifs du projet ont été atteint avec succès.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail à consisté à réalisé un contrôleur de charge pour batterie à partir d'un panneau solaire et en utilisant un convertisseur BUCK à base d'une commande MPPT et piloté par une carte Arduino. Ce projet constitue trois chapitres :

Dans Le premier chapitre, nous avons donné le principe de la conversion photovoltaïque et le principe de cellule photovoltaïque. Puis nous avons présenté les différents types de cellule photovoltaïque et les deux modélisations usuellement utilisées (le modèle à une diode et le modèle à deux diodes). Puis nous avons montré et commenté les caractéristiques courant-tension et puissance-tension d'un panneau solaire, ainsi que l'influence de l'ensoleillement et température sur ces caractéristiques.

La recherche du fonctionnement optimum d'un générateur photovoltaïque, nous a amené à définir les algorithmes MPPT associés que associe habituellement à un convertisseur statique qui joue le rôle d'étages de l'adaptation.

Nous avons privilégié l'algorithme MPPT dit "Perturbe-Observe" pour la recherche du point de puissance maximal du générateur photovoltaïque. Puis, nous avons étudié le stockage par batterie d'accumulateur, et les architectures des systèmes photovoltaïques, soient : installation PV isolée du réseau, Installation PV raccordée au réseau.

Le deuxième chapitre, nous avons présenté le cahier des charges du présent projet et aussi le schéma global avec la description du fonctionnement. Après une brève description de la carte Arduino, 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 est consacré à la validation expérimentale des différents étage et à la versification du fonctionnement global. Un exemple de liaison sans fils WIFI a été testé avec le module WEMOS afin de collecter les informations concernant la température et humidité dans un lieu quelconque.

Finalement, après avoir réalisé un circuit imprimé et implanter les composants par sou-

dure, nous avons effectuer quelques essais avec ensoleillement faible et fort, avec batterie ou sans. Les résultats expérimentaux nous ont permit de montrer que le chargeur solaire conçu repond de manière satisfaisante au cahier des charges imposé.

Test de la biblio Test de bibliographie

Bibliographie

- [1] *Les différentes générations de cellules photovoltaïques*. Rébecca Bou Anna Brochier Diane Pavat Mylène Robin.
- [2] *Master Energétique et Environnement : TP Energie Solaire*.
- [3] *Chargeur de Batterie par Panneaux Solaires*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Licence SDI EEA Ingénierie Electrique, Université Paul Sabatier, 2009 - 2010.
- [4] *L'évolution des régulateurs de charges solaires photovoltaïques*. Électricité hors construction, juin-juillet-août 2011.
- [5] 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.
- [6] A. Abid 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 Belkaïd de Tlemcen, 2016 - 2017.
- [7] A. BELKAID : *Conception et implémentation d'une commande MPPT de haute performance pour une chaîne de conversion photovoltaïque autonome*. Thèse présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat, Université Ferhat Abbas - Setif 1 Ufas(Algérie), 19/10/2015.
- [8] A. Aouchiche 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.
- [9] M.Boukli-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 Belkaïd-Tlemcen, DECEMBRE 2011.
- [10] E.Kechar 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.
- [11] 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.

-
- [12] 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.
- [13] M. Boudehouche M. OUENNOUGHI : *Gestion d'un système photovoltaïque avec stockage*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université Abderahmane Mira De Bejaïa, 2015-2016.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] B.Bouderhem 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 bou Bekr Belkaid de Tlemcen, 01/06/2017.
- [19] Z.BENDJELLOULI : *Contribution à la modélisation d'une cellule solaire*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université BECHAR, 28 / 06 / 2009.

Annexe A : Panneau solaire

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.]

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

I-V Curves

I-V Curves of PV module SY-M80W Cell Temp:25°C

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

FIGURE 51 – Fiche technique d'un panneau solaire de 80 w

Caractéristique du PV 80 W

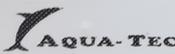
 AQUATEC BIOTECHNOLOGIE Biotechnologie	
PV Module Electricity Performance Parameter	
Model:	SY-M80W
Cell type:	High quality efficiency polycrystalline cell
Glass type:	Tempered Glass
Maximum Power (Pmax)	80W
Voltage at Pmax (Vmp)	17.6V
Current at Pmax (Imp)	4.56A
Open-circuit voltage (Voc)	22.0V
Short 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 52 – Caractéristique d'un panneau solaire de 80 w

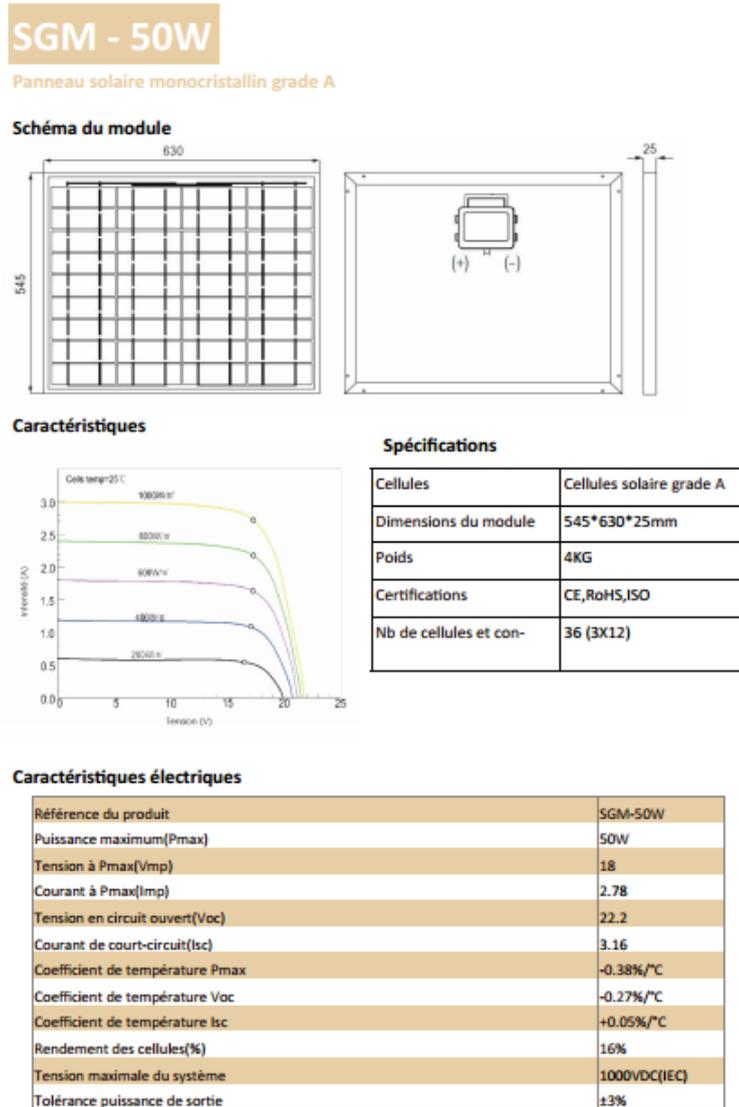
Caractéristique du PV 50 W

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 53 – Caractéristique d'un panneau solaire de 50 w

Panneau solaire 50 W

Fiche technique



ASE ENERGY // 43 Bd de la fédération, 13004 Marseille, France // www.ase-energy.com // contact@ase-energy.com

FIGURE 54 – Fiche technique d'un panneau solaire de 50 w

Annexe B : Composant

MOSFET(IRFZ44N)

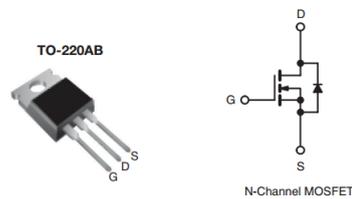


FIGURE 55 – MOSFET à canal N (IRFZ44N)

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

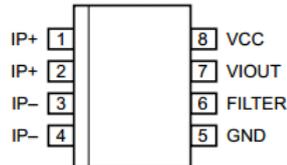
<p>8 Lead PDIP</p> <p>IR2104</p>	<p>8 Lead SOIC</p> <p>IR2104S</p>
---	--

FIGURE 56 – 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 57 – 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 58 – Performance caractéristiques (x05B)

(C)

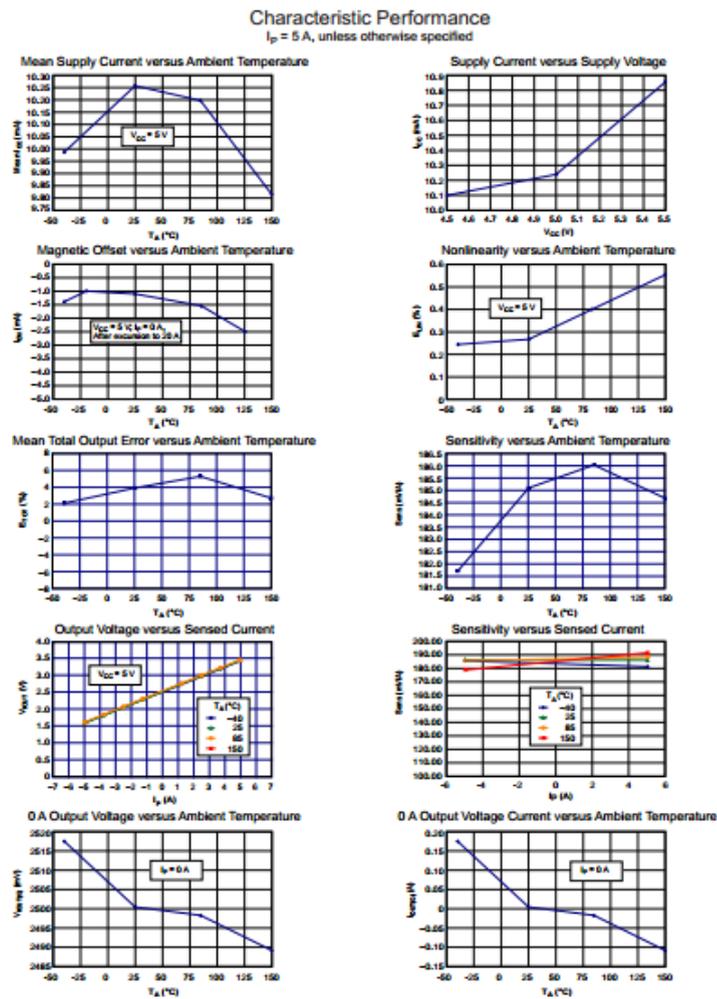


FIGURE 59 – Performance caractéristique $I_P = 5\text{ A}$

(D)

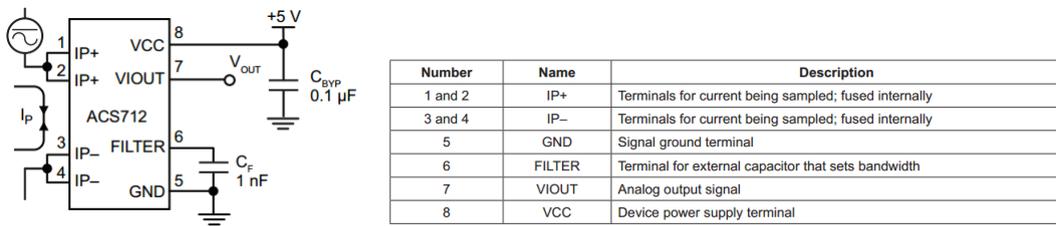


FIGURE 60 – Application typique et Tableau de liste des terminaux

.1 Module Wifi ESP8266

.1.1 WEMOS D1 MINI

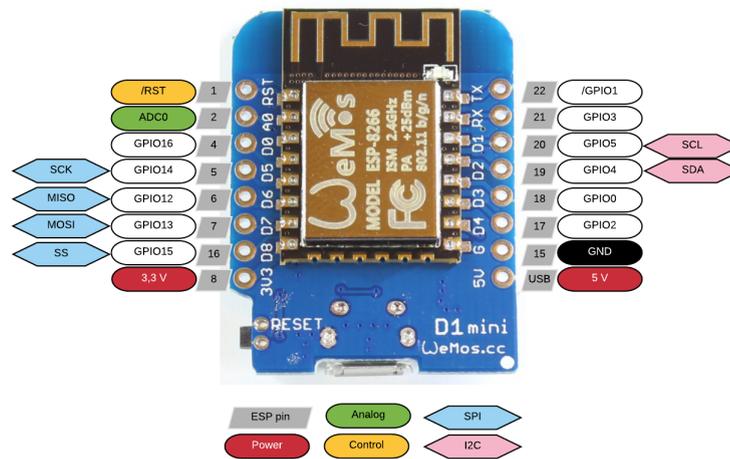


FIGURE 61 – WEMOS D1 MINI

.1.2 Schéma structurale d'un module WEMOS

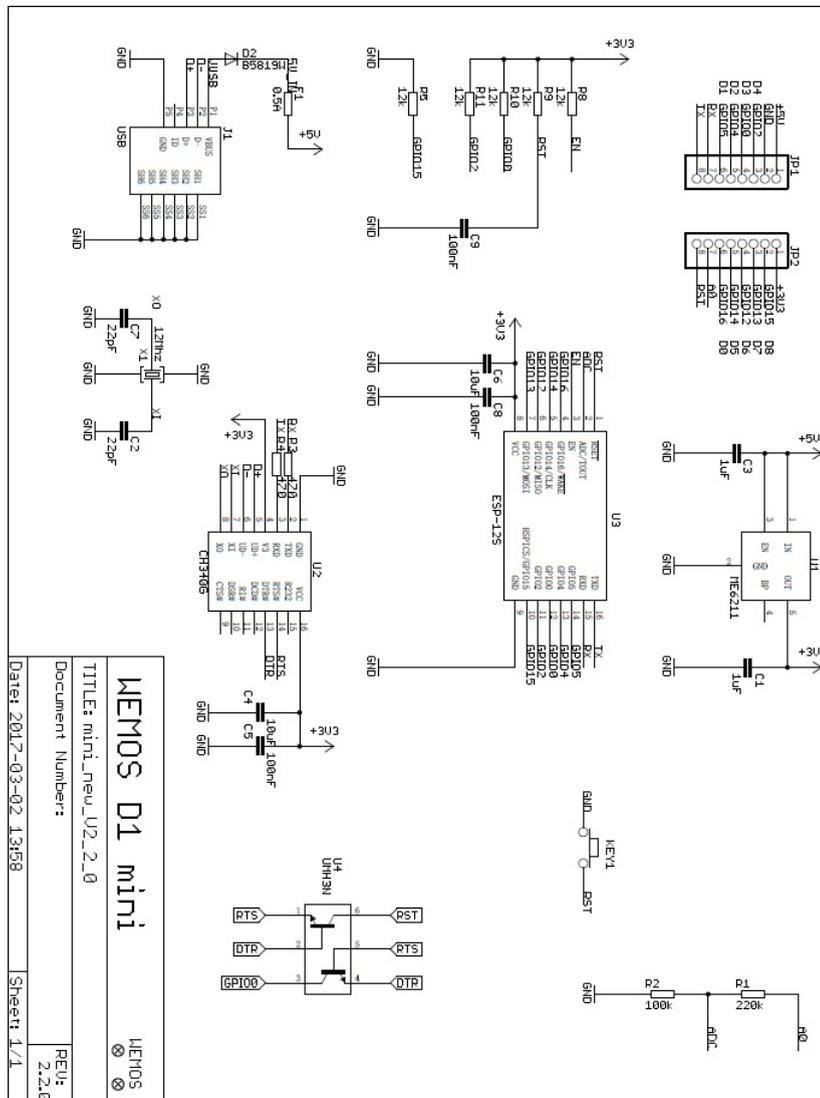


FIGURE 62 – Schéma structurale

Annexe C : Programme des Tests

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 VOLTS_SCALE =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; // divide sum by 100 to get average

// Calibration for Voltage

VOLTS_SCALE = 0.00488 * (120/20); // The voltage divider resistors are R1=100k
    and R2=20k // 5/1024 =0.00488
volt = VOLTS_SCALE * 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 AMPS_SCALE =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; // Diviser la somme par 100 pour obtenir la moyenne

// Calibrage du courant
AMPS_SCALE= 0.00488/ 0.185; //5/1024 = 0.00488 // Sensitivity = 185mV
(Sensibilité)
amps = -AMPS_SCALE* 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,
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,b1,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: RUNS ONCE )----*/
{
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(sol_volts);
lcd.print("V");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("1.03A");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print(sol_watts);
lcd.print("W ");
lcd.setCursor(8, 0);
```

```
lcd.print("BAT");
lcd.write(2);
lcd.setCursor(8, 1);
lcd.print(bat_volts);
lcd.print("V");
lcd.setCursor(8,2);
lcd.print("off");
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("% ");
}
```

Exemple de Wèmos D1 mini

```
#include <ESP8266WiFi.h>           //https://github.com/esp8266/Arduino
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <DHT.h>                   //https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library
//https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor
#define DHTPIN 4                   // GPIO 4 ESP8266 (D2)
#define DHTTYPE DHT11             // DHT 11
// Constants
ESP8266WebServer server(80);
// Replace with your network credentials
const char* ssid = "DJAWEB_40882";
const char* password = "138754104";
// Initialize DHT sensor.
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
float Temperature;
float Humidity;
void setup() {
// Put your setup code here, to run once
Serial.begin(115200);
Serial.println("\n Starting");
// Initialize the LED digital pin as an output.
// Initialize trigger pins
pinMode(DHTPIN, INPUT);
dht.begin();
//Serial.begin(9600);
WiFi.mode(WIFI_STA);
int cnt = 0;
```

```

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
  if (cnt++ >= 10) {
    WiFi.beginSmartConfig();
    while (1) {
      delay(1000);
      if (WiFi.smartConfigDone()) {
        Serial.println();
        Serial.println("SmartConfig: Success");
        break;
      }
      Serial.print("|");
    } } }
WiFi.printDiag(Serial);
Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected..!");
Serial.print("Got IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
server.on("/", handle_OnConnect);
server.onNotFound(handle_NotFound);
server.begin();
Serial.println("HTTP server started");
}

// Loop function
void loop() {
  // is configuration portal requested?
  server.handleClient();
}

void handle_OnConnect() {
  Temperature = dht.readTemperature(); // Gets the values of the temperature
  Humidity = dht.readHumidity(); // Gets the values of the humidity
  server.send(200, "text/html", SendHTML(Temperature,Humidity));
}

void handle_NotFound(){
  server.send(404, "text/plain", "Not found");
}

String SendHTML(float TempCstat,float Humiditystat){
  String ptr = "<!DOCTYPE html> <html>\n";
  ptr += "<head><meta name=\"viewport\" content=\"width=device-width,
    initial-scale=1.0, user-scalable=no\">\n";
  ptr += "<meta http-equiv=\"refresh\" content=\"2\" >\n";
  ptr += "<link
    href=\"https://fonts.googleapis.com/css?family=Open+Sans:300,400,600\"
    rel=\"stylesheet\">\n";
  ptr += "<title>ESP8266 Weather Report</title>\n";
  ptr += "<style>html { font-family: 'Open Sans', sans-serif; display: block;
    margin: 0px auto; text-align: center;color: #333333;} \n";
  ptr += "body{margin-top: 50px;}\n";
  ptr += "h1 {margin: 50px auto 30px;}\n";
}

```

```

ptr += ".side-by-side{display: inline-block;vertical-align: middle;position:
relative;}\n";
ptr += ".humidity-icon{background-color: #3498db;width: 30px;height:
30px;border-radius: 50%;line-height: 36px;}\n";
ptr += ".humidity-text{font-weight: 600;padding-left: 15px;font-size: 19px;width:
160px;text-align: left;}\n";
ptr += ".humidity{font-weight: 300;font-size: 60px;color: #3498db;}\n";
ptr += ".temperature-icon{background-color: #f39c12;width: 30px;height:
30px;border-radius: 50%;line-height: 40px;}\n";
ptr += ".temperature-text{font-weight: 600;padding-left: 15px;font-size:
19px;width: 160px;text-align: left;}\n";
ptr += ".temperature{font-weight: 300;font-size: 60px;color: #f39c12;}\n";
ptr += ".superscript{font-size: 17px;font-weight: 600;position: absolute;right:
-20px;top: 15px;}\n";
ptr += ".data{padding: 10px;}\n";
ptr += "</style>\n";
ptr += "<script>\n";
ptr += "setInterval(loadDoc,200);\n";
ptr += "function loadDoc() {\n";
ptr += "var xhttp = new XMLHttpRequest();\n";
ptr += "xhttp.onreadystatechange = function() {\n";
ptr += "if (this.readyState == 4 && this.status == 200) {\n";
ptr += "document.getElementById(\"webpage\").innerHTML =this.responseText}\n";
ptr += "};\n";
ptr += "xhttp.open(\"GET\", \"/\", true);\n";
ptr += "xhttp.send();\n";
ptr += "}\n";
ptr += "</script>\n";
ptr += "</head>\n";
ptr += "<body>\n";
ptr += "<div id=\"webpage\">\n";
ptr += "<h1>ESP8266 Weather Report</h1>\n";
ptr += "<div class=\"data\">\n";
ptr += "<div class=\"side-by-side temperature-icon\">\n";
ptr += "<svg version=\"1.1\" id=\"Layer_1\" xmlns=\"http://www.w3.org/2000/svg\"
xmlns:xlink=\"http://www.w3.org/1999/xlink\" x=\"0px\" y=\"0px\"\n";
ptr += "width=\"9.915px\" height=\"22px\" viewBox=\"0 0 9.915 22\"
enable-background=\"new 0 0 9.915 22\" xml:space=\"preserve\">\n";
ptr += "<path fill=\"#FFFFFF\"
d=\"M3.498,0.53c0.377-0.331,0.877-0.501,1.374-0.527C5.697-0.04,
6.522,0.421,6.924,1.142\n";
ptr += "c0.237,0.399,0.315,0.871,0.311,1.33C7.229,5.856,7.245,
9.24,7.227,12.625c1.019,0.539,1.855,1.424,2.301,2.491\n";
ptr += "c0.491,1.163,0.518,2.514,0.062,3.693c-0.414,1.102-1.24,
2.038-2.276,2.594c-1.056,0.583-2.331,0.743-3.501,0.463\n";
ptr += "c-1.417-0.323-2.659-1.314-3.3-2.617C0.014,18.26-0.115,
17.104,0.1,16.022c0.296-1.443,1.274-2.717,2.58-3.394\n";
ptr += "c0.013-3.44,0-6.881,0.007-10.322C2.674,1.634,2.974,
0.955,3.498,0.53z\"/>\n";
ptr += "</svg>\n";
ptr += "</div>\n";

```

```
ptr += "<div class=\"side-by-side temperature-text\">Temperature</div>\n";
ptr += "<div class=\"side-by-side temperature\">";
ptr += (int)TempCstat;
ptr += "<span class=\"superscript\">Â°C</span></div>\n";
ptr += "</div>\n";
ptr += "<div class=\"data\">\n";
ptr += "<div class=\"side-by-side humidity-icon\">\n";
ptr += "<svg version=\"1.1\" id=\"Layer_2\" xmlns=\"http://www.w3.org/2000/svg\"
  xmlns:xlink=\"http://www.w3.org/1999/xlink\" x=\"0px\" y=\"0px\"\n\";
  width=\"12px\" height=\"17.955px\" viewBox=\"0 0 13 17.955\"
  enable-background=\"new 0 0 13 17.955\" xml:space=\"preserve\">\n";
ptr += "<path fill=\"#FFFFFF\"
  d=\"M1.819,6.217C3.139,4.064,6.5,0,6.5,0s3.363,4.064,4.681,
  6.217c1.793,2.926,2.133,5.05,1.571,7.057\n\";
ptr += "c-0.438,1.574-2.264,4.681-6.252,4.681c-3.988,0-5.813-3.107-
  6.252-4.681C-0.313,11.267,0.026,9.143,1.819,6.217\"></path>\n";
ptr += "</svg>\n";
ptr += "</div>\n";
ptr += "<div class=\"side-by-side humidity-text\">Humidity</div>\n";
ptr += "<div class=\"side-by-side humidity\">";
ptr += (int)Humiditystat;
ptr += "<span class=\"superscript\">%</span></div>\n";
ptr += "</div>\n";
ptr += "</div>\n";
ptr += "</body>\n";
ptr += "</html>\n";
return ptr;
}
```

Programme final

```
//-----
// This code is for an arduino Nano based Solar MPPT charge controller.

////////////////////////////////////
#include "TimerOne.h"           // using Timer1 library from
    http://www.arduino.cc/playground/Code/Timer1
#include <LiquidCrystal_I2C.h>  // using the LCD I2C Library from
    https://bitbucket.org/fmalpartida/new-liquidcrystal/downloads
#include <Wire.h>
#include <SoftwareSerial.h>     // using the Software Serial library Ref :
    http://www.arduino.cc/en/Reference/SoftwareSerialConstructor
//-----
////////// Arduino pins Connections////////////////////////////////////////
// A0 - Voltage divider (solar)
// A1 - ACS 712 Out
// A2 - Voltage divider (battery)
// A4 - LCD SDA
// A5 - LCD SCL
// D2 - ESP8266 Tx
// D3 - ESP8266 Rx through the voltage divider
// D5 - LCD back control button
// D6 - Load Control
// D8 - 2104 MOSFET driver SD
// D9 - 2104 MOSFET driver IN
// D11- Green LED
// D12- Yellow LED
// D13- Red LED

////////// 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

// Load control algorithm
// 0 - NIGHT LIGHT: Load ON when there is no solar power and battery is above
    LVD (low voltage disconnect)
// 1 - POWER DUMP: Load ON when there is solar power and the battery is above
    BATT_FLOAT (charged)
#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 (hight 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 current 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 //value of solar watts // this is 5.00 watts
#define MIN_SOL_WATTS 1.00 //value of solar watts // this is 1.00 watts
#define MIN_BAT_VOLTS 11.00 //value of battery voltage // this is 11.00 volts
#define MAX_BAT_VOLTS 14.10 //value of battery voltage// this is 14.10 volts
#define BATT_FLOAT 13.60 // battery voltage we want to stop charging at
#define HIGH_BAT_VOLTS 13.00 //value of battery voltage // this is 13.00 volts
#define LVD 11.5 //Low voltage disconnect setting for a 12V system
#define OFF_NUM 9 // number of iterations of off charger state

//-----
//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,

```



```

{
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); // sets 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
#ifdef ENABLE_DATALOGGER
wifi_data_log();                // 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); //input of solar
    amps
sol_volts = read_adc(SOL_VOLTS_CHAN) * SOL_VOLTS_SCALE; //input of solar volts
bat_volts = read_adc(BAT_VOLTS_CHAN) * BAT_VOLTS_SCALE; //input of battery
    volts
sol_watts = sol_amps * sol_volts ; //calculations of
    solar watts
}
//-----
// This is interrupt service routine for Timer1 that occurs every 20uS.
//
//-----
void callback()
{
if (interrupt_counter++ > ONE_SECOND) { // increment interrupt_counter until
    one second has passed
interrupt_counter = 0; // reset the counter
seconds++; // then increment seconds counter
}
}
//-----
// 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
//Timer1.pwm(PWM_PIN,(PWM_FULL * (long)pwm / 100));
}
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%
//Timer1.pwm(PWM_PIN,(PWM_FULL - 1));
} }
//-----
// This routine is the charger state machine. It has four states on, off, bulk
and float.
// It's called once each time through the main loop to see what state the
charger should be in.
// The battery charger can be in one of the following four states:
//
// On State - this is charger state for MIN_SOL_WATTS < solar watts <
LOW_SOL_WATTS. In this state isthe solar
// watts input is too low for the bulk charging state but not low enough to
go into the off state.
// In this state we just set the pwm = 99.9% to get the most of low amount
of power available.
// Bulk State - this is charger state for solar watts > MIN_SOL_WATTS. This is
where we do the bulk of the battery
// charging and where we run the Peak Power Tracking alogorithm. In this
state we try and run the maximum amount
// of current that the solar panels are generating into the battery.
// Float State - As the battery charges it's voltage rises. When it gets to the
MAX_BAT_VOLTS we are done with the
// bulk battery charging and enter the battery float state. In this state we
try and keep the battery voltage
// at MAX_BAT_VOLTS by adjusting the pwm value. If we get to pwm = 100% it
means we can't keep the battery
// voltage at MAX_BAT_VOLTS which probably means the battery is being drawn
down by some load so we need to back
// into the bulk charging mode.
// Off State - This is state that the charger enters when solar watts <
MIN_SOL_WATTS. The charger goes into this
// state when there is no more power being generated by the solar panels.
The MOSFETs are turned
// off in this state so that power from the battery doesn't leak back into
the solar panel.
//-----
void run_charger(void) {

```



```

else {
    // this is where we do the Peak
    Power Tracking ro Maximum Power Point algorithm
    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
// turn on loads at night when the solar panel is not producing power
// as long as the battery voltage is above LVD
load_on(sol_watts < MIN_SOL_WATTS && bat_volts > LVD);
#else
// dump excess solar energy into the load circuit
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("\n\r");
//delay(1000);
}

//-----Led
//-----Indication-----
//-----
// light an individual LED
// we remember which one was on before in last_lit and turn it off if different
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_pin_State = 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 ");
else if (charger_state == bat_float)
{

```

```

lcd.print("  ");
lcd.setCursor(8,2);
lcd.print("float");
}
//-----
//-----Battery State Of Charge -----
//-----
int pct = 100.0*(bat_volts - 11.3)/(12.7 - 11.3);
if (pct < 0)
pct = 0;
else if (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%sizeof(spinner_chars)]);
}

//-----
//----- ESP8266 WiFi -----
//-----Plot System data on thingspeak.com-----
//-----
void wifi_datalog()
{
// thingspeak needs 15 sec delay between updates
static int lastlogged;
if ( seconds - lastlogged < 16 )
return;
lastlogged = seconds;
// convert to string
char buf[16];
String strTemp = dtostrf( sol_volts, 4, 1, buf);

Serial.println(strTemp);

// TCP connection
String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\", \"";
cmd += "184.106.153.149"; // api.thingspeak.com
cmd += "\",80";
ser.println(cmd);

if(ser.find((char *)"Error")){
Serial.println("AT+CIPSTART error");
return;
}

// prepare GET string
String getStr = "GET /update?api_key=";
getStr += apiKey;
getStr += "&field1=";

```

```
getStr += String(strTemp);
getStr += "\r\n\r\n";

// send data length
cmd = "AT+CIPSEND=";
cmd += String(getStr.length());
ser.println(cmd);

if(ser.find((char *)">")){
ser.print(getStr);
}
else{
ser.println("AT+CIPCLOSE");
// alert user
Serial.println("AT+CIPCLOSE");
} }
```

RÉALISATION D'UN CONTRÔLEUR DE CHARGE PHOTOVOLTAÏQUE POUR BATTERIE BASÉ SUR UNE CARTE ARDUINO

Résumé

L'objectif de ce projet était de réaliser un contrôleur de charge pour batterie au Plomb, de tension nominale de 12 Volts L'implémentation de la commande MPPT, pour la poursuite du point maximum de puissance, a été effectué sur une carte Arduino Uno. La carte utilisée assure l'acquisition du courant et de la tension du panneau solaire, ainsi que la tension de la batterie. Un écran LCD (20×4) est utilisé pour surveiller les paramètres du panneau solaire, de la batterie et de sa charge (SOC). Trois LED (s) rouge, verte et jaune, indique le niveau de tension de la batterie (Tension faible, Tension normale, Batterie entièrement chargée). Le convertisseur de puissance est du type DC-DC-Buck-Converter construit autour d'un transistor MOSFET et l'algorithme MPPT à implanter est basé sur la méthode itérative « Perturb and Observe ». La sauvegarde de données et leur transmission est réalisée par un module WiFi WEMOS D1 mini-ESP8266.

Mots clés

Énergie solaire, Générateur photovoltaïque, Batterie d'accumulateurs, Contrôleur de charge, Commande MPPT, Convertisseurs DC-DC-Buck, Arduino, Communication sans fil WiFi..

REALIZATION OF A PHOTOVOLTAIC CHARGE CONTROLLER FOR BATTERY BASED ON AN ARDUINO CARD

Abstract

The aim of this project was to realize a lead battery charge controller with a nominal voltage of 12 Volts. The implementation of the MPPT command, for the continuation of the maximum power point, was performed on an Arduino Uno board. The board used provides the acquisition of the current and the voltage of the solar panel, as well as the voltage of the battery. An LCD display (20X4 characters) is used to monitor the parameters of the solar panel, the battery and its charge (SOC). Three red, green and yellow LEDs indicate the battery voltage level (low voltage, normal voltage, fully charged battery). The power converter is of the DC-DC-Buck-Converter type built around a MOSFET transistor and the MPPT algorithm to be implemented is based on the iterative (Perturb and Observe) method. Data backup and transmission is performed by a WiFi module WEMOS D1 mini-ESP8266.

Keywords

Solar energy, Photovoltaic Generator, Battery of accumulators, Charge controller, MPPT command, DC-DC-Buck converters,