

Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2019

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département : Génie Electrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :
LOUCIF Oussama
SEDDIKI Oualid

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : ELECTRONIQUE
Option : Electronique des Systèmes Embarqués

Thème :

Etude, conception et réalisation d'un contrôleur de charge MLI pour un système PV d'éclairage extérieur.

Devant le jury composé de :

LADJOUZI Samir	MAA	UAMOB	Président
KHERCHI Mohamed	MAA	UAMOB	Encadreur
MOHAMMEDI Ahmed	MCA	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2018/2019

Dédicaces

DÉDICACES

Je tiens à dédié ce modeste travail de fin de cursus :

À mes parents que j'aime énormément,

Merci pour vos sacrifices et pour tous vos encouragements,

Que dieu, le tout puissant, vous préserve et vous procure santé et longue vie.

À toute ma famille et ma belle famille.

À tous mes enseignants, qui ont su me donné les mots pour me poussé à me surpassé.

Et à tous mes amis de travail et à l'université sans oublié notre cher ami OULMI
Abdelkrim pour son aide précieuse.

SEDDIKI Oualid

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail :

Aux êtres qui me sont les plus chers ma mère et mon père, que Dieu préserve leur bonne santé et longue vie à eux qui ont tout fait pour m'encourager durant les années de mes études.

À toute ma famille, mes chers frères et ma chère sœur,

À mes chers amis,

Ainsi que tous mes enseignants qui ont grandement contribué à ma réussite durant tout mon cursus.

Merci à tous.

LOUCIF Oussama

Remerciements

Remerciements

Avant tout nous remercions Allah le tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté et la patience pour faire ce travail qui achèvera notre cursus, ces remerciements s'adressent en particulier à :

•**Mr. KHERCHI Mohamed** notre promoteur, pour son encadrement, ses conseils judicieux et son suivi durant la période de la réalisation de ce travail.

Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de notre cursus.

Enfin, nous remercions tous les enseignants du département de génie électrique et le directeur du Laboratoire ainsi que ses assistants/es.

À vous tous, un grand Merci.

Liste des figures

Chapitre I

Figure I-1 : Formes de l'énergie solaire.....	03
Figure I-2 : principe de la conversion photovoltaïque.....	04
Figure I-3 : Schéma d'une jonction PN.....	05
Figure I-4 : Principe de l'effet photovoltaïque.....	06
Figure I-5 : Composantes du rayonnement solaire.....	07
Figure I-6 : cellule amorphe.....	08
Figure I-7 : cellule monocristalline.....	08
Figure I-8 : cellule polycristalline.....	09
Figure I-9 : Schéma équivalent électrique de la cellule PV.....	10
Figure I-10: Caractéristiques courant-tension de la cellule photovoltaïque.....	10
Figure I-11 : Caractéristique courant tension de N_s cellule/modules en série.....	11
Figure I-12 : Caractéristique courant tension de (N_p) cellule/modules en parallèle.....	12
Figure I-13 : Caractéristique courant tension de cellule/modules (série et parallèle).....	13

Chapitre II

Figure II-1 : Schéma de principe d'un système PV autonome avec stockage.....	15
Figure II-2 : Caractéristiques d'un module PV : I-V (a) et P-V (b).....	16
Figure II-3 : La différence entre un contrôleur PWM et un MPPT.....	20
Figure II-4 : Description de l'intérieur d'une batterie.....	22
Figure II-5 : Raccordements des batteries en série.....	23
Figure II-6: Raccordement des batteries parallèle.....	23
Figure II-7: Raccordement des batteries en mixte ou sérié/parallèle.....	24
Figure II-8 : Batterie au Plomb-Acide.....	25
Figure II-9 : Onduleurs autonomes.....	27
Figure II-10 : Onduleurs non autonomes.....	28
Figure II-11 : Onduleurs hybrides ou intelligents.....	28
Figure II-12 : Exemples d'organes de protection.....	30
Figure II-13 : Histoire de l'éclairage résumé en images.....	30
Figure II-14 : Eclairage intérieurs.....	31
Figure II-15 : Eclairage extérieur.....	32

Chapitre III

Figure III-1 : Interface de logiciel Arduino.....	35
Figure III-2 : Les boutons de logiciel Arduino.....	35
Figure III-3 : la carte Arduino Nano.....	36
Figure III-4: Arduino Nano datasheet.....	37
Figure III-5 : Capteur de température.....	38
Figure III-6 : Brochage du LM35.....	39
Figure III-7 : Capteur PIR.....	40
Figure III-8 : la zone de détection.....	40
Figure III-9 : Brochage du capteur de mouvement PIR.....	40
Figure III-10 : Capteur de courant.....	41
Figure III-11 : Capteur de tension.....	42
Figure III-12 : Afficheur LCD 16x4.....	42
Figure III-13 : le module wifi ESP8266.....	43
Figure III-14 : Montage d'esp8266 avec L'Arduino.....	43

Chapitre IV :

Figure IV-1 : ISIS (PORTEUS).....	46
Figure IV-2 : Point de fonctionnement d'une connexion Module PV-Batterie pour différents états de charge.....	47
Figure IV-3 : le fonctionnement du régulateur de charge.....	49
Figure IV-4 : Schéma de principe de la réalisation pratique de régulateur MLI.....	50
Figure IV-5 : Diode de puissance.....	51
Figure IV-6 : Diode TVS.....	51
Figure IV-7 : MOSFET IRF3205.....	52
Figure IV-8 : Simulation de pompe de charge sous Proteus	52
Figure IV-9 : Test de pompe de charge.....	53
Figure IV-10 : Circuit de commande de MOSFET 1.....	53
Figure IV-11 : Simulation de contrôleur de charge(MLI) sous Proteus	54
Figure IV-12 : Fusible.....	54
Figure IV-13: Convertisseur Buck.....	55
Figure IV-14 : Simulation du capteur de tension sous Proteus.....	55
Figure IV-15 : Simulation du capteur de courant sous Proteus.....	56

Figure IV-16 : Simulation du capteur de température sous Proteus.....	56
Figure IV-17 : Simulation du capteur de mouvement sous Proteus.....	57
Figure IV-18 : indication des LEDs.....	57
Figure IV-19 : I2C.....	58
Figure IV-20 : Simulation de l'afficheur LCD avec I2C sous Proteus.....	58
Figure IV-21 : Afficheur LCD avec I2c.....	59
Figure IV-22 : Module ESP8266-01 avec Arduino.....	59
Figure IV-23 : schéma explicatif sur l'application blynk.....	60
Figure IV-24 : Créer un compte Blynk.	61
Figure IV-25 : Créer un nouveau Projet.....	61
Figure IV-26 : le modèle de hardware.....	62
Figure IV-27 : Jeton d'Authentification.....	62
Figure IV-28 : nouveau Projet sur blynk.....	63
Figure IV-29 : les widgets.....	63
Figure IV-30 : Organigramme général de programme de gestion de contrôleur de charge MLI pour un système PV d'éclairage extérieur.....	64
Figure IV-31 : Organigramme de charge de batterie.....	65
Figure IV-32 : Organigramme pour mesure le courant de charge de batterie et l'état de LED4....	66
Figure IV-33 : Organigramme pour mesure la tension de batterie et de panneau et l'état des indicateurs LED1, LED2, LED3.....	67
Figure IV-34 : Organigramme pour la décision de niveau d'éclairage de la lampe.....	68
Figure IV-35 : Organigramme de capteur de courant pour la décharge et état de l'indicateur LED5.....	69
Figure IV-36 : Organigramme pour l'affichage sur LCD et Téléphone.....	69
Figure IV-37 : photo de régulateur de charge.....	70
Figure IV-38 : Simulation de système complet.....	70
Figure VI-39 : câblage le régulateur de charge avec les LEDs, LCD et le module WIFI.....	71
Figure IV-40: Caractéristiques électriques du module photovoltaïque P156-30W.....	72
Figure IV-41 : Le fonctionnement du système complet (charge de la batterie).....	72
Figure IV-42 : Résultats des tests pratiques de tension de batterie.....	75
Figure IV-43 : Résultats des tests pratiques de courant de charge.....	76
Figure IV-44 : Le fonctionnement du système complet (l'allumage de la lampe).....	76
Figure IV-45: L'affichage des résultats sur LCD.....	77
Figure IV-46 : Les résultats sur le téléphone.....	78

Liste des tableaux

Chapitre II :

Tableau II-1 : Caractéristiques des différents types de batteries, les valeurs indiquées peuvent varier en fonction des applications spécifiques.....24

Tableau II-2 : Principales comparaisons des 2 familles technologiques de la batterie au plomb.....26

Chapitre III :

Tableau III-1 : Brochage du capteur.....39

Chapitre IV :

Tableau IV-1 : Résultats des tests pratiques de tension de batterie, courant de charge et tension de panneau du système PV.....74

Liste des abréviations

AC : alternating current en anglais.

Ah : Ampère heure.

A : Ampère.

°C : degré Celsius.

CPV : Concentrateur photovoltaïque.

C : Capacité.

cc : Courant Continu.

CAO : Conception Assistée par Ordinateur.

CST : Condition Standard de Test.

DC : Direct Current en anglais.

E : tension électromotrice de la batterie (V).

GPV : Générateur photovoltaïque.

g : gramme.

Hz : hertz.

HEX : Le système hexadécimal.

H : humidity.

I_{cc} : Courant de court-circuit de N_s cellules en série.

I_{ccN_p}: La somme des courants de court circuit de (N_p) cellule en parallèle.

I_{ph} : Générateur de courant.

I_{sc} : courant de court-circuit.

I_{mpp} : Courant au point de puissance maximal(A).

I: intensité du courant débité (A).

I/O : Input/Output en anglais.

I²C : Inter-Integrated Circuit, en anglais.

IN : Input en anglais.

IDE : Integrated Development Environment en anglais.

Kg : kilogramme.

kW : kilowatt.

Kb : kilobit.

LED : light-emitting diode en anglais.

LCD : liquid crystal display en anglais.

MLI : La modulation de largeur d'impulsions.

MPPT :Maximum power point tracker.

m : mètre.

m² : Mètre carré.

mm : millimètre.

MOSFET : Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor en anglais.

n : négative.

Ns : Nombre de cellules en série.

Np : Nombre de cellules en parallèle.

Noct : Température maximale de fonctionnement de la cellule solaire.

OUT : Output en anglais.

PV : Photovoltaïque.

PWM : en anglais : Pulse Width Modulation.

PN : jonction positive négative.

p : positive.

PPM : Point de puissance maximale.

P : Puissance.

PDD : Profondeur de décharge.

PIR : Passive Infrared Sensor en anglais.

P_{max} : Puissance maximale.

R_s : La résistance interne de la cellule.

R_{sh} : La résistance shunt.

r : résistance interne de la batterie (Ω).

RD : Le rayonnement direct.

Rd : Le rayonnement diffus.

RG : Le rayonnement global.

T : Température.

TVS : Transient-Voltage-Suppression en anglais.

U : tension mesurée aux bornes de la batterie (V).

USB : Bus série universel.

V_{coNs} : La somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.

V_{coNp}: tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.

V_{co} : tension de court-circuit.

V_{mpp} : Tension au point de puissance maximale(V).

V : Volt.

Wh : wattheure.

Wc : Watt-crête.

WIFI : Wireless Fidelity.

Sommaire

Sommaire

Remerciements.....	I
Liste des figures.....	II
Liste des tableaux.....	V
Liste des abréviations.....	VI
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I-1- Introduction :.....	3
I-2- Energie solaire :.....	3
I-2-1- L'énergie solaire photovoltaïque :.....	3
I-2-1-1 Historique de l'énergie photovoltaïque :.....	4
I-2-1-2 L'effet photovoltaïque :.....	5
I-3 Rayonnement solaire :.....	6
I-3-1 Les différents types de rayonnement :.....	6
I-4 Les cellule photovoltaïques :.....	7
I-4-1 Définition :.....	7
I-4-2 Déférénts types de cellules :.....	8
I-4-3 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :.....	9
I-4-4 Regroupement des cellules et des modules PV :.....	11
I-4-4-1 Regroupement en série :.....	11
I-4-4-2 Regroupement en parallèle :.....	11
I-4-4-3 Regroupement (série et parallèle) :.....	12
I-5 Domaines d'application de l'énergie photovoltaïque :.....	13
I-6 Avantages et inconvénients de la technologie photovoltaïque :.....	13
I-7 Conclusion :.....	14

Chapitre II : Composants constituant d'un système photovoltaïque

II-1 Introduction :.....	15
II-2 Composants d'un système photovoltaïque :.....	15
II-2-1 Le module photovoltaïque :.....	16
II-2-1-1 Définition de module photovoltaïque :.....	16
II-2-1-2 La caractéristique électrique du module PV :.....	16

II-2-1-3	Caractéristiques techniques d'un module photovoltaïque :	16
II-2-1-4	Choix des modules photovoltaïque :	17
II-2-2	Régulateur solaire :	18
II-2-2-1	Définition de régulateur de charge solaire :	18
II-2-2-2	Principe et fonctionnement du régulateur :	18
II-2-2-3	Types de régulateurs de charge :	18
II-2-2-4	Caractéristiques d'un régulateur :	20
II-2-2-5	La différence entre un contrôleur PWM et un MPPT :	20
II-2-3	Batterie solaire :	21
II-2-3-1	Le stockage de l'énergie :	21
II-2-3-2	Définition de Batterie solaire :	21
II-2-3-3	Les caractéristiques électriques d'une batterie :	22
II-2-3-4	Raccordement de batteries :	23
II-2-3-5	Comparaison technique entre les différents types de batteries cotées technique :	24
II-2-3-6	Batterie plomb-acide :	24
II-2-3-6-1	Définition d'une batterie plomb-acide :	24
II-2-3-6-2	Caractéristiques de la batterie :	25
II-2-3-6-3	Les différents types de batteries au plomb :	26
II-2-3-7	Critères de choix des batteries :	26
II-2-4	Onduleur solaire :	27
II-2-4-1	Définition de l'onduleur :	27
II-2-4-2	Type d'onduleurs :	27
II-2-4-3	Caractéristiques d'onduleur solaire :	28
II-2-4-4	Critère de choix :	29
II-2-5	Protection d'un système photovoltaïque :	29
II-3	L'éclairage public :	30
II-3-1	Histoire de l'éclairage :	30
II-3-2	Objectifs de l'éclairage public :	30
II-3-3	Type d'éclairage :	31
II-3-3-1	Eclairage intérieurs :	31
II-3-3-2	Eclairage extérieures :	32
II-4	Conclusion :	32

Chapitre III : Généralités sur L'Arduino et les Capteurs

III-1 Introduction :	33
III-2 Arduino :	33
III-2-1 Définition du module Arduino :	33
III-2-2 Les gammes de la carte Arduino :	33
III-2-3 Le logiciel :	34
III-2-4 L'interface Arduino :	35
III-2-5 Arduino Nano :	36
III-2-5-1 Définition :	36
III-2-5-2 Les caractéristiques techniques générales de l'Arduino Nano :	36
III-2-5-3 Les avantages de l'Arduino Nano :	37
III-2-5-4 Les inconvénients de l'Arduino Nano :	37
III-2-5-5 Fonctionnement de la carte Arduino Nano :	37
III-3 Capteurs :	38
III-3-1 Définition d'un capteur :	38
III-3-2 Différents types de capteurs utilisés dans ce projet :	38
III-3-2-1 Le capteur de Température LM35 :	38
III-3-2-1-1 Caractéristiques du capteur de température LM 35 :	39
III-3-2-1-2 Brochage du LM35 :	39
III-3-2-2 Capteur de mouvement PIR (Passive Infrared Sensor) :	39
III-3-2-2-1 Brochage :	40
III-3-2-2-2 Caractéristique du capteur PIR :	41
III-3-2-3 Capteur de courant ACS712 :	41
III-3-2-4 Capteur de tension :	42
III-4 L'afficheur LCD :	42
III-5 Le module Wifi ESP8266 :	43
III-5-1 Branchement (ESP-01) :	43
III-6 Conclusion :	44

Chapitre IV : Etude et Réalisation de contrôleur de charge MLI pour un système Photovoltaïque d'éclairage extérieur

IV-1 Introduction :	45
IV-2 Etapes de la réalisation :	45
IV-3 Outil de simulation :	46

IV-4 Principe de fonctionnement :	46
IV-5 Réalisation pratique de contrôleur de charge MLI pour un système PV d'éclairage extérieur :	50
IV-6 Application Blynk :	60
IV-6-1 Guide de démarrage de l'Application Blynk :	61
IV-7 Programme et Organigramme :	64
IV-7-1 Organigramme complet :	64
IV-7-2 Charge de batterie (Modulation de courant de Charge de batterie):	65
IV-7-3 Le courant de charge de batterie et l'état de LED4 :	66
IV-7-4 La tension de batterie et de panneau et l'état des indicateurs LED1, LED2, LED3 :	67
IV-7-5 La décision de niveau d'éclairage de la lampe :	68
IV-7- 6 Le courant de décharge et l'état de LED5 :	69
IV-7-7 L'affichage sur LCD et Téléphone :	69
IV-8 Circuit complet :	70
IV-9 Tests de contrôleur de charge (MLI) :	71
IV-9-1 Résultats de tests pratiques :	73
IV-9-2 Le fonctionnement du système PV au mode nuit :	76
IV-10 Conclusion :	78
Conclusion générale	79
Références bibliographique	80
Annexe	

Introduction générale

Introduction générale

La consommation mondiale d'électricité observée durant ces dernières décennies est fortement liée au développement de l'industrie, du transport et des moyens de communications. De nos jours, une grande partie de la production d'électricité est assurée par des ressources non renouvelables comme le charbon, le gaz naturel, le pétrole et l'uranium. Leur vitesse de régénération est extrêmement lente. Ce qui entrainera à plus ou moins courte échéance un risque non nul d'épuisement de ces ressources. D'autant plus que la demande ne cesse de croître et tant dès à présent à être supérieure à l'offre, se traduisant par exemple par une forte fluctuation du prix mondial du pétrole.

D'autre part, ce type de consommation d'énergie n'est pas neutre sur l'impact environnemental. Pour les hydrocarbures et le charbon par exemple, d'importantes émissions de gaz à effet de serre sont générées quotidiennement jouant un rôle prépondérant au niveau du dérèglement climatique et de l'augmentation de la pollution. Ce constat pousse à rechercher de plus en plus de solutions innovantes palliant le déficit énergétique et limitant l'impact négatif sur l'environnement. Ainsi, le développement des sources non-polluantes à base d'énergie renouvelable est de plus en plus sollicité à la fois par les producteurs d'énergie et les pouvoirs publics, et notamment vers le soleil.

Le soleil est aujourd'hui réduit au statut d'énergie, qu'il fallait la capter, la transformer et la stocker pour la transformation électrique par effet photovoltaïque, la conversion de la lumière du soleil en électricité basé sur des matériaux semi-conducteurs comme le silicium. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure, c'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons, (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique.

La caractéristique I-V du GPV dépend du niveau d'éclairement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble de plus, son point de fonctionnement du GPV dépend directement de la charge qu'il alimente. 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.

Dans les systèmes photovoltaïques autonomes les batteries sont largement utilisées pour alimenter les charges en cas d'absence d'ensoleillement. Ces batteries sont sensibles aux phénomènes de surcharge, de décharge profonde ainsi que les dérives de température et de courant. Il est alors nécessaire de les associer à un régulateur pour assurer leur protection.

L'objectif de ce travail est l'étude, conception et la réalisation d'un contrôleur de charge MLI pour un système PV d'éclairage extérieur à base d'une carte Arduino Nano. Ce système PV commandé par une commande PWM« Puls Width Modulation».

Dans ce travail, nous intéressons particulièrement à l'énergie photovoltaïque, et comment les stocker, et la protection contre la surcharge, à la décharge profonde de batterie et à la consommation de cette énergie dans l'éclairage public. Notre mémoire est divisée en quatre chapitres:

Le premier chapitre : Traite les généralités du système photovoltaïque expose un regroupement des cellules, Domaines d'application et Modes d'exploitation.

Le deuxième chapitre : expose les éléments constitutif du système PV à savoir (le générateur PV, les batteries le régulateur, et l'onduleur ...) et l'éclairage public.

Le troisième chapitre : nous avons présenté le principe de module Arduino, les différents éléments qui constituent ce module, tels que les entrées et sorties, la structure du programme associée à la gestion de entrées et sorties, puis un aperçu sur les capteurs de courant et de tension et capteur de mouvement.

Le quatrième chapitre : présente le travail de la réalisation de notre carte électronique (contrôleur de charge MLI pour un système PV d'éclairage extérieur) qui commandée par la carte programmable ARDUINO Nano, et affiche les résultats sur l'environnement ISIS (proteus).

A la fin, on termine ce mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I

I-1- Introduction :

Les systèmes photovoltaïques utilisent l'énergie la mieux répartie dans le monde : la lumière du soleil. Celui-ci fournit une énergie colossale à la Terre (10.000 fois l'énergie nécessaire). Mais le problème réside dans la forme de cette énergie qui n'est pas directement exploitable. C'est pourquoi, nous devons utiliser des processus de conversion comme les cellules solaires photovoltaïques qui permettent de convertir l'énergie lumineuse du soleil en énergie électrique. [1]

I-2- Energie solaire :

Le soleil est une source d'énergie quasiment inépuisable qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique mondiale.

Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. [2]

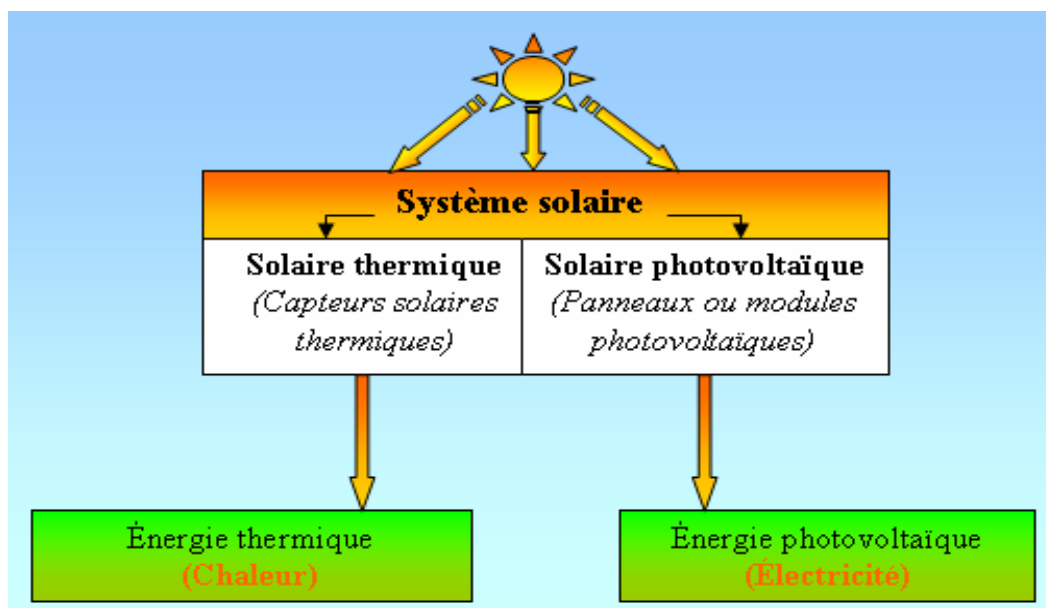


Figure I-1 : Formes de l'énergie solaire.

I-2-1- L'énergie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque consiste en la production directe d'électricité à partir de lumière à l'aide de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium. Ces matériaux sensibles à la lumière ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence de l'énergie externe (lumière). C'est un effet de lumière.

L'énergie est fournie par les photons qui frappent et libèrent des électrons, qui stimulent l'électricité. [2]

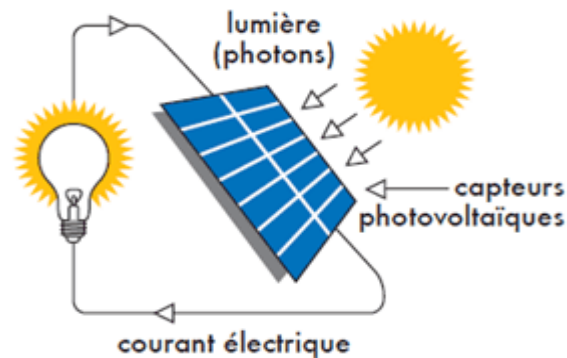


Figure I-2 : principe de la conversion photovoltaïque.

I-2-1-1 Historique de l'énergie photovoltaïque :

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque.

1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

1905 : Albert Einstein a écrit que la lumière pouvait entrer à l'intérieur des atomes, et que la collision entre les photons et les atomes pouvait faire sortir des électrons de leurs orbites et permettre la création d'un courant électrique.

1912 : Albert Einstein sera le premier à expliquer le phénomène d'effet photovoltaïque, et reçoit le prix Nobel de physique en 1921 pour cette explication.

1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

1958 : Une cellule avec un rendement de 9% est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.

1983 : La première voiture alimentée par l'énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie.

1995 : Des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau ont été lancés, au Japon et en Allemagne, et se généralisent depuis 2001.

Actuellement la production mondiale de l'électricité à base d'énergie solaire est d'environ: 185.9 TWh. [3]

I-2-1-2 L'effet photovoltaïque :

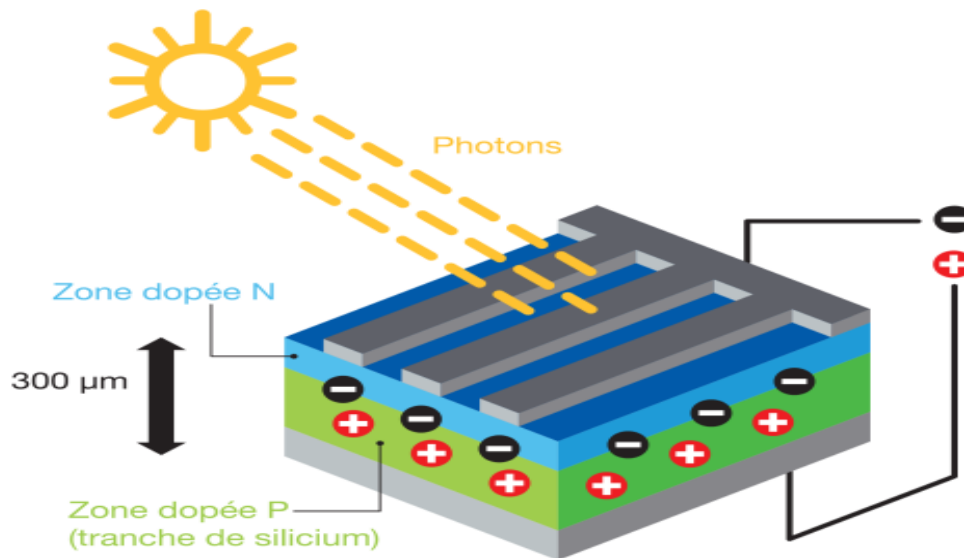


Figure I-3 : Schéma d'une jonction PN. [4]

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p).

Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent). Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure.

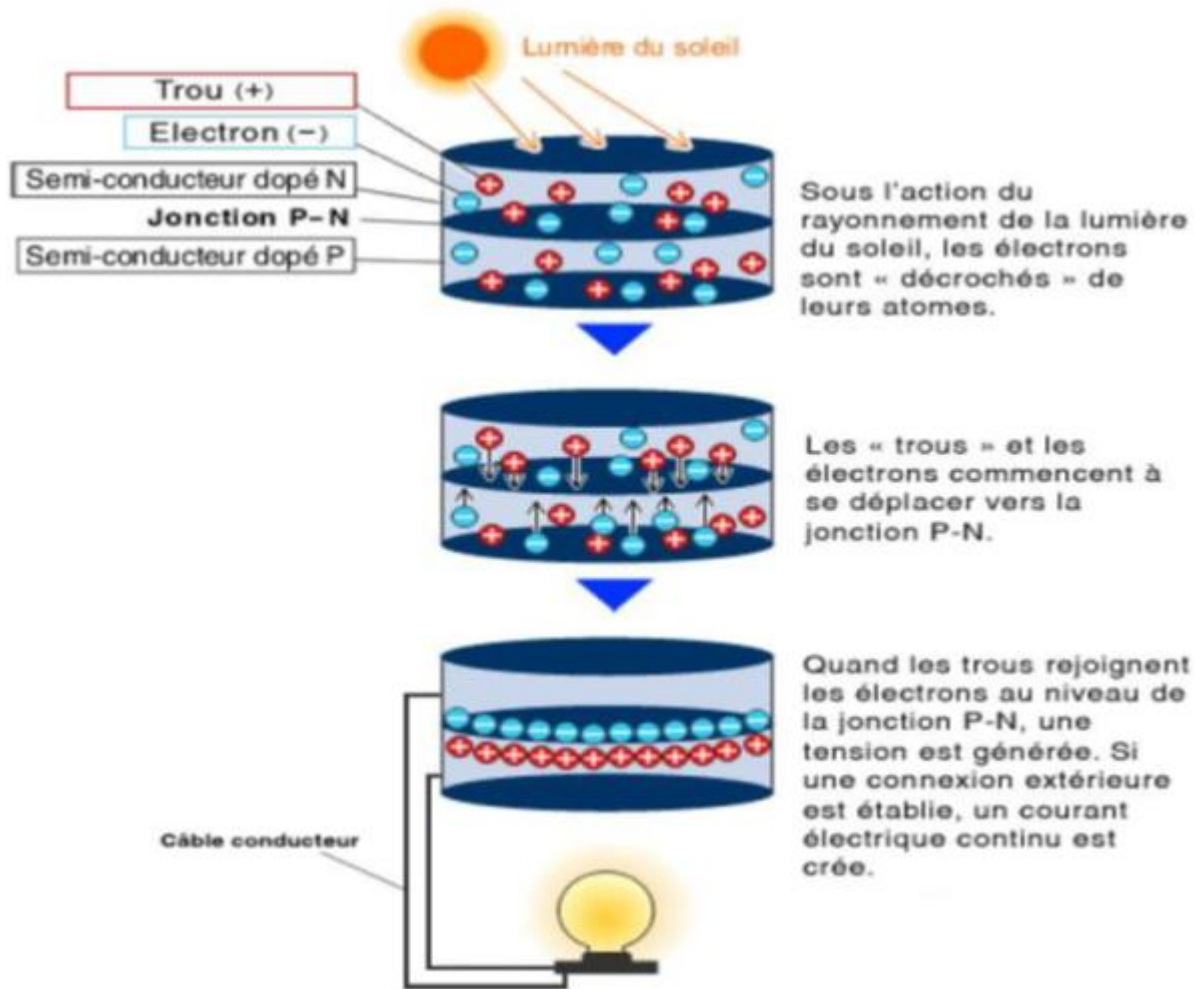


Figure I-4 : Principe de l'effet photovoltaïque.

I-3 Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est la matière première de l'énergie solaire, c'est une propagation d'une onde de longueur qui varie entre 0.2 et $4 \cdot 10^{-6}$ m, il arrive au sol après la perte d'une grande partie de son intensité, à cause d'une partie de l'ultraviolet, qui s'absorbe.

I-3-1 Les différents types de rayonnement :

- Rayonnement direct RD** : Le rayonnement direct est reçu directement du soleil, sans diffusés par l'atmosphère.
- Rayonnement diffus Rd** : Le rayonnement diffus est reçu indirectement par la terre, il est diffusé par l'atmosphère (nuages..).
- Rayonnement solaire réfléchi** : L'albédo est la partie réfléchi par le sol. Il dépend de l'environnement du site. Il faudra en tenir compte pour évaluer le rayonnement sur le plan incliné.

d) Le **rayonnement global RG** : Le rayonnement global désigne l'intensité globale de flux solaire sur une surface réceptrice.

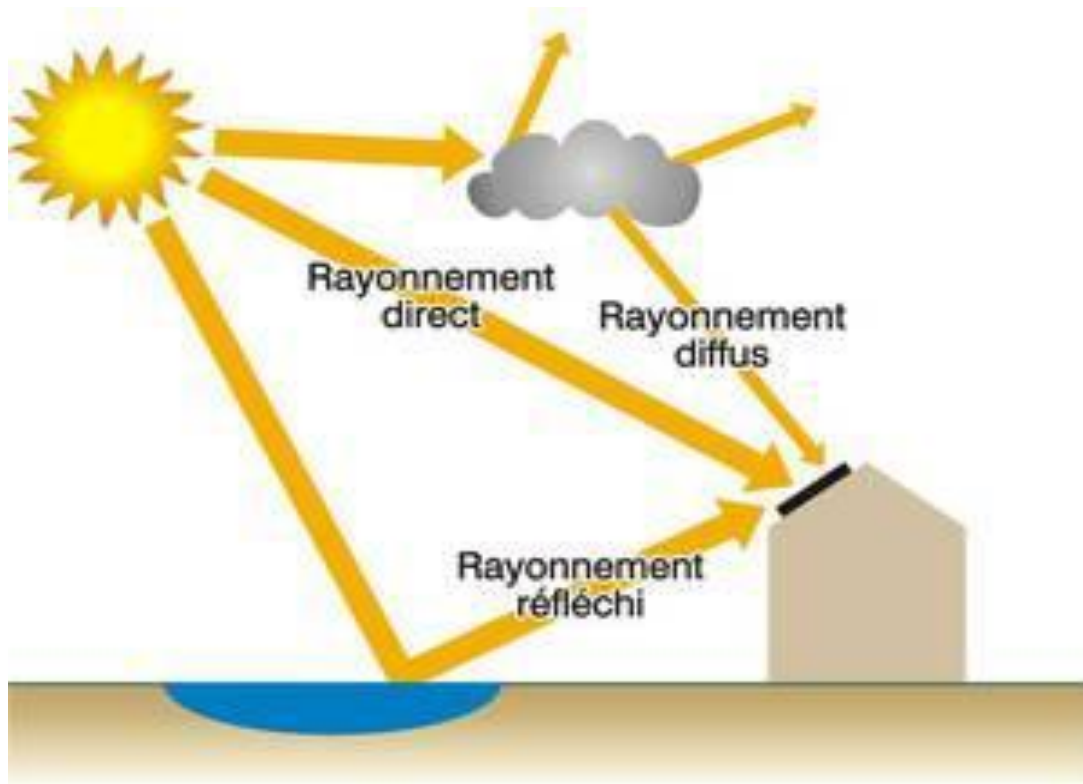


Figure I-5 : Composantes du rayonnement solaire. [5]

I-4 Les cellule photovoltaïques :

I-4-1 Définition :

Une cellule photovoltaïque, également dénommée cellule solaire, est un composant électronique qui produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque.

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium (Si) et plus rarement d'autres semi-conducteurs : séléniure de cuivre et séléniure d'indium ($\text{CuIn}(\text{Se})_2$ ou $\text{CuInGa}(\text{Se})_2$), tellurure de cadmium (CdTe), etc. Elles se présentent généralement sous la forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté.

Les cellules sont souvent réunies dans des modules solaires photovoltaïques ou panneaux solaires, en fonction de la puissance recherchée. [6]

I-4-2 Différents types de cellules :

Il existe plusieurs sortes de cellules :

- **Les cellules en silicium amorphe** : grises et foncées, qui sont peu chères, fonctionnent même avec peu de lumière, mais ont un rendement assez faible en plein soleil. [7]

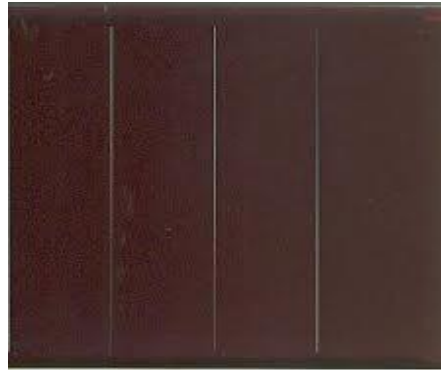


Figure I-6 : cellule amorphe. [8]

- **Les cellules en silicium monocristallin** : (un seul cristal), d'un beau bleu uniforme qui ont un très bon rendement (au moins 150 Wc/m^2) mais sont chères. [7]



Figure I-7 : cellule monocristalline. [8]

- **Les cellules en silicium polycristallin** : où l'on voit les cristaux bleus. Ce sont les plus utilisées, car elles sont moins chères que les monocristallines et ont un rendement assez bon (au moins 100 Wc/m^2). [7]



Figure I-8 : cellule polycristalline. [8]

- **Les cellules Tandem :** sont faites de deux cellules simples, une amorphe sur une cristalline, ce qui permet de combiner les avantages des deux.
- **Les cellules organiques :** apparues dans les années 90 dans le but de faire baisser les coûts de production. Elles ont comme substrat du plastique (et sont donc issues de la chimie du pétrole) et sont encore au stade expérimental, mais il semble que ce soit un secteur d'avenir très prometteur.
- **Les cellules multi-jonction :** développées pour des applications spatiales. Elles sont composées de couches minces dont chacune correspond à un semi-conducteur différent. Ces cellules sont très prometteuses dans l'avenir car elles ont un excellent rendement.
- **Les concentrateurs photovoltaïques (CPV) :** qui captent des longueurs d'onde spécifiques aujourd'hui peu exploitées.
- **Les semi-conducteurs Cuivre, Gallium, Indium, Sélénium (CGIS) :** Certains de ces matériaux sont extrêmement rares (l'indium est produit à 25 tonnes par an), si bien qu'il ne faut pas espérer une grande diffusion de ces cellules.
- **Les cellules de Graetzel :** (du nom de leur inventeur) qui sont encore en étude et sont inspirées de la photosynthèse des plantes. Elles comportent d'une part une couche de di- oxyde de Titane recouverte d'un colorant et d'autre part une solution électrolytique. [7]

I-4-3 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :

La figure (I-9) présente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque sous éclairement. Elles constituent d'un générateur de courant (I_{ph}) monté en parallèle avec une diode. Deux résistances parasites sont introduites dans ce modèle. Ces résistances influencent sur la caractéristique $I = f(V)$ de la cellule. La résistance série (R_s) est la résistance interne de la cellule,

elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles. La résistance shunt (R_{sh}) est due à un courant de fuite au niveau de la jonction, elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

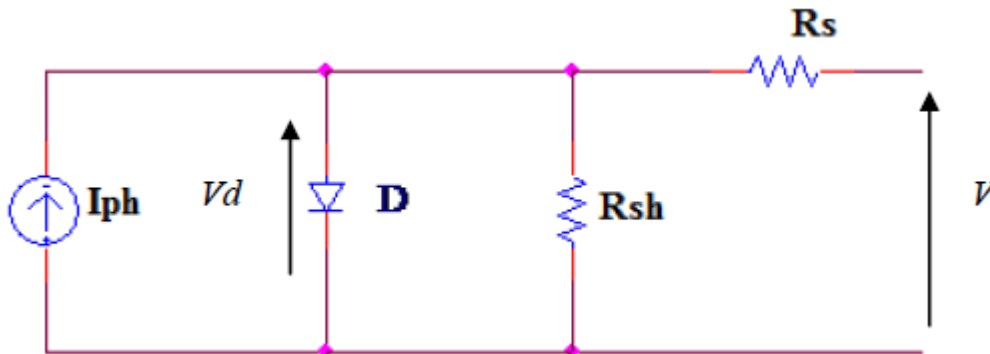


Figure I-9 : Schéma équivalent électrique de la cellule PV.

La figure (I-10) montre la caractéristique courant-tension d'une cellule PV à une température fixée et à une certaine ambiante irradiation G_a .

Les principales caractéristiques électriques d'une cellule/module photovoltaïque sont :

- Courant de court-circuit : I_{cc} / I_{sc} (Short circuit en anglais).
- Tension de circuit ouvert : V_{co} / V_{oc} (Open circuit en anglais).
- Point de puissance maximale : PPM/MPP (Maximum Power Point en anglais).
- Tension de MPP : V_{ppm} / V_{mpp} .
- Courant de de MPP : V_{ppm} / V_{mpp} .

Ces caractéristiques sont fortement liées aux conditions météorologiques de site.

Le point de fonctionnement de système dans des conditions bien déterminées est directement lié à la caractéristique de la charge branchée avec le GPV.

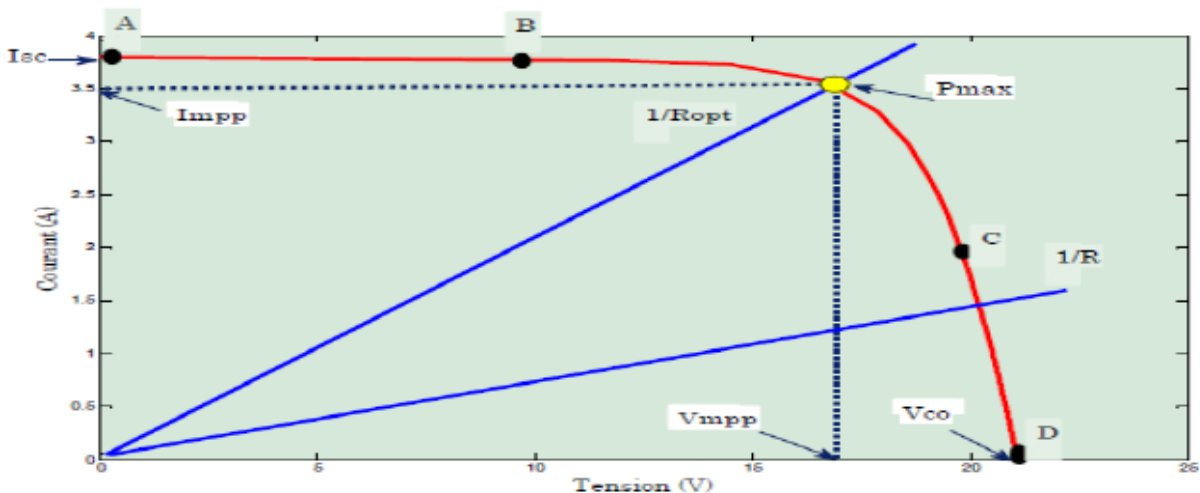


Figure I-10: Caractéristiques courant-tension de la cellule photovoltaïque. [9]

I-4-4 Regroupement des cellules et des modules PV :

I-4-4-1 Regroupement en série :

Une association de (N_s) cellule/modules en série figure (I.11) permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules/modules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation résume les caractéristique électriques d'une association série de (N_s) cellules.

$$V_{coNs} = N_s * V_{co}$$

$$I_{cc} = I_c$$

V_{coNs} : La somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules/modules en série.

I_{cc} : Courant de court-circuit de N_s cellules/modules en série.

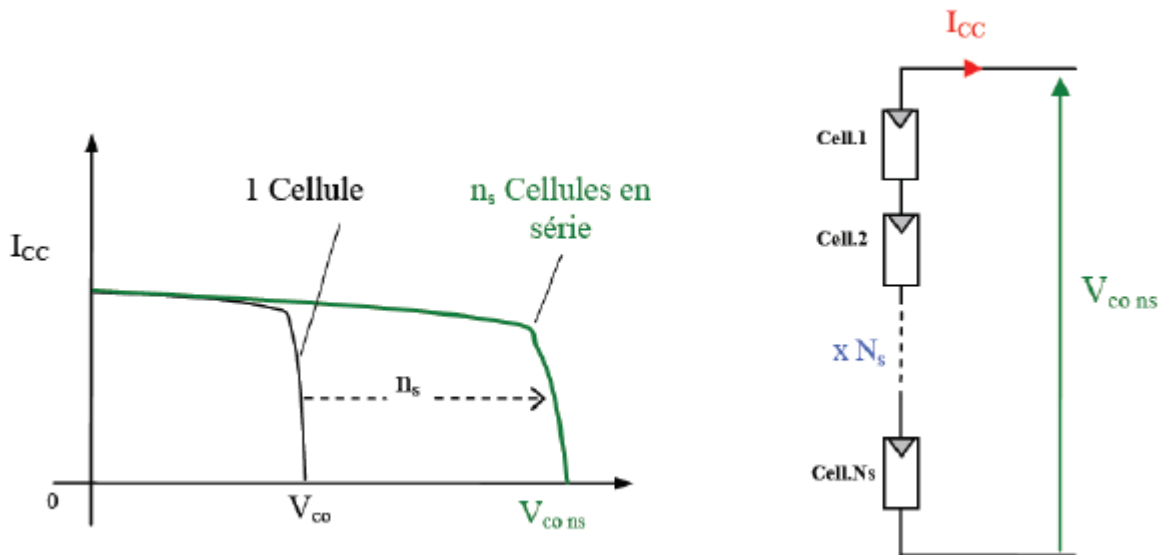


Figure I-11 : Caractéristique courant tension de N_s cellule/modules en série.

I-4-4-2 Regroupement en parallèle :

Une association parallèle de (N_p) cellules/modules figure (I.12) est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules/modules identiques connectées en parallèle, les cellules/modules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

Avec :

$$I_{ccNp} = N_p * I_{sc}$$

$$V_{co} = V_{coNp}$$

I_{ccNp} : La somme des courants de cout circuit de (N_p) cellule en parallèle.

V_{coNp} : tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.

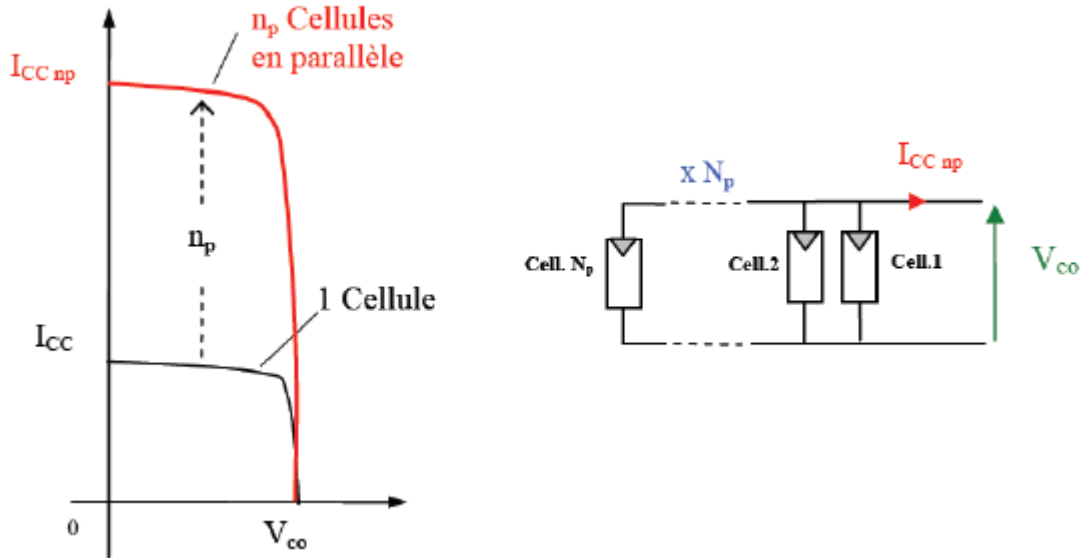


Figure I-12 : Caractéristique courant tension de (N_p) cellule/modules en parallèle.

I-4-4-3 Regroupement (série et parallèle) :

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représentée ci-dessous, ce qui peut être généralisé sur une gamme de N_s modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant.

Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque.

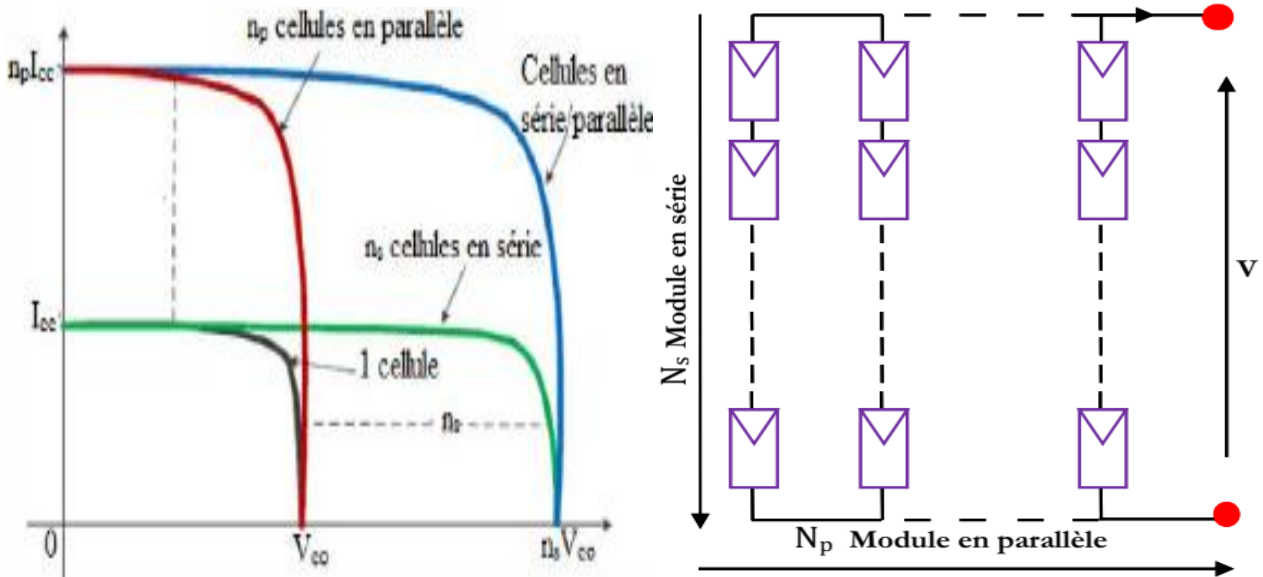


Figure I-13 : Caractéristique courant tension de cellule/modules (série et parallèle). [10]

I-5 Domaines d'application de l'énergie photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque est exploitée dans une large gamme d'applications :

- Électrification rurale (éclairage, réfrigération...).
- Télécommunications (relais hertzien, relais T.V., relais radiotéléphone...).
- Pompage.
- Signalisation (routière, aérienne, maritime...), détection.
- Protection (commandes de vannes de sécurité, système d'alarme...).
- Stations de mesures (stations automatiques météorologiques, mesures de débit, de Niveau, comptage de trafic), ...etc. [5]

I-6 Avantages et inconvénients de la technologie photovoltaïque :

- **Avantage :** La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages.
 - D'abord, une haute fiabilité, elle ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
 - Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.
 - Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.

- Cette source est entièrement gratuite et pratique, permettant la fourniture de courant électrique, même dans des zones isolées.
- Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

➤ **Inconvénients** : Le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients...

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.

Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis. [11]

I-7 Conclusion :

Dans ce chapitre Nous avons introduit le principe des systèmes photovoltaïques dont les éléments de base sont les cellules solaires, leurs caractéristiques et la technologie utilisée dans la conception de ces cellules.

Nous avons décrit également les avantages et les inconvénients de la production d'électricité à base d'énergie solaire photovoltaïque.

Chapitre II

II-1 Introduction :

Dans ce chapitre, on va présenter les différents éléments constitutifs un système photovoltaïque.

Dans un système photovoltaïque en trouvant plusieurs dispositifs nécessaires pour avoir un bon fonctionnement de système, le module photovoltaïque, sa définition et ses différents caractéristiques, la régulation solaire, les batteries solaires et on va définir qu'est-ce que un onduleur et ses différents types. Enfin, en parlerons sur la protection de système photovoltaïque et on va introduire l'éclairage public qui est l'objectif de notre travail, en terminant ce chapitre par une conclusion.

II-2 Composants d'un système photovoltaïque :

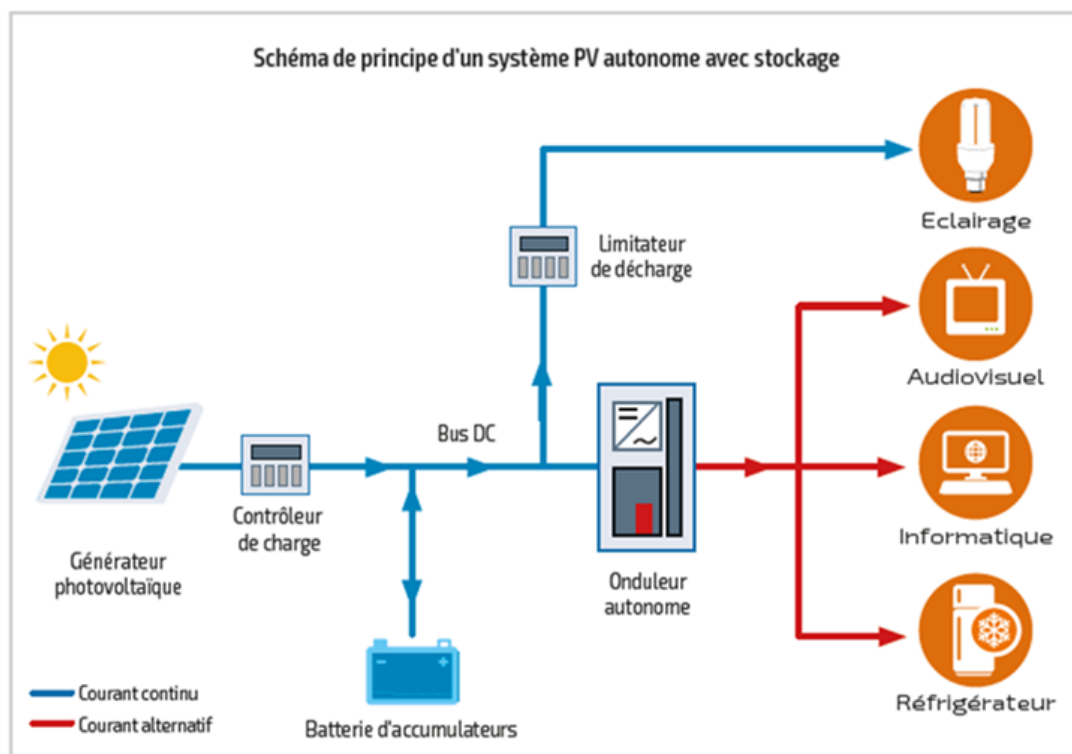


Figure II-1 : Schéma de principe d'un système PV autonome avec stockage. [12]

Il existe plusieurs composants dans un système photovoltaïque :

- Modules photovoltaïques (Générateur photovoltaïque).
- Batteries de stockage.
- Régulateurs de charge.
- Convertisseurs. [13]

II-2-1 Le module photovoltaïque :

II-2-1-1 Définition de module photovoltaïque :

Le module photovoltaïque est un ensemble de cellules solaires assemblées pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition à la lumière. [14]

II-2-1-2 La caractéristique électrique du module PV :

Les caractéristiques courant-tension (I-V) et puissance-tension (P-V) d'un module photovoltaïque mettent en évidence son comportement vis-à-vis des charges possibles sous des conditions particulières d'ensoleillement et de température en particulier. En effet, c'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque. La Figure (II-2) donne les caractéristiques courant-tension (I-V) et puissance-tension (P-V) d'un module PV pour un éclairement et une température donnés.

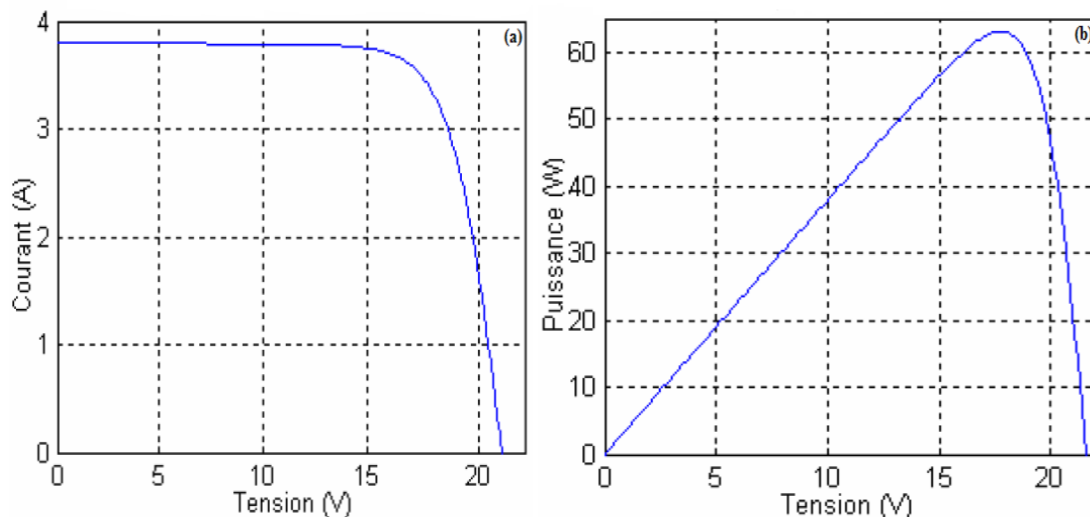


Figure II-2 : Caractéristiques d'un module PV : I-V (a) et P-V (b). [15]

II-2-1-3 Caractéristiques techniques d'un module photovoltaïque :

Les caractéristiques essentielles d'un module photovoltaïque sont les suivantes:

- puissance nominale ou crête, exprimée en watt (W).
- tension à la puissance nominale, exprimée en volt (V).
- courant à la puissance nominale, exprimé en ampère (A).
- tension de circuit ouvert, exprimée en volt (V).
- courant de court-circuit, exprimé en ampère (A).

- température NOCT: la NOCT est la température atteinte par la cellule à l'intérieur du panneau en circuit ouvert, sous une puissance solaire de 800 W/m^2 , une température ambiante de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ et un vent de 1 m/s . Une NOCT trop élevée diminue l'efficacité du panneau.
- coefficient de température : certaines fiches mentionnent le coefficient de température αP_m qui indique la perte de puissance du panneau en fonction de l'augmentation de la température ; valeur moyenne : $0,50 \text{ } \%/^\circ\text{C}$ par cellule.
- poids et dimensions du module.
- garantie et certification : très souvent, les panneaux vendus ont une garantie minimale de performance électrique qui correspond à la réduction de leur puissance maximale de sortie de $10 \text{ } \%$ sur 20 ans . [16]

II-2-1-4 Choix des modules photovoltaïque :

Le choix des modules doit tenir compte prioritairement des besoins en énergie de la charge du système, et doit tenir compte des éléments ci-après :

- **Le nombre de cellules** : dans un module cristallin le nombre des cellules varie entre 36, 60 et 72 cellules. Chaque type des modules est adapté à la tension de bac de batterie utilisée dans le système PV ($12\text{V}/24\text{V}$ ou 48 V), dans les systèmes ou le convertisseur de puissance (régulateur, onduleur..) a la fonction MPPT le nombre des cellules n'est pas important.
- **L'étiquetage** : l'étiquette doit mentionner clairement la puissance crête, le courant de court-circuit, la tension en circuit ouvert, l'intensité en lieu de fabrication. Le module doit être conforme à une norme internationale reconnue comme IEC 61215.
- **La garantie** : une garantie de 5 ans est un minimum et de nombreux modules cristallins sont garantis 25 ans.
- **L'état, pour un module d'occasion** : un module d'occasion doit être testé en plein soleil au moyen d'un caractériser PV. Ceci permet de comparer son rendement et sa puissance nominale (si elle est connue).
- **L'application** : le module choisi doit être adapté à la charge de batteries de 12 V dans des applications autonomes. Il faut, en règle générale, éviter les modules prévus pour des applications raccordées au réseau ou des applications basse tension spécialisées sauf lorsqu'il est certain qu'ils sont également compatibles avec ce type d'applications.

- **Le rapport qualité/prix** : il faut voir plusieurs modèles, comparer très attentivement les caractéristiques, les prix et les garanties, analyser les courbes caractéristiques I/U et les fiches techniques des modules qui pourraient convenir.
- **La précision des informations** : il faut se méfier des allégations générales et vagues de certains fournisseurs ou revendeurs. Certains vendeurs de modules amorphes prétendent que leurs modules « sont mieux adaptés au climat tropical » parce qu'ils seraient « moins sensibles à la chaleur ». [17]

II-2-2 Régulateur solaire :

II-2-2-1 Définition de régulateur de charge solaire :

Un contrôleur de charge ou régulateur de charge est essentiellement un régulateur de tension et/ ou de courant destiné à optimiser la puissance arrivée de générateur PV et à gérer la charge et la décharge de la batterie. Il régule la tension et le courant provenant des panneaux solaires allant à la batterie et la protège contre tous risques électriques. [18]

II-2-2-2 Principe et fonctionnement du régulateur :

Le régulateur a essentiellement un rôle de protection contre la surcharge ou la décharge profonde de la batterie. Il évite qu'en fin de charge d'une batterie ne se produise un phénomène de surcharge qui amènerait une ébullition provoquant une perte d'eau et que la décharge ne dépasse un seuil limite (généralement 80 % de la capacité de la batterie), ce qui l'endommagerait.

La mesure de la tension de la batterie permet d'évaluer son état de charge. Les régulateurs sont donc réglés à des tensions de coupure (seuil haut et seuil bas) qui correspondent aux limites de charge et de décharge à ne pas dépasser.

Ce réglage est principalement fonction du type de batterie. Il varie aussi en fonction du courant de charge (taille du générateur), du courant de décharge (nombre et taille des récepteurs) ainsi que des conditions locales (température). Ce réglage nécessite l'intervention d'un professionnel (en usine ou sur le terrain). [19]

II-2-2-3 Types de régulateurs de charge :

On distingue quatre types régulateurs de charge (certaines fonctions étant parfois identiques) selon le mode de régulation utilisé.

- **Les régulateurs série** utilisent des relais ou des commutateurs électroniques en série entre le module et la batterie pour déconnecter le module lorsque la tension de la batterie atteint un niveau prédéterminé. Quand l'état de charge de la batterie baisse après utilisation de la charge, le régulateur reconnecte le chargeur afin qu'il recharge la batterie pendant le cycle solaire suivant. Ce type est le plus simple et le moins cher, mais aussi le moins courant dans les installations modernes.
- **Les régulateurs shunt (à dérivation) montés en parallèle** entre le panneau solaire photovoltaïque et la batterie réduisent progressivement le courant fourni par le panneau à la batterie dès que les critères de fin de charge de la batterie (tension de la batterie ou mieux encore, son état de charge) commencent à être atteints puis dérivent le courant vers une résistance et le renvoient vers le panneau, dont la conception lui permet de bien supporter le court-circuit. Les régulateurs de ce type sont généralement bon marché, de conception simple, et bien adaptés aux installations PV de faible puissance non raccordées au réseau.
- **Les régulateurs à modulation de largeur d'impulsion (MLI)** envoient à la batterie des impulsions variables selon l'état de charge. Lorsque l'état de charge est faible, l'impulsion est large (la charge élevée) ou la charge est continue. Lorsque l'état de charge est élevé, le régulateur envoie des impulsions de plus en plus étroites. Lorsque l'état de charge est maximal (mode « charge d'entretien ») la batterie reçoit de temps en temps une impulsion étroite. Le régulateur mesure l'état de charge et ajuste l'impulsion en conséquence.
- **Les régulateurs à recherche du point de puissance maximale (MPPT)** utilisent une électronique de conversion cc/cc pour suivre le point de puissance maximale de la courbe caractéristique I/U du module ou du générateur solaire photovoltaïque. Attention la tension au point de puissance maximale d'un module est souvent bien plus élevée que la tension de charge de la batterie. En maintenant la tension de charge au point de puissance maximale les régulateurs MPPT accroissent de 10 à 35 % la quantité d'énergie fournie par le panneau solaire photovoltaïque. Étant donné qu'ils peuvent également accepter des tensions plus élevées en provenance du module, ils peuvent être utilisés avec des modules à tension plus élevée (24 V ou plus) et convertir le courant en 12 V (ou à la tension nominale de la batterie). On les trouve plutôt dans les installations de forte puissance, où l'optimisation de la production des panneaux solaires permet des réductions de coûts significatives. [17]

II-2-2-4 Caractéristiques d'un régulateur :

La tension de 12 V, 24 V ou 48 V est choisie en fonction de la tension de sortie du générateur photovoltaïque pour respecter l'adéquation des tensions. Pour déterminer la puissance acceptable, il faut distinguer les deux parties du régulateur :

- **Partie régulation de charge (entrée du régulateur) :** le régulateur est défini par son courant d'entrée, on le choisira supérieur au courant maximal délivré par le générateur photovoltaïque.
- **Partie régulation de décharge (sortie du régulateur) :** le courant de sortie du régulateur est choisi en fonction du courant maximal demandé par les récepteurs. Le courant de sortie admissible devra être supérieur ou égal au courant maximal récepteur en veillant bien à tenir compte des courants de pointe (au démarrage d'un moteur par exemple, il y a un fort "appel" de courant). [19]

II-2-2-5 La différence entre un contrôleur PWM et un MPPT :

Selon une étude faite par la Société Germany Victron-énergie ; le régulateur MPPT produit en général des bonnes performances en comparant avec le régulateur PWM malgré son coût élevé sauf dans le cas des installations à faible puissance et avec une température de fonctionnement de cellule entre 45° et 75 °. La figure suivante résume cette étude :

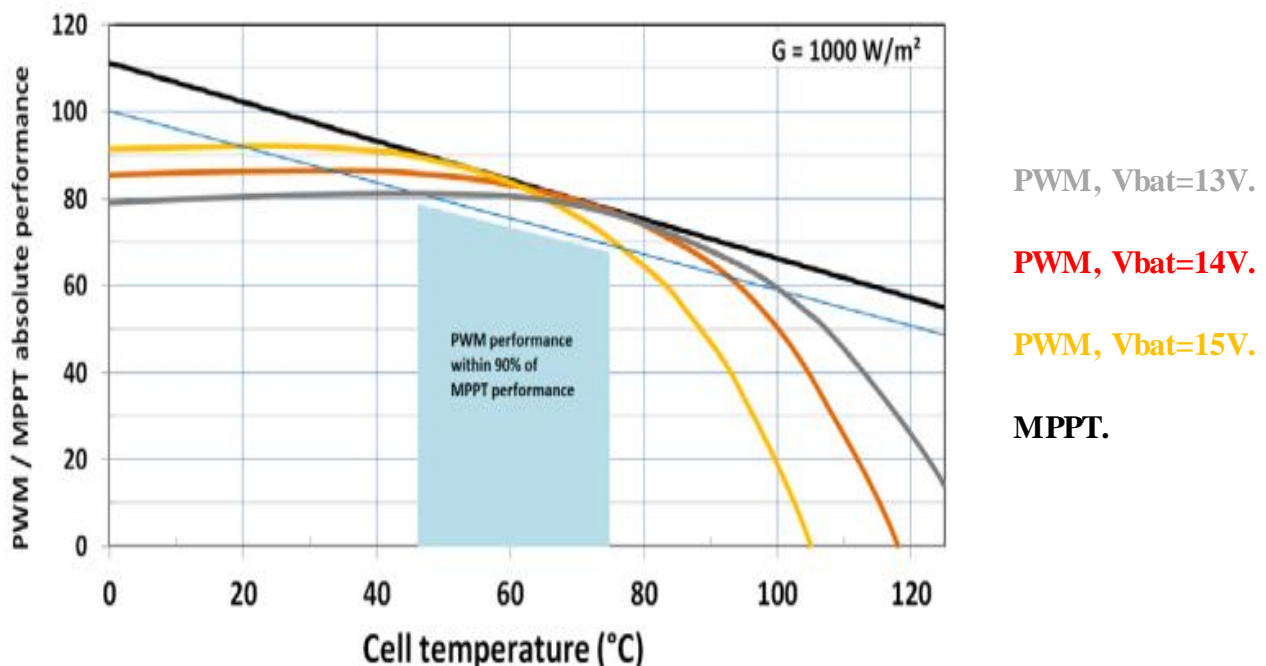


Figure II-3 : La différence entre un contrôleur PWM et un MPPT. [20]

II-2-3 Batterie solaire :

II-2-3-1 Le stockage de l'énergie :

Le problème, c'est que l'énergie solaire est produite principalement pendant la journée, alors qu'elle est principalement utilisée la nuit et en hiver. Il faut donc pouvoir la stocker pour de courts moments (décalage jour/nuit).

Les états producteurs d'énergie recherchent des modes de stockage d'énergie sophistiqués comme le stockage d'hydrogène, la fabrication d'air comprimé ou le pompage inverse de l'eau des barrages. Pour un particulier, le système le plus simple actuellement reste les batteries. Dans les endroits où les conditions climatiques sont extrêmes, on utilise les batteries au Nickel-cadmium, mais celles-ci sont chères. Les accumulateurs stationnaires au plomb (batterie plomb/acide qui ont été fabriquées pour la première fois en 1859) semblent avoir actuellement le meilleur rapport qualité prix. Ce sont d'ailleurs ces batteries qui équipent toutes les applications professionnelles (relais de télévision, phares...).

Leur lieu de stockage est très important puisqu'il peut faire varier leur durée de vie de 2 à 12 ans. Il faut absolument éviter l'humidité. La température joue également un rôle : il faut savoir qu'une augmentation de chaleur accélère les réactions et qu'une baisse de température les ralentit. Si possible, il faut donc les garder dans un endroit sec et frais, sans trop de variations de température. [7]

II-2-3-2 Définition de Batterie solaire :

Les batteries sont des systèmes électrochimiques qui restituent sous forme d'énergie électrique, exprimée en wattheure (Wh), l'énergie chimique générée par des réactions électrochimiques. Ces réactions sont activées au sein d'une cellule élémentaire (accumulateur) entre deux électrodes baignant dans un électrolyte lorsqu'une charge extérieure est branchée à ses bornes: il s'établit un courant créant une modification chimique des plaques et de l'électrolyte et cette modification produit une différence de potentiel entre les deux plaques. La circulation des électrons à l'intérieur de l'électrolyte est assurée grâce aux ions. Durant la décharge, les plaques positives subissent une « réduction », c'est-à-dire qu'elles consomment des électrons, alors que les plaques négatives libèrent des électrons (réaction d'oxydation) (figure II-4). Le phénomène inverse se produit pendant la charge.

Lors de la décharge, l'accumulateur fonctionne comme un générateur : il fournit de l'énergie électrique en faisant passer dans le circuit extérieur un courant dont le sens est imposé par la

transformation chimique spontanée. Lors de la charge, l'accumulateur devient un récepteur en travaillant dans le sens contraire de son sens d'évolution spontanée.

Le séparateur sert à empêcher le contact entre les deux électrodes. Il doit être solide, résistant et perméable à l'électrolyte, tout en restant électriquement isolant afin d'éviter les courts-circuits internes.

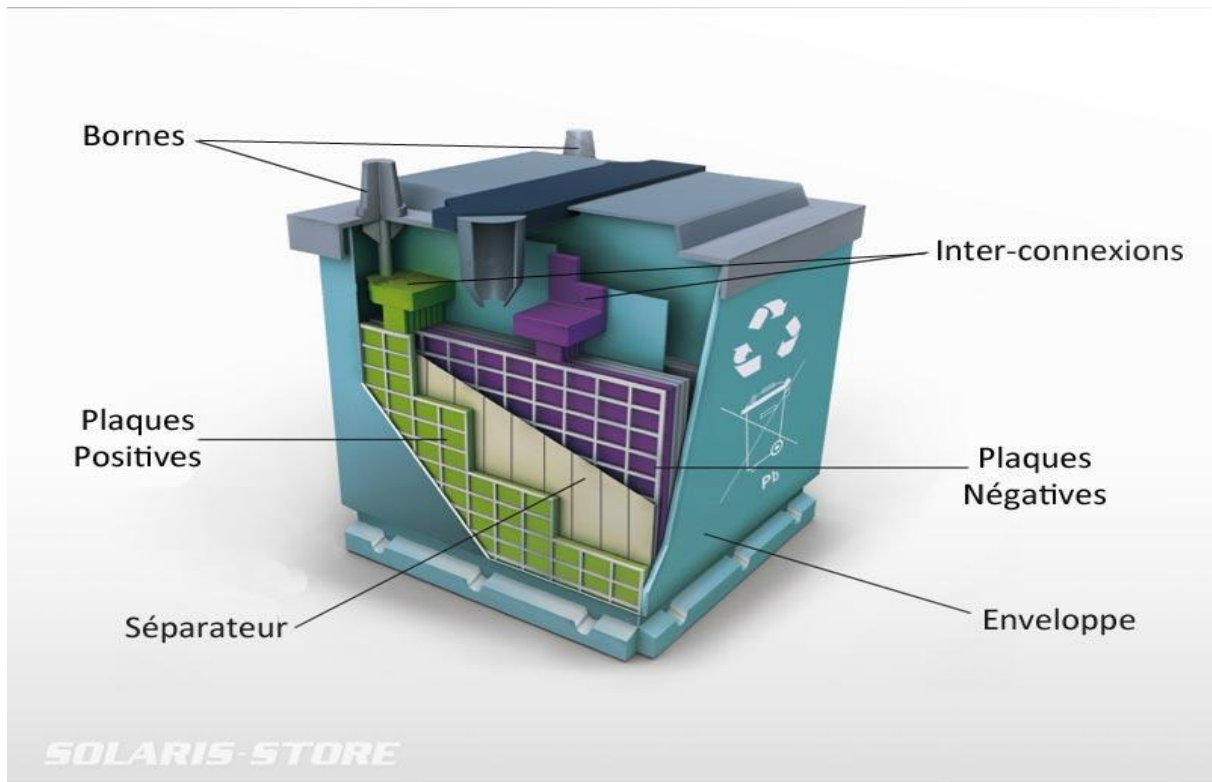


Figure II-4 : Description de l'intérieur d'une batterie. [21]

II-2-3-3 Les caractéristiques électriques d'une batterie :

- La tension U , dépendant du nombre d'éléments montés en série et constituant la batterie.
- La tension électromotrice E , qui est égale à la tension quand la batterie ne débite aucun courant. Dès qu'elle débite un courant, la tension mesurée est fonction de la résistance interne :

$$U = E - I \cdot r \quad (\text{II.1})$$

Avec :

U : tension mesurée aux bornes de la batterie (V).

E : tension électromotrice de la batterie (V).

r : résistance interne de la batterie (Ω).

I : intensité du courant débité (A).

Les batteries stationnaires sont spécialement conçues pour supporter ces cycles successifs de charge et de décharge pendant une longue période, contrairement aux batteries de démarrage de voiture qui fonctionnent constamment à pleine charge sans décharge profonde.

Une batterie est constituée de plusieurs cellules appelées accumulateurs ou éléments délivrant une tension nominale unitaire. La valeur de cette tension dépend des couples de matériaux utilisés dans la batterie. Par exemple, elle est de 2,05 V pour les accumulateurs au plomb. En général, les batteries au plomb comprennent 6 accumulateurs disposés en série dans un seul carter commun pour délivrer une tension totale de 12 V. Il est possible d'augmenter la valeur de la tension en ajoutant des accumulateurs supplémentaires : 12 pour 24 V, 24 pour 48 V, etc... [16]

II-2-3-4 Raccordement de batteries :

Dans les systèmes photovoltaïques on utilise trois types de raccordement des batteries :

a) Raccordement série :

Dans ce type on doit augmenter la tension des batteries afin d'obtenir la tension voulu 12, 24 ou 48V mais la capacité reste telle quelle est.

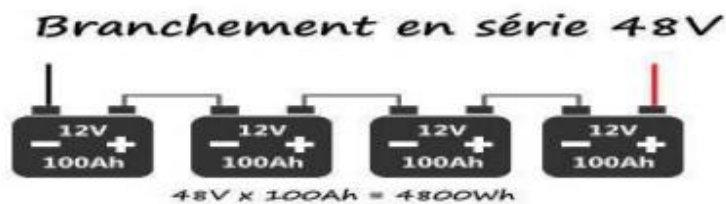


Figure II-5 : Raccordements des batteries en série.

b) Raccordement parallèle :

Le cas contraire ici on veut augmenter la capacité des batteries tandis que et la tension ne change plus.

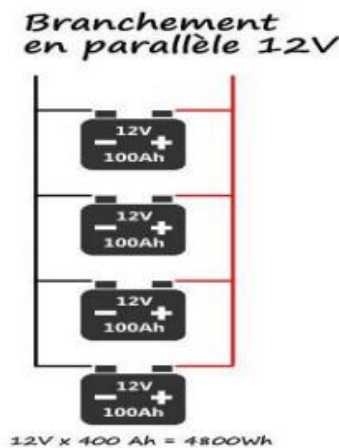


Figure II-6: Raccordement des batteries parallèle.

c) Raccordement mixte ou (série parallèle) :

Dans ce cas on joue sur les deux grandeurs tension et capacité selon les besoins alors on va raccorder un ensemble en série pour avoir une telle tension (24V ou 48V par exemple) et le même autre ensemble en parallèle pour augmenter la capacité (Ah).

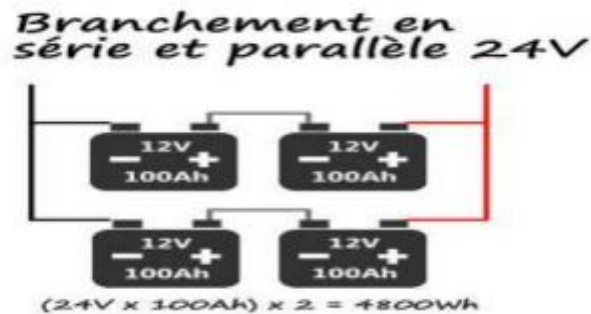


Figure II-7: Raccordement des batteries en mixte ou sérié/parallèle. [5]

II-2-3-5 Comparaison technique entre les différents types de batteries cotées technique :

Tableau II-1 Caractéristiques des différents types de batteries, les valeurs indiquées peuvent varier en fonction des applications spécifiques. [21]

	Acid/plomb	NiCd	NiMH	Li-Ion
Cycle de vie	>1000	1500	500	500 à 1000
Temps de charge	8 à 16 h	2 à 4 h	2 à 4 h	2 à 4 h
Autodécharge	5 %	20 %	20 %	10 %
Tension	2 V	1,25 V	1,25 V	3,6 V
Température d'utilisation	-35 à 60 C	-20 à 60 C	-20 à 60 C	-20 à 60 C
Densité d'énergie	30 à 50 Wh/kg	45 à 80 Wh/kg	60 à 120 Wh/kg	110 à 180 Wh/kg

II-2-3-6 Batterie plomb-acide :

II-2-3-6-1 Définition d'une batterie plomb-acide :

Une batterie au plomb acide est un ensemble d'éléments de 2 volts connectés en série pour obtenir la tension d'utilisation désirée. Ces éléments sont constitués de plaques positives et négatives, assemblées en alternance.

Ces plaques sont recouvertes de matières actives-bioxyde de plomb pour la positive et plomb spongieux pour la négative. Ces électrodes plongent dans une solution d'acide sulfurique, la quantité de matières formées donne une capacité plus ou moins grande.

Le nombre de plaques de chaque polarité, leur surface, ainsi que la quantité d'acide disponible dans l'électrolyte (composé chimique liquide ou gélifié dont le rôle est de fournir les ions sulfates nécessaires aux réactions d'oxydoréduction produites lors des recharges et décharges d'une batterie) sont des paramètres qui définissent la capacité de l'élément (aptitude pour une batterie chargée de restituer un certain nombre d'ampères heure, en régime de courant de décharge constant, sous une tension d'arrêt et une température définies).



Figure II-8 : Batterie au Plomb-Acide. [22]

II-2-3-6-2 Caractéristiques de la batterie :

Capacité nominale : C'est la quantité maximum d'énergie que contient une batterie (sous température idéale de 25°). Elle s'exprime en Ampère heure (Ah).

Etat de charge : C'est le pourcentage de la quantité d'énergie disponible dans la batterie à un instant t.

Profondeur de décharge (PDD) : C'est le pourcentage d'énergie maximum que l'on peut retirer d'une batterie. Elle ne doit pas être déchargée au-delà de cette valeur, afin de prolonger sa durée de vie.

Température : La variation de température influence le rendement de la batterie. Celle-ci a un fonctionnement idéal à température ambiante de 25°C ; Il faut donc prévoir si possible une régulation thermique pour maintenir sa durée de vie.

Tension nominale : C'est la tension type de la batterie. Elle correspond aussi à la tension de fonctionnement du système autonome. Ex : Tension 12V, 24V, 48V...

Taux de décharge : C'est le temps nécessaire pour décharger entièrement la batterie. Supposons une batterie de capacité de 100Ah et de courant de décharge de 5 A : Le taux de décharge sera 100Ah / 5A soit 20 heures ; Il est noté C/20.

Taux de recharge : C'est la quantité de courant qu'il faut pour recharger une batterie en un temps donné (temps du taux de décharge). Supposons une batterie de 100Ah et de taux de décharge C/20 : Le taux de recharge sera 100Ah / 20h soit 5 A.

Cycle et durée de vie : C'est le nombre de séquences de charge/décharge, que peut subir une batterie à sa profondeur de décharge. Il détermine les performances de la batterie et sa durée de vie.

Nombres de jours d'autonomie : C'est la durée pendant laquelle la batterie peut alimenter toute seule l'installation en courant, sans être rechargée ni endommagée.

II-2-3-6-3 Les différents types de batteries au plomb :

Les accumulateurs au plomb sont divisés en deux grandes familles : les batteries ouvertes (Vented Batteries) et les batteries scellées (recombinaison de gaz).

Tableau II-2 : Principales comparaisons des 2 familles technologiques de la batterie au plomb. [23]

TYPE DE BATTERIE AU PLOMB	OUVERTE	À RECOMBINAISON DE GAZ
ÉLECTROLYTE	Liquide	gélifié
AVANTAGES	<ul style="list-style-type: none"> • durée de vie pouvant être importante (5 à 15 ans) • technologie la moins chère 	<ul style="list-style-type: none"> • recombinaison => pas de perte en eau (pas d'entretien) • très faible taux de dégagement de gaz (sécurité)
INCONVÉNIENTS	<ul style="list-style-type: none"> • consommation d'eau (maintenance) • installation en locaux spécifiques (dégagements gazeux) 	<ul style="list-style-type: none"> • plus faible durée de vie (modes de défaillance spécifiques) • plus sensible à la température

II-2-3-7 Critères de choix des batteries :

- Durée de vie très longue (plusieurs années).
- Tension de service en (V).
- Capacité en (Ah).
- Résistant à des cycles de vie nombreux et irréguliers.
- Rendement élevé.
- Autodécharge très faible.
- Pas de maintenance nécessaire. [24]

II-2-4 Onduleur solaire :

II-2-4-1 Définition de l'onduleur :

Un onduleur (ou convertisseur) est un dispositif permettant de transformer la tension continue issue des modules photovoltaïques ou des batteries en tension alternative qui est réinjectée soit dans le réseau, soit dans un site isolé afin de couvrir ses besoins. En quelque sorte, il permet de rendre utilisable l'électricité produite par les modules ou par les batteries en respectant les caractéristiques techniques des appareils électriques ou du réseau (220 V/50 Hz pour la France).

Sa tension de sortie est réglée pour rester stable, avec des écarts inférieurs à 5 % quelles que soient la tension d'entrée et la charge électrique. Il se présente sous la forme d'un petit boîtier métallique muni parfois d'un ventilateur. Il doit être placé sur un support vertical et dans un espace interne ventilé, le plus proche possible du générateur photovoltaïque afin de réduire les pertes d'électricité en ligne. [16]

II-2-4-2 Type d'onduleurs :

On peut trouver trois types d'onduleurs utilisés dans les énergies renouvelables, onduleurs autonomes et les onduleurs connectés au réseau, Il existe aussi les onduleurs hybrides ou intelligents.

a) Onduleurs autonomes : à partir d'une source continue (Batterie) l'onduleur doit fournir une tension alternative 220V avec une fréquence de 50Hz ou 60Hz afin d'alimenter une telle charge alternative.



Figure II-9 : Onduleurs autonomes.

b) Onduleurs non autonomes (connecté au réseau) : Il doit être connecté au réseau et à la source contenue pour délivrer une tension alternative de même tension et fréquence de réseau électrique pour l'injecter au réseau électrique.



Figure II-10 : Onduleurs non autonomes.

c) Onduleurs hybrides ou intelligents (smart inverter hybrid) : Il représente une nouvelle génération des onduleurs intelligents qui gèrent très bien plusieurs sources afin d'alimenter une telle charge alternative. Ce genre des onduleurs reçoit 3 sources (panneaux, Batteries et réseau) puis il gère ces trois derniers afin de délivrer une tension de 220V 50Hz avec un courant bien défini. Quel que soit les sur constances (nuit nuage ou autre).



Figure II-11 : Onduleurs hybrides ou intelligents.

II-2-4-3 Caractéristiques d'onduleur solaire :

Un onduleur solaire se caractérise généralement par :

- Puissance nominale.
- Puissance au pic (puissance au démarrage qui doit être plus).
- Forme d'onde (purement sinusoïdale ou carrée).
- Tension d'entrée.
- Tension de sortie.
- Plage de tension d'entrée.

- Protection contre Court-circuit, surcharge, température élevée, baisse tension de batterie.
- Température de fonctionnement. [24]

II-2-4-4 Critère de choix :

Plusieurs critères vont intervenir dans le choix de cet appareil électronique sophistiqué :

- une qualité élevée limitant les pannes et interventions sur site.
- un rendement élevé pour maximiser la production d'énergie. Un haut rendement implique peu de pertes thermiques et une température de fonctionnement plus basse améliorant la fiabilité et la durée de vie des composants.
- un service local efficace.
- un rapport prix/qualité élevé.
- une bonne facilité de montage.
- un paramétrage aisé au démarrage.
- des interfaces permettant le suivi à distance.
- La réputation du fabricant est encore un paramètre important. Il est fortement déconseillé d'utiliser des appareils inconnus même si leur prix peut paraître alléchant. [25]

II-2-5 Protection d'un système photovoltaïque :

Chaque élément de ce système doit être protégé par des organes convenables à sa nature et principe de fonctionnement sans oublier le raccordement de cet élément avec des câbles qui remplissent les conditions d'utilisation de point de vue section ou construction et pour cela on va mettre chaque élément avec la protection qui correspond :

Les panneaux solaire : on met des disjoncteurs DC ou fusible plus la mise à la terre. Aussitôt que le parafoudre.

Les batteries : il faut les protéger contre la surcharge ou le court-circuit dans les deux cotés (coté batteries –régulateur) et (coté batteries-onduleur) avec des disjoncteurs DC ou fusibles.

Le régulateur de charge : il est déjà équipé d'une protection interne représenté par les deux éléments qui sont raccordé avec lui (les panneaux et les batteries) et qui sont équipés avec cette propre protection indiquée.

L'onduleur : généralement les onduleurs solaires sont protégés eu même contre les surcharges, court-circuit ou autre défaut mais malgré ça il est indispensable de mettre un disjoncteur différentiel

à la sortie de l'onduleur pour éviter les défauts de la charge tel que court-circuit ou surcharge sans oublier la mise à la terre de tout le système afin d'obtenir une bonne protection.

Le câblage dans les deux cas (DC et AC) : on choisit la section et le chemin de câble convenable de point vue température ambiante, chute de tension ...etc.



Figure II-12 : Exemples d'organes de protection. [5]

II-3 L'éclairage public :

II-3-1 Histoire de l'éclairage :

Cette notion est définie par Pierre Merlin et Françoise Choay comme « la diffusion de la lumière artificielle dans les lieux publics afin d'assurer la sécurité des personnes et des biens, de prolonger les activités diurnes, d'embellir la ville et d'animer la ville ».



Figure II-13: Histoire de l'éclairage résumé en images.

II-3-2 Objectifs de l'éclairage public :

L'éclairage public est généralement un éclairage de chaussée offrant une amélioration de la visibilité. Il est utilisé lorsqu'il y a fréquemment coexistence de piétons et de véhicules, c'est à-dire

essentiellement à l'intérieur des localités, dans les zones bâties et le long des autoroutes et des voies de circulations rapides.

Il s'agit principalement de créer dans ces espaces, des conditions permettant aux usagers de la circulation de s'identifier mutuellement rapidement.

En outre, l'éclairage des rues doit donner un sentiment de sécurité et contribuer à la prévention des accidents (par exemple collisions aux carrefours et sur les passages pour piétons).

II-3-3 Type d'éclairage :

II-3-3-1 Eclairage intérieurs :

Les options pour l'éclairage intérieur se regroupent en deux catégories : les commandes manuelles et les commandes automatiques.

Les commandes manuelles sont souvent les plus rentables mais elles requièrent l'intervention humaine. Par exemple éteindre manuellement l'éclairage en fin de journée selon une routine quotidienne peut constituer la solution la plus efficace pour commander l'éclairage dans les bâtiments industriels où il y a des heures fixes de travail. D'un autre côté, dans les immeubles de bureaux équipés en groupes d'interrupteurs à proximité des ascenseurs, les employés qui quittent les lieux laissent en principe l'éclairage en fonction, car ils ne savent pas exactement quel interrupteur commande quel secteur du bâtiment.



Figure II-14 : Eclairage intérieurs.

II-3-3-2 Eclairage extérieures :

Généralement commandée par des détecteurs (cellule photoélectrique) permet d'assurer éclairage seulement la nuit, ce type peut aussi commandée par commande automatique ou commande par capteur, des systèmes de commande d'éclairage informatisée ou le système de commande mécanique, par exemple commande d'éclairage publique.



Figure II-15 : Eclairage extérieur.

II-4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents éléments impliqués dans la formulation du système PV. Ainsi que les principes de fonctionnement, les caractéristiques et les critères de chaque composant sélectionné, ainsi que les éléments entrant dans la protection du système photovoltaïque ainsi nous avons introduit l'éclairage extérieur qui représente l'objectif de cette mémoire.

Chapitre III

III-1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons procéder à l'étude du module Arduino et la commande PWM ou MLI et les capteurs qui vont être adaptés et appliqués pour la réalisation de régulateur de charge de batterie. Nous parlerons aussi du logiciel qui permet de programmer la carte Arduino.

III-2 Arduino :

III-2-1 Définition du module Arduino :

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre. Certains composants dans la carte comme le microcontrôleur et les composants complémentaires ne sont pas en licence libre. Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses.

Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle, mais aussi dans des domaines différents comme le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur et commander des appareils mobiles. Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Pour programmer cette carte, on utilise l'logiciel IDE Arduino.

III-2-2 Les gammes de la carte Arduino :

Actuellement, il existe plus de 20 versions de module Arduino, nous citons quelques-uns afin d'éclaircir l'évaluation de ce produit scientifique et académique :

- L'Arduino Nano, une petite carte programmable à l'aide de porte USB cette version utilise un microcontrôleur ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version).
- L'Arduino Mini, une version miniature de l'Arduino qui utilise un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Bluetooth, avec une interface Bluetooth à programmer en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Méga, en utilisant un microcontrôleur ATmega1280 pour I/O additionnel et mémoire.
- L'Arduino UNO, utilisations microcontrôleur ATmega328.

➤ L'Arduino Mega2560, utilise un microcontrôleur ATmega2560, et possède toute la mémoire à 256 kbs. Elle incorpore également le nouvel ATmega8U2 (ATmega16U2 dans le jeu de puces d'USB de révision 3).

Parmi ces types, nous avons choisi une carte Arduino Nano.

L'Arduino fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils open source comme l'interface de programmation. L'injection du programme déjà converti par l'environnement sous forme d'un code « HEX » dans la mémoire du microcontrôleur se fait d'une façon très simple par la liaison USB. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties. Cette carte est basée sur un microcontrôleur ATmega 328 et des composants complémentaires. La carte Arduino contient une mémoire morte de 1 kb. Elle est dotée de 14 entrées/sorties digitales (dont 6 peuvent être utilisées en tant que sortie PWM), 8 entrées analogiques et un cristal à 16 MHz une connexion USB et possède un bouton de remise à zéro et une prise jack d'alimentation. [28]

III-2-3 Le logiciel :

Le logiciel permet de programmer la carte Arduino, Il offre une multitude de fonctionnalités. Le langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. Le langage impose une structure particulière typique de l'informatique embarquée. Le programme est lu par le microcontrôleur de haut vers le bas. Une variable doit être déclarée avant d'être utilisée par une fonction.

La structure minimale est constituée :

- En tête : déclaration des variables, des constantes, indication de l'utilisation de Bibliothèques
- Un setup (= initialisation) cette partie n'est lue qu'une seule fois, elle comprend les fonctions devant être réalisées au démarrage (utilisation des broches en entrées ou en sortie, du port série de l'I2C etc...).
- Une loop (boucle) : cette partie est lue en boucle ; C'est ici que les fonctions sont réalisées.

En plus de cette structure minimale, on peut ajouter :

- Des « sous-programmes » ou « routines » qui peuvent être appelées à tout moment dans la boucle, très pratique pour réaliser des morceaux de codes répétitifs.
- Des « callbacks », ce sont des fonctions qui sont rappelées automatiquement depuis une bibliothèque.

III-2-4 L'interface Arduino :

L'interface du logiciel Arduino se présente de la façon suivante :

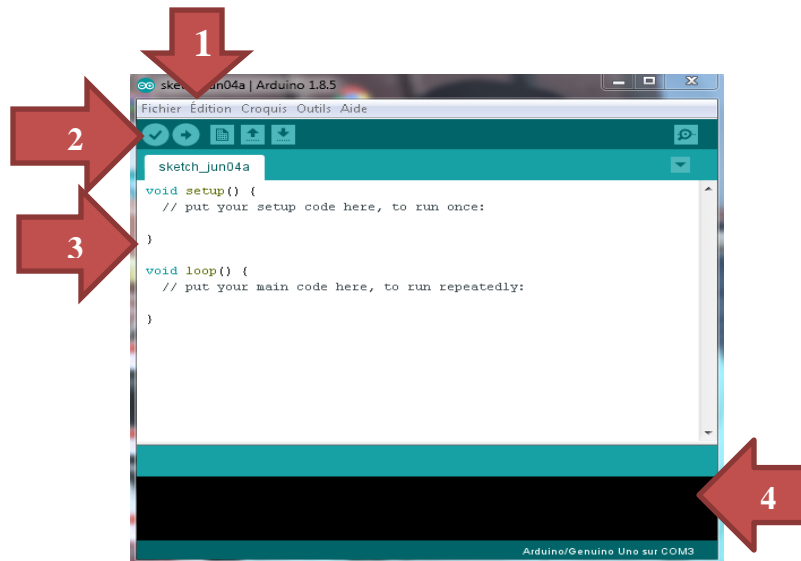


Figure III-1 : Interface de logiciel Arduino.

1. Options de configuration du logiciel.
2. Boutons pour la programmation des cartes.
3. Programme à créer.
4. Débogueur (affichage des erreurs de programmation).

- Les boutons :



Figure III-2 : Les boutons de logiciel Arduino.

1. Permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans le Programme.
2. Compiler et envoyer le programme vers la carte.
3. Créer un nouveau fichier.
4. Charger un programme existant.
5. Sauvegarder le programme en cours. [26]

III-2-5 Arduino Nano :**III-2-5-1 Définition :**

L'Arduino Nano est une carte de dimensions 45mm x 18mm. Très légère, elle ne pèse que 5g, ce qui lui permet de s'adapter aux petits systèmes électroniques embarqués et aux petits robots. C'est la carte la moins chère du marché.

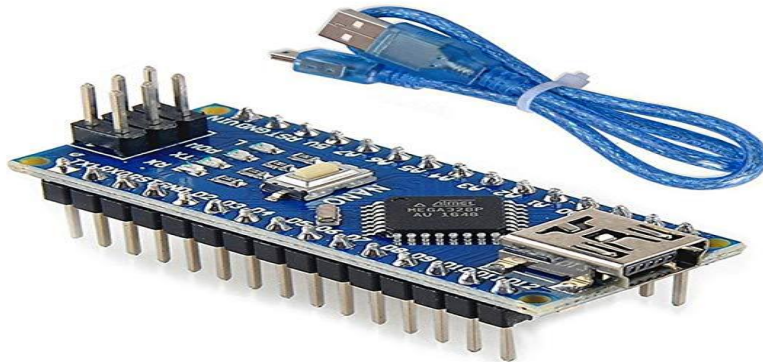


Figure III-3 : la carte Arduino Nano.

III-2-5-2 Les caractéristiques techniques générales de l'Arduino Nano :

- Microprocesseur : ATmega328.
- Mémoire flash : 32 ko.
- Mémoire SRAM : 2 ko.
- Mémoire EEPROM : 1 ko.
- 20 broches d'entrées et sorties, dont 6 broches PWM et 6 broches d'entrées analogiques 10 bits.
- 2 broches uniquement d'entrée analogique 10 bits.
- Courant par entrées-sorties : 40 mA.
- Fréquence d'horloge : 16 MHz.
- Bus série, I2C et SPI.
- Gestion des interruptions.
- Prise USB : mini-USB B.
- Boîtier DIL30.
- Dimensions : 45 x 18 x 18 mm.
- Poids : 5 g.

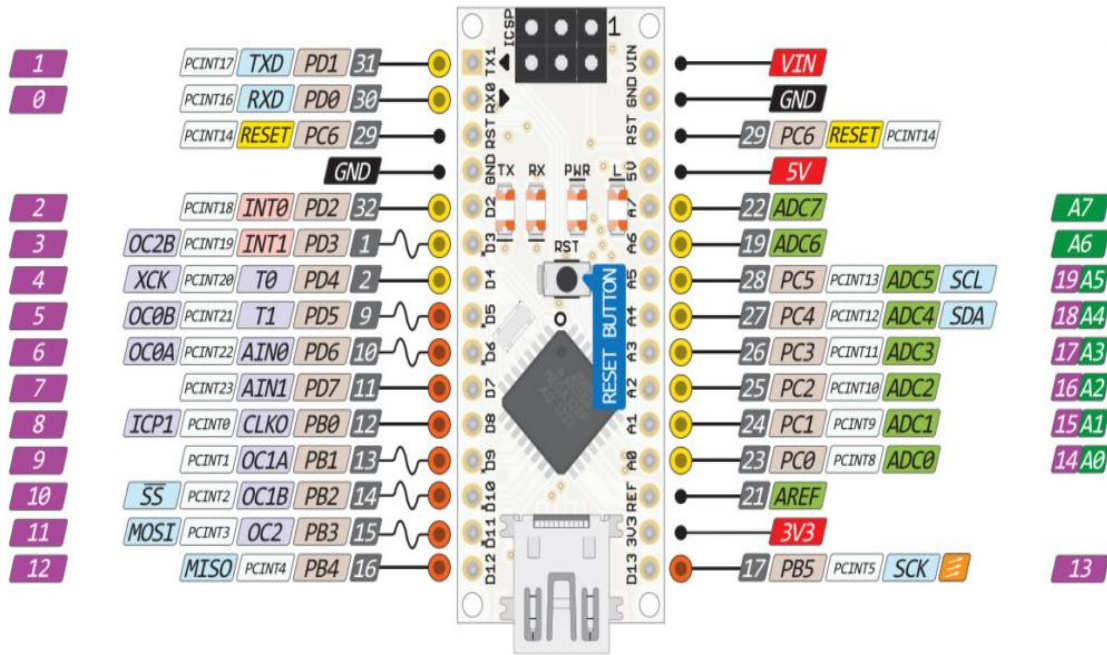


Figure III-4 : Arduino Nano datasheet.

III-2-5-3 Les avantages de l'Arduino Nano :

- Taille (45 x 18 x 18 mm).
- Un prix très faible.
- Une puissante communauté.

III-2-5-4 Les inconvénients de l'Arduino Nano :

- Manque d'options de connectivité.
- Manque de mémoire.

III-2-5-5 Fonctionnement de la carte Arduino Nano :

Pour fonctionner, la carte Nano a besoin d'être alimentée par une prise mini-USB. Il est également possible d'utiliser une source d'énergie externe avec les caractéristiques suivantes 6-20V (pin 30). On peut également se servir d'une source d'énergie externe non régulée à 5 V (pin 27).

Pour la programmer, on peut utiliser le logiciel de programmation libre de droits disponible en téléchargement et mis à disposition par Arduino. Il faut noter que le microcontrôleur ATmega328 de la carte Arduino Nano bénéficie d'un bootloader. Celui-ci assure le téléchargement de nouveaux codes sans pour autant solliciter un programmeur matériel supplémentaire. Toutefois, il existe une

solution qui permet de se passer du bootloader afin de programmer le microcontrôleur grâce au connecteur In-Circuit Serial Programming. [29]

III-3 Capteurs :

III-3-1 Définition d'un capteur :

Un capteur transforme une grandeur physique en une grandeur normée, généralement électrique, qui peut être interprétée par un dispositif de contrôle commande.



III-3-2 Différents types de capteurs utilisés dans ce projet :

III-3-2-1 Le capteur de Température LM35 :

Le capteur de température est un dispositif qui permet de transformer une grandeur physique (Température) en une grandeur électrique (tension ou courant), il existe deux type du capteur (actif et passif), dans notre cas nous allons utiliser un capteur du type actif (Circuit intégré LM35).

Il est extrêmement populaire en électronique, car précis, peu couteux, très simple d'utilisation et d'une fiabilité à toute épreuve.

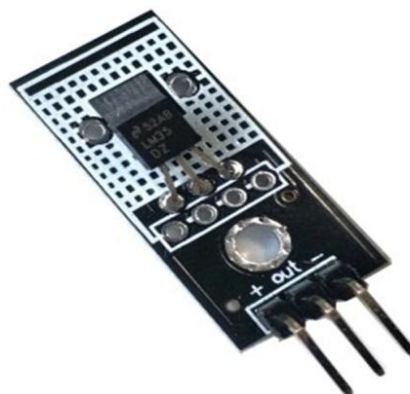


Figure III-5 : Capteur de température.

III-3-2-1-1 Caractéristiques du capteur de température LM 35 :

Le capteur LM35 est un capteur de température où la tension de sortie est linéairement proportionnelle à la température en Celsius centigrade. Son coefficient est de 10mV/°C et dans notre cas le capteur est alimenté par 0-5V, on ne peut mesurer par conséquent que des températures positives.

III-3-2-1-2 Brochage du LM35 :

Le capteur LM35 est commercialisé dans boîtier 3 broches classiques, comme illustré dans la Figure III-6 Brochage du LM35.

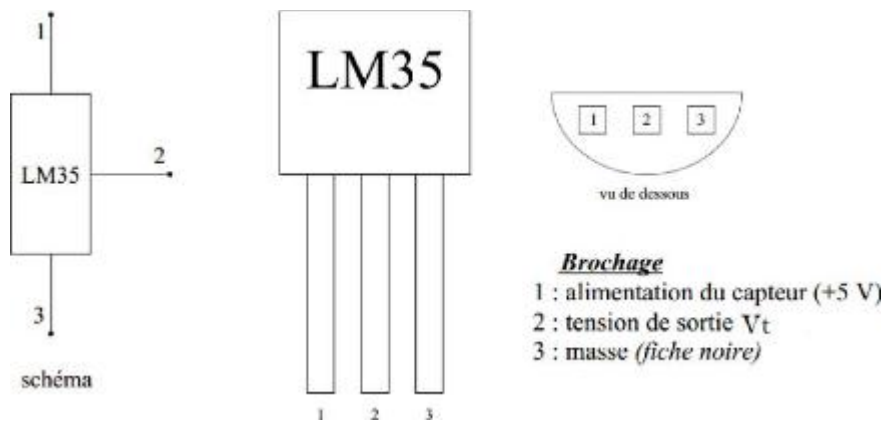


Figure III-6 : Brochage du LM35.

Tableau III-1 : Brochage du capteur. [26]

Brochage du capteur :	
Broches	Désignation
1	Alimentation du capteur
2	Sortie du potentiel proportionnel à la température
3	Masse du capteur

III-3-2-2 Capteur de mouvement PIR (Passive Infrared Sensor) :

Ces capteurs n'émettent rien (d'où le passive dans le nom), mais au contraire captent les rayonnements infrarouges qui sont émises les êtres vivants à sang chaud passant dans le champ de détection du capteur. Pour élargir la zone de détection, ceux-ci sont souvent recouverts d'une

lentille dite de Fresnel. Des composants électroniques divers traitent la sortie brute du capteur en lui-même et permettent d'obtenir une sortie numérique en fonction du mouvement détecté.

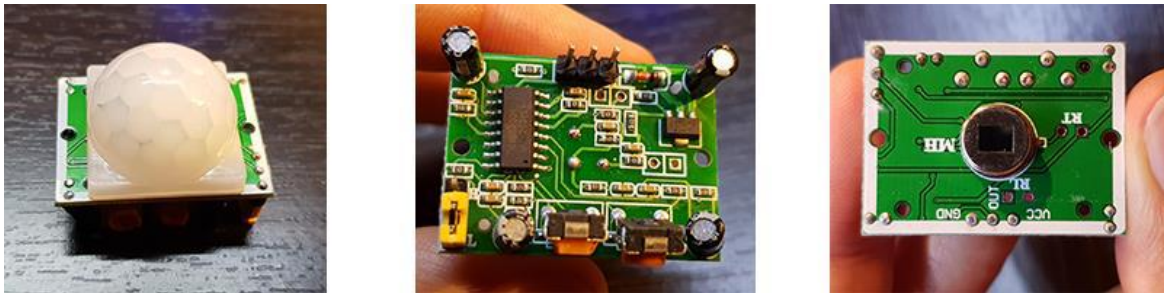


Figure III-7 : Capteur PIR.

III-3-2-2-1 Brochage :

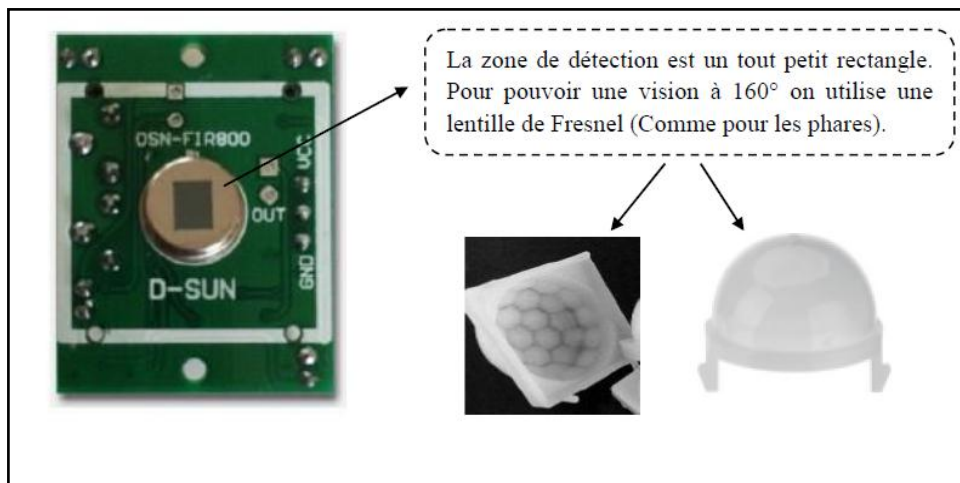


Figure III-8 : la zone de détection.

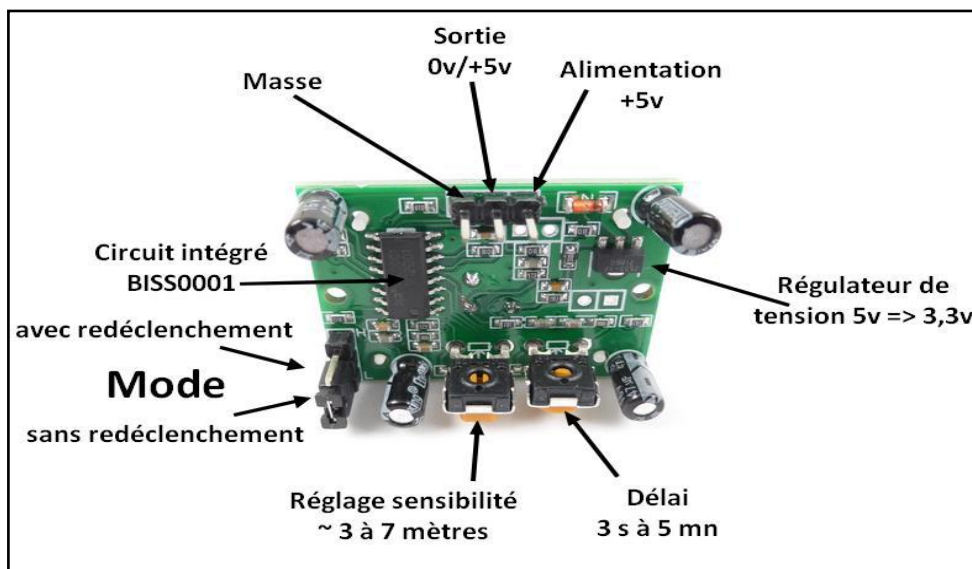


Figure III-9 : Brochage du capteur de mouvement PIR.

III-3-2-2-2 Caractéristique du capteur PIR :

- Alimentation: **5V** (instable sous 3,3 V).
- Signal de sortie: digital, niveau haut à 3.3V.
- Portée: détection jusqu'à 6 à 7 mètres max. (Cône de 120 degrés).
- Longueur: 24,03 mm.
- Largeur: 32,34 mm.
- Distance entre trous de fixation: 28 mm.
- Trou de fixation (diamètre visserie): 2 mm.
- Hauteur (avec lentille): 24,66 mm.
- Poids: 5,87 g. [30]

III-3-2-3 Capteur de courant ACS712 :

La lecture et le contrôle du courant sont une exigence dans une grande variété d'applications, y compris les circuits de protection contre les surintensités, le mode de commutation, les chargeurs de batterie, les alimentations, le wattmètre numérique et la source de courant programmable. Le capteur ACS712 peut détecter le courant alternatif, le signal de courant continu avec précision.

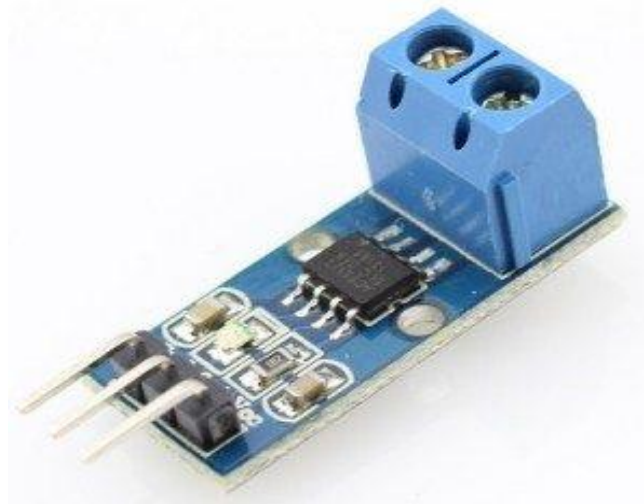


Figure III-10 : Capteur de courant.

Le courant AC / DC peut être détecté en utilisant ACS712 ; le signal de sortie peut être transmis par le port IO analogique d'Arduino, les produits disponibles pour ce module sont 30A, 20A, 5A. [31]

III-3-2-4 Capteur de tension :

Ce capteur est basé sur le principe de diviseur de tension, dans notre cas le capteur peut mesurer jusqu'à 25V.

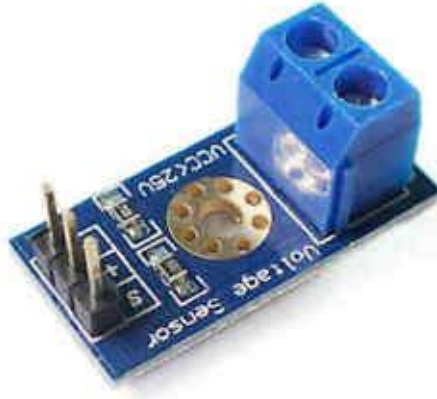
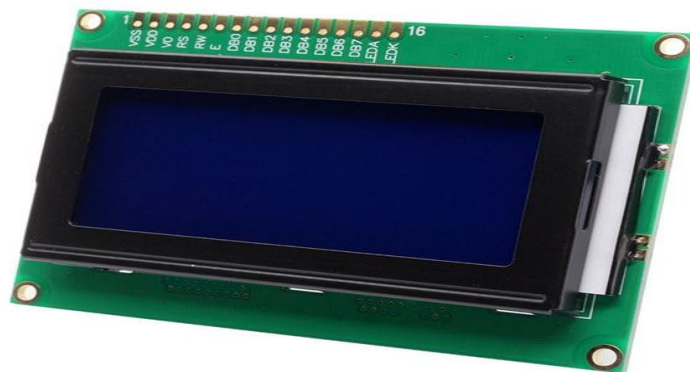


Figure III-11 : Capteur de tension. [28]

III-4 L'afficheur LCD :

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquide Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA), sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité. [32]



Figur III-12 : Afficheur LCD 16x4.

III-5 Le module Wifi ESP8266 :

L'ESP8266 est un composant électronique permettant de rajouter la communication WiFi, avec une utilisation simple, d'apporter une connectivité wifi par ligne série à tout équipement notamment les cartes à base de microcontrôleur comme: Arduino.

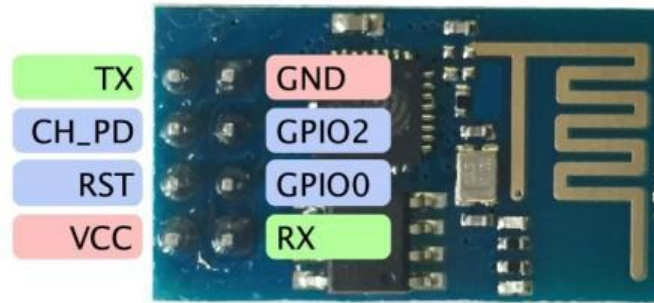


Figure III-13 : Le module wifi ESP8266.

III-5-1 Branchement (ESP-01) :

- VCC doit être branché à une alimentation de 3.3V.
- GND doit être branché à la masse.
- I/O0 et I/O2 sont les deux pins entrées/sorties du module ESP-01.
- Rx est le pin de réception qui doit être branché au pin faisant office de Tx (transmission) sur l'Arduino.
- Tx doit être branché au pin faisant office de Rx (réception) sur l'Arduino.
- RST un le pin servant à réinitialiser l'ESP8266 (état bas → activé). Si le pin RST est toujours à l'état bas l'ESP ne peut pas fonctionner car il se réinitialise indéfiniment.

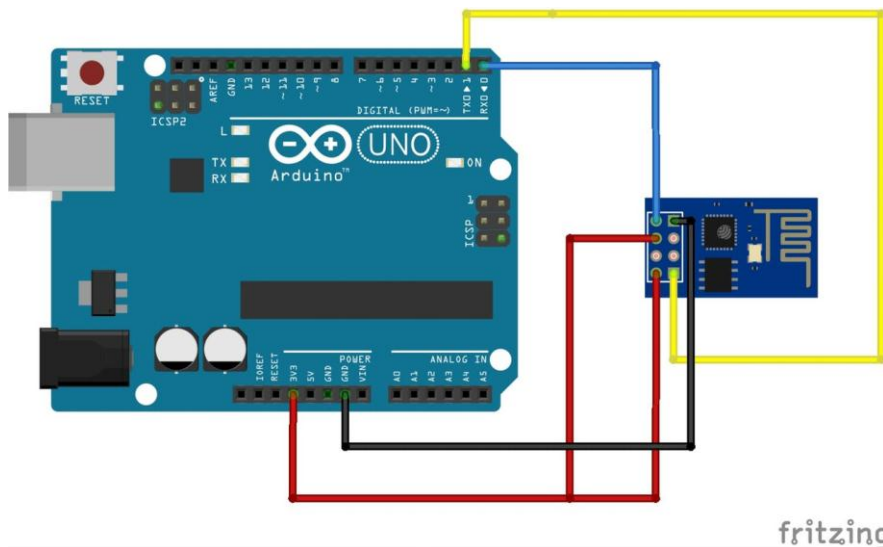


Figure III-14 : Montage d'esp8266 avec L'Arduino. [33]

III-6 Conclusion :

Nous avons expliqué les deux parties essentielles de l'Arduino (la partie matérielle et la partie programmation) plus précisément. Nous avons également expliqué le principe de fonctionnement de la carte Arduino sans oublier ses caractéristiques. Ensuite, nous avons donné une bref introduction sur les capteurs que nous utiliserons dans notre projet.

Le chapitre suivant sera consacré à l'étude et la réalisation de contrôleur de charge MLI pour système PV d'éclairage extérieur.

Chapitre IV

IV-1 Introduction :

Les batteries sont des éléments sensibles qu'il convient de manier avec précautions afin d'éviter des problèmes de fonctionnement et de durabilité, En ce sens, la tension des batteries est un paramètre prépondérant qu'il convient de contrôler aussi bien lors de la charge que pendant la décharge.

Or, la tension fournie par le champ photovoltaïque est une grandeur fluctuante au gré des conditions climatiques. Par conséquent, il devient nécessaire d'intégrer un élément d'électronique de puissance permettant de gérer convenablement la charge et la décharge du parc de batterie : c'est la fonction du régulateur photovoltaïque. [34]

Le but de notre travail est de concevoir, étudier et réaliser un contrôleur de charge MLI (Modulation Largeur d' Impulsion), simple et économique autour d'un microcontrôleur ; et cela dans l'objectif de gérer la charge et la décharge de la batterie, et optimiser la puissance fourni par le module PV dans les systèmes d'éclairage publique basés sur le solaire photovoltaïque. Ainsi, de contrôler l'intensité d'éclairage des lampes à fin d'économiser l'énergie stockée et augmenter la durée de vie de la batterie.

Pour tester et pour confirmer le bon fonctionnement de circuit ; un système de monitoring des paramètres électriques et météorologiques est mis en place en utilisant un afficheur LCD et encore un affichage à distance sur téléphone à travers une liaison Wifi.

IV-2 Etapes de la réalisation :

La réalisation de notre dispositif est passée par quatre étapes:

- Première étape : Elle consiste à la recherche des informations bibliographiques et techniques à utiliser pour la conception de circuit.
- Deuxième étape : Elaboration de programme Arduino et tester le montage dans l'environnement ISIS.
- Troisième étape : réalisation pratique du montage complet sur une plaque d'essai.
- Quatrième étape : Tester le bon fonctionnement de circuit.

IV-3 Outil de simulation :

- **Logiciel PROTEUS :**

Proteus est une suite de logiciels permettant la CAO électronique éditée par la société Labcenter Electronics. Proteus est composé de deux logiciels principaux : ISIS, permettant entre autres la création de schémas et la simulation électrique, et ARES, dédié à la création de circuits imprimés Grâce à des modules additionnels. [35]

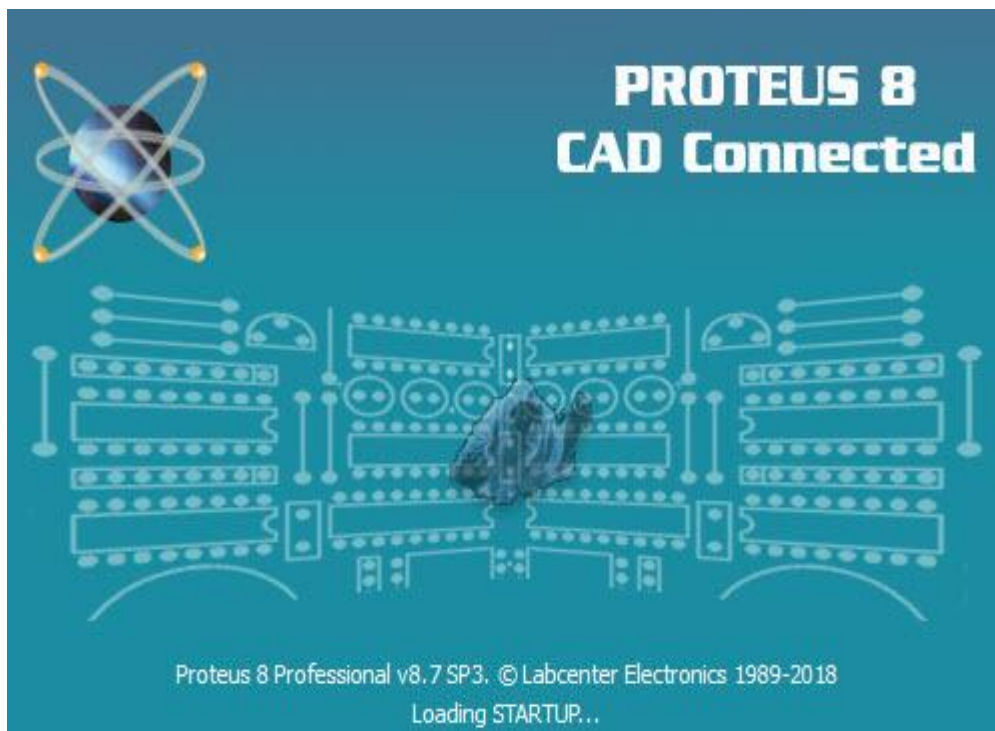


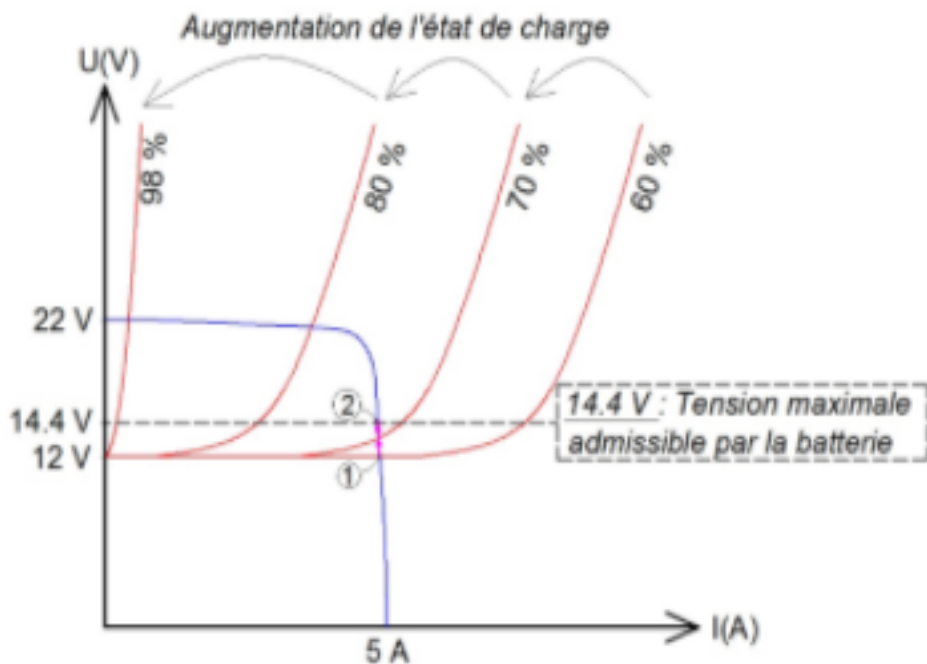
Figure IV-1 : ISIS (PORTEUS).

IV-4 Principe de fonctionnement :

Rappelons que, lors de la charge, il n'est pas possible d'imposer n'importe quelle tension aux bornes des batteries. Or, lorsqu'on branche un module photovoltaïque aux bornes d'une batterie, le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection entre les 2 caractéristiques courant-tension :

Lorsque que la batterie est déchargée, le point de fonctionnement est indiqué par le numéro (1) **Figure (IV-2)**, à savoir une tension de 12 V et un courant de l'ordre de 4.9 A. Il s'agit de l'intersection entre la caractéristique de la batterie déchargée et celle du module photovoltaïque.

Puis au fur et à mesure que la batterie se charge, le point de fonctionnement évolue jusqu'au point (2) défini par une tension de 14.4 V et un courant de l'ordre de 4.8A.



Ci-dessus, en rouge sont représentées les caractéristiques courant-tension d'une batterie de 12 V pour différents états de charge. En bleu est représentée la caractéristique courant-tension d'un module photovoltaïque à 36 cellules.

Figure IV-2 : Point de fonctionnement d'une connexion Module PV-Batterie pour différents états de charge.

A ce stade, si on ne fait rien, la tension va continuer à augmenter ce qui est dommageable pour la batterie.

Par conséquent, afin d'éviter d'endommager la batterie par dépassement de sa tension maximale admissible, il convient de déconnecter le module photovoltaïque. C'est ainsi que fonctionne le régulateur "**tout ou rien**" lors de la charge des batteries : soit il connecte le champ photovoltaïque au parc de batteries, soit il le coupe lorsque la tension devient trop importante.

Les avantages des régulateurs "tout ou rien" sont la simplicité, la robustesse et le faible coût. Par contre, le principal inconvénient est que l'état de charge des batteries ne dépasse jamais **75%**. Cela s'observe facilement en constatant que le point (2) sur le schéma correspond à un état de charge de l'ordre de **75%**, et qu'il n'est pas possible de charger davantage sous peine de dépasser la tension maximale admissible.

Le régulateur MLI a été conçu afin de lever l'inconvénient majeur des régulateurs "tout ou rien" vis-à-vis de la fin de charge. **Sa valeur ajoutée est donc une fin de charge optimale avec un état de charge de 100%** (au lieu de 75% pour le régulateur "tout ou rien"). [36]

Le régulateur MLI assure une connexion directe entre la batterie et le module PV au début de la charge comme le régulateur tout ou rien, si la tension de la batterie devient critique (environ un état de charge 70%), **il ne coupe pas** mais il va utiliser la technique de la modulation de la largeur de l'impulsion (PWM : Pulse Width Modulation) pour **envoyer une série de brèves impulsions de courant de charge à la batterie.**

En fonction de l'état de charge actuel de la batterie, le contrôleur décide de la fréquence d'envoi de ces impulsions et de la durée de chacune d'entre elles.

Pour une batterie presque complètement chargée, les impulsions seront courtes et rarement envoyées, tandis que pour une batterie déchargée, elles seront longues et presque constamment envoyées.

Pendant la journée, lorsque la batterie est en train d'être chargée par les panneaux solaires, le contrôleur PWM réduit la tension générée par les panneaux solaires jusqu'à la tension de la batterie, qui pour la plupart des systèmes hors réseau typiques est inférieure à 12 Vcc.

La tension MPP d'un panneau solaire **12V** devrait être plus élevée pour pouvoir charger la batterie, elle est d'environ **17-18V**. Les panneaux solaires **24V** génèrent toutefois une tension MPP de **36V**.

Si vous connectez des panneaux solaires 24 V à une batterie 12 V, un contrôleur de charge PWM ramènera la tension à 12 V, ce qui signifie que vous perdrez une partie de votre électricité d'origine solaire dans le contrôleur de charge.

Si vous devez alimenter une batterie 12 V depuis des panneaux solaires 24V sans perte de puissance, vous avez besoin d'une fonction de «réduction» assurée par un hacheur DC/DC intégré dans un contrôleur de charge **MPPT**.

Notre régulateur va assurer une charge à 100% de la batterie grâce à cette technique MLI mais on doit prendre en considération le type de module PV à connecter à la batterie (Module 12V avec une batterie de 12V et Module de 24V avec une batterie de 24V) .Ainsi d'autres fonctionnalités sont importantes pour le bon fonctionnement de système ; on peut citer :

- Protection contre la décharge profonde de la batterie.
- Protection contre la surtension.
- Protection contre l'inversion de polarité de Module PV.
- Protection contre le retour de courant de la batterie vers le module PV.
- Protection contre la surcharge et le court-circuit de la batterie.

D'autre part et afin d'économiser l'énergie emmagasinée dans la batterie, on va optimiser l'utilisation de la lampe de l'éclairage extérieur, l'intensité de la lumière générée par cette dernière ne sera pas à 100% pendant la totalité de temps mais elle va être en fonction de trafic de la route.

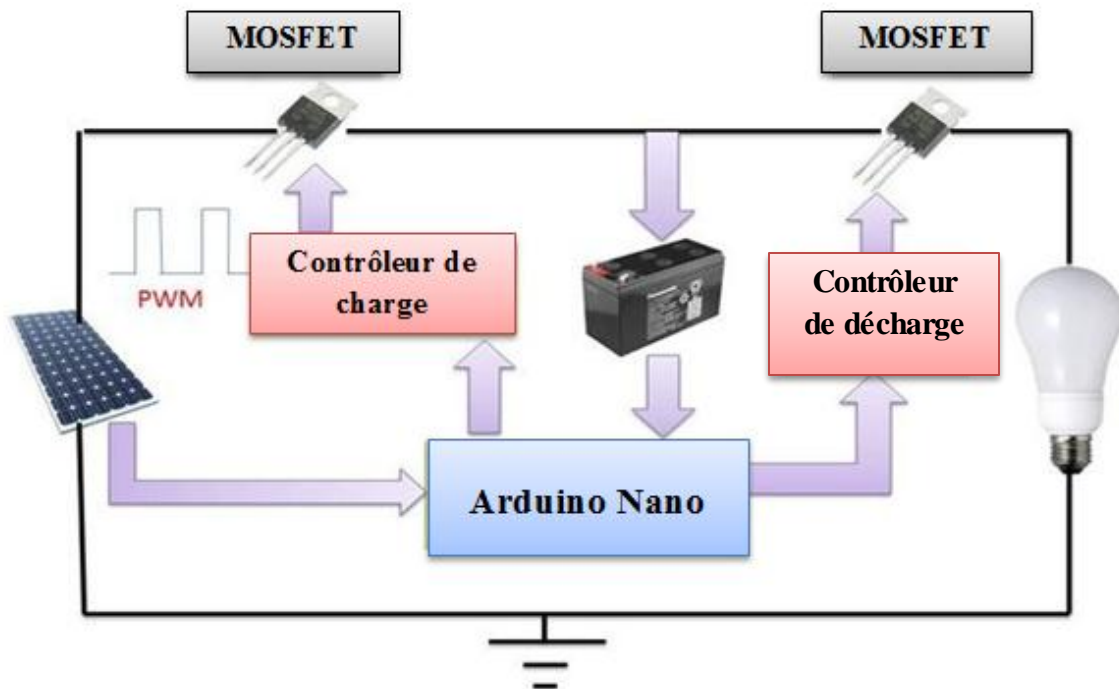


Figure IV-3 : le fonctionnement du régulateur de charge.

IV-5 Réalisation pratique de contrôleur de charge MLI pour un système PV d'éclairage extérieur :

Le schéma général de notre circuit de contrôleur MLI (PWM) qui réalise les fonctionnalités décrites dans le principe de fonctionnement est illustré dans la figure suivante :

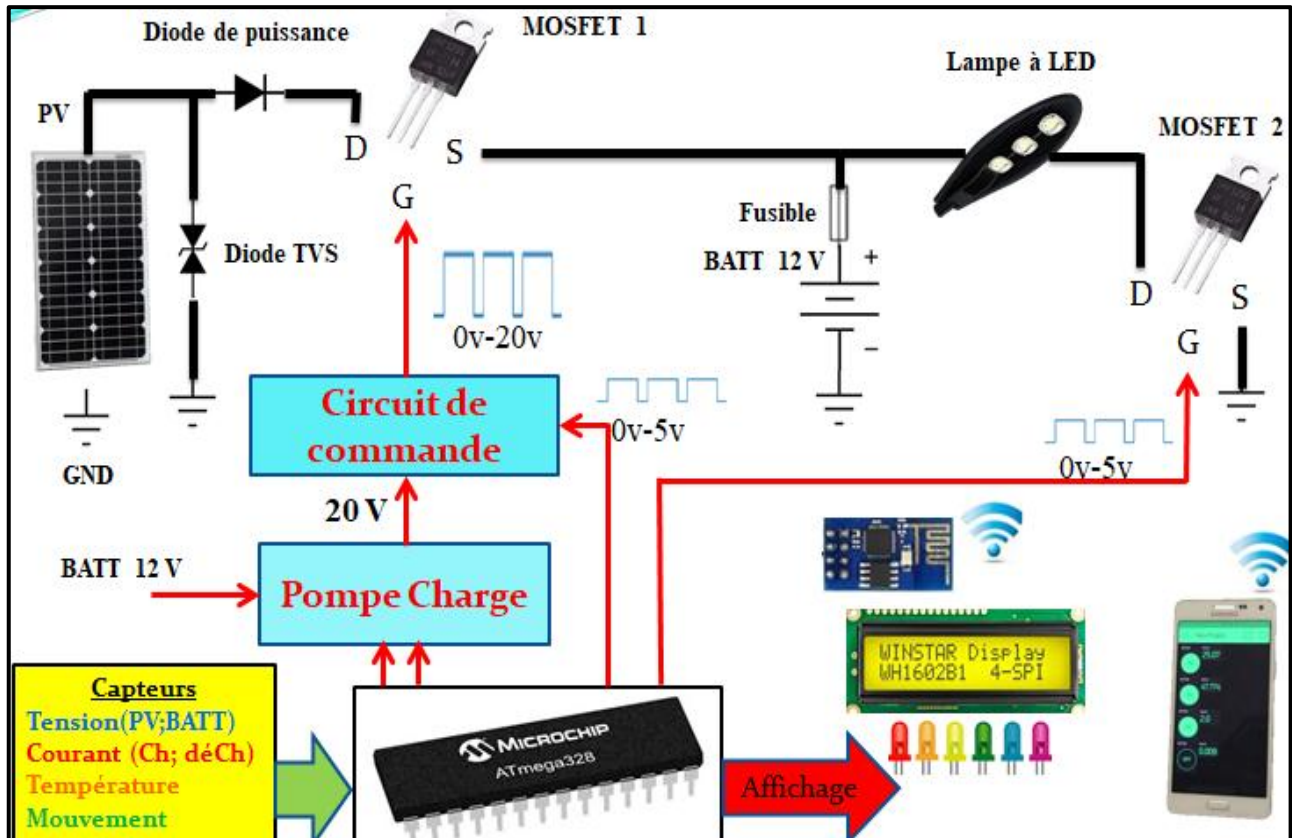


Figure IV-4 : Schéma de principe de la réalisation pratique de régulateur MLI.

- ✓ La connexion et la déconnexion entre le module PV et la batterie est assurée par une interrupteur électronique réaliser à travers un MOSFET commandé par un signal PWM généré par un microcontrôleur et appliqué entre la grille G et la source S.
- ✓ Une diode puissance, Une diode TVS et un fusible assure un ensemble de protections décrite par la suite.
- ✓ La protection contre la décharge profonde et l'optimisation de l'intensité de la lumière est assurées par un deuxième MOSFET.
- ✓ Un ensemble des capteurs et des outils d'affichage pour la surveillance de système.

Ce qui suit l'explication détaillée de chaque composant :

- **Module PV** : Dans notre réalisation les composants électroniques sont dimensionnés pour supporter des module PV jusqu'à 150W avec une tension $V_{co} \approx 21V$, $I_{cc} \approx 8A$ et $V_{mpp} \approx 18V$.
- **Diode de puissance** : protéger le module PV contre le retour de courant et protéger le circuit contre l'inversion de polarité de module photovoltaïque. Il doit supporter la tension de système et le courant max produit par le module PV. On a choisi la diode **10SQ035**, Cette diode supporte une tension $> 35V$ et un courant $> 10A$.



Figure IV-5 : Diode de puissance.

- **Diode TVS** : Pour la protection de circuit contre la surtension, si une surtension $>30V$ arrive au circuit, elle va être court-circuité par la diode TVS bidirectionnel. La diode **P6KE33CA** a été choisie pour la réalisation de cette fonction. Cette diode peut dissiper une puissance jusqu'à **600W** et un courant jusqu'à **68A**.

P6KE30A	P6KE30CA	1	25.6	28.5	30	31.5	1	41.5	14.5	53.5	75	9.7	1075
P6KE33A	P6KE33CA	1	28.2	31.4	33	24.7	1	45.7	13.1	59	68	9.8	1000
P6KE36A	P6KE36CA	1	30.8	34.2	36	37.8	1	49.9	12	64.3	62	9.9	950



Figure IV-6 : Diode TVS.

- MOSFET 1 :** Il a comme objectif de connecter et déconnecter la batterie de module PV pour moduler le courant de charge. Il est commandé par un signal PWM(MLI) avec un rapport cyclique variable en fonction de l'état de charge de la batterie. Nous choisissons un MOSFET **canal-N IRF3205** de la société International Rectifier. Il a comme tension maximale directe de **55V**, une résistance à l'état passant de 0.008Ω , un courant direct maximal de **110A** et une chute de tension directe de $0.36V$.



Figure IV-7 : MOSFET IRF3205.

- Microcontrôleur :** Un microcontrôleur Arduino Nano décrit dans le chapitre 03 a été utilisé pour faire fonctionner notre programme et prendre les différentes décisions.
- Pompe charge :** la source de MOSFET 1 est branché en permanence au pôle positive de la batterie donc elle toujours sous une tension 12 à 14 V ; pour fermer ce mosfet (passage du courant entre drain et source) on doit alors appliquer une tension supérieure (environ 20V) à la grille ; c'est le rôle de la pompe charge. Cette dernière est alimentée par la batterie elle-même et produit une tension de 8V de plus pour attaquer la grille. Lorsque la tension de grille est nulle, le mosfet est un interrupteur ouvert.

Cette fonction est créée par trois diodes et deux capacités attaquées par deux signaux PWM décalés par une demi-période qui sont générés par le microcontrôleur Arduino nano.

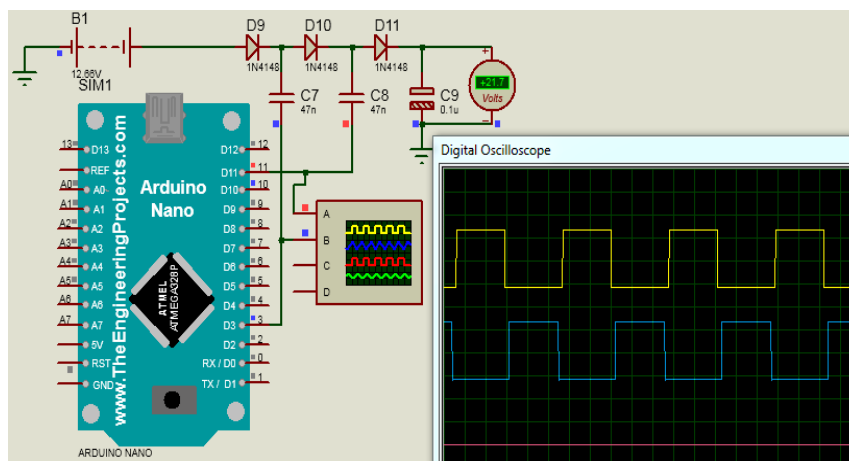


Figure IV-8 : Simulation de pompe de charge sous Proteus.

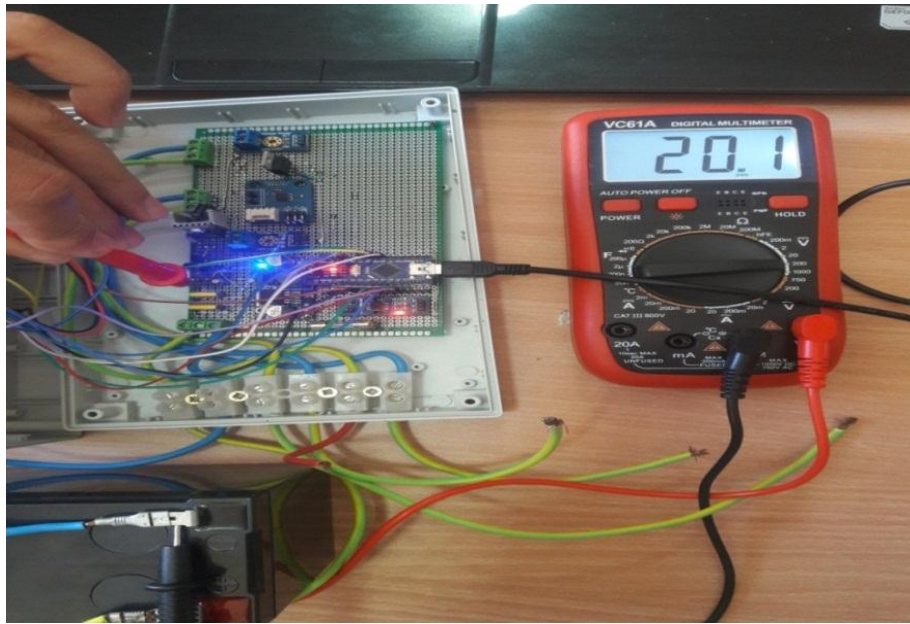


Figure IV-9 : Test de pompe de charge.

- **Circuit de commande de MOSFET 1 :** il va utiliser la tension 20 à 22V à la sortie de pompe charge et un signal MLI de la part de microcontrôleur pour générer un signal modulé 0-20V et l'appliquer sur la grille G.

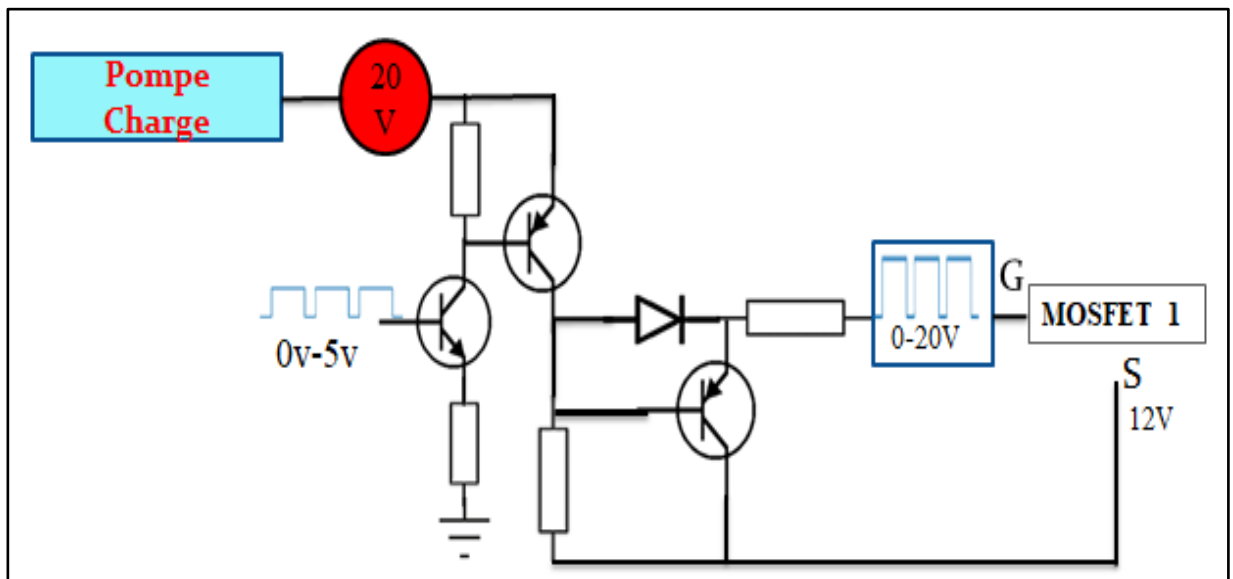


Figure IV-10 : Circuit de commande de MOSFET 1.

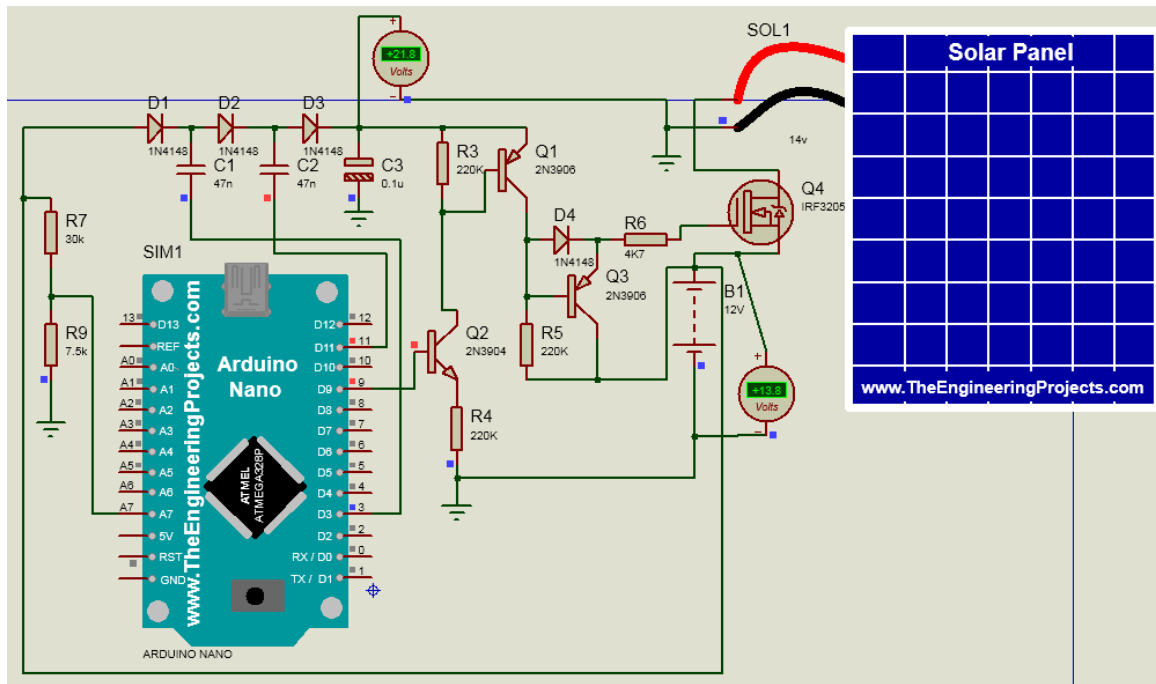


Figure IV-11 : Simulation de contrôleur de charge (MLI) sous Proteus.

Le signal entre G et S est alors un signal modulé MLI entre 0V et 8V peut facilement fermer et ouvrir le MOSFET 1.

- **MOSFET 2:** Pour commander l'état d'éclairage (ON 100% / ON 50% / OFF) on utilise le même principe de MLI pour le contrôler le niveau de luminosité de la lampe à éclairage extérieur. Pour la réalisation on a utilisé le même Mosfet IRF3205.
- **Fusible :** pour la protection de circuit contre les court-circuits et les surintensités des courants, puisque les lampes utilisées consomment en général un courant < 10A on a utilisé un fusible à 10A.



Figure IV-12 : Fusible.

- **Convertisseur Buck :**

Dans notre projet nous utilisons un convertisseur Buck pour l'alimentation électrique de l'Arduino et les capteurs.

Raccordement du convertisseur Buck :

IN +---> BAT + OUT +---> 5V
 IN - ----> BAT - OUT - ----> GND



Figure IV-13 : Convertisseur Buck.

- **Les Capteurs :** un ensemble des capteurs sont utilisés pour la surveillance des différentes grandeurs de système.

- ✓ **Capteur de tension :** deux capteurs de tension sont utilisés pour la mesure de la tension de module et de la batterie.

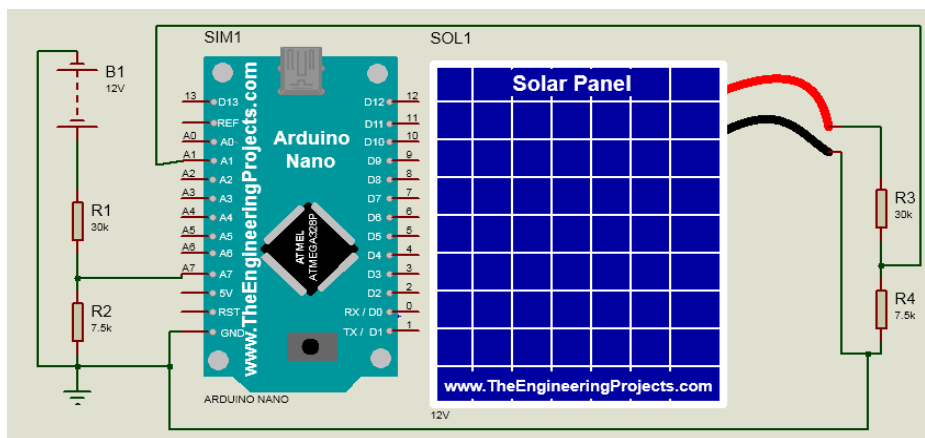


Figure IV-14 : Simulation du capteur de tension sous Proteus.

- ✓ **Capteur de courant** : deux capteurs de courant à effet Hall ACS712 sont utilisés pour la mesure de courant de charge de la batterie et le courant consommé par la lampe.

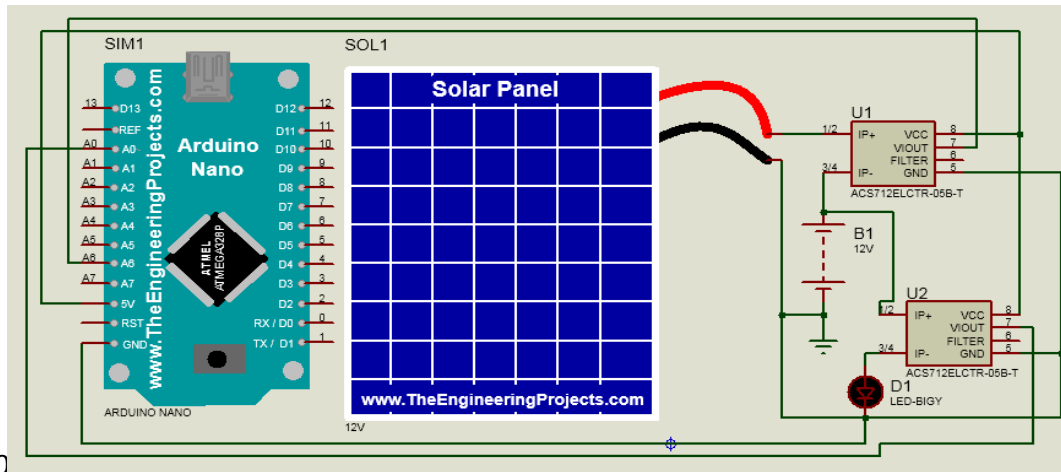


Figure IV-15 : Simulation du capteur de courant sous Proteus.

- ✓ **Capteur de température** : pour mesurer la température ambiante, un capteur LM35 est utilisé.

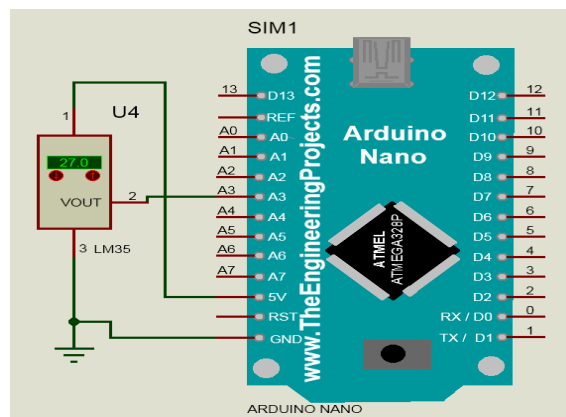


Figure IV-16 : Simulation du capteur de température sous Proteus.

- ✓ **Capteur de mouvement PIR (HC-SR501)**: pour la détection de passage des véhicules et personnes sous la lampe d'éclairage extérieur. Le principe de ce capteur est décrit dans le chapitre 03

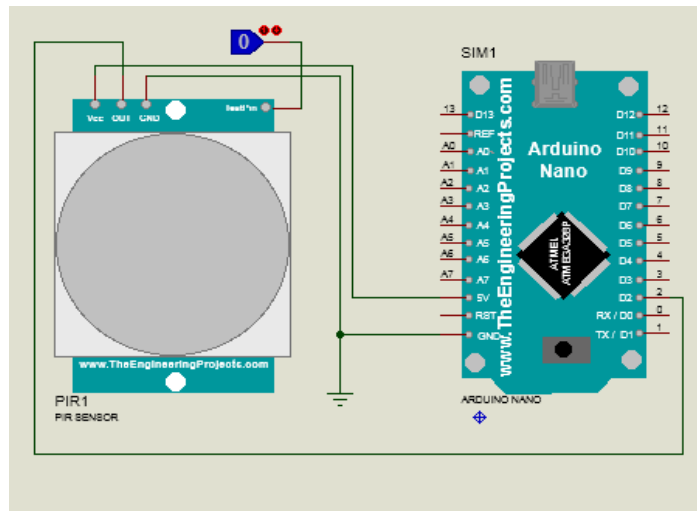


Figure IV-17 : Simulation du capteur de mouvement sous Proteus.

- **Les LEDs :** Cinq LEDs sont utilisés pour indiquer plusieurs informations :
 - ✓ 1 : La charge de la batterie est bonne.
 - ✓ 2 : La charge de la batterie est moyenne.
 - ✓ 3 : La charge de la batterie est faible.
 - ✓ 4 : La batterie est en cours de se charger.
 - ✓ 5 : La batterie est en cours de se décharger.

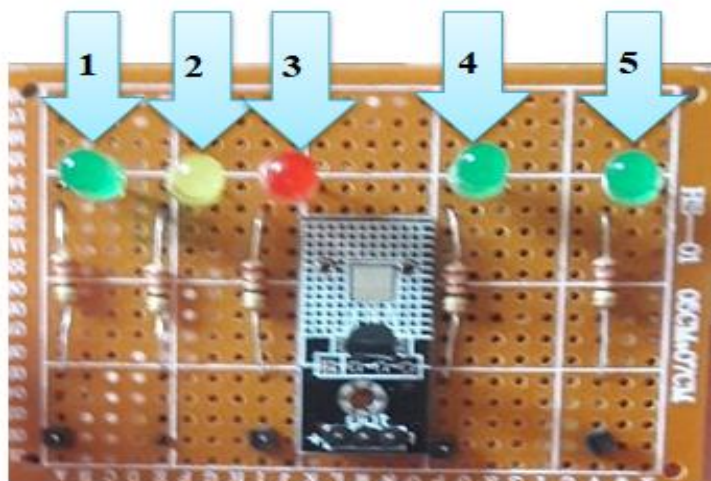


Figure IV-18 : Indication des LEDs.

- **Ecran LCD 16x4 avec un I2C :**

Un écran LCD de 16x4 caractères est utilisé pour surveiller le module solaire, la batterie et la température. Pour plus de simplicité, un écran LCD I2C est choisi. Il a besoin de 4 fils pour s'interfacer avec l'Arduino.

VCC → 5V, GND → GND, SDA → A4 et SCL → A5.

Le bus I2C est une liaison en mode série réalisée à l'aide de 2 lignes :

- SDA : signal de données entre maître et esclave.
- SCL : signal d'horloge généré par le maître.

Nous utilisons cette liaison pour l'afficheur LCD, ceci permet d'utiliser seulement 2 fils de connexion au lieu de 11 fils pour un LCD qui n'utilise pas la liaison I2C.



Figure IV-19 : I2C.

- ligne1: la tension de panneau solaire et la température.
- ligne2: la tension de batterie.
- ligne3: le courant de charge de batterie.
- ligne4: le courant de décharge.

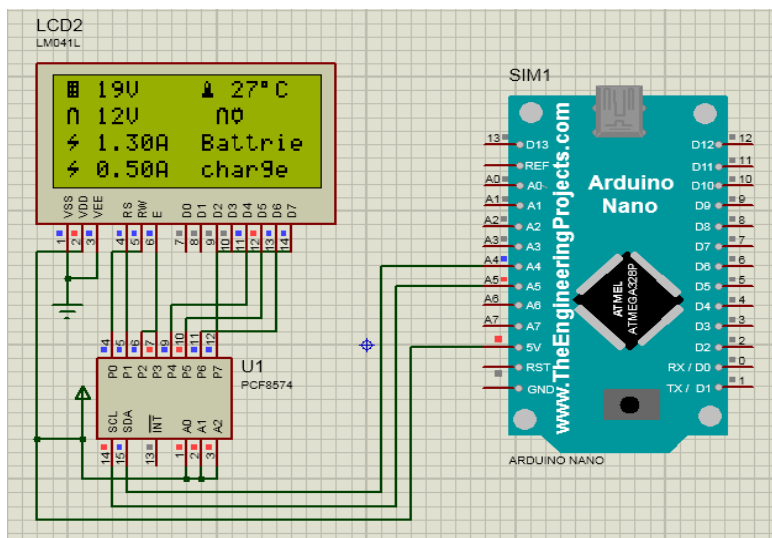


Figure IV-20 : Simulation de l'afficheur LCD avec I2C sous Proteus.

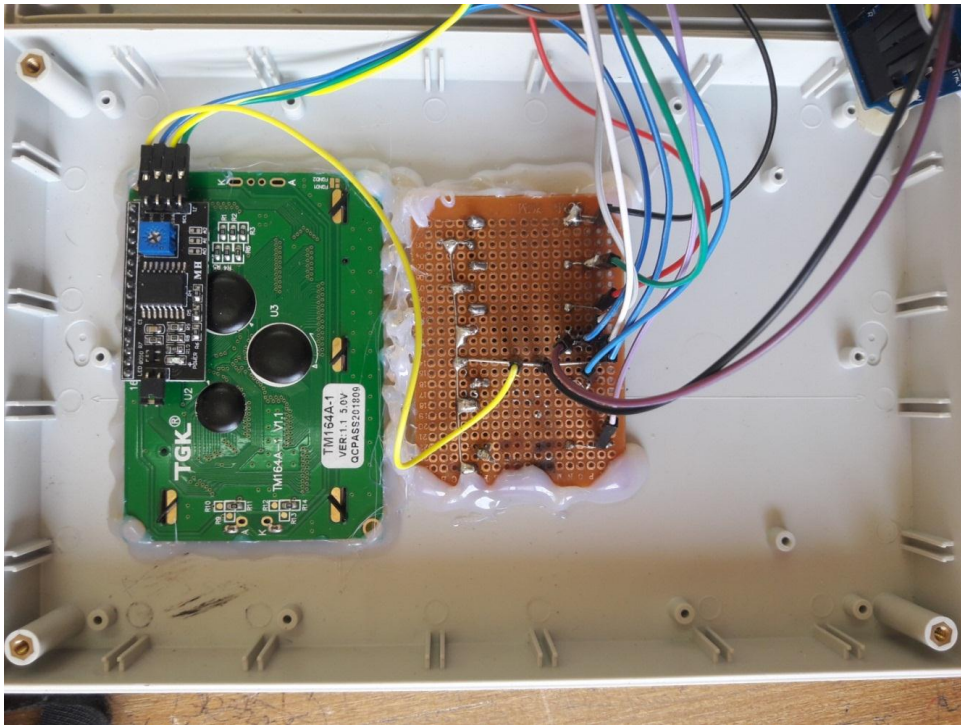


Figure IV-21 : Afficheur LCD avec I2C.

- **Module wifi ESP8266-01** : ce module a été décrit dans le chapitre 03, il est destiné à réaliser une liaison Wifi entre le microcontrôleur et le téléphone afin d'avoir un affichage à distance des paramètres.

L'application Blynk décrite par la suite a été utilisée pour la réalisation de l'interface sur téléphone.

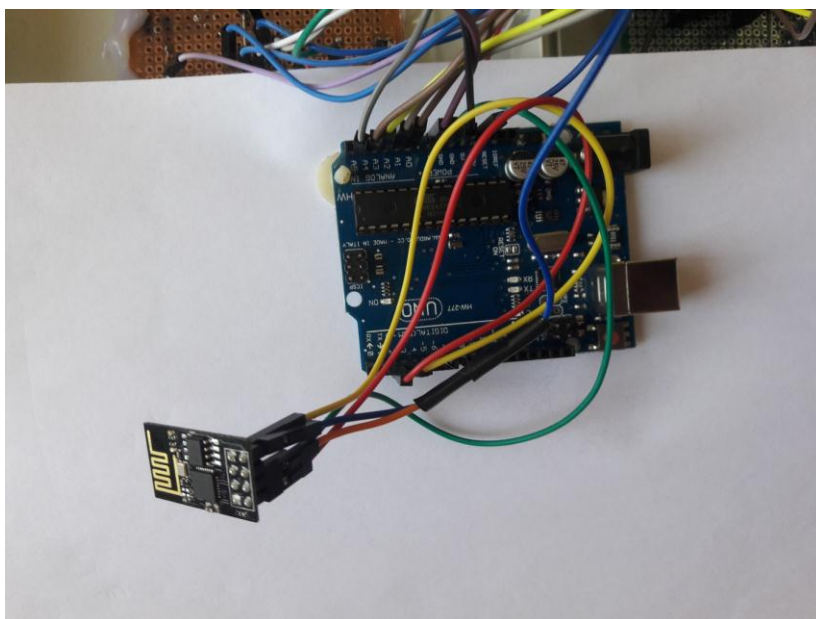


Figure IV-22 : Module ESP8266-01 avec Arduino.

IV-6 Application Blynk :

Blynk a été conçu pour l'Internet des Objets. Il peut contrôler un hardware à distance, il peut afficher des données de capteur, il peut stocker des données, les visualiser et faire beaucoup d'autres trucs cools.

Il y a trois composants majeurs dans la plateforme :

- **Application Blynk** : vous permet de créer de fantastiques interfaces pour vos projets en utilisant différents widgets que nous fournissons.
- **Serveur Blynk** : responsable de toutes les communications entre le Smartphone et le hardware. Vous pouvez utiliser notre Cloud Blynk ou faire tourner votre Serveur privé Blynk localement. C'est open-source, ça peut facilement gérer des milliers de périphériques et peut même être démarré sur une Raspberry Pi.
- **Bibliothèque Blynk** : pour toutes les plateformes hardware populaires active la communication avec le serveur et traite toutes les commandes entrantes et sortantes.

Maintenant imaginez : chaque fois que vous pressez un Bouton sur l'application Blynk, le message voyage vers l'espace le Cloud Blynk, où il trouve magiquement un chemin vers votre hardware. Ça marche de la même manière dans l'autre sens et tout se déroule en un clignotement.

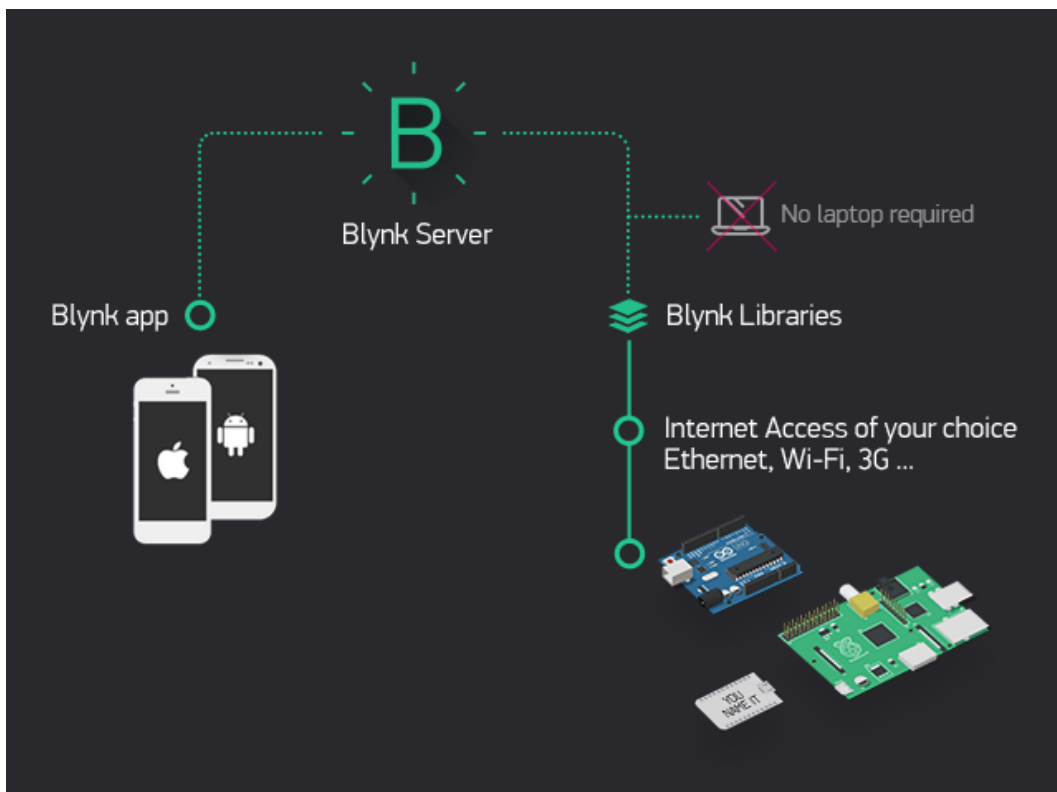


Figure IV-23 : Schéma explicatif sur l'application Blynk.

IV-6-1 Guide de démarrage de l'Application Blynk :

- **Créer un compte Blynk :**

Une fois l'application Blynk téléchargée, vous aurez besoin de créer un nouveau compte Blynk. Ce compte est séparé des comptes utilisés pour les Forums Blynk, au cas où vous en avez déjà un.

Nous recommandons d'utiliser une réelle adresse email car ça vous simplifiera les choses plus tard.

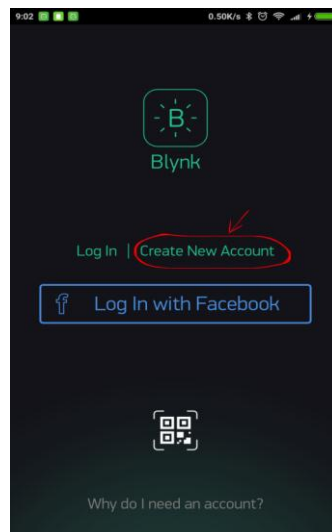


Figure IV-24 : Créer un compte Blynk.

- **Créer un nouveau Projet :**

Après vous être correctement identifié avec votre compte, commencez par créer un nouveau projet.

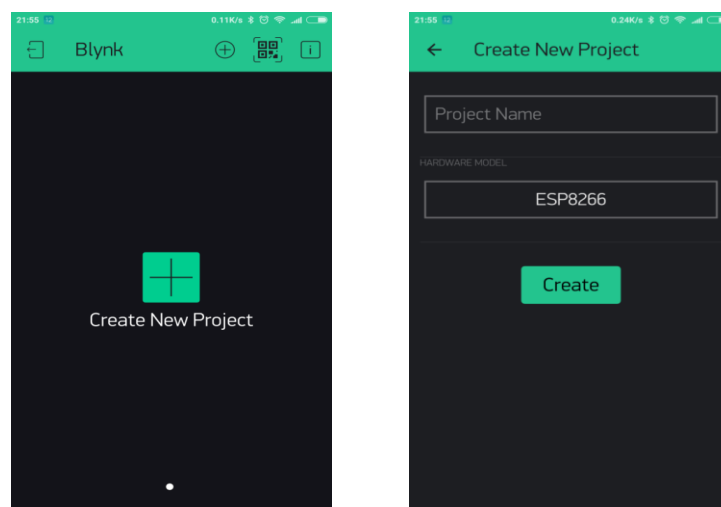


Figure IV-25 : Créer un nouveau Projet.

• Choisir son hardware :

Sélectionnez le modèle de hardware que vous allez utiliser. Vous pouvez vérifier la liste des hardwares supportés.

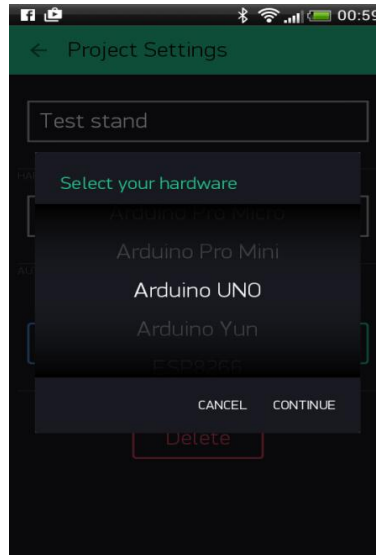


Figure IV-26 : Le modèle de hardware.

• Jeton d'Authentification :

Le Jeton d'Authentification est un identifiant unique nécessaire pour connecter votre hardware à votre Smartphone. Chaque nouveau projet que vous créez a son propre Jeton d'Authentification. Vous obtiendrez un Jeton d'Authentification automatiquement sur votre email après la création d'un projet.

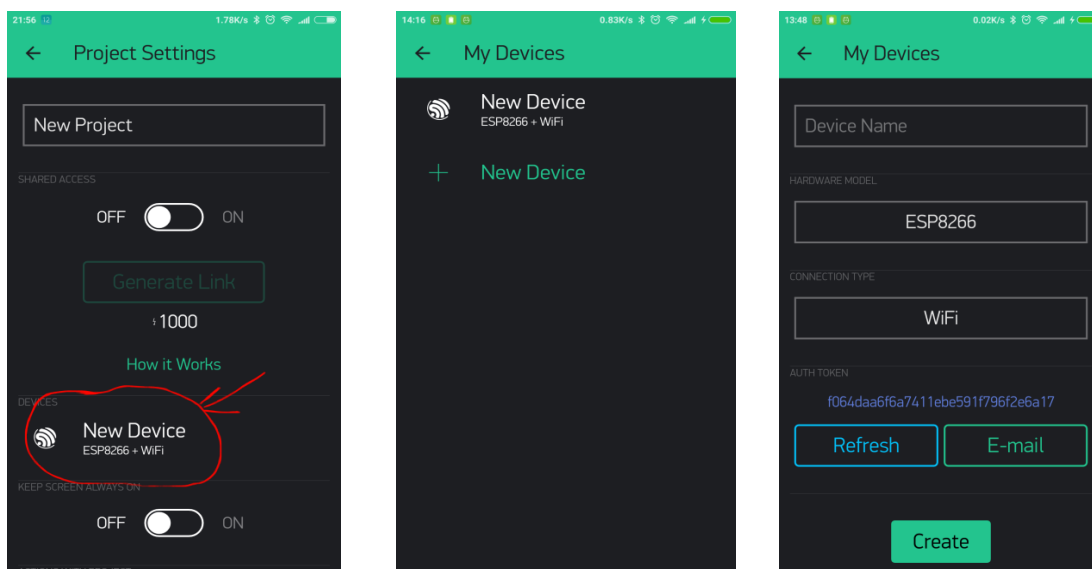


Figure IV-27 : Jeton d'Authentification.

C'est vraiment pratique de l'envoyer via l'e-mail. Pressez le bouton email et le jeton vous sera envoyé à l'adresse e-mail utilisée lors de l'inscription. Vous pouvez aussi appuyer sur la ligne du Jeton et il sera copié vers le presse-papier.

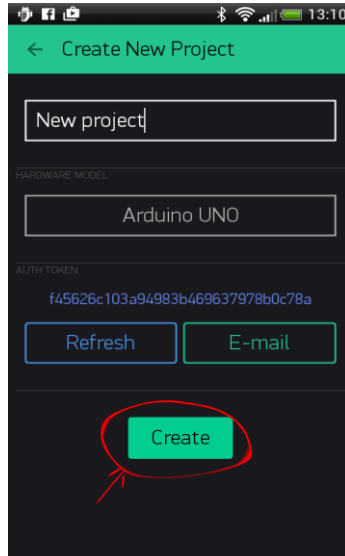


Figure IV-28 : nouveau Projet sur blynk.

- **Liste des widgets :**

Les Widgets sont des modules d'interface. Chacun d'un effectue une fonction d'entrée / sortie spécifique quand il communique avec le matériel.

Il y a 4 types de Widgets:

Contrôleurs- Afficheurs- Notifications- Interface.

- **Afficheurs :** utilisés pour diverses visualisations de données qui viennent du matériel vers le Smartphone.

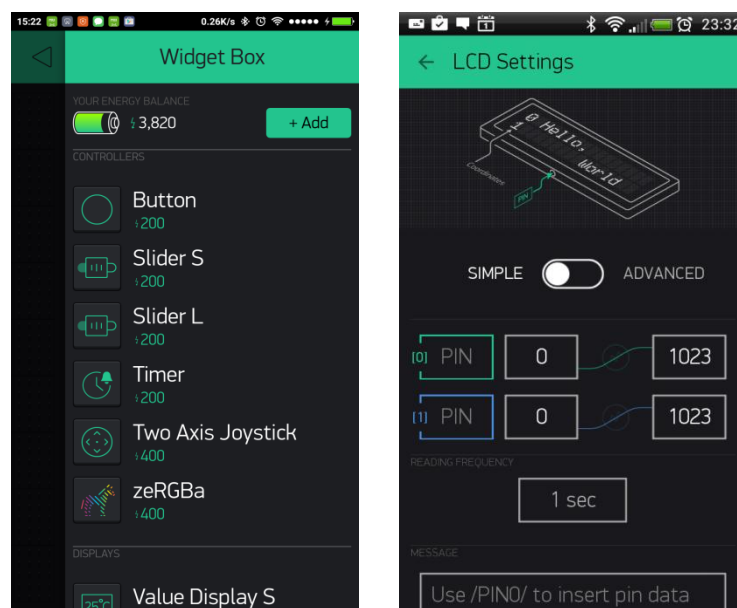


Figure IV-29 : Les widgets. [37]

IV-7 Programme et Organigramme :

Afin d'expliquer le fonctionnement du contrôleur de charge, nous avons établi un organigramme général qui englobe les étapes d'exécutions.

IV-7-1 Organigramme complet :

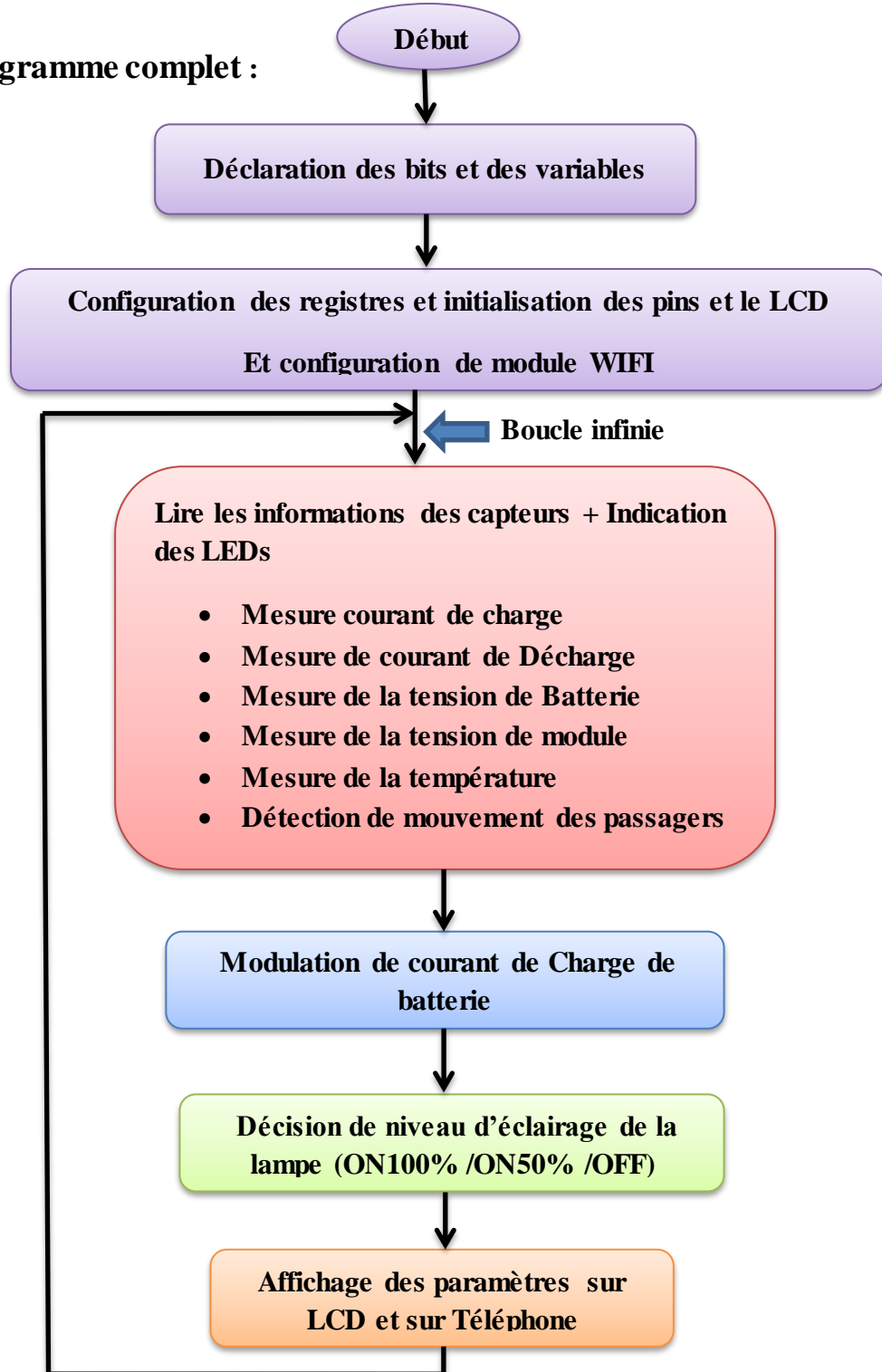


Figure IV-30 : Organigramme général de programme de gestion de contrôleur de charge MLI pour un système PV d'éclairage extérieur.

IV-7-2 Charge de batterie (Modulation de courant de Charge de batterie):

- V_{batt} : la tension de batterie.
- $Pointmax$: tension de référence maximale de batterie.
- D : rapport cyclique de signal MLI (PWM).
- Z : $|Pointmax - V_{batt}|$.

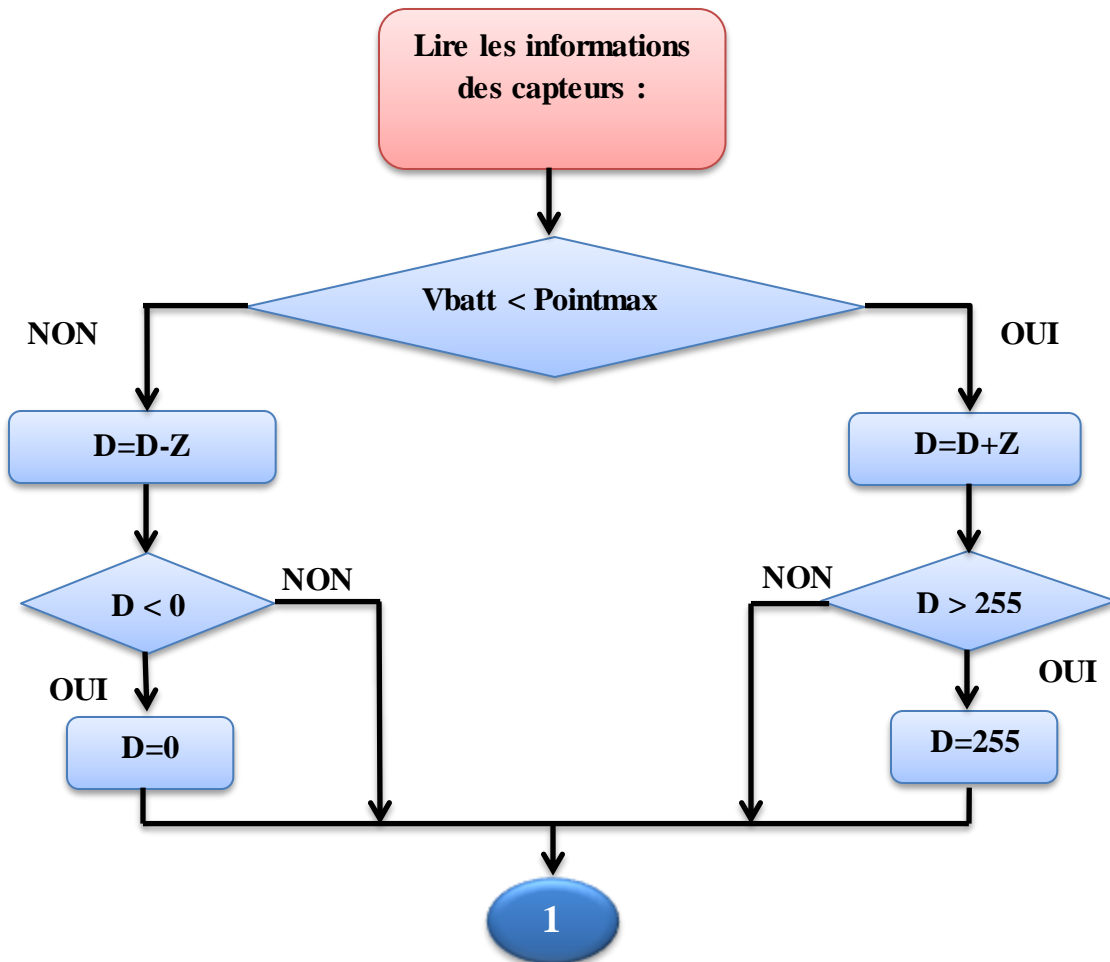


Figure IV-31 : Organigramme de charge de batterie.

IV-7-3 Le courant de charge de batterie et l'état de LED4 :

- **Amp** : le courant qui charge la batterie.
- **LED4** : Indicateur : Batterie en charge.

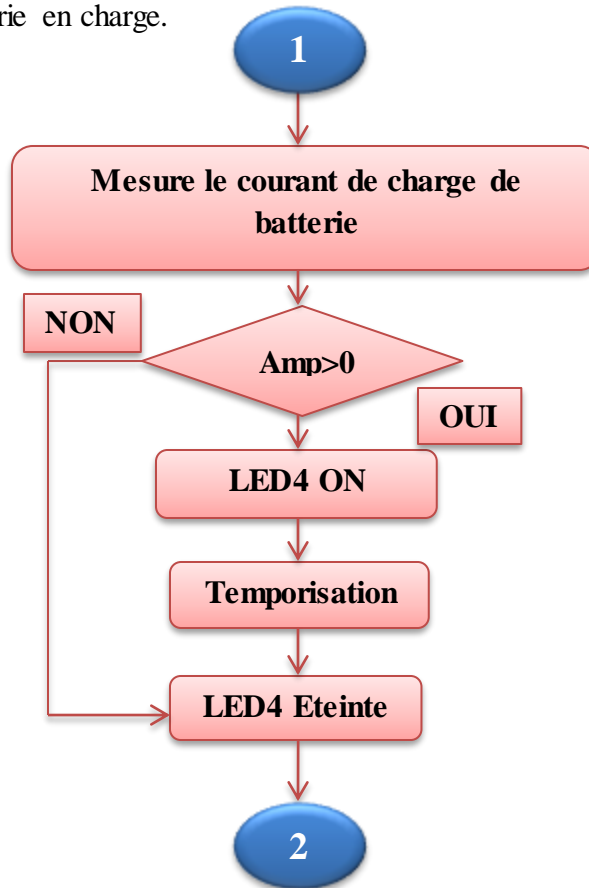


Figure IV-32 : Organigramme pour mesure le courant de charge de batterie et l'état de LED4.

IV-7-4 La tension de batterie et de panneau et l'état des indicateurs LED1, LED2, LED3 :

- **Vpan** : la tension de panneau.
- **Vbat** : la tension de batterie.
- **LED1** : Indicateur Batterie chargée à > 70%.
- **LED2** : Indicateur à Batterie entre 30% et 70%.
- **LED3** : Indicateur Batterie faible <30%.

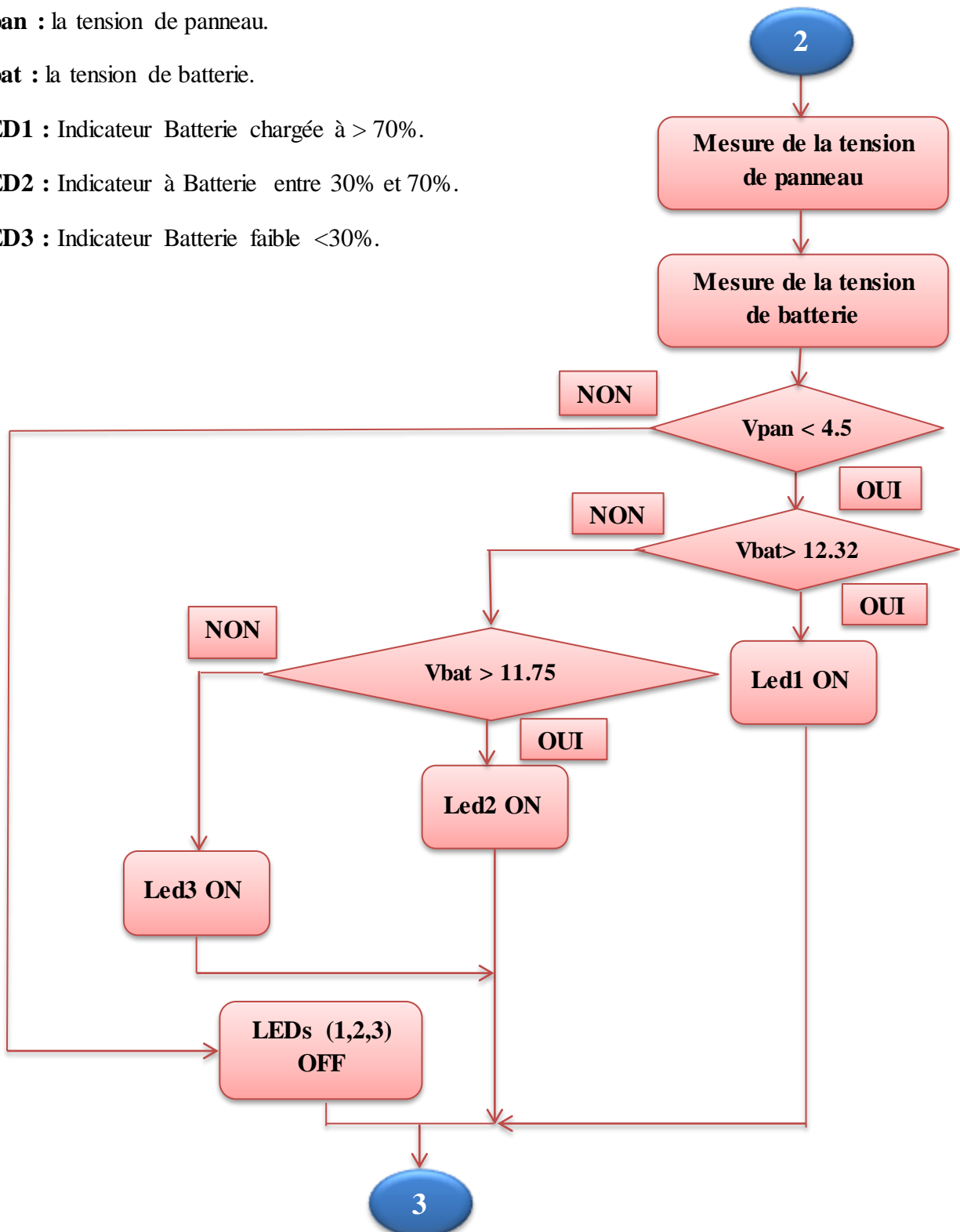


Figure IV-33 : Organigramme pour mesure la tension de batterie et de panneau et l'état des indicateurs LED1, LED2, LED3.

IV-7-5 La décision de niveau d'éclairage de la lampe :

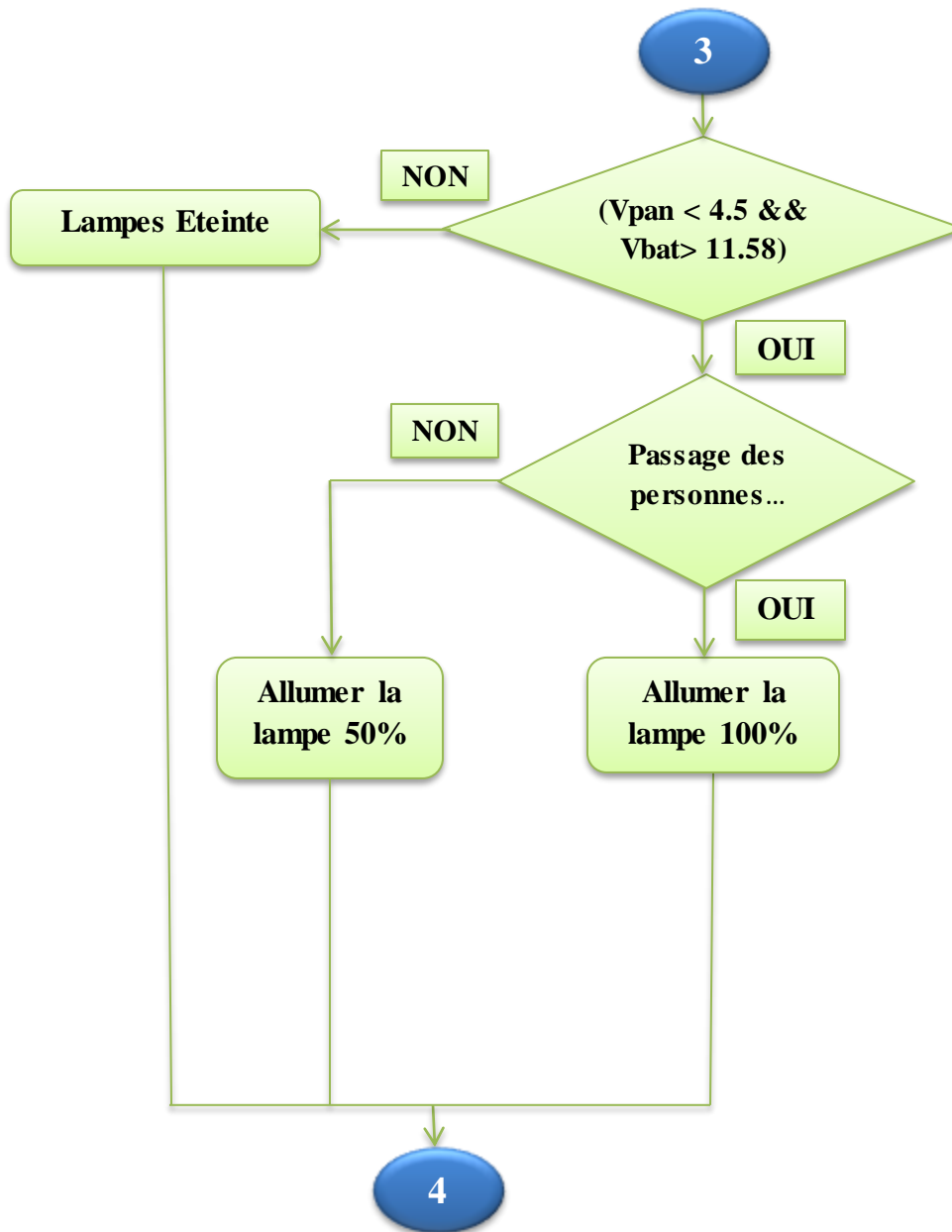


Figure IV-34 : Organigramme pour la décision de niveau d'éclairage de la lampe.

IV-7-6 Le courant de décharge et l'état de LED5 :

-Ampch : le courant qui décharge la batterie.

-LED5 : Indicateur de la décharge de la batterie.

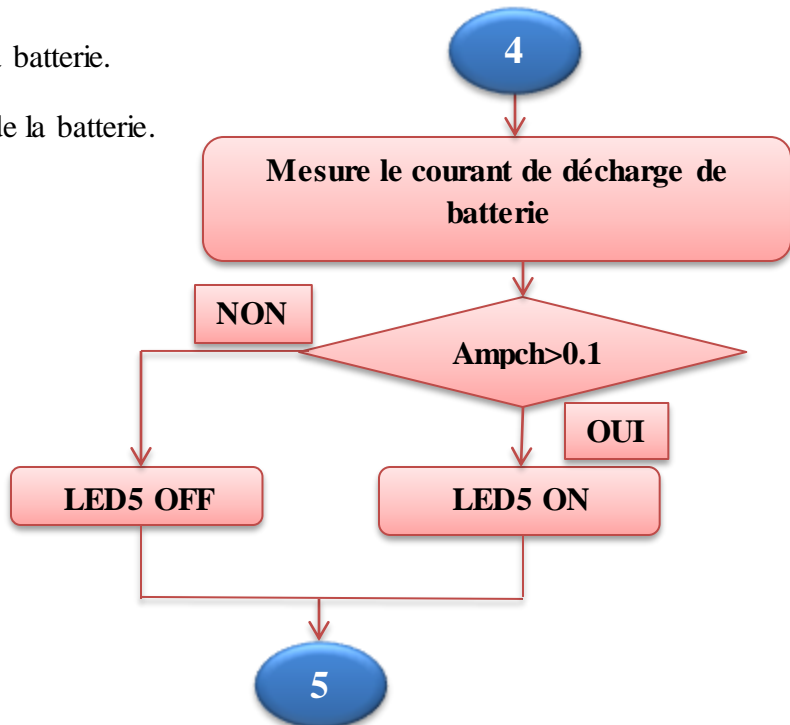


Figure IV-35 : Organigramme de capteur de courant pour la décharge et état de l'indicateur LED5.

IV-7-7 L'affichage sur LCD et Téléphone :

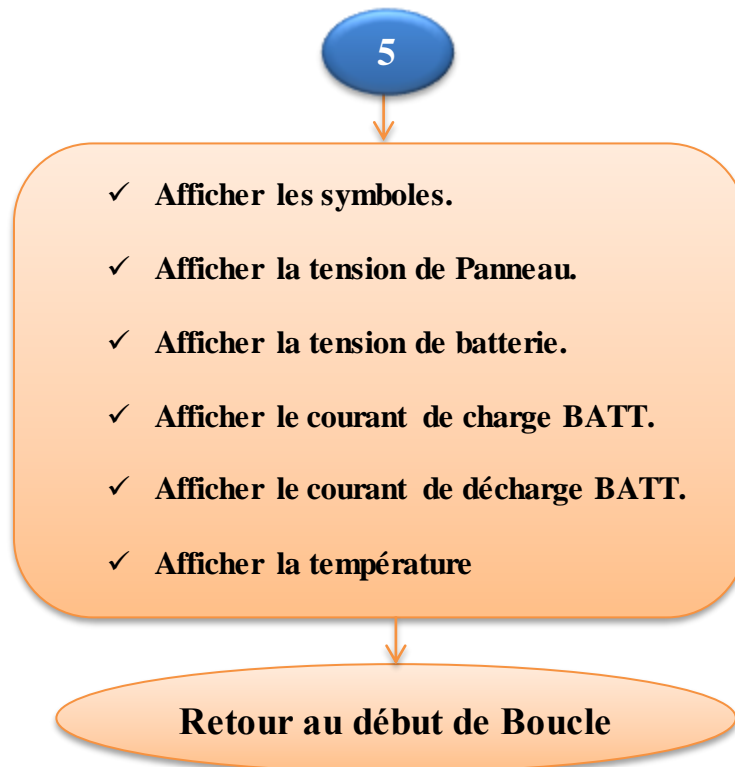


Figure IV-36 : Organigramme pour l'affichage sur LCD et Téléphone.

IV-8 Circuit complet :

La figure (IV-37) représente la carte réalisée.

- 1-Capteur de tension de panneau
- 2-Capteur de courant de décharge.
- 3-Capteur de tension de batterie.
- 4-Arduino Nano.
- 5-Capteur de courant de charge.
- 6-Convertisseur Buck.
- 7-MOSFET 2.
- 8-Diode anti retour.
- 9-MOSEFET 1 avec radiateur.
- 10-Fusible de protection.

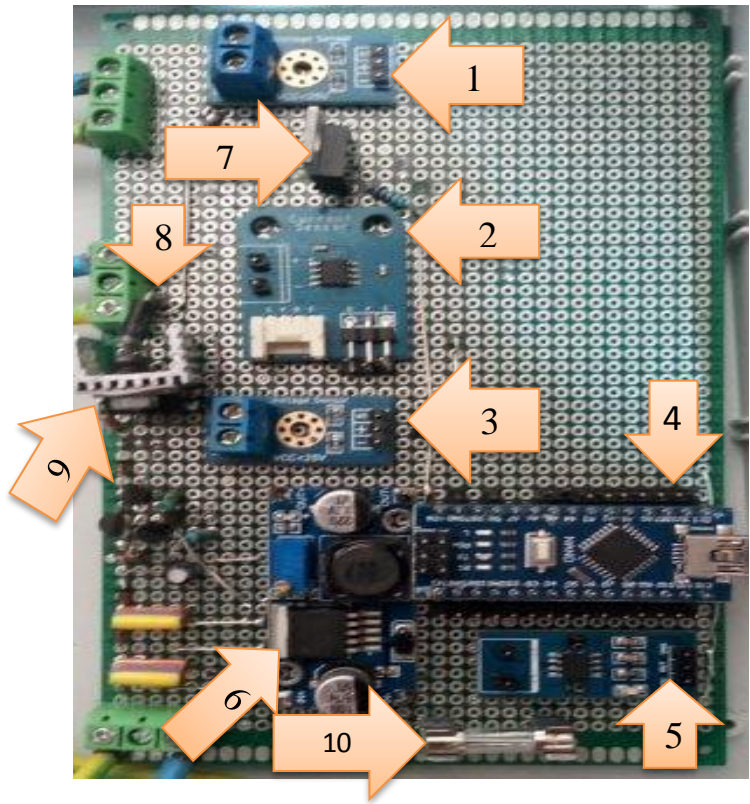


Figure IV-37 : Photo de régulateur de charge.

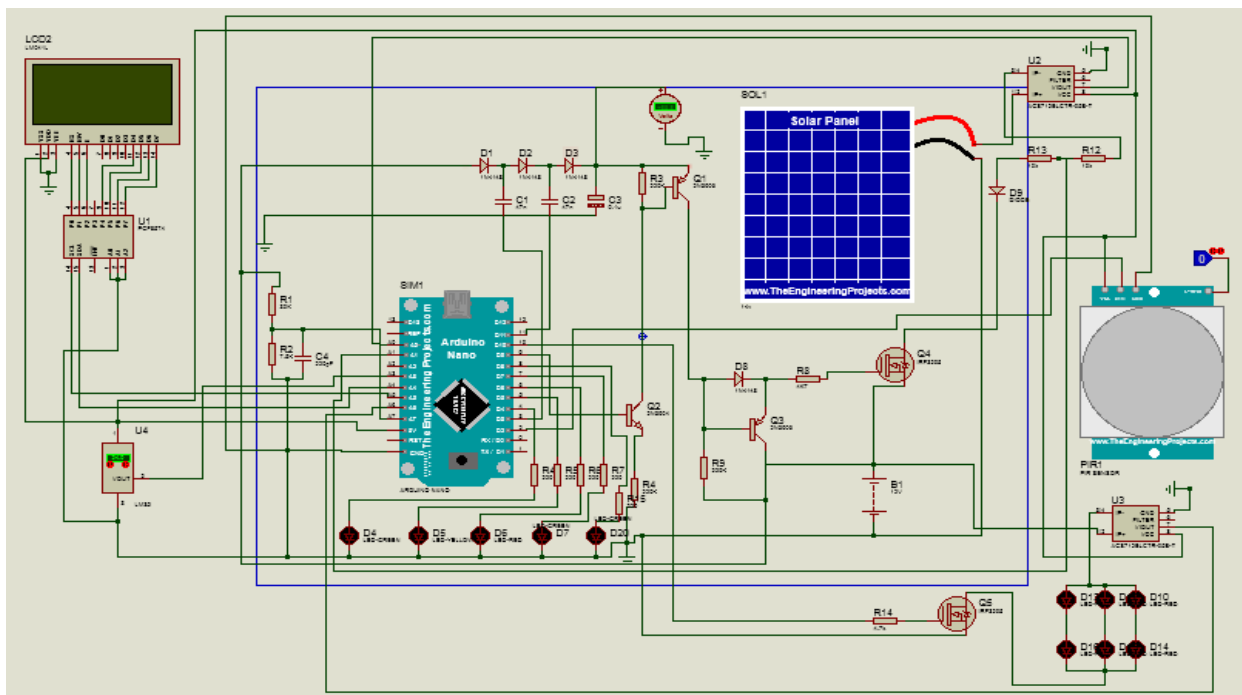


Figure IV-38 : Simulation de système complet.

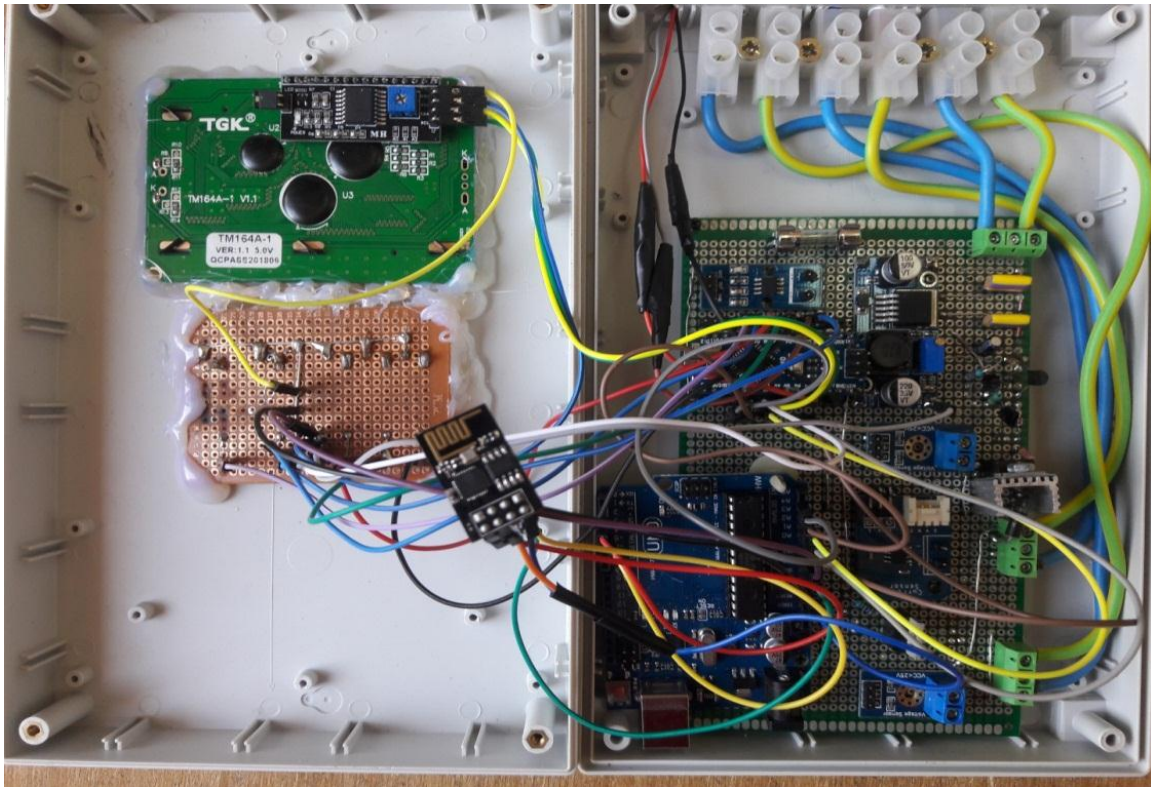


Figure VI-39 : Câblage le régulateur de charge avec les LEDs, LCD et le module WIFI.

IV-9 Tests de contrôleur de charge (MLI) :

Dans notre réalisation, nous utilisons un module photovoltaïque du type P156-30W. Ce module est en silicium monocristallin et constitué de 36 cellules élémentaires. Il peut délivrer dans les conditions standards de test (CST) une puissance de 30 W, un courant de 1.67A sous une tension optimale de 18V. Les caractéristiques électriques de ce module PV sont (voir figure (IV-40)) :

- Puissance maximale de 30 Watt.
- Tension à puissance maximale ou tension optimale de 18V.
- Courant à puissance maximale ou courant optimal de 1.67A.
- Courant de court-circuit de 2.27A.
- Tension à circuit ouvert de 22.7V.



Figure IV-40 : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque P156-30W.

La figure (IV-41), montre le montage global de système PV avec la lampe de l'éclairage extérieur.

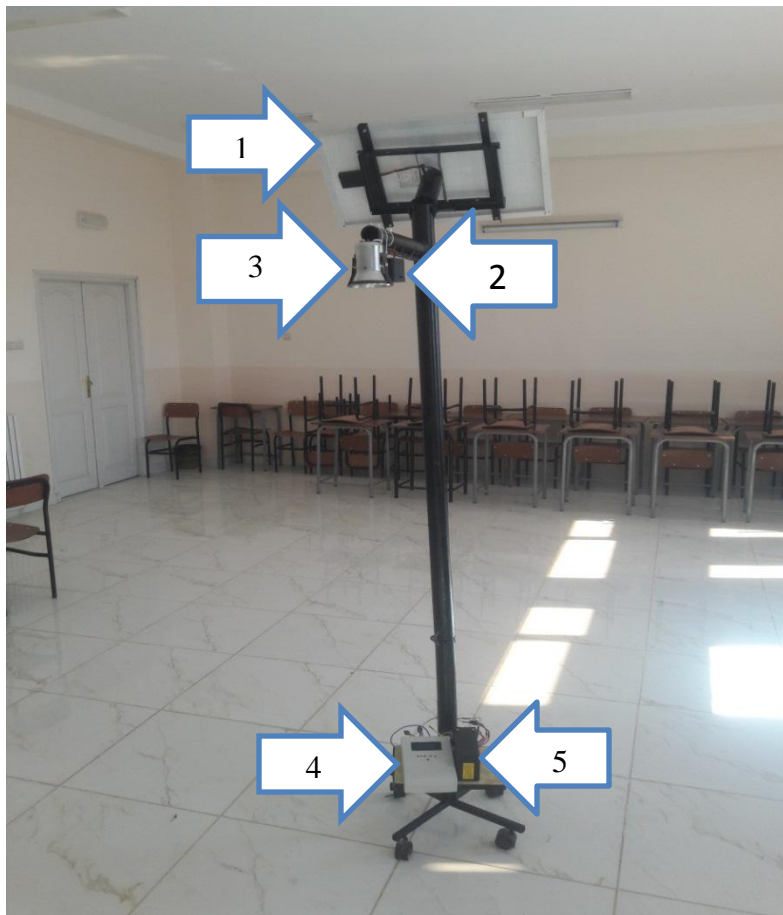


Figure IV-41 : Le fonctionnement du système complet (charge de la batterie).

- 1-Panneau solaire.
- 2-Capteur de mouvement.
- 3-Lampe(LED).
- 4- Contrôleur de charge MLI.
- 5-Batterie 12V.

IV-9-1 Résultats de tests pratiques :

Les résultats pratiques sont montrés sur le tableau (IV-1) qui présente l'évolution de la tension de la batterie au cours d'une journée complète. Ces résultats montrent que le système PV fonction correctement.

Tableau IV-1 : Résultats des tests pratiques de tension de batterie, courant de charge et tension de panneau du système PV.

Le temps (h)	Courant de charge (A)	Voltage de batterie (V)	Voltage de panneau(V)	Le temps (h)	Courant de charge (A)	Voltage de batterie (V)	Voltage de panneau(V)
10 :30	0.76	11.78	12.95	13 :55	0.90	13.09	16.94
10 :35	0.80	11.83	13.00	14 :00	0.86	13.09	17.06
10 :40	0.84	11.86	13.04	14 :05	0.80	13.10	17.21
10 :45	0.88	11.89	13.09	14 :10	0.75	13.11	17.42
10 :50	0.92	11.92	13.13	14 :15	0.69	13.11	17.65
10 :55	0.96	11.96	13.20	14 :20	0.65	13.12	17.72
11 :00	1.00	11.99	13.24	14 :25	0.60	13.12	17.79
11 :05	1.04	12.02	13.29	14 :30	0.59	13.12	17.88
11 :10	1.08	12.06	13.34	14 :35	0.54	13.12	17.91
11 :15	1.12	12.09	13.39	14 :40	0.50	13.12	18.08
11 :20	1.16	12.13	13.44	14 :45	0.50	13.13	18.14
11 :25	1.20	12.16	13.48	14 :50	0.47	13.13	18.19
11 :30	1.21	12.19	13.59	14 :55	0.45	13.13	18.33
11 :35	1.24	12.23	13.61	15 :00	0.40	13.13	18.48
11 :40	1.29	12.28	13.70	15 :05	0.41	13.13	18.43
11 :45	1.33	12.31	13.75	15 :10	0.40	13.14	18.50
11 :50	1.36	12.35	13.76	15 :15	0.37	13.14	18.64
11 :55	1.38	12.38	13.80	15 :20	0.37	13.14	18.64
12 :00	1.41	12.43	13.84	15 :25	0.31	13.14	18.69
12 :05	1.43	12.46	13.88	15 :30	0.30	13.14	18.61
12 :10	1.46	12.50	13.94	15 :35	0.31	13.14	18.53
12 :15	1.48	12.53	13.99	15 :40	0.29	13.14	18.73
12 :20	1.51	12.57	14.06	15 :45	0.29	13.14	18.64
12 :25	1.53	12.60	14.13	15 :50	0.27	13.14	18.71
12 :30	1.54	12.64	14.20	15 :55	0.27	13.15	18.73
12 :35	1.57	12.67	14.18	16 :00	0.26	13.16	18.77
12 :40	1.60	12.71	14.20	16 :05	0.27	13.16	18.51
12 :45	1.62	12.75	14.26	16 :10	0.24	13.16	18.64
12 :50	1.61	12.78	14.28	16 :15	0.24	13.16	18.79
12 :55	1.64	12.80	14.34	16 :20	0.21	13.16	18.73
13 :00	1.69	12.82	14.48	16 :25	0.20	13.17	18.74
13 :05	1.74	12.85	14.59	16 :30	0.23	13.17	18.71
13 :10	1.72	12.89	14.65	16 :35	0.20	13.17	18.66
13 :15	1.69	12.93	14.69	16 :40	0.19	13.17	18.61
13 :20	1.69	12.97	14.70	16 :45	0.17	13.17	18.86
13 :25	1.60	13.01	15.14	16 :50	0.21	13.17	18.79
13 :30	1.41	13.03	15.65	16 :55	0.16	13.18	18.87
13 :35	1.36	13.05	15.87	17 :00	0.13	13.18	18.90
13 :40	1.21	13.07	16.29	17 :05	0.13	13.18	18.90
13 :45	1.09	13.07	16.41	17 :10	0.10	13.18	18.94
13 :50	1.00	13.08	16.78	17 :15	0.13	13.18	18.44

17 :20	0.12	13.19	18.48		18 :10	0.05	13.19	19.70
17 :25	0.09	13.19	18.60		18 :15	0.03	13.20	19.86
17 :30	0.14	13.19	18.40		18 :20	0.02	13.20	19.66
17 :35	0.08	13.19	19.00		18 :25	0.02	13.20	19.63
17 :40	0.09	13.19	18.95		18 :30	0.01	13.20	19.74
17 :45	0.09	13.19	18.73		18 :35	0.00	13.20	19.50
17 :50	0.08	13.19	18.22		18 :40	0.01	13.20	19.45
17 :55	0.08	13.19	19.70		18 :45	0.01	13.20	19.70
18 :00	0.07	13.19	19.40		18 :50	0.00	13.20	19.64
18 :05	0.05	13.19	19.95					

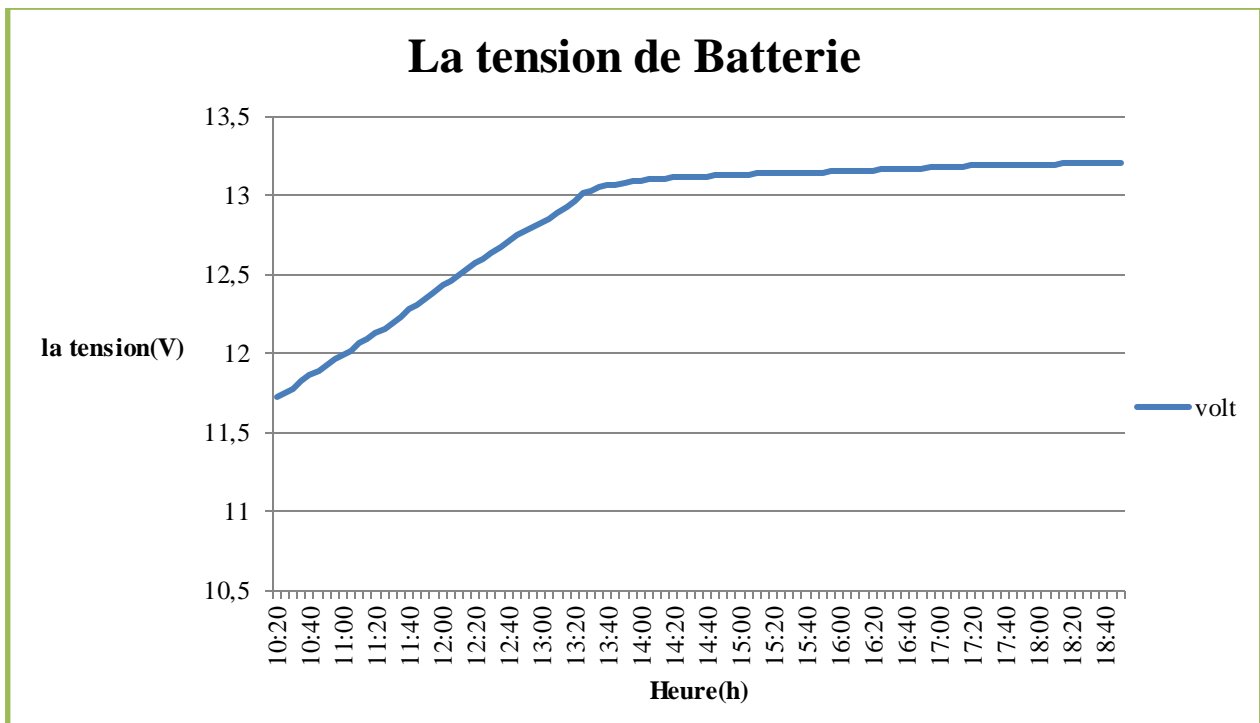


Figure IV-42 : Résultats des tests pratiques de tension de batterie.

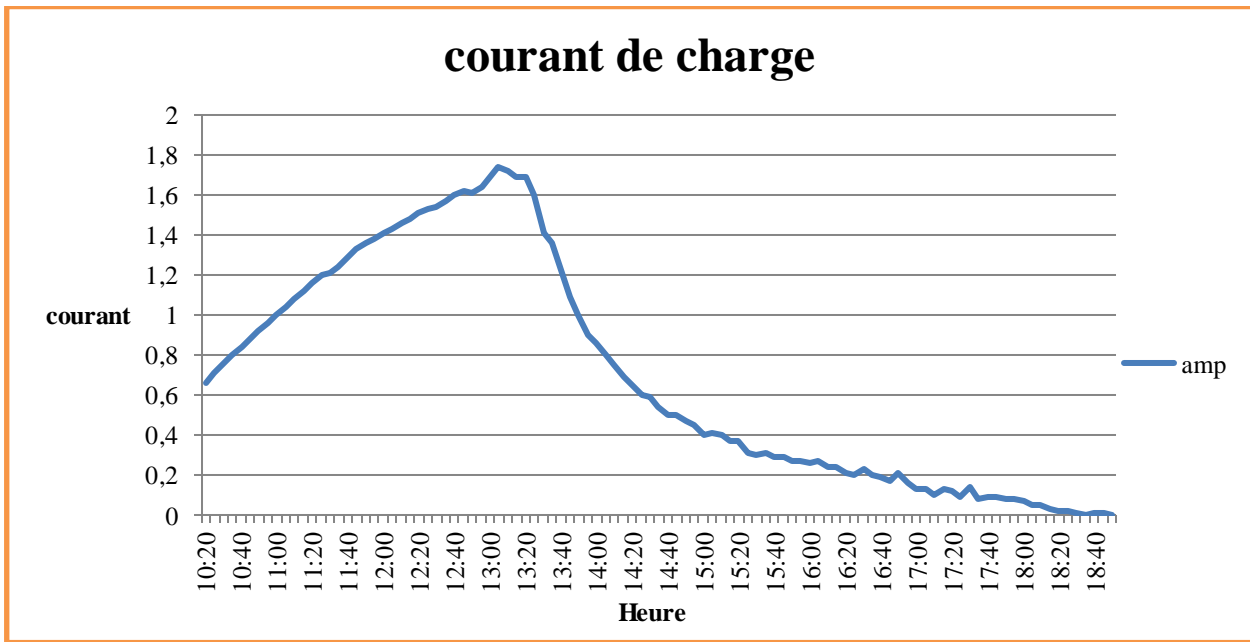


Figure IV-43 : Résultats des tests pratiques de courant de charge.

IV-9-2 Le fonctionnement du système PV au mode nuit :

La figure (IV-44) représente le système photovoltaïque réalisé au mode nuit.



Figure IV-44 : Le fonctionnement du système complet (l'allumage de la lampe).

La figure (IV-45) représente l'affichage des résultats sur le LCD de régulateur.



Figure IV-45: L'affichage des résultats sur LCD.

La figure (IV-46) représente l'affichage des résultats sur le téléphone portable.



Figure IV-46 : Les résultats sur le téléphone.

IV-10 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons expliqué en détail les étapes suivies pour achever la réalisation de notre régulateur de charge. Nous avons décrit le rôle de chaque composant utilisé et présenter le programme à travers des organigrammes bien détaillés ; ensuite nous avons donné des images illustratives qui présentent le bon fonctionnement de notre circuit.

Conclusion générale

Conclusion général

Le développement de la commande des systèmes par circuit programmables a occupé le domaine de la technologie moderne, ce qui nous a poussés à choisir l'Arduino nano qui est plus fiable, moins encombrant et peut être flashé facilement afin d'assurer plusieurs tâches dans le système. L'objectif de ce modeste travail est une contribution pour améliorer l'utilisation de l'énergie photovoltaïque, notamment dans le domaine de l'éclairage public qui nécessite l'utilisation des accumulateurs qui sont très chers et qui nécessitent un contrôle continu de leur état de charge. Le but envisagé via ce travail est de concevoir un régulateur solaire dont le but est de réguler l'état de charge d'une batterie au plomb acide dans un système photovoltaïque et d'optimiser la puissance consommée par lampe.

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que le régulateur envisagé est bien adapté pour le contrôle de l'état de charge de notre batterie, et la protéger contre toute charge et décharge excessive et tous autres risques, en assurant une meilleure autonomie au système et une longue vie à notre batterie en diminuant ainsi le coût du système. On note que pendant l'élaboration de notre travail, nous avons rencontré plusieurs difficultés surtout dans la partie réalisation. Cependant, on peut dire que notre travail nous a permis d'améliorer nos capacités pratiques, et de mieux comprendre les fonctionnalités des composants électroniques, de même il nous a permis d'enrichir nos connaissances dans la programmation des microcontrôleurs.

En conclusion, malgré l'insuffisance de moyens d'équipements, nous sommes satisfaits des résultats obtenus puisqu'ils répondent adéquatement aux objectifs fixés au départ. Nous sommes tout de même conscient que, comme dans tout projet, il y'aurait place à l'amélioration. Nous estimons que ce travail sera enrichi par plus de recherches et investigations.

Bibliographies

- [1] <http://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/ensoleillement-belgique.html>.
- [2] **MEBARKI Azzeddine, MEBARKI Tarek**, « Gestion d'énergie d'une station multi sources dédiée au chargement des véhicules hybrides », Mémoire de fin d'étude master, université de A/Mira – Bejaia, 2018.
- [3] **BRAHAMI IMEN SOUHILA**, « Optimisation du fonctionnement d'un générateur photovoltaïque par guidage automatique des panneaux solaires », Thèse, université Djillali liabes de Sidi-Bel-Abbès, 2018.
- [4] **HOUASNI ZAKARIA**, « ALIMENTATION D'UN ASCENSEUR PAR L'ENERGIE SOLAIRE », Mémoire de fin d'étude master Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 2018.
- [5] **MERABET Abd El Hak**, « Dimensionnement d'un système d'alimentation en énergie électrique par voie photovoltaïque pour l'alimentation d'une habitation », Mémoire de fin d'étude master université de Biskra, 2018.
- [6] **METAI ABDELKADER, CHAAB AYMENE**, « Etude et simulation d'un système de production d'énergie photovoltaïque en site isolé », Mémoire de fin d'étude master université badji Mokhtar Annaba, 2018.
- [7] **LUCETTE Hoisnard**, « le photovoltaïque », édition S.A.E.P, en U.E, 80p, ISBN 978-2-7372-4478-0, 2009.
- [8] **LOUZAZNA Brahim, MADI Salim**, « Etude et caractérisation d'un panneau photovoltaïque type Condor », Mémoire de fin d'étude master, Université A.MIRA de Bejaia, 2015.
- [9] **Korichi Taki Eddine**, « Modélisation et commande d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique », Mémoire de fin d'étude master, UNIVERSITE MOHAMEDBOUDIAF-M'SILA, 2016.
- [10] **DAHOU OKBA**, « Dimensionnement d'un système d'alimentation en énergie électrique par voie photovoltaïque pour l'irrigation d'un périmètre agricole, Mémoire de fin d'étude master, Université Mohamed Khider de Biskra, 2018.
- [11] **Bendali Braham Mounir, Khelif Mahdi**, « Etude et simulation d'une chaîne de production photovoltaïque », Mémoire de fin d'étude master, université badji Mokhtar Annaba, 2018.
- [12] <http://www.ssf-asso.org/systemes-pv-autonomes/>

- [13] **ZERROUKI Zolikha, BEREKSI REGUIG Rym**, « Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome », Mémoire de fin d'étude master, UNIVERSITÉ ABOU-BEKR BELKAID - TLEMEN, 2017.
- [14] **HALOUANE Assia**, « Modélisation du transfert radiatif dans les strates supérieures d'un module photovoltaïque », Mémoire de fin d'étude master, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES, 2017.
- [15] **ABABACAR NDIAYE**, « Etude de la dégradation et de la fiabilité des modules photovoltaïques Impact de la poussière sur les caractéristiques électriques de performance », thèse de doctorat, Ecole Supérieure Polytechnique, UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR, 2013.
- [16] **Sylvain Brigand**, « installations solaires photovoltaïque », éditions le moniteur, en France, 280p, ISBN:978-2-281-11497-3, 2011.
- [17] **Mark Hankins**, « installations solaires photovoltaïque autonome », en France, 293p, ISBN:978-2-10-057299-1, 2012.
- [18] <https://www.solar-electric.com/learning-center/solar-charge-controller-basics.html/>
- [19] **Luc Chancelier et Eric Laurent**, « l'électricité photovoltaïque », éditions Lavoisier, en France, 255p, ISBN:2-86844-081-9, 2005.
- [20] <https://www.victronenergy.com/blog/2014/07/21/which-solar-charge-controller-pwm-or-mppt/#>
- [21] **Zendah Ramzi**, « étude de la gestion d'énergie d'une chaîne photovoltaïque », Mémoire de fin d'étude master, université de Badji Mokhtar-ANNABA, 2018.
- [22] **Bencherif Mohammed**, « Modélisation des paramètres d'une batterie Plomb-Acide, et son intégration dans un système photovoltaïque autonome », Mémoire de fin d'étude master, Université Abou Bekr Belkaid –Tlemcen, 2015.
- [23] **NAIM Houcine**, « Etude de gestion d'une mini-centrale solaire et mise au point d'un dispositif automatique de mesures, contrôles et régulation de l'énergie électrique », THÈSE, Université de Mohamed Boudiaf Oran, 2016.

[24] **HAMDI Abderrazak**, « Conception et dimensionnement d'un système Photovoltaïque pour habitation et pompage », Mémoire de fin d'étude master, Université Mohamed Khider de Biskra, 2018.

[25] **Anne Labouret, Michel Villoz**, « installations photovoltaïque », éditions le moniteur, en France, 220p, ISBN:978-2-10-057247-2, 2012.

[26] **Mehalaine Nourelhouda**, « Étude et réalisation d'un système intelligent pour la commande d'éclairage publique et surveillance de quelques paramètres atmosphériques », Mémoire de fin d'étude master, UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI OUM EL BOUAGHI, 2018.

[27] <https://es.dhgate.com/product/new-design-30w-50w-led-street-lights-waterproof/437202174.html>

[28] **HAMRIT Salah Edine Barkat**, « Réalisation d'une armoire didactique pour la protection des réseaux électriques », Mémoire de fin d'étude master, Université Mohamed Khider de Biskra, 2018.

[29] <https://www.arduino-france.com/review/arduino-nano-avantages-inconvenients-utilisation-et-fonctionnement/>

[30] **BOULAKHOUA Walid**, « Etude et réalisation d'un système de télésurveillance apicole », Mémoire de fin d'étude master, Université Mohamed Larbi Ben M'hidi - Oum El bouaghi, 2018.

[31] <https://apprendre.youpilab.com/capteur-de-courant-ac/712/>

[32] **METAHRI Mohammed El habib, ABDELLI Selma**, «Smart House», Mémoire de fin d'étude master, Université ABOU BEKR BELKAID, 2017.

[33] **SELMA Houssein Eddine, MOULAY ABDALLAH Yacine**, « Réalisation d'une maison verte dotée des systèmes intelligents de contrôle pour la sécurité, l'environnement et le confort », Mémoire de fin d'étude master, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, 2017.

[34] <http://www.photovoltaique.guide.nf.fr/cours-photovoltaique-autonome-1/regulateur-photovoltaique.php>

[35] **Boulouiz Youssef**, « Etude & réalisation d'un panneau lumineux », Mémoire de fin d'étude master, Université Abou Bekr Belkaid –Tlemcen, 2017.

[36] <http://www.photovoltaique.guide.nf.fr/cours-photovoltaique-autonome-1/regulation-photovoltaique-tout-ou-rien.php>

[37] <https://booteille.github.io/blynk-docs-fr/>

Annexe

Annexe A

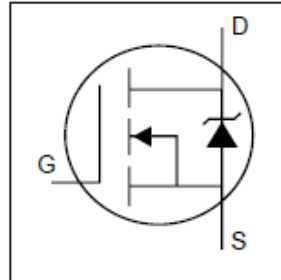
International
IR Rectifier

PD-91279E

IRF3205

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



$V_{DSS} = 55V$
 $R_{DS(on)} = 8.0m\Omega$
 $I_D = 110A^{(5)}$

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.

**Absolute Maximum Ratings**

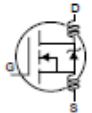
	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	110 ⁽⁵⁾	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	80	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ⁽¹⁾	390	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current ⁽¹⁾	62	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ⁽¹⁾	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ⁽³⁾	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.75	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

IRF3205

International
IOR RectifierElectrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.057	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	8.0	m Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 62A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	44	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 62A$ ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	146	nC	$I_D = 62A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	35		$V_{DS} = 44V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	54		$V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	14	—		$V_{DD} = 28V$
t_r	Rise Time	—	101	—	ns	$I_D = 62A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	50	—		$R_G = 4.5\Omega$
t_f	Fall Time	—	65	—		$V_{GS} = 10V$, See Fig. 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	3247	—	pF	$V_{GS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	781	—		$V_{DS} = 25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	211	—		$f = 1.0MHz$, See Fig. 5
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy②	—	1050⑥	264⑦		mJ

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	110	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode)①	—	—	390		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 62A, V_{GS} = 0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	69	104	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 62A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	143	215	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- ② Starting $T_J = 25^\circ\text{C}, L = 138\mu H$
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 62A$. (See Figure 12)
- ③ $I_{SD} \leq 62A, di/dt \leq 207A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width $\leq 400\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.
- ⑤ Calculated continuous current based on maximum allowable junction temperature. Package limitation current is 75A.
- ⑥ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- ⑦ This is a calculated value limited to $T_J = 175^\circ\text{C}$.

Annexe B

High-speed diodes

1N4148; 1N4448

FEATURES

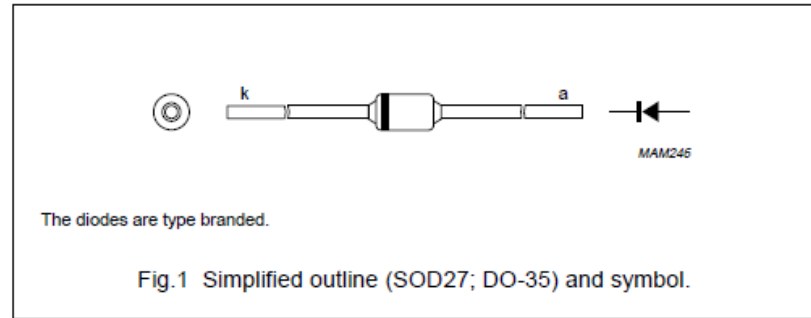
- Hermetically sealed leaded glass SOD27 (DO-35) package
- High switching speed: max. 4 ns
- General application
- Continuous reverse voltage: max. 75 V
- Repetitive peak reverse voltage: max. 75 V
- Repetitive peak forward current: max. 450 mA.

APPLICATIONS

- High-speed switching.

DESCRIPTION

The 1N4148 and 1N4448 are high-speed switching diodes fabricated in planar technology, and encapsulated in hermetically sealed leaded glass SOD27 (DO-35) packages.



LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{RRM}	repetitive peak reverse voltage		–	75	V
V_R	continuous reverse voltage		–	75	V
I_F	continuous forward current	see Fig.2; note 1	–	200	mA
I_{FRM}	repetitive peak forward current		–	450	mA
I_{FSM}	non-repetitive peak forward current	square wave; $T_j = 25\text{ °C}$ prior to surge; see Fig.4 $t = 1\ \mu\text{s}$ $t = 1\ \text{ms}$ $t = 1\ \text{s}$	–	4 1 0.5	A A A
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} = 25\text{ °C}$; note 1	–	500	mW
T_{stg}	storage temperature		–65	+200	°C
T_j	junction temperature		–	200	°C

Note

1. Device mounted on an FR4 printed circuit-board; lead length 10 mm.

Annexe C

2N3903, 2N3904

2N3903 is a Preferred Device

General Purpose Transistors

NPN Silicon

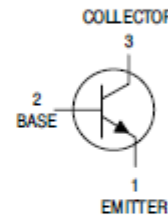
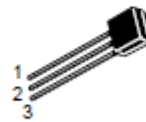
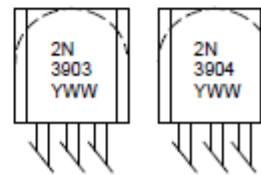
MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CE0}	40	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CB0}	60	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EB0}	6.0	Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	200	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12	Watts mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS (Note 1.)

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C/W}$

1. Indicates Data in addition to JEDEC Requirements.

**ON Semiconductor™**<http://onsemi.com>**STYLE 1****TO-92
CASE 29
STYLE 1****MARKING DIAGRAMS**

Y = Year
WW = Work Week

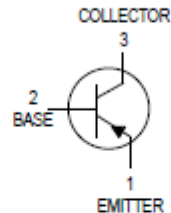
ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
2N3903	TO-92	5000 Units/Box
2N3903RLRM	TO-92	2000/Ammo Pack
2N3904	TO-92	5000 Units/Box
2N3904RLRA	TO-92	2000/Tape & Reel
2N3904RLRE	TO-92	2000/Tape & Reel
2N3904RLRM	TO-92	2000/Ammo Pack
2N3904RLRP	TO-92	2000/Ammo Pack
2N3904RL1	TO-92	2000/Tape & Reel
2N3904ZL1	TO-92	2000/Ammo Pack

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

General Purpose Transistors

PNP Silicon


2N3905
2N3906*

*Motorola Preferred Device


 CASE 29-04, STYLE 1
 TO-92 (TO-226AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CE0}	40	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CBO}	40	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EBO}	5.0	Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	200	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_A = 60^\circ\text{C}$	P_D	250	mW
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12	Watts mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS(1)

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C/W}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

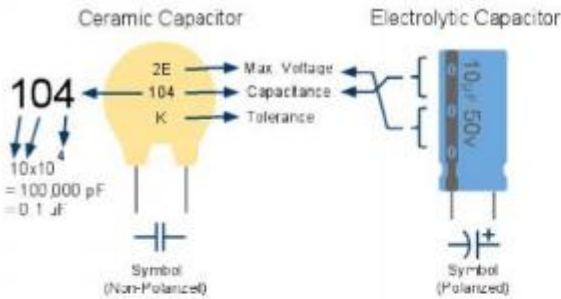
Collector–Emitter Breakdown Voltage (2) ($I_C = 1.0 \text{ mAdc}, I_B = 0$)	$V_{(BR)CEO}$	40	—	Vdc
Collector–Base Breakdown Voltage ($I_C = 10 \mu\text{Adc}, I_E = 0$)	$V_{(BR)CBO}$	40	—	Vdc
Emitter–Base Breakdown Voltage ($I_E = 10 \mu\text{Adc}, I_C = 0$)	$V_{(BR)EBO}$	5.0	—	Vdc
Base Cutoff Current ($V_{CE} = 30 \text{ Vdc}, V_{EB} = 3.0 \text{ Vdc}$)	I_{BL}	—	50	nAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30 \text{ Vdc}, V_{EB} = 3.0 \text{ Vdc}$)	I_{CEX}	—	50	nAdc

1. Indicates Data in addition to JEDEC Requirements.
2. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 \mu\text{s}$; Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

Annexe D

Capacitors



Max. Operating Voltage

Code	Max. Voltage
1H	50V
2A	100V
2T	150V
2D	200V
2E	250V
2G	400V
2J	630V

Capacitance Conversion Values

Microfarads (µF)	Nanofarads (nF)	Picofarads (pF)
0.000001 µF	0.001 nF	1 pF
0.00001 µF	0.01 nF	10 pF
0.0001 µF	0.1 nF	100 pF
0.001 µF	1 nF	1,000 pF
0.01 µF	10 nF	10,000 pF
0.1 µF	100 nF	100,000 pF
1 µF	1,000 nF	1,000,000 pF
10 µF	10,000 nF	10,000,000 pF
100 µF	100,000 nF	100,000,000 pF

Tolerance

Code	Percentage
B	± 0.1 pF
C	±0.25 pF
D	±0.5 pF
F	±1%
G	±2%
H	±3%
J	±5%
K	±10%
M	±20%
Z	+80%, -20%

P6KE SERIES

GLASS PASSIVATED JUNCTION TRANSIENT VOLTAGE SUPPRESSOR

VOLTAGE - 6.8 TO 440 Volts

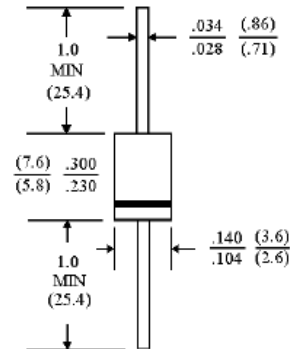
600Watt Peak Power

5.0 Watt Steady State

FEATURES

- Plastic package has Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-O
- Glass passivated chip junction in DO-15 package
- 600W surge capability at 1ms
- Excellent clamping capability
- Low zener impedance
- Fast response time: typically less than 1.0 ps from 0 volts to BV min
- Typical I_R less than 1 μA above 10V
- High temperature soldering guaranteed: 260°C/10 seconds/.375" (9.5mm) lead length/5lbs., (2.3kg) tension

DO-15



Dimensions in inches and (millimeters)

MECHANICAL DATA

Case: JEDEC DO-15 molded plastic

Terminals: Axial leads, solderable per MIL-STD-202, Method 208

Polarity: Color band denoted cathode except Bipolar

Mounting Position: Any

Weight: 0.015 ounce, 0.4 gram

DEVICES FOR BIPOLAR APPLICATIONS

For Bidirectional use C or CA Suffix for types P6KE6.8 thru types P6KE440

Electrical characteristics apply in both directions.

MAXIMUM RATINGS AND CHARACTERISTICS

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.

For capacitive load, derate current by 20%.

RATING	SYMBOL	VALUE	UNITS
Peak Power Dissipation at $T_A=25^\circ C$, $T_P=1ms$ (Note 1)	P_{PK}	Minimum 600	Watts
Steady State Power Dissipation at $T_L=75^\circ C$ Lead Lengths .375" (9.5mm) (Note 2)	PD	5.0	Watts
Peak Forward Surge Current, 8.3ms Single Half Sine-Wave Superimposed on Rated Load(JECED Method) (Note 3)	I_{FSM}	100	Amps

UNI-DIRECTIONAL 600 Watt Axial Lead TVS

UNI-DIRECTIONAL PART NUMBER	REVERSE STAND-OFF VOLTAGE VRWM (V)	BREAKDOWN VOLTAGE VBR (V) MIN. @IT	BREAKDOWN VOLTAGE VBR (V) MAX. @IT	TEST CURRENT IT (mA)	MAXIMUM CLAMPING VOLTAGE @ I_{PP} VC (V)	PEAK PULSE CURRENT I_{PP} (A)	REVERSE LEAKAGE @VRWM IR (μA)
P6KE33C	26.80	29.70	36.30	1	47.7	12.6	5
P6KE33CA	28.20	31.40	34.70	1	45.7	13.2	5
P6KE36C	29.10	32.40	39.60	1	52.0	11.6	5
P6KE36CA	30.80	34.20	37.80	1	49.9	12.0	5



10SQ030 thru 10SQ100

SCHOTTKY BARRIER RECTIFIERS	REVERSE VOLTAGE -30 to 100Volts FORWARD CURRENT -10.0 Amperes										
<p>FEATURES</p> <ul style="list-style-type: none"> ●Metal of silicon rectifier , majority carrier conduction ●Guard ring for transient protection ●Low power loss,high efficiency ●High current capability,low VF ●High surge capacity ●Plastic package has UL flammability classification 94V-0 ●For use in low voltage,high frequency inverters,free wheeling,and polarity protection applications <p>MECHANICAL DATA</p> <ul style="list-style-type: none"> ●Case: JEDEC R-6 molded plastic ●Polarity: Color band denotes cathode ●Weight: 0.07 ounces , 2.1 grams ●Mounting position: Any 	<p style="text-align: center;">R - 6</p> <p style="text-align: center;">Dimensions in inches and (millimeters)</p>										
MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS											
Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.											
Single phase, half wave ,60Hz, resistive or inductive load.											
For capacitive load, derate current by 20%											
CHARACTERISTICS	SYMBOL	10SQ030	10SQ035	10SQ040	10SQ045	10SQ050	10SQ060	10SQ080	10SQ100	UNIT	
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	VRRM	30	35	40	45	50	60	80	100	V	
Maximum RMS Voltage	VRMS	21	24.5	28	31.5	35	42	56	70	V	
Maximum DC Blocking Voltage	VDC	30	35	40	45	50	60	80	100	V	
Maximum Average Forward Rectified Current@Tc=95 °C	I(AV)	10								A	
Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave super imposed on rated load(JEDEC Method)	IFSM	275								A	
Peak Forward Voltage at 10A DC(Note1)	VF	0.55			0.7		0.8			V	
Maximum DC Reverse Current @Tj=25°C	IR	0.5									mA
at Rated DC Blocking Voltage @Tj=100°C		50									
Typical Junction Capacitance (Note2)	CJ	450									PF
Typical Thermal Resistance (Note3)	RθJC	3.0									°C/w
Operating Temperature Range	TJ	-55 to+150									°C
Storage Temperature Range	TSTG	-55 to+150									°C
NOTES:1.300us Pulse Width, 2%Dudy Cycle.											
2.Measured at 1.0 MHZ and applied reverse voltage of 4.0VDC.											
3.Thermal Resistance Junction to Case.											

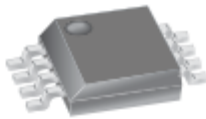


Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 50 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$, and 4% at -40°C to 85°C
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

Package: 8 pin SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



Description

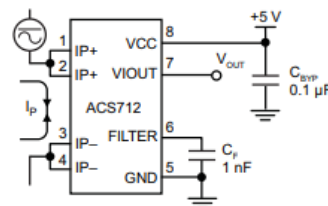
The Allegro[®] ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current, I_p , within the range specified. C_f is recommended for noise management, with values that depend on the application.

Résumé

RESUME :

Le but de notre travail est de concevoir, étudier et réaliser un contrôleur de charge MLI (Modulation Largeur d' Impulsion), simple et économique autour d'un microcontrôleur ; et cela dans l'objectif de gérer la charge et la décharge de la batterie, et optimiser la puissance fourni par le module PV dans les systèmes d'éclairage public basés sur le solaire photovoltaïque. Ainsi, de contrôler l'intensité d'éclairage des lampes à fin d'économiser l'énergie stockée et augmenter la durée de vie de la batterie.

Pour tester et pour confirmer le bon fonctionnement de circuit ; un système de monitoring des paramètres électriques et météorologiques est mis en place en utilisant un afficheur LCD et encore un affichage à distance sur téléphone à travers une liaison Wifi.

Mots-clés: énergie photovoltaïque, microcontrôleur, MLI, contrôleur de charge, batterie, l'éclairage public.

ملخص :

الهدف من عملنا هو تصميم ودراسة وتحقيق وحدة تحكم تحميل PWM بسيطة واقتصادية (Modulation Width of Impulse) حول متحكم دقيق ؛ وهذا من أجل إدارة شحن وتفريغ البطارية ، وتحسين الطاقة التي توفرها الوحدة الكهروضوئية في أنظمة الإضاءة العامة القائمة على الطاقة الشمسية الضوئية. وبالتالي ، يمكنك التحكم في شدة مصابيح الإضاءة لتوفير الطاقة المخزنة وزيادة عمر البطارية.

لاختبار وتأكيده حسن سير العمل في الدارة؛ تم إعداد نظام مراقبة للمعلومات الكهربائية والأرصاد الجوية باستخدام شاشة LCD ولا يزال عرضًا بعيدًا على الهاتف من خلال رابط Wifi.

كلمات مفتاحية: الطاقة الضوئية ، متحكم ، PWM ، تحكم المسؤول ، البطارية ، إنارة الشوارع.

ABSTRACT:

The purpose of our work is to design study and realize a simple and economic PWM (Modulation Pulse Width) regulator, around a microcontroller to manage the charging and discharging of the battery, and optimize the power provided by the PV module in public lighting systems based on solar photovoltaic.

In the other hand our regulator will control the lighting intensity of the lamps in order to save stored energy and increase the life of the battery.

For tested and to confirm the proper functioning of the circuit; a monitoring system set up using a set of sensors, local displaying on LCD and a distance displaying on telephone screen using a wireless communication.

Keywords: photovoltaic energy, microcontroller, PWM, charge controller, battery, street lighting.