

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

*Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj*

*Faculté des Sciences et de la technologie*

*Département d'Electronique*

# *Mémoire*

*Présenté pour obtenir*

LE DIPLOME DE MASTER

**FILIERE : Electronique**

**Spécialité : Electronique industriel**

Par

- **BRAHIMI Rania**
- **BOUCHENIRE Yasmina**

*Intitulé*

*Etude et réalisation d'un régulateur de charge solaire*

*Évalué le : 10/09/2021.*

*Par la commission d'évaluation composée de\* :*

<i>Nom &amp; Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M. S.azoug</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. D.djellal</i>	<i>...</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. A.bousshoul</i>	<i>...</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

*Année Universitaire 2020/2021*

\* Conformément à :

- L'arrêté n°055 du 21 janvier 2021 Fixant dispositions exceptionnelles autorisées en matière d'organisation et gestion pédagogique, de l'évaluation et de la progression des étudiants, durant la période COVID-19 au titre de l'année universitaire 2020-2021 ;
- Procès-verbal de la réunion de l'équipe du domaine des Sciences et Technologies du mois de Mai 2021.

## *Remerciement*

*Avant de commencer la présentation de ce travail*

*Nous souhaitons exprimer notre gratitude à la directrice de notre mémoire, Dr DJELLAL DJAMEL Nous la remercions pour ses conseils et son aide.*

*Nous remercions sincèrement tous les enseignants, les orateurs et tous ceux qui ont dirigé nos idées et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions avec leurs mots, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques.*

*Merci nos chers parents, qui ont toujours été avec nous.*

*Nous voudrions également remercier tous les travailleurs de laboratoire qui ont toujours fait preuve d'une grande gentillesse.*

*Enfin, remerciez nos amis qui ont toujours été là pour nous. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'un grand aide.*

**Table des matières**

Remrciment.....I  
 Table de matière.....II  
 Liste des figures.....VII  
 Liste des tableaux .....IX  
 Liste des acronymes et symboles ..... X  
 Introduction général.....1

**Chapitre I : les systèmes photovoltaïques**

I.1 Introduction -----2  
 I.2 Généralités sur l'énergie solaire-----2  
     I.2.1 Définition-----2  
     I.2.2 Rayonnement solaire-----2  
     I.2.3 L'effet photovoltaïque-----3  
     I.2.4 Les cellules photovoltaïques-----3  
         I.2.4.1 Principe de fonctionnement-----3  
         I.2.4.2 Technologie des cellules photovoltaïque -----3  
             a/ Cellule solaire à base de Silicium monocristallin -----3  
             b/ Cellule solaire à base de Silicium poly cristallin-----4  
             c/ Cellule solaire à base de Silicium amorphe -----4  
         I.2.4.3 Modélisation d'une cellule photovoltaïque-----5  
             a/ Cellule photovoltaïque idéale -----5  
             b/ Cellule solaire réelle-----6  
         I.2.4.4 Paramètres photovoltaïques d'une cellule solaire-----6  
             a/ Tension du circuit ouvert -----6  
             b/ Courant du court-circuit -----7  
             c/ Puissance maximale -----7  
             d/ Facteur de forme -----7  
             e/ Rendement -----7  
     I.2.5 Module Photovoltaïques -----7  
         I.2.5.1 Regroupement des cellules -----8

## Table des matières

---

a/ Groupement en série	8
b/ Groupement en parallèle	9
c/ Groupement mixte	9
I.2.5.2 Influence de l'éclairage et de la température	10
a/ Eclairage	10
b/ La température	11
I.2.5.3 Protections des cellules photovoltaïques	11
I.3 Stockage de l'énergie	12
I.3.1 Définition d'une batterie	12
I.3.2 Un accumulateur	13
I.3.3 Les différents types de batteries	14
I.3.3.1 Accumulateur au plomb (PB)	14
I.3.4 Les différentes Caractéristiques principales d'une batterie	15
I.3.4.1 Capacité en Ampère heure	15
I.3.4.2 Rapports de chargement et déchargement	15
I.3.4.3 Température	15
I.3.4.4 La durée de vie	15
I.3.4.5 Profondeur de décharge	15
I.3.4.6 La tension d'utilisation	15
I.3.4.7 Le rendement	15
I.3.4.8 Le taux d'autodécharge	15
I.3.5 Groupement de batteries	16
I.3.5.1 Montage en série	16
I.3.5.2 Montage en parallèle	16
I.4 Conclusion	16
 <b>Chapitre II:les principes théorique d'une application MPPT</b>	
II.1 Introduction	17
II.2 Le régulateur de charge solaire	17
II.3 Les fonctions du régulateur de charge	18
II.4 Schéma de base d'un régulateur de charge	18
II.5 Les types de régulateur de charge	18

## Table des matières

II.5.1 Régulateurs de type parallèle (shunt)-----	18
II.5.2 Régulateur de charge de type série -----	19
II.5.3 Régulateur de charge PWM -----	19
II.5.4 Régulateur de charge MPPT-----	19
II.6 Etapes de charge d'un contrôleur de charge-----	20
II.6.1 Etape de charge à courant constant (Bulk) -----	20
II.6.2 Etape de charge à tension constante (Absorption)-----	20
II.6.3 Etape d'entretien (Float)-----	21
II.7 le principe et le fonctionnement d'un Point de puissance maximale -----	21
II.8 Etage d'adaptation DC/DC -----	22
II.9 Les techniques de commandes MPPT-----	24
II.9.1 Les Algorithmes MPPT -----	25
II.9.1.1 Approche de la Tension Constante (CV, Constant Voltage)-----	25
II.9.1.2 Approche Du Courant Constant (Constant Current) -----	26
II.9.1.3 La méthode Perturbe & Observe (P&O)-----	28
II.9.1.4 Méthode d'incrémentement de conductance (IC)-----	27
II.10 Conclusion-----	30

## Chapitre III:Simulation et réalisation

III.1 Introduction -----	31
III.2 Conception de régulateur de charge solaire -----	31
III.2.1 Choix et description de partie puissance-----	31
III.2.1.1 Caractéristiques du panneau photovoltaïque choisi -----	31
III.2.1.2 Dimensions de régulateur -----	32
III.2.1.3 Choix de la fréquence de commutation -----	33
III.2.1.4 Choix du transistor-----	33
III.2.1.5 Choix de commande du mosfet -----	34
III.2.1.6 Choix de la diode-----	34
III.2.1.7 Valeur de l'inductance de la bobine-----	35
III.2.1.8 Choix du condensateur -----	35
a/ Condensateur d'entre Cin -----	35
b/ Condensateur de sortie Cout -----	36

## Table des matières

---

III.2.1.9 Choix du diviseur de tension pour l'acquisition de la tension des panneaux PV	36
III.2.1.10 Choix du capteur de tension de la batterie	36
III.2.1.11 Choix du capteur de courant issu des panneaux PV et de la batterie	37
III.2.2 Partie commande	38
III.2.2.1 Le Microcontrôleur Pic18F452	38
III.2.2.2 L'affichage des données	40
a/ Présentation d'un afficheur GLCD	40
b/ Brochage de l'afficheur GLCD	40
III.2.2.3 Les LEDs	41
III.2.3 Etage de sortie (charges)	41
III.3 Présentation de prototype	42
III.4 Simulation du circuit:	42
III.4.1 Outil de simulation	42
III.4.2 Schéma global de simulation du régulateur de charge solaire	43
III.4.2.1 Partie de commande	43
III.4.2.2 Partie de puissance	44
III.4.3 Langage de programmation	44
III.4.4 Déroulement du programme	45
III.4.5 Synthèse de l'organigramme de la carte	45
III.5 Réalisation de circuit imprimé	49
III.6 La carte réalisée	50
III.7 Test final	50
III.8 Conclusion	54
Conclusion générale.....	55
référence .....	56
Résumé.....	58

## Liste des figures

<b>Figure I. 1 :</b> Principe de fonctionnement d'une cellule solaire .....	3
<b>Figure I. 2 :</b> Cellules silicium monocristallin.....	4
<b>Figure I. 3:</b> Cellule Silicium poly cristallin.....	4
<b>Figure I. 4:</b> Cellule Silicium amorphe.....	5
<b>Figure I. 5 :</b> Modèle de cellule photovoltaïque idéal.....	5
<b>Figure I. 6 :</b> Circuit électrique équivalent d'une cellule solaire PV réelle sous éclairement .....	6
<b>Figure I. 7 :</b> Composants d'un champ de modules PV.....	8
<b>Figure I. 8 :</b> Caractéristique I/V d'un groupement en série des cellules PV .....	9
<b>Figure I. 9 :</b> Groupement en série de cellules PV.....	9
<b>Figure I. 10 :</b> Caractéristique I/V d'un groupement en parallèle.....	9
<b>Figure I. 11 :</b> Groupement en parallèle .....	9
<b>Figure I. 12 :</b> Groupement mixte de cellules PV.....	10
<b>Figure I. 13 :</b> Evolution de la caractéristique I(v) et P(v) pour différents niveaux d'éclairements.....	11
<b>Figure I. 14 :</b> Evolutions de la caractéristique I (v) et P (v) pour différent températures. ....	11
<b>Figure I. 15 :</b> Protection de panneau photovoltaïque avec diode anti retour.....	12
<b>Figure I. 16 :</b> La courbe d'une charge d'un élément .....	13
<b>Figure I. 17 :</b> La courbe de décharge d'un élément.....	14
<b>Figure I. 18 :</b> Accumulateur au plomb (PB).....	14
<b>Figure I. 19 :</b> Branchement des batteries en série .....	16
<b>Figure I. 20 :</b> Branchement des batteries en parallèle. ....	16
<b>Figure II. 1 :</b> Schéma de base d'un régulateur de charge .....	18
<b>Figure II. 2 :</b> Principes de fonctionnements d'un régulateur de charge de type shunt .....	19
<b>Figure II. 3 :</b> Etapes de charge d'un contrôleur de charge .....	20
<b>Figure II. 4:</b> Caractéristique courant-tension et puissance-tension du système dans les trois cas Rs>Ropt, Rs=Ropt et Rs< Ropt .....	21
<b>Figure II. 5 :</b> Convertisseurs DC-DC .....	22
<b>Figure II. 6 :</b> Schéma électrique du convertisseur Buck .....	23
<b>Figure II. 7 :</b> Le signal de commande d'interrupteur .....	23
<b>Figure II. 8 :</b> Chaîne de conversion d'énergie solaire .....	24
<b>Figure II. 9 :</b> Principe de la commande .....	25
<b>Figure II. 10 :</b> Algorithme de la tension constante .....	26
<b>Figure II. 11 :</b> Algorithme du courant .....	27
<b>Figure II. 12 :</b> Organigramme de la méthode incrément de conductance .....	29
<b>Figure II. 13:</b> Schéma de converge vers PPM par P&O .....	29

---

**Figure II. 14:** Organigramme de l’algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&28

<b>Figure III. 1:</b> La plaque signalétique du panneau solaire	32
<b>Figure III. 2:</b> Régulateur de tension lm7805CT	32
<b>Figure III. 3:</b> Mosfet IRF540	34
<b>Figure III. 4:</b> Drivre (IR2106)	34
<b>Figure III. 5:</b> Diode Schottky de puissance de type 10CTQ150S	35
<b>Figure III. 6 :</b> Schéma de pont diviseur de tension de panneaux photovoltaïques	36
<b>Figure III. 7 :</b> Schéma de pont diviseur de tension de batterie	37
<b>Figure III. 8:</b> Broches du LM358N	38
<b>Figure III. 9:</b> Brochage de microcontrôleur	39
<b>Figure III. 10:</b> Schéma d’un afficheur GLCD	40
<b>Figure III. 11:</b> Schéma synoptique du système de charge proposé	42
<b>Figure III. 12:</b> Schéma électrique de notre circuit simulé sous Proteus	43
<b>Figure III. 13:</b> Partie puissance de notre carte	44
<b>Figure III. 14:</b> L’organigramme du programme principal	46
<b>Figure III. 15:</b> Les organigrammes de l’affichage et de la signalisation	47
<b>Figure III. 16:</b> L’organigramme de commande des charges à partir des Botton	48
<b>Figure III. 17:</b> Typon de la carte électronique coté composants et coté soudure	49
<b>Figure III. 18:</b> Circuit imprimé de la carte coté composant set coté soudure sous Proteus	49
<b>Figure III. 19:</b> La carte électronique finie	50
<b>Figure III. 20:</b> Le signal PWM généré par le chargeur solaire sous Proteus.	51
<b>Figure III. 21 :</b> Le signal PWM généré par le chargeur solaire réalisé	51
<b>Figure III. 22:</b> Quelques résultats de simulation sous Proteus	52
<b>Figure III. 23:</b> Quelques résultats des essais pratiques	53

## Liste des tableaux

<b>Tableau III. 1:</b> configuration des broches d'un afficheur GLCD .....	41
--	----

## Liste des acronymes et symboles

### Acronymes

PV	Photovoltaïque
EP	Energie solaire photovoltaïque
FF	Facteur de Forme
GPV	Générateur photovoltaïque
PB	Accumulateur au plomb
MPPT	Maximum Power Point Tracking
PWM	Pulse Width Modulation
P&O	Perturbation et Observation
MOSFET	Metal oxide semiconductor field effect transistor
DC-DC	Continue/Continue
VLVD	Tension minimale de la batterie
IMP	Courant maximal
CS	Convertisseur statique
MLI	Modulation de largeur d'impulsion
PSP	Parallal Slave Port
VBAT	Tension de batterie
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter
C.A.O	Conception Assistée par Ordinateur

### Symboles

V <sub>co</sub>	Tension du circuit ouvert
I <sub>cc</sub>	Courant du court-circuit

## Liste des acronymes et symboles

---

$I_{ph}$	Le photo-courant (A).
$P_{max}$	La puissance maximale produite PV(W)
$\eta$	Rendement
$N_p$	Nombre de modules dans le panneau en parallèle
$N_s$ :	Nombre de modules dans le panneau en série
$V_{opt}$	Tension optimal (V)
$I_{opt}$	Courant optimum (A)
$\alpha$	Rapport cyclique
$V_s$	la tension nominale de la batterie
$V_e$	la tension délivrée par le panneau

### INTRODUCTION GENERALE

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation du rayonnement solaire en énergie électrique de type continu directement utilisable. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) composé de matériaux semi-conducteurs d'où l'appellation de cette conversion « l'effet photovoltaïque ». Le problème majeur dans les applications photovoltaïques, c'est l'absence du rayonnement solaire (jours sombres, nuit...), pour cette raison on a recours dans la plupart des cas à un accumulateur d'énergie. Le régulateur est un dispositif électronique qui contrôle la tension de la source d'énergie pour charger les batteries convenablement, aussi la protection des batteries contre quelques phénomènes de nuisance tels que les surcharges, les décharges profondes et les influences de température dont le but est d'augmenter la durée de vie de ces batteries.

L'objectif principal de notre mémoire de fin d'études est l'étude, la conception et la réalisation pratique d'un régulateur de charge pour un système photovoltaïque biais d'un microcontrôleur (PIC18F452). Ce dernier englobe un algorithme MPPT pour extraire le maximum de puissance disponible à la sortie du générateur photovoltaïque.

Pour la réalisation de ce projet, nous avons réparti ce mémoire en trois chapitres :

- ✚ Le premier chapitre : Traite les généralités du système photovoltaïque expose un regroupement des cellules, Modes d'exploitation. Ensuite, nous allons présenter l'unité de stockage de cette énergie (batterie).
- ✚ Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de couplage direct entre un générateur photovoltaïque et une charge de type continue qui nous amène d'introduire un étage d'adaptation entre eux pour extraire le maximum de puissance à la sortie du générateur. Ensuite, nous allons présenter les types de convertisseurs DC-DC en expliquant leurs principes de fonctionnement et montrer la définition de la commande MPPT et le principe de recherche du PPM.
- ✚ Le troisième chapitre expose la conception d'un convertisseur Buck avec une commande MPPT, la simulation virtuelle des différentes parties du système à l'aide de logiciel ISIS Proteus. la réalisation de circuit utilisé le technique CMS.

Nous allons achever notre travail par une conclusion générale.

# Chapitre I :

## Les Systèmes photovoltaïques

---

### I.1 Introduction

On distingue plusieurs types de sources d'énergies renouvelables : l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie photovoltaïque. Excepté l'énergie géothermique qui provient de la chaleur des profondeurs de la terre, ces sources d'énergie proviennent directement ou indirectement du soleil. Elles sont donc disponibles indéfiniment tant que celui-ci brillera. L'énergie photovoltaïque est la plus jeune des énergies renouvelables, elle a l'avantage d'être non polluante, souple et fiable. À travers ce chapitre, nous espérons répondre aux questions de base qui se posent pour comprendre ce qu'est l'énergie photovoltaïque, son principe de fonctionnement ; l'élément de base utilisé dans cette conversion et ses types ; et comme les batteries font partie d'un système PV, nous citons leurs types et même nous discutons son principe de fonctionnement.

### I.2 Généralités sur l'énergie solaire

#### I.2.1 Définition

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de la cellule PV est exposée à la lumière. [1]

#### I.2.2 Rayonnement solaire

Le soleil envoie de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique, compris dans une bande de longueurs d'ondes qui varient de 0,22 à 10  $\mu\text{m}$ , ce rayonnement est composé de grains de lumière appelés photons, l'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde par la relation suivante :

$$EP = h * c / \lambda \quad (\text{I.1})$$

Ou :

$h = 6,62 * 10^{-34} \text{ JS}^{-1}$  : est la constante de Planck       $\lambda$  : longueur d'onde.

$C = 3 * 10^8 \text{ ms}^{-1}$  ; est la vitesse de la lumière

### I.2.3 L'effet photovoltaïque

La conversion photovoltaïque découverte par le physicien français A. BECQUEREL (1839) est le seul moyen connu de convertir directement la lumière en énergie électrique.

### I.2.4 Les cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques (photon : grain de lumière et volt : unité de tension) sont des composants électroniques à semi-conducteurs (généralement faites de silicium sous ses différentes formes). Elles convertissent directement l'énergie lumineuse en électricité courant continu basse tension (effet photovoltaïque). Comme l'énergie lumineuse est le soleil, on parle alors de cellules solaires.

#### I.2.4.1 Principe de fonctionnement

Lorsque cette cellule est éclairée, les photons de la lumière transmettent leurs énergies aux électrons du matériau. Si cette énergie est supérieure à la bande interdite du matériau, alors les électrons de celui-ci passent de la bande de valence à la bande de conduction et il y a création d'une paire électron-trou. La connexion d'une charge à cette cellule va créer un courant proportionnel à l'éclairement. [4]

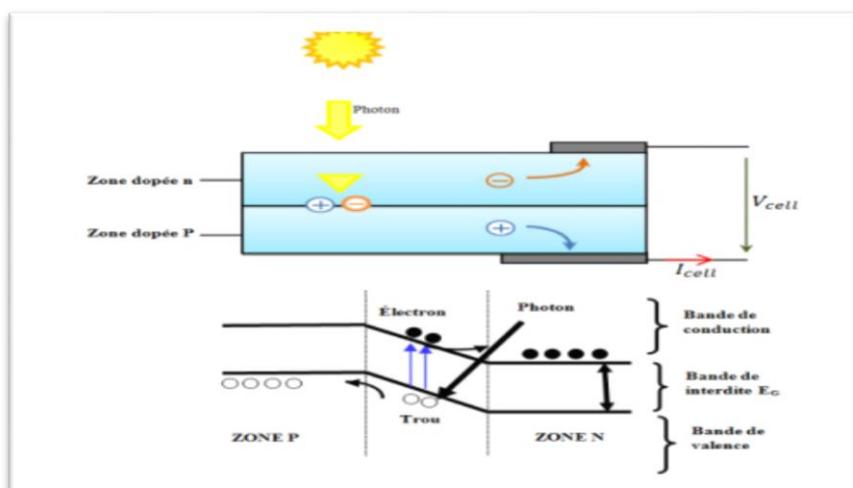


Figure I. 1 : Principe de fonctionnement d'une cellule solaire

#### I.2.4.2 Technologie des cellules photovoltaïques

##### a/ Cellule solaire à base de Silicium monocristallin

Le silicium cristallin est actuellement l'option la plus populaire pour les cellules commerciales, bien que beaucoup d'autres matériaux soient disponibles. Le terme «cristallin» veut dire que tous les atomes dans le matériau PV actif font partie d'une structure cristalline simple ou il n'y a aucune perturbation dans l'arrangement des atomes.

- ✓ Rendement électrique des panneaux : 15 % STC.
- ✓ Puissance des panneaux : 5 à 150 WC
- ✓ Gamme d'éclairement : 100 à 1000 W/m<sup>2</sup>.
- ✓ Usage : tous usages en extérieur de forte et moyenne puissance (télécoms, balisage, relais, habitat...).

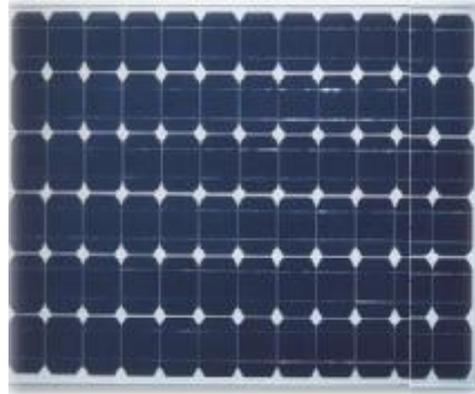


Figure I. 2 : Cellules silicium monocristallin

### b/ Cellule solaire à base de Silicium poly cristallin

Il est composé de petits grains de silicium cristallin. Les cellules à base de silicium poly sont moins efficaces que les cellules à base de silicium monocristallin. Les joints de grains dans le silicium poly cristallin gênent l'écoulement des électrons et réduisent le rendement de puissance de la cellule. L'efficacité de conversion PV pour une cellule à base de silicium poly cristallin modèle commerciale s'étend entre 10 et 14%.

- ✓ Rendement électrique des panneaux : 12-14 % STC.
- ✓ Puissance des panneaux : 5 à 150 WC.
- ✓ Gamme d'éclairement : 200 à 1000 W/m<sup>2</sup>.
- ✓ Rendement faible sous un faible éclairement.



Figure I. 3: Cellule Silicium poly cristallin

### c/ Cellule solaire à base de Silicium amorphe

Le silicium est déposé en couches minces sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise conductivité. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique et recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire. Par exemple pour alimentations de montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles sont caractérisées par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre quelques microns. Par contre

leur rendement de conversion est faible (de 7 à 10 %) et elles ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière

- ✓ Rendement électrique des panneaux : 5-7 % STC (jusqu'à 9 % pour les «multi jonctions »).
- ✓ Puissance des photopiles intérieures : 0 à 1 WC.
- ✓ Puissance des panneaux extérieurs : 0,5 à 60 WC.
- ✓ Gamme d'éclairement : 20 lux (en intérieur) à 1000 W/m<sup>2</sup> (en extérieur).
- ✓ Usage électronique professionnel par le grand public (montres, calculettes...)



Figure I. 4: Cellule Silicium amorphe

### I.2.4.3 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

#### a/ Cellule photovoltaïque idéale

Une cellule photovoltaïque peut être décrite de manière simple comme une source idéale de courant qui produit un courant proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en Parallèle avec une diode Figure 7 qui correspond à l'aire de transition p-n de la cellule PV. Après la loi de nœuds :

$$I = I_{ph} - I_d \tag{I.2}$$

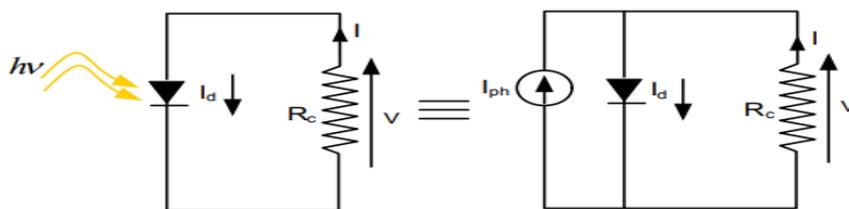


Figure I. 5: Modèle de cellule photovoltaïque idéal.

Le courant de circuit présenté en figure (I.5) s'exprime comme suite :

$$I = I_s \left( \exp\left(\frac{eV}{nKT}\right) - 1 \right) - I_{ph} \tag{I.3}$$

I : courant de charge

I<sub>ph</sub> : Le photo-courant créé par la cellule

I<sub>s</sub> : Courant de saturation inverse

T : Température de la jonction

E : Charge de l'électron

K : Constante de Boltzmann

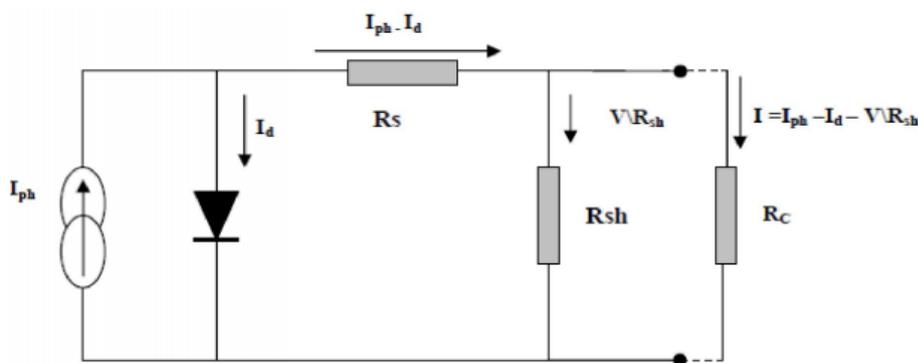
n : Facteur de non idéalité

**b/ Cellule solaire réelle**

Le circuit équivalent d'une cellule solaire réelle est présenté sur la figure I.6 ; ce circuit tient compte des pertes au niveau de la cellule, qui sont modélisées par deux résistances :

- La résistance série  $R_s$  qui représente les pertes résistives dans la cellule (émetteur, base, contacts métalliques) .
- La résistance parallèle  $R_{sh}$  qui représente les courants de fuite dans la cellule.

. Pour minimiser les pertes, il faut minimiser  $R_s$  et augmenter  $R_{sh}$ . Le cas idéal est représenté par  $R_{sh}$  égale à l' infini et  $R_s$  égale à zéro.



**Figure I. 6:** Circuit électrique équivalent d'une cellule solaire PV réelle sous éclairement

L'expression du courant délivré sur une charge de la cellule solaire réelle sous éclairement est comme suite :

$$I = \frac{R_{sh}}{R_{sh}+R_s} [I_s(\exp\left(\frac{e}{nKT}(V - I \times R_s) - 1\right) + \frac{V}{R_{sh}} - I_{ph}] \tag{I.4}$$

$I_{ph}$  : Le photo-courant créé par la cellule

$I_d$  : Courant qui traverse la diode

$I_s$  : Courant de saturation inverse

$T$  : Température de la jonction

$e$  : Charge de l'électron

$K$  : Constante de Boltzmann

$n$  : Facteur de non idéalité

$R_{sh}$  : Résistance shunt

$R_s$  : Résistance série

**I.2.4.4 Paramètres photovoltaïques d'une cellule solaire**

La caractéristique I-V d'une diode solaire passe par trois points caractéristiques très importants :

**a/ Tension du circuit ouvert**

La tension de circuit ouvert  $V_{co}$  apparaît en un point de la caractéristique I-V où le courant est nul. En ce point, la puissance fournie par la cellule solaire est nulle. Dans le cas idéal, la tension  $V_{co}$  est donnée par l'équation suivante :

$$V_{co} = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1\right) \quad (\text{I.5})$$

$I_{ph}$  : Le photo-courant créé par la cellule

$I_s$  : Courant de saturation inverse

$T$  : Température de la jonction

$q$  : Charge de l'électron

$K$  : Constante de Boltzmann

### b/ Courant du court-circuit

Le courant de court-circuit  $I_{cc}$  apparaît en un point de la caractéristique I-V où la tension est nulle. En ce point la puissance de la cellule solaire sera nulle. Pour une cellule idéale, le courant  $I_{cc}$  est donné par la relation suivante :

$$I_{cc} = q \int_0^{\infty} F(\gamma)[1 - R(\gamma)]rs d\gamma \quad (\text{I.6})$$

$F(\gamma)$  : Le flux de photons reçu par la cellule.

$R(\gamma)$  : Le coefficient de réflexion de la surface de la cellule.

### c/ Puissance maximale

Le courant  $I_{mpp}$  et la tension  $V_{mpp}$  correspondent respectivement au courant et à la tension pour lesquels la cellule solaire délivre sa puissance maximale  $P_{max}$ :

$$P_{max} = I_{mpp} \times V_{mpp} \quad (\text{I.7})$$

### d/ Facteur de forme

Le facteur de remplissage FF (fill factor) dépend des grandeurs  $P_{max}$ ,  $I_{cc}$  et  $V_{co}$ . Les bonnes cellules solaires ont un FF supérieur à 0.7. La résistance  $R_s$  diminue le facteur de remplissage. Ce facteur est défini comme suite:

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{co} \times I_{cc}} \quad (\text{I.8})$$

### e/ Rendement

Une cellule solaire est qualifiée par son rendement  $\eta$  défini par la formule suivante:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_i} \quad [\%] \quad (\text{I.9})$$

Avec :  $P_i$  : Puissance incidente (w).

$P_{max}$  : Puissance de sortie caractérisant la cellule solaire.

## I.2.5 Module Photovoltaïques

La puissance fournie par la cellule est faible, elle n'est pas suffisante dans la pratique, donc il faut les regrouper soit en série. Si l'application demande une tension importante ou en parallèle pour un courant plus élevé, ou en série et parallèle pour augmenter à la fois la tension et le courant du système en cas d'un besoin élevé de la puissance, l'opération d'assemblage des

photopiles nous donne un module photovoltaïque, et l'assemblage des modules résulte un panneau photovoltaïque et enfin l'association des panneaux nous donne un champ photovoltaïque. (Figure I.7)



Figure I. 7: Composants d'un champ de modules PV

### I.2.5.1 Regroupement des cellules

Un groupement de plusieurs cellules forme un sous réseau alors qu'un générateur photovoltaïque (GPV) est constitué en général de 2 à 4 sous réseaux, chacun de 12 à 24 cellules en série. Des diodes de protection sont ajoutées pour assurer une bonne utilisation du module quelles que soient les conditions. Elles permettent d'éviter de perdre toute la puissance du panneau en cas de défaut ou d'ombrage total d'une cellule en court-circuitant le groupement défaillant. Le sous réseau en défaut est alors perdu, mais les autres sous réseaux peuvent continuer à produire de la puissance.

#### a/ Groupement en série

La tension générée par une cellule solaire est limitée (de l'ordre de 0.5 V). Pour produire plus de puissance, des cellules solaires identiques sont assemblées pour former un module solaire (ou panneau photovoltaïque). La plupart des modules solaires photovoltaïques sont composés de 36 ou 72 cellules connectées en série. Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par l'addition des tensions élémentaires de chaque cellule. Le courant de court-circuit et la tension du circuit ouvert d'une association série de  $NS$  cellules sont donnés par :

- le courant de court-circuit d'un module reste le même

$$I_{sc} = I_{sc} \quad (\text{I.10})$$

- la tension de circuit ouvert d'un module devient

$$V_{soc} = NsV_{oc} \quad (\text{I.11})$$

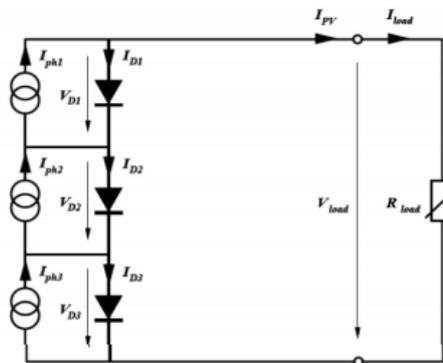


Figure I. 9: Groupement en série de cellules PV

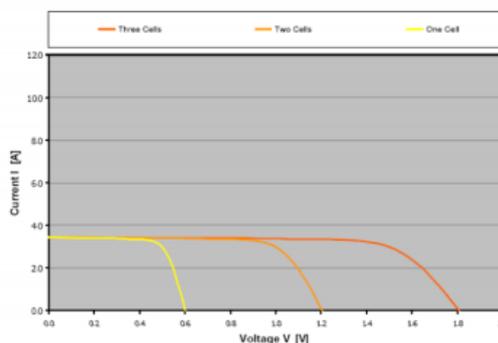


Figure I. 8 : Caractéristique I/V d'un groupement en série des cellules PV

**b/ Groupement en parallèle**

Par association de  $NP$  cellules en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et le courant résultant correspond à la somme des courants générés par chacune des cellules. Le courant de court-circuit et la tension du circuit ouvert d'une association parallèle de  $NP$  cellules sont donnés par :

- le courant de court-circuit d'un module devient

$$I_{sc} = NpI_{sc} \tag{I.12}$$

- la tension de circuit ouvert d'un module reste la même

$$V_{SOC} = V_{OC} \tag{I.13}$$

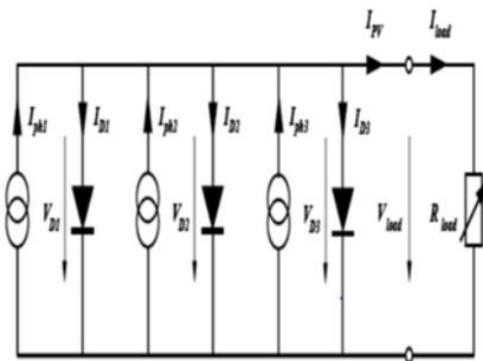


Figure I. 11: Groupement en parallèle

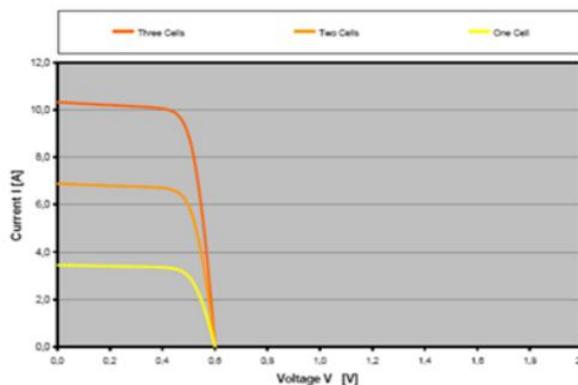


Figure I. 10 : Caractéristique I/V d'un groupement en parallèle

**c/ Groupement mixte**

Les cellules solaires sont souvent branchées en série pour former des chaînes ou modules, plusieurs modules sont connectés en parallèle pour former un panneau. Les diodes en noir sont

des diodes bypass. Les diodes en blanc sont des diodes de blocage, elles sont branchées en série avec les modules. Ces diodes accomplissent une fonction de blocage, elles permettent d'éviter le retour du courant dans les modules, empêchant ainsi les modules de devenir des charges. Ceci survient lorsqu'un module est sous l'ombre, lorsqu'il y a un court-circuit ou lorsqu'un module est endommagé. Dans les systèmes qui intègrent des batteries, des diodes de blocage entre les panneaux et les batteries sont utilisées pour éviter que ces dernières ne se déchargent dans les panneaux pendant la nuit.

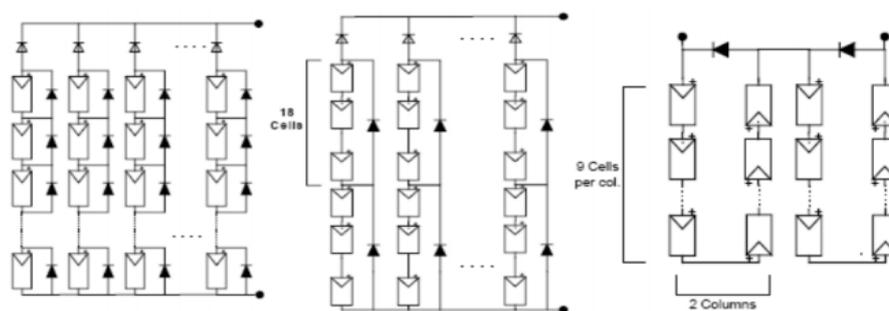


Figure I. 12: Groupement mixte de cellules PV

### I.2.5.2 Influence de l'éclairement et de la température

La caractéristique de la cellule photovoltaïque est directement liée aux conditions météorologiques, l'éclairement et de la température.

#### a/ Eclairement

Pour une température constante de 25°, on remarque la variation de courant de court-circuit  $I_{cc}$  et de la puissance  $P_{max}$  en fonction de la tension pour différents niveaux d'éclairement. Pour la figure (I.13-A), Le courant  $I_{cc}$  augmente proportionnellement à l'augmentation de l'éclairement, mais par contre la tension varie légèrement. Ce qui se traduit par l'augmentation de la puissance. (Figure I.13-B).

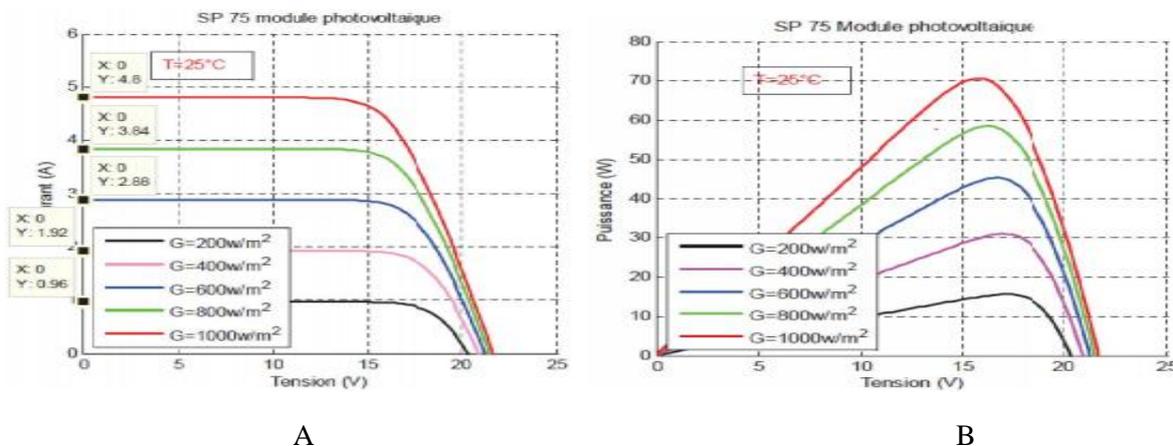


Figure I. 13: Evolution de la caractéristique I(v) et P(v) pour différents niveaux d'éclairiments.

**b/ La température**

La température est un paramètre très important dans le fonctionnement des cellules solaire, la figure (I.14-A) présente la variation du courant de court - circuit I<sub>cc</sub> et la puissance P<sub>max</sub> en fonction de la tension pour des températures différente à un éclairiment donné. Quand la température de la cellule augmente le courant de court-circuit augmente faiblement tandis que la tension en circuit ouvert V<sub>co</sub> diminue de manière remarquable. Par contre la puissance maximale diminue lorsque la température augmente figure (I.14-B).

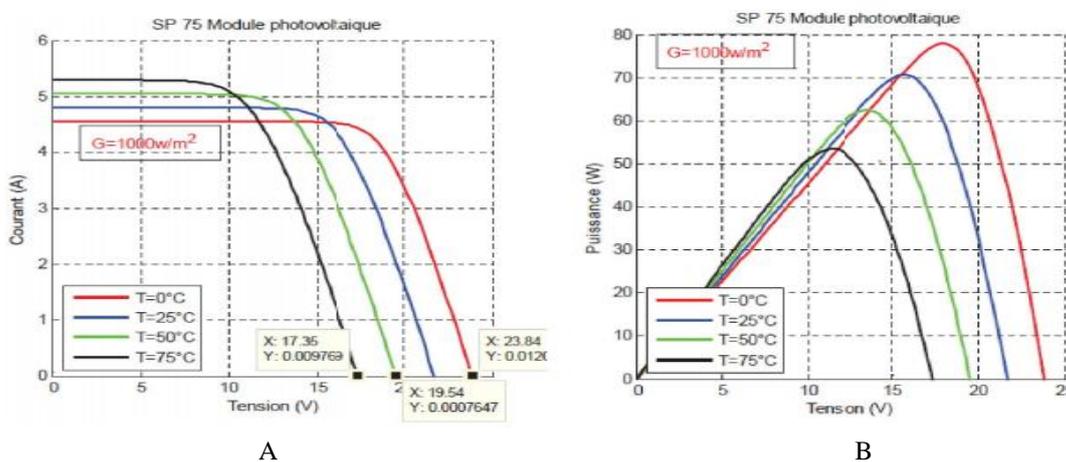


Figure I. 14: évolutions de la caractéristique I (v) et P (v) pour différent températures.

**I.2.5.3 Protections des cellules photovoltaïques**

Il arrive qu'un module au silicium cristallin ne soit pas exposé uniformément à la lumière, à cause des taches d'ombre. Puisque les cellules étant câblées en série, le courant total est nivelé par le bas (la cellule la plus faible impose son courant aux autres). Alors lorsqu'une cellule ne débite plus parce qu'elle n'est plus exposée au rayonnement, le courant de l'ensemble de la

chaîne tend vers zéro. La cellule ainsi masquée devient réceptrice de toutes les autres de la série et reçoit en tension inverse la somme de toutes leurs tensions. Elle se met donc à chauffer d'où le nom bien connu de hot-spot ou point chaud. Il est indispensable de protéger le module contre ce phénomène en plaçant une diode by-pass en parallèle par groupe de cellule (par séries de 18 cellules, soit 2 par panneau 36 cellules). On maintient ainsi la tension inverse appliquée à la cellule ombrée à moins de 10V, ce qui engendre un échauffement limité en cas de hot-spot. Ces diodes sont généralement placées dans la boîte de jonction en sortie de panneau.

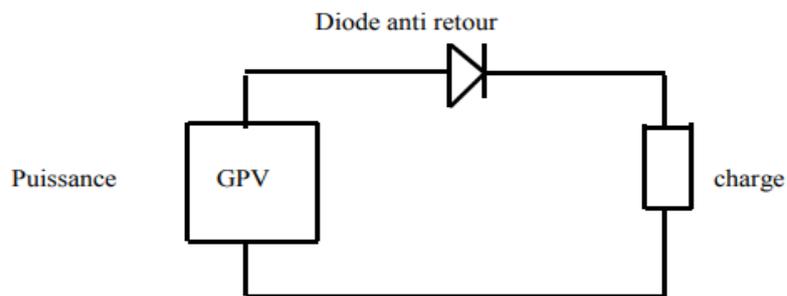


Figure I. 15: Protection de panneau photovoltaïque avec diode anti retour.

### I.3 Stockage de l'énergie

Le stockage de l'énergie est l'action qui consiste à placer une quantité d'énergie en un lieu donné pour permettre son utilisation ultérieure. Par extension, le terme « stockage d'énergie » est souvent employé pour désigner le stockage de matière qui contient cette énergie. La maîtrise du stockage de l'énergie est particulièrement importante pour valoriser les énergies alternatives, telles que le solaire ou l'éolien, sûres et renouvelables, mais par nature intermittentes. Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite d'envisager des stockages suivant les conductions météorologiques et qui vont répondre à deux fonction principales :

- Fournir à l'installation de l'électricité lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou par mauvais temps par exemple).
- Fournir à l'installation des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur PV.

#### I.3.1 Définition d'une batterie

La batterie est un ensemble d'accumulateurs électrochimiques placées en série capables de convertir l'énergie électrique en énergie chimique et réciproquement. On appelle respectivement ces opérations ; charge et décharge. Lorsque l'on parle d'élément rechargeable on utilise le terme « accumulateur ».

### I.3.2 Un accumulateur

Est un appareil accumulant de l'énergie électrique sous forme électrochimique pour la restituer ensuite suivant les besoins. Chaque accumulateur est constitué d'éléments associés pour former des blocs.

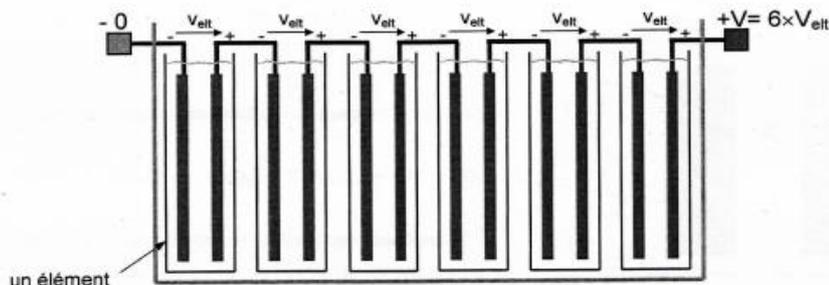


Figure I. accumulateur de six éléments

La tension d'un accumulateur est égale à la somme des tensions de tous les éléments. La tension d'un élément  $V_{elt}$  est d'environ égale à 2 V.

#### Pendant la charge

Voyons le fonctionnement d'un élément au plomb en charge. Pendant la charge, les modules font circuler un courant électrique entrant par la borne positive, ce courant circule dans tous les éléments en série. Il y a transformation d'énergie électrique en énergie chimique stockée dans chaque élément.

Voici la courbe de charge d'un élément :

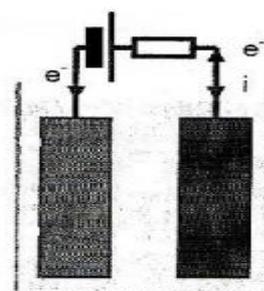
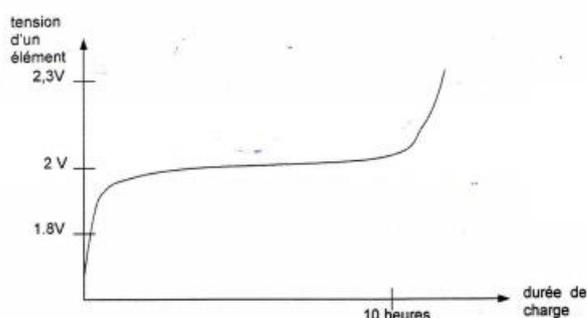


Figure I. 16: la courbe d'une charge d'un élément

On peut constater que la charge dépasse le seuil de tension de charge qui est de 2 V. Par exemple, une batterie de 12V peut atteindre une tension en charge complète de 14 V environ.

#### Pendant la décharge

Voyons le fonctionnement d'un élément en décharge. Il y a décharge lorsque celui-ci débite un courant électrique dans un circuit récepteur, l'énergie chimique qui était stockée dans les éléments est

transformée en énergie électrique. Le courant circule dans un récepteur sous l'effet de la force électromotrice des éléments en série.

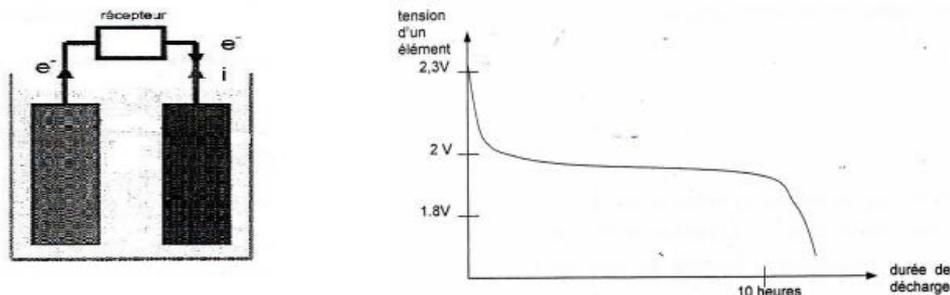


Figure I. 17: la courbe de décharge d'un élément

### I.3.3 Les différents types de batteries

Il existe plusieurs types d'accumulateurs électrochimiques au (Pb, Cd-Ni, Ni-Zn). Toutefois les plus anciens et les plus couramment utilisés sont ceux réalisés au plomb et au nickel cadmium. Dans le domaine solaire, les accumulateurs au plomb sont les plus utilisés car ils peuvent résister à de nombreux cycles de charge et d'échange sans être endommagés.

#### I.3.3.1 Accumulateur au plomb (PB)

Ce sont des batteries à électrolyte liquide, qui se composent de deux électrodes, positive, baignant dans l'acide sulfurique dilué. Ce sont des batteries conçues pour délivrer une puissance instantanée (batteries de démarrage moteur pour automobile). Une batterie au plomb est composée de plusieurs éléments d'accumulateurs montés en série.

La tension normale d'un élément au plomb de 2V environ, par exemple, la batterie d'un véhicule comporte six éléments, elle a donc une tension électrique de 12V. Mais atteint facilement 2,3V quand l'accumulateur est bien chargé. En réalité, une batterie 12V chargée affichera une tension de 12,8V à 13, 2V si la tension d'une batterie chargée est inférieure à 11,4V, elle sera en fin de vie.

Même non branchée, une batterie au plomb se décharge lentement du fait de diverses réactions chimiques qui peuvent conduire à la « sulfatation » de la borne positive (poudre blanche).

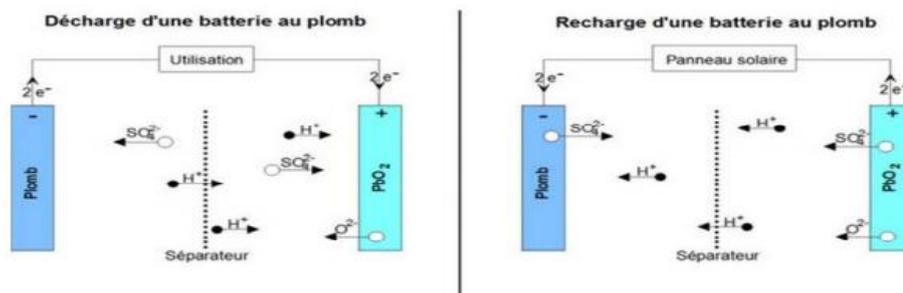


Figure I. 18: Accumulateur au plomb (PB)

**I.3.4 Les différentes Caractéristiques principales d'une batterie :**

Il existe plusieurs paramètres qui caractérisent une batterie, nous avons mentionné ci-dessus les plus importantes :

**I.3.4.1 Capacité en Ampère heure :**

Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant. Théoriquement, une batterie de 150 Ah peut fournir 150 A pendant une heure, ou 50 A pendant 3 heures, ou 3 A pendant 50 heures.

**I.3.4.2 Rapports de chargement et déchargement :**

Si la batterie est chargée ou est déchargée un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.

**I.3.4.3 Température**

Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie.

**I.3.4.4 La durée de vie**

Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles).

**I.3.4.5 Profondeur de décharge**

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge. Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle. La majorité des batteries de "cycle profond" fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommager. Les fabricants de batteries de nickel- Cadmium assurent qu'elles peuvent totalement être déchargées sans aucuns dommages.

**I.3.4.6 La tension d'utilisation**

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

**I.3.4.7 Le rendement**

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

**I.3.4.8 Le taux d'autodécharge**

L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.

### I.3.5 Groupement de batteries

Il peut augmenter la capacité de stockage avec la connexion en série ou /et en parallèle plusieurs batterie identique et de même durée de vie.

#### I.3.5.1 Montage en série

Le groupement plusieurs batteries d'intensité identique en série permet d'augmenter la tension du groupement des batteries sans modifier l'intensité.

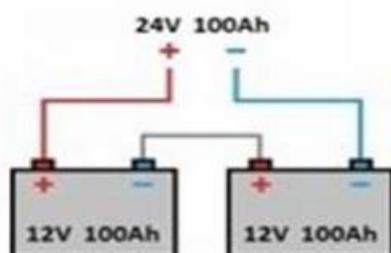


Figure I. 19: branchement des batteries en série

#### I.3.5.2 Montage en parallèle

Le groupement de plusieurs batteries de tension identique en parallèle permet d'augmenter la capacité du parc des batteries sans modifier la tension.

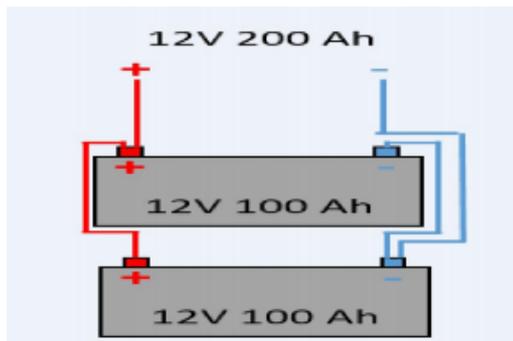


Figure I. 20: branchement des batteries en parallèle.

## I.4 Conclusion

Ce chapitre est un petit guide du domaine de l'énergie solaire, il présente les notions sur l'énergie solaire. Nous avons vu la définition et le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque ainsi que ses différents types, depuis on a sa modèle mathématique on l'utilise pour présenter leurs caractéristiques électriques, ses paramètres et même les facteurs influant sur sa courbe (I-V/P-V), ensuite en passant par l'association des cellules en différentes topologies pour le but d'avoir des générateurs photovoltaïques de puissances importants . Dans la dernière partie l'étude concentrée sur les batteries d'accumulateurs comme elles font partie importante du système photovoltaïque, en présentant sa définition, ses types et ses caractéristiques et son principe de fonctionnement.

## Chapitre II :

# Les principes théorique d'une application MPPT

---

### II.1 Introduction

Les panneaux solaires ne sont que des convertisseurs d'énergie et non des réservoirs d'énergie, ils transforment l'énergie mais ne la stockent pas. Si l'application demande de l'énergie en dehors des périodes de production, c'est-à-dire dans l'obscurité, il faudra nécessairement récupérer cette énergie dans un stockage (batterie, accumulateur) et elle sera employée pour fournir de l'électricité dans l'obscurité et également lorsque le courant demandé est supérieur au courant fourni par les panneaux (démarrage d'un moteur par exemple). L'utilisation des batteries est très importante dans une installation PV autonome. Étant donné que les panneaux solaires ont encore l'efficacité de conversion relativement faible, le coût de l'ensemble du système peut être réduit en utilisant un régulateur de charge solaire qui peut extraire la puissance maximale possible du panneau.

Nous allons aborder dans ce chapitre les différents types de régulateur de charge photovoltaïque, les étapes de charge d'une batterie solaire MPPT. Ensuite, en présentant la connexion directe entre le GPV et la charge, et le point maximal de la puissance pour chaque variation de l'éclairement. Comme le régulateur est un convertisseur DC/DC, une étude détaillée sur un convertisseur Buck sera également présentée. Enfin nous exposeront les définitions de quelques algorithmes de MPPT qui ont été proposés dans la littérature.

### II.2 Le régulateur de charge solaire

Comme son nom l'indique, le régulateur de charge est un dispositif qui contrôle et régule l'état de charge et de décharge de la batterie. Il protège l'installation photovoltaïque, et notamment la batterie. Connecté au cœur du système, il est branché à la fois sur les modules solaires, la batterie et les appareils qui consomment l'électricité (la charge), Il est mis en place dans le système solaire entre les panneaux solaires et le parc à batterie. Si la batterie était à pleine charge et que les modules continuaient de lui fournir de l'énergie, il y aurait alors surcharge et la batterie se détériorerait. De même, il est recommandé de ne pas vider entièrement une batterie. Ainsi, même s'il s'agit d'une batterie à décharge profonde, il vaut mieux ne pas descendre en dessous de 50% à 80% de décharge pour ne pas trop la dégrader. Le régulateur augmente donc sa durée de vie en lui évitant des états extrêmes. [2]

## Chapitre II : Les principes théorique d'une application MPPT

### II.3 Les fonctions du régulateur de charge :

Sa fonction principale est qu'il protège la batterie contre la surcharge ; il coupe le courant allant du panneau solaire vers la batterie quand la batterie est pleinement chargée ; Il est donc limiteur de charge.

- Sa deuxième fonction est qu'il protège la batterie contre la décharge profonde ; quand les utilisations sont branchées sur la sortie du régulateur de charge, il déconnecte les utilisations quand la batterie descend en dessous d'un seuil critique d'état de charge de la batterie ; Il est donc limiteur de décharge. [3]

### II.4 Schéma de base d'un régulateur de charge

Le régulateur de charge (contrôleur de charge) est associé à un générateur photovoltaïque GPV et une batterie (figure II.1), il a pour rôle de contrôler la tension et le courant venant des panneaux solaires vers la batterie, donc il assure la protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes, et l'optimisation du transfert d'énergie du champ PV à l'utilisation. Sa fonction est primordiale car elle a un impact direct sur la durée de vie de la batterie.

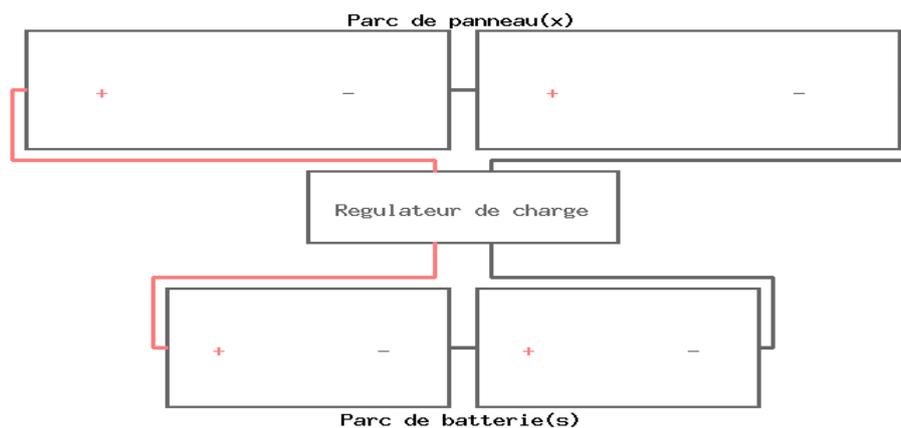


Figure II. 1: schéma de base d'un régulateur de charge

### II.5 Les types de régulateur de charge

Les régulateurs solaires tirent profit d'une caractéristique des panneaux solaires : ceux-ci peuvent être mis en circuit ouvert sans dommage. C'est ainsi que les régulateurs solaires limitent la puissance injectée dans les batteries.

Il existe plusieurs catégories de régulateurs :

#### II.5.1 Régulateurs de type parallèle (shunt)

Les régulateurs de charge shunt basent leur fonctionnement sur un transistor qui dérive le courant des modules vers une charge résistive dissipative. Il permet d'établir des valeurs de tension de batterie pour lesquelles cette déviation est faite par intermittence afin de maintenir l'accumulateur au niveau de charge maximum (flottant). [4]

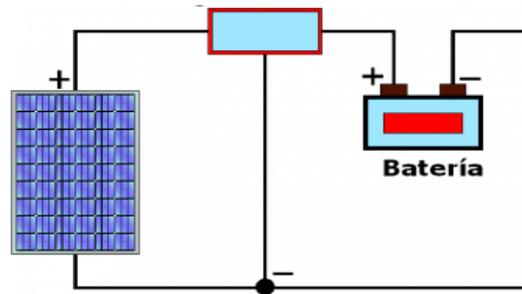


Figure II. 2: Principes de fonctionnements d'un régulateur de charge de type shunt.

### II.5.2 Régulateur de charge de type série :

Ce type de régulateurs base leur fonctionnement sur l'interruption du courant vers la batterie, en fonction de sa tension. Grâce aux technologies actuelles, ce commutateur est progressif, il peut donc être contrôlé pour avoir différents niveaux de charge. Le courant flottant peut être obtenu en maintenant un faible niveau d'intensité de charge ou en commutant les moments de charge et les moments de non-charge pour favoriser la non-gazéification de la batterie. [4]

### II.5.3 Régulateur de charge PWM

Le contrôleur de charge (PWM) est le moyen le plus efficace pour obtenir une charge de batterie à tension constante en ajustant le rapport cyclique ( $\alpha$ ) des commutateurs (MOSFET). Dans le contrôleur de charge PWM, le courant du panneau solaire diminue en fonction de l'état de la batterie et des besoins de recharge. Lorsque la tension de la batterie atteint le point de consigne de régulation, l'algorithme PWM réduit lentement le courant de charge pour éviter le réchauffement et le dégazage de la batterie ; cependant la charge continue à transférer le maximum d'énergie à la batterie dans les délais les plus brefs. La tension délivrée par le générateur PV sera abaissée par le contrôleur PWM à une valeur proche de celle de la batterie. Le contrôleur PWM est un commutateur qui connecte le panneau solaire à la batterie. Lorsque l'interrupteur est fermé, le panneau et la batterie seront presque à la même tension. En supposant qu'une batterie est déchargée, la tension de charge initiale sera d'environ 13V et, en supposant une perte de tension de 0,5 V sur le câblage plus le contrôleur, le panneau sera à = 13,5V. La tension augmentera lentement avec l'état de charge de la batterie. Lorsque la tension d'absorption est atteinte, le contrôleur PWM commence à déconnecter et à reconnecter le panneau afin d'éviter toute surcharge. [5]

### II.5.4 Régulateur de charge MPPT

Actuellement, le régulateur de charge solaire le plus utilisé est celui basé sur l'algorithme MPPT. Il est plus développé, plus cher et présente de nombreux avantages par rapport au contrôleur de charge PWM. Le contrôleur MPPT est basé sur un circuit convertisseur Buck synchrone. Il diminue la tension du panneau solaire à la tension de charge de la batterie. Il ajustera sa tension d'entrée pour obtenir le maximum de puissance des panneaux solaires, puis convertir cette énergie pour répondre aux différentes exigences de tension de la batterie et de la

## Chapitre II :

## Les principes théorique d'une application MPPT

charge. Généralement, le contrôleur MPPT est plus efficace que celui basé sur le PWM dans un climat avec des températures basses, tandis que les deux contrôleurs ont presque les mêmes performances dans un climat semi-tropical ou tropical. Le contrôleur de charge MPPT est un convertisseur DC/DC qui convertit l'énergie à haute tension en énergie à basse tension. Par conséquent, si la tension de sortie est inférieure à la tension d'entrée, le courant de sortie sera supérieur au courant d'entrée, de sorte que le produit  $P = VI$  reste constant. Ainsi, pour tirer le maximum d'énergie des panneaux solaires, le contrôleur de charge doit pouvoir sélectionner le point de courant-tension idéal dans la courbe courant-tension : le point de puissance maximale. MPPT fait exactement cela. La tension d'entrée du contrôleur PWM est en principe égale à la tension de la batterie connectée. Ainsi, les panneaux solaires ne sont pas utilisés à leur propre point de puissance maximale, dans la plupart des cas.

### II.6 Etapes de charge d'un contrôleur de charge

La majorité des contrôleurs de charge passent par trois cycles ou étapes de charge (figure II.3) à savoir :

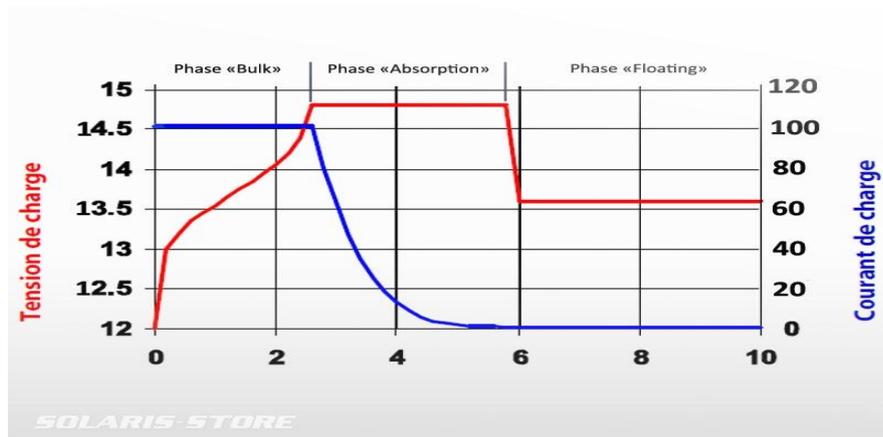


Figure II. 3: Etapes de charge d'un contrôleur de charge.

#### II.6.1 Etape de charge à courant constant (Bulk)

Dans cette étape, la batterie accepte tout le courant fourni par le panneau solaire. La valeur de ce courant sera égale au courant de court-circuit (ISC) du générateur solaire. Au cours de la phase bulk du cycle de charge, la tension augmente progressivement jusqu'au niveau de bulk (généralement de 14,4 à 14,6 Volts) pendant que les batteries consomment le courant maximum. Lorsque le niveau de tension bulk est atteint, la phase d'absorption commence.

#### II.6.2 Etape de charge à tension constante (Absorption)

Pendant cette phase, la tension est maintenue constante (égale au niveau de la tension Bulk) pendant une durée spécifiée (généralement une heure), tandis que le courant diminue progressivement à mesure que les batteries se chargent. Ceci permet d'éviter une surchauffe et un dégazage excessif de la batterie. Le courant diminue à des niveaux sécuritaires pendant que la batterie se charge complètement.

**II.6.3 Etape d'entretien (Float)**

Quand une batterie est complètement chargée, le fait de descendre au niveau de Float va donner un taux de charge de maintenance très faible tout en réduisant le chauffage et le dégagement de gaz d'une batterie complètement chargée. Lorsque la batterie est complètement rechargée, il ne peut plus y avoir de réactions chimiques et tout le courant de charge est transformé en chaleur et en gazage. Le flotteur a pour but de protéger la batterie contre les surcharges à long terme. Après la phase d'absorption, la tension est abaissée jusqu'au niveau de maintenance (Float level). Ceci est généralement (entre 13,4 et 13,7 Volts) pour une batterie 12V et les batteries consomment un petit courant d'entretien jusqu'au cycle suivant.

**II.7 le principe et le fonctionnement d'un Point de puissance maximale**

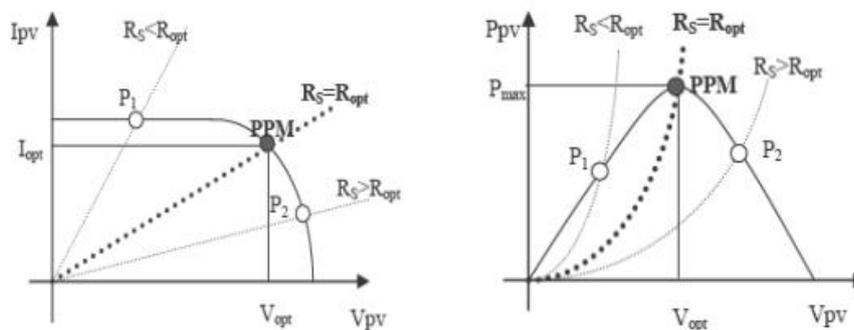
L'installation la plus simple que l'on puisse concevoir se compose d'un champ photovoltaïque et d'une charge (charge ou batterie) qui utilise directement l'énergie produite. Cette installation ne fournit un effet utile que pendant les périodes ensoleillées et pour des températures bien définies. Le courant fournis à la charge dépend fortement de l'intensité de l'éclairement pour une température donnée et de la nature de la charge. Sur le schéma de la figure au-dessus sont représentées, pour un éclairement et température donnés, les caractéristiques courant-tension du générateur PV connecté à la charge résistive  $R_S$ . Il apparaît que :

- Le générateur PV fonctionne à sa puissance maximale ( $P_{max}$ ) lorsque :

$$V_{pv} = V_{opt} * I_{opt}, R_s = R_{opt} = V_{pv} / I_{opt} \tag{II.1}$$

$$P_{pv} = V_{pv} * I_{pv} = P_{max} = V_{opt} * I_{opt} \tag{II.2}$$

Pour un éclairement donné, la condition optimale de fonctionnement des générateurs PV est alors caractérisée par une tension  $V_{opt}$  et un courant  $I_{opt}$ . Le produit  $V_{opt}$  par  $I_{opt}$  constitue ainsi le maximum de puissance qu'on peut extraire du module PV. Ce point ( $V_{opt}$  et  $I_{opt}$ ) est appelé point de puissance maximale (PPM) du générateur PV pour une température et un éclairement donné. Il est caractérisé par une résistance interne optimale  $R_{opt}$  du générateur.



**Figure II. 4:** caractéristique courant-tension et puissance-tension du système dans les trois cas  $R_s > R_{opt}$ ,  $R_s = R_{opt}$  et  $R_s < R_{opt}$

Les points P1, P2 et PPM sont les points de fonctionnement du système de la figure (4) dans les conditions suivantes :  $R_s < R_{opt}$ ,  $R_s > R_{opt}$  Lorsque la valeur de la charge est supérieure ou inférieure à celle correspondant aux conditions optimales  $R_{opt}$  la puissance fournie par le générateur est inférieur à celle optimale  $P_{max}$ .

### II.8 Etage d'adaptation DC/DC :

Les caractéristiques d'un module solaire montrent bien que la puissance maximale générée dépend fortement de l'intensité des radiations solaires ainsi que de la température.

En plus de ces dépendances, le module solaire ne peut générer sa puissance maximale que pour une certaine tension et courant de fonctionnement, la position de ce point de fonctionnement dépendant à son tour de l'ensoleillement et de la température ainsi que de la charge. Pour que le module fournisse sa puissance maximale disponible il faut une adaptation permanente de la charge avec le générateur photovoltaïque.

Cette adaptation pourra être réalisée par l'insertion d'un convertisseur DC-DC (hacheur) contrôlé par un mécanisme de poursuite : « Maximum Power Point Tracking » (MPPT).

Les hacheurs sont des convertisseurs du type continu-continu permettant de contrôler la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé. Le hacheur se compose de condensateurs, d'inductance et de commutateurs.

Dans le cas idéal, tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance active, c'est la raison pour laquelle on a de bons rendements dans les hacheurs. La technique du découpage, apparue environ dans les années soixante, a apporté une solution au problème du mauvais rendement et de l'encombrement des alimentations séries. Dans une alimentation à découpage, la tension d'entrée est "hachée" à une fréquence donnée par un transistor alternativement passant et bloqué. Il en résulte une onde carrée de tension qu'il suffit de lisser pour obtenir finalement une tension continue.

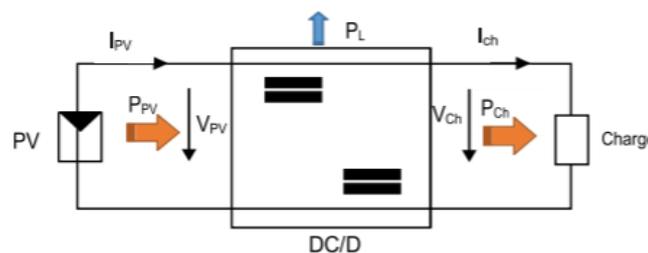


Figure II. 5: convertisseurs DC-DC

Il y a plusieurs topologies des convertisseurs DC/DC. Ils sont classés par catégorie selon que la topologie est isolée ou non isolée. Les topologies isolées emploient un transformateur d'isolement fonctionnant à haute fréquence, elles sont très employées souvent dans les alimentations à découpage. Les topologies les plus connues dans la majorité des applications sont le Flyback, en demi-pont et en pont complet. Dans les applications photovoltaïques (PV),

## Chapitre II :

## Les principes théorique d'une application MPPT

les systèmes de couplage avec le réseau électrique emploient souvent ces types de topologies quand l'isolement électrique est préféré pour des raisons de sûreté. Les topologies non isolées ne comportent pas de transformateurs d'isolement. Elles sont généralement utilisées dans l'entraînement des moteurs à courant continu. Ces topologies sont encore classées en deux catégories :

**Élévateurs (Boost) :** La topologie Boost est employée pour augmenter la tension. Les systèmes de production de l'énergie emploient un convertisseur Boost pour augmenter la tension de sortie au niveau du service avant l'étage de l'onduleur.

**Abaisseurs (Buck) :** La topologie Buck est employée pour les faibles tensions. Dans les applications PV, le convertisseur Buck est habituellement employé comme chargeur de batteries et dans des systèmes de pompage de l'eau. [6]

Nous avons choisi un hacheur série (convertisseur Buck) pour notre étude. Le convertisseur de type Buck est un convertisseur statique abaisseur qui permet de transformer une tension continue fixe à une tension plus faible réglable par l'utilisateur, il est constitué d'un interrupteur bi commandable de puissance, d'une diode, d'une inductance et d'un condensateur, comme montre dans la figure suivante :

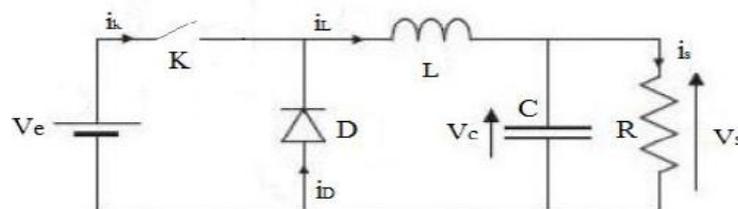


Figure II. 6: schéma électrique du convertisseur Buck.

Le principe fonctionnement du convertisseur est basé sur la fermeture et l'ouverture de l'interrupteur. L'interrupteur  $K$  se ferme et s'ouvre pendant une période  $T$ . Le signal de commande d'interrupteur est représenté dans la figure (II.7).

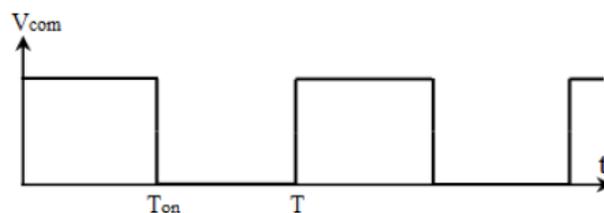


Figure II. 7: Le signal de commande d'interrupteur

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

$$\alpha = T_{on}/T \quad (II.3)$$

## Chapitre II :

## Les principes théorique d'une application MPPT

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

- Détermination de l'ondulation de courant :

L'ondulation de courante crête à crête  $\Delta I_{Loff}$  peut être déterminée par l'expression suivante :

$$\Delta I_{Loff} = I_{Lmax} - I_{Lmin} = \frac{V_s}{L} (1 - \alpha) T \quad (II.4)$$

Si on considère que le convertisseur est en régime permanent, l'énergie stockée dans chaque composant est la même au début et à la fin de chaque cycle de commutation. Par conséquent, le courant  $I_L$  traversant l'inductance sera le même au début et à la fin de chaque cycle de commutation. Ce qui peut s'écrire de la façon suivante :

$$\Delta I_{Lon} + \Delta I_{Loff} = 0 \quad (II.5)$$

Soit :

$$\Delta I_{Lon} + \Delta I_{Loff} = \frac{V_e - V_s}{L} (\alpha \cdot T) + \frac{V_s}{L} (1 - \alpha) T = 0 \quad (II.6)$$

Après simplifications, on déduit :

$$V_s = \alpha V_e \quad (II.7)$$

### II.9 Les techniques de commandes MPPT

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un GPV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quel que soit les conditions météorologiques (température et irradiation), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (VPPM et IPPM). La chaîne de conversion photovoltaïque sera optimisée à travers un convertisseur statique commandé par une MPPT. [7]

Il peut être représenté par le schéma de la figure (II. 8) :

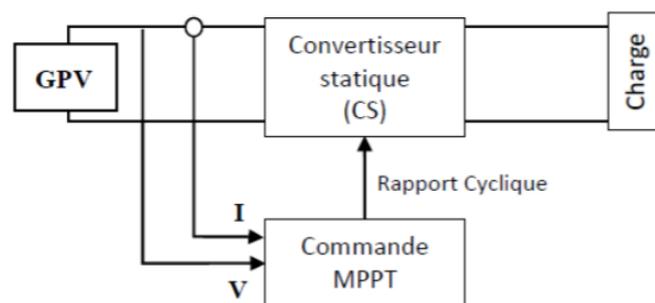
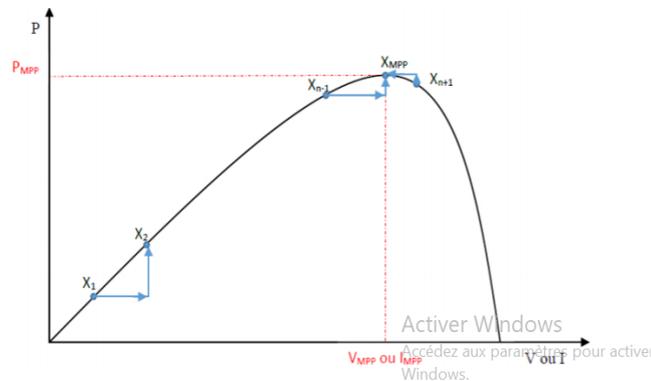


Figure II. 8 : Chaîne de conversion d'énergie solaire

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique, à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le MPP. En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du CS en fonction de l'évolution des paramètres

Chapitre II : Les principes théorique d'une application MPPT  
 d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le MPP.



**Figure II.9** : principe de la commande

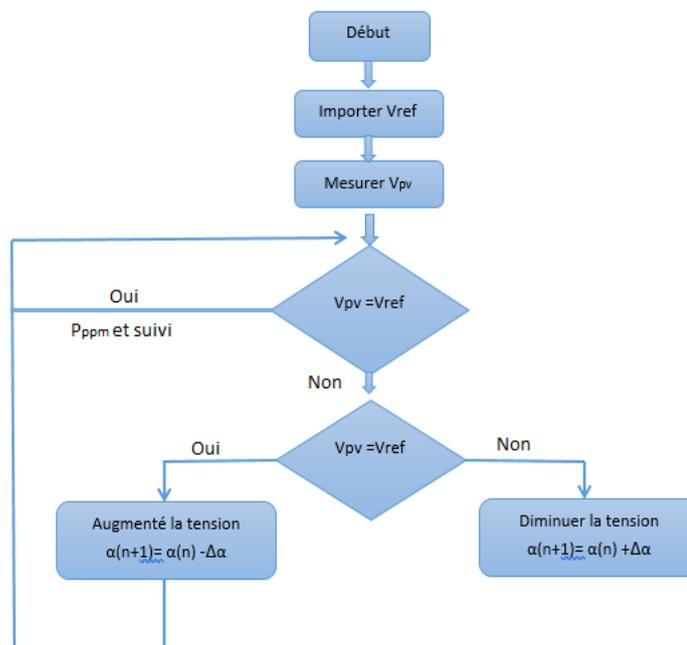
### II.9.1 Les Algorithmes MPPT

Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du GPV. Une synthèse des principaux modes de recherche du PPM existants dans ce chapitre nous a permis de bien identifier l'existant et les points qu'il restait à améliorer.

#### II.9.1.1 Approche de la Tension Constante (CV, Constant Voltage)

La méthode de tension constante également appelée la méthode de circuit ouvert (open circuit voltage) est basée sur la mesure en temps réel de la tension de circuit ouvert  $V_{oc}$  et la relation linéaire approximative liant cette tension avec la tension de point maximal  $V_{mpp}$  du GPV.

$$V_{mpp} = K1 * V_{oc} \quad (II.08)$$



**Figure II. 10:** algorithme de la tension

Cette méthode présente deux avantages : la rapidité de la réponse aux fluctuations et l'absence de variations (même infimes) en état stationnaire [8]. Cependant, ces points forts ne peuvent cacher leurs défauts, à cause de la dépendance de la tension du panneau avec l'ensoleillement et la température, la tension de puissance maximale est déviée, alors la tension de référence doit être corrigée pour différents ensoleillements et températures au long des périodes de l'année. Aussi, le MPP n'est pas toujours entre 71% et 78% de la tension  $V_{oc}$  et n'oublie pas la perte de la puissance disponible lors de la déconnection de la charge du GPV.[9]

### II.9.1.2 Approche Du Courant Constant (Constant Current) :

La méthode du Courant constant également appelée la méthode de court-circuit est basée sur la mesure en temps réel du courant de court-circuit  $I_{sc}$  (short-circuit current) et la relation linéaire approximative liant ce courant avec le courant de point maximal  $I_{mpp}$  du GPV :

$$I_{mpp} = k_2 * I_{sc} \quad (II.09)$$

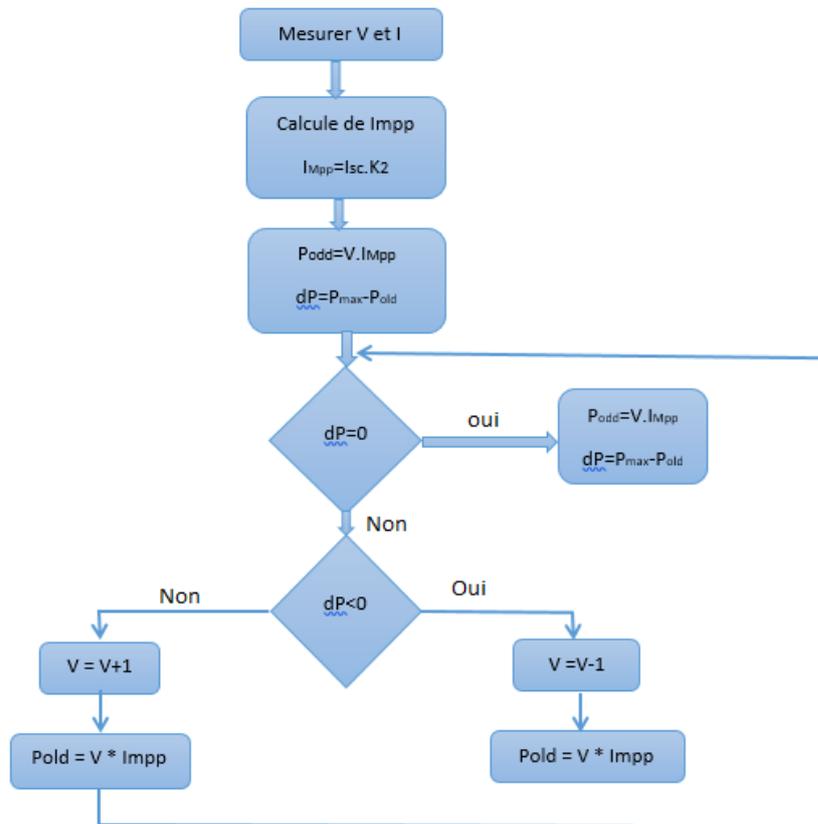


Figure II. 91: algorithme du courant.

### II.9.1.3 Méthode d'incrément de conductance (IC)

L'algorithme de l'incrément de conductance (IC) est une technique MPPT classique qui utilise deux sondes pour la mesure de la tension  $V$  de fonctionnement et du courant  $I$  du module PV. Cette méthode repose sur le fait que la dérivée de la puissance  $P$  de sortie par rapport à la tension  $V$  du module PV est égale à zéro au point de puissance maximale (MPP). [14] [15]

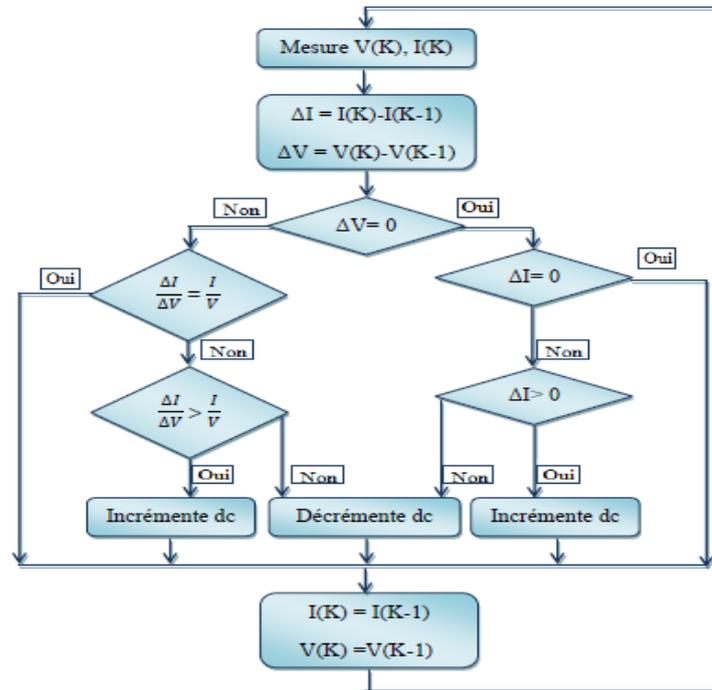


Figure II. 102 : organigramme de la méthode incrément de conductance.

#### II.9.1.4 La méthode Perturbe & Observe (P&O)

Le principe des commandes MPPT de type P&O consiste à perturber la tension VPV d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance PPV qui en résulte. Ainsi, comme l'illustre la figure 18, on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension VPV engendre un accroissement de la puissance PPV, cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM.

Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique PPV(VPV), il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande. [12]

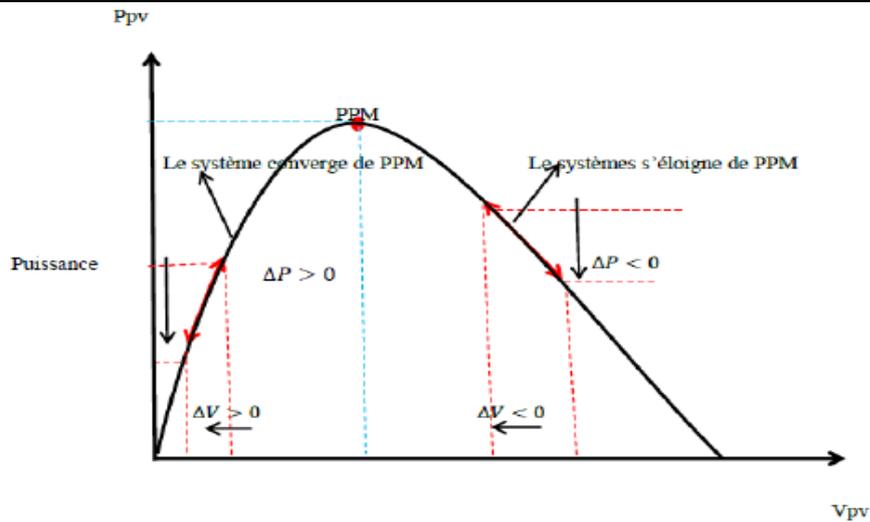


Figure II. 13: schéma de convergence vers PPM par P&O

La figure (II.14), représente l’algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O, où l’évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du PV à chaque instant.

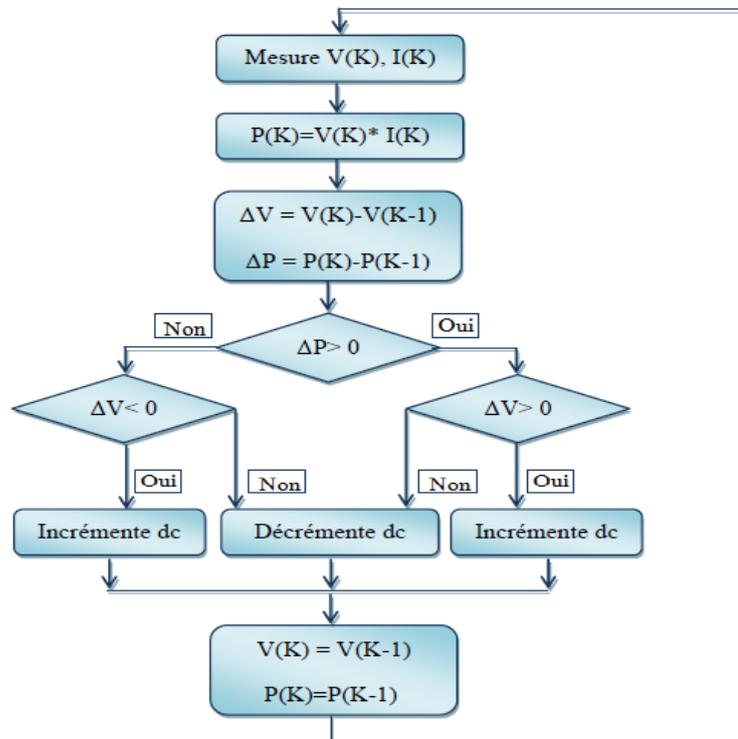


Figure II. 14 : L'organigramme de l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O

Telle que :

$P_{pvn}$  : la nouvelle puissance

$P_{pvn-1}$  : l'ancienne puissance dans le temps (t-1).

$$\Delta V = V_{PVn} - V_{PVn-1} \quad (II.10)$$

$$\Delta P = P_{pvn} - P_{PVn-1} \quad (II.11)$$

A cause de la facilité de son implémentation, la méthode P&O est fréquemment utilisée bien qu'elle présente des problèmes d'oscillations autour du PPM car la recherche doit être répétée périodiquement pour obliger le système à osciller autour du PPM.

En mesure  $V(K)$ ,  $I(K)$

$$\Delta V = V(K) - V(K-1) \quad (II.12)$$

$$\Delta P = P(K) - P(K-1) \quad (II.13)$$

$\Delta P > 0$

$$P(K) = V(K) * I(K) \quad (II.14)$$

Incrémente dc Décrémente dc

Incrémente dc

$\Delta V < 0$   $\Delta V > 0$

$$V(K) = V(K-1) \quad (II.15)$$

$P(K) = P(K-1)$  plus, et pour des variations brusques des conditions climatiques ou/et de la charge, cette méthode présente parfois des erreurs d'interprétation dans la direction qu'il faut suivre pour atteindre le PPM. [13]

## II.10 Conclusion

L'énergie issue directement des panneaux PV est utilisée soit par une batterie ou une charge, en passant par des circuits d'acquisition, d'adaptation et de régulation. Lorsque le dimensionnement est correct, la batterie sera le réservoir d'énergie, que l'on remplira d'un côté par les panneaux PV et videra d'un autre côté par le récepteur. Ces deux événements peuvent être simultanés ou non. La batterie impose la tension du montage du régulateur de charge et stabilisera ainsi la tension fournie à la charge (récepteur). Le choix du nombre de panneaux et de ses caractéristiques, des composants du convertisseur Buck, de la batterie et la méthodologie de charge seront basés sur les concepts théoriques développés.

# Chapitre III :

## Simulation et réalisation

---

### III.1 Introduction :

Les notions théoriques présentées dans les chapitres précédents, vont être utilisées dans ce chapitre pour le dimensionnement des composants électroniques constituant le convertisseur Buck DC/DC adapté, les caractéristiques des panneaux à utiliser, celles de la batterie, la fréquence du signal de commande, etc.

D'après le dimensionnement des différents constituants du convertisseur Buck, nous entamerons la phase finale de réalisation pratique des circuits électroniques correspondants. Il s'agit d'implémenter l'algorithme des différentes étapes de charge de la batterie sur notre carte, de générer le signal de commande pour le driver des MOSFETs et de proposer les circuits adaptés qui assurent un fonctionnement idéal du convertisseur.

### III.2 Conception de régulateur de charge solaire

#### III.2.1 Choix et description de partie puissance

##### III.2.1.1 Caractéristiques du panneau photovoltaïque choisi :

Les panneaux photovoltaïques que nous utilisons afin de réaliser le régulateur de charge solaire, sont des modules photovoltaïques au Silicium de type poly-cristallin, à cause de leur disponibilité. Les caractéristiques de ces panneaux sous les conditions de test standard (Ensoleillement =  $1\text{Kw}/\text{m}^2$  ; Spectre air mass = 1.5 ; Température de cellule =  $25^\circ\text{C}$ ) sont :

- Courant de court-circuit :  $ISC = 12.22\text{A}$ .
  - Tension de circuit ouvert :  $VOC = 21.6\text{V}$ .
  - Courant maximal :  $I_{MP} = 11.11\text{A}$ .
  - Tension maximale :  $V_{MP} = 18\text{V}$ .
  - Puissance maximale :  $P_{\text{max}} = 200\text{W}$ .
-

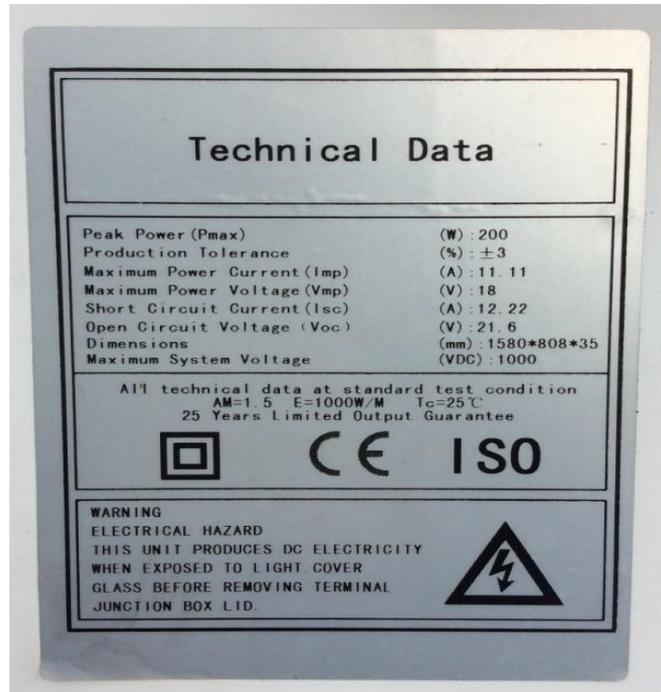


Figure III. 1: La plaque signalétique du panneau solaire.

### III.2.1.2 Dimensions de régulateur :

LM7805CT est un régulateur qui permet la régulation d'une tension environ égale à 24V en une tension de sortie égale à 5V.

Voici le câblage et l'implantation des régulateurs :

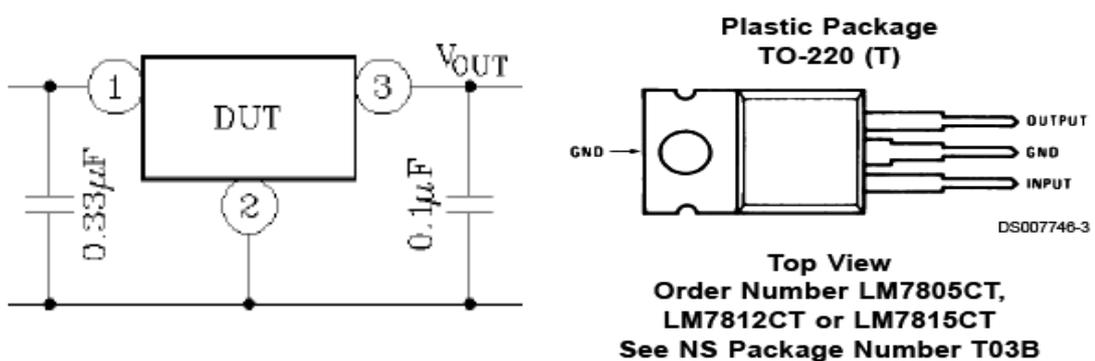


Figure III. 2: régulateur de tension lm7805CT.

Nous avons vu précédemment le fonctionnement du hacheur série qui permet d'obtenir une valeur moyenne de tension de sortie inférieure par rapport à celle de l'entrée. Nous avons choisi une batterie de 12Volts comme charge, le rôle du convertisseur est alors d'abaisser la tension du panneau solaire pour avoir une tension plus adaptée du côté de la charge ; cependant le bon

fonctionnement de chargeur de batterie dépend du hacheur série puisque ce dernier représente l'utilité de l'MPPT. Dans cette partie, nous allons dimensionner les différents composants du hacheur tels que : le transistor de commutation, la valeur de la bobine de lissage, la valeur du condensateur de filtrage et la diode de roue libre dans le but d'assurer le bon fonctionnement du système.

Il est nécessaire de sélectionner un point de fonctionnement fixe, dans ce cas MPP (Maximum power point). Ceci nous amène à établir la valeur initiale du rapport cyclique  $\alpha$ . nous pouvons écrire :

$$\alpha = \frac{V_s}{V_e} = \frac{14.4}{21.6} = 0.66 \quad (\text{III.1})$$

Telle que :

$V_s$  : la tension nominale de la batterie ( $V_{load}$ ).

$V_e$  : la tension délivrée par le panneau ( $V_{pv}$ ).

### III.2.1.3 Choix de la fréquence de commutation

La fréquence de commutation est inversement proportionnelle à la taille de l'inductance et du condensateur et directement proportionnelle aux pertes de commutation dans le MOSFET. Alors un compromis mutuel entre le coût des composants et l'efficacité est nécessaire pour sélectionner la fréquence de commutation appropriée, en gardant ces contraintes en considération, la fréquence sélectionnée est de 50KHz.

### III.2.1.4 Choix du transistor

L'interrupteur que nous avons choisi est un transistor à effet de champ à grille isolée (MOSFET) qui a pour avantage d'avoir une résistance faible à l'état passant, ce qui réduit les pertes par conduction. Il doit être choisi d'une façon qui peut supporter la tension et le courant à la sortie du panneau solaire Les principaux critères de sélection du MOSFET sont les suivants : le courant  $I_{DS}$  maximal lorsque le commutateur est à l'état fermé, la fréquence de commutation admissible, et enfin la résistance du commutateur lorsque le commutateur est à l'état fermé  $R_{DSon}$ . [17]

- En ce qui concerne la première norme,  $I_{DS}$  doit être beaucoup plus grand que le courant de court-circuit du panneau sous ensoleillement maximal, ce qui signifie :  
 $I_{DS} \geq I_{sc} = 12,22A$  [17].
- Pour le deuxième critère, il suffit de rendre la bande passante  $B$  du transistor supérieure à la fréquence du signal de commande destiné à commander le transistor. Dans notre cas, il faut vérifier :  $B \geq 50KHz$  [17].
- Concernant le troisième critère, nous avons choisi un transistor MOSFET à canal N avec une faible résistance de commutation  $R_{DSon}$ . Ce dernier caractérise l'état fermé de l'interrupteur et doit être le plus bas possible afin de réduire les pertes provoquées par l'effet Joule dans le convertisseur abaisseur lors de ce fonctionnement.

Nous avons choisi un MOSFET de montage en surface (IRF540NS) comme commutateur de notre système à cause de leur caractéristique ( $V_{DS}$ ) correspondent aux normes ci-dessus. Ce

type de MOSFET peut fonctionner à une tension allant jusqu'à 100V (VDS), un courant allant jusqu'à 28A (IDS) et  $R_{DS(on)} = 0.077 \Omega$ .

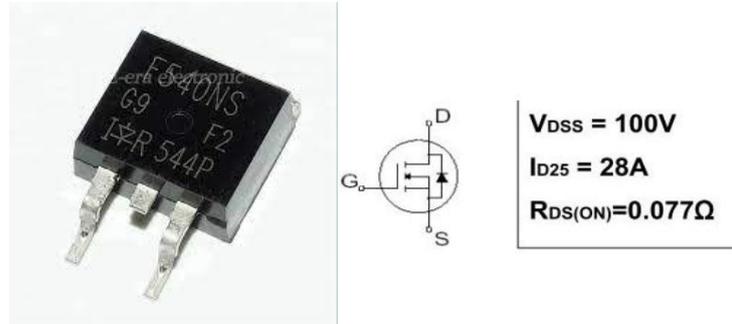
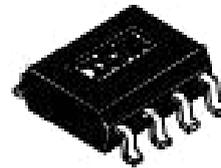


Figure III. 3: Mosfet IRF540

### III.2.1.5 Choix de Commande du mosfet

Les tensions de sortie de microcontrôleur varient entre 0 et 5V, tandis que la commande de la gâchette nécessite des tensions entre 0 et 10V. Pour cela, nous avons mis en place un driver (IR2106) (composant monté en surface) qui adapte les tensions logiques du microcontrôleur et permet la commande du Mosfet utilisé.

$V_{OFFSET}$	600V max.
$I_{O+/-}$	120 mA / 250 mA
$V_{OUT}$	10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)	180 ns
Delay matching	50 ns



8 Lead SOIC

Figure III. 4: Drivre (IR2106)

### III.2.1.6 Choix de la diode

Le rôle de la diode dans notre convertisseur DC/DC est l'isolation de la source et la charge par l'évacuation d'énergie stockée dans la bobine pendant l'état bloqué du transistor MOSFET, en plus en respectant le principe qui dit qu'il est interdit d'ouvrir une source de courant, elle permet au courant de trouver un schéma. Dans ce cas la diode est connue par la diode de roue libre.

La diode utilisée est une diode Schottky de puissance de type **10CTQ150S**(type cms),qui doit être sélectionnée de manière à pouvoir résister au courant qui traverse de tel sort le courant et la tension maximum du panneau solaire sont inférieurs aux caractéristiques de la diode adaptée à notre hacheur.

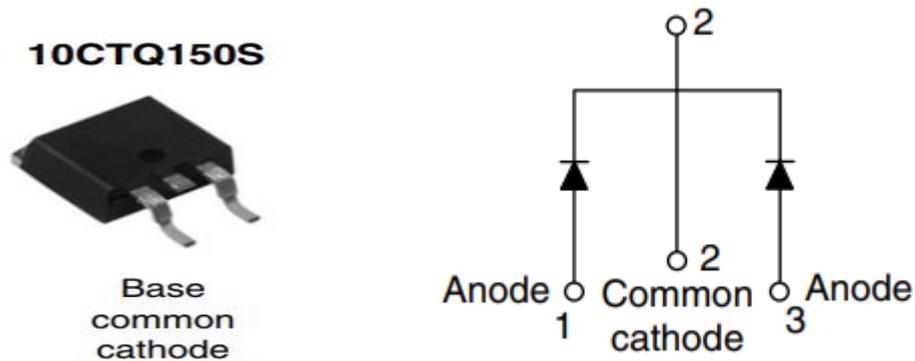


Figure III. 5: Diode Schottky de puissance de type 10CTQ150S

### III.2.1.7 Valeur de l'inductance de la bobine

Le calcul de la valeur de l'inductance de la bobine est primordial dans la conception du hacheur Buck car elle est utilisée pour limiter les ondulations du courant dans la charge. Nous supposons que le convertisseur est en mode de conduction continue, le courant dans l'inductance ne s'annule pas pendant la période de commutation ; l'ondulation  $\Delta I_L$  est donnée par la formule :

$$\Delta I = \frac{V_{pv}(1-\alpha)\alpha}{L*f} \quad (\text{III.2})$$

On peut calculer la valeur du courant de sortie à partir de la puissance du panneau solaire égale à 200W et la tension aux bornes de la batterie égale à 12Volts.

$$I_{out} = \frac{P}{V} = \frac{200}{14.4} \approx 13.88A \quad (\text{III.3})$$

On a déjà calculé la valeur de rapport cyclique :  $\alpha = 0.66$  ou 66%

$$L \geq \frac{V_{pv}(1-\alpha)\alpha}{\Delta I_{Lmax}*f} = \frac{21.6*(1-0.66)*0.66}{5.55*50000} = 17.46\mu H \quad (\text{III.4})$$

### III.2.1.8 Choix du condensateur

#### a/ Condensateur d'entre Cin :

Le générateur PV est affecté par des oscillations à haute fréquence causées par la commutation du convertisseur. Pour cela, un condensateur d'une grande valeur doit être placé à l'entrée d'un convertisseur DC / DC pour protéger le générateur PV,  $\Delta V_{pv}=200\text{mv}$ .

$$C_{in} \geq \frac{I_{out} \max(\alpha - \alpha^2)}{\Delta V_{pv} * f} \quad (III.5)$$

$$C_{in} \geq \frac{16.66 * (0.66 - 0.66 * 0.66)}{0.2 * 50000} \geq 373.850 \mu F$$

#### b/ Condensateur de sortie Cout :

Le condensateur à la sortie du hacheur est nécessaire pour minimiser les ondulations de la tension aux bornes de la charge,  $V_c = 20mV$ .

$$\Delta V_c = \frac{\Delta I_L}{8CF} \quad (III.6)$$

$$C_{out} \geq \frac{\Delta I_L}{8 * \Delta V_c \max * f} \quad (III.7)$$

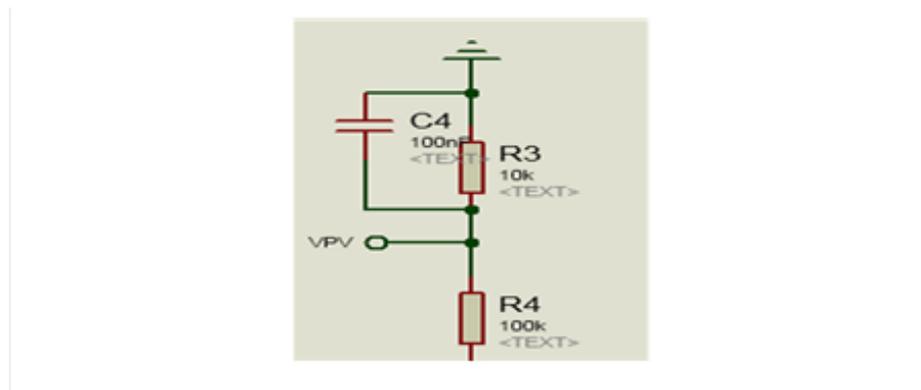
$$C_{out} \geq \frac{5.55}{8 * 0.02 * 50000} \geq 693.75 \mu F$$

#### III.2.1.9 Choix du diviseur de tension pour l'acquisition de la tension des panneaux PV

Le microcontrôleur PIC dispose d'un convertisseur analogique-numérique, ce qui lui permet de mesurer la tension. Cependant, la tension à la sortie du panneau solaire varie de 0 à 21,6 volts, ce qui dépasse le seuil du microcontrôleur PIC de 5 volts. Une tension supérieure à cette dernière peut l'endommager. Un capteur de tension doit être utilisé pour détecter la tension maximale du panneau solaire, et le réduire comme tension de seuil du microcontrôleur.

$$V_{out} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_{pv} \quad (III.8)$$

Tel que :  $V_{pv} = 21.6V$  et  $V_{out} \leq 5V$



**Figure III. 6 :** Schéma de pont diviseur de tension de panneaux photovoltaïques

#### III.2.1.10 Choix du capteur de tension de la batterie :

Afin de protéger la batterie d'une surcharge ou d'une décharge profonde, la valeur exacte de sa tension doit toujours être connue. Pour cela, un capteur de tension est utilisé pour détecter la tension de la batterie. Il utilise un circuit diviseur de tension à mettre en œuvre de la même

manière dans le cas avec les panneaux PV. La figure II.7 montre le diviseur de tension utilisé côté batterie.

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

Tel que :  $V_{BAT} = 14.4\text{V}$  et  $V_{out} \leq 5\text{V}$

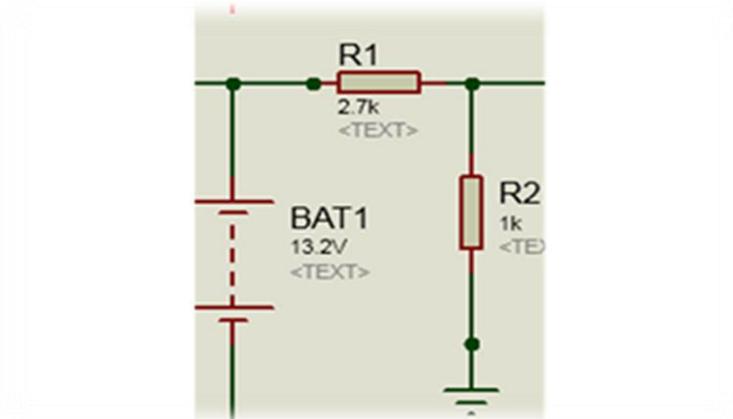


Figure III. 7 : Schéma de pont diviseur de tension de batterie

### III.2.1.11 Choix du capteur de courant issu des panneaux PV et de la batterie :

Le microcontrôleur ne peut pas mesurer le courant et doit utiliser des méthodes indirectes. Pour accomplir cette tâche il existe plusieurs méthodes, on peut citer : [18]

- Mesure à l'aide de la résistance  $R_{DSon}$  du MOSFET : cette méthode est inacceptable dans notre application à cause de la haute fréquence de commutation, en plus le courant traversant  $R_{DS}$  est mesurable seulement dans l'état passante du MOSFET.
- Mesure utilisant un filtre aux bornes de l'inductance : dans cette méthode il y'a un peu de la dissipation de la puissance donc nous l'évitons.
- Mesure par détection magnétique (capteur à effet Hall) : il dépend l'utilisation des capteurs spéciaux du prix un peu élevé, en plus ils sont des modules consommateur d'énergie donc en générale cette méthode est coûteuse.
- Mesure à l'aide d'une résistance de mesure série : grâce à la simplicité de cette méthode et sa faible coût nous avons la choisi .En utilisant une résistance de faible valeur (quelques Mili Ohms) puis en mesurant la tension aux ses bornes. Ensuite, en appliquant la loi d'Ohm pour la détermination du courant qui travers la résistance.

L'inconvénient de cette méthode est la dissipation de la puissance aux bornes de la résistance en plus la nécessité d'un amplificateur afin de ramener la tension mesurée aux bornes de la résistance à la plage 0-5V correspondant à l'entrée du microcontrôleur.

L'amplificateur choisi est de référence LM358N, sa disposition des broches est donnée par la figure III.8.

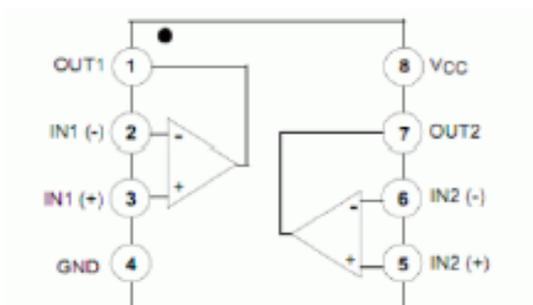


Figure III. 8: Broches du LM358N

Le gain de notre l'amplificateur est fixé par la configuration des résistances externes. Pour cela, on se fixe une tension en sortie de 5V. Sachant que le courant maximal débité par le GPV est 12.22A la tension aux bornes de la résistance de mesure sera au maximum de 1.22V ( $R=0.1$  ohms), donc le gain de l'amplificateur est égal 4.09, pour cela on choisit deux résistances des valeurs 4K $\Omega$  et 1K $\Omega$ .

Pour le courant de charge à la sortie de convertisseur ( $I_{OUT}=13.88A$ ) le gain de l'amplificateur est de valeur 3.6 donc les résistances sont : 3.7K $\Omega$  et 1K $\Omega$ .

### III.2.2 Partie commande

#### III.2.2.1 Le Microcontrôleur Pic18F452

Le microcontrôleur est un composant électronique ayant une unité de traitement de données des mémoires, des interfaces de communication (entrée/sorties, port série.....) et de multiple ressources interne. Le choix a été fait sur le microcontrôleur Microchip PIC18F452.

Il comprend : [19]

- 5 ports d'entrée-sortie : A (5 bits), B (8 bits), C (8 bits), D (8 bits), E (3 bits).
- Un convertisseur analogique numérique 10 bits avec 8 entrées.
- Deux TIMER de 16 bits (TIMER1, TIMER3).
- Un TIMER de 8 et 16 bits avec leur pré-diviseur (TIMER0).
- Un TIMER de 8 bits avec leur registre de la période (TIMER2) : c'est la base de temps pour le signal MLI (PWM).
- Deux modules CCP1 et CCP2 (comparaison, capture : 16 bits et PWM : 10 bits).
- 18 sources d'interruption.

- Une horloge jusqu'à 40 MHz.
- Une faible consommation énergétique surtout en mode veille.
- La possibilité de le programmer sur place (In-Circuit Serial Programming).
- La possibilité de le programmer juste avec tension 5.5 V.
- Un courant d'entrée-sortie des pins allant jusqu'à 25 mA.
- La possibilité de fonctionner dans différentes températures.
- Un module de communication USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) qui permet d'envoyer et de recevoir des données en mode série, soit de façon synchrone, soit asynchrone.
- Un module de communication MSSP (Master Synchronous Serial Port) qui permet l'échange de données du PIC avec le monde extérieur, en utilisant des transmissions série synchrone, par exemple les mémoires EEPROM, ou les puces.
- Un module de communication parallèle PSP (Parallel Slave Port).

#### Mémoire :

- ❖ 1536 Octets de RAM.
- ❖ 256 Octets d'EEPROM accessible en lecture et en écriture par une procédure spéciale.
- ❖ 32K ROM.

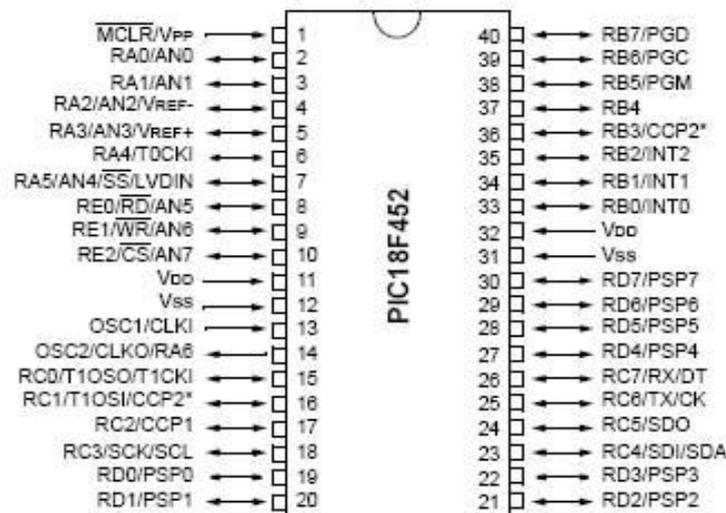


Figure III. 9: brochage de microcontrôleur

### III.2.2.2 L'affichage des données :

Pour afficher nos données, nous allons utiliser un afficheur graphique LCD de 128\*64 pixels.

#### a/ Présentation d'un afficheur GLCD :

Un écran LCD graphique fournit une méthode avancée pour afficher des messages visuels. Bien que l'écran LCD de caractères ne puisse afficher que des caractères alphanumériques, le GLCD peut afficher des messages sous la forme de dessins et de bitmaps. L'écran GLCD le plus couramment utilisé est à 128x64 pixels que signifie la résolution de l'écran.

#### b/ Brochage de l'afficheur GLCD : [20]

L'afficheur GLCD se présente sous cette forme :

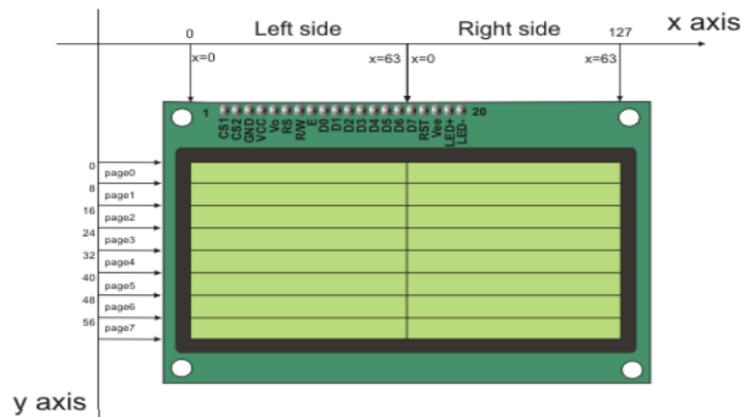


Figure III. 10: Schéma d'un afficheur GLCD.

C'est un afficheur graphique dont la résolution d'image est de 128x64 pixels. Il utilise deux drivers type KS0108B, combinés avec un KS0107B, comme le montre le schéma bloc de la figure III.10. Chaque contrôleur gère l'affichage d'un bloc (moitié gauche ou moitié droite) de 64x64 pixels.

Cette structure, simple, permet l'interfaçage de l'afficheur avec un microcontrôleur de 8 bits. Il comporte au total 128x64 pixels (ou bits) ; deux drivers KS0108 gèrent l'affichage. L'un gère la partie gauche, l'autre la partie droite, par bloc de 64\*64 bits. Chaque partie est divisée en huit blocs horizontaux appelés 'page', de 8\*64 bits. La figure 3 illustre le plan de pixels ainsi constitué.

**Tableau III. 1:** configuration des broches d'un afficheur GLCD

Broche	Nom	Fonction
1	VSS	Masse
2	VDD	Alimentation positive +5V
3	V0	Cette tension permet, en la faisant varier entre 0 et VEE (-5v), le réglage du contraste de l'afficheur.
4	RS	Sélection du registre (Register Select). Grâce à cette broche, l'afficheur est capable de faire la différence entre une commande et une donnée. Un niveau bas indique une commande et un niveau haut indique une donnée.
5	RW	Lecture ou écriture (Read/Write) 0 : Écriture 1 : Lecture
6	E	Entrée de validation (Enable) active sur front descendant
7 à 14	DB0 à DB7	Bus de données bidirectionnel 3 états (haute impédance lorsque E=0)
15	CS1	CS1=1 contrôleur 1 (côté gauche) est activé, CS1=0 est désactivé.
16	CS2	CS2=1 contrôleur 2 (côté droit) est activé, CS2=0 est désactivé
17	RST	Reset actif à l'état bas
18	VEE	Une tension négative (-5v) qui assure le réglage du contraste (voir V0)
19	A	Anode rétro éclairage (+5V)
20	K	Cathode rétro éclairage (masse)

### III.2.2.3 Les LEDs

Sur notre carte électronique, il y a 3 diodes électroluminescentes rouges, jaune, verte.

- La LED verte (PIN RA4) indique que la batterie est connectée avec le panneau solaire
- La LED jaune (PIN RB6) indique que la batterie en cours de chargement mais elle peut être utilisée quand même.
- La LED rouge (PIN RB7) indique que la batterie est déchargée, elle doit être rechargée sans aucune utilisation.

### III.2.3 Etage de sortie (charges) :

Dans notre système on va utiliser la batterie chargé par le panneau solaire pour alimenter deux charges (primaire et secondaire) .En utilisant, pour allumer ou éteindre ces charges, deux

transistors MOSFET IRF540 (il supporte une tension maximale de 100V et un courant direct 28A, la tension de commande 10V et commandé par un driver IR2106).

### III.3 Présentation de prototype

Dans cette dernière partie, nous allons simuler le fonctionnement du régulateur de charge initialement sous l'environnement virtuel du logiciel PROTEUS-ISIS afin qu'on puisse développer le programme du microcontrôleur. Ce programme contrôle les différents états de charge de la batterie qui peuvent se produire tout en commandant par MOSFET de liaison avec le panneau solaire. Dès qu'on termine le développement du programme, on passe à la réalisation du typon de la carte de régulation. Ensuite, on fait la réalisation pratique de cette dernière tout en montrant les techniques de réalisation des cartes.

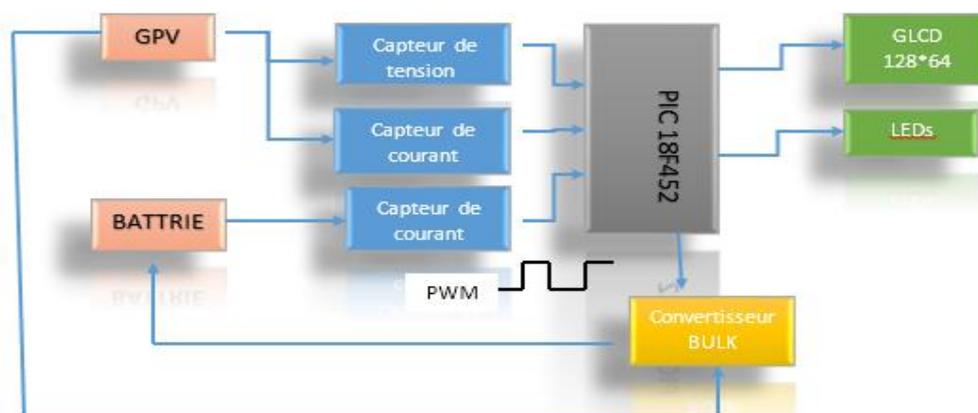


Figure III. 11: Schéma synoptique du système de charge proposé

### III.4 Simulation du circuit :

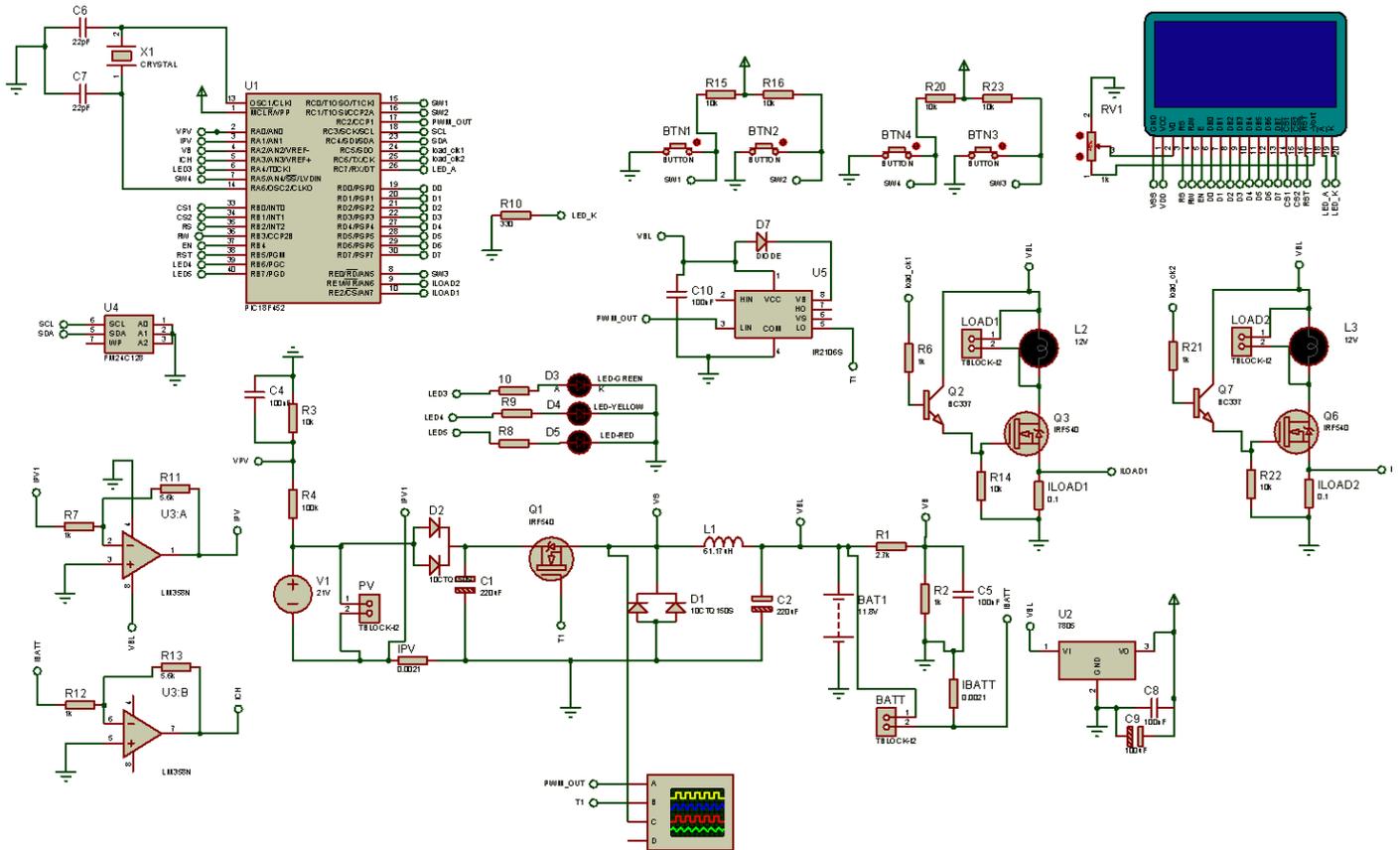
Tous les composants électroniques sont généralement montés sur des circuits imprimés sur lesquels se trouvent des pistes de cuivre formant un dessin, de manière à relier entre elle toutes les pattes des composants, comme sur le schéma électrique.

#### III.4.1 Outil de simulation

La C.A.O. (C.A.O : Conception Assistée par Ordinateur) notamment, appliquée aux circuits imprimés, assure un gain de temps mais aussi de qualité et faisabilité. Le respect de quelques règles permet de mener à bien une réalisation avec un risque minimum d'erreur. Dans le processus de réalisation d'un circuit imprimé, la C.A.O permet de réaliser deux documents fondamentaux : le schéma structurel définitif et les films ou typons nécessaires à la réalisation du circuit imprimé.

**III.4.2 Schéma global de simulation du régulateur de charge solaire**

Le circuit électronique de la carte principale réalisée avec ses différents éléments est illustré sur la figure (III.12).



**Figure III. 12:** Schéma électrique de notre circuit simulé sous Proteus

Comme signalé précédemment, nous avons deux parties principales, une partie de puissance et une partie de commande dont le schéma électrique.

**III.4.2.1 Partie de commande**

En regroupant tous les composants, nous obtenons le circuit de commande complet, il faut construire :

- ❖ Un microcontrôleur(PIC18F452)
- ❖ un oscillateur de quartz de 20Mhz avec une alimentation de 5V sur la broche MCLR du pic18F452.
- ❖ LEDs pour la signalisation.
- ❖ écran GLCD pour l’affichage graphique des valeurs de la tension et le courant et la puissance du panneau solaire et même pour afficher la tension et le courant de la batterie

et le rapport cyclique du signal PWM généré pour la commande de la partie puissance de notre système.

### III.4.2.2 Partie de puissance

A partir du signal de sortie du panneau photovoltaïque, le microcontrôleur (circuit de commande) fournira le signal PWM avec un rapport cyclique variable dû à l'algorithme de commande P&O qui attaquera la grille de notre MOSFET qui est une partie du circuit de puissance. il faut construire :

- ❖ le hacheur abaisseur.
- ❖ le circuit de commande du MOSFET.
- ❖ le circuit de contrôle des charges (primaire et secondaire), en plus on présente les différents capteurs employés pour l'acquisition des informations. Son schéma électronique est présenté dans la figure (III. 13).

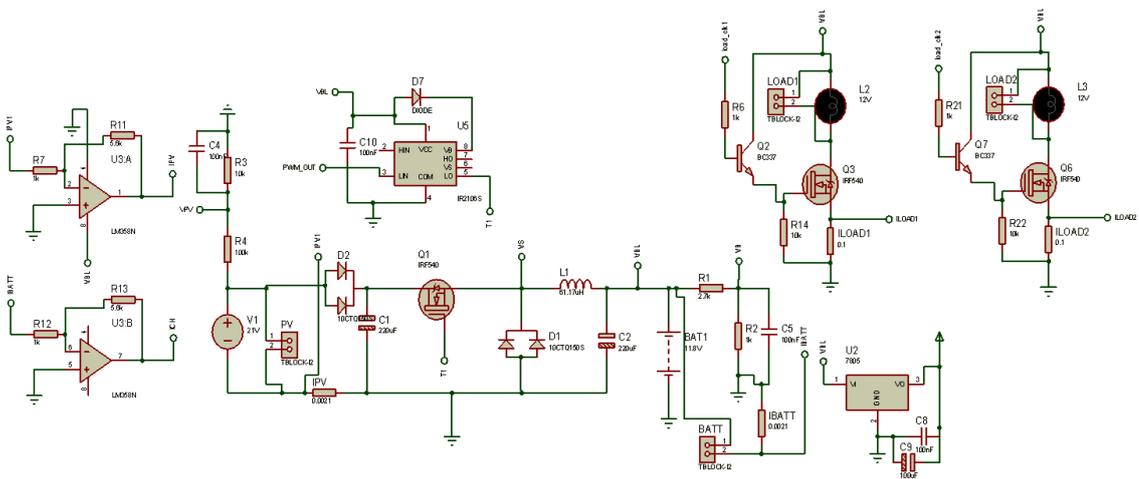


Figure III. 13: Partie puissance de notre carte

### III.4.3 Langage de programmation

Cela consiste à créer un programme source avec l'éditeur code de MikroC et entrer la référence du PIC, la fréquence de l'horloge et les différents modes. Après l'édition du programme, sa compilation permet de voir s'il n'y a pas d'erreurs. Si tout est correct, le fichier format hexadécimal (.hex) est créé. En effet, cette étape est indispensable pour que le programme soit reconnu et exécuté par le Pic. Ainsi, une fois le fichier hexadécimal créé, on le transfère vers la mémoire programme du PIC.

---

#### III.4.4 Déroulement du programme

Le programme commence par une initialisation où il y' aura une affectation des valeurs aux éléments pour le démarrage (l'état des LED, l'état des ports de l'afficheur GLCD, et quelques variables globales. Etc...) .Après le démarrage ,le programme commence à effectuer des mesures de la tension du panneau solaire et celle de la batterie( $V_{pv}$ ,  $V_{bat}$ ) sans oublier la mesure du courant du panneau et de batterie ( $I_{pv}$ ,  $I_{bat}$ ).Le programme ensuite entre dans d'une boucle de comparaison, si la tension de la source est supérieure à la tension de la batterie dont cette dernière ne dépasse pas la tension maximale le cycle de charge commence à connecter le GPV à la batterie avec la recherche du PPM, pour la recharge de la batterie où on utilise un rapport cyclique convenable. Et au même tempes l'affichage des donnes sera sur un écran GLCD .

L'algorithme MPPT utilisé consiste à mesurer le courant et la tension du panneau pour déduire la valeur de la puissance et faire varier la tension et le courant en variant le rapport cyclique qui commande l'interrupteur du convertisseur Buck. Si la puissance mesurée à l'instant « K+1 » est supérieure à celle mesurée à l'instant « K », on augmente le pourcentage du rapport cyclique. Si la puissance mesurée à l'instant « K+1 » est inférieure à celle mesurée à l'instant « K », on diminue le pourcentage du rapport cyclique, sinon la valeur du signal MLI reste la même. Quand la batterie est totalement chargée et sa tension est équivalente à la tension maximale, l'algorithme est dans l'état « Float ».

On déconnecte la batterie de la source si elle est pleine ( $V_{bat} = 14.4V$  qui la tension de régulation la tension bulk), si  $V_{bat}$  est atteint une tension inferieure de la tension  $V_{float}$  (13.8V) on la reconnecte avec le GPV et pour la charge cliente raccordée avec la batterie on la déconnecte si  $V_{bat} \leq 10.8V$  par contre la charge cliente reste en connexion avec la batterie si  $V_{bat} \geq 11.8V$ .

#### III.4.5 Synthèse de l'organigramme de la carte

Nous avons construit des organigrammes qui possèdent l'avantage d'être plus clair et sert à montrer la logique de déroulement du programme sans rentrer dans les détails techniques, chaque action est symbolisée par un rectangle et chaque test est symbolisé par un losange comme représenté dans les figures.

## ☒ L'organigramme du programme principal.

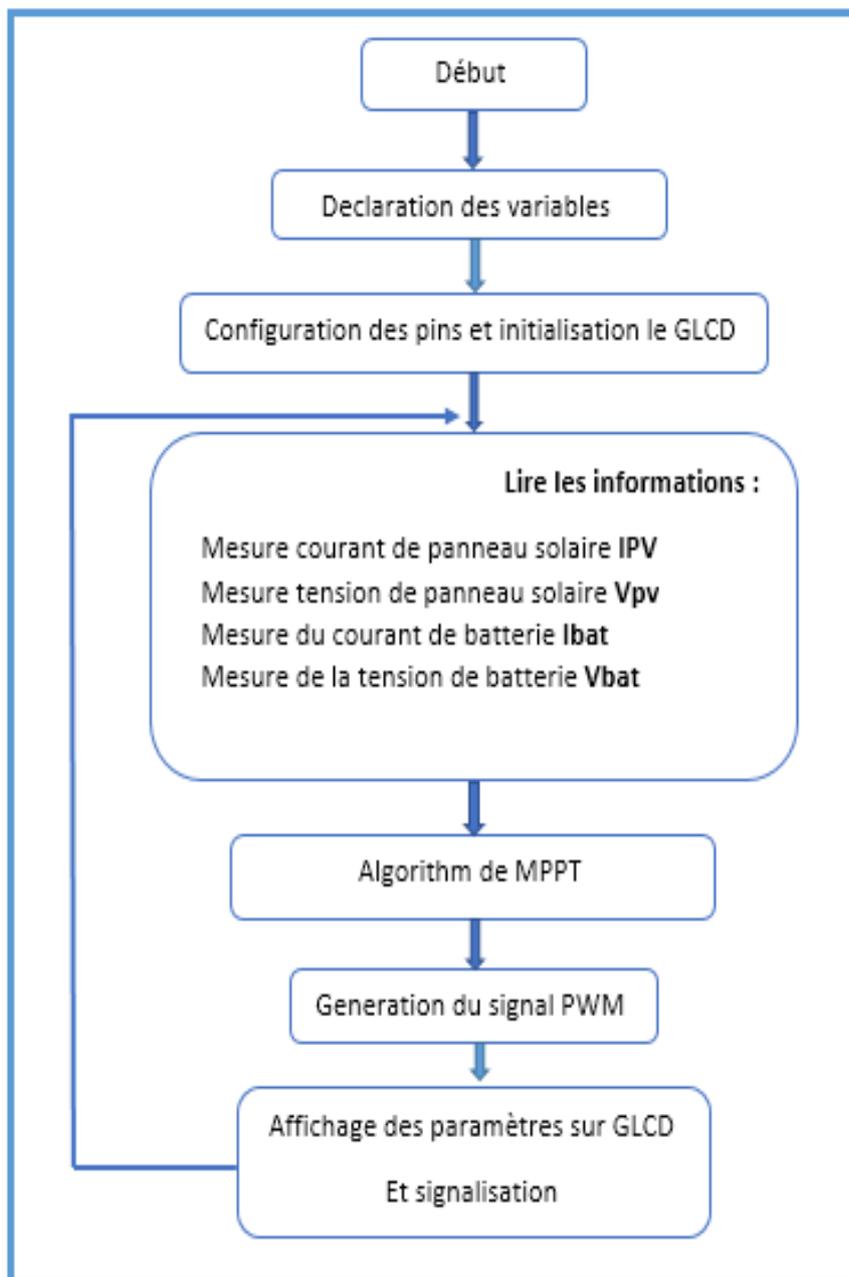


Figure III. 14:L'organigramme du programme principal.

☒ Les organigrammes de l'affichage et de la signalisation

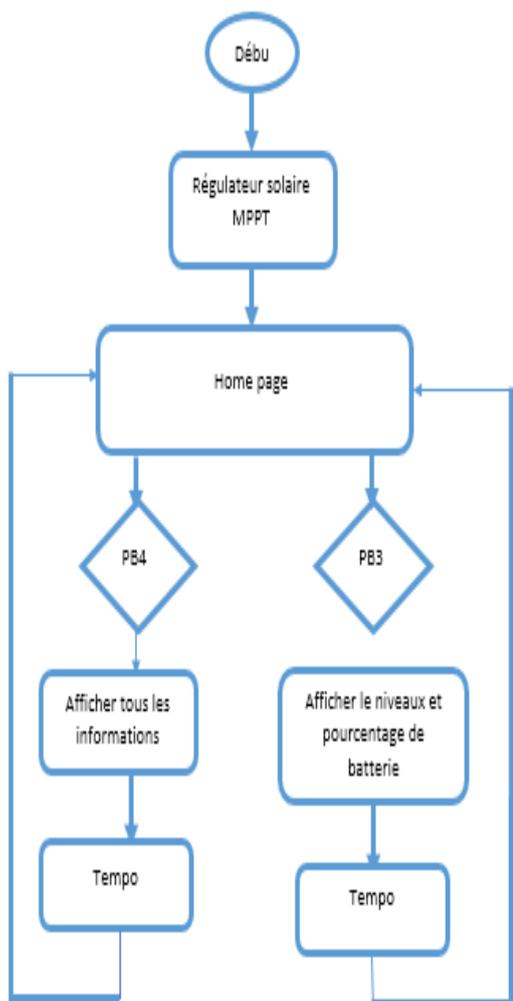


Figure 15.a : L'organigramme de l'affichage

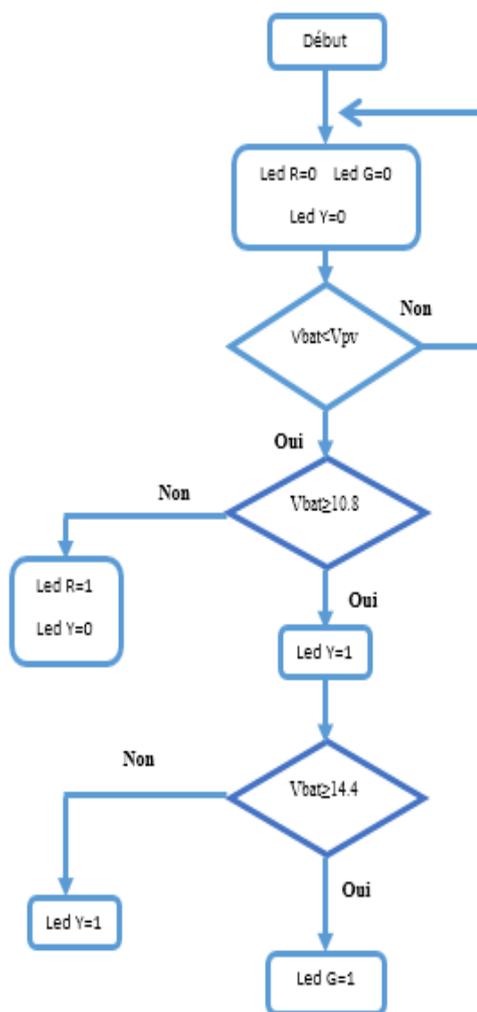
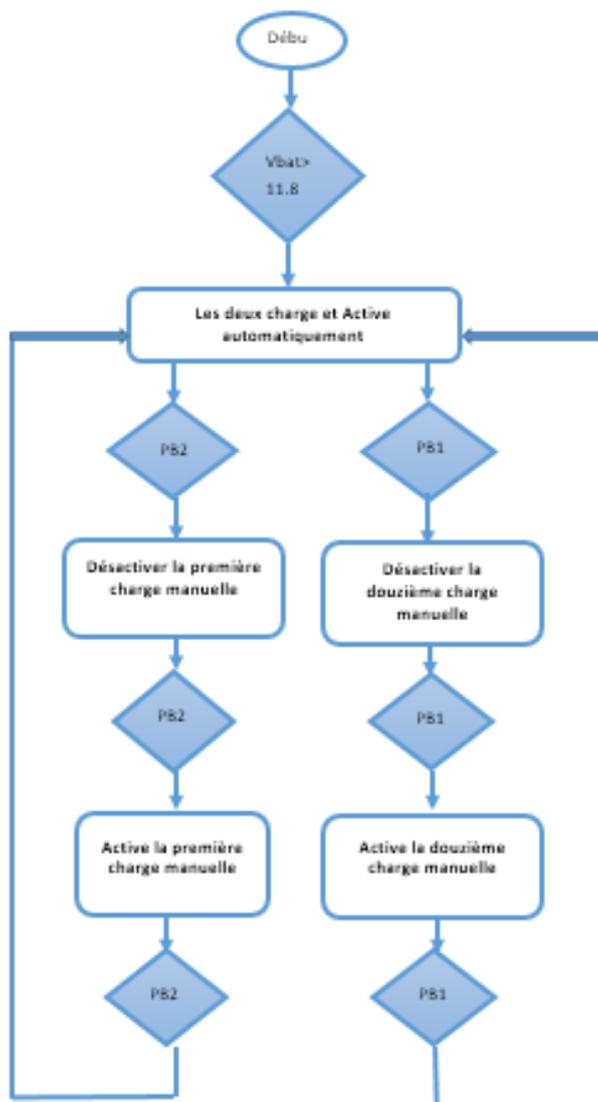


Figure 15.b : L'organigramme de signalisation

**Figure III. 15:** Les organigrammes de l'affichage et de la signalisation

## ☒ L'organigramme de commande des charges à partir des Boutons

**Figure III. 16:** L'organigramme de commande des charges à partir des boutons

III.5 Réalisation de circuit imprimé

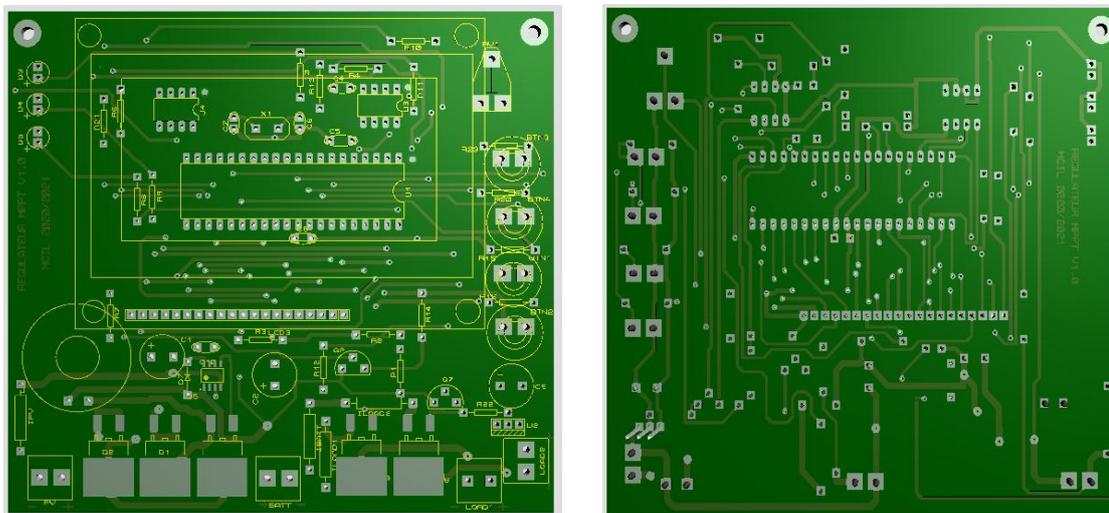


Figure III. 18: Circuit imprimé de la carte coté composant set coté soudure sous Proteus

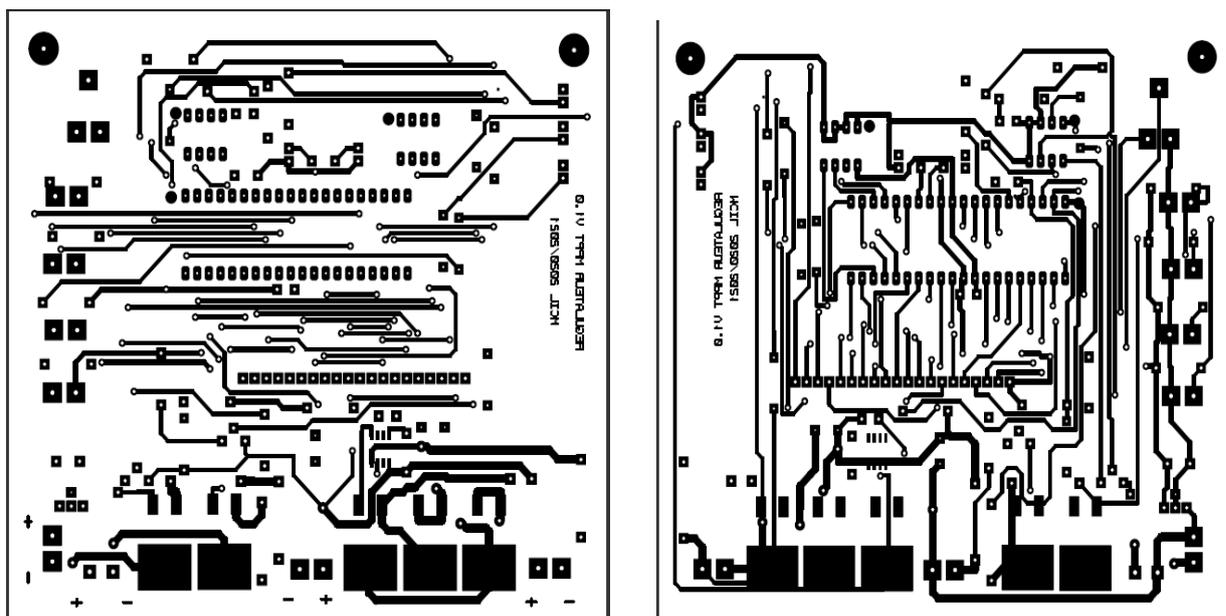
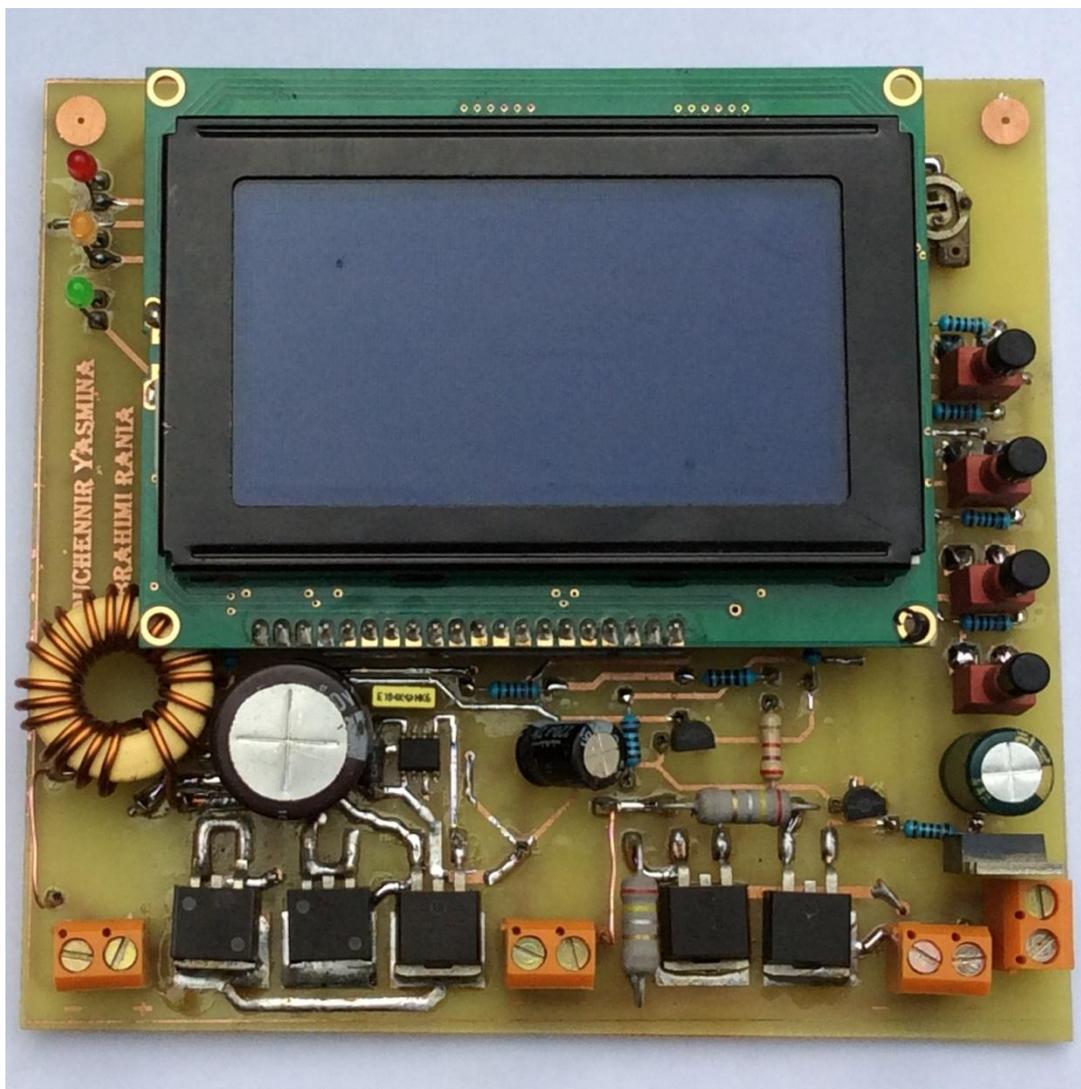


Figure III. 17: typon de la carte électronique coté composants et coté soudure

**III.6 La carte réalisée :**

**Figure III. 19:** la carte électronique finie.

**III.7 Test final**

Sous l'environnement Proteus on va effectuer quelques tests pour prouver que le chargeur est capable d'ajuster la valeur du rapport cyclique s'il y'a un changement soit en terme de la tension ou du courant.

La figure (III.20) montrent le signal à la sortie du PIC18F452, c'est un signal PWM d'amplitude 5V, d'une fréquence fixe de 50KHZ et d'un rapport cyclique variable suivant l'état de la batterie ce signal attaque l'entrée du driver des Mosfet.

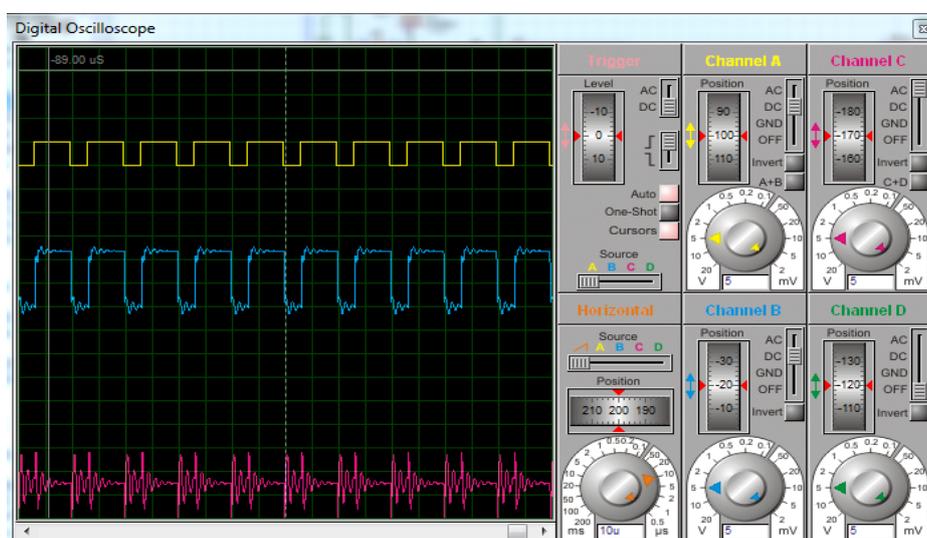


Figure III. 210: Le signal PWM généré par le chargeur solaire sous Proteus.

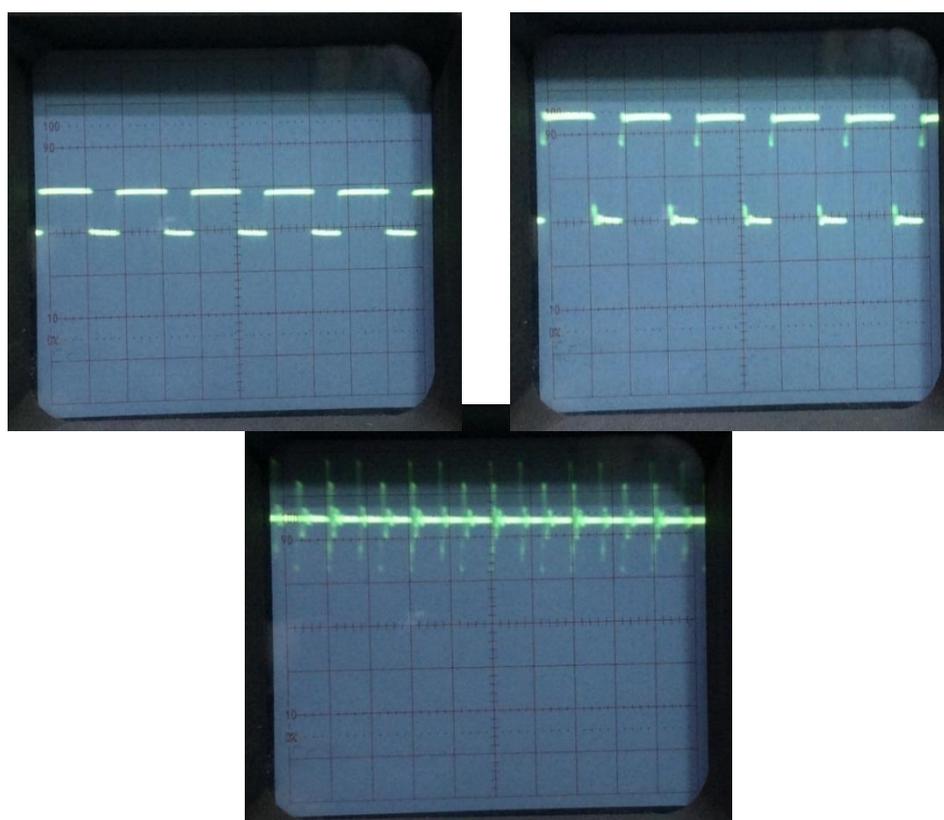


Figure III. 221 : Le signal PWM généré par le chargeur solaire réalisé.

Ensuite nous avons effectué des tests avec les trois états de charge de la batterie (Bulk, Float, Off).

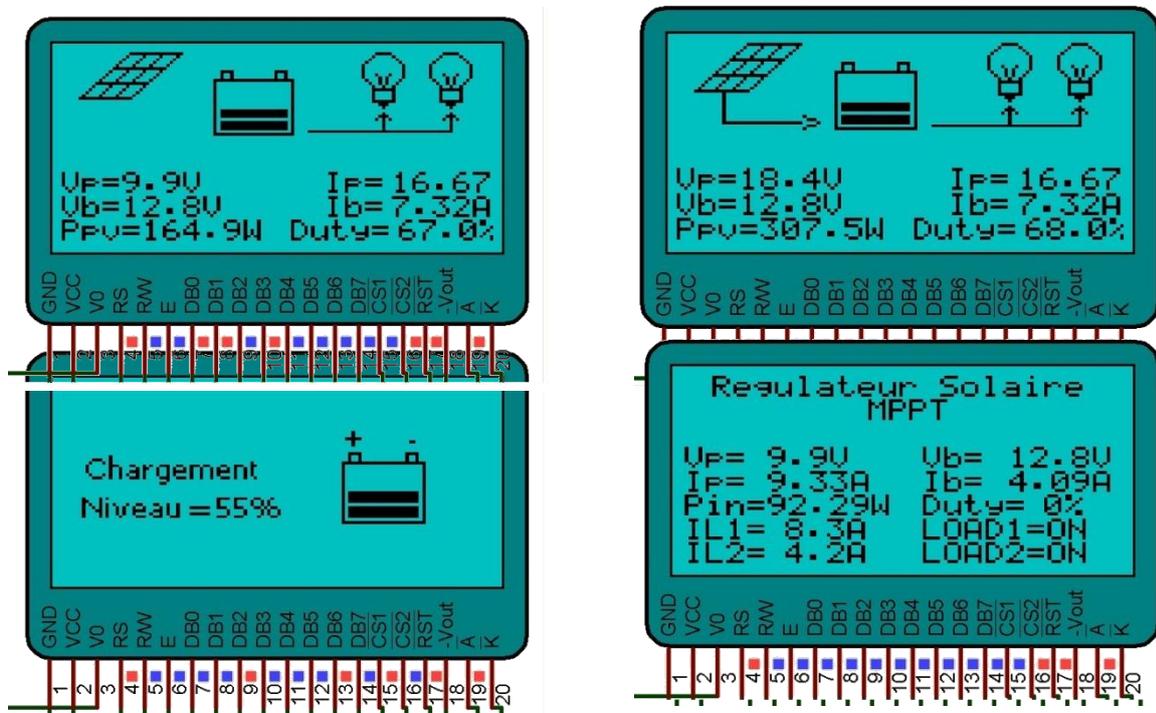


Figure III. 232 : Quelques résultats de simulation sous Proteus.

Après l'étape de la simulation nous nous sommes intéressés au côté pratique en l'occurrence la partie commande en faisant abstraction de la présence de la partie puissance.

**Remarque :**

Pratiquement, les essais sont effectués à l'aide d'un générateur de tension au lieu d'un panneau solaire pour le but de travailler avec une source variable.

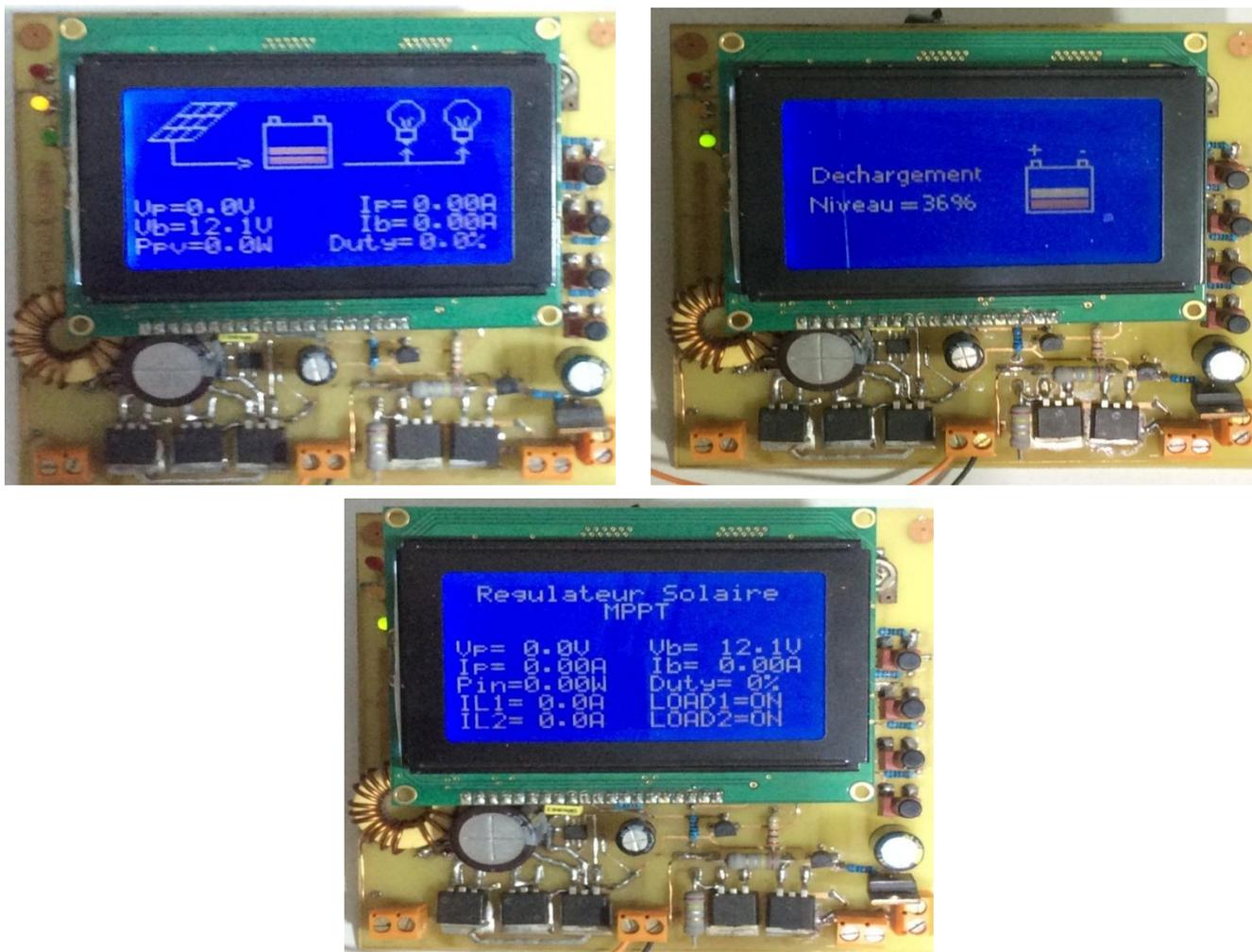


Figure III. 243 : Quelques résultats des essais pratiques.

#### Les résultats obtenus :

- Le signal obtenu à la sortie du driver IR2106 a la même allure avec le signal PWM fourni par microcontrôleur (circuit de commande) mais avec une tension plus élevée. Ce signal de sortie est connecté à l'étage de puissance qui attaquera la grille de notre MOSFET.
- nous avons testé notre régulateur en prenant des mesures aléatoire de la tension aux bornes de la batterie ou on constate que notre système montre une bonne stabilité et respecte bien les seuils de charge /décharge imposé par le programme de contrôle.
- Les résultats de simulations pratique sont affichés sur l'interface de communication qui est l'afficheur GLCD, une fonction utiliser dans le programme du microcontrôleur fait que si la tension de la batterie arrive à sa capacité maximale le rapport cyclique sera nul, alors comme sa la batterie est charger avec toute sécurité et la durée de vie de cette dernière est augmenter.

- On peut dire que nous avons atteint l'objectif assigné et les résultats obtenus sont satisfaisants.

### **III.8 Conclusion**

Nous avons passé en revue les étapes et les actions concernant la simulation et la réalisation pratique, depuis l'explication de l'organigramme, les différentes simulations effectuées pour chaque élément du système, les outils utilisés, l'illustration et l'interprétation des résultats obtenus.

Le résultat final de notre deuxième partie est la variation du rapport cyclique en jouant sur le temps d'amorçage du hacheur par la technique MLI. Cette méthode consiste à générer le signal PWM dont il dépend essentiellement des paramètres (Courant, Tension) acquis dans la carte d'acquisition traité par un PIC18F452.

Finalement et après toutes les difficultés logiciel et matériel on constate que le régulateur de charge est un élément très important pour le system photovoltaïque ou deux parties technique et économique c'est à dire il nous permet d'abaissé les interventions de technicien et le changement des batteries.

### Conclusion générale

L'objectif de ce modeste 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 constitué d'un module photovoltaïque, d'un circuit d'adaptation constitué d'un convertisseur DC-DC type Buck, d'une batterie au plomb acide.

On a commencé par une vue globale sur les notions de base concernant l'effet photovoltaïques, principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques, modélisation et conception d'une installation photovoltaïque. Dans cet étape nous nous sommes intéressés à l'influence des différentes paramètres (éclairage, température) sur la caractéristique « courant-tension » du module photovoltaïque. Ensuite nous avons exposé l'algorithme de charge à suivre, en partant par des définitions préliminaires des différents paramètres relatifs à la batterie en question, son principe de fonctionnement « charge et décharge », les méthodes de charge communément utilisées pour arriver à la fin au choix de l'algorithme de charge MPPT qui permet une meilleure exploitation de l'énergie photovoltaïque.

Après, nous avons abordé la partie commande, où nous avons déterminé les éléments constitutifs du convertisseur DC-DC. D'abord on a basé sur les étapes à suivre pour configurer le PIC18F452 afin qu'il puisse générer les signaux *PWM* nécessaires pour piloter l'ouverture et la fermeture de l'élément de puissance « *Mosfet* » d'un convertisseur DC-DC type « Buck ».

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, en assurant une meilleure autonomie au système photovoltaïque et une longue vie à notre batterie.

Sur notre carte réaliser la technique de composant monté en surface rendu notre système quasi obsolète :

- Les composants sont plus petits et plus légers.
- Le circuit imprimé n'a plus à être percé.
- L'assemblage peut être automatisé facilement.

---

## Reference

- [1] Alain Bilbao Ibarreta " Réalisation de commandes MPPT Numériques « Rapport de stage Projet Fin d'Etudes Université Rovira Virgili 2006.
- [2] PDF HedjemAhmed\_AllekDj.pdf.
- [3] <https://www.ecosolaire.com/2017/10/09/regulateur-solaire/>.
- [4] <https://lenergie-solaire.net/energie-solaire-photovoltaique/elements/installations-autonomes/regulateurs-charge>.
- [5] C.A. Osaretin and F.O. Edeko, "Design and implementation of a solar charge controller with variable output," Journal of Electrical and Electronic Engineering, vol. 12, no 2, pp. 41-43, January 2016.
- [6] A. Bouchaker et M. Benbrinis, "Structure et commande d'une installation photovoltaïque en site isolé," Mémoire de Master, Département d'Electrotechnique, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 2018.
- [7] Yassine LASMI. Optimisation de la poursuite du point de puissance maximale (MPPT) d'un système photovoltaïque par les techniques intelligentes. Université Sétif -1 (ALGERIE).
- [8] M. BEDRANE Farid. Etude comparative entre quelques méthodes de poursuite du point de puissance maximale dans les systèmes photovoltaïques. Université Abderrahmane MIRA de Bejaia.
- [9] Ahmad Zbeeb, "a new microcontroller-based mppt algorithm for photovoltaic applications" for the degree of master of applied science, concordia university montreal, quebec, canada, 2009.
- [10] d. Lee, H. Noh, D. Hyun, And I. Choy, "an improved mppt converter using current compensation method for small scaled pv-applications," IEEE applied power electronics conf. And exposition, vol. 1, pp. 540-545, 2003.
- [11] M. BEDRANE Farid. Etude comparative entre quelques méthodes de poursuite du point de puissance maximale dans les systèmes photovoltaïques. Université Abderrahmane MIRA de Bejaia.
- [12] M.S. Amamra « Optimisation de la production d'un générateur Photovoltaïque », thèse master université de Ouargla 2015.
- [13] M. Ouada, A.Tarfaya, M.S. Meridjet et D. Dib, "Etude et caractérisation sous Matlab/Simulink d'un générateur photovoltaïque," Le 2ème Séminaire, International sur

- les Energies Nouvelles et Renouvelables, Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, Ghardaïa, Algérie, Octobre 2012.
- [14] Othman AM, El-arini MMM, Ghitas A, Fathy A. Realworld maximum power point tracking simulation of PV system based on Fuzzy Logic control. *NRIAG J Astron Geophys* 2012; 1:186–94. <https://doi.org/10.1016/j.nrjag.2012.12.016>.
- [15] Radjai T, Rahmani L, Mekhilef S, Gaubert JP. Implementation of a modified incremental conductance MPPT algorithm with direct control based on a fuzzy duty cycle change estimator using dSPACE. *Sol Energy* 2014; 110:325–37. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.09.014>.
- [16] Farhat M, Hussein M, Atallah AM. Enhancement Performance of a Three Phase Grid Connected Photovoltaic System Based on PI-Genetic Algorithm ( PI-GA ) Controller. 19th Int. Middle East Power Syst. Conf. (MEPCON)., IEEE; 2017, p. 19 21. <https://doi.org/10.1109/mepcon.2017.8301177>.
- [17] Yousra AMMOUR, Madiha KENOUCHE, « Conception et réalisation d'un régulateur de charge par panneaux photovoltaïques », mémoire de master ; Université Mohammed Seddik Ben Yahia, Jijel, 2019.
- [18] Boukli Hacene Omar, « Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque Muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion d'énergie », mémoire de magister, Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen, 2011.
- [19] Melle Belkheir Salima , Bellahoul Imane « Etude et conception d'un circuit pour la mesure de la température par thermocouple à base du PIC 18F452 » mémoire master ,université Belhadj Bouchaid ,Ain Timouchante ,2015/2016.
- [20] [http://nalhossri.free.fr/lcdg 128\\*64/afficheur lcd 128\\*64.ht](http://nalhossri.free.fr/lcdg%20128*64/afficheur%20lcd%20128*64.ht).

## Résumé :

L'énergie solaire renouvelable représente le nouvel espoir qui permettra à l'environnement de reprendre son souffle et à l'humain de pouvoir consommer sans consommer, mais un problème se pose : son rendement est faible. En effet, à cause de la fluctuation de la quantité d'énergie produite, liée aux perturbations météorologiques (température et niveau d'éclairement), cette énergie est loin d'être une source stable ! D'où l'impératif de relier le générateur photovoltaïque autonome à un système de stockage (batterie), pour ainsi garantir une disponibilité de l'énergie en cas d'absence du rayonnement solaire et palier au problème. Ce projet de mémoire a pour objectif d'étudier un chargeur de batterie solaire qui prendra en charge la protection des batteries et permet au générateur photovoltaïque de fonctionner à sa puissance maximale. L'algorithme MPPT de type « perturbation et observation » a été implémenté. Le dispositif est constitué d'un convertisseur DC-DC de type abaisseur piloté par un signal de type MLI, lequel est géré par un microcontrôleur selon le programme que nous avons élaboré dont les résultats obtenus sont satisfaisants.

## ملخص

تمثل الطاقة الشمسية المتجددة الأمل الجديد الذي سيسمح للبيئة بالتقاط أنفاسها وتمكين الناس من الاستهلاك دون استهلاك، ولكن تبرز مشكلة: كفاءتها منخفضة. في الواقع، بسبب التذبذب في كمية الطاقة المنتجة، المرتبط باضطرابات الأرصاد الجوية (درجة الحرارة ومستوى الضوء)، فإن هذه الطاقة بعيدة كل البعد عن كونها مصدرًا مستقرًا! ومن هنا تأتي الحاجة إلى توصيل المولد الكهروضوئي المستقل بنظام تخزين (بطارية)، وبالتالي ضمان توفر الطاقة في حالة غياب الإشعاع الشمسي وتخفيف المشكلة. ستهتم بحماية من نوع "الاضطراب والملاحظة". يتكون MPPT البطاريات وتسمح للمولد الكهروضوئي بالعمل بأقصى طاقته. تم تنفيذ خوارزمية ، والتي تتم إدارتها بواسطة متحكم دقيق PWM من النوع التدريجي يتم تشغيله بواسطة إشارة من نوع DC-DC الجهاز من محول وفقاً للبرنامج الذي قمنا بتطويره، وكانت نتائجه مرضية

## Abstract:

Renewable solar energy represents the new hope that will allow the environment to catch its breath and people to be able to consume without consuming, but a problem arises: its efficiency is low. Indeed, because of the fluctuation for energy produced, linked to meteorological disturbances (temperature and light level), this energy is far from being a stable source! Hence the need to connect the stand-alone photovoltaic generator to a storage system (battery), thus guaranteeing availability of energy in the event of the absence of solar radiation and alleviating the problem. This thesis project aims to "study a solar battery charger that will take care of the protection of the batteries and allow the photovoltaic generator to operate at its maximum power. The "perturbation and observation" type MPPT algorithm has been implemented. The device consists of a step-down type DC-DC converter driven by a PWM type signal, which is managed by a microcontroller according to the program that we have developed, the results of which are satisfactory

