

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira Bejaia

Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialités :

- Energétique
- Installations énergétiques et turbomachines

Par :

Mokrani Houssam

Rebai Layachi

Thème

**Optimisation, par logique floue, d'un système
photovoltaïque.**

Soutenu le 21 octobre 2020 devant le jury composé de:

Mr. Djerrada. A	Président
Mr. Benslimane. A	Rapporteur
Mr. Medjoudj. R	Co-rapporteur
Mr. Hamoudi. F	Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2019-2020

Remerciement

Avant tout nous allouons Dieu le tout puissant pour tous les bienfaits dont il nous a fait.

*de nous avoir donnée le courage, la patience, la volonté et la santé durant
toutes ces années à fin de pouvoir réalisé ce modeste travail.*

*Nous tenons d'abord à remercier notre encadreur monsieur
Hakim ben Slimane pour son dévouement, ses orientations et sa gentillesse
afin de nous permettre l'accomplissement de ce travail.*

*Notre sincère gratitude va aussi aux membres de jury qui ont
bien accepté de juger ce présent travail.*

*Nos sincères remerciements aussi à M. Medjoudj Rafik pour son aide et son
énorme soutien durant la recherche et la réalisation de notre plan de travail.*

*Nos remerciements vont également à tous les enseignants du département
génie mécanique pour leurs contribution a notre formation.*

*Enfin, que tous ceux et celles qu'ils nous ont aidé et soutenu durant tout notre
parcours trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus sincères.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*mes chers parents : Aucun hommage ne pourrait
être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent
de me combler.*

*je vous remercie pour tout le soutien que
vous me portez depuis mon enfance et j'espère
que votre bénédiction m'accompagne toujours.
Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos
vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables
sacrifices.*

Que Dieu leur procure, Bonne santé et longue vie.

A mes chers et adorables sœurs.

A tous mes amis(es)

*A tous les personnes qui nous ont aidés à réaliser ce
mémoire.*

Layachi

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à qui me sont les plus chers, à ma très chère mère,

mon père, à mes très chers frères et mes sœurs

A toute la famille et à tous mes amis

A tous mes amis de la promotion

A mon cher binôme qui m'a beaucoup aidé et supporté dans ce travail

et a toute sa famille

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment

Houssam

Sommaire

Remerciements	i
Dédicaces	ii
Sommaire	iv
Table des figures	vii
Liste des tableaux	ix
Nomenclature.....	x
Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralités photovoltaïques.....	3
I.1. Introduction.....	3
I.2. Le spectre solaire.....	3
I.3. Dualité de la lumière.....	4
I.4. Le rayonnement solaire.....	6
I.5. Différents types de rayonnement.....	7
I.5.1. Rayonnement direct.....	7
I.5.2. Rayonnement diffus	8
I.5.3. L'albédo ou Réfléchi.....	8
I.5.4. Rayonnement global.....	8
I.6. Potentiel solaire en Algérie.....	9
I.7. Energie solaire photovoltaïque.....	10
I.7.1. La cellule photovoltaïque.....	10
I.7.2. Conversion photovoltaïque.....	11
a. Semi-conducteur.....	11
b. Le dopage de semi-conducteur.....	11
i. Dopage de type N.....	11
ii. Dopage de type P.....	12
c. La jonction PN.....	12
I.7.3. Effet photovoltaïque.....	13
I.7.4. Les types des cellules photovoltaïques.....	15
a. Cellule en silicium monocristallin.....	15
b. Cellule en poly-cristallin.....	16
c. Cellule amorphe.....	16
I.8. Conclusion.....	17
Chapitre II : les mécanismes de défaillance et de dégradation	18
II.1. Introduction	18
II.2. Défaillance.....	18
II.3. Les facteurs principaux de défaillance d'un system PV.....	18
II.3.1. Effet de la température.....	18
a. Sur le module.....	18
b. Sur la boîte à jonction.....	22

c. Sur la batterie	23
d. Sur le régulateur.....	24
e. Sur l'onduleur.....	25
II.3.2. Choc thermique.....	25
a. Sur Module.....	25
b. Sur La Batterie.....	26
II.3.3 Influence du vent de sable sur un système photovoltaïque.....	26
a. Sur le module.....	27
b. Sur la boîte à jonction.....	29
c. Sur la batterie.....	29
d. Sur le régulateur.....	30
e. Sur l'onduleur.....	30
II.4. Conclusion.....	30
Chapitre III : Présentation du cas expérimentale.....	31
III.1 Introduction.....	31
III.2 Les différents composants d'un système solaire photovoltaïque	31
III.2.1 Batteries.....	32
a. Les différents types de batteries	32
b. Association de batteries	33
III.2.2 .Contrôleur de charge.....	33
i. Choix et compatibilité.....	34
III.2.3 Onduleur/Chargeur, Chargeur, Onduleur.....	35
a. Onduleur/Chargeur	35
b. Critère de choix d'un onduleur.....	36
III.2.4 Générateur photovoltaïque.....	36
III.3. Modélisation du générateur PV.....	37
III.4. Paramètres de la cellule solaire.....	38
III.5. Présentation du cas expérimental.....	40
III.6. Conclusion.....	45
Chapitre IV : simulation de la commande MPPT FLC.....	46
IV.1. Introduction.....	46
IV.2. Structure générale du système FLC.....	46
IV.3. Fonction d'appartenance.....	47
IV.3.1. La fuzzification.....	47
IV.3.2. Règles et interférences flous.....	48
IV.3.3. La défuzzification.....	49
IV.4. La commande MPPT Flou	49
IV.5. Simulation du contrôleur MPPT flou.....	49
IV.6. Simulation du système photovoltaïque a étudié.....	50
IV.7. Simulation du GPV.....	51
IV.8. Résultats et discussions.....	52
IV.9. Conclusion.....	56

Conclusion générale.....	57
Références bibliographique.....	59
Annexes.....	63
Résumé/Abstract.....	69

Table des figures

Figure I.1 Eclairement solaire.....	4
Figure I.2 Rayonnement solaire transmis à la terre.....	6
Figure I.3 Différents composants de rayonnement.....	7
Figure I.4 Potentiel solaire en Algérie.....	9
Figure I.5 Structure basique d'une cellule solaire.....	10
Figure I.6 Présentation atomique du semi-conducteur (silicium).....	11
Figure I.7 Dopage de semi-conducteur de type n.....	12
Figure I.8 Dopage de semi-conducteur de type p.....	12
Figure I.9 La jonction p-n.....	13
Figure I.10 L'effet photovoltaïque.....	14
Figure I.11 le principe de fonctionnement d'une cellule PV.....	15
Figure I.12 Cellule photovoltaïque monocristalline.....	16
Figure I.13 Cellule photovoltaïque poly-cristallin.....	16
Figure I.14 Cellule photovoltaïque amorphe.....	17
Figure II.1 L'effet de la température sur la tension du module PV.....	20
Figure II.2 Effet de la température sur la puissance du module PV.....	19
Figure II.3 Influence de la température sur le courant de court-circuit et la tension du circuit-ouvert de la cellule photovoltaïque.....	20
Figure II.4 Influence de la température sur la puissance optimale du module PV.....	21
Figure II.5 Influence de la température ambiante sur le rendement.....	22
Figure II.6 Influence de la température sur la boîte à jonction.....	23
Figure II.7 Influence de la température sur la capacité de la batterie.....	24
Figure II.8 Caractéristique (I-V) en fonction de l'éclairement.....	28
Figure II.9 Accumulation de particule de sable sur un module.....	28
Figure II.10 Écoulement du courant dans les cellules PV avec diodes de by-pass pour les cellules occultées.....	29
Figure III.1 Les différents composants d'une installation photovoltaïque.....	31
Figure III.2 Les différents types de batteries.....	33
Figure III.3 Association de deux batteries en série / en parallèle.....	33
Figure III.4 Régulateur Steca standard.....	34
Figure III.5 Régulateur MPPT Blue Solar.....	35

Figure III.6 Rôle de l'onduleur.....	36
Figure III.7 Le générateur PV (cellule, module, panneau)	37
Figure III.8 circuit équivalent du model à une seule diode.....	37
Figure III.9 Courbes I-V et P-V d'un appareil PV.....	40
Figure III.10 Schéma du dispositif expérimental sur Matlab simulink.....	41
Figure III .11 Branchement des modules PV entre eux.....	42
Figure III.12 Température mesurée durant la journée ensoleillée.....	43
Figure III .13 Température mesurée durant la journée nuageuse.....	43
Figure III.14 Irradiation mesurée durant la journée ensoleillée	43
Figure III.15 Irradiation mesurée durant la journée nuageuse.....	43
Figure III.16 Tension et courant obtenues durant la journée ensoleillé.....	44
Figure .17 Tension et courant obtenues durant la journée nuageuse.....	44
Figure III.18 Puissance obtenue durant la journée ensoleillée.....	44
Figure III.19 Puissance obtenue durant la journée nuageuse.....	44
Figure IV.1 Structure générale d'un système basé sur la logique floue.....	46
Figure IV.2 Exemples de formes des fonctions d'appartenance.....	47
Figure IV.3 Fuzzification continue avec sept fonctions d'appartenance.....	48
Figure IV.4 Schéma de block de la commande MPPT flou.....	49
Figure IV.5 Schéma block du système PV sous simulink.....	50
Figure IV.6 : Schéma et block paramètres du GPV ENG36P100W sous simulink.....	51
Figure IV.7 Caractéristiques I-V et P-V du GPV avec l'irradiation [1000 500 100](w/m2)...	52
Figure IV.8 Les valeurs numériques du courant, tension et puissance calculées.....	53
Figure IV.9 Courbe de la tension calculée et réelle pour la journée ensoleillée.....	53
Figure IV.10 Courbe de la tension calculée et réelle pour la journée nuageuse.....	53
Figure IV.11 Courbe du courant calculée et réel pour la journée ensoleillée.....	54
Figure IV.12 Courbe du courant calculée et réel pour la journée nuageuse.....	54
Figure IV.13 Courbe de puissance obtenue avec contrôleur flou et réelle durant Une journée ensoleillée.....	55
Figure IV.14 Courbe de puissance obtenue avec contrôleur flou et réelle durant une journée nuageuse.....	55

Liste des tableaux

Tableau I.1 Valeurs énergétiques des photons issus du spectre solaire.....	5
Tableau III.1 Caractéristiques du module PV 100W aux STC.....	42
Table IV.1 tables de règles pour FLC.....	48

NOMENCLATURE

Symboles	Désignations	Unités (SI)
C	: Capacité de la batterie	Ah
Cch	: Capacité totale du champ photovoltaïque	Ah
D	: Décharge maximale	%
E	: Flux de rayonnement solaire	W/m ²
E0	: Constante solaire	W/m ²
Et	: Consommation journalière	Wh/jour
H	: Hauteur de soleil	Degré
I	: Le courant aux bornes de la cellule PV	A
Icc	: Le courant de court-circuit	A
IMPP	: Courant de puissance maximale	A
Imod	: Le courant aux bornes du module PV	A
Ie	: Courant d'entrée	A
Is	: Courant de sortie	A
J	: Numéro de jour de l'année	-
K	: Coefficient correcteur	-
L	: Longitude	Degré
Nm	: Nombre de modules photovoltaïques	-
Ns	: Nombre de modules PV connectés en séries	-
NP	: Nombre de modules PV connectés en parallèles	-
Pcu	: Puissance crête unitaire d'un module photovoltaïque	W
Pch	: Puissance crête du champ photovoltaïque	W
Ppv	: La puissance disponible en sortie du GPV	W
Pr	: Puissance réactive	VAR
R	: Résistance	Ω
S	: Section du câble	mm ²
SS	: Durée d'ensoleillement	h
SS0	: Durée d'Insolation maximale	h
T	: Temps d'utilisation	h
TSV	: Temps solaire vrai	h

U	: la tension aux bornes de la cellule PV	V
U _{mod}	: La tension aux bornes du module PV	V
U _{co}	: La tension du circuit ouvert	V
UMPP	: Tension de puissance maximale	V
V _{ch}	: Tension du champ photovoltaïque	V
V _m	: Tension délivrée par un seul module photovoltaïque	V
L	: Longueur du câble	m
A	: Azimut de soleil	Degré

Symboles grecs

ρ	: Résistivité	$\Omega.m$
φ	: Latitude	Degré
β	: Inclinaison	Degré
Δ	: Déclinaison	Degré
ω	: Angle horaire	Degré
σ	: Fraction d'ensoleillement	-
η_m	: Rendement des modules photovoltaïque	%

Abréviations

PV	: Photovoltaïque.
Si	: Silicium.
GPV	: Générateur Photovoltaïque.
PPM	: Point de Puissance Maximum.
FF	: Facteur de Forme.
MPPT	: poursuite du point de puissance maximal (Maximum Power Point Tracker).
CC	: Courant Continu. CA : Courant Alternatif.
FLC	: Contrôle par la logique floue (fuzzy logic control).

Introduction Générale

Introduction Générale

Au départ, l'énergie solaire photovoltaïque était limitée aux applications rurales pour l'alimentation des sites isolés en électricité. Mais depuis quelques années, le solaire photovoltaïque a fait son entrée dans les agglomérations, ce qui a pour effet l'augmentation sensible de l'exploit de cette source dite renouvelable.

Un système d'alimentation photovoltaïque peut être utilisé pour fournir une source alternative et inépuisable d'énergie électrique à nos maisons grâce à la conversion directe du rayonnement solaire en électricité. Le processus d'acquisition d'une énergie photovoltaïque implique la conception, la sélection et la détermination des spécifications des différents composants utilisés dans le système.

Le succès de ce processus dépend de divers facteurs tels que l'emplacement géographique, les conditions météorologiques, l'énergie solaire, l'irradiation et profil de charge adopté. D'autre part, ce genre d'investissement a encore des défis à prendre en considération, l'un d'eux est la perception en tant que source d'énergie avec un retour sur investissement prolongé et non fiable.

Pour surmonter les problèmes d'efficacité des générateurs PV et obtenir un rendement maximum, Un nombre important de technique de commande de la poursuite du MPP (point de puissance maximal) ont été élaboré depuis les années 70. Commenant par des techniques simples comme les contrôleurs MPPT 40T de l'industriel, aux contrôleurs plus performants utilisant les principes de la logique floue MPPT FLC (fuzzy logic control).

De ce fait, le but de ce travail est de maximiser le fonctionnement d'un générateur PV expérimenté auparavant, par la simulation sous MATLAB Simulink en utilisant un contrôleur MPPT floue à la place du MPPT industriel. Pour cela, notre travail sera structuré comme suit :

Dans le premier chapitre, nous rappellerons des généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque, analyse du spectre lumineux et types du rayonnement solaire. Ainsi que les principes de base de la conversion photovoltaïque.

Par la suite, le deuxième chapitre présentera les différents modes de défaillance des systèmes PV et les principaux facteurs qui en sont la cause.

Quant au troisième chapitre, nous commençant par définir les éléments essentiels pour la mise en marche d'un système PV adapté aux sites isolés, en prolongeant notre discours plus particulièrement sur les caractéristiques du générateurs PV. A la fin, une partie de ce chapitre est consacré pour l'étude d'un dispositif expérimenté auparavant à fin d'entamer la simulation dans l'étape suivante.

Ensuite, le quatrième chapitre détaillera la simulation du générateur PV expérimenté en appliquant la commande MPPT floue à la place du régulateur MPPT industriel. Pui, les résultats de simulation obtenues seront commentés et comparés à celles issus du dispositif expérimental.

Au final, ce travail sera clôturé par une conclusion générale à travers laquelle on parlera des principaux résultats obtenus et on donnera quelques perspectives pour de futurs travaux.

Chapitre I

Généralités photovoltaïques

Généralités photovoltaïques

I.1 Introduction

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie envoyée à la surface de la terre, le rayonnement annuel représente environ 15000 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (kWc/m^2) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que ne consomme l'humanité en une journée [1].

Depuis très longtemps, l'homme a cherché à exploiter l'énergie émise par le soleil, La plupart des utilisations sont directes comme en agriculture, à travers la photosynthèse ou dans diverses applications de séchage et chauffage, autant artisanale qu'industrielle. Cette énergie est disponible en abondance sur toute la surface terrestre, malgré une atténuation importante lors de la traversée de l'atmosphère, une quantité importante arrive encore à la surface du sol. On peut ainsi compter $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ dans les zones tempérées et jusqu'à $1400 \text{ W}/\text{m}^2$ lorsque l'atmosphère est faiblement polluée en poussière ou en humidité. Le flux solaire reçu au niveau du sol terrestre dépend ainsi de plusieurs paramètres comme :

- L'orientation, la nature et l'inclinaison de la surface terrestre,
- La latitude du lieu de collecte, de son degré de pollution ainsi que de son altitude,
- La période de l'année,
- L'instant considéré dans la journée,
- La nature des couches nuageuses.

Les zones les plus favorables sont répertoriées sous forme d'atlas et mettent en évidence des « gisements solaires » à la surface de la terre [2].

I.2 Le spectre solaire

Le spectre du rayonnement électromagnétique solaire comporte une très grande étendue, depuis les rayonnements radio jusqu'aux rayons X. On distingue en général le spectre continu, qui est sensiblement celui d'un corps noir à environ 6000°K et le spectre réel d'émission du soleil [3].

La figure I.1 présente la courbe d'énergie du corps noir à 6000K , le rayonnement solaire hors de l'atmosphère et le rayonnement solaire au niveau de la mer en fonction de la longueur d'onde. Ces courbes montrent que 9,2% de l'énergie de ce spectre se trouve dans l'ultraviolet, 42,4% dans le visible et 48,4% dans l'infrarouge.

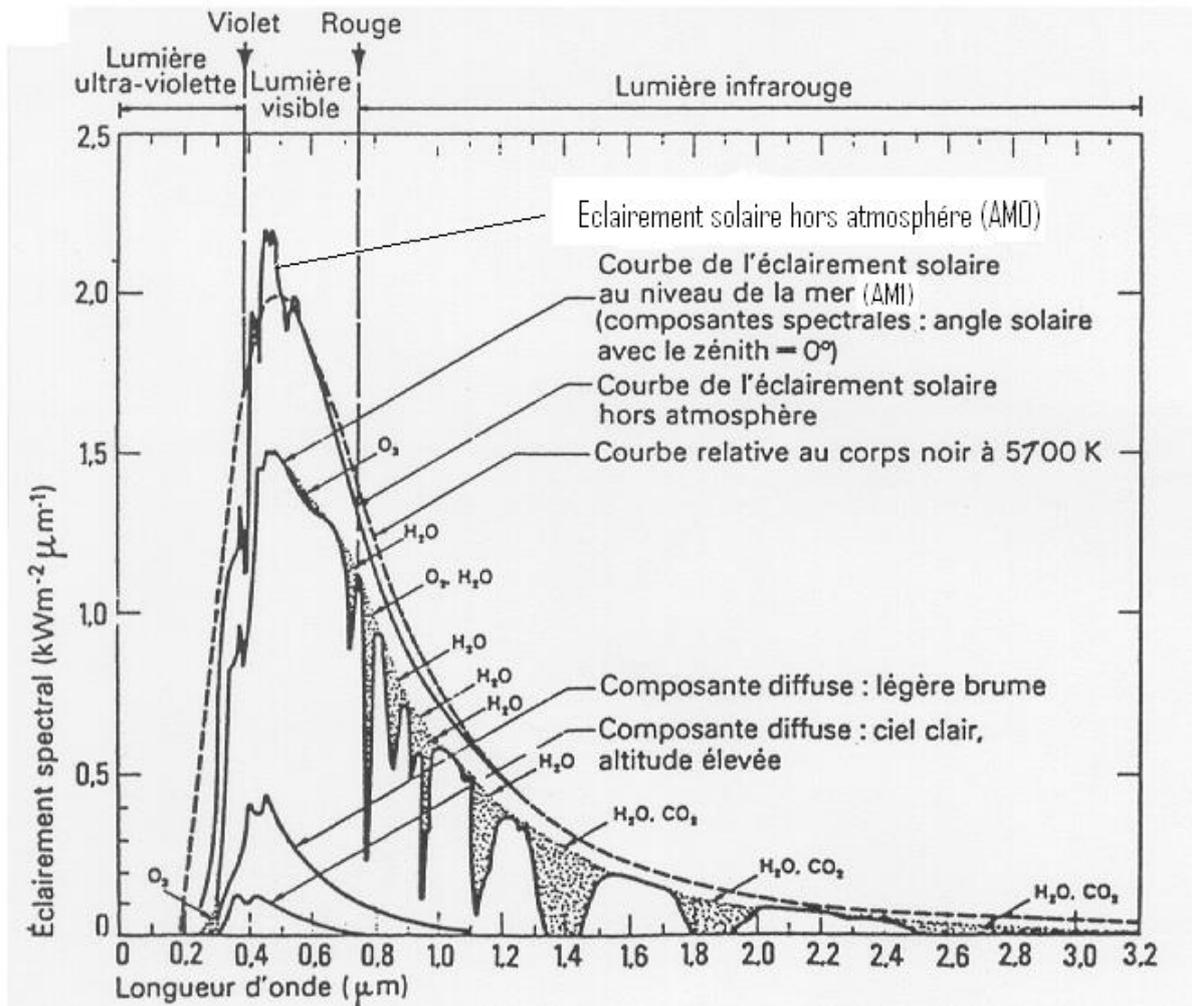


Figure I.1 : Eclairage solaire [4].

D’après la figure I-1, nous constatons que le rayonnement solaire peut être réfléchi, diffusé ou absorbé. Par ailleurs, les spectres des rayonnements réfléchi, diffusé, et absorbé sont différents.

A la surface de la terre, le spectre solaire n’est pas le même que dans l’espace, car il est diminué par l’absorption des molécules présentes dans l’atmosphère (O₃, CO₂, H₂O). Les conditions météorologiques ainsi que la présence de micros particules volatilisée dans l’atmosphère.

I.3 Dualité de la lumière

La lumière peut être considérée sous forme d’ondes électromagnétiques de longueur d’onde λ ou sous forme de photons, corpuscules possédant une énergie E liée à λ par la relation suivante. [6]

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \tag{I-1}$$

Avec : h : constante de Planck (j.)
 c : vitesse de la lumière dans le vide (m.)
 ν : fréquence (s^{-1})
 λ : longueur d'onde (m)

La notion de dualité onde/corpuscule est importante pour comprendre les phénomènes d'interaction entre un rayonnement et un matériau.

Les longueurs d'ondes du rayonnement solaire terrestre sont comprises entre $0,2\mu\text{m}$ (ultra-violet) et $4\mu\text{m}$ (infrarouge) avec un maximum d'énergie pour $0,5\mu\text{m}$. 97,5% de l'énergie solaire est comprise entre $0,2\mu\text{m}$ et $2,5\mu\text{m}$. De $0,4\mu\text{m}$ à $0,78\mu\text{m}$, le spectre correspond au domaine du visible. Les capteurs d'énergie solaire doivent donc être compatibles avec ces longueurs d'ondes pour pouvoir piéger les photons et les restituer sous forme de chaleur ou d'électrons.

Le tableau I.1 donne les valeurs énergétiques caractéristiques des photons pour diverses longueurs d'ondes, ainsi que les zones correspondantes au spectre lumineux [7].

λ (μm)	E (ev)	Zone
0.2	6.2	Ultra-violet
0.4	3.1	Visible bleu
0.5	2.48	Visible jaune-vert
0.78	1.59	Visible jaune-vert
1	1.24	Infrarouge
2	0.62	Infrarouge
4	0.31	Infrarouge

Tableau I.1 : Valeurs énergétiques des photons issus du spectre solaire.

Pour que le rayonnement solaire produise un courant électrique dans un matériau donné, faisant alors office de capteur, il faut que les photons soient tout d'abord absorbés par un ou plusieurs matériaux sensibles à la longueur d'onde des photons. Puis, l'énergie des photons excite des électrons, qui sont ensuite collectés afin de constituer un courant électrique global.

I.4 Le rayonnement solaire

Le rayonnement émis par le soleil est constitué d'ondes électromagnétiques dont une partie parvient constamment à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre. En raison de la température superficielle du soleil (environ 5800 K), ce rayonnement électromagnétique se situe dans la gamme de longueur d'onde de la lumière visible (entre 0,4 et 0,75 μm) et dans le proche infrarouge (au-delà de 0,75 et jusqu'à 4 μm environ). L'énergie véhiculée par ce rayonnement, moyennée sur une année et sur l'ensemble de la limite supérieure de l'atmosphère, correspond à un éclairement de 340 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ (Figure. I.5). Un bilan énergétique montre que, sur cette quantité d'éclairement qu'apporte le soleil au système terre + atmosphère, environ 100 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ sont réfléchis vers l'espace ; seul le reste est absorbé, pour un tiers par l'atmosphère et pour les deux tiers par la surface de la terre [5,18].

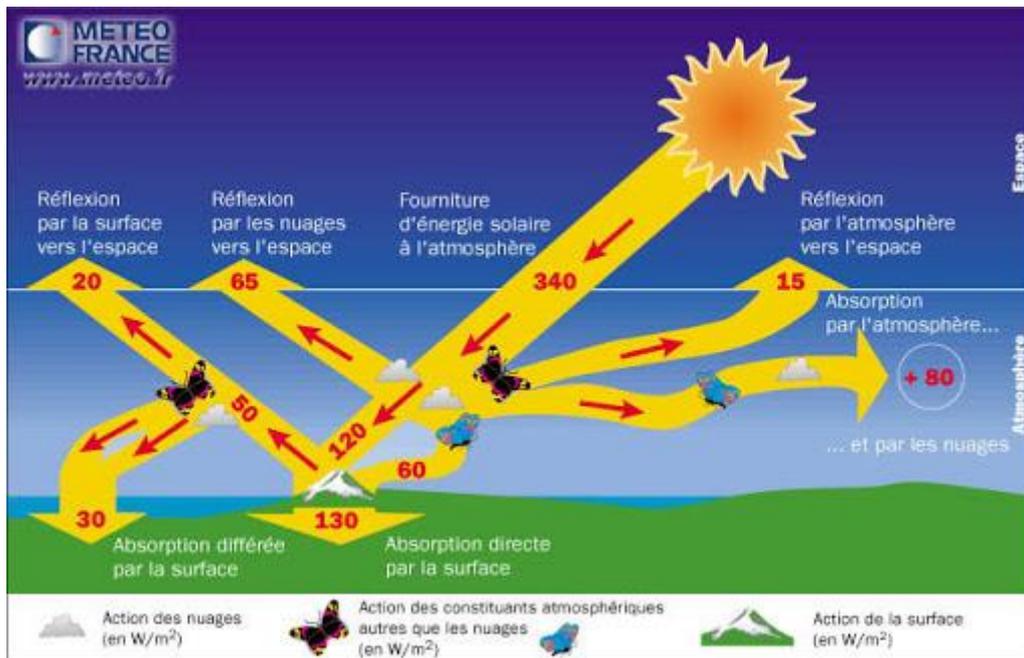


Figure I.2 : Rayonnement solaire transmis à la terre.

La figure I.5, publiée par Météo France, montre que près du quart de cet éclairement incident est réfléchi dans l'espace par l'atmosphère : pareille réflexion est essentiellement le fait des nuages ($65 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), le reste ($15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) étant dû aux autres constituants atmosphériques comme les gaz et aérosols. Il reste donc $180 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ qui parviennent à la surface terrestre au terme d'une transmission dont les deux tiers ($120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) se font directement, le reste ($60 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) s'effectuant par diffusion vers le bas. [5]

Intervient alors un processus complexe d'interaction entre la diffusion vers le bas et la réflexion. Sur les 180 W.m^{-2} incidents, la surface terrestre, qui possède un albédo moyen élevé, devrait renvoyer dans l'atmosphère environ 50 W.m^{-2} . En fait, la majeure partie de l'éclairement qu'elle réfléchit ainsi lui revient tôt ou tard et s'ajoute partiellement aux $180 - 50 = 130 \text{ W.m}^{-2}$ de rayonnement solaire non réfléchis à son contact. Bien que l'absorption du rayonnement solaire soit un phénomène continu, on peut simplifier la compréhension du processus précédent en supposant que les 50 W.m^{-2} réfléchis par la surface du globe se répartissent entre 20 W.m^{-2} définitivement renvoyés vers l'espace interplanétaire et 30 W.m^{-2} qui reviennent à la surface terrestre après diffusion différée vers le bas. Cette énergie s'ajoute aux 130 W.m^{-2} initialement non réfléchis pour constituer approximativement les 160 W.m^{-2} qu'absorbe la surface terrestre [5].

I.5 Différents types de rayonnement

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé. Au sol, on distingue plusieurs composantes.

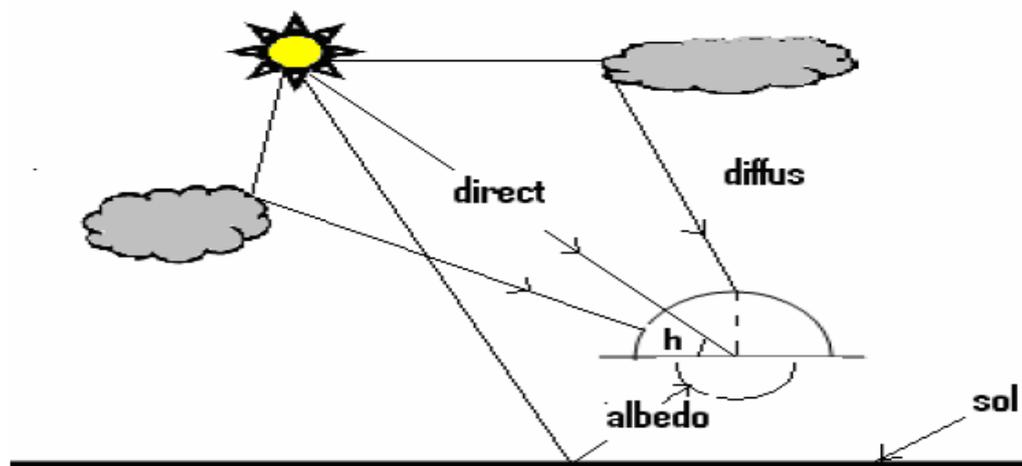


Figure I.3 : Différents composants de rayonnement.

I.5.1 Rayonnement direct

Le rayonnement direct est le rayonnement reçu directement du Soleil. Il peut être mesuré par un pyréliomètre.

Le rayonnement direct reçu dans le plan du capteur est :

$$I(\alpha, \gamma) = I \cdot \cos(i) \quad (\text{I-2})$$

Avec :

I : rayonnement direct normal

i : (Angle d'incidence) : c'est l'angle entre la direction du soleil et la normale au plan [12].

I.5.2 Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les molécules atmosphériques, et de sa réfraction par le sol, il parvient de toute la voute céleste [13].

Le rayonnement diffus (D_h) est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions, Il peut être mesuré par un pyranomètre avec écran masquant le soleil [14].

Dans le plan du capteur le Rayonnement diffus est donné par [15] :

$$D_{(\alpha,\gamma)} = \left(\frac{1+\cos(\alpha)}{2} \right) \cdot D_h + \mathbf{A l b} \left(\frac{1-\cos(\alpha)}{2} \right) \cdot G_h \quad (\text{I-3})$$

Avec :

$\mathbf{A l b}$: albédo (coefficient de réflexion du sol)

h : hauteur de soleil [degré]

D_h : Diffus sur plan horizontal

G_h : Global horizontal

$$\text{Pour un plan vertical} \Rightarrow D_v = 0,5 \cdot (H_h + \alpha \cdot G_h) \quad (\text{I-4})$$

I.5.3 L'albédo ou Réfléchi

C'est la fraction d'un rayonnement incident diffusée ou réfléchi par un obstacle. Ce terme étant généralement réservé au sol et aux nuages, c'est une valeur moyenne de leur réflecteur pour le rayonnement considéré, et pour tous les angles d'incidences possibles. Par définition, le corps noir possède un albédo nul.

$$\text{L'albédo } (\mathbf{Alb}) = \frac{\text{energie reflechie}}{\text{energie recue}} \quad (\text{I-5})$$

I.5.4 Rayonnement global

Le rayonnement global au sol est donc en fonction de la composition et de l'épaisseur de l'atmosphère traversée par les rayons lumineux au cours de la journée. Il se décompose en rayonnement direct et rayonnement diffus, et ce sont ces deux rayonnements qui sont exploités par les générateurs solaires [13].

Dans le cas d'une surface horizontale, le rayonnement global s'écrit :

$$G = I \cdot \sin(h) + D_h \quad (\text{I.6})$$

Pour un plan quelconque, le rayonnement global est :

$$G_{(\alpha,\gamma)} = I_h \cdot \frac{\cos(i)}{\sin(h)} + \frac{D_h}{2} \cdot [1 + \cos(\frac{\pi}{2} - \gamma)] + \frac{D_h}{2} \cdot \mathbf{Alb} \cdot [1 - \cos(\frac{\pi}{2} - \gamma)] \quad (\text{I.7})$$

Avec :

I_h : Direct horizontal

I.6 Potentiel solaire en Algérie

Le potentiel solaire est la quantité totale d'irradiation d'énergie solaire reçue sur une surface de région donnée pendant du temps dans une localisation spécifique.

En Algérie, le potentiel est le plus important de tout le bassin méditerranéen [19] :

- 1169.440 TWh/an,
- 5.000 fois la consommation Algérienne en électricité,
- 60 fois la consommation de l'Europe des 15 (estimée à 3.000 TWh/an).

Energie moyenne reçue en kWh/m²/an :

- Régions côtières 1700,
- Hauts plateaux 1900,
- Sahara 2650.

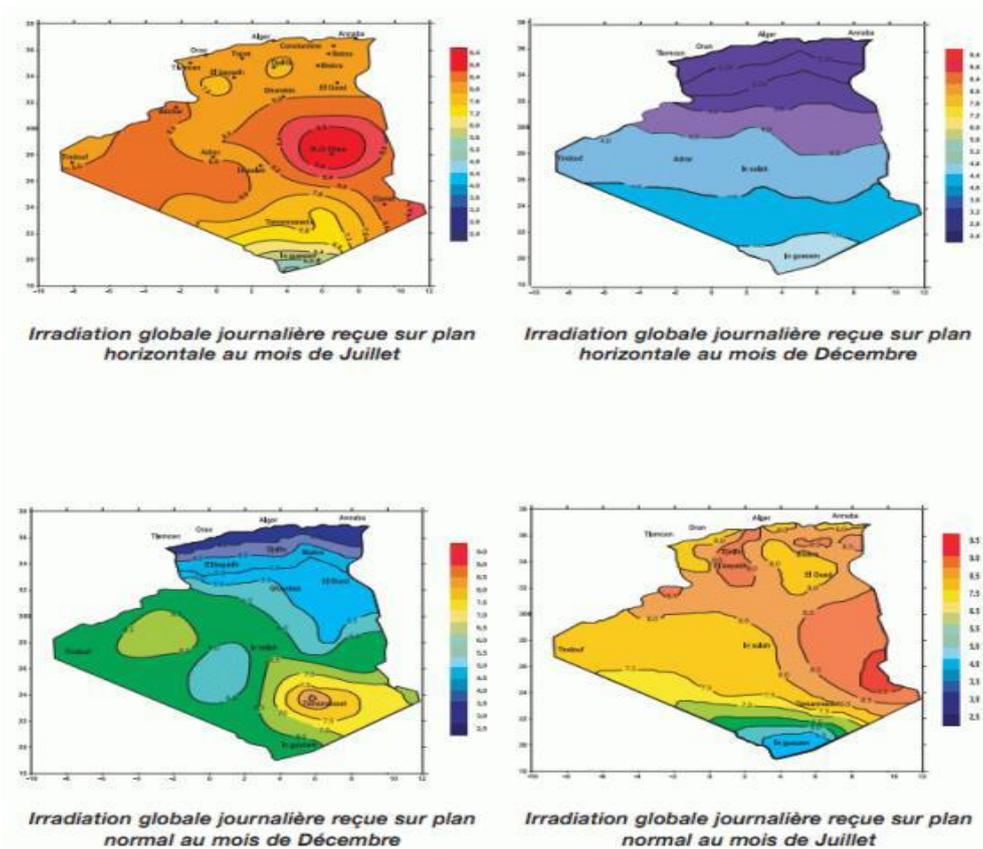


Figure I.4 : Potentiel solaire en Algérie [20].

I.7 Energie solaire photovoltaïque

Le terme « photovoltaïque » souvent abrégé par le sigle « PV », a été formé à partir de deux mots « photo » un mot grec signifiant lumière et « Volta » le nom du physicien italien Alessandro Volta qui a inventé la pile électrique en 1800 [21].

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe de l'énergie provenant des photons, comprise dans le rayonnement solaire, en énergie électrique par le biais des capteurs fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible [22].

I.7.1 La cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation Photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Les cellules photovoltaïques sont constituées :

- D'une fine couche semi-conductrice (matériau possédant une bande interdite, qui joue le rôle de barrière d'énergie que les électrons ne peuvent pas franchir sans excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électriques) tel que le silicium, qui est un matériau présentant une conductivité relativement bonne.
- D'une couche antireflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires
- D'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode.

Les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multicouche réfléchissant juste en dessous de semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement.

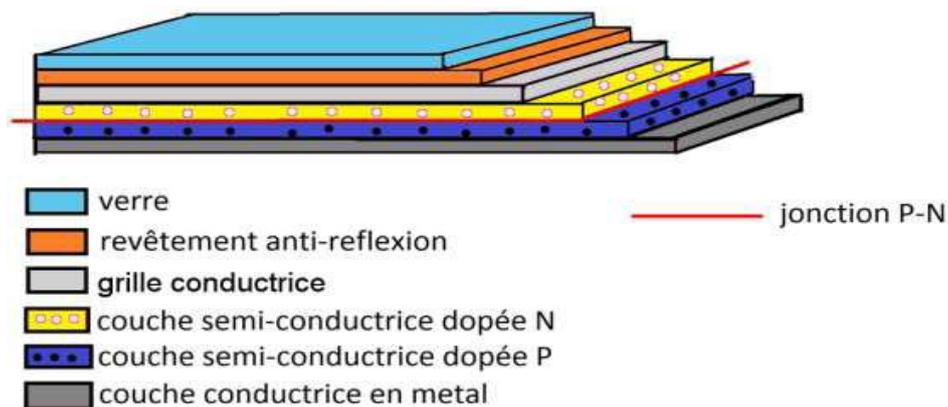


Figure I.5 : structure basique d'une cellule solaire. [23]

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3V et 0.7 V en fonction

du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la Cellule. [24]

I.7.2 La conversion photovoltaïque

a. Semi-conducteur

Les matériaux semi-conducteurs sont des corps dont la résistivité électrique est intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants. Les quatre électrons de valence du silicium permettent de former quatre liaisons covalentes avec un atome voisin. Dans ce cas, tous les électrons sont utilisés et aucun n'est disponible pour créer un courant électrique.

[25]

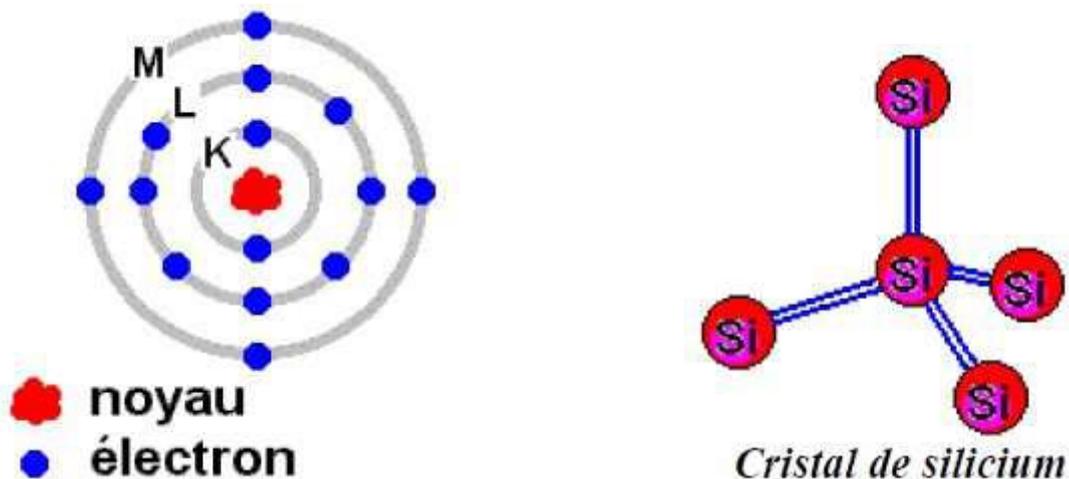


Figure I.6 : Présentation atomique du semi-conducteur (silicium).

b. Le dopage de semi-conducteur

Pour augmenter la conductivité des semi-conducteurs on y introduit des impuretés. Ce procédé est appelé dopage.

i. Dopage de type N

On remplace un atome de silicium par un atome pentavalent (phosphore p). Quatre d'entre eux assurent les liaisons avec les atomes voisins de silicium et le cinquième reste disponible, il sera excité vers la bande de conduction très facilement par l'agitation thermique.

D'où le nombre d'électron libre qui va fortement augmenter : dans ce cas le nombre de trou est très inférieur au nombre d'électron libre. On obtient ainsi un cristal dopé N (négatif).

[25]

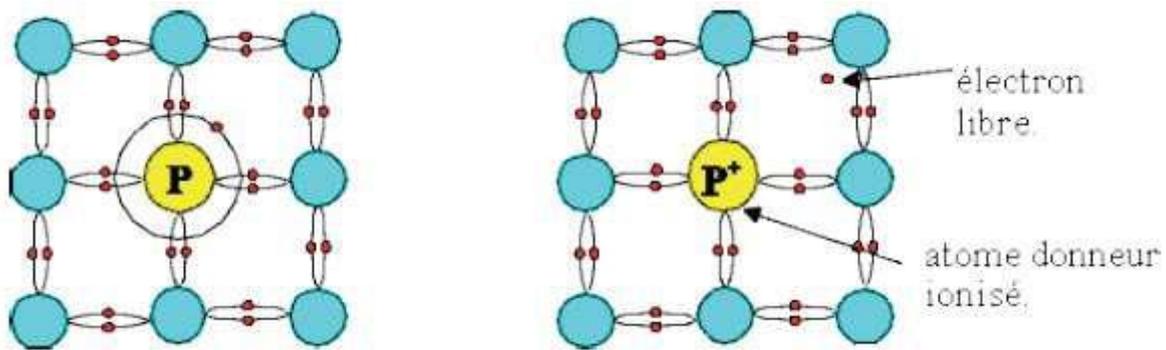


Figure I.7 : dopage de semi-conducteur de type n. [25]

ii. Dopage de type P

De la même façon on introduit des atomes trivalents, ses trois électrons vont assurer les liaisons covalentes avec trois atomes voisins mais laisser un trou au quatrième. Ce trou se déplace de proche en proche dans le cristal pour créer un courant.

Ici le nombre de trous est très supérieur au nombre d'électrons libres du cristal intrinsèque, on obtient donc un cristal dopé P (positif), les impuretés utilisées sont souvent du Bore B. [25]

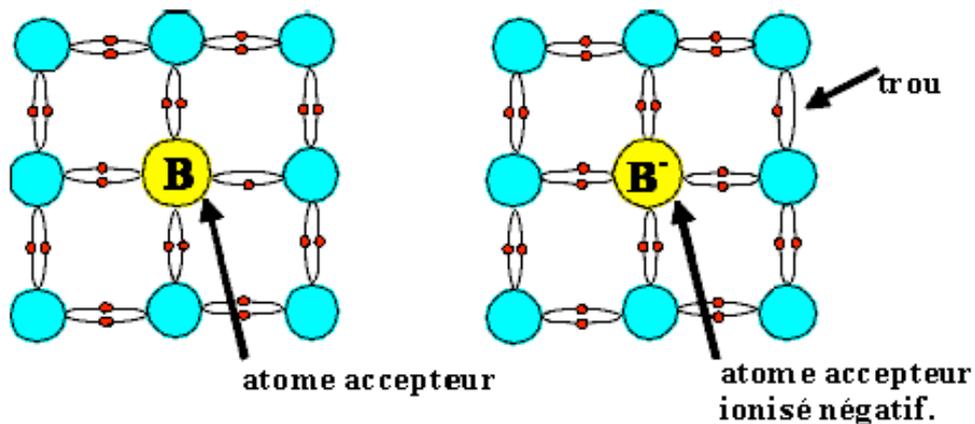
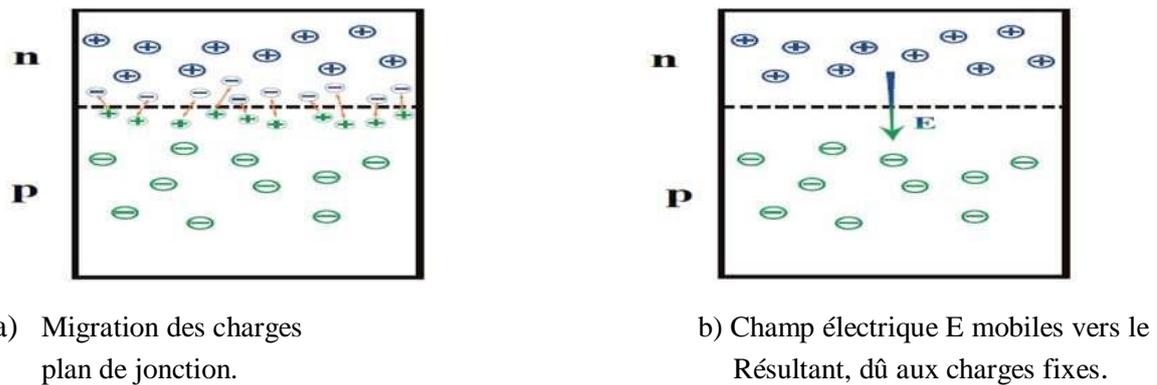


Figure I.8 : dopage de semi-conducteur de type p. [25]

c. La Jonction PN

Une jonction PN est l'accolement d'une région dopé P et d'une région dopée N. Lors de cet assemblage les porteurs de charges libres s'attirent et se recombinent dans la zone de jonction où les porteurs libres disparaissent : c'est la zone de transition. Il ne reste donc plus que les ions dans cette zone qui vont créer un champ électrique interne au niveau de la jonction et qui empêche les charges libres restantes dans chaque zone de traverser la jonction pour se recombiner. [25]



a) Migration des charges
plan de jonction.

b) Champ électrique E mobiles vers le
Résultant, dû aux charges fixes.

Figure I.9 : La jonction p-n.

I.7.3 Effet photovoltaïque

La conversion de l'énergie solaire en énergie électrique repose sur l'effet photovoltaïque, c'est-à-dire sur la capacité des photons à créer des porteurs de charges (électrons et trous) dans un matériau. Lorsqu'un semi-conducteur est illuminé avec un rayonnement de longueur d'onde appropriée (l'énergie des photons doit être au moins égale à celle du gap énergétique du matériau), l'énergie des photons absorbée permet des transitions électroniques depuis la bande de valence vers la bande de conduction du semi-conducteur, générant ainsi des paires électrons-trous, qui peuvent contribuer au transport du courant (photoconductivité) par le matériau lorsqu'on le polarise.

Si on illumine maintenant une jonction PN représenté sur la figure I.10, les paires électrons-trous qui sont créés dans la zone de charge d'espace de la jonction sont immédiatement séparées par le champ électrique qui règne dans cette région, et entraînées dans les zones neutres de chaque côté de la jonction. Si le dispositif est isolé, il apparaît une différence de potentiel aux bornes de la jonction (photo tension), s'il est connecté à une charge électrique extérieure, on observe le passage d'un courant alors qu'on n'applique aucune tension au dispositif. C'est le principe de base d'une cellule photovoltaïque. [26]

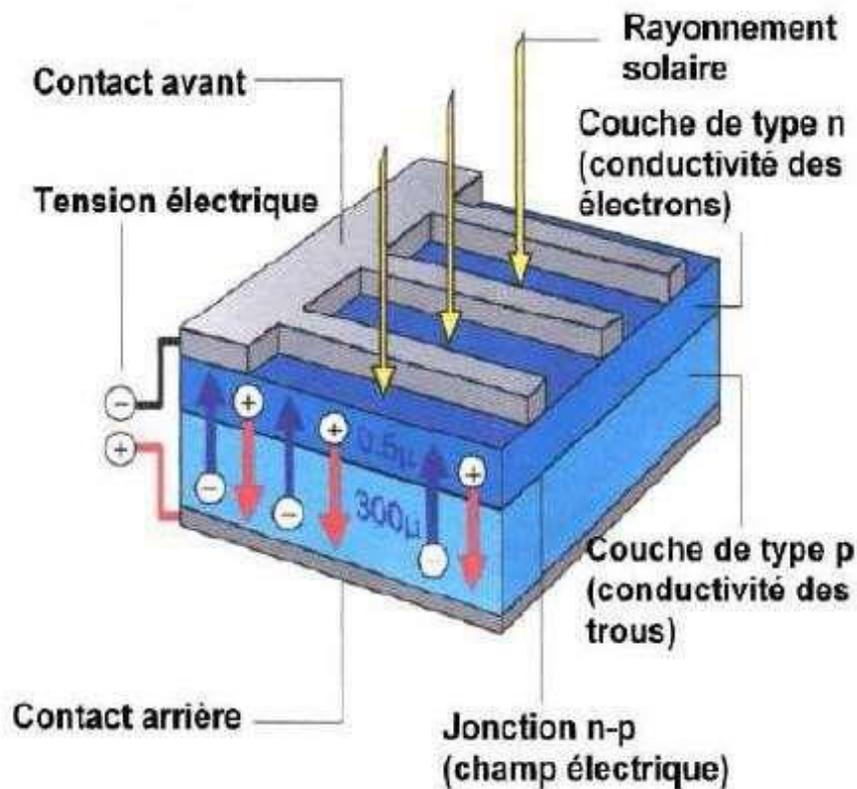


Figure I.10 : L'effet photovoltaïque.

- **Principe de fonctionnement**

Pour créer un courant électrique dans un semi-conducteur, il faut lui fournir une énergie qui permet d'extraire des électrons de la bande de valence pour les transférer dans la bande de conduction, soit une énergie supérieure au gap de la bande interdite. La lumière dont les photons transportent une énergie : $E = h\nu$ permet d'atteindre cet effet : c'est l'effet photovoltaïque.

La lumière pénétrant dans un semi-conducteur permet donc, si son énergie est supérieure au gap de faire passer le semi-conducteur de l'état isolant à l'état conducteur, ce phénomène augmente lorsque la température du semi-conducteur s'élève. Lorsqu'un électron est extrait de la bande de valence pour passer dans la bande de conduction, il laisse derrière lui une vacance ou un trou à sa place, alors un autre électron proche de la bande de valence peut combler ce trou et laisser derrière lui à son tour un trou, on aura ainsi établi un courant de trous. Les deux types de courant ne seront pas différenciés, on parlera simplement de courant, qu'il s'agisse d'électrons ou de trous.

De même on dit que l'absorption de l'énergie des photons par le semi-conducteur crée des paires de porteurs électron-trou. L'effet photoélectrique modifie simplement la conductivité électrique de certains semi-conducteurs, ceci est utilisé pour fabriquer des

résistances dépendant de la lumière, composants largement utilisés dans les appareils photographiques et partout où la lumière doit être mesurée. Pour transformer le semi-conducteur photosensible de composant passif en composant actif, il faut pouvoir générer un courant de porteurs, donc apporter une force qui obligera les électrons et les trous à s'écouler dans deux directions opposées. Cette force sera réalisée par un champ électrique interne provenant du dopage du semi-conducteur. [27]

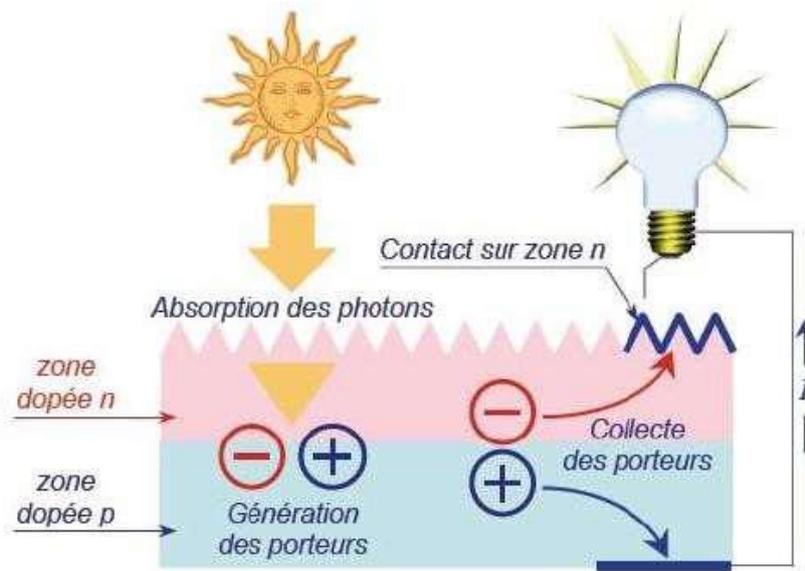


Figure I.11 : Le principe de fonctionnement d'une cellule PV. [27]

I.7.4 Les type des cellules photovoltaïques

Les différentes techniques utilisées de nos jours, ont permis de mettre au point divers types de cellules au silicium : monocristallin, poly-cristallin, amorphe.

Il existe aussi d'autres types de cellules qui utilisent d'autres types de matériaux.

a. Cellule en silicium monocristallin

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grandes dimensions. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules.

Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme. Les cellules monocristallines sont les plus commercialisés offrant un bon rendement électrique compris entre 10% et 17%, mais font appel à une méthode de production plus complexe et donc coûteuse. En effet, l'obtention d'un cristal pur nécessite une grande quantité d'énergie. [28]



Figure 1.12 : Cellule photovoltaïque monocristalline.

b. Cellule en poly-cristallin

Pendant le refroidissement du silicium dans une lingotière, il se forme plusieurs cristaux. La cellule photovoltaïque est d'aspect bleuté, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux. Les cellules poly-cristallines ont un rendement électrique compris entre 11% et 15%. Leur procédé de fabrication consomme moins d'énergie. Elles ont ainsi un coût de production plus faible mais un rendement légèrement inférieur à celui des cellules monocristallines [28].

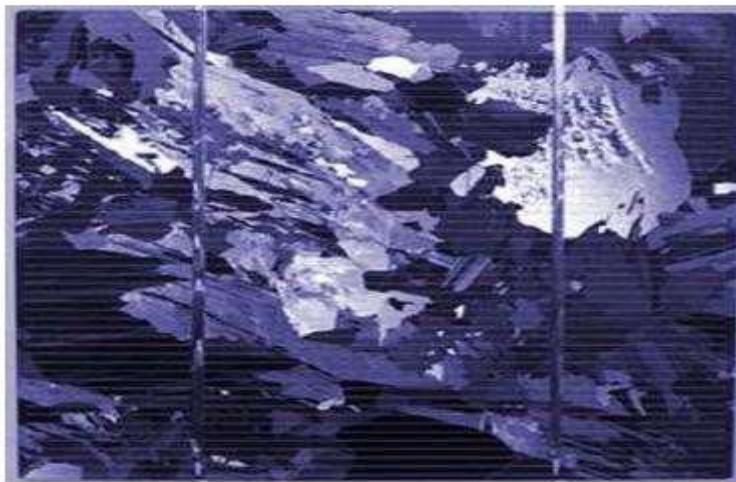


Figure I.13 : Cellule photovoltaïque poly-cristallin.

c. Cellule amorphe

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est marronne. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites « solaires »

», leurs coûts de fabrication sont les plus intéressants, mais elles ont un rendement compris entre 5 et 7%. [28]

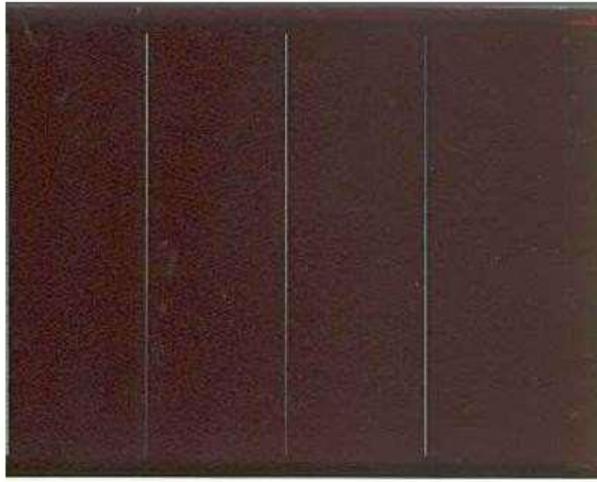


Figure I.14 : Cellule photovoltaïque amorphe.

I.8 Conclusion

Les données météorologiques concernant le rayonnement sont primordiales Pour la conception d'un système PV. Car dans le domaine énergétique, la source définit la nature de l'énergie et la méthode de l'exploit.

Dans ce chapitre, on a défini les notions principales qui résume le comportement du rayonnement solaire émit. Ensuite, on a procédé aux modélisations qui relie ses différents paramètres.

Enfin, nous avons clôturé par une brève explication du principe de la conversion photovoltaïque dans la structure d'une cellule solaire.

Chapitre II

Mécanismes de défaillance et de dégradation

Mécanismes de défaillance et de dégradation

II.1 Introduction

Durant sa période d'utilisation, un module PV est exposé à différents facteurs de stress environnementaux. Ce sont ces facteurs qui sont responsables des défaillances catalectiques et, sur le long terme, du vieillissement des modules.

Les influences de la spécificité du milieu extérieur sur le système photovoltaïque, nous ont mené à utiliser quelques termes de sûreté de fonctionnement qu'on doit définir tel que : la défaillance et la dégradation. [29]

Nous allons voir dans ce chapitre les différents modes de défaillances de systèmes PV et les mécanismes qui en sont la cause.

II.2 Défaillance

La défaillance est la cessation soudaine de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. Un produit connaît une défaillance lorsqu'il n'est plus en mesure de remplir sa (ou ses) fonction(s).

II.3 Les facteurs principaux de défaillance d'un system PV

En général on peut citer trois facteurs essentiels qui provoquent une détérioration instantanée ou permanente des systèmes photovoltaïques.

II.3.1 Effet de la température

La température est un facteur déterminant dans la conception et la réalisation d'un système PV. Les hautes températures peuvent induire la dégradation remarquable des caractéristiques électriques et optiques du système qui mènent à des dégâts irréversibles.

a. Sur le Module

Le comportement des caractéristiques courant-tension (I-V) et puissance-tension (P-V) d'un générateur PV en fonction de la température sont complexes. Pendant l'augmentation de la température, la tension et la puissance du générateur diminuent. Par contre le courant augmente. Ce qui signifie une dégradation des performances du générateur PV.

Les figures II.1, II.2 illustrent l'influence de la température sur la tension et la puissance d'un module PV.

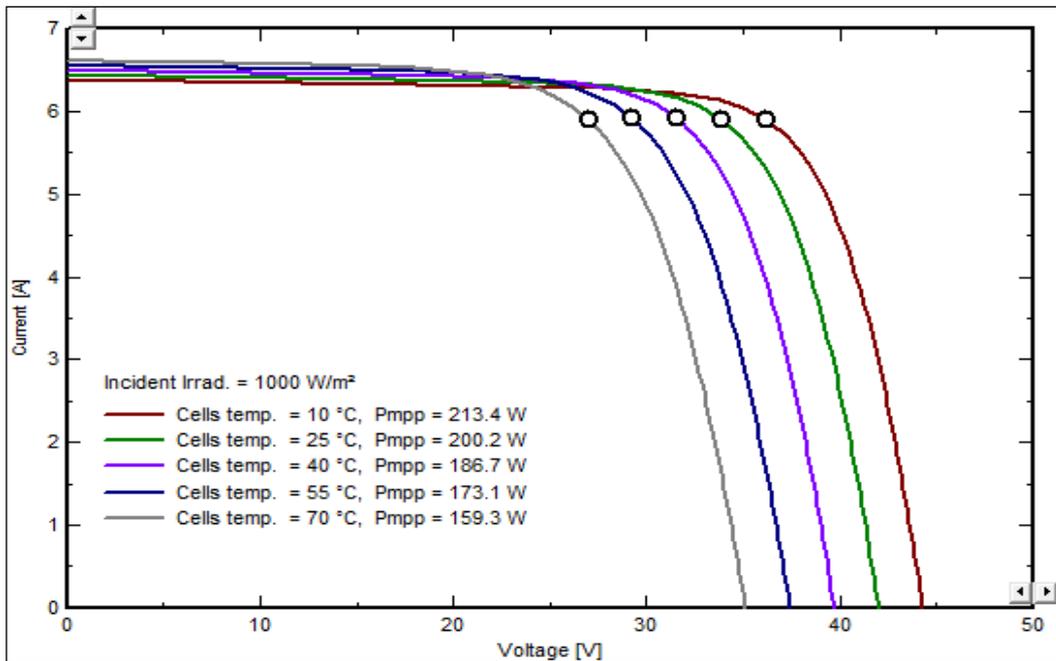


Figure II.1 : l'effet de la température sur la tension du module PV.

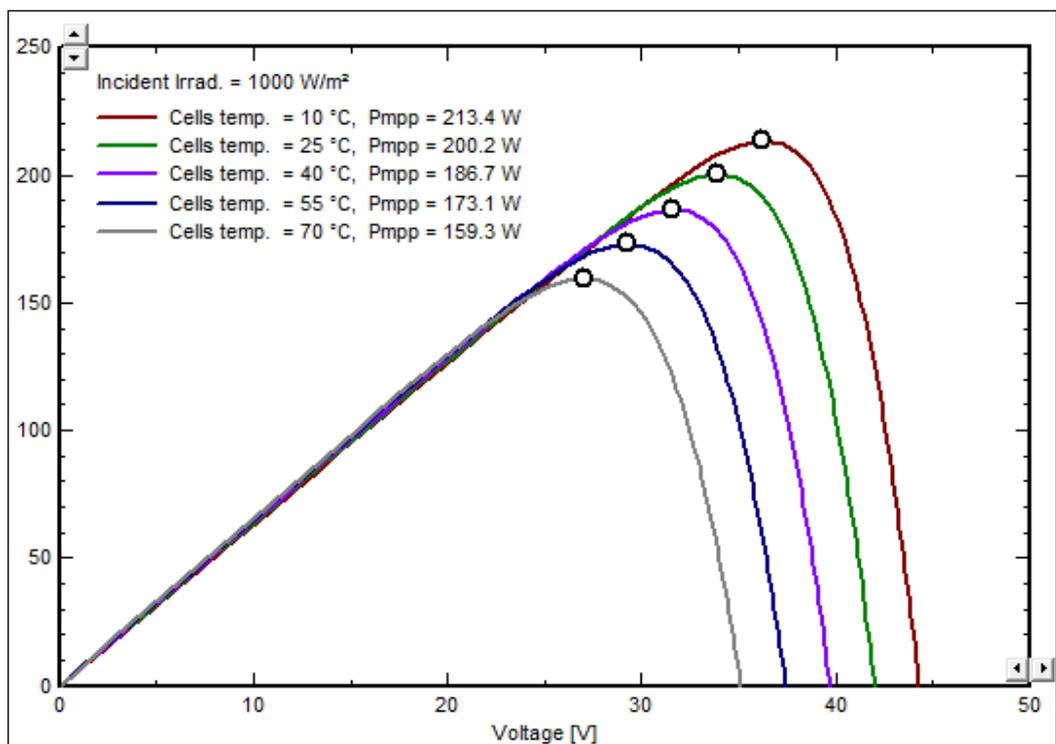


Figure II.2 : Effet de la température sur la puissance du module PV.

Une forte température ambiante conduit à une élévation de la température des cellules. Le courant de diode augmente très rapidement avec la température, il en résulte une diminution de la tension du circuit ouvert qui décale le point de puissance maximale vers une faible tension. Cette diminution est de l'ordre de 2 mV par degré Celsius. En termes de puissance,

une cellule peut délivrer 1.3 W à 0°C et ne pourrait fournir que 0.9 W à 85°C. Ceci montre que la cellule est sensible aux fortes températures [30].

La figure suivante montre avec plus de clarté l'influence de la température ambiante sur les caractéristiques courant, tension et sur le rendement d'une cellule PV monocristalline.

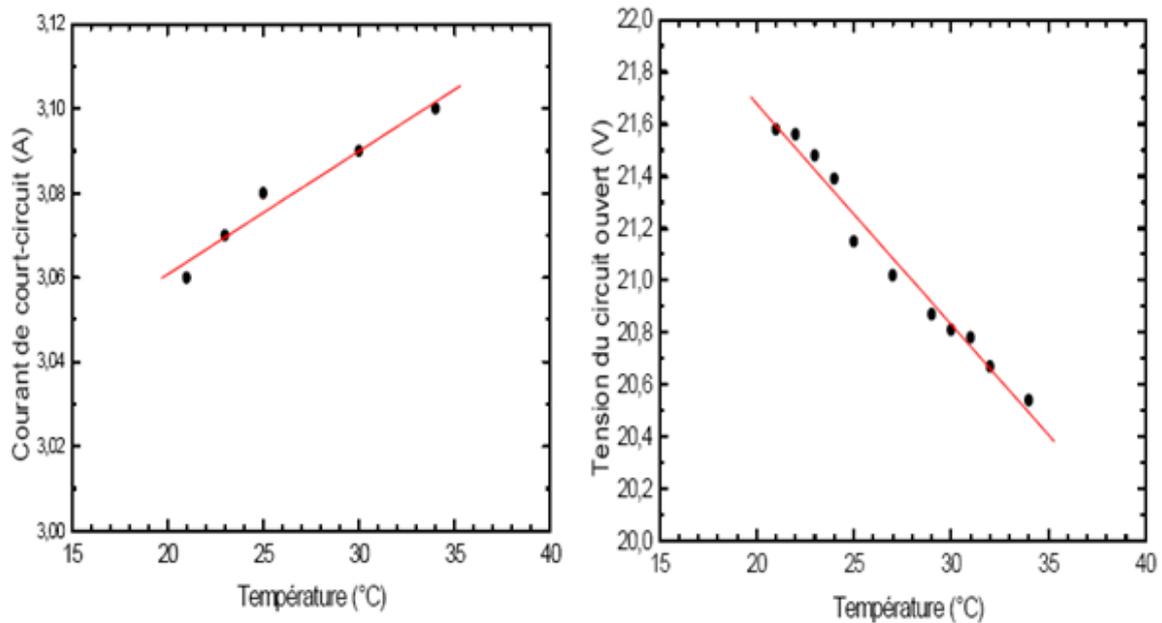


Figure II.3 : Influence de la température sur le courant de court-circuit et la tension du circuit-ouvert de la cellule photovoltaïque.

Les variations de la tension en circuit ouvert et du courant de court-circuit sont données par les expressions suivantes :

$$V_{oc} = V_o \times (1 - \beta \times \Delta T) \quad (\text{II.1})$$

$$I_{sc} = I_o \times (1 + \alpha \times \Delta T) \quad (\text{II.2})$$

Avec :

$$\Delta T = T_{\text{réf}} - T_a \quad (\text{II.3})$$

Tel que :

T_a : Température ambiante.

$T_{\text{réf}}$: Température de référence.

$\alpha = 0,5 \cdot 10^{-3}$ par °C : Coefficient de température du courant,

$\beta = 5 \cdot 10^{-3}$ par °C : Coefficient de température de la tension.

Pour les cellules au silicium, le courant augmente d'environ 0.05% /°C alors que la tension décroît de 0.35-5% /°C. La baisse globale de puissance est d'environ 0,4% /°C [31]. Ainsi, comme le montre la figure II.4 plus la température augmente et moins la cellule est performante.

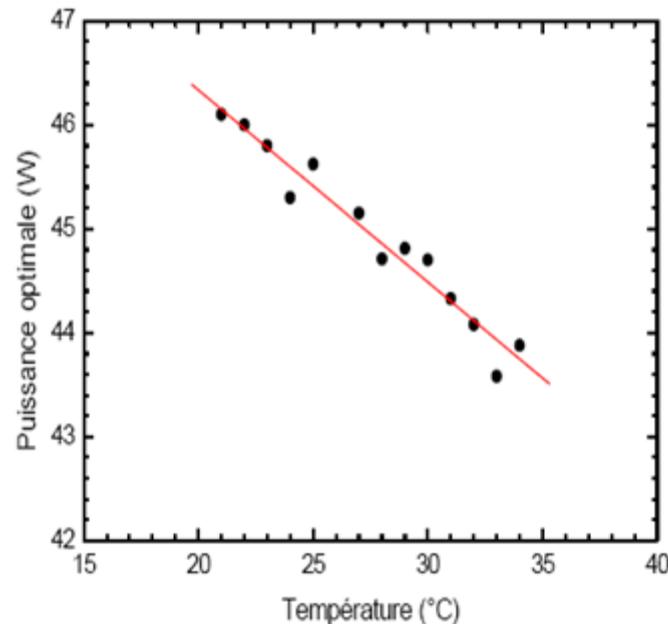


Figure II.4 : Influence de la température sur la puissance optimale du module photovoltaïque.

De plus lors de l'exposition aux rayonnements solaires, une partie du rayonnement absorbée n'est pas convertie en électricité : Elle se dissipe sous forme de chaleur, c'est pourquoi la température de la cellule (T_c) est toujours plus élevée que la température ambiante (T_a), ce qui nécessite la prise en compte de certaines précautions lors de son utilisation. Pour y remédier, il est nécessaire d'effectuer une encapsulation des cellules solaires. Ce qui permet le contrôle de la température des jonctions via un équilibre thermique.

La température d'un module dépend : du type de matériel utilisé pour l'encapsulation, de sa dissipation thermique, du point de fonctionnement du module, des paramètres atmosphériques comme l'irradiation, de la température et de la vitesse du vent et enfin de l'angle d'inclinaison.

Dans les conditions réelles, le rendement d'un module durant une journée reste presque constant (9% - 10%) si la température ambiante reste faible (Figure II.5. a) Dans le cas où la température est élevée, le rendement chute à un moment donné (Figure II.5. b). Ce dernier correspond à l'instant où la température ambiante atteint une valeur de 42°C [32].

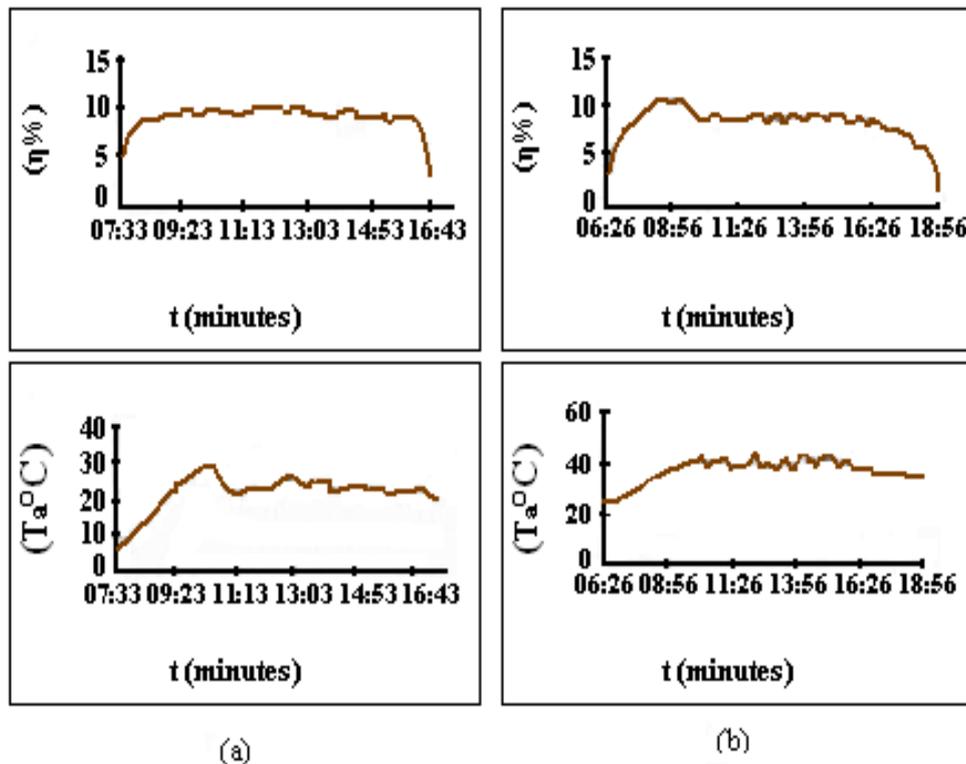


Figure II.5 : Influence de la température ambiante sur le rendement.

En effet, une forte température ambiante influe sur la température des modules qui conditionne à son tour le rendement de ces derniers. La température des modules peut être calculée à partir du NOCT (Normal Operating Cell Température), grandeur intrinsèque du module et qui est donnée par le constructeur :

$$T_{module} = T_a + \left(\frac{G}{800}\right) \times (T_{Noc} - 20) \quad (\text{II.4})$$

T_a : température ambiante,

T_{NOC} : température de la cellule en fonction normal.

b. Sur la Boîte à Jonction

La boîte à jonction renferme plusieurs éléments, parmi eux les éléments de protection du module photovoltaïque. Dans son état défaillant, ce rôle de couverture n'est plus assuré.

Les hautes températures ont une influence néfaste sur la boîte à jonction, elles peuvent mener à des dégâts fatals sur le générateur photovoltaïque ou sur le système complet.

Les principaux effets de la température sur la boîte à jonction sont [33] :

- Corrosion des connexions,
- Destruction des diodes antiparallèles,
- Destruction de la liaison,
- Rupture du circuit électrique,
- Court-circuit du circuit électrique,
- Rupture de mise à la terre.

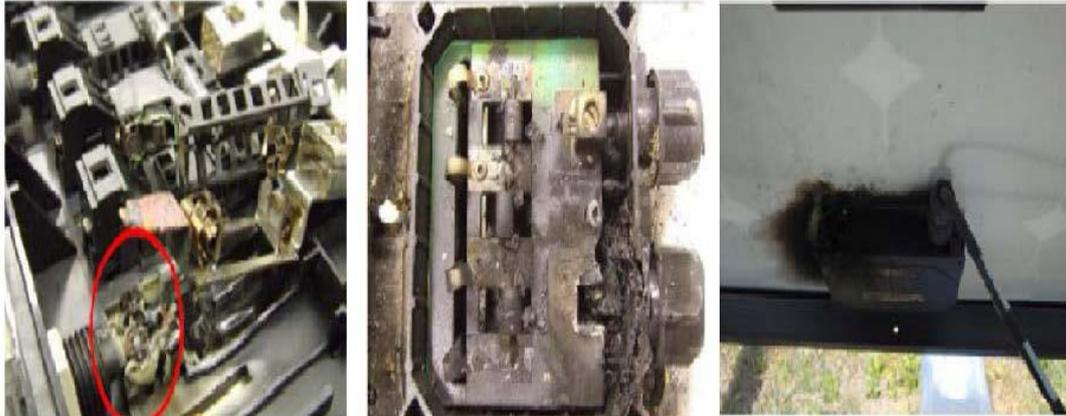


Figure II.6 : Influence de la température sur la boîte à jonction.

c. Sur La Batterie

La batterie étant un composant électrochimique, la température a des effets importants sur son fonctionnement interne tels que : taux de réactions électrochimiques, tension de gazéification, tension limite de charge, tension limite de décharge, perte d'électrolyte ainsi que ses performances : capacité, autodécharge et durée de vie.

En effet, les hautes températures provoquent la corrosion, des déformations et de l'érosion sur les plaques, ainsi qu'une surchauffe de la batterie. La vie cyclique est plus ou moins indépendante de la température ambiante, mais la résistance à la corrosion décroît rapidement à une température ambiante élevée.

À des températures élevées ($>25^{\circ}\text{C}$), il faut également prévoir la compensation thermique pour éviter l'évaporation de l'électrolyte ($-5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ pour une batterie de 12 V) [34].

À de basses températures, la profondeur de décharge maximale doit être encore plus limitée pour éviter le gel de la batterie. Et il est préférable d'utiliser un électrolyte moins concentré pour limiter la corrosion interne de la batterie.

Il est alors nécessaire dans un milieu désertique d'envelopper la batterie par un caisson en bois peint en blanc pour réfléchir les rayons solaires, et amortir les fluctuations de la température ambiante.

- **Influence de la température sur la capacité de la batterie**

La capacité augmente avec la température de l'élément. Ce fait s'explique d'une part, par l'augmentation du coefficient de diffusion des solutions d'acide sulfurique, d'autre part par la baisse de la résistivité de l'électrolyte pour les concentrations généralement employées. Inversement, en basse température, la capacité disponible est nettement moins importante.

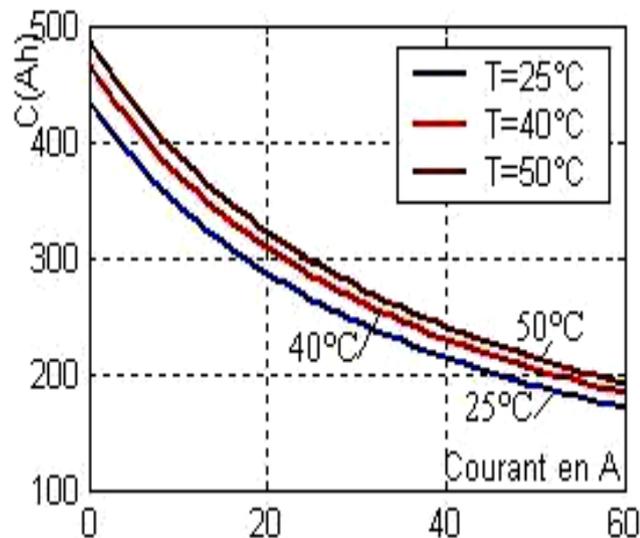


Figure II.7 : Influence de la température sur la capacité de la batterie.

Quand la température augmente de 10°C, la vitesse de réaction augmente (double), la durée de moyenne de vie des batteries diminue d'un facteur de 2, la corrosion est accélérée [35].

d. Sur Le Régulateur

Le régulateur est le cœur du système photovoltaïque ; il contrôle les flux d'énergie. Il doit protéger la batterie contre les surcharges (solaires) et décharges profondes (utilisateur). Il doit également assurer la surveillance et la sécurité de l'installation, mais l'effet de la température peut altérer cette fonction de gestion.

La tension de référence du régulateur devrait être corrigée selon la température réelle mesurée de la batterie. L'usage d'un tel régulateur est particulièrement recommandé pour les milieux désertiques : en effet, si la température ambiante augmente, la température de la batterie augmente aussi, la tension nominale de fin de charge diminue, et un régulateur non compensé aura alors tendance à surcharger la batterie, ce qui provoquera une dissociation rapide de l'électrolyte. Et par conséquent une diminution significative de sa durée de vie. Ce phénomène est aggravé avec les batteries fermées (sans entretien).

e. Sur L'onduleur

La température ambiante possède une influence inévitable sur le boîtier de l'onduleur, elle influence aussi le rendement de transformation. Si elle augmente, l'onduleur doit réduire sa puissance. La puissance de module disponible risque alors de ne pas pouvoir être utilisée dans toute son étendue.

Également, la température du boîtier de l'onduleur est influencée par le lieu de pose. Le rendement d'un onduleur est de l'ordre de 95 %. Cela signifie que 95 % de la puissance produite par le groupe photovoltaïque, côté CC, est transmise en sortie de l'onduleur, côté CA. Les 5 % de puissance restante sont dissipées sous forme de chaleur par les composants électroniques de l'onduleur [36]. Cela peut représenter une importante quantité d'énergie. Les défauts que peut engendrer la température sont :

- Faux contact,
- Fusible fondu,
- Surchauffe de l'onduleur.

II.3.2 Choc thermique

Le choc thermique est défini par une élévation ou une diminution brutale de la température. Ce facteur a des influences catastrophiques sur les performances d'un système photovoltaïque.

a. Sur Le Module

Un système photovoltaïque est constamment soumis à des cycles thermiques (journées chaudes et des nuits froides). On distingue les effets suivants, à savoir :

Le choc thermique, la fatigue thermique et la fatigue-corrosion expliqués ci-après :

i. Choc thermique

L'espace entre les cellules adjacentes peut être critique avec les chocs thermiques qui mènent à la dilatation thermique des cellules (la distance entre les contacts diminue) ce qui cause des courts-circuits, une rupture du circuit, une destruction de la liaison et une fusion.

L'impact de la température sur une cellule désertée, indique l'existence d'un grand point chaud au milieu de la cellule. Il provoque aussi des dilatations différentielles des matériaux d'encapsulation qui mènent au risque de : bris de glace, fissure du verre et de l'EVA.

ii. Fatigue thermique

Quel que soit le type de semi-conducteur utilisé dans la cellule photovoltaïque, il possède deux phases, isolant et conducteur. Mais le changement de température cause ce qu'on appelle la fatigue thermique.

Cette dernière est un processus (succession de mécanisme) qui, sous l'action de contraintes ou déformations cycliques répétés ou alternés, modifie les propriétés locales du matériau. Il peut entraîner la formation de fissures et éventuellement des ruptures (bris du verre, rupture des cellules, fissure de l'encapsulation...etc.).

iii. Fatigue-corrosion

Le phénomène de fatigue-corrosion apparaît sous l'action conjuguée de l'environnement et d'une sollicitation cyclique. Il se manifeste par l'abaissement de la résistance du matériau à la fatigue. Ce type d'endommagement survient lors du cycle de chauffage-refroidissement des modules.

b. Sur La Batterie

La variation de la température a pour effet le doublement du taux de sulfatation chaque 5°C, ce qui cause le vieillissement, la diminution de la durée de vie et le dégagement d'hydrogène.

- Le vieillissement des batteries au plomb-acide dans les systèmes PV est généralement causé par ce qui suit :

- La corrosion de la plaque positive,
- La sulfatation (formation de sulfate de plomb à la surface). C'est également la cause de 80% des pannes des batteries.

- La diminution de la durée de vie de la batterie : l'électrolyse a tendance à se stratifier, ce qui se traduit par une augmentation de la concentration de l'acide sulfurique au bas du bac.

- Le dégagement d'hydrogène : la limite de sécurité du pourcentage d'hydrogène admis est généralement fixée à 3% (en volume), au-delà il y a risque d'inflammation (4%). Quand la température passe de 25°C à 40°C, le dégagement de l'hydrogène est doublé et l'accroissement est plus rapide pour des températures supérieures. Lorsque les batteries viennent d'être chargées, leurs résistances au froid (< 0°C) est beaucoup moins bonne lorsqu'elles sont partiellement déchargées, la capacité baisse rapidement, car autrement l'eau gèle, ce qui fond le bac et détruit la batterie [34] [37].

II.3.3 L'effet du vent de sable sur un système photovoltaïque

Parmi les facteurs environnementaux les plus discriminants pour une région saharienne, mis à part la température, le vent de sable peut mener à une dégradation du système photovoltaïque au fil du temps, qui peut se couronner par une défaillance critique ou catastrophique.

a. Sur Le Module

On se basant sur la description des modules photovoltaïques. Ainsi, si toutes les cellules sont identiques, la courbe (I-V) résultante sera aisément déterminée en sommant les tensions de chaque cellule. Sous des conditions réelles de fonctionnement, si les cellules PV sont légèrement différentes les unes des autres ou si elles ne sont pas uniformément éclairées, la courbe (I-V) résultante n'est pas facilement calculable et dépend alors d'une combinaison complexe du comportement individuel de chaque cellule.

Les systèmes photovoltaïques déployés dans le sud algérien sont constamment soumis à de violentes tornades ainsi qu'à de vents de sable causant une baisse de leurs performances.

Le module photovoltaïque, en particulier, est sensiblement le plus affecté par cet environnement poussiéreux, faute d'être exposé à ciel ouvert pour mieux capter le maximum de rayonnements solaires. L'énergie électrique produite par un module dépend de l'éclairement qu'il reçoit sur sa surface, les particules de sables affectent le module de deux façons, à savoir la suspension de particules et le dépôt en surface, tels que explicités ci-après

- **Particules de sables sont en suspension**

Pour les régions sahariennes, l'air est porteur de fines particules de sables (aérosols) qui constituent un obstacle pour les rayonnements solaires qui se trouvent diffractés. La quantité d'ensoleillement reçue à la surface du module est alors diminuée. La figure II.8 montre la caractéristique courant-tension d'un module PV solaire en fonction de l'éclairement. On remarque que la tension V_{oc} correspondante varie très peu en fonction de l'éclairement, contrairement au courant I_{sc} qui augmente fortement avec l'éclairement.

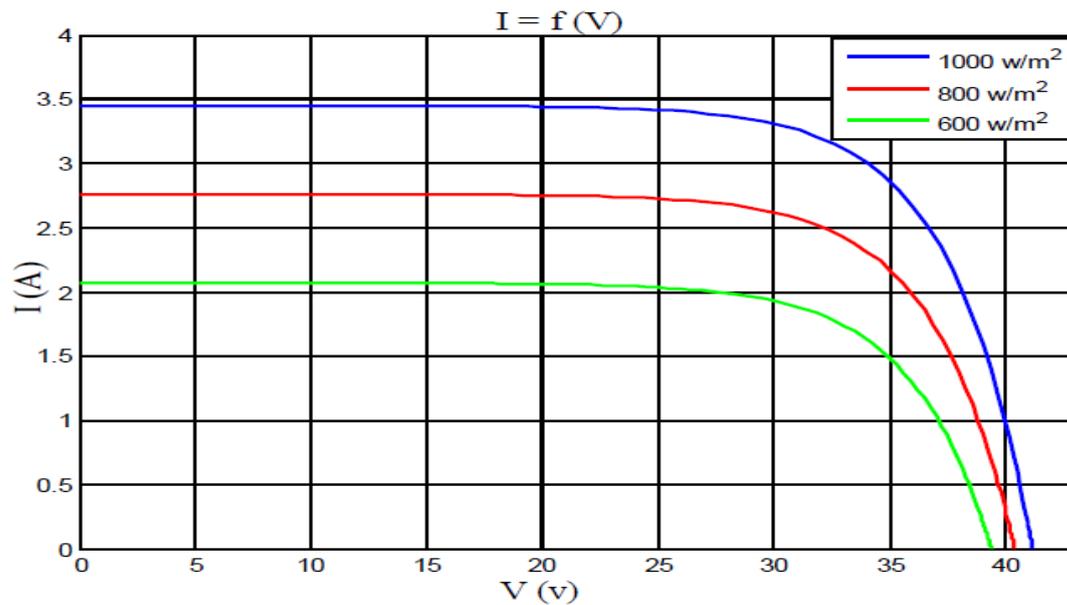


Figure II.8 : Caractéristique (I-V) en fonction de l'éclairement.

L'accumulation des grains de sable sur la surface du module, telle qu'indiquée sur la figure II.9, fait qu'une ou plusieurs cellules sont occultées. Dans ces conditions, la cellule ombrée ne peut délivrer qu'un courant limité. Elle fonctionne donc inversement (devient réceptrice) aux autres cellules non occultées du module qui délivrent un courant supérieur à ce courant limite.

En fonctionnant ainsi, un échauffement de la cellule (appelé hot spot) se produit. Il peut provoquer des dégâts irréversibles (détérioration des contacts, de la couche antireflet, etc.) visibles à l'œil nu (apparition d'une couleur brune au niveau de la cellule).



Figure II.9 : Accumulation de particule de sable sur un module.

Pour remédier à ce phénomène, il faut installer des diodes by-pass. Tel qu'indiquée sur la figure II.10. Dans cette situation, les diodes de by-pass jouent leurs rôles en devenant passantes quand la somme totale des tensions des cellules devient négative, dérivant ainsi le courant en excès pour la cellule ombrée [38].

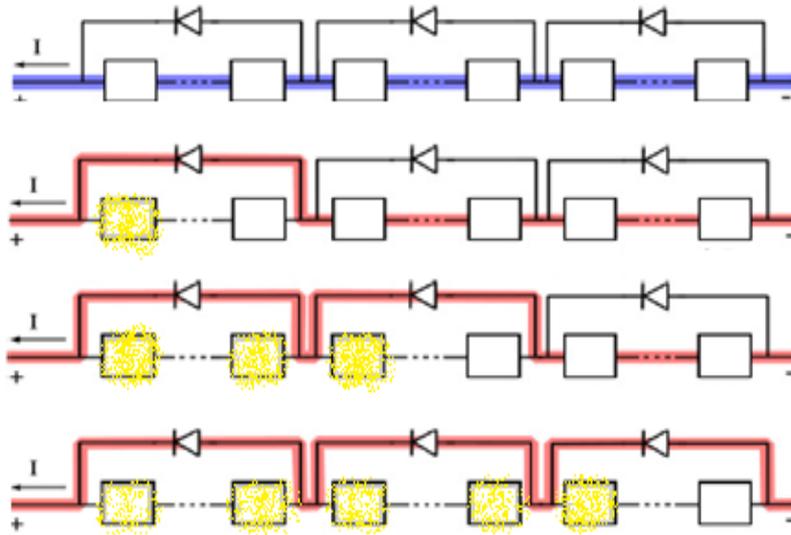


Figure II.10 : Écoulement du courant dans les cellules PV avec diodes de by-pass pour les cellules occultées.

Les « creux » présents sur la figure II.10 sont dus au fait qu'une ou plusieurs diodes de by-pass se mettent en conduction. Selon le pourcentage d'ombrage sur la cellule, la diode de by-pass se met en conduction à différents niveaux de courant de fonctionnement. Il est à remarquer également que la perte en tension est en fonction du nombre de diodes de by-pass en conduction.

b. Sur Boite A Jonction

Le vent de sable peut avoir des effets indésirables sur la boîte à jonction, il peut altérer la fonction des diodes antiparallèles. Ses effets sont :

- Oxydation des visseries,
- Court-circuit du circuit électrique,
- Corrosion des connexions.

c. Sur Le Batterie

La corrosion électrochimique peut apparaître à la jonction de deux métaux en présence de la poussière. La corrosion va lentement détruire le métal au plus faible potentiel électrochimique. Pour que ce phénomène se produise, il faut :

- Un élément constitué de deux métaux différents,
- Une liaison électrique entre ces deux métaux,
- Un électrolyte pouvant entrer en contact avec les métaux et transporter les ions ; cet électrolyte peut être seulement en surface comme par exemple de la condensation.

La vitesse de la corrosion dépend de la nature de l'électrolyte : en atmosphère saline, la vitesse augmente considérablement. Il faut ainsi veiller sur les systèmes en milieu désertique en hiver. Le courant continu peut s'ajouter au courant galvanique et augmenter la vitesse de corrosion par un facteur 100 [34].

d. Sur Le Régulateur

Le régulateur ne doit pas être utilisé à l'extérieur, dans des caissons salés et dans des caissons où des mélanges gazeux légèrement inflammables peuvent se former. Dans le cas contraire, le régulateur n'assure plus sa fonction.

e. Sur l'Onduleur

Bien que l'onduleur soit muni d'un boîtier qui le protège contre toute agression extérieure, les fines particules de sable peuvent s'infiltrer à l'intérieur de l'onduleur contaminant ainsi ses composantes électroniques et qui se manifestent par :

- L'Oxydation des boutons de commande et les visseries,
- Des faux contacts.

II.4 Conclusion

Il est bien clair que leurs conditions de fonctionnement sont extrêmement rigoureuses, ce qui fait des systèmes photovoltaïques un très vaste sujet pour l'étude des différents types de défaillance et mécanismes des dégradations.

Chapitre III

Présentation du cas expérimental

Présentation du cas expérimental

III.1 Introduction

L'homme cherche depuis longtemps les procédures pour mettre à profit l'énergie diffusée depuis le soleil. Par conséquent, plusieurs découvertes et innovations réalisées au cours de l'histoire de ce domaine.

Dans ce chapitre, un mini-système photovoltaïque adapté aux sites isolés est exposé, analysé et pris comme référence pour notre étude actuelle. Les valeurs obtenues pendant deux jours de son fonctionnement sont prises comme échantillonnage pour notre manipulation suivante.

III.2 Les différents composants d'un système solaire photovoltaïque

La figure III.1 représente les composants principaux nécessaires pour une simple installation photovoltaïque destinée aux sites isolés (non raccordée au réseau public).

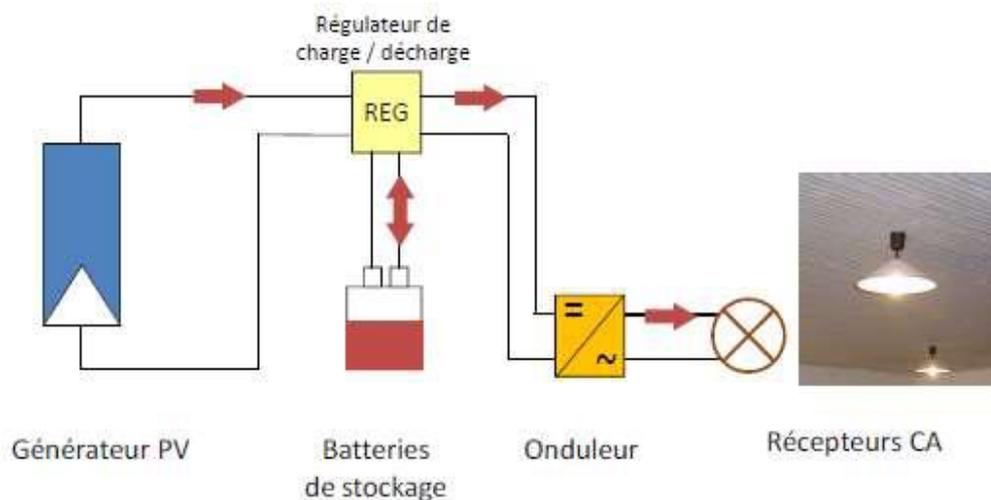


Figure III.1: les différents composants d'une installation photovoltaïque. [39]

III.2.1 Batteries

Le stockage d'énergie dans les systèmes photovoltaïques s'effectue exclusivement à l'aide des batteries d'accumulateurs. Dans un système photovoltaïque, la batterie remplit trois fonctions importantes [39] :

- **Autonomie**

Une batterie permet de répondre aux besoins de la charge en tout temps, même la nuit ou par temps nuageux.

- **Courant de surcharge**

Une batterie permet de fournir un courant de surcharge pendant quelques instants, c'est-à-dire un courant plus élevé que celui que peut fournir le champ PV.

Ceci est nécessaire pour faire démarrer les moteurs et les autres appareils requérant un courant de démarrage de 3 à 5 fois supérieur au courant d'utilisation.

- **Stabilisation de la tension**

Une batterie permet de fournir une tension constante, en éliminant les écarts de tension du champ PV et en permettant aux appareils un fonctionnement à une tension optimisée.

- a. Les différents types de batteries**

Les principaux types de batteries couramment utilisés sont [40] :

- **Batteries au plomb**

Les batteries au plomb fermées avec un électrolyte gélifié. Elles ont l'avantage d'être sans entretien, facilement manipulable (pas de fuite) avec une stabilité parfaitement contrôlée par le fabricant. Elles ont les inconvénients d'être plus chères et d'avoir une durée de vie plus courte. Elles fournissent en général environ 400 cycles à 80 % de décharge.

- **Batteries au nickel**

Les NiMH ont une grande densité énergétique et peuvent être complètement déchargées sans porter préjudice à leur durée de vie. Elles ont l'inconvénient d'être de faible capacité

Elles fournissent en général entre 500 et 700 cycles à 80 % de décharge.

- **Batteries au Lithium**

Elles sont réservées aux systèmes photovoltaïques portables où leur grande capacité de décharge (six fois mieux que le plomb étanche) est leur grand intérêt.

Leur prix est encore prohibitif mais elles fournissent en général, environ 1 300 cycles à 100 % de décharge.

Batteries Li-ions



Batterie NIMH



Batterie au plomb fermé



Figure III.2 : Les différents types de batteries. [40]

b. Association de batteries

On associe des batteries en série pour obtenir des tensions multiples de (12 V ,24 V et 48V) et en parallèle pour augmenter la capacité. [39]

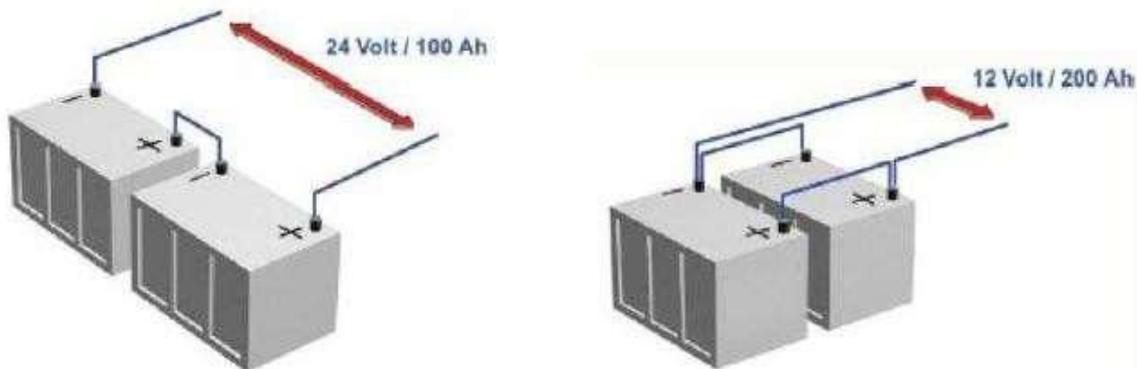


Figure III.3 : Association de deux batteries en série / en parallèle. [39]

III.2.2 Contrôleur de charge

Le régulateur de charge assure plusieurs fonctions [41] :

- Régulation de la charge de la batterie par limitation de la tension pour éviter les surcharges.
- Limitation de la décharge par délestage de l'utilisation, pour éviter les décharges trop profondes risquant d'endommager la batterie.
- Contrôle du fonctionnement du système par voyant ou affichage LCD.

Il doit être installé au plus près de la batterie pour limiter la longueur des câbles et donc les pertes d'énergies. Il est préférable de choisir un emplacement hors gel, au sec et ventilé.

i. Choix et compatibilité

Le régulateur de charge doit être compatible avec les panneaux solaires et la batterie.

- Pour ou les batteries

Il suffit de connaître la tension du parc complet, 12V, 24V, 36V ou 48V

- Pour les panneaux PV

Avec un régulateur classique type "PWM", la tension panneau doit être la même que celle de la batterie. Dans le cas d'une batterie 12V, on doit avoir un panneau 12V ou plusieurs mais branchés en parallèle pour ne pas modifier la tension. On ne pourra pas utiliser un panneau 24V ou deux panneaux 12V branchés en série qui donnerais du 24V. [42]



Figure III.4 : Régulateur Steca standard. [40]

Il est important pour ce type de régulateur de choisir correctement ses panneaux solaires, ils doivent permettre la charge complète des batteries. Il est clair qu'un panneau pouvant délivrer au maximum 10 Volts ne pourra charger une batterie de 12 Volts. Nous vous recommandons de faire les associations suivantes :

- Pour une batterie 12V → " ≈ 21 Voc (36 Cellules)"
- Pour une batterie 24V → " ≈ 42 Voc (72 Cellules)"
- Pour une batterie 48V → " ≈ 84 Voc (144 Cellules)"

Avec un régulateur MPPT, la tension panneau doit être supérieure à celle de la batterie pour qu'il fonctionne correctement. Dans le cas d'une batterie 24 V, on ne peut pas utiliser un panneau 12V, il faudra au minimum un panneau 24V, deux panneaux 12V branchés en série ou un panneau avec un plus grand nombre de cellules (54 ou 60 par exemple). Pour une batterie 24V, c'est un peu différent, le minimum sera un panneau 24V soit 72 cellules. [42]



Figure III.5 : Régulateur MPPT Blue Solar [39]

Grâce à une plage de tension plus large, le choix des modules est moins restrictif. Les régulateurs de charge MPPT utilisent la technologie MPPT (« Maximum Power Point Tracking » signifiant « recherche du point de puissance maximale »), dont le principe consiste à optimiser le rendement du ou des panneaux solaires permettant ainsi d'augmenter le rendement de vos panneaux solaires de plus de 30% en comparaison avec un régulateur conventionnel. [39]

III.2.3 Onduleur/Chargeur, Chargeur, Onduleur

Les onduleurs photovoltaïques sont incontournables pour un raccordement réseau des panneaux solaires photovoltaïques. Ils permettent d'adapter le courant continu sortant du générateur photovoltaïque en un courant alternatif injectable dans le réseau public. Mais ils jouent aussi un rôle dans le rendement du système photovoltaïque. L'optimisation de la production d'une installation passe par un choix adapté du type d'onduleurs et de leur dimensionnement. [40]

Sinusoïdale, quasi sinusoïdale : Mention utilisée sur les onduleurs pour qualifier la qualité du signal en sortie. Un onduleur sinusoïdal vous fournira un signal plus propre qu'un onduleur quasi sinusoïdal. Les onduleurs sinusoïdaux sont conseillés pour l'alimentation d'appareils sensible (électronique...) [40].

a. Onduleur/Chargeur

Il convertit l'énergie continue de vos batteries (12/24/48 V DC) en énergie alternative (230 V AC).

L'onduleur est généralement associé à un redresseur qui réalise la transformation du courant alternatif en courant continu et dont le rôle sera de charger les batteries et d'alimenter le circuit en continu de l'installation en cas de longue période sans soleil. [44]

Idéal pour les sites isolés, il permet de recharger les batteries ponctuellement via une source tierce comme un groupe électrogène.

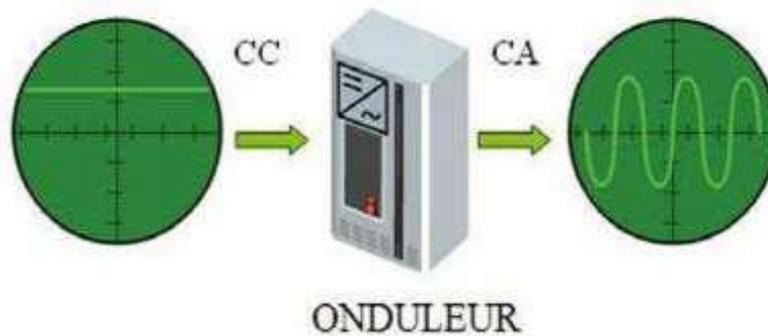


Figure III.6 : Rôle de l'onduleur. [44]

b. Critère de choix d'un onduleur

Avant de faire le choix d'un onduleur, Il faut s'assurer que [40] :

- L'onduleur peut démarrer le récepteur (seul un essai est vraiment relevant)
- Son rendement est suffisant au point de fonctionnement de la charge ;
- La charge tolère la distorsion de l'onduleur (forme de l'onde) ;
- Les variations de la tension de sortie sont acceptées par la charge (récepteur)

L'onduleur protège contre la surcharge ;

- L'onduleur coupe l'alimentation de l'utilisateur en cas de basse tension (protection de la batterie).

III.2.4 Générateur photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque peut être composé d'un seul module PV ou de plusieurs, reliés entre eux soit en série ou bien en parallèle selon les besoins énergétiques du système PV, formant ainsi ce qu'on appelle un panneau PV. Il peut être aussi composé de plusieurs panneaux ou de tout un champ PV, cela dépend de la taille des charges alimentées. Ainsi, pour N_s cellules en série, constituant des branches elles-mêmes N_p en parallèle. La puissance disponible en sortie du générateur PV est donnée par :

$$P_{pv} = N_s \cdot V_{pv} \cdot I_{pv} \cdot N_p \quad (\text{III-1})$$

Avec :

P_{pv} : La puissance disponible en sortie du GPV

V_{pv} : La tension à la sortie du GPV

I_{pv} : Le courant de sortie du GPV

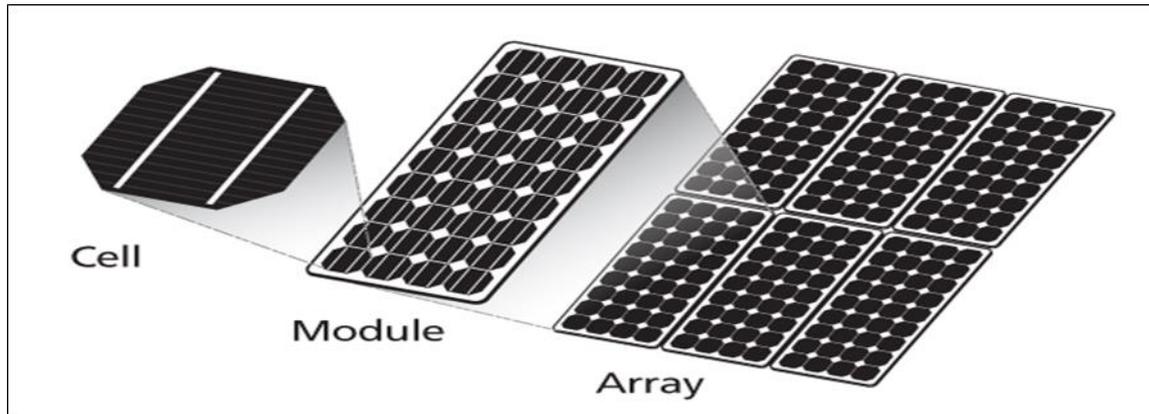


Figure III.7 : Le générateur PV (cellule, module, panneau). [43]

Une cellule solaire est l'élément le plus élémentaire d'un système photovoltaïque. Les cellules sont trop petites pour faire beaucoup de travail. Ils ne produisent qu'environ 0,5 V et le système nécessite généralement 12 V ou plus pour charger les batteries ou faire fonctionner les charges. Un module typique est un groupe de cellules PV connectées en série et encapsulées. [43]

Le but principal de l'encapsulation d'un ensemble de cellules solaires connectées électriquement est de les protéger, ainsi que leurs fils d'interconnexion, de l'environnement généralement difficile dans lequel elles sont utilisées. Les modules commerciaux se composent généralement de 36 ou 72 cellules. Pour les exigences de haute tension, les modules sont connectés en série, mais pour des besoins de courant élevés, ils sont connectés en parallèle. Les exigences de puissance élevées nécessitent des connexions en série et en parallèle. Une telle combinaison de modules est appelée un générateur photovoltaïque. [43]

III.3 Modélisation du générateur PV

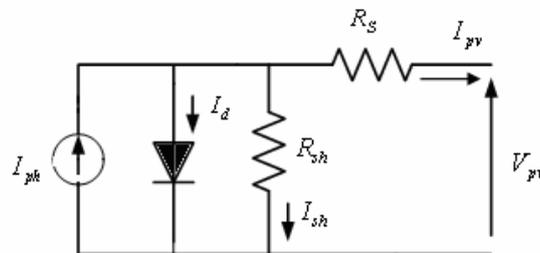


Figure III.8 : circuit équivalent du modèle à une seule diode. [43]

Donc on a :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (\text{III-2})$$

$$I_{sh} = \frac{V+R_s I}{R_{sh}} \quad \text{Et} \quad I_d = I_0 \cdot \left(\exp\left(\frac{V+I R_s}{V_t}\right) - 1 \right) \quad (\text{III-3})$$

L'équation caractéristique qui relie le courant et la tension de sortie aux paramètres de la cellule solaire est donnée par :

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp\left[\frac{q(V+I R_s)}{nKT}\right] - 1 \right\} - \frac{V+I R_s}{R_{SH}} \quad (\text{III-4})$$

Où :

I_d : Le courant aux bornes de la diode.

I_{sh} : Le courant aux bornes de la résistance shunt.

I : Courant de sortie (A).

I_{ph} : Courant généré par la lumière (A).

I_0 : Courant de saturation inverse de la diode (sombre) (A).

V : Tension aux bornes de sortie (V).

n : Facteur d'idéalité de la diode (1 pour une diode idéale).

q : Charge élémentaire (charge d'électron= $1,602 \cdot 10^{-19}$ C).

K : Constante de Boltzmann ($1,381 \cdot 10^{-23}$ joule/Kelvin).

T : Température absolue à 25 ° C.

R_{SH} : Résistance shunt (Ω).

R_s : Résistance en série (Ω).

III.4 Paramètres de la cellule solaire

Les principaux paramètres utilisés pour caractériser les performances des cellules solaires sont la puissance de crête P_{max} , le courant de court-circuit I_{sc} , la tension de circuit ouvert V_{oc} et le facteur de remplissage FF. La tension, le courant et la puissance de la cellule au point de puissance maximum sont respectivement V_{MPP} , I_{MPP} et P_{MPP} . [46]

- Courant de court-circuit (I_{sc})

Le courant de court-circuit I_{sc} est le courant qui traverse le circuit externe lorsque les électrodes de la cellule solaire sont court-circuitées. C'est le courant maximum possible dans le circuit. [46] L'équation du courant de court-circuit est directement proportionnelle à la lumière solaire disponible :

$$I_{SC} = qg(L_n + L_p) = I_{ph} \quad (\text{III-5})$$

Où :

g : le taux de génération.

L_n : Les longueurs de diffusion d'électrons (cm).

L_p : Les longueurs de diffusion des trous (cm).

- Tension en circuit ouvert (V_{oc})

La tension en circuit ouvert est la tension à laquelle aucun courant ne traverse le circuit externe. C'est la tension maximale. En d'autres termes, la tension en circuit ouvert représente la valeur de tension maximale possible, qui se produit lorsqu'une charge à haute impédance est connectée au circuit ou en cas de non-charge. [46]

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0}\right) \quad (\text{III-6})$$

Où :

T : température en Kelvin ($T_c \text{ } ^\circ + 273$)

- Point de puissance maximale (MPP)

Dans le cas d'un court-circuit ou d'un point de fonctionnement en circuit ouvert, aucune puissance n'est générée. En conséquence, le point de fonctionnement doit tomber dans la plage de la puissance de sortie maximale de la cellule PV. Ce point de fonctionnement est déterminé en choisissant la valeur correcte de la charge connectée. [46]

La puissance de sortie maximale est définie comme le produit de la tension et du courant au MPP :

$$P_{max} = V_{MPP} \times I_{MPP} \quad (\text{III-7})$$

Où V_{MPP} et I_{MPP} sont des valeurs de tension et de courant qui donnent la puissance de fonctionnement maximale

- Facteur de remplissage (FF)

Le facteur de remplissage (FF) est un indicateur de la qualité de la cellule PV. C'est le rapport entre la puissance maximale ($P_{max} = I_{mpp} \cdot V_{mpp}$) générée par une cellule solaire et le produit de V_{oc} avec I_{sc} . La valeur maximale du facteur de remplissage est théoriquement l'unité. La valeur pratique maximale du silicium est de 0,88. [46]

$$FF = \frac{P_{max.practical}}{P_{max.theoretical}} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (\text{III-8})$$

- Courbes I-V et P-V d'un appareil PV

Une courbe courant-tension (I-V) montre les combinaisons possibles de courant et de tension de sortie d'un appareil photovoltaïque. La courbe I-V est basée sur le fait que l'appareil est dans les conditions de test standard (1 kW/m², AM 1,5, température de cellule 25 ° C).

Les principaux points des caractéristiques de la courbe I-V sont le courant de court-circuit (I_{sc}), la tension en circuit ouvert (V_{oc}) et il y a un point sur le genou de la courbe où se trouve la puissance de sortie maximale. La courbe puissance-tension (P-V) est le produit du courant et de la tension pour chaque point de la courbe I-V. Ce produit représente la puissance de sortie pour cette condition de fonctionnement. Le MPP produit par le générateur PV est atteint à un point de la caractéristique où le produit I-V est maximum (voir Figure III.9). [47]

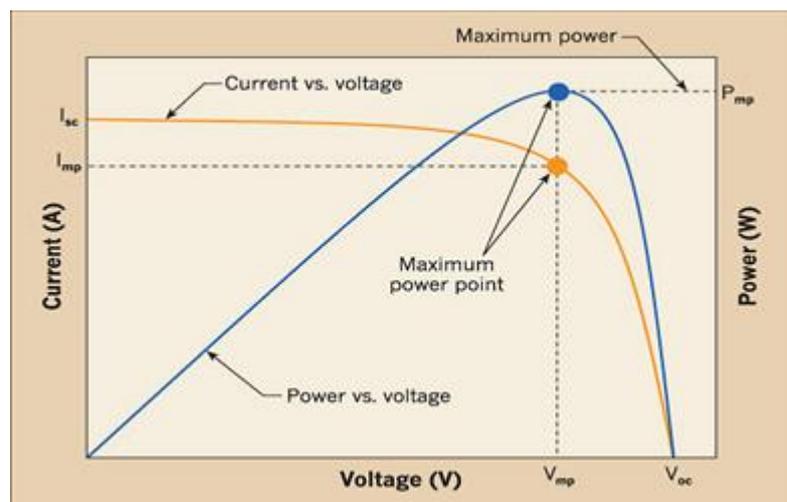


Figure III.9 Courbes I-V et P-V d'un appareil PV. [47]

III.5 Présentation du cas expérimental

En raison des conditions désastreuses causées par l'épidémie du covid19 et les problèmes liés au confinement récemment, nous avons rencontré de nombreuses difficultés lors de la recherche d'un sujet pour notre mémoire de fin d'études, jusqu'à ce que nous ayons eu la chance de rencontrer un professeur de l'université de Boumerdes. Ce dernier a accepté de nous aider en nous fournissant un échantillonnage d'informations et de données empiriques obtenues lors d'une étude estimatoire qu'il a menée pour son article intitulé de « estimation de la conversion de l'énergie photovoltaïque en utilisant la méthode de la distribution mixte de Weibull ». [51]

De ce fait, notre étude est basée sur l'analyse et l'exploitation des données mesurées (température, irradiation, tension, courant et puissance) de deux journées différentes du mois de Mai, une journée ensoleillée et l'autre nuageuse (respectivement le 15 mai 2019 et le 21 mai 2019). Les valeurs de température et d'irradiation sont mesurées simultanément avec les valeurs de courant et de tension toutes les cinq minutes du matin (7h00) au soir (17h00) durant les deux journées (annexes 1 et 2).

Les données sont obtenues sur un petit système PV qui peut être illustré par le schéma suivant :

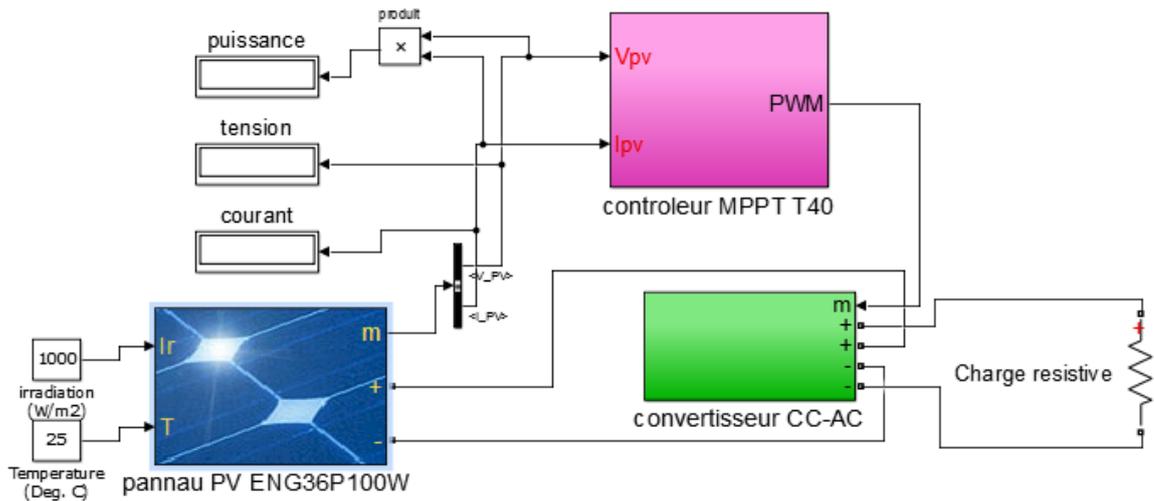


Figure III.10 Schéma du dispositif expérimental sur Matlab simulink.

Le schéma illustrée par la figure III.10 représente le dispositif expérimental à étudier, il se compose d'un panneau photovoltaïque, un contrôleur de charge MPPT T40, un onduleur monophasé, et une charge résistive (8 lampes).

Le panneau PV composé de quatre modules de la désignation ENG36P100W est utilisé dans la mise en œuvre, qui est fait de 36 cellules monocristallines connecté en séries. Le Tableau (1) de la fiche technique représente les caractéristiques du module PV sous les conditions de test standard (STC).

TYPE	ENG	80M	85M	90M	95M	100M
Puissance au point de puissance maximale P_{max}	[W]	80	85	90	95	100
Tension au point de puissance maximale U_{mpp}	[V]	17.50	18.00	18.30	18.60	18.90
Courant au point de puissance maximale I_{mpp}	[A]	4.58	4.73	4.92	5.11	5.30
Tension à vide U_{oc}	[V]	21.80	22.00	22.20	22.40	22.60
Courant de court-circuit I_{sc}	[A]	5.06	5.17	5.29	5.41	5.53
Tolérance de puissance	[%]	0-3	0-3	0-3	0-3	0-3
Tension maximale	IEC EN:1000V / UL: 600V / UL:1000V					
Rendement du module	[%]	12.36 %	13.13%	13.91%	14.68%	15.45%

STC* (Standard Test Conditions): Ensoleillement 1000 w/m², Température 25 C, Air Mass 1.5

Tableau III.1 : Caractéristiques du module PV 100W aux STC

Depuis le maximum, la tension de chaque module est de 18,9 V, elle doit être augmentée pour dépasser 24 volts à l'entrée du MPPT. Pour ce faire, chaque deux module PV sont connectés en série, puis les deux chaînes en parallèle comme le montre la figure suivante.

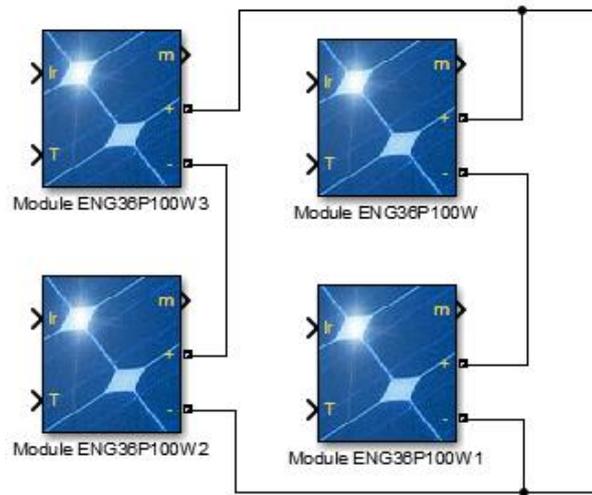


Figure III.11 : Branchement des modules PV entre eux.

Le générateur PV est connecté au contrôleur de charges MPPT et au convertisseur monophasé en même temps, ce dernier convertit la tension continue en alternative pour alimenter une charge de 8 lampes.

- **Système d'acquisition des données**

Le système d'acquisition de données sert à mesurer l'irradiation, température, courant et tension, puis les envoyer en traitement. Le système se compose de deux circuits : le premier est fixé sur le générateur photovoltaïque pour mesurer l'irradiation et la température à l'aide d'une photodiode et d'un capteur thermique IC (LM 35), puis il les envoie au circuit principal. Ce dernier est composé de deux multimètres connectés aux bornes du générateur PV pour mesurer le courant et la tension de sortie. [51]

- **Analyse et discussion des données mesurées**

Les valeurs réelles de température, irradiation, tension, courant et puissance obtenues du dispositif expérimental au cours des deux journées sont représentées sous forme de courbes en fonction du temps, illustrées par les figures ci-dessous.

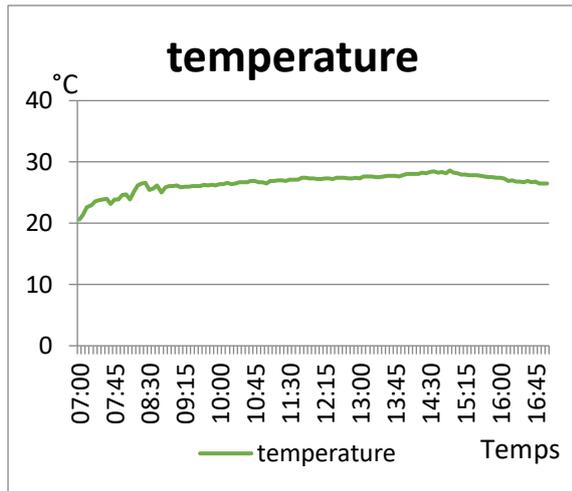


Figure III.12 Température mesurée durant la journée ensoleillée.

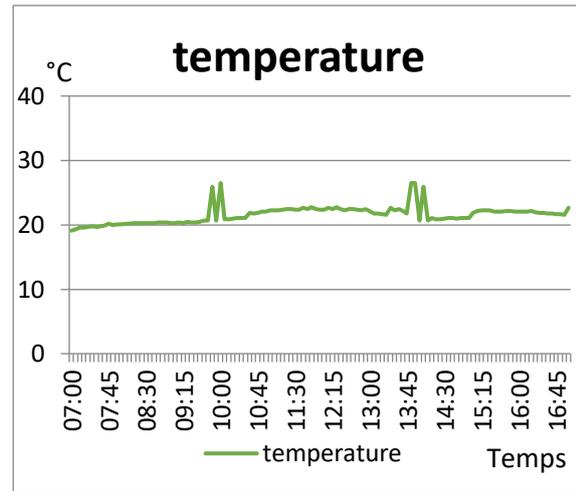


Figure III.13 Température mesurée durant la journée nuageuse.

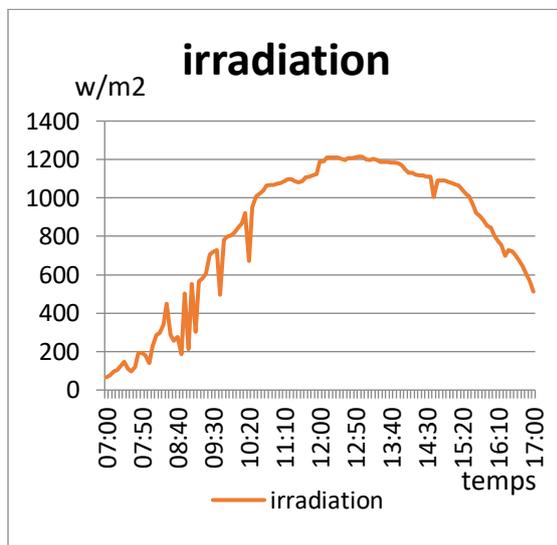


Figure III.14 Irradiation mesurée durant la journée ensoleillée

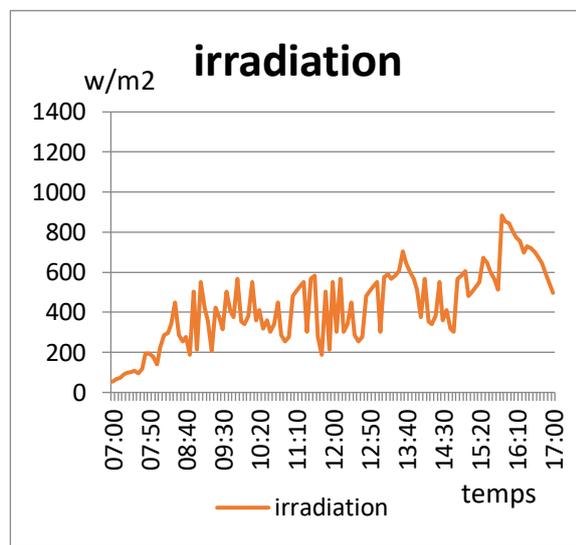


Figure III.15 Irradiation mesurée durant la journée nuageuse

D'après les figures III.12 et III.13, la température mesurée est approximativement stable avec des petites variations dans les premières heures de la journée ensoleillée. Cependant, la journée nuageuse montre un comportement instable qui est dû aux changements climatiques durant cette journée. Cependant, sa variation reste négligeable.

Les figures III.14 et III.15 montrent la variation de l'irradiation en cours de la journée. Durant la journée ensoleillée, elle varie pour atteindre un pic de 1200 W/m^2 . Par contre durant la journée nuageuse, le profil de l'irradiation montre plusieurs perturbations dues aux changements climatiques. Sa valeur varie entre 20.6 et 850 W/m^2 .

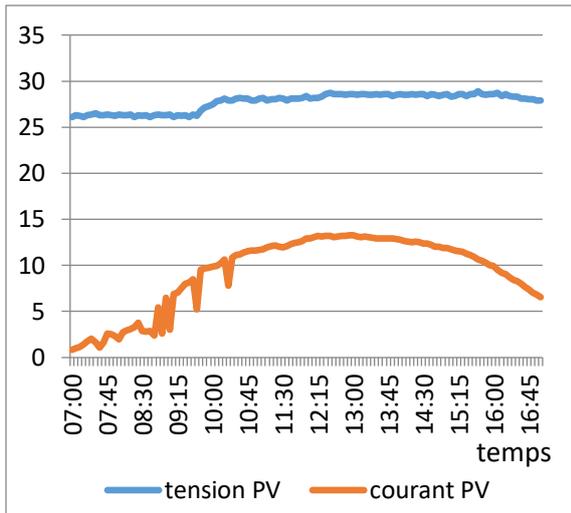


Figure III.16 Tension et courant obtenues durant la journée ensoleillé

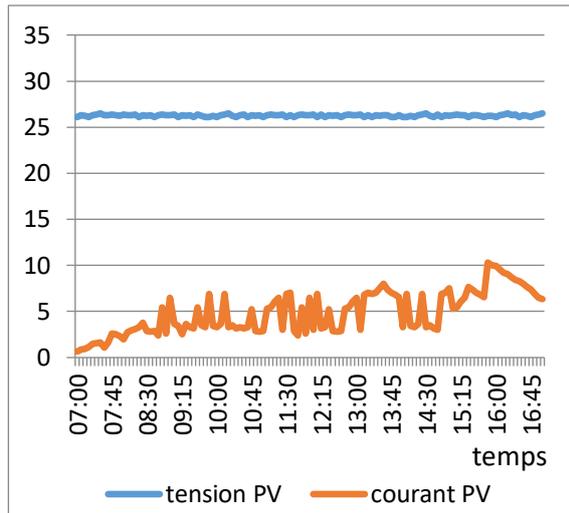


Figure III .17 Tension et courant obtenues durant la journée nuageuse

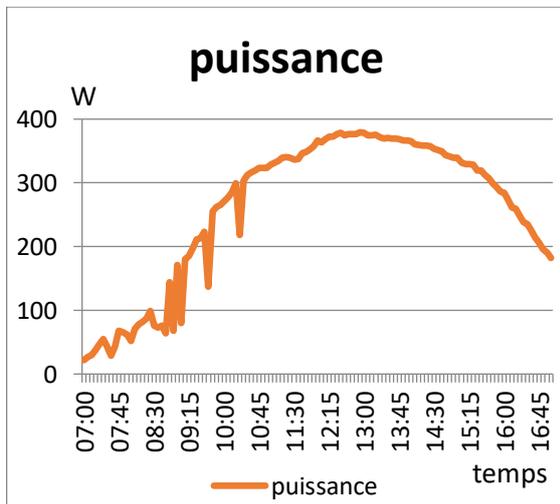


Figure III.18 Puissance obtenue durant la journée ensoleillée.

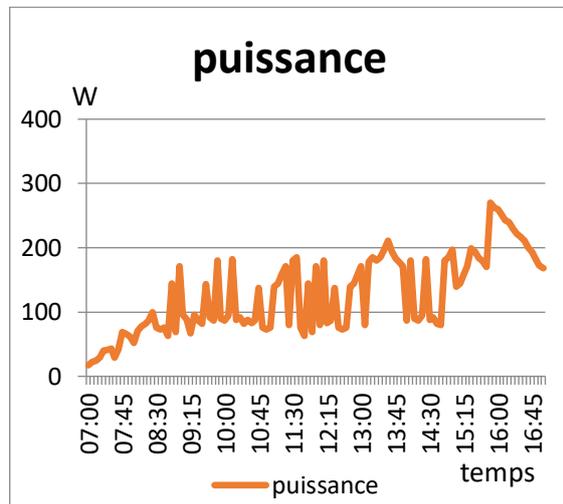


Figure III.19 Puissance obtenue durant la journée nuageuse.

Les figures III.16 III.17 III.18 et III.19, montrent les profils de courant-tension et de la puissance. On peut remarquer que le profile de la puissance suit celui de l'irradiation. Comme la tension générée par le générateur PV est constante, on déduit que la variation de la puissance générée par le GPV est due principalement à la variation du courant. Ceci étant valable pour la journée ensoleillée et la journée nuageuse.

III.6 Conclusion

L'électricité est omniprésente dans notre quotidien, partout dans les coins de nos structures. Les méthodes de production sont diverses et l'énergie électrique nous est indispensable pour bien mener notre vie de tous les jours et maintenir la production industrielle.

Dans ce chapitre, on a présenté de façon générale l'utilisation des petits systèmes PV adaptés aux sites isolés, puis on a orienté notre étude sur les paramètres du générateur PV sur lequel nos études sont basées. Et enfin, nous avons présenté le circuit expérimental sur lequel on a pris l'échantillonnage à étudier pour entamer la simulation dans le chapitre suivant là où se situe notre étude principale.

Chapitre IV

Simulation de la commande

MPPT flou

IV.1 Introduction

Des lois de commandes spécifiques existent pour amener des dispositifs à fonctionner à des points maximums de leurs caractéristiques sans qu'a priori ces points soient connus à l'avance, ni sans que l'on sache au quel moment ils ont été modifiés, ni qu'elles sont les raisons de ce changement. Pour le cas de sources énergétiques, cela se traduit par des points de puissance maximum. Ce type de commande est souvent nommé dans la littérature « Recherche du Point de Puissance Maximum » ou bien « Maximum Power Point Tracking » en anglo-saxon (MPPT). [48]

Dans cette partie, en utilisant le logiciel MATLAB SIMULINK. Nous allons simuler le générateur PV présenté dans le dispositif expérimental étudié en introduisant comme entrées les valeurs expérimentales de température et d'irradiation prises comme échantillons dans le chapitre précédant. Mais cette fois-ci, nous allons utiliser une commande MPPT Flou (dans la littérature anglo-saxonne Fuzzy Logic Control) à la place du régulateur MPPT industriel, pour arriver ensuite à analyser le fonctionnement du GPV dans les deux cas différents.

IV.2 Structure générale du système FLC

En commande floue, l'objectif est de construire une loi de commande à partir d'une description linguistique du comportement du système par une base de règles floues.

Chaque système basé sur la logique floue est composé de quatre blocs principaux, comme le montre la figure IV.5.

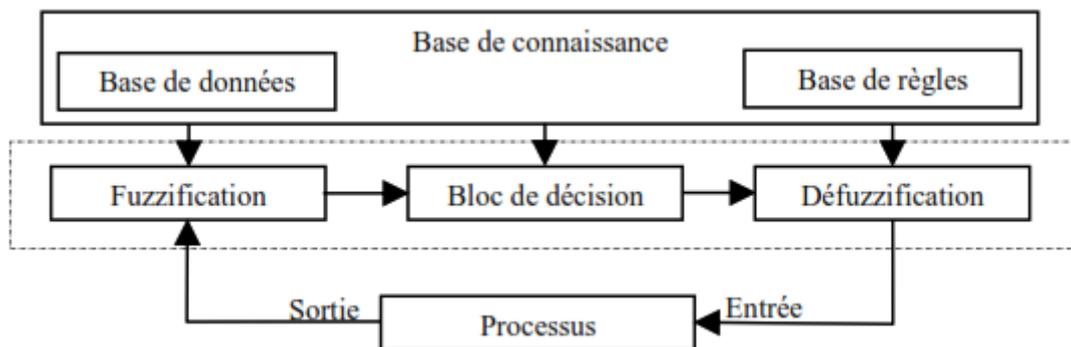


Figure IV.1 : Structure générale d'un système basé sur la logique floue.

Avec :

- Base de connaissance : règles et paramètres des fonctions d'appartenance ;
- Bloc de décision ou le moteur d'inférence : inférence des opérations sur les règles ;
- Fuzzification : transformation des entrées précises en degrés d'appartenance ;
- Défuzzification : transformation des résultats flous en sorties précises.

Simulation de la commande MPPT flou

IV.3 Fonction d'appartenance

Un ensemble flou est défini par sa fonction d'appartenance qui correspond à la notion de fonction caractéristique en logique classique, elle permet de mesurer le degré d'appartenance d'un élément à l'ensemble flou. En toute généralité, une fonction d'appartenance d'un ensemble flou est désignée par $\mu(x)$. L'argument x se rapporte à la variable caractérisée, alors que l'indice A indique l'ensemble concerné [49].

Les fonctions d'appartenance peuvent avoir différentes formes comme le montre la figure IV.2 :

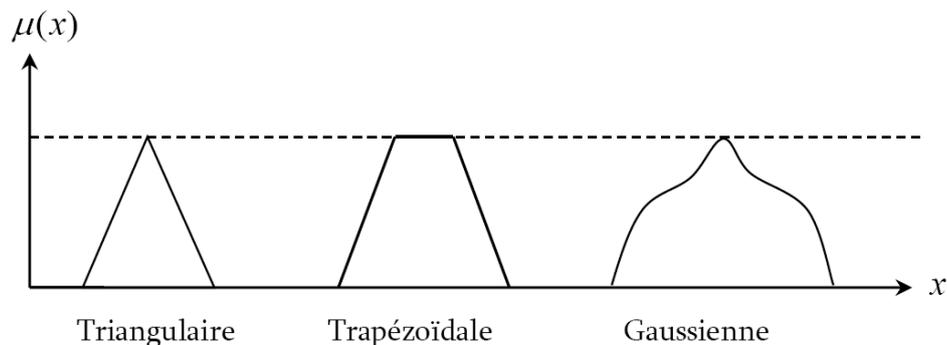


Figure IV.2 : Exemples de formes des fonctions d'appartenance.

En général, la commande logique floue comprend donc trois étapes communément nommées dans la littérature :

- La fuzzification,
- La lecture de la table de vérité,
- La défuzzification

IV.3.1 La fuzzification

Durant la fuzzification, les variables d'entrées numériques sont converties en variable linguistique pouvant définir les sept ensembles suivants :

- Très grand négatif (TGN)
- Grand négatif (GN)
- Petit négatif (PN)
- Zéro (Z)
- Petit positif (PP)
- Grand positif (GP)

- Très grand positif (TGP)

Pour les fonctions d'appartenance, on a choisi pour chaque variable les formes triangulaires et trapézoïdales comme le montre la figure IV.7 :

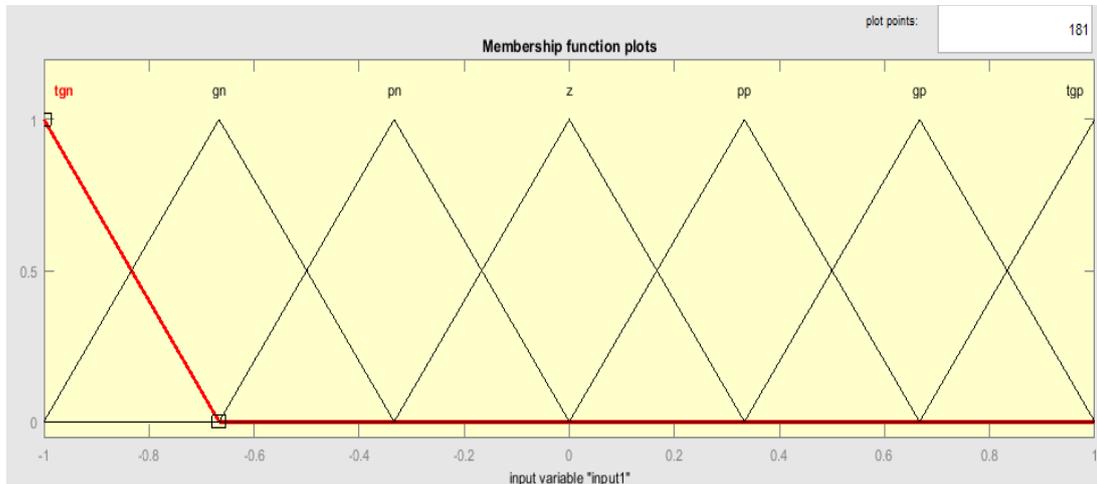


Figure IV.3 : fuzzification continue avec sept fonctions d'appartenance.

IV.3.2 Règles et interférences floues

e \ Δe	TGN	GN	PN	Z	PP	GP	TGP
TGN	TGN	TGN	TGN	TGN	GN	PN	Z
GN	TGN	TGN	TGN	GN	PN	Z	PP
PN	TGN	TGN	GN	PN	Z	PP	GP
Z	TGN	GN	PN	Z	PP	GP	TGP
PP	GN	PN	Z	PP	GP	TGP	TGP
GP	PN	Z	PP	GP	TGP	TGP	TGP
TGP	Z	PP	GP	TGP	TGP	TGP	TGP

Table IV.1 : tables de règles pour FLC.

La lecture de la table de vérité, ou étape d'établissement des règles d'inférence qui relie la sortie avec l'entrée.

Comme nous l'avons indiqué, il y'a sept ensembles flous, ce qui implique quarante-neuf combinaison possibles de ces entrées, d'où quarante-neuf règles qui sont du genre :

If (input 1 is TGN) and (input 2 is TGN) then (output 1 is TGN)

Les 49 règles peuvent être présentées dans une matrice dite matrice d'inférence montrée dans le tableau suivant :

La règle correspondante à la cellule en rouge du tableau est interprétée comme suit :

Si e est **Grand Positif** Et Δe est **Zéro** Alors ΔD est **Négatif Grand**

IV.3.3 La défuzzification

La défuzzification, consiste à convertir cette fois, une variable linguistique en variable numérique. Cette étape ne s'applique qu'à la variable de sortie ΔD , afin de pouvoir piloter le convertisseur de puissance pour atteindre le PPM. Il existe plusieurs méthodes pour réaliser conversion. La plus utilisé est la méthode du centre de gravité. Celle qu'on a utilisée dans notre travail.

Cette méthode donne généralement de meilleurs résultats malgré l'exigence d'une grande puissance de calcul. Elle consiste à prendre comme décision à la sortie l'abscisse X_{GR} du centre de gravité de la fonction d'appartenance résultante $\mu_{res}(Xr)$ Cette abscisse est déterminée par la relation suivante [50] :

$$X_{GR} = \frac{\int Xr \cdot \mu_{res}(Xr) dXr}{\int \mu_{res}(Xr) dXr} \quad (IV.1)$$

Donc, La défuzzification réalise la fonction inverse de la fuzzification, elle permet le passage du domaine symbolique au domaine numérique.

IV.4 La commande MPPT Flou

Le principe d'une commande floue se base sur deux variables d'entrées qui sont l'erreur E et le changement d'erreur ΔE et une variable de sortie ΔD (variation du rapport cyclique). La valeur de la variable de sortie, qui pilote le convertisseur statique pour rechercher le PPM, est déterminée à l'aide d'une table de vérité et de l'évolution des paramètres d'entrée.

IV.5 Simulation du contrôleur MPPT Flou

La commande MPPT illustrée dans la figure IV.4 est un contrôleur flou dont la structure interne est détaillée par les règles présentées précédemment.

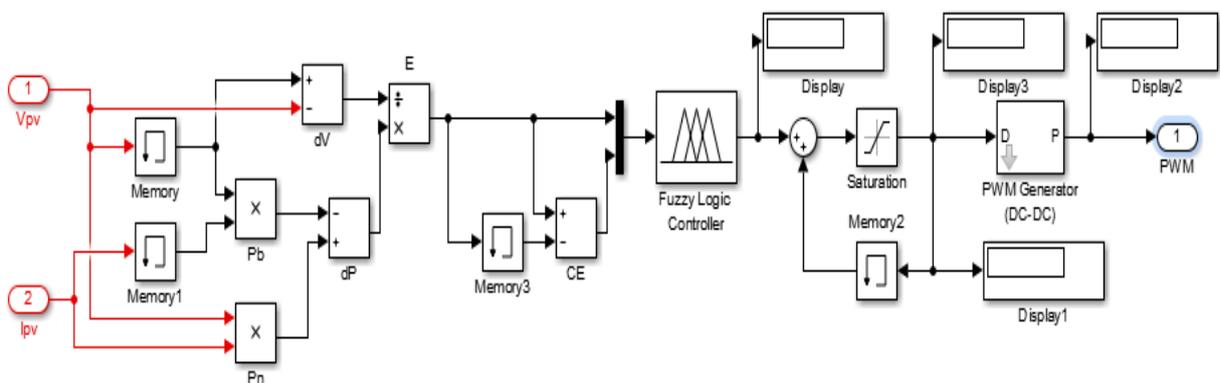


Figure IV.4 : Schéma de block de la commande MPPT flou.

IV.6 Simulation du système photovoltaïque a étudié

La Figure IV.1 donne le schéma block de notre system photovoltaïque étudié avec l'ensemble des étages simulés : GPV, converteur CC-AC et le contrôleur MPPT FLC.

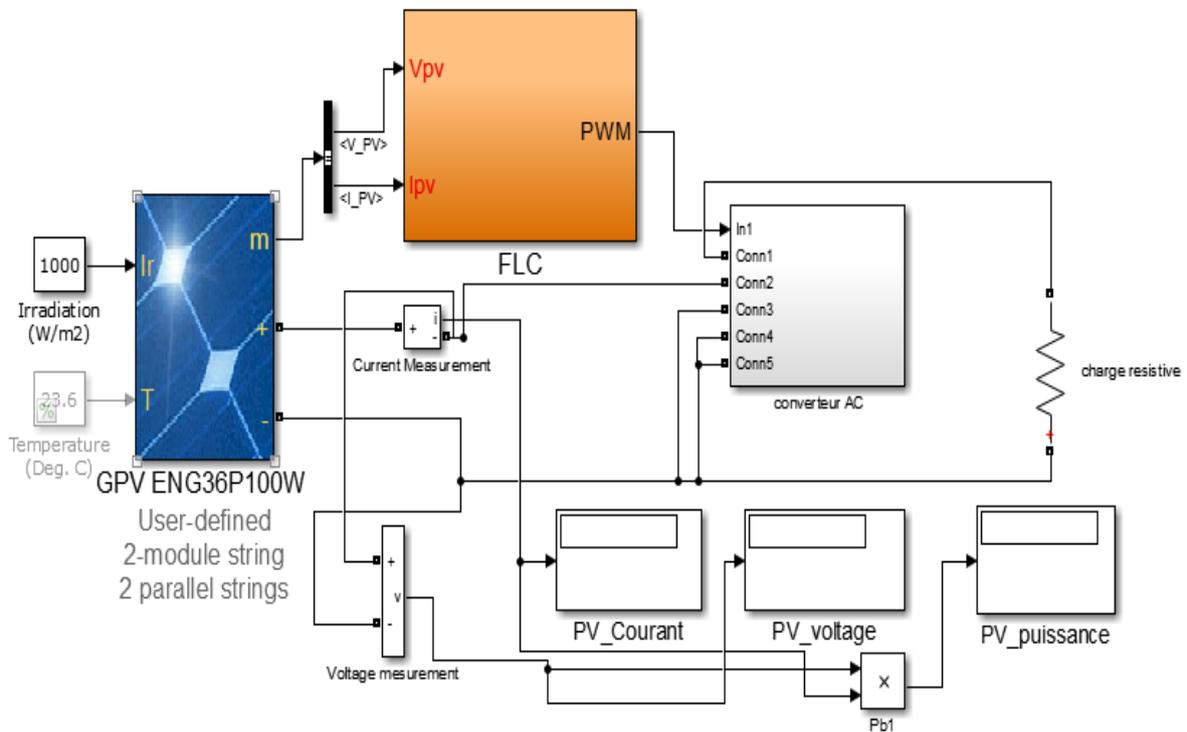


Figure IV.5 : schéma block du système PV sous simulink

Le schéma block illustrés par la figure IV.5 représente les mêmes éléments utilisés pour le dispositif expérimental, sauf qu'on a introduit une commande MPPT floue a la place du contrôleur MPPT T40 obtenu par la commercialisation. A fin d'effectuer notre étude de comparaison et d'optimisation.

Dans cette partie, sachant que notre travail dépend exclusivement des données et des résultats prises aux bornes du GPV, nous allons borner l'étude seulement autour des deux étages principaux du mini-système réalisé : le Générateur PV ENG36P100W et la commande FLC MPPT.

IV.7 Simulation du GPV

Pour simuler le comportement du générateur PV ENG36P100W, nous avons utilisé le logiciel Matlab/Simulink en sous Simulink du block PV Array comme le montre la figure IV.6 :

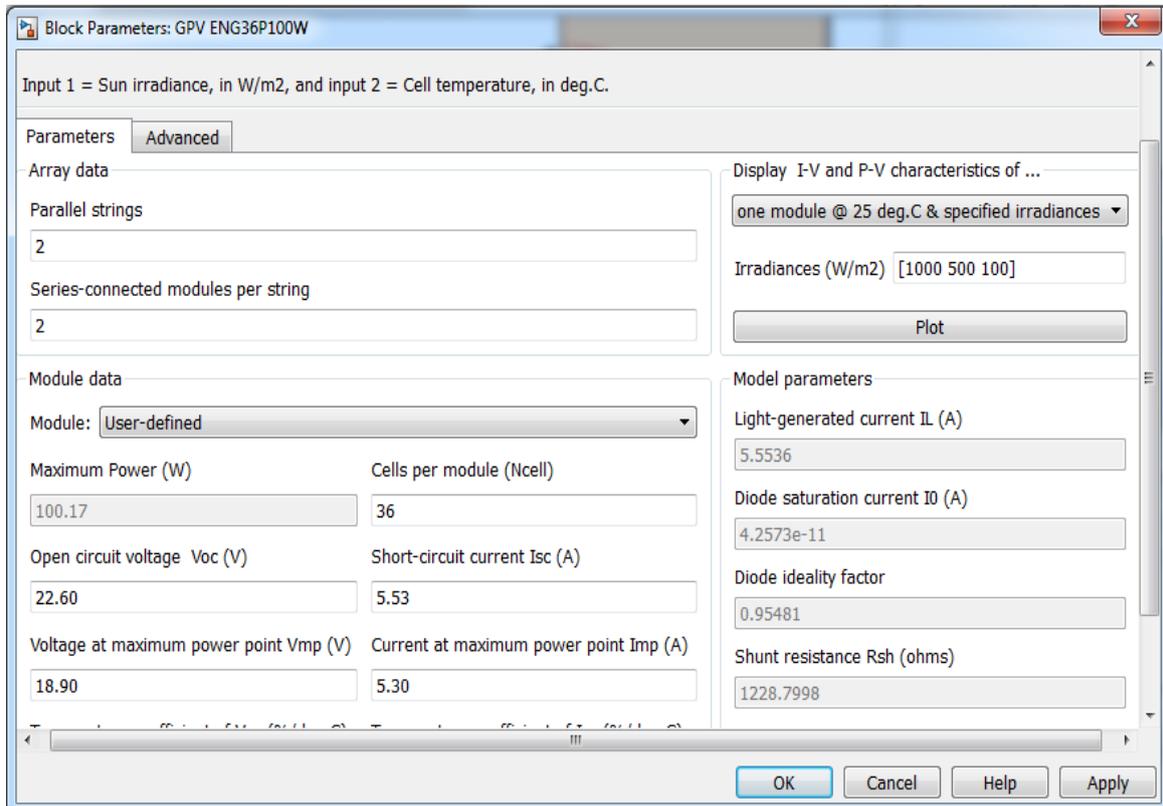


Figure IV.6 : block de paramètres du GPV ENG36P100W sous simulink.

A fin de réaliser notre étude de comparaison, nous avons introduit les paramètres de la fiche technique du générateur utilisé dans l'expérimental, en effectuant le même type de branchement des modules entre eux pour assurer les mêmes conditions de fonctionnement.

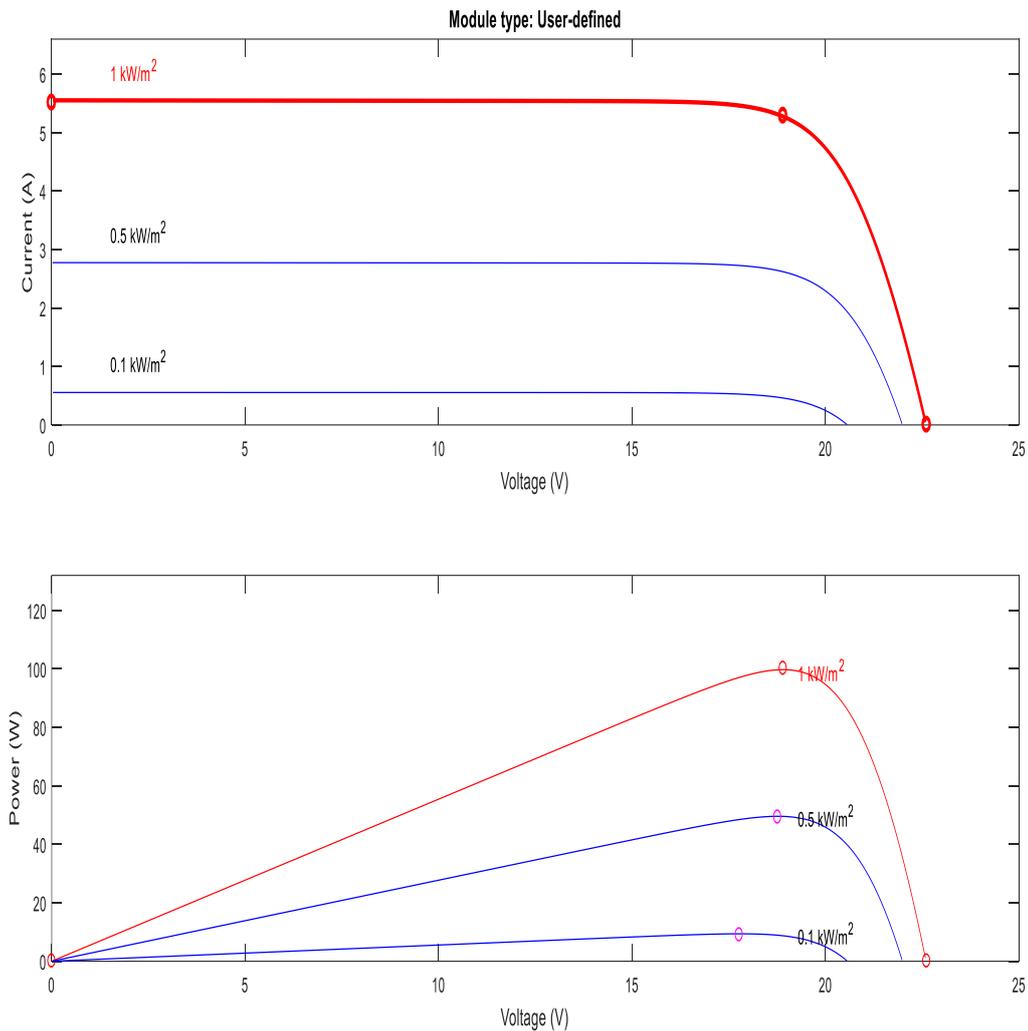


Figure IV.7 : caractéristiques I-V et P-V du GPV avec l'irradiation

[1000 500 100] (w/m2).

La Figure IV.7 représente les deux courbes caractéristiques du GPV ENG36P100W pour une irradiation variable [1000 500 100] W/m² et une température constante égale à 25°C.

Nous observons que la tension et la puissance fournie par le générateur photoélectrique est instable, Par conséquent, MPPT doit être utilisé pour tracer les valeurs maximales de la puissance.

IV.8 Résultats et discussions.

Nous avons procédé à la simulation de façon itérative de telle sorte que pour chaque entrée de température et d'irradiation, un échantillon des résultats obtenus aux bornes du GPV est affichés (figure IV.8) et enregistrée sous forme des tableaux d'Excel.

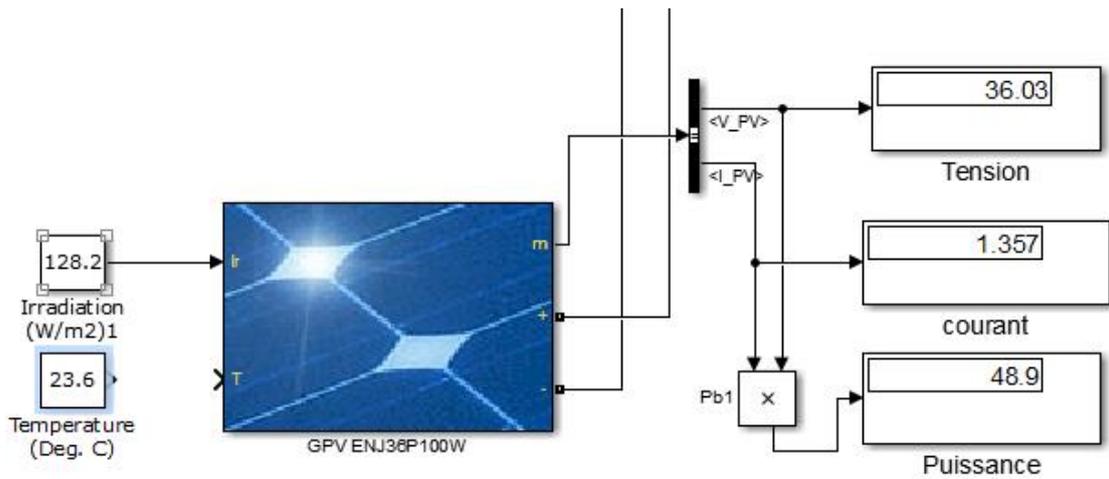


Figure IV.8 : Les valeurs numériques du courant, tension et puissance calculées.

La figure IV.8 représente l’affichage numérique des valeurs obtenues pour une seule itération, avec un temps de simulation de 2 s et un pas de l’ordre de 5×10^{-6} s.

Après la simulation du système en utilisant la commande MPPT floue, pour les mêmes conditions de variation d’irradiation et de température appliquées à la précédente commande. Les résultats obtenus sont exprimés sous forme de courbes illustrées dans les figures ci-dessous.

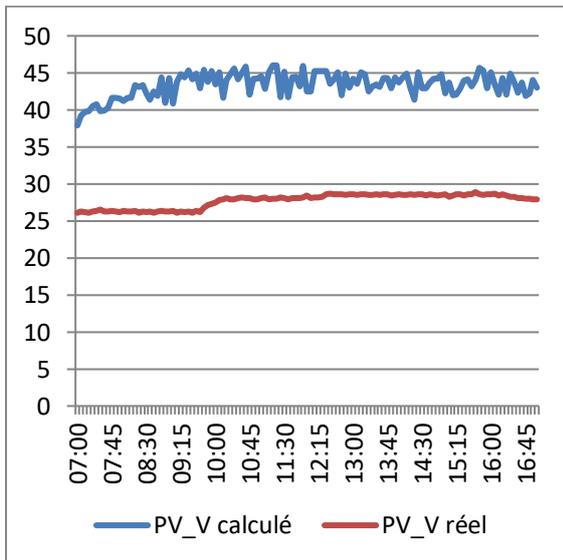


Figure IV.9 : Courbe de la tension obtenue et réelle durant la journée ensoleillée.

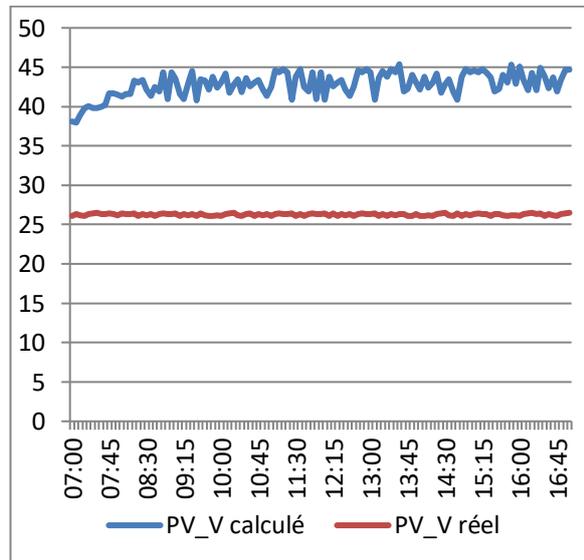


Figure IV.10 : Courbe de la tension obtenue et réelle durant la journée nuageuse.

Les figures IV.9 et IV.10 représentent à la fois le profil de la tension obtenues par la commande MPPT floue et celle du dispositif expérimental étudié. On remarque que la tension obtenue par simulation montre un comportement plus perturbé comparée à la tension réelle. Elle varie de 39 à 46 V, ceci est pareille pour les deux journées. Cependant, ce résultat montre une amélioration qui arrive jusqu'à 20V de plus par rapport à celle issue du dispositif expérimental.

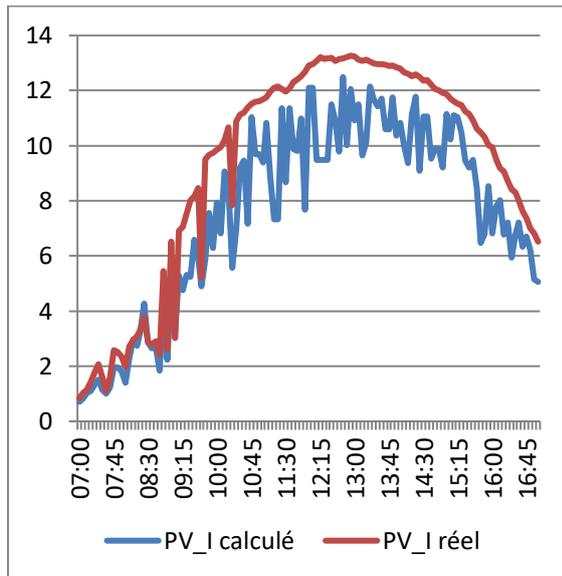


Figure IV.11 : courbe du courant obtenue et réel durant la journée ensoleillée.

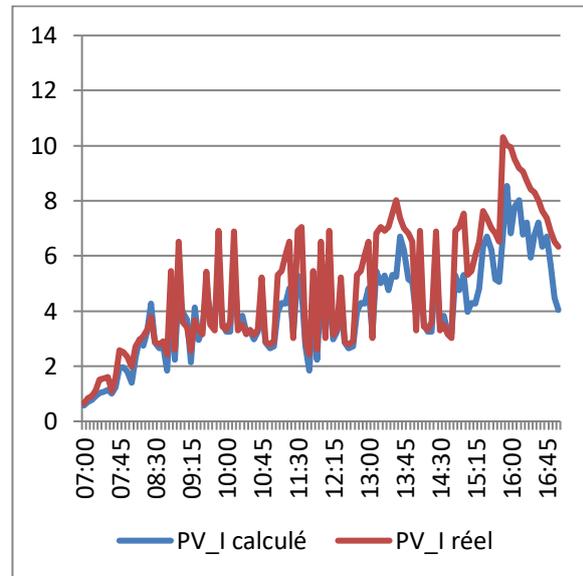


Figure IV.12 : Courbe du courant obtenue et réel durant la journée nuageuse.

D'après les figures IV.11 et IV.12, on peut constater que le courant généré par le FLC est inférieur à celui généré par le contrôleur industriel MPPT T40. Cependant, ceci n'induit pas une démunissions de la puissance générée par rapport au contrôleur MPTT T40 (voir Figures IV.13 et figure IV.14). Ce résultat s'explique par la stratégie obtenue par l'utilisation du contrôleur floue lui-même. La maximisation de la puissance étant le principal objectif des commandes MPPT.

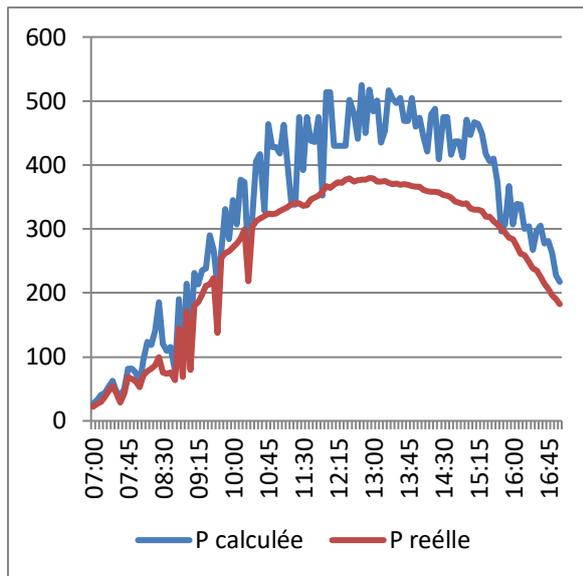


Figure IV.13: courbe de puissance obtenue et réelle durant la journée ensoleillée.

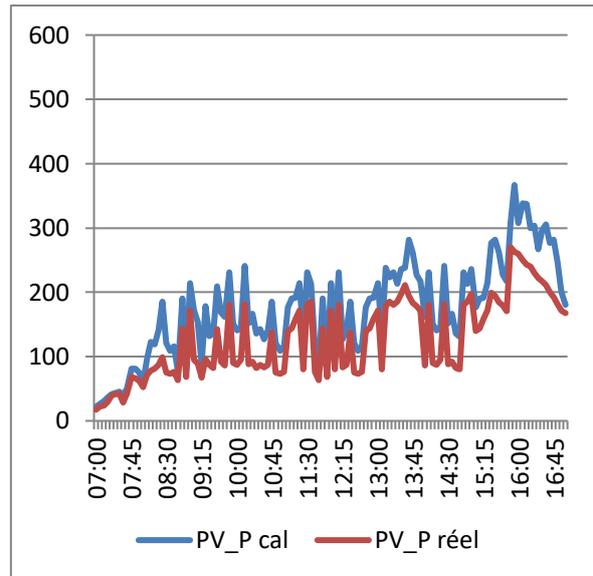


Figure IV.14: courbe de puissance obtenue et réelle durant la journée nuageuse.

La puissance générée par un PV dépend à la fois du support physique utilisé (cellules du panneau photovoltaïque), des conditions environnementales (température et irradiation) et de la technique de commande utilisée. La recherche scientifique s'intéresse actuellement au développement de nouvelles techniques de commande MPPT afin de générer le maximum de puissance possible. La technique que nous étudions dans ce mémoire est la logique floue, cette dernière est largement utilisée en milieu industrielle. D'après les résultats illustrés aux figures IV.9 à figure IV.14, nous constatons que le contrôleur flou permet de générer plus de puissance dans le cas d'une journée ensoleillée et d'une journée nuageuse ; néanmoins, nous remarquons que durant les premières heures de la journée et les dernières heures, le contrôleur flou génère presque la même puissance que celle issue du dispositif expérimental. Cela s'explique par les valeurs faibles de température et d'irradiation. Cependant, le contrôleur flou permet d'amener le générateur à son point de fonctionnement optimal.

Dans le cas d'une journée nuageuse, le contrôleur flou, comme le dispositif expérimental, montrent un comportement oscillatoire. Ceci est dû d'une part aux variations brusques des conditions environnementales et à la qualité de la commande qui n'est donc pas assez robuste.

Ces résultats montrent que la qualité de l'énergie obtenue par le contrôleur flou est meilleure que celle issue du dispositif expérimental. Ceci s'explique par l'efficacité des méthodes basées sur la logique floue en particulier et sur l'intelligence artificielle en général. Voilà pourquoi nous recommandons leur utilisation dans les travaux à venir.

IV.9 Conclusion

Afin de maximiser l'efficacité de notre système PV expérimenté, nous avons appliqué à la place du contrôleur MPPT T40 industriel, une commande intelligente basée sur la logique floue pour la poursuite du point maximum de puissance.

Au départ, nous avons présenté la simulation du GPV ENG36P100W avec la commande FLC MPPT en utilisant les mêmes paramètres et conditions du dispositif industriel.

A partir de la comparaison entre les résultats de simulation et de l'expérimental, on peut déduire que la commande FLC MPPT appliquée est meilleure que celle utilisée par le dispositif étudié, elle permet l'amélioration de l'efficacité du GPV de plus de 30% pour une irradiation importante. Ces résultats méritent une implémentation réelle afin de s'assurer de leur validité.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'objectif visé dans ce travail est d'améliorer le fonctionnement d'un modèle de générateur PV expérimenté auparavant. Pour se faire, une technique de commande MPPT a été utilisée afin de générer le maximum de puissance possible.

La puissance générée par un PV dépend à la fois du générateur utilisé, des facteurs environnementaux et de la commande utilisée. Afin de mieux comprendre ces derniers, notre travail a été ordonné de la façon suivante :

Dans le premier chapitre, on a cité quelques généralités sur le photovoltaïque, en expliquant la structure interne de la cellule solaire ainsi que le principe de la conversion photo-électrique.

Par suite, le second chapitre est consacré à l'étude des différents mécanismes de dégradation, indiquant les principaux facteurs qui provoquent la détérioration des systèmes PV au cours de la période de fonctionnement.

Dans la troisième partie, après une brève définition des éléments essentiels d'un système PV destiné aux sites isolés, nous avons présenté un dispositif expérimental et analysé les résultats obtenus de ce dernier afin de les comparer avec les résultats issus de notre manipulation.

Au final, afin de maximiser l'efficacité du système expérimenté, un contrôleur MPPT flou a été introduit à la place du MPPT industriel, en utilisant les mêmes paramètres et conditions du dispositif industriel.

D'après les résultats de simulation, la qualité de l'énergie obtenue par le contrôleur flou est bien meilleure que celle issue du dispositif expérimental. De ce fait, nous proposons dans les travaux à venir :

- D'optimiser le contrôleur flou par des approches évolutionnaires.
- D'implémenter le contrôleur sur un dispositif réel.

Les systèmes photovoltaïques offrent une solution très concurrentielle, qui répond à l'augmentation de la demande en énergie électrique ainsi que les contraintes liées à sa production. Pour remédier au problème du rendement des panneaux solaires, il est nécessaire d'optimiser la conception et le fonctionnement de toutes les parties du système PV. En outre,

faire fonctionner le générateur PV à son point de puissance maximale (MPP) à l'aide d'un contrôleur MPPT fluo, pour obtenir un courant électrique maximal sous la variation de la charge et des conditions atmosphériques (irradiation et température).

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Soltane. Belakehal « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables ». Thèse de doctorat, Université de Constantine, 2010.
- [2] Cabal. Cédric « Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2008.
- [3] Roshanak. Radbeh « Réalisation et caractérisation des cellules solaires organiques à Couches composites polymères incluant des nanotubes de carbones ». Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2008.
- [4] Alonso Corinne « Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie ». Mémoire d'habilitation à diriger les recherches, Université Paul Sabatier Toulouse III, 2003.
- [5] José Miguel Navarro « Cellules Photovoltaïques Organiques Transparentes Dans Le Visible ». Thèse de doctorat. Université Toulouse III - Paul Sabatier, 2008.
- [6] Thibaut Desrues, « Développement de cellules photovoltaïques à hétéro jonctions silicium et contacts en face arrière ». Thèse de doctorat, L'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2009.
- [7] Petibon Stéphane « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2009.
- [8] Zouache Foudil « Etude de la concentration solaire sur les performances des systèmes photovoltaïques ». Mémoire de magister en Electronique, Université Mentouri de Constantine 2009.
- [9] Anne Labouret, et Michel villos « Energie solaire photovoltaïque ». Edition Le moniteur , 2005.
- [10] Rorni Abdelhalim « Etude et régulation d'un circuit d'extraction de la puissance maximale d'un panneau solaire ». Mémoire de magister en électrotechnique Université, Mentouri de Constantine 2009.
- [12] Benis Halouma « Contribution à la modélisation du problème de Hot Spot dans les modules solaires Photovoltaïque occultées ». Mémoire de magister en électrotechnique, Université Mentouri de Constantine, 2008.
- [13] Souad. Saadi « Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan ». Mémoire de magister en Physique, Université Mentouri de Constantine, 2010.
- [14] Bouden. Abdmalek « Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque ».

Mémoire de magister en électrotechnique, Université Mentouri de Constantine, 2008.

[15] Amina Benhammou « Optimisation d'un nouveau système de séchage solaire modulaire pour plantes aromatiques et médicinales ». Thèse de doctorat, Université de Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2010.

[16] Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho « Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays ». IEEE Transaction on powr electronics, Vol.24, No 5, 1198-1208, May 2009.

[17] Rémi Bettignies « Cellules photovoltaïques organiques dérivées de nouveaux systèmes conjugués ». Thèse de doctorat, Ecole Doctorale d'Angers ,2003.

[18] Akassewa Tchapo Singo « Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome ». Thèse de doctorat, Université de Henri Poincaré, Nancy-I, 2010.

[20] BOUKLI-HACENE Omar, « Conception et Réalisation d'un Générateur Photovoltaïque Muni d'un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Energétique », Thèse de Magister, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen (Décembre 2011).

[21] ZERROUKI Zolikha et BEREKSI REGUIG Rym « Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome », Mémoire de master, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen (2016 / 2017).

[22] BOUKHERS Djamilia « Optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque Application a pompage », Mémoire de Magister, Université Mentouri de Constantine (28/ 11/ 2007).

[24]Angel Cid Pastor « Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques », thèse de doctorat. Institut National Des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.

[25] C. Lerouge « Recherche & Industrie Photovoltaïque (PV) Etats-Unis » Sciences physique États-Unis, 2006.

[26] Helali Kamelia « Modélisation d'une cellule photovoltaïque : Etude comparative », Mémoire de magister, département d'électrotechnique, faculté du génie électrique, UMMTO 2012.

[27] Charly Cornu « Centrales photovoltaïques (Guide pour le dimensionnement et la réalisation de projets A l'usage des bureaux d'ingénieurs) », office fédéral des questions conjoncturelles, 1996.

- [28] M. Kenane, S. Sadoudi « Modélisation de modules photovoltaïques en milieu réel d'implantation », Mémoire de Master II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO 2013.
- [29] R. Laronde « Fiabilité et durabilité d'un système complexe dédié aux énergies renouvelables application a un système photovoltaïque » Thèse doctorat. Université Angers, 2011.
- [30] K. Agroui, A. Belghachi et S. Kadri « Caractérisations Electriques et Thermiques d'un Module PV au Silicium Multi cristallin en Milieu Contrôlé et sur Site Saharien » Rev. Energ. Ren.: ICPWE pp 19-25, 2003.
- [31] H. Nehrir « Solar Photovoltaic II» EELE 455-555 Montana State University.
- [32] S. Harrouni et A.Maafi « Etude du rendement du silicium monocristallin en milieu désertique » Vol. 15, pp 157-163, 2003.
- [33] L. Bun ; « Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV » Thèse doctorat. Université Grenoble, 2011.
- [34] Direction du développement et de la coopération « Installations Photovoltaïques Autonomes- Guide pour le dimensionnement et la réalisation » livre, PACER.
- [35] A. Ould Mohamed Yahia et al « Modélisation d'un système de stockage intégré dans un système hybride (PV / Eolien / Diesel) » Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°2, pp 205 – 214, 2007.
- [37] B. Equer « Energie Solaire Photovoltaïque » Livre, volume1, publié par l'organisation des USA, UNESCO 1991.
- [38] E. Díaz-Dorado et al « Influence of the shadows in photovoltaic systems with different configurations of bypass diodes» SPEEDAM pp 134.139, 2010.
- [39] Rafik BELABED, « Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque », Mémoire de master académique en génie mécanique, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2016-2017.
- [40] F. Nadia, S. Oumar, << Etude et dimensionnement de l'installation photovoltaïque du DECANAT de la faculté ST >>, Mémoire de fin d'étude master, département génie électrique, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2019.
- [43] Sári, M., Huld, T., Dunlup, E., Ossenbrink, H, (2007), Potential of electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy, 81(10) : 1295-1305.<https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.12.007>
- [44] Belhadj Mohammed, « Modélisation d'un Système de Captage Photovoltaïque Autonome », Mémoire de Magister Centre Universitaire de Bechar, Institut des Sciences

Exactes, 2008.

[45] Yousuf, M.U., Siddiqui, M., ur Rehman, N. (2018). Solar energy potential estimation by calculating sun illumination hours and sky view factor on building rooftops using digital elevation model. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 10(1):

010401.<https://doi.org/10.1063/1.4997888>

[46] Pillai, I., Banerjee, R. (2009). Renewable energy in India: Status and potential. *Energy*, 34(8): 970–980.<https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.10.016>

[47] Ali, A., Lee, S.M., Jang, C.M. (2018), Statistical analysis of wind characteristics using Weibull and Rayleigh distributions in Deokjeok-do Island Incheon, South Korea. *Renewable Energy*, 123 : 652-663.<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.087>

[48] Yassine LASMI. Optimisation de la poursuite du point de puissance maximale (MPPT) d'un système photovoltaïque par les techniques intelligentes. Université Sétif -1 (ALGERIE)

[49] E. Youcef, « Commande floue optimisée d'une machine asynchrone à double alimentation et à flux orienté », Mémoire de Magister, Université de Batna, 2008.

[50] T. Boumadiene, « Commande par mode flou glissant de la machine asynchrone double alimentée utilisée en aérogénérateur », Mémoire de Magister, Université d'Oran, 2015.

[51] Rafik, Medjoudj. Ibrahim Mazighi. « Estimation of photovoltaic energy using Mixed Weibull Distribution » Article, publié par le journal européen des systèmes automatisé 2020, Université de Boumerdes 35000, Algérie. 2020.

Liens utiles

[19] http://www.energy.gov.dz/fr/enr/Guide_Enr_fr.pdf

[23] <http://notresolairephotovoltaïque.e-monsite.com/medias/images/structure-1.cellule>

[36] <http://photovoltaïque.guidenr.fr/cours-photovoltaïque-2011>.

[41]. <https://www.solaris-store.com/content/39-installer-un-regulateur>

[42]. <http://www.solaire-guide.fr/onduleurs-photovoltaïques/>

ANNEXES

1. Données réelles et résultats calculée du dispositif étudié pour la journée ensoleillée (15 mai 2019).

Temps	Irradiation	Température	Tension calculée	Courant calculée	puissance calculée	Tension réelle	Courant réel	Puissance réelle
07:00	66,1	20,6	37,9	0,7088	26,86	26,1	0,84	21,924
07:05	78,1	21,4	39,25	0,8211	32,23	26,3	1,03	27,089
07:10	98,4	22,6	39,74	1,03	40,94	26,2	1,14	29,868
07:15	104,8	22,9	39,78	1,099	43,71	26,1	1,43	37,323
07:20	128,2	23,6	40,49	1,327	53,71	26,3	1,77	46,551
07:25	147,8	23,8	40,75	1,525	62,16	26,4	2,06	54,384
07:30	109,4	23,9	39,83	1,147	45,7	26,5	1,61	42,665
07:35	96,9	24	39,88	1,004	40,05	26,3	1,1	28,93
07:40	119,3	23,1	40,25	1,24	49,92	26,3	1,61	42,343
07:45	194,2	23,9	41,65	1,958	81,53	26,4	2,59	68,376
07:50	194,2	23,9	41,65	1,958	81,53	26,3	2,51	66,013
07:55	179,8	24,6	41,53	1,815	75,35	26,2	2,36	61,832
08:00	139,3	24,7	41,24	1,402	57,83	26,4	1,98	52,272
08:05	226,5	23,9	41,6	2,308	96,04	26,3	2,71	71,273
08:10	287,6	25,1	41,59	2,964	123,3	26,3	2,96	77,848
08:15	297,6	26,2	43,32	2,742	118,8	26,4	3,09	81,576
08:20	340,5	26,5	43,07	3,257	140,3	26,1	3,33	86,913
08:25	447,6	26,6	43,37	4,265	185	26,3	3,78	99,414
08:30	285,1	25,4	42,14	2,867	120,8	26,2	2,88	75,456
08:35	255,2	25,6	41,37	2,639	109,2	26,3	2,78	73,114
08:40	275,8	26,2	42,45	2,718	115,4	26,1	2,9	75,69
08:45	186,7	25	41,9	1,849	77,5	26,3	2,41	63,383
08:50	502,3	25,9	44,39	4,29	190,4	26,4	5,46	144,144
08:55	214	26,1	40,98	2,227	91,25	26,3	2,6	68,38
09:00	552,2	26,1	44,32	4,824	213,8	26,3	6,51	171,213
09:05	302,4	26,2	40,87	3,188	130,3	26,4	3,02	79,728
09:10	566,9	25,9	43,77	5,287	231,4	26,1	6,91	180,351
09:15	582,6	26	44,79	4,763	213,3	26,3	7,05	185,415
09:20	605,2	26	44,35	5,315	235,7	26,2	7,53	197,286
09:25	703,6	26,1	45,38	5,246	238,1	26,3	8,02	210,926
09:30	719,6	26,1	44,09	6,582	290,2	26,1	8,17	213,237
09:35	728,6	26,1	44,94	5,948	267,3	26,4	8,46	223,344
09:40	496,3	26,3	42,96	4,901	210,5	26,2	5,23	137,026
09:45	781,6	26,2	45,39	5,874	266,6	26,8	9,51	254,868
09:50	799,3	26,3	43,76	7,562	330,9	27,1	9,67	262,057
09:55	806,2	26,2	45,24	6,282	284,2	27,3	9,73	265,629
10:00	817,9	26,4	43,42	7,941	344,8	27,5	9,85	270,875
10:05	843,6	26,4	45,05	6,82	307,3	27,8	9,96	276,888
10:10	868,2	26,6	41,59	9,061	376,8	27,9	10,21	284,859

10:15	920,2	26,4	44,07	8,472	373,4	28,1	10,66	299,546
10:20	671,2	26,5	44,78	5,566	249,3	27,9	7,83	218,457
10:25	949,5	26,7	45,62	6,93	316,1	27,9	10,87	303,273
10:30	1008	26,7	44,15	9,202	406,3	28,1	11,12	312,472
10:35	1020	26,7	44,97	9,472	416,5	28,2	11,21	316,122
10:40	1036	26,9	45,88	7,159	328,4	28,1	11,38	319,778
10:45	1065	26,9	42,05	11,03	463,9	28,1	11,52	323,712
10:50	1069	26,7	44,22	9,685	428,3	27,9	11,59	323,361
10:55	1069	26,7	44,22	9,685	428,3	27,9	11,61	323,919
11:00	1075	26,5	44,54	9,389	418,22	28,1	11,68	328,208
11:05	1077	26,9	42,82	10,82	463,2	28,2	11,75	331,35
11:10	1087	26,9	45,05	8,851	398,7	27,9	11,97	333,963
11:15	1096	27	46,01	7,34	337,7	28	12,11	339,08
11:20	1096	27	46,01	7,34	337,7	28	12,15	340,2
11:25	1088	26,9	41,75	11,37	474,5	28,2	12,05	339,81
11:30	1081	27,1	45,13	8,683	391,9	28,1	11,96	336,076
11:35	1088	27,1	41,75	11,37	474,5	27,9	12,08	337,032
11:40	1106	27,1	44,35	9,877	438	28,1	12,32	346,192
11:45	1112	27,4	44,45	9,811	436,1	28,1	12,41	348,721
11:50	1118	27,4	43,17	11	475	28,1	12,53	352,093
11:55	1123	27,3	45,95	7,672	352,5	28,2	12,68	357,576
12:00	1189	27,3	42,46	12,1	513,7	28,4	12,91	366,644
12:05	1189	27,2	42,46	12,1	513,7	28,1	12,95	363,895
12:10	1209	27,2	45,25	9,497	429,8	28,2	13,07	368,574
12:15	1209	27,3	45,25	9,497	429,8	28,2	13,21	372,522
12:20	1209	27,3	45,25	9,497	429,8	28,3	13,15	372,145
12:25	1209	27,2	45,25	9,497	429,8	28,6	13,17	376,662
12:30	1204	27,4	43,56	11,51	501,3	28,7	13,19	378,553
12:35	1198	27,4	44,15	10,89	480,6	28,6	13,08	374,088
12:40	1207	27,4	45,05	9,791	441,1	28,6	13,15	376,09
12:45	1208	27,3	42,01	12,49	524,9	28,6	13,18	376,948
12:50	1210	27,3	44,91	10,02	450,1	28,5	13,22	376,77
12:55	1215	27,4	42,98	12,05	517,9	28,6	13,27	379,522
13:00	1213	27,3	44,22	10,93	483,4	28,6	13,25	378,95
13:05	1201	27,6	43,54	11,49	500,4	28,5	13,13	374,205
13:10	1197	27,6	45,1	9,647	435	28,6	13,08	374,088
13:15	1203	27,6	44,81	10,11	453,1	28,6	13,12	375,232
13:20	1196	27,5	42,5	12,15	516,4	28,5	13,05	371,925
13:25	1188	27,5	43,17	11,66	503,5	28,5	12,98	369,93
13:30	1186	27,6	43,46	11,43	496,6	28,6	12,96	370,656
13:35	1187	27,7	43,09	11,71	504,6	28,5	12,95	369,075
13:40	1183	27,7	44,3	10,59	469,1	28,6	12,93	369,798
13:45	1183	27,7	44,3	10,59	469,1	28,6	12,9	368,94
13:50	1181	27,6	42,93	11,75	504,7	28,4	12,92	366,928
13:55	1169	27,8	44,39	10,36	459,8	28,5	12,85	366,225

14:00	1148	28	43,74	10,84	474,1	28,6	12,79	365,794
14:05	1132	28	44,43	10	444,3	28,5	12,66	360,81
14:10	1129	28	44,92	9,363	420,5	28,5	12,61	359,385
14:15	1119	28	42,96	11,14	478,6	28,6	12,53	358,358
14:20	1118	28,3	41,4	11,77	487,5	28,5	12,58	358,53
14:25	1116	28,1	45,04	9,09	409,4	28,6	12,49	357,214
14:30	1109	28,4	42,92	11,06	474,9	28,6	12,35	353,21
14:35	1109	28,5	42,92	11,06	474,9	28,4	12,38	351,592
14:40	1004	28,3	43,72	9,524	416,4	28,6	12,21	349,206
14:45	1092	28,4	44,22	9,885	437,2	28,5	12,05	343,425
14:50	1092	28,1	44,22	9,885	437,2	28,4	12,01	341,084
14:55	1089	28,6	44,79	9,203	412,2	28,5	11,91	339,435
15:00	1083	28,3	42,2	11,16	470,9	28,6	11,88	339,768
15:05	1078	28,1	43,72	10,22	446,7	28,3	11,72	331,676
15:10	1071	27,9	41,98	11,11	466,6	28,4	11,61	329,724
15:15	1065	27,9	42,05	11,03	463,9	28,6	11,53	329,758
15:20	1043	27,8	42,82	10,48	448,7	28,6	11,47	328,042
15:25	1020	27,8	43,97	9,472	416,5	28,4	11,25	319,5
15:30	1008	27,8	44,15	9,202	406,3	28,6	11,16	319,176
15:35	963,2	27,7	43,16	9,492	409,7	28,6	10,93	312,598
15:40	920,2	27,6	44,07	8,472	373,4	28,9	10,63	307,207
15:45	904,2	27,5	45,69	6,475	295,8	28,6	10,48	299,728
15:50	883,2	27,5	45,34	6,793	308	28,5	10,31	293,835
15:55	853,6	27,4	42,93	8,543	366,8	28,6	10,02	286,572
16:00	843,6	27,4	45,05	6,82	307,3	28,6	9,94	284,284
16:05	803,2	27,3	43,42	7,798	338,6	28,7	9,52	273,224
16:10	773,8	26,9	42,06	8,027	337,6	28,4	9,19	260,996
16:15	754,3	27	44,27	6,778	300	28,6	9,06	259,116
16:20	697,2	26,8	42,09	7,22	303,9	28,4	8,73	247,932
16:25	728,6	26,8	44,94	5,948	267,3	28,3	8,42	238,286
16:30	721,3	26,7	43,82	6,774	296,8	28,3	8,31	235,173
16:35	702,4	26,9	42,29	7,224	305,5	28,1	8,03	225,643
16:40	671,3	26,7	43,74	6,332	277	28,1	7,63	214,403
16:45	645,3	26,8	41,92	6,714	281,5	28	7,38	206,64
16:50	603,2	26,5	42,21	6,211	262,1	28	7,01	196,28
16:55	567,5	26,5	44,02	5,159	227,1	27,9	6,83	190,557
17:00	512,5	26,5	43,02	5,049	217,2	27,9	6,52	181,908

2. Données réelles et résultats calculée du dispositif étudié pour la journée nuageuse (21 mai 2019).

Temps	Irradiation	Température	Tension calculée	Courant calculé	Puissance calculée	Tension réelle	Courant réel	Puissance réelle
07:00	54,1	19,1	38,09	0,5761	21,94	26,1	0,66	17,226
07:05	66,3	19,3	37,96	0,7105	26,97	26,3	0,84	22,092
07:10	73,6	19,6	38,93	0,778	30,29	26,2	0,91	23,842
07:15	88,7	19,6	39,8	0,9231	36,74	26,1	1,13	29,493
07:20	98,7	19,7	40,09	1,022	40,99	26,3	1,51	39,713
07:25	103,2	19,8	39,78	1,081	43,02	26,4	1,57	41,448
07:30	109,4	19,7	39,83	1,147	45,7	26,5	1,61	42,665
07:35	96,9	19,8	39,98	1,007	40,25	26,3	1,1	28,93
07:40	119,3	19,9	40,25	1,24	49,92	26,3	1,61	42,343
07:45	194,2	20,2	41,65	1,958	81,53	26,4	2,59	68,376
07:50	194,2	20	41,65	1,958	81,53	26,3	2,51	66,013
07:55	179,8	20,1	41,53	1,815	75,35	26,2	2,36	61,832
08:00	139,3	20,1	41,24	1,402	57,83	26,4	1,98	52,272
08:05	226,5	20,2	41,6	2,308	96,04	26,3	2,71	71,273
08:10	287,6	20,2	41,59	2,964	123,3	26,3	2,96	77,848
08:15	297,6	20,3	43,32	2,742	118,8	26,4	3,09	81,576
08:20	340,5	20,3	43,07	3,257	140,3	26,1	3,33	86,913
08:25	447,6	20,3	43,37	4,265	185	26,3	3,78	99,414
08:30	285,1	20,3	42,14	2,867	120,8	26,2	2,88	75,456
08:35	255,2	20,3	41,37	2,639	109,2	26,3	2,78	73,114
08:40	275,8	20,3	42,45	2,718	115,4	26,1	2,9	75,69
08:45	186,7	20,4	41,9	1,849	77,5	26,3	2,41	63,383
08:50	502,3	20,4	44,39	4,29	190,4	26,4	5,46	144,144
08:55	214	20,4	40,98	2,227	91,25	26,3	2,6	68,38
09:00	552,2	20,3	44,32	4,824	213,8	26,3	6,51	171,213
09:05	423,7	20,3	43,53	3,96	172,4	26,4	3,61	95,304
09:10	355,5	20,4	41,6	3,69	153,5	26,1	3,41	89,001
09:15	205,9	20,3	40,96	2,14	87,68	26,3	2,55	67,065
09:20	424,4	20,5	43,01	4,143	178,2	26,2	3,66	95,892
09:25	371,1	20,4	44,51	2,96	131,7	26,3	3,31	87,053
09:30	316,6	20,4	40,82	3,345	136,2	26,1	3,15	82,215
09:35	504,7	20,5	43,46	4,809	209	26,4	5,42	143,088
09:40	408,9	20,7	43,28	3,899	168,8	26,2	3,51	91,962
09:45	377,1	20,7	42,14	3,842	161,9	26,1	3,31	86,391
09:50	566,9	25,9	43,77	5,287	231,4	26,1	6,91	180,351
09:55	353,4	20,7	42,4	3,547	150,4	26,2	3,44	90,128
10:00	340,5	26,5	43,07	3,257	140,3	26,1	3,33	86,913
10:05	382,6	20,9	44,19	3,252	143,7	26,3	3,61	94,943
10:10	552,3	20,9	41,79	5,757	240,6	26,4	6,88	181,632
10:15	361,3	21	42,81	3,542	151,6	26,5	3,31	87,715

10:20	410,3	21,1	43,47	3,833	166,7	26,2	3,51	91,962
10:25	317,6	21,1	41,85	3,254	136,2	26,1	3,15	82,215
10:30	360,5	21,1	43,65	3,274	142,9	26,3	3,32	87,316
10:35	302,3	21,9	42,6	2,969	126,5	26,4	3,13	82,632
10:40	340,5	21,8	43,07	3,257	140,3	26,1	3,33	86,913
10:45	447,6	21,9	43,37	4,265	185	26,3	5,22	137,286
10:50	285,1	22,1	42,14	2,867	120,8	26,2	2,88	75,456
10:55	255,2	22,1	41,37	2,639	109,2	26,3	2,78	73,114
11:00	275,8	22,3	42,45	2,718	115,4	26,1	2,9	75,69
11:05	480,6	22,3	44,59	3,962	176,6	26,3	5,31	139,653
11:10	502,3	22,3	44,39	4,29	190,4	26,4	5,46	144,144
11:15	530,1	22,4	44,79	4,268	191,2	26,3	6,04	158,852
11:20	552,2	22,5	44,32	4,824	213,8	26,3	6,51	171,213
11:25	302,4	22,5	40,87	3,188	130,3	26,4	3,02	79,728
11:30	566,9	22,4	43,77	5,287	231,4	26,1	6,91	180,351
11:35	582,6	22,4	44,79	4,763	213,3	26,3	7,05	185,415
11:40	275,8	22,6	42,45	2,718	115,4	26,1	2,9	75,69
11:45	186,7	22,5	41,9	1,849	77,5	26,3	2,41	63,383
11:50	502,3	22,7	44,39	4,29	190,4	26,4	5,46	144,144
11:55	214	22,5	40,98	2,227	91,25	26,3	2,6	68,38
12:00	552,2	22,4	44,32	4,824	213,8	26,3	6,51	171,213
12:05	302,4	22,4	40,87	3,188	130,3	26,4	3,02	79,728
12:10	566,9	22,6	43,77	5,287	231,4	26,1	6,91	180,351
12:15	302,3	22,5	42,6	2,969	126,5	26,4	3,13	82,632
12:20	340,5	22,7	43,07	3,257	140,3	26,1	3,33	86,913
12:25	447,6	22,5	43,37	4,265	185	26,3	5,22	137,286
12:30	285,1	22,3	42,14	2,867	120,8	26,2	2,88	75,456
12:35	255,2	22,5	41,37	2,639	109,2	26,3	2,78	73,114
12:40	275,8	22,5	42,45	2,718	115,4	26,1	2,9	75,69
12:45	480,6	22,4	44,59	3,962	176,6	26,3	5,31	139,653
12:50	502,3	22,3	44,39	4,29	190,4	26,4	5,46	144,144
12:55	530,1	22,5	44,79	4,268	191,2	26,3	6,04	158,852
13:00	552,2	22,2	44,32	4,824	213,8	26,3	6,51	171,213
13:05	302,4	21,8	40,87	3,188	130,3	26,4	3,02	79,728
13:10	576,2	21,8	43,64	5,445	237,6	26,1	6,82	178,002
13:15	588,1	21,7	44,55	5,004	222,9	26,3	7,05	185,415
13:20	566,9	21,6	43,77	5,287	231,4	26,1	6,91	180,351
13:25	582,6	22,6	44,79	4,763	213,3	26,3	7,05	185,415
13:30	605,2	22,3	44,35	5,315	235,7	26,2	7,53	197,286
13:35	703,6	22,5	45,38	5,246	238,1	26,3	8,02	210,926
13:40	645,3	22,2	41,92	6,714	281,5	26,3	7,38	194,094
13:45	603,2	21,8	42,21	6,211	262,1	26,1	7,01	182,961
13:50	567,5	26,5	44,02	5,159	227,1	26,1	6,83	178,263
13:55	512,5	26,5	43,02	5,049	217,2	26,3	6,52	171,476
14:00	377,1	20,7	42,14	3,842	161,9	26,1	3,31	86,391

14:05	566,9	25,9	43,77	5,287	231,4	26,1	6,91	180,351
14:10	353,4	20,7	42,4	3,547	150,4	26,2	3,44	90,128
14:15	340,5	21,1	43,07	3,257	140,3	26,1	3,33	86,913
14:20	382,6	20,9	44,19	3,252	143,7	26,3	3,61	94,943
14:25	552,3	20,9	41,79	5,757	240,6	26,4	6,88	181,632
14:30	361,3	21	42,81	3,542	151,6	26,5	3,31	87,715
14:35	410,3	21,1	43,47	3,833	166,7	26,2	3,51	91,962
14:40	317,6	21,1	41,85	3,254	136,2	26,1	3,15	82,215
14:45	302,4	21	40,87	3,188	130,3	26,4	3,02	79,728
14:50	566,9	21,1	43,77	5,287	231,4	26,1	6,91	180,351
14:55	582,6	21,1	44,79	4,763	213,3	26,3	7,05	185,415
15:00	605,2	21,1	44,35	5,315	235,7	26,2	7,53	197,286
15:05	480,6	21,9	44,59	3,962	176,6	26,3	5,31	139,653
15:10	502,3	22,2	44,39	4,29	190,4	26,4	5,46	144,144
15:15	530,1	22,3	44,79	4,268	191,2	26,3	6,04	158,852
15:20	552,2	22,3	44,32	4,824	213,8	26,3	6,51	171,213
15:25	671,3	22,3	43,74	6,332	277	26,1	7,63	199,143
15:30	645,3	22,1	41,92	6,714	281,5	26,3	7,38	194,094
15:35	603,2	22,1	42,21	6,211	262,1	26,3	7,01	184,363
15:40	567,5	22,1	44,02	5,159	227,1	26,2	6,83	178,946
15:45	512,5	22,2	43,02	5,049	217,2	26,1	6,52	170,172
15:50	883,2	22,2	45,34	6,793	308	26,2	10,31	270,122
15:55	853,6	22,1	42,93	8,543	366,8	26,2	10,02	262,524
16:00	843,6	22,1	45,05	6,82	307,3	26,1	9,94	259,434
16:05	803,2	22,1	43,42	7,798	338,6	26,3	9,52	250,376
16:10	773,8	22,1	42,06	8,027	337,6	26,4	9,19	242,616
16:15	754,3	22,2	44,27	6,778	300	26,5	9,06	240,09
16:20	697,2	22	42,09	7,22	303,9	26,3	8,73	229,599
16:25	728,6	21,9	44,94	5,948	267,3	26,4	8,42	222,288
16:30	721,3	21,9	43,82	6,774	296,8	26,1	8,31	216,891
16:35	702,4	21,8	42,29	7,224	305,5	26,3	8,03	211,189
16:40	671,3	21,8	43,74	6,332	277	26,2	7,63	199,906
16:45	645,3	21,7	41,92	6,714	281,5	26,1	7,38	192,618
16:50	591,3	21,7	43,42	5,696	247,3	26,3	6,88	180,944
16:55	540,3	21,6	44,65	4,48	200	26,4	6,51	171,864
17:00	495,6	22,6	44,66	4,049	180,9	26,5	6,33	167,745

Résumé

Suite à une description succincte sur les notions du gisement solaire ainsi que les composants primordiales pour le fonctionnement d'un système photovoltaïque, on a représenté un modèle photovoltaïque exploité auparavant au niveau de l'université de Boumerdes, dans l'objectif d'une étude estimatoire du potentiel photovoltaïque de la région. L'objectif visé dans ce présent travail est à la fois, d'améliorer le fonctionnement du modèle photovoltaïque étudié par la simulation sous Matlab simulink en introduisant une technique de commande MPPT qui fonctionne selon le principe de la logique flou, puis de comparer les résultats obtenues sous forme graphique aux valeurs réels du modèle expérimental. Ces résultats montrent que la qualité d'énergie électrique obtenue par la technique de commande MPPT flou est bien meilleure que celle du dispositif expérimental. Ce qui est traduit par une augmentation allant jusqu'à 30 % du rendement de l'installation photovoltaïque.

Mots-clés : générateur photovoltaïque, rayonnement solaire, énergie électrique, logique flou, contrôleur MPPT,

Abstract

Following a brief description of the notions of the solar field as well as the essential components of a photovoltaic system, we represented a photovoltaic model previously operated at the University of Boumerdes, with the aim of an estimated study of the photovoltaic potential of the region. The objective of this present work is both, to improve the operation of the model planned by simulation under Matlab simulink by introducing an MPPT control technique which operates according to the principle of fuzzy logic, then to compare the results found in graphical form to the real values of the experimental model. These results show that the quality of electrical energy obtained by the fuzzy MPPT controller is much better than that of the experimental model. This results in an increase of up to 30% in the efficiency of the photovoltaic installation.

Keywords: photovoltaic generator, solar radiation, electrical energy, fuzzy logic, MPPT controller.