

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES**



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de fin d'étude

En vue d'obtention de diplôme de **MASTER** en :

**Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Énergie Renouvelable**

THEME

**Etude des défauts dans un système
photovoltaïque**

Présenté par :

Amraoui Abderrahmane

Bouzidi Khaled

Promoteur : Mme. K.DAHMANI

Encadreur : Mr. A.FEZANI

Promotion 2021- 2022

Remerciement

Avant tout, nous remercions ALLAH, le tout puissant, de nous avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail.

Nous tenons bien sur à remercier nos parents qui nous ont soutenues psychiquement durant toutes nos études.

Nos remerciements d'adressent aussi à notre promotrice Mme.DAHMANI

Nos sincères remerciements à notre encadreur :

Mr. Fezzani

Nos remerciements vont également aux membres du jury qui ont bien voulu nous honorer de leurs présences en vue de juger notre travail.

Enfin, que tout ceux qui ont contribué de près ou de loin, à l'établissement de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Dédicace

Pour leurs soutiens au quotidien et leurs contributions du mieux qu'ils peuvent, ce travail ne peut être dédié en premier lieu qu'à ma famille, Mon père Mohamed, ma mère Samia, mes frères : Ismail, Sid ahmed , ma sœur : Bouchra sans oublier bien sur ma grand-mère, mes oncles et tantes, ainsi que tous mes cousins et cousines et pour le monde entier.

Toute ma grande famille sans exception.

Je dédie également ce travail : A tous mes amis.

Amraoui Abderrahmane

Dédicace

En premier lieu, je ne peux dédier ce travail qu'à ma famille : mon père m'hamed , ma mère Malika , mes frères : Amine ,Youcef , Hocine , mes sœurs : Amina , Chifaa et mes cousins et cousines et toute ma grande famille.

Je dédie également ce travail a tous mes amis, un grand Merci à tous.

Bouzidi Khaled

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| Remerciement | |
| Dédicace | |
| Liste du symbole | |
| Introduction générale | 01 |
| Chapitre 1 | |
| I 1-Introduction | 03 |
| I 2-Gisement solaire | 03 |
| I 2-1 Le soleil | 03 |
| I 3-Historique du PV | 06 |
| I 4-Définition du PV | 08 |
| I 5- Les différents types de système PV | 09 |
| I 5-1 Systèmes PV autonomes | 10 |
| I 5-2 Le système connecté au réseau(ONGRID) | 11 |
| I 6- Principe de fonctionnement d'une installation photovoltaïque | 12 |
| I 7-Cellule photovoltaïque | 13 |
| I 8- Les technologies des cellules photovoltaïques | 14 |
| I 9 –Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque | 16 |
| I 10- Constitution des champs PV | 20 |
| I 10.1 Modules | 20 |
| I 10.2 Elément | 20 |
| I 11-L'effet photovoltaïque | 22 |
| I 12- Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque | 23 |
| I 13-Conclusion | 24 |
| Chapitre 2 | |
| II.1 Introduction | 26 |
| II.2 Les modèles de la cellule PV | 26 |
| II.2.1 Modèle à une diode | 27 |
| II.2.2 Modèle de Bishop | 30 |
| II.3 Association des cellules | 30 |
| II.3.1 Association série | 31 |
| II.3.2 Association en parallèle | 32 |
| II.3.3 Association en série-parallèle | 33 |
| II.4. Simulation de modèle bishop sous Matlab Simulink | 33 |
| II.5 Influence d'éclairement et de la température | 36 |
| II.5.1 Influence d'éclairement | 37 |
| II.5.2 Influence de la température | 38 |
| II.6 Conclusion | 40 |
| Chapitre 3 : | |
| III 1. Introduction | 42 |
| III 2. Plan d'action pour la simulation de diverses failles | 42 |
| III 3.Les Différents Défauts | 44 |
| III 3.1 Défaut de Mis match et d'ombrage | 44 |

| | |
|---|-----------|
| III 4. Défaut d'ombrage d'un module Scénario 1 (défaut d'ombrage) | 45 |
| III 5. Etude de la caractéristique de module PV | 45 |
| III 6. l'étude de modèle Bishop | 47 |
| III 6.1 Partie expérimentaux | 47 |
| III 7. Défaut d'ombrage | 48 |
| III 8. Simulation sur le model bishop | 48 |
| III 9. Résultats | 55 |
| III 10. Validation | 56 |
| III 11. Défaut de la diode by-pass | 57 |
| III 12. Conclusion | 59 |
| Références bibliographique | 64 |
| annexe | |

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : Les différentes longueurs d'ondes du rayonnement.

Figure I.2 : Les composantes du rayonnement solaire

Figure I.3 : découvrir la production de l'énergie électrique par l'énergie solaire.

Figure I.4 : En 1958 : les trois chercheurs américains, Chapén, Pearson et Prince

Figure I.5 : le premier satellite équipé des panneaux solaires.

Figure I.6 : la première voiture alimentée par l'énergie photovoltaïque.

Figure I.7 : Système photovoltaïque.[8]

Figure I.8: Schéma principe installation photovoltaïque autonome.[10]

Figure I.9: Schéma principe installation photovoltaïque connecté au réseau.[10]

Figure I.10: Schéma de système hybride

Figure I.11: Schéma principe installation photovoltaïque connecté au réseau.[10]

Figure I.12 : Constitution d'une cellule photovoltaïque.

Figure I.13 : Évolution de la caractéristique $I= f(V)$ et $P= f(V)$ [14]

Figure I.14: Constituants d'un générateur PV.[10]

Figure I.15: Constituants d'un module photovoltaïque.[11]

Figure I.16 : Excitation des électrons de valence par les photons et la jonction (P-N).[13]

Chapitre II :

Figure II.1 : Schéma équivalent d'une cellule.

Figure II.2 : schéma équivalent d'une cellule PV Modèle de Bishop.

Figure II.3 : associations en série des cellules PV [18]

Figure II.4 : Associations en parallèle des cellules PV [18]

Figure II.5 : Simulation sous Matlab

Figure II.6 : Évolution de la caractéristique (P-V) en fonction de la température.

Figure II.7 : Évolution de la caractéristique (I-V) en fonction de l'éclairement

Figure II.8 : Évolution de la caractéristique (P-V) en fonction de la température

Figure II.9 : Évolution de la caractéristique (I-V) en fonction de la température.

Chapitre III :

Figure .III.1 : classification de défauts et d'anomalies d'un Champ pv

Figure III.2 : Caractéristiques (P-V) d'un générateur photovoltaïque

Figure III. 3 : Caractéristiques (I-V) expérimentale et simulé (module SCHOTT solar ASE - 100-GT –FT/MC) $E = 1000\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

Figure III. 4 : Caractéristiques (P-V) expérimentale et simulé (module SCHOTT solar ASE - 100-GT –FT/MC) $E = 1000\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

Figure III.5. Caractéristiques (I-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage

Figure III.6. Caractéristiques (P-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage.

Figure. III.7. Défaut d'ombrage d'une cellule

Figure.III.8. Résultats des caractéristiques (I-V) avec défaut d'ombrage d'une cellule et sans défaut $E = 1000\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

Figure III. 9. : Résultats des caractéristiques (P-V) avec défaut d'ombrage d'une cellule et sans défaut

$E = 1000\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

Figure III.10. Défaut d'ombrage d'une range horizontales

Figure III .11. Résultats des caractéristiques (I-V) avec défaut d'ombrage d'une range horizontales et sans défaut avec éclairement $E = 1000\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

Figure.III.12 : Résultats des caractéristiques (P-V) avec défaut d'ombrage d'une range horizontale set sans défaut $E = 1000\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

Figure .III.13 : Simulation model bishop sur matlab

Figure.III.14 : Résultats des caractéristiques (I-V) avec défaut d'ombrage100% d'une range horizontales et sans défaut avec éclairement $E = 00\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

Figure.III.15 : Résultats des caractéristiques (P-V) avec défaut d'ombrage100% d'une range horizontale set sans défaut $E = 00\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

Figure.III.16 : Résultats de comparaison des caractéristiques (I-V)

Figure.III.17 : Résultats de comparaison des caractéristiques (P-V)

Figure.III.18 : Illustration d'un groupe de cellules dans lequel la diode de by-pass est remplacée par un élément qui peut à chaque fois prendre des états défectueux de la diode

Figure.III.19 : Diode inversée

Figure.III.20 : Diode déconnectée

Figure.III.21 Diode déconnectée + ombrage d'une cellule

Figure.III.22 : Résultats des caractéristiques (I-V) avec défauts de diode de by-pass + ombrage d'un module

Figure.III.23 : Résultats des caractéristiques (P-V) avec défauts de diode de by-pass + ombrage d'un module

Liste des Symboles

Imp: le courant de puissance maximale. (A)

Vmp : la tension de puissance maximale. (V)

FF: Facteur de forme.

Voc: Tension du circuit-ouvert [V].

Icc : Courant de court-circuit [A].

Rsh: Rp: Résistance shunt (parallèle) [ohm].

Rs: Résistance série [ohm].

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

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

a: Facteur de qualité de la diode.

Iph: Photo-courant, ou courant photo-généré par l'éclairement(A).

I0 : Courant de saturation de la diode (A).

Vt : La tension thermique(V).

V : tension (volte).

I : le courant (A) fourni par la cellule PV.

p : la puissance. (W)

η : Le rendement.

E :G : éclairement(W / m^2)..

Isc: courant de court-circuit [A].

Voc: la tension de circuit ouvert [V].

R : résistance. OHM (Ω)

T :la température . (C°)

Pmax : la puissance maximale. (W)

Pmax (défaut) : la puissance maximale de string défaillant. (W)

PV : photovoltaïque.

GPV : Générateur photovoltaïque.

EVA : éthylène-acétate de vinyle. UV : ultraviolets.

Inf. : infinie.

PPM : le point de puissance maximale.

RUV : Résonance Ultrasonique Vibrations.

CC : Court circuit.

CO : Circuit ouvert.

DC : Direct courant.

STC : Conditions standard

Résumé

Le photovoltaïque se caractérise par la conversion directe de lumière solaire en électricité dans des cellules photovoltaïques, Comme tout processus industriel, un système photovoltaïque peut être soumis, au cours de son fonctionnement, à différents défauts et anomalies, Dans le cadre de ce travail, Nous avons étudié l'influence de deux défauts sur le comportement (I-V) d'un champ, et par la suit nous avons constaté que ces défauts conduisent à une baisse de la performance en terme de puissance du système et voir son indisponibilité...

Abstract

The photovoltaic system is characterized by the direct conversion of sunlight in electricity in photovoltaic cells, as any industrial process, a photovoltaic system can be subjected, during its functioning, to various defects and anomalies in this work, we studied the influence of two defects on the behaviour (I-V) of a field, we noticed that these defects leading to a reduction in the performance in term of power level of the system and even to its unavailability....

المخلص

يتميز النظام الكهروضوئي بالتحويل المباشر لأشعة الشمس في الكهرباء في الخلايا الكهروضوئية ، مثل أي عملية صناعية ، يمكن أن يكون النظام الكهروضوئي تعرض أثناء عمله لعيوب وشذوذ مختلفة في هذا العمل ، درسنا تأثير نوعين من العيوب على سلوك (I-V) للمجال ، لاحظنا ذلك تؤدي إلى انخفاض في الأداء من حيث مستوى طاقة النظام وحتى لعدم توفرها....

Introduction générale

Introduction générale

Par énergie renouvelable, on entend des énergies issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. À la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée. Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue. Dans le cadre de ce travail, on s'intéresse à l'énergie solaire photovoltaïque.

L'énergie photovoltaïque a connu un développement extraordinaire en l'espace de 50 ans. La recherche spatiale a permis de financer les recherches initiales. La compréhension des phénomènes physiques qui a découlée de ces recherches a permis à de nombreux matériaux d'être développés avec succès par la suite, petit à petit, grâce aux différents facteurs stimulants voire la réduction du coûts des matières utilisées, la baisse des coûts de production, et une meilleure maîtrise de la technologie, les panneaux photovoltaïques ont quitté l'espace et les quelques sites isolés pour être généralisés et utilisés au niveau domestique. Les politiques d'incitation et de soutien gouvernementales, ont permis l'essor de cette filière arrivée à maturité qui connaît depuis maintenant 20 ans des taux de croissance à deux chiffres.

Grace aux bonds et rebonds significatifs en matière de performances et de coût, l'investissement sur une installation photovoltaïque devient de plus en plus attrayant et intéressant. Cependant comme tous les autres processus industriels, un système photovoltaïque peut être soumis, au cours de son fonctionnement, à différents défauts conduisant à une perturbation de ces performances ou son indisponibilité.

L'objectif majeure de ce travail est de faire une étude sur les défauts du côté générateur PV (DC), et de les créer pratiquement suivie par une interprétation de chaque défaut.

Cet objectif est structuré en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous décrivons les notions essentielles sur le gisement solaire, notions et définitions astronomiques couramment utilisées dans tout domaine relatif au solaire. Le fonctionnement et le phénomène photovoltaïque et l'influence des différents paramètres extérieurs. Ensuite, nous décrivons les types et les différents composants d'une installation photovoltaïque. À la fin nous énumérons les avantages et les inconvénients.

Le second chapitre est consacré à la mise en équation et à la simulation d'un champ photovoltaïque en fonctionnement normal. Nous citons deux modèles (une diode et bishop) qui permettent d'obtenir les caractéristiques d'un système photovoltaïque .Le modèle de cellule photovoltaïque qui sera conservé dans notre travail est le modèle Bishop. Nous avons ensuite étudié l'influence de paramètre éclairement et température sur la caractéristique courant tension.

Dans le troisième chapitre on parlera de la caractérisation des défauts sur les systèmes PV, nous allons pour cela concevoir un modèle d'un champ PV défaillant qui permet d'obtenir la caractéristique I-V à une condition de fonctionnement donnée (ensoleillement, température) [1]

Afin de valider notre travail sur la caractérisation de défauts, Nous allons donc procéder à une série de manipulations, ensuite nous comparons la caractéristique courant-tension obtenue dans notre étude de modélisation, et celle obtenue expérimentalement aux conditions réelles de température et de rayonnement.

Finalement, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale qui résume notre étude et les résultats obtenues dans la partie théorique et expérimentale.

Chapitre I

Généralité sur un système PV

I.1 Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie [1]. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit photovoltaïque (PV) qui s'avère prometteur en raison de ses qualités intrinsèques : ses frais de fonctionnement sont très réduits (le combustible est gratuit), ses exigences d'entretien sont limitées, il est fiable, silencieux et relativement facile à installer. De plus, dans certaines applications autonomes, le photovoltaïque est très pratique comparé à d'autres sources d'énergie, en particulier dans les endroits difficiles d'accès et peu rentables pour l'installation de lignes électriques traditionnelles.[2]

Les systèmes photovoltaïques peuvent ainsi alimenter des petits équipements portables (moteurs, calculatrice, ...), des applications en site isolé (habitations éloignées du réseau électrique, équipement de télécommunication, électrification rurale) et peuvent être raccordées au réseau électrique [3].

Ce chapitre est consacré à une description du système photovoltaïque, ses types et ses différents composants.

I.2 Gisement solaire

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivent le rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé dans des domaines variés.

Une bonne connaissance du gisement solaire est nécessaire à l'étude des systèmes photovoltaïques [2].

I.2.1 Le soleil

Le soleil est à l'origine de la vie sur la terre et la perpétue par son apport incessant d'énergie ; cette énergie est vraiment considérable. Elle nous arrive sous forme d'un rayonnement électromagnétique à travers l'espace et qui nous éclaire, nous réchauffe et fait croître les plantes.

- **Le spectre solaire**

Le rayonnement solaire est la lumière qui provient du soleil sous forme d'ondes électromagnétiques compris dans une bande de longueur d'onde variant. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

- 9 % dans la bande des ultraviolets ($\lambda < 0,4 \mu\text{m}$) invisibles, provoquent des dommages sur les cellules.
- 47 % dans le visible ($0,4 \mu\text{m} < \lambda < 0,8 \mu\text{m}$) visibles, ils nous permettent de distinguer les formes et les couleurs.
- 44 % dans la bande des infrarouges ($\lambda > 0,8 \mu\text{m}$) invisibles, chauffent la matière solide ou gazeuse qu'ils rencontrent.

Sur Terre, le spectre solaire est modifié en intensité (de l'ordre de $1000 \text{ W} / \text{m}^2$) et en distribution spectrale énergétique. Cette modification est due à l'absorption par l'atmosphère.[4]

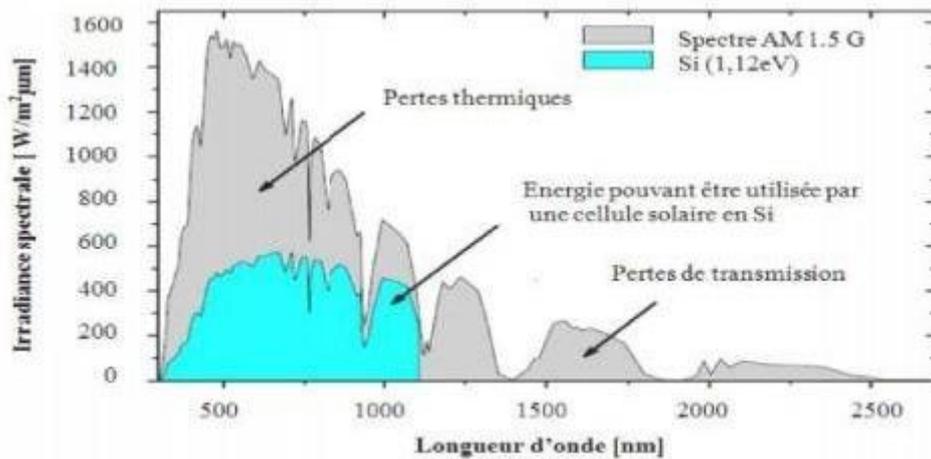


Figure I.1 : Les différentes longueurs d'ondes du rayonnement .[4]

Rayonnement solaire incidente

Le rayonnement reçu par la Terre en incidence normale avoisine les $1400 \text{ W}/\text{m}^2$ avant d'aborder la couche atmosphérique. En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire y compris une partie du rayonnement sur une large bande de l'ultraviolet au visible. Subit une atténuation et une modification de son spectre grâce à l'oxygène qui présente deux bandes étroites d'atténuation vers 690 et 760 nm. Et à la vapeur d'eau qui possède de nombreuses bandes d'absorption dans le visible et encore plus dans l'infrarouge.[5]

Le rayonnement total reçu sur une surface, appelé rayonnement solaire incidente (éclairage énergétique global), est défini par la somme de trois composantes :

Rayonnement directe : provenant directement du soleil. Cette composante s'annule si le Soleil est caché par des nuages ou par un obstacle.

Rayonnement diffuse : est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. La part du rayonnement diffus n'est pas négligeable et peut atteindre 50% du rayonnement global (selon la situation géographique du lieu). Le rayonnement global sur la terre et sa part de rayonnement diffus varie au cours de l'année.

Rayonnement réfléchi : correspondant au rayonnement réfléchi par l'environnement extérieur, en particulier le sol, dont le coefficient de réflexion est appelé « albédo ». [6]

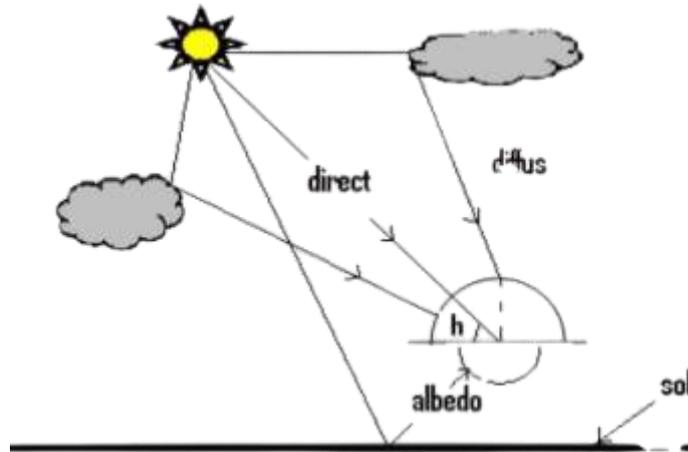


Figure I. 2 : Les composantes du rayonnement solaire [6]

I.3 Historique du PV

Dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :

1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.

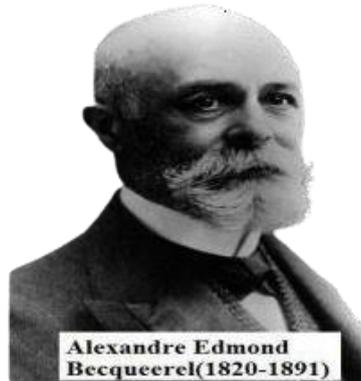


Figure I.3 : découvreur la production de l'énergie électrique par l'énergie solaire.

1875 : L'exposition du premier article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs par Werner Von Siemens devant l'Académie des Sciences de Berlin. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

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



Figure I.4 : En 1958 : les trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince.

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

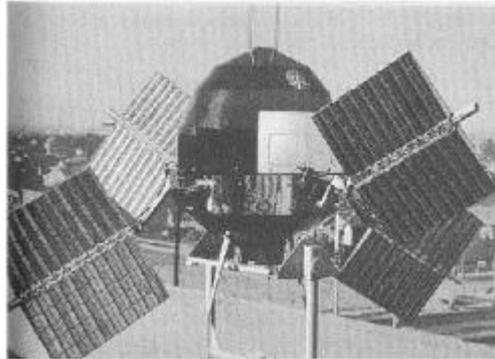


Figure I.5 : le premier satellite équipé des panneaux solaires.

1973 : A l'Université de Delaware, la première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite.

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



Figure I.6 : la première voiture alimentée par l'énergie photovoltaïque.

1995 : Au Japon et en Allemagne, Des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau ont été lancés, et se généralisent depuis 2001.[7]

I.4 Définition du PV

Un système (photovoltaïque) PV est un ensemble d'éléments (constituants) de production d'électricité, en utilisant une source solaire. Ces constituants sont essentiellement le champ PV, le conditionnement de puissance, le système de stockage (dans un certain cas), et la charge. Le conditionnement de puissance peut comprendre : un régulateur seul, un régulateur avec un convertisseur (DC /DC ou/et DC/ AC) ou un convertisseur seul.[9]

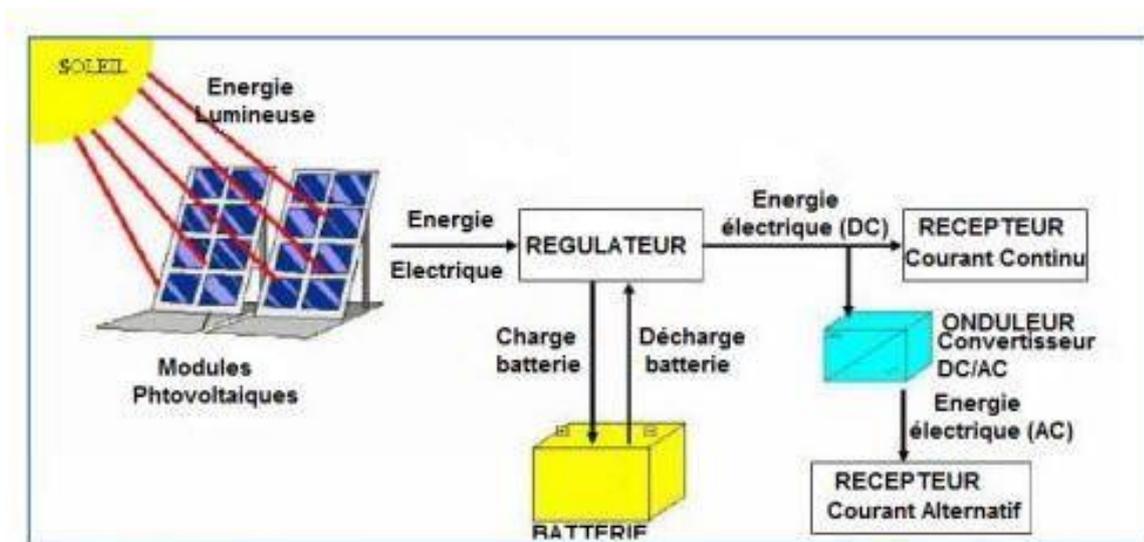
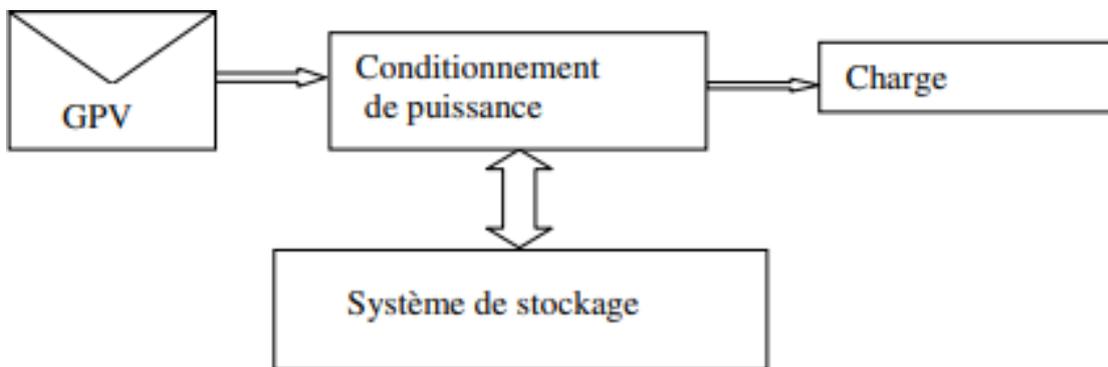


Figure I.7 : Système photovoltaïque.[8]

I.5 Les différents types de système PV

Il existe des types de système PV :

- Systèmes PV autonomes.
- Systèmes connectés au réseau.[8]
- Systèmes Hybrides

I.5.1 Systèmes PV autonomes

C'est un système qui n'est pas reliée au réseau électrique (chalet isolé en montagne, bateau, station de télécommunication isolée ...), et se compose de :

- Modules photovoltaïques qui sont assemblée en série/parallèle, produisent grâce à l'énergiesolaire un courant électrique continu.
- L'énergie solaire captée par les modules est soit stockée dans des batteries et utilisable ultérieurement, servant la nuit ou pendant des périodes à ciel couvert ou dans le cas insuffisance d'énergie solaire. La puissance électrique du champ de modules et la capacité des batteries sont soigneusement déterminées afin d'obtenir un rendement optimal.[10]
- Le régulateur veille à la charge des batteries dans des conditions optimales afin de garantir une durée de vie plus élevée.
- L'onduleur transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteur AC.
- L'utilisation de l'énergie ; elle se compose essentiellement d'un ou plusieurs récepteurs DC (appelés aussi charges). Certaines applications des systèmes autonomes par exemple le pompage de l'eau.[10]

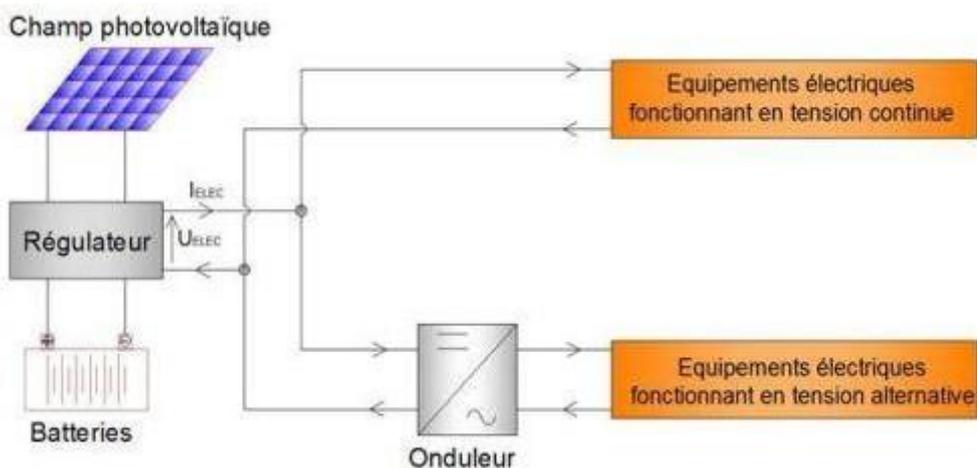


Figure I.8 : Schéma principe installation photovoltaïque autonome.[10]

I .5.2 Le système connecté au réseau (ON GRID)

Ce système est connecté au réseau électrique, dont le rôle principal est de contribuer à la production d'électricité d'origine renouvelable sur le réseau.

Il existe deux types de raccordements au réseau :

A. Connexion avec injection de la totalité de la production photovoltaïque, toute l'énergie électrique produite par les capteurs photovoltaïques est envoyée pour être revendue sur le réseau de distribution.

- Le raccordement du consommateur qui reste identique avec son compteur de consommation.
- Le nouveau branchement permettant d'injecter l'intégralité de la production dans le réseau, dispose de deux compteurs :
 - L'un pour la production.
 - L'autre pour la non-consommation.

B. Connexion avec injection du "surplus" de la production photovoltaïque (hybride) : Cette technique est réalisée avec le raccordement au réseau public en un point, l'utilisateur consomme l'énergie qu'il produit avec le système solaire et l'excédent est injecté dans le réseau. Quand la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'énergie nécessaire. Un seul compteur supplémentaire est ajouté au compteur existant.[10]

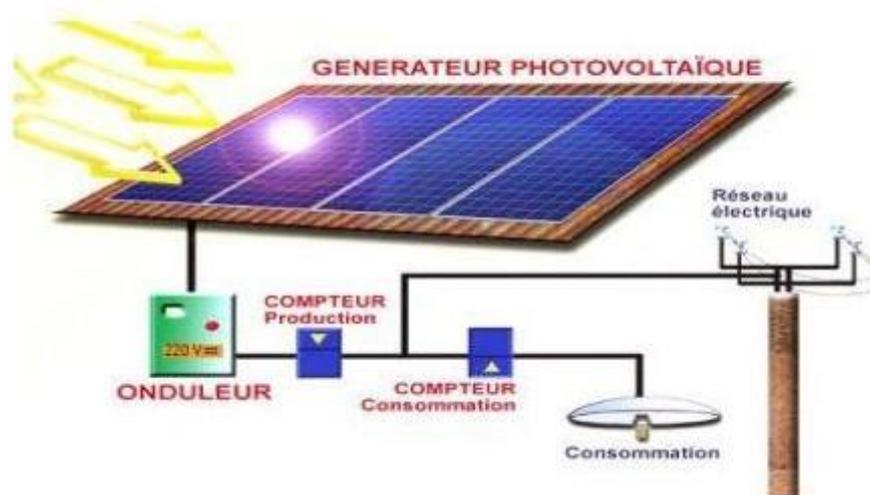


Figure I.9: Schéma principe installation photovoltaïque connecté au réseau.[10]

I .5.3 Systèmes Hybrides

Un **système hybride** est un système dynamique faisant intervenir explicitement et simultanément des comportements continus et discrets. Ces systèmes sont classiquement constitués de processus continus (par exemple, des équations différentielles) interagissant avec ou supervisés par des processus discrets (par exemple automates finis). Ils résultent également de l'organisation hiérarchique des systèmes de contrôle/commande complexes, ou de l'interaction entre des algorithmes discrets de planification et des algorithmes continus de commande.

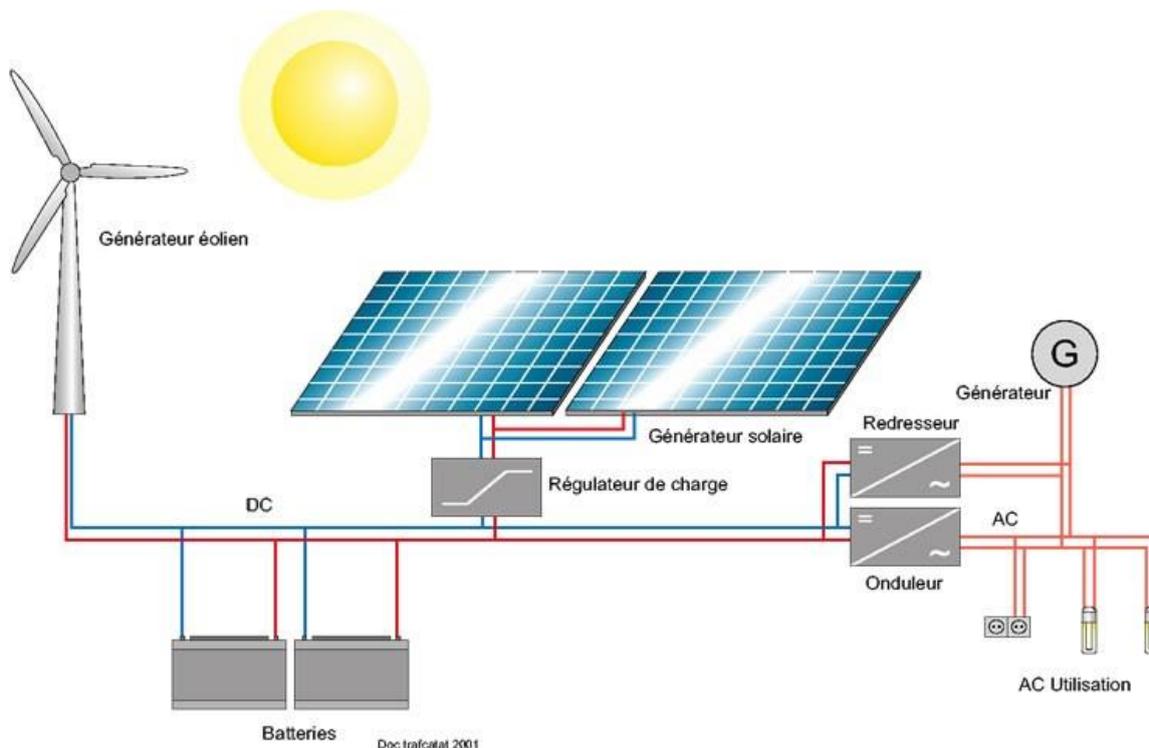


Figure I.10: Schéma de système hybride

I .6 Principe de fonctionnement d'une installation photovoltaïque

Une installation photovoltaïque se compose de modules solaires, eux-mêmes constitués de cellules photovoltaïques, à base de silicium le plus souvent.

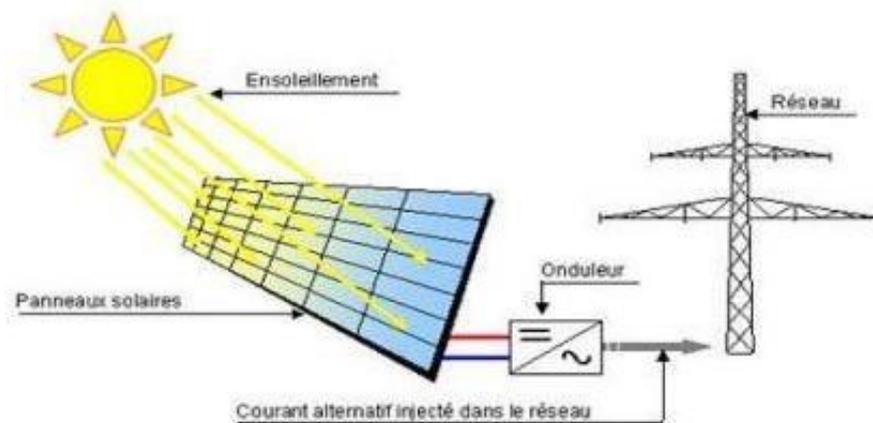


Figure I.11: Schéma principe installation photovoltaïque connecté au réseau.[10]

Ces générateurs transforment directement l'énergie solaire en électricité (courant continu). La puissance est exprimée en Watt- crête (W_c), unité qui définit la puissance électrique disponible aux bornes du générateur dans les conditions d'ensoleillement optimales. Un ou plusieurs onduleurs convertissent le courant continu produit en courant alternatif à 50Hz et 220 V. Selon le choix retenu, toute ou une partie de la production est injectée sur le réseau public, et le reste est consommé par le producteur. Lorsque la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'électricité nécessaire.[10]

I.7 Cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est l'élément de base qui permet la conversion directe de l'énergie solaire (rayon lumineux), à une énergie électrique. Ce mode de conversion repose sur un principe très connu qui est l'effet photovoltaïque.

Et pour passer de l'effet photovoltaïque à l'application pratique, il est nécessaire de trouver des matériaux semi-conducteurs qui permettent d'optimiser les deux phases essentielles de ce principe, soit l'absorption de la lumière incidente et la collection des électrons en surface. Les cellules PV sont fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs qui sont capables de conduire l'électricité ou de la transporter. Plus de 90 % des cellules solaires fabriquées à l'heure actuelle sont au silicium cristallin, un semi-conducteur. Une des faces de la cellule est dopée n (par exemple du phosphore).

L'autre est dopée p (par exemple du bore). Des électrodes métalliques sont placées sur les 2 faces pour permettre de récolter les électrons et de réaliser un circuit électrique. La face supérieure de la cellule est traitée de manière à optimiser la quantité de lumière entrant dans la cellule au moyen de traitement de surface, par l'application d'une couche anti réflexion, et d'une autre couche en verre pour l'étanchéité et la protection de la cellule. En fin les faces supérieure et inférieure sont équipées d'électrodes pour récolter les électrons. [14].

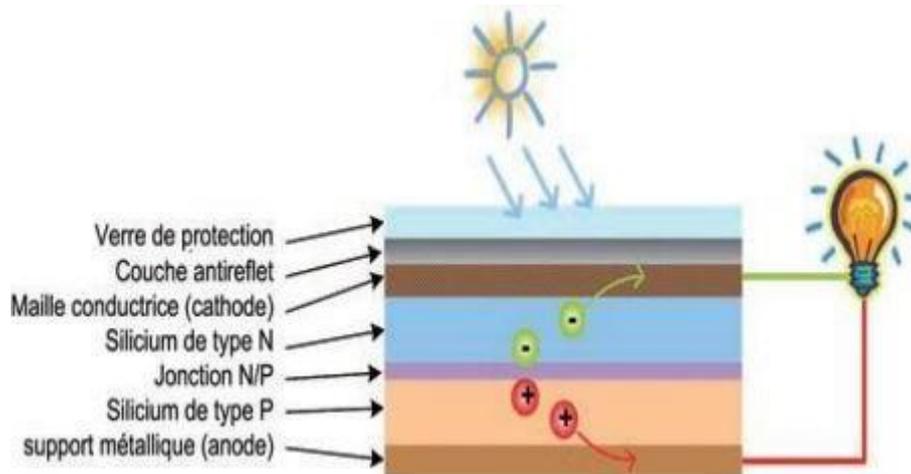


Figure I.12 : Constitution d'une cellule photovoltaïque.

I.8 Les technologies des cellules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules photovoltaïques, réparties à base de leurs technologies de fabrication, généralement les technologies les plus répandues sont à base de silicium, notamment d'autres matériaux sont aussi utilisés, comme les matières organiques.

On cite ci-dessous les types des cellules photovoltaïques les plus répandues :

-Les cellules à base de silicium monocristallin : Les cellules sont fabriquées avec du silicium parfaitement cristallisé découpé dans des barres. C'est le matériau le plus répandu, et de plus il a l'avantage d'avoir un très bon rendement, entre 12 % et 16 %. L'inconvénient en est le prix, du fait d'un procédé de fabrication long et est utilisé en extérieur pour les fortes et moyennes puissances (habitations, relais, télécommunications...).

- Les cellules à base de silicium poly cristallin : Les cellules de silicium poly cristallin sont découpées dans des barres de silicium reconstitué ; les atomes ne sont pas tous cristallisés. Le rendement est moins bon, entre 11 % et 14 %. L'avantage de ces cellules par rapport à celles en silicium monocristallin réside dans leur prix, puis que leur fabrication, produisant peu de déchets, nécessite de 2 à 3 fois moins d'énergie et est plus rapide. Elles ont les mêmes applications que les cellules en silicium monocristallin. [14]

- **Les cellules à base de silicium amorphe** : Ce silicium est nettement moins puissant que les deux précédents, car les atomes sont disposés de manière désordonnée du fait que les cellules sont fabriquées par projection de silicium sur un autre matériau, comme du verre ou du plastique. Ce silicium en couche très mince répond néanmoins à de nombreux besoins liés à l'éclairage (extérieur ou intérieur). Son rendement est de 5 % à 7 %. Il est utilisé pour l'électronique, dans les calculettes par exemple. [14]

- **Les cellules à base organiques et plastiques**: ils sont composés d'une bicouche de molécules évaporées sous vides, attient 0.95% de rendement de conversion, ces cellules comprennent deux voies des cellules « humide » et la voie des cellules polymère organique dite aussi cellules « plastiques ».Le progrès de ces technologies est très rapide, des records de rendement sont très fréquemment battus (actuellement près de 6%).Elles ouvrent également la voie aux applications légères, nomades et souples.[15]

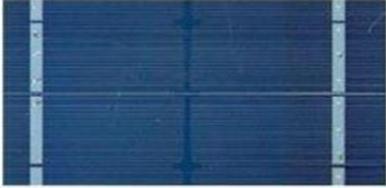
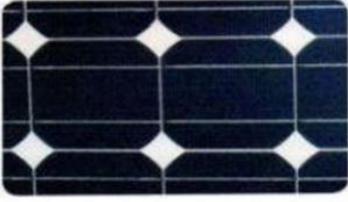
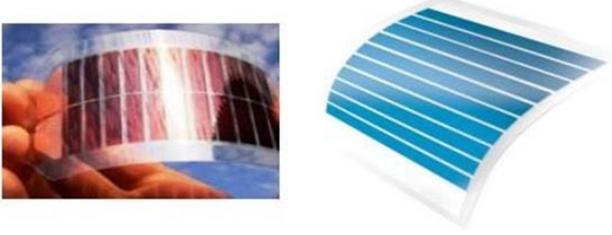
| Type de la cellule | Texture |
|--|---|
| Cellule en silicium monocristallin |  |
| Cellule en silicium poly cristallin |  |
| Cellule en silicium amorphe |  |
| Cellules à base organiques et plastiques |  |

Tableau I.1 : Différents types de cellules photovoltaïques.[15]

I.9 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :

Les propriétés électriques de la cellule sont synthétisées dans un graphe qu'on appelle caractéristique courant-tension. La figure suivante montre les caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :

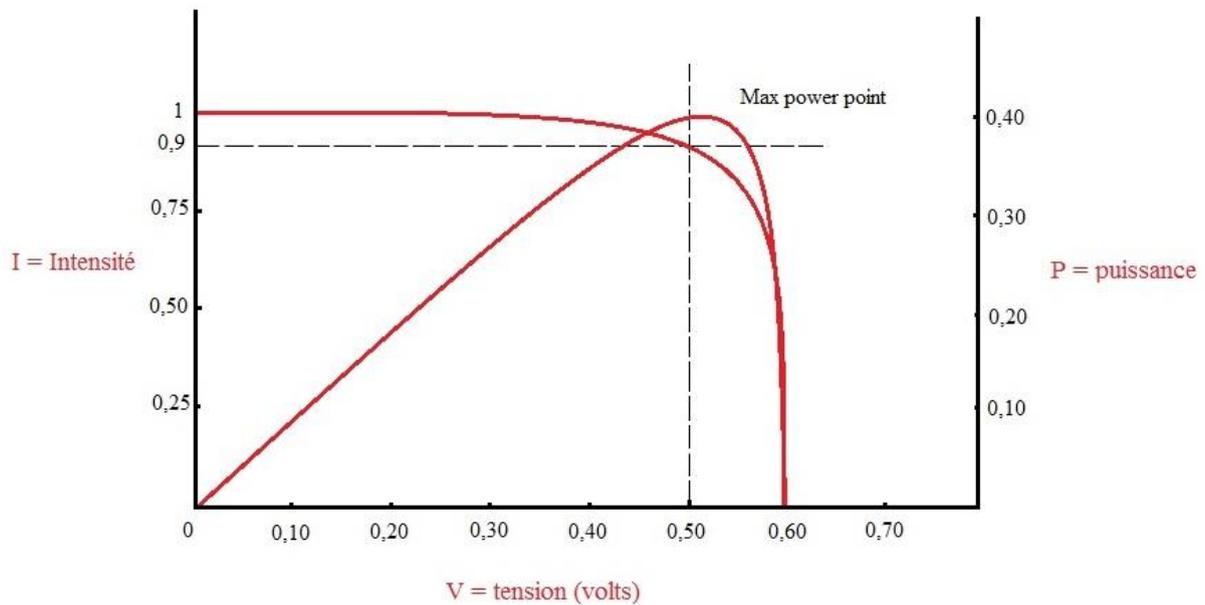


Figure I.13 : Évolution de la caractéristique $I = f(V)$ et $P = f(V)$ [14]

- Le courant de court-circuit I_{cc} :

Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule. Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface éclairée [16].

$$I_{PH} = I_{CC} + I_S - \left[\exp - \left(\frac{V_{cell} + I_{PH} R_S}{n V_t} \right) \right] + \frac{V_{cell} + I_{PH} R_S}{R_p} \quad I.1$$

Où :

- ✓ I_s : courant de saturation (A) ;
- ✓ V_t : le potentiel thermodynamique (V) ;
- ✓ n : le facteur de non idéalité de la jonction ;
- ✓ V_{cell} : la tension à ses bornes ;
- ✓ I_{cc} : courant de court-circuit de la cellule dépendant de l'éclairement et la température (A) ;
- ✓ R_p : résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction (Ω) ;
- ✓ R_s : résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions (Ω).

- **La tension en circuit ouvert V_{co} :**

La tension à circuit ouvert est obtenue quand le courant qui traverse la cellule est nul. Elle décroît avec la température et varie peu avec l'intensité lumineuse [16].

$$V_{co} = V_t \log \left(\frac{I_{PH}}{I_S} + 1 \right) \quad I.2$$

- **La Puissance maximale P_{max} :**

Pour une cellule solaire idéale, la puissance maximale P_{max} , correspondrait donc à la tension maximale multipliée par le courant maximum [16].

$$P_{max} = V_{max} * I_{max} \quad I.3$$

- **Le facteur de forme FF :**

C'est le rapport entre la puissance maximale que peut fournir une cellule et la puissance qu'il est théoriquement possible d'obtenir (puissance optimale) [13].

$$Ff = \frac{P_{max}}{V_{col} * I_{cc}} \quad I.4$$

- **Le rendement η :**

Le rendement de la cellule qui correspond au rapport entre la puissance électrique fournie par la cellule et la puissance solaire incidente [16].

Où

✓ S : Surface de cellule solaire.

✓ E : Flux incident.

$$n = \frac{V * I}{P \text{ incidente}}$$

$$n = \frac{P_{max}}{Es} \quad I.5$$

I.10 Constitution des champs PV

Le champ PV est la source d'énergie électrique en courant continu. Il est constitué d'un ensemble de modules rangés sous forme de panneaux. Le module est un ensemble de photopiles (cellules) assemblés pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition à la lumière.[11]

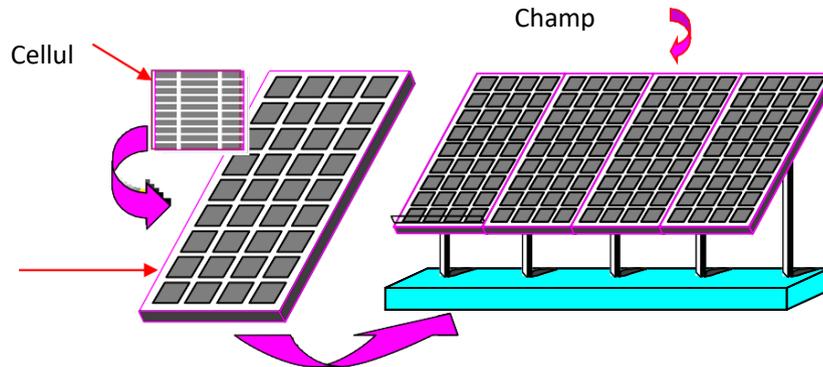


Figure I.14 : Constituants d'un générateur PV.[10]

I.10.1 Modules

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module. Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension.[11]

Afin de donner au module une certaine protection et rigidité, ses constituants doivent être bien choisis. Et pour un bon captage du rayonnement solaire, la réflexion des parties traversées par ce rayonnement soit bien minimisée.[11]

I. 10.2 Élément

- Cadre en aluminium

Le module est généralement entouré d'un cadre rigide en aluminium, comprenant des trous de fixation.[11]

- Verre trempé.

La surface avant est constituée d'un verre, trempé afin d'augmenter sa résistance aux chocs, d'une épaisseur de plusieurs millimètres. Il assure une stabilité mécanique tout en étant transparent pour la lumière incidente.[11]

- Couches d'encapsulant avant et arrière

Le Silicium (cellules) est enrobé dans une résine EVA (éthylène-vinyle- acétate)

- Surface arrière

La couche arrière agit comme une barrière contre l'humidité et les autres contraintes. Selon le fabricant, il peut s'agir d'une autre plaque de verre ou d'une feuille de polymère composite. La combinaison de matériaux souvent utilisée est les PVF-polyster-PVF. Le PVF signifie poly fluorure de vinyle, il a une faible perméabilité aux vapeurs et est très résistant aux intempéries. Il est souvent connu sous son nom de marque Tedlar.[11]

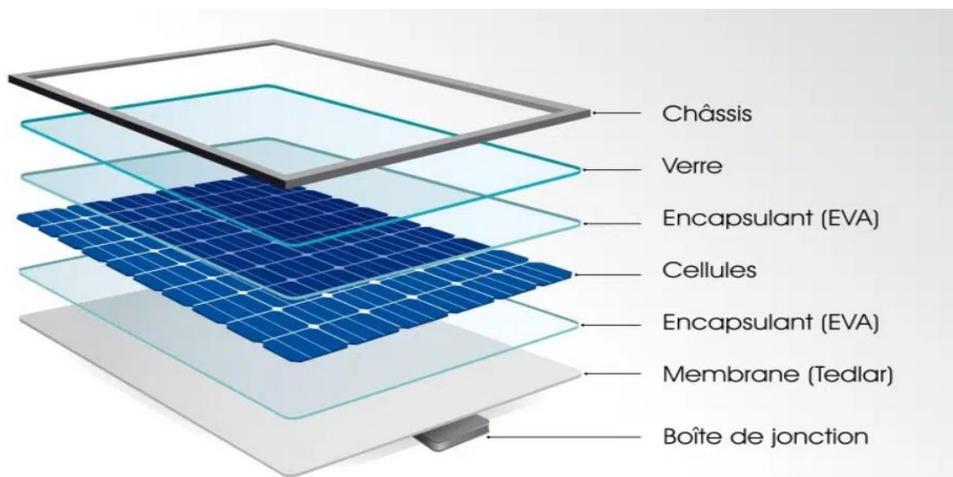


Figure I.15: Constituants d'un module photovoltaïque [11]

- **Fonction**

Les modules photovoltaïques assurent les fonctions suivantes :

- Protection des cellules contre les agents atmosphériques.
- Protection mécanique et support.
- Connexion électrique entre cellules et avec l'extérieur.[11]

I.11 L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent). Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie ($h\nu$) à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique

intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure

permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure, ainsi se crée un courant électrique. Créé un courant électrique.[13]

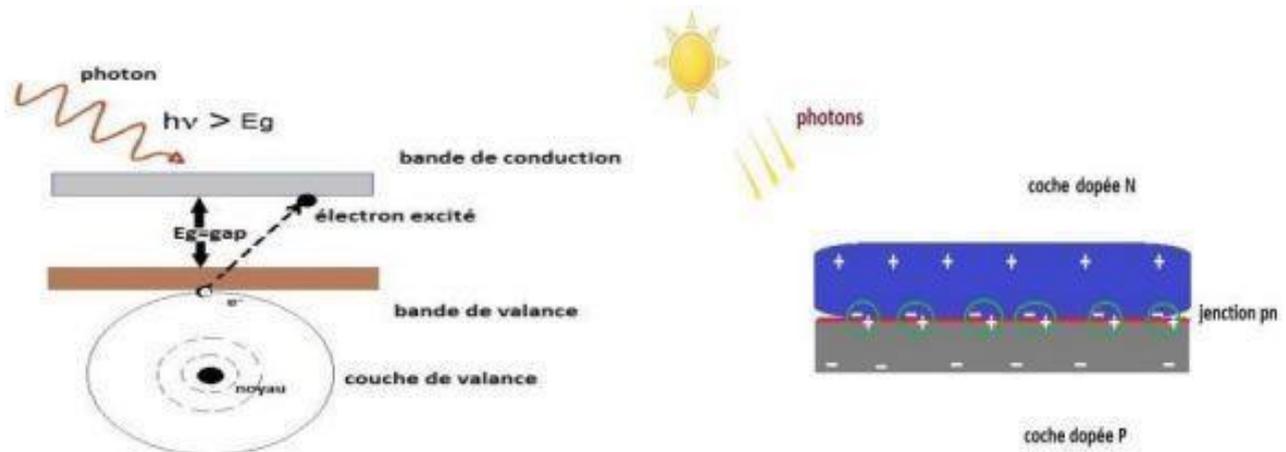


Figure I.16 : Excitation des électrons de valence par les photons et la jonction (P-N).[13]

I.12 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

➤ L'énergie photovoltaïque présente des avantages énormes tels que :

- Gratuité de cette ressource et énormité de son potentiel réparti sur le globe terrestre,
- Propreté durant son utilisation,
- Grande fiabilité,
- Peu d'entretien,
- Grande souplesse de production (variant de milliwatts aux mégawatts),
- Utilisation autonome et décentralisée.[20]

➤ Malgré ces avantages intéressants, il y a aussi des inconvénients tels que :

- Source diffuse du rayonnement solaire qui nécessite de grandes surfaces,
- Technologie coûteuse,
- Facteur de charge faible,
- Stockage difficile,
- Difficulté à recycler les composants du système,
- Investissement élevé dépendant des décisions politiques [20].

I.13 Conclusion

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie renouvelable qui provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein des matériaux bien particuliers tels que les semi-conducteurs (le silicium, le Germanium, l'Arséniure des Galium, ...). Afin de la rendre réalisable physiquement, elle nécessite un équipement complémentaire dit installation photovoltaïque, contenant les composants d'amélioration nécessaires qui rendent l'électricité produite consommable (régulation, conversion CC/AC...).

Dans ce chapitre nous avons rappelé quelques notions de base relatives au rayonnement solaire, produire une conversion photovoltaïque. Nous avons ensuite décrit l'installation solaire photovoltaïque qui se compose des modules photovoltaïques (générateur PV), des batteries, des onduleurs et des régulateurs.

De même les générateurs photovoltaïques sont réalisés par association, en série et/ou en parallèle d'un grand nombre de cellules ; nous avons décrit la cellule solaire, son principe de fonctionnement, les différents types de cellules, ses différents paramètres électriques (rendement, facteur de forme, le courant de court-circuit, ...).

Chapitre II

Modélisation et simulation panneau PV

II.1. Introduction

La modélisation est une étape fondamentale qui permet d'introduire un certain nombre de modèles puis d'évaluer la caractéristique de chaque élément de l'installation ainsi que les paramètres constitutants. Dans un système énergétique photovoltaïque, on espère toujours travailler au voisinage du point de puissance maximale MPP.[21] [22]

Dans ce chapitre, on présentera les différents circuits équivalents d'une cellule solaire, en partant du plus simple et classique jusqu'à celui de Bishop qui a été retenu pour son efficacité de simuler le comportement de ce système ou ces cellules en fonctionnement normal et défaillant.

II.2. Les modèles de la cellule PV

Une cellule solaire photovoltaïque est une diode électronique PN de grande surface qui, exposée à la lumière (photons), génère une tension électrique (volts) [22]. Le comportement des cellules photovoltaïques peut être modélisé avec un circuit équivalent. Ce circuit peut être utilisé pour une cellule individuelle ou pour un module se composant de plusieurs cellules. Nous allons modéliser et simuler la cellule photovoltaïque, qui nous permettra de caractériser les comportements du GPV dans les conditions souhaitées.

Il existe plusieurs modèles qui ont été proposés pour représenter une cellule PV, on présentera quatre modèles :

- Modèle à une diode
- Modèle bishop

II.2.3 Modèle à une diode

Le fonctionnement d'un module photovoltaïque est décrit par le modèle « standard » à une diode, établi par Shokley pour une seule cellule PV [23], est généralisé à un module PV en le considérant comme un ensemble de cellules identiques branchées en série ou en

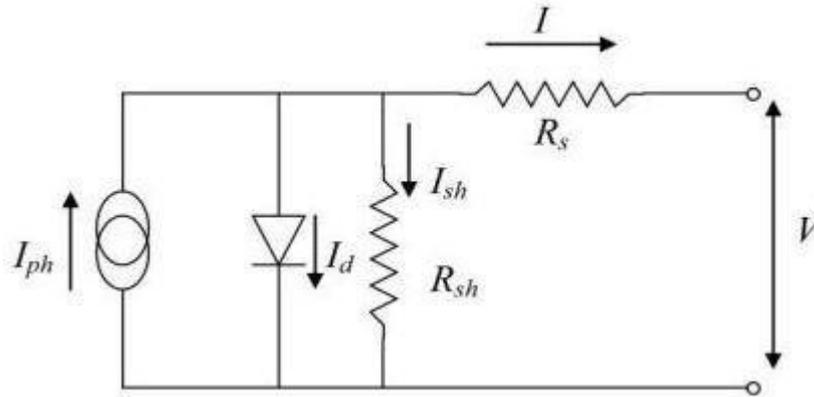


Figure II.1 : Schéma équivalent d'une cellule.

L'équation caractéristique est déduite d'une manière directe à partir de la loi de Kirchhoff :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad \text{II.1}$$

I_{ph} photo-courant [A], proportionnel à l'éclairement E , avec correction selon T [22] :

$$I_{ph} = \frac{E}{E_{STC}} [I_{ph,STC} + K_i(T - T_{STC})] \quad \text{II.2}$$

Avec :

- E et E_{STC} : éclairement effective et de référence [W/m^2]
- T et T_{STC} : Température effective et de référence [K]
- $I_{ph,STC}$ (I_{cc}) : Le courant photonique sous condition de référence [A]
- K_i : Coefficient de température de I_{ph} [A/K], (habituellement donné par le fabricant sur la datasheet).

Le courant de jonction I_d (courant traversant la diode) est donné par

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{q(V + R_{SI}I)}{a.k.t}} - 1 \right) \quad \text{II.3}$$

Le courant de saturation inverse de la diode en [A], est supposé variable avec la température selon

l'expression [24]

Le courant de jonction I_d (courant traversant la diode) est donné par [23] :

$$I_{sh} = \frac{V + I R_S}{R_{sh}} \quad \text{II.6.5}$$

A partir de l'équation précédente, on obtient l'expression de courant I :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V + R_S I)}{a \cdot k \cdot t}} - 1 \right) - \frac{V + I R_S}{R_{SH}} \quad \text{II.7}$$

$$V t = \frac{a * k * t}{q} \quad \text{II.8}$$

Les conditions de référence E et E_{ref} : sont les conditions extérieures pour lesquelles sont spécifiées les données de base utilisées pour l'établissement du modèle (V_{CO} , I_{CO} , V_{mpp} , I_{mpp}), se sont, soient les spécifications du fabricant, toujours données aux STC (Standard Test

Conditions, 1000 W/m², 25°C, spectre AM1.5), soient des valeurs issues d'une mesure du module [22].

II.2.4 Modèle de Bishop

L'effet d'avalanche de la cellule est pris en considération dans le modèle de Bishop en ajoutant au modèle à une diode un multiplicateur non linéaire $M(V1)$ en série avec la résistance shunt [27], comme on peut le voir dans la figure II.3

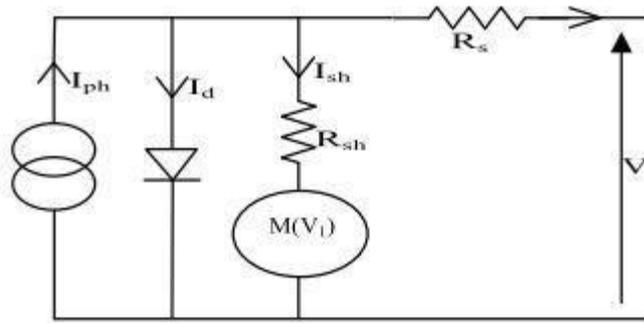


Figure II. 2 : schéma équivalent d'une cellule PV Modèle de Bishop.

Ce multiplicateur correspond au dernier terme de l'équation qui donne la relation entre le courant (I) et la tension (V) d'une cellule PV :

$$I = I_{PH} - I_0 \left(e^{\frac{V+IR_S}{V_t}} - 1 \right) - \frac{V+IR_S}{R_{SH}} \left[1 + \left(1 - \frac{V+R_S I}{V_b} \right)^{-n} K \right] \quad \text{II.9}$$

II.3 Association des cellules

Les cellules produisent une très faible puissance électrique (1 à 3 W) avec une tension continue de moins de 1 V. Ces cellules sont disposées en série et en parallèle pour former un module ou un panneau permettant de produire une puissance plus élevée. Les panneaux sont finalement interconnectés entre eux (en série et/ou en parallèle) pour obtenir un champ photovoltaïque [17].

II.3.1 Association série

Pour augmenter la tension du générateur PV, on dispose d'un nombre (N_s) de cellules en série. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation suivante résume les caractéristiques électriques d'une association série de (N_s) cellules.[18]

$$V_{cos} = N_s * V_{co} \quad \text{(I.6)}$$

$$I_{ccs} = I_{cc} \quad \text{(I.7)}$$

- **Vcos**: la somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.
- **Iccs**: courant de court-circuit de N_s cellules en série.

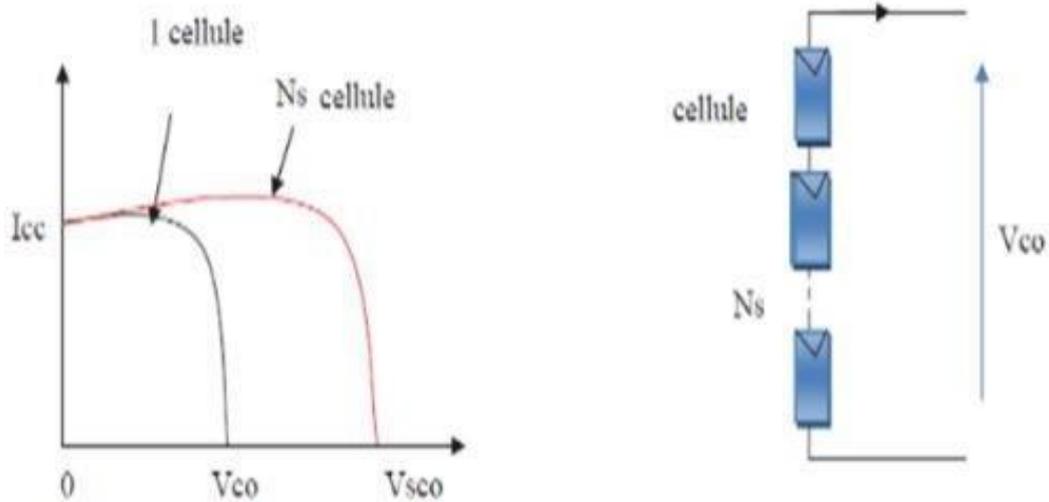


Figure II.3 : associations en série des cellules PV [18].

II.3.2 Association en parallèle

Pour faire augmenter le courant du générateur PV, en disposent d'un nombre (N_p) de cellules en parallèle. Les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants. L'équation suivante résume les caractéristiques électriques d'une association parallèle de (N_p) cellules : [18]

$$I_{ccp} = N_p * I_{cc} \quad (I.8)$$

$$V_{co} = V_{cop} \quad (I.9)$$

Iccp : la somme des courants de court circuit de (N_p) cellule en parallèle.

Vcop : la tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle

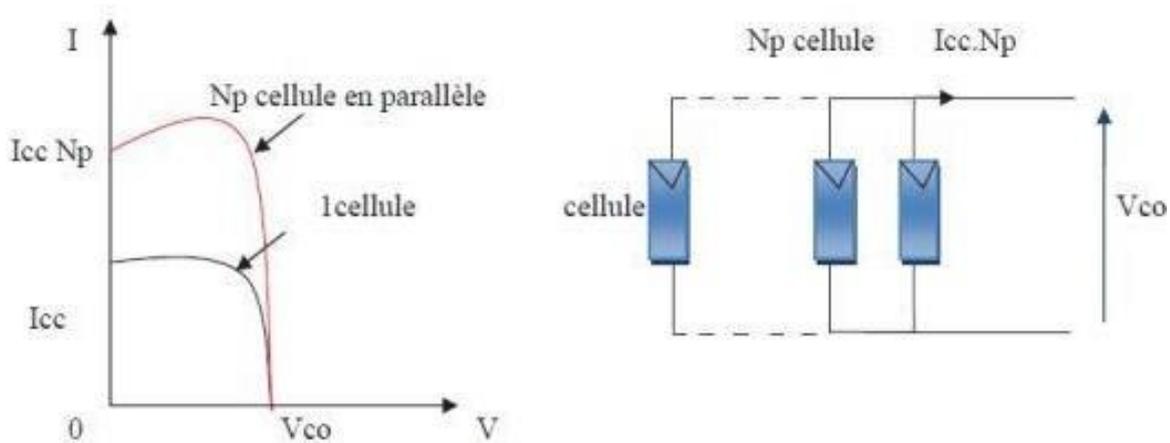


Figure II.4 : Associations en parallèle des cellules PV [18]

II.3.3 Association en série- parallèle

La connexion en série de plusieurs cellules forme une branche de cellules où on a une augmentation de tension pour même courant, un assemblage de plusieurs branches de cellules en parallèle forme un module où on a un accroissement du courant et une conservation de tension [19].

II.4. Simulation de modèle bishop sous Matlab Simulink

Dans la littérature, le modèle de Bishop est généralement retenu comme le modèle le plus adapté pour modéliser une cellule PV tant en fonctionnement normal qu'en fonctionnement dans le régime inverse, L'étude est faite sur un générateur photovoltaïque, composé de 36 cellules polycristallin connectées en série constituant deux branches qui seront connectées en parallèle pour produire une puissance maximale de 64 Watts.

| Caractéristiques électriques à 1 000 W/m², AM 1,5, température de cellule 25 ° | |
|--|--|
| Maximum d'énergie | 64 W |
| Puissance maximale actuelle | 4.1 A |
| Puissance maximale de tension | 15.6 V |
| Courant de court-circuit | 5.1 A |
| Tension de circuit ouvert | 21.3 V |
| Type de modèle | US-64 |
| Tension maximale du système | 600 V |
| Fusible série | 8.0 A |
| Min. Diode de blocage/bypass | 8.0 A |
| Câblage sur place | Cuivre uniquement 18-10 AWG Isolé pour 90°C Min |

Les différentes équations qui caractérisent notre panneau sont :

| Les équations | les formules du |
|---|---|
| $I_d = I_0 \left(e^{\frac{q(V+R_S I)}{a.k.t}} - 1 \right)$ | courant de saturation inversé de la diode |
| $I_{ph} = \frac{E}{E_{STC}} [I_{ph,STC} + K_i(T - T_{STC})]$ | Photo-courant |
| $I_{sh} = \frac{V+I R_S}{R_{sh}}$ | courant à travers la résistance de shunt |
| $I = I_{PH} - I_0 \left(e^{\frac{V+I R_S}{V_t}} - 1 \right) - \frac{V+I R_S}{R_{SH}} \left[1 + \left(1 - \frac{V+R_S I}{V_b} \right)^{-n} K \right]$ | courant de sortie |
| $I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{V+I R_S}{V_t}} - 1 \right) - \frac{V+I R_S}{R_{sh}} \left[1 + \underbrace{K \left(1 - \frac{V+R_S I}{V_b} \right)^{-n}}_{M(V_1)} \right]$ | Le Terme De Bishop |

Le schéma bloc ci-dessous présente le modèle étudié sous Matlab Simulink après la représentation des différentes équations qui caractérisent le modèle bishop.

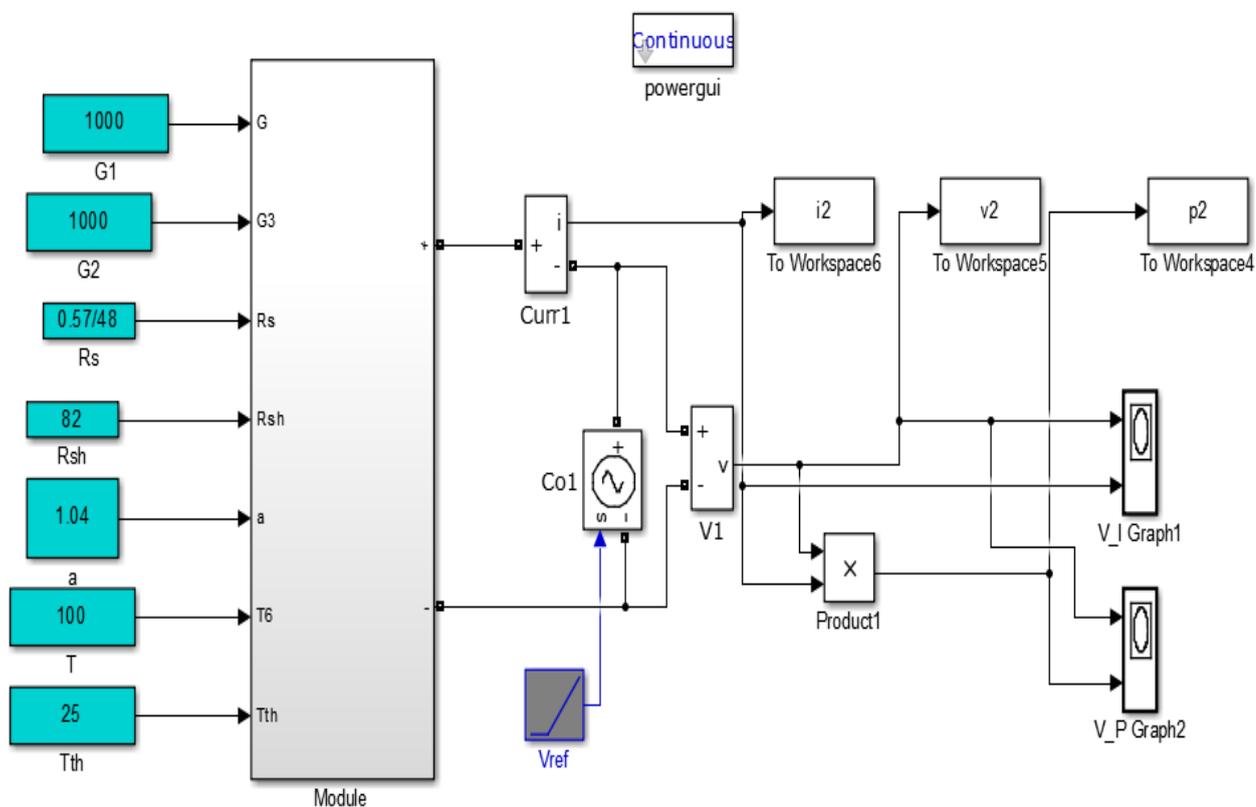


Figure II.5 : Simulation sous Matlab

Après la modélisation du panneau photovoltaïque sous Matlab/SIMULINK nous allons passer à l'étude de l'influence de la température et l'éclairement sur les caractéristiques I-V et P-V.

II.5 Influence d'éclairement et de la température

L'étude de l'influence des différents paramètres sur la caractéristique du modèle est très importante pour pouvoir ensuite classifier le type de défaut responsable de la variation de ces paramètres.

Nous ne nous intéressons dans cette analyse qu'aux deux premiers paramètres qui sont les plus susceptibles de varier suite à un défaut.

II.5.1 Influence d'éclairement

Les figures suivantes présentent les caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ d'un module photovoltaïque pour différents ensoleillements à la température fixe. Comme on peut voir sur la figure, le courant du module est proportionnel à l'ensoleillement, tandis que la tension change légèrement avec l'ensoleillement [17].

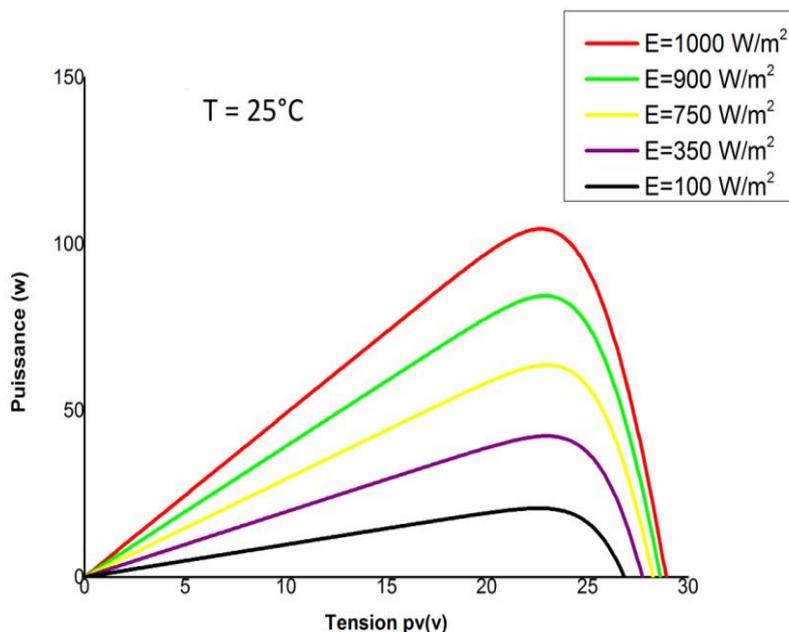


Figure II.6 : Évolution de la caractéristique (P-V) en fonction de la température.

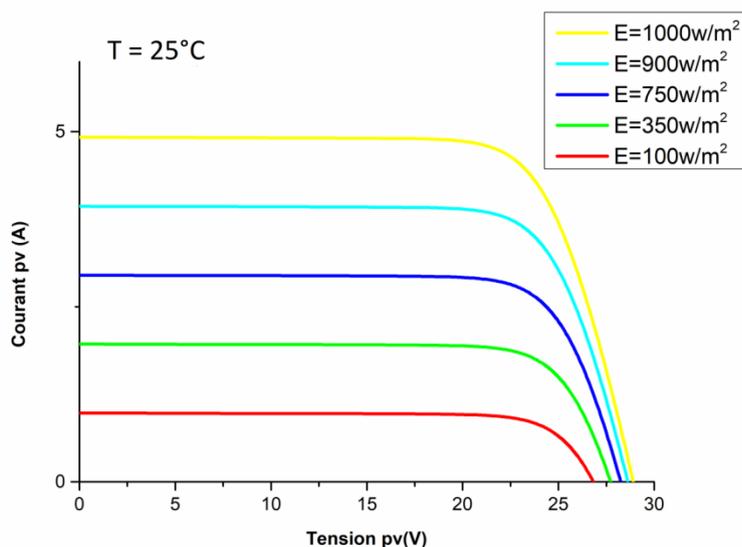


Figure II.7 : Évolution de la caractéristique (I-V) en fonction de l'éclairement

II.5.2 Influence de la température

On peut observer l'effet de la température sur la caractéristique $I(V)$. Comme le montre la figure II.7 la température a un léger effet sur le courant, mais une augmentation de la température cause une diminution apparente sur la tension [17].

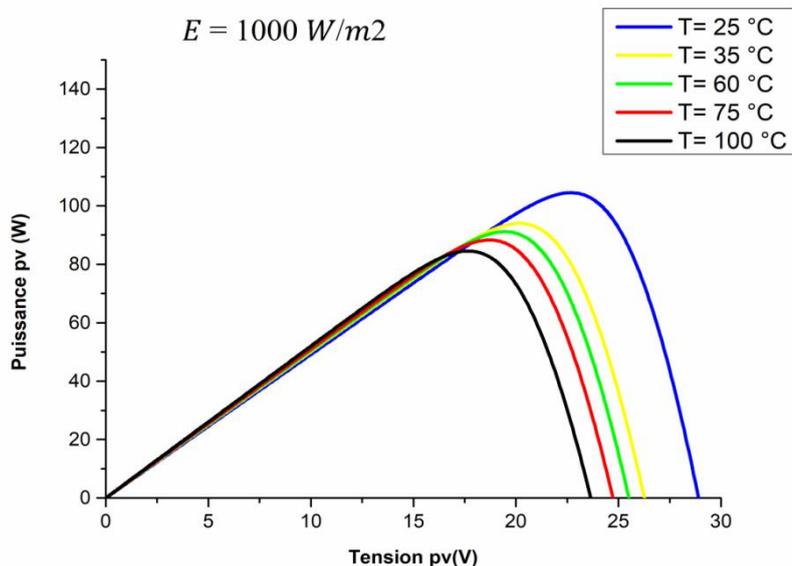


Figure II.8 : Évolution de la caractéristique (P-V) en fonction de la température.

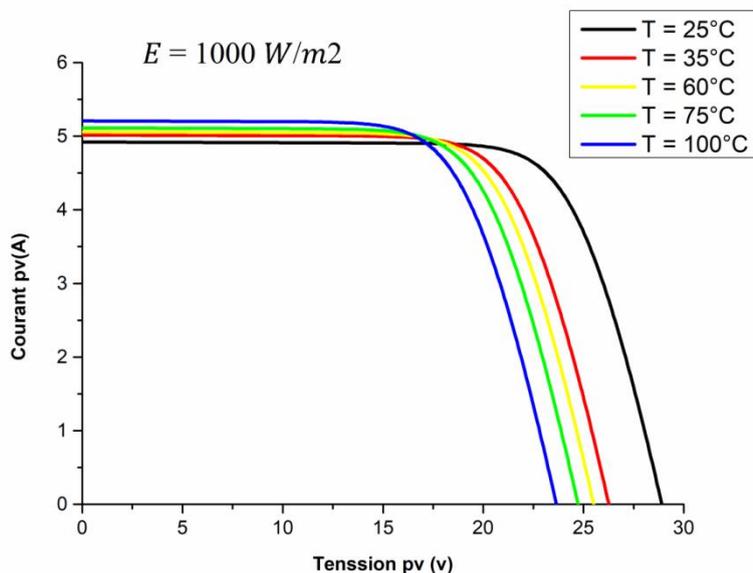


Figure II.9 : Évolution de la caractéristique (I-V) en fonction de la température.

Analyse

La variation de la température affecte essentiellement la tension de circuit ouvert tandis que son influence sur le courant de court-circuit est peu notable comme le montre la caractéristique $I(V)$ de la figure (Fig. II.8) prise à un éclairage constant et une température variable.

On remarque que la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court - circuit.

Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente, par conséquent la puissance extractible diminue. Lors du dimensionnement d'une installation, la variation de la température du site sera impérativement à prendre en compte (Lors du dimensionnement d'une nouvelle installation, la prise en compte du paramètre température est très nécessaire).

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons procédé, à la mise en équations des modèles d'un panneau PV et la simulation de modèle couramment utilisé, nous avons ensuite étudié l'influence de chaque paramètre sur la caractéristique courant tension en optant pour le modèle Bishop. On a remarqué que la variation de ces paramètres, ont une grande influence sur de la caractéristique $I(V)$ et $P(V)$ et par conséquent sur les performances du générateur photovoltaïque.

Chapitre III

Etude des défauts d'un système PV

1. Introduction

Nous avons vu dans le chapitre précédent les différents modèles qui régissent un système PV, ainsi l'influence des paramètres température et éclairage sur ces performances.

Dans ce qui suit nous discutons des différents défauts qui sont susceptibles d'arriver sur une installation photovoltaïque et leur conséquence, selon les différents composants de l'installation PV. Ensuite nous avons procédé à une série de simulations sur Matlab, nous avons choisi de travailler sur le modèle Bishop, car il est considéré comme étant le mieux pour une représentation de cellule tant en régime de fonctionnement normal qu'en régime inverse.

Notre étude sera basée sur l'analyse de la caractéristique I-V et P-V, nous avons aussi créé plusieurs défauts pratiquement sous forme de scénarios (ombrage), de défauts diode By-pass (déconnectée, inversée) pour valider notre modèle.

2. Plan d'action pour la simulation de diverses failles

Nous savons que la caractéristique I-V d'un module PV possède la capacité de fournir des informations sur l'état de celle-ci, et vu que cette dernière représente le composant élémentaire du champ PV, et que certains défauts peuvent avoir lieu justement au niveau du module, notre étude sera basée sur l'analyse de la caractéristique I-V d'un module, on travaillera sur le modèle proposé dans la littérature c'est-à-dire le (modèle Bishop), la caractéristique I-V est accompagnée par une modification selon les nouveaux défauts venant.

Tableau .III.1 : classification de défauts et d'anomalies d'un Champ pv

| Composant du champ | Nature des défauts | Dénomination de défauts |
|---------------------|--|---------------------------------|
| cellules | <ul style="list-style-type: none"> ● Module arraché ou cassé Pylônes, cheminée, sable, neige etc. ● fautes ● Echauffement des cellules. ● Dégradation des interconnexions ● Fissure ● Corrosion des liaisons entre cellules ● Modules de performances différentes ● Détérioration des cellules ● Pénétration de l'humidité | Défaut de mismatch et d'ombrage |
| Groupes de cellules | <ul style="list-style-type: none"> ● Destruction des diodes ● Absence de diodes ● Inversion de la polarité des diodes Diode mal connectée ● Diode court-circuitée | Défaut de diode de bypass |

3. Les Différents Défauts

3.1 Défaut de Mis match et d'ombrage

Les défauts de mis match et d'ombrage se sont des défauts fréquents aux systèmes PV. Le Défaut de mis match est le défaut causé par le groupement de cellules possédant une caractéristique I-V non identique.

Nous définirons ici deux types de Mismatch [2,3]:

- Le mismatch structurel
- Le mismatch fonctionnel

Le Mismatch structurel découle du fait que par exemple deux cellules identiques (même technologie, même procédé de fabrication, même constructeur, même série) soumises aux mêmes conditions de fonctionnement auront des caractéristiques différentes.

Le Mismatch fonctionnel est dû à des conditions de fonctionnement des cellules PV différentes, ombrages partiel, point chaud... Ces pertes peuvent être très importantes. Par exemple 3% de la surface d'un module ombrée entraîne une perte de puissance de plus de 50%. Toutes les différences de conditions de fonctionnement n'auront pas les mêmes conséquences bien sûr.

On peut dire que le défaut d'ombrage n'est finalement qu'un cas particulier du défaut mismatch. Nous présentons ci-dessous l'impact des défauts sur les différents paramètres.

| Nature des défauts | Paramètres affectés |
|---|---|
| Ombrage (feuilles, neige, sable.....) | Variation de I_{ph} |
| Échauffement des cellules | Variation de T |
| Fissure, Corrosion des liaisons..... | Variation de R_s |
| Humidité, Modules de performances différentes, Détérioration des cellules.. | Variation de tous les paramètres des cellules |

4. Etude de la caractéristique de module PV

L'étude est faite sur un générateur photovoltaïque, composé de 36 cellules polycristallin connectées en série constituant une branche, deux branches seront connectées en parallèle pour produire une puissance maximale de 64 Watts. Nous allons comparer dans la première partie les résultats de simulation de notre modèle avec les résultats expérimentaux mesurés sur le panneau au site de Ghardaia le 30/03/2022 en fonctionnement sain. Dans la deuxième partie nous allons étudier les deux défauts (ombrage et diode bay pass) et dans la dernière la validation de notre modèle avec les résultats expérimentaux a été effectuée.

4.1. Etude de modèle Bishop

4.1.1. Etude de panneau en fonctionnement Sain

Les différentes caractéristiques obtenues sous les conditions standard ($T_0=52^\circ\text{C}$ et $E_0=1015\text{W/m}^2$)

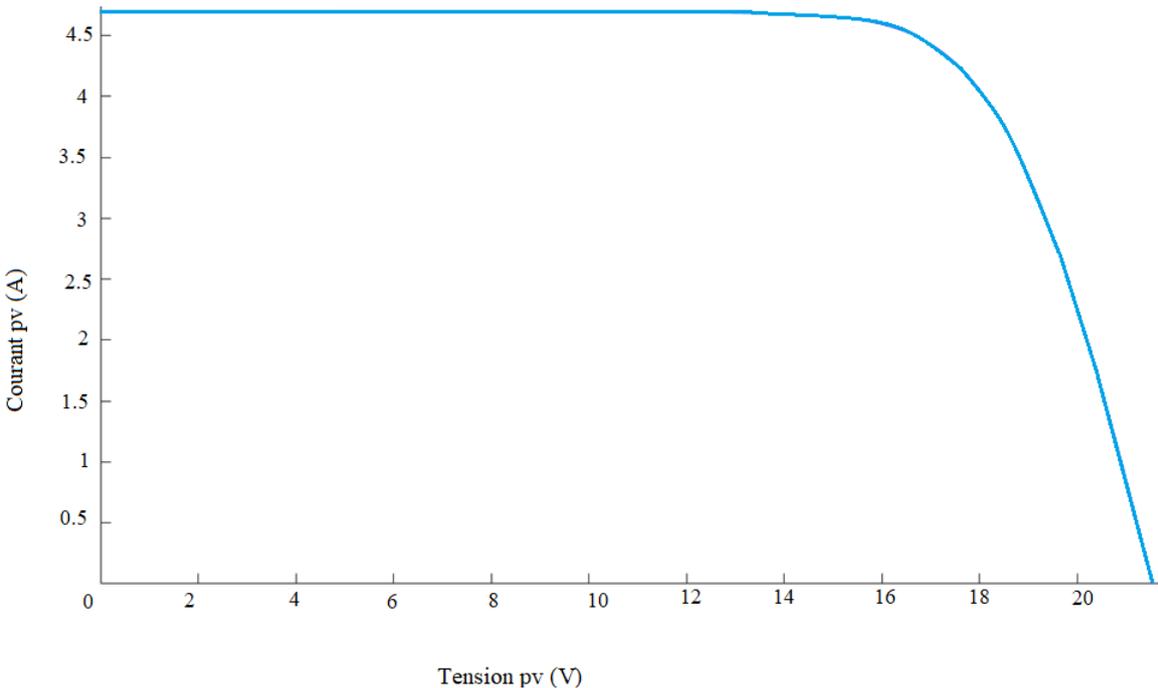


Figure .III.1 : Caractéristiques (I-V) de module photovoltaïque en fonctionnement sein

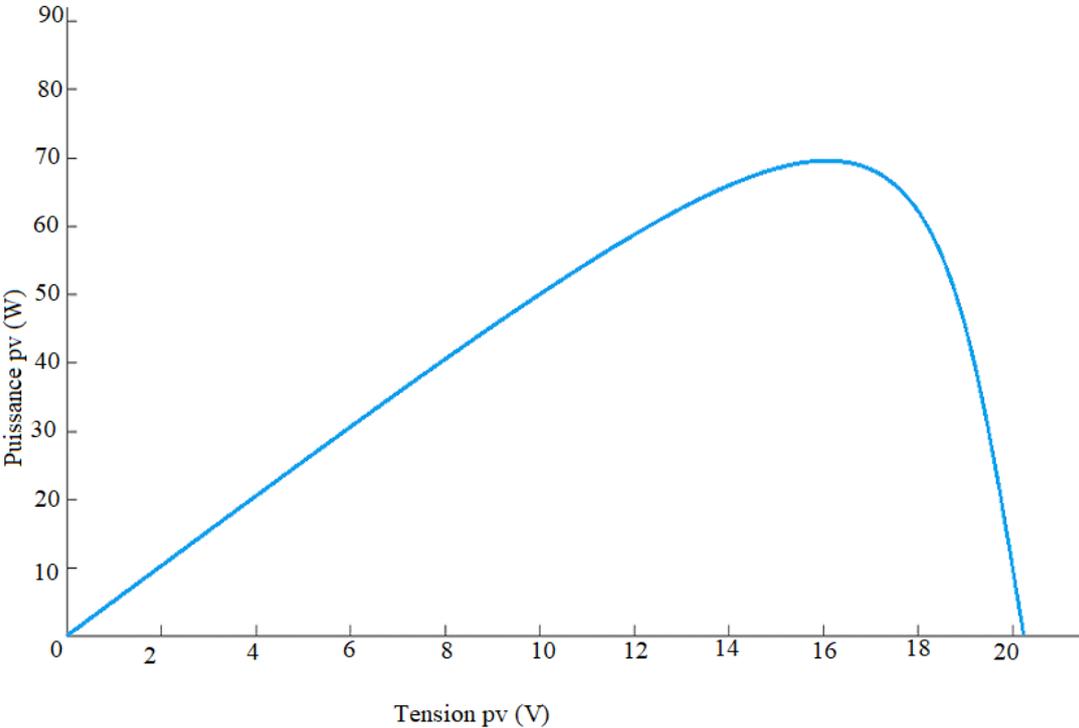


Figure III.2 : Caractéristiques (P-V) de module photovoltaïque en fonctionnement sein

Analyse

On constate que la caractéristique courant-tension (I-V) a un courant maximum (courant de court circuit I_{sc}) et une tension maximale V_{oc} (tension de circuit ouvert). De même la caractéristique puissance-tension (P-V) a un point de puissance maximale du générateur à une tension appelée V_{mpp} inférieure à la tension V_{oc} . Ce point est très important et doit être l'objet de toute l'étude d'un système PV, en effet c'est le point où le G_{pv} fournit le maximum de puissance.

4.1.2 Comparaison de modèle bishop et expérimentale en fonctionnement sein

Les figures (III. 5) et (III. 6) montrent les courbes caractéristiques I-V (Courant-Tension) et P-V (Puissance-Tension) obtenues pour le module SCHOTT solar ASE -100-GT –FT/MC.

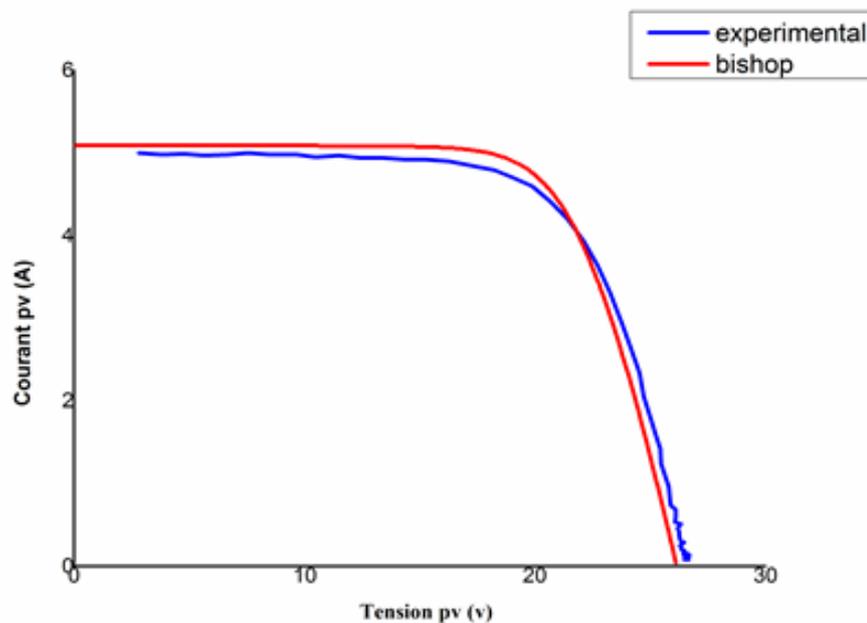


Figure III. 3 : Caractéristiques (I-V) expérimentale et simulé (module SCHOTT solar ASE -100-GT – FT/MC) $E = 1015\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

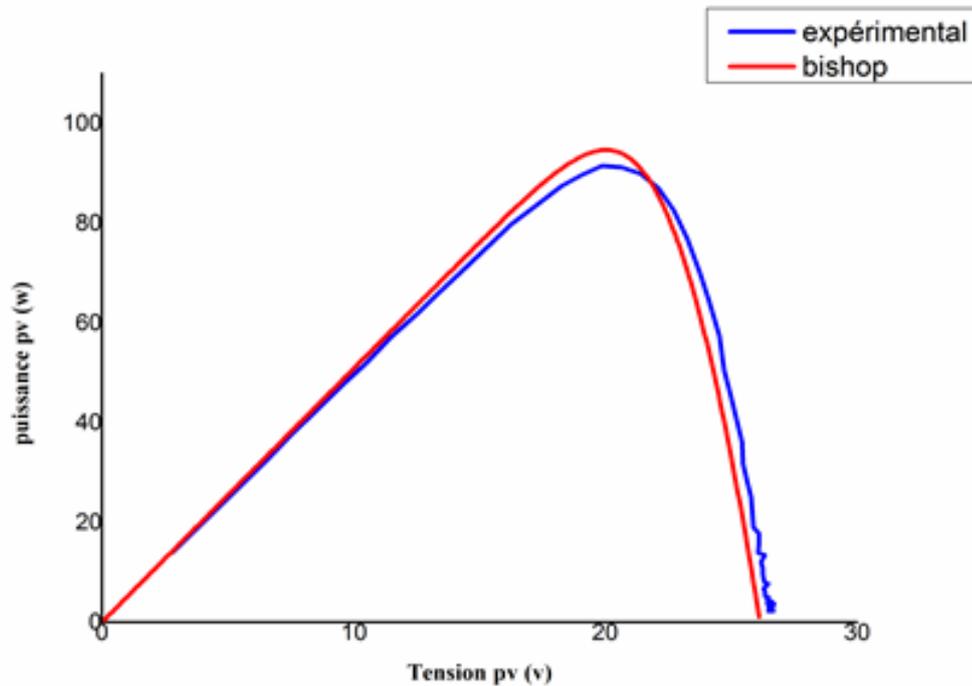


Figure III. 4 : Caractéristiques (P-V) expérimentale et simulé (module SCHOTT solar ASE -100-GT -FT/MC) $E = 1015\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

Nous constatons que le modèle de Bishop concorde bien avec les données expérimentales.

4.2. Etude de défaut d'ombrage

Le défaut d'ombrage est étudié en deux cas , ombrage d'une cellule et 18 cellule en cas expérimentale et 18 cellule en modèle bishop en supposant que l'architecture de module est représentée par l'assemblage de deux générateurs PV en parallèle, la borne négative est reliée à la borne positive du deuxième GPV. Les deux modules sont connectés en série avec deux diodes By-pass, celle-ci protège le GPV des tensions inverse. Pour mesurer la tension au borne du GPV nous introduisant un voltmètre au bornes de ce dernier, le courant produit par les deux GPV sera mesuré par un ampèremètre introduit en série avec les deux générateurs. Ceux-ci nous permettront de calculer la puissance produite par l'ensemble. La source de voltage contrôlée par une rampe sert à faire varier la tension d'entrée produite.

4.2.1. Scénario 1 : Ombrage d'une cellule

On couvre une cellule d'une manière complète (voir figure III.7). D'après la figure III.7, Une cellule ombragée (totalement) affect fortement la puissance du module on perde de la tension. La diode by-pass va donc court-circuiter le sous réseau (de 18 cellules) en laissant passer le courant directement vers le sous-réseau suivant.



Figure III.7. Défaut d'ombrage d'une cellule

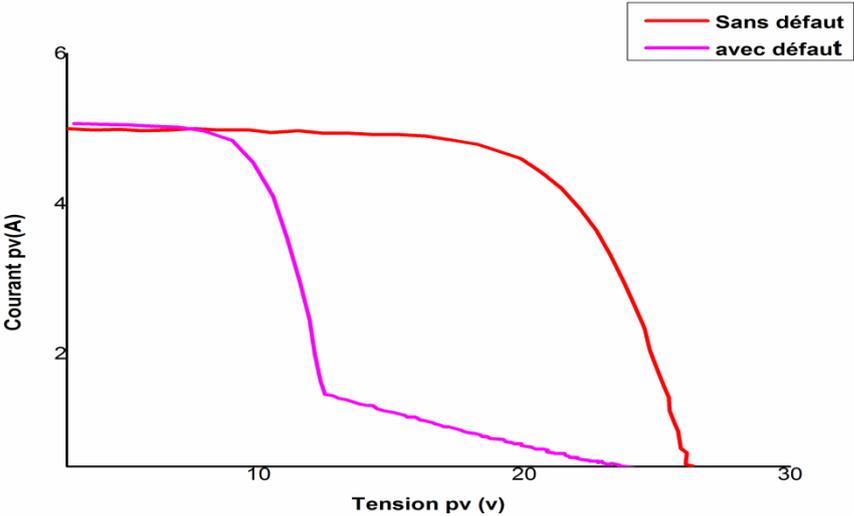


Figure.III.8.Résultats des caractéristiques (I-V) avec défaut d'ombrage d'une cellule et sans défaut E = 1015W/m² et T = 52°C

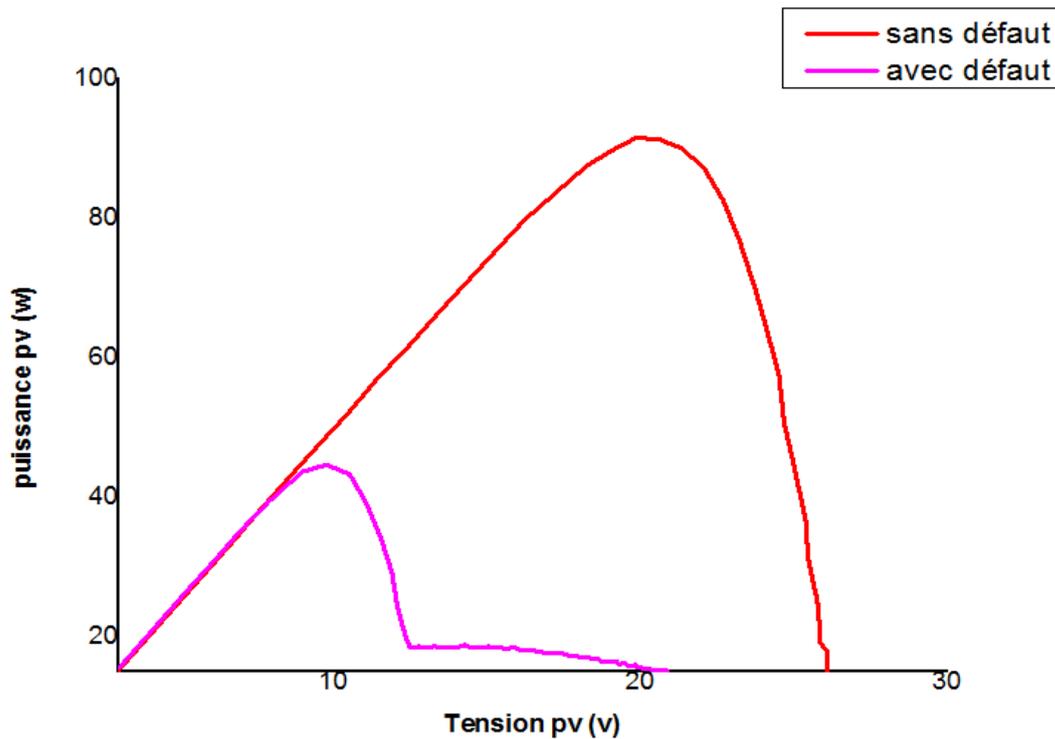


Figure III. 9. : Résultats des caractéristiques (P-V) avec défaut d'ombrage d'une cellule et sans défaut
 $E = 1015\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

Analyse

On constate très bien que le courant de la cellule ombrée a chuté à 1,5A soit environ 75% du courant initial de la bonne cellule.

Selon la Figure III.9, une cellule (complètement) ombragée affecte grandement les performances du module, une perte de tension. Par conséquent, la diode de dérivation court-circuite le sous-réseau (18 cellules) en permettant au courant de circuler directement vers le sous-réseau suivant.

La diode est montée en sens inverse dans chaque rangée de cellules, ainsi en cas d'ombrage, le courant électrique traverse la diode et ne circule qu'à travers l'ombrage, préservant la viabilité de tous les autres. Le panneau solaire produit alors moins d'électricité et donc moins de tension et d'énergie.

4.2.2. Scénario 2 : Défaut d'ombrage d'une rangée horizontale

Dans ce scénario, nous effectuerons un ombrage sur une range de cellule (voir figure III.10).

Les résultats de mesure sont présentés sur les figures III.11 et III.12



Figure III.10. Défaut d'ombrage d'une range horizontales

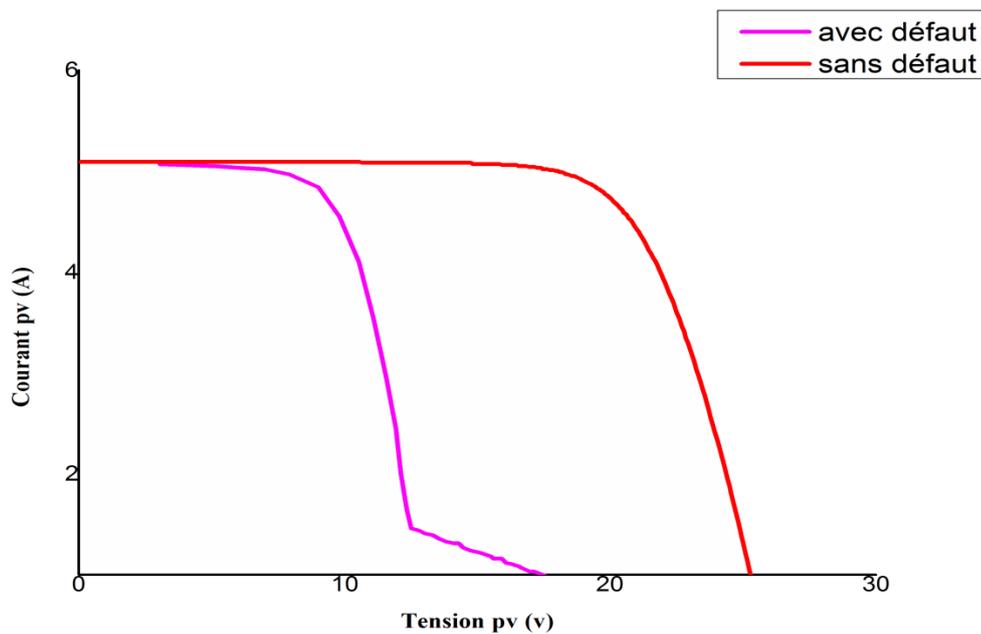


Figure III .11.Résultats des caractéristiques (I-V) avec défaut d'ombrage d'une range horizontales et sans défaut avec éclairement $E = 1015\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

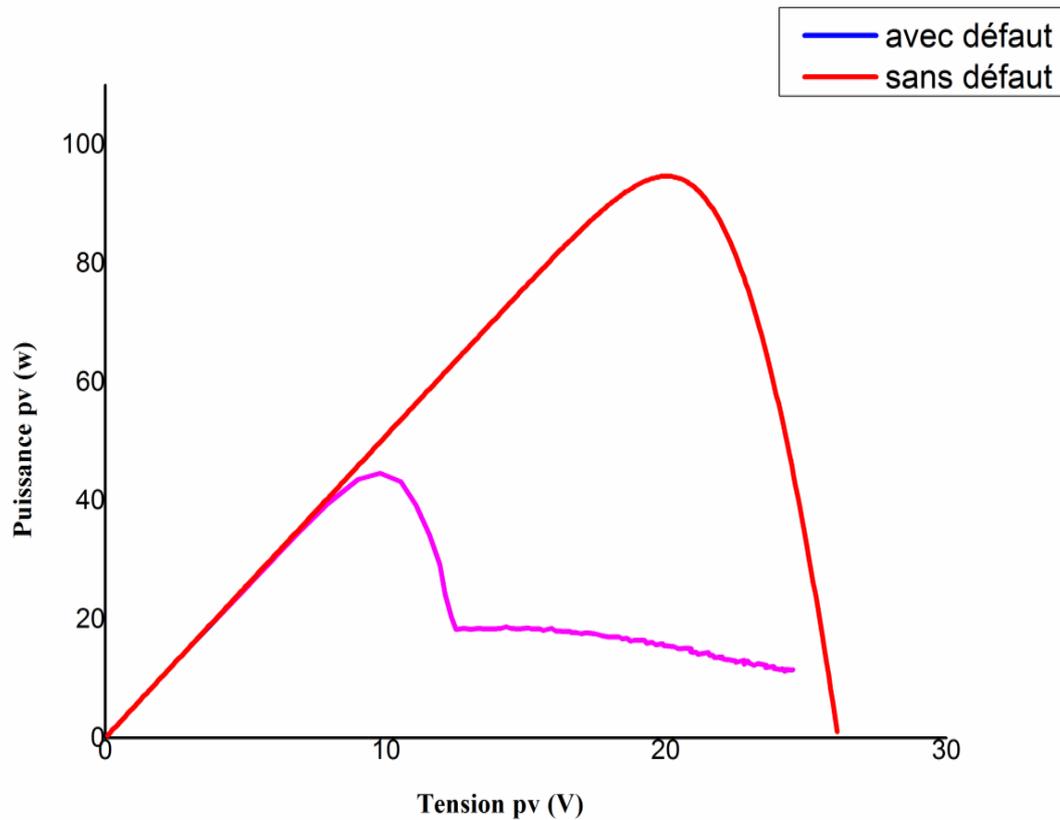


Figure.III.12 : Résultats des caractéristiques (P-V) avec défaut d'ombrage d'une range horizontale set sans défaut $E = 1015\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

Analyse

On constate très bien qu'on a une perte de puissance au point maximale PPM, la tension de circuit ouvert V_{co} diminue et aussi la déviation de la pente. L'ombre d'une rangée de cellules recouvre une partie du panneau solaire, de sorte que le panneau est polarisé en sens inverse tandis que les cellules ombragées ne sont plus exposées à la lumière et deviennent des charges résistives, ce qui fait que le panneau produit moins de courant. Les diodes sont installées dans des directions opposées dans chaque rangée de cellules de sorte que dans les cellules ombrées, le courant traverse les diodes et ne circule que dans les cellules ombrées, ce qui rend toutes les autres cellules viables. En conséquence, le panneau solaire produit moins d'électricité et donc moins de tension et de puissance

4.2.3. Simulation de modèle bishop en fonctionnement défaillant

Dans cette partie nous allons simuler le comportement de module PV avec un **ombrage** 100% d'une ranges horizontales (c-à-dire $E = 00\text{W/m}^2$) et $T=52^\circ$.

Le bloc de simulation est présenté ci-dessous.

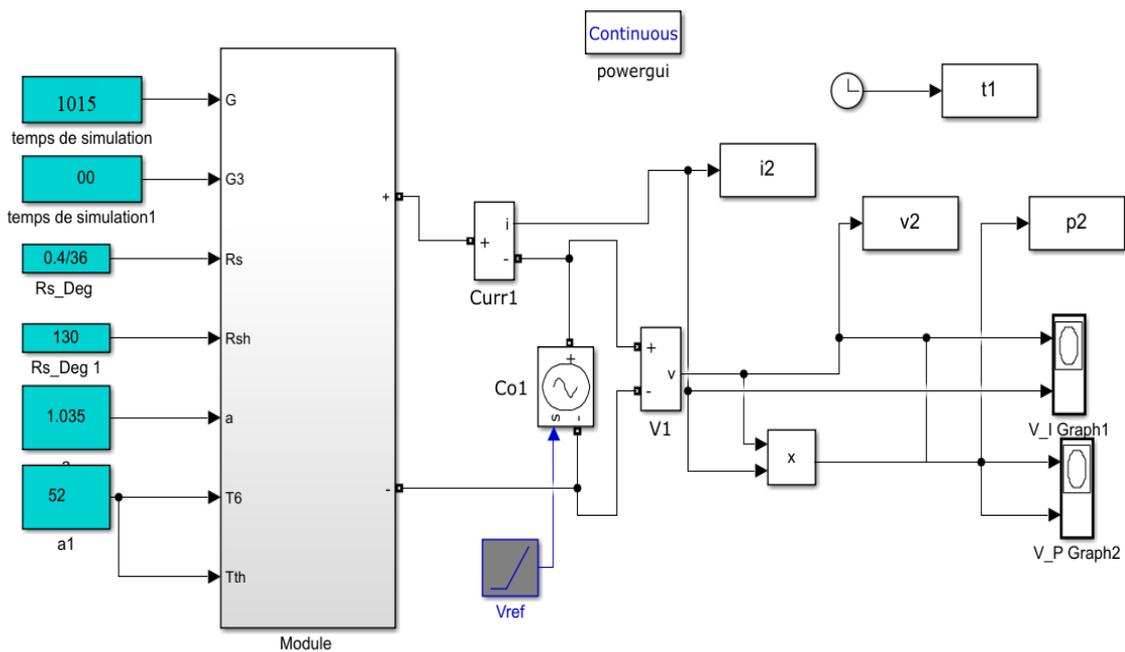
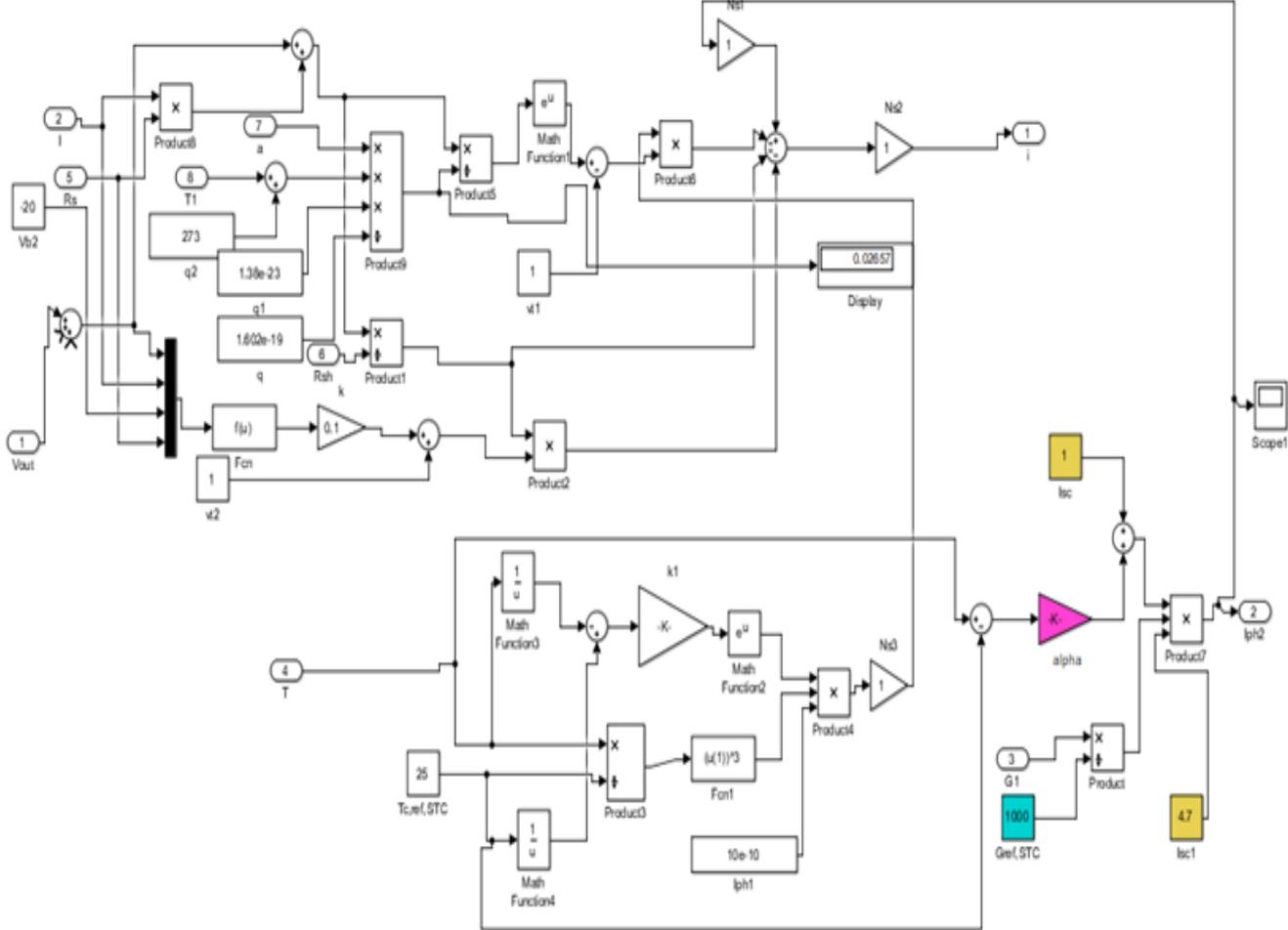


Figure .III.13 : Simulation de modèle bishop sous Matlab



Les figures ci-dessous présentent les résultats de simulation de panneau avec 18 cellules ombrées.

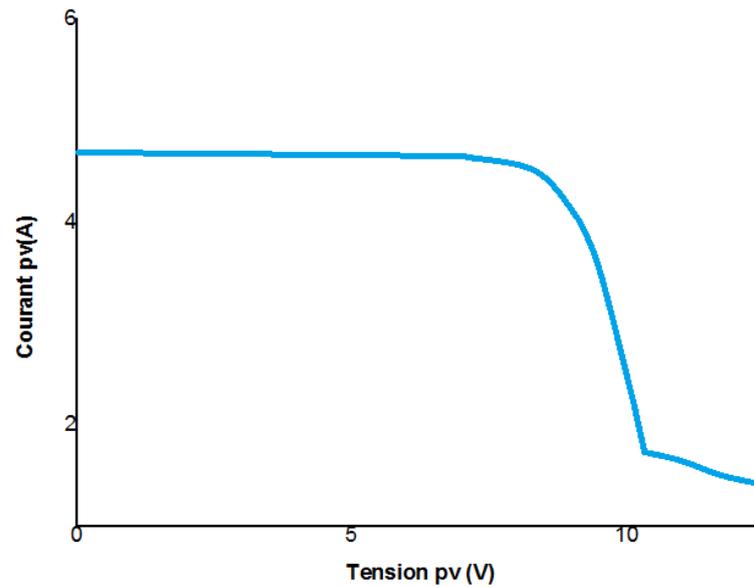


Figure.III.14 : Résultats des caractéristiques (I-V) avec défaut d'ombrage 100% d'une range horizontales et sans défaut avec éclairement $E = 00\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

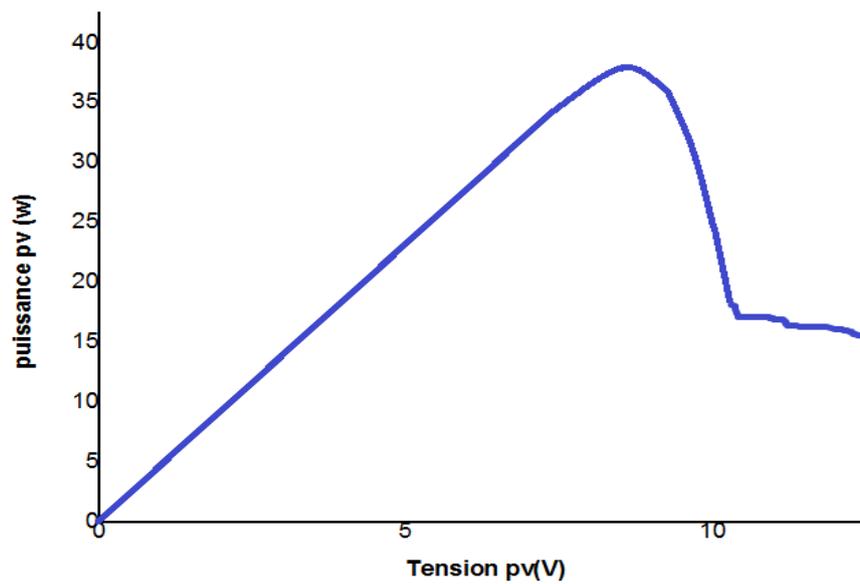


Figure.III.15 : Résultats des caractéristiques (P-V) avec défaut d'ombrage 100% d'une range horizontale set sans défaut $E = 00\text{W/m}^2$ et $T = 52^\circ\text{C}$

4.2.4. Validation

Pour une validation expérimentale portant sur l'étude de modélisation de défaut d'ombrage sur le module PV proposée ci-dessus, nous allons exploiter les résultats expérimentaux obtenus pour l'ombrage d'une cellule.

Nous allons donc procéder dans cette partie à une comparaison entre les caractéristiques courant-tension et puissance-tension obtenues dans notre étude de modélisation, et celles obtenues et enregistrées en scénario 2 d'ombrage aux conditions réelles de température et de rayonnement.

On remarque une cohérence remarquable entre les courbes que nous avons obtenues et celles enregistrées. Cela nous permet de conclure la validité de notre code de calcul mis en œuvre sous environnement MATLAB.

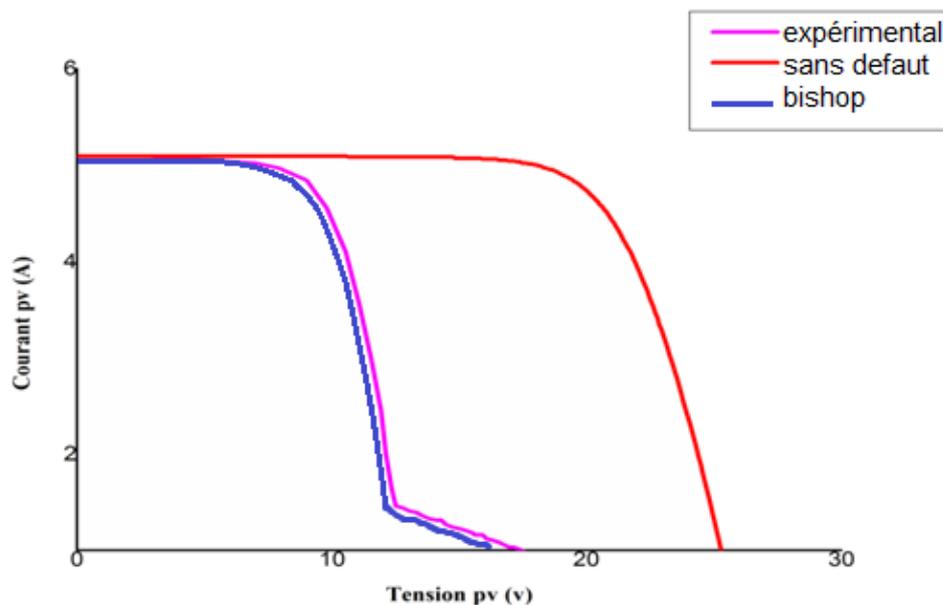


Figure.III.16 : Résultats de comparaison des caractéristiques (I-V)

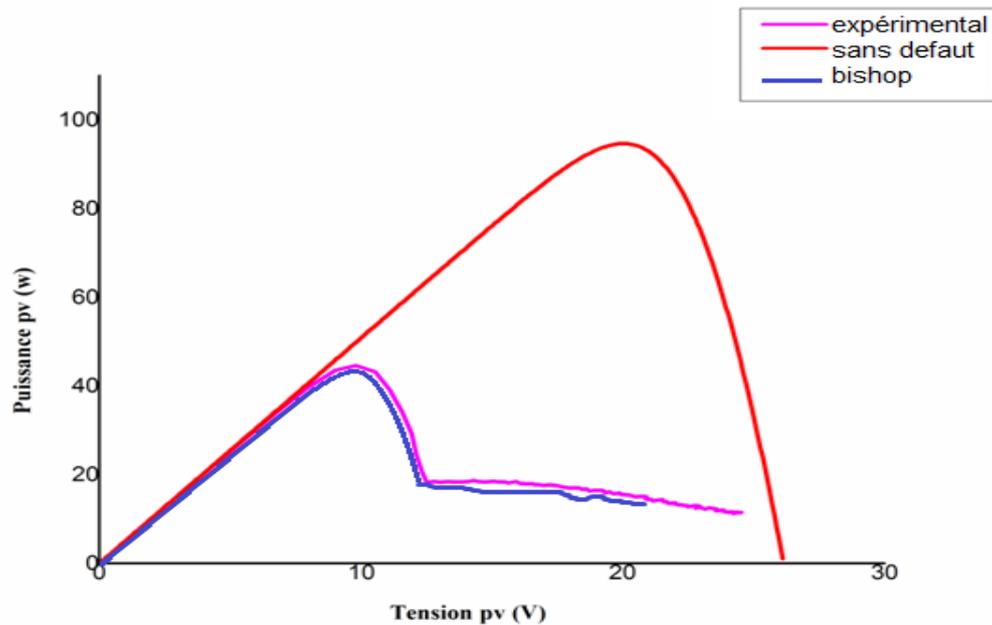


Figure.III.17 : Résultats de comparaison des caractéristiques (P-V)

Dans des conditions normales, dites;

($1015 \text{ w/m}^2 - 52\text{c}^\circ$), et en l'absence de défaut dans l'entièreté du panneau (36 cellules),

on a $91,51\text{w}$. Cependant, en ombrage de (18 cellules) qui représentent la moitié du panneau, dans les conditions

($00\text{w/m}^2 - 52\text{c}^\circ$), on obtient $69,93\%$ de la puissance totale qui est antérieurement obtenue en conditions normales.

On procède aux calculs suivants:

$$91,51 \text{ --- } 100\%$$

$$64 \text{ --- } x$$

$$X = 69,93\%$$

Le pourcentage d'énergie de panneaux sans défaut (18 cellules) est $69,93\%$

Le pourcentage de l'énergie perdue en conséquence de l'ombrage est: $30,07 \%$

4.3. Défaut de la diode by-pass

Nous avons déjà dit que lorsqu'une cellule est soumise à un courant supérieur à son courant de court-circuit, elle produit une tension négative, ce qui signifie qu'au sein d'un groupe la somme des tensions peut également être négative. Dans cette situation, la diode de dérivation conduira pour dériver le courant. Sinon, il sera bloqué.

Comme tout composant, la diode by-pass souffre également de défauts électriques, en plus des défauts électriques, la diode pourrait potentiellement être endommagée lors de son fonctionnement et se comporter comme une impédance, **Figure.III.18** montre un schéma d'un groupe de cellules dans lequel la diode de dérivation est remplacée par un élément pouvant prendre l'un des états défectueux de la diode.

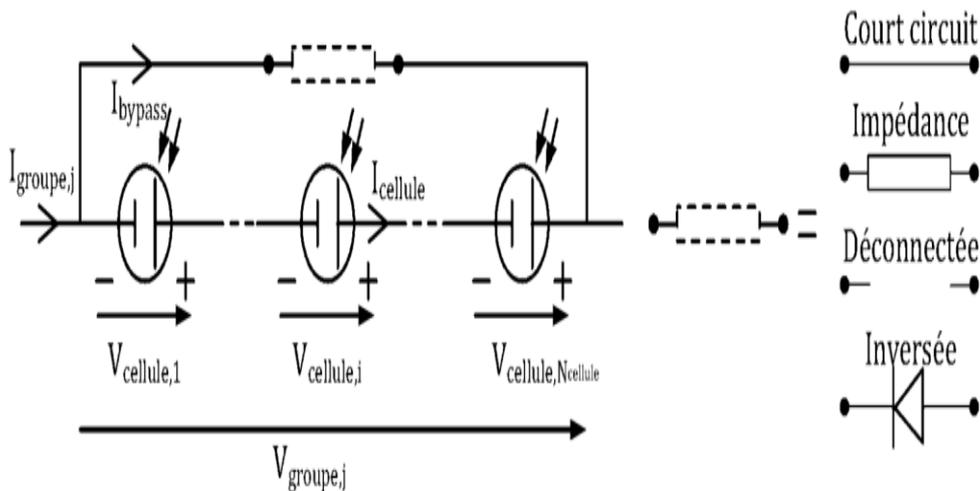


Figure.III.18 Illustration d'un groupe de cellules dans lequel la diode de by-pass est remplacée par un élément qui peut à chaque fois prendre des états défailants de la diode

Scénario 1 : Inversement et déconnexion de la diode sans ombrage

Les figures **III.19** et **III.20** montrent que la déconnexion et l'inversion de la diode de dérivation n'affectent pas le comportement de module car le module est entièrement éclairé, de sorte que le même comportement de fonctionnement sain est atteint.

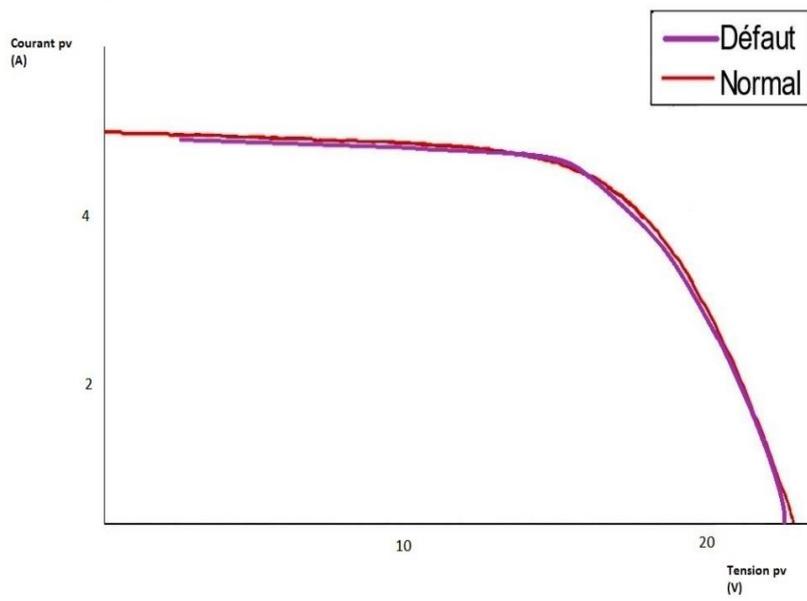


Figure. III.19 : Diode inversé

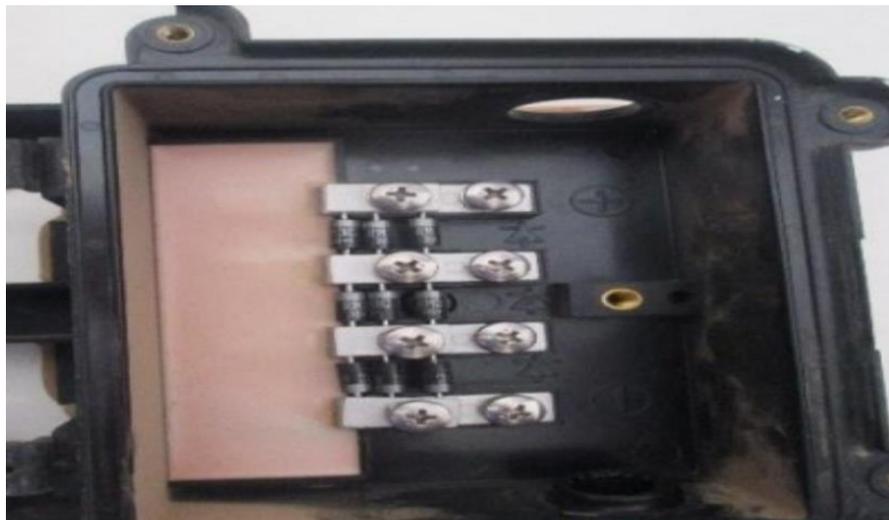


Figure. III.19.1 : Diode inversé

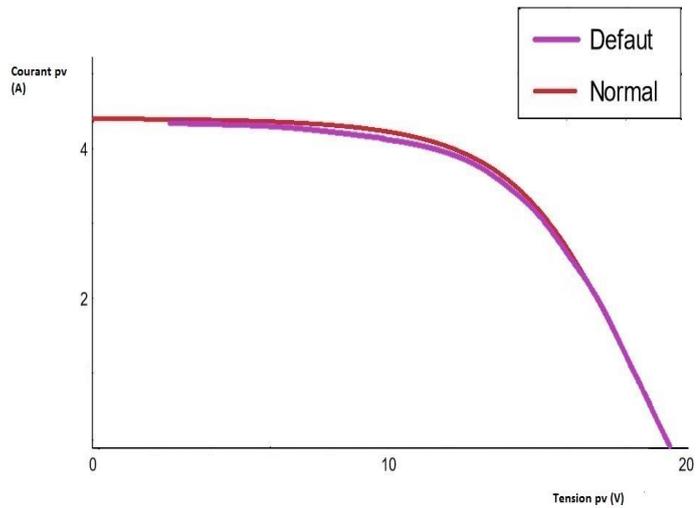


Figure III. 20 : Diode déconnecté



Figure III. 20.1 : Diode déconnecté

Analyse

FIG 19 et 20 montre le cas où la diode de bypass est déconnectée. Sans ombrage, aucune perte de courant ou de tension n'est présente dans le module.

Scénario 2 : défauts de diode de by-pass + ombrage

Ce scénario est presque le même que le scénario 1 mais cette fois avec l'ombrage (Diode déconnectée + ombrage d'un module)

L'absence de la diode de dérivation entraîne un fonctionnement inverse des cellules ombrées. La tension négative générée par ces cellules se superpose à la tension positive des autres cellules. Cela entraîne une perte importante de tension et de courant.



Figure. III. 21 Diode déconnectée + ombrage d'une cellule

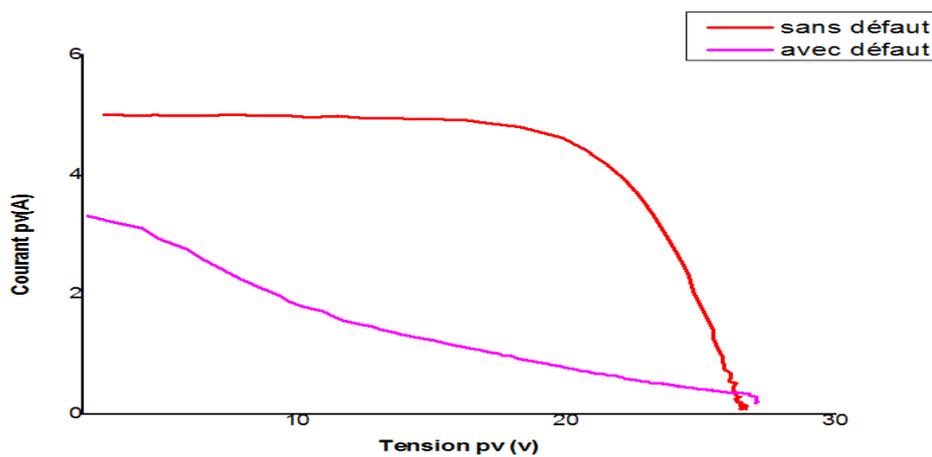


Figure.III.22 : Résultats des caractéristiques (I-V) avec défaut défauts de diode de by-pass + ombrage d'un module

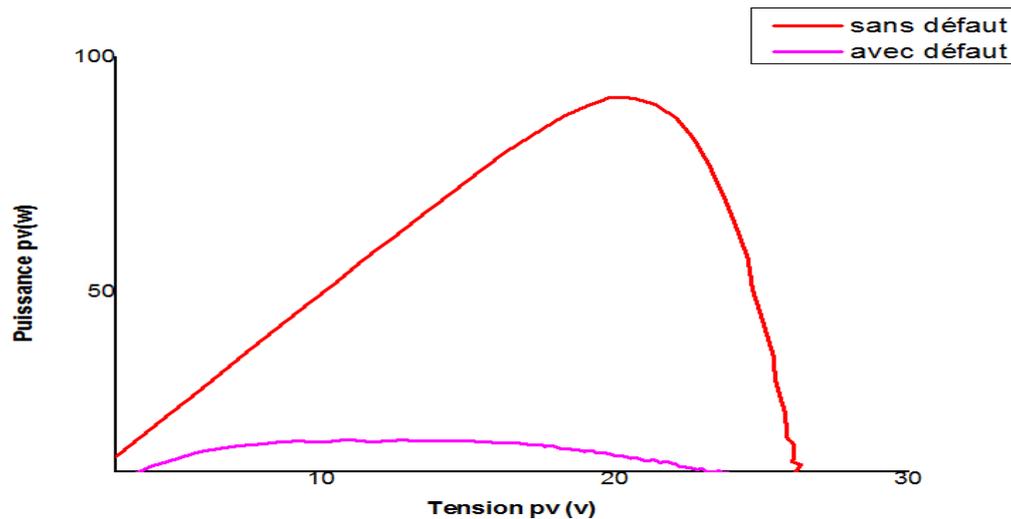


Figure.III.23 : Résultats des caractéristiques (P-V) avec défaut défauts de diode de by-pass + ombrage d'un module

Analyse

FIG 22 et 23 avec un ombrage, la perte en tension augmente en fonction de la croissance de l'amplitude de l'ombrage car il n'y a plus de protection assurée par la diode de by-pass.

On remarque aussi que la tension V_{co} reste inchangée, par contre le courant I_{sc} diminue en fonction du nombre de cellule ombrée.

Conclusion

Dans le cadre de ce chapitre, nous sommes intéressés principalement aux défauts continus du générateur photovoltaïque à travers l'analyse de la caractéristique courant-tension. Nous avons étudié le modèle de Bishop, que nous utilisons pour la simulation en fonctionnement sain et défaillant. Deux défauts sous forme de scénarios ont été testé, défauts de la diode de dérivation (déconnectée, inversée) et l'ombrage, leurs tests sont effectués au niveau de module, suivis d'une interprétation de chaque résultat obtenu. On constate que les défauts réalisés précédemment provoquent le comportement, soit par la réduction de tension ouvert ou bien réduction de courant de court-circuit.

Conclusion générale

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources naturelles de l'énergie telles que l'uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières années. Pour couvrir les besoins en énergie, des recherches sont conduites à l'énergie renouvelable qui peut accomplir la demande, comme l'énergie solaire photovoltaïque, est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. D'où son utilisation connaît une croissance significative dans le monde.

Ce présent travail est consacré à l'étude des défauts qui peuvent être trouvés dans une installation PV à la partie DC (générateur PV).

En première partie, nous avons étudié le gisement solaire en détails, et le principe des systèmes photovoltaïques où on a présenté les différents éléments qui le constituent (module, générateur, convertisseur).

La deuxième partie dédiée à la définition de certains modèles de cellules, qui permettent d'obtenir les caractéristiques d'une cellule photovoltaïque, cette partie est suivie par une étude d'influence de certains paramètres sur le comportement I-V.

La dernière partie c'est la partie pratique, consiste à réaliser des défauts (l'ombrage, diode By-pass) au niveau de notre module suivie par une discussion de chaque comportement obtenue. On remarque que la différence entre les allures de défaut obtenues et le modèle bishop simulé (sans défauts), peut être interpréter par :

- La réduction de la puissance max,
- La réduction de courant de court-circuit,
- l'Apparition d'un point d'inflexion au niveau de la courbe.

Ce travail de mémoire a ouvert de nombreuses perspectives à cibler et qui se résument ainsi :

- cas des défauts multiples.
- validation des résultats de simulation par la pratique dès que le matériels sera disponible.
- Utilisation des techniques de l'intelligence artificielle pour la détection des défauts des systèmes PV.

-Ce travail est consacré aux défauts coté générateur, on espère de voir ultérieurement des études sur les défauts peuvent trouver au niveau des batteries ou régulateurs, ou bien à côté (AC) (onduleur).

- il vaut mieux que l'université de Boumerdes d'ouvrir un laboratoire de l'énergie photovoltaïque pour faciliter aux étudiants de faire la partie pratique sans avoir déplacée vers autres laboratoires.

Références bibliographiques

- [1] (2010) <http://www.solarserver.de/?gclid=CJWA1ruS-K4CFS4NtAodSzY7xw>.
- [2] Mechouma Rabiaa « Contribution à l'étude des onduleurs dans les systèmes photovoltaïques : application pour les charges commerciales », thèse de Doctorat, université de Batna, 2015
- [3] BOUKHEIRA NASSIRA , MEBARKI NAÏMA « ETUDE ET SIMULATION L'INFLUENCE DE LA POUSSIÈRE SUR LE RENDEMENT DES PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE Mémoire de mestre UNIVERSITE d'ADRAR 2016
- [4] Mr. Belaout Abdesslam "Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension" magister, université – setif-1- U-S-1 (Algérie) 2014
- [5] G. Tamizhmani et al « photovoltaic module power rating per iec 61853-1 standard » report of arizona state university, photovoltaic reliability laboratory (prl), march 2011.
- [6] Hellali kamelia (modélisation d'une cellule solaire :étude comparative) mémoire de magister en électrotechnique 2012
- [7] BELMADI Mohamed, ABID Taha Yacine. « Étude Technico-économique d'une installation photovoltaïque autonome », Mémoire de mestre, Centre Universitaire Belhadj Bouchaïb d'AinTemouchent 2017.
- [8] Lemdak Kaima, Kiouas Nabila, « Simulation et Etude expérimentale d'un système PV au milieu aride », mémoire de Master, Université de Ghardaïa, 2019.
- [9] Alain Ricaud, « Modules et systèmes photovoltaïques », Sept 2008, Président de Screen Solar, Professeur Associé à l'Université de Savoie. Systèmes PV Alain Ricaud_Sept08 Comprese.doc.
- [10] Hellali kamelia (modélisation d'une cellule solaire :étude comparative) mémoire de magister en électrotechnique 2012.
- [11] S. Mostefa kara, « etude et simulation de cellules photovoltaïques a couches minces a base de cis et cigs », mémoire de magister, tlemcen, 2012.
- [12] « photovoltaïque », m3p sola1r , 2009
- [13] Mornay thomas - volle marion -vernay alexis – (les cellules photovoltaïques.) Classes préparatoires cpe institution des chartreux 2004/2005.
- [14] Assia Zardoudi, Rachid Chenni, « Etude de l'influence des défirent paramètres sur un module photovoltaïque », science et technologie A_N°41, juin 2015,49-54, université Constantine 1, 2015.
- [15] Kamelia Hellali, « Modélisation d'une cellule photovoltaïque : étude comparative », université Tizi-Ouzou, mémoire de magister , 2012.

Références bibliographiques

- [16] Narimen Debili, « Etude et optimisation en environnement Matlab/Simulink d'un système de pompage photovoltaïque », mémoire de magister, université Constantine 1, 2015
- [17] Narimen Debili, « Etude et optimisation en environnement Matlab/Simulink d'un μ système de pompage photovoltaïque », mémoire de magister, université Constantine 1, 2015
- [18] Othmane Benseddik, Fathi Djaloud, « Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque », mémoire de master, université Kasdi Marbah- Ouargala, 2012
- [19] Salaheddine Bensalem, « Effets de la température sur les paramètres et caractéristiques des cellules solaire », université Farhat Abbas- Setif, mémoire de magister, 2011.
- [20] Jean-paulblugeon-montage photovoltaïque à bricoler soi-même-juin 2010.
- [21] Rouabah aicha « modélisation et simulation d'un système photovoltaïque », master académique, kasdi merbah ouargla, 2014
- [22] Mlle benhaddouche nesrine fatima, « la commande d'un système photovoltaïque d'un satellite », master, abou bekr belkaid – tlemcen, 2014
- [23] Z. Benjellouli, "contribution a la modélisation d'une cellule solaire", mémoire de magistère, université de Bechar, 2009.
- [24] Fellah Boumediene « système hybride photovoltaïque-éolien, de production d'électricité. Application aux sites de tlemcen et de bouzaréah », mémoire de magister
- [25] Belhadj-djilali abdelkader « dimensionnement des convertisseurs dc/dc et dc/ac dans une chaîne de production photovoltaïque - réseaux » magistère, université hassiba benbouali de chlef, 2012
- [26] Bencherif mohammed « modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension », doctorat , universite abou bekr belkaid tlemcen, 2014
- [27] Khenfer amar (etude et conception d'une architecture en vue de la détection de défauts dans une installation), mémoire magister, ferhat abbas de sétif , 2014
- [28] J. W. BISHOP, "computer simulation of the effects of electrical mismatches in photovoltaic cell interconnection circuits", Solar Cells, vol.25, pp 73-89, 1988.
- [29] J. W. BISHOP, "computer simulation of the effects of electrical mismatches in photovoltaic cell interconnection circuits", Solar Cells, vol.25, pp 73-89, 1988.
- [30] Jean-paulblugeon-montage photovoltaïque à bricoler soi-même-juin 2010.