

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la

Recherche scientifique

Université Akli Mohand Oulhaj-Bouira

Faculté des Sciences et des Science Appliquées

Département de Génie Electrique



Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master

En électronique

Option :

Electronique des systèmes embarqués

Thème:

**Modélisation d'un système de
captage photovoltaïque**

Réalisé par :

Matari Mohamed

Mihoubi Seid

Encadré par :

Mr. ASRAJ Zahir

Mr. kasmi Rédha

Remerciements

Nos remerciements à ALLAH qui nous a donné la force et la volonté de poursuivre ce travail jusqu'au bout.

On remercie notre promoteur, Mr : Z. ASRAJ, pour son attention permanente et son encouragement constant. On été très heureuse de travailler avec lui.

On remercie l'ensemble des membres du jury pour avoir acceptés de juger ce modeste travail.

Un immense merci à mon amis le docteur Ali Mohad Abdenour pour son soutien, son conseil et son aide dans ce travail.

En fin, on remercie tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

On dédie ce modeste travail :

A nos chers parents, que dieu les garde et les Protège pour leur soutien moral et Leurs encouragements.

Aux chers collègues d'étude et de travail et tous nos amis.

A mon épouse et mes enfants: Abdelfattah, Hatem, Wafaa, Abdelmonaim et Farah.

Matari Mohamed

On dédie ce modeste travail :

A nos chers parents, que dieu les garde et les Protège pour leur soutien moral et Leurs encouragements.

Aux chers collègues d'étude et de travail et tous nos amis.

A mon épouse mes frères et mes sœurs.

Mihoubi Seid.

Sommaire

Introduction Générale :	01
Chapitre I : Étude d'un système de captage photovoltaïque	
I.1. Introduction :	03
I.2. L'énergie solaire :	03
I.3. Rayonnement solaire :	04
I.3.1. Spectre de rayonnement :	04
I.3.2. Durée d'insolation :	05
I.4. Notions préliminaires sur le rayonnement solaire :	05
I.4.1. Rayonnement direct :	06
I.4.2. Rayonnement diffus :	06
I.4.3. Rayonnement réfléchi :	06
I.4.4. Rayonnement global :	06
I.5. Description des éléments d'un système de captage photovoltaïque:	06
I.5.1. la cellule photovoltaïque :	06
I.5.2. Le module photovoltaïque :	07
I.5.3. Les principales caractéristiques d'un module :	08
I.5.3.1. Puissance crête :	08
I.5.3.2. Rendement:	09
I.5.3.3. Facteur de forme :	09
I.5.3.4. Caractéristique courant-tension d'un module :	09
I.5.3.5. Influence d l'Éclairement.....	10
I.5.3.6. Influence de la Température.....	10
I.5.3.7. Influence de l'association série des cellules.....	10
I.5.3.8. Influence de l'association parallèle des cellules.....	10
I.6. Panneau photovoltaïque :	10
I.7. Avantages et inconvénients d'une installation PV	12
I.7.1. Avantages	12
I.7.2. Inconvénients	12
I.8. Système de stockage :	13
I.8.1. Types d'accumulateur.....	15
I.9. Système de régulation :	16

I.9.1. Régulation de décharge :	17
I.9.2. Régulation de la charge	17
I.10. Système de conversion.....	18
I.10.1. Le convertisseur continu -continu	18
I.10.2. Le convertisseur continu- alternatif.....	18
I.11. La Charge :.....	19
I.12. Conclusion.....	19

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

II.1. Introduction.....	20
II.2. Modèles de coordonnées soleil :	20
II.3. Modèle de rayonnement solaire.....	23
II.3.1. Rayonnement solaire sur un plan horizontal	23
II.3.2. Rayonnement solaire sur un plan incliné :	23
II.4. Modélisation du champ photovoltaïque :	24
II.4.1. Modèle de température.....	27
II.4.2. Caractéristiques I-V d'un module :	28
II.5. Modélisation de stockage.....	32
II.6. Modélisation du système conversion.....	34
II.6.1. Les onduleurs.....	34
II.6.2. Principe de fonctionnement d'un onduleur	34
II.6.3. Onduleur Monophasé	34
II.6.6. Onduleur triphasé	34
II.7. Conclusion.....	35

Chapitre III : Simulation d'un système photovoltaïque

III.1. Introduction.....	36
III.2. L'outil Matlab / Simulink.....	36
III.3. Le générateur photovoltaïque « GPV ».....	36
III.3.1. Modélisation du système photovoltaïque	37
III.3.2. Caractérisation du module PV :	38
III.3.3. Simulation du module PV.....	38
III.4. Onduleur :	44

III.5 Situation d'un appartement F3.....	44
III.7.Conclusion	45
Conclusion générale.....	46

Nomenclature

- PV : Panneau Photovoltaïque.
- E : Eclairage.
- FF : Facteur de forme.
- Po : Puissance optimale.
- Pm : Puissance maximale.
- Rs : Résistance série.
- R : Rayonnement solaire.
- φ : Latitude.
- λ : Longitude.
- ω : Déclinaison.
- δ : Angle horaire du soleil.
- θ : Angle d'incidence.
- ψ : Azimut.
- γ : Hauteur angulaire.
- α : Orientation.
- β : Inclinaison.
- $C(j)$: Correction de la distance terre soleil.
- $H(i)$: Hauteur du soleil.
- $L T$: Facteur de trouble.
- $R b$: Rapport de flux direct trouble.
- $S H$: Flux direct horizontale.
- $K(i) T$: Coefficient de sérénité.
- $GH \phi$: Flux global horizontal.

ξ : Albédo du sol.

VCO : Tension à circuit ouvert de référence (V).

ICC : Courant de court circuit ICC(A)

Pm : Point de puissance maximale(w).

FF : Facteur de forme.

Vopt : Tension optimale.

Iopt : Courant optimale.

Rsh : Résistances shunt (ohm).

NOCT: Température nominale de fonctionnement de la cellule.

T0 : Température de référence (298 K).

K1, K2 et K3 : sont des constantes.

α : Coefficient de variation de courant à circuit ouvert en fonction de la température (A/°C).

β : Coefficient de variation de la tension de court circuit en fonction de la température (V/°C).

ΔT : Variation de la température (°C).

$G \phi$: Flux globale [W/m²].

S : Surface de générateur [m²].

C Bat min: Capacité minimale.

C Bat max: Capacité maximale.

C Bat: Capacité de stockage de la batterie (Ah).

N : Nombre de jours d'autonomie.

V Bat : Tension aux bornes de la batterie (V).

DOD : Profondeur de décharge.

Listes des figures

Figure (I.1) : Spectre solaire hors atmosphère.....	05
Figure (I.2) : Principe de fonctionnement d'une cellule solaire.....	08
Figure (I.3) : Exemple de caractéristique courant-tension d'un module.....	09
Figure(I.4) : Système photovoltaïque raccordé au réseau.....	11
Figure (I.5) : Système photovoltaïque autonome.....	12
Figure (I.6) : Schéma d'un système photovoltaïque.....	12
Figure (II.1) : Coordonnées angulaires de soleil.....	21
Figure (II.2) : Représentation de l'éclairement d'un capteur plan incliné.....	22
Figure(II.3) : Configurations des associations série parallèle des modules PV.....	25
Figure (II.4) : Différentes zones de Caractéristique I(V) entre générateur et Module Photovoltaïque.....	29
Figure(II.5) : Caractéristique $I= f(V)$ d'un module en fonction de l'éclairement	30
Figure (II.6) : Caractéristique $P= f(V)$ d'un module en fonction de l'éclairement....	30
Figure (II.7) : Caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température.....	31
Figure (II.8) : Caractéristique de $P= f(V)$ en fonction de température.....	32
Figure(II.9) : Caractéristique courant-tension.....	33
Figure (II.10) : Rendement de l'onduleur.....	35
Figure (III.1) : Système photovoltaïque.....	37
Figure (III.2) : Circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	37
Figure (III.3) : schéma Bloc du module solaire dans SIMULINK.....	38
Figure (III.4) : Résultats de simulation des caractéristiques (Courant –Tension) du module Photovoltaïque.....	40
Figure (III.5) : Résultats de simulation des caractéristiques (puissance –tension) du module Photovoltaïque.....	41
Figure (III.6) : Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents éclairement et une température $T=25^{\circ}\text{C}$	41
Figure (III.7) : Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension Pour différents Eclairements et une température $T=25^{\circ}\text{C}$	42
Figure (III.8) : Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension Pour différents température et un éclairement $E=1000 \text{ W/m}^2$	42

Figure (III.9) : Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents température et un éclairement $E=1000 \text{ W/m}^2$43

Liste des Tableaux

Tableau (III 1) : Caractéristiques électriques du module PV en condition de test.....38

Tableau(III.2) : Consommation énergétique journalière Cas d'un appartement F3..44

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le soleil peut satisfaire tous nos besoins si nous apprenons à exploiter rationnellement l'énergie qu'il rayonne vers la terre. Il brille dans le ciel depuis presque 5 milliards d'années et les scientifiques ont calculé qu'il est à la moitié de son existence. Nous avons du mal à imaginer qu'au cours d'une année le soleil diffuse vers la terre quatre mille fois plus d'énergie que celle consommée par toute la population mondiale [1].

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter.

Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement. De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures [2].

On distingue plusieurs types de sources d'énergies renouvelables: l'énergie éolienne, l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie de la biomasse et l'énergie photovoltaïque. Aujourd'hui, les énergies renouvelables deviennent progressivement des énergies à part entière, elles ont une grande valeur par rapport aux énergies fossiles du point de vue coût et performance de production [3].

Les incitations économiques et la technologie électronique favorisent l'utilisation de systèmes photovoltaïques.

Aujourd'hui il faut profiter de cette énergie car nous avons les moyens technologiques nécessaires. De plus il faut considérer que cette source d'énergie est gratuite, propre et inépuisable. Cette énergie pourrait par ailleurs nous libérer de notre dépendance aux énergies fossiles ou aux autres alternatives peu sûres ou polluantes.

Elle peut aussi être directement exploitée ou transformée en électricité. Le choix d'une solution photovoltaïque, représente un investissement, dont les temps de retours sont facilement calculables, grâce aux aides de financement prévus par les différentes lois nationales.

Les systèmes photovoltaïques transforment directement la lumière du soleil en électricité, peuvent ainsi alimenter de petits équipements portables (montres, calculatrices, ...), des applications en site isolé (habitations éloignées du réseau

électrique, équipements de Télécommunication, électrification rurale), ou être raccordées au réseau électrique. Il existe de nombreux sites isolés dans le monde, alimentés par des systèmes autonomes de générateurs d'électricité. Ces générateurs utilisent les sources renouvelables locales. On y trouve des panneaux photovoltaïques, des éoliennes et des micros turbines.

L'électricité provenant des sources renouvelables est intermittente, et dépendante des conditions climatiques. Ces générateurs renouvelables sont couplés généralement à un système de stockage assurant une disponibilité en continue d'énergie. Le type de stockage généralement utilisé dans ce système est la batterie au plomb. La maturité dont cette technologie fait preuve et son faible coût en sont les raisons principales. L'utilisation de ces batteries à l'échelle saisonnière est inenvisageable. Elles ne peuvent rester longtemps inutilisées sans conséquences néfastes sur leur durée de vie. Leur fonctionnement journalier (décharge et recharge complètes sur quelques jours) permet d'installer une faible capacité de stockage. Mais l'état de charge maximal des batteries est atteint d'autant plus rapidement que cette capacité installée est faible.

Afin de protéger les batteries contre une recharge excessive, on doit les déconnecter de l'installation. Il est alors impossible d'utiliser la totalité de la ressource renouvelable [4].

A cet effet, nous avons fait dans notre étude :

Au premier chapitre, une étude d'un système de captage photovoltaïque.

Le second chapitre est très important, car il présente la modélisation de chaque élément du système photovoltaïque.

Dans le troisième chapitre, on a simulée par MATLAB SIMULINK le système photovoltaïque (PV) réalisé à 36 cellules, pour différents éclairagements et différentes températures.

I.1. Introduction :

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. 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 cellule photovoltaïque.

Le nom Photovoltaïque vient du Grec, il est composé de deux parties:

Photos : Lumière.

Volt : Unité de tension électrique, du nom Alessandro Volta.

Ce phénomène fut découvert au 19ème siècle par le physicien Alexandre Edmond Becquerel. La première cellule photovoltaïque fut développée début 1954 pour l'alimentation en énergie des satellites. Depuis 1958, les cellules photovoltaïques alimentent seulement le système énergétique des satellites jusqu'à ses premières applications terrestres au début des années 70. Le photovoltaïque fut utiliser pour l'alimentation en énergie de petites maisons isolées et d'équipements de télécommunications.

Aujourd'hui, grâce à sa fiabilité et à son concept respectueux de l'environnement, le photovoltaïque prend une place prépondérante.

Pour comprendre le fonctionnement de ce système photovoltaïque en optimiser son utilisation, nous effectuerons dans ce chapitre un bref rappel sur l'énergie solaire, l'effet photovoltaïque, la cellule photovoltaïque, [5].

I.2. L'énergie solaire :

Aujourd'hui il est admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène – hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium, la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius.

Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement qui représente chaque année environ 1500 fois la consommation énergétique de l'humanité[6].

Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (1KWc/m^2) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge.

Pour comprendre ce phénomène, nous avons rappelé dans ce chapitre quelques notions de base sur le rayonnement solaire et les propriétés des semi-conducteurs ; matériaux de base des cellules photovoltaïques.

I.3. Rayonnement solaire :

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre de 1390000 km, soit environ 50 fois celui de la terre.

Il est composé à 80% d'hydrogène, 19% d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments, soit pratiquement tout les éléments chimiques connus depuis que Lavoisier et Laplace, s'appuyant sur la théorie de la relativité d'Einstein, ont émis l'idée il y a une soixantaine d'années que c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance,

Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement [7].

Sa lumière, à une vitesse de 300000 km/s, met environ 8 minutes pour parvenir à la terre, sa distribution spectrale de l'atmosphère est présentée un maximum pour une longueur d'onde d'environ $0.5\mu\text{m}$, la température de corps noir à la surface du soleil est d'environ 5780°K :

1-Diamètre de soleil $D_s = 1.39.10^9\text{m}$

2- Diamètre de la terre $D_t = 1.27.10^7\text{m}$

3- Distance moyenne soleil_ terre $L_{ts} = 1.5.10^{11}\text{m}$.

I.3.1. Spectre du rayonnement

Le rayonnement électromagnétique est composé de «grains» de lumière appelés photons. L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde λ :

Le spectre du rayonnement extraterrestre correspond environ à l'émission d'un corps noir porté à 5800°K voir figure (I.4).

Une courbe standard, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom de AM0. Sa distribution en énergie est répartie en:[8]

Ultraviolet UV $0.20 < \lambda < 0.38\ \mu\text{m}$ 6.4%

Visible $0.38 < \lambda < 0.78\ \mu\text{m}$ 48.0%

Infrarouge IR $0.78 < \lambda < 10\ \mu\text{m}$ 45.6%

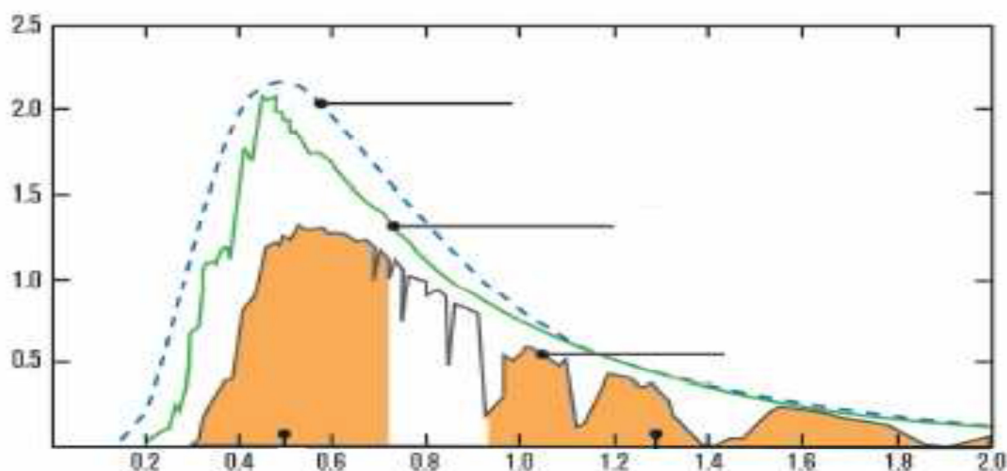


Figure (I.1) : spectre solaire hors atmosphère [8].

I.3.2. Durée d'insolation

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et le coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Le relevé est fait au moyen de l'héliographe de Campbell– Stokes dans lequel une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant.

Ainsi, seuls les moments où le soleil est bien visible sont enregistrés ; on parle alors de durée d'insolation réelle ou effective et dépend du fait que le soleil levé soit visible du point d'observation ou caché par les nuages.

Au défaut de l'héliographe, il est possible à partir du calcul du mouvement astronomique relatif du soleil et de la terre d'évaluer la durée théorique du jour ; c'est-à-dire, celle qu'il aurait si les nuages ne cachaient pas le soleil. Cette durée est calculée en fonction de latitude du site et de la déclinaison apparente qui elle-même dépend de la période de l'année considérée [9].

I.4. Notions préliminaires sur le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet ($0.2\mu\text{m}$) à l'infrarouge lointain ($2.5\mu\text{m}$). On utilise la notion AM pour Air Mass afin de caractériser le spectre solaire en termes d'énergie émise.

Pour tenir compte de la distance traversée par les rayons, il est nécessaire d'introduire une notion de masse d'air (AM) elle correspond à la longueur relative du parcours à travers l'atmosphère terrestre traversée par le rayonnement solaire direct.

Au niveau du sol le rayonnement global reçu par une surface plane d'inclinaison quelconque est constitué de trois composantes principales [9] :

I.4.1. Rayonnement direct :

Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant de disque soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère.

I.4.2. Rayonnement diffus :

C'est la partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi multiples réflexions (dispersions), dans l'atmosphère.

I.4.3. Rayonnement réfléchi :

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable...). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lieu appelé Albédo.

I.4.4. Rayonnement global :

Un plan reçoit de la part du sol un rayonnement global qui est le résultat de la superposition des trois compositions direct, diffus et réfléchi.

I.5. Description des éléments d'un système de captage photovoltaïque :

I.5.1. la cellule photovoltaïque :

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet Photovoltaïque », a été découverte par E. Becquerel en 1839. Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants.

La structure la plus simple d'une cellule photovoltaïque comporte une jonction entre deux zones dopées différemment du même matériau (homojonction) ou entre deux matériaux différents (hétérojonction).

Le but de la structure photovoltaïque, c'est de créer un champ électrique interne.

La configuration de la cellule solaire, se compose d'un abri du verre (g), un encapsulant (e), et un métal en arrière contact (m) afin de réduire les pertes par réflexion du rayonnement incident.

La jonction p-n de ces deux matériaux fonctionne comme une diode. Lorsque cette diode est exposée à des photons dont l'énergie ($h\nu$) est supérieure à celle de l'énergie du matériau, appelée l'énergie de bande gap (E_g), le nombre d'électrons libres du

semi conducteur de type-p et celui de trous du semi-conducteur de type-n augmente considérablement.

Si les photons incidents ont une énergie inférieure à E_g , ils ne seront pas absorbés c'est-à-dire leurs énergies ne contribuent pas à la conversion photovoltaïque.

Dans une cellule PV, une large fraction de ces électrons et trous atteignent la jonction p n, et un champ électrique est créé. En conséquence, un courant électrique peut être établi en connectant les matériaux de type n et type p à un circuit extérieur.

La direction de ce courant est l'opposé de celle de la cellule lorsqu'elle fonctionne en tant que diode, autrement dit, quand la diode est illuminée, un courant positif I traverse de n vers p.

La puissance électrique produit par une cellule industrialisée est très faible typiquement de 1 à 3W avec une tension de moins d'un volt.

Le rendement de conversion des cellules commercialisées atteint actuellement 15 à 19% pour le silicium monocristallin, 12 à 16 % pour le silicium poly cristallin, 7 à 9% pour le silicium amorphe.

Pour élever la tension, les cellules sont commercialisées sous forme des modules photovoltaïques [4].

I.5.2. Le module photovoltaïque :

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.

Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylène-vinyl- acétate) et protégé sur la surface avant d'un verre, trempé à haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière d'une ou de polyéthylène [10].

Les modules sont généralement entourés d'un cadre rigide en aluminium anodisé comprenant des trous de fixation.

A l'arrière de chaque module se trouve une boîte de jonction contenant 2 diodes antiparallèles.

Ces diodes antiparallèles permettent d'éviter qu'un module au soleil ne se décharge dans un module à l'ombre.

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.

Les modules en silicium mono cristallin (c-Si, 64% de marché), poly cristallin ou multi cristallin (xc-Si, 28% du marché) ou silicium amorphe (a-Si, 13% du marché), délivrent des tensions normalisées (12, 24,48) et des puissances entre 10 et 100 Wc watt- crête : puissance obtenue pour (l'ensoleillement maximal).

La plupart des modules commercialisés sont composés de 36 cellules en silicium cristallin, le courant de sortie, et la puissance seront proportionnels à la surface du module voir figure (I.5).

Ils ont une efficacité de conversion (énergie électrique produite/énergie solaire incidente) de l'ordre de 10 à 20% [4].

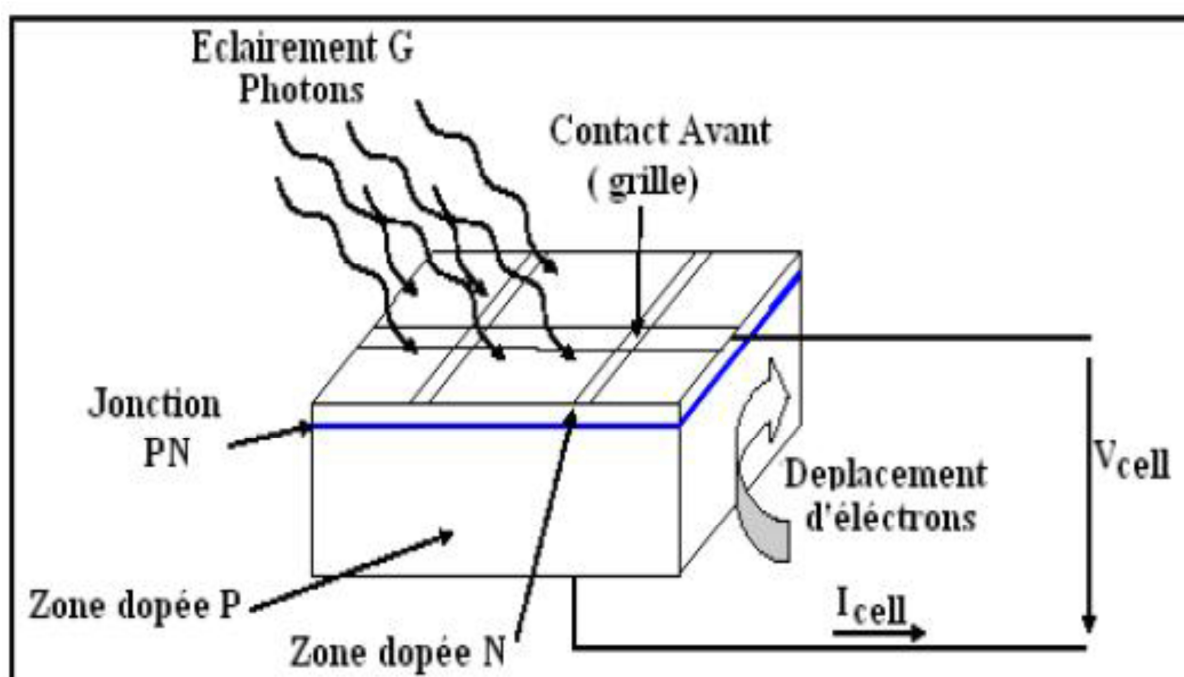


Figure (I.2) : Le principe de fonctionnement d'une cellule solaire.

I.5.3. Les principales caractéristiques d'un module :

I.5.3.1. Puissance crête :

La puissance électrique produite par un module varie en fonction de l'ensoleillement.

La puissance crête d'un module est la puissance délivrée sous un éclairement de 1000W/m^2 et pour une température de jonction de la cellule de 25°C .

I.5.3.2. Rendement:

Le rendement dépend des conditions de fonctionnement électrique (intensité, tension) des cellules. Il passe par un maximum à ce que l'on appelle le point de puissance maximale.

I.5.3.3. Facteur de forme :

Rapport entre la puissance optimale P_o et la puissance maximale P_m que peut avoir la cellule : V_{co} , I_{cc} .

I.5.3.4. Caractéristique courant-tension d'un module :

Le courant produit par un module varie conformément en fonction de l'éclairement et température voir figure (I.6).

Il dépend de l'éclairement solaire et de la température de la cellule [11].

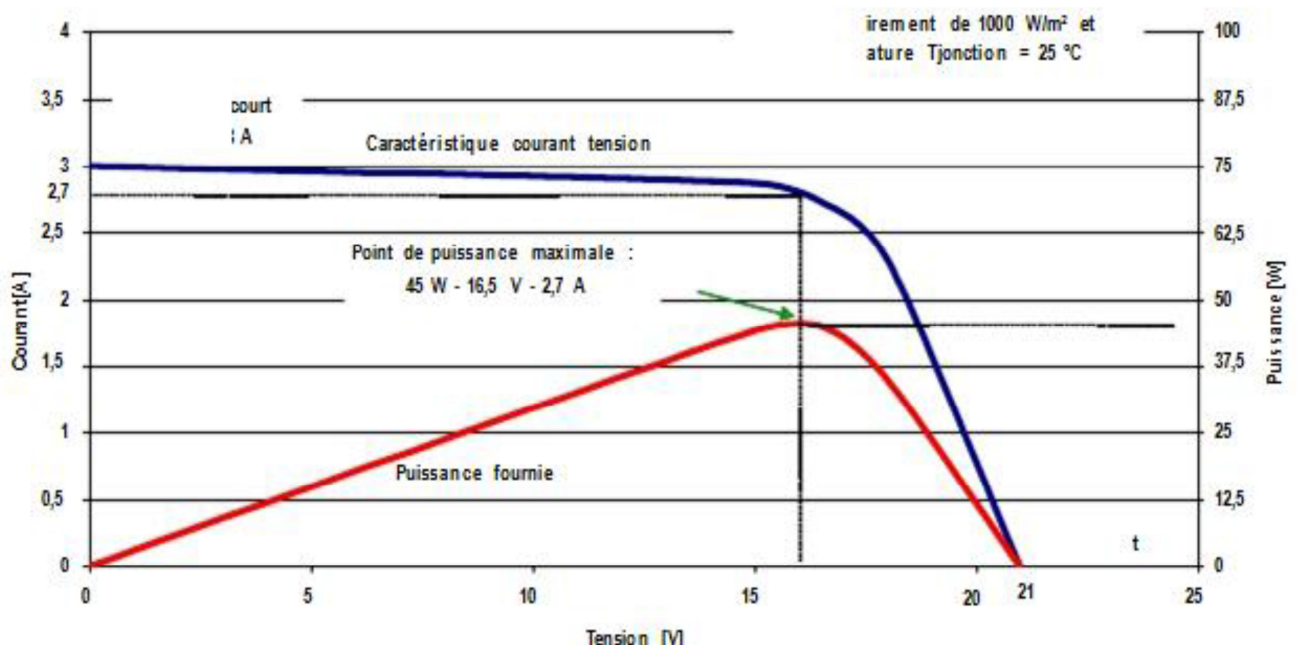


Figure (I.3) : Exemple de caractéristique courant-tension d'un module [11].

I.5.3.5. Influence de l'Éclairement :

Quand l'éclairement augmente le courant de court-circuit augmente, mais par contre la tension varie légèrement.

I.5.3.6. Influence de la Température :

La Température influe négativement sur la tension de circuit ouvert .Le Courant augmente légèrement quand la température augmente, par contre la puissance maximale du générateur diminue lorsque la température augmente [31].

I.5.3.7. Influence de l'association série des cellules PV :

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 0.5 W avec une tension de moins d'un volt.

Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau).

Un module de 36 cellules en série est suffisant pour obtenir une tension compatible avec la charge. Pour avoir plus de tension, il faut assembler N_s modules en série, par contre pour le courant généré, un nombre N_p de modules en parallèle permet d'en ajouter, les diodes de protection série et parallèles protègent le circuit contre le retour de courant.

L'association en série des cellules délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule.

I.5.3.8. Influence de l'association parallèle des cellules PV :

L'association en parallèle des photopiles délivre un courant égal à la somme des courants individuels et une tension égale à celui d'une seule cellule.

I.6. Panneau photovoltaïque :

Le panneau solaire ou (champ solaire) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise.

Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique.

Pour chaque panneau on peut avoir autant de sorties que de modules, ce qui fait qu'on aura besoin de boîte de dérivation qui les regroupe, Alors cette boîte de dérivation fixée sur un structure du montage a comme rôle d'effectuer les connections entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie [12].

Une fois ces rappels théoriques sont faits, il nous sera facile d'expliquer le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque en passant au système photovoltaïque complet et à ses trois types à savoir :

- ❖ Les systèmes autonomes.

- ❖ Les systèmes connectés au réseau.
- ❖ Les systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage PV).

Le générateur photovoltaïque convertit la radiation solaire incidente en puissance électrique et en général, on distingue deux types d'installations :

1. non autonomes ou « grid connected » i.e. rattachées au réseau de distribution électrique. Dans Les systèmes reliés au réseaux, les consommateurs standard de puissance AC sont connectés au générateur via un onduleur (convertisseur DC/AC) parfois bidirectionnel (redresseur/onduleur) voir figure (I.1) . Le surplus d'énergie du générateur photovoltaïque est injecté au réseau public et les demandes de puissance qui existent la capacité de production du générateur sont attachées sur le réseau.

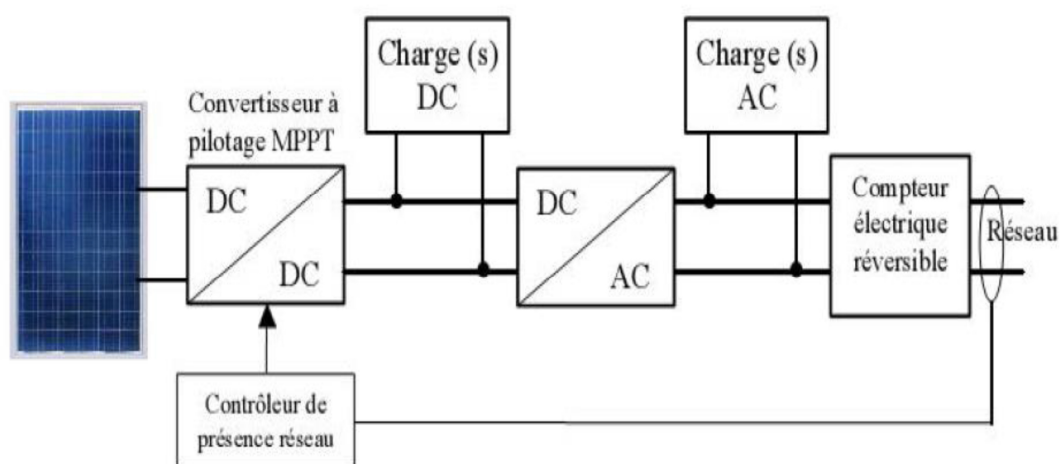


Figure (I.4) : Système photovoltaïque raccordé au réseau.

2. Autonomes ou « stand-alone », ces installations isolées ne sont pas connectées au réseau, mais elles doivent assurer la couverture de la demande de la charge en tout temps voir figure(I.2).

La puissance à la sortie du générateur photovoltaïque n'est pas suffisante pour satisfaire la demande de charge, aussi l'autonomie du système est-elle assurée par un système de stockage d'énergie.

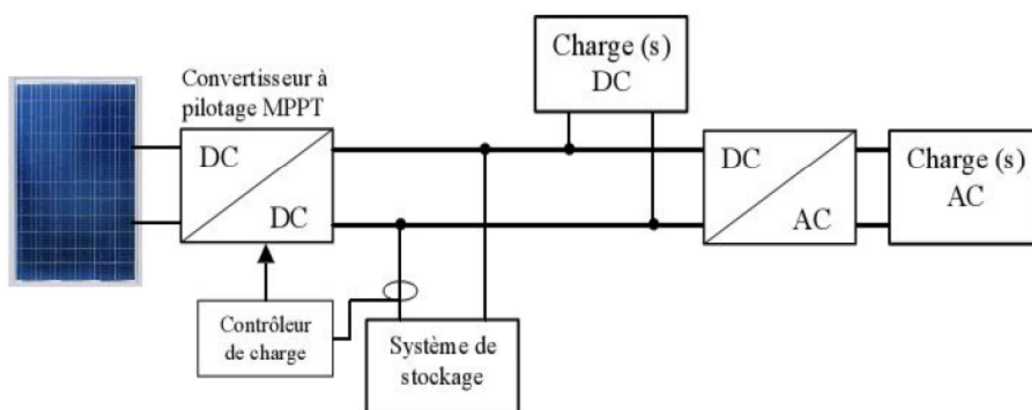


Figure (I.5) : Système photovoltaïque autonome.

En général ces installations comprennent quatre éléments

- Un ou plusieurs modules PV.
- Le système de régulation.
- Une ou plusieurs batteries.
- L'onduleur voir figure(I.3).

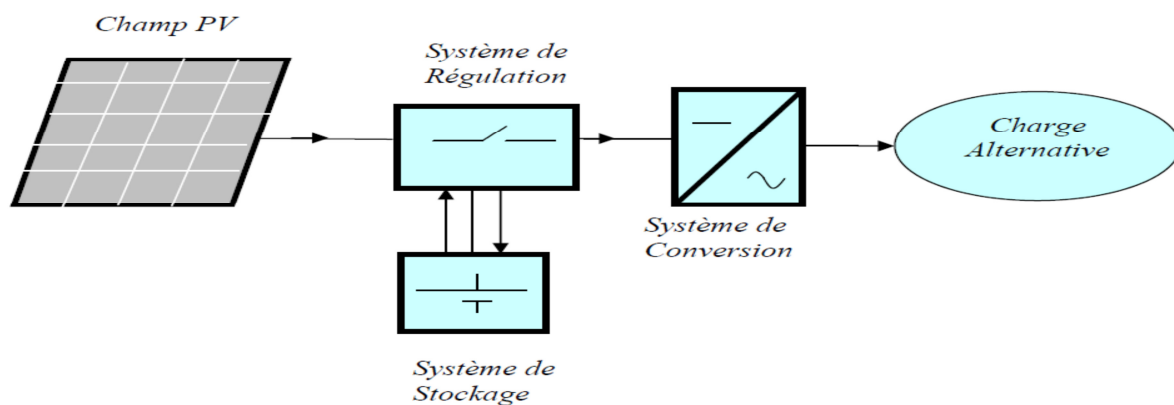


Figure (I.6) : Schéma d'un système photovoltaïque.

I.7. Avantages et inconvénients d'une installation PV :

I.7.1. Avantages :

- D'abord une haute fiabilité, l'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Méga Watt.

- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions [13].

I.7.2. Inconvénients :

- L'inconvénient majeur de ce système Pv c'est Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux Problèmes. Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement des mêmes cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur [13].
- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 %(soit entre 10 et 15 MW/km² pour le BENELUX) avec une limite théorique Pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Tributaire des conditions météorologiques.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.

I.8. Système de stockage :

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure.

La gestion de l'énergie solaire nécessite s'envisager des stockages suivant les conditions météorologiques et qui vont répondre à deux fonction principales :

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

Les Caractéristiques principales d'une batterie sont :

Capacité en Ampère heure : Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant.

Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 Ah peut fournir 200 A pendant une heure, ou 50 A pendant 4 heures, ou 4 A pendant 50 heures.[14]

Il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie tels que :

Rapports de chargement et déchargement : Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer.

Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.

Température : Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie [14].

La durée de vie : Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quelque soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles) [15].

Profondeur de décharge : La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge.

Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle. La majorité des batteries de "cycle profond" fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommager. Les fabricants de batteries de nickel-cadmium assurent qu'elles peuvent totalement être déchargées sans aucuns dommages.

La profondeur de décharge : Cependant, affecte même les batteries de cycle profond. plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite.

La tension d'utilisation : C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

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

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

I.8.1. Types d'accumulateurs :

Il existe plusieurs types de stockage dans le système PV, les puissances rencontrées sont inférieures au MW, le seul stockage d'énergie électrique possible est le stockage électrochimique. Les deux principaux types d'accumulateurs utilisés actuellement dans le système photovoltaïque sont [16].

a). Les Accumulateurs au plomb acide :

La batterie au plomb acide est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus courante, en raison de son coût qui est relativement faible et d'une large disponibilité. Par contre, les batteries nickel-cadmium sont plus chères, elles sont utilisées dans les applications où la fiabilité est vitale [17].

a-1). Composition d'une batterie solaire plomb acide :

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte [18].

a-2). Principe de fonctionnement :

Une réaction chimique intervient lorsque la batterie alimente une charge connectée à ces deux électrodes.

Pendant la décharge, il y a une oxydation à la plaque négative qui se traduit par une perte d'électrons et réduction à la plaque positive ou gain d'électrons.

L'électrolyte en présence dans la batterie facilite le déplacement des charges électrochimiques sous forme d'ions. Le processus inverse se produit quand la batterie se recharge on voit apparaître immédiatement une force électromotrice entre les deux électrodes. Les équations des réactions suivantes décrivent la réaction principale:

Electrode Positive: $\text{PbO}_2 + 3\text{H}^+ + \text{HSO}_4^- + 2\text{e}^- \hat{=} \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$.

Electrode négative: $\text{Pb} + \text{HSO}_4^- \hat{=} \text{PbSO}_4 + \text{H}^+ + 2\text{e}^-$.

Réaction : $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{HSO}_4^- \hat{=} 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$.

b). Les Accumulateurs au Nickel- cadmium :

Les batteries de nickel- Cadmium ont une structure physique semblable à celles du plomb- Acide. Au lieu du Plomb, elles utilisent de l'hydroxyde de Nickel pour les plaques positives et de l'oxyde de Cadmium pour les plaques négatives. L'électrolyte est de l'hydroxyde de Potassium.

La tension de ce type d'accumulateur varie entre 1,15 et 1,17 Volts, par élément suivant l'état de charge. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70%. En dépit d'un prix encore prohibitif, ce type d'accumulateur présente beaucoup d'avantages :

- Très bonne résistance mécanique.
- Possibilité de supporter des décharges profondes.
- Pas d'émanations toxique à partir de l'électrolyte.
- Ne craint pas de gel.

I.9 .Système de régulation :

Les systèmes de régulation de charge sont des éléments d'un système photovoltaïque qui ont pour but de contrôler la charge et la décharge d'une batterie afin d'en maximiser la durée de vie. Son rôle principal est de réduire le courant lorsque la batterie est presque entièrement chargée. Lorsqu'une batterie se rapproche d'un état de charge complète, de petites bulles commencent à se former sur les électrodes positives. A partir de ce moment, il vaut mieux réduire le courant de charge non seulement pour éviter des dégâts mais aussi afin de mieux atteindre l'état de charge complète. Un courant trop élevé peut provoquer une déformation des électrodes à l'intérieur, ce qui pourrait créer un court-circuit.

Le régulateur de charge assure deux fonctions principales :

- la protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes.
- L'optimisation du transfert d'énergie du champ PV à l'utilisation du batterie afin que la tension aux bornes de la batterie est l'indication sur la quelle s'appliquera le Régulateur pour assurer sa fonction. Le régulateur mesure en permanence cette tension et la compare à deux seuils de tension pré-régler : seuil haut et seuil bas.

Il existe plusieurs types de régulateurs :

1.9.1 Régulation de décharge :

La régulation de décharge s'effectue par un comparateur qui compare la tension de la batterie à un seuil de tension pré-régulé bas et transmet l'information à un circuit de commande. Ce dernier arrête de décharge lorsque la tension par élément dépasse la tension de seuil.

1.9.2 Régulation de la charge :

La régulation de la charge effectuée par une réduction de courant lorsque la batterie est chargée, on évite la charge lorsque la tension par élément dépasse la tension de surcharge. Il existe plusieurs types de montage de régulation de charge pour les batteries au plomb.

a). Régulations de charge série :

Le principe consiste à intercaler entre le panneau PV et la batterie un dispositif qui module le courant. Le dispositif fonctionne de la manière suivante :

Tant que la tension U_{bat} aux bornes de la batterie est inférieure à la tension de la diode Zener U_Z , le courant délivré par le panneau charge la batterie à travers un transistor se bloque, et le courant ne passe qu'à travers la résistance.

b). Régulateur de charge de coupure :

Ce régulateur comporte un relais qui connecte et déconnecte le générateur PV à deux seuils différents et qui sont commandés par une unité de contrôle. Ils mesurent en permanence la tension aux bornes de la batterie.

c). Régulateur de charge à découpage

Ce type de régulateur utilise un convertisseur continu - continu qui délivre à la batterie sa tension de floatant chaque fois que la tension de la batterie atteint le seuil haut.

d). Régulateur de charge série à coupure partielle :

Ce type de régulateur permet de fractionner le panneau PV en deux parties. Chacune délivre une même tension selon le principe suivant : une partie du panneau charge la batterie à travers un régulateur de charge série à coupure tant que l'autre partie est branchée directement pour la charge de la batterie en permanence.

e). Régulateur de charge parallèle :

Ce type de régulateur est utilisé en dérivation sur le panneau solaire. Il permet de dissiper l'énergie excédentaire sous forme calorifique grâce à des composants de puissances selon le principe suivant :

Lorsque la tension de la batterie est faible, le transistor T est bloqué, le courant et la tension aux bornes de la résistance est faible alors tout le courant délivré par le générateur charge la batterie. Si la tension aux bornes de la diode Zener atteint la valeur de référence, le courant I augmente brusquement, le transistor T devient passant et il délivre une partie du courant de charge [4].

1.10. Système de conversion :

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu continue), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif) [17].

A l'onduleur est généralement associé 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.

1-10-1 Le convertisseur continu -continu :

Ce type de convertisseur est destiné à adapter à chaque instant l'impédance apparente de la charge à l'impédance du champ PV correspondant au point de puissance maximal. Ce système d'adaptation est couramment appelé MPPT (maximum power point tracking). Son rendement se situe entre 90 et 95%.

Ce système présente deux inconvénients pour un PV de faible puissance :

- Prix élevé.
- Le gain énergétique annuel par rapport à un système moins complexe (cas d'une régulation de la tension) n'est pas important [17].

1.10.2. Le convertisseur continu- alternatif :

C'est un dispositif destiné à convertir le courant continu en courant alternatif. La formation de l'ordre de sortie peut être assurée par deux dispositifs :

- **Rotatif** : c'est un moteur à courant continu couplé à un alternateur, son rendement varie de 50% à 60% pour 1kW jusqu'à atteindre 90% pour 50kW.

- Ses avantages sont : simplicité, onde sinusoïdale, bonne fiabilité.

- Ses inconvénients sont : cherté, faible rendement (surtout pour les faibles puissances).

- **Statique** : on le désigne sous le nom d'onduleur. C'est un dispositif utilisant des transistors de puissance ou des thyristors. L'onde de sortie présente, dans le plus simple des cas, une forme carrée qui peut s'adapter à quelques types de charges, des pertes à vide considérables surtout pour des faibles puissances. Les onduleurs peuvent être améliorés à l'aide d'un filtrage ou par utilisation des systèmes en PWM (pulse width modulation) qui permettent grâce à la modulation de la longueur des impulsions d'obtenir une onde de sortie sinusoïdale. Avec ce système, on obtient :

- Un rendement élevé sur une plage du taux de charge.

- De faibles pertes à vide .

I.11. La Charge :

La charge et l'équipement électrique alimenté par le système peut être de type continue comme des équipements de télécommunications, le pompage d'eau, ou de type alternative dans les cas d'usage domestique (maison solaire), ce cas nécessite un onduleur [7].

I.12. Conclusion:

On a étudié le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule Photovoltaïque et module photovoltaïque. On a vue aussi que l'énergie PV comme tout autre a certes des avantages mais elle a aussi des inconvénients.

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

II.1. Introduction :

Après avoir étudié et citer les différents composants du système photovoltaïque, aussi que l'influence des paramètres de ses composants sur le système, nous procédons à la modélisation du système.

La modélisation nécessite un ensemble d'équations caractérisant tous les éléments du système étudié. A ce niveau, la condition qui s'impose c'est de connaître les critères d'entrées, c'est-à-dire les données et les dimensionnements, relatives aux équipements photovoltaïques.

De nombreux articles publiés dans la littérature scientifique portent sur le développement de modèles pour chacun des composants du système.

Dans ce chapitre, nous représenterons le modèle de rayonnement solaire sur un plan horizontal, champ photovoltaïque, le modèle du système de stockage (batterie) et finalement le modèle de conversion (onduleur) [19].

II.2. Modèles de coordonnées soleil

Les angles solaires sont des facteurs intéressants pour le calcul de rayonnement solaire.

- **La latitude (φ)** : est l'angle formé par le plan équatorial et la direction reliant le lieu considéré, au centre de la terre. La latitude de l'hémisphère Nord sont affectées d'un signe positif et celles de l'hémisphère Sud d'un signe négatif.

- **La longitude (λ)** : représente l'angle formé par le plan méridien de lieu considéré et le plan méridien origine. Ce dernier passe par l'observatoire de Greenwich et a pour longitude 00. La longitude situées à l'est de ce méridien sont positives et celles situées à l'Ouest négatives [4].

- **La déclinaison (β)** : c'est l'angle entre la direction du soleil et le plan équatorial Elle traduit l'inclinaison du plan équatorial par rapport au plan écliptique. Sa valeur varie entre -23°C (Au solstice d'hiver) et $+23^\circ\text{C}$, (au solstice d'été) et s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne. Cet angle varie très peu pendant une journée, ce qui permet d'approcher le mouvement quotidien du soleil par une rotation sur cône d'axe l'équateur, de demi angle au sommet $\omega = 90^\circ - \beta$. L'angle ω sera donc fonction du jour de l'année.

$$\beta = +23.450 \sin\left(\frac{360}{365}N - 80\right) \quad (\text{II-1})$$

N est le nombre de jours de l'année compté à partir du 1er janvier, il varie de 1 à 365 ou 366

Selon l'année :

Année civile : 365 jours

Année bissextile : 366 jours.

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

- **L'angle horaire du soleil (δ)** : repère la position du soleil dans sa rotation journalière sur le cône d'ouverture δ . C'est l'angle entre le plan méridien passant par l'observateur et le plan méridien contenant le soleil. En principe, un jour solaire (δ variant de -1800 à +1800) correspond à 24h.

La position apparente du soleil est déterminée par ses coordonnées angulaires par rapport au plan horizontal, l'azimut et la hauteur angulaire.

- **L'azimut ψ** : qui est l'angle formé par projection de la direction du soleil et la direction du Sud. Il est compté positif à l'Ouest (le matin) et négatif à l'Est (le soir).

Sa valeur est obtenue lorsque le soleil se couche (suivant la hauteur angulaire du solaire, et l'inclinaison du panneau).

- **La hauteur angulaire (γ)** : Qui détermine la longueur de la traversée de la l'atmosphère est l'angle formé par la direction de soleil et le plan horizontal. Sa valeur sera comprise entre 00 (au lever et au coucher) et maximum γ_m au zénith (midi en temps solaire vrai).

Quand le sinus est négatif, c'est que le soleil n'est pas encore levé (la durée des journées varie dans l'année). Il faut donc écrire cette variable [8].

$$\sin(\gamma) = \sin(\varphi) \sin(\omega) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \quad (\text{II-2})$$

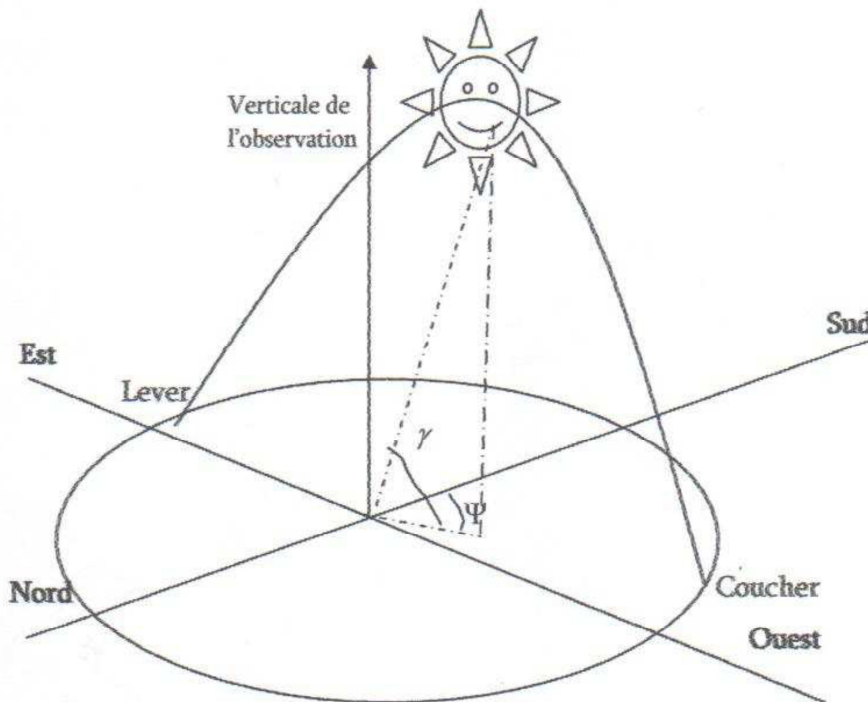


Figure (II.1): Coordonnées angulaires de soleil [8].

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

Afin d'obtenir l'angle d'incidence des rayons sur le capteur, une représentation schématique (figure II-1) nous permet de visualiser clairement les différents angles pris en compte dans l'étude du rayonnement arrivant dans le plan d'un capteur. L'angle (γ , hauteur dans l'étude) et (ψ , azimut) que nous venons de définir dans le positionnement horaire et spatial de soleil, sont liés directement relative du soleil par rapport à l'emplacement géographique du capteur.

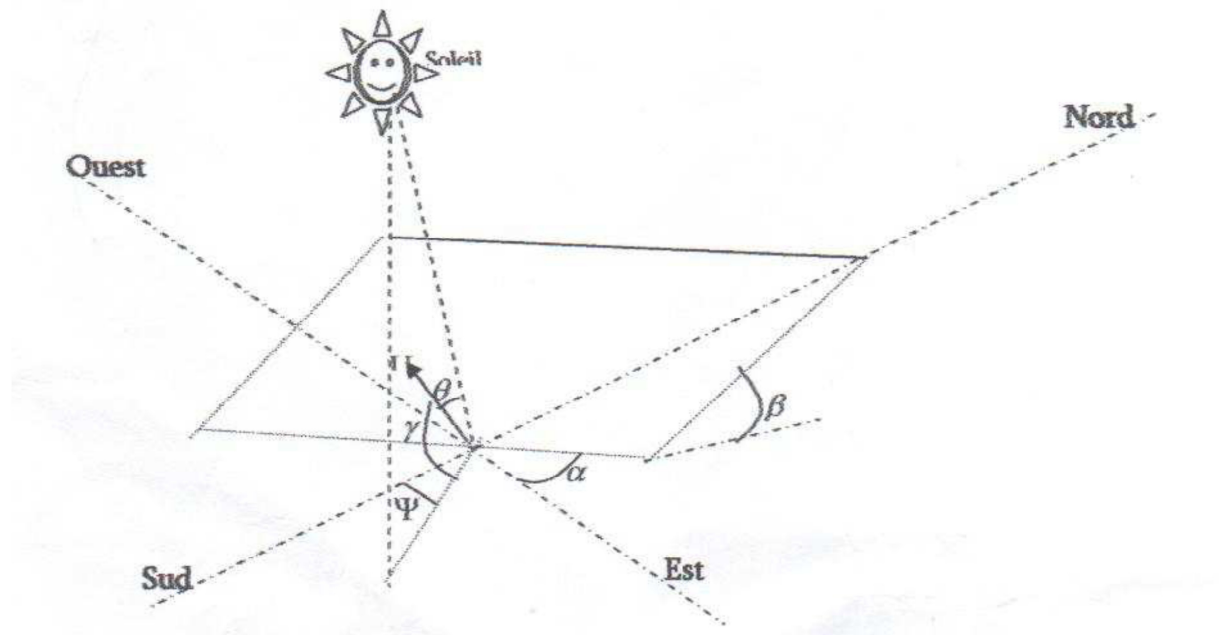


Figure (II.2): Représentation de l'éclairement d'un capteur plan incliné [8].

Les autres angles sont liés directement au positionnement du capteur, et permettent de corriger les pertes liées au trajet optique des rayons lors de la traversée de l'atmosphère, ils correspondent à :

- **L'orientation (α)** : du capteur par rapport au sud, (0° au sud, 180° au nord, $+90^\circ$ à l'ouest et -90° à l'est) .
- **L'inclinaison (β)** : du capteur par rapport au sol ($0^\circ < \beta < 90^\circ$). Elle est nulle pour ce qui est du plan horizontal dans le calcul du premier angle d'incidence puis de 45° pour le second.
- **L'angle d'incidence (θ)** : des rayons solaires par rapport à la normal au capteur.

Une relation trigonométrique permet de déterminer sa valeur en fonction des autres angles :

$$\cos(\theta) = \cos(\gamma) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\psi - \alpha) + \sin(\gamma) \cdot \cos(\beta) \quad (\text{II-3})$$

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

II.3. Modèle de rayonnement solaire :

II.3.1. Rayonnement solaire sur un plan horizontal :

Au niveau du sol le rayonnement global reçu par une surface plan d'inclinaison quelconque est constitué de trois composantes principales :

a). Rayonnement direct : Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant de disque soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère. Après des mesures pour des heures (i) nous avons l'équation statique pour le rayonnement direct [20].

$$H(i) = 1367. C(j). \sin[h(i)e^{\frac{-TL}{0.9+9.41 \cdot M(i)}}] \quad (II-4)$$

SH : Flux direct horizontal.

$C(j)$: La correction de la distance terre soleil.

$h(i)$: Hauteur du soleil.

LT : Facteur de trouble.

$M(i)$: Nombre d'aire masse.

b) Rayonnement diffus : C'est la partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi multiples réflexions (dispersions), dans l'atmosphère. Pour un observateur le rayonnement diffus (D) par l'heur (i) est statistiquement donné par l'équation [20] :

$$D(i) = \frac{1367}{3} \cdot C(j) \cdot \sin[h(i).2] e^{[-0.5 \log^{0.65}(\frac{TC}{22 \cdot M(i)}) - 0.65]} \quad (II-5)$$

c). Rayonnement réfléchi : C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable...). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lien appelé Albédo (ξ) $0 \leq \xi \leq 1$.

d). Rayonnement global $G(\phi)$: un plan reçoit de la part du sol un rayonnement global qui est le résultat de la superposition des trois compositions direct, diffus et réfléchi :

$$G\phi = S + D + R \quad (II-6)$$

II.3.2. Rayonnement solaire sur un plan incliné :

Une surface inclinée par rapport à l'horizontale avec l'angle B reçoit une puissance Énergétique répartie entre le direct ; le diffus, et le réfléchi [20].

a). Rayonnement direct :

Soit un lieu de latitude ϕ , le flux est défini par :

$$Rb = SB/SH = [\cos(\phi - \beta) \cdot \cos(\omega) \cdot \cos(\delta) + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin(\delta)]$$

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

$$[\cos \varphi (\varphi) . \cos(\omega) . \cos(\delta) + \sin(\varphi) . \sin(\delta)] \quad (II-7)$$

$R b$: Rapport de flux direct

$S B$: Flux direct pour un plan d'inclinaison

$S H$: Flux direct horizontale

ω : Déclinaison du soleil.

δ : Angle horaire du soleil.

$$B : \text{Flux direct pour le plan incliné} : S B = R b . S H \quad (II-8)$$

$$R b = ([\cos(\varphi - \beta) . \cos(\omega) . \cos(\delta) + \sin(\varphi - \beta) . \sin(\delta)] /$$

$$[\cos \varphi (\varphi) . \cos(\omega) . \cos(\delta) + \sin(\varphi) . \sin(\delta)]) . S H \quad (II-9)$$

b). Rayonnement diffus : Le flux à une inclinaison B et latitude φ capté par une surface orientée face au Sud-est donné par le modèle suivant [20] :

Pour l'heure i : utilisons le modèle « WILLMOTT »

$K(i) T$: Coefficient de sérénité

$\theta(i)$ Angle d'incidence du rayon direct par rapport au incliné.

c). Rayonnement réfléchi : la fraction du flux réfléchi par le sol sur la surface inclinée est proportionnelle au flux global horizontal.

Avec

$G H \phi$: Flux global horizontal.

ξ : Albédo du sol

d). Rayonnement global incliné ; C'est la superposition des flux direct, réfléchi et refus dont il est la somme des trois composantes :

$$G B = S + D + R \beta \phi \quad (II-10)$$

On peut calculer le flux solaire global par la relation suivante pour un plan incliné d'angle B

$$G B G H \phi = R . \phi \quad (II-11)$$

R : Rapport du flux global.

$b R$: Rapport du flux direct.

On connaissant le flux global et les composantes du flux pour un plan horizontal on peut déterminer le flux global incliné reçu par un plan : $G B G H \phi = R . \phi$

II.4. Modélisation du champ photovoltaïque:

Une cellule photovoltaïque est un dispositif semi-conducteur généralement à base silicium. Elle est réalisée à partir de deux couches, une dopée P et l'autre dopée N créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-

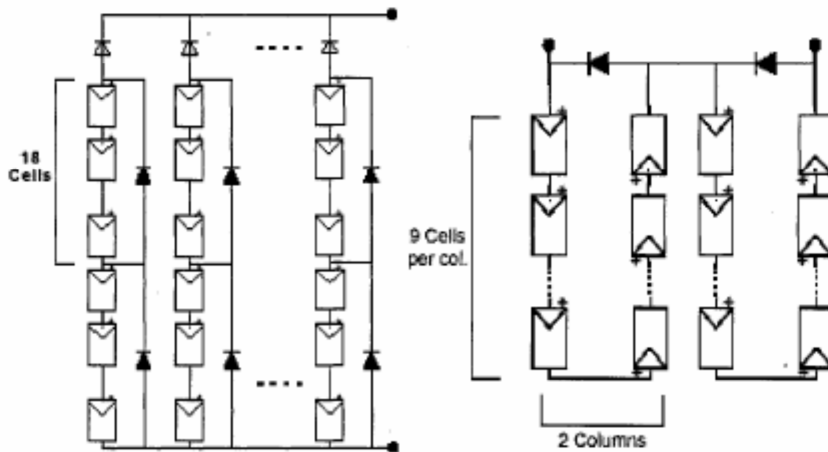
Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule [21].

Le calcul de la géométrie optimale du champ photovoltaïque consiste à modifier les configurations des associations série des modules PV de façon à faire fonctionner la charge dans la zone de puissance maximale. Un calcul de la géométrie optimale du champ photovoltaïque doit effectuer à chaque changement du point de fonctionnement dû aux variations des conditions météorologiques. Pour atteindre les valeurs nominales requises pour un fonctionnement optimal, il faut brancher les modules PV selon la relative à un groupement mixte formé de la mise en série de N_s modules et N_p en parallèle [22].

figure (II-3).On obtient dans ce cas :

$I_g : N_p \text{ module}$. Et $V_g : N_s \text{ module}$



Figure(II.3) : Configurations des associations série parallèle des modules PV [22].

En pratique la résistance shunt (parallèle) est très grande, à partir de ça le terme

$$(V + R_s) / R_{sh} \rightarrow 0$$

La relation du courant lié à une tension

$$I = M \cdot I_{ph} - M \cdot I_0 [\exp(C \cdot (V + N \cdot R_{se} I) - 1)] - (V + N \cdot R_{se} I) / R_{pe} \quad (II-12)$$

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

$$C2 = C1/MN$$

Cette relation est vraie si toutes les cellules solaire constituante le générateur sont identiques [23].

a).Tension en circuit ouvert VCO :

C'est la tension Vco pour laquelle le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul. (C'est la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur photovoltaïque).

$$0 = I_{cc} - I_{sat} \left[e^{\frac{V_{pu}}{nkt}} - 1 \right] - \frac{V_{pu}}{R_{sh}} \quad (II-13)$$

Dans le cas idéal, sa valeur est légèrement inférieure à :

$$VCO = V_p \ln [I_{pv} / I_{sat}]$$

b).Courant de court circuit Icc :

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nulle.

Dans le cas idéal (R_s nulle et R_{sh} infinie), ce courant se confond avec le photo-courant I_{ph} dans le cas contraire, en annulant la tension V dans l'équation on obtient [24]:

$$I_{cc} = I_{ph} - I_{sat} \left[e^{\left(\frac{I_{cc} R_s}{nkt} - 1 \right)} \right] - \frac{I_{cc} R_s}{R_{sh}} - I_{sat} \left[e^{\left(\frac{I_{pv} R_s}{nkt} - 1 \right)} \right] \quad (II14)$$

Pour la plupart des cellules (dont la résistance série est faible), on peut négliger le terme $I_{sat} [exp(e(I_{pv} * R_s / nkt) - 1)]$ devant I_{ph} . L'expression approchée du courant de court-circuit est alors :

$$I_{cc} = I_{ph} / (1 + (R_s / R_{sh})) \quad (II-15)$$

Quantitativement, il a la plus grande valeur du courant généré par la cellule (pratiquement $I_{cc} = I_{ph}$).

c).Point de puissance maximale Pm:

L'utilisation optimale d'une photopile consiste à faire fonctionner une charge sous la tension maximale et à un courant maximal. En effet, suivant la formule $P = V.I$, pour que P soit maximal : il faut être dans les conditions où le produit $V.I$ est maximale, c'est le point de charge idéal de la photopile, ou point de puissance maximale P_m .

d).Facteur de forme FF :

Le facteur de forme représente l'efficacité de la cellule, il peut nous renseigner sur le vieillissement de la cellule. 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) [24].

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} V_{co}}$$

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

II.4.1. Modèle de la température:

La température de la jonction T_c de la cellule est donnée par la relation suivant [24] :

$$T_c = T_a + \text{NOCT} - 20 \cdot E / 800 \quad (\text{II-16})$$

Avec NOCT: la température nominale de fonctionnement de la cellule solaire (Nominal operating cell température) et T_a est La température ambiante [23].

b). Température ambiante :

Le modèle de la température ambiante est représenté grâce aux données de température maximale et minimale de la journée .Nous supposons que la température maximale se produit toujours deux heures après midi et la température minimale quand il commence le jour (levé de soleil). Entre ces deux points extrêmes, une fonction a été utilisée pour caractériser la variation de cette température.

Le profil journalier de température ambiante est déterminé à partir des températures minimale et maximale de la journée, cette température s'exprime à une heure T_L de la journée par l'équation suivante [23] :

$$T = [(T_{\max} - T_{\min}) / 2] \cos[(14 - T_L) \pi / (14 - T_{LL})] + T_{\text{moy}} \quad (\text{II-17})$$

T_{LL} : l'heure du lever de soleil.

T_{moy} : la température moyenne journalière.

T_{\max} : la température maximale journalière.

T_{\min} : la température minimale journalière.

c).Variation du courant de saturation :

Le courant de saturation I_0 dépend de la température de jonction et peut être exprimé par la relation suivant [23] :

$$I_0 = A_0 \cdot T_c^{-3} \cdot \exp(-E_g / K \cdot T_c) \quad (\text{II-18})$$

Pour le silicium monocristallin :

$$A_0 = 2.110.10^3 \quad (\text{II-19})$$

d). Variation du courant de court circuit :

La variation du courant de court-circuit I_{cc} dépend de la température de jonction, de ce fait elle est représentée par la relation suivante [23].

$$I_{cc} = K_1 \cdot E \cdot [1 + K_2 (E - E_0) + K_3 (T_c - T_0)] \quad (\text{II-20})$$

Avec :

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

E : l'éclairement de référence (1000 w/m²)

T₀ : la température de référence (298 K)

K₁, K₂ et K₃ sont des constantes dépendant de la nature de matériau de la cellule et déterminées expérimentalement par le constructeur [24].

e). Variation de la tension à circuit ouvert :

La variation de la tension de circuit ouvert dépend de la température du module et de l'éclairement, elle donnée par l'équation suivant [25] :

$$V_{CO} = V_{CO0} + \beta \cdot \Delta T + \alpha (E - E_0) \quad (\text{II-21})$$

Avec :

V_{CO} : la tension à circuit ouvert de référence (V).

α : coefficient de variation de courant à circuit ouvert en fonction de la température (A/°C).

β : coefficient de variation de la tension de court circuit en fonction de la température (V/°C).

ΔT : la variation de la température (°C).

II.4.2. Caractéristiques I-V d'un module :

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque donnée pour un éclairement et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement, seule la courbe $I = f(V)$ est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque.

La figure (I.4) représente trois zones essentielles [21] :

- a) **La zone (1)** : où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, Le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.
- b) **La zone (2)** : correspondant au code de la caractéristique, la région intermédiaire Entre les deux zones précédentes, représente la région préférée pour le fonctionnement du Générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.
- c) **La zone (3)** : qui se distingue par une variation de courant correspondant à une Tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension.

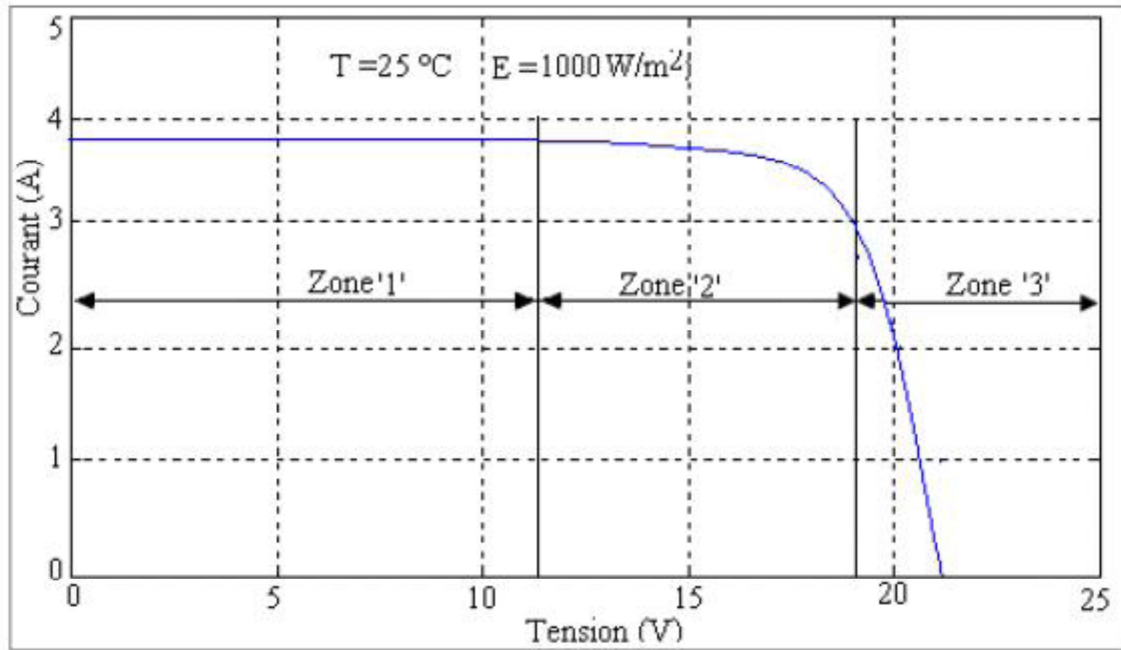


Figure (II.4) : Les différentes zones de Caractéristique I(V) entre générateur et module Photovoltaïque [21].

a) Influence de l'éclairement :

Le courant produit par un module et la puissance varie conformément aux diagrammes courant/tension, puissance/tension. Il dépend de l'éclairement solaire des cellules [26].

Voir Figure (II.5) et Figure (II.6)

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

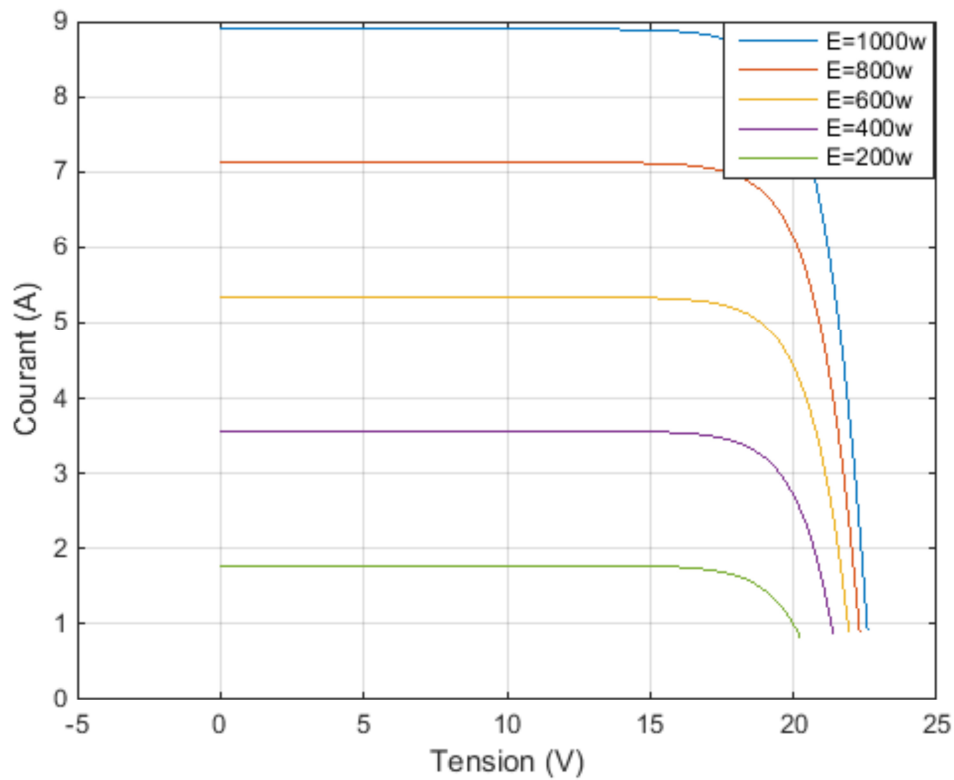


Figure (II.5) : caractéristique $I=f(V)$ d'un module en fonction de l'éclairement.

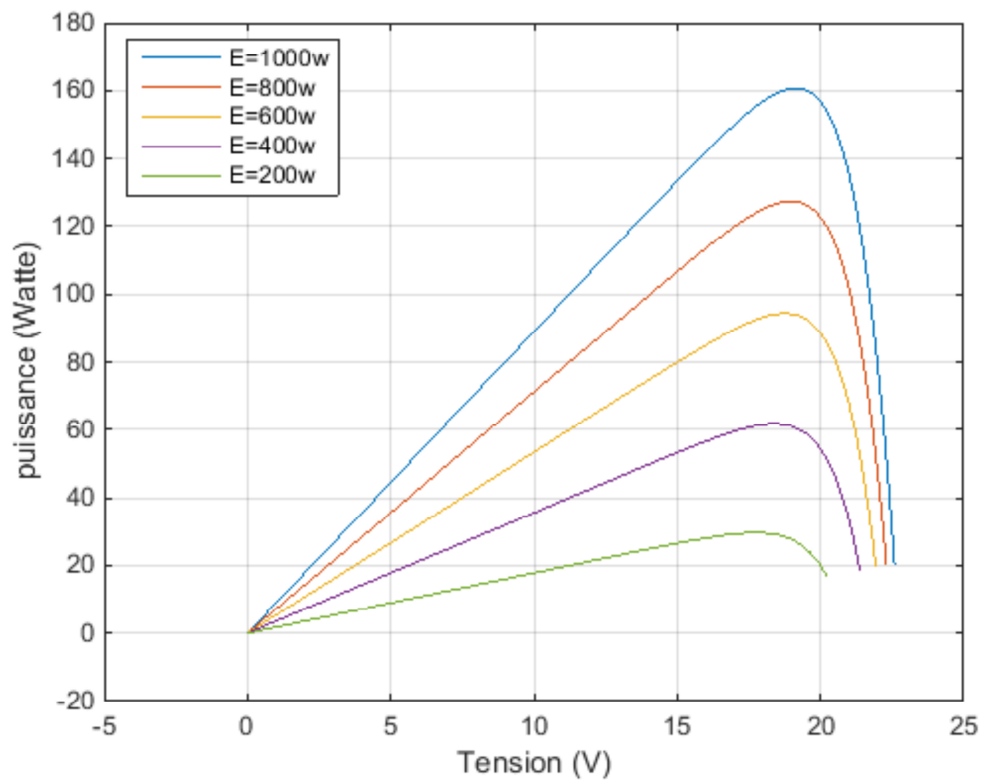


Figure (II.6) : caractéristique $P=f(V)$ d'un module en fonction de l'éclairement

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

a) Influence de la Température :

Nous présentons ci-dessous les caractéristiques I-V et P-V figure (II.07) et(II.08) d'un module photovoltaïque pour un niveau d'ensoleillement $E=1000\text{w}$ donné et pour différentes températures :

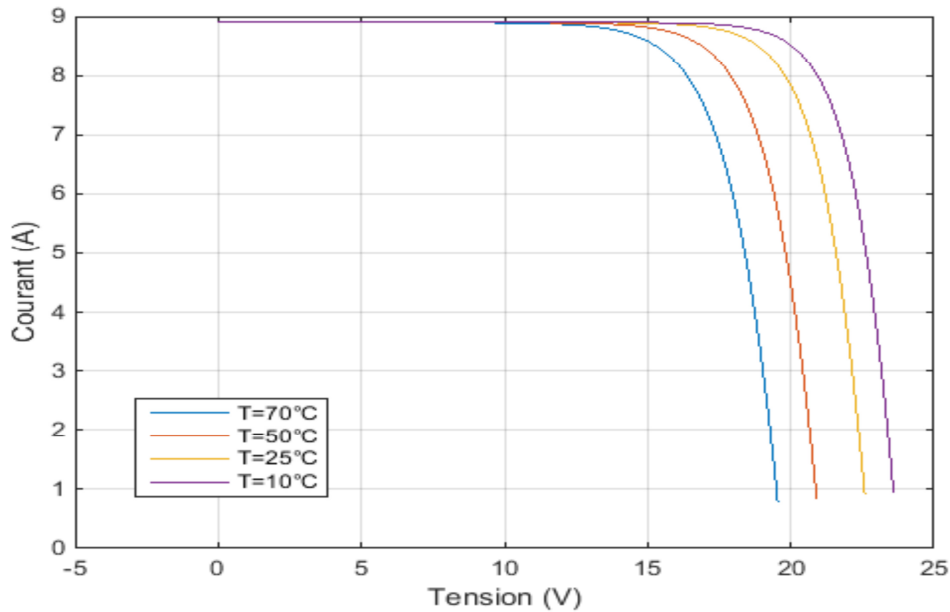


Figure (II.7) : caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température

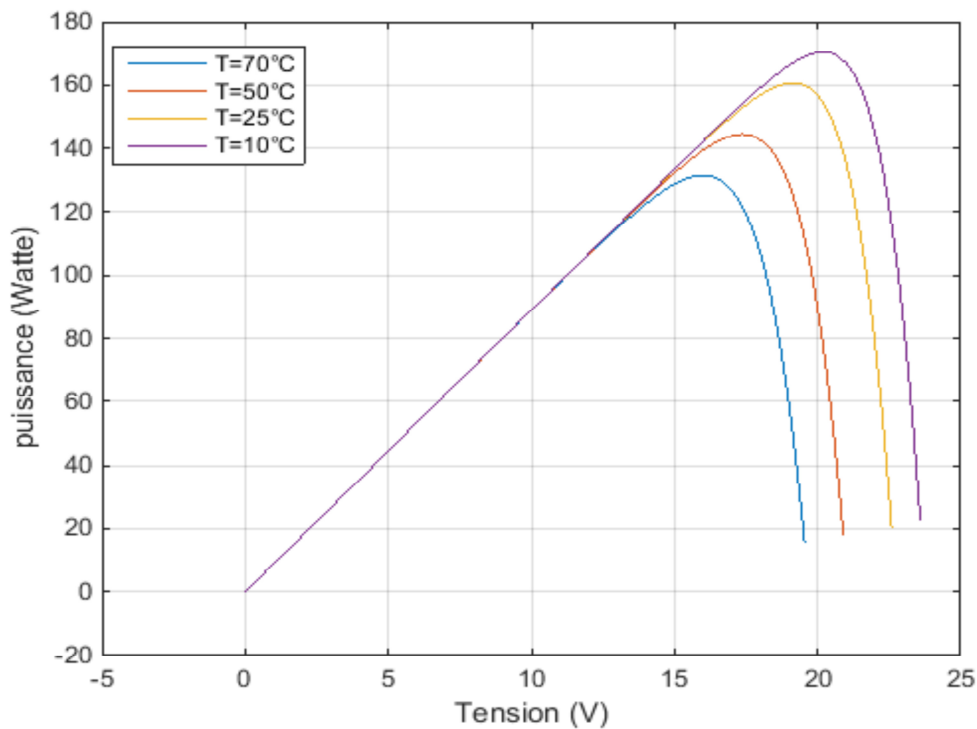


Figure (II.8) : caractéristique de $P= f(V)$ en fonction de température

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

Pour la figure (II-7) Nous remarquons que le courant dépend de la température puisque le Courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, on constate que la Température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente figure (II-8).

- La résistance série et parallèle responsables des pertes par effet Joule.
- Absorption incomplète et excès d'énergie des photons absorbés.

II.5. Modélisation de stockage :

Il existe plusieurs familles de batteries sur la marché : acide-plomb, Li-Ion, Li-MH, Metal-Air, Zinc-Air, etc.

Dans le domaine du photovoltaïque autonome, les batteries acide-plomb sont très répandues. En effet, leur principal atout est un coût faible par rapport aux autres technologies. De plus, cette technologie, étudiée et améliorée depuis plus de 150 ans, est aujourd'hui la plus mature. Les batteries Li-Ion, du haut leurs 20 années de développement, tendent à se positionner sur le marché du photovoltaïque autonome, mais le prix et le manque de retour d'expérience sont des freins considérables à leur généralisation [23].

a) Modèle de la charge de la batterie :

Quand la puissance de générateur PV est plus grande que la charge, les batteries sont à l'état de charge, la capacité des batteries au temps t peut être décrite par l'équation [26] :

$$C_{Bat}(t) = C_{Bat}(t-1) \cdot (1 - \sigma) + (P_{pv}(t) - P_L(t) / \eta_{inv}) \cdot \eta_{Bat} \quad (II-23)$$

$C(t)_{Bat}$ et $C_{Bat}(t-1)$ sont les quantités de la charge et la décharge des batteries au temps (t) et ($t-1$) respectivement, σ est le taux horaire de la charge spontanée, P_{pv} est la puissance du générateur PV, P_L est la charge demandée au temps t , η_{inv} et η_{Bat} sont les rendements de l'onduleur et de la batterie successivement.

Pendant la charge de la batterie, le rendement est 0.65–0.85 selon la charge du courant, par contre pendant le processus de décharge, le rendement de batterie a été mis égal à 1.

b). Modèle de la décharge de la batterie :

Quand la demande de charge est plus grande que la puissance produite, la capacité des batteries au temps t peut être exprimée comme suite [27] :

$$C_{Bat}(t) = C_{Bat}(t-1) \cdot (P_L(t) / P_{pv}(t) - \sigma) + \eta_{inv} \cdot P_{pv}(t) \quad (II-24)$$

A tout moment, la quantité de charge des batteries est sujette aux contraintes suivantes :

$$C_{Bat\ min} \leq C_{Bat}(t) \leq C_{Bat\ max}$$

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

Ici, la capacité de la batterie maximale prend la valeur de la capacité nominale de la batterie $C_{Bat\ max} = C_{Bat\ min}$, et la capacité minimum est déterminée par le profondeur de la charge (DOD) [28]:

$$C_{Bat\ min} = DOD \cdot C_{Bat} \cdot N \quad (II-25)$$

La valeur maximale de l'état de charge (SOC) est égale à 1, et le minimum est déterminé par le maximum de profondeur de décharge, $SOC\ min = 1 - DOD$

Selon les caractéristiques des fabricants, la durée de vie des batteries peut être prolongée au maximum si DOD prend les valeurs de 30 à 50% [29].

C_{Bat} : La capacité de stockage de la batterie.

N : Le nombre de jours d'autonomie.

bV : La tension du système.

DOD : Le profondeur de décharge.

c) .La tension de la batterie :

La tension des batteries acide-plomb /Caractéristique courant-tension Ainsi, lors de la charge, lorsqu'on impose une tension aux bornes de l'accumulateur, 2 cas peuvent se produire [22] :

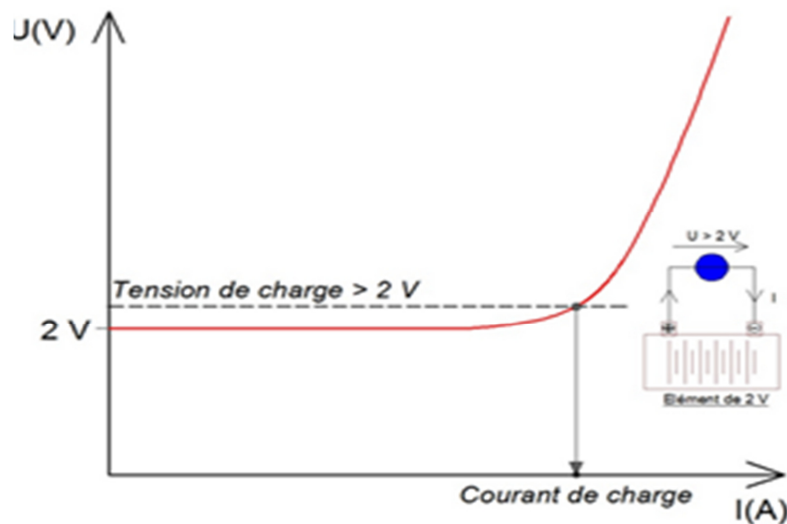


Figure (II.9) : Caractéristique courant-tension [23]

d).Effet de la température

La tension de la batterie varie en fonction de la température.

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

Cette variation se quantifie par un coefficient de température $KT(U)$ de l'ordre de $0.2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ pour un accumulateur de 2V . Lorsque la température de la batterie augmente de 1°C , la tension de l'accumulateur augmente de 0.2 mV .

II.6. Modélisation du système de conversion :

II.6.1. Les onduleurs :

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion d'énergie électrique de la forme continue (DC) à la forme alternative (AC). En fait, cette conversion d'énergie est satisfaite au moyen d'un dispositif de commande (semi-conducteurs). Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace, en utilisant ainsi une séquence adéquate de commande [30].

II.6.2. Principe de fonctionnement d'un onduleur :

Un onduleur est un dispositif électronique assurant la conversion statique d'une tension/courant continu en tension /courant alternatif. Il est dit autonome s'il assure de lui même sa fréquence et sa forme d'onde .Deux types d'onduleurs sont donc utilisés pour assurer une telle conversion [12].

- Onduleur Monophasé.

- Onduleur Triphasé.

II.6.3. Onduleur Monophasé :

Ce type d'onduleur délivrant en sa sortie une tension alternative monophasée, est généralement destinée aux alimentations de secours. Deux classes d'onduleurs monophasés sont à distinguer, suivant leur topologie :

_ Onduleur monophasé en demi-point.

_ Onduleur monophasé en pont (Pont H) [12].

II.6.4. Onduleur triphasé :

Ce type d'onduleur est généralement recommandé pour des applications de grande puissance. La variation du rendement de l'onduleur en fonction de taux de charge est représentée sur la figure suivante:

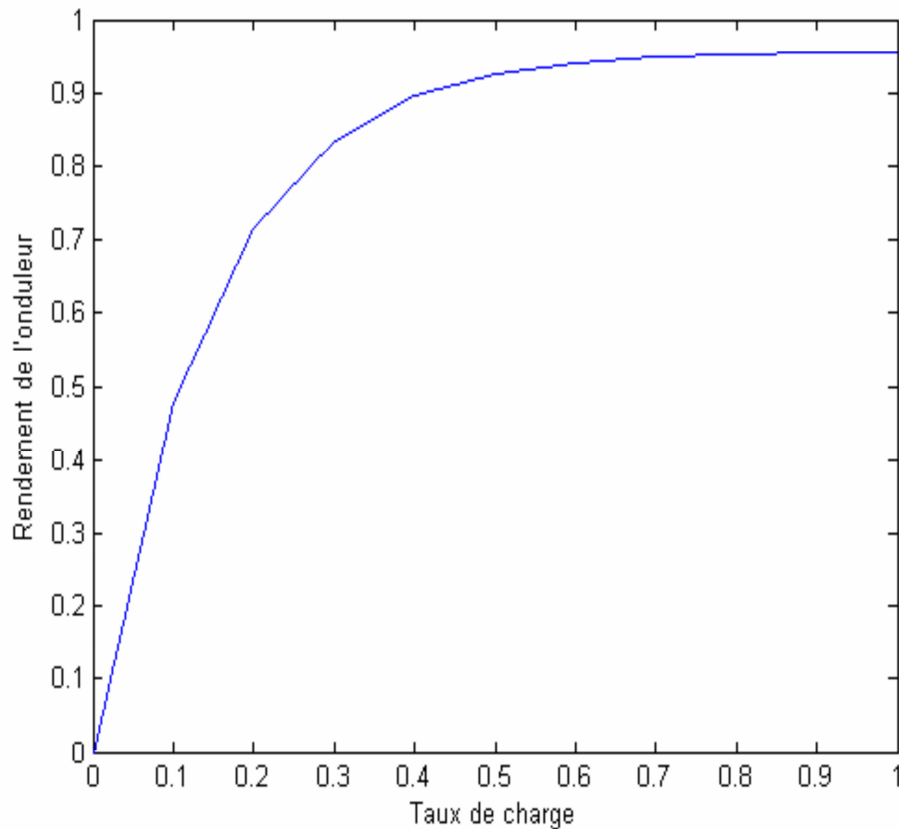


Figure (II.10) : Rendement de l'onduleur [4].

Nous verrons par la suite que le choix de la puissance nominale de l'onduleur en fonction de son application est primordial si l'on veut éviter des pertes énergétiques importantes.

II.7. Conclusion :

La modélisation de chaque composant du système photovoltaïque complet a été élaborée à partir de modèles de la littérature (champ PV, convertisseurs, stockage batteries) ; cette modélisation est une étape essentielle permet d'introduire un certain nombre de modèles puis évaluer la caractéristique de chaque élément de l'installation ainsi les paramètres constituants.

III.1. Introduction :

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

La simulation digitale sert à comprendre le comportement opérationnel de ces composants et les interactions entre eux. Depuis la simulation et la performance d'un système, on peut tracer toutes les étapes de la conversion d'énergie et identifier en détail les pertes à travers le système [6].

Ce chapitre, on a simulé le système Photovoltaïque pour avoir les caractéristique (courant – tension) et (puissance –tension) a travers les différents éclairnements et température solaire.

Toutes les opérations de simulation sont faites par le logiciel MATLAB R2014b.

III.2. L'outil Matlab / Simulink :

MATLAB : En complément du noyau de calcul Matlab, optionnels qui sont parfaitement intégrés à l'ensemble du system :

- ❖ Une vaste gamme de bibliothèques de fonctions spécialisées (Toolboxes).
- ❖ Simulink, un environnement puissant de modélisation basée sur les schémas-blocs et de simulation des systèmes dynamiques linéaires et non linéaires.
- ❖ Des bibliothèques de blocs Simulations spécialisés (Bloc sets).
- ❖ D'autres modules dont un Compilateur, un générateur Pv.

SIMULINK est une plate-forme de l'environnement comprend des modules simulation multi-domaine et de modélisation dynamiques. Il fournit un environnement graphique et un ensemble de bibliothèques contenant des blocs de modélisation qui permettent le dessin précis et la Simulation [12].

III.3. Le générateur photovoltaïque « GPV » :

Le système photovoltaïque est contrôlé par la commande MPPT, il est présenté à la figure(III .1).

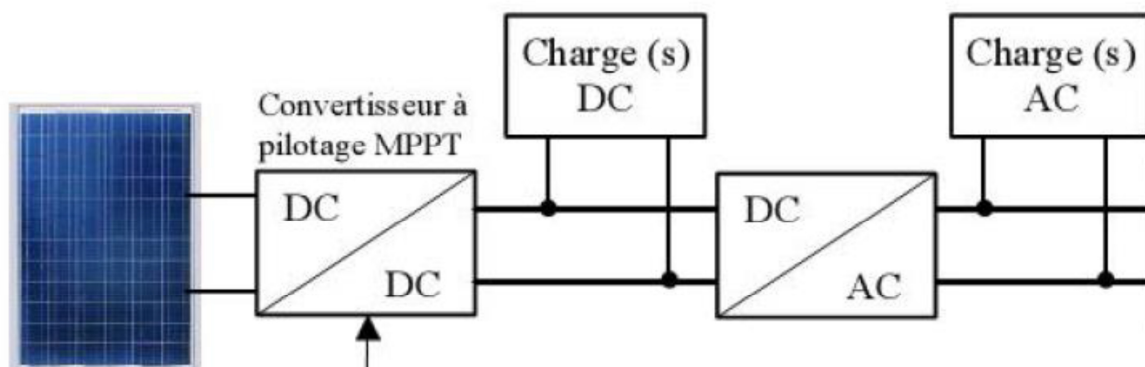


Figure (III.1) : Système photovoltaïque.

III.3.1. Modélisation du système photovoltaïque :

Le module fait intervenir un générateur de courant pour la modélisation d'une diode pour les phénomènes de polarisation de la cellule, une résistance série R_s représentant les diverses résistances de contacts et de connexions et une résistance parallèle R_p caractérisant les divers courants de fuites dus à la diode et aux effets de bords de la jonction.

Le générateur photovoltaïque est représenté par un modèle à deux diodes, pour une seule cellule PV, et généralisé à un module PV en le considérant comme un ensemble de cellules identiques branchées en série-parallèle. On présente le schéma du circuit électrique par la figure (III.2) :

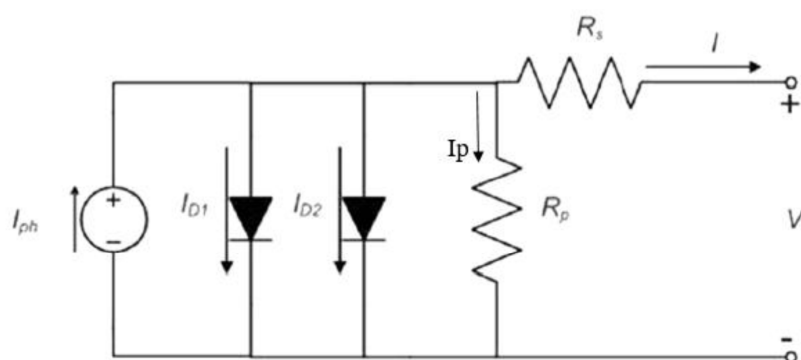


Figure (III.2) : Circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.

Dans ce cas, on a choisi un modèle simple ne nécessitant que les paramètres donnés par le fabricant, la caractéristique I-V de ce modèle est donnée par L'équation caractéristique de ce modèle est la suivante :

$$I = I_{ph} - I_{D1} - I_{D2} - I_p \quad (III-1)$$

$$I = I_{ph} - ID1 * (\exp((V + I * R_s) / (N * V_t)) - 1) - ID2 * (\exp((V + I * R_s) / (N2 * V_t)) - 1) - (V + I * R_s) / R_p$$

(III-2)

$ID1$: Courant de saturation inverse de la diode D1 (A).

$ID2$: Courant de saturation inverse de la diode D2 (A).

$N1$ et $N2$: Facteur de qualité respectifs des diodes D1 et D2.

III.3.2. Caractérisation du module PV :

Dans ce travail, nous avons simulé le module photovoltaïque qui comporte 36 cellules solaires de silicium monocristallin connectées les cellule série et les module en parralleles.

Le module PV peut produire une puissance maximale de 160 watts à 17.9 volts. Ce ci nous a permis de déterminer la puissance en fonction de la tension et le courant en fonction de la tension du module étudié pour un éclairement de 1000 W/m² [9].

Les caractéristiques électriques du module Photovoltaïque qui comporte 36 cellules solaires en conditions de test standards sont représentées sur le tableau :

Grandeurs	Valeur
- Le nombre de cellules en série N_s	06
- Le nombre de modules en parallèles N_p	06
- Eclairement standard, E.	1000 W/m ²
- Température standard, T.	25° C
-Tension optimale, V_{opt}	19.05
-Courant optimale, I_{opt} .	8.4 A
- Puissance crête maximale, P_m .	160 W
- Tension de circuit ouvert, V_{co} .	22,7 V
- Courant de court-circuit, I_{cc}	8.9 A

Tab (III 1) : Caractéristiques électriques du module PV en condition de test.

III.3.3. Simulation du module PV :

Sur la base du modèle mathématique de la cellule photovoltaïque, on obtient le bloc schématique de SIMULINK montré sur la Figure (III.3)

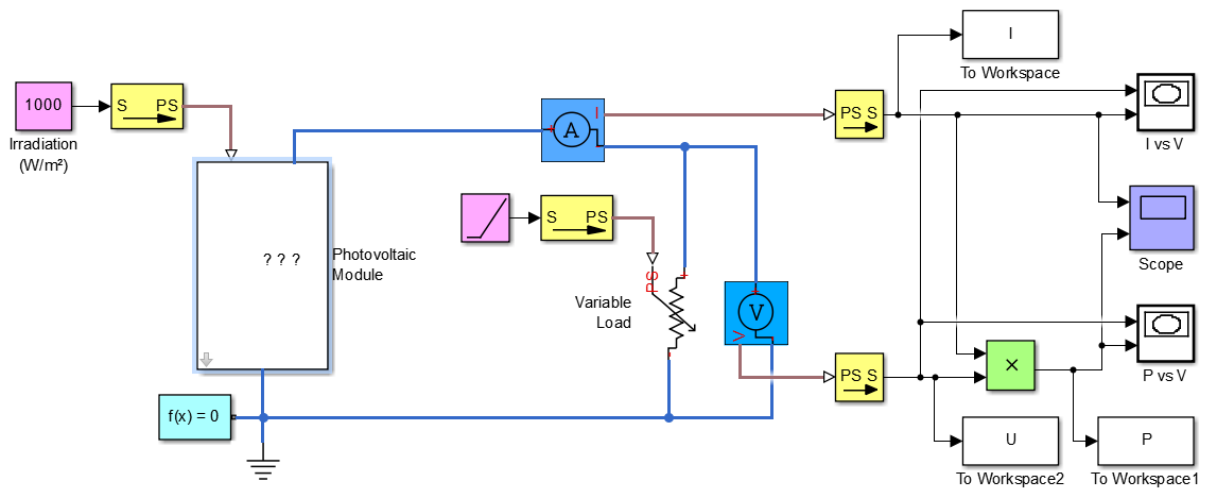


Figure (III.3) : schéma Bloc du module solaire dans SIMULINK

Caractéristique ($I_{pv} = f(V_{pv})$) : température et éclairement constants et particulièrement aux conditions standards (STC) ($E = 1000 \text{ w/m}^2$. $T = 25^\circ\text{C}$).

La caractéristique ($I_{pv} = f(V_{pv})$) est donnée par la figure suivante :

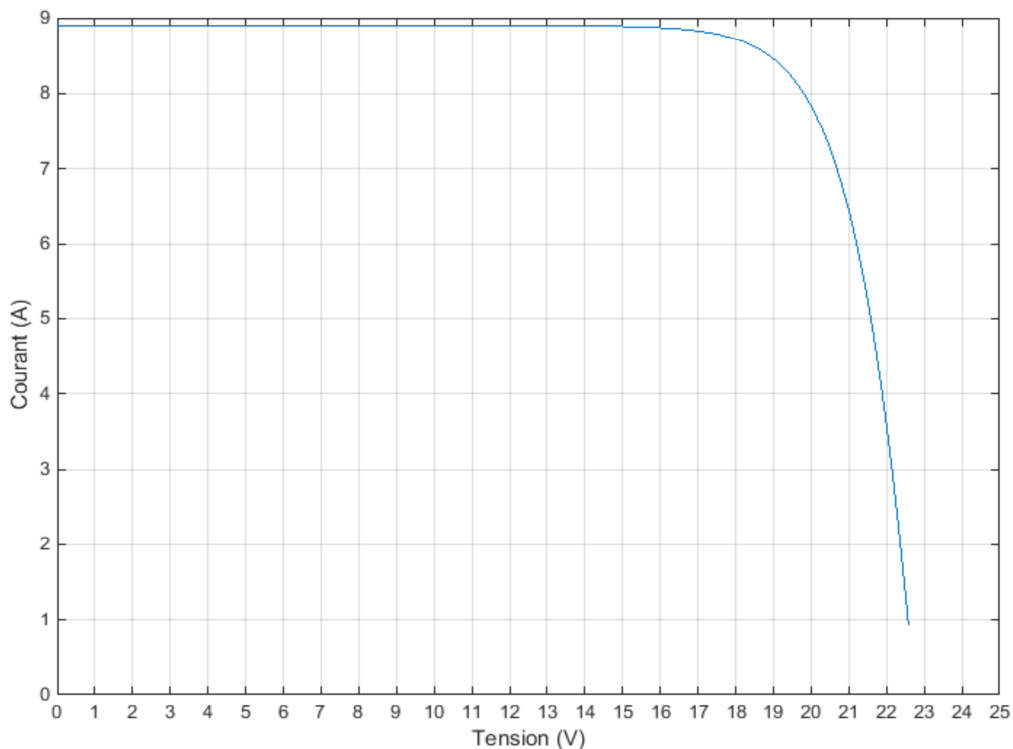


Figure (III.4) : Résultats de simulation des caractéristiques (Courant –Tension) du module Photovoltaïque.

Caractéristique ($P_{pv} = f(V_{pv})$) : À température et éclairement constants, et Particulièrement aux conditions standards (STC) ($E = 1000 \text{ w/m}^2$. $T = 25^\circ\text{C}$).

La caractéristique ($P_{pv} = f(V_{pv})$) est donnée par la figure (III.5).

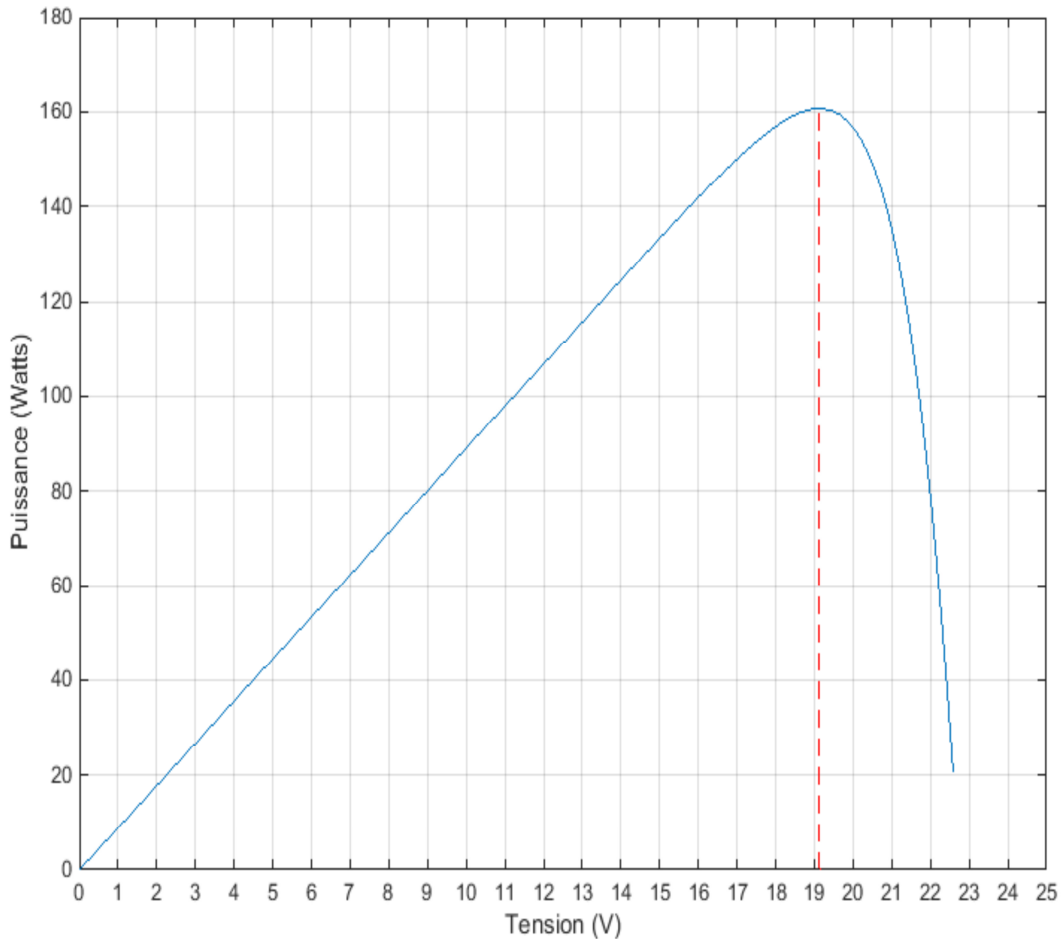


Figure (III.5) : Résultats de simulation des caractéristiques (puissance –tension) du module Photovoltaïque.

Pour visualiser l'influence de l'éclairement, on fixe la température ambiante ($T = 25^\circ\text{C}$) et on fait varier l'éclairement dans une gamme suffisante.

a)Influence de l'éclairement :

D'après la figure (III.6), on remarque une forte diminution du courant de court-circuit par rapport à l'éclairement (E) et une faible diminution de la tension du circuit ouvert. Ce qui prouve que le courant de court circuit de la cellule dépend aux éclairnements, par contre la tension de circuit ouvert subit une légère augmentation quand l'éclairement varie de 200 W/m^2 à 1000 W/m^2 .

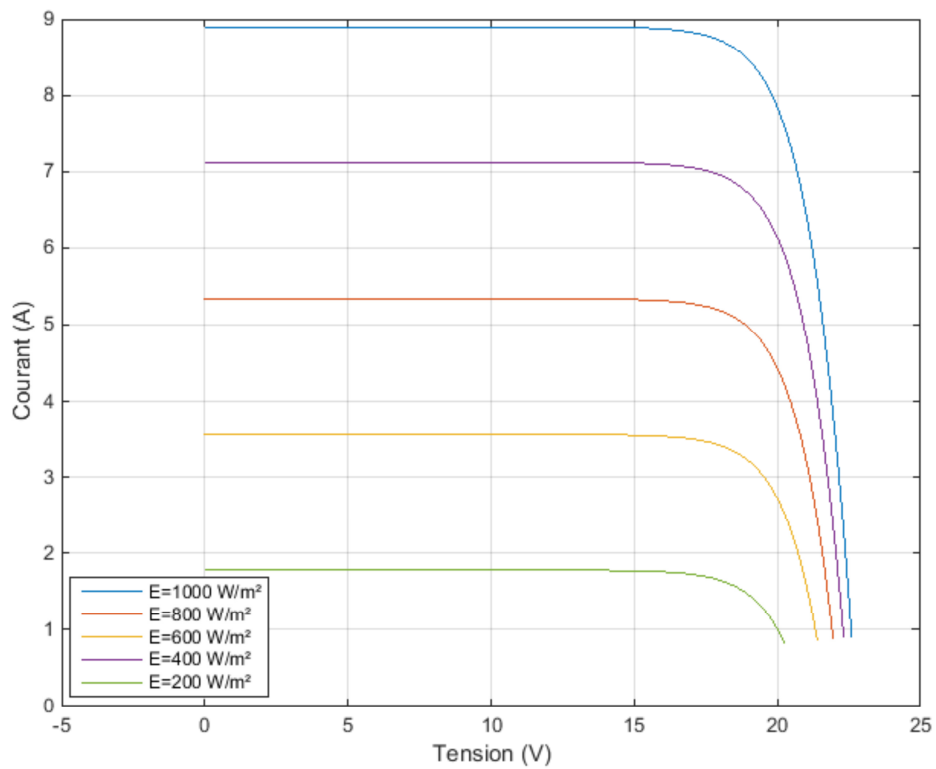


Figure (III.6) : Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents éclairement et une température $T=25^{\circ}\text{C}$.

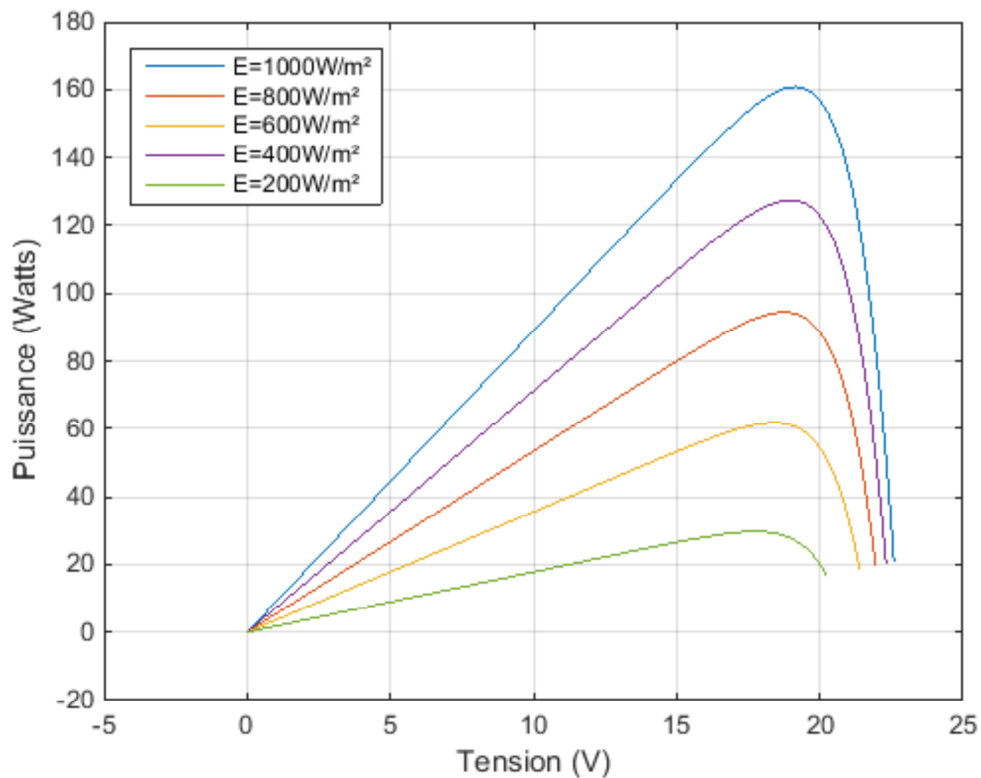


Figure (III.7) : Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension Pour différents Eclairements et une température $T=25^{\circ}\text{C}$.

b) Influence de la température :

D'après la figure (III.8) l'effet de l'augmentation de la température sur la caractéristique $P = f(V)$ fait diminuer la puissance et la tension de circuit ouvert du GPV.

Le modèle choisi a donné des résultats concordant avec ceux obtenus la littérature et reflète bien le comportement physique d'une cellule (PV) vis-à-vis des variations de la température et de l'éclairement, ce qui valide le modèle utilisé.

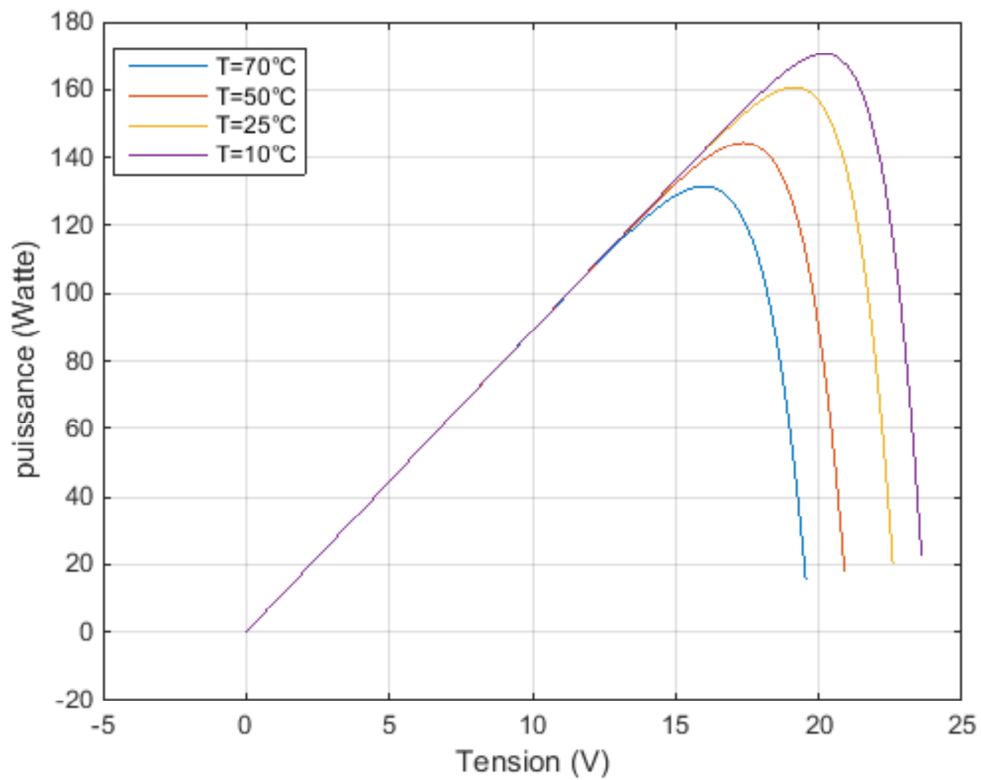


Figure (III.8) : Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension Pour différents température et un éclairement $E=1000 \text{ W/m}^2$.

On remarque aussi sur la figure (III.8) que, la température influe proportionnellement sur la puissance et la tension de circuit ouvert du GPV

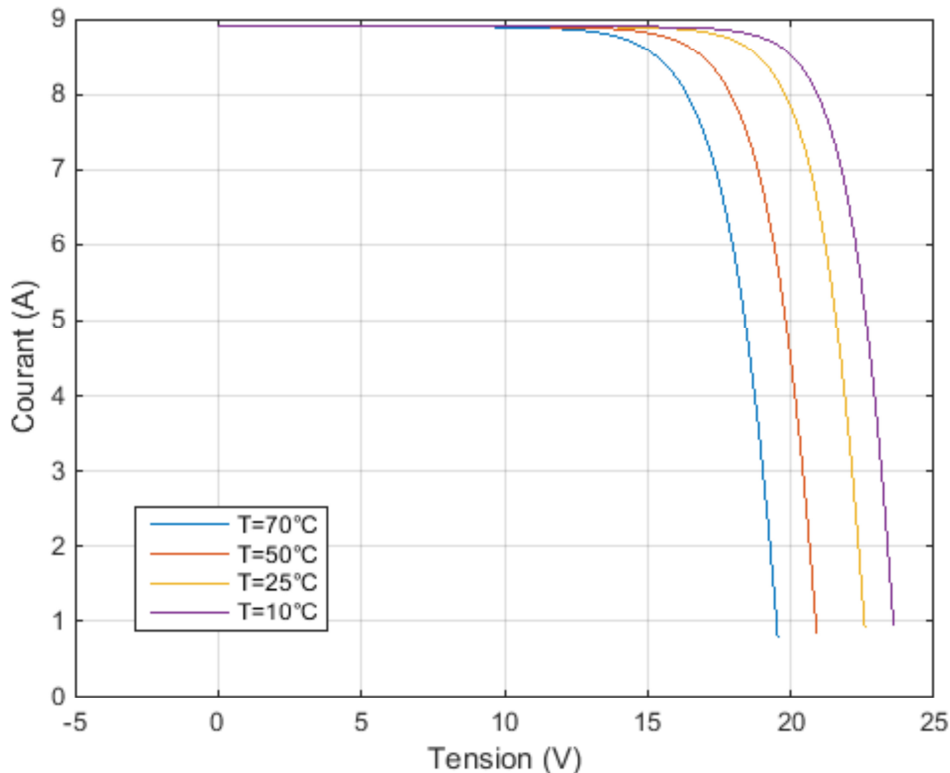


Figure (III.9) : Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents température et un éclairement $E=1000 \text{ W/m}^2$.

III.4 : Onduleur

L'onduleur est un dispositif électronique permettant la conversion du courant continu en courant alternatif avec un choix bien précis de la fréquence. le signal généré est une onde carrée, sinusoïdale (parfaite),...

Le dimensionnement d'un onduleur se base sur la somme des puissances maximales de chaque équipement à alimenter dite puissance active.

La puissance de l'onduleur dite «apparente» sera légèrement supérieure à la puissance active pour tenir compte des éventuels courants de pointe élevés et du

Pour notre système, on aura un onduleur remplissant les conditions suivantes :

- La puissance maximale crête du module $P_c=160\text{W}$
- Tension d'entrée (la même que celle des modules) : 17.9 V

- Le courant de court circuit 8.9A
- Tension de sortie : 230 V
- courant de sortie :18A
- Fréquence : 50 Hz · Rendement : 85%
- Puissance : 3.45 KVA

III.5. Situation d'un appartement F3 :

Dans notre travail on a choisie un appartement qui a les instruments suivants :

Equipements	Nombre	Puissance en régime permanent (W)
Réfrigérateur	1	250
Lampes	10	750
Télévision	2	150
Radio	1	100
Lecteur dvd	1	60
Ventilateur	1	350
Climatiseur	1	500
Micro-onde	1	500
Chauffe eau	1	60
Fer à repasser	1	300
Plaque chauffante	1	300
Totale	21	3320

Tableau(III.1) : Consommation énergétique journalière Cas d'un appartement F3.

III.7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la simulation par Matlab/Semulink d'une cellule photovoltaïque pour différentes caractéristiques du générateur PV avec ses performances. Ainsi, l'influence de la température et de l'éclairement sur les caractéristiques I(V) et P(V). Ainsi que le dimensionnement de l'appartement alimenté par ce système photovoltaïque.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire concerne une application des plus actuelles des meilleure rentabilité de ce système à énergies renouvelables implique forcément un meilleur conditionnement et adaptation. Le recours au photovoltaïque se pose en terme de choix par rapport à une autre source d'électricité telle que la source éolienne, le groupe électrogène, etc. Le photovoltaïque présente au jour d'aujourd'hui d'énormes avantages par l'effet que l'installation principalement celle des modules est simple et adaptée à des besoins énergétique divers et les couts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits. Cette technologie présente les qualités sur le plan écologique car le système photovoltaïque est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu si n'est que l'occupation de l'espace pour l'installation de grande dimension.

L'amélioration de la tension au bout d'un réseau électrique est une préoccupation du distributeur d'électricité. Dans le réseau BT rural, la qualité de la tension sera inacceptable lorsque la chute de tension excède 10 %. Parmi les moyens qui améliorent la qualité du réseau, c'est de raccordé des mini-centrales photovoltaïques pour alimenté les maisons isolée. Ainsi pour ce qui concerne notre cas, l'alimentation de l'appartement devra être permanente. Pour un besoin d'énergie de 3320 Watts par jour, on aura à installer un champ photovoltaïque de puissance égale à 160 Watts crête constitué de 6 modules de 27 Watts crête chacun, dont 36 cellules.

Nous avons établi des programmes de calculs sous MATLAB SIMULINK permettant de tracer la caractéristique (courant I-tension V) et (puissance P – tension V) pour différentes éclairagements et températures solaires. De ce qui précède, on peut conclure que l'énergie produite par le photovoltaïque est difficile à exploiter, cela est dû a la non linéarité de la caractéristique statique, de plus cette caractéristique change, si la température ou l'éclairagement varient.

Références bibliographiques

- [1]:M. Med Nadjib, H. Charaf Eddine, “ Modélisation Et Simulation D'un Système Photovoltaïque En Fonctionnement Autonome Et Connecté Au Réseau”, Mémoire Master, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 2013.
- [2]:M. Lopez, "Contribution a l'optimisation d'un système de conversion," Ecole Doctorale Université Paris-sud 2011, Thèse de Doctorat.
- [3]:Hananou F et Rouabeh A,“ Modélisation Et Simulation D'un Système Photovoltaïque ”, Mémoire Master, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 2014.
- [4]:M.Belhadj, “Modélisation d’un système de captage photovoltaïque autonome”, Mémoire de Magister, Centre Universitaire de Bechar, 2007-2008.
- [5]:Boualem, Dendib, “Technique conventionnelles et avancée de poursuite MPPT pour des application photovoltaïques : étude comparative”, Université Ferhat Abbes-Sétif ,Mémoire de Magister, 2007.
- [6]:D.Turcotte,M.Ross and F.Sheriff, “ Photovoltaic hybrid System Sizing and Simulation Tools” ,PV Horizon, Canada, 2001.ARTICLE PDF.
- [7]:R.P.Mukund, “ Wind and solar Power Systems ”,Ph.D,P.e U.S merchant Marine Academy,Kings Point, New York, CRC Press LLC, 1999.
- [8]:M.Dahbi, “Etude et optimisation d’une installation Hybride PV-Eolienne Autonome”, mémoire de magister, option physique énergétique, 2007.
- [9]: “Les piles solaires, le composant et ces applications”, Edition.Masson, (1985).
- [10]:A.Meflah, “Modélisation et commande d’une chaine de pompage photovoltaïque”, Mémoire de Magister, Université Abou Baker Belkaid-Tlemcen,2011.
- [11]:M.Amaud Deves “énergie photovoltaïque (Application au traitement de l’eau potable et des eaux usées en rurales)”, document technique, édition 2003 FNDAE12.
- [12]: Dossier technique “Eolienne et photovoltaïque”.école sounelgaz Blida.
- [13]: I.Bendjamaa “Modélisation et commande d’un système de stockage photovoltaïque”, Mémoire de Magister, Université Abou-Baker Blkaid-Tlemcen, 2011/2012.
- [14]:N.Achaibou, A.Malek, N.Bacha “Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l’installation PV”, N. spécial (CHEMSS), pp 61-66,2000.
- [15]:Z.Bachi, S.Elfordil, “Conception et réalisation d’un système de régulation de charge semi statique a sortie fixe pour installation photovoltaïque ”, université de Blida.
- [16]:A. Zerga, F. Benyarou et B. Benyousef “Optimisation du rendement d’une cellule solaire NP au silicium monocristallin”, Rev .Energ. Ren : physique

Références bibliographiques

Energétique, (1998pp.95-100).

[17]:D.Thévenard, and M.Ross “validation and Verification of Component Models and System Models for the PV ”, CETC-internal report 2003-035, Canada, 2003.

[18]:Dirk Uwe Sauer, “Electrochemical Storage for Photovoltaics”, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany, 2004.

[19]:M.Chegaar, A Lamir, A Chibani “ Estimation global Solar rasiation Using Sunshine Hours”, 4éme séminaire international Physique Énergétique, Bechar 2000.21.

[20]:M. Gapderou, “Atlas Solaire de L’algérie ”, Tomel,2, OPU 1983.23

[21]:S.Naoual, “Modélisation et Extraction Automatique des Paramètres d’un Générateur”, Université Ferhat Abbas de Sétif, Mémoire de Magister, Département d'électrotechnique 2010.

[22]:Tahar Taeticht, “Analyse et commande d’un système hybride photovoltaïque éolien ”, décembre 2006.

[23]: “conception et dimensionnement des installations photovoltaïques”, ETB Blida.

[24]:Chedid, R., Saliba, Y., 1996. “Optimisation and control of autonomous renewable energy systems”, International Journal of Energy Research 20, 609–624.

[25]:F.Benyarou, “Conception Assistée Par Ordinateur des Système PV Modélisation, dimensionnement et simulation ”, thèse de doctorat en physique énergétique, Tlemcen, 2004.

[26]:Uni. Kassel, “Photovoltaic Systems Technology”, Kassel, Germany, 2003, www.uni-Kassel.de/re.

[27]:The Bogdan, S.B., Salameh, Z.M., 1996. “ Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system ”, IEEE Transactions on Energy Conversion 11 (2), 367–375.

[28]:M.Chikh, “ Étude analytique conceptuelle des systèmes PV de puissance adopté au site isolés de L’Algérie ”, thèse de magister, CDER, 1994.

[29]:Bin, A., Hongxing, Y., Shen, H., Xianbo, L., 2003. “Computer aided design for PV/Wind hybrid system ” Renewable Energy 28, 1491–1512.

[30]:Boukaroura Abdelkader, “Modélisation et Diagnostic d’un Onduleur Triphasé Par l’Approche Bond Graph ”, Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbes-Sétif, 02/12/2009

Références bibliographiques

[31] **O.BENSEDDIK** et **F.DJALOU** ” Etude et optimisation du fonctionnement d’un système photovoltaïque “Mémoire de Master Université Kasdi Merbah-Ouargla 27/06/2012.

Résumé

Résumé

Dans ce mémoire nous avons fait l'étude, modélisation et la simulation d'un système Photovoltaïque. Nous avons simulée par MATLAB /SIMULINK plusieurs valeurs de température variant entre 0°C et 70°C pour voir l'effet de cette variation par rapport au caractéristique (courant-tension) et (puissance- tension) .ainsi que l'éclairement nous avons fixée la température a 25°C et variée l'éclairement de 200 w/m² a1000 w/m² pour voir l'effet de cette variation dans les résultats de la simulation ,pour analyser le rendement de ce systèmes qui nous donne un aperçu sur lescourbes de variation de la température et de l'éclairement.

ملخص

في هذه الأطروحة قمنا بتحليل نمذجة ومحاكاة نظام عمل الخلايا الكهروضوئية . نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها من MATLAB / SIMULINK ، وعلى غرار النظام الكهروضوئي في تغيير درجة الحرارة من 0°C الي ل 70°C لملاحظة خصائص هذه التغيرات (puissance –tension) (courant –tension) وكذلك بالنسبة للشعاع الضوئي نثبت درجة الحرارة و نغير فيه من 200 w/m² الي 1 000 w/m² لنبين متغيرات هذه النتائج التحليلية من اجل تحليل مردود هذا النظام المبين في مخططات درجة الحرارة و الشعاع الضوئي