

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté de Technologie
Département : Génie mécanique
Domaine : Sciences et techniques
Filière : Génie mécanique
Spécialité : Energétique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master
Thème:

**Modélisation et simulation d'un générateur
photovoltaïque(GPV)
avec MATLAB/SIMULINK**

Présenté par : Takouche Sonia

Encadreur :Dr DIB AMAR

Grade MC-A- Université Badji Mokhtar ANNABA

Jury de Soutenance :

Mzad Hocine	Pr	Université Badji Mokhtar ANNABA	Président
Dib Amar	MC-A	Université Badji Mokhtar ANNABA	Encadrant
Mechighel Farid	Pr	Université Badji Mokhtar ANNABA	Examineur
Boussaid Ouzine	Pr	Université Badji Mokhtar ANNABA	Examineur

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciement

Je tiens à remercier cordialement Monsieur Dib Amar, lui qui m'a proposé ce sujet et m'a orienté dans le travail.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les enseignants qui ont accepté d'examiner ce mémoire et de participer à ce jury.

Je tiens également à remercier Farid Hadjrioua Pour son aide, le soutiens qui nous a apporté et pour toutes ses remarques et ces conseils.

Mes vifs remerciements accompagnés de toute ma gratitude à tous les enseignants ainsi tout le personnel du département de génie mécanique qui ont contribué à ma formation. Je tiens à remercier particulièrement mes parents ; mon succès demeure de loin le fruit de leurs longues années de sacrifices et d'éducation.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail:

A mes chers parents ,pour leur grand amour dont ils m'ont entouré depuis ma naissance pour leurs patiences, leurs sacrifices et leurs encouragements.

A ma

mère qui m'a aidée a traverser tout les obstacles et c'est grâce a elle que je suis arrivé.

A toute ma famille

A tous mes amies

Je dédie ce travail particulièrement à mon père qui m'a quitté trop tôt , que dieu l'accueil dans son vaste paradis.

A tous ceux qui m'ont soutenu durant la réalisation de ce mémoire.

Aux êtres les plus chers que j'ai dans ce monde.

Sommaire

Remerciement.....	
Dédicace.....	
Résumé	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	02
Chapitre I : Ensoleillement et énergie solaire photovoltaïque	
I.1 Introduction.....	05
I.2 Ensoleillement et lumière.....	05
I.2.1 Qu'est-ce que la lumière	05
I.2.2 Rayonnement solaire et atmosphère.....	06
I.3 L'énergie solaire photovoltaïque.....	08
I.4 La conversion photovoltaïque.....	08
I.5 Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques.....	09
I.5.1 L'absorption de la lumière.....	09
I.5.2 Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques.....	09
I.5.3 La collecte des charges.....	09

Conclusion.....	10
------------------------	-----------

Chapitre II : Etude de conception d'un système photovoltaïque

II.1 Introduction.....	12
II.2 De quoi se compose un système photovoltaïque.....	12
II.2.1 Présentation de la stature générale d'un système photovoltaïque.....	12
II.3 les éléments d'un système photovoltaïque.....	13
II.3.1 Les module photovoltaïque.....	13
II.3.1.1 Les différents types de la cellule.....	14
II.3.1.1.1 Cellule monocristallin.....	14
II.3.1.1.2 cellule poly cristallin.....	15
II.3.1.1.3 cellule amorphe.....	15
II.3.2 Régulateur de charge.....	16
II.3.2.1 Définition.....	16
II.3.2.2 Fonctionnement.....	17
II.3.2.2.1 Régulateur MPPT.....	17
II.3.2.2.2 Régulateur PWM.....	18
II.3.3 Les batteries.....	18
II.3.3.1 Définition.....	19
II.3.3.2 Principe et caractéristique des batteries.....	19

II.3.3.3 Composition de la batterie.....	19
II.3.3.4 Les batteries acier plombs	20
II.3.3.5 Processus de décharge de batterie acier plomb.....	21
II.3.3.6 La charge de la batterie acier plomb.....	22
II.3.3.7 Propriétés électrochimiques de la batterie acier plomb.....	22
II.3.3.8 Entretien et maintenance de la batterie acier plomb.....	23
II.3.4 L'onduleur.....	23
II.3.4.1 Rôle de l'onduleur.....	23
II.3.4.2 Performances d'onduleur.....	24
II.3.5 Les armoires électriques.....	25
II.4 Savoir lire la fiche technique.....	25
II.4.1 définition de la puissance crête.....	26
II.5 Méthode de dimensionnement d'un système photovoltaïque.....	28
II.5.1 Calcule des besoins électriques.....	28
II.5.2 Règle de dimensionnement du champ photovoltaïque.....	30
II.5.3 Nombre de panneaux.....	31
Conclusion	32

Chapitre III : Modélisation d'un système photovoltaïque

III.1 Introduction.....	34
-------------------------	----

III.2 Modélisation du système photovoltaïque.....	34
III.2.1 Les paramètres d'une cellule photovoltaïque.....	35
III.3 Simulation d'une cellule photovoltaïque.....	38
III.3.1 Le courant I_0.....	38
III.3.2 Le courant I_{rs}.....	38
III. 3.3 Le courant P-V.....	39
III. 3.4 Le courant I_{ph}.....	39
III.4 Influence de la température, l'éclairement ' résistance en série et la résistance shunt.....	40
III.4.1 Influence de la température.....	41
III.4.2 Influence de l'éclairement.....	41
III.4.3 Influence de résistance série.....	43
III.4.4 Influence de la résistance shunt.....	44
Conclusion.....	45
Conclusion générale.....	47

Liste de figures

Chapitre I : Ensoleillement et énergie solaire photovoltaïque.

Figure I.1 : Définition d'air Mass.....	7
Figure I.2 : Composants du rayonnement solaire au sol.....	8
Figure I.3 : Principe de fonctionnement de la technologie Photovoltaïques.....	10

Chapitre II : Etude de conception d'un système photovoltaïque.

Figure II.1 : Composant d'un système photovoltaïques.....	12
Figure II.2 : Représentation synoptique de la structure d'un système photovoltaïque avec stucage.....	13
Figure II.3 : Système du panneaux solaire au niveau du CDER.....	14
Figure II.4 : Silicium monocristallin.....	15
Figure II.5 : Silicium Poly-cristallin.....	15
Figure II.6 : Silicium –amorphe.....	16
Figure II.7 : Régulateur de charge.....	17
Figure II.8 : Régulateur de charge PWM.....	18
Figure II.9 : Composition de la batterie.....	20
Figure II.10 : Modèle d'une batterie acier-plombs.....	21
Figure II.11 : Principe électrochimique de la batterie.....	21
Figure II.12 : Principe électrochimique de la charge.....	22
Figure II.13 : Onduleur	24

Figure II.14 : Une armoire électrique.....	25
Figure II.15 : Donnée générale.....	27
Figure II.16 : Donnée électrique.....	27
Figure II.17 : extrait d'une fiche technique.....	31

Chapitre III : Modélisation d'un système photovoltaïque.

Figure III.1 : Circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïques.....	34
Figure III.2 : Synoptique d'un modèle amélioré de la cellule P.V sous le logiciel MATLAB/Simulink.....	39
Figure III.3 : Caractéristique I(V) et P(V) d'une cellule P.V.....	40
Figure III.4 : Influence de la température sur la caractéristique Courant – tension.....	41
Figure III.5 : Influence de la température sur la caractéristique puissance-tension.....	41
Figure III.6: Influence de l'éclairement sur la caractéristique Courant –tension	42
Figure III.7: Influence de l'éclairement sur la caractéristique puissance–tension.....	42
Figure III.8: Influence de la résistance en série sur la caractéristique Courant –tension.....	43
Figure III.9: Influence de la résistance en série sur la caractéristique puissance–tension.....	43
Figure III.10: Influence de la résistance shunt sur la caractéristique Courant –tension.....	44
Figure III.11: Influence de la résistance shunt sur la caractéristique puissance–tension.....	44

Liste de tableaux

Tableau II.1 :Tableau des besoins électriques journalière	30
Tableau III.1 : Caractéristique électrique de la cellule dans les conditions standards <CST> T=25°C, G=1000W /m²	37

Liste des symboles et des abréviations

Ah : Ampèreheure.

CA : Courant alternatif.

CC : Courant continu.

FF : Facteur de forme.

GPV : Générateur photovoltaïque.

I_{cc}: Courant du court-circuit.

I_{ccNp} : La somme des courants de court-circuit des cellules en parallèle.

I_{ccNs} : La somme des courants de court-circuit des cellules en parallèle.

I_{max} : Courant maximal.

I_p : Photo-courant.

I_{ph} : Le courant photonique.

I_{pv} : Courant du générateur photovoltaïque.

I_s : Le courant de saturation.

K : La constante de Boltzmann (1,381.10⁻²³ Joules/Kelvin).

MLI : Modulation de Largeur d'Impulsion.

N_p : Nombre de cellule en parallèle.

N_s : Nombre de cellule en série.

P_{in} : Puissance incidente.

P_{max} : Puissance maximale.

PPM : Point de Puissance Maximal.

MPT : Maximal Power Tracking.

PV : Photovoltaïque.

Q : Charge de l'électron (1,602 × 10⁻¹⁹).

R_s : Résistance série.

R_{sh} : Résistance shent.

T : Température absolue en Kelvin.

T_c : Ta température absolue.

U : La tension.

V_{co} : La tension en circuit ouvert.

V_{coNp} : La tension du circuit ouvert des cellules en parallèle.

V_{coNs} : La tension du circuit ouvert des cellules en série.

V_{max} : Tension maximale.

V_{pv} : Tension du générateur photovoltaïque.

η : Le rendement.

***Introduction
générale***

Introduction générale

Depuis quelques années la communauté scientifique est concentrée sur la menace présumée la plus préoccupante pour l'avenir de la planète : le réchauffement climatique. Ce phénomène est la conséquence de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre liées à l'activité humaine.

La grande partie de l'énergie consommée par l'homme provient des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel,...etc.) dont l'utilisation massive conduit l'épuisement de ses réserves et suppose une menace réelle à l'environnement, qui se manifeste, principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre.

D'autre part, il y a inégalité extrême entre la distribution et la consommation de l'énergie. Beaucoup de populations, spécialement dans les zones rurales isolées des pays en voie de développement qui bénéficient d'un fort ensoleillement, sont confrontées à de grands problèmes pour satisfaire leurs besoins en énergie.

L'électricité photovoltaïque présente une option technique et économique intéressante pour des sites non raccordés au réseau de distribution centralisée.

Lorsque les besoins à couvrir sont faibles où l'absence d'une maintenance lourde (diesel) constitue un avantage évident - les systèmes photovoltaïques trouvent leur pleine justification, en comparaison du service rendu.[2] L'énergie photovoltaïque est une possibilité de développement efficace et durable

C'est pour cela que les recherches scientifiques se développent dans le sens de généraliser, améliorer et optimiser l'exploitation des systèmes solaires. L'optimisation des systèmes solaires est basée sur des critères de dimensionnement et de maximisation de la puissance générée pour avoir un bon rendement.

Au premier chapitre, nous présenterons le rayonnement solaire et leurs différents types, puis la technologie photovoltaïque et leur conversion. Dans le second chapitre, nous nous intéresserons au dimensionnement et à la conception d'une installation photovoltaïque, à savoir les différents éléments constituant le générateur PV (panneaux solaires, batterie, régulateur, onduleur...) puis le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome.

Dans le troisième chapitre nous allons étudier une modalisation d'une cellule photovoltaïque dans les conditions standard ($E=1000\text{W/m}^2$, $T=25^\circ\text{C}$), nous allons traiter

Introduction générale

l'effet de la température et l'éclairement sur l'énergie de la cellule PV , et l'effet de regroupement de cellule (série , parallèle , série – parallèle) sur l'énergie produite , et on utilise l'outil MATLAB -SIMULINK pour faire la simulation de comportement de la cellule et du générateur PV.

Chapitre I:

Ensoleillement et énergie

Solaire photovoltaïque

I.1.Introduction :

Acteur durable de plus de 4 milliards d'années, le soleil sauvera l'humanité du chaos. Bien que distant de plus de 150 millions de kilomètres de nous, il demeure notre plus grande source d'énergie.

L'énergie solaire reçue par la terre représente chaque année environ 8380 fois la consommation énergétique de l'humanité en 2009 soit environ 11 milliards de TEP (tonnes équivalent pétrole). Toutes les quarante minutes, en effet, la terre reçoit assez d'énergie solaire pour couvrir sa consommation mondiale d'énergie pendant une année. Jusqu'à présent, cette énergie est utilisée principalement pour l'éclairage naturel et pour le chauffage. Mais avec le développement de la technologie, il y a eu apparition de trois autres domaines d'utilisations de cette énergie :

L'énergie solaire thermique : Elle consiste à produire de la chaleur à partir du rayonnement solaire infrarouge afin de chauffer l'eau ou l'air. On utilise dans ce cas des capteurs thermiques qui relèvent d'une toute autre technologie. Dans le langage courant, ce sont des « chauffe-eau solaire » ou des « capteurs à air chaud ».

L'énergie solaire thermodynamique : cela fonctionne sur un principe de concentration des rayons solaires au moyen de miroirs galbés, en un foyer placé sur une tour qui emmagasine les calories pour les restituer ensuite sous forme mécanique à l'aide d'une turbine à vapeur par exemple.

L'énergie solaire photovoltaïque : Il existe deux types le premier consiste à produire de l'électricité en absorbant les rayonnements lumineux, le deuxième transforme la chaleur en électricité. Le premier type sera repris en détail.

I.2. Ensoleillement et lumière :**I.2.1. Qu'est-ce que la lumière :****A. Un peu de physique :**

Un faisceau lumineux est un déplacement de petits corps porteurs d'énergie, ou photons, comme la décrit Einstein en 1905, pour expliquer l'effet photovoltaïque.

Depuis l'équivalence onde-corpuscule mise en évidence par Louis de Broglie en 1924, la lumière est décrite également comme une onde électromagnétique, comme les rayons X ou les ondes radiofréquences. Tous est une question de longueur d'onde, ou de fréquence, pour ces oscillations qui traversent l'espace et parfois la matière. Chaque photon porte une quantité d'énergie directement liée à sa longueur d'onde.

B. Couleur et longueur d'onde :

La longueur d'onde d'un faisceau lumineux caractérise sa couleur, telle que la perçoit notre œil. Bien sûr, tous les rayonnements ne sont pas perceptibles par l'œil, mais ils ont aussi leurs longueurs d'onde, qui dépendent de leurs fréquences : fréquence radio, micro-ondes... Puisque la photopile a pour vocation de fournir de l'électricité dans le monde où nous vivons, elle est conçue pour convertir les longueurs d'onde disponibles dans notre environnement, d'une façon la plus écologique qu'elle soit, donc propres au développement de la vie. Regardons de quoi se compose le rayonnement du soleil parvenant à la surface de la terre : l'infrarouge procure de la chaleur, le visible est nécessaire à la croissance des plantes et des animaux (dont nous faisons partie), et l'ultraviolet brunit la peau et tue les bactéries. Le spectre du soleil s'étend de 200 nm à 3 μm (=3000 nm).

Quoi de plus naturel pour les physiciens du siècle dernier que de nommer « ultraviolette » la lumière plus bleue que le bleu-violet perceptible par l'œil, et « infrarouge » la lumière moins rouge que celle que notre œil détecte ? En effet, la perception oculaire moyenne de l'homme s'étend du bleu (longueur d'onde 380nm) au rouge (longueur d'onde 780nm), en passant par les couleurs que l'arc-en-ciel nous dévoile lorsque les gouttes de pluie décomposent la lumière blanche. On réalise la même décomposition avec un prisme.

On appelle spectre, ou répartition spectrale, d'une source de lumière l'ensemble des couleurs, ou longueurs d'onde.[1]

I.2.2. Rayonnement solaire et atmosphère :

La distance de la terre au soleil est d'environ 150 millions de kilomètres et la vitesse de la lumière est d'un peu plus que 300 000 km/s ; les rayons du soleil mettent environ 8min à nous parvenir.

L'énergie lumineuse dite « extraterrestre » c'est-à-dire hors atmosphère a été évaluée avec précision par la NASA et vaut 1367 W/m². Il s'agit de l'irradiante reçue, ou rayonnement solaire instantané, à un instant donné au-dessus de l'atmosphère terrestre, en incidence normale (c'est-à-dire sur un plan perpendiculaire à la direction du soleil).

On appelle cette valeur « constante solaire », mais elle ne l'est pas tout à fait à cause des légères variations de la distance Terre-Soleil. Cette énergie qui descend en ligne droite vers notre planète ne peut pas nous parvenir sur terre en intégralité car elle va subir des transformations en traversant l'atmosphère : par absorption et par diffusion.

En effet, l'atmosphère est composée, d'une majorité d'azote et d'oxygène (respectivement 78% et 21%), mais aussi de l'argon, du CO₂, de la vapeur d'eau et la fameuse couche d'ozone de la stratosphère, dont le rôle est de filtrer les UV les plus durs est si important. Les poussières et les nuages (formés de minuscules gouttelettes d'eau, ne pas confondre avec la vapeur d'eau, qui elle est un gaz) ont aussi leur importance dans la diffusion du rayonnement solaire.

A. Masse d'air :

Plus le soleil est bas sur l'horizon, plus il va traverser une épaisseur importante d'atmosphère et plus il va subir des transformations. On appelle masse d'air ou Air Mass en anglais, le rapport entre l'épaisseur atmosphérique traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol et l'épaisseur traversée à la verticale du lieu.

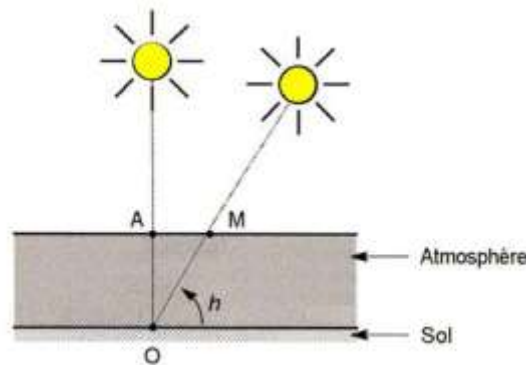


Figure I.1 : Définition de l'Air Mass.

B. Les différents rayonnements solaires :

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

Le rayonnement direct : Il est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère, ses rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs.

Le rayonnement diffus : Il est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières qui produisent cet « éclatement » des rayons du soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions météorologiques. Par temps couvert, on admet que le rayonnement diffus est isotrope, c'est-à-dire que l'on reçoit un rayonnement identique de toutes les directions de la voûte céleste. Par temps clair ou voilé, outre le ciel bleu relativement isotrope (diffusion sur l'air), on a une couronne plus brillante autour du soleil (composante appelée circumpolaire) et souvent un renforcement sur l'horizon, la bande horizon.

L'albédo : Il est la partie réfléchi par le sol. Il dépend de l'environnement du site. La neige, par exemple, renvoie énormément des rayons lumineux alors qu'un asphalte n'en renvoie pratiquement aucun. Il faudra en tenir compte pour évaluer le rayonnement sur plans inclinés. Le rayonnement global est tout simplement la somme de ces diverses contributions [2].

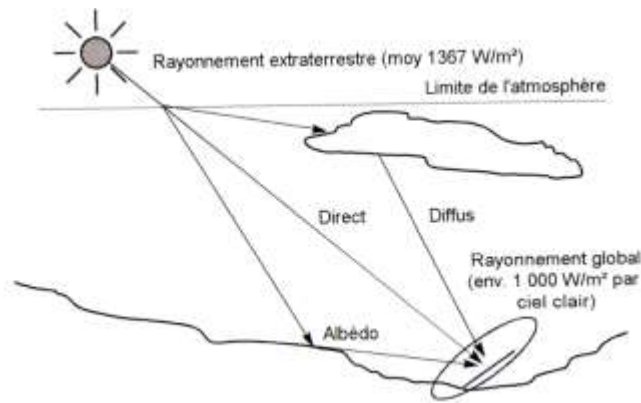


Figure I.2 : Composantes du rayonnement solaire au sol

I.3. L'énergie solaire photovoltaïque :

Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée sur la terre et la plus abondante.

La quantité d'énergie libérée par le soleil (captée par la planète terre) pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an. Une partie de ce rayonnement peut être exploitée pour produire directement de la chaleur (solaire thermique) ou de l'électricité : c'est l'énergie solaire photovoltaïque.

Ce mode de production ne nécessite pas de réseau de distribution. En effet on peut produire de l'énergie électrique là où on la consomme. L'énergie photovoltaïque s'est développée dans les années 50 pour l'équipement de vaisseaux spatiaux et le premier a été lancé dans l'espace en 1958.

C'était le seul procédé non-nucléaire d'alimenter des satellites en énergie. Les images satellites reçus par notre téléviseur ne nous parviennent que grâce à l'énergie photovoltaïque. A présent des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau ont été lancés dans plusieurs pays.

I.4. La conversion photovoltaïque :

La conversion de l'énergie solaire est une opération qui consiste à transformer en énergie électrique l'énergie des photons provenant du soleil sous forme d'ondes électromagnétiques.

Pour obtenir cette opération, il est nécessaire de mettre en œuvre des dispositifs optoélectroniques appropriés appelés « cellules solaires » ou « photopiles solaires ».

Le scientifique français, Edmond Becquerel, fut le premier à découvrir en 1839 l'effet photoélectrique. Il a trouvé que certains matériaux pouvaient produire une petite quantité de courant sous l'effet de la lumière. Par la suite, Albert Einstein à découvert, en travaillant sur

l'effet photoélectrique, que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie était portée par des particules, les photons. L'énergie d'un photon est donnée par la relation :

$$E = h \times \frac{\lambda}{c} \quad (1.1)$$

I.5. Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques :

Le principe de l'obtention de courant par les cellules photovoltaïques utilise l'effet photoélectrique, et consiste à forcer les électrons et les « trous libres » à se diriger chacun vers une face opposée du matériau plutôt que de se recombiner naturellement. Vous allez mieux comprendre en lisant la description ci-dessous.

Pour comprendre la conversion photovoltaïque, il faut saisir trois phénomènes physiques, lesquels ont lieu au sein des matériaux :

I.5.1 : L'absorption de la lumière :

La lumière est composée de photons, qui sont des particules associées aux ondes électromagnétiques et qui possèdent une certaine quantité d'énergie selon leur longueur d'onde. L'absorption est un phénomène par lequel l'énergie d'un photon est acquise par le matériau et transformée en une autre forme d'énergie.

I.5.2 : Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques.

Les photons absorbés transfèrent leur énergie aux électrons périphériques (les plus éloignés du noyau), leur permettant ainsi de se libérer de l'attraction de leur noyau. On les « attire » ensuite vers l'extérieur afin de créer un courant électrique. L'électron libéré laisse un « trou » qui se traduit par une charge positive. Lorsque cet électron est attiré au-dehors, c'est l'électron d'un atome voisin qui va venir combler ce trou, laissant à nouveau un trou, lui-même comblé par un électron voisin et ainsi de suite. On génère ainsi une circulation de charges élémentaires, d'électrons dans un sens, et de trous dans l'autre sens, ce qui donne un courant électrique.

I.5.3 : La collecte des charges :

Pour que les charges libérées par l'illumination soient génératrices d'énergie, il faut qu'elles circulent. Il faut donc les « attirer » hors du matériau semi-conducteur dans un circuit électrique. Cette extraction des charges est réalisée au sein d'une jonction créée volontairement dans le semi-conducteur. Le but est d'engendrer un champ électrique à l'intérieur du matériau, qui va entraîner les charges négatives d'un côté et les charges positives de l'autre. L'extraction des charges est possible grâce au dopage du semi-conducteur. La jonction d'une photopile au silicium est constituée d'une partie dopée au

phosphore, dite de type « n » accolée à une partie dopée au bore dite de type « p ». C'est à la frontière de ces deux parties, appelée jonction $p-n$, que se crée un champ électrique pour séparer les charges positives et négatives. Le dopage d'un semi-conducteur va permettre d'amener des charges excédentaires qui amélioreront la conductivité du matériau.[3].

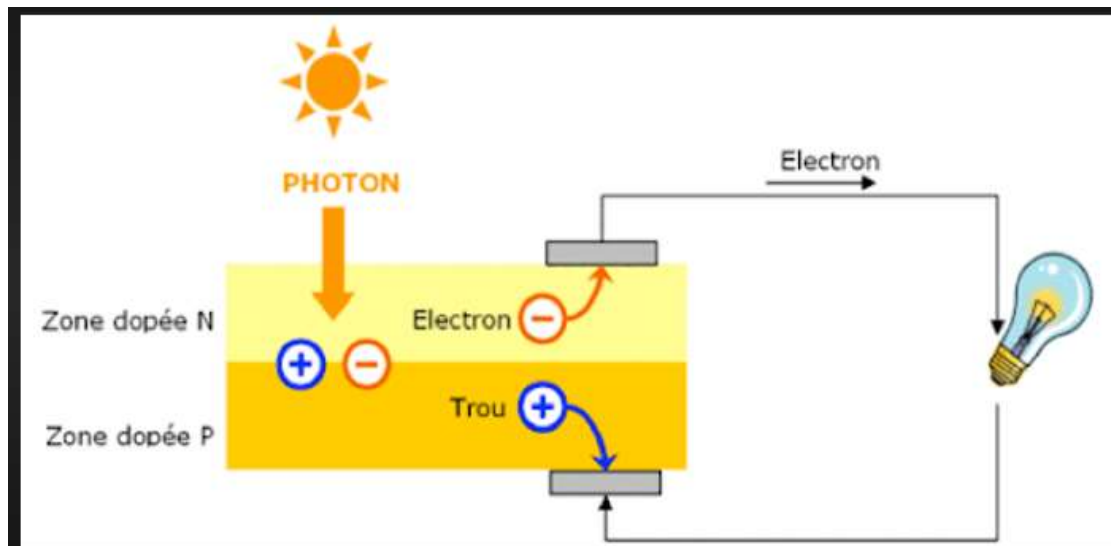


Figure I.3 : Principe de fonctionnement de la technologie PV

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté des notions importantes sur le gisement solaire et les différents types de rayonnements (direct, diffus, albédo et global), en suite nous avons expliqué le principe de la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique par le biais de module solaire.

Chapitre II :
*Etude de conception d'un
système photovoltaïque
autonome*

II.1 Introduction :

L'énergie électrique est devenue une nécessité pour la vie quotidienne, en raison de la hausse de la demande d'énergie, il est nécessaire de trouver d'autres sources de production d'énergie, l'énergie solaire photovoltaïque (ou énergie photovoltaïque ou EPV) est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire grâce à des panneaux ou des centrales solaires photovoltaïques. Elle est dite renouvelable, car sa source (le Soleil) est considérée comme inépuisable à l'échelle du temps humain. Les installations photovoltaïques autonomes ont pour rôle d'alimenter des récepteurs électriques de façon fiable. Compte-tenu du caractère fluctuant du rayonnement solaire, il est nécessaire de mettre en place un parc de batteries assurant la continuité de l'alimentation électrique (notamment la nuit).

II.2 De quoi se compose un système photovoltaïque :

Un module photovoltaïque seul ne suffit pas pour alimenter régulièrement une application. L'énergie qui fournit est très variable, et toujours en courant continu : il faut souvent la stocker et parfois la transformer. On appelle système photovoltaïque l'ensemble des composants nécessaires à l'alimentation d'une application en toute fiabilité.[4].

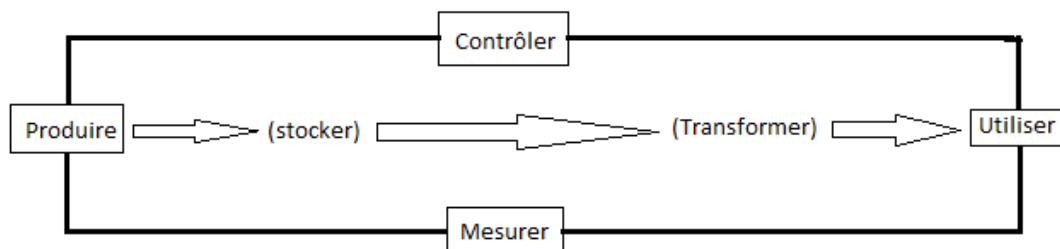


Figure II.1: Composants d'un système photovoltaïques

II.2.1 Présentation de la structure générale d'un système PV :

On distingue généralement deux types de système photovoltaïque : les systèmes photovoltaïques avec stockage électrique et les systèmes photovoltaïques sans stockage électrique ou système au fil du soleil .La différence entre ces deux systèmes est que le second ne contient pas des batteries accumulateurs. Nous présenterons donc sur les figures ci-dessous un système avec stockage d'énergie et un système sans stockage d'énergie.



Figure II.2 : Représentation synoptique de la structure d'un système photovoltaïque avec stockage

II.3 Les éléments d'un système PV :

II.3.1 Le module Photovoltaïque :

Un module photovoltaïque est un ensemble de plusieurs cellules photovoltaïques connectées entre elles en série, ou plus rarement en parallèle.

Toutes les cellules composant un module photovoltaïque doivent être identiques. Les cellules sont soudées deux à deux par un ou plusieurs collecteurs métalliques en forme de ruban. La connexion se fait du contact en face avant (pole négatif) au contact en face arrière (pole positif). Les rubans adhèrent par soudure à la cellule grâce à une lamelle de cuivre étamé.



Figure II.3 : Un système de Panneaux solaires Photovoltaïques du CDER

II.3.1.1 Les différents types de cellules :

Il existe différents types de cellules photovoltaïques, et chaque type possède un rendement et un coût différent :

II.3.1.1.1 Cellules monocristallines :

Elles sont formées d'un seul cristal avec un bleu uniforme. Elles présentent un très bon rendement mais avec un coût élevé et leur rendement est faible sous un faible éclairement.

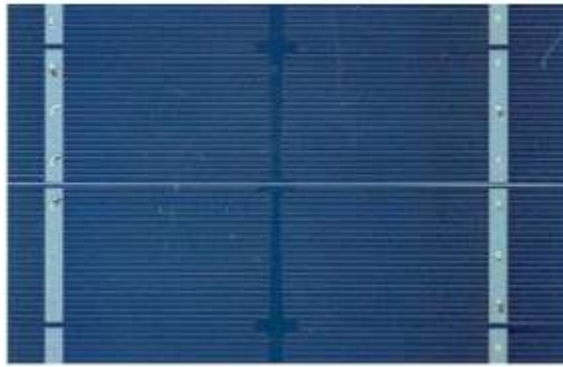


Figure II.4 : Silicium monocristallin

II.3.1.1.2 Cellules poly-cristallin :

Elles sont constituées de plusieurs cristaux. Leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallins.

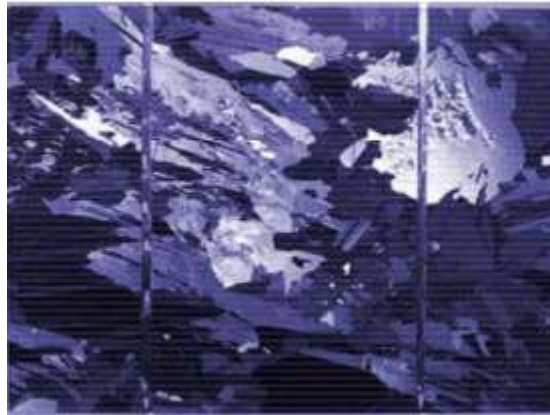


Figure II.5 : Silicium poly-cristallin

II.3.1.1.3 Cellule amorphes :

Le silicium est déposé en couches minces sur une plaque en verre ou sur un autre support souple qui n'est pas cristallisé. Il absorbe le rayonnement solaire mieux qu'à l'état cristallin. Ce type de cellule on le trouve le plus souvent dans les petits produits de consommation (montre, calculatrice).



Figure II.6 : Silicium amorphe

II.3.2 Le régulateur de charge :

II.3.2.1 Définition d'un régulateur de charge :

D'un point de vue général, un régulateur est un outil permettant de maintenir l'état d'une grandeur égale à une valeur consigne. Dans le domaine de l'électronique, un régulateur est un organe électronique qui maintient une grandeur physique égale une valeur consigne. Nous pouvons citer les régulateurs suivants : régulateur de vitesse, régulateur de pression, régulateur de lumière, régulateur de tension, régulateur de courant. Dans une installation photovoltaïque autonome, le régulateur doit assurer les 2 fonctions essentielles que sont la gestion de la charge et de la décharge du parc de batteries.



Figure II.7 : Régulateur de charge au niveau de l'open space.

II.3.2.2 Fonctionnement d'un régulateur de charge :

II.3.2.2.1 Régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking) :

Le régulateur de charge est composé d'un convertisseur DC/DC à découpage de haut rendement qui assure trois fonctions :

- Détection de la puissance maximale du champ photovoltaïque tant que la batterie n'est pas chargée.
- Conversion DC/DC.
- Régulation de la tension de sortie en fonction de la phase de charge (Bulk, Absorption et Floating).

Attention !

Le régulateur PWM ne peut fonctionner qu'exclusivement avec des modules photovoltaïques 36 ou 72 cellules (12V ou 24V).

II.3.2.2 Régulation PWM (Pulse Width Modulation) :

Le régulateur est inséré entre le champ photovoltaïque et la batterie. Il est composé d'un interrupteur électronique fonctionnant en MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) et d'un dispositif anti-retour (diode).

L'ouverture et la fermeture de l'interrupteur électronique s'effectuent à une certaine fréquence, ce qui permet de réguler le courant de charge en fonction de l'état de charge avec précision.

Lorsque la tension batterie est inférieure à la tension de limitation du régulateur, l'interrupteur est fermé. La batterie se charge alors avec le courant correspondant à l'ensoleillement. On est en phase "Bulk".

Lorsque la tension batterie atteint un seuil de régulation prédéterminé, l'interrupteur s'ouvre et se ferme à une fréquence fixe pour maintenir un courant moyen injecté dans la batterie. La batterie est chargée, on est en phase "".



Figure II.8 : Régulation PWM (Pulse Width Modulation)

II.3.3 les batteries :

Le système de stockage est un élément crucial de l'installation photovoltaïque du point de vue technique, mais aussi du point de vue économique; car il représente 40 à 50 % du coût de l'installation. Vu l'importance du stockage électrochimique de l'énergie solaire, une étude théorique des différents types de batteries est menée, en particulier la batterie au plomb qui est la moins coûteuse comparativement aux autres batteries.

II.3.3.1 Définition :

Une batterie est un ensemble d'accumulateurs électriques destinés à stocker de l'énergie et à la restituer ultérieurement. Elle est de type électrochimique et fonctionne grâce aux réactions électrochimiques de ses électrodes. Il y a donc une conversion de l'énergie chimique en énergie électrique.

II.3.3.2 Principales caractéristiques des batteries :

Le choix de la batterie est basé sur plusieurs critères

- **Tension nominale :** fonction du couple électrochimique utilisé, elle s'exprime en volts. • Tension de charge efficacement l'accumulateur, elle est exprimée en volts.
- **Capacité de la batterie ampères heures (Ah) :** C'est la quantité de courant qu'elle peut fournir pendant un nombre d'heures précis, à une condition de température de référence (souvent à une température de 20°). La capacité C est donc le produit du courant I (A) par le temps t (h).
- **Nombre de cycle successifs de charge et de décharge :** C'est une qualité essentielle pour un accumulateur de pouvoir être chargé un grand nombre de fois.
- **La profondeur de décharge :** d'électricité déchargée à un instant t et la capacité de la batterie.
- **Autodécharge batterie :** c'est la perte en pourcentage de la capacité de batterie lorsque celle-ci n'est pas utilisée. Cette autodécharge augmente :
 - Avec le vieillissement de la batterie.
 - Avec la température.
 - Suite à un mauvais entretien

II.3.3.3 Composition de batterie :

Un accumulateur électrochimique est composé de deux électrodes (cathode, anode) reliées à un circuit électrique extérieur et plongeant dans un compartiment rempli d'électrolyte.

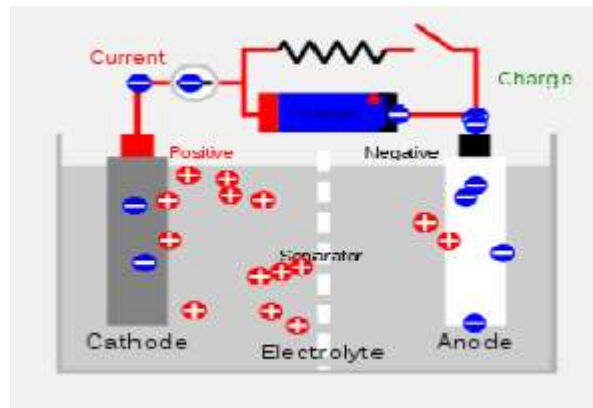


Figure II.9: composition de batterie

- Les deux électrodes sont faites de deux métaux différents.
- l'électrolyte est un conducteur ionique qui permet le transfert des ions entre les deux électrodes

II.3.3.4 Les batteries aciers plombs :

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.



Figure II.10 : Un modèle de batterie acier-Plomb installés au niveau de l'open space

II.3.3.5 Processus de décharge de la batterie Acide-Plomb :

Principe électrochimique de la décharge :

Lors de la décharge le plomb de l'anode s'oxyde en perdant deux électrons tandis que celui de la cathode en gagne deux lors de sa réduction. L'hydrogène apparu à l'anode et l'oxygène produit à la cathode se recombine en eau (H₂O).

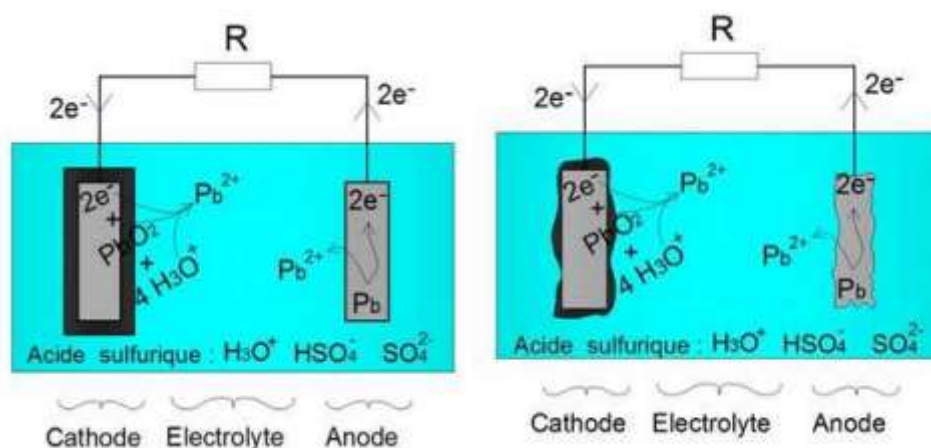


Figure II.11: Principe électrochimique de la décharge d'une batterie acide-plomb

II.3.3.6 La charge de la batterie Acide-Plomb :

- Principe électrochimique de la charge :

La charge d'une batterie consiste à réaliser la réaction chimique inverse de la décharge. Cette réaction inverse n'étant pas naturellement possible, il convient de réaliser ce qu'on appelle une réaction forcée. Pour cela, on utilise un générateur qui va forcer le passage des électrons dans le sens inverse : on appelle ce procédé électrolyse. Les couples oxydants-réducteurs mis en jeu pour la charge sont les mêmes que pour la décharge.

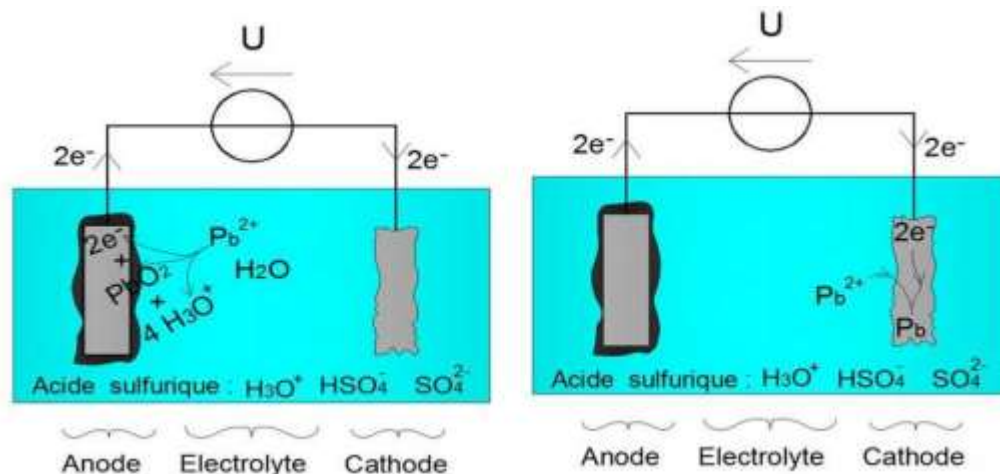


Figure II.12 : Principe électrochimique de la charge

3.3.7 Propriétés électrochimiques de la batterie Acide-Plomb :

- Tension :

La tension d'une batterie correspond à la tension à vide, c'est-à-dire lorsque le courant traversant la batterie est nul. –

Caractéristique courant-tension :

Lorsque la batterie est connectée à un récepteur, la tension et le courant, résultant de la connexion de ces deux éléments, dépendent de la caractéristique courant-tension de la batterie et celle du récepteur. Et comme la batterie ne se comporte pas électriquement de la même façon en charge et en décharge, Il est donc important de distinguer ces deux configurations.

- Lors de la décharge de la batterie :

Lors de la décharge, la batterie se comporte comme un générateur avec une résistance interne de valeur proche de 10Ω , ce qui résulte la diminution de la tension de cette dernière lorsque le courant qu'elle débite augmente.

- Lors de la charge de la batterie :

Lorsque la batterie est en mode de charge, elle se comporte comme un récepteur au même titre qu'une résistance. Sa caractéristique courant-tension évolue en fonction de son état de charge, ainsi qu'illustré ci-dessous :

3.3.8 Entretien et maintenance de la batterie Acide-Plomb :

Comme tout système la batterie plomb acide a besoin d'entretien qui se résume comme suit :

- Veiller à maintenir la batterie propre en l'a nettoyant assez fréquemment.
- Surveiller régulièrement le niveau de l'électrolyte qui doit se situer ± 2 cm au-dessus des plaques.
- Ne jamais ajouter d'acide car seule l'eau s'évapore et employer uniquement de l'eau distillée lors d'appoints (pas d'eau du robinet donc).
- Veiller à une bonne connexion aux bornes et enduire celles-ci de vaseline neutre.
- Maintenir la batterie bien chargée (ne pas laisser les phares sans faire tourner le moteur par exemple).
- Lors d'une recharge, préférer un appareil à faible débit : plus la recharge sera longue plus elle sera efficace.

II.3.4 L'onduleur :

Les onduleurs permettent la conversion d'un courant continu en un courant alternatif. Ils jouent un rôle prépondérant au regard du rendement énergétique et de la fiabilité. Dans le cas d'un générateur PV il ne permet pas que d'obtenir une tension de 230V et une fréquence de 50 Hz mais aussi d'optimiser le rendement énergétique du système PV.

II.3.4.1 Rôle de l'onduleur :

Actuellement, la plupart des appareils électriques présents sur le marché étant adaptés à la tension alternative du réseau, les fabricants ne proposent pas d'équivalents révisés à la tension continue. De ce fait, la présence d'un onduleur devient incontournable afin de permettre à l'utilisateur un large choix pour ces équipements électriques. Il convient de différencier deux grandes familles d'onduleurs :

- Les onduleurs assistés par une source de tension alternative : Ceux-ci convertissent un signal continu en un signal alternatif compatible avec cette source de tension, c'est-à-dire

Chapitre II Étude de conception d'un système photovoltaïque autonome

présentant les mêmes propriétés (valeur efficace, fréquence). Ces onduleurs sont utilisés dans le cas des installations photovoltaïques raccordées au réseau (l'onduleur fournit alors une tension alternative équivalente à la tension du réseau).

- Les onduleurs autonomes : Ceux-ci peuvent fonctionner sans la présence d'une source de tension alternative externe. Ils fournissent une tension alternative conforme à la demande de l'utilisateur.



Figure II.13 : Onduleur

3.4.2 Performance de l'onduleur

- Rendement de l'onduleur :

L'onduleur, comme tout appareil électrique, est composé d'éléments électroniques (diodes, condensateurs, etc.) qui chauffent lors de son fonctionnement, donc une partie de la puissance continue en entrée de l'onduleur est donc dissipée sous forme de chaleur. On définit

Chapitre II Etude de conception d'un système photovoltaïque autonome

alors le rendement de l'onduleur comme le rapport de la puissance de sortie (alternative) sur la puissance d'entrée (continue):

$$\eta = (\text{Puissance alternative})/(\text{Puissance continue}).$$

II.3.5 Les armoires électriques :

Une armoire électrique est le lieu où sont regroupés différents systèmes participant à la distribution d'une installation électrique. Son objectif est de centraliser les arrivées, les départs de la distribution interne au bâtiment et regrouper les protections concernant les lignes ou les personnes.[5]



Figure II.14 : Une armoire électrique d'un système PV au niveau de l'open space.

II.4.Savoir lire la fiche technique d'un module PV :

Les modules photovoltaïques sont testés en laboratoire dans les conditions STC. Ces tests permettent de déterminer les propriétés électriques telles que la tension à vide UCO, le courant de court-circuit ICC, la tension de puissance maximale UMPP et le courant de puissance maximale IMPP.

Les conditions standards de test définissent la façon dont les modules photovoltaïques sont examinés en laboratoire afin d'en dégager les propriétés électriques. Il s'agit de conditions normalisées qui permettent de comparer des modules entre eux. Les conditions STC donnent un certain nombre de conditions de tests dont notamment :

Niveau d'éclairement du module : $P_i=1000 \text{ W/m}^2$

Température des cellules : 25°C

Coefficient Air Masse = 1.5

II.4.1 Définition de la puissance crête :

La puissance crête d'un module, notée P_c , se définit alors comme la puissance maximale du module dans les conditions STC (niveau d'éclairement : $P_i=1000 \text{ W/m}^2$, température de cellule : 25°C , A.M.=1.5). Donc $P_c = P_{MPP}(\text{STC}) = U_{MPP}(\text{STC}) \times I_{MPP}(\text{STC})$. La puissance crête représente une puissance donc s'exprime en Watt (W). Cependant, s'agissant d'une puissance un peu particulière, on l'exprime en Watt-Crête (WC).

EXEMPLE 1

Fabricant : SILIKEN Technologie de cellules : silicium monocristallin

Les fabricants de modules indiquent toujours sur la fiche technique des propriétés d'ordre générale telles que les dimensions du module ou le poids. Ce qui nous intéresse en vue du dimensionnement des installations photovoltaïques, ce sont les propriétés électriques des modules

Extrait de fiche technique : données générales

Caractéristiques	
Dimensions (L x l x E)	1 640 x 990 x 40 mm
Poids	19 kg
Câbles de sortie	Longueur de câbles symétriques de 1 m, \varnothing mm ² , double couche isolante, sans halogénures, résistance aux rayonnements UV
Boîtiers de connexions	IP-65 avec diodes by-pass de protection
Cadre	Alliage d'aluminium anodisé type 6063 T6
Verre	Verre trempé à faible teneur en fer, haute conductivité, épaisseur de 3,2 mm
Cellules solaires	60 cellules monocristallines (156 x 156 mm)

Figure II.15: données générales (dimensions, poids, etc.)

Différentes gammes de puissance crête

Caractéristiques électriques					
Puissance maximale sous conditions STC (+3/0 %)	P_{mp} (Wc)	1 → 235	→ 240	245	250
Rendement sous conditions STC	η (%)	2 → 14,5	→ 14,8	15,1	15,4
Facteur de forme	FF	3 → 0,752	→ 0,753	0,757	0,757
Tension au point de puissance maximale	V_{mp} (V)	4 → 29,5	→ 29,6	29,6	29,7
Courant au point de puissance maximale	I_{mp} (A)	5 → 7,97	→ 8,12	8,27	8,43
Tension de circuit ouvert	V_{oc} (V)	6 → 36,9	→ 37,0	37,0	37,1
Courant de court-circuit	I_{sc} (A)	7 → 8,47	→ 8,61	8,75	8,91
Tension maximale UL/IEC	V_{max} (V) UL/IEC	8 →	→ 600 / 1000		
Coeff. température au point maximal de puissance	$T_k P_{mp}$ (%/°C)	9 →	→ -0,41		
Coeff. température de tension de circuit ouvert	$T_k V_{oc}$ (%/°C)	10 →	→ -0,356		
Coeff. température de courant de court-circuit	$T_k I_{sc}$ (%/°C)	11 →	→ +0,062		
Temp. nominale de fonctionnement de la cellule	NOCT (°C)	12 →	→ 49±2		

Figure II.16 :Données électriques

Considérons le module de puissance 240 WC. La fiche technique nous apporte des informations sur les points suivants :

1. Puissance crête du module $P_c = 240 \text{ Wc}$
2. Rendement sous condition STC (Standard Test Conditions) : $\eta=14.8\%$. Dans cet exemple, la puissance crête vaut $P_c = 240 \text{ Wc}$, et la surface du module est $1.64 \times 0.99 = 1.6236 \text{ m}^2$. $\eta_{STC} = 240 / (1000 \times 1.6236) \eta_{STC} = 14.78 \% \approx 14.8\%$ Ce calcul est bien cohérent avec la donnée du fabricant sur la fiche technique.

Le rendement η d'un module est la part d'énergie radiative (rayonnement) qu'il est capable de transformer en énergie électrique.

$$\eta = \text{Puissance électrique} / \text{Puissance radiative.}$$

Ce rendement dépend des conditions d'exploitation du module. Le rendement indiqué sur les fiches techniques des modules est le rendement dans les conditions STC (niveau d'éclairement $P_i = 1000 \text{ W/m}^2$, Température de cellule 25°C , $AM=1.5$).

Dans les conditions STC, la puissance électrique fournie par le module est tout simplement la puissance crête. Quant à la puissance radiative, elle est égale à 1000 W/m^2 multiplié par la surface du module.

Ainsi :

$$\eta = P_c / (P_i, \text{ STC} \times S \text{ module})$$

$$\text{Soit : } \eta = P_c / (1\ 000 \times S \text{ module})$$

3. Facteur de forme : $FF=0.753$
4. Tension de puissance maximale $UMPP = 29.6 \text{ V}$
5. Courant de puissance maximale $IMPP = 8.12 \text{ A}$
6. Tension à vide $U_{co} = 37 \text{ V}$
7. Courant de court-circuit $I_{cc} = 8.61 \text{ A}$
8. Tension maximale UL/IEC
9. Coefficient de température de la puissance maximale : $KT(P) = -0.41 \text{ }^\circ\text{C}$. Cela signifie que la puissance diminue de 0.984 W ($0.41\% \times 240 = 0.984 \text{ W}$) lorsque la température des cellules augmente de 1°C .
10. Coefficient de température de la tension en circuit ouvert : $KT(U_{co}) = -0.356 \text{ }^\circ\text{C}$. Cela signifie que la tension à vide diminue de 0.13 V ($0.356\% \times 37 = 0.13 \text{ V}$) lorsque la température des cellules augmente de 1°C .
11. Coefficient de température du courant de court-circuit : $KT(I_{cc}) = 0.062 \text{ }^\circ\text{C}$. Cela signifie que le courant de court-circuit I_{cc} augmente 5.3 mA ($0.062\% \times 8.61 = 0.0053 \text{ A}$) lorsque la température des cellules augmente de 1°C . [6].

II.5.Méthode de dimensionnement d'un système Photovoltaïque autonome :

II.5.1 . Calculs des besoins électriques :

Calculer les besoins électriques consiste à calculer l'énergie électrique journalière consommée par les usagers. Ainsi, les besoins électriques s'exprimeront en Wh/jour (ou kWh/jour).

La méthodologie est la suivante : D'abord, il convient d'identifier l'ensemble des appareils électriques qui seront alimentés par l'installation photovoltaïque autonome. Pour chacun de ces appareils, la puissance nominale de fonctionnement doit être identifiée. Pour cela, on pourra s'appuyer sur des mesures directement sur site, ou bien les indications inscrites sur les fiches techniques/signalétiques des appareils. En dernier recours, si aucune information n'est disponible, on pourra effectuer une approximation de la puissance électrique de l'appareil en s'inspirant de l'inventaire réalisé précédemment. Ensuite, une estimation de la durée d'utilisation journalière devra être effectuée. En ce sens, il est primordial de connaître les habitudes des usagers (car ce sont bien eux qui utilisent, à leur guise, les appareils consommateurs d'énergie). Le produit de la puissance électrique (en W) par le temps d'utilisation (en h) indiquera l'énergie journalière consommée (en Wh) par l'appareil considéré. Dans le domaine de l'électricité, il est d'usage d'utiliser le W et le Wh comme unités de mesure respectivement de la puissance et de l'énergie électriques. Enfin, la somme des énergies journalières calculées donnera une évaluation globale des besoins électriques du bâtiment.

Chapitre II Etude de conception d'un système photovoltaïque autonome

Exemple simple :

Tableau II.1 :Tableau des besoins électriques journalière

Appareille électrique	Puissance nominal (w)	Durée D'utilisation journalière(en h\jours)	Consomation d'énergie journalière(Wh)
6lampes d'une puissance de 15W chacune	6*25=90W	4H\jours	360Wh\jours
1 frigérateur	150W	6H\jours	900Wh\jours
1chargeur pour téléphone portable	5W	1H\jours	5Wh\jours
1 télévision	110W	5H\jours	550Wh\jours
TOTAL			1815Wh\Jours

II.5.2 Règle de dimensionnement du champ photovoltaïque :

L'énergie électrique journalière produite par le champ photovoltaïque (E_{Elec}) doit être au minimum égale à l'énergie journalière consommée par les appareils électriques (E_{Besoin}).

$$E_{Elec} \geq E_{Besoin} \quad (2.1)$$

$$E_{Elec} = P_c/P_i \times E_i \times P_R \quad (2.2)$$

P_c : Puissance crete du champs pv

E_r : Energie journalière consommée.

E_i : Energie solaire journalière.

P_i : Puissance d'éclairement.

P_r : Ratio de performance.

$$P_c \geq \frac{E_b \times P_i}{E_i \times P_r} \quad (2.3)$$

P_c : KWc

E_{besoin} : KWh\jours

E_i : KWH\m²\jours

P_i : 1KW\m²

P_r : sans unité

II. 5.3 Nombre de panneaux :

Besoin énergétique : 5050WH\j

Puissance PV nécessaire : 2200W

AP-7105 Solar Panel from GE Energy

- Panels From This Manufacturer
- Add to Comparison Cart
- Request For Quote

Specifications

Electrical Characteristics	
STC Power Rating P _{mp} (W)	75
Open Circuit Voltage V _{oc} (V)	21.0
Short Circuit Current I _{sc} (A)	4.80
Voltage at Maximim Power V _{mp} (V)	17.0
Current at Maximim Power I _{mp} (A)	4.40
Panel Efficiency	11.9%
Fill Factor	74.4%
Power Tolerance	-10.00% ~ 10.00%
Maximum System Voltage V _{max} (V)	840
Maximum Series Fuse Rating (A)	

Figure II.17 :Extrait d'une fiche technique de module.

N=2200/75~ 30 panneaux

Donc on a besoin de 30 panneaux de 75W.

Chapitre II Étude de conception d'un système photovoltaïque autonome

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons expliqué le principe de fonctionnement puis on a présenté les éléments essentiels pour un système PV et comment lire une fiche technique d'un module PV. Finalement on a donné la méthode de dimensionnement d'un système autonome Photovoltaïque.

Chapitre III :
Modélisation d'un système
photovoltaïque

III. 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.

Cette simulation digitale sert afin de comprendre le comportement opérationnel de ces composants et les interactions entre eux. Depuis la simulation de 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.

III.2 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 standard à une seule diode, établi par Shockley pour une seule cellule PV, et généralisé à un module PV en le considérant comme un ensemble de cellules identiques branchées en série-parallèle.

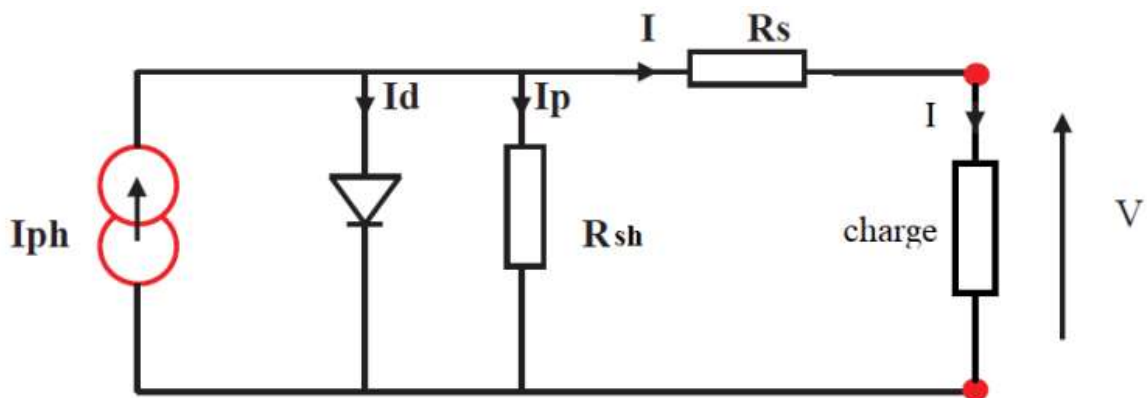


Figure III.1 : Circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.

III.2.1 les paramètres d'une cellule PV :

Ce modèle est dit à cinq paramètres, ces paramètres sont :

Le photo-courant (I_{ph}), le courant de saturation (I_0), le facteur d'idéalité de la jonction (A), la résistance série (R_s) et la résistance shunt (R_{sh}).

Si on néglige l'effet de la résistance shunt R_{sh} , en le considérant infini, on retrouve le modèle à quatre paramètres qui est très utilisé. Et si en plus, on néglige la résistance série, on retrouvera alors le modèle à 3 paramètres. Le choix du modèle se fait en fonction des besoins de l'étude. Le modèle à cinq paramètres offre un bon compromis entre simplicité et précision. Ces équations permettent de décrire la caractéristique I-V de la cellule et du module en donnant les expressions des différents courants. [7]

L'étude physique d'une photopile nous permet d'obtenir l'équation de courant de la charge :

$$I_{cell} = I_{ph} - I_d - I_{Rsh} \quad (3.1)$$

Avec :

I_{cell} : Courant délivré par la photopile.

I_{ph} : Photo courant.

I_d : Courant de la diode.

I_{Rsh} : Courant shunt.

On a la résistance (R_{sh}) plus élevée donc on peut négliger le courant I_{Rsh} donc l'équation s'écrit :

$$I_{cell} = I_{ph} - I_d \quad (3.2)$$

A .Le photo courant :

C'est le courant généré par une cellule, il est proportionnel à l'irradiation solaire et est légèrement influencé par la température selon l'équation suivante :

$$I_{ph} = [I_{cc} + K_i(T - T_{ref})] \times \frac{G}{G_{ref}} \quad (3.3)$$

I_{cc} [A] : Courant de court-circuit du panneau (donné par le constructeur).

K_i [A/K] : Courant de court-circuit divisé par le coefficient de température du panneau.

T [K] : Température ambiante.

G [W/m²] : Irradiation sur la surface de la cellule.

T_{ref} [K] : Température de référence (298 K).

G_{ref} [W/m²]: Irradiation de référence (1000 W/m²).

B. Le courant de saturation I_0 :

Ce courant varie avec la température et est donné par :

$$I_0 = I_{RS} \frac{(T)^3}{T_{ref}} e^{\left[\frac{E_g(1-A)}{AK(T_{ref}-T)} \right]} \quad (3.4)$$

Avec :

E_g [eV] : Énergie de gap du semi-conducteur.

C. Le courant de saturation inverse de la diode (courant de fuite) :

L'expression est donnée par l'équation :

$$I_{Rs} = \frac{I_{cc}}{\exp\left(\frac{V_{oc}}{KAT}\right) - 1} \quad (3.5)$$

Où :

V_{oc} [V] : Tension de circuit ouvert du module (donnée par le constructeur).

q [°C] : Charge de l'électron ($1.602 \cdot 10^{-19}$ °c).

N_s : Nombre de cellules connectées en série.

A : Constante d'idéalité de la jonction ($1 < A < 2$).

K [J/K] : Constante de Boltzmann ($1.3805 \cdot 10^{-23}$ J/K).

À partir des expressions décrites précédemment on peut déduire le courant délivré par une cellule :

$$I_{cell} = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V_{cell} + R_s I_{cell}}{N_s A T K}\right) - 1 \right] - \frac{V_{cell} + R_s I_{cell}}{R_{sh}} \quad (3.6)$$

D. Le courant du panneau :

Les équations décrites précédemment ne peuvent représenter la caractéristique I-V d'un module PV puisqu'elles sont propres à une seule cellule PV qui représente l'élément de base du panneau, on introduit donc l'équation spécifique à un module : [8]

$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left[\exp\left(\frac{V_{cell} + R_s I_{cell}}{N_s A T K}\right) - 1 \right] - N_p \times \frac{V_{cell} + R_s I_{cell}}{R_{sh}} \quad (3.7)$$

Où :

N_s : Nombre de cellules connectées en série dans un module.

N_p : Nombre de cellules connectées en parallèle dans un module.

Les caractéristiques électriques de cellule :

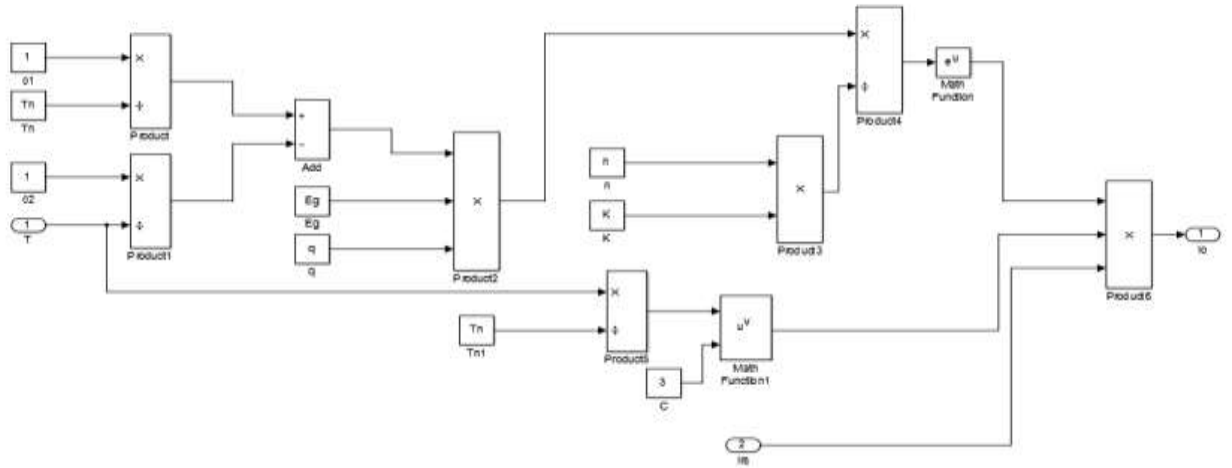
Les caractéristiques électriques de cellule sont données dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Caractéristique électrique de la cellule dans les conditions standards
<CST> $T=25^\circ\text{C}$, $G=1000\text{W}/\text{m}^2$ [35].

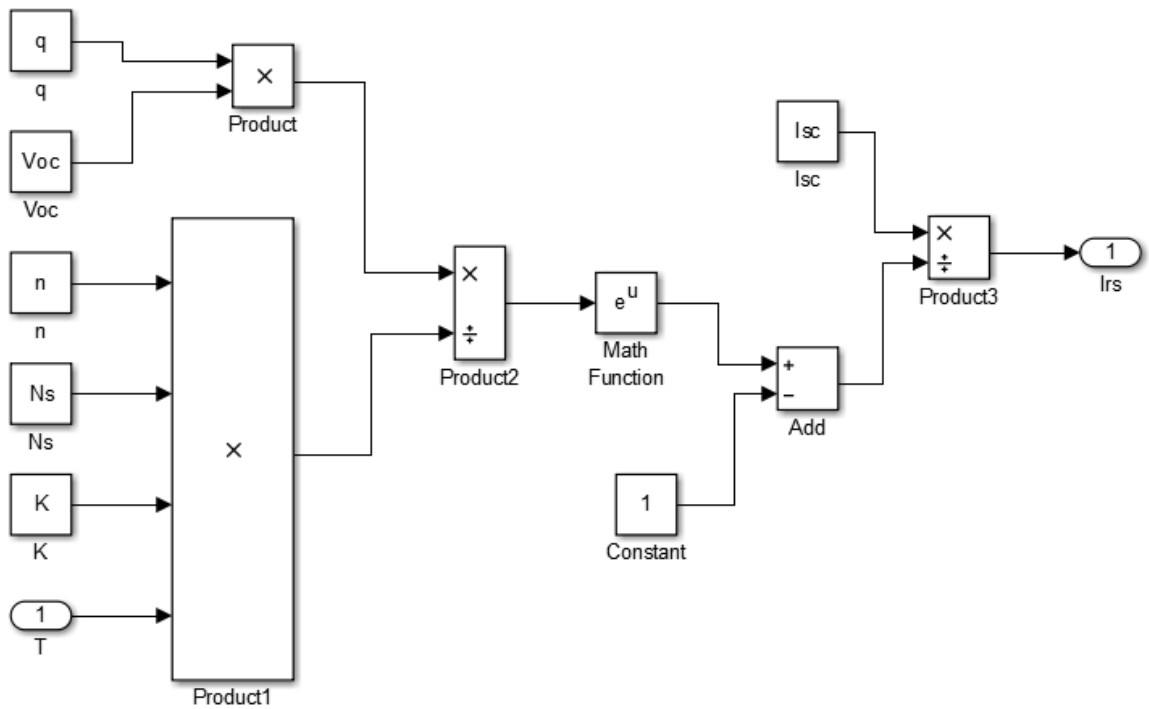
Coefficient de sensibilité de l'intensité à la température	$K_i=0.0032$
La charge d'électron	1.6×10^{-19}
Constant de Boltzmann	1.38×10^{-23}
Facteur de qualité de diode	1.3
Energie de Gap	1.1
La résistance en série	0.221
La résistance shunt	5
La température en Kelvin	298
Tension du circuit ouvert	32.9
Courant de court-circuit	8.21
Nombre de cellules en série	54

III.3 Simulation d'une cellule photovoltaïque :

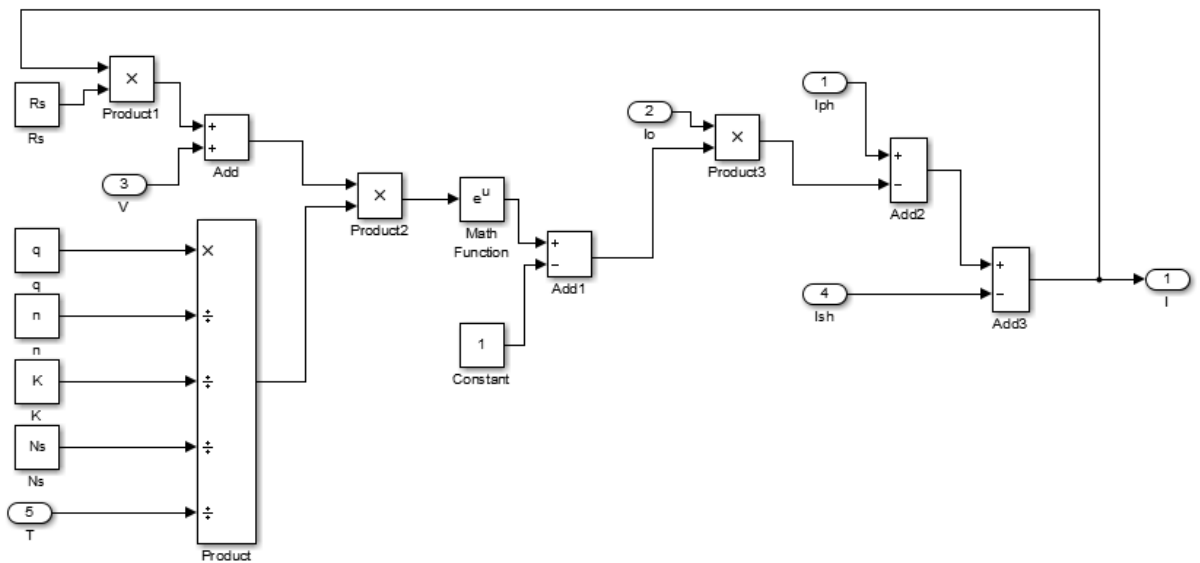
III.3.1 Le courant I_0 :



III.3.2 Le courant I_{rs} :



III.3.3 Le courant P-V :



III.3.4 Le courant I_{ph} :

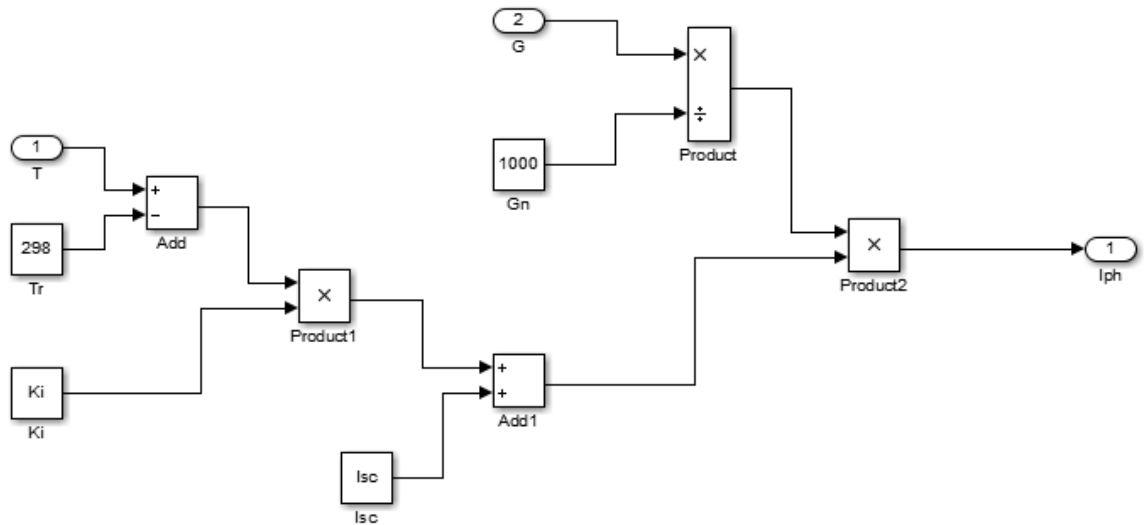
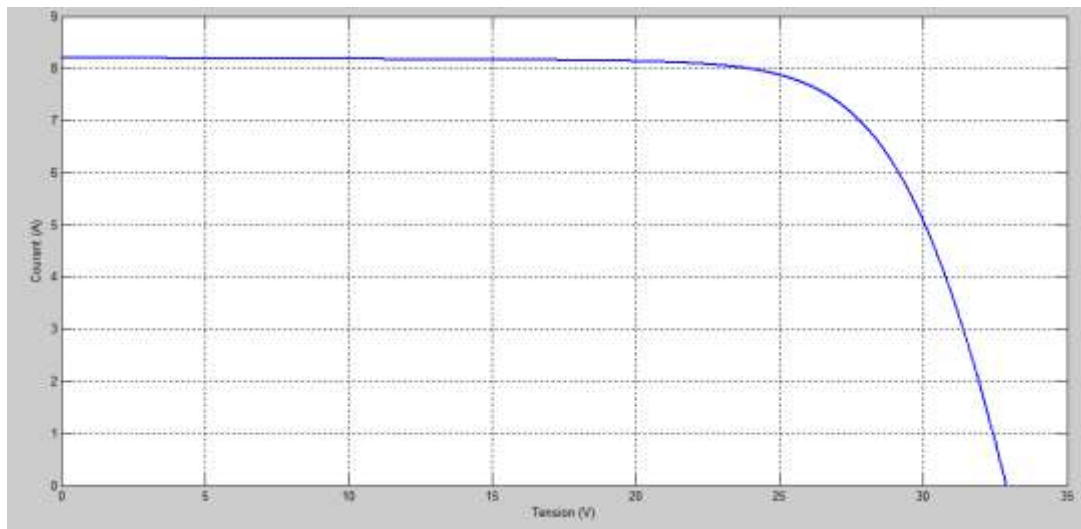
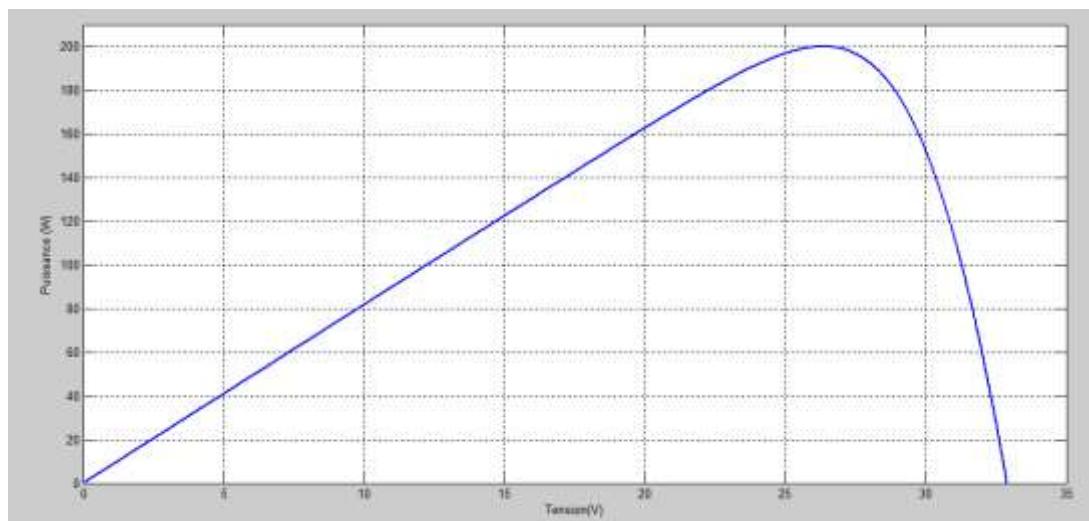


Figure III.2: Synoptique du modèle amélioré de la cellule photovoltaïque sous le logiciel MATLAB/Simulink

Caractéristiques courant-tension et puissance -tension d'une cellule :



Courbe de la caractéristiques I-V



Courbe de la caractéristique P-V

Figure III.3 : Caractéristique I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïques.

III.4 Influence de la température, l'éclairement, résistance série et la résistance shunt sur une cellule photovoltaïque :

La caractéristique d'une cellule PV est directement dépendante de l'éclairement, la température, la résistance série et la résistance shunt.

III.4.1 L'influence de la température :

Les figures 5 et 6 représentent la caractéristique courant – tension $I(V)$ et puissance – tension $P(V)$ dans la même condition de l'éclairement ($E=1000 \text{ W/m}^2$) et pour différents température ($T=10^\circ\text{C}$, 20°C , 30°C , 40°C)

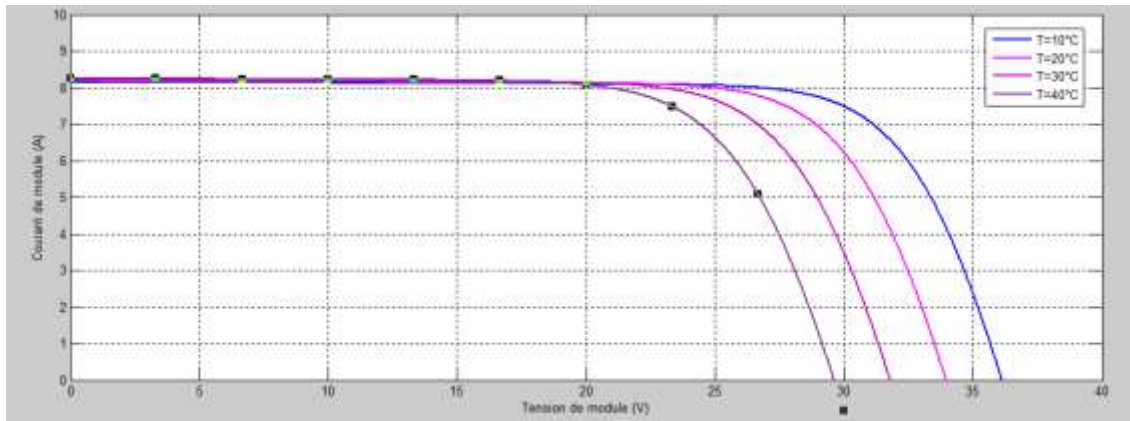


Figure III.4 : Influence de la température sur la caractéristique courant-tension

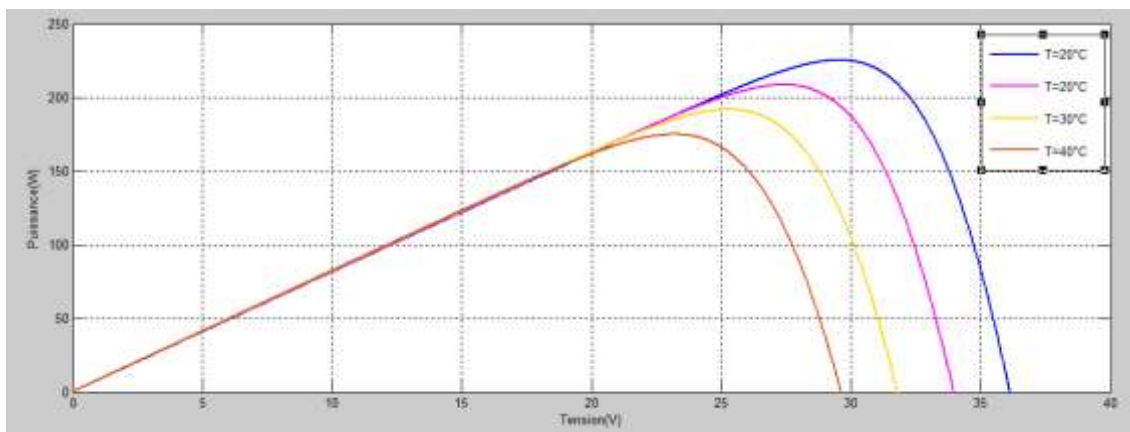


Figure III.5 : Influence de la température sur la caractéristique puissance-tension.

On remarque que la tension de circuit ouvert diminue avec l'augmentation de la température, par contre le courant de court-circuit augmente légèrement avec l'augmentation de la température. On n'a remarqué que la puissance maximale diminue avec l'augmentation de la température. On peut dire que la température influe négativement sur la tension et le courant

III.4.2 Influence de l'éclairement :

Les figures 7 et 8 représentent la caractéristique ($I-V$) et ($P-V$) d'une cellule en fonction de la variation de l'éclairement ($E = 1000, 750, 500, 250 \text{ W/m}^2$) à température constants ($T = 25^\circ\text{C}$) :

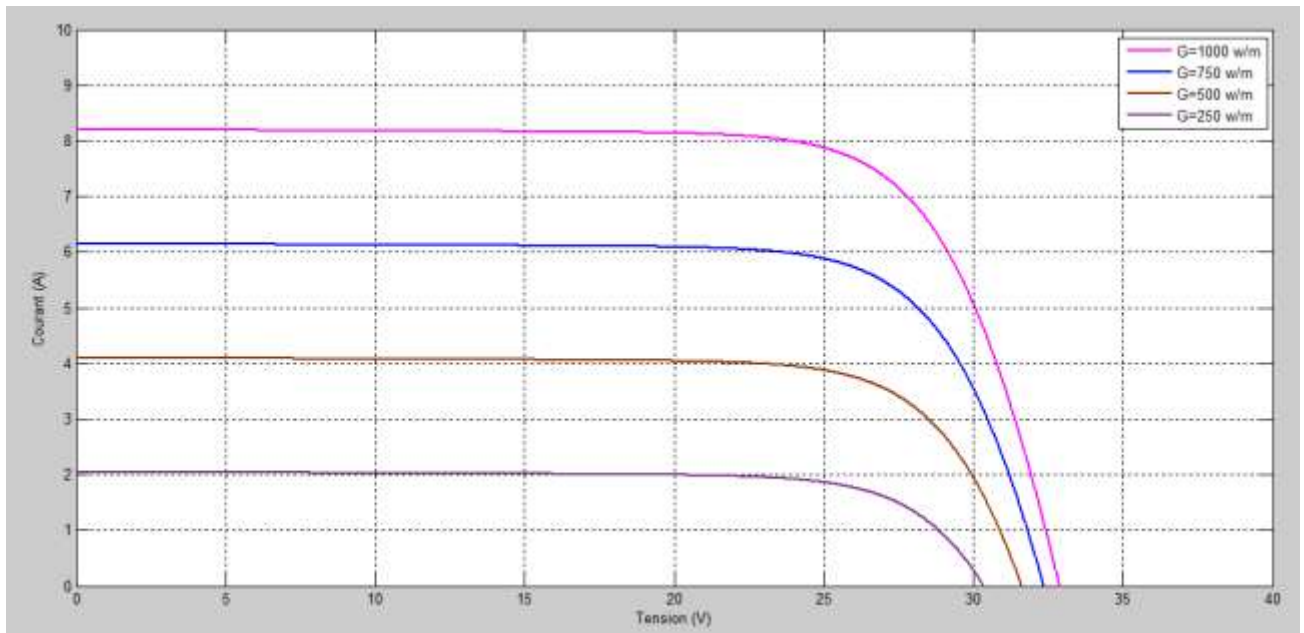


Figure III.6 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique courant-tension.

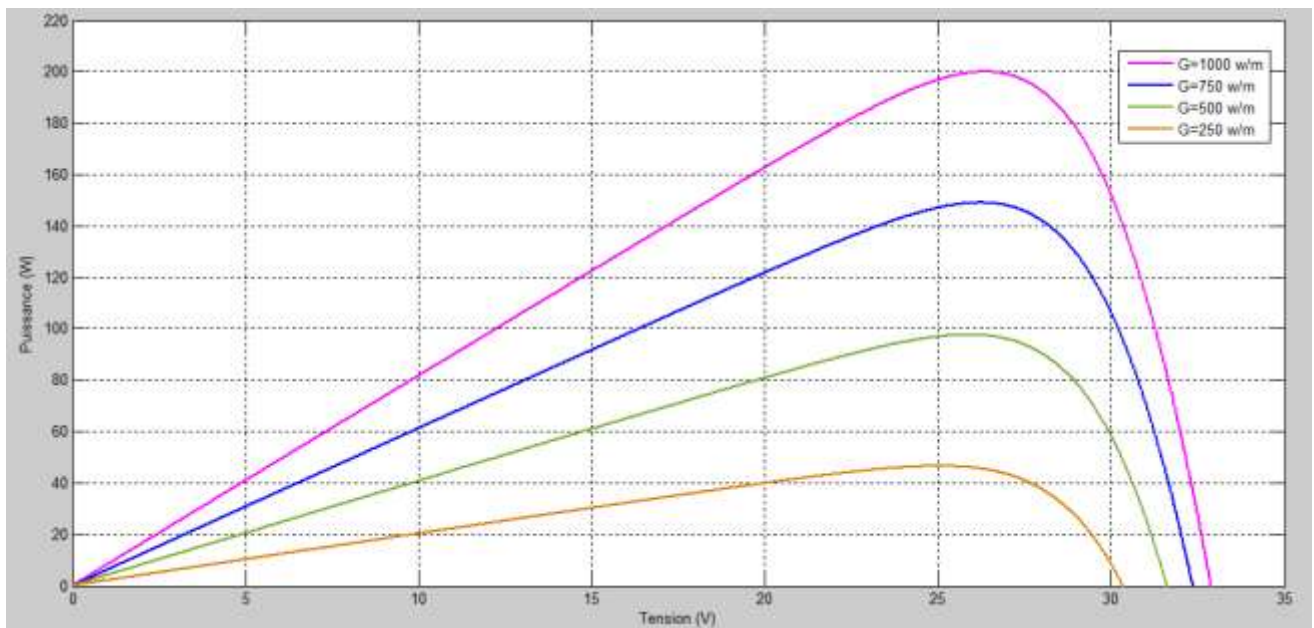


Figure III.7 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique Puissance-tension.

On peut remarquer des figures 7 et 8 que pour un niveau plus élevé d'éclairement, la tension du circuit-direct augmente rapidement. La puissance suit une tendance ascendante à chaque fois que l'éclairement augmente.

Alors on constate que l'augmentation de l'éclairement influe positivement sur le fonctionnement de la cellule photovoltaïque.

III.4.3 Influence de résistance série :

Les figures 9 et 10 nous montrent les caractéristiques (V-I) et (V-P) en fonction de la variation de la résistance série ($R_s=0.1, 0.5, 1, 2$ Ohm) :

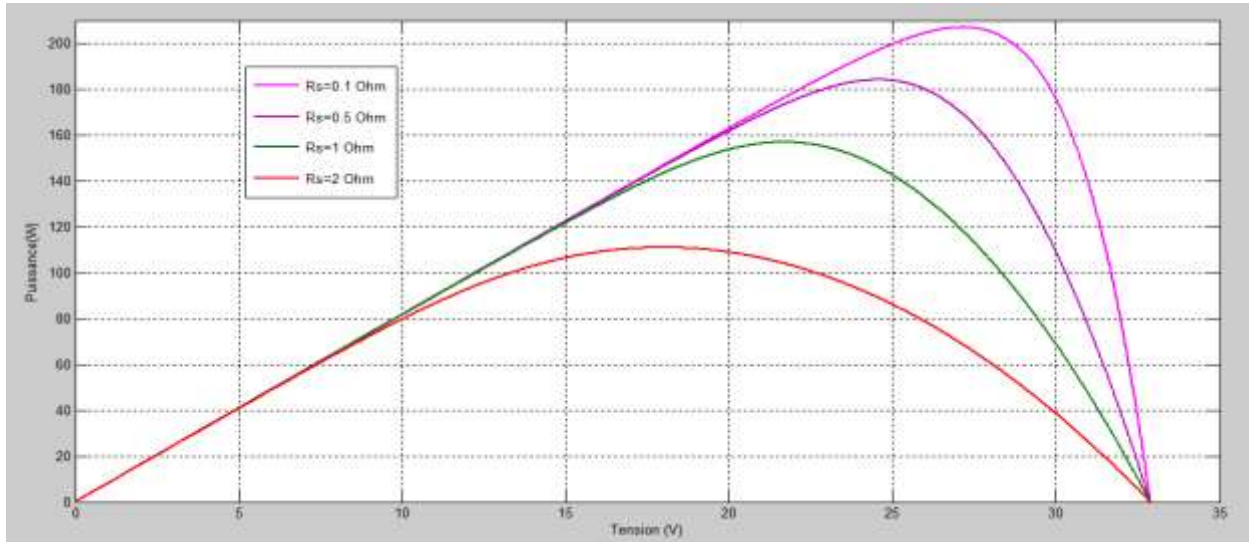


Figure III.8: Influence de résistance série la caractéristique courant-tension

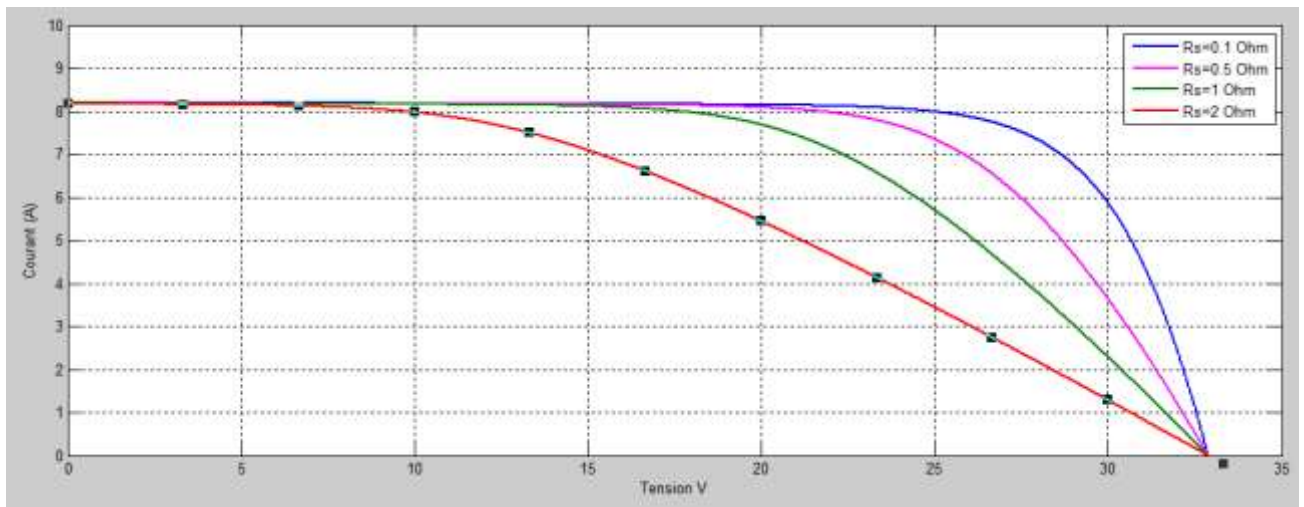


Figure III.9 : Influence de résistance série la caractéristique puissance-tension.

On remarque dans les deux dernières figures que lors de l'augmentation de la résistance en série la tension du circuit-direct diminue automatiquement. Alors on peut constater que l'augmentation de la résistance en série influe négativement sur le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

III.4.4. Influence de la résistance shunt :

Les figures 11 et 12 nous montrent les caractéristiques (V-I) et (V-P) en fonction de la variation de la résistance série ($R_{sh}=5, 10, 30, 100, 2000$ Ohm) :

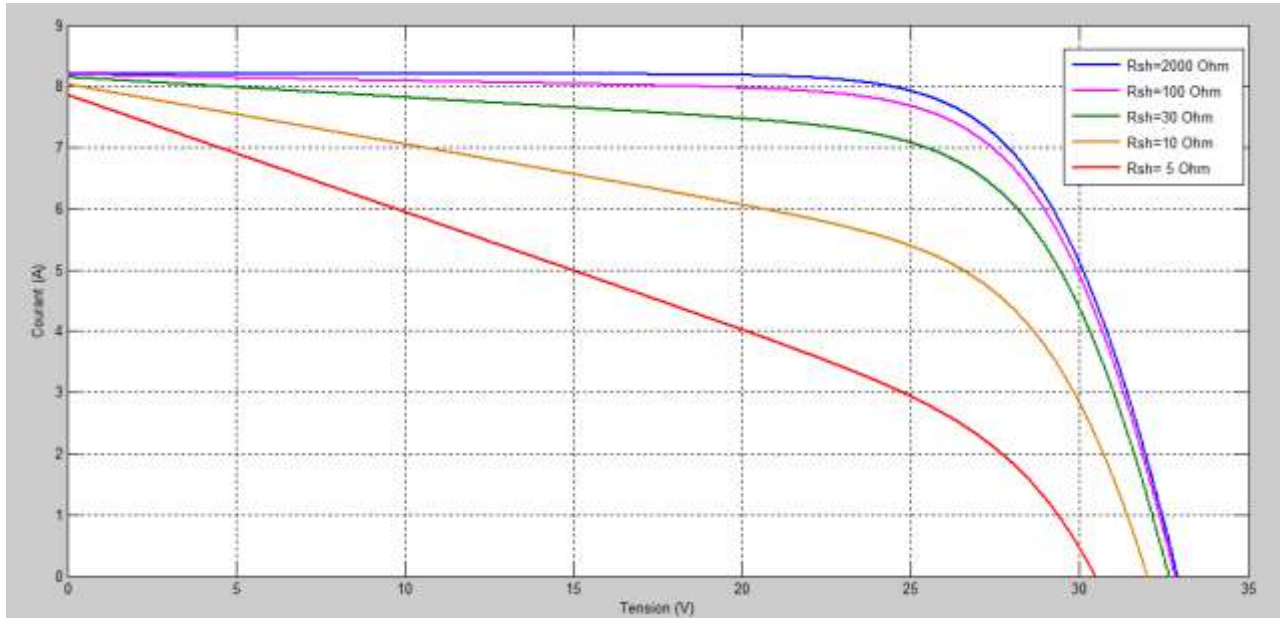


Figure III.10 : Influence de la résistance shunt sur la caractéristique courant-tension.

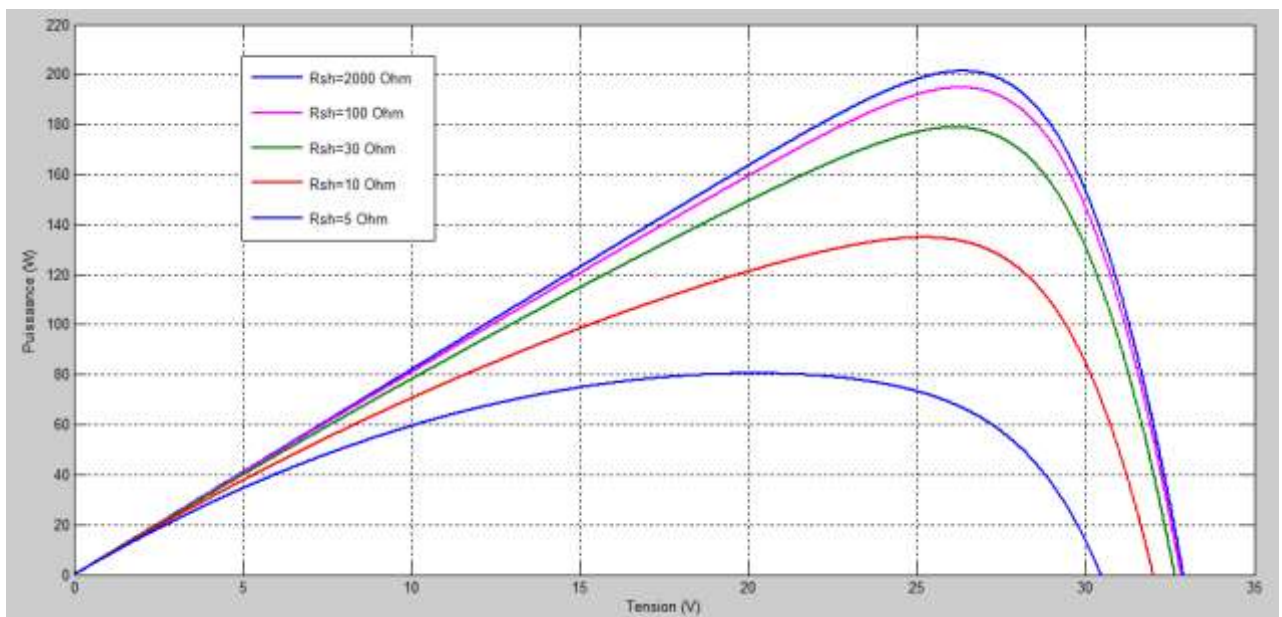


Figure III.11 : Influence de la résistance shunt sur la caractéristique puissance tension.

L'expérience montre que la tension de circuit ouvert d'une cellule solaire augmente avec l'augmentation de la résistance shunt de la cellule (figures 32 et 33).

Nous avons remarqué que la résistance shunt influe positivement sur la tension de circuit ouvert (Plus la résistance shunt est élevée plus V_{co} est élevée). Et par contre la puissance maximale du générateur subit une augmentation lorsque la résistance shunt augmente.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la modélisation d'une cellule photovoltaïque par un circuit de courant électrique simple .On a mis en exergue les principales caractéristiques électriques fondamentales d'un module PV .On a étudié aussi l'influence des différents paramètres sur ces caractéristiques. On a constaté que la température et la résistance en série influe négativement sur le module, par contre l'éclairement et la résistance shunt influe positivement sur notre cellule.

*Conclusion
générale*

Conclusion générale :

Un système photovoltaïque (PV) est un système générateur d'électricité destiné à effectuer une tâche bien déterminée. Autrement dit, il sert à couvrir les besoins énergétiques. Ce système se compose de plusieurs éléments principalement les modules PV qui représentent la source énergétique, qu'il faut transformer et adapter pour qu'elle soit utilisable est exploitable par nos charges. Nous devons entre autre disposer de batteries où nous stockons de l'énergie produite par les modules, le régulateur qui protège la batterie contre la surcharge et qui règle ainsi la valeur de la tension nominale, l'onduleur qui assure la conversion du courant continu en courant alternatif dont les utilisateurs ont besoin, et le câblage qui relie les différents composants du système entre eux. Notre projet l'étude est basé sur l'analyse d'une modélisation et simulation du fonctionnement électrique d'un système photovoltaïque (PV) pour déterminer les meilleures conditions de fonctionnement de celui-ci.

- La recherche bibliographique nous a permis d'avoir une idée précise sur le gisement solaire et les différents types de rayonnements (direct, diffus, albédo et global), ainsi que sur le principe de la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique par le biais de module solaire.
- Le dimensionnement d'un système PV pour le cas d'étude abordé dans ce projet nous a permis de voir de près la complexité des calculs pour répondre au besoin des charges demandées.
- La modélisation de la cellule PV par un circuit électrique et sa simulation par MATLAB/Simulink nous a permis de tirer les conclusions suivantes :
 - Le courant circuit et la puissance diminue avec l'augmentation de la température.
 - La puissance suit une tendance ascendante a chaque fois que l'éclairement augmente et c'est pareil pour le courant circuit.
 - La résistance en série influe négativement sur la cellule photovoltaïque.
 - La résistance shunt influe positivement sur la cellule : Plus la résistance shunt est élevée, plus le courant circuit augment.

Bibliographie

[1] : Mr MANSEUR Moussa «Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome », Université, Mouloud MAMMERRI Tizi - Ouzou Mémoire de Master année 2018.

[2] : Tounsia BEN KHEMMOU «Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque intégrée au bâtiment : Cas d'un laboratoire au CDER » UNIVERSITE MOULOU MAMMERRI DE TIZI-OUZOU Mémoire master année 2014.

[3] : <https://si.blaisepascal.fr/cellule-photovoltaique/>

[4] : Farid Hadjrioui «Document sur un système photovoltaïque autonome d'un professeur» au niveau du Centre de recherche des énergies renouvelables Alger .Bouzereah..

[5] : Benchikh Hocine «Un système photovoltaïque connecté au réseau» UNIVERSITE D'Alger1 Ben Youcef Ben khada . Mémoire master année 2020

[6] : Farid Hadjrioui «Document sur un système photovoltaïque autonome d'un professeur» au niveau du Centre de recherche des énergies renouvelables Alger .Bouzereah.

[7] : <https://gootrio.com/modelisation-dune-cellule-photovoltaique-sous-matlab-simulink/>

[8] :Tolailt.Aziz «Modélisation et simulation sous MATALAB/SIMULINK d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT» UNIVERSITE MOULOU MAMMERRI DE TIZI-OUZOU Mémoire master année 2014.