



# République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

Université Saad Dahlab, Blida-1

Faculté de Technologie.

**Département des Énergies Renouvelables**

**Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de**

**Master en énergies renouvelables**

**Option : Conversion photovoltaïque**

**Thème**

**Étude d'une chaîne de conversion d'énergie solaire en  
électricité autonome d'une salle d'acquisition de données à  
BOU-ISMAIL (UDES).**

Présenté par : **SLIMANI Wissem**

Soutenu le 28/09/2022 devant le jury composé par :

Dr	BOUKENOUI Rachid	M.C.B	USDB1	Président
Mr	DOUMAZ Toufik	M.A.A	USDB1	Examineur
Dr	AIT SAHED Oussama	M.C.B	USDB1	Examineur
Dr	ATOUI Sakina	M.R.B	UDES	Promoteur
Dr	BEDIA Asma	M.C.A	USDB1	Co-promoteur

**2021/2022**

## ملخص

تهدف هذه الأطروحة إلى دراسة سلسلة تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء مستقلة لغرفة البيانات المتواجدة في UDES بواسطة بواسماعيل .

بدانا بنمذجة ومحاكاة لوح شمسي بواسطة MATLAB/SIMULINK ثم قمنا بتحجيم النظام الكهروضوئي المستقل باستخدام طريقتين بواسطة برنامج PVsyst و من ثم يدويا . تابعنا تشغيل المكونات المختلفة لسلسلة التحويل.

سمح لنا هذا العمل بتحليل كيفية تشغيل النظام الكهروضوئي الذاتي في الوقت الفعلي ، تحديد أدائه وتقييم تأثير العوامل المختلفة عليه.

**الكلمات المفتاحية :** نظام ذاتي ، محاكاة ، نمذجة ، قياس.

## Résumé

Ce mémoire a pour but l'étude d'une chaîne de conversion d'énergie solaire en électricité autonome d'une salle d'acquisition de données à BOU-ISMAIL (UDES).

Nous avons modélisé et simulé un module PV par MATLAB/SIMULINK puis nous avons dimensionné le système photovoltaïque autonome en utilisant deux types de dimensionnement. Le premier est le logiciel PVsyst et le deuxième type est à main levé. Ensuite, nous avons suivi le fonctionnement des différents composants de la chaîne de conversion.

Ce travail nous a permis d'analyser le fonctionnement de système photovoltaïque autonome en temps réel, de déterminer ses performances et d'évaluer l'influence des différents paramètres.

**Mots clés :** système PV autonome, simulation, modélisation, dimensionnement.

## Abstract

This thesis aims to study an autonomous solar energy conversion system designed for a data acquisition room at BOU-ISMAIL (UDES):

Firstly, we modeled and simulated a PV module by MATLAB/SIMULINK software, secondly, we dimensioned the autonomous photovoltaic system using two ways.: one is based on PVsyst software and the other one is done by freehand software. Finally, we monitor the operation of the different constituents of the conversion chain.

This work allowed us to analyze the operation of autonomous photovoltaic system in real time, to determine its performance and to evaluate the influence of the various parameters.

**Keywords:** off grid PV system, simulation, modelling, sizing.

## Remerciement

Ce travail a été réalisé à l'unité de développement des équipements solaires  
(UDES) à Bou-Ismaïl Tipaza.

Je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donnée la santé et la volonté  
d'entamer et terminer ce mémoire.

Je tiens à remercier spécialement **Dr. ATOUI Sakina** qui fut la première à me  
faire découvrir le sujet qui a guidé mon mémoire et pour m'avoir encadré,  
orienté, aidé et conseillé.

Mes remerciements vont également à ma co-promotrice **Dr. BEDIA Asma** pour  
sa permanente gentillesse et pour ces précieux conseils tout au long de notre  
travail.

Un vif remerciement pour Monsieur le président **Dr. BOUKENOUI Rachid** et  
Messieurs les membres de jury **Mr. DOUMAZ Toufik** et **Dr. AIT SAHED**  
**Oussama** pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier Monsieur le directeur de l'UDES, **Pr. ABBES**  
**Mohamed** qui nous a ouvert les portes dans cette unité de recherche.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur  
aide dans la réalisation de ce travail :

**Dr. BOUZAKI** pour m'avoir répondu à mes questions, ainsi que leur expérience  
personnelle.

**Mademoiselle AITHAMOUDA Camelia** qui m'a beaucoup appris sur la partie  
programmation elle a partagé ses connaissances et expériences dans ce milieu.

Ma meilleure amie **Meriem** qui m'a toujours aidé.

**Mes parents**, toute ma famille et ma sublime cousine **Zahia** pour leur soutien constant  
et leurs encouragements.

## Dédicaces

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce modeste travail de fin d'étude à mes chers parents qui ont sacrifié leur vie pour ma réussite et nous ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux.

J'espère qu'un jour je pourrai leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour nous, que dieu leur prête bonheur et longue vie.

Je dédie aussi ce travail à mes frères **Akram** et **Abdelatif** et ma chère sœur **Chaima**.

A mes proches **Khaled**, **Ali** et **Ahmed**.

A mes copines **Karima**, **Assila**, **Chaima** et **Azhar**.

A tous mes professeurs qui m'enseignent et à tous ceux qui sont chers.

## Liste des symboles

A : ampère.

AC : courant alternatif.

AH : ampère heure.

C : capacité de la batterie (Ah).

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone.

DC : courant continu.

D<sub>DOD</sub> : profondeur de décharge.

E<sub>C</sub> : énergie consommée.

E<sub>g0</sub> : énergie de la bande interdite de la cellule en eV.

E<sub>j</sub> : énergie journalière.

FF : Facteur de forme.

G : gisement solaire en W/m<sup>2</sup>.

GPV : Générateur photovoltaïque.

h : la constante de PLANCK

I<sub>CC</sub> : courant de court-circuit.

I<sub>0</sub> : le courant de saturation.

I : le courant délivré par la cellule(A).

I<sub>ph</sub> : Photo courant(A).

I<sub>d</sub> : Courant de diode(A).

I<sub>sh</sub> : Le courant de la résistance shunt(A).

K : facteur de correction.

K<sub>b</sub> : La constante de Boltzmann 1.381\*10<sup>-23</sup>J/K.

$K_i$  : constante liée à la cellule en ( $A/^\circ K$ ).

KW : kilowatt.

kWh : kilowatt heure.

KWh/j : kilowatt heure par jour.

MPPT: Maximum power point tracker.

N= nombre d'autonomie (jour).

P : puissance.

$P_C$  : puissance crête.

$P_{inc}$  : la puissance lumineuse incidente.

$P_{max}$  : puissance maximale.

PV : photovoltaïque.

PVSYST : Logiciel de dimensionnement de panneaux solaires permettant d'obtenir diverse information.

PWM : pulse-width modulation.

q : la charge d'un électron  $1.602 \cdot 10^{-9}$  C.

$R_s$  : résistance en série en  $\Omega$ .

$R_{sh}$  : résistance shunt ou parallèle.

$R_{sp}$  : La réponse spectrale.

T : la température de la cellule en  $^\circ K$ .

$T_c$  : la température absolue.

$T_n$  : température de référence 298 K ( $25^\circ C$ ). V : voltage de la batterie (volte).

$V_{CO}$  : tension de circuit ouvert.

$V_d$  : La tension de la diode.

$V_{pm}$  : la tension au point de puissance maximale.

$V_t$  : La tension thermique.

W : watt.

$\Omega$  : ohm.

$\nu$  : la fréquence de la lumière.

$\eta$  : le rendement.

# Sommaire

Remerciement.....	
Dédicaces .....	
Liste des symboles.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux .....	13
<b>Introduction générale.....</b>	<b></b>
<b>Chapitre I : Généralités sur le système photovoltaïque autonome. ....</b>	<b>3</b>
I.1- Introduction.....	3
I.2- Historique : Découverte de l'effet photovoltaïque.....	3
I.3-Principe de la conversion photovoltaïque .....	4
I.3.1-La Cellule solaire .....	5
I.3.2-Caractéristiques électriques d'une cellule solaire .....	6
I.3.2.1-La caractéristique I(V).....	6
I.3.2.2-La tension en circuit ouvert .....	6
I.3.2.3-Le courant de court-circuit.....	7
I.3.2.4-Puissance maximale .....	7
I.3.2.5-Facteur de forme .....	7
I.3.2.6-Le rendement (%) .....	7
I.3.2.7-La réponse spectrale $R_{sp}$ .....	8
I.4-Les facteurs influençant le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque .....	8
I.4.1-Influence de l'ensoleillement .....	8
I.4.2- Influence de la température : .....	9
I.5-Les Différents technologies de la cellule solaire .....	9
I.5.1-Cellules monocristallines .....	10
I.5.2-Cellules polycristallines .....	10
I.5.3-Cellules amorphes.....	10
I.5.4-Cellules à multi-jonction.....	11
I.5.5-Cellules en couches minces .....	11
I.6- Générateur photovoltaïque.....	12
I.6.1-Association série :.....	12
I.6.2-Association parallèle :.....	12
I.7-Les différents systèmes photovoltaïques .....	13
I.8-Le Système autonome.....	13
I.8.1-les avantages et les inconvénients des énergies solaires autonomes.....	13
I.8.1.1-les avantages .....	13
I.8.1.2- Les inconvénients .....	14



I.9-Composition d'un système PV autonome.....	14
I.9.1- Le générateur PV .....	15
I.9.2 - Les convertisseurs.....	15
I.9.2.1-L'onduleur convertisseur DC/AC .....	15
I.9.2.2-L'hacheur convertisseur DC/DC .....	16
I.9.3- Les batteries .....	17
I.9.4- Les régulateurs.....	18
I.10- Conclusion .....	18
<b>Chapitre II : Modélisation et simulation d'un module photovoltaïque.....</b>	<b>19</b>
II.1- Introduction .....	20
II.2- Modélisation d'une cellule solaire.....	20
II.3-Simulation d'une cellule PV à base de Matlab/Simulink .....	21
II.4-Effet de température .....	27
II. 5-Effet d'éclairement solaire .....	29
II.6-Conclusion.....	30
<b>Chapitre III : Dimensionnement d'un système PV autonome. ....</b>	<b>31</b>
III.1- Introduction .....	32
III.2 -Présentation du logiciel PVSYST .....	32
III.2.1-Définition du logiciel .....	32
III.3-Principe de dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome.....	32
III.4-Étapes du dimensionnement.....	33
III.5-Coordonnées géographiques du site.....	33
III.6-Consommation journalière des appareils .....	34
III.7-Suggestions pré-dimensionnement.....	34
III.8-Dimensionnement par PVSYST .....	35
III.8.1-Dimensionnement des panneaux.....	35
III.8.1.1-Nombre de modules .....	35
III.8.2-Dimensionnement du régulateur .....	35
III.8.3-Dimensionnement des batteries .....	36
III.9-Résultats de la simulation.....	36
III.9.1-Indice de performance et fraction solaire.....	36
III.9.2-Bilan des résultats .....	37
III.9.3-Diagramme des pertes .....	38
III.10-Dimensionnement a main levé .....	39
III.11- Conclusion .....	41
<b>Chapitre IV : Système photovoltaïque autonome.....</b>	<b>42</b>
IV.1- Introduction.....	43
IV.2-Structure du système .....	43

IV.2.1-Analyse de la charge : .....	45
IV.3-Résultats et Interprétations : .....	46
IV.3.1-Les batteries .....	48
IV.3.2-Le générateur photovoltaïque .....	50
IV.4-Conclusion .....	54
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>55</b>
Références bibliographiques .....	58

## Liste des figures

### Chapitre I :

Figure I.1:L'immigration des électrons pour que le photon incident crée une paire électron / trou. ....	5
Figure I.2: Caractéristique $I=f(V)$ d'une cellule solaire. ....	6
Figure I.3: L'influence d'ensoleillement sur la puissance et la tension d'une cellule solaire. ....	8
Figure I.4:L'influence de la température sur la puissance et la tension d'une cellule solaire. ....	9
Figure I. 5: Les technologies standard de la cellule solaire au silicium. ....	11
Figure I. 6: Cellules PV connectées en série avec leur caractéristique courant-tension. ....	12
Figure I.7: Cellules PV connectées en parallèle avec leur caractéristique courant-tension. ....	12
Figure I. 8 : Schéma décrivant le système photovoltaïque Autonome. ....	15
Figure I. 9: Convertisseur DC/AC [10]. ....	16
Figure I. 10: Convertisseur DC/DC [10]. ....	17

### Chapitre II :

Figure II. 1: Modèle électrique d'une cellule PV. ....	20
Figure II.2:Bloc schématique d'un module solaire sous Matlab/Simulink. ....	21
Figure II. 3: Bloc schématique sous Matlab/Simulink pour le calcul de $I_{ph}$ ....	22
Figure II. 4: Bloc schématique sous Matlab/Simulink pour le calcul de $I_{rs}$ . ....	23
Figure II. 5: Bloc schématique sous Matlab/Simulink pour le calcul de $I_0$ . ....	24
Figure II. 6: Bloc schématique sous Matlab/Simulink pour le calcul de $I_{sh}$ . ....	24
Figure II. 7: Bloc schématique sous Matlab/Simulink pour le calcul de $I$ . ....	25
Figure II. 8: Bloc d'un module solaire sous Matlab/Simulink dans les conditions standards. ....	27
Figure II. 9 : Variation de la caractéristique $I(V)$ en fonction de température. ....	27
Figure II. 10: Variation de la caractéristique $P(V)$ en fonction de température. ....	28
Figure II. 11: Variation de la caractéristique $I(V)$ en fonction de l'éclairement solaire. ....	29
Figure II. 12: Variation de la caractéristique $P(V)$ en fonction de l'éclairement solaire. ....	29

### Chapitre III :

Figure III. 1: Coordonnés géographiques de site étudié. ....	33
Figure III. 2: Consommation journalière des appareils. ....	34
Figure III. 3: Choix de module. ....	35
Figure III. 4: Nombre de modules. ....	35
Figure III.5: Choix de régulateur. ....	35
Figure III. 6: Choix de batterie. ....	36
Figure III. 7: Indice de performance et fraction solaire. ....	36
Figure III. 8: Bilan des résultats. ....	37
Figure III. 9: Diagramme des pertes. ....	38

## Chapitre IV :

Figure IV. 1: Vu extérieure de la salle de mesure.....	43
Figure IV. 2: Système PV utilisé.....	43
Figure IV. 3 : l'armoire électrique. ....	44
Figure IV. 4: Branchement d'appareil de mesure PROVA avec le module.....	44
Figure IV. 5: Les résultats obtenus. ....	45
Figure IV. 6: Profile de la charge.....	46
Figure IV. 7: Caractéristique de décharge de la batterie. ....	48
Figure IV. 8: Variation de l'état de charge de la batterie. ....	49
Figure IV. 9: Variation horaire de la tension de la batterie. ....	50
Figure IV. 10: Rayonnement solaire avec et sans système de poursuite de soleil par temps clair. .....	51
Figure IV. 11: Variation horaire de la puissance du PV dans les conditions de test réel (ciel partiellement nuageux).....	51
Figure IV. 12: Variation horaire de PV charge. ....	52
Figure IV. 13: Variation horaire de courant du GPV.....	53

## Liste des tableaux

### **Chapitre II :**

Tableau II. 1: les paramètres de la cellule PV..... 26

### **Chapitre IV :**

Tableau IV. 1: Différents paramètres électriques obtenus. .... 46

# **Introduction générale**

Aujourd'hui, plus de 85% [1] d'énergie utilisée dans le monde provient de gisement de Combustible fossile (charbon, pétrole, gaz) ou d'uranium, constitués au fil des âges et de l'évolution géologique [2].

La limitation de la quantité de ces réserves, la crise successive du pétrole en 1973 et l'accroissement de la demande d'énergie dans tous les pays du monde ont conduit les pays industrialisés à chercher et à développer de nouvelles sources d'approvisionnement. La filière nucléaire était déjà lancée, mais son choix à grande échelle peut amener des conséquences graves, surtout à l'environnement, à cause de la pollution et aussi les accidents nucléaires [3].

Les chercheurs ont développé une autre forme d'énergie dite « énergie renouvelable ». Ces énergies renouvelables ont toutes l'immense avantage d'être d'origines naturelles, inépuisables et non-polluantes puisqu'elles n'émettent pas de gaz favorisant l'effet de serre, CO<sub>2</sub>.

Entre autres, on distingue l'énergie éolienne, l'énergie hydroélectrique, la biomasse et l'énergie solaire.

Parmi ces énergies renouvelables, on peut citer la production d'électricité d'origine solaire par l'effet photovoltaïque (cellules solaires ou photopiles). La conversion de la lumière en électricité (conversion photovoltaïque) se produit dans des matériaux semi-conducteurs. Le photovoltaïque peut jouer un rôle important dans la transition vers un système d'approvisionnement énergétique durable pour le XXI<sup>ème</sup> siècle et est susceptible de couvrir une part importante des besoins en électricité de plusieurs pays.

L'Algérie avec sa situation géographique, favorise le développement de l'utilisation des énergies solaire. Elle occupe une position privilégiée dans l'exploitation d'énergie solaire avec une durée d'ensoleillement qui varie de 2650 heures /an dans le nord à 3500 heures/an dans le sud, l'une des plus élevées au monde. Elle reçoit le maximum d'énergie lors du solstice d'été (21 ou 22 juin) et le minimum lors du solstice d'hivers (21 ou 22 décembre)[4].

Dans ces dernières années, la production d'électricité à partir de la conversion photovoltaïque augmente dans le monde d'une façon remarquable.

En effet, L'utilisation de l'énergie PV autonome est de plus en plus utilisée dans diverses applications en sites isolés tels l'éclairage, les télécommunications, la réfrigération ou le pompage...etc.

Dans le cadre d'une collaboration entre l'université SAAD DAHLEB BLIDA 1 et l'UDES, ce travail a été proposé. Nous amènes à étudier une chaîne de conversion d'énergie solaire en électricité autonome d'une salle d'acquisition de données à BOUSMAIL (UDES).

Le travail présenté dans cette thèse est composé de quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous présentons un aperçu général du photovoltaïque, des cellules solaires et de leurs différentes caractéristiques et technologies. L'effet de la température et de l'ensoleillement a été expliqué ainsi que le système autonome.

Le second chapitre détaille la modélisation et la simulation de fonctionnement électrique d'un module photovoltaïque par Matlab/Simulink.

Le troisième chapitre, est consacré à faire un dimensionnement global pour notre salle de mesure afin de définir et de déterminer le type d'équipements utilisés.

Le quatrième chapitre est dédié à l'étude pratique du système autonome et la présentation des résultats obtenus. Nous avons donné l'architecture à base de panneaux solaire pour fournir l'électricité à la salle de mesure. Nous avons ajouté un système de stockage pour assurer la disponibilité d'énergie.

Finalement, on termine par une conclusion générale qui regroupe tous les principaux résultats de ce travail et les perspectives.



# **Chapitre I : Généralités sur le système photovoltaïque autonome.**

## **I.1- Introduction**

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.

L'augmentation du coût des énergies classiques fossile d'une part, et la limitation de leurs ressources d'autre part, font que l'énergie solaire devient de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre [5].

L'Algérie, compte tenu de sa position géographique, dispose de l'un des gisements solaires les plus élevés au monde ainsi sa surface et son potentiel devenus des paramètres qui encouragent l'exploitation de cette énergie et offrent une utilisation de façon permanente.

Notamment dans les sites isolés, la meilleure solution pour la production d'électricité est l'utilisation du système solaire autonome qui répond au besoin énergétique.

Ce chapitre décrit en détail la conversion d'énergie solaire en électricité et les caractéristiques de la cellule solaire. Les facteurs influençant le fonctionnement des cellules solaires sont éclaircis, ainsi que leurs différentes technologies. Enfin, les différents constituants du système autonome sont présentés.

## **I.2- Historique : Découverte de l'effet photovoltaïque**

L'utilisation de l'énergie solaire est un fait très ancien. L'énergie solaire est à l'origine de la vie sur Terre : les premiers organismes photosynthétiques l'utilisaient déjà il y a 3,6 milliards d'années pour produire leur matière organique, l'évolution des techniques d'exploitation de l'énergie solaire s'est faite en plusieurs phases [6] :

Tout d'abord, le mot photovoltaïque vient du grec « Photos » qui signifie lumière et de « Volta » du nom du physicien italien « Alessandro VOLTA » qui en 1800 découvrit la pile électrique [7].

En 1839, le physicien français « Antoine Becquerel » et son fils « Alexandre Edmond » présentent par Hazard pour la première fois un effet photoélectrique, leur expérience permet d'observer le comportement électrique d'électrode immergée dans un liquide modifié par un éclairage.

Une nouvelle voie d'exploitation de l'énergie solaire s'ouvre alors. Il faudra attendre l'année 1900 pour qui « Einstein » explique cet effet en 1910 pour qu'il soit mis en évidence par « Robert Andrew Millikan ».

Après 1913, naissent les premières cellules photovoltaïques, mais ce n'est qu'en 1916 que Robert Millikan parvient à produire un courant continu. Le premier véritable panneau solaire, avec un rendement de 6 %, a été développé en 1954 par les chercheurs des laboratoires « Bell » [8].

### **I.3-Principe de la conversion photovoltaïque**

Aujourd'hui la conversion photovoltaïque est largement utilisée, elle peut être simplement définie comme la transformation de l'énergie des photons en énergie électrique grâce au processus d'absorption de la lumière par la matière.

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente. Quand un photon incident gain de lumière interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie  $h\nu$  (énergie de photon qui dépend de la constante de PLANCK et la fréquence de la lumière) à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure[9].

La figure (I.1) explique l'immigration d'électron de la bande de valence vers la bande de conduction.

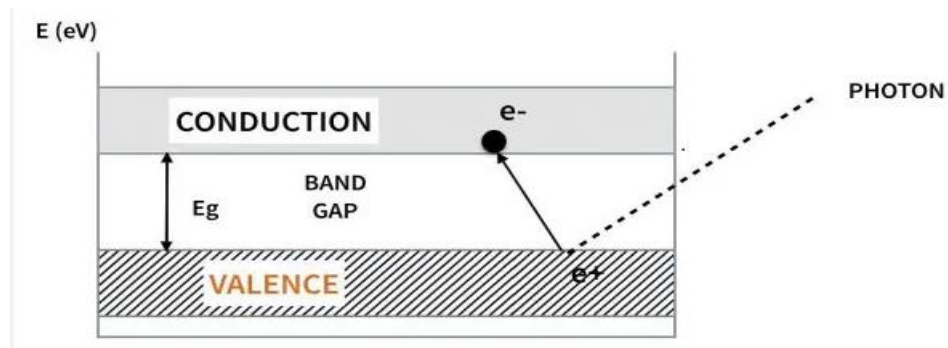


Figure I.1: L'immigration des électrons pour que le photon incident crée une paire électron / trou.

### I.3.1-La Cellule solaire

La cellule photovoltaïque ou encore photopile est le plus petit composant optoélectronique d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériau semi-conducteur et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique [10].

Les cellules photovoltaïques sont constituées :

- d'une fine couche semi-conductrice (matériau possédant une bande interdite, qui joue le rôle de barrière d'énergie que les électrons ne peuvent franchir sans une excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électroniques) tel que le Silicium, qui est un matériau présentant une conductivité électrique relativement bonne.
- d'une couche anti-reflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires.
- d'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode.
- les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multicouches réfléchissants justes en dessous du semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement [11].

### I.3.2-Caractéristiques électriques d'une cellule solaire :

#### I.3.2.1-La caractéristique I(V)

Dans une condition d'éclairage donné, toute cellule PV est caractérisé par une courbe courant-tension qui représente toutes les configurations électriques que peut prendre la cellule, la Figure (I.2) représente cette caractéristique.

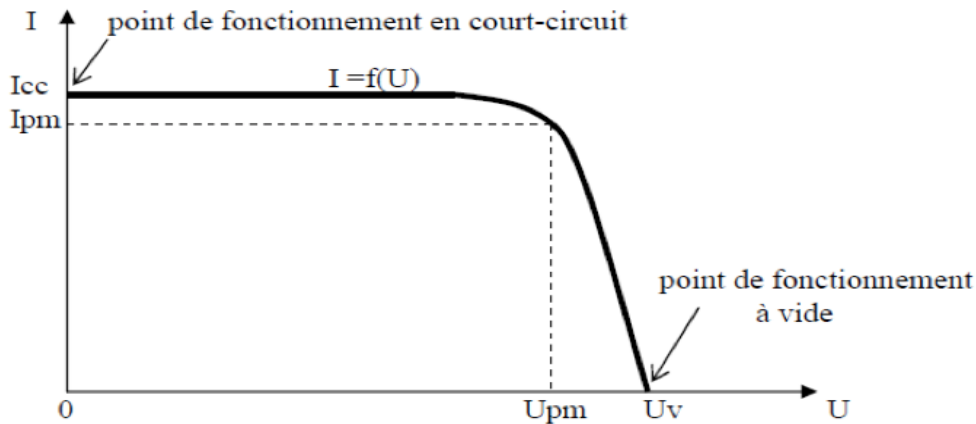


Figure I.2: Caractéristique  $I=f(V)$  d'une cellule solaire.

#### I.3.2.2-La tension en circuit ouvert

C'est la tension aux bornes de la cellule lorsqu'elle n'est pas connectée à une charge ou lorsqu'elle est connectée à une charge de résistance infinie. Elle est donnée par l'équation suivante [10]:

$$V_{oc} = K_B \cdot T_c / q \times \log ( I_{ph} / I_0 + 1 ). \quad (I.01)$$

Avec :

$K_B$  : la constante de Boltzmann ( $1,3805 \cdot 10^{-23}$  Nm/Kelvin).

$q$  : la charge d'un électron.

$T_c$  : la température absolue.

$I_0$  : le courant de saturation.

$I_{ph}$  : le photo courant.

### I.3.2.3-Le courant de court-circuit

Il s'agit du courant lorsque le potentiel appliqué à la cellule est nul. C'est le plus grand courant que la cellule peut fournir. Celui-ci est en fonction de la température, de la longueur d'onde du rayonnement, de la surface activée de la cellule, de la mobilité des porteurs. Ce courant est linéairement dépendant de l'intensité lumineuse reçue [10].

### I.3.2.4-Puissance maximale

Pour une cellule solaire idéale la puissance maximale est obtenue pour une tension de circuit ouverte  $V_{co}$  et un courant de court-circuit  $I_{cc}$ .

$$P_{\max\_idéal} = V_{co} \times I_{cc} . \quad (I.02)$$

En pratique, la courbe caractéristique d'une cellule PV est plus arrondie, et la tension au point de puissance maximale  $V_{pm}$  est inférieure à la tension de circuit ouvert  $V_{co}$ , de même que le courant fournit  $I_{pm}$  est inférieur, pour cette même tension, au courant de court-circuit  $I_{cc}$  .

la puissance en ce point est :

$$P_{max} = V_{pm} \times I_{pm} . \quad (I.03)$$

### I.3.2.5-Facteur de forme

C'est un paramètre important pour définir la qualité d'une cellule, il est défini par la relation :

$$FF = P_{\max} / I_{cc} \times V_{co} . \quad (I.04)$$

**Pmax** : puissance maximale en Watts-Crète.

**I<sub>cc</sub>** : Le courant de court-circuit.

**V<sub>co</sub>** : La tension en circuit ouvert.

### I.3.2.6-Le rendement (%)

Le rendement  $\eta$  de la convection PV est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente [12] .

### I.3.2.7-La réponse spectrale $R_{sp}$

C'est le rapport entre le courant de court-circuit produit par la cellule et la puissance optique incidente, fonction des différentes longueurs d'onde qui forment le rayonnement incident.

$$R_{sp} = I_{cc} / P_{inc}. \quad (I.05)$$

$I_{cc}$  : le courant de court-circuit.

$P_{inc}$  : la puissance lumineuse incidente.

## I.4-Les facteurs influençant le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

On peut remarquer que la caractéristique  $I(V)$  d'un panneau photovoltaïque dépend fortement de l'insolation et de la température.

### I.4.1-Influence de l'ensoleillement :

Une baisse de l'ensoleillement provoque une diminution de la création de paires électron-trou avec un courant changé à l'obscurité. Le courant du panneau solaire étant égal à la soustraction de la photo courant et du courant de diode à l'obscurité, la figure (I.3) représente la variation de courant en fonction de puissance et de tension [11]. De la caractéristique  $I(V)$  on peut déduire la caractéristique de la puissance électrique générée par la cellule en fonction de la tension à ses bornes. Il existe une valeur de photo courant correspondant à une tension aux bornes de la cellule pour laquelle cette puissance électrique générée est optimum. Ce point s'appelle le MPPT (Maximum Power Point Tracking).

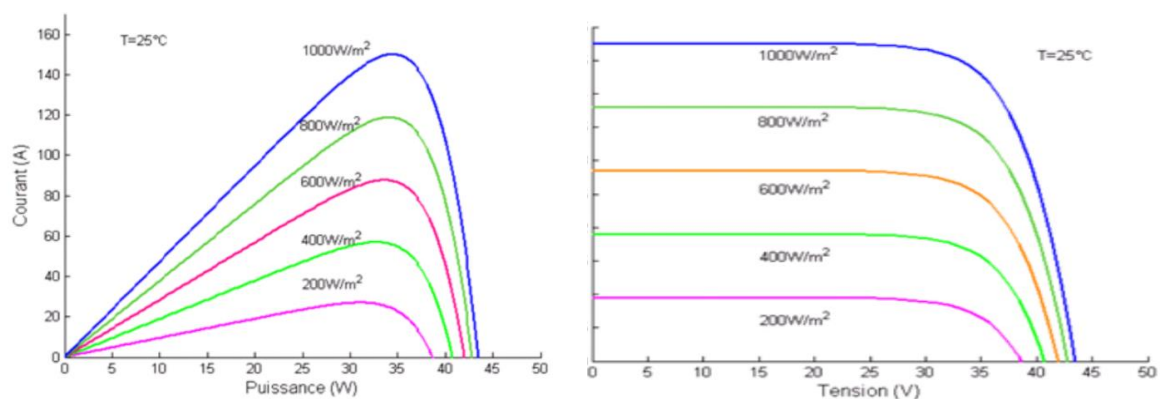


Figure I.3: L'influence d'ensoleillement sur la puissance et la tension d'une cellule solaire.

### I.4.2- Influence de la température :

On s'aperçoit que le courant délivré par chaque cellule dépend de la température interne de la jonction PN qui constitue la cellule PV. Si on considère le réchauffement d'un module PV de 25°C à 50°C et si l'on considère en première approximation que la température face arrière de chaque cellule est proche de la température de la jonction PN, alors on peut considérer l'influence de la température. On remarque que la tension de circuit ouvert décroît en fonction d'une augmentation de la température. Par conséquent, on perd de la puissance disponible aux bornes du module PV [11].

La figure (I.4) représente la variation de courant en fonction de puissance et de tension à différente température et ensoleillement constant.

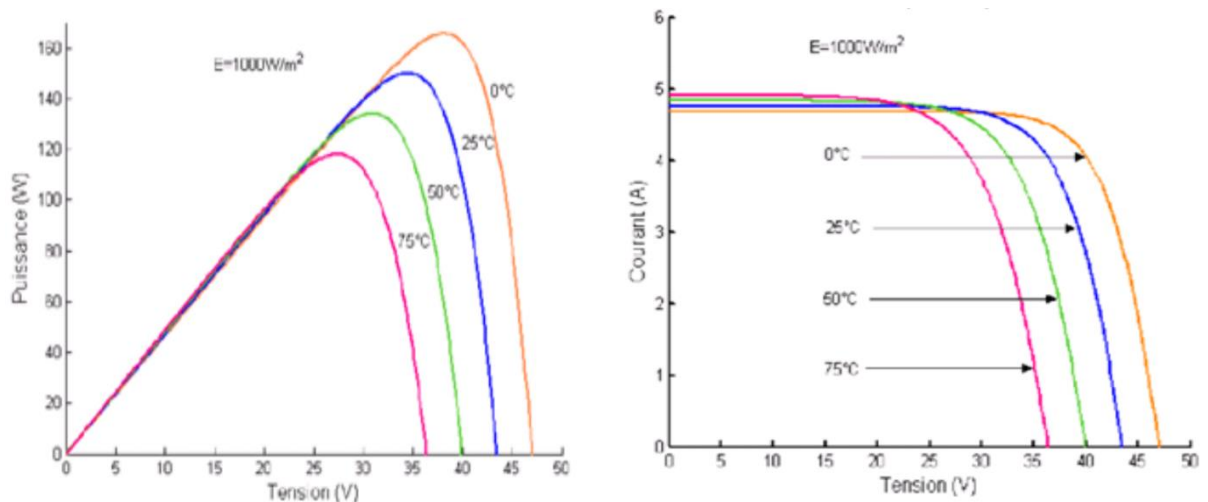


Figure 1.4:L'influence de la température sur la puissance et la tension d'une cellule solaire.

### I.5-Les Différents technologies de la cellule solaire :

Une grande variété de technologies de modules et cellules photovoltaïques existe, on peut les distinguer en trois grandes familles :

- Les technologies standards au silicium : silicium monocristallin (c-Si) et multi cristallin (mc-Si), Ce qui est représenté dans la figure (I.5).
- Les technologies de couches minces : silicium amorphe / silicium micro-cristallin (a-Si/ $\mu$ c-Si), cadmium-tellure (CdTe) et Cuivre-Indium-Selenium (CIS) ou Cuivre-Indium-Gallium-Selenium (CIGS), les cellules à colorant (Dye-sensitized solar cell, DSSC), les cellules organiques.



- Les technologies de haut-rendement : les cellules solaires à multijonctions /à concentration [13].

### **I.5.1-Cellules monocristallines**

Les panneaux PV avec des cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération, elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal. Son procédé de fabrication est long et exigeant en énergie plus onéreux, il est cependant plus efficace que le silicium poly cristallin. Du silicium à l'état brut est fondu pour créer un barreau. Lorsque le refroidissement du silicium est lent et maîtrisé, on obtient un monocristal. Un Wafer (tranche de silicium) est alors découpé dans le barreau de silicium. Après divers traitements (traitement de surface à l'acide, dopage et création de la jonction P-N, dépôt de couche antireflet, pose des collecteurs), le wafer devient cellule. Les cellules sont rondes ou presque carrées et, vues de près, elles ont une couleur uniforme. Elles ont un rendement de 12 à 18%, mais la méthode de production est laborieuse.

### **I.5.2-Cellules polycristallines**

Les cellules polycristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vus de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux (tonalités différentes) Elles ont un rendement de 11 à 15%, et leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines.

Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont aujourd'hui imposées. L'avantage de ces cellules par rapport au silicium monocristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication [14].

### **I.5.3-Cellules amorphes**

Les cellules photovoltaïques amorphes ont un coût de production plus bas, mais malheureusement leur rendement n'est que 6 à 8% actuellement.

Cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. Le rendement de ces panneaux est moins bon que celui des technologies polycristallines ou monocristallines[14].

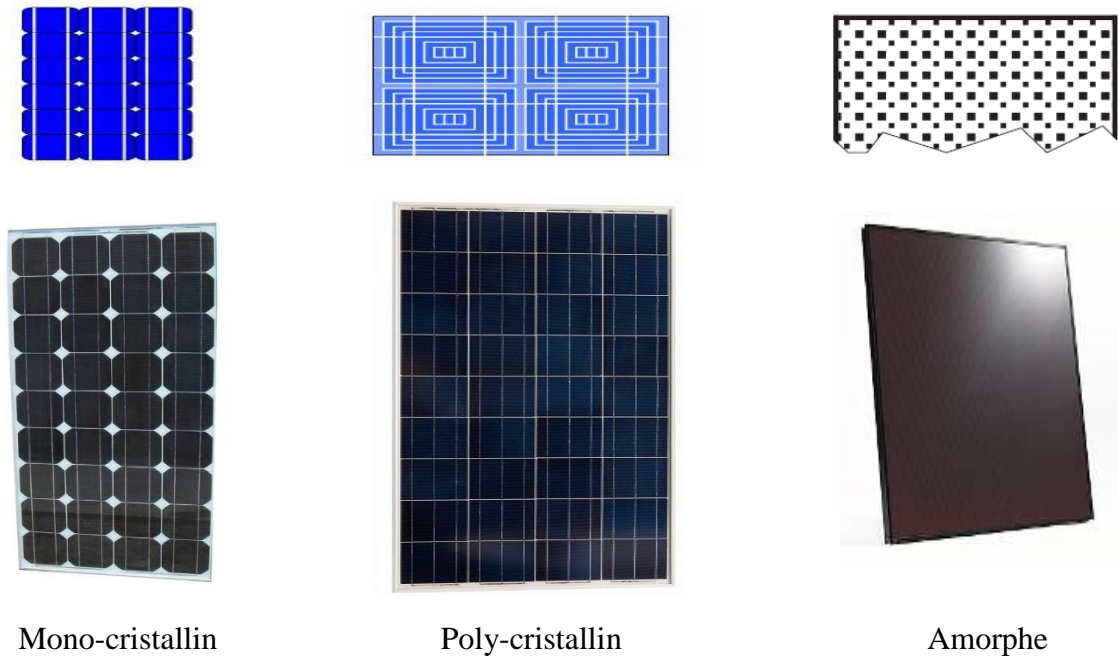


Figure I. 5: Les technologies standard de la cellule solaire au silicium.

#### **I.5.4-Cellules à multi-jonction**

Sont constituées de couches de différents semi-conducteurs (gallium, indium, germanium, arsenic) qui absorbent un spectre plus large du rayonnement solaire, elles ont un rendement de plus de 40 % en laboratoire et de plus de 30 % dans la pratique, et on les emploie dans les satellites. Étant donné leur coût relativement élevé, leurs applications commerciales se limitent à de petites surfaces sur lesquelles la lumière peut être concentrée par un jeu de miroirs[15].

#### **I.5.5-Cellules en couches minces**

Les cellules PV dites couche mince (Thin-film) constituent ce que certains appellent les cellules de seconde génération car elles viennent historiquement juste après les cellules en silicium cristallin relativement épaisses. L'intérêt de la technologie couche mince vient de la faible quantité de matériaux nécessaire à la fabrication d'une cellule comparativement aux cellules classiques. Contrairement aux cellules silicium cristallin de première génération, on ne dépose que la quantité de matériau photosensible efficace pour absorber l'essentiel du rayonnement solaire (quelques microns d'épaisseurs suffisent). Par ailleurs, on utilise des méthodes de fabrication moins coûteuses des cellules qui permettent une intégration totale[16].

## I.6- Générateur photovoltaïque

L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un GPV. Cette dernière peut modifier la valeur de la tension totale et l'ampérage du générateur.

### I.6.1-Association série :

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. Comme nous pouvons le constater sur la Figure I.6 [17].

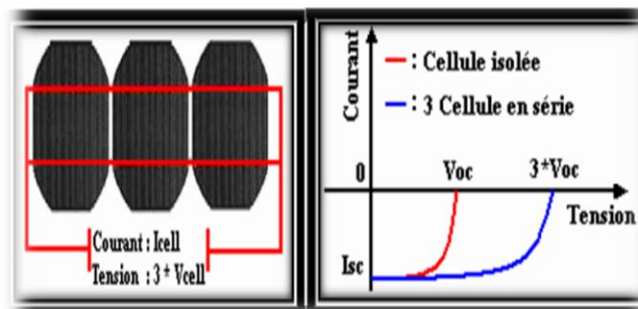


Figure I. 6: Cellules PV connectées en série avec leur caractéristique courant-tension. [18]

### I.6.2-Association parallèle :

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante de groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée [17].

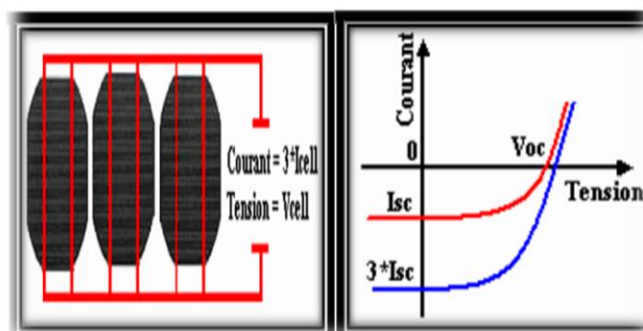


Figure I.7: Cellules PV connectées en parallèle avec leur caractéristique courant-tension. [18]

## **I.7-Les différents systèmes photovoltaïques**

On rencontre généralement trois types de systèmes photovoltaïques :

- Système isolé ou autonome.
- Système raccordé au réseau.
- Système hybride.

Notre étude basée sur un système PV Autonome avec stockage d'énergie.

## **I.8-Le Système autonome**

Il s'agit d'installation de production d'énergie qui doivent garantir une alimentation autonome (indépendante de réseau d'alimentation électrique) des appareils ou des habitations.

Selon l'utilisation du stockage électrochimique, les systèmes photovoltaïques autonomes sont classés comme suit :

- Des systèmes photovoltaïques autonomes avec stockage.
- Des systèmes photovoltaïques autonomes sans stockage (au fil du soleil).

### **I.8.1-les avantages et les inconvénients des énergies solaires autonomes**

#### **I.8.1.1-les avantages :**

- L'approvisionnement fiable de la charge en électricité pendant le temps de fonctionnement.
- Ce système a une longue durée de vie.
- Faibles dépenses d'entretien [17].
- Une consommation d'énergie locale et personnelle.
- Conversion directe de l'énergie solaire gratuite et inépuisable en électricité.

### **I.8.1.2- Les inconvénients :**

- Un investissement de départ souvent très élevé à cause de toutes les installations à mettre en place.
- Pas d'intervention possible du réseau national en cas de dysfonctionnement des équipements, car les équipements ne sont pas rattachés au réseau.
- Les systèmes photovoltaïques de faible puissance requièrent souvent des équipements à courant continu dont l'efficacité énergétique est supérieure à celle des équipements à courant alternatif, mais dont le coût est souvent plus élevé.

## **I.9-Composition d'un système PV autonome**

Essentiellement dans une chaîne représentant un système autonome, le module photovoltaïque nécessite d'autres équipements solaires pour le bon fonctionnement du système.

Un système photovoltaïque sera donc constitué du générateur PV précédemment décrit, généralement associé à l'un ou plusieurs des éléments suivants [19] :

- un système d'orientation ou de suivi (rencontré assez rarement sous nos latitudes),
- une gestion électronique (stockage, mise en forme du courant, transfert de l'énergie), régulateur.
- un stockage palliant la nature aléatoire de la source solaire, des batteries.
- un convertisseur.
- une charge.

La figure (I.8) montre les différents composants d'un système PV autonome.

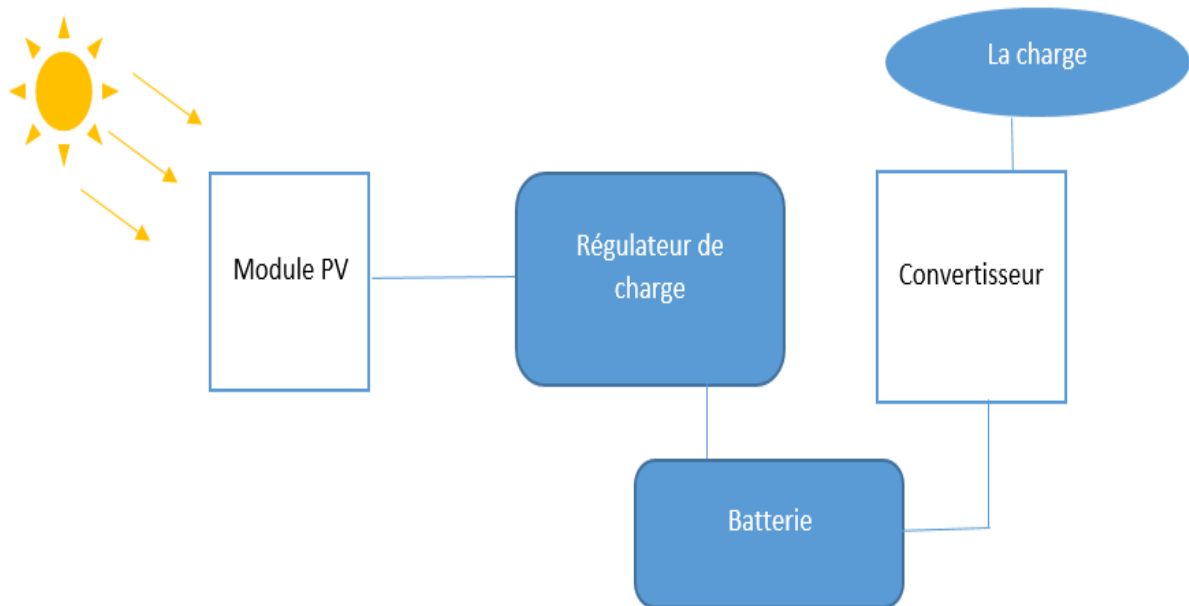


Figure I. 8 : Schéma décrivant le système photovoltaïque Autonome.

### **I.9.1- Le générateur PV**

Un générateur photovoltaïque est un ensemble de modules connectés assurant la production de l'électricité dans un système photovoltaïque.

### **I.9.2 - Les convertisseurs**

Les convertisseurs de puissance sont des dispositifs de conversion électroniques servant à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant soit à une tension continue différente, soit à une tension alternative.

#### **I.9.2.1-L'onduleur convertisseur DC/AC**

L'onduleur est un élément essentiel pour une installation photovoltaïque.

C'est une machine d'électronique de puissance qui transforme l'énergie électrique DC issue des modules PV en énergie électrique AC, directement utilisable localement ou injectée sur le réseau. L'onduleur raccorder au réseau doit être équipé d'un dispositif automatique de déconnexion du réseau (protection de découplage) : lorsque la tension du réseau chute ou disparaît, l'onduleur doit instantanément se déconnecter pour éviter toute

injection de courant à ce moment (sécurité). De même, l'onduleur doit être équipé d'un mécanisme de protection contre l'injection de courant continu sur le réseau.

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par le générateur solaire, en courant alternatif monophasé ou triphasé ce qui est montré dans la figure (I.9). Un onduleur est habituellement conçu pour fonctionner sur une plage assez réduite [20].

Nous distinguons plusieurs types d'onduleurs suivant la qualité du signal de sortie :

- Onduleur à onde sinusoïdale modifiée, en marche d'escalier, générateur d'une onde proche de l'onde sinusoïdale
- Onduleur à modulation de largeur d'impulsion MLI ou PWM (pulse-width modulation).
- Onduleur à onde sinusoïdale.

Onduleur non raccordé au réseau (Applications autonomes): ces onduleurs génèrent un signal de 220V d'amplitude et de 50 Hz de fréquence de manière à créer un réseau AC. Ils peuvent être combinés à un régulateur de charge et des batteries pour stocker de l'énergie pour une utilisation de nuit [21].

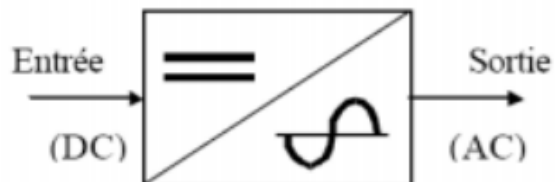


Figure I. 9: Convertisseur DC/AC [10].

### I.9.2.2-L'hacheur convertisseur DC/DC

Les convertisseurs continus ont pour fonction de fournir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe. La tension continue de départ peut être un réseau alternatif redressé et filtré, une batterie d'accumulateurs, une alimentation stabilisée, la figure (I.10) représente la transformation du courant.

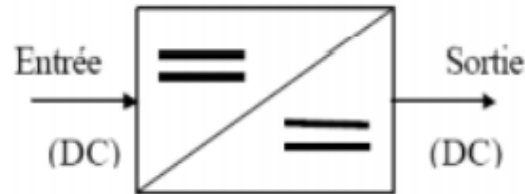


Figure I. 10: Convertisseur DC/DC [10].

### I.9.3- Les batteries

Une fois que les panneaux solaires produisent de l'électricité, si nous ne l'utilisons pas tout de suite, nous devons la stocker pour une utilisation ultérieure. C'est le cas des systèmes photovoltaïques autonomes avec capacités de stockage.

C'est une configuration la plus courante des systèmes photovoltaïques autonomes, elle comporte des batteries qui emmagasinent l'énergie électrique produite par le générateur photovoltaïque au cours de la journée. Donc, le stockage électrochimique dans les batteries est indispensable pour assurer le fonctionnement nocturne ou durant un nombre de jours prédéfinis dans le dimensionnement des systèmes photovoltaïques.

Le stockage d'énergie électrique joue un rôle important dans les installations à énergies renouvelables, on distingue plusieurs technologies de stockage tel que les batteries spécifiques, appelées batteries à décharge lente ou batteries solaires, les piles à combustibles, les roues inertielles, etc. les batteries sont les plus utilisées. Un accumulateur électrochimique ou batterie est un système permettant de convertir de l'énergie électrique en une énergie potentielle chimique durant la phase de charge et de convertir l'énergie potentielle chimique en une énergie électrique lors de la décharge, sans émission de polluants, sans nuisance sonore et avec des conditions de maintenance réduites. Elles sont caractérisées par leurs durées de vie en nombre de cycle de charge /décharge et leurs densités d'énergie et de puissance.

Il existe plusieurs types de batteries dont les batteries au nickel, les batteries acides plomb[10].

Les batteries solaires sont conçues pour fonctionner pendant un certain nombre de cycles.



les batteries solaires GEL durent plus longtemps:

- Batterie solaire au plomb ouvert : 400 à 500 cycles.
- Batterie solaire AGM : 600 à 700 cycles.
- Batterie solaire GEL : 800 à 900 cycles.

#### **I.9.4- Les régulateurs**

Le régulateur de charge empêche la batterie d'être surchargée ou profondément déchargée, prévenant ainsi tout risque de dommage aux batteries et à l'ensemble de l'installation. Il peut également signaler les dysfonctionnements du générateur ou de la batterie.

#### **I.10- Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'énergie photovoltaïque. Ensuite on a expliqué brièvement le fonctionnement d'une cellule selon l'effet PV, ces caractéristiques puis l'influence des différents paramètres extérieurs sur ces derniers, dont le courant de court-circuit évolue principalement avec l'éclairement et la tension à circuit ouvert avec la température.

Finalement, on a cité les divers systèmes photovoltaïques et on a basé sur le système autonome, nous avons évoquée tous les éléments constitutifs de ce système, ainsi que leurs principes de fonctionnements.

## **Chapitre II : Modélisation et simulation d'un module photovoltaïque.**

## II.1- Introduction

Dans ce chapitre, nous allons modéliser et simuler le fonctionnement électrique d'un module photovoltaïque dont l'objectif est de comprendre l'influence de la température interne, et l'éclairement solaire sur les grandeurs électriques comme le courant, la tension, et la puissance. Les courbes du courant en fonction de la tension  $I$  (V) et la puissance en fonction de la tension  $P$  (V) sont couramment utilisées pour illustrer les sorties des cellules PV et les panneaux photovoltaïques [18]. Nous allons simuler notre module pour différentes conditions météorologiques ce qui permettra de tracer les courants et les puissances en fonction de la tension.

Le comportement de la caractéristique ( $I$ - $V$ ) de la cellule PV sera simulé par Matlab/Simulink.

L'intérêt de ce travail est l'étude théorique de cette caractéristique en fonction de l'ensoleillement solaire reçu par la cellule ainsi que la variation de la température.

## II.2- Modélisation d'une cellule solaire

La figure (II.1) présente le circuit équivalent d'une cellule solaire photovoltaïque qui consiste en une source de courant idéale, branchée avec une ou deux diodes en parallèle et une résistance série  $R_s$ . La première diode décrit les propriétés de semi-conducteur de la cellule et la seconde modélise le phénomène de recombinaison des porteurs de charge. Le modèle à une diode (empirique) est actuellement le plus utilisé en raison de sa simplicité. Il permet d'exprimer l'intensité d'un module PV en fonction de la tension à ses bornes et des conditions climatiques (ensoleillement et température ambiante) [22].

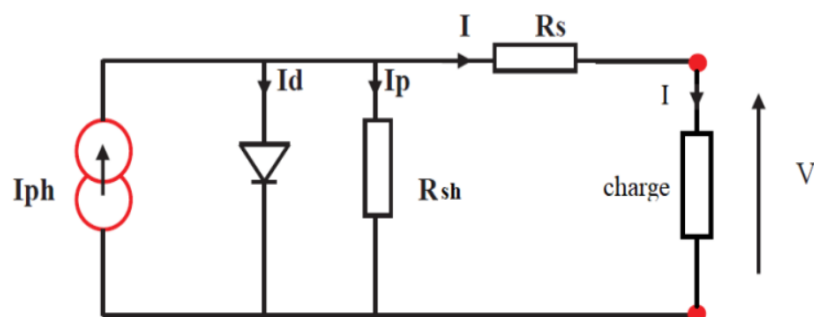


Figure II. 1: Modèle électrique d'une cellule PV.

## Chapitre II : Modélisation et simulation d'un module photovoltaïque.

Selon la loi de Kirchoff, la caractéristique I(V) est donnée par :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} . \quad (II.01)$$

**Avec :**

I : le courant délivré par la cellule(A).

I<sub>ph</sub>: Photo courant(A).

I<sub>d</sub>: Courant de diode(A).

I<sub>sh</sub> : Le courant de la résistance shunt(A).

### II.3-Simulation d'une cellule PV à base de Matlab/Simulink

Le but de cette partie est d'étudier l'influence de différents paramètres sur l'allure de la caractéristique I(V) et P(V) de la cellule solaire. Pour cela, un modèle en Matlab/Simulink a été conçu en se basant sur l'équation (II.01).

La figure suivante (Figure II.2) illustre le bloc schématique obtenu sous Matlab/Simulink de la cellule PV [23].

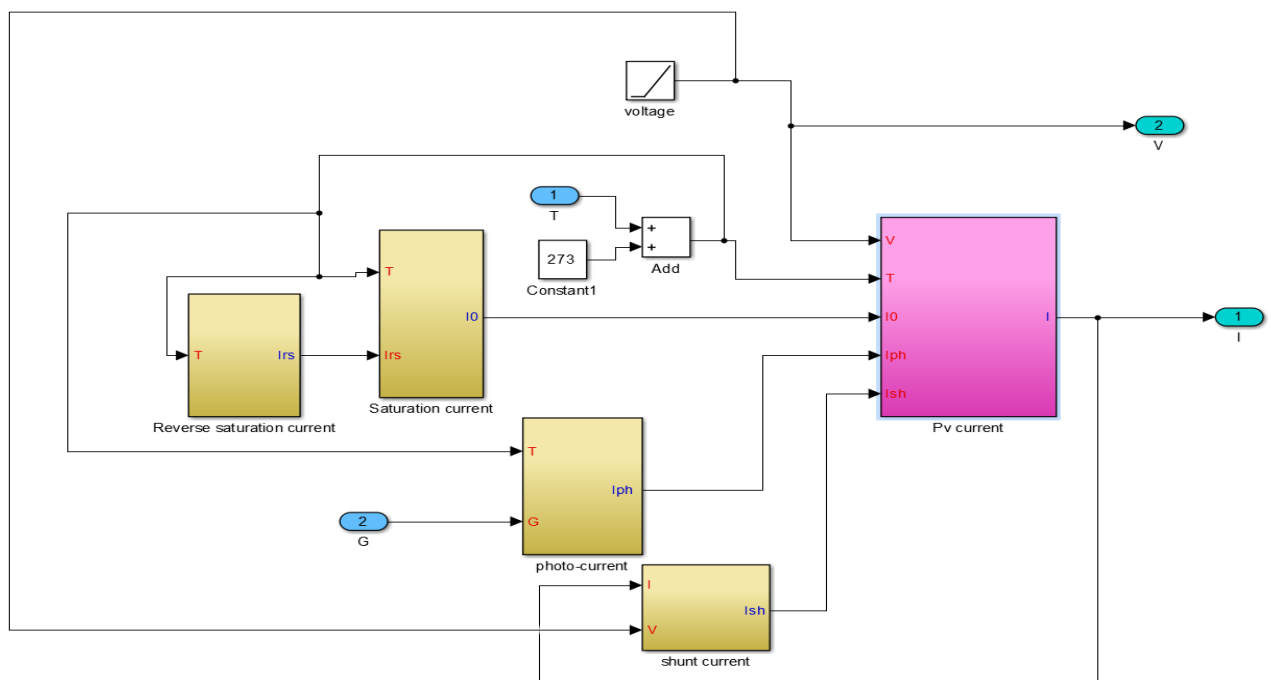


Figure II.2: Bloc schématique d'un module solaire sous Matlab/Simulink.

## Chapitre II : Modélisation et simulation d'un module photovoltaïque.

$I_{ph}$  : est proportionnel à l'intensité de lumière reçue sur la surface active de la cellule.

Tel que : 
$$I_{ph} = [I_{cc} + K_i (T-298)] \frac{G}{1000} . \quad (II.02)$$

Où :

$I_{cc}$  : le courant court-circuit.

$K_i$  : constante liée à la cellule en (A/°K).

$T$  : la température de la cellule en °K.

$G$  : gisement solaire en W/m<sup>2</sup>.

En se basant sur cette équation, le courant photo généré est modélisé comme la figure ci-dessous montre :

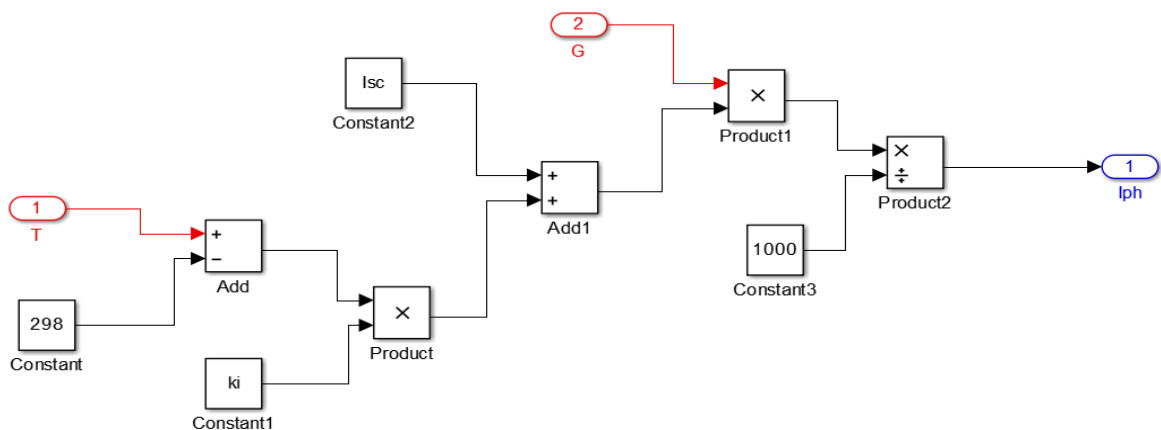


Figure II. 3: Bloc schématique sous Matlab/Simulink pour le calcul de  $I_{ph}$ .

$I_0$  c'est le courant inverse de saturation de la diode.

$$I_0 = I_{rs} \left( \frac{T}{T_n} \right)^3 \exp \left[ \frac{q \cdot E_{g0} \cdot \left( \frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right)}{n \cdot K} \right] \quad (II.03)$$

## Chapitre II : Modélisation et simulation d'un module photovoltaïque.

Avec :

$I_{rs}$  : le courant de saturation inverse, donné par :

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{e^{\left(\frac{q \cdot V_{oc}}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}\right)} - 1} \quad (\text{II.04})$$

Où :

$V_{oc}$  : tension circuit ouvert en V.

T : température de la cellule.

$T_n$  : température de référence 298 K (25°C).

$E_{g0}$  : énergie de la bande interdite de la cellule en eV .

q : charge d'électron  $1.602 \cdot 10^{-9}$  C.

$K_b$  : La constante de Boltzmann  $1.381 \cdot 10^{-23}$  J/K.

$R_s$  : résistance en série en  $\Omega$ .

$R_{sh}$  : résistance shunt ou parallèle en  $\Omega$ .

Le courant de saturation inverse peut être modélisé à partir de l'équation précédente comme le montre la figure ci-dessous.

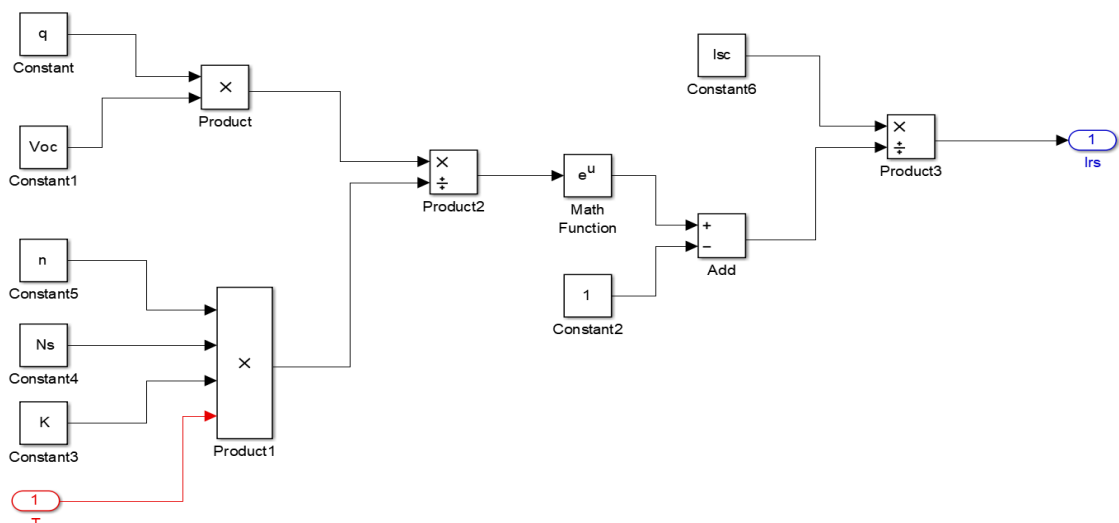


Figure II. 4: Bloc schématique sous Matlab/Simulink pour le calcul de  $I_{rs}$  .

## Chapitre II : Modélisation et simulation d'un module photovoltaïque.

Le courant inverse de saturation de la diode donnée par l'équation (II.03) est représenté par le bloc suivant :

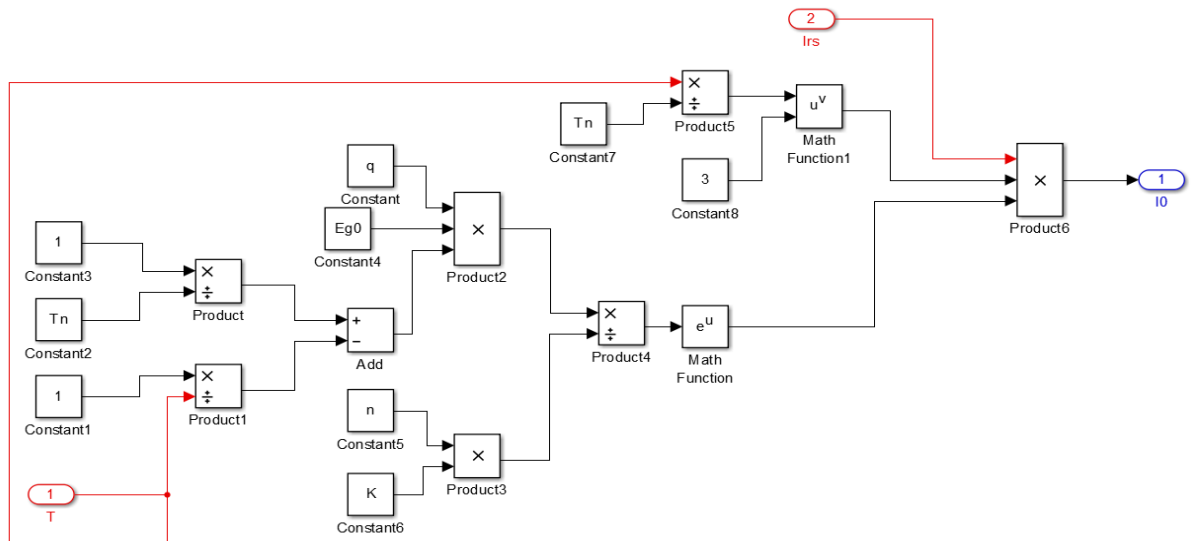


Figure II. 5: Bloc schématique sous Matlab/Simulink pour le calcul d' $I_0$ .

$I_{sh}$  : le courant de résistance shunte.

$$I_{sh} = \left( \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \right) \quad (II.05)$$

Avec :

$I$  : le courant de sortie en A.

$V$  : la tension de sortie en V.

Le bloc schématique suivant représente le courant de la résistance shunt donnée par l'équation (II.05).

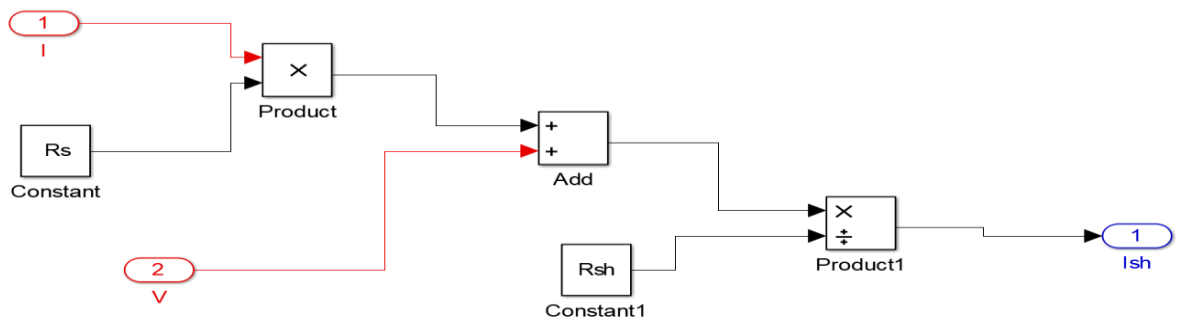


Figure II. 6: Bloc schématique sous Matlab/Simulink pour le calcul de  $I_{sh}$ .

Le courant de la sortie est donné par l'équation suivante :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot K \cdot N_s \cdot T}\right) - 1 \right] - I_{sh} \quad (II.06)$$

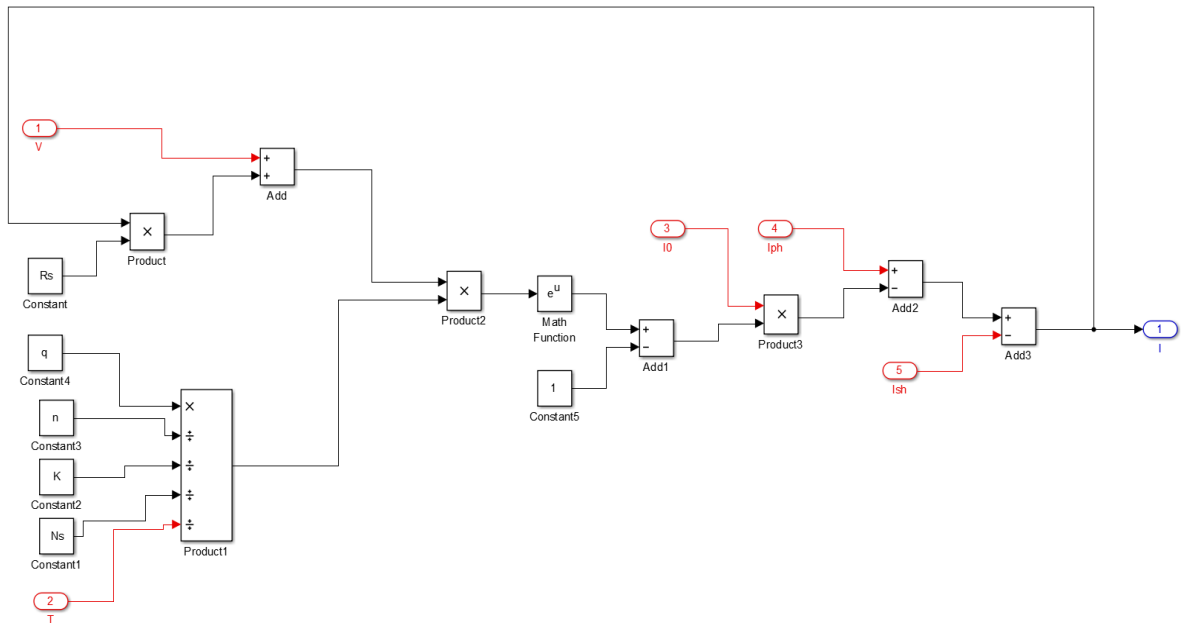


Figure II. 7: Bloc schématique sous Matlab/Simulink pour le calcul de I.

Avec :

$V_t$  : La tension thermique.

$I_0$  : c'est Le courant inverse de saturation au niveau de la diode.

$V_d$  : La tension de la diode.

$T$  : La température de type absolue en kelvin.



## Chapitre II : Modélisation et simulation d'un module photovoltaïque.

Les paramètres de la cellule qu'on a choisie pour la simulation sur Matlab/Simulink dans les conditions standards sont regroupés dans le tableau ci-dessus :

Tableau II. 1: Les paramètres de la cellule PV.

Paramètres	Valeurs
Tension de circuit-ouvert $V_{oc}$ (V)	45
Courant de court-circuit $I_{cc}$ (A)	5.75
Puissance maximale, $P_{max}$ (W)	200
Courant de $P_{max}$ , $I_{mp}$ (A)	5.48
Tension de $P_{max}$ , $V_{mp}$ (V)	38
Energie de gap $E_{g0}$ (eV)	1.1
température de référence $T_n$ (K)	298
charge d'électron $q$ (C)	$1.602 \cdot 10^{-9}$
Facteur idéal $n$	1.3
Coefficient de température en court-circuit $K_i$	0.0032
Nombre de cellules $N_s$	72

## Chapitre II : Modélisation et simulation d'un module photovoltaïque.

Ce modèle en Matlab/Simulink pour le but de montre la variation des graphes I(V) et P(V).

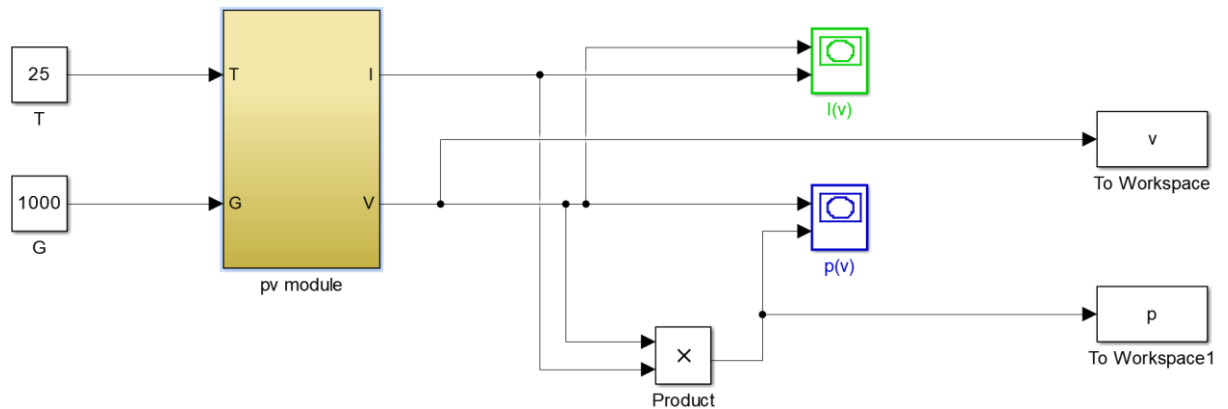


Figure II. 8: Bloc d'un module solaire sous Matlab/Simulink dans les conditions standards.

A l'aide de Matlab on a schématisent l'allure de la caractéristique I(V) et P(V).

### II.4-Effet de température :

Pour un gisement solaire constant  $G=1000 \text{ W/m}^2$  est une variation de température on a obtenir ces graphes qui sont représenter dans les figures II.9 et II.10 :

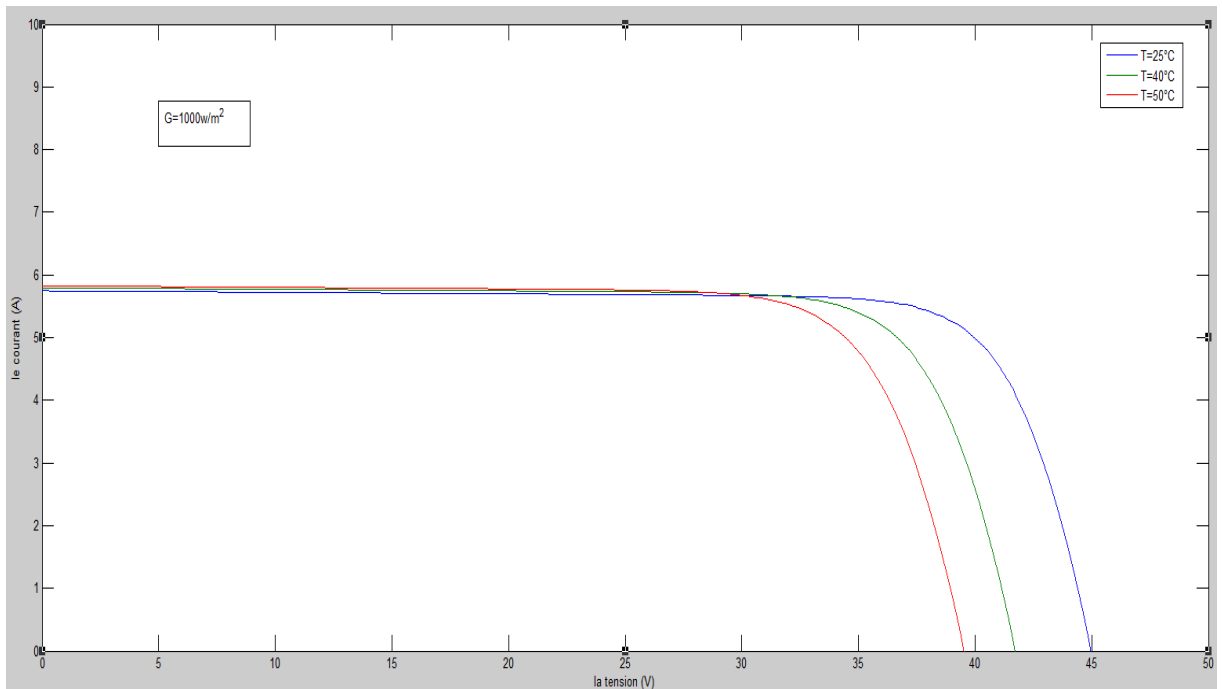


Figure II. 9 : Variation de la caractéristique I(V) en fonction de température.

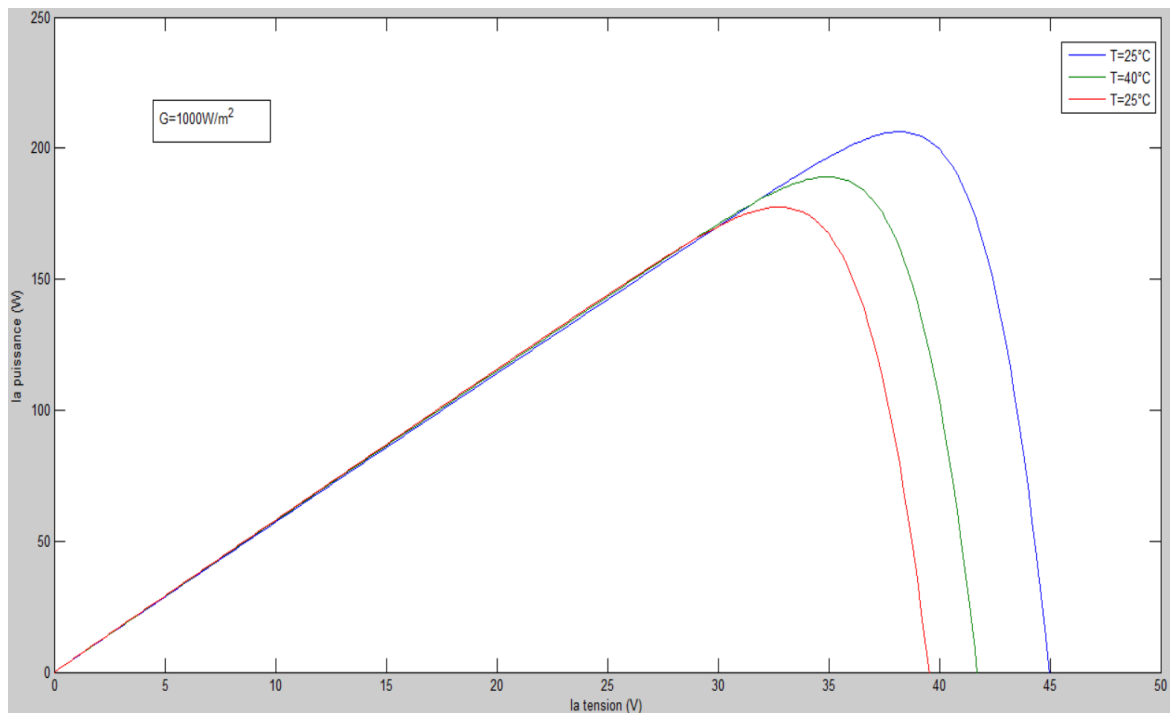


Figure II. 10: Variation de la caractéristique P(V) en fonction de température.

Les différents paramètres de la caractéristique I(V) et P(V) lient au changement climatique tel que la valeur de température et l'éclairement solaire. L'influence de la température est très significative, ce qui nous conduit à une considération soignée, lors de la mise en marche des systèmes photovoltaïques.

D'après les figures II.9 et II.10 on remarque que la tension de circuit ouvert  $V_{co}$  a eu une diminution considérable lorsque la température augmente, tandis que cette augmentation influe légèrement sur la valeur du courant de court-circuit  $I_{cc}$ .

Il faut signaler que l'accroissement du courant sous l'effet d'une hausse de température, peut être négligé au point de puissance maximale, et le comportement global de la cellule en température est une perte de 0,4 à 0,5 %/°C [7].

## II. 5-Effet d'éclairement solaire :

La figure suivante présente l'effet de l'éclairement solaire sur les caractéristiques I(V) et P(V) pour une température constante  $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$  et une variation de gisement solaire  $G = 1000\text{ W/m}^2, 800\text{ W/m}^2, 500\text{ W/m}^2$ .

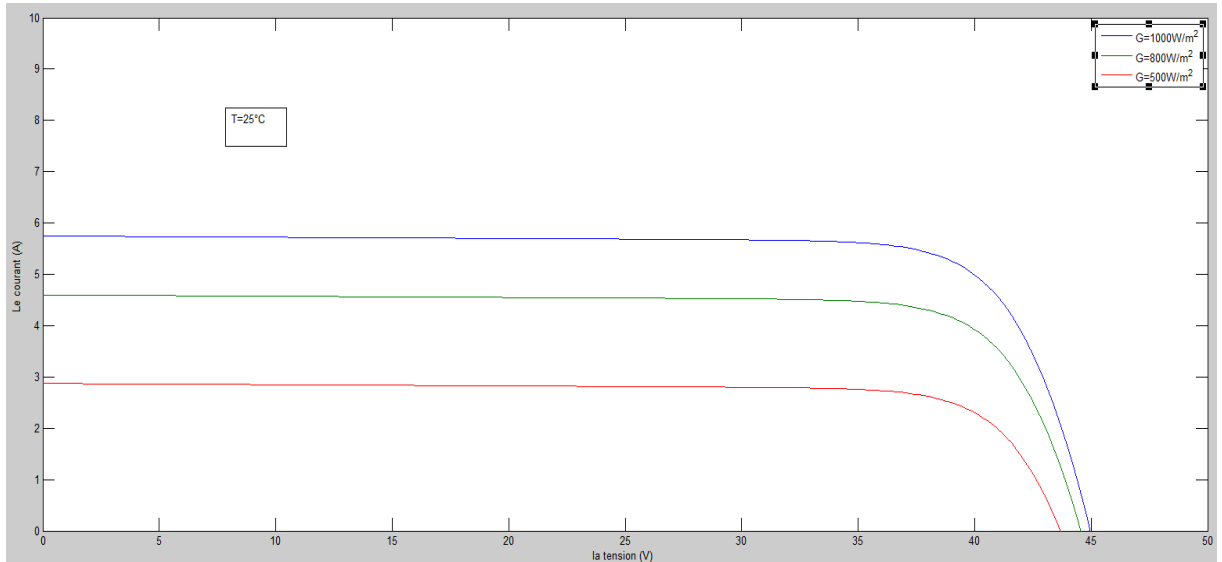


Figure II. 11: Variation de la caractéristique I(V) en fonction de l'éclairement solaire.

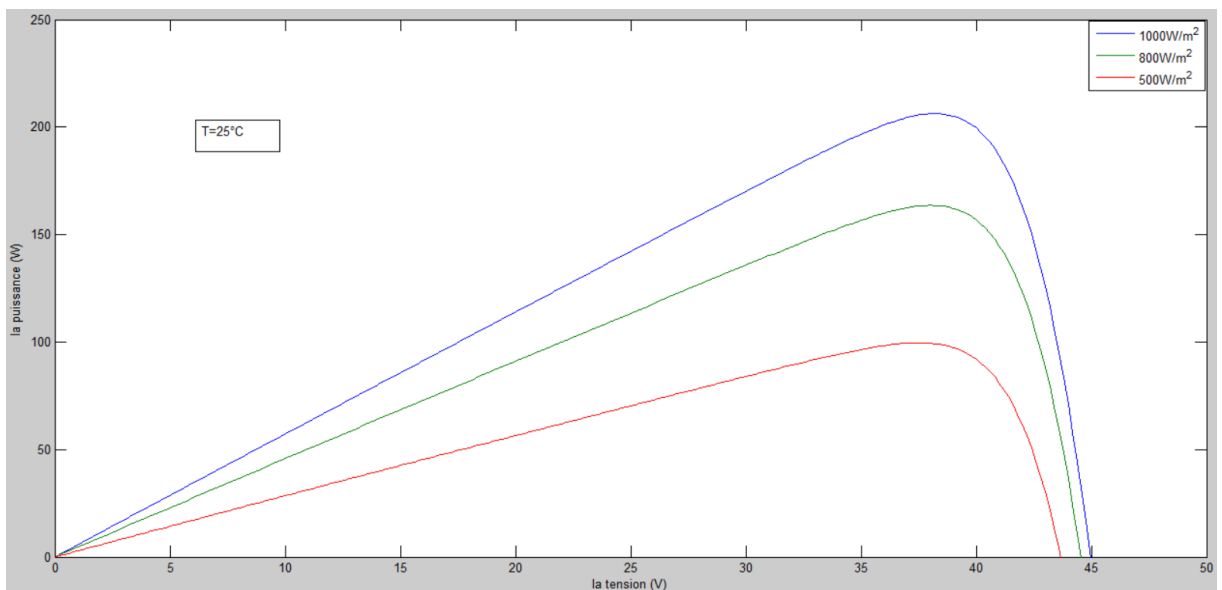


Figure II. 12: Variation de la caractéristique P(V) en fonction de l'éclairement solaire.

On remarque que l'éclairement solaire influe fortement sur la valeur du courant ainsi sur la puissance (plus l'éclairement est élevée plus la valeur de ces deux paramètres augmentent), avec un faible impact sur le  $V_{oc}$ .

## **II.6-Conclusion**

La modélisation analogique et mathématique d'un module photovoltaïque était l'essentiel de la première partie de notre travail. Elle nous a permis d'entamer la partie de simulation sous Matlab /Simulink avec une méthodologie plus objective. Les résultats de simulation montrent l'influence des paramètres qui affectent les performances des systèmes solaires de production d'énergie électrique tels que l'irradiation solaire et la température.

## **Chapitre III : Dimensionnement d'un système PV autonome.**

### **III.1- Introduction**

Dans ce chapitre, nous aborderons le traitement (différentes étapes de fonctionnement) de PVSYST. Il simule la situation réelle en fonction des besoins du système photovoltaïque en place, cela peut définir et déterminer le type d'équipement utilisé, panneaux solaires et angle d'inclinaison, batterie, pour de meilleures performances en fonction de l'emplacement de notre site.

### **III.2 -Présentation du logiciel PVSYST**

La nécessité d'un outil de dimensionnement d'installation photovoltaïque s'est fait sentir dès les premières réalisations à la fin des années 1980. Devant la croissance continue de cette branche ainsi que l'intérêt accru des architectes pour les possibilités d'intégrer des éléments photovoltaïques au bâtiment, une équipe du Groupe de Physique Appliquée de l'université de Genève a proposé le développement d'un logiciel de dimensionnement d'installations photovoltaïques. Avec le soutien financier de l'office fédéral de l'énergie[24].

En 1997, une étude anglaise sur les différents logiciels européens de simulation de systèmes photovoltaïques a relevé la grande qualité scientifique de PVSYST vis à vis de ses concurrents [24].

#### **III.2.1-Définition du logiciel :**

PV SYST est un logiciel d'étude, de simulation de systèmes photovoltaïque et de dimensionnement de panneaux solaires permettant d'obtenir diverses informations tels que la production d'énergie, l'irradiation et le coût d'installation, la surface nécessaire, ou la production annuelle d'énergie. Un mode avancé permet d'obtenir beaucoup plus d'informations, pour une étude très complète. Il est conçu pour être utilisé par des architectes, les ingénieurs et les chercheurs.

### **III.3-Principe de dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome**

L'efficacité de toute installation électrique dépend fondamentalement de la rigueur de son dimensionnement et de son utilisation car il affecte directement le coût et les performances de l'installation. Le dimensionnement a pour but de déterminer la puissance du générateur photovoltaïque et la capacité de la batterie, d'une part, en

fonction des données d'ensoleillement du site, d'autre part, en fonction de la demande en électricité de l'utilisateur.

### III.4-Étapes du dimensionnement

Les étapes suivantes sont utilisées pour dimensionner le système PV :

- Estimation de la demande journalière d'électricité  $E_j$  en Wh/j.
- Estimation de l'irradiation journalière.
- Choisissez le meilleur angle d'inclinaison en fonction du gisement local.
- Estimer la capacité de stockage requise en fonction de l'autonomie souhaitée.

### III.5-Coordonnées géographiques du site

Notre cas d'étude concerne un site isolé (salle d'acquisition de données) au niveau de l'UDES (unité de développement des équipements solaire) BOU-ISMAIL wilaya de TIPAZA.

On prend les paramètres suivant pour la présentation du site :

Latitude :  $36.5907^\circ$

Longitude :  $2.4434^\circ$

Altitude : 12 m.

La figure (III.1) représente les coordonnées géographiques du site étudié :

The screenshot shows a web application interface for entering site data. At the top, there are tabs for 'Coordonnées Géographiques', 'Météo mensuelle', and 'Carte interactive'. Below these, there is a 'Lieu' section with a text input for 'Nom du site' (containing 'Tipaza'), a dropdown for 'Pays' (set to 'Algérie'), and a dropdown for 'Région' (set to 'Afrique'). A button 'Obtenir depuis les coordonnées' is next to it. Below this is the 'Coordonnées Géographiques' section, which has a 'Trajectoires du soleil' button. It contains input fields for 'Latitude' (Decimal: 36.5907, Deg: 36, min: 35, sec: 26), 'Longitude' (Decimal: 2.4434, Deg: 2, min: 26, sec: 36), and 'Altitude' (12). There are also fields for 'Fus. horaire' (1.0) and a note about time difference. To the right, there is an 'Importation météo' section with radio buttons for 'Meteonorm 7.2', 'NASA-SSE', 'PVGIS TMY', and 'NREL / NSRDB TMY', and an 'Importer' button. Below that is an 'E/S tableaux (Excel)' section with buttons for 'Importer', 'Exporter la ligne', and 'Exporter la table'. At the bottom, there is a navigation bar with 'Nouveau Site', 'Imprimer', and 'Fermer' buttons.

Figure III. 1: Coordonnées géographiques de site étudié.



### III.6-Consommation journalière des appareils

On a besoin de décrire les appareils utilisés pour calculer la puissance crête et l'énergie journalière de notre salle d'acquisition de données qui est constituée d'un PC, éclairage, équipements de mesure. La figure suivante (Figure III.2) montre la consommation journalière des appareils :

Definition of Daily Household consumptions, year

Consumptions | Hourly distribution |

**Daily consumptions**

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib	Daily energy
4	led	18 W/lamp	5.0 h/day	OK	360 Wh
1	PC	100 W/app.	8.0 h/day	OK	800 Wh
0	Appareils domestiques	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
0	Frigo / Congélateur	0.00 kWh/day	0.0 h/day		0 Wh
0	Dish- & Cloth-washers	0.0 W aver.	0.0 h/day		0 Wh
0	Autres utilisations	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
3	Autres utilisations	200 W/app.	2.0 h/day	OK	1200 Wh
Stand-by consumers		0 W tot	24 h/day		0 Wh
<b>Total daily energy</b>					<b>2360 Wh/day</b>
<b>Total monthly energy</b>					<b>70.8 kWh/month</b>

? Appliances info

**Consumption definition by**

Year

Seasons

Months

**Week-end or Weekly use**

Use only during

7 days in a week

Figure III. 2: Consommation journalière des appareils.

### III.7-Suggestions pré-dimensionnement

Le logiciel PVsyst a généré les résultats suivants :

La consommation journalière moyenne est de 2.36 KWh/j.

La capacité et puissance conseillée sont de 231 AH et 670 WC respectivement.

La puissance crête étant supérieure à 500 WC, on a choisi une tension de 24V

On a fixé une autonomie de 2 jours.

## III.8-Dimensionnement par PVSYST

### III.8.1-Dimensionnement des panneaux :

On a choisi un panneau de 200W/24V qui est déjà existé au niveau de l'UDES.

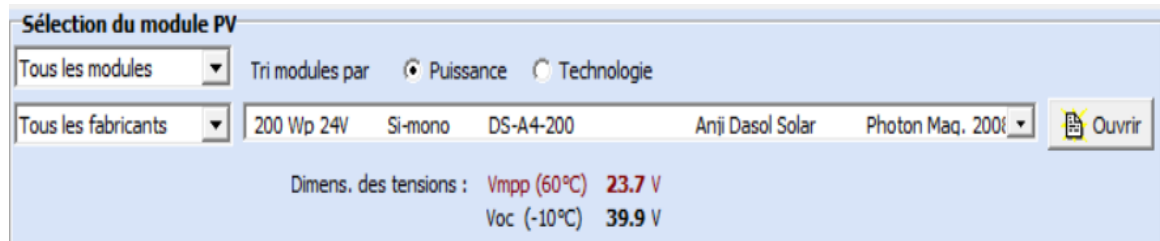


Figure III. 3: Choix de module.

#### III.8.1.1-Nombre de modules :



Figure III. 4: Nombre de modules.

D'après la Figure (III.4) on a besoin de 4 modules de 200W/24V brancher en : 2 chaînes et 2 modules en série.

On a obtenu une puissance crête supérieure à celle conseillée :  $P_c=800W$ .

### III.8.2-Dimensionnement du régulateur :

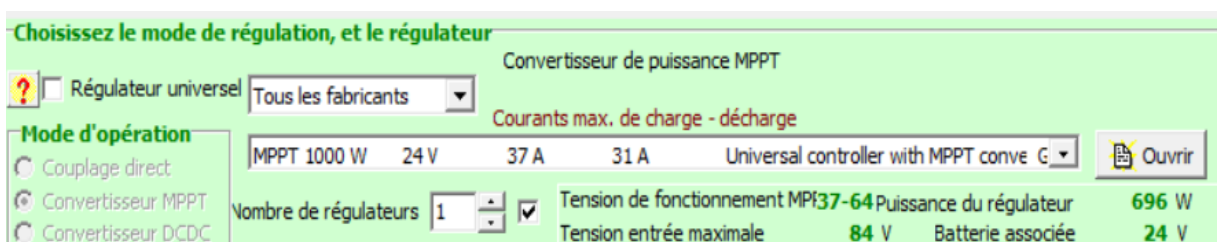


Figure III.5: Choix de régulateur.

On a choisi un régulateur MPPT de 1000w et de 24v pour assurer le contrôle du système

Le régulateur étant universel, l'onduleur y est compris.

### III.8.3-Dimensionnement des batteries :

**Définissez le pack de batteries**

Trier les batteries selon  tension  capacité  fabricant

Concorde 12 V 196 Ah Pb Sealed AGM PVX-2120L Ouvrir

Pb-acide

2 batteries en série  Nombre de batteries 2

1 batteries en parallèle  Nombre d'éléments 12

100.0 % Etat d'usure initial (nb. de cycles)

100.0 % Etat d'usure initial (statique)

Tension du pack batteries 24 V

Capacité globale 196 Ah

Energie stockée (80% DOD) 3.8 kWh

Poids total 125 kg

Nbre de cycles à 80% DOD 800

Energie totale stockée durant la vie de la batterie 3166 kWh

Figure III. 6: Choix de batterie.

On a choisi des batteries de 12V/196Ah Pb-acide de PVX-2120L. On aura besoin de 2 batteries en séries.

## III.9-Résultats de la simulation

D'après le PVsyst, on a obtenu les résultats suivants :

### III.9.1-Indice de performance et fraction solaire

L'indice de performance représente l'efficacité globale du système par rapport à ce qu'on pourrait en attendre selon la puissance installée.

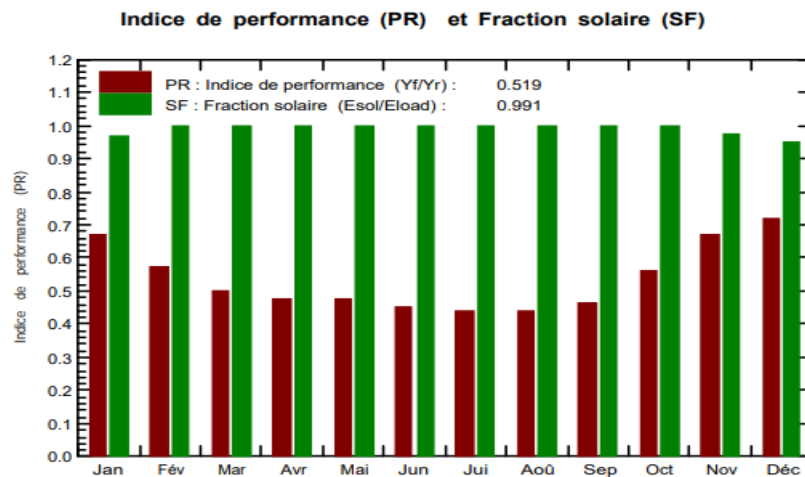


Figure III. 7: Indice de performance et fraction solaire.

L'indice de performance PR=0.519.

D'où :  $0.45 < PR < 0.75$ , Donc notre système est optimisé (bien dimensionné).

D'autre part La fraction solaire est élevée proche de 1 ceci implique que le rendement est bon.

### III.9.2-Bilan des résultats :

Le bilan annuel des principaux résultats est représenté dans le tableau ci-dessous :

**772 w 2360 wh**  
**Bilans et résultats principaux**

	<b>GlobHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>E_Avail</b> kWh	<b>EUnused</b> kWh	<b>E_Miss</b> kWh	<b>E_User</b> kWh	<b>E_Load</b> kWh	<b>SolFrac</b>
<b>Janvier</b>	79.7	128.8	87.1	14.34	2.463	70.70	73.16	0.966
<b>Février</b>	97.2	141.3	96.7	26.10	0.000	66.08	66.08	1.000
<b>Mars</b>	145.1	178.7	120.7	44.91	0.000	73.16	73.16	1.000
<b>Avril</b>	174.0	181.3	120.3	47.62	0.000	70.80	70.80	1.000
<b>Mai</b>	201.8	185.2	121.3	44.17	0.000	73.16	73.16	1.000
<b>Juin</b>	217.8	190.5	122.2	48.45	0.000	70.80	70.80	1.000
<b>Juillet</b>	225.1	202.7	127.6	51.52	0.000	73.16	73.16	1.000
<b>Août</b>	201.8	202.1	126.8	50.89	0.000	73.16	73.16	1.000
<b>Septembre</b>	160.2	185.1	117.5	43.95	0.000	70.80	70.80	1.000
<b>Octobre</b>	118.4	160.1	103.5	27.46	0.000	73.16	73.16	1.000
<b>Novembre</b>	80.7	125.8	84.0	14.12	1.801	69.00	70.80	0.975
<b>Décembre</b>	69.1	118.8	81.0	8.15	3.595	69.56	73.16	0.951
<b>Année</b>	1770.8	2000.6	1308.7	421.69	7.859	853.54	861.40	0.991

<b>Légendes:</b>	<b>GlobHor</b>	Irradiation globale horizontale	<b>E_Miss</b>	Energie manquante
	<b>GlobEff</b>	Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages	<b>E_User</b>	Energie fournie à l'utilisateur
	<b>E_Avail</b>	Energie solaire disponible	<b>E_Load</b>	Besoin d'énergie de l'utilisateur
	<b>EUnused</b>	Énergie inutilisée (batterie pleine)	<b>SolFrac</b>	Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)

Figure III. 8: Bilan des résultats.

D'après le tableau de la figure (III.8) l'énergie fournie à l'utilisateur est généralement suffisante, appart les mois de janvier, novembre et décembre ou les valeurs sont légèrement inférieures.

### III.9.3-Diagramme des pertes

Ce schéma montre l'intégralité des pertes de système.

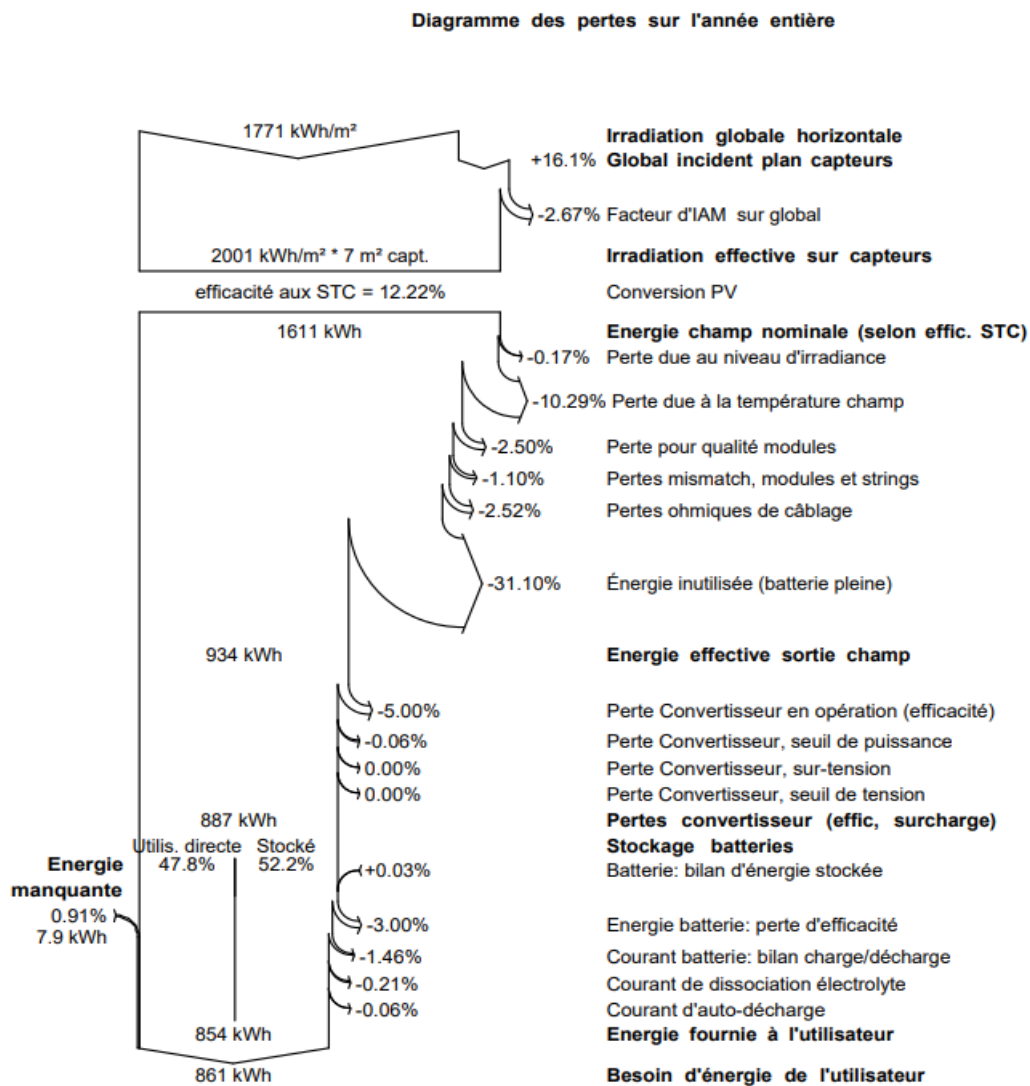


Figure III. 9: Diagramme des pertes.

La figure III.9 représente un diagramme de tous les flux d'énergie qui montrent toutes les pertes dans le système PV. C'est un indicateur puissant de la qualité de notre système et permettra immédiatement d'identifier les erreurs de dimensionnement le cas échéant.

Les pertes totales peuvent être divisées en pertes optique et pertes du système. Les pertes optiques diminuent la quantité d'irradiation tandis que les pertes du système sont des pertes dans le générateur photovoltaïque causées par l'augmentation de la température, le faible rayonnement et l'ombrage électrique.

Les pertes annuelles plus importantes sont 10.29 % dues à la température, 2,52 % de câblage ohmique, 31.10 % d'énergie dues à l'énergie inutilisée car le groupe de batteries est plein, 5.00 % dues au convertisseur et 3.00 % dues à l'efficacité de la batterie. Par conséquent, l'énergie PV directement fournie aux charges est de 861 kWh par an.

Notre choix des équipements nous a donné 0.91% d'énergie manquante et 31.1% énergie inutilisée. Nous avons constaté qu'il y a une quantité importante d'énergie inutilisée, ce qui réduit considérablement l'efficacité du système PV autonome. Par conséquent, il est important d'augmenter l'utilisation de l'énergie.

### III.10-Dimensionnement a main levé

Dans cette partie, on va dimensionner notre installation à main levé.

La puissance (P) =  $\Sigma$  (puissance des appareils  $\times$  leurs nombre). (III.01)

$$(18 \times 4) + (100 \times 1) + (3 \times 200) = 772W.$$

L'énergie journalière (Ej) =  $\Sigma$  (puissance des appareils  $\times$  leurs nombre  $\times$  nombre d'utilisation par heure). (III.02)

$$(18 \times 4 \times 5) + (100 \times 1 \times 8) + (3 \times 200 \times 2) = 2360Wh/j.$$

#### Choix d'onduleur :

On a le rendement d'onduleur égal à  $\eta=91\%$  alors :

$$\frac{P}{\eta} \times 1.25 \leq \text{onduleur}. \quad (III.03)$$

Coefficient de correction =1.25

$$1060.43 \leq \text{onduleur} .$$

Tant que  $500W < P < 2000W$  on prend la tension de 24V.

On prend un onduleur de 1200W donc il est capable de fonctionner dans notre cas étudié

#### Choix de batterie :

$$\text{Nombre de batterie} : \frac{Ej \times N}{C \times V \times D} \quad (III.04)$$

N= nombre d'autonomie (jour).

C= capacité de la batterie (Ah).

V= voltage de la batterie (V).

D<sub>DOD</sub>= profondeur de décharge en %.

$$\frac{2360 \times 2}{196 \times 12 \times 0.7} = 2.86$$

Alors 4 batteries de 196Ah/12V suffisent largement pour le stockage.

### Choix de panneau :

$$\text{Nombre de panneaux : } \left( \frac{E_j \times N}{\text{durée d'ensoleillement}} \right) / P_{\text{panneau}} \quad (\text{III.05})$$

On prend la durée d'ensoleillement = 5 heures.

P<sub>panneau</sub> : puissance de panneau (W).

$$\left( \frac{2360 \times 2}{5} \right) / 200 = 4.75$$

Il faut prendre minimum 6 panneaux pour alimenter la salle d'acquisition de données.

### Choix du régulateur :

On a utilisé le régulateur GSC-F2448-50A qui déjà existe à l'UDES.

Les résultats du calcul à main levé et à la simulation numérique sont utilisés dans le but d'optimiser le nombre de panneaux solaire PV et le nombre des batteries utilisés pour alimenter les besoins de consommation.

Alors, Les résultats de PVsyst nécessitent l'utilisation de 4 panneaux de 200W et 2 batteries de 196Ah, par conséquent cela a engendré une énergie manquante de 0.91% et 31% d'énergie inutilisé on prenant en considération tous types de pertes.

Par contre, le calcul à main lever nous a exigé de prendre 6 panneaux de 200W et 4 batteries de 196Ah ce sont des résultats optimaux plus précise pour un meilleur fonctionnement.

Au niveau d'UDES ils ont 4 batteries de 195AH/12V et 6 panneaux de 200 W suffisent pour l'alimentation de la salle d'acquisition de données. Et l'énergie inutilisée en peut la réutiliser pour l'éclairage.

### **III.11- Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté le dimensionnement de chaque élément de la chaîne de conversion photovoltaïque.

Suite aux résultats obtenus, Le calcul à main levé est plus précis dans notre cas. Aussi, on conclue que le PVSYST facilite grandement les étapes de dimensionnement, et il permet aussi d'avoir un rapport précis de l'efficacité de notre système.



## **Chapitre IV : Système photovoltaïque autonome.**

## IV.1- Introduction

Actuellement, il y a un regain d'intérêt pour les installations utilisant l'énergie solaire, notamment pour des applications dans des zones isolées, grâce à ces avantages, il permet d'alimenter différents lieux en toute autonomie, sans avoir besoin de se raccorder au réseau pour objectif de garantir : Un fonctionnement sans discontinuité ni coupure, l'autoconsommation, et l'indépendance totale.

Ce type d'énergie est issu directement de la captation du rayonnement solaire pour la production d'électricité puis la consommer.

Dans ce chapitre, nous étudions une structure PV autonome d'une puissance  $< 1000W$  qui se compose de modules de 200 watts, des batteries de 195 Ah ainsi un régulateur et un onduleur de 1200W pour l'alimenter tout type d'appareils qui existe dans notre salle d'acquisition de données (qu'on a déjà cité dans le chapitre précédent).

## IV.2-Structure du système



Figure IV. 1: Vu extérieure de la salle de mesure.

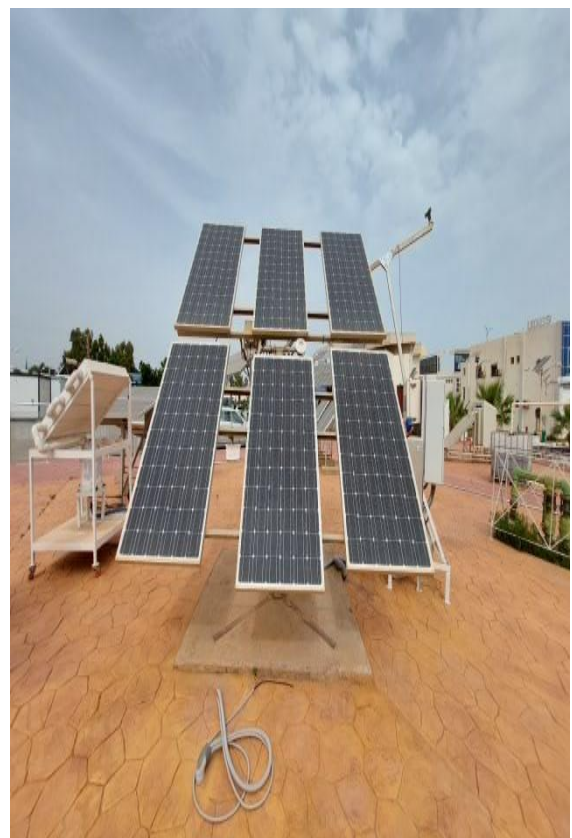


Figure IV. 2: Système PV utilisé



Figure IV. 3 : l'armoire électrique.

Pour avoir les caractéristiques  $I(V)$  et  $P(V)$  de notre panneau on a utilisé un appareil de mesure **PROVA** par branchement direct avec le module, la figure (IV.4) montre le raccordement entre eux.

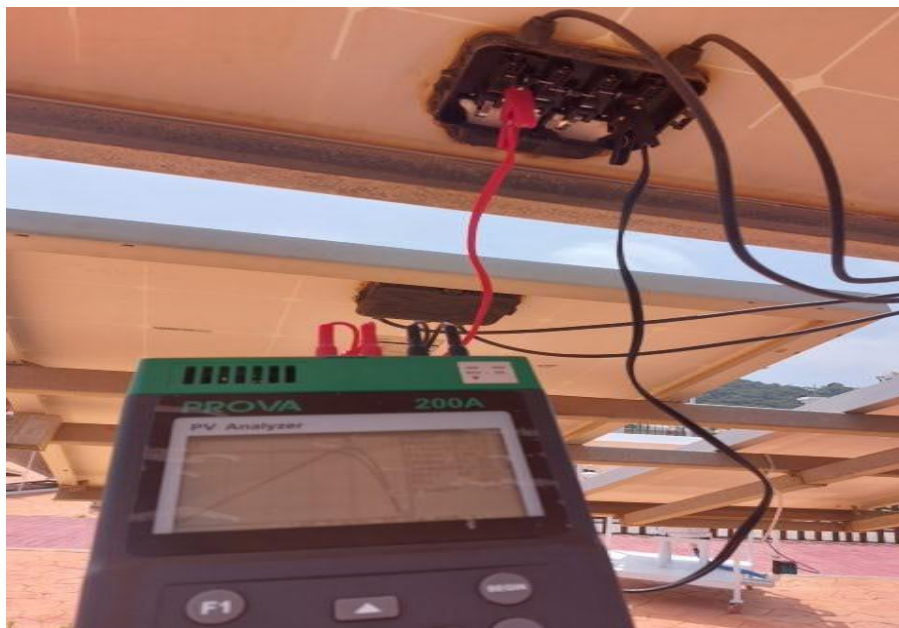


Figure IV. 4: Branchement d'appareil de mesure PROVA avec le module.

Après le branchement les résultats obtenus sont sur la figure suivante.

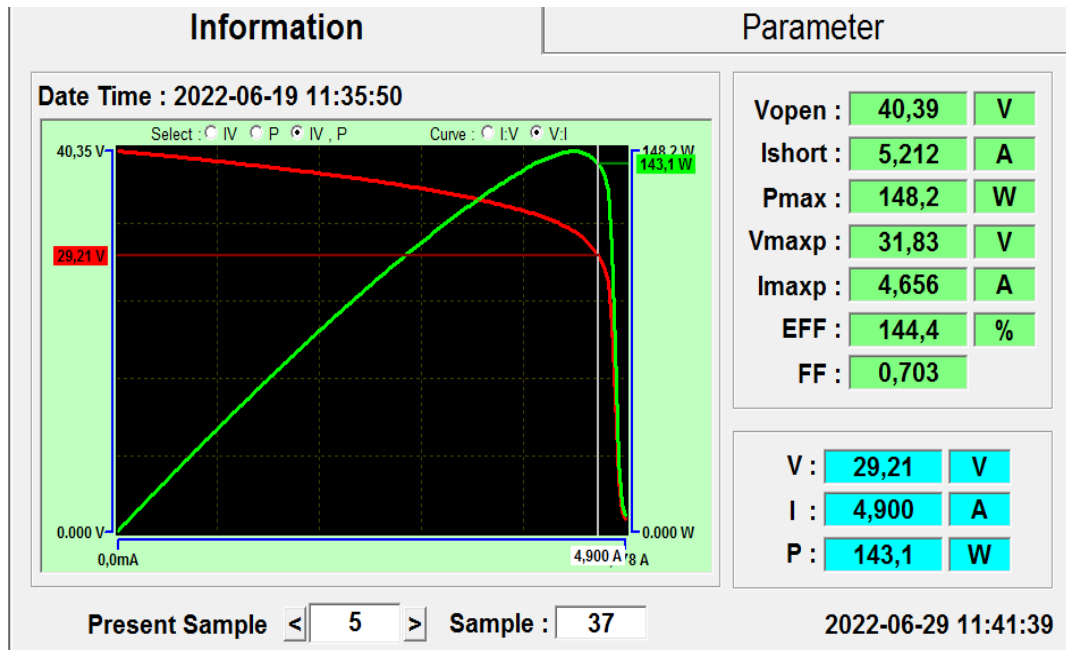


Figure IV. 5: Les résultats obtenus.

La caractéristique I(V) et P(V) présenté dans la figure précédente, montre que le panneau fonctionne en bon état.

#### IV.2.1-Analyse de la charge :

La demande d'électricité de la charge est de 2.36 kWh chaque jour. Compte tenu des pertes des lignes (5 %) et du rendement de l'onduleur (92 %), la salle de mesure a besoin de 2.66kWh d'énergie électrique en courant continu. La charge maximale est atteinte au milieu de la journée à 10h, 11h et à 14h. Ainsi, la charge réelle pour la puissance maximale est de 372 W. la distribution de la charge est variable durant la journée. Le soir, la salle est fermée donc pas de demande d'électricité. L'énergie emmagasinée peut être utilisée dans d'autre application (l'éclairage du site).

La Figure IV.6 représente la distribution de la charge pendant les heures de travail.

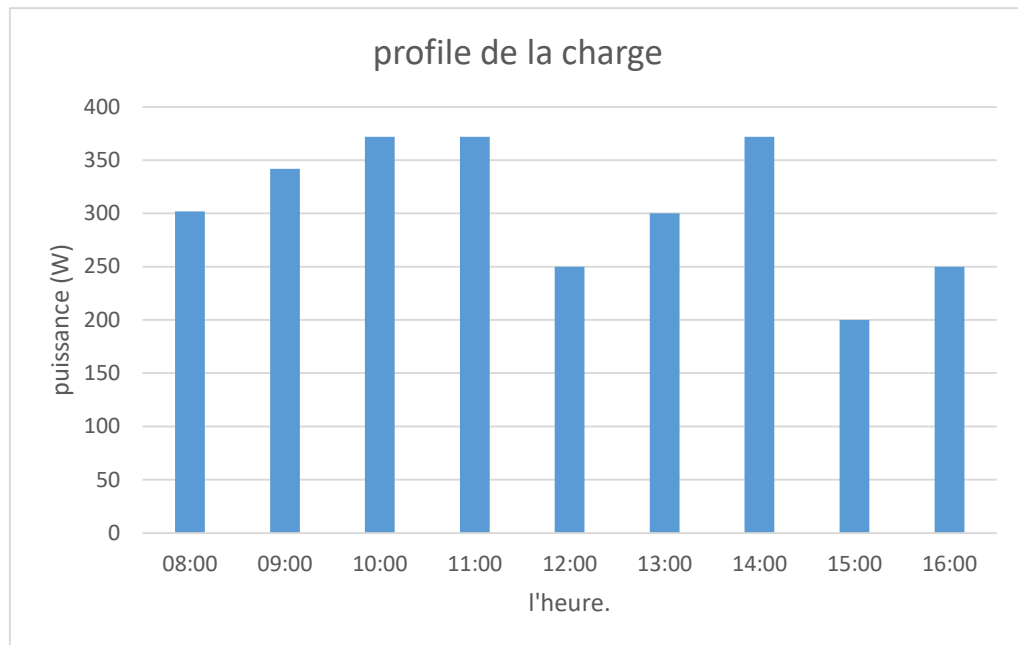


Figure IV. 6: Profile de la charge.

### IV.3-Résultats et Interprétations :

Tableau IV. 1: Différents paramètres électriques obtenus.

L'heure	La tension de la batterie (V)	Etat de la charge de la batterie %	Puissance PV (W)	Pv Générateur (KWh)	Pv charge (A)	Courant de GPV(A)
<b>10 :05</b>	25.3	66	386	1934.317	16.9	32.2
<b>10 :06</b>	24.8	64	496	1934.329	19.6	31.7
<b>10 :07</b>	24.7	64	478	1934.337	19.7	31.9
<b>10 :08</b>	24.8	66	530	1934.344	22.5	32.3
<b>10 :09</b>	24.7	63	405	1934.350	16.4	32.8
<b>10 :10</b>	24.6	63	400	1934.350	19	31.7
<b>10 :11</b>	24.7	63	451	1934.361	16	33.2
<b>10 :12</b>	24.6	63	413	1934.369	15.3	33.4
<b>10 :13</b>	24.8	65	422	1934.376	20.2	32.3

<b>10 :14</b>	24.9	66	515	1934.384	24	32.3
<b>10 :15</b>	25.1	69	488	1934.394	25	33
<b>10 :16</b>	<b>24.9</b>	68	<b>650</b>	1934.406	29.2	32.3
<b>10 :17</b>	<b>21.1</b>	70	<b>758</b>	1934.415	28.6	31.7
<b>10 :18</b>	24.9	68	600	1934.428	24.6	32
<b>10 :19</b>	25	68	690	1934.439	22.5	33.9
<b>10 :20</b>	24.8	66	555	1934.447	27.8	31.7
<b>10 :21</b>	25.1	68	620	1934.459	22	33
<b>10 :22</b>	25.1	70	677	1934.46	19.6	32.6
<b>10 :23</b>	25	70	685	1934.477	26.9	31.6
<b>10 :24</b>	24.9	68	672	1934.487	23.1	33
<b>10 :25</b>	25.1	70	700	1934.498	28	32.3
<b>10 :26</b>	25.2	70	715	1934.511	28.1	31.1
<b>10 :27</b>	25.1	70	700	1934.524	27.8	31.7
<b>10 :28</b>	25.2	71	690	1934.533	27.6	31.7
<b>10 :29</b>	25.1	71	690	1934.543	27.4	31.7
<b>10 :30</b>	25.2	71	687	1934.55	27.3	31.7
<b>10 :31</b>	25.1	69	687	1934.568	27.3	31.7
<b>10 :32</b>	25.1	70	680	1934.578	27.3	31.7
<b>10 :33</b>	25.1	71	685	1934.588	27.1	31.1
<b>10 :34</b>	25.1	71	680	1934.6	27.1	31.7
<b>10 :35</b>	25.1	71	685	1934.610	27.3	31.7
<b>10 :36</b>	25.1	71	687	1934.623	27.4	31.8
<b>10 :37</b>	25.1	71	690	1934.636	27.5	31.7
<b>10 :38</b>	25.1	71	700	1934.649	27.9	31.7
<b>10 :39</b>	25.1	71	708	1934.659	28.2	31.3
<b>10 :40</b>	25.2	72	720	1934.669	28.6	31.7
<b>10 :41</b>	25.2	71	728	1934.681	29	31.3

10 :42	25.2	72	705	1934.694	25.8	31.3
10 :43	25.2	71	730	1934.704	28.2	31.4
10 :44	25.1	70	652	1934.715	24.1	31.7
10 :45	25.2	71	<b>703</b>	1934.728	28.6	31.5
10 :46	25.2	69	<b>507</b>	1934.742	18.1	32.9
10 :47	25.1	68	652	1934.748	26.2	32.1
10 :48	25.1	70	544	1934.760	16.7	32
10 :49	25.1	70	665	1934.767	27.3	31.1
10 :50	25.1	70	682	1934.779	27	31.7
10 :51	25.1	71	680	1934.788	27.1	31.8
10 :52	25.1	70	680	1934.800	26.9	31.7
10 :53	25.2	71	672	1934.811	26.7	31.7

### IV.3.1-Les batteries :

Une courbe de décharge typique se décompose en trois parties, comme il est indiqué dans la figure IV.7 [25].

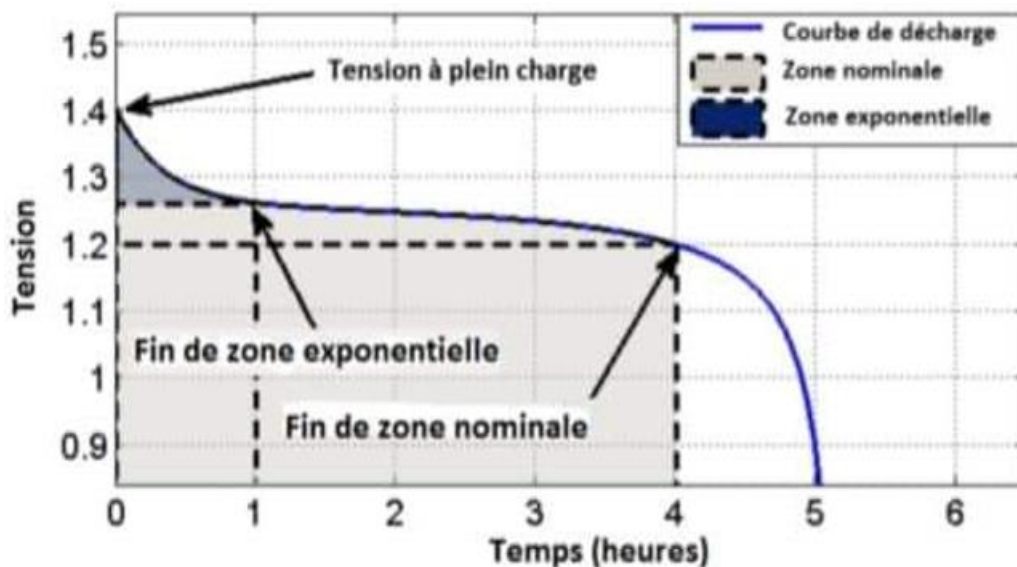


Figure IV. 7: Caractéristique de décharge de la batterie.

La première partie représente la chute de tension exponentielle lorsque la batterie se charge. Selon le type de batterie, cette zone est plus ou moins large. La deuxième partie représente la charge qui peut être tirée de la batterie jusqu'à ce que la tension chute en dessous de la tension nominale de la batterie, moment auquel la tension chute rapidement.

D'après le tableau on a tracé les figures suivantes :

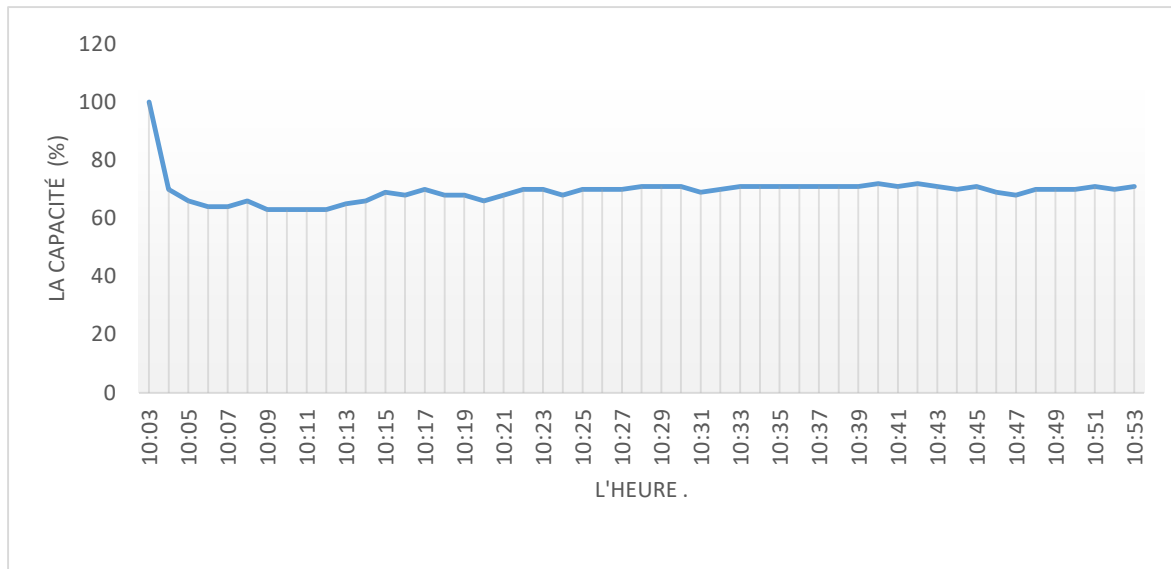


Figure IV. 8: Variation de l'état de charge de la batterie.

La figure IV.8 représente la variation de l'état de charge de la batterie.

Dans notre système l'onduleur de technologie Phoenix est alimenté directement avec la batterie. Avant que la batterie soit connectée à la charge, au début, elle est pleine à 100%, puis son état de charge descend rapidement avec une allure exponentielle. Ensuite, elle se stabilise entre 66% et 71%.

L'état de charge d'une batterie solaire (appelée aussi batterie à décharge lente) se mesure en ampères heure (Ah). Elle dépend du courant délivré. Plus le courant de décharge est faible, c'est-à-dire plus le temps de décharge est long, plus l'état de charge utile est élevée. À l'inverse, plus le courant de décharge est élevé, plus l'état de charge disponible est faible. Le temps de décharge de la batterie dépend de notre consommation. La décharge d'une batterie à plus de 50% de son état de charge maximale n'est pas conseillée pour une installation photovoltaïque (risque de la destruction de la batterie).



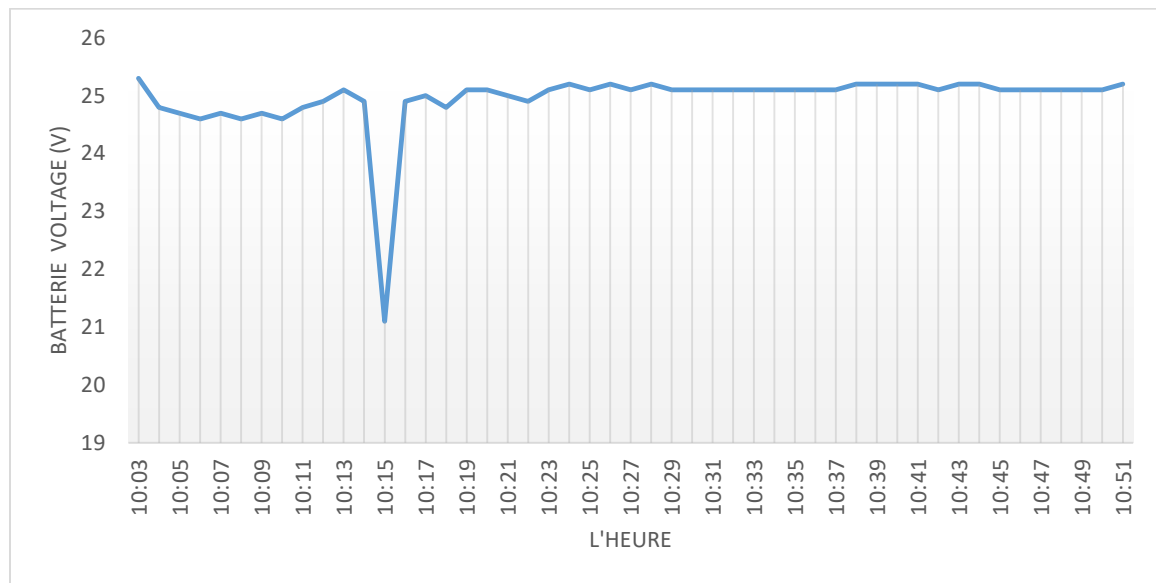


Figure IV. 9: Variation horaire de la tension de la batterie.

La figure IV.9 présente la variation horaire de la tension de la batterie. La tension de la batterie varie entre 24V et 25V au cours du temps mais elle a diminué à 21.1V pendant une courte durée parce que la charge tire de fort courant.

### IV.3.2-Le générateur photovoltaïque :

Notre générateur PV est composé d'un ensemble de 6 modules de 200W (marque Condor) connecté en parallèles. Les caractéristiques et les performances du générateur PV ont été analysées pour une plage de température comprise entre 25 et 35 °C. Il faut éviter que le générateur PV reçoive l'ombre portée d'un obstacle quelconque pour qu'il fonctionne correctement. La bonne orientation des modules est nécessaire pour capter le maximum du rayonnement solaire. Elle doit être en plein Sud pour les sites de l'hémisphère Nord et en plein Nord pour les sites de L'hémisphère Sud. Dans notre cas nous avons utilisé le système de poursuite de soleil afin d'optimiser la production de notre générateur photovoltaïque. Aussi, pour bénéficier de la puissance optimale, il faut donc suivre le point de puissance optimale en adaptant la source photovoltaïque à la charge, d'où la technique du MPPT (Maximum Power Point Tracking). Les résultats comparatifs des performances des panneaux solaires avec et sans système de poursuite sont présentés dans la figure suivante.

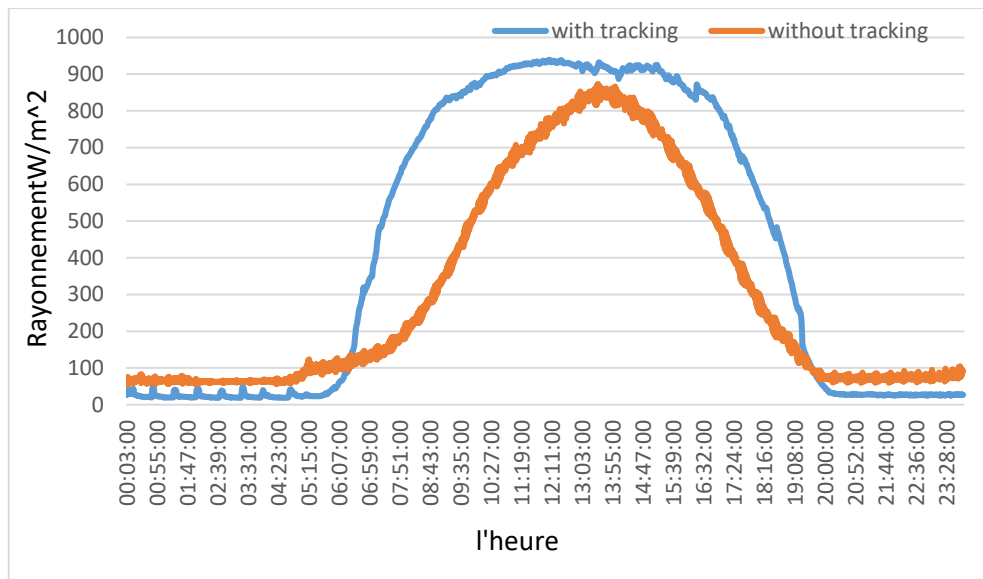


Figure IV. 10: Rayonnement solaire avec et sans système de poursuite de soleil par temps clair.

Nous pouvons constater que le niveau de rayonnement solaire augmente graduellement comme prévu jusqu'à atteindre un maximum vers 13h, avant de diminuer jusqu'au soir 19h, heure du coucher du soleil.

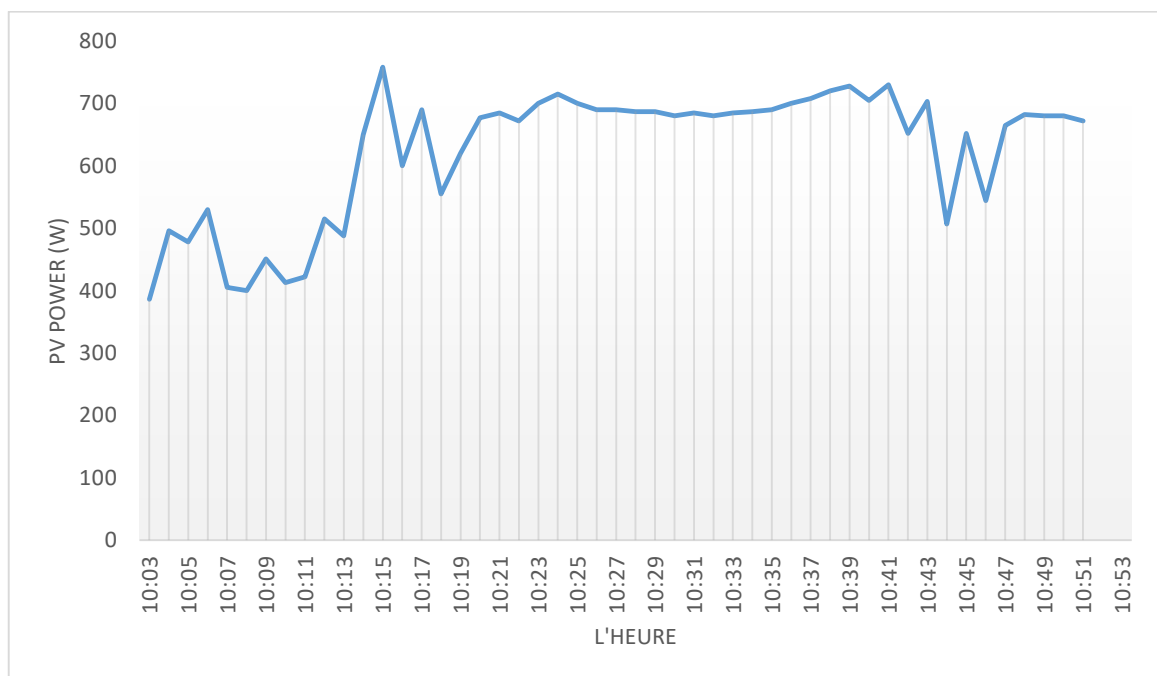


Figure IV. 11: Variation horaire de la puissance du PV dans les conditions de test réel (ciel partiellement nuageux).

La figure IV.11 représente la variation horaire de la puissance du PV dans les conditions de test réel avec un ciel partiellement nuageux. La puissance optimale varie en fonction des conditions extérieures (température, éclairement), mais aussi en fonction de la charge. Selon la figure IV.10, la puissance du générateur PV varie entre un maximum de 758W et un minimum de 386W. Plusieurs facteurs influent sur les performances du générateur photovoltaïque tel que la température ambiante qui était 35c, le ciel était partiellement nuageux et aussi la poussière sur les panneaux.

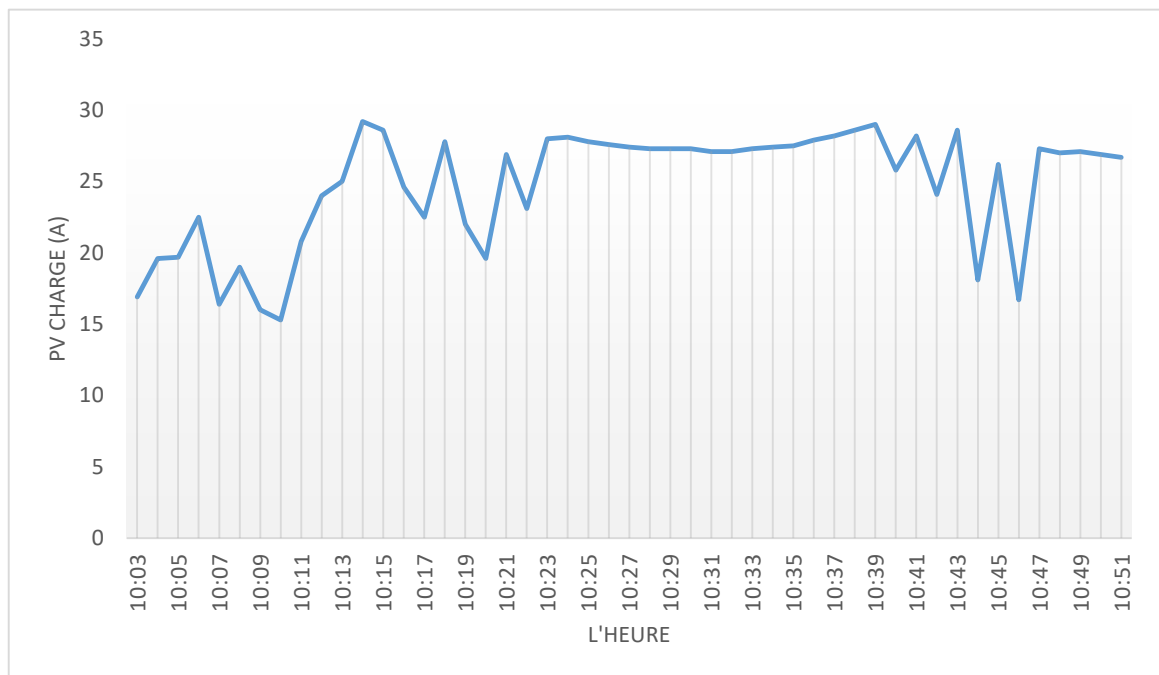


Figure IV. 12: Variation horaire de PV charge.

La figure IV.12 correspond aux relevés des mesures du 06 juillet 2022 en termes de courant. Nous constatons une variation du courant du générateur PV entre un minimum de 15.3A et un maximum de 29.2 A. Cette variation de valeur est directement liée à une variation du rayonnement solaire et de la température ambiante ainsi qu'à la demande de la charge.

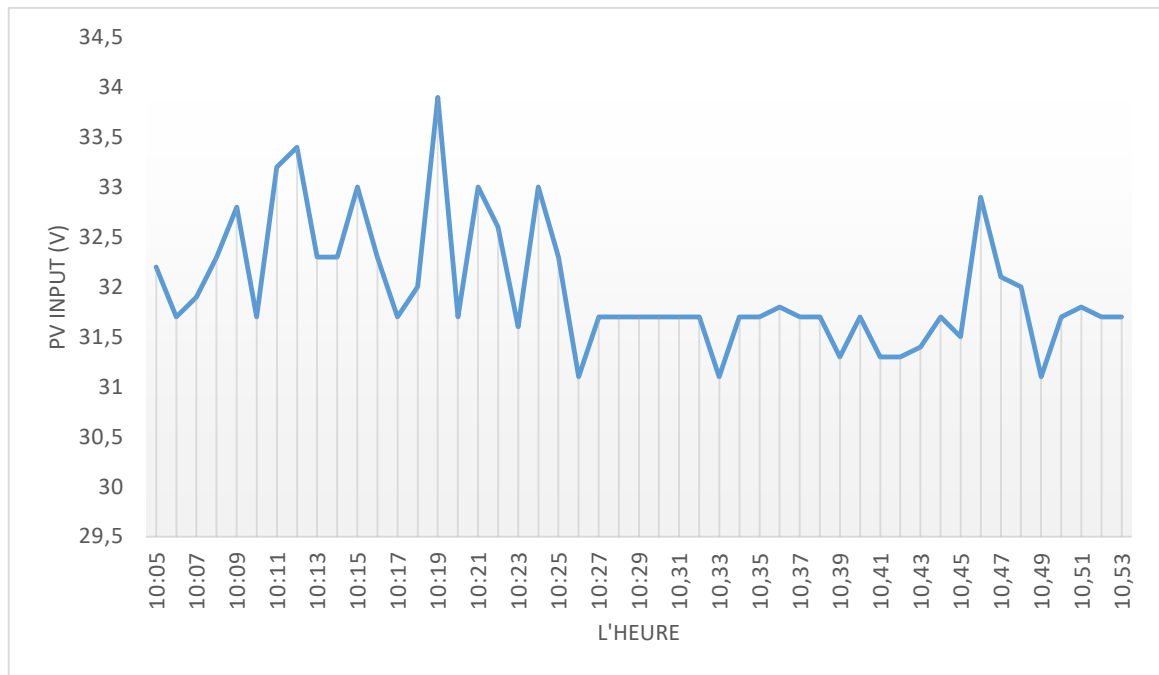


Figure IV. 13: Variation horaire de courant du GPV.

La figure IV.13 montre l'évolution de la tension du générateur PV. La tension du générateur PV varie légèrement entre 31.1V et 33.4V. Cette variation est due principalement à la variation d'éclairement et elle montre que le fonctionnement du générateur est optimal. Aussi, quand la température ambiante augmente, la température des cellules s'élève et la tension du panneau solaire s'abaisse.

## **IV.4-Conclusion**

Nous avons suivi le fonctionnement d'un système PV autonome adapter par un convertisseur DC-AC, régulateur, batteries, pendant certain temps pour avoir le changement sur les différents paramètres de la batterie ainsi l'évolution de PV charge, PV input, PV power.

Une analyse à court terme a été effectuée pour une journée partiellement nuageuse pour étudier l'efficacité des systèmes PV autonomes en termes de paramètres techniques et de performances énergétiques.

Selon ce travail on peut conclure que Les résultats des tests pratiques obtenus se concordent avec les résultats théoriques.

## **Conclusion générale**

Les travaux présentés dans cette thèse ont pour objectif de faire une étude pour comprendre le fonctionnement d'une chaîne de conversion électrique d'un système PV autonome destinée à l'alimentation d'une salle d'acquisition de données.

Le présent travail nous a permis d'étudier le principe de la génération directe de l'électricité à partir d'un rayonnement solaire et établir une distinction entre les différentes technologies de la cellule PV. Un système PV passe par un dimensionnement puis par une conception et une installation rigoureuse avec des composants qui répondent aux besoins de la charge à alimenter.

Les systèmes PV autonomes sont vraiment les plus promoteurs pour la production d'énergie à cause de leurs possibilités d'autonomie assurées par les batteries.

Des simulations par MATLAB ont permis de suivre les caractéristiques de notre module étudié, D'après l'étude on peut dire que les caractéristiques électrique  $I(V)$ ,  $P(V)$  dépend fortement de la température et l'éclairement cela prouve que le courant  $I_{PV}$  et la tension  $V_{PV}$  sont considérablement influencés par le changement de l'éclairement  $G$  et la température  $T$ .

Toute augmentation de température avec un éclairement constant entraîne une diminution de la puissance et de la tension.

Toute augmentation d'éclairement solaire à température constante entraîne une augmentation de puissance et courant.

Ce travail a permis de montrer qu'il était possible d'utiliser des systèmes photovoltaïques autonomes de petite puissance pour l'alimentation d'une charge variable avec une fiabilité très importante.

Au long de cette étude, nous avons dimensionné notre installation qui a été réalisée au sein de l'UDES et nous avons suivi le bon fonctionnement des équipements pendant une période d'été.

Comme perspectives, une suite de ce travail peut être enrichie par :

- Réalisation sur site des stratégies de contrôle par exemple un superviseur de gestion d'énergie.
- l'optimisation du rendement des modules PV en utilisant des commandes et des techniques, afin de minimiser l'influence des paramètres météorologiques.



## Références bibliographiques

1. Laboratoires de Systèmes Energétiques. 2001.
2. A.PAGES, L'utilisation des énergies renouvelables pour l'électrification rurale décentralisée des pays en développement 2000.
3. S.Chen, X.Gong, et S.Wei, Band-structure anomalies of the chalcopyrite semiconductors  $CuGaX_2$  versus  $AgGaX_2$  ( $X= S$  and  $Se$ ) and their alloys 2007.
4. Introduction générale. Available from: <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/1067/8/introduction-generale.pdf>.
5. S.Belaid lalouni, Cours Energie Solaire Photovoltaïque 2015.
6. E.Gouzien, L'énergie solaire-comment exploiter au mieux l'énergie solaire?
7. H.Moussaoui, Modélisation et simulation du panneau solaire sous différents rayonnement 2021.
8. Petite histoire du photovoltaïque 2019 .
9. Le photovoltaïque fonctionnement et technologies 2010.
10. M.Elhaffaf, A.Chebbi, gestion d'energie dans un système hybride PV/eolienne autonome 2021.
11. F.Boussaâdia, L.Bouafia, Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque 2022.
12. S.Zeghina, Simulation et analyse d'une cellule solaire organique 2013.
13. R.Champory, Cellules solaires silicium ultra-minces nanostructurées: conception électro-optique et développement technologique. 2016, Lyon.
14. B.Fleche, D.Delagnes, « Energie solaire photovoltaïque » 2007.
15. Systèmes photovoltaïques solaires. Available from: [http://omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/sol\\_elec.htm](http://omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/sol_elec.htm).
16. Généralités sur les technologies des cellules solaires.
17. A.Guerfi, H.Guaraisa, et H.Berchaoua, Amélioration le rendement d'un système photovoltaïque autonome par la commande MPPT neuronale 2020.
18. F.Aouichat, A.Zerrouki, Contrôle et optimisation d'un système photovoltaïque (PV) autonome 2021.
19. R.Alain, Systèmes photovoltaïques 2011.
20. J.Royer, T.Djiako, E.Schiller, B.Sadasy, Le pompage photovoltaïque 1998.
21. S.AOUFI, Modélisation et commande d'un système de pompage photovoltaïque 2015.

22. A.Bentaillah, étude expérimental et de simulation des performances d'une installation PV de faible puissance 1994.
23. I.Ould maamar, S.kaci aissa, étude de l'effet de la température des cellules multi jonction sur le rendement des systèmes à concentration PV.
24. C.Roecker, J. Bonvin, et A. Mermoud, PVSYST. 3.0: ergonomics and functionality; PVSYST. 3.0: ergonomie et fonctionnalite 2000.
25. M.Quang, Optimisation de la production de l'électricité renouvelable pour site isolé.

