

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA  
BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : de TECHNOLOGIE

Département : Electronique

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et Système

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

Etude de la Faisabilité de l'Alimentation  
en Energie Solaire d'une Habitation Isolée

Présenté par: *Laoubi Mohamed Salah Wassim et Chetouane Rami*

Encadrant: *BENSAKER Bachir* Professeur Université Badji Mokhtar Annaba

Jury de Soutenance :

Kherfane Hamid	Professeur	Université B. M. Annaba	Président
Bensaker Bachir	Professeur	Université B. M. Annaba	Encadrant
Yahmedi Said	Professeur	Université B. M. Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

### ملخص:

بعد وصف موجز للنظام الكهروضوئي المستقل، نقدم تعريفات المكونات المختلفة لهذا النظام، وكذلك تعريف الحمل بالإضافة إلى ملف تعريف استهلاك الحمل المعتمد في موقع معزول.

يهدف هذا العمل إلى دراسة التركيب الكهروضوئي المستقل الذي يوفر أحد المجمعات السكنية المعزولة.

بناءً على المعلومات الفعلية لموقع التثبيت، نقترح طريقة تغيير الحجم من خلال برنامج كمبيوتر نحدد حجم المكونات المختلفة للنظام.

أخيراً، نهي عملنا بمحاكاة مشروعنا.

**Abstract:** After a brief description of the photovoltaic technology and its applications, we present the definitions of the various components an autonomous system as well as the consumption profile of each component and the load adopted in an isolated site.

The goal of this work deals with the study of an autonomous photovoltaic installation, which feeds one of an isolated housing.

Based on the actual power parameters of the installation site, we propose a sizing method through a computer program of each component needed for the considered system.

Finally, we end our work with a simulation program to perform and validate our methodology of the fixed objective of our project.

**Keywords:** Photovoltaic system, Sizing of the photovoltaic system, Autonomous photovoltaic system.

### Résumé :

Après une description succincte sur le système photovoltaïque autonome, nous présentons les définitions des différents composants du ce système, et aussi une définition de la charge ainsi que le profil de consommation de la charge adoptée dans un site isolé.

Ce travail a pour l'étude d'une installation photovoltaïque autonome qui alimente une d'habitation isolée.

En se basant sur les paramètres réels du site de l'installation, nous proposons une méthode de dimensionnement de chaque composant du système à travers un programme informatique qui détermine la consommation énergétique des différents composants du système considéré.

Enfin, nous terminons notre travail par une simulation pour valider notre approche et mettre en évidence son efficacité pour l'objectif de notre projet.

**Mots-clés** : Système photovoltaïque, Dimensionnement du système photovoltaïque, système photovoltaïque autonome.

# Dédicaces

*Nous dédions ce modeste travail à nos très chères **Parents**.*

*A ceux qui nous ont toujours encouragés pour que nous  
réussissions dans nos études,*

*A ceux qui ont veillé pour notre bien-être,*

*A ceux qui nous ont soutenus dans les moments les plus  
difficiles de notre vie,*

*Le jour est venu pour leur dire Merci...*

*A toute la famille LAOUBI et CHETOUANE.*

*A tous nos amis qui ont toujours été présents et qui  
n'ont ménagé aucun effort pour nous bénéficier avec  
leur aide et leurs suggestions,*

*A tous nos camarades.*

*LAOUBI ET CHETOUANE*

# REMERCIEMENTS

*Avant tout, nous remercions **ALLAH**,  
Le tout Puissant, de nous avoir donné le courage et la  
Volonté pour accomplir ce travail.*

*En second lieu, nous remercions vivement Monsieur le  
Professeur **BENSAKER BACHIR**, pour l'honneur qu'il nous  
fait en encadrement, et son entière disponibilité durant toutes  
les étapes de notre projet.*

*Permettez-nous de vous remercier Monsieur le président le  
Professeur **KHERFANE HAMID** et Monsieur le Professeur  
**YAHMEDI SAID**, examinateur de ce projet,  
pour ce grand honneur qu'ils nous ont fait, en acceptant de  
juger ce modeste travail.*

*En fin nous remercions tous ceux qui nous ont aidé de près ou  
de loin à réaliser ce travail.*

## **Liste des Tableaux**

<b>Tableau 3.1.</b> <i>La pièce et L'équipement électrique dans la maison.....</i>	<b>34</b>
<b>Tableau 3.2.</b> <i>L'équipement électrique et leur puissance dans cette maison.....</i>	<b>34</b>
<b>Tableau 3.3.</b> <i>Consommation d'une maison.....</i>	<b>35</b>
<b>Tableau 3.4.</b> <i>Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête.....</i>	<b>37</b>
<b>Tableau 3.5.</b> <i>Caractéristique technique des composants du système PV.....</i>	<b>43</b>
<b>Tableau 3.6.</b> <i>Tableau des données géographique de Seraidi.....</i>	<b>45</b>

## **Liste des Symboles**

- GPV : générateur photovoltaïque
- MPPT : Le maximum du point de puissance
- E<sub>i</sub> : L'énergie journalière consommée d'un Equipment [Wh]
- P<sub>i</sub> : La puissance crête d'un Equipment [W]
- T<sub>i</sub> : Le temps d'utilisation [h]
- P<sub>c</sub> : La puissance de crête [WC]
- VOC : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant [V]
- I<sub>cc</sub> : Courant débité par un module en court-circuit [A]
- I<sub>b</sub> : Courant de la batterie [A]
- PR : Performance Ration [%]
- P<sub>g</sub> : La puissance crête de GPV au STC [W]
- H<sub>gh</sub> : L'irradiation journalière mensuelle moyenne sur le place de GPV [Wh/m<sup>2</sup>/j]
- E<sub>t</sub> : Énergie consommée ramenée au GVP [Wh/j]
- N<sub>tm</sub> : Nombre totale des modules PV
- N<sub>mS</sub> : Nombre de modules disposés en série
- NBP : Nombre de branches en parallèle des modules
- V<sub>m</sub> : Tension nominal d'un module [V]
- V<sub>Dc</sub> : Tension DC nominal du système [V]
- V<sub>Ac</sub> : Tension nominal d'un module [V]
- DOD<sub>max</sub> : Le niveau de décharge à atteindre avant la déconnexion de l'utilisation
- Naut : Les jours d'autonomies
- C(Wh) : La capacité du stockage [Wh]
- C(Ah) : Capacité de stockage en Ampère heure [Ah]
- N<sub>bs</sub> : Nombre d'éléments en série
- V<sub>e</sub> : Tension de l'élément batterie [V]
- V<sub>DC</sub> : La tension DC nominal du système. [V]
- N<sub>bp</sub> : Nombre de branches en parallèle des éléments batteries
- C<sub>e</sub> : Capacité d'un élément batterie [Ah]
- N<sub>e</sub> : Le nombre total d'éléments batterie

## Liste des Symboles

---

IG'	Le courant qui produit par le GPV	[A]
Ibr	Le courant de branche de module parallèle	[A]
Il	Le courant de l'utilisation	[A]
PDC	La puissance de charge DC	[W]
PAC	La puissance de charge AC	[W]
VAC	La tension AC à la sortie de l'onduleur	[V]
VDC	La tension DC nominal du système.	[V]
Pon	La puissance de l'onduleur	[W]

## Liste des Figures

### Chapitre 1 : Généralités et Définitions

<b>Figure 1.1.</b> <i>Irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu.....</i>	<i>5</i>
<b>Figure 1.2.</b> <i> Le soleil source de l'énergie solaire.....</i>	<i>6</i>
<b>Figure 1.3.</b> <i>Types de rayonnements solaires reçus au sol.....</i>	<i>7</i>
<b>Figure 1.4.</b> <i> Spectre de rayonnement solaire.....</i>	<i>8</i>
<b>Figure 1.5.</b> <i>Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque.....</i>	<i>9</i>
<b>Figure 1.6.</b> <i>Schéma d'une cellule photovoltaïque.....</i>	<i>10</i>
<b>Figure 1.7 :</b> <i> Structure et diagramme des bandes d'une cellule photovoltaïque sous éclairement.....</i>	<i>11</i>
<b>Figure 1.8.</b> <i>Silicium.....</i>	<i>11</i>
<b>Figure 1.9.</b> <i>Cellule monocristalline.....</i>	<i>12</i>
<b>Figure 1.10.</b> <i>Cellule multi-cristalline.....</i>	<i>12</i>
<b>Figure 1.11.</b> <i>Cellule au silicium amorphe.....</i>	<i>13</i>
<b>Figure 1.12.</b> <i> Génération de la paire électron-trou.....</i>	<i>13</i>
<b>Figure 1.13.</b> <i> La jonction P.....</i>	<i>14</i>
<b>Figure 1.14.</b> <i>Système PV autonome ou isolé.....</i>	<i>15</i>
<b>Figure 1.15.</b> <i> Branchement en série des panneaux PV.....</i>	<i>16</i>
<b>Figure 1.16.</b> <i>Branchement parallèle des panneaux PV.....</i>	<i>16</i>
<b>Figure 1.17.</b> <i>Branchement série parallèle des panneaux PV.....</i>	<i>17</i>
<b>Figure 1.18.</b> <i> Schéma de principe d'un régulateur de charge.....</i>	<i>18</i>
<b>Figure 1.19.</b> <i> Régulateur parallèle.....</i>	<i>19</i>
<b>Figure 1.20.</b> <i> Régulateur série.....</i>	<i>20</i>
<b>Figure 1.21.</b> <i> Onduleur.....</i>	<i>21</i>

## Liste des Figures

---

**Figure 1.22.** *Convertisseur DC/DC*..... 21

### Chapitre 2 : Les modèles électriques et mathématiques des cellules solaires

**Figure 2.1.** *Schéma équivalent du modèle à une diode* ..... 27

**Figure 2.2.** *Schéma équivalent du Modèle à deux diodes* ..... 29

**Figure 2.3.** *Exemple de configuration de plusieurs panneaux*..... 29

### Chapitre 3 : Simulation d'un système photovoltaïque

**Figure 3.1.** *Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau*..... 36

**Figure 3.2.** *Rendement d'onduleur photovoltaïque en fonction de taux de charge*..... 42

**Figure 3.3.** *Menu principal de logiciel PVsyst*..... 44

**Figure 3.4.** *Horizon De seraidi*..... 46

**Figure 3.5.** *Angle d'orientation*..... 47

**Figure 3.6.** *La profile de charge et le temps d'utilisation*..... 48

**Figure 3.7.** *La définition de system autonome*..... 49

**Figure 3.8.** *Les paramètres pour choisir le type de la batterie*..... 50

**Figure 3.9.** *Les paramètres de la batterie*..... 50

**Figure 3.10.** *Les paramètres du champ PV*..... 51

**Figure 3.11.** *Le choix du régulateur*..... 52

**Figure 3.12.** *Paramètre des pertes*..... 53

**Figure 3.13.** *Profile de charge*..... 54

## Liste des Figures

---

<b>Figure 3.14.</b> <i>Indice de performance</i> .....	55
<b>Figure 3.15.</b> <i>Les productions normalisées</i> .....	56
<b>Figure 3.16.</b> <i>Bilan énergétique</i> .....	57
<b>Figure 3.17.</b> <i>Diagramme des pertes</i> .....	58

## **Table des matières**

<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : Généralités et Définitions .....</b>	<b>4</b>
1.1. Introduction.....	4
1.2. Les énergies renouvelables .....	4
1.2.1. L'énergie solaire.....	5
1.2.2. Rayonnement solaire .....	6
1.2.3. Spectre de rayonnement .....	7
1.3. Les Panneaux solaires .....	8
1.4. Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque .....	10
1.5. Les différentes technologies photovoltaïques .....	11
1.5.1. Cellules monocristallines .....	12
1.5.2. Cellules multi-cristallines (Polycristallin) .....	12
1.5.3. Cellules au silicium amorphe.....	12
1.6. Rappel sur la jonction PN .....	13
1.7. Système PV isolé et autonome .....	14
1.8. Constitution d'un générateur photovoltaïque (GPV) .....	15
1.8.1. Association des Cellules Photovoltaïques en Série .....	16
1.8.2. Association des Cellules Photovoltaïques en Parallèle :.....	16
1.8.3. Association hybride (en série et en parallèle).....	16
1.9. L'unité de stockage .....	17
1.9.1. Batteries d'accumulateurs .....	17
1.10. Régulateurs.....	18
1.10.2. Régulateur parallèle.....	19
1.10.3. Régulateur série.....	19
1.11. Onduleurs.....	20
1.12. Convertisseur DC/DC.....	21
1.13. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire.....	21
1.14. Conclusion.....	24

## **Table des matières**

---

<b>Chapitre 2 : Les modèles électriques et mathématiques des cellules solaires .....</b>	<b>26</b>
2.1. Introduction.....	26
2.2. Modélisation d'une cellule photovoltaïque .....	26
2.2.1. Modèle à une seule diode .....	26
2.2.2. Modèle à deux diodes.....	28
2.3. Choix d'une configuration d'un panneau solaire .....	29
2.4. Conclusion .....	30
<b>Chapitre 3 : Conception de l'installation PV autonome et Simulation par PVSyst .....</b>	<b>32</b>
3.1. Introduction.....	32
3.2. L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité.....	33
3.2.1. Evaluation des besoins.....	33
3.2.2. Choix des appareils électriques et leur adaptation au système PV.....	33
3.2.3. Présentation de l'habitat.....	33
3.2.4. Description de maison.....	33
3.2.5. Cahier des charges.....	35
3.3. Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV.....	36
3.3.1. Orientation et inclinaison des modules.....	36
3.4. Estimation du champ photovoltaïque (tension et puissance crête installée nombre de modules).....	37
3.4.1. Choix de la tension du système.....	37
3.4.2. Composition du champ photovoltaïque.....	37
3.4.3. Nombre des panneaux.....	37
3.5. Estimation de la capacité de stockage de la batterie et choix de la Technologie.....	39
3.5.1. Calcule la capacité de stockage.....	39
3.6. Choix de régulateur et de l'onduleur.....	40
3.6.1. Choix du régulateur.....	40
3.6.2. Choix de l'onduleur.....	41

## **Table des matières**

---

3.7. Choix des composants du système.....	42
3.8. Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome.....	43
3.8.1. Conception du projet .....	44
3.8.2Présentation de projet .....	45
3.9. Résultats et discussions de la simulation numérique.....	53
3.9.1. Les productions normalisées.....	53
3.9.2. Diagramme des pertes sur l'année entière.....	53
3.9.3. Caractéristiques du Batterie.....	53
3.9.4. Profile de charge.....	54
3.9.5. Performance ratio.....	54
3.9.6. Les productions normalisées.....	55
3.9.7. Bilan énergétique.....	57
3.9.8. Diagramme des pertes sur l'année entière.....	58
3.10. Conclusion.....	59
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>61</b>

# **Introduction générale**

### **Introduction générale**

L'Algérie, pays du soleil et de l'espace, peut s'inspirer de ces programmes pour une exploitation à grande échelle de l'énergie solaire. Elle a les moyens humains et financiers à la mesure de ces programmes. L'enjeu est grand et vital. L'Algérie est dans le monde l'un des pays de fort potentiel d'exportation de l'énergie électrique solaire [1].

Le soleil fournit une énergie lumineuse grandiose à la Terre. Mais le problème réside dans le fait que la forme sous laquelle nous recevons l'énergie n'est pas nécessairement celle sous laquelle cette énergie est utilisable. C'est pourquoi, nous devons utiliser des processus de conversion de l'énergie [2]. La technologie qui permet la conversion de cette forme d'énergie (énergie solaire) en énergie électrique est appelée conversion photovoltaïque.

Cette transformation s'effectue sans bruit, sans émission de gaz, elle est donc une énergie totalement propre. Par ailleurs, l'absence et le manque en mouvement des pièces mécaniques lui confèrent un niveau de fiabilité inégalable (la durée de vie d'un module photovoltaïque est estimée généralement, par les experts, à 30 ans).

L'électricité photovoltaïque présente une option technique et économique intéressante pour des sites non raccordés au réseau de distribution centralisé. 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. 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, d'améliorer et d'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 [3].

L'énergie solaire n'étant pas disponible la nuit, il est nécessaire d'équiper les systèmes photovoltaïques autonomes par des batteries d'accumulateurs qui permettent de stocker l'énergie et de la restituer en temps voulu, plus particulièrement pour les installations isolées par rapport au réseau électrique principal telles que l'éclairage, le pompage de l'eau et la production du froid [4].

## ***Introduction générale***

---

L'objectif de notre travail est faire l'étude de la faisabilité de l'alimentation en énergie solaire d'une d'habitation isolée. Pour atteindre notre objectif nous organisons notre travail en chapitre comme suit :

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur l'énergie solaire. Nous présentons tout d'abord, un état de l'art l'énergie solaire photovoltaïque ensuite nous présentons une revue des systèmes qui sont actuellement établis dans la pratique.

Les différents modèles électriques et mathématiques d'un système photovoltaïque, en général, sont présentés au deuxième chapitre de ce mémoire, ainsi que les différentes configurations des cellules solaires dans un panneau.

Le troisième chapitre de ce mémoire est consacré au dimensionnement en énergie électrique de chaque composant de l'installation considérée, à savoir, les différents éléments constituant le générateur photovoltaïque PV nécessaire (batterie, régulateur, onduleur...). Une simulation numérique est mise en œuvre pour montrer l'efficacité de notre approche du problème proposé par utilisation du logiciel PV SYST.

# Chapitre 1

## **Chapitre 1 : Généralités et Définitions**

### **1.1. Introduction**

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé « Effet photovoltaïque ». Ce chapitre présente un état de l'art recensant les travaux liés aux panneaux solaires sur lesquels nous nous sommes appuyés. On débute ce chapitre par les connaissances de base de tout ce qui concerne les systèmes photovoltaïques. Nous présenterons ensuite le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque en tant que élément d'un panneau solaire pour la production de l'énergie électrique nécessaire à une utilisation considérée.

### **1.2. Les énergies renouvelables**

Les énergies renouvelables sont toutes les énergies que la nature offre ou reconstitue plus rapidement que l'Homme ne les utilise. Elles peuvent ainsi être considérées comme inépuisables par conséquent renouvelable et propre par rapport à l'environnement et à l'échelle du temps humain. Comme exemples nous citons l'énergie éolienne (vent), l'énergie thermique, photovoltaïque, thermodynamique (soleil), l'énergie géothermique (Chaleur terrestre), l'énergie hydroélectrique, marémotrice (eau), l'énergie verte (biomasse, biocarburant). Dans tout ce qui suit nous nous intéressons uniquement à l'énergie solaire.

L'étude du gisement solaire est le point de départ de toute investigation dans le domaine de l'énergie solaire. Le gisement solaire est un ensemble de donnée décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible dans un lieu donné et au cours d'une période donnée. Son évaluation peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale. Elle est utilisée pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc d'effectuer son dimensionnement le plus exacte possible compte tenu des demandes en énergie à satisfaire.

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation moyenne nationale dépasse les 2000 heures

annuellement. Cette valeur peut atteindre facilement les 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara. Ainsi, l'énergie moyenne reçue quotidiennement sur une surface inclinée à la latitude est d'environ 7kWh/m<sup>2</sup>/jour [5]. Elle est répartie comme suit :

- Au Nord : 5,6 kWh/m<sup>2</sup>/jour
- Au Sud : 7,2 kWh/m<sup>2</sup>/jour

La figure 1.1 montre l'irradiation globale moyenne annuelle reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu.

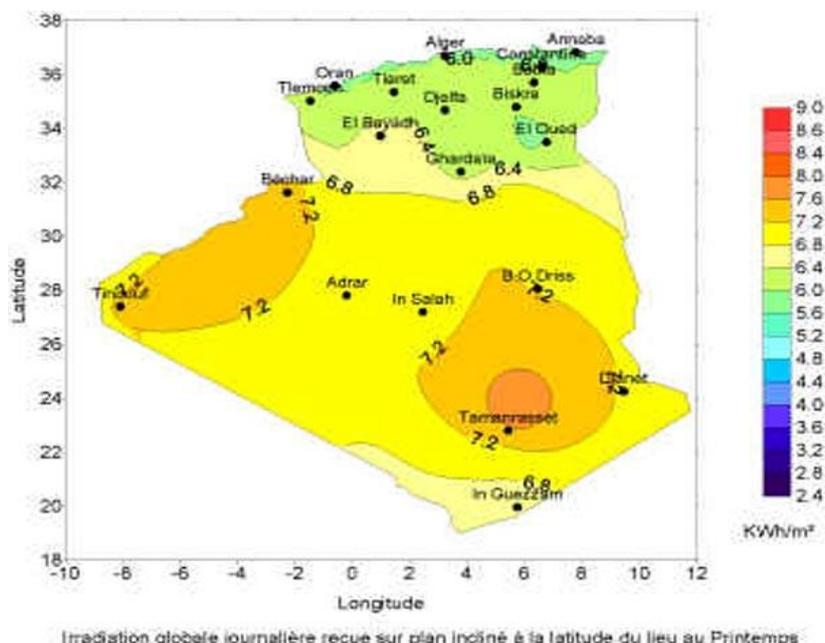
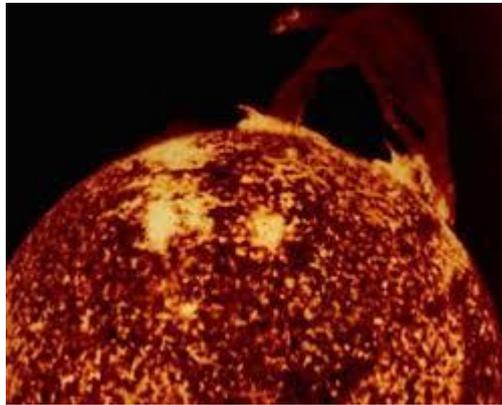


Figure 1.1. Irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu.

### 1.2.1. L'énergie solaire

Elle est issue du fonctionnement de la machine atmosphérique solaire qui se manifeste par son rayonnement dans l'univers. Le soleil produit une énorme quantité d'énergie, qui quitte sa surface sous forme de rayonnement électromagnétique d'un spectre allant de 0,2 μm (ultra-violet) à 4 μm (infrarouge). Cette énergie représente une source majeure d'énergie

dans le futur. Malgré la distance considérable de la terre du soleil (150.106 km), la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie de  $180.10^6$  GW.



**Figure 1.2.** *Le soleil source de l'énergie solaire.*

### **1.2.2. Rayonnement solaire**

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 mm à 10 mm. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement comme suit :

- 9% dans la bande des ultraviolets
- 47% dans la bande visible
- 44% dans la bande des infrarouges

L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1,37 kilowatt au mètre carré (kW/m<sup>2</sup>), à plus ou moins 3 %, selon que la terre s'éloigne ou se rapproche du soleil dans sa rotation autour de celui-ci. L'atmosphère en absorbe toutefois une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement 1200 W/m<sup>2</sup>. La rotation et l'inclinaison de la terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes qui tantôt augmentent, tantôt diminuent le rayonnement solaire et le rendent diffus.

**Le rayonnement direct** est celui qui arrive au sol sans avoir subi de diffusion.

**Le rayonnement diffus**, c'est-à-dire renvoyé dans toutes les directions. Le phénomène de diffusion se produit dans un milieu contenant de fines particules ou des molécules et dépend fortement de la taille des particules considérées

**Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol** c'est le rayonnement qui est réfléchi par la surface terrestre, c'est-à-dire renvoyé dans une direction privilégiée (réflexion dite spéculaire) ou de manière diffuse. Le sol réfléchit plutôt le rayonnement de manière diffuse et anisotrope.

**Le rayonnement global** c'est le rayonnement solaire parvenant au niveau du sol sur une surface horizontale, soit directement, soit après diffusion. Il s'exprime simplement comme la somme du rayonnement diffus et du rayonnement direct pondéré par le cosinus de l'angle zénithal du Soleil comme le montre la figure 1.3 suivante.

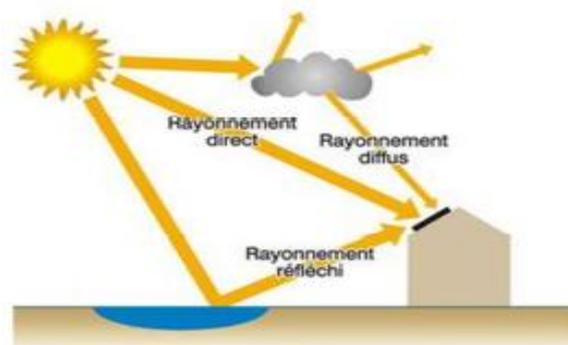


Figure 1.3. Types de rayonnements solaires reçus au sol.

### 1.2.3. Spectre de rayonnement

Le rayonnement électromagnétique est composé d'ondes se propageant à la vitesse de la lumière ( $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  dans le vide). On peut les distinguer par leur longueur d'onde  $\lambda$  ou leur fréquence  $\nu$ , reliées par  $C = \lambda \nu$ . On rencontre également le nombre d'onde  $C = \frac{1}{\lambda}$

La figure 1.4 montre la répartition du spectre de rayonnement solaire. Le rayonnement visible occupe une bande étroite du spectre, les longueurs d'ondes se situant entre 0,38 et

0,78  $\mu\text{m}$  (Les longueurs d'ondes plus courtes) forme le rayonnement ultraviolet, puis X et  $\gamma$ . Les longueurs d'onde plus longues que le visible forment le rayonnement infrarouge puis les micro-ondes.

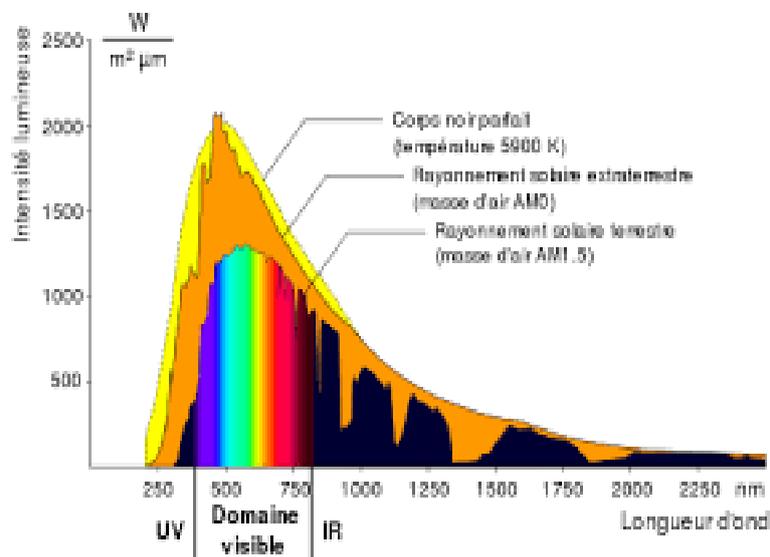


Figure 1.4. Spectre de rayonnement solaire.

### 1.3. Les panneaux solaires

La cellule photovoltaïque (PV) ou encore photopile est l'élément constitutif des modules photovoltaïques. Un panneau solaire photovoltaïque est constitué de plusieurs cellules en série-parallèle ou en parallèle-série afin d'obtenir la tension électrique souhaitée pour une utilisation ou une application domestique ou industrielle considérée.

La cellule PV ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et elle transforme directement l'énergie lumineuse du soleil en énergie électrique. La taille de chaque cellule va de quelques centimètres carrés jusqu'à une centaine de centimètre carrés ( $100\text{cm}^2$ ). La forme des cellules d'un panneau solaire peut être circulaire, carrée ou dérivée de ces deux géométries. Les cellules dans un panneau solaire sont reliées entre-elles selon la structure série-parallèle ou selon la structure parallèle-série. Dans le cas où les cellules sont connectées en série, ce qui permet aux électrons générés par une cellule d'être repris par la suivante, le but ici est d'avoir une différence de potentiel variant normalement entre 6 et 24 V et un courant constant. Dans les cas où les cellules sont connectées en parallèle, la tension électrique est

constante tandis que le courant est proportionnel au nombre de cellules. La figure 1.5 donne le schéma électrique de principe d'une cellule photovoltaïque à une seule diode [7]. On peut avoir aussi deux ou trois diodes en parallèle.

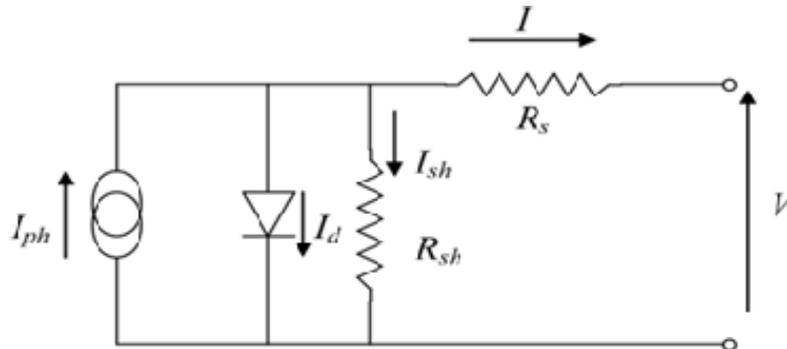


Figure 1.5. Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque.

Ce modèle de schéma électrique d'une cellule photovoltaïque à une seule diode fait intervenir un générateur de courant pour modéliser le flux lumineux incident ( $I_{ph}$ ), une diode pour les phénomènes de polarisation de la cellule et deux résistances, une en série ( $R_s$ ) où circule le courant ( $I$ ) et une en parallèle (shunt) ( $R_{sh}$ ) où circule le courant ( $I_{sh}$ ) pour modéliser les pertes d'énergie dans la cellule [6].

L'étude physique d'une photopile (cellule) nous permet d'obtenir l'équation du courant fourni par la cellule photovoltaïque comme suit :

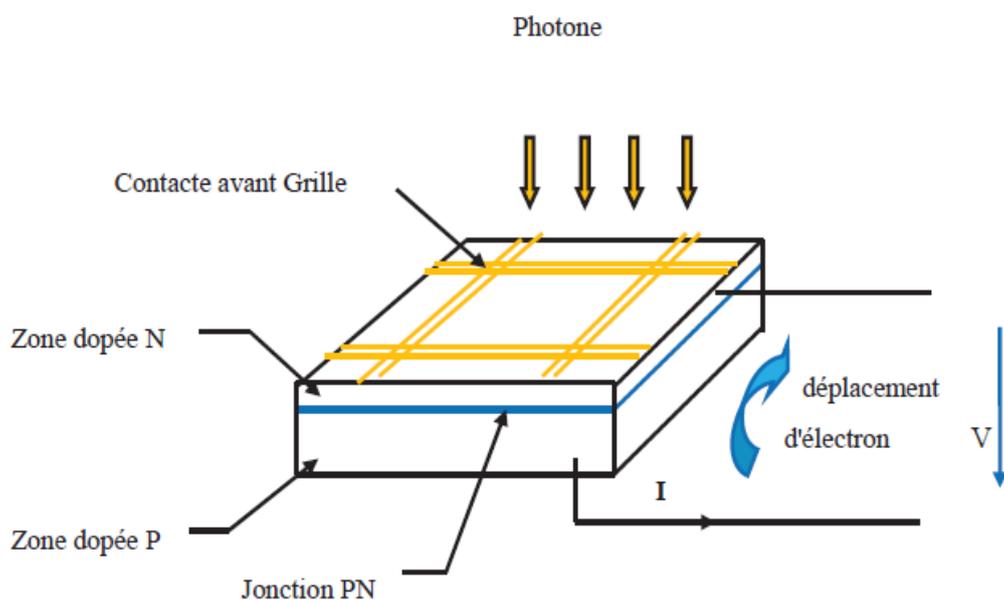
$$I_{cell} = I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (1.3)$$

Dans le cas où la résistance ( $R_{sh}$ ) est plus élevée que la résistance ( $R_s$ ) on peut négliger le courant ( $I_{sh}$ ) donc l'équation (1.3) s'écrit :

$$I_{cell} = I_{ph} - I_d \quad (1.4)$$

Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier de 0.3 V à 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule et

du vieillissement de la cellule [8]. La figure 1.6 illustre une cellule PV typique où sa constitution est détaillée. Les performances de rendement énergétique atteintes industriellement sont de 13 à 14 % pour les cellules à base de silicium monocristallin, de 11 à 12% avec du silicium poly-cristallin et enfin de 7 à 8 % pour le silicium amorphe en films minces [9]. La photopile ou cellule solaire est l'élément de base d'un générateur photovoltaïque [10].



**Figure 1.6.** Schéma d'une cellule photovoltaïque.

#### 1.4. Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque

Sous éclairage les paires électrons-trous photo-générées dans la zone de charge d'espace (ZCE) sont instantanément séparées par le champ électrique  $y$  régnant (figure 1.7). Les trous charges positives se voient accélérés vers la zone P, les électrons charges négatives, vers la zone N. Trous et électrons deviennent alors majoritaires : c'est le photo-courant de génération. Parallèlement, les porteurs minoritaires, trous générés du côté N et électrons générés cotés P, créent un gradient de concentration et diffusent dans le matériau. S'ils atteignent la ZCE sans se recombiner, le champ électrique leur fait traverser la zone de déplétion afin d'atteindre la région où ils deviennent majoritaires : c'est le photo-courant de

diffusion. La présence de contact ohmique assure la collecte des porteurs d'où la création d'un courant photogène  $I_{ph}$  [16], [17].

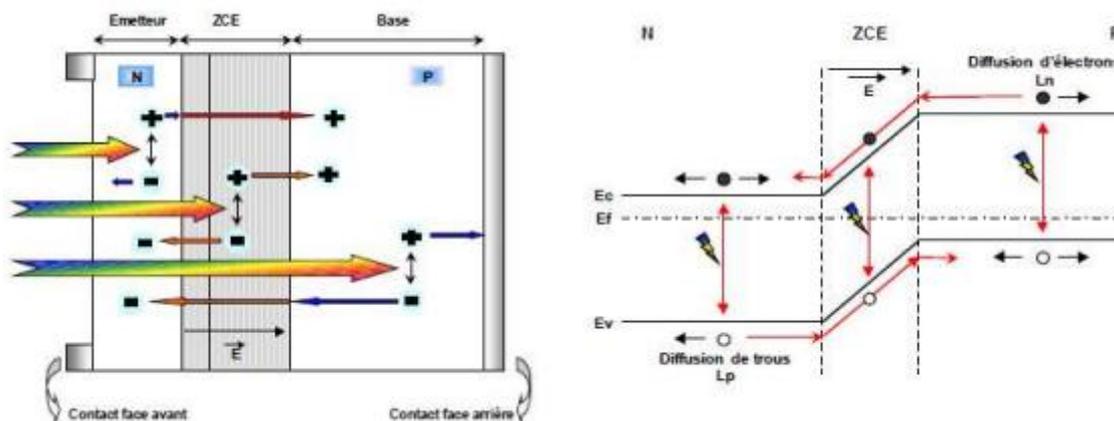


Figure 1.7 : Structure et diagramme des bandes d'une cellule photovoltaïque sous éclaircment

### 1.5. Les différentes technologies photovoltaïques

La filière la plus avancée sur le plan technologique et industrielle est la réalisation de cellules à base de silicium. Ce dernier est l'élément semi-conducteur le plus utilisé car il est peu coûteux et il se trouve en très grande quantité sur terre : il constitue 28% de l'écorce terrestre, sous forme de silice, parfaitement stable et non toxique [11]. La filière silicium représente aujourd'hui l'essentiel de la production mondiale des panneaux photovoltaïques. Le silicium est fabriqué à partir de sable quartzeux (dioxyde de silicium), figure 1.8 [12].



Figure 1.8.Silicium.

Il existe différents types de cellules solaires (ou cellules photovoltaïques), et chaque type de cellules a un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent. Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle [18].

### 1.5.1. Cellules monocristallines

Ce sont celles qui ont le meilleur rendement (12- 16% ; jusqu'à 23% en laboratoire), mais aussi celle qui ont le coût le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée, figure 1.9.



Figure 1.9. Cellule monocristalline.

### 1.5.2. Cellules multi-cristallines (Poly-cristallin)

Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication est moins important, cependant leur rendement est plus faible : 11% - 13% (18% en laboratoire), figure 1.10.



Figure 1.10. Cellule multicristalline.

### 1.5.3. Cellules au silicium amorphe

Elles ont un faible rendement (8% - 10% ; 13% en laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment

dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres figure 1.11.



Figure 1.11. Cellule au silicium amorphe.

### 1.6. Rappel sur la jonction PN

Le silicium, comme tous les semi-conducteurs, a une bande de valence pleine et une bande de conduction vide. Mais grâce à un apport énergétique suffisant, il est possible de faire passer des électrons de la bande de valence (BV) à la bande de conduction (BC), d'où la génération d'électrons libres, figure 1.12.

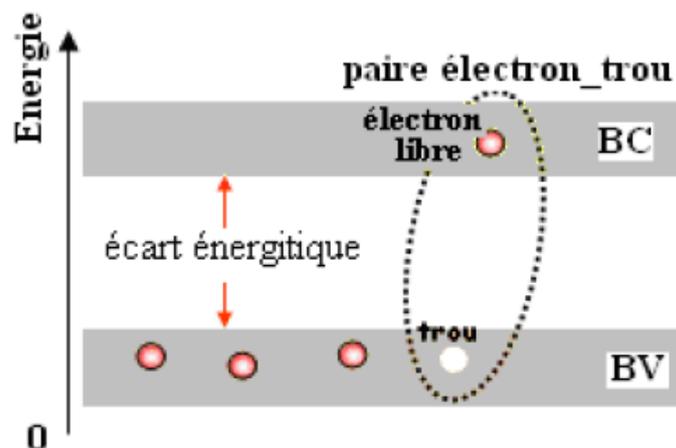


Figure 1.12. Génération de la paire électron-trou.

La présence d'électrons libres dans la bande de conduction d'un matériau n'est pas suffisante pour générer un courant : il est nécessaire de créer une différence de potentiel aux bornes du photo-générateur afin d'entraîner les charges positives d'un côté et les charges négatives de l'autre. Cette opération est possible par dopage du Silicium. Une

jonction PN est créée par l'assemblage de deux barreaux de Silicium de type N et P. Le composant ainsi créé est appelé diode.

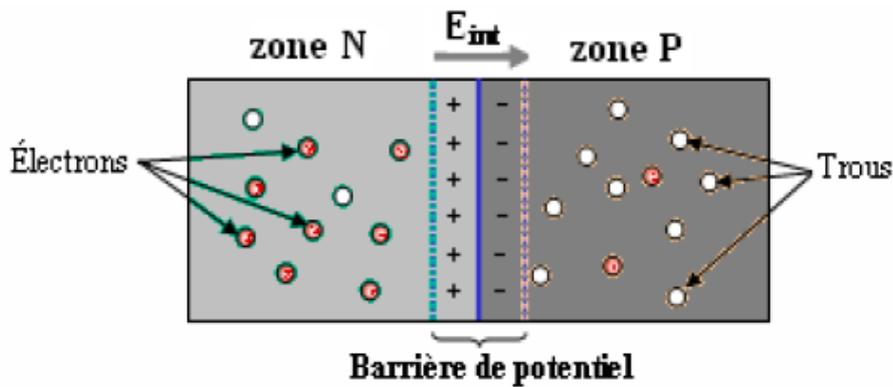


Figure 1.13. La jonction P.

### 1.7. Système PV isolé et autonome

Les systèmes PV sont utilisés selon les exigences et l'application considérée, ils existent en quatre types qui sont : Le système autonome, le système raccordé au réseau électrique central, le système hybride et le système PV couplé directement. Dans ce qui suit nous nous intéressons seulement au système autonome qui est l'objectif de notre projet.

Un système photovoltaïque isolé alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique. C'est bien souvent le seul moyen de s'électrifier lorsque le courant du réseau électrique n'est pas disponible : les maisons en site isolé, sur des îles, en montagne...

Ce type de système nécessite l'utilisation de batteries pour le stockage de l'électricité et d'un contrôleur de charge pour assurer la durabilité des batteries, figure 1.14, [13].

L'énergie produite par le panneau solaire est convertie en courant continu (DC). Elle sera ensuite utilisée directement en présence de l'éclairement solaire et simultanément stockée dans les batteries en cas d'excès d'énergie. Promptement, ces batteries assurent la génération d'énergie en cas du manque ou d'absence de l'éclairement solaire. Un système PV autonome typique, présenté en figure 1.14. Il est constitué d'un GPV, d'une partie d'accumulation et d'une unité de conditionnement qui contient ; un régulateur de charge, un dispositif MPPT (traqueur de point de puissance maximale) et parfois un onduleur pour

convertir la puissance DC générée en puissance alternative (AC) requise par les charges AC [14].

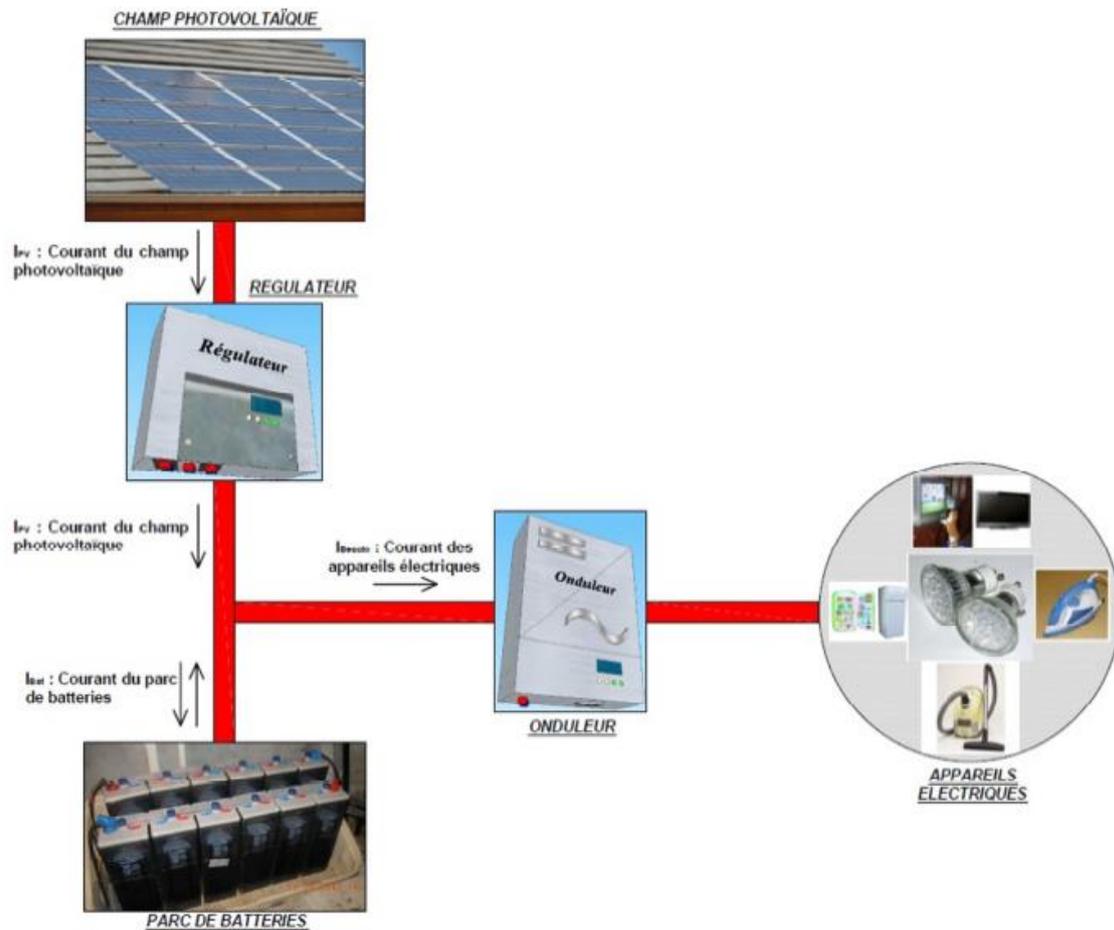


Figure 1.14. Système PV autonome ou isolé.

### 1.8. Constitution d'un générateur photovoltaïque (GPV)

L'association de plusieurs cellules photovoltaïques en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque. Si les cellules se connectent en série, les tensions de chaque cellule s'additionnent, augmentant la tension totale du générateur. D'une autre part, si les cellules se connectent en parallèle, c'est le courant qui augmentera comme représenté sur les figures suivantes.

### 1.8.1. Association des cellules photovoltaïques en série

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 0.5 W avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau). L'association en série des cellules délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule, figure 1.15.

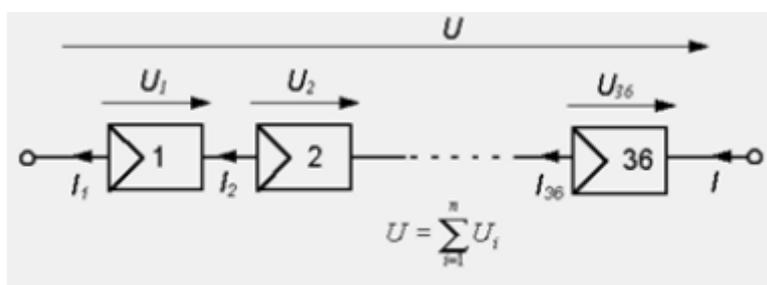


Figure 1.15. Branchement en série des panneaux PV.

### 1.8.2. Association des cellules photovoltaïques en parallèle

En additionnant des modules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche, figure 1.16.

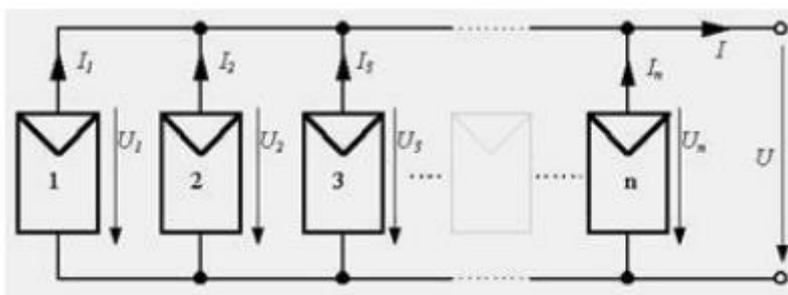


Figure 1.16. Branchement parallèle des panneaux PV.

### 1.8.3. Association hybride (en série et en parallèle)

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, on est obligé d'utiliser un groupement mixte, c'est à dire Série-Parallèle, figure 1.17.

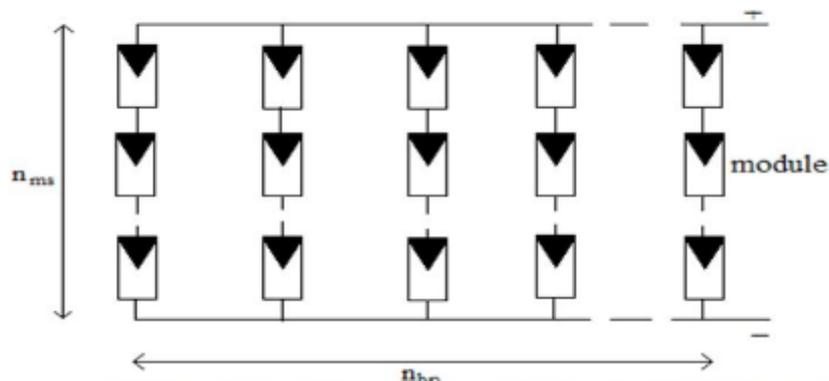


Figure 1.17. Branchement série parallèle des panneaux PV.

## 1.9. L'unité de stockage

Dans un système photovoltaïque, la puissance délivrée par le GPV est imprévisible et varie indépendamment de la demande. Ainsi, pour une installation PV autonome, l'unité de stockage est requise pour assurer un approvisionnement continu en énergie électrique. Parmi les nombreuses technologies de stockage, la batterie au plomb est la plus utilisée dans les installations PV autonomes. Ce type de batterie est connu pour son coût faible, son rendement (environ 85%), ses performances en température (fonctionnement en températures extrêmes), sa longue vie et sa grande disponibilité. Dans ce qui suit, certaines notions sur les batteries seront définies [19], [20], [21].

### 1.9.1. Batteries d'accumulateurs

Le fait que l'énergie solaire ne soit pas disponible sur l'ensemble d'une période de fonctionnement du système alimenté impose l'utilisation de batteries dans les installations autonomes pour la stocker.

Dans les systèmes solaires autonomes on utilise principalement :

- Les batteries au plomb : Elles constituent l'écrasante majorité du marché des accumulateurs. La bonne maîtrise technologique, son bas coût de revient, et son bon rendement énergétique de charge/décharge. Ces conditions d'utilisation non difficiles à satisfaire militent en faveur de sa large utilisation.

- Les batteries au Nickel Cadmium : Elles sont les plus chères, mais aussi très résistantes aux surcharges et aux décharges, et résistent bien aux basses températures.

### 1.10. Régulateurs et principe de fonctionnement

Dans tout système photovoltaïque autonome, on intercale un système dit de régulation, qui sert à contrôler l'intensité de courant qui passe par les accumulateurs, les protégeant ainsi contre les surcharges et les décharges profondes, afin de maximiser sa durée de vie. Le régulateur permet aussi d'effectuer un transfert optimal d'énergie du champ photovoltaïque à l'utilisation [22].

La densité de l'électrolyte de la batterie est théoriquement un excellent indicateur d'état de charge, mais souvent cet indicateur ne prend sa valeur caractéristique que plusieurs jours après sa charge. De plus, il faudrait agiter l'électrolyte pour faire une bonne mesure. Enfin, cette mesure est difficile à automatiser. Finalement l'indicateur utilisé est la tension aux bornes de la batterie. Cette grandeur est la seule facilement mesurable capable de donner une estimation de l'état de charge. La figure 1.18 représente un schéma électronique de principe qui traduit le fonctionnement d'un régulateur basé sur un comparateur de tension [22].

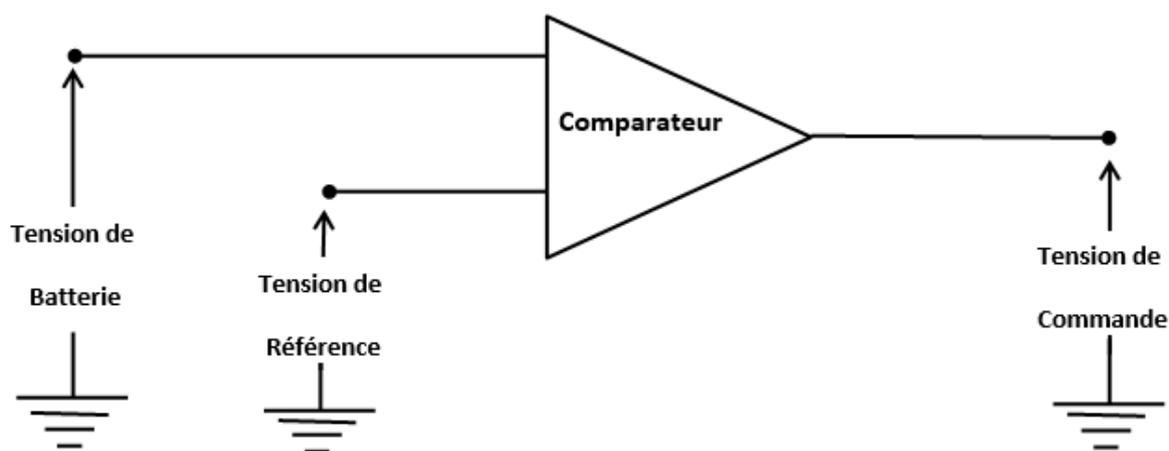


Figure 1.18. Schéma de principe d'un régulateur de charge.

Le régulateur doit maintenir l'état de charge des batteries entre deux seuils, un seuil haut et un seuil bas. Pour éviter tout phénomène de battement de la régulation, ces deux seuils sont

doublés de seuils de ré-enclenchement qui peuvent être ou non confondus. Le choix des seuils de régulation dépend des caractéristiques des batteries et des conditions d'utilisation (régime de charge, décharge, température,...). Il existe plusieurs types de régulateur, on peut citer deux types, le régulateur série et le régulateur parallèle.

### 1.10.1. Régulateur parallèle

Le circuit de débordement est connecté en parallèle sur le générateur pour dissiper l'énergie en excès. Le principe est décrit sur la figure 1.19, où la tension de fin de charge est ajustable par la tension de référence appliquée à l'entrée d'un amplificateur opérationnel.

Les principaux avantages de ce type de régulateur sont :

- La régulation de type proportionnel
- L'absence de la chute de tension dans le circuit série
- La consommation du régulateur négligeable
- Un défaut du régulateur n'interrompt pas la charge Le principal inconvénient est lesuivant :
- Les composants doivent dissiper la puissance totale du générateur

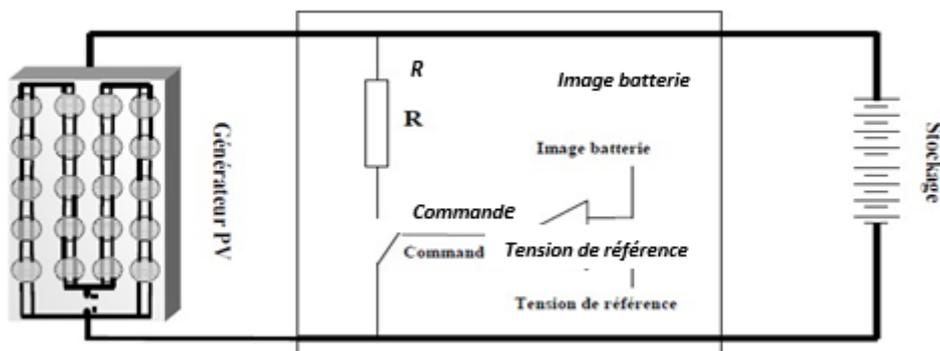


Figure 1.19. Régulateur parallèle.

### 1.10.2. Régulateur série

Le principe de la régulation série est décrit sur la figure 1.20. C'est un composant électronique de puissance en série dans le circuit de charge dont la commande est assurée

par une tension de référence. Le schéma ci-dessous donne un exemple possible de circuit série. Le composant électronique série (par exemple : un transistor de puissance) se comporte comme une résistance dont la valeur augmente au fur et à mesure qu'augmente l'état de charge de la batterie.

Les principaux avantages en sont :

- La régulation de type proportionnel
- La puissance faible dissipée dans le circuit série comparée à la puissance du générateur PV

Les principaux inconvénients en sont

- Le circuit série introduit une chute de tension
- La défaillance du circuit série entraîne l'arrêt de la charge

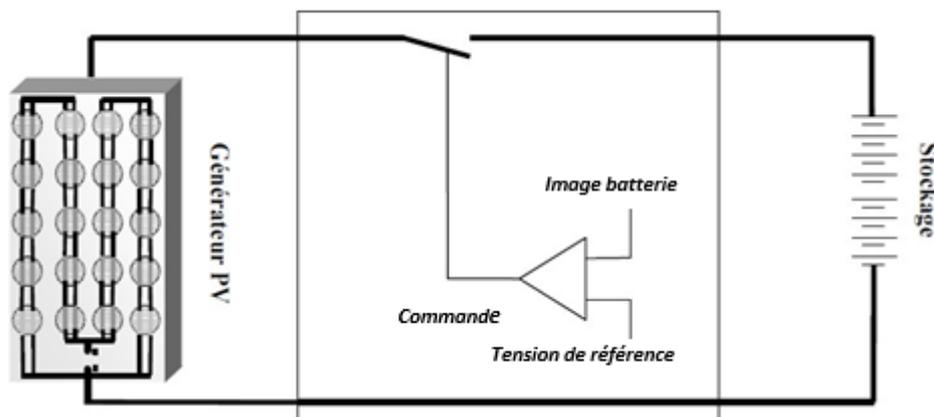


Figure 1.20. Régulateur série.

### 1.11. Onduleurs

Pour alimenter des équipements fonctionnant en courant alternatif, un dispositif électronique statique de conversion ou convertisseur DC/AC est utilisé pour la transformation du courant continu en courant alternatif, figure 1.21.

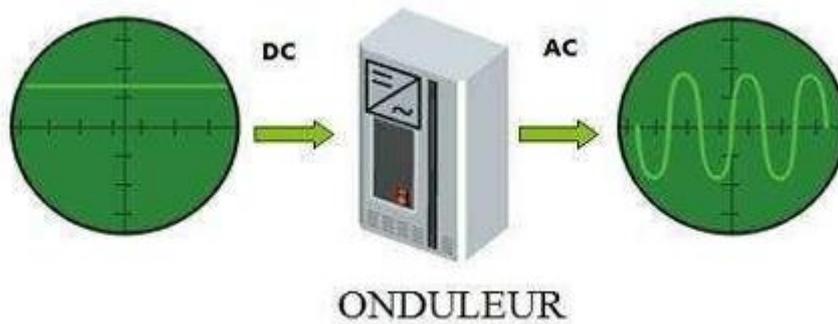


Figure 1.21. Onduleur.

### 1.12. Convertisseur DC/DC

La figure 1.22 montre la représentation d'un convertisseur DC/DC, qui peut être utilisé comme interface entre la source et la charge [23].

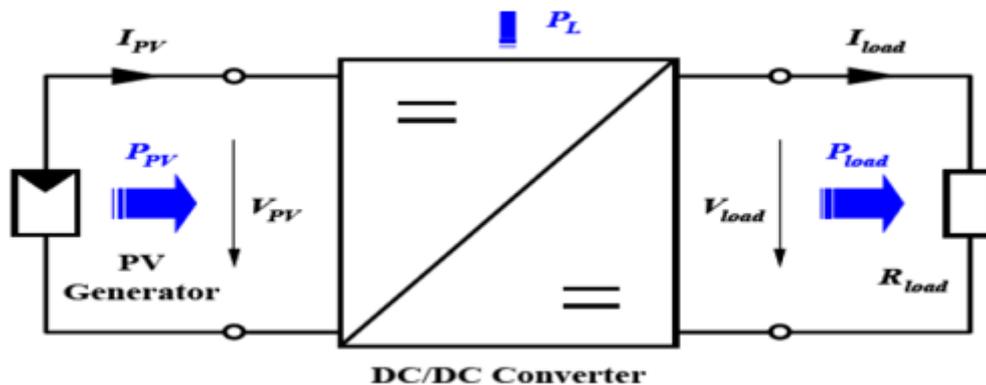


Figure 1.22. Convertisseur DC/DC.

Le rôle du convertisseur DC/DC (dans le cadre du PV) est de faire l'adaptation entre la source (GPV) et la charge pour un transfert de puissance maximal. Ceci est fait en maintenant le PF sur ou assez proche du MPP pour n'importe quelles conditions de fonctionnement (rayonnement, température, caractéristique de charge, etc.).

### 1.13. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire

- C'est une forme d'énergie propre dont l'utilisation réduit l'empreinte de carbone de manière significative car, à la différence des énergies fossiles, elle ne génère pas de gaz à

effet de serre et elle pollue uniquement lors du processus de fabrication du panneau solaire.

- C'est une source d'énergie renouvelable, inépuisable et durable.
- Elle est versatile dans son usage car, en plus de générer de l'électricité, l'énergie solaire permet de chauffer, à la différence des autres sources d'énergie renouvelable, comme les aérogénérateurs.
- L'énergie solaire est gratuite, car elle ne requiert pas une extraction constante de matériaux bruts qui auraient été raffinés et transportés. L'espérance de vie des panneaux solaires peut atteindre les 40 ans et ils comptent généralement sur une garantie de 25 à 30 ans. En outre, son faible coût de maintenance garantit l'amortissement de l'investissement initial.
- L'utilisation de l'énergie solaire ne génère pas de pollution acoustique, car les panneaux solaires ne font pas du tout de bruit durant son fonctionnement.
- La lumière solaire est abondante et largement disponible. C'est pourquoi l'emploi de panneaux solaires est une option viable à n'importe quel endroit du monde, y compris dans les localités éloignées où on ne peut pas forcément tirer de câble électrique.
- L'utilisation d'énergie solaire promeut l'indépendance et la sécurité énergétiques, en réduisant la dépendance vis-à-vis des approvisionnements extérieurs. La sécurité énergétique est la manière qu'a l'État de garantir un approvisionnement en énergie durable et économiquement rentable par le biais de l'approvisionnement externe et de la production à partir de sources indigènes. L'indépendance énergétique réduit la vulnérabilité énergétique d'un pays à des facteurs tels que la guerre ou les sanctions.
- Le développement technologique dans le domaine de l'énergie solaire a mené une augmentation de sa demande, générant ainsi une industrie globale et croissante de fabricants et d'installateurs, permettant ainsi de créer des emplois dans le monde entier. Selon les données de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables, en 2018, le secteur du solaire photovoltaïque employait plus de 3,6 millions de personnes dans le monde.
- L'utilisation d'énergie solaire diminue la dépendance aux énergies fossiles (sources d'énergie non renouvelable) et elle permet de préserver les ressources naturelles de la planète

En ce qui concerne les inconvénients nous citons :

- L'efficacité des panneaux solaires (capacité qu'ils ont de convertir les rayons solaires en énergie électrique) est relativement basse et elle n'avoisine que les 22%. Toutefois, grâce au développement technologique, on observe une tendance croissante de cette dite efficacité.
- L'utilisation de l'énergie solaire implique un coût initial élevé qui dérive de l'installation des panneaux solaires, ce qui n'est pas accessible à toute la population.
- A cause de la basse efficacité énergétique des panneaux photovoltaïques, pour le moment, il faut une grande installation afin de produire une quantité d'énergie électrique adéquate qui couvrirait les besoins énergétiques. Cet inconvénient peut être contré grâce à l'installation de panneaux solaires sur les toits.
- L'énergie solaire n'est pas constante, sinon qu'elle fluctue au cours de la journée, comme durant la nuit, moment où elle est indisponible. Pour pallier à cet inconvénient, il faut faire appel à l'emmagasinement de l'énergie durant ces moments. En plus des fluctuations quotidiennes, la production d'énergie solaire diminue durant les mois d'hiver, quand il y a moins d'heures de soleil et que la radiation solaire est moins intense qu'en été.
- La technologie actuelle de stockage d'énergie solaire électrique n'est pas perfectionnée, étant donné que les batteries existantes sont coûteuses et volumineuses, et, en plus, elles peuvent ne pas être suffisantes pour couvrir les besoins énergétiques.
- Les performances des panneaux solaires peuvent être réduites dans certaines conditions atmosphériques, telles que de longues périodes de chaleur et d'humidité (qui peuvent même briser les feuilles constitutives des panneaux) ou avec des nuages et du brouillard. La pollution peut également réduire les performances des panneaux, de sorte que leur utilisation n'est pas recommandée dans les villes où la pollution atmosphérique est élevée.
- Bien que l'utilisation de panneaux solaires ne soit pas polluante, des déchets toxiques et de grandes quantités de gaz à effet de serre sont produits lors de leur fabrication (notamment lors du processus d'extraction du silicium. Cependant, par rapport à un scénario de combustible fossile, en provenant d'une source d'énergie propre, l'utilisation de l'énergie solaire compensera l'empreinte carbone générée pendant le processus de fabrication des panneaux.

- L'installation de panneaux solaires peut avoir un impact visuel polluant qui affecte négativement le paysage.

Malgré ces inconvénients, le marché photovoltaïque ne cesse pas de trouver des applications et de s'agrandir. En plus, la technologie photovoltaïque est dans un processus de maturation dans laquelle les inconvénients pourraient s'atténuer, surtout en ce qui concerne les coûts de fabrication [20].

### **1.14. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents éléments qui entrent dans la constitution d'un système photovoltaïque tels que la cellule et module PV et leurs différents branchements, les différents types de systèmes PV comme le système autonome, le système raccordé au réseau et le système hybride. Nous nous sommes intéressés, par la suite, aux différentes technologies des éléments constitutifs d'un système panneau solaire photovoltaïque, et finalement nous avons cité les avantages et les inconvénients des systèmes PV en général.

# Chapitre 2

## **Chapitre 2 : Les modèles électriques et mathématiques des cellules solaires**

### **2.1. Introduction**

Dans ce chapitre sont présentés les différents modèles électriques et mathématiques des cellules photovoltaïques qui composent un panneau photovoltaïque. Nous présentons en premier lieu le modèle électrique et mathématique de la cellule utilisant une seule diode, ensuite le modèle à double diodes et enfin le modèle à trois diodes. Les différentes configurations de cellules utilisées dans un panneau sont présentées en second lieu.

### **2.2. Modélisation d'une cellule photovoltaïque**

L'énergie photovoltaïque est obtenue par la conversion directe de la lumière du soleil (énergie solaire) en électricité (énergie électrique) grâce à des cellules solaires. Un système photovoltaïque est constitué de plusieurs cellules photovoltaïques (panneau photovoltaïque) et d'un ensemble de composants électriques (convertisseur statique, batterie de stockage avec son régulateur de charge, câblage et protection) qui permettent d'adapter la puissance électrique produite aux spécifications des récepteurs.

La modélisation des cellules photovoltaïques passe nécessairement par un choix judicieux des circuits électriques équivalents. Pour développer un circuit équivalent précis pour une cellule, il est nécessaire de comprendre la configuration physique des éléments de la cellule aussi bien que les caractéristiques électriques de chaque élément. Selon cette philosophie, plusieurs modèles mathématiques ont été développés dans la littérature pour représenter un comportement de la cellule, fortement non linéaire, résultant de celui des jonctions semi-conductrices qui sont à la base de leur réalisation. Trois types de modèles existent dans la littérature [24].

#### **2.2.1. Modèle à une seule diode**

Le fonctionnement d'un module photovoltaïque est décrit par le modèle « standard » à une diode, établi par Shokley pour une seule cellule PV, est généralisé à un module PV en le

considérant comme un ensemble de cellules identiques branchées en série ou en parallèle comme le montre la figure 2.1 [25].

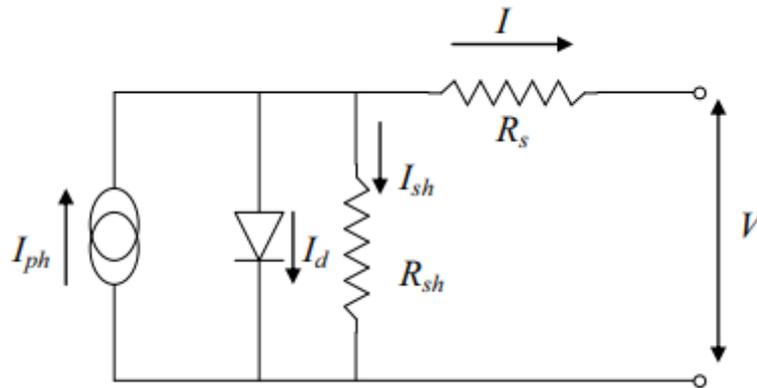


Figure 2.1. Schéma équivalent du modèle à une diode [15].

Le courant fourni par la cellule est donné par la relation :

$$I = -I_{ph} + \frac{V - R_s I}{R_{sh}} + I_s \left[ \exp \left\{ \frac{q(V - R_s I)}{A k T} \right\} - 1 \right] \quad (2.1)$$

Où :

I : Courant fourni par la cellule [A]

V : Tension à la borne de la cellule [V]

I<sub>ph</sub> : Photocourant [A], proportionnel à l'irradiance  $\phi$ , avec correction selon T

I<sub>s</sub> : Courant de saturation de la diode [A], dépendant de la température [A]

R<sub>s</sub> : Résistance série [ $\Omega$ ].

R<sub>sh</sub> : Résistance shunt (ou parallèle) [ $\Omega$ ].

q : Charge de l'électron = 1,602. 10<sup>-19</sup> Coulomb

k : Constante de Boltzmann = 1,38. 10<sup>-23</sup> J/K

A : Facteur de qualité de la diode, normalement compris entre 1 et 2.

T : Température effective de la cellule [Kelvin].

Il faut noter que ces deux résistances sont liées à la technologie d'élaboration des électrodes. Il faut minimiser R<sub>s</sub> de telle sorte que R<sub>sh</sub> soit très important.

Le photocourant  $I_{ph}$  varie avec l'irradiance, il est déterminé par rapport à des valeurs données aux conditions de référence :

$$I_{ph} = \frac{\phi}{\phi_{ref}} \cdot [I_{phref} + \mu_{Ics} \cdot (T - T_{ref})] \quad (2.2)$$

Où

$\phi$  et  $\phi_{ref}$  : Irradiance effective et de référence [ $W/m^2$ ].

$T$  et  $T_{ref}$  : Température effective et de référence [K].

$\mu_{Ics}$  : Coefficient de température du photocourant (ou courant de court-circuit), il est souvent donné par le fabricant, il est en général positif mais très faible.

Le courant de saturation de la diode est supposé variable avec la température selon l'expression :

$$I_s = I_{sref} \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^3 \cdot \exp\left[\left(\frac{q \cdot E_g}{A \cdot k}\right) \cdot \left(\frac{1}{T_{ref}}\right) - \left(\frac{1}{T}\right)\right] \quad (2.3)$$

Où :

$E_g$  : Energie de Gap de la cellule. (Silicium cristallin  $E_g = 1,12$  eV, Silicium amorphe

$E_g = 1,7$  eV, CIS = 1,03 eV, CdTe = 1,5 eV).

Les conditions de référence  $F$  et  $F_{ref}$  sont les conditions extérieures pour lesquelles sont spécifiées les données de base utilisées pour l'établissement du modèle ( $V_{co}$ ,  $I_{co}$ ,  $V_{max}$ ,  $I_{max}$ ), se sont soit les spécifications du fabricant, toujours données aux STC (Standard Test Conditions, 1000  $W/m^2$ , 25°C, spectre AM1,5), soit des valeurs issues d'une mesure du module.

### 2.2.2. Modèle à deux diodes

Nous avons, cette fois-ci, deux diodes pour représenter les phénomènes de polarisation de la jonction PN. Ces diodes symbolisent la recombinaison des porteurs minoritaires, d'une part en surface du matériau et d'autre part dans le volume du matériau. Le schéma du générateur photovoltaïque devient dans le cas de la figure 2.2.

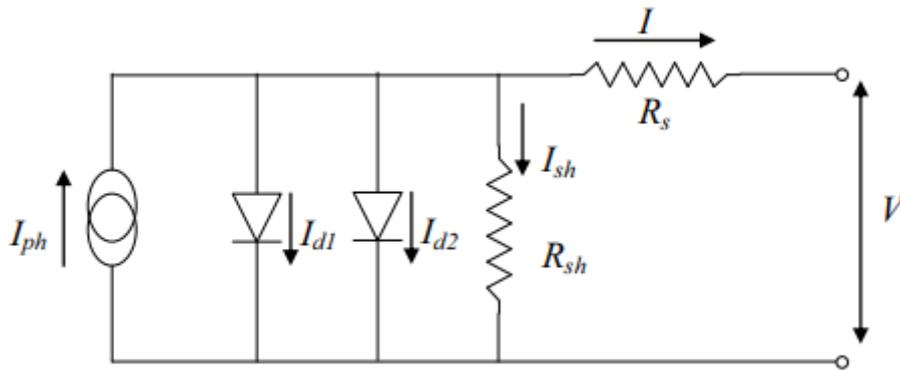


Figure 2.2. Schéma équivalent du Modèle à deux diodes [15].

Le courant fourni par la cellule est donné par la relation :

$$I = I_{ph} + \frac{V - R_s I}{R_{ph}} + I_{s1} \left[ \exp \left\{ \frac{q(V - R_s I)}{A k T} \right\} - 1 \right] + I_{s2} \left[ \exp \left\{ \frac{q(V - R_s I)}{2 A k T} \right\} - 1 \right] \quad (2.4)$$

### 2.3. Choix d'une configuration d'un panneau solaire

Un module photovoltaïque est constitué d'un ensemble de cellules PV élémentaires montées en série et/ou en parallèle afin d'obtenir des performances électriques désirées, tels que la puissance, le courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) et la tension en circuit ouvert ( $V_{oc}$ ).

Pour obtenir des puissances supérieures, il est donc nécessaire d'associer en série et/ou en Parallèle, plusieurs modules pour former un panneau photovoltaïque et aussi l'association de plusieurs panneaux en série et/ou en parallèle forme un champ PV ou un générateur PV. La figure 2.3 suivante donne un exemple.

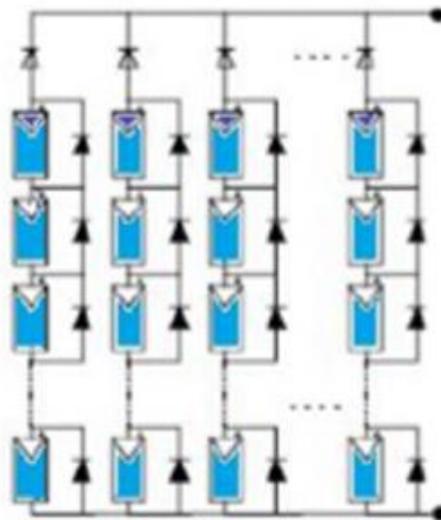


Figure 2.3. Exemple de configuration de plusieurs panneaux.

## **2.4. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les caractéristiques électriques fondamentales de quelques cellules photovoltaïques ainsi que les circuits électriques équivalents. Les modèles mathématiques de ces différentes cellules ont été présentés et discutés pour mettre en évidence les critères pour choisir le modèle qui convient à une utilisation donnée.

La modélisation de chaque composant du système photovoltaïque complet a été élaborée à partir de modèles de la littérature est une étape essentielle qui permet d'introduire un certain nombre de modèles. Les résultats de cette modélisation seront appliqués dans le chapitre suivant pour étudier, en simulation, le comportement d'une cellule photovoltaïque et aussi l'influence de la température et de l'éclairement sur l'énergie produite par la cellule PV.

# Chapitre 3

## Chapitre 3 : Conception de l'installation PV autonome et Simulation par PVsyst

### 3.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons faire la conception et le dimensionnement d'un champ photovoltaïque précis. Les étapes ci-dessous nous présentent de façon détaillée la démarche à suivre pour concevoir un système photovoltaïque autonome.

- Etape 1 : L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité(en Wh/j)
- Etape 2 : Evaluation du gisement solaire local
- Etape 3 : Estimation du champ photovoltaïque (tension et puissance crête installée nombre de modules)
- Etape 4 : Estimation de la capacité de stockage de la batterie et choix de la Technologie
- Etape 5 : Choix du régulateur et de l'onduleur

Enfin Nous allons simuler un système photovoltaïque avec Le logicielle PVsyst

### 3.2. L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité

Il s'agit d'estimer la consommation d'équipements supposés connus. L'objectif est d'obtenir la consommation totale moyenne par jour et par période (été, hivers, vacances...) L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour  $E$  (Wh/j) est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier, à savoir la télévision, les lampes d'éclairage, les appareils électroniques, etc... ;

Elle est donnée par la loi suivante [26] :

$$E = \sum i E_i \quad (3.1)$$

Le temps moyen d'utilisation est plus délicat à cerner ; il faut le rapporter à :

- La saison ;
- Le nombre d'occupants ;
- Le mode d'utilisation.

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement et pour tous les équipements à forte consommation, partez de la durée du cycle de fonctionnement de la tâche. Ainsi, la consommation de chaque équipement peut être calculée comme suit [26] :

$$E_i = P_i \times t_i \quad (3.2)$$

*L'énergie journalière consommée d'un équipement Wh/j = la puissance de cet  
Équipement  $W \times$  le temps d'utilisation (h)*

### 3.2.1. Evaluation des besoins

Le kWh solaire est cher, il faut procéder à une économie d'énergie au niveau des récepteurs par une technologie de basse consommation ou remplacer le parc existant par un autre sous tension continue. Même s'ils sont onéreux à l'achat, le coût global sera bien moindre car il faudra moins de modules photovoltaïques et de batteries pour les alimenter.

### 3.2.2. Choix des appareils électriques et leur adaptation au système PV

Le système PV peut s'adapter à tout, mais il sera souvent rentable d'y adapter des appareils qui consomment particulièrement peu ou qui sont capables de fonctionner directement en basse tension. Par exemple : les sources lumineuses les plus adéquates sont des luminaires à tubes fluorescents de petite puissance, 8 à 20W. Leur efficacité est très bonne et leur utilisation très satisfaisante.

### 3.2.3. Présentation de l'habitat

L'ensemble d'habitations situées dans la ville de Seradi qui se trouve dans la willaya d'Annaba

### 3.2.4. Description de maison

Nombre de pièce : cette maison est constituée à 2 chambres est un salon et la cuisine et salle de bain, hall.

La pièce	L'équipement électrique
Salon	- TV - Dèmo - 2 lampes (20 w)
Chamber 01	- TV - Dèmo - Une lampe (20 w)
Chamber 02	- Une lampe (20 w) - PC
Cuisine	- Une lampe (20 w) - Refrigerateur
Hall	- 2 lampes (20 w)
Salle de bain	- Une lampe (8 w) - Machine a laver - Pompe d'eau
Water-closet	- Une lampe (8 w)

Tableau 3.1. La pièce et L'équipement électrique dans la maison

Type d' Equipments	Equipments	Puissance (w)
Eclairage	- 2 lampes (8w)	16
	- 7 lampes (20 w)	140
Electroménager	- Machine à lave	2000
	- Refrigerateur	130
Electroniques	- Télévision	135
	- Dèmo	30
	- PC	150
Divers	- Pompe d'eau	800

Tableau 3.2. L'équipement électrique et leur puissance dans cette maison

### 3.2.5. Cahier des charges

Bilan des puissances de notre maison (tableau 3.3) ci-dessous pour optimiser la consommation journalière, nous prenons par compte toutes les pertes de system (les rendements des composants) pour présenter le cahier des charges. Les récepteurs seront alimentés par un onduleur. On considère que l'onduleur est bien utilisé (rendement de conversion est alors de 95%, le rendement de régulateur est 98%, le rendement de batterie est 90%). Ainsi la puissance à fournir à l'onduleur pour disposer à sa sortie de l'énergie nécessaire aux récepteurs AC.

Estimation de la consommation d'énergie électrique :

Equipments	P (w)	Nombre	Rendement de B.O.S	Consommation journalière (Wh/j)
Lampe (20 w)	20	7	0,8	1241,2
Lampe (8 w)	8	2	0,8	38,19
Machine à laver	2000	1	0,8	4773,84
Réfrigérateur	130	1	0,8	775,75
Télévision	135	2	0,8	1933,40
Démo	30	2	0,8	429,64
PC	150	1	0,8	537,10
Pompe d'eau	800	1	0,8	1910
Consommation journalière moyen (Wh/j)				<b>11638,62</b>

**Tableau 3.3.** Consommation d'une maison

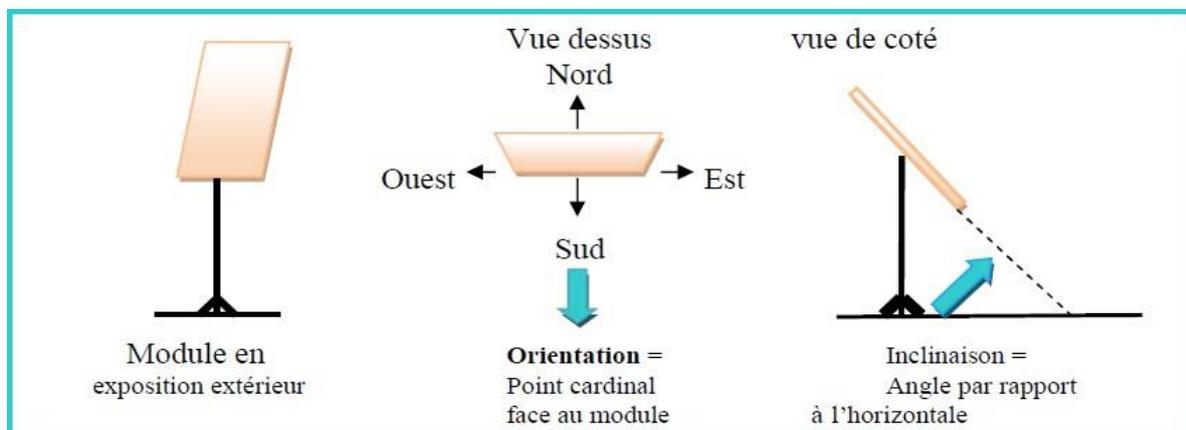
### 3.3. Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV

Les données de l'ensoleillement (exprimé en  $\text{KWh /m}^2/\text{j}$ ) peuvent être relevées sur le site ou enregistrées sur la carte de l'ensoleillement de la région ou encore obtenues au niveau de la station météo la plus proche de la zone.

Pour avoir une autonomie complète et éviter une variation saisonnière de la consommation, il faut prendre comme référence l'ensoleillement du mois ensoleillé [27].

#### 3.3.1. Orientation et inclinaison des modules

La position des modules photovoltaïques par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leur possibilité. On appelle orientation, le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (Sud, Nord, Sud-ouest...). L'inclinaison indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal, elle se compte donc en degrés, figure (3.1).



**Figure 3.1.** Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau

L'orientation idéale d'un module photovoltaïque obéit à une règle vers l'équateur :

- Orientation vers le sud dans l'hémisphère Nord ;
- Orientation vers le nord dans l'hémisphère Sud.

En ce qui concerne l'inclinaison, c'est un peu plus compliqué. Si on prend le cas d'une application autonome qui consomme une énergie quasi constante tout au long de l'année. L'hiver étant la période la moins ensoleillée, c'est à cette période qu'il faut optimiser la production. Les panneaux doivent donc pouvoir récupérer l'énergie d'un soleil dont la hauteur est faible. Il en résulte qu'en Algérie pour une utilisation annuelle, l'inclinaison idéale est environ égale à la latitude du lieu + 10° (pour une orientation sud).

### **3.4. Estimation du champ photovoltaïque (tension et puissance crête installée nombre de modules)**

#### **3.4.1. Choix de la tension du système**

C'est très important de choisir la tension de travail du système en courant continu, car cette tension en fonction de la charge influe directement sur le choix des systèmes de conversion et de régulation, ainsi que sur le câblage et aussi sur les appareils à usage domestique. On peut citer un exemple de choix de la tension suivant la puissance de la charge [29] :

Puissance crête (W <sub>c</sub> )	< 500 W <sub>c</sub>	500W <sub>c</sub> - 2KW <sub>c</sub>	>2KW <sub>c</sub>
Tension du système (V)	12 VDC	24 VDC	48 VDC

**Tableau 3.4.** Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête

#### **3.4.2. Composition du champ photovoltaïque**

Puisque notre puissance photovoltaïque nécessaire est bien établie, on compose un champ de modules en série/ parallèle. Bien entendu, il faut arrondir le nombre de modules à la valeur entière supérieure, et parfois au nombre pair supérieur quand il faut les câbler deux à deux. [28].

#### **3.4.3. Nombre des panneaux**

On utilisant l'indice de performance (Performance Ration) est le rendement de globale du système défini par le rapport de rendement réel du système par le rendement nominale du système tel que :

$$PR = \frac{\text{rendement réel de système}}{\text{rendement nominale de système}} \quad (3.3)$$

Alors :

$$PR = \frac{Et/(HGh.A)}{Pg/(Gt .A)} \quad (3.4)$$

$$PR = \frac{Et}{\frac{HGh}{Gt} .Pg} \quad (3.5)$$

**Pg** : La puissance crête de GPV au STC. **Gt** : 1000 w/m<sup>2</sup>.

**HGh** : L'irradiation journalière mensuelle moyenne sur la place de GPV (Wh/m<sup>2</sup>/j).

**Et** : Énergie consommée ramenée au GVP (Wh/j).

On peut calculer le nombre total des modules PV à installer (on se base sur la puissance nominale du module Pm)

On a: 
$$Pg = NTm .Pm \quad (3.6)$$

**NTm** : Nombre totale des modules PV.

Alors : 
$$NTm = \frac{Et}{\frac{HGh}{Gt} .PR.Pm} \quad (3.7)$$

Calcul de nombre de modules en série et parallèle On a :

$$Nms = \frac{Vdc}{Vm} \quad (3.8)$$

$V_{dc}$  : Tension DC nominal du système.  $V_m$  : Tension nominal d'un module.

$$N = \frac{NTm}{Nms} \quad (3.9)$$

### 3.5. Estimation de la capacité de stockage de la batterie et choix de la Technologie

Pour déterminer la capacité de stockage on doit trouver par compte les paramètres suivant :

- La profondeur maximale de décharge  $DOD_{max}$  : le niveau de décharge à atteindre avant la déconnexion de l'utilisation par la régulateur pour protéger la batterie ;
- les jours d'autonomies.

Il est de plus possible d'apporter les corrections suivantes :

- Correction due à la profondeur de décharge limitée entre 50 % et 75 % selon le constructeur.
- Correction due au rendement énergétique de la batterie (~ 80 %).

#### 3.5.1. Calcule la capacité de stockage

La capacité du stockage (Wh) est égale à :

$$C(Wh) = \frac{Et.Naut}{DOD_{max}} \quad (3.10)$$

$DOD_{max}$  : La profondeur maximale de décharge.  $Naut$  : Les jours d'autonomies.

Capacité en (Ah) (ampère heure) :  $C(Ah) = \frac{C(Wh)}{V_{dc}} \quad (3.11)$

**Calcul de nombre d'éléments en série :**

Nombre d'éléments en série est égal à :

$$Nbs = \frac{Vdc}{Ve} \quad (3.12)$$

Ve : Tension de l'élément batterie (V), donnée par le constructeur.

Vdc : tension DC nominal du système.

**Calcul de nombre de branches en parallèle :**

Nombre de branches d'éléments en parallèle est égal à :

$$Nbp = \frac{C(Ah)}{Ce} \quad (3.13)$$

Ce : Capacité d'un élément batterie (Ah), donnée par le constructeur.

Le nombre total d'éléments batterie est décrit par la relation suivante :

$$Ne = Nbp \cdot Nms \quad (3.14)$$

### **3.6. Choix de régulateur et de l'onduleur**

#### **3.6.1. Choix du régulateur**

Le régulateur photovoltaïque, pièce centrale de l'installation, doit être compatible avec les autres éléments (champ photovoltaïque et parc de batteries), que contrôle la charge et décharge pour protégé les batteries.

Charge : GPV  $\rightleftarrows$  batteries

Décharge : batteries  $\rightleftarrows$  l'utilisation

Pour dimensionné un régulateur de charge en doit calculer le courant maximal qui circuler d'un l'installation de système PV.

**Coté GPV / Batterie :** Le courant qui produit par le GPV est égale la somme des courant de branche de module parallèle

$$\text{Alors : } IG' = (I_{br} \cdot N_p) \cdot 1,25 \quad (3.15)$$

$IG'$  : Le courant qui produit par le GPV (A).  $I_{br}$  : Le courant de branche de module parallèle (A).  $N_p$  : Le nombre branche de module parallèle. 1,25 : Facteur de sécurité pour éviter l'endommagement de régulateur.

**Coté Batterie / utilisation** : Le courant de l'utilisation est déterminé en prenant en compte toutes les puissances en même temps, il a comme valeur :

$$I_l = \left( \frac{P_{DC}}{V_{DC}} + \frac{P_{AC}}{V_{AC}} \right) \cdot 1,25 \quad (3.16)$$

$I_l$  : Le courant de l'utilisation (A).  $P_{DC}$  : La puissance de charge DC (W).  $V_{DC}$  : La tension DC nominale de système (V).  $P_{AC}$  : La puissance de charge AC (W).  $V_{AC}$  : La tension AC à la sortie de l'onduleur (V).

Le courant de régulateur est :

$$IG = \text{MAX}(I_{g'}, I_l) \quad (3.17)$$

### 3.6.2. Choix de l'onduleur

Le choix de l'onduleur pour L'alimentation des équipements fonctionnant en courant alternatif on doit se référés aux paramètres suivants :

- La puissance nominale (W) :

Elle est largement inférieure à PAC, (il est conseillé de surdimensionné d'onduleur pour s'assurer qu'il fonctionne as ses rendement élevées).

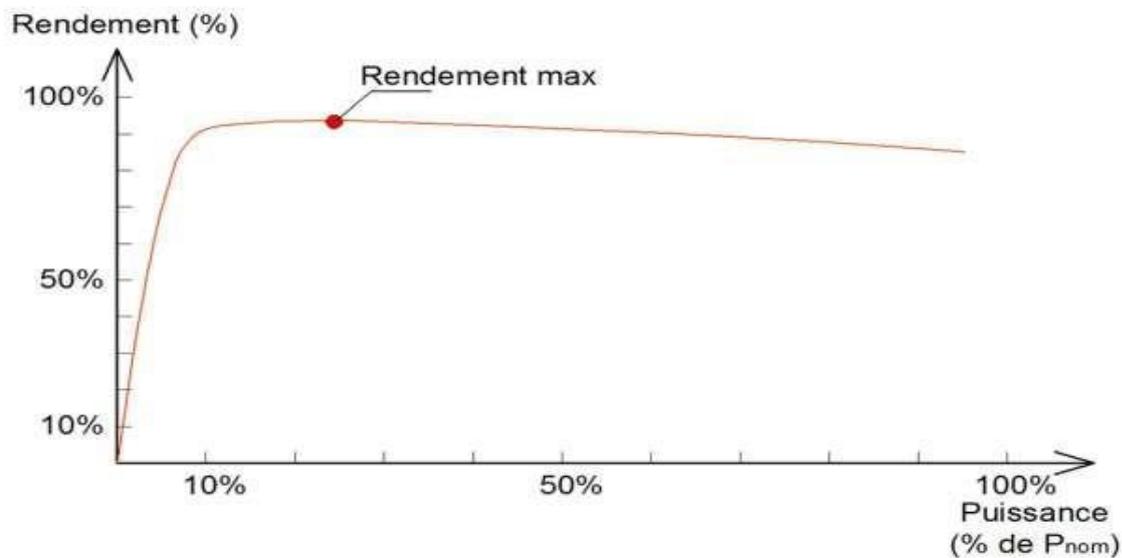
- Tension nominal d'entrée (VDC)

C'est la tension de la batterie plus une certaine marge (en recevoir de la variante de la tension de batterie).

- Tension nominal de sorties VAC : c'est la tension efficace.

- Fréquence de fonctionnement (HTZ) =50HTZ

- Rendement : c'est la courbe donnant le rendement en fonction de taux de charge [30].



**Figure 3.2.** Rendement d'onduleur photovoltaïque en fonction de taux de charge

Donc pour le choix de notre onduleur nous devons respecter les étapes suivant : Etape 01 :

Calcule La puissance totale de toutes les charges à courant alternatif. Etape 02 :

On distingue 3 cas :

- Si toutes les charges AC ne fonctionnent pas le même temps :

$$P_{on} \geq 0,75 P_{Ac}$$

- Si toutes les charges AC fonctionnent le même temps :  $P_{on} \geq P_{Ac}$ .
- Si toutes les charges AC à une durée important :  $P_{on} \geq P_{Ac}$  (point). Alors :

L'onduleur utilisé dans notre système est supérieur ou égale la puissance de point

$$P_{on} \geq 2387 \text{ W (Point)}.$$

### 3.7. Choix des composants du système

En tenant compte des caractéristiques des différents éléments dimensionnés pour chaque système PV et des catalogues des constructeurs, nous pourrions choisir aisément de manière spécifique les équipements adéquats à utiliser en tenant compte des couts et de la qualité [31]. Les caractéristiques des composants de base utilisés pour la conception des systèmes photovoltaïques sont présentées dans le tableau suivant :

<b>Désignation du composant</b>	<b>Caractéristiques techniques</b>	<b>Puissance Installée (KWc)</b>	<b>Quantité</b>
<b>Module</b>	Module poly cristallin, Puissance 285Wc ; U nominal= 30V ; Rendement = 13 %; U mpp= 35,8 V;I mpp= 7,96 A; I nom= 7,9A ; Le courant de court-circuit Icc= 8,53 A ; La tension de circuit ouvert Uov= 44, 30 V.	2,3	8
<b>Onduleur</b>	Type monophasé, tension d'entrée 38 - 66 VCC ; Tension de sortie : 230 VAC +/-2% ; Fréquence : 50 Hz +/- 0,1% (1) ; Puissance du convertisseur : 2500 / 2250 W ;Rendement =0.95.	2,3	1
<b>Régulateur</b>	Type de régulateur : PWM ; Tension de batterie : 12V/ 12V / 48V ;Courant de charge nominale : 60 A ; La puissance PV (max) en 48V : 4000 W ; La tension PV max : 125 V.	2,3	1
<b>Batterie</b>	Tension =6V ; Capacité= 204 Ah.	2,3	32

**Tableau 3.5.** Caractéristique technique des composants du système PV

### 3.8. Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

**PVSYST** est un logiciel conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet. PVSYST permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données

personnelles [32]. **PVsyst** V5.2 propose 3 niveaux d'étude du système PV, Ce qui correspond à peu près aux différentes étapes du développement du projet réel :

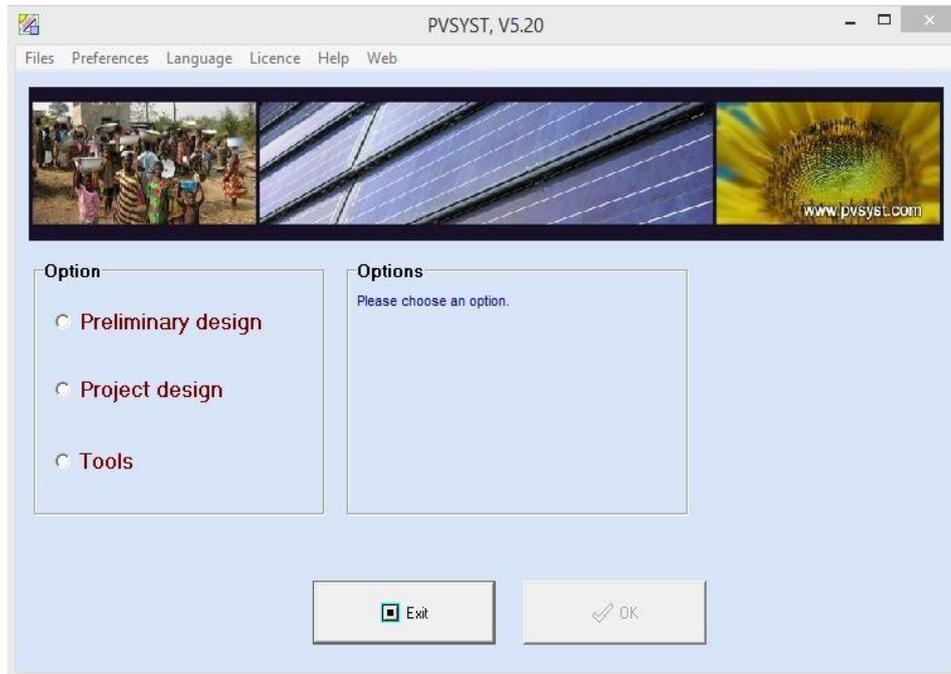


Figure 3.3. Menu principal de logiciel PVsyst

### 3.8.1. Conception du projet :

Il vise à réaliser une conception approfondie du système en utilisant des simulations horaires détaillées. Dans le cadre d'un « projet », l'utilisateur peut effectuer différents essais de simulation du système et de les comparer. Il doit définir l'orientation du plan (avec la possibilité de suivre des plans ou un hangar de montage), et de choisir les composants spécifiques du système. Il est assisté dans la conception du réseau de PV (nombre de modules PV en série et parallèle), étant donné un modèle d'onduleur choisi, la batterie ou de la pompe.

Dans une deuxième étape, l'utilisateur peut spécifier des paramètres plus détaillés et analyser les effets fins comme comportement thermique, le câblage, la qualité du module, inadéquation et l'angle d'incidence des pertes, l'horizon (loin ombrage), ou ombrages partiels d'objets près de la baie, un etc...

Pour les systèmes de pompage, plusieurs conceptions de système peuvent être testés et comparés les uns aux autres, avec une analyse détaillée des comportements et de l'efficacité.

Les résultats comprennent plusieurs dizaines de variables de simulation, qui peuvent être affichées dans les valeurs mensuelles, quotidiennes ou horaires, et même transférés à d'autres logiciels. La "perte Diagramme" est particulièrement utile pour identifier les faiblesses de la conception du système. Un rapport d'ingénieur peut être imprimé pour chaque exécution de la simulation, y compris tous les paramètres utilisés pour la simulation, et les principaux résultats. Une évaluation économique détaillée peut être effectuée en utilisant les prix des composants réels, les coûts supplémentaires et les conditions d'investissement.

### **3.8.2 Présentation de projet**

Dans ce projet, nous allons présenter une installation PV autonome pour alimenter une habitation isolée. Le site étudié est situé au niveau de la commune de Seraidi, wilaya d'Annaba.

<b>Caractéristiques</b>	<b>Latitude en degré °</b>	<b>Altitude en m</b>	<b>Longitude en degré °</b>
<i>Seraidi (gmt+1)</i>	<b>35.2N</b>	<b>639</b>	<b>4.7E</b>

**Tableau 3.6.** *Tableau des données géographique de Seraidi*

Les étapes de conception d'un système PV autonome

Cela donne une procédure étape par étape lors de la définition d'un système autonome en PVsyst:

Définition d'un profil de l'horizon : est une opération très simple avec l'outil graphique PVsyst. L'horizon est une ligne brisée superposée sur le diagramme de trajectoire du soleil, qui peut contenir un nombre quelconque de hauteur / points d'azimut.

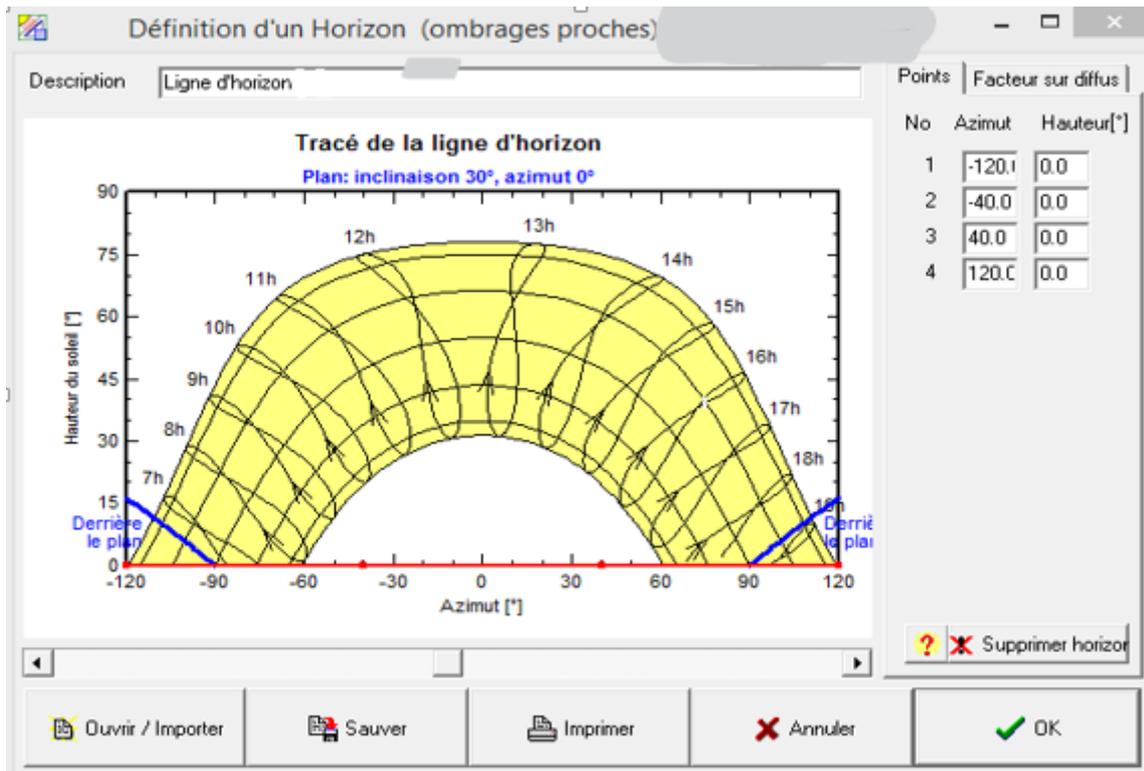


Figure 3.4. Horizon De seraidi

**Orientation des modules PV :** Vu le prix élevé des modules PV, il est nécessaire de choisir des orientations et inclinaisons favorables à la production d'énergie.

Pour la simulation en technologie de silicium poly cristallin, nous avons choisi un pla incliné fixe d'une inclinaison 30° (par rapport à l'horizontale) comme l'illustre la figure 3.4. c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVSYST, en dehors de cette dernière le rendement diminue.

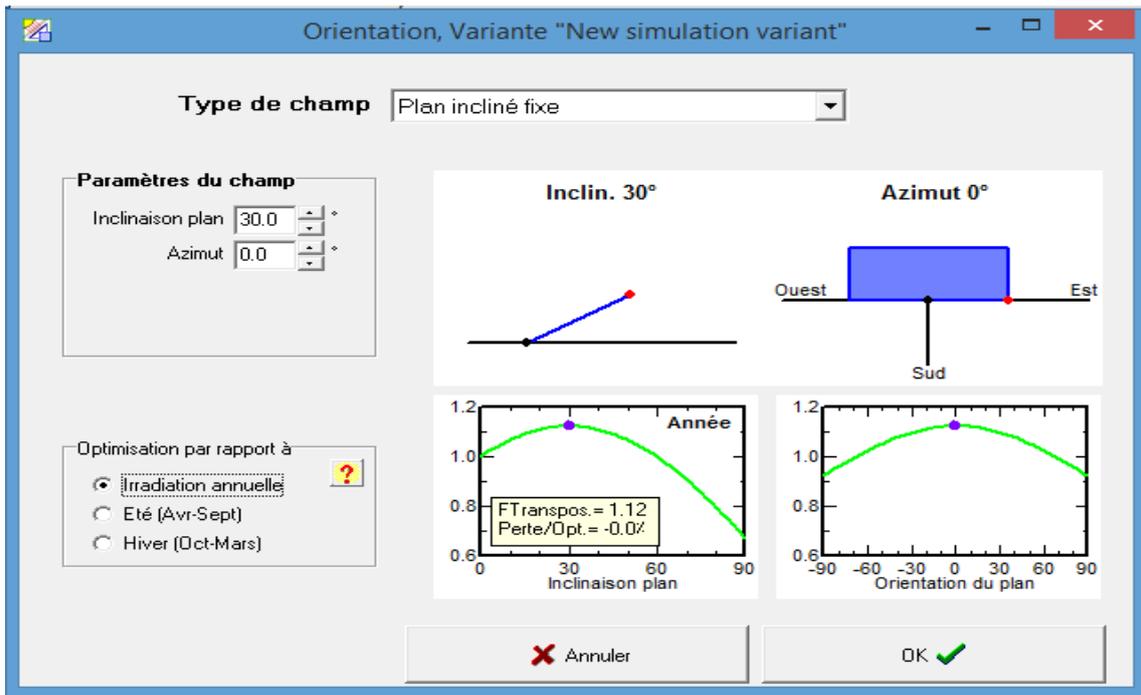


Figure 3.5. Angle d'orientation

Le facteur Transposition : est le rapport de l'irradiation incidente (GlobInc) sur le plan, à l'irradiation horizontale (GlobHor). C'est à dire. Ce que vous gagnez (ou en vrac) lors de l'inclinaison du plan du capteur.

**La définition des besoins de l'utilisateur :** par défaut pour les petits systèmes, cela est proposé comme une liste des appareils ménagers et les détails de leur utilisation (peut être saisonnière ou mensuelle).

Pour les systèmes industriels ou plus grands, vous avez de nombreuses possibilités de définir un profil de charge (compris par une liste de valeurs horaires).

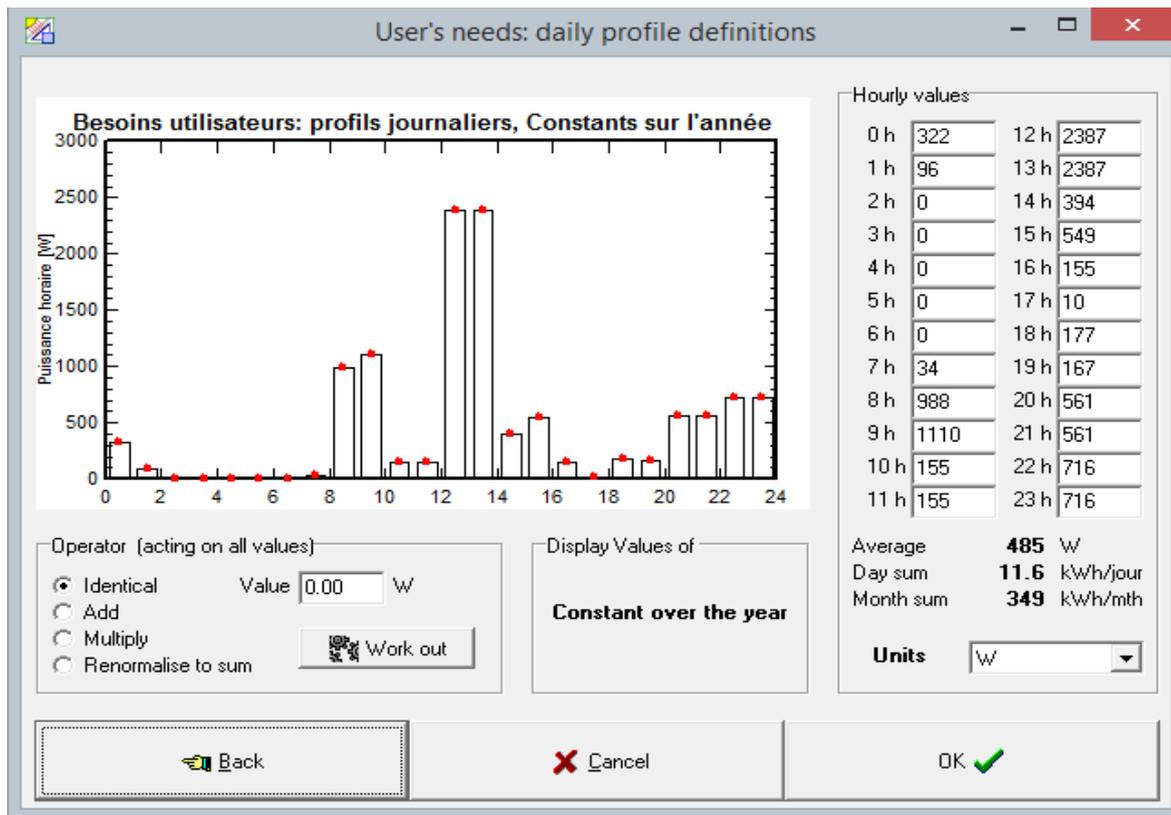


Figure 3.6. La profile de charge et le temps d'utilisation

Définit un profil horaire au cours de la journée, afin de mieux correspondre le comportement de la batterie (et donc de mieux calculer son usure), Donc l'énergie moyenne journalière consommée par la maison est de 11,6 kWh/jr et On remarque que le max consommation d'électricité enter 12h-14h avec 2387 w crêtes

**La définition du système autonome :** La conception de système est basée sur une procédure rapide et simple :

- le system de stockage dans la base de données interne ;
- Choisir les modules PV dans la base de données interne.

Cette étape est divisée en 3 sous parties : " presizing help ", " select batterie " et "select modules".

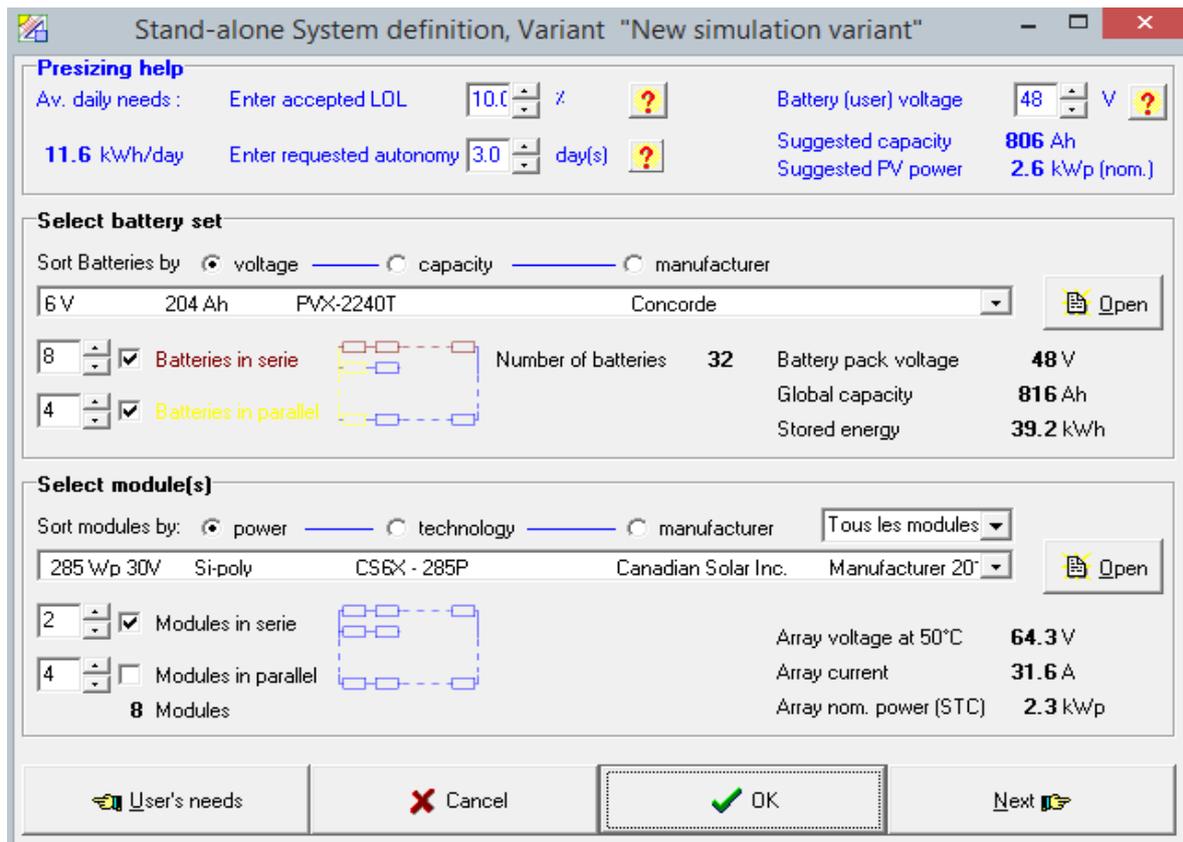


Figure 3.7. La définition de system autonome

**Presizing help** : (en haut) Les paramètres pour choisir le type de la batterie donne des conseils au sujet de la banque de batterie requise et PV puissance de tableau.

Le calcul est basé sur vos fichiers et définitions ci-dessus météo. Vous devez définir :

- l'autonomie nécessaire (habituellement environ 3 jours),
- La probabilité acceptable que les besoins ne sont pas couverts par le système (PLOL pour "probabilité de perte de charge),
- La tension nominale de la banque de la batterie.

Le programme va alors effectuer un dimensionnement du système, de la même manière que dans la section "pré dimensionnement".

Vous avez également un bouton pour une étude de dimensionnement plus raffiné, pour différentes distributions météo, ou en fonction du paramètre PLOL.

**Presizing help**

Av. daily needs : Enter accepted LOL  %

Battery (user) voltage  V

11.6 kWh/day Enter requested autonomy  day(s)

Suggested capacity **806 Ah**

Suggested PV power **2.6 kWp (nom.)**

**Figure 3.8.** Les paramètres pour choisir le type de la batterie

Besoins de l'utilisateur ne peuvent pas être fournis (à savoir la fraction de temps lorsque la batterie est déconnectée en raison de la sécurité du régulateur "Low de charge »). Il peut être compris comme le complément de la « fraction solaire » (bien qu'elle soit décrite en termes de temps plutôt que de l'énergie).

**L'autonomie** : C'est le nombre de jours consécutifs qu'en absence du soleil, le système doit être capable pour subvenir aux besoins énergétique.

**Définition de système de stockage** : en choisissant un modèle de batterie (page "Storage").

=> Le programme proposera le nombre de batteries en série et en parallèle, selon les suggestions obtenues dans l'outil de pré-dimensionnement précédent.

Vous devez également définir les conditions de température de fonctionnement pour les batteries, en fonction de votre mise en œuvre du système.

**Select battery set**

Sort Batteries by  voltage  capacity  manufacturer

6 V 204 Ah PVX-2240T Concorde

Batteries in serie

Batteries in parallel

Number of batteries **32**

Battery pack voltage **48 V**

Global capacity **816 Ah**

Stored energy **39.2 kWh**

**Figure 3.9.** Les paramètres de la batterie

**Définition du champ photovoltaïque** : Choisir le type de module PV dans la base des données,

=> Le programme détermine le nombre de modules en série ou en parallèle, selon les conditions MPPT de batterie et voltage. Or puissance PV nécessaire

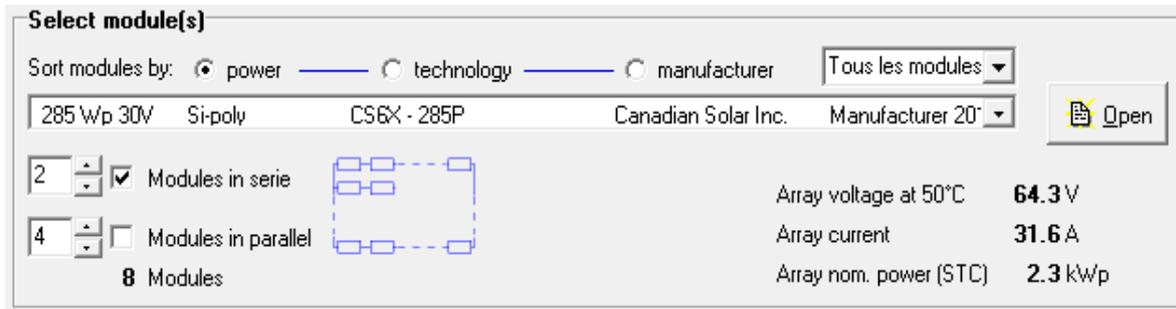


Figure 3.10. Les paramètres du champ PV

**Le choix de stratégie du contrôle** : Dans le (couplage direct, MPPT ou convertisseur DCDC), il est conseillé de choisir le " Convertisseur MPPT ".

Le convertisseur MPPT est un système de conversion de puissance muni d'un algorithme de contrôle approprié permettant d'extraire le maximum de puissance que le GPV peut fournir.

NB : Avec la stratégie "de couplage direct", la tension du module photovoltaïque doit correspondre à la tension de la batterie en fonctionnement. Toute disparité se traduira par "pertes Pmpp".

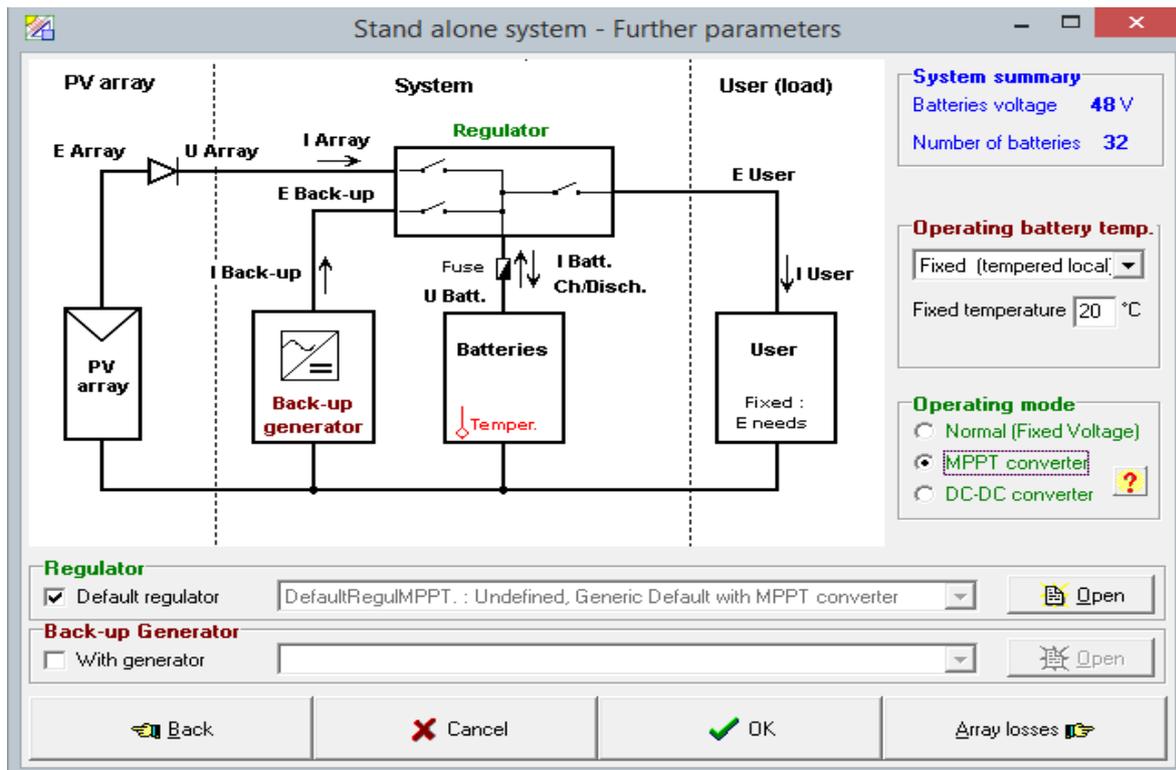


Figure 3.11. Le choix du régulateur

NB : Dans l'heure actuelle, vous ne pouvez pas définir un onduleur avec des systèmes autonomes :

Les besoins de l'utilisateur sont exprimés en termes d'énergie, quelle que soit l'utilisation courant continu ou alternative. Si vous avez un onduleur, vous devez augmenter les besoins de l'utilisateur, afin de rendre compte de son efficacité. Onduleurs autonomes seront bientôt disponibles, dans une version future.

Passez sur le bouton « Pertes détaillées » pour la définition de toutes les pertes du système, qui ont été définis à des valeurs par défaut raisonnables pour vos premières simulations.

Finalement : Vous pouvez maintenant jouer avec ces paramètres, et récupérer les valeurs automatiques proposées en cliquant sur la case à cocher par défaut associée à tout moment.

Des avertissements seront affichés s'il y a des incompatibilités entre les paramètres choisis.

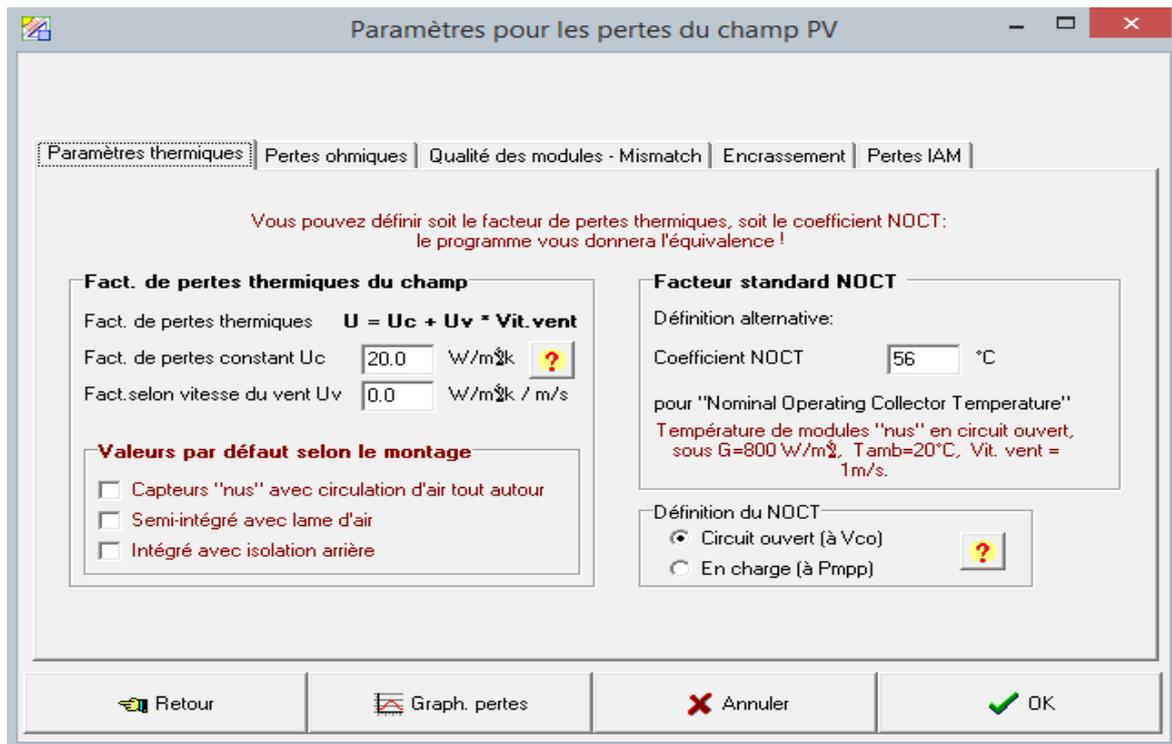


Figure 3.12. Paramètre des pertes

### 3.9. Résultats et discussions de la simulation numérique

#### 3.9.1. Paramètres du système (Isolé avec batteries)

Orientation plan capteurs    Inclinaison 30°    Azimut 0°

#### 3.9.2. Caractéristiques du champ de capteurs

Module PV : Si-poly

Nombre de modules PV :    En série 2 modules ,    En parallèle 4 chaînes

Nombre total de modules PV:    Nbre modules 8 ,    Puissance unitaire 285(Wc)

Puissance globale du champ :    Nominal(STC) 2,28 kWc ,    Fonct à 50°C 2,03(kWc)

Caractéristiques de fonct. à 50°C :    U mpp 64 V ,    I mpp 32 A

Surface totale:    Surface modules 15.4 m<sup>2</sup> ,    Surface cellule 14,2 m<sup>2</sup>

#### 3.9.3. Caractéristiques du Batterie

Caractéristiques du banc de batteries :    Tension 48 V ,    Capacité nominale 816Ah

Nombre d'unités :    8 en séries x 4 en parallèles

### 3.9.4. Profile de charge

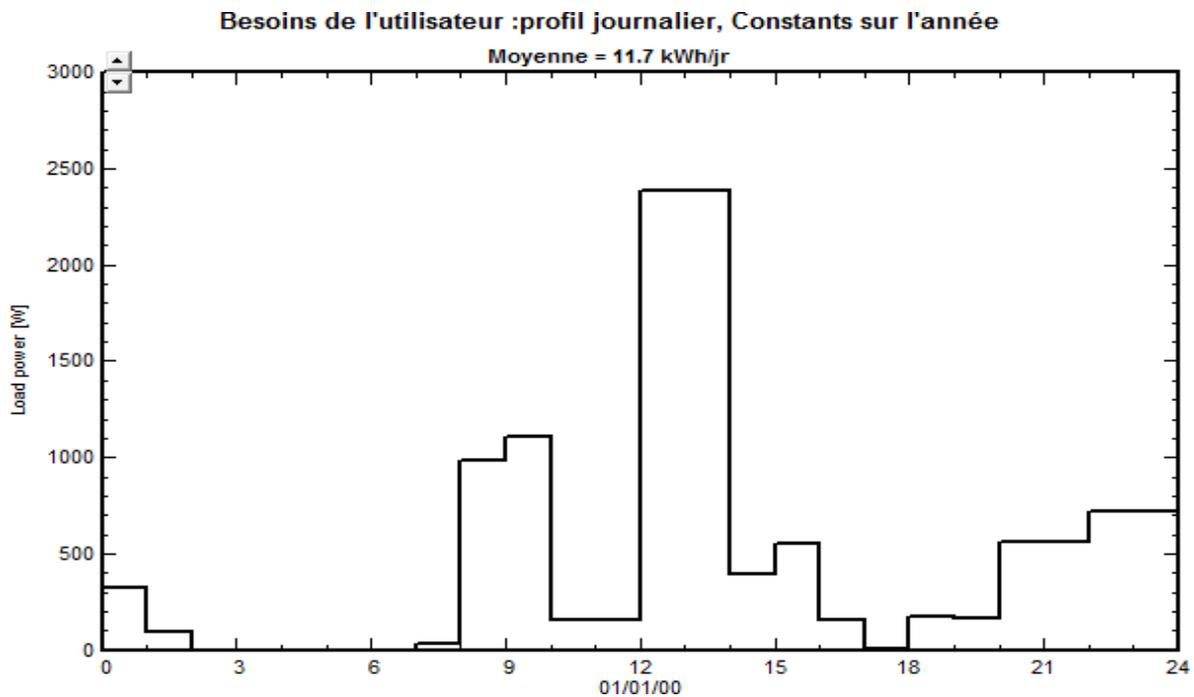


Figure 3.13. Profile de charge

L'énergie moyenne journalière consommée par la maison est de 11,7 kWh/jr et On remarque que le max consommation d'électricité enter 12h-14h avec 2387 wc.

### 3.9.5. Performance ratio

La figure 3.14 représente l'indice de performance (Performance Ration) est le rendement de globale du système défini par le rapport de rendement réel du système par le rendement nominale du système tel que :

$$PR = \frac{\text{rendement réel de système}}{\text{rendement nominale de système}}$$

Dans ce cas l'indice de performance est : 72,9 %

La valeur typique de  $PR$  est 0,65 à 0,9 Alors Le système qui a été installé fonctionne très bien. Autrement les pertes dans le système peuvent être données par la relation suivant :

$\eta = 1 - PR$ . Les pertes de cette système est : 27,1 %

$\eta$  : les pertes dans le système peut sont aux (câblage, diodes, Mis marche, non suivre du PMM, ..... etc. ), Généralement < 25%

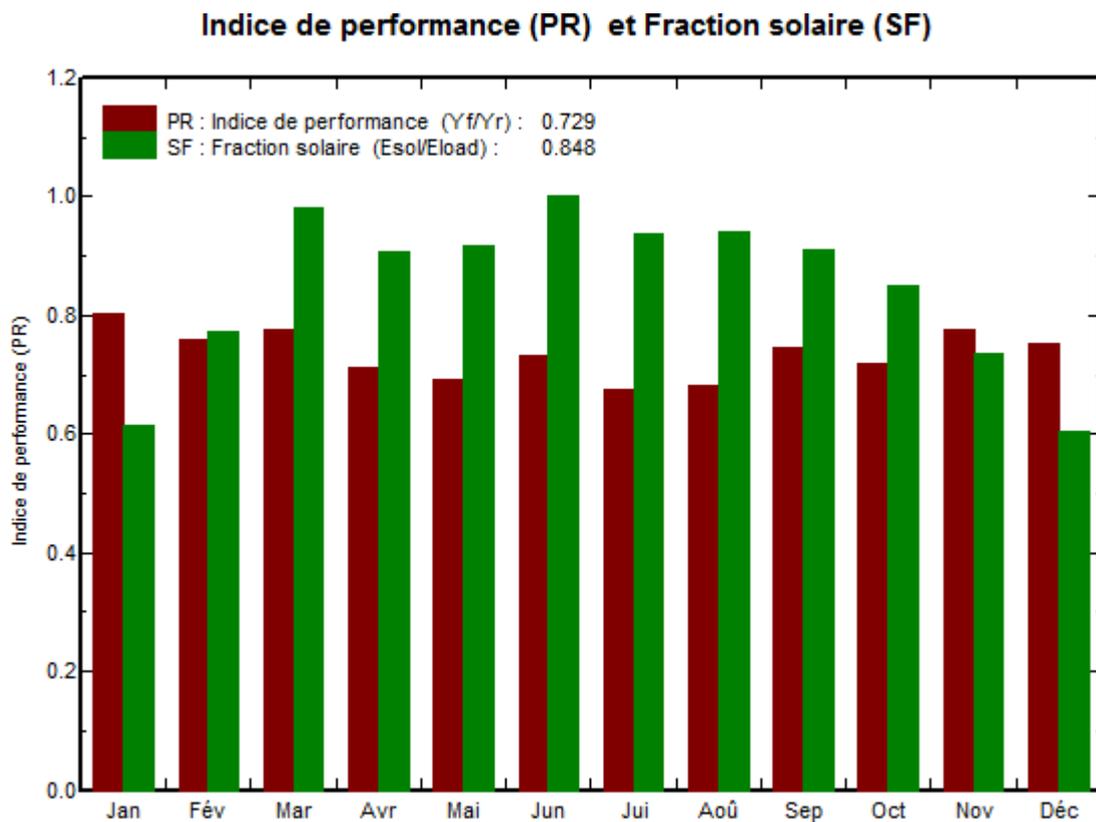


Figure 3.14. Indice de performance

### 3.9.6. Les productions normalisées

La prédiction du système (à la sortie du stockage :  $Y_f$  est représentée sur la figure 3.15 .Les pertes  $L_c$ ,  $L_s$  et  $L_u$  sont les pertes correspondantes au champ PV, les pertes de système de stockage et l'énergie non utilisée, respectivement.

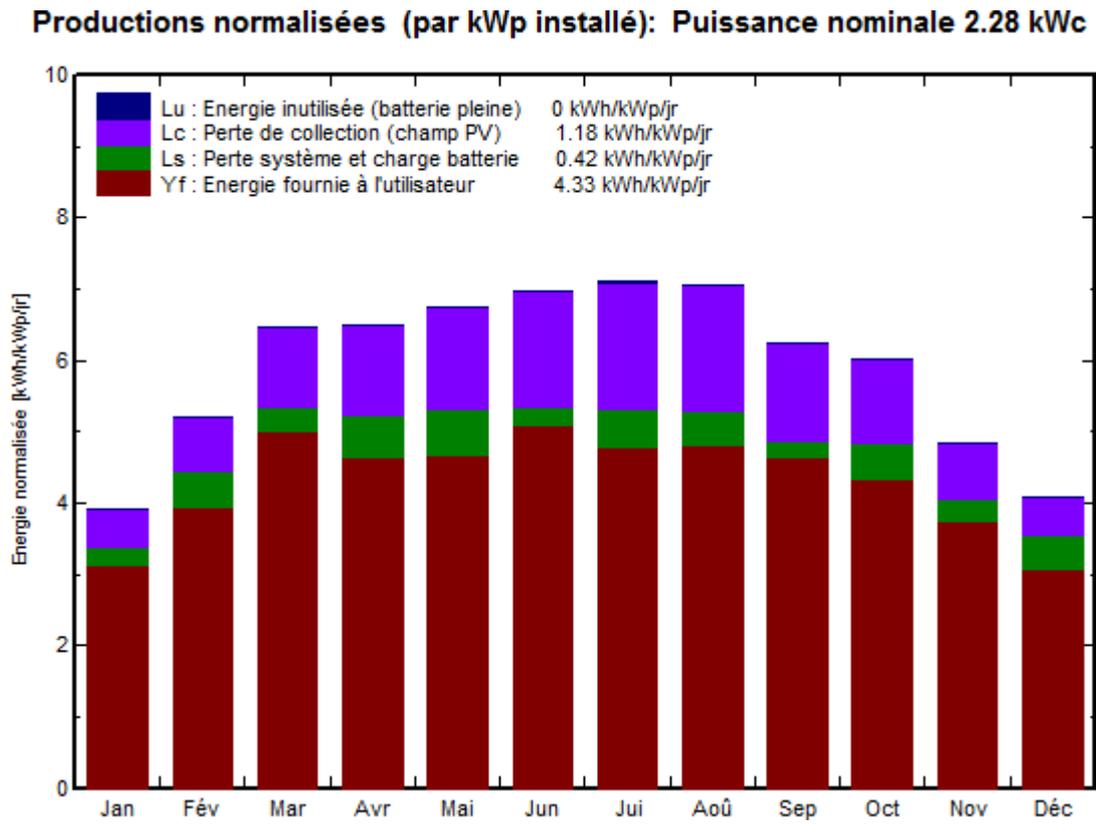


Figure 3.15. Les productions normalisées

## 3.9.7. Bilan énergétique

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
Janvier	80.0	117.9	224.8	0.123	138.9	222.0	360.8	0.615
Février	105.6	142.0	268.2	0.034	74.0	251.9	325.9	0.773
Mars	168.3	194.5	356.7	0.146	6.8	354.1	360.8	0.981
Avril	186.6	189.4	338.6	0.276	32.4	316.8	349.2	0.907
Mai	222.0	203.1	355.0	0.387	29.8	331.0	360.8	0.917
Juin	234.3	202.5	346.0	0.498	0.0	349.2	349.2	1.000
Juillet	239.9	213.4	354.5	0.446	22.6	338.2	360.8	0.937
Août	218.2	212.6	354.7	0.281	20.7	340.1	360.8	0.943
Septembre	165.3	182.2	315.9	0.281	31.0	318.2	349.2	0.911
Octobre	139.8	181.4	324.0	0.037	54.5	306.3	360.8	0.849
Novembre	96.3	141.5	262.2	0.062	92.6	256.6	349.2	0.735
Décembre	78.4	123.5	237.5	0.086	143.1	217.7	360.8	0.603
Année	1934.8	2103.7	3738.1	2.658	646.5	3602.1	4248.6	0.848

Légendes:	GlobHor	Irradiation globale horizontale	E Miss	Energie manquante
	GlobEff	Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages	E User	Energie fournie à l'utilisateur
	E Avail	Energie solaire disponible	E Load	Besoin d'énergie de l'utilisateur
	EUnused	Energie inutilisée (batterie chargée)	SolFrac	Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)

Figure 3.16. Bilan énergétique

**GlobHor : Rayonnement global horizontal** : une combinaison du rayonnement diffuse global et du rayonnement direct global pour une surface horizontale.

**GlobEff** : Le rayonnement effectif sur les collecteurs : le rayonnement restant après les pertes détaillées précédemment, multiplié par la surface PV (la surface du module telle que définie dans le fichier \*.PAN).

**La conversion PV** : le rendement du module aux STC (conditions standards de test).

**L'énergie nominale du panneau (au rendement STC)** : le rendement de la production PV multiplié par le rayonnement efficace sur les collecteurs.

**EArray** : Energie effective sortie champ (L'énergie nominale du panneau (au rendement STC) les pertes de modèle PV et les pertes de champ).

### 3.9.8. Diagramme des pertes sur l'année entière

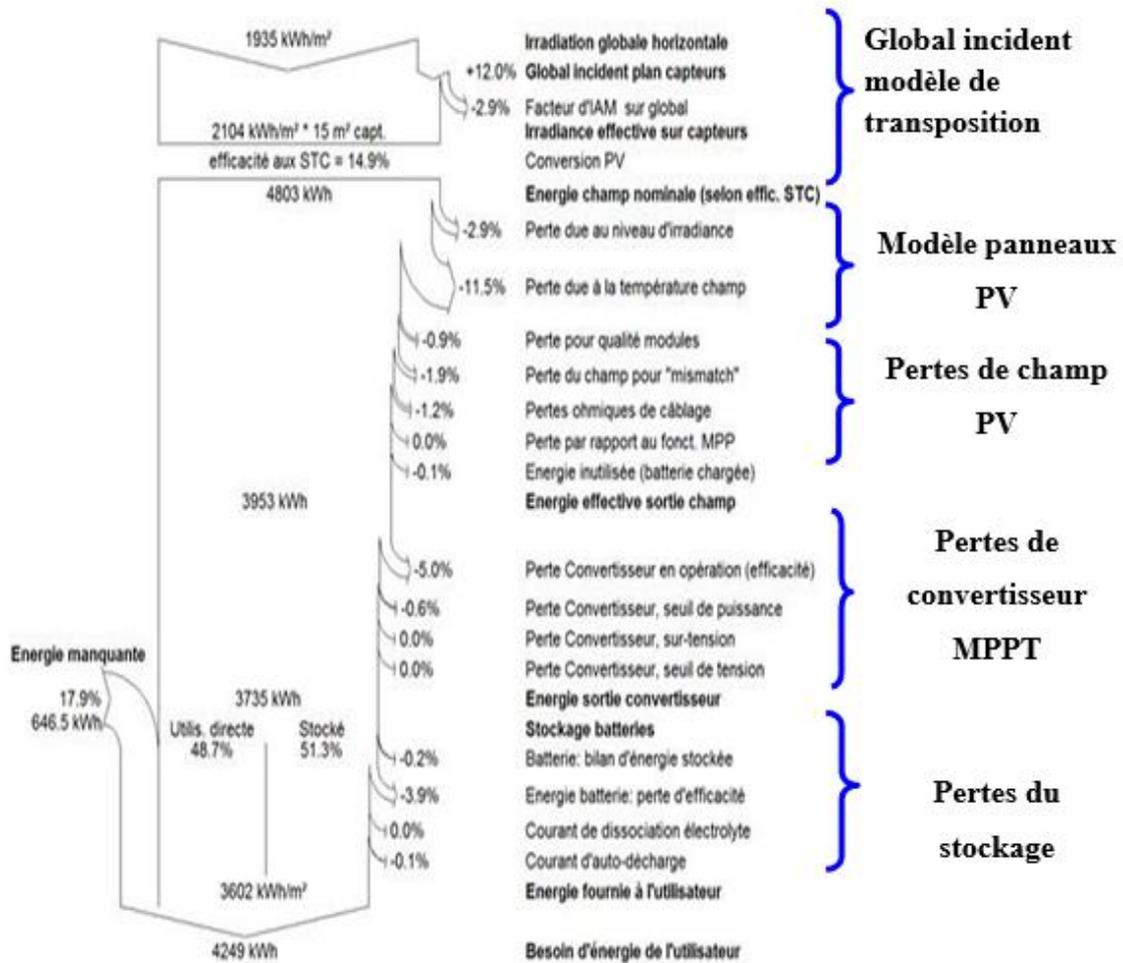


Figure 3.17. Diagramme des pertes

Le diagramme résume les pertes de la production de système PV à savoir : les pertes ohmiques du câblage, effet d'incidence, pertes dues à la température du champ, pertes dues à la qualité des modules,...etc.

En effet, l'énergie produit par le champ PV (énergie sortie du champ) estimée à 4902 KWh et réduire à 4697 KWh a la sortie pour utilisateur.

### **3.10. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté Les étapes nécessaires pour concevoir un système photovoltaïque autonome. Ainsi, le dimensionnement de chaque élément de la chaîne photovoltaïque.

Nous avons aussi simulé un système photovoltaïque avec Le logiciel PVsyst

Le logiciel PVsyst permet de simuler un système photovoltaïque avec une prise en compte de tous les aspects : pertes, emplacement géographique,...etc. Ceci a permis de faire une meilleure estimation des pertes qui peuvent affecter le rendement global.

Les pertes dues au système de stockage et les jours d'autonomie est très importante pour le dimensionnement de ce système de stockage, d'où la nécessité d'opter pour une technologie de meilleur rendement possible de ce composant qui représente clé et le plus délicat d'une installation photovoltaïque autonome.

# **Conclusion générale**

### **Conclusion générale**

L'objectif général de notre étude est l'électrification d'une habitation isolée de manière autonome au niveau de la commune de Seraidi, la wilaya d'Annaba à partir de l'énergie solaire en utilisant une installation photovoltaïque.

Dans un premier chapitre, nous avons identifié la description et les équipements de nos installations photovoltaïques autonomes. Ensuite, nous avons décrit le fonctionnement des systèmes photovoltaïque en s'étant sur chaque composant du système.

Dans le deuxième chapitre nous nous sommes intéressés aux modèles électriques et mathématiques d'un système photovoltaïque

Dans le troisième chapitre nous avons dimensionné l'installation de notre système PV en fonction des besoins.

Pour atteindre ce but, nous avons déterminé la capacité du générateur et celle du stockage, avec le choix du module PV et de l'élément batterie convenables à un bon dimensionnement.

Enfin nous avons appliqué une étude par simulation numérique de l'installation PV de puissance 3,4 KW.

La méthode utilisée pour l'estimation du couple générateur / batterie est simple, basé sur le profil de consommation et l'apport énergétique du lieu. La mise en œuvre de cette méthode a été effectuée à l'aide d'un logiciel PVsyst 5.2.

Le logiciel de simulation que nous avons utilisé PVsyst répond correctement aux choix des composants constituant notre installation, plusieurs résultats sont obtenus avec de meilleures perspectives.

# **Bibliographie**

## **Bibliographie**

- [1]S. MASOUM Mohamed, BADEJANI Seyed Mahdi Mousavi and FUCHS Ewald f.«Microprocessor-controlled new class of optimal battery chargers for photovoltaic application»,Vol. 19, September 2004 .
- [2]Y. PANKOW, «Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau Basse Tension. Application au générateur photovoltaïque, » Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Thèse de Doctorat, 2004.
- [3]Pompape photovoltaïque «guide à l'intention des ingénieurs et techniciens, Institut de L'énergie et de l'environnement de la francophonie » ; Université d'OTTAWA.
- [4]M. BOUKLI-HACEN «Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique » ; thèse de magister ; Université ABOU BAKER BELKAID –Tlemcen ,2011.
- [5]S.Abada« Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic» Mémoire Maître es Sciences, Université Laval, 2011.
- [6] Slamafateh. « Modélisation d'un système multi générateurs PV interconnectes au réseau Electrique » Magister en Electrotechnique, Université de Setif, 2012
- [7]A. Bilbao « Réalisation d'une commande MPPT numérique » Université de Rovira i virgili ,2006.
- [8]A.Labouret et M. Viloz « Energie solaire Photovoltaïque », Livre 4 édition, 2008.
- [9]B. Flèche - D. Delagnes « Energie solaire photovoltaïque.doc », juin 2007.
- [10]M.belhad « Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome », Mémoire de Magister Université de Bachar ,2008
- [11] F. Heroguel, « Les cellules photovoltaïques » Ecole Normale Supérieure, Lyon Epreuve de projet, 2007.
- [12]Loïc Bailly « Cellules photovoltaïques organiques souples à grande surface ». Thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 2010.
- [13]Thibaut Desrues « Développement de cellules photovoltaïques à hétérojonction silicium et contacts en face arrière ». Thèse de doctorat, L'institut national des sciences, appliquées de Lyon, 2009.

- [14] **Hachana Oussama**. « Etude d'un système photovoltaïque en vue de diagnostic »  
Thèse de Doctorat Université Ferhat Abbas – Setif1 2015/2014
- [15] **Raphael Chenouarda, Ragab A. El-Sehiemy** « An interval branch and bound global optimization algorithm for parameter estimation of three photovoltaic models » Electrical Engineering Department- Faculty of Engineering- Kafrelsheikh University- Egypt, September 2019.
- [16] **Makhebi Charaf-Eddine et Toumert Mhand**, "Etude et réalisation d'un régulateur Analogique et numérique de la charge/décharge d'une batterie associée à un système Photovoltaïque," Mémoire d'Ingéniorat de l'école Nationale Polytechnique d'Alger, 2008.
- [17] **Sébastien Quoizola**, "Épitaxie en phase vapeur silicium sur silicium sur mesoporeux Pour report sur substrats économiques et application photovoltaïque bas coût," Thèse de Doctorat, de l'Institute National des Sciences Appliquées de Lyon, 2003.
- [18] **Djarallah Mohamed**. « Contribution à l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couplés au réseau électrique » Thèse de Doctorat en Science. Université de Batna, 2008
- [19] **Akihiro Oi**, «Design and Simulation of Photovoltaic Water Pumping System», Faculty of California Polytechnic State University, 2005.
- [20] **H. Knopf**, "Analysis, Simulation and Evaluation of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Methods for a Solar Powered Vehicle", Portland State University, 1999
- [21] **D. Linden, T.B. Reddy**, "Handbook of Batteries, 3rd Edition". Edition McGraw-Hill, INC New York 2002.
- [22] **S. Semaïou**; Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque; Mémoire de magister en Science physique; 2004.
- [23] **Antonio Luque and Steven Hegedus**, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering", John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [24] **O. Gergaud, B. Multon, H. Ben Ahmed** « Analysis and Experimental Validation of Various Photovoltaic System Models » seventh International ELECTRIMACS Congress, Montréal, Août 2002.
- [25] **B. Flèche - D. Delagnes**, «Energie solaire photovoltaïque.doc juin 07.
- [26] **FOGELMAN & Régis MONTLOIN**, « Installations Photovoltaïques dans l'habitat isolé » Livre édité par : EDISUD, 1983.

- [27] **S. Petibon** « nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques » thèse de doctorat de l'université de Toulouse, 2009.
- [28] **A. BOUZID et M. AZIZI** «Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme Étude de l'onduleur triphasé lié à cette application », Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état, 2008.
- [29] **A. LABOURET et M. VILLOZ**, « Energie Solaire Photovoltaïque », livre édité par : (DUNOD), 2006.
- [30] [http://www.photovoltaique.guidenr.fr/cours-photovoltaïque-autonome/cours\\_photovoltaique-autonome.php](http://www.photovoltaique.guidenr.fr/cours-photovoltaïque-autonome/cours_photovoltaique-autonome.php).
- [31] **C. Bernard** « station solaire autonome pour l'alimentation station pompage » l'archive ouverte pluridisciplinaire HAL 2006].
- [32] **K. Amara** « contribution à l'étude de conception d'une centrale PV » mémoire Magister université de Tizi ouzou 2015

