

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED – NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES  
DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

# MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :  
**Énergies Renouvelables**  
*Option : Énergies Renouvelables en Électrotechnique*

**Intitulé :**

---

**Conception et Optimisation d'un système à énergies renouvelables en  
vue de la satisfaction des besoins en énergie électrique du bloc  
pédagogique (Pôle technique) du centre universitaire Salhi Ahmed  
Naama**

---

**Présenté par :**

- Boukabouya Fatima Zahra
- Lairedj Wahiba
- Meskoura Hizia

*Soutenu le :22/09/2020..... devant le Jury :*

<i>M. Brahimi Mohamed</i>	<i>MCB</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Encadreur</i>
<i>M. LAHCEN Med Reda</i>	<i>MAA</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Président</i>
<i>Mme. MEDJADJI Nassira</i>	<i>MAA</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Examineur</i>

بِسْمِ اللَّهِ

الرَّحْمَانِ

الرَّحِيمِ



## *Remerciement*

*Nous tenons d'abord remercier Allah le tout puissant, qui nous a donné la force et la puissance d'accomplir ce modeste travail.*

*En second, nous tenons à remercier notre encadreur Mr. **(Brahimi Mohamed)** son précieux et son aide durant toute la période du travail.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui on a participé de près ou de loin à la réaliser de ce travail.*





## *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire à :*

*A ma très **chère mère**, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie et son prière tout au long de mes études.*

*A mon père **Slimane** pour leur tendresse, leur sacrifices et appui.*

*A ma sœur **Dounia** pour leur encouragement permanent, et leur soutien moral.*

*A mon frère **Abdel-Hadi**.*

*A ma grande famille paternelle et maternelle.*

*A mes très chère amie **Meskoura Hizia** et **Lairedj Wahiba***

*(**Boukabouya Fatima Zahra**)*





## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à **ma mère**, que Dieu ait pitié d'elle.  
J'espère avoir réalisé son rêve et aussi à **mon père** pour le  
sacrifice, l'amour et le soutien sont le carburant de ma  
réussite.*

*A mes sœurs **Karima, Asmaa et Badra***

*A mes frères **Kada, Mourad et Mestapha***

*A mes amis **Boukabouya Fatima et Lairedj Wahiba***

*(Meskoura Hizia)*





## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail

Premièrement à la source de ma vie le plus beau cadeau de mon dieu mes chers parents sans qui tout ceci n'aurait été possible pour leurs soutient et surtout la confiance qu'ils ont toujours eu en moi et qui ont m'apprié comment patienter pour atteindre un tel objectif. je remercie donc du fond du cœur mes parents qui m'ont permis de poursuivre mes études.

Merci...

A mes chers frères **MOHAMED** et **AHMED**.

A mes belles sœurs **RACHIDA** et **NORA**.

A ma petite nièce **AMANI**.

A mes amis proches **MESKOURA HIZIA**, **BOUKABOUYA FATIMA**.

Toute ma famille sans exception et mes amis qu'ils m'excusent par avance de ne pouvoir tous les citer nominativement tellement ils sont nombreux.

A tous mes amis qui ont toujours été présents et qui n'ont ménagé aucun effort pour me bénéficier avec leur aide et leurs suggestions.

A tous mes camarades du Groupe ER.

*(Lairedj Wahiba)*



## Résumé

L'énergie solaire photovoltaïque (ou énergie photovoltaïque ou EPV) est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire grâce à des panneaux ou des centrales solaires photovoltaïques. Elle est dite renouvelable, car sa source (le Soleil) est considérée comme inépuisable à l'échelle du temps humain. En fin de vie, le panneau photovoltaïque aura produit 20 à 40 fois l'énergie nécessaire à sa fabrication et à son recyclage.

La cellule photovoltaïque est le composant électronique de base du système. Elle utilise l'effet photoélectrique pour convertir en électricité les ondes électromagnétiques (rayonnement) émises par le Soleil. Plusieurs cellules reliées entre elles forment un module ou capteur solaire photovoltaïque et ces modules regroupés entre eux forment une installation solaire. L'électricité est soit consommée ou stockée sur place, soit transportée par le réseau de distribution et de transport électrique.

Dans ce thème, nous analysons la simulation d'un système photovoltaïque raccordé au réseau (au bloc technique au centre universitaire SALHI AHMED de NAAMA). Les résultats de la simulation obtenue par logiciel PVSYST pour déterminer le nombre de panneaux et onduleur. Nous avons présentés les résultats de simulation d'un module PV puissance 14.1 KW, en utilisant la technique monocristallin de modules au silicium.

**Mots clés :** Photovoltaïque, La cellule photovoltaïque, la technique monocristallin, simulation, logiciel PVSYST.

## Summary

Photovoltaic solar energy (or photovoltaic energy or EPV) is electrical energy produced from solar radiation through photovoltaic solar panels or power plants. It is said to be renewable because its source (the Sun) is considered inexhaustible on the scale of human time. At the end of its life, the photovoltaic panel will have produced 20 to 40 times the energy required for its manufacture and recycling.

The photovoltaic cell is the basic electronic component of the system. It uses the photoelectric effect to convert electromagnetic waves (radiation) emitted by the Sun into electricity. Several cells connected together form a photovoltaic solar module or collector and these modules grouped together form a solar installation. Electricity is either consumed or stored on site, or transported by the electricity distribution and transmission network.

In this topic, we analyze the simulation of a photovoltaic system connected to the grid (at the technical block at the SALHI AHMED university center in NAAMA). The results of the simulation obtained by PVSYST software to determine the number of panels and inverter. We presented the simulation results of a PV module power 14.1 KW, using the monocrystalline technique of silicon modules.

**Keywords:** Photovoltaic, Photovoltaic cell, monocrystalline technique, simulation, PVSYST software.

## ملخص

الطاقة الشمسية هي طاقة كهربائية تنتج من الإشعاع (EPV الطاقة الشمسية الكهروضوئية (أو الطاقة الكهروضوئية أو الشمسي من خلال الألواح الشمسية الكهروضوئية أو محطات الطاقة. يقال أنه قابل للتجديد لأن مصدره (الشمس) يعتبر لا ينضب على مقياس الزمن البشري. في نهاية عمرها الافتراضي ، ستكون اللوحة الكهروضوئية قد أنتجت 20 إلى 40 ضعف الطاقة اللازمة لتصنيعها وإعادة تدويرها.

الخلية الضوئية هي المكون الإلكتروني الأساسي للنظام. يستخدم التأثير الكهروضوئي لتحويل الموجات الكهرومغناطيسية (الإشعاع) المنبعثة من الشمس إلى كهرباء. تشكل عدة خلايا مرتبطة معًا وحدة أو مجمعة للطاقة الشمسية الكهروضوئية ، وتشكل هذه الوحدات المجمع معًا تركيبًا شمسيًا. يتم استهلاك الكهرباء أو تخزينها في الموقع ، أو نقلها بواسطة شبكة توزيع الكهرباء ونقلها.

في هذا الموضوع ، نقوم بتحليل محاكاة النظام الكهروضوئي المتصل بالشبكة (في الكتلة الفنية في مركز لتحديد عدد اللوحات PVSYST جامعة الصالحي أحمد في نعمة). نتائج المحاكاة التي حصل عليها برنامج والعاكس. قدمنا نتائج المحاكاة لقدرة الوحدة الكهروضوئية 14.1 كيلو وات ، باستخدام تقنية أحادية البلورية لوحات السيليكون.

**الكلمات المفتاحية:** الخلايا الكهروضوئية ، الخلايا الضوئية ، التقنية أحادية البلورية ، المحاكاة ، برنامج PVSYS.

# *Sommaire*

# Sommaire

Remerciement.....	i
Dédicaces.....	ii
Résumé.....	v
Liste de figures et tableaux.....	xii
<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>

## Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I.1.Introduction .....	2
I.2.Historique.....	2
I.3. État de l’art des systèmes.....	3
I.4. L’énergie solaire photovoltaïque.....	4
I.4.1.Le soleil.....	4
I.4.2.Cordonnées du soleil .....	5
I.4.2.1.Coordonnées équatoriales .....	5
I.4.2.2. Coordonnées horizontales du soleil .....	7
I.4.3. Cordonnées terrestres.....	8
I.4.3.1.Longitude.....	8
I.4.3.2. Altitude .....	8
I.4.3.3. Latitude.....	9
I.4.4.Rayonnement Solaire .....	9
I.4.5. Épaisseur de l’atmosphère.....	11
I.5. Le gisement solaire .....	13
I.6.Principe de fonctionnement d’une cellule photovoltaïque.....	15
I.7.Physiques de semi-conducteur.....	16
I.7.1. Types de semi-conducteurs.....	17
I.7.1.1. Les semi-conducteurs purs ou intrinsèques.....	17
I.7.1.2. Les semi-conducteurs dopés ou extrinsèques.....	18
I.7.2.Différents types de dopage.....	18

I.7.2.1. Dopage N.....	18
I.7.2.2. Dopage P.....	18
I.7.3. La jonction PN.....	19
I.7.4 Bandes d'énergie .....	19
I.7.5. Effet de la température.....	20
I.8. Module photovoltaïque .....	21
I.8.1 Caractéristiques d'un module.....	22
I.9. Modélisation de la cellule solaire .....	23
I.9.1. Cellule photovoltaïque idéale.....	23
I.9.2. Cellule photovoltaïque réelle.....	24
I.9.3. Influence de l'éclairement.....	27
I.9.4. Influence de la température.....	28
I.10. Différents configurations des systèmes PV .....	30
I.10.1. Système autonome sans batterie.....	31
I.10.2. Système autonome avec batterie.....	31
I.10.3. Système fonctionnant au fil du soleil.....	31
I.10.4. Système avec appoint électrique .....	31
I.11. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque .....	31
I.11.1. Avantages.....	31
I.11.2 Inconvénients.....	32
I.12. Technologies d'une cellule photovoltaïque .....	32
I.12.1. Silicium monocristallin.....	32
I.12.2. Silicium poly cristallin.....	33
I.12.3. Silicium amorphe (a-si) .....	33
I.12.4. Technologie organique.....	34
I.12.5. Technologie multi jonction.....	35
I.13. Conclusion.....	36

## **Chapitre II Conception et dimensionnement de l'installation PV**

II.1. Introduction .....	37
--------------------------	----

II.2. Objectif général .....	37
II.3. Matériels et méthodes .....	37
II.3.1.Étude technique.....	37
II.3.2.Collecte des données .....	38
II.4. Constitutions du système.....	38
II.4.1.Modules photovoltaïques .....	38
II.4.2.Les onduleurs .....	39
II.4.3.Différentes configurations des systèmes photovoltaïques.....	39
II.5.Choix des composants du système.....	40
II.6.Caractéristiques des composants utilisés pour le dimensionnement des systèmes PV .....	41
II.7.Étude technique et bilan énergétique du bloc technique.....	41
II.8. Conclusion.....	43

### **Chapitre III : Simulation par PVSYST d'une installation photovoltaïque raccordé au réseau**

III.1. Introduction.....	44
III.2. Présentation de logiciel de simulation PVSYST .....	44
III.3. Gestion d'un projet donne (système raccordé au réseau).....	46
III.4. CONCEPTION /DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME.....	47
III.5. Dimensionnement de système : outil visuel.....	48
III.6. Simulation numérique.....	48
III.7. Site d'implantation.....	49
III.7.1.Données géographique.....	49
III.7.2. Données météorologiques.....	50
III.7.3 Schéma de l'installation PV .....	53
III.7.4. Paramètres de simulation.....	53

III.7.5. Résultat de simulation numérique.....	54
III.7.6. Énergie incidente de référence sur le plan des panneaux.....	58
III.7.7. Distribution annuelle de l'irradiante incidente.....	58
III.7.8. Distribution annuelle de la puissance en sortie du champ PV.....	59
III.7.9. Diagramme journalier d'Entrée/Sortie du système PV.....	59
III.8. Discussion des résultats.....	60
III.9. Conclusion.....	60
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>61</b>
<b>Références bibliographique.....</b>	<b>62</b>

# *Liste des figures et tableaux*

# Listes des figures

## Chapitre I

Figure I.1 : Schéma de principe d'un générateur photovoltaïque.....	2
Figure I.2 : Types de rayonnements solaires.....	5
Figure I.3: Variation de l'angle horaire en fonction du temps solaire vrai.....	6
Figure I.4 :Coordonnées horizontales du soleil.....	8
Figure I.5 : Cordonnée terrestre.....	9
Figure I.6: Analyse spectrale du rayonnement solaire.....	10
Figure I.7: Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné.....	11
Figure I.8: Épaisseur de l'atmosphère(AM).....	12
Figure I.9: Représentation graphique du spectre AM0 et AM1.5G.....	13
Figure I.10: Ensoleillement global annuel dans le monde $KWh/m^2/an$ .....	14
Figure I.11 : Irradiation solaire reçue sur plan incliné à la latitude du lieu : moyenne annuelle.....	15
Figure I.12 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	16
Figure I.13 : Structure en Bandes d'énergie pour les isolants, les semi-conducteurs et les conducteurs.....	17
Figure I.14 :(a) Atome de Silicium (b) Cristal de Silicium.....	17
Figure I.15 : La représentation simplifiée d'un semi-conducteur type N.....	18
Figure I.16 : La représentation simplifiée d'un semi-conducteur type P.....	19
Figure I.17 : Jonction P-N.....	19.
Figure I.18 : Représentation schématique des bandes d'énergie.....	20
Figure I.19: Module photovoltaïque.....	22
Figure I.20 : Modèle de cellule photovoltaïque idéale.....	23
Figure I.21 : Modèle de la cellule photovoltaïque réelle.....	24
Figure I.22: Schéma bloc de branchement une cellule PV.....	26

Figure I.23: Caractéristique I-V d'une cellule PV .....	26
Figure I.24 : Caractéristique P-V d'une cellule PV .....	27
Figure I.25:Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement .....	27
Figure I.26 : Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement.....	28
Figure I.27: Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de la température.....	29
Figure I.28 : Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de la température...	29
Figure I.29:Schéma synoptique d'une installation photovoltaïque.....	30
Figure I.30: Cellule monocristalline.....	32
Figure I.31 : Cellules au silicium poly cristallin.....	33
Figure I.32 : Cellules au silicium amorphe.....	34
Figure I.33 : Cellules organique.....	34
Figure I.34 : Cellules multi jonction.....	35

### **Chapitre III**

Figure III.1: menu principal de logiciel PVSYST .....	44
Figure III.2: Pré- dimensionnement de logiciel PVSYST .....	45
Figure III.3: Conception du projet de logiciel PVSYST.....	45
Figure III.4: Basé de données de logiciel PVSYST.....	46
Figure III.5 : Outils de logiciel PVSYST.....	46
Figure III.6 : Désignation du projet dans PVSYST.....	47
Figure III.7 : Conditions de dimensionnement champ/ onduleur dans PVSYST.....	48
Figure III.8: Site géographique.....	49
Figure III.9: Plan de masse (bloc pédagogique).....	50
Figure III.10 : Les données météorologiques.....	51
Figure III.11 : Trajectoire du soleil à Naama.....	52
Figure III.12 : Positionnement des systèmes de panneaux PV.....	53

Figure III.13 : Schéma simplifié du système couplé au réseau.....	53
Figure III.14 : Caractéristique du module PV.....	54
Figure III.15: Paramètres de simulation.....	55
Figure III.16 : Résultats principaux.....	56
Figure III.17 : Diagramme des pertes.....	57
Figure III.18 : Énergie incidente de référence sur le plan des panneaux.....	58
Figure III.19 : Distribution annuelle de l'irradiante incidente.....	58
Figure III.20 : Distribution annuelle de la puissance en sortie du champ PV.....	59
Figure III.21 : Diagramme journalier d'Entrée/Sortie du système PV.....	59

# Liste des tableaux

## Chapitre I

Tableau I.1 : Caractéristiques principales du soleil.....	4
Tableau I.2: Comparatif de différentes technologies.....	36

## Chapitre II

Tableau II.1 : Caractéristique technique des composants du système PV.....	41
Tableau II.2 : Bilan d'énergie du bloc technique.....	42

## Chapitre III

Tableau III.1 : Tableau des données géographique du site de pole technique.....	50
Tableau III.2 : Tableau des résultats principaux.....	56

# *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.

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. Pour les systèmes raccordés au réseau de distribution électrique, le stockage de l'énergie et bien évidemment pas indispensable. [3]

C'est une énergie décentralisée et peut être utilisée au moment même où elle est produite. Elle permet de couvrir les besoins d'une habitation en électricité tels que l'éclairage, le pompage de l'eau et la production du froid.

Dans notre travail, nous proposons l'étude du dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation du bloc technique du centre universitaire SALHI Ahmed Naama

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

Dans le deuxième chapitre, nous nous sommes intéressés au dimensionnement et de conception d'installation photovoltaïque au bloc technique de centre universitaire de Salhi Ahmed, à savoir les différents éléments constituant le module photovoltaïque.

Dans le troisième chapitre nous consacrons à l'étude par simulation numérique : nous présentons le logiciel que nous avons utilisé PV SYST .Ensuite, nous représentons les résultats obtenus de l'installation photovoltaïque.

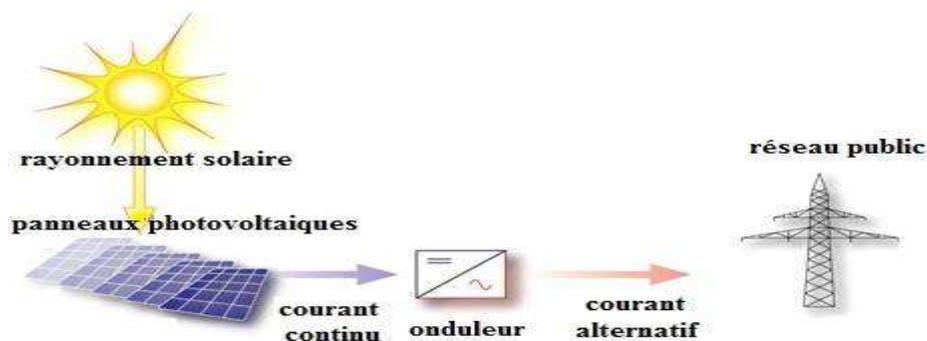
Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale ainsi que des références bibliographiques.

# *Chapitre I*

## I.1. Introduction

L'utilisation photovoltaïque de l'énergie solaire consiste à convertir directement le rayonnement lumineux en électricité. Cette conversion est assurée par des modules ou panneaux photovoltaïques, composés de cellules photovoltaïques ou photopiles. La conversion photovoltaïque est basée sur l'absorption des photons dans un matériau semi-conducteur qui fournit des charges électriques, donc du courant électrique, dans un circuit extérieur.

Dans cette partie, on commence par rappeler brièvement le principe de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique reposant sur l'effet photoélectrique des semi-conducteurs, ainsi que les différents types de stockage d'énergie par batteries électrochimiques accompagné d'un générateur diesel.



**Figure I.1** : Schéma de principe d'un générateur photovoltaïque. [4]

## I.2. Historique

Quelques dates importantes dans l'énergie photovoltaïque

**1839** : Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

**1875** : Werner Von Siemens expose devant l'académie des sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs [5].

**1954**: Trois chercheurs américains Chapin, Pearson et Prince fabriquent une cellule Photovoltaïque [5], [6].

**1958** : Une cellule avec un rendement de 9 % ; les premiers satellites alimentés par des cellules Solaires sont envoyés dans l'espace [6].

**1973** : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'université de Delaware [7].

**1983** : La première voiture alimentée en énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 Km en Australie [5].

### **I.3. État de l'art des systèmes PV**

Les générateurs photovoltaïques sont par leur nature des systèmes non linéaires. Ils font l'objet des grandes variations environnementales qui influent sur leur fonctionnement qui sont spécialement l'éclairement (l'insolation) et la température de la cellule [8].

La première génération des systèmes photovoltaïques utilisée pour le pompage constitué d'un générateur et une charge seulement correspond à un couplage direct, c'est le couplage le plus simple à réaliser et le moins coûteux [6].

**Appelbaum** Analysé le comportement dynamique d'un moteur à courant continu alimenté par un générateur photovoltaïque : le moteur à commencer à tourner seulement pour un niveau élevé d'insolation.

**Roger** A montré qu'un moteur à courant continu entraînant une pompe centrifuge représente un choix acceptable et qu'un moteur à aimant permanent est considéré comme le meilleur actionneur électrique pour le pompage photovoltaïque.

**Anis** A reporté qu'un moteur à courant continu entraînant une pompe volumétrique représente un mauvais choix pour le pompage photovoltaïque, parce que le moteur conduisant la pompe volumétrique demande un courant presque constant [9].

La puissance maximale du générateur photovoltaïque (GPV) pour différents niveaux d'éclairement correspond aux valeurs optimales du courant et la tension ; le moteur à un niveau donné absorbe une puissance qui ne correspond pas à la puissance maximale du GPV, généralement cette puissance peut même être très inférieure à la puissance maximale du GPV, alors une optimisation est nécessaire pour une bonne exploitation de l'énergie photovoltaïque pour différents niveaux d'éclairement [10].

**Benlarbi et Al** Ont effectué une optimisation du rendement globale du système par l'intégration entre l'onduleur et le panneau solaire d'un hacheur dévolteur survolteur qui garantit l'alimentation de l'onduleur avec les valeurs optimales du courant et de la tension obtenue en agissant sur le rapport cyclique du hacheur sur une machine DC ; MSAP ; MAS ont montrées que la quantité d'eau pompée avec l'utilisation d'une MSAP est meilleures par rapport aux autres machines [11].

L'application des systèmes photovoltaïques n'est pas limitée au système isolé, mais peut être utilisée localement au niveau domestique. Dans ce cas une optimisation d'utilisation d'énergie est indispensable car il est nécessaire de faire un choix optimal sur la source à

utiliser : réseau, batterie ou panneau solaire. De plus, dans le cas d'excès d'énergie produite à travers la conversion photovoltaïque, cette dernière peut être injectée au réseau dans le but d'optimiser de tels systèmes pour assurer un fonctionnement optimal de l'ensemble.

De plus, de nouvelles techniques sont utilisées actuellement, basées sur l'intelligence artificielle telle que les réseaux neurones et la logique floue. Elles ont été appliquées pour optimiser les systèmes de pompage photovoltaïque.

Généralement, le générateur solaire est fixe, mais il peut être orientable pour les régions où le flux lumineux est faible. L'orientation des panneaux est assurée soit manuellement, soit commandée par un circuit électronique ; le principe réside dans la poursuite du mouvement du soleil. Cette idée a donné naissance à une nouvelle procédure d'optimisation [9], [11].

## I.4. L'énergie solaire photovoltaïque

### I.4.1. Le soleil

L'astre soleil est de constitution gazeuse, de forme sphérique de  $14 \times 10^5$  km de diamètre, sa masse est de l'ordre de  $2 \times 10^{30}$  kg. Il est constitué principalement de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant est un mélange de plus de 100 éléments [12], [13].

Il est situé à une distance de la terre égale à environ 150 millions de km. Sa luminosité totale, c'est-à-dire la puissance qu'il émet sous forme d'ondes électromagnétiques ; 30% de cette puissance est réfléchiée vers l'espace, 47% est absorbée et 23% est utilisée comme source d'énergie pour le cycle d'évaporation-précipitation de l'atmosphère [12], [13].

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau ci-dessous [14] :

**Tableau I.1** : Caractéristiques principales du soleil [14].

Diamètre (km)	$14 \times 10^5$
Masse (kg)	$2 \times 10^{30}$
Surface ( $Km^2$ )	$6.09 \times 10^{12}$
Volume ( $Km^3$ )	$1.41 \times 10^{18}$
Masse volumique moyenne ( $kg/m^3$ )	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2.5 \times 10^{47}$

## I.4.2. Cordonnées du soleil

Pour un lieu donné, la position du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différents. [15]

- Par rapport au plan équatorial de la terre (repère équatorial).
- Par rapport au plan horizontal du lieu (repère horizontal).

### I.4.2.1. Coordonnées équatoriales

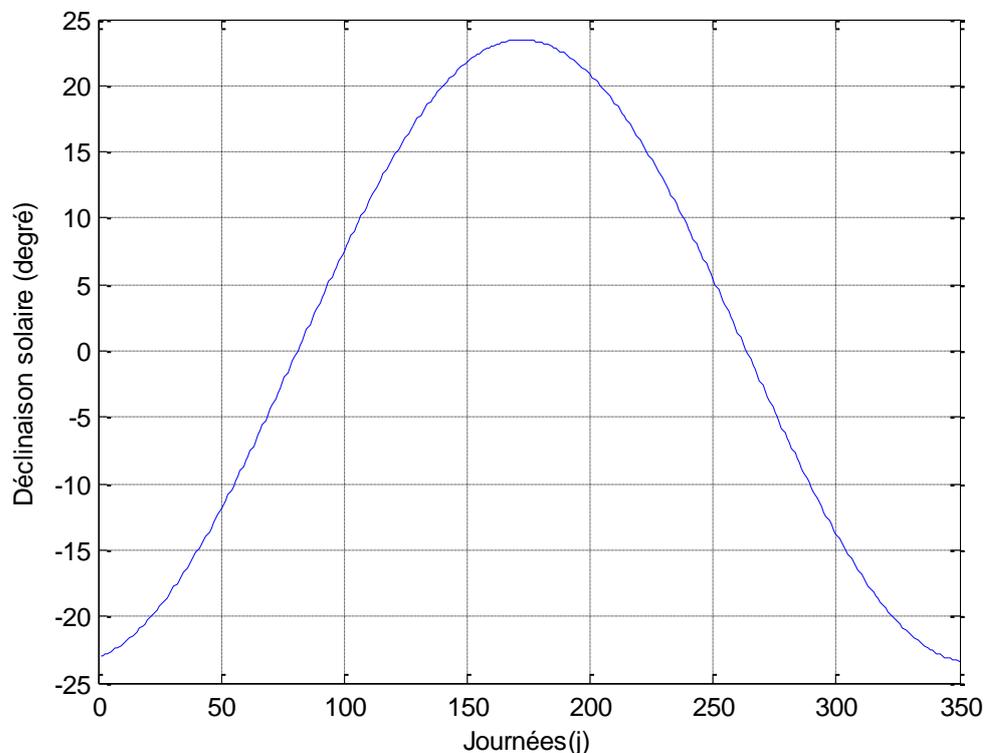
Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de deux angles.

- **Déclinaison Solaire**

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre, sa valeur en degré est donnée par la relation de Cooper suivante [15] :

$$\delta = 23.45 \times \sin \left[ 2\pi \times \frac{284+j}{365} \right] \quad (\text{I.1})$$

Où  $j$  : est le numéro d'ordre du jour de l'année (  $n=1$  pour le 1er Janvier,  $n=32$  pour le 1er Février,...etc.) La déclinaison varie entre  $-23,45^\circ$  le 21 décembre et  $+23,45^\circ$  le 21 juin.



**Figure I.2 :** Types de rayonnements solaires.

- **Angle horaire du soleil  $H$**

C'est l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du méridien du lieu, l'angle horaire du soleil varie à chaque instant de la journée selon la relation : **[15]**

$$H = 15(TSV - 12) \quad (I.2)$$

Avec :

$$TSV = TL - TU + \left(\frac{\Delta t}{\Delta \lambda}\right) = TL - \left(TU - \frac{\lambda}{15}\right) + \frac{\Delta t}{60} \quad (I.3)$$

$$\Delta t = 9,87 \times \sin 2\left(\frac{360}{365}(J - 81)\right) - 7,35 \times \cos\left(\frac{360}{365}(J - 81)\right) - 1,5 \times \sin\left(\frac{360}{365}(J - 81)\right) \quad (I.4)$$

TU : Temps universel : est le décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich.

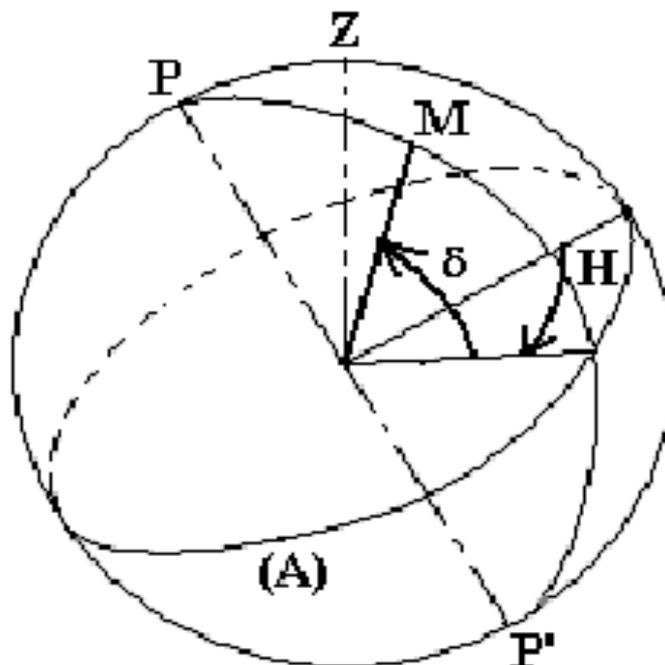
Pour l'Algérie : TU= +1.

TL : Temps légal : temps donné par une montre.

$\Delta t$  : Correction de l'équation du temps.

$\lambda$  : Longitude du lieu.

- $H > 0$  : après midi.
- $H < 0$  : le matin.
- $H = 0$  : midi TSV.



**Figure I.3:** Variation de l'angle horaire en fonction du temps solaire vrai. [16]

### I.4.2.2. Coordonnées horizontales du soleil

La position du soleil à un instant considéré est donnée par l'azimut du soleil  $a$  et son élévation  $h$  voir la Figure (I.4).

- **Azimut (a)**

C'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et la direction du Sud.

L'azimut du soleil varie à chaque instant de la journée selon la relation : [15]

$$\sin a = \frac{\cos \delta \times \sin H}{\cos H} \quad (\text{I.5})$$

a: varie entre  $-180^\circ$  et  $180^\circ$ .

On prend :

- $a > 0$  : vers l'ouest.
- $a < 0$  : vers l'est.
- $a = 0$  : direction du sud.

- **Hauteur (h)**

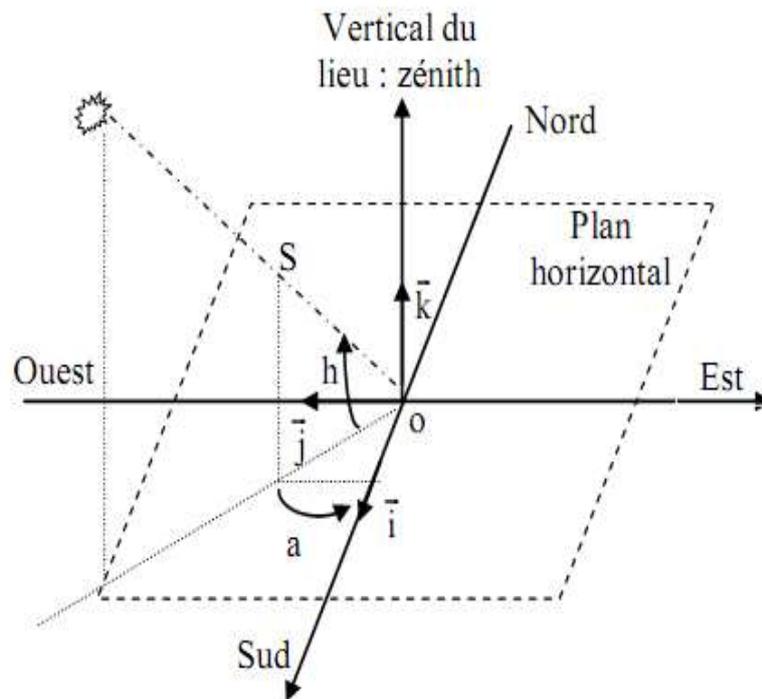
C'est l'angle formé par la direction du soleil et sa projection sur le plan d'horizontal.

La hauteur du soleil varie à chaque instant de la journée et de l'année selon la relation suivante : [15]

$$\sin h = \cos \delta \times \cos \varphi \times \cos H + \sin \varphi \times \sin \delta \quad (\text{I.6})$$

La hauteur du soleil varie entre  $-90^\circ$  et  $+90^\circ$ .

- $h = 0$  aux lever et coucher,
- $h > 0$  le jour ;
- $h < 0$  la nuit.



**Figure I.4 :** Coordonnées horizontales du soleil. [17]

### I.4.3. Coordonnées terrestres

Tout point sur la surface terrestre peut être repéré par ses coordonnées géographiques qui sont : la longitude, la latitude, ainsi que par son altitude, voir la Figure (I.5).

#### 1.4.3.1. Longitude

La longitude ( $\lambda$ ) d'un lieu correspond à l'angle formé par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles), l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich  $0^\circ$ ) et l'autre déterminé par le lieu envisagé.

La longitude d'un lieu peut être comprise entre  $-180$  et  $180^\circ$ . A tout écart de  $1^\circ$  de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps. [15]

On affecte du signe (+) les méridiens situés à l'Est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'Ouest.

#### 1.4.3.2. Altitude

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale en mètre entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer). [15]

### 1.4.3.3. Latitude

L'angle ( $\phi$ ) de latitude est l'angle entre une ligne tracée d'un point sur la surface de la terre avec le centre de cette dernière, et le cercle équatorial de la terre. L'intersection du cercle équatorial avec la surface de la terre forme l'équateur et est indiquée en tant que latitude de  $0^\circ$ , le pôle nord par la latitude  $+90^\circ$  et le pôle sud par la latitude  $-90^\circ$ .

Par convention, le signe (-) est affecté à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) à tous les lieux de l'hémisphère sud. La latitude d'un lieu peut être comprise entre  $-90^\circ$  et  $+90^\circ$ .

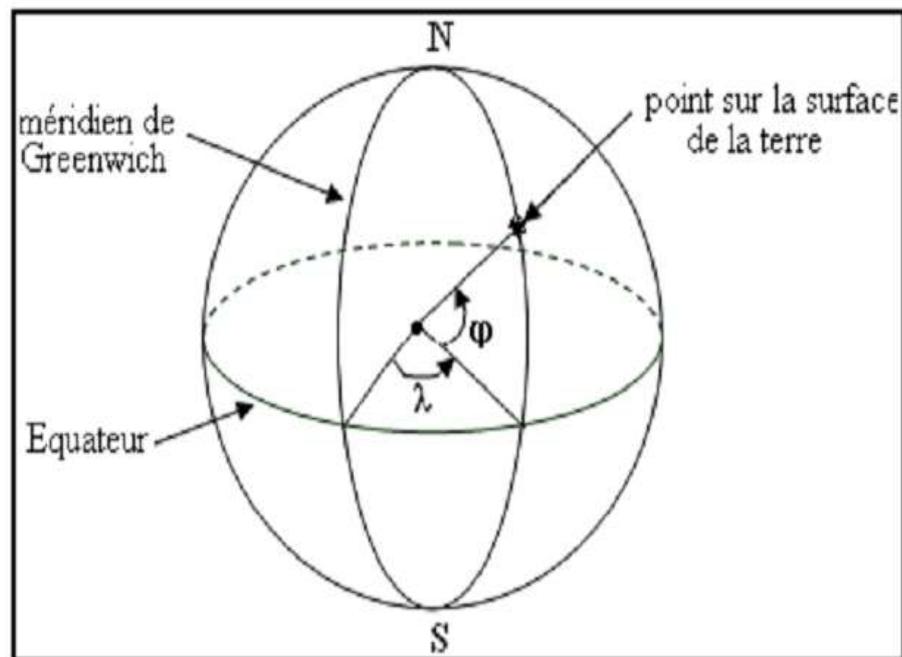


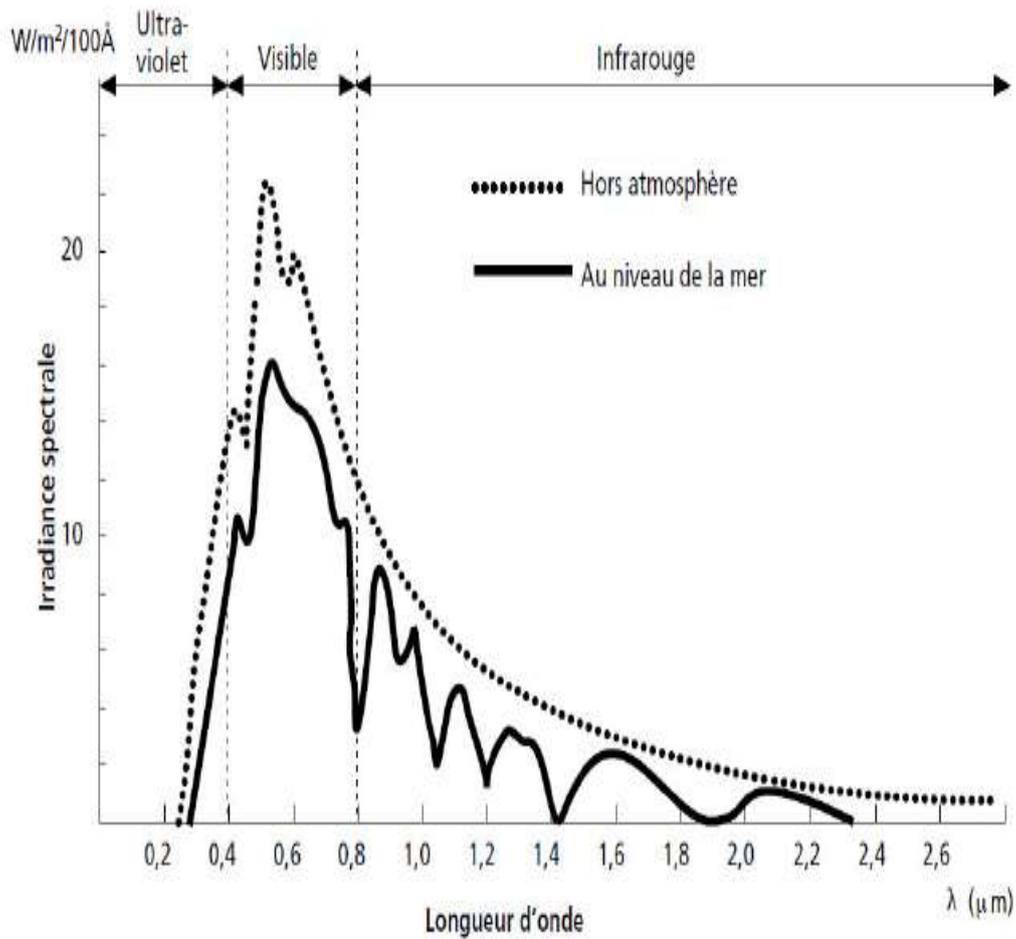
Figure I.5 : Cordonnée terrestre. [15]

### 1.4.4. Rayonnement Solaire

Malgré la distance considérable qui sépare le soleil de la terre  $150.10^6$  Km, la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie importante  $180.10^6$  GW, c'est pour ça que l'énergie solaire se présente bien comme une alternative aux autre sources d'énergie [18].

Cette quantité d'énergie quittera sa surface sous forme de rayonnement électromagnétique compris dans une longueur variant de  $0.22$  à  $10 \mu\text{m}$ , l'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement comme suit:

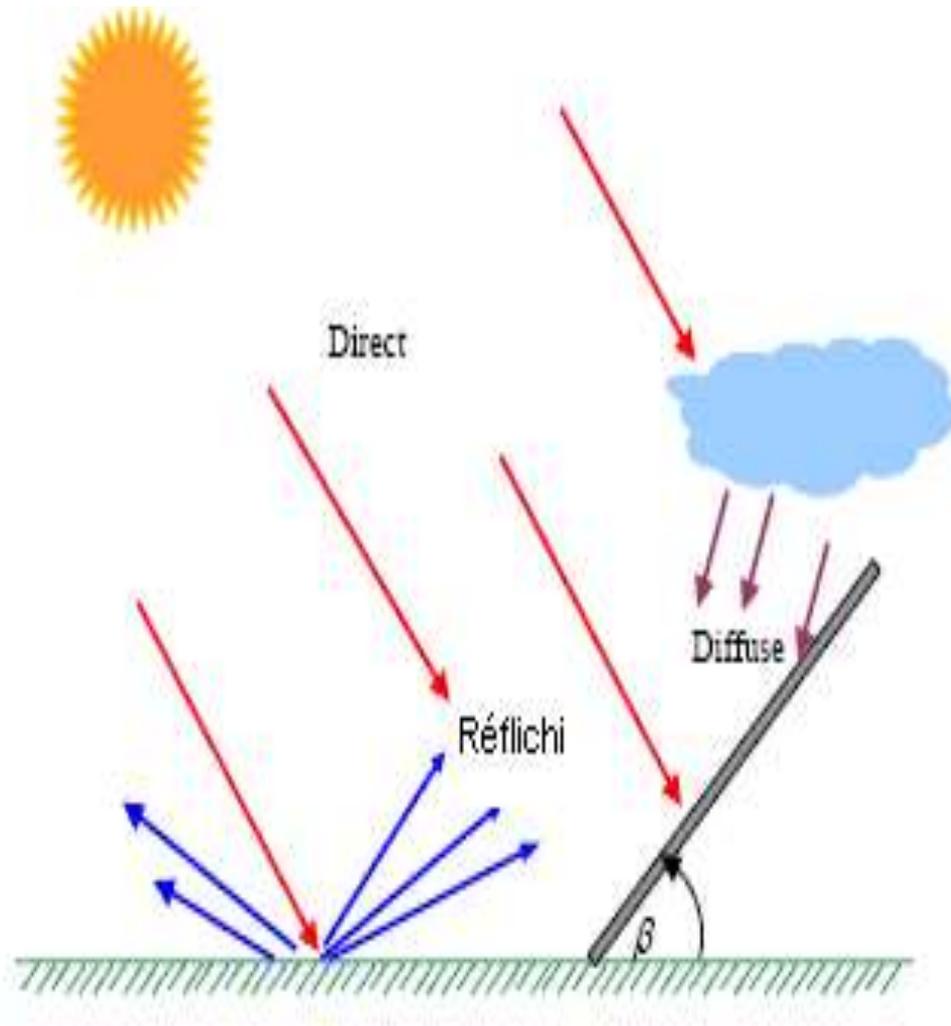
- 9 % dans la bande des ultraviolets ( $< 0.4 \mu\text{m}$ ).
- 47 % dans la bande visibles ( $0.4$  à  $0.8 \mu\text{m}$ ).
- 44 % dans la bande des infrarouges ( $> 0.8 \mu\text{m}$ ). [18]



**Figure I.6** : Analyse spectrale du rayonnement solaire. [13]

Etant absorbé et diffusé en traversant l'atmosphère seul une fraction modifiée du rayonnement solaire parvient à la surface de la terre se composant de 3 différents types de rayonnements :

- **Le rayonnement direct** : Rayonnement provenant du soleil en ligne droite du seul disque solaire, il est nul lorsque le soleil est complètement couvert par les nuages.
- **Le rayonnement diffus** : Radiation solaire arrivant sur la surface de la terre après déviation de la lumière par les nuages et les molécules diverses, elle est donc nulle que la nuit.
- **Le rayonnement réfléchi (albédo)** : Radiation solaire incidente réfléchi par une surface.

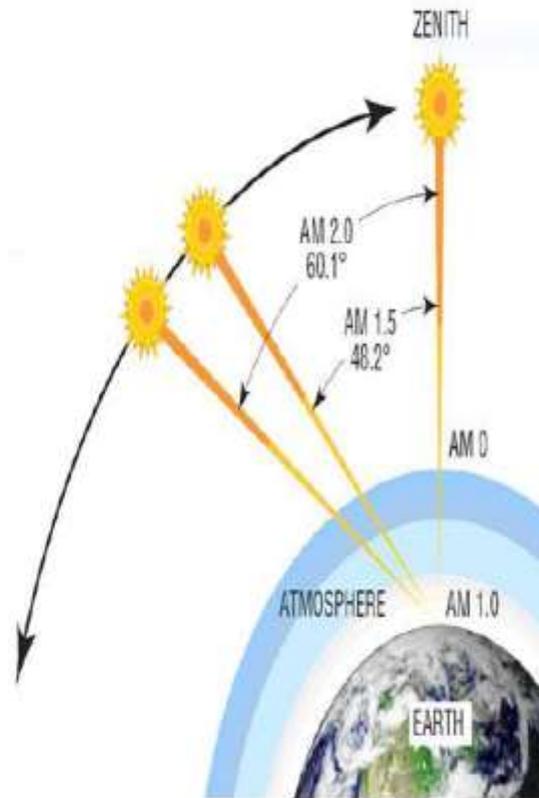


**Figure I.7:** Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné. [15]

#### I.4.5. Epaisseur de l'atmosphère

La notion épaisseur de l'atmosphère (AM) sert à évaluer la masse atmosphérique traversé par le rayonnement solaire et dépend de l'épaisseur de l'atmosphère traversée, celle-ci définit le spectre de référence pour unifier les performances des cellules photovoltaïques.

AM0 représente le spectre à la limite de l'atmosphère, AM1 représente le spectre arrivant à la surface de la terre quand le soleil est au zénith, AM1.5G représente le spectre standard arrivant à  $48.2^\circ$  à la surface de la terre à une atmosphère et demi, en dernier AM2 représente le spectre arrivant à  $60.1^\circ$  à la surface de la terre.



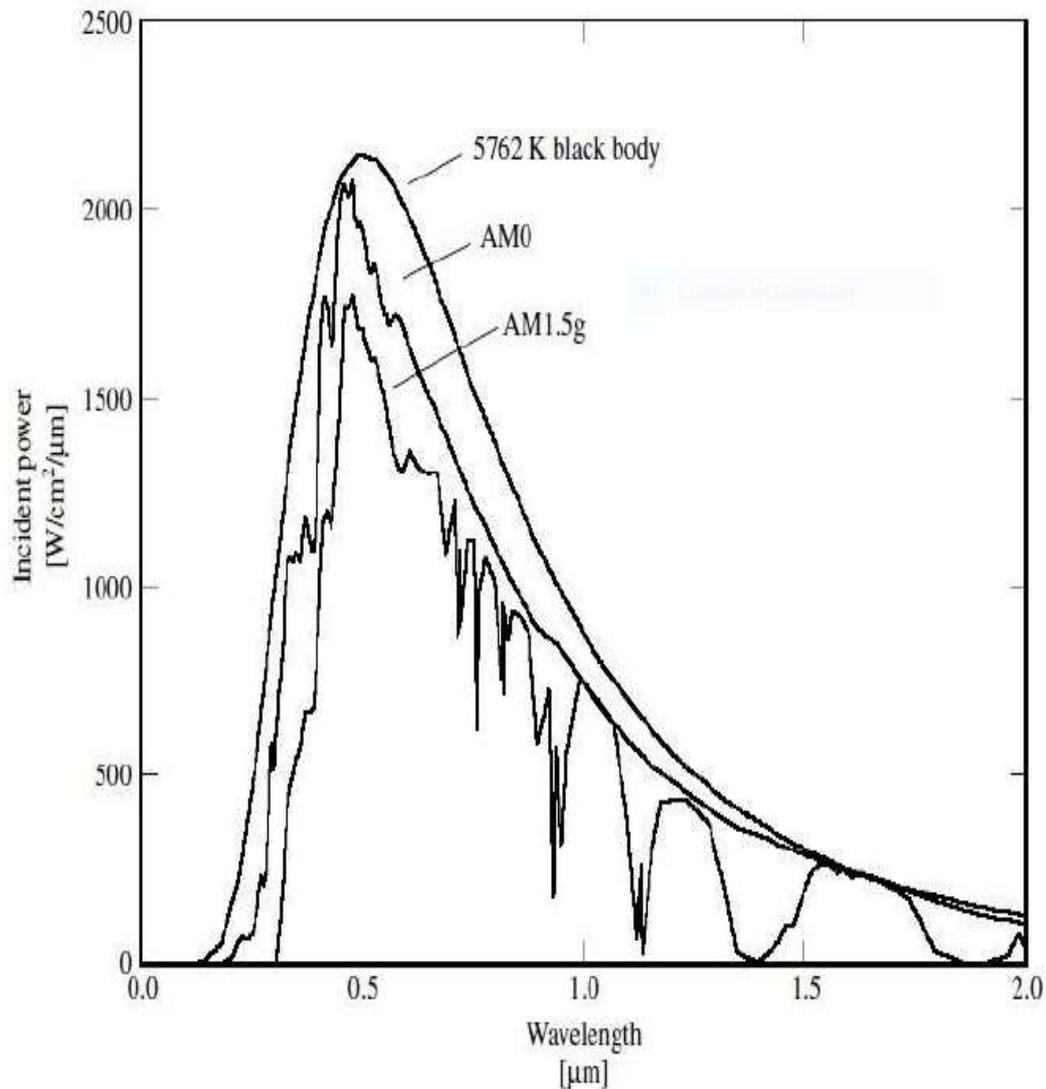
**Figure I.8** : Epaisseur de l'atmosphère (AM).

L'air mass peut-être calculé par la formule suivante :

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)} \quad (I.7)$$

$\theta$  : L'angle du soleil par rapport au zénith.

AM1.5G est le spectre standard le plus étudié car il regroupe le rayonnement direct et diffus contrairement à AM1.5D qui ne tient compte que du rayonnement direct. La figure ci-dessus représente le spectre AM0 à la limite de l'atmosphère et AM1.5 G à la surface de la terre ainsi que le corps noir à 5762K. [19]

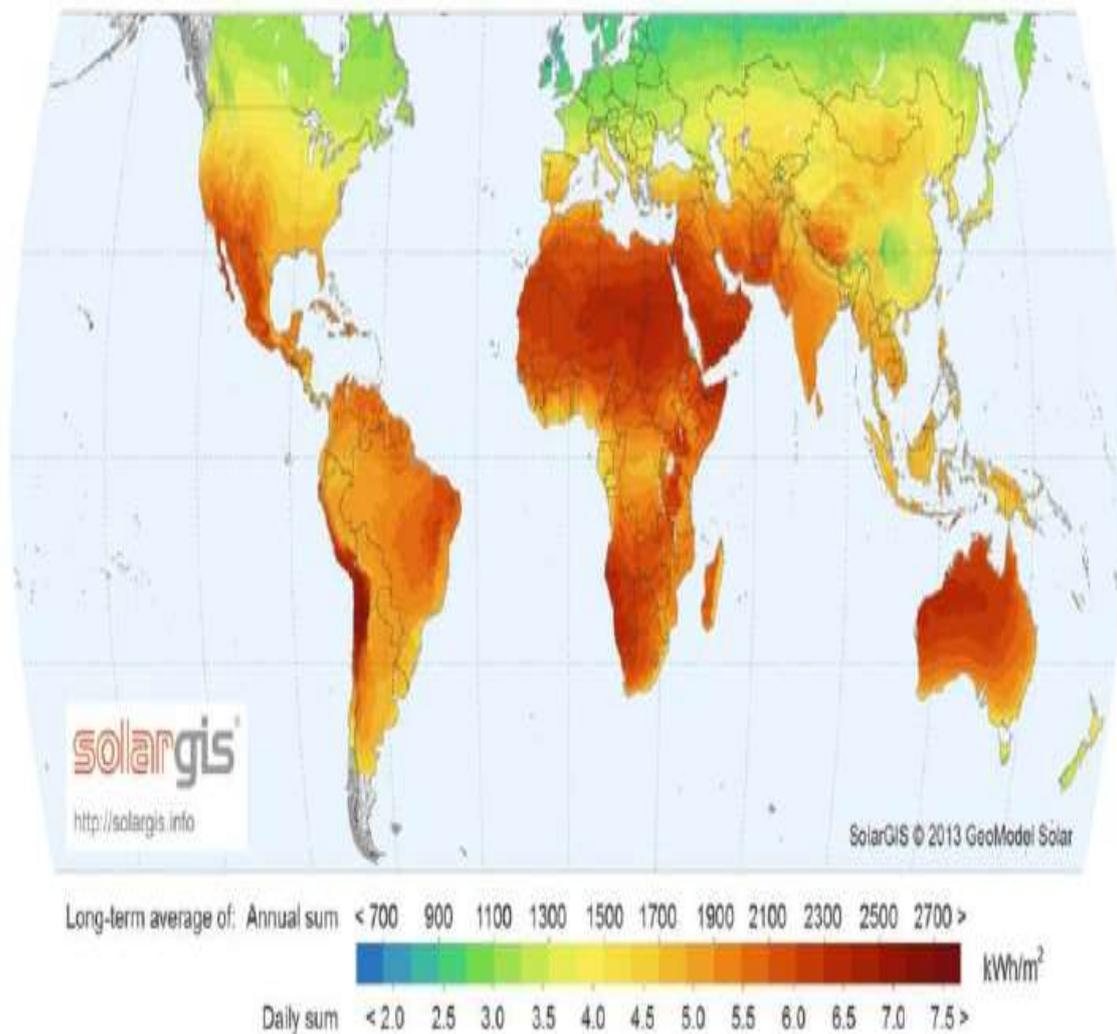


**Figure I.9** : Représentation graphique du spectre AM0 et AM1.5G.

## I.5. Le gisement solaire

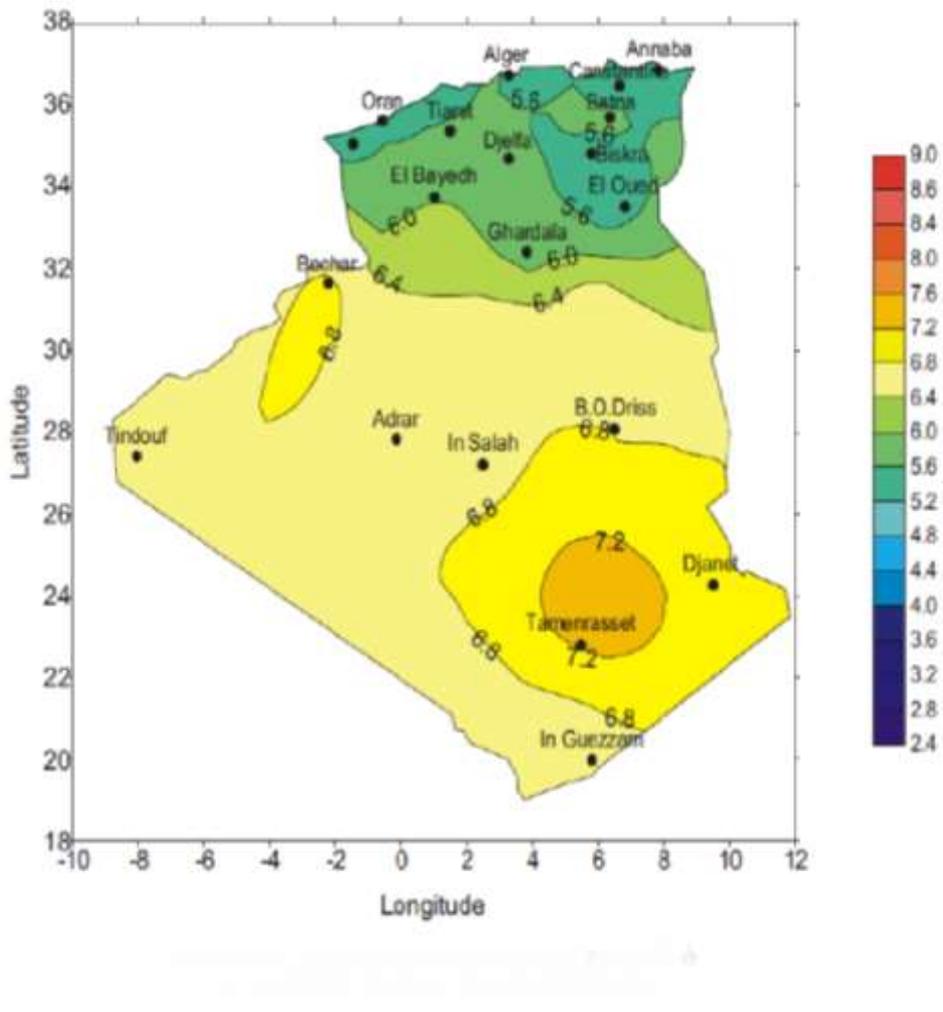
La connaissance du gisement solaire d'un site donné est primordiale pour la confection et dimensionnement d'un système énergétique solaire, en effet le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire dans un lieu au cours d'une période donnée grâce aux stations météorologiques, son évolution 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 exact possible compte tenu des demandes en énergie à satisfaire [20].

Les pays du sud de la méditerranée notamment l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde comme le montre la figure ci dessous :



**Figure I.10** : Ensoleillement global annuel dans le monde KWh/m<sup>2</sup>/an.

L'Algérie est un pays potentiellement intéressant pour l'exploitation de l'énergie solaire, de par sa situation géographique il dispose d'un gisement solaire très important compte tenu des valeurs de la durée d'insolation enregistrée sur la quasi-totalité du territoire national dépassant les 2000 heures annuellement et pouvant atteindre les 3900 heures sur les hauts plateaux du Sahara. Par conséquent, la quantité d'énergie reçue au sol quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m<sup>2</sup> est de l'ordre de 5 KW/h sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m<sup>2</sup> au nord et 2263 KWh/m<sup>2</sup> au sud du pays [21].

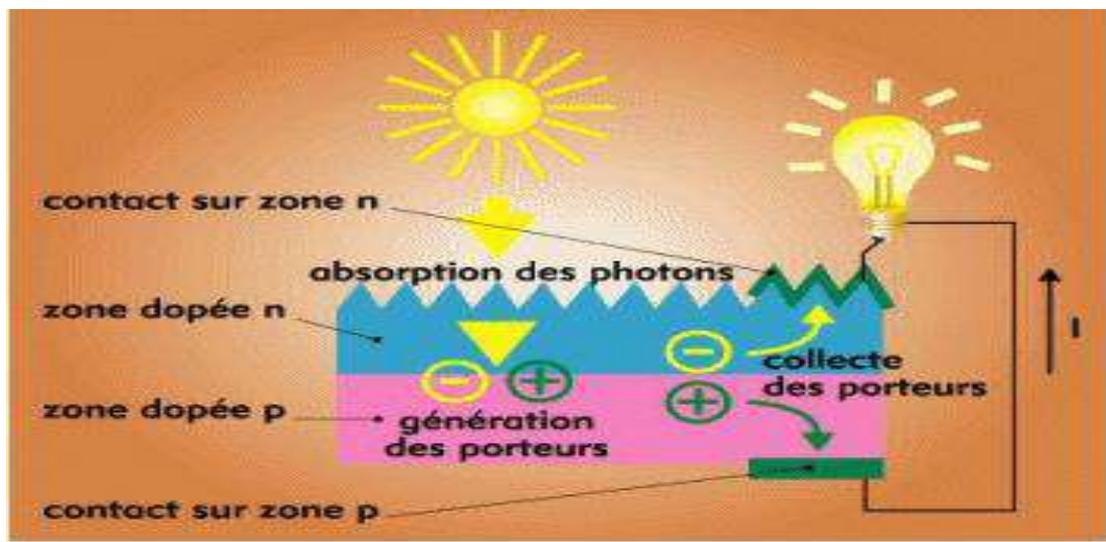


**Figure I.11** : Irradiation solaire reçue sur plan incliné à la latitude du lieu : moyenne annuelle.

## I.6. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Nous allons ici exposer les principes de fonctionnement principaux de cette technique. L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type N et dopée de type P. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans le matériau P. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée P chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone

P. Une jonction (dite P-N) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones N et P, une diode est obtenue. Les électrons ne circulent que de la zone P à n et inversement pour les trous. Ceci est dû à l'utilisation de semi-conducteur. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi une paire électron-trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel: le courant électrique circule. [22]



**Figure I.12** : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

## I.7. Physiques de semi-conducteur

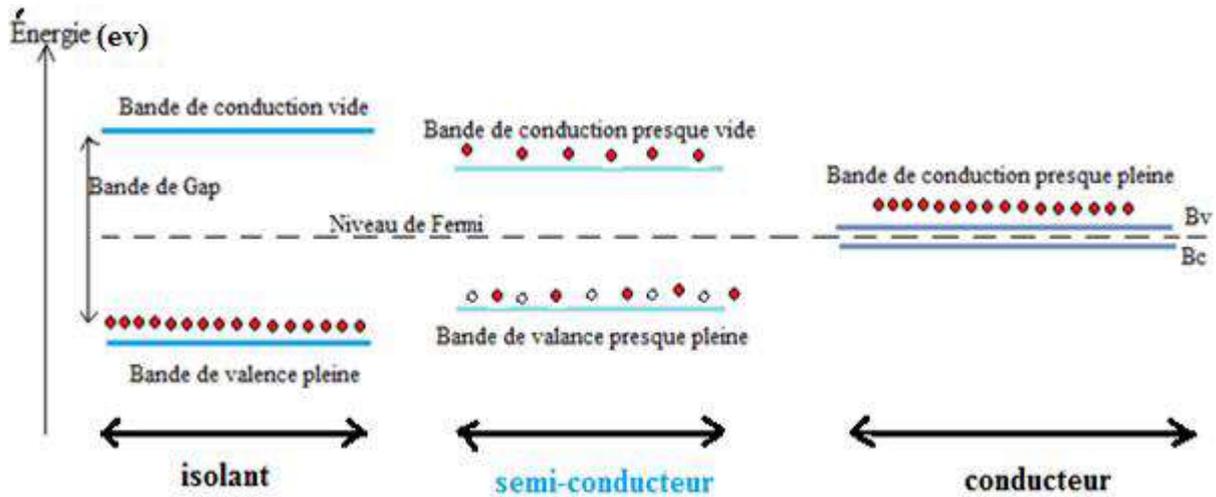
Cette classe de matériaux se situe entre les métaux (conducteurs) et les isolants (non conducteurs). La résistivité  $\rho$  des semi-conducteurs varie de  $10^{-3}$  à  $10^{+4}\Omega.cm$ .

Les électrons libres et les trous mobiles sont les porteurs de charges responsables de la conductivité électrique. Un semi-conducteur peut être soit intrinsèque (pur) ou extrinsèque (Dopé) par des impuretés [23].

- Semi-conducteur intrinsèque : la résistivité du silicium pur est de l'ordre de  $\rho = 10^3\Omega.cm$ .
- Semi-conducteur extrinsèque : la résistivité du silicium dopé par le Bore ou le phosphore est de l'ordre de  $10^{-2}\Omega.cm$ .

Le dopage du silicium permet d'atteindre le taux d'un atome de Bore (B) ou de

phosphore (P) pour 105 atomes de silicium [23]. Pour un isolant la zone interdite (énergie de gap) est large par contre pour un conducteur les deux bandes se chevauchent, et on trouve pour les semi-conducteurs l'énergie de gap se situe entre les isolants et les semi-conducteurs.



**Figure I.13:** Structure en Bandes d'énergie pour les isolants, les semi-conducteurs et les conducteurs.

## I.7.1. Types de semi-conducteurs

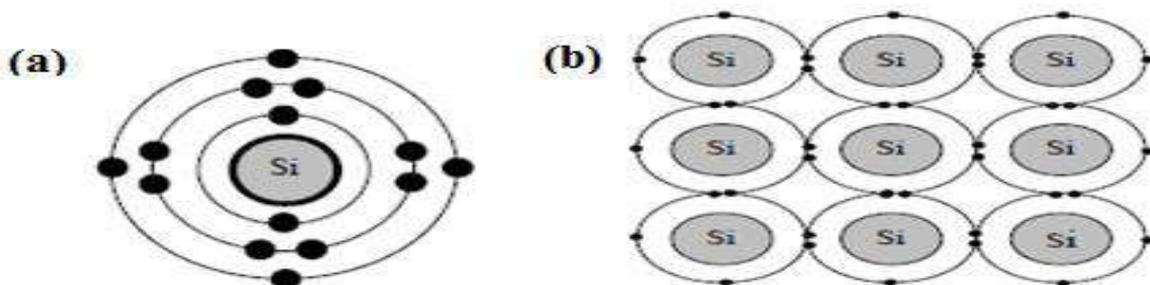
### I.7.1.1. Les semi-conducteurs purs ou intrinsèques

Un semi-conducteur dit intrinsèque est un matériau idéal ne possédant ni défaut physique ni défaut chimique [24]. Le monocristal du silicium possède une structure de type tétraédrique c'est à dire que chaque atome est entouré symétriquement de 4 atomes [25].

Lorsque le corps est parfaitement pur, il est qualifié d'intrinsèque.

**Exemples :** Silicium (Si), Germanium (Ge), Sélénium (Se)

Le Silicium est un atome tétravalent : Il possède 4 électrons de valence qui vont se mettre en commun avec d'autres atomes de Silicium pour avoir la forme cristalline (**Figure I.14**).



**Figure I.14 :** (a) Atome de Silicium (b) Cristal de Silicium.

### I.7.1.2. Les semi-conducteurs dopés ou extrinsèques

Le dopage est l'introduction dans un semi-conducteur intrinsèque de très faible quantité d'un corps étranger appelé dopeur. Pour les semi-conducteurs usuels (Si, Ge), les dopeurs utilisés sont :

- soit des éléments pentavalents: ayant 5 électrons périphériques.

Exemples : l'Arsenic (As), l'Antimoine (Sb), le Phosphore (P),...

- soit des éléments trivalents: ayant 3 électrons périphériques.

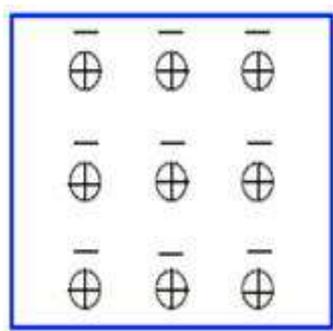
Exemples : le Bore (B), le Gallium (Ga), l'Indium (In),...

Après le dopage, le semi-conducteur n'est plus intrinsèque mais extrinsèque.

## I.7.2. Différents types de dopage

### I.7.2.1. Dopage N

Le dopage N consiste à ajouter au semi-conducteur des atomes possédant 5 électrons périphériques (pentavalents) tel que le Phosphore. Quatre de ces électrons vont participer à la structure cristalline, et un électron supplémentaire va se retrouver libre et pouvoir se déplacer dans le cristal. Le semi-conducteur devient de type N, c'est-à-dire que les porteurs majoritairement présents dans la maille cristalline sont des électrons. Nous parlons de charges mobiles. Les ions + sont fixes car ils font partie de la structure atomique cristalline de la plaquette de silicium.



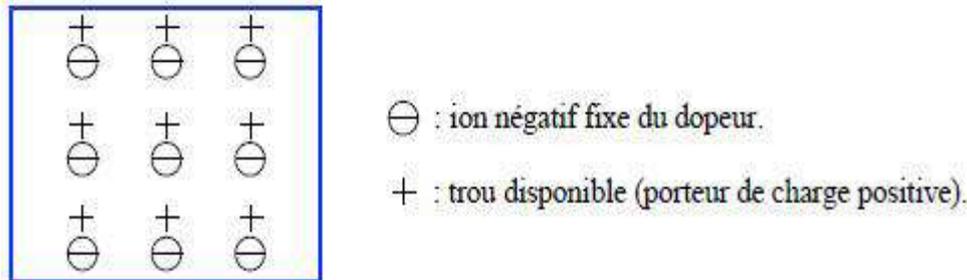
⊕ : ion positif fixe du dopeur.  
 — électron libre (porteur de charge négative).

**Figure I.15** : La représentation simplifiée d'un semi-conducteur type N.

### I.7.2.2. Dopage P

Le dopage P consiste à ajouter au semi-conducteur des atomes possédant 3 électrons périphériques (trivalentes) tel que le Bore. Ces trois électrons participent à la structure

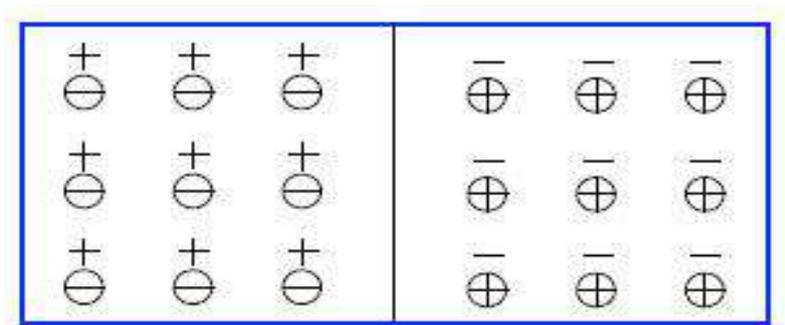
crystalline, mais un “trou” est créé par chaque atome étranger puisqu’il lui manque un électron périphérique. C’est-à-dire que les charges mobiles majoritaires sont des trous (positifs) dans cette région du silicium.



**Figure I.16** : La représentation simplifiée d’un semi-conducteur type P.

### I.7.3. La jonction PN

Lorsque les deux zones sont mises en contact, certains électrons de semi-conducteur de type N passent vers le matériau de type P tandis que les trous du semi-conducteur de type P se déplacent au même moment dans la direction opposée. Le mouvement de ces charges majoritaires forment des paires électron-trou neutre, nous obtenons alors une région appelée jonction PN dans laquelle la conductibilité passe progressivement du type P au type N.



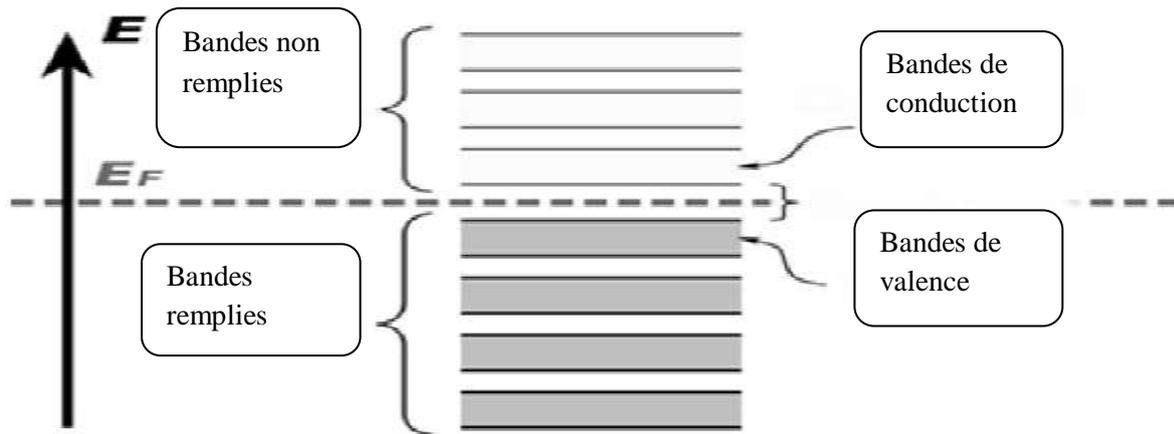
**Figure I.17** : Jonction P-N.

### I.7.4. Bandes d’énergie

En physique quantique des solides, la théorie des bandes est une modélisation des valeurs d’énergie que peuvent prendre les électrons d’un solide à l’intérieur de celui-ci [26]. De façon générale, ces électrons n’ont la possibilité de prendre que des valeurs d’énergie comprises dans certains intervalles, lesquels sont séparés par des bandes d’énergie

interdites (ou bandes interdites). Cette modélisation conduit à parler de bandes d'énergie ou de structure de bandes.

Selon la façon dont ces bandes sont réparties, il est possible d'expliquer au moins schématiquement les différences de comportement électrique entre un isolant, un semi-conducteur et un conducteur.



**Figure I.18** : Représentation schématique des bandes d'énergie.

### I.7.5. Effet de la température

Pour VD positif, la diode a un coefficient de température négatif égal à -2mV/K. Pour VD négatif, le courant de saturation  $I_s$  varie très rapidement avec la température. IL est plus important pour le germanium que pour le silicium, et croît plus vite, ce qui devient rapidement gênant. Dans le silicium, ce courant double tous les 279°K.

La température de fonctionnement est un paramètre fondamental dans la détermination du fonctionnement des dispositifs à semi-conducteurs.

Dans le cas de la jonction PN le courant de saturation est essentiellement dû aux porteurs minoritaires générés par agitation thermique.

Ce courant de saturation sera donc particulièrement sensible à la température. L'effet de la température sur la caractéristique directe est déterminé par les relations suivantes [27]:

$$I_D = I_s \text{ Exp} \frac{qV_j}{KT} - 1 \quad (\text{I.8})$$

Avec

$$I_d = KT^m \text{Exp} \frac{Eg_0}{2KT} \quad (\text{I.9})$$

Où  $m=2$  pour le Germanium,  $m=1.5$  pour le Silicium et  $m=1.5$  pour L'arséniure de Gallium.

Pour trouver l'influence de la température sur la caractéristique de la jonction on dérive l'expression Simplifiée du courant soit :

$$I = I_s \text{Exp} \frac{V}{hV_T} \quad (\text{I.10})$$

Nous avons :

$$\frac{dI}{dT} = \frac{dI_s}{dT} \cdot \text{exp} \frac{V}{hV_T} + \frac{dV}{dT} \cdot \frac{I_s}{hV_T} \text{exp} \frac{V}{hV_T} - I_s \frac{qV}{hkT^2} \text{exp} \frac{V}{hV_T} \quad (\text{I.11})$$

$dI_s/dT$  Représente la variation du courant inverse en fonction de la température Cherchons maintenant la variation  $dV/dT$  lorsque le courant  $I$  est maintenu constant (à l'aide d'un circuit extérieur) soit  $dI = 0$  dans l'expression précédente. Nous avons alors :

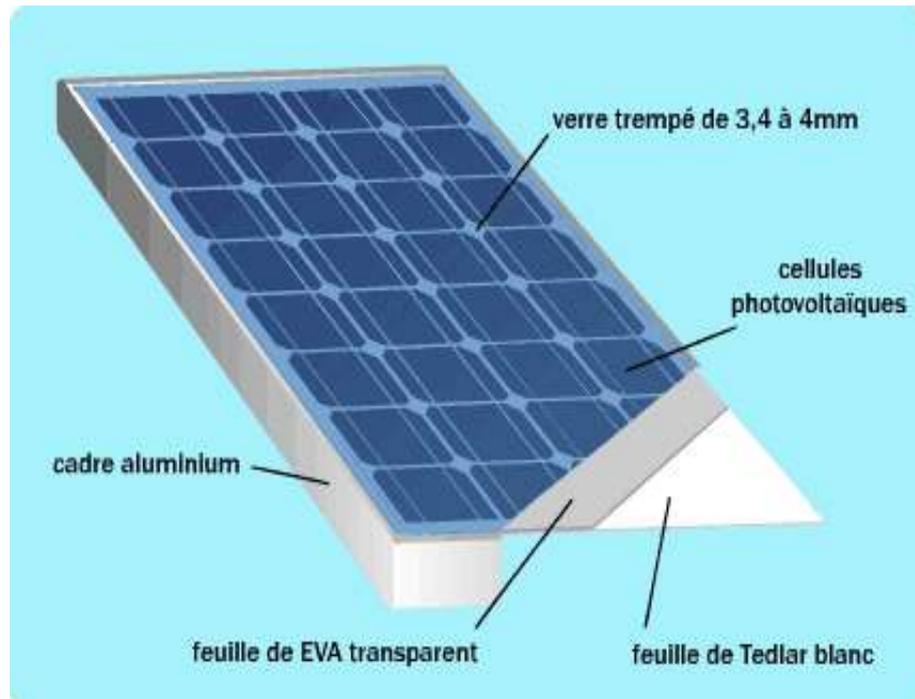
$$\frac{dV}{dT} = \frac{V}{T} - \frac{hV_T}{I_s} \cdot \frac{dI_s}{dT} \quad (\text{I.12})$$

Pratiquement pour une jonction au Silicium, à la température ordinaire nous avons :

$$dV/dT = -2.5 \text{ mv } VC^\circ \quad (\text{I.13})$$

## I.8. Module photovoltaïque

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur de très faible puissance vis-à-vis des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles. Une cellule élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés, délivre au maximum, quelques watts sous une tension inférieure au volt (tension de jonction PN). Pour produire plus de puissance, plusieurs cellules doivent être assemblées afin de créer un module ou un panneau photovoltaïque. En effet, les modules PV sont composés d'un ensemble de cellules mises en série, réalisant la conversion proprement dite de la lumière du soleil en électricité. Ils sont eux-mêmes associés en série et parallèle pour former un champ photovoltaïque d'une puissance crête définie selon des conditions spécifiques d'éclairement, de température et de spectre solaire. La plupart des modules commercialisés sont constitués de deux à quatre réseaux de cellules en silicium cristallins connectés en série [28].



**Figure I.19:** Module photovoltaïque.

Les modules photovoltaïques assurent les fonctions suivantes :

- Protection des cellules contre les agents atmosphériques.
- Protection mécanique et support.
- Connexion électrique entre cellules et avec l'extérieur [28].

### I.8.1 Caractéristiques d'un module [29]

Les modules sont généralement des parallélépipèdes rectangles rigides minces (quelques centimètres d'épaisseur), dont les caractéristiques suivantes :

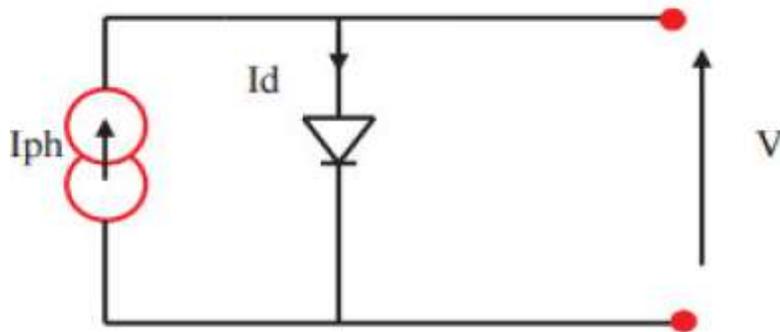
- **La puissance de crête,  $P_c$**  : Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards ( $25^\circ\text{C}$  et un éclairement de  $1000 \text{ W/m}^2$ ).
- **La caractéristique  $I=f(V)$**  : Courbe représentant le courant  $I$  débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- **Tension à vide,  $V_{co}$**  : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".
- **Courant de court-circuit,  $I_{cc}$**  : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".

- **Point de fonctionnement optimum,  $P_m (V_m, I_m)$**  : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil,  $P_m = V_m \cdot I_m$
- **Rendement** : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- **Facteur de forme** : Rapport entre la puissance optimale  $P_m$  et la puissance maximale que peut avoir la cellule :  $V_{co} \cdot I_{cc}$ .

## I.9. Modélisation de la cellule solaire

### I.9.1. Cellule photovoltaïque idéale

Dans le cas idéal, la cellule d'une jonction PN soumise à l'éclairement photovoltaïque connecté à une charge peut être schématisée par un générateur de courant  $I_{ph}$  en parallèle avec une diode délivrant un courant selon la figure (I.20), qui représente le circuit équivalent d'une cellule solaire e idéale [30].



**Figure I.20** : Modèle de cellule photovoltaïque idéale.

Les équations retenues de ce modèle sont:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (\text{I.14})$$

Le courant  $I_{ph}$  est assimilé au courant  $I_{sc}$  avec  $V_{pv} = 0$ , courant de court-circuit obtenu en court ci cuitant la charge.

$$I_{ph} = I_{sc} = \frac{E}{E_{ref}} \quad (\text{I.15})$$

**$E$** : L'éclairement absorbé par la cellule.

**$E_{ref}$**  : L'éclairement de référence ( $1000 \text{ w/m}^2$ ).

$$I_d = I_0 \left( e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right) \quad (\text{I.16})$$

$I_0$  : Courant de saturation inverse de la diode.

$$I_t = \frac{NKT}{q} \quad (\text{I.17})$$

$V_t$  : Tension thermique.

$N$  : Facteur d'idéalité de la photopile.

$K$  : Constant de Boltzmann ( $1,38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$ ).

$q$  : Charge de l'électron ( $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ ).

## I.9.2. Cellule photovoltaïque réelle

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réelle tient compte d'effets résistifs parasites dues à la fabrication et représenté sur la figure (I.21). Ce schéma équivalent est constitué d'une diode (d) caractérisant la jonction, une source de courant ( $I_{pv}$ ) caractérisant le photo-courant, une résistance série ( $R_s$ ) représentant les pertes par effet Joule, et une résistance shunte ( $R_{sh}$ ) caractérisant un courant de fuite entre la grille supérieure et le contact arrière qui est généralement très supérieure à ( $R_s$ ) [31].

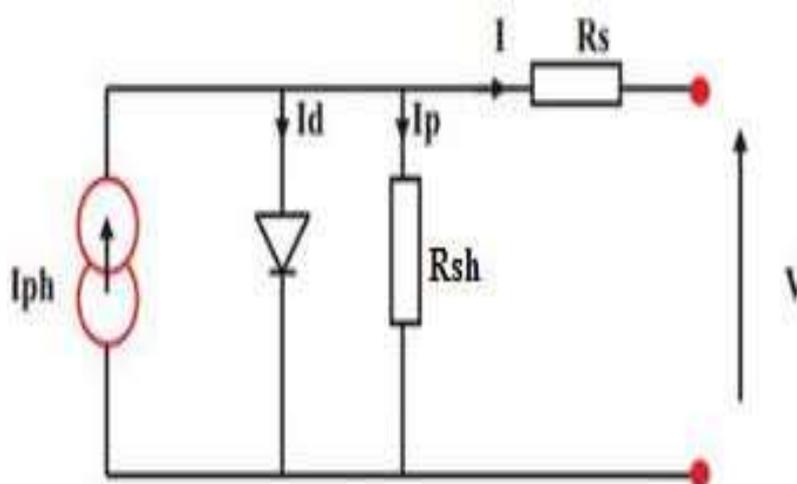


Figure I.21 : Modèle de la cellule photovoltaïque réelle.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_p \quad (\text{I.18})$$

$I_{pv}$  : Courant généré par la cellule photovoltaïque.

$I_{ph}$  : Photo courant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident).

$I_d$  : Le courant circulant dans la diode.

$$I_d = I_0 \left( e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right) \quad (\text{I.19})$$

$$I_0 = I_{0r} \left( \left( \frac{T}{T_n} \right)^3 e^{\left[ \frac{E_g}{k} \left( \frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right) \right]} - 1 \right) \quad (\text{I.20})$$

$I_{0r}$  : est le courant de court-circuit de la cellule à la température de référence  $T_n$  et l'éclairement de référence.

$T$  : Température de la jonction des cellules PV [°K].

$T_n$  : Température de référence des cellules PV [°K].

$B$  : facteur d'idéalité de la jonction.

$E_g$  : Énergie de gap [eV].

$R_s$  : Résistance série symbolise la résistance de masse du matériau semi-conducteur, ainsi les résistances ohmiques et de contact au niveau des connexions des cellules.

$V_{pv}$  : La tension de sortie.

$I_p$  : Le courant circulant dans la résistance  $R_p$ .

$R_p$  : Résistance shunt représente les fuites autour de la jonction p-n dues aux impuretés et sur les coins de cellule.

Les résistances  $R_s$  et  $R_p$  sont calculées par une boucle de programmation voir l'annexe (A.1)

En substituant les équations (I.19 ; I.20) dans l'équation (I.18) le courant  $I_{pv}$  devient Donc :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ e^{\left( \frac{V_{pv} + I_{pv} \times R_s}{V_t} \right)} - 1 \right] - \frac{V_{pv} + I_{pv} \times R_s}{R_p} \quad (\text{I.21})$$

- Pour résoudre cette équation on utilise le « MATLAB »

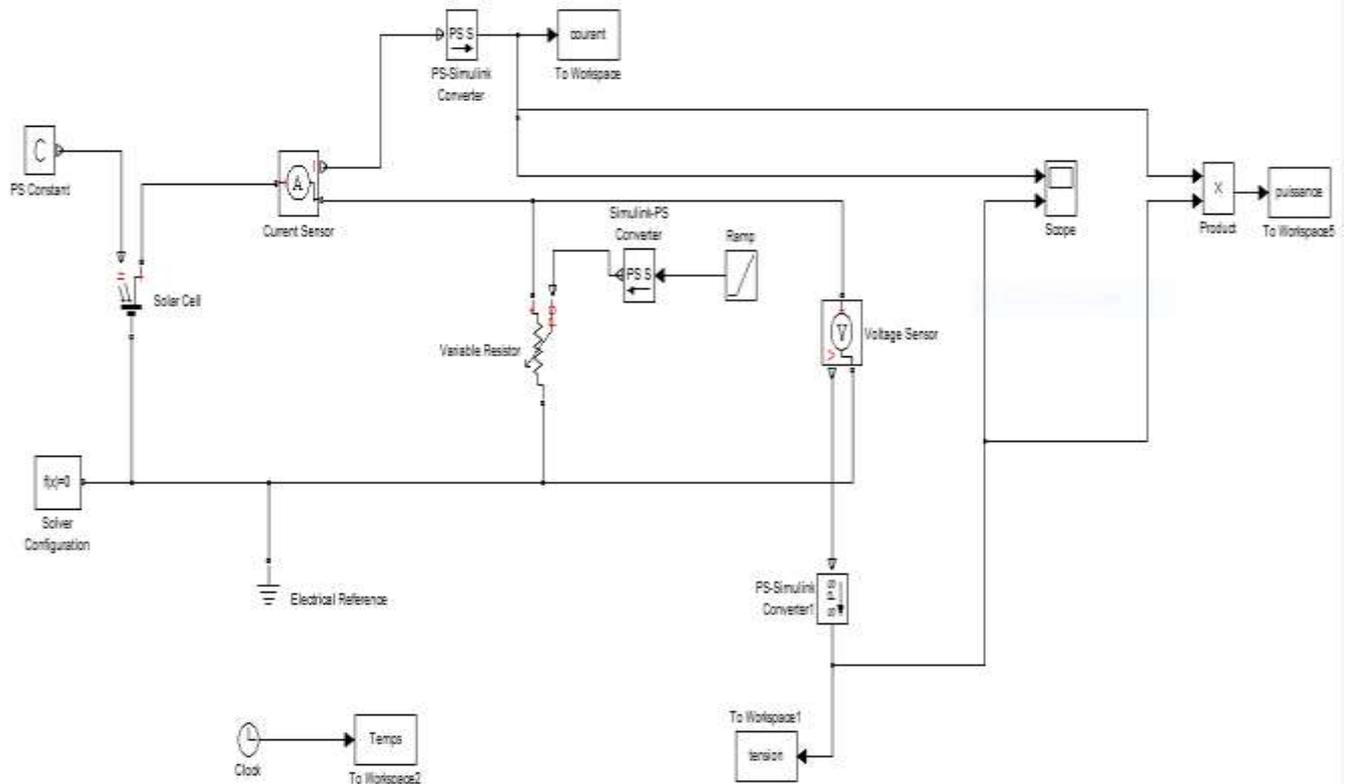


Figure I.22: Schéma bloc de branchement une cellule PV.

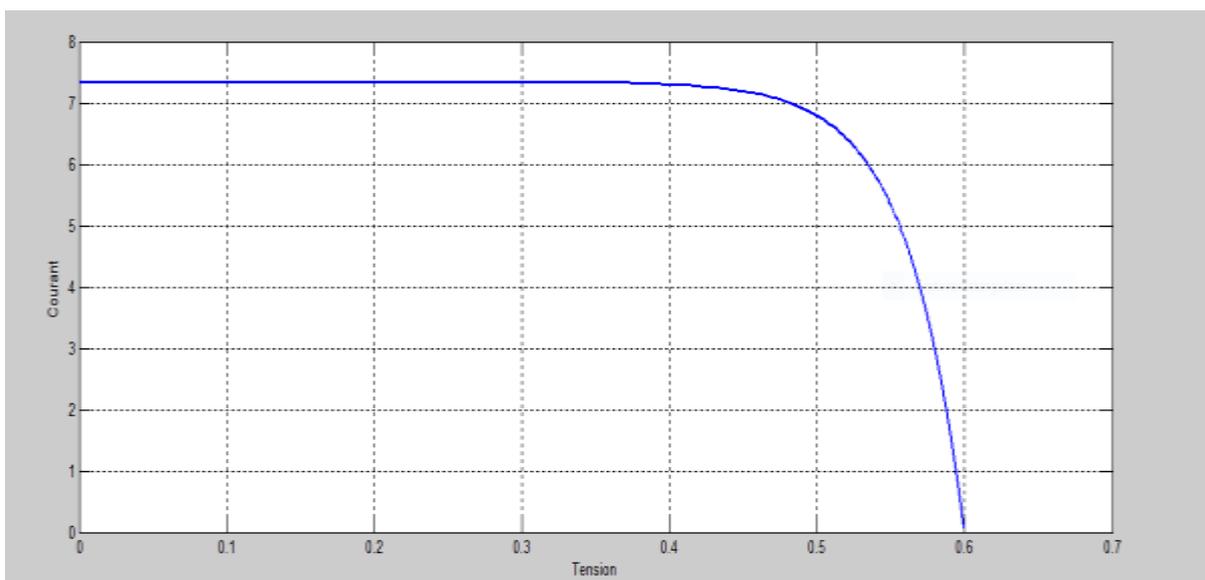


Figure I.23: Caractéristique I-V d'une cellule PV.

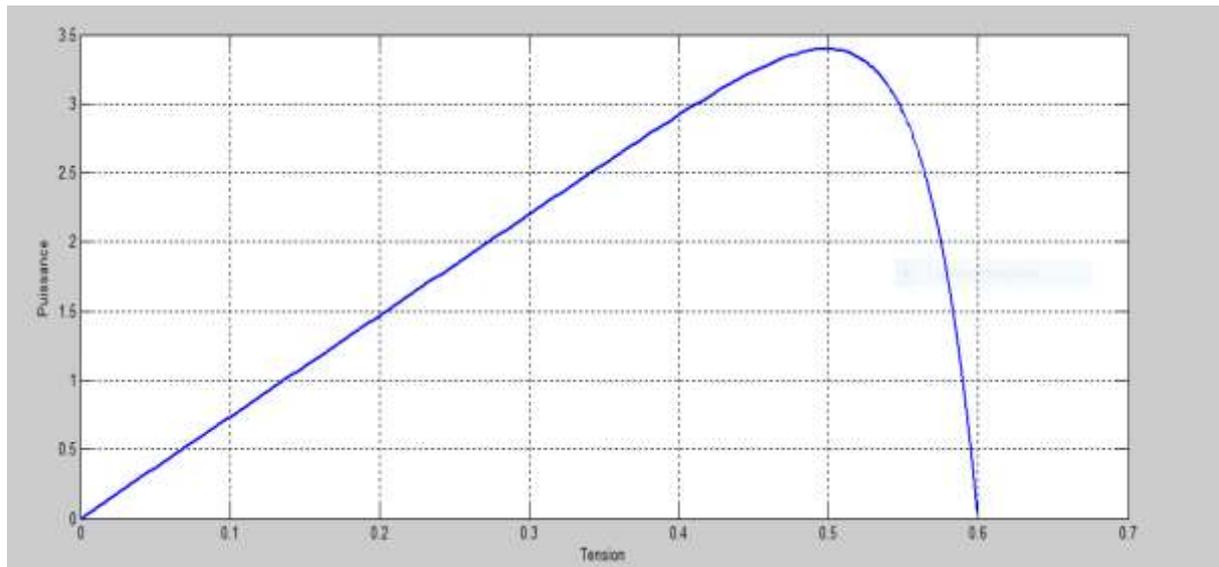


Figure I.24 : Caractéristique P-V d'une cellule PV.

### I.9.3. Influence de l'éclairement

L'énergie électrique produite par une cellule dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface. La figure (I.20) représente la caractéristique (courant-tension) et figure (I.25) la caractéristique (puissance-tension) d'une cellule en fonction de l'éclairement, à une température constantes.

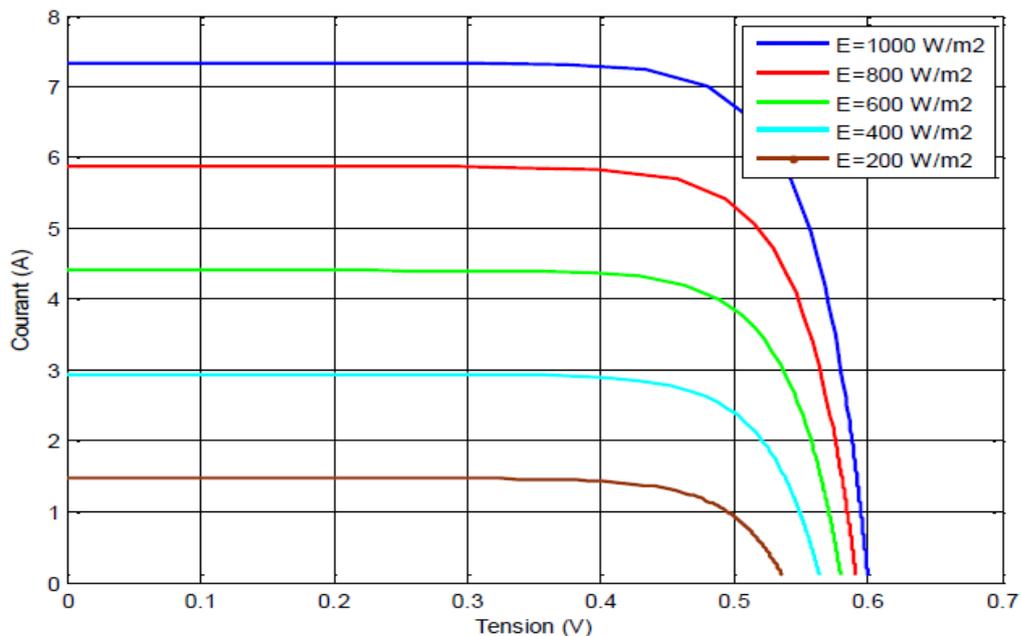
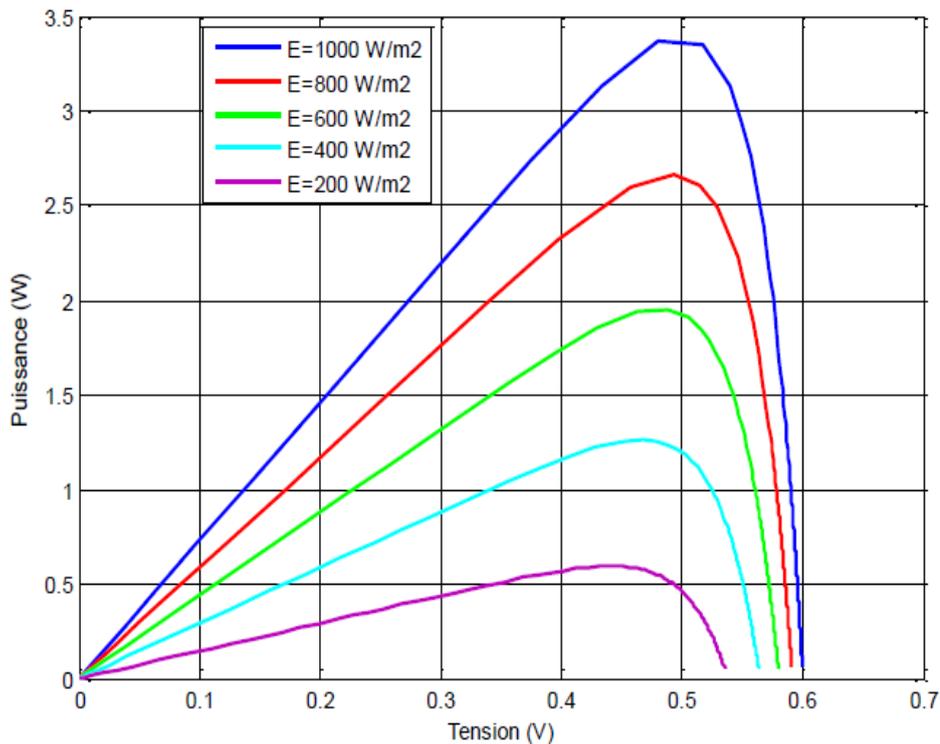


Figure I.25: Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement.



**Figure I.26 :** Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement.

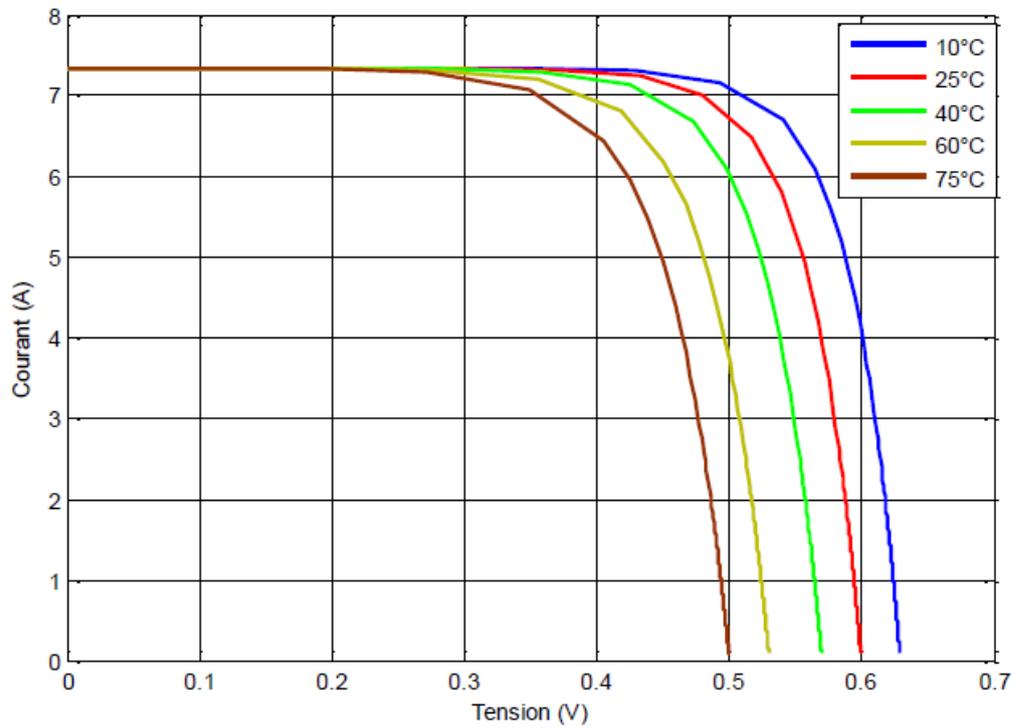
#### I.9.4. Influence de la température

L'influence de la température est importante et a des conséquences pour la conception des panneaux et des systèmes photovoltaïques.

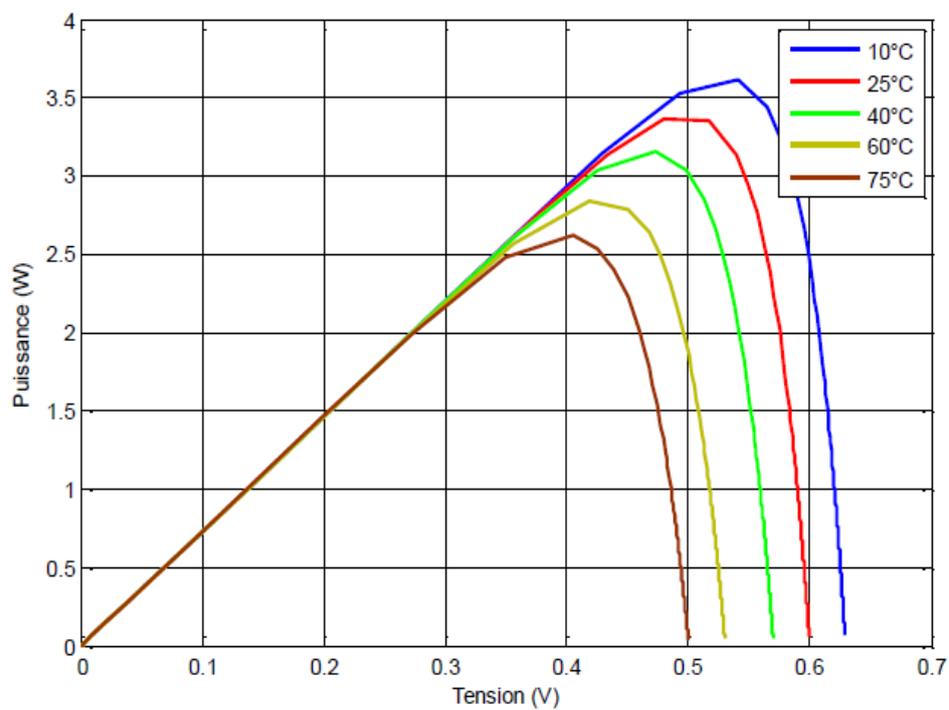
La température est un paramètre essentiel puisque les cellules sont exposées aux rayonnements solaires, susceptibles de les échauffer. De plus, une partie du rayonnement absorbé n'est pas convertie en énergie électrique il se dissipe sous forme de chaleur ; c'est pourquoi la température, de la cellule ( $T_c$ ) est toujours plus élevée que la température ambiante ( $T_a$ ).

$$T_c = T_a + E_m/800 \text{ (TUC-20)} \quad (\text{I.22})$$

La figure (I.27), montre que la tension d'une cellule baisse fortement avec la température. Plus la température augmente et moins la cellule est performante. En revanche, le courant augmente légèrement en intensité : cette augmentation reste néanmoins négligeable au point de puissance maximale [32].



**Figure I.27:** Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de la température.

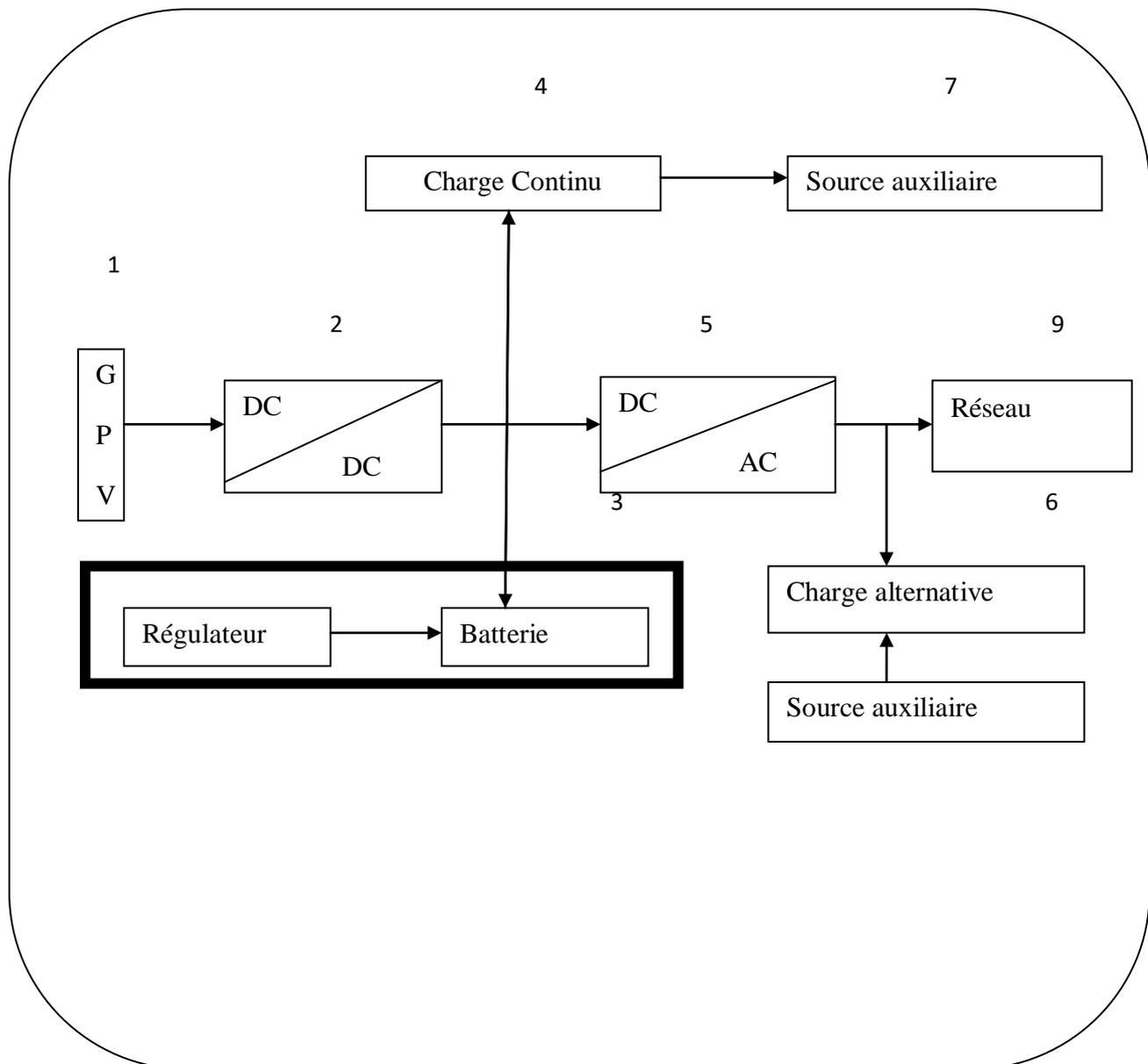


**Figure I.28 :** Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de la température.

## I.10. Différents configurations des systèmes PV

Généralement une installation photovoltaïque comprend les éléments suivants:[33], [34]

- un générateur photovoltaïque.
- un convertisseur statique continu / continu (DC/DC).
- un convertisseur statique continu / alternatif (DC/AC).
- Un système de régulation et de stockage.
- une source auxiliaire d'appoints.



**Figure I.29:** Schéma synoptique d'une installation photovoltaïque.

### **I.10.1. Système autonome sans batterie**

Les systèmes photovoltaïques autonomes sans batterie sont représentés par les blocs (1) et (4) de la figure précédente. La charge de type continu est alimentée directement par le GPV, car la production d'énergie est suffisante pour le fonctionnement de la charge.

### **I.10.2. Système autonome avec batterie**

Ces systèmes sont représentés par les blocs [(1), (3), (4)] dans le cas où la charge est de type continu et les blocs [(1), (3), (5), (6)] si la charge est de type alternatif. La batterie sert à stocker de l'énergie produite par le GPV, alors l'énergie peut être utilisée de tout temps, même en l'absence de rayonnement solaire.

### **I.10.3. Système fonctionnant au fil du soleil**

Ces systèmes font intervenir des convertisseurs DC/DC qui permettent de faire une adaptation entre le générateur et la charge continue [(1), (2), (4)]. Si la charge est de type alternatif, le convertisseur DC/AC est introduit [(1), (5), (6)].

### **I.10.4. Système avec appoint électrique**

Pour ces systèmes on introduit des générateurs auxiliaires qui n'interviennent qu'en cas d'insuffisances d'énergie électriques (manque de rayonnement solaire ou batteries déchargées), ces générateurs auxiliaires peuvent être de type continu [(1),(2),(3),(4),(7)] et [(1),(2),(3),(4),(7),(9)]; ou de type alternatif [(1),(2),(3),(5),(6),(8)] et [(1),(2),(3),(5),(6),(8),(9)].

Les sources auxiliaires peuvent être alimentées soit par le réseau soit par une autre source d'énergie.

## **I.11. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque [35]**

### **I.11.1. Avantages**

- Énergie indépendante, le combustible (le rayonnement solaire) est renouvelable et gratuit.
- Génère l'énergie requise.
- Réduit la vulnérabilité aux pannes d'électricité.

- L'extension des systèmes est facile, la taille d'une installation peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de la charge.
- La revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voir de générer des revenus.
- Entretien minimal.
- Aucun bruit.

### **I.11.2 Inconvénients**

- La fabrication des panneaux photovoltaïques relèvent de la haute technologie demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements coûteux.
- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles.
- Nécessite un système d'appoint (batteries) pour les installations domestiques.
- Le coût d'investissement sur une installation photovoltaïque est cher.

## **I.12. Technologies d'une cellule photovoltaïque**

### **I.12.1. Silicium monocristallin**

La cellule monocristalline est celle qui s'approche le plus du modèle théorique. Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules.

Cependant pour arriver à ce résultat la fabrication est complexe et coûteuse en énergie, les rendements de conversion obtenue varient entre 14 et 16%. [36]



**Figure I.30** : Cellule monocristalline.

### I.12.2. Silicium poly cristallin

Contrairement à la cellule monocristalline, la cellule poly cristalline n'a pas besoin d'un silicium aussi pur et ordonné. Pour fabriquer ce matériau, on refond tous les déchets provenant du tirage des monocristaux, on obtient des lingots qu'il faut ensuite scier en plaquettes. Les rendements de conversion industrielle qui étaient de l'ordre de 8 à 10% avant 1980 sont actuellement de 16 à 17% [37]. Il s'agit de la technologie la plus représentée sur le marché du photovoltaïque car elle allie à la fois des rendements de conversion élevés avec un coût de production faible par rapport à la filière silicium monocristallin.

**Figure I.31**: Cellules au silicium poly cristallin.

### I.12.3. Silicium amorphe (a-si)

Les cellules amorphes sont à base d'un matériau composé de silicium hydrogéné (état non cristallin) déposé sur un substrat de verre, elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, et sont souvent utilisées dans de petits produits de consommation tel que des calculatrices solaires ou encore des montres. L'avantage de ces derniers est le fonctionnement avec un éclairage faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment). Leurs

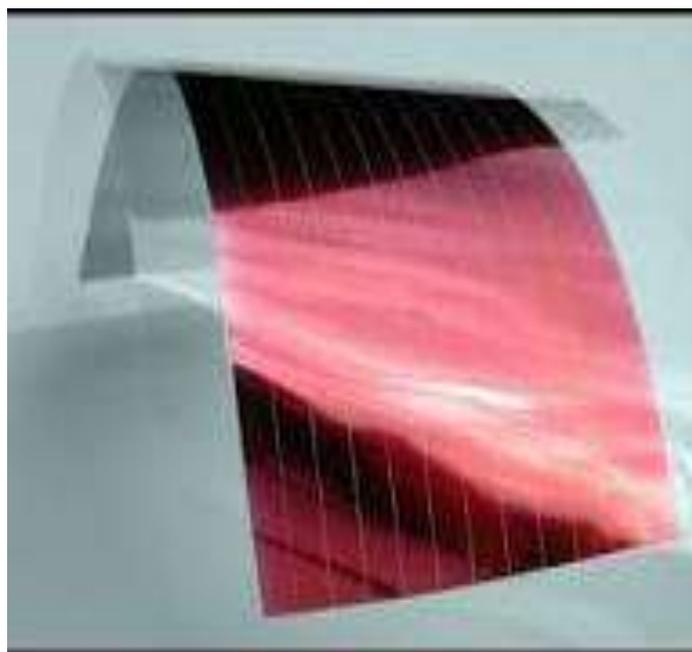
rendement est assez faible de 5% à 8% voir jusqu'à 13% en laboratoire, mais ne nécessite que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevés. [38]



**Figure I.32** : Cellules au silicium amorphe.

#### **I.12.4. Technologie organique**

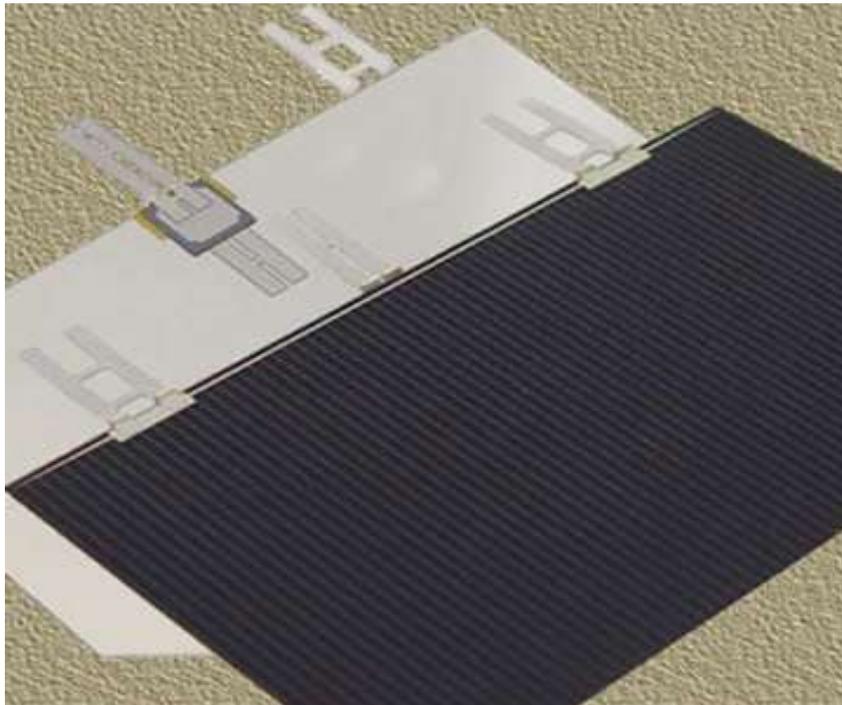
D'autres technologies prometteuses comme les matériaux organiques, les matériaux nanocristallin ou les structures multi-jonctions laissent présager d'excellentes performances futures et sont aujourd'hui au stade de la recherche.



**Figure I.33** : Cellules organique.

### I.12.5. Technologie multi jonction

Les cellules « multi jonction » sont composées de plusieurs couches et sont d'un rendement sans pareil, mais utilisées seulement dans le domaine spatial. Quant à la cellule silicium amorphe en couche mince, elle ne concerne que les montres, calculettes et autres appareils « solaires ».

**Figure I.34** : Cellules multi jonction.

### I.13. Comparatif des différentes technologies

Tableau I.2: Comparatif de différentes technologies.

Type	Rendement	Durée de vie	Domaines d'application
Silicium monocristallin	12 à 20 %	30 ans	Spatiales, modules pour toits, façades....
Silicium poly cristallin	11 à 15 %	30 ans	modules pour toits, façades, générateurs fermes au sol....
Amorphe	5 à 10 %	10 ans	appareils électroniques (montres, calculatrices), intégration dans le bâtiment
CIS	9 à 11 %	>20 ans	intégration dans le bâtiment
Multi jonction	Jusqu'à 40 %		Spatiales
CdTe	6 à 10 %	>20 ans	appareils électroniques (montres, calculatrices), intégration dans le bâtiment, fermes au sol
CIGS	19.9 % En laboratoire		Spatiales, intégration dans le bâtiment
Organique	5.9 % En laboratoire	-	En cours de développement

### I.14. Conclusion

Dans ce chapitre, on a rappelé quelques notions de base sur l'énergie solaire, cellules photovoltaïques et ses paramètres, et les différentes technologies utilisées pour la conception de module photovoltaïque.

# *Chapitre II*

## II.1.Introduction

Une fois que l'emplacement, la puissance approximative de l'installation, l'orientation et l'inclinaison des panneaux, sont déterminés, nous procéderons au dimensionnement du système.

Dimensionner des systèmes photovoltaïques revient à déterminer en fonction des sollicitations telle que l'ensoleillement, le site, la latitude du lieu, les données climatiques, le profil de charge représenté par les besoins électriques de l'utilisateur, l'orientation des panneaux solaires, le coût relatif de l'installation, l'ensemble des éléments de la chaîne photovoltaïque à savoir la taille du générateur et sa capacité de stockage. [39]

## II.2. Objectif général

Il s'agit de produire de l'énergie électrique de manière raccorde au réseau au bloc technique au centre universitaire SALHI AHMED de NAAMA à partir de l'énergie solaire en utilisant des systèmes photovoltaïques. Il s'agira donc de contribuer à la protection de l'environnement. Les objectifs spécifiques visent à :

- Identifier et choisir quelques charges pour lesquelles on veut produire de l'énergie électrique à partir de l'énergie par les systèmes PV.

## II.3. Matériels et méthodes

D'abord nous partirons du bilan de puissance et du bilan énergétique global de la structure, pour définir les charges électriques à prendre en compte par l'étude technique de faisabilité. Ensuite, nous ferons le dimensionnement de la mini-centrale nécessaire. [40]

Les différentes étapes de cette méthodologie et les matériels nécessaires sont décrits à travers les points suivants :

### II.3.1.Étude technique

Pour la présentation de la charge à alimenter par la mini- centrale photovoltaïque, nous avons déduit une puissance nécessaire pour les installations électriques pour le Bloc technique au centre universitaire SALHI AHMED de NAAMA.

Afin de rendre réalisable la mini-centrale photovoltaïque de notre étude, il est préférable de ne prendre en compte qu'une partie de cette installation [41]

C'est pourquoi, dans le cadre de la présente étude, nous avons ciblé :

- Les équipements de laboratoire.
- L'éclairage intérieur.

### **II.3.2. Collecte des données**

Les données nécessaires pour la réalisation de ce travail sont recensées depuis l'logicielle PVSYST. Ces données seront utilisées pour le dimensionnement et photovoltaïque [40].

A l'image de toute étude de conception d'un système photovoltaïque, il est primordiale mesurer certaines données du site - l'ensoleillement ; - l'irradiation ; - l'inclinaison nécessaire pour avoir un rendement maximal avec les panneaux.

## **II.4. Constitutions du système**

Le système photovoltaïque est constitué :

### **II.4.1. Modules photovoltaïques**

Les cellules PV sont combinées ensemble pour former un module PV qui peut produire une certaine quantité d'énergie sous des conditions d'éclairement et de température variables. Par la suite les modules PV peuvent être regroupés à leur tour afin de former un générateur PV. Il est dimensionné selon la puissance nécessaire pour une installation donnée.

La plupart des cellules PV mesurent autour de 100 2 mm et ne produisent qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de 0.5 volt.

Il y a quelques années, un module PV typique conçu à partir de silicium consistait en 30 à 36 cellules connectées en série avec une puissance crête approximativement 50W. [42]

Le rendement énergétique d'un module dépend de la nature des matériaux utilisés. Les valeurs communément rencontrées sont de l'ordre (13 à 16 % pour les cellules composées de silicium monocristallin, 11 à 13 % avec du silicium poly cristallin et 7 à 8 % avec du silicium amorphe).

Les modules PV sont protégés par des diodes by-pass (diode by-pass, diode anti-retour) afin d'éviter le fonctionnement inverse des cellules occultées, pouvant entraîner une surchauffe voir une destruction de la cellule.

### II.4.2. Les onduleurs

L'onduleur est un convertisseur statique DC/AC de haute performance il convertit la tension continue, en tension alternative contrôlée de façon très précise. La source de tension continue soit un aérogénérateur ou des panneaux solaires. [43]

### II.4.3. Différentes configurations des systèmes photovoltaïques

Les différentes données de toutes charges à alimenter par la mini-centrale, permettent de déterminer les différents éléments constitutifs de chaque système PV et le nombre de système PV qu'il faudra. L'association de ces composants selon leurs fonctions donne la configuration du système PV. [41]

#### Étape 1 : L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité(en Wh/j).

A partir des caractéristiques révélées sur les récepteurs : tension, puissance et durée d'utilisation, on estime aisément ces besoins. La consommation journalière totale(CJT) est la somme des consommations journalière totale en courant continu (CC) et en alternatif (CA) il est nécessaire de tenir compte du rendement de l'onduleur pour la consommation en courant alternatif (CC).

$$C_C = P_{C_C}(w) * H_{C_C}(\text{heures}) \quad (\text{II.1})$$

$$C_A = P_C (w) * H_{C_A}(\text{heurs}) \quad (\text{II.2})$$

**P<sub>cc</sub>** : puissance consommée en continu.

**P<sub>ca</sub>** : puissance consommée en alternatif : durée de fonctionnement du récepteur CC.

**H<sub>ca</sub>** : durée de fonctionnement du récepteur CA.

**K<sub>ond</sub>** : rendement de l'onduleur.

#### Étape 2 : Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV.

Pour avoir une autonomie complète et éviter une variation saisonnière de la consommation, il faut prendre comme référence l'ensoleillement du mois ensoleillé. [46]

**Étape 3 : Estimation du champ photovoltaïque (tension et puissance crête installée nombre de modules).**

La tension des modules est choisie par rapport à la puissance des panneaux considérés:

On utilise des tensions plus élevées en fonction de la grandeur de la puissance crête et des charges. **Wc** : Watt crête ; **Pc** : Puissance du champ PV.

Puissance du champ photovoltaïque : une des méthodes simplifiée est présentée

$$P_C = C_{JK} / k \times E_{-}(j) \quad (\text{II.3})$$

$E_j$  : Ensoleillement sur le plan des modules en  $KWh/m^2/jk = K_p \times K_{bat} \times K_{reg}$

### Nombre de module

➤ Nombre de module en série :  $N_s = U_c / U_{mod}$

**Uc** : Tension aux bornes de la charge.

**Umod** : Tension aux bornes d'un module.

➤ Nombre de module en parallèle :  $N // = P_c / N_s P_{ond}$

**Pc** : puissance du champ PV.

**Pmod** : puissance sur module. [40]

**Étape 4: Choix de l'onduleur.**

Critères requis pour l'onduleur Puissance de l'onduleur est supérieure ou égale à la

Puissance des charges, **Kond** varie entre 0.9% et 0.95%

### **II.5.Choix des composants du système.**

En tenant compte des caractéristiques des différents éléments dimensionnées 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. [45]

## II.6. Caractéristiques des composants utilisés pour le dimensionnement des systèmes PV.

Les caractéristiques des composants de base utilisés pour la conception des systèmes photovoltaïques sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau II.1** : Caractéristique technique des composants du système PV.

Désignation du composant	Caractéristiques techniques
<b>Module PV</b>	Module mono cristallin ; puissance=200Wc ; V <sub>mpp</sub> =38.1V ; I <sub>mpp</sub> =5.26A ; V <sub>oc</sub> =45.4V ; Efficacité-curf-cellule=17.8% ; Efficacité –curf-module=15.72% ; J <sub>Ref</sub> =1000W/m <sup>2</sup> ;  T <sub>Ref</sub> =25C°.
<b>Onduleur</b>	Type monophasé ; tension M <sub>pp</sub> minimale =80V ; tension M <sub>pp</sub> maximale =130V ; tension PV maximale=160V ; tension de réseau =230V ; puissance Ac nominale=1.80kw ; puissance Ac maximale=1.80kw ; courant Ac nominale=7.83A ; efficacité maximale 8.20% ; fréquence=50HZ ;

## II.7. Étude technique et bilan énergétique du bloc technique.

Les informations ci-dessus collectées permettront de calculer la puissance totale de l'ensemble de ces appareils et installations afin d'en déduire la puissance « photovoltaïque installée ».

Tableau II.2 : Bilan d'énergie du bloc technique.

	Nombre	Puissance utile(w)	Durée d'utilisation (H/J)	Puissance(W)	Énergies (W*H/J)
<b>Lampes</b>	80	72	4.34	5760	24998.4
<b>Climat</b>	14	3500	1.51	4900	7399
<b>Computers personnel (pc salle informatique)</b>	30	24.92	3	747.6	2242.8
<b>PC salle thermique</b>	1	550	3	550	1650
<b>Pc salle physique</b>	1	220	3	220	660
<b>Pc salle ER</b>	1	770	3	770	2310
<b>Plaque chauffante</b>	1	360	0.6	360	216
<b>Plaque distillation</b>	1	9000	0.6	9000	5400
<b>Échangeur de la chaleur</b>	1	3000	0.6	3000	1800
<b>Module de transfert de la chaleur</b>	1	1000	0.6	1000	600
<b>Imprimant</b>	1	462	3	462	1386
<b>Chronomètre</b>	1	60	3	60	180
<b>Générateur</b>	1	330	3	330	990

**II.8. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents éléments constituant le système d'installation photovoltaïque. Ainsi, le dimensionnement de chaque élément de la chaîne photovoltaïque. De plus, le calcul des valeurs caractérisant toute l'installation par un tableau représentatif.

# *Chapitre III*

### III.1. Introduction

Dans ce chapitre, on va utiliser le logiciel PVSYST pour déterminer le nombre de panneaux et onduleur. Nous avons présentés les résultats de simulation d'un module PV puissance 14066 W, en utilisant la technique de modules au silicium monocristallin.

### III.2. Présentation de logiciel de simulation PVSYST

Le programme PVSYST est un logiciel de simulation de systèmes photovoltaïques, développé initialement par le Groupe de Physique Appliquée (GAP) de l'Université de Genève [46]. Ce logiciel est 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 [47].

PVSYST V6.70 propose 4 niveaux d'étude du système PV, Ce qui correspond à peu près aux différentes étapes du développement du projet réel:

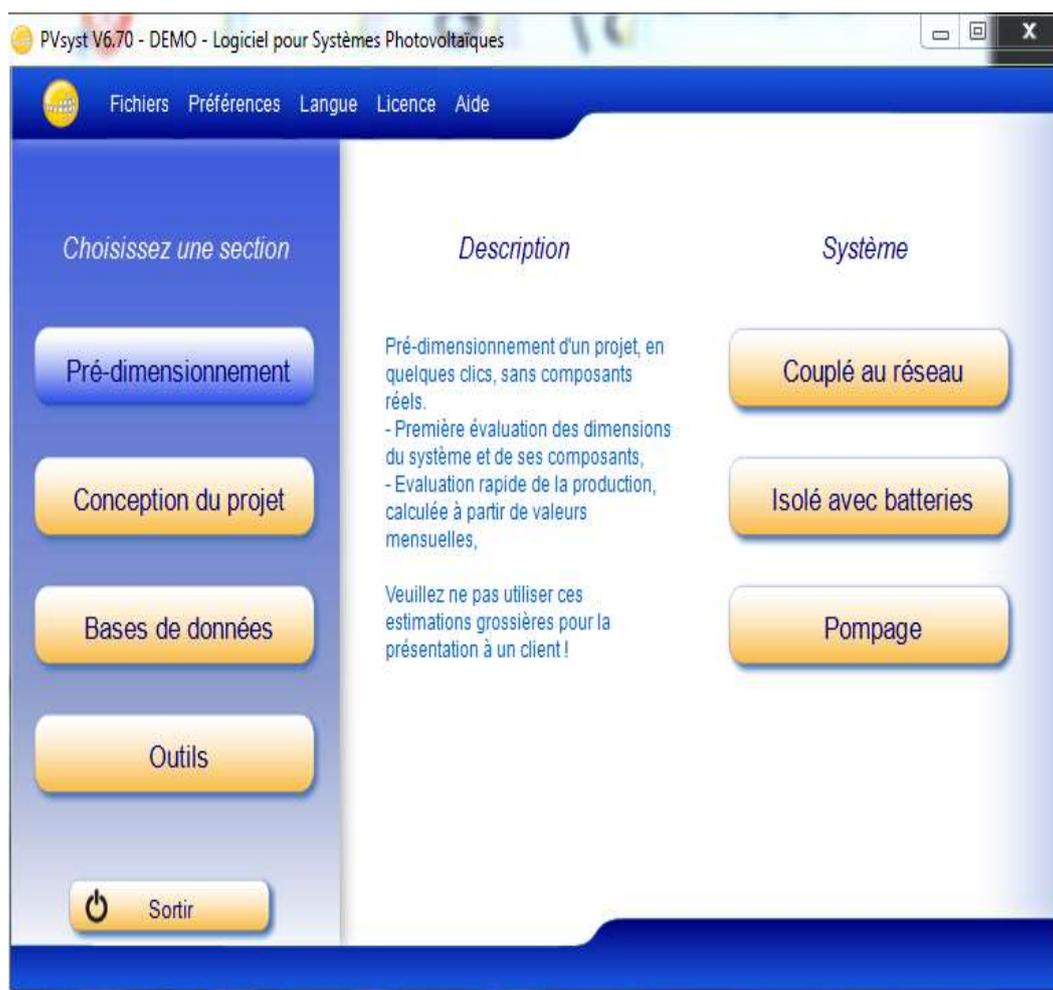


Figure III.1: menu principal de logiciel PVSYST.

Le logiciel PVSYST permet de :

- Pré-dimensionnement.
- Estimation rapide de la production pour une première étude de vos installations.
- Conception de projet.
- Étude détaillée, dimensionnement et simulation horaire, résultats dans un rapport complet imprimable.
- Données météo (importation de diverses sources, génération synthétique,...).
- Base de données de composante (module PV, onduleur, batteries, pompes, etc.)
- Outils didactiques, (géométrie solaire, optimisation de l'orientation, comportement électrique de champs PV avec ombrage).
- Analyse de données réelles mesurées (avancé).

La figure (III.2) c'est une estimation rapide de la production pour une première étude de l'installation.



**Figure III.2:** Pré- dimensionnement de logiciel PVSYST.

La figure (III.3) répesnte etude détaillée, dimensionnement et simulation horaire, résultat dans un rapport complet imprimable.



Figure III.3: Conception du projet de logiciel PVSYS.

La figure (III.4) c'est la gestion des données météo et des composants.

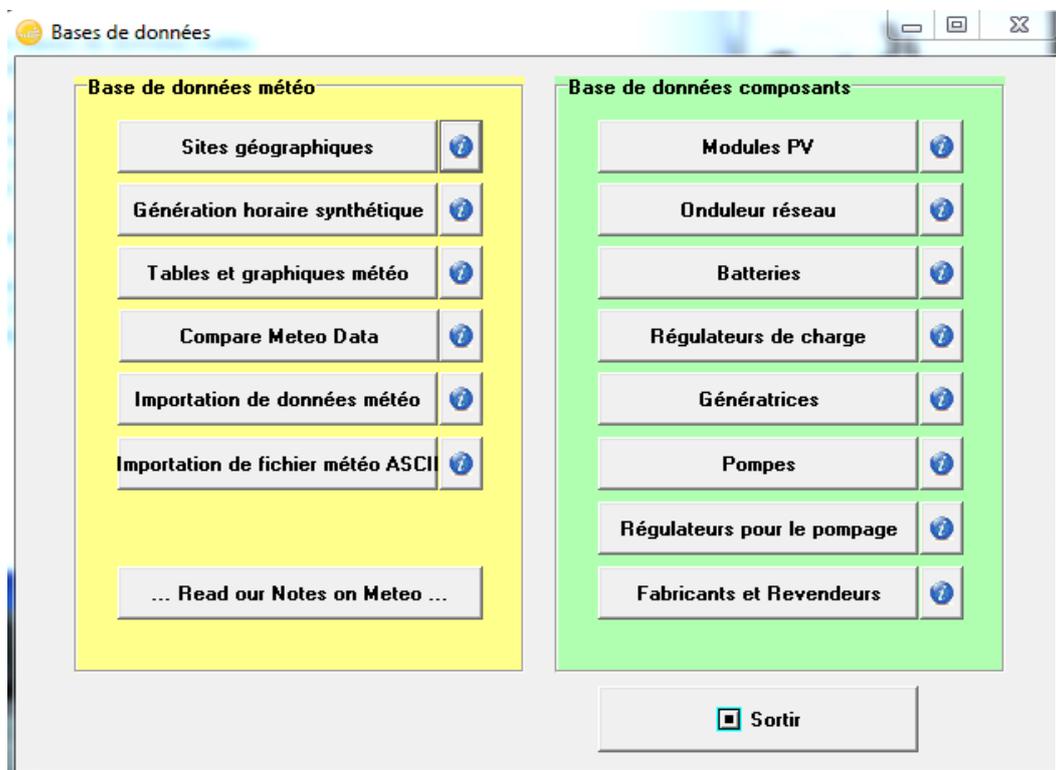
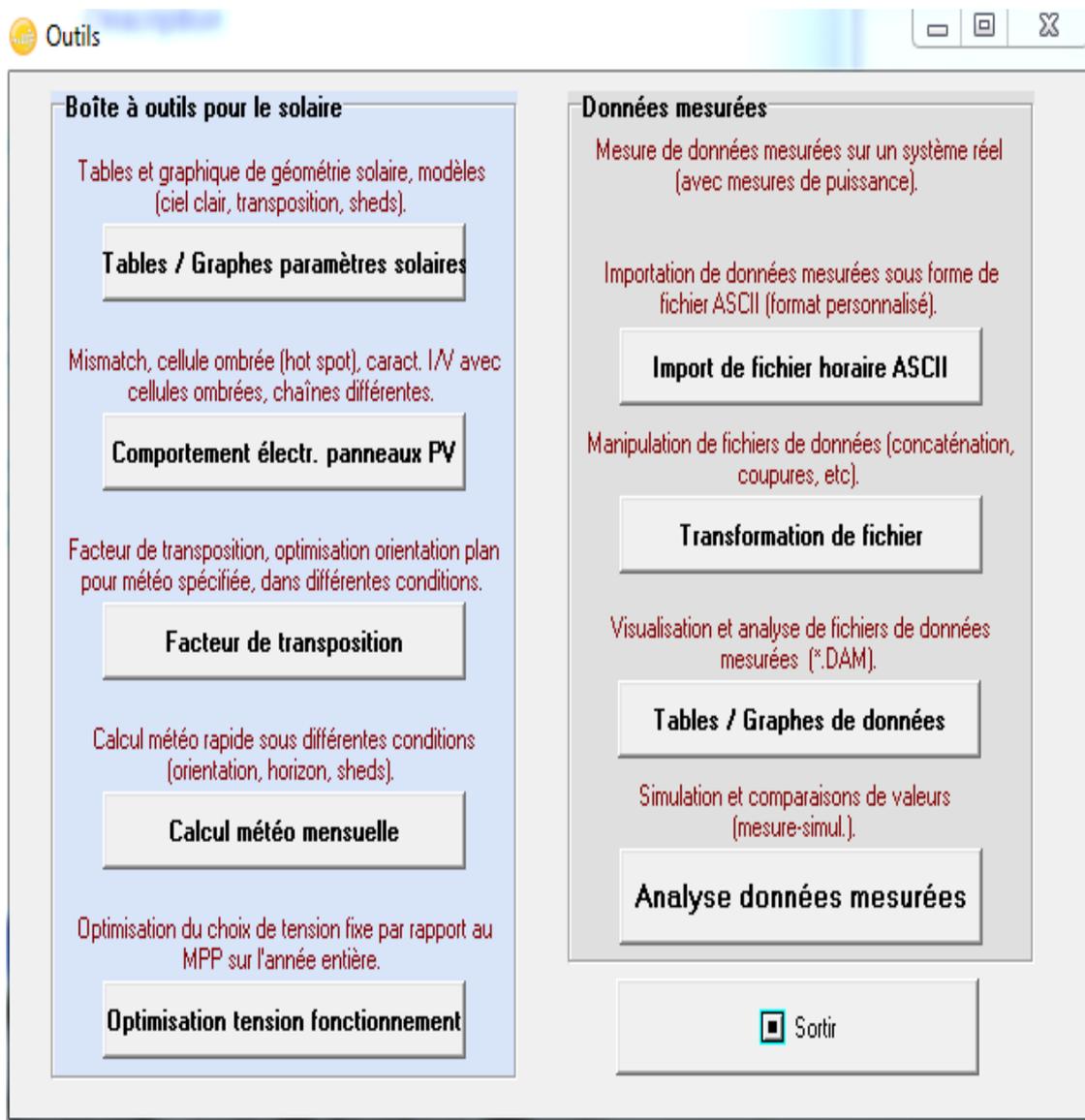


Figure III.4: Basé de données de logiciel PVSYS.



**Figure III.5 :** Outil de logiciel PVSYST.

La figure (III.5) représente divers outil pédagogique et comparaison de la simulation avec des données mesurées.

### III.3. Gestion d'un projet donné (système raccordé au réseau)

Ce système se devise en trois partis :

- Partie photovoltaïque (panneau)
- Système (convertisseur continu alternative onduleur)
- Utilisateur.

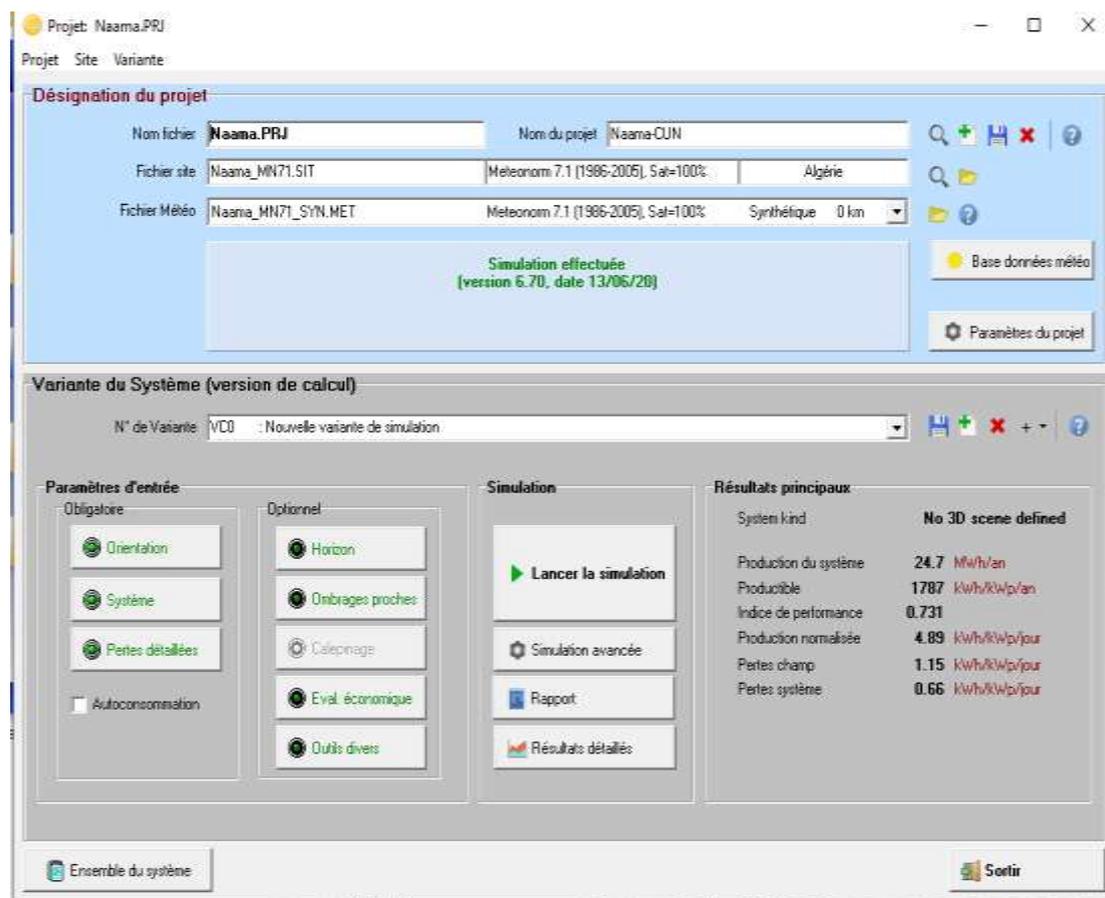


Figure III.6 : Désignation du projet dans PVSYSY.

### III.4. Conception/Dimensionnement du système

Les fonctions du logiciel PVSYSY se résume comme suit :

- Étude et analyse détaillés d'un projet
- Calcul de la production à partir de simulations détaillées en valeur horaires.
- Différentes variantes peuvent être simulées et comparées.
- Masques lointains, et outil 3D pour les ombres d'objets proches.
- Analyse détaillée des pertes du système.
- Évaluation économique, selon les composants réels.

Conception et dimensionnement final du projet concerne quatre systèmes :

- Couplé au réseau.
- Isolé avec batteries.
- Pompage.
- Réseau cc.

### III.5. Dimensionnement de système : outil visuel

Un outil visuel ou outil spécifique rassemble toutes les contraintes pour le dimensionnement du système.

- **Pour le nombre de modules en série :** le diagramme supérieur montre la courbe (I/V) du champ PV et par contre de tension (y compris courant et puissance) de l'onduleur.
- **Pour le dimensionnement de l'onduleur :** la 2<sup>ème</sup> courbe montre la distribution annuelle de puissance MPP du champ et la puissance effective de l'onduleur.
- **Le dimensionnement optimal de l'onduleur :** ce dimensionnement basé sur la perte de surcharge acceptable sur une année .Il conduit habituellement à sur-dimensionner le rapport de puissance nominale. [48]

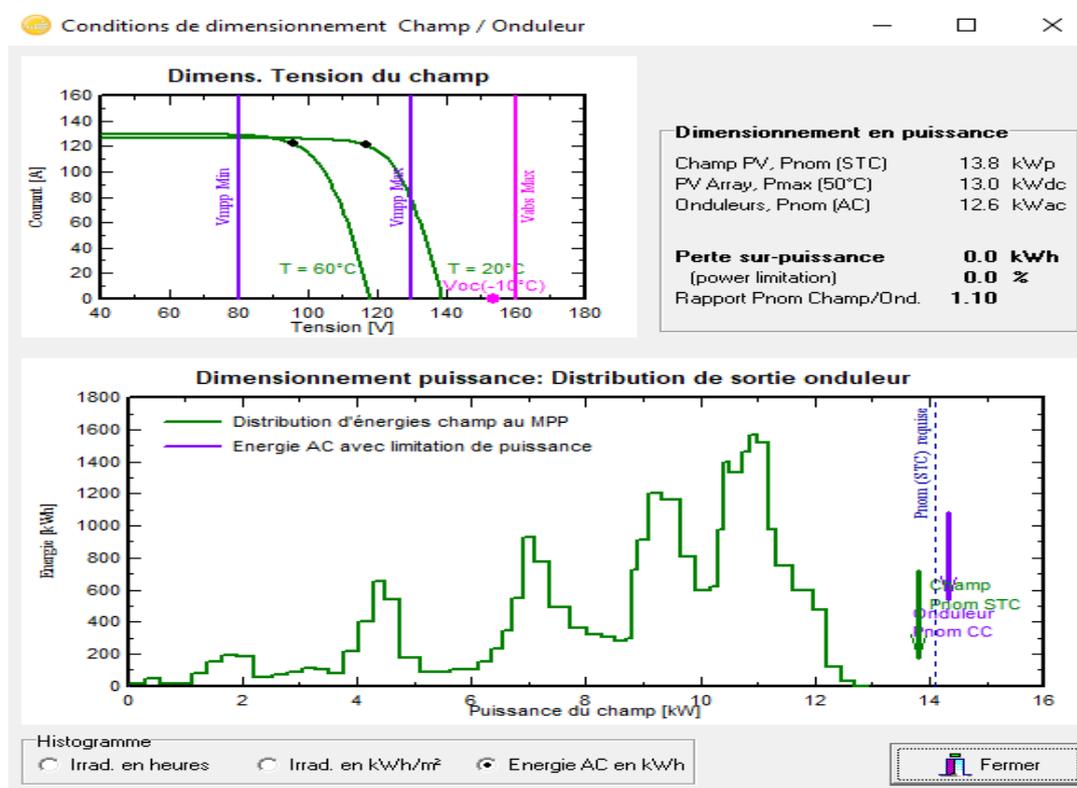


Figure III.7 : Conditions de dimensionnement champ/ onduleur dans PVSYST.

### III.6. Simulation numérique

La simulation numérique de ce système de la distribution des énergies sur une année. Un rapport complet avec tous les paramètres et les résultats principaux, est conçu pour être directement transmis à l'utilisateur.

### III.7. Site d'implantation

Dans ce projet, nous avons présenté une installation PV raccordé au réseau, Le site étudié est situé au niveau de la wilaya de Naama du bloc pédagogique (bloc technique) du centre universitaire Salhi Ahmad à Naama.

Ce site géographique est défini par :

- Son nom(Naama).
- Pays(Alegria).
- Région du monde(Afrique).
- Coordonnées géographiques.
- Données météorologiques.
- Plan masse du bloc pédagogique figure (III.9)

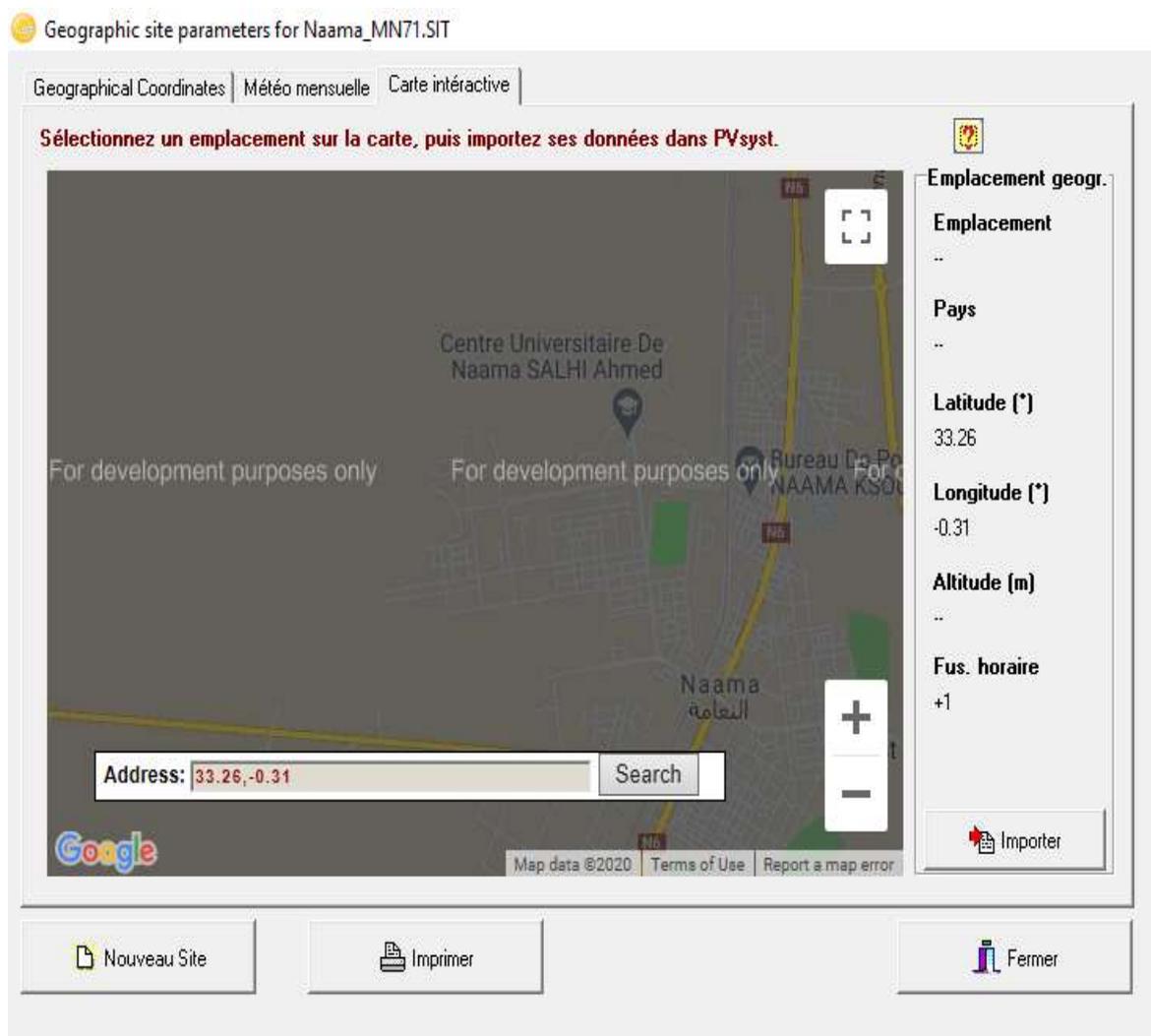


Figure III.8: Site géographique.

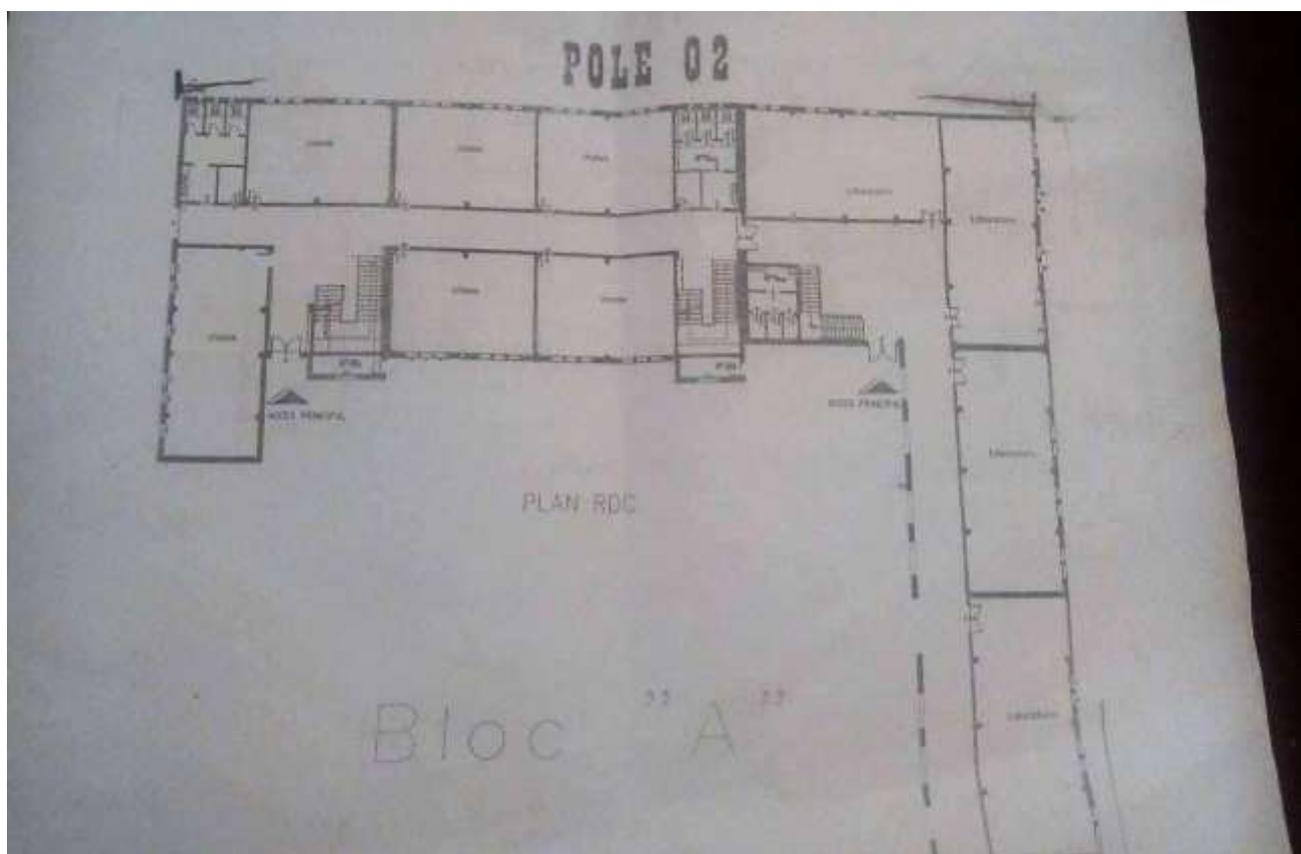
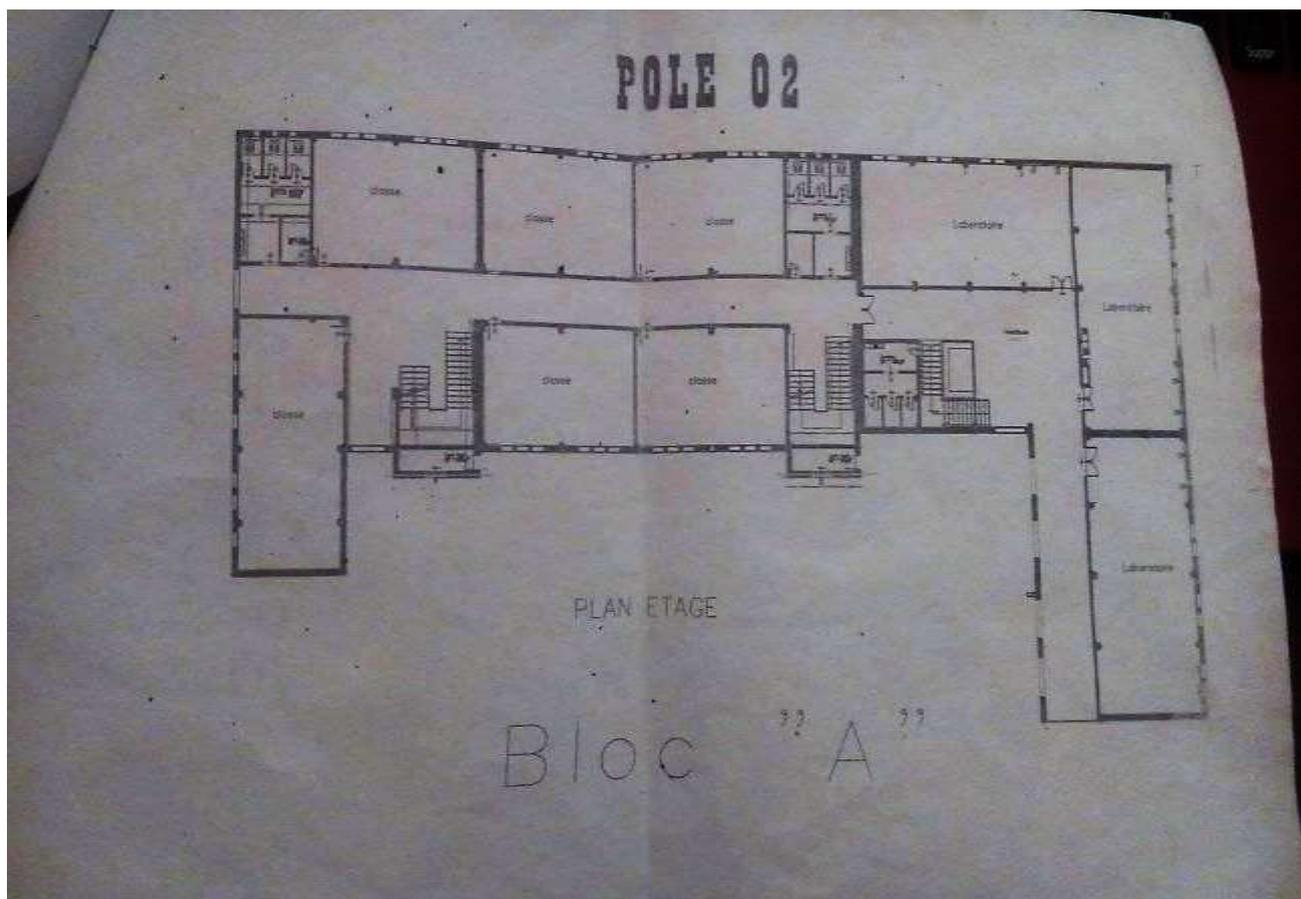


Figure III.9: Plan de masse (bloc pédagogique).

### III.7.1. Données géographiques

En donne:

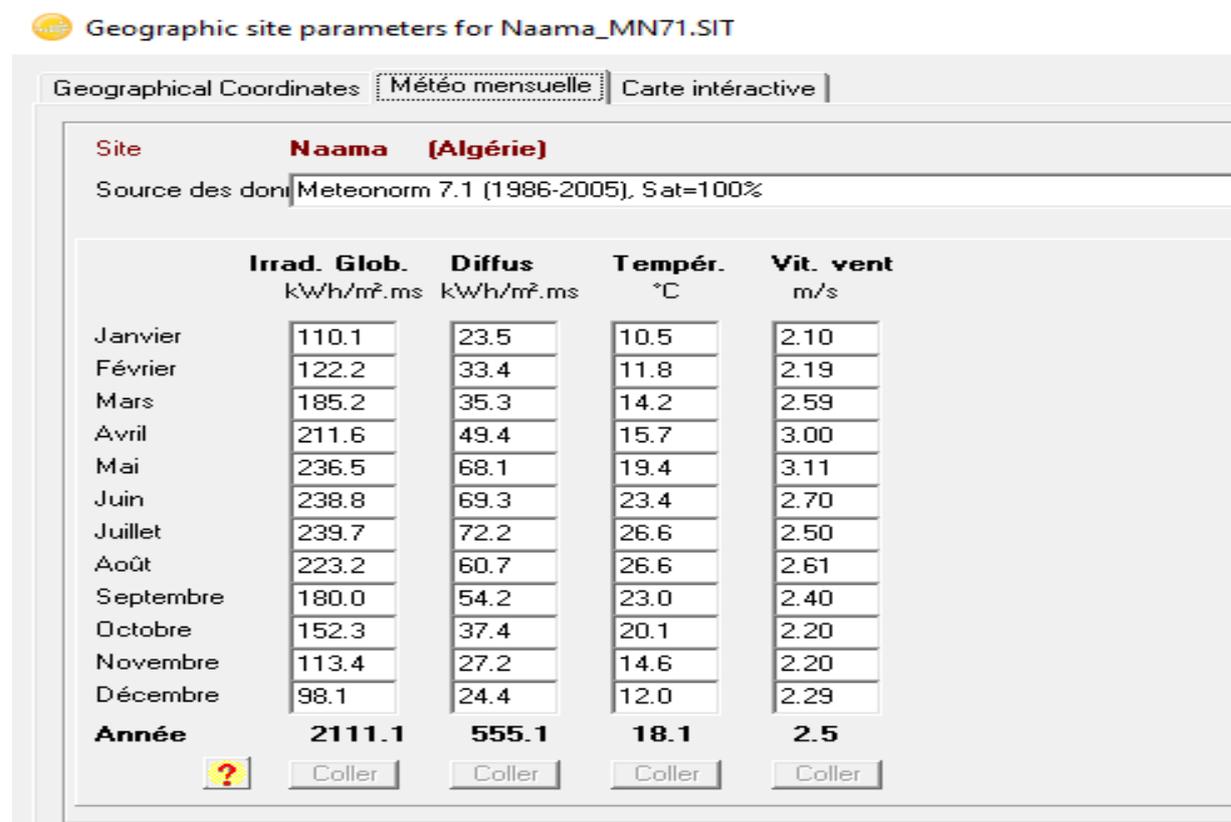
1. Latitude.
2. Altitude.
3. Longitude.

**Tableau III.1** : Tableau des données géographiques du site de pole technique.

Caractéristiques	Latitude en degré °	Altitude en m	Longitude en degré °
Naama	33.26	2000	-0.31

### III.7.2. Données météorologiques

Ces données résument les caractéristiques climatiques (l'irradiation et la température) du site de bloc technique.



**Figure III.10** : Les données météorologiques.

Ces données résument les caractéristiques climatiques du site de bloc technique.

### ✓ Trajectoire du soleil :

La connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de la surface terrestre est nécessaire pour toute application solaire. La position du soleil est définie par deux angles : sa hauteur HS (angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu) et son Azimut AZ (angle avec la direction du sud, compté négativement vers l'est).

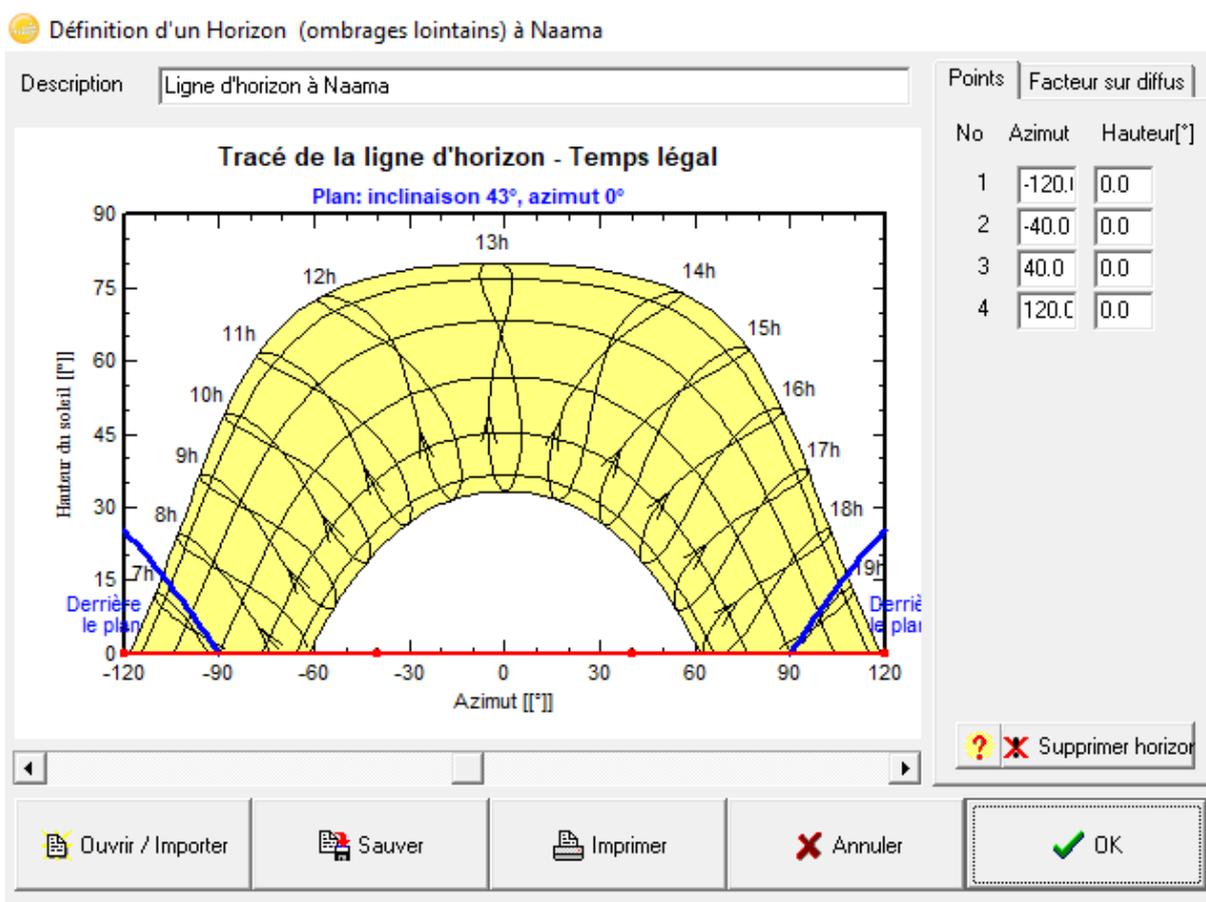


Figure III.11 : Trajectoire du soleil à Naama.

### ✓ Simulation d'une centrale PV de puissance 14066 W avec le logiciel PVSYS

La simulation détaillée d'un système PV comporte :

- Le choix des composants (panneaux PV, onduleur, matériel de raccordement,...).
- La disposition détaillée du champ de capteurs (orientation, mode de montage,...etc.).
- L'estimation de l'énergie produite ;
- Une évaluation des coûts de l'installation, et le prix de Wh résultant.

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 plan Incliné fixe d'une inclinaison  $33.26^\circ$  (par rapport à l'horizontale) comme l'illustre la figure (III.12)  $43^\circ$  c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVSYS, en dehors de cette dernière le rendement diminue.

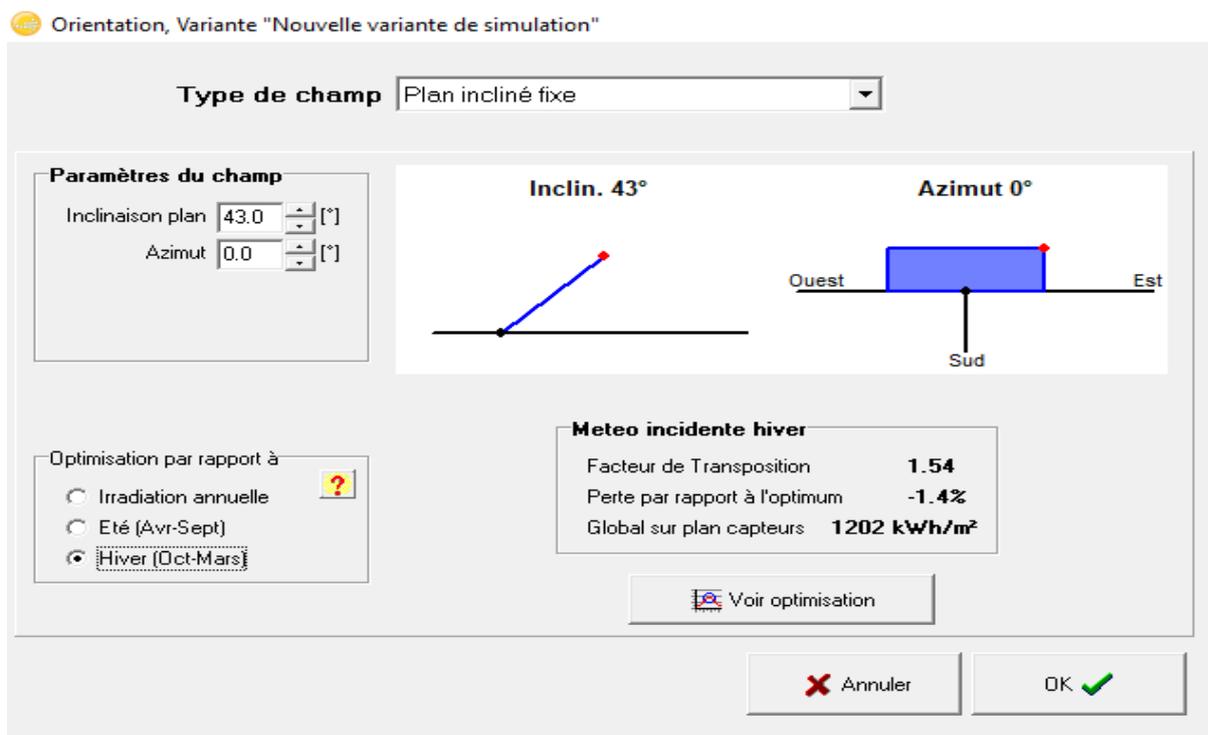


Figure III.12 : Positionnement des systèmes de panneaux PV.

### III.7.3. Schéma de l'installation PV

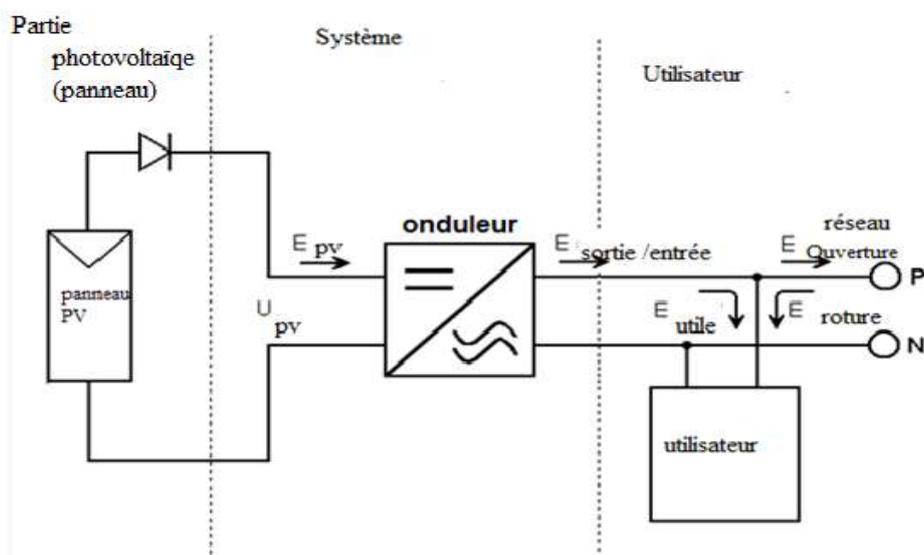


Figure III.13 : Schéma simplifié du système couplé au réseau.

### III.7.4. Paramètres de simulation

#### ✓ Caractéristiques du module PV

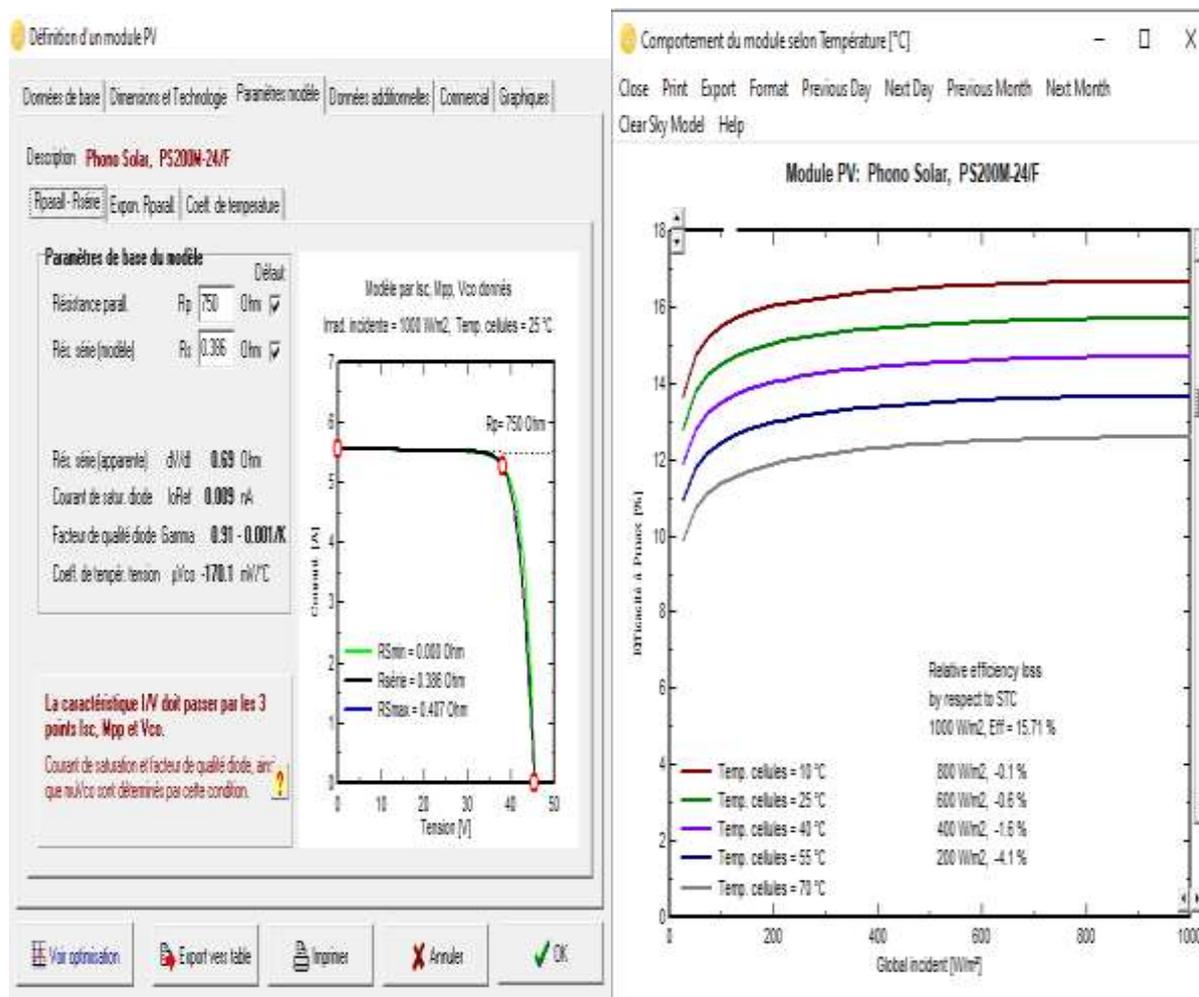


Figure III.14 : Caractéristique du module PV.

#### ➤ Caractéristiques de l'onduleur

- ✓ tension de fonctionnement : 160/230v.
- ✓ tension max : 130v.
- ✓ puissance : 1.80 KW
- ✓ type : monophasé.
- ✓ fréquence : 50Hz.

### III.7.5. Résultats de simulation numérique

Les paramètres de dimensionnement du champ PV pour une puissance limité de 1466 W sont résumés dans le rapport ci-dessous.

PVSYS V6.70		09/09/20	Page 1/3
<b>Système couplé au réseau: Paramètres de simulation</b>			
<b>Projet : Naama-CUN</b>			
<b>Site géographique</b>	<b>Naama</b>	<b>Pays</b>	<b>Algeria</b>
<b>Situation</b>	<b>Latitude</b> 33.28° N	<b>Longitude</b>	<b>-0.32° W</b>
<b>Temps défini comme</b>	<b>Temps légal</b> Fus. horaire TU+1	<b>Altitude</b>	<b>0 m</b>
<b>Données météo:</b>	<b>Naama</b>	<b>Meteonorm 7.1 (1986-2005), Sat=100% - Synthétique</b>	
<b>Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation</b>			
	<b>Date de la simulation</b>	<b>09/09/20 à 00h03</b>	
<b>Paramètres de simulation</b>	<b>Type de système</b>	<b>No 3D scene defined</b>	
<b>Orientation plan capteurs</b>	<b>Inclinaison</b>	<b>43°</b>	<b>Azimut 0°</b>
<b>Modèles utilisés</b>	<b>Transposition</b>	<b>Perez</b>	<b>Diffus Perez, Meteonorm</b>
<b>Horizon</b>	<b>Pas d'horizon</b>		
<b>Ombrages proches</b>	<b>Sans ombrages</b>		
<b>Caractéristiques du champ de capteurs</b>			
<b>Module PV</b>	<b>Si-mono</b>	<b>Modèle</b>	<b>P5200M-24/F</b>
<b>Original Pvsyst database</b>		<b>Fabricant</b>	<b>Phono Solar</b>
<b>Nombre de modules PV</b>		<b>En série</b>	<b>3 modules</b>
<b>Nombre total de modules PV</b>		<b>Nbre modules</b>	<b>69</b>
<b>Puissance globale du champ</b>		<b>Nominale (STC)</b>	<b>13.80 kWc</b>
<b>Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)</b>		<b>U mpp</b>	<b>101 V</b>
<b>Surface totale</b>		<b>Surface modules</b>	<b>88.1 m²</b>
		<b>Surface cellule</b>	<b>77.6 m²</b>
<b>Onduleur</b>		<b>Modèle</b>	<b>PV-WR 1800</b>
<b>Original Pvsyst database</b>		<b>Fabricant</b>	<b>SMA</b>
<b>Caractéristiques</b>	<b>Tension de fonctionnement</b>	<b>80-130 V</b>	<b>Puissance unitaire 1.80 kWac</b>
<b>Batterie d'onduleurs</b>	<b>Nbre d'onduleurs</b>	<b>7 unités</b>	<b>Puissance totale 12.6 kWac</b>
			<b>Rapport Pnom 1.10</b>
<b>Facteurs de perte du champ PV</b>			
<b>Fact. de pertes thermiques</b>	<b>Uc (const)</b>	<b>20.0 W/m²K</b>	<b>Uv (vent) 0.0 W/m²K / m/s</b>
<b>Perte ohmique de câblage</b>	<b>Rés. globale champ</b>	<b>14 mOhm</b>	<b>Frac. pertes 1.5 % aux STC</b>
<b>Perte de qualité module</b>			<b>Frac. pertes 1.5 %</b>
<b>Perte de "mismatch" modules</b>			<b>Frac. pertes 1.0 % au MPP</b>
<b>Perte de "mismatch" strings</b>			<b>Frac. pertes 0.10 %</b>
<b>Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE</b>	<b>IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)</b>		<b>Param. bo 0.05</b>
<b>Besoins de l'utilisateur :</b>	<b>Charge illimitée (réseau)</b>		

Figure III.15: Paramètres de simulation.

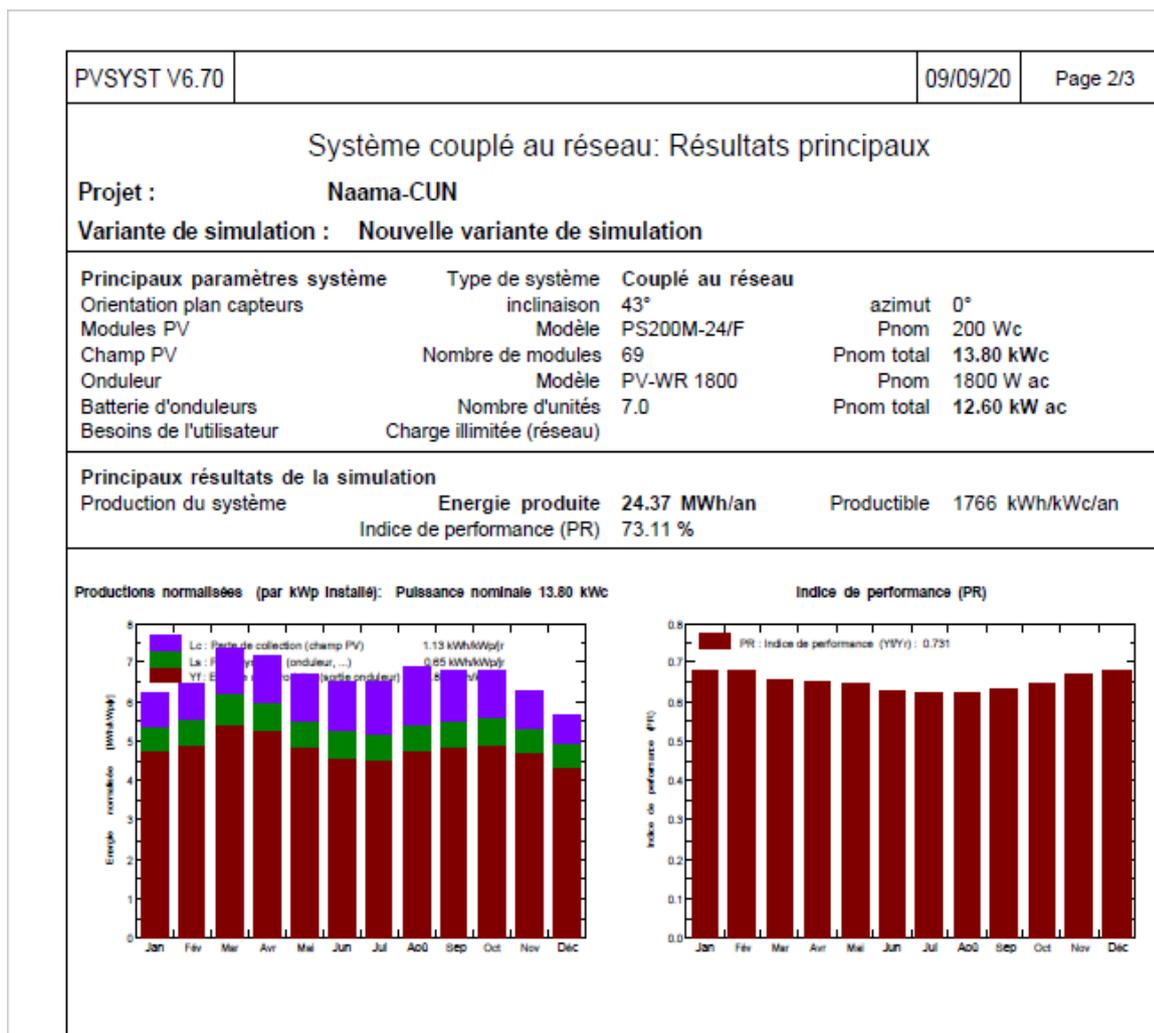


Figure III.16 : Résultats principaux.

Tableau III.2 : Nouvelle variante de simulation Bilans et résultats principaux

	<b>GlobHor</b> KWh/m <sup>2</sup>	<b>DiffHor</b> KWh/m <sup>2</sup>	<b>TAmb</b> °C	<b>GlobInc</b> KWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobEff</b> KWh/m <sup>2</sup>	<b>EArray</b> KWh	<b>E-Grid</b> KWh	<b>PR</b>
Janvier	110.1	23.50	10.49	192.4	189.3	2.305	2.036	0.767
Février	122.2	33.44	11.76	180.2	176.8	2.146	1.896	0.762
Mars	185.2	35.40	14.18	228.5	223.6	2.645	2.332	0.740
Avril	211.6	49.40	15.65	215.3	209.0	2.481	2.186	0.736
Mai	236.5	68.10	19.36	207.8	200.6	2.364	2.078	0.724
Juin	238.8	69.30	23.37	194.9	195.2	2.176	1.906	0.709
Juillet	239.7	72.20	26.60	202.4	218.4	2.219	1.947	0.697
Aout	223.2	60.70	26.62	213.7	207.7	2.329	2.051	0.696
Septembre	180.0	54.20	22.97	204.4	199.0	2.284	2.013	0.714
Octobre	152.3	37.40	20.07	210.8	206.8	2.387	2.108	0.725
Novembre	113.4	27.20	14.63	188.5	185.4	2.215	1.956	0.752
Décembre	98.1	24.40	12.02	176.6	173.8	2.109	1.861	0.764
<b>Année</b>	<b>2111.1</b>	<b>555.10</b>	<b>18.18</b>	<b>2415.5</b>	<b>2354.1</b>	<b>27.659</b>	<b>24.369</b>	<b>0.731</b>

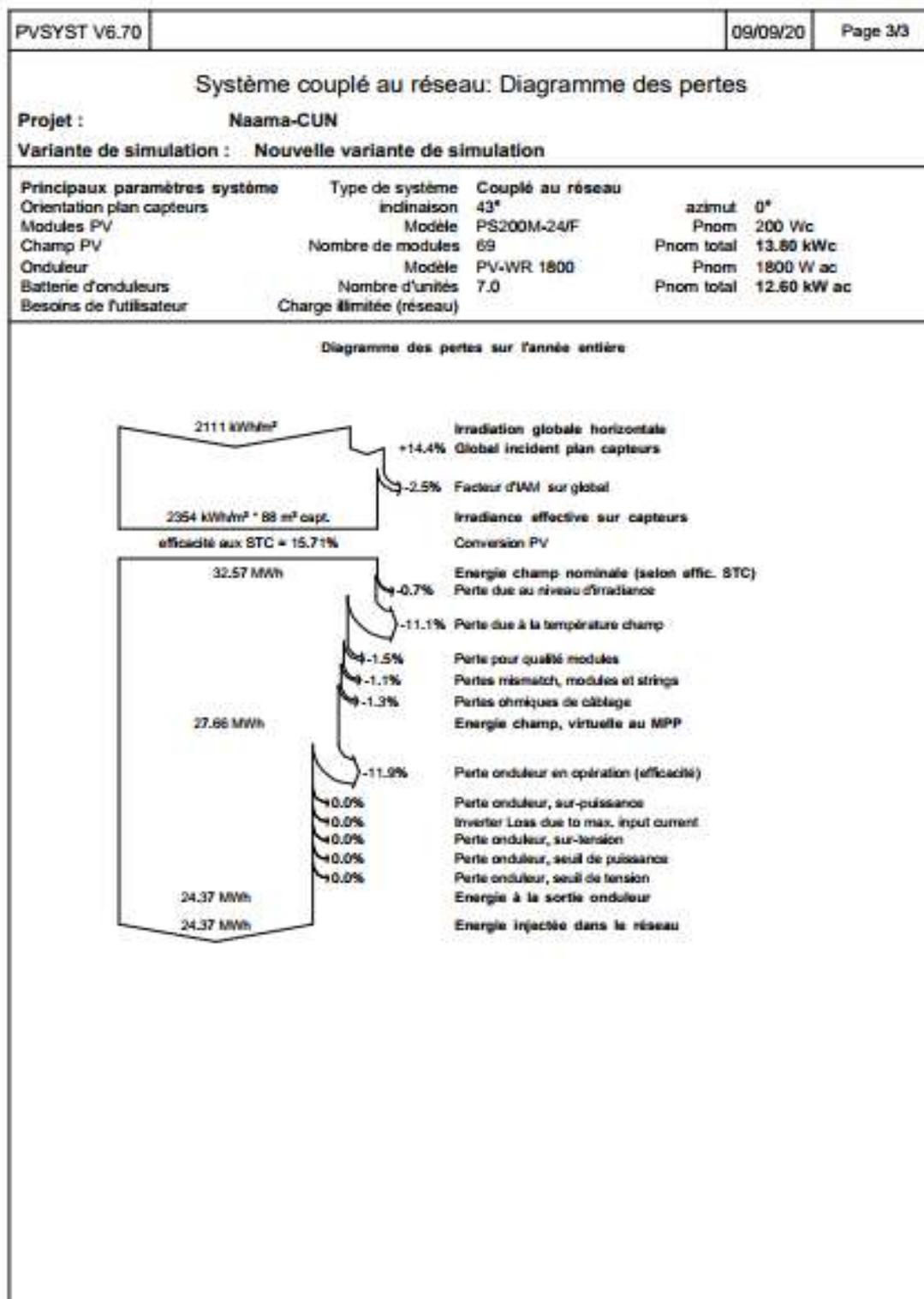


Figure III.17 : Diagramme des pertes.

### III.7.6. Énergie incidente de référence sur le plan des panneaux

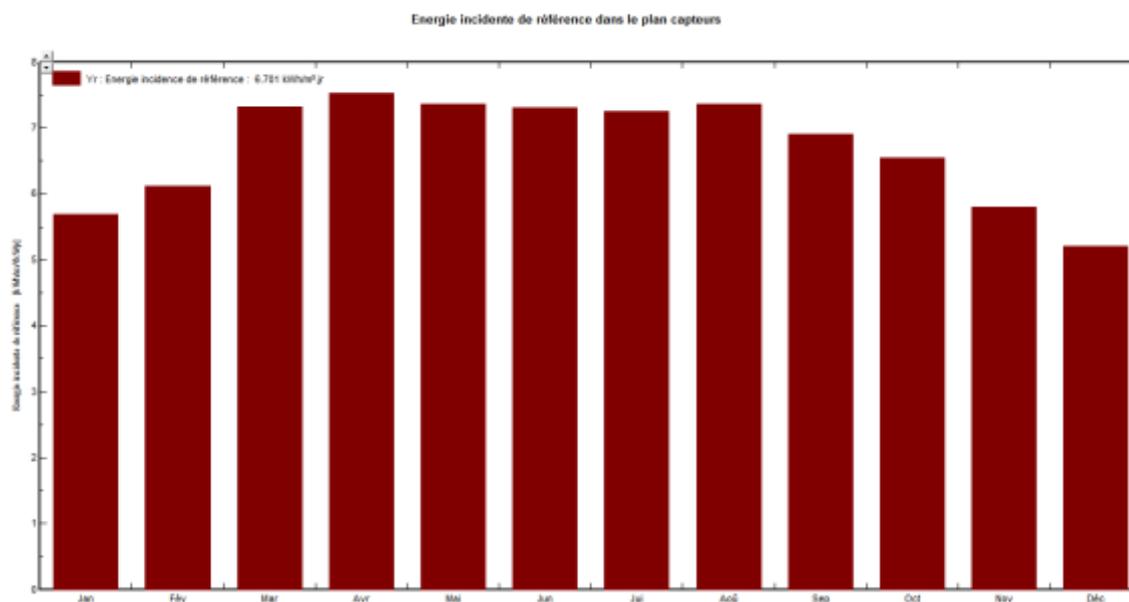


Figure III.18 : Énergie incidente de référence sur le plan des panneaux.

La distribution de cette même énergie le long de l'année est illustrée par la figure ci-après.

### III.7.7. Distribution annuelle de l'irradiante incidente

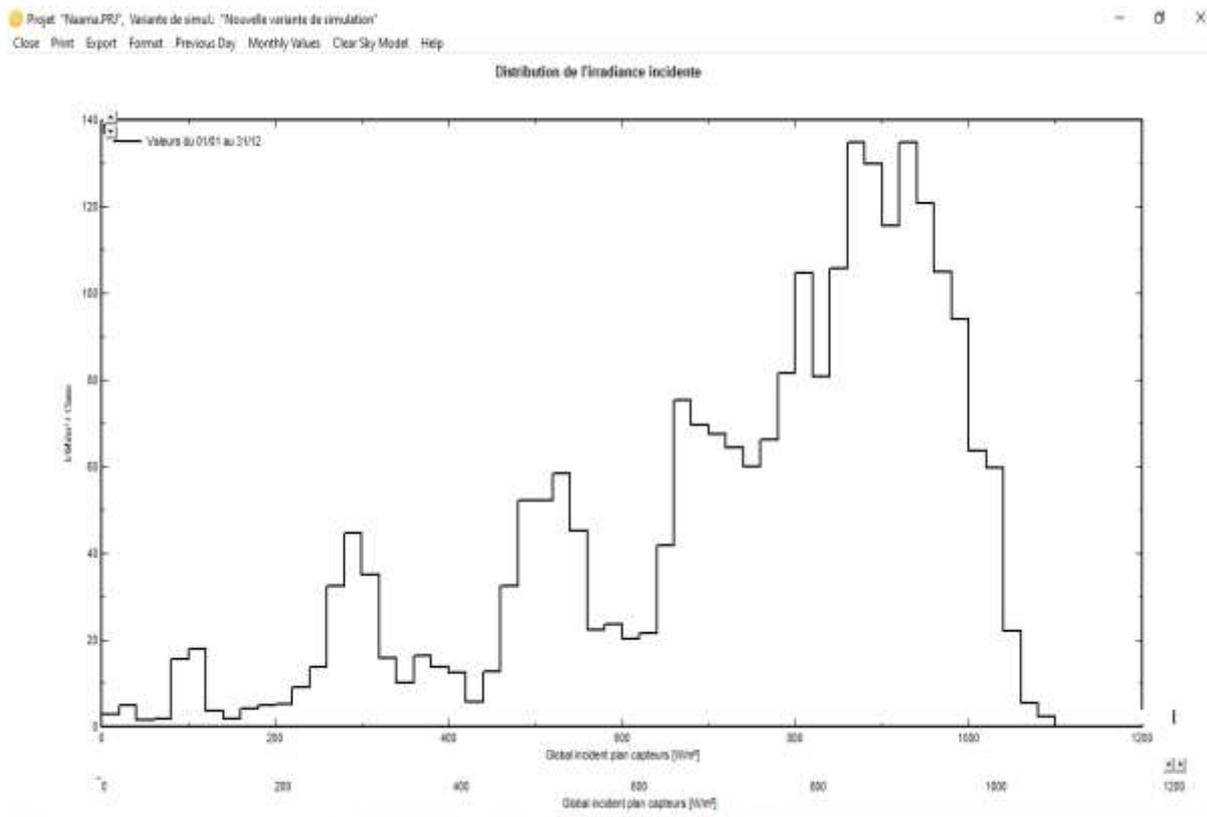


Figure III.19 : Distribution annuelle de l'irradiante incidente.

Dans la figures (III.19) : nous remarquons que la distribution de la puissance en sortie du champ PV et la distribution du rayonnement incident sont variés suivant la même tendance à une échelle différente.

### III.7.8. Distribution annuelle de la puissance en sortie du champ PV

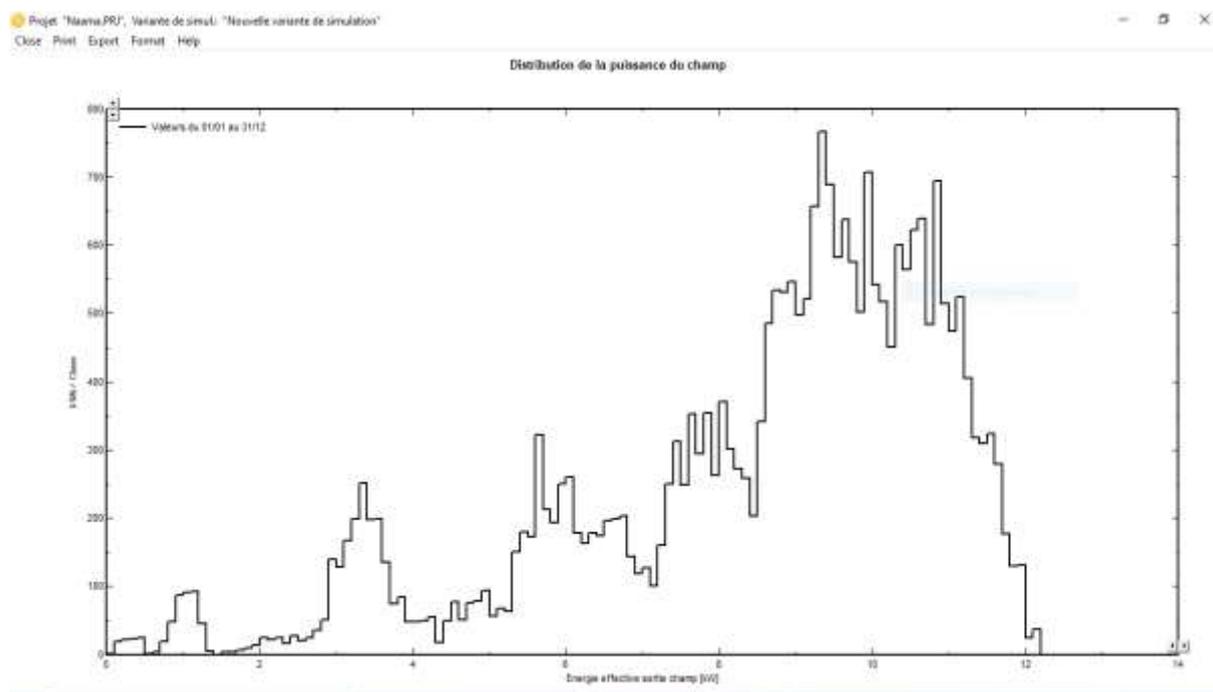


Figure III.20 : Distribution annuelle de la puissance en sortie du champ PV.

### III.7.9. Diagramme journalier d'Entrée/Sortie du système PV

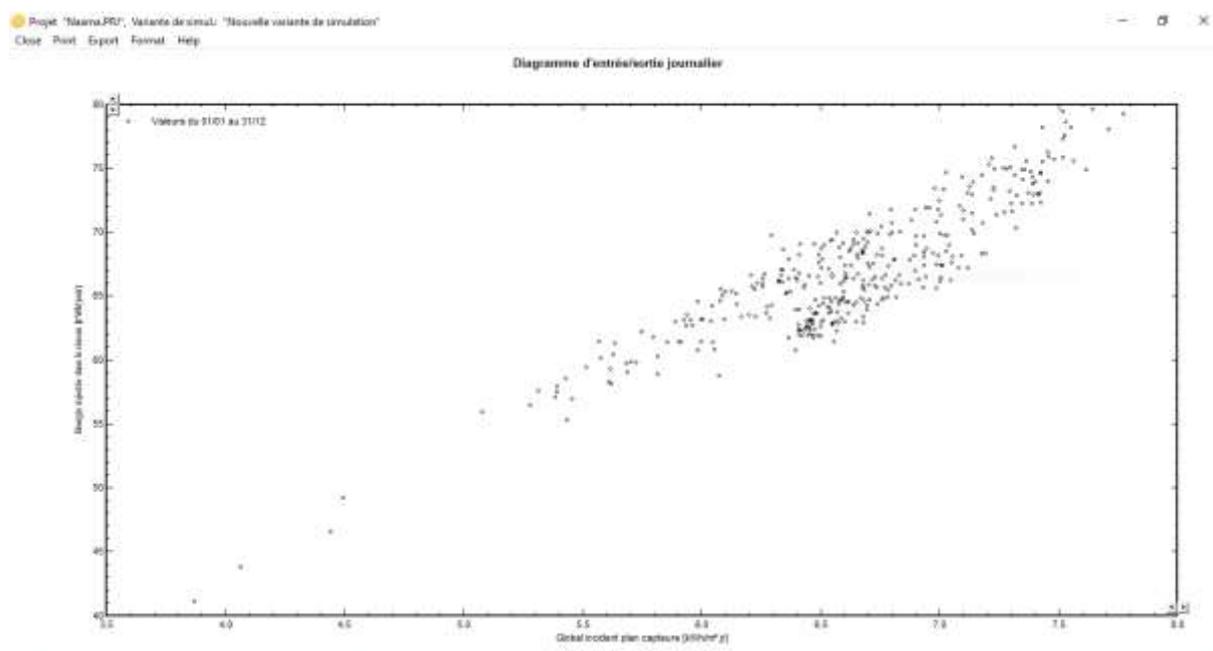


Figure III.21 : Diagramme journalier d'entrée/Sortie du système PV.

Dans la figure (III.21) le résultat le plus significatif est présenté sous forme de diagramme d'entrée/Sortie reportant, pour chaque période. L'énergie produite en fonction de l'énergie injectée.

## II.8. Discussion des résultats

D'après les résultats de distribution dans les différents bureaux, on n'a pas eu beaucoup des pertes d'énergies. L'écoulement de la puissance nous aide à bien visualiser la distribution d'énergie. Une des difficultés majeures de la production d'électricité à l'aide d'un système photovoltaïque est son caractère aléatoire. En effet, beaucoup de paramètres tels que : les conditions environnementales, la situation géographique, l'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires, peuvent pour un système donné fournir des résultats très différents. Pour maîtriser au mieux ces paramètres très fluctuant nous utiliserons le logiciel PVSYST qui a pour rôle de déterminer le nombre des panneaux, et ainsi que la caractéristique d'onduleur à choisir. Les résultats obtenus nous ont permis d'installer le nombre de panneaux trouvé, car la surface de bloc technique est trop petite, il y aura donc un encombrement sans omettre le facteur plus important : le coût d'investissement qui est très élevé.

## III.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu déterminer le nombre des panneaux pouvant être installé dans le bloc technique avec les caractéristiques des différents éléments intervenant dans le système PV, Le recours aux différents Logiciel à était en effet important.

# *Conclusion générale*

Un système PV est un système générateur d'électricité pour répondre à des besoins énergétiques. Ce système se compose de plusieurs éléments principalement les modules PV qui représentent le champ de captage des rayons solaires, l'onduleur qui assure la conversion du courant continu en courant alternatif et les fils électriques qui assurent la connexion entre différents composants du système.

Ce mémoire est consacré à l'élaboration d'un système photovoltaïque connecté au réseau. Il consiste à choisir une configuration convenable d'onduleur qui sera connecté au réseau tout en assurant un fonctionnement optimal de la source PV.

En première partie, nous avons étudié le principe du système photovoltaïque où on a présenté le modèle des différents éléments constitutif (module, cellule, ..... ) ainsi que établir des programmes de calculs sous l'environnement Matlab permettant de tracer la caractéristique (I-V) pour différents éclairagements et températures solaires et de calculer la puissance maximale délivrée par la cellule photovoltaïque correspondante.

En deuxième partie, nous présentons la charge à alimenter par la mini- centrale photovoltaïque, nous avons déduit une puissance nécessaire pour les installations électriques pour le bloc technique au centre universitaire SALHI AHMED de NAAMA.

En troisième partie, nous avons dimensionné l'installation de notre système PV. Ensuite, nous avons appliqué une étude par simulation numérique de l'installation PV de puissance 14.1 kW. Le dimensionnement à l'aide du logiciel PVSYST a montré que couvrir les besoins de notre installation, on aura besoins de 70 panneaux PV de 200 W.

Finalement, on peut dire que les systèmes PV raccordé au réseau peuvent jouer un rôle très important en apportant une solution réellement économique pour couvrir les besoins énergétiques.

# *Référence Bibliographique*

- [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, «Étude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau Basse Tension. Application au générateur photovoltaïque, » École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Thèse de Doctorat, 2004.
- [3] 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.
- [4] B .Fléche and D .Delagnes, *Energie solaire photovoltaïque*. 2007.
- [5] B .Equer « le pompage photovoltaïque manuel de cours », énergie solaire photovoltaïque ellipses 1993.
- [6] K. Benlarbi Optimisation Floue, neuronale et neuro-floue d'un système de pompage photovoltaïque entraînées par différents machines électrique » Thèse de Magister Université de Batna 2003.
- [7] J .Royer, T. Djiako, E.SCHILLER «le pompage photovoltaïque» manuel de cour a l'intention des ingénieurs et techniciens bibliothèque national de CANADA 1998.
- [8]Ch. p. De. Brichabaut, Ch. Yauge « le gisement solaire, évaluation de la ressource énergétique » Technique et documentation Lavoisier 1982.
- [9] D .Boukhers « optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage » mémoire Magister en électrotechnique Université de Constantine 2007.
- [10] Note de cours : Electricité solaire photovoltaïque ,2IE, Zacharie KOALAGA.
- [11] K. Benlarbi, L, Mokrani, M.S .Nait-Said « A fuzzy global efficiency optimization of a Photovoltaic water system », Solar Energy 77 -2004-
- [12] J.M Chassériau, Conversion thermique du rayonnement solaire ; Dunod, 1984.
- [13] R. Bernard; G. Menguy ; M. Schwartz, Le rayonnement solaire conversion thermique et applications ; Technique et documentation Lavoisier, 2ème édition 1980.
- [14] S. Saadi, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan, Mémoire de Magister en physique ; UMC, 2010.
- [15] Bouden Abdelmalek, Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque, Université Mentouri Constantine, 2008.

- [16] CHENNI. Rachid, Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque dans un village solaire, Université Mantouri de constantine, 2007.
- [17] Bendjellouli Zakaria, contribution à la modélisation d'une cellule solaire, Université de Bechar, 2009.
- [18] C.Bernard « station solaire autonome pour l'alimentation station pompage » l'archive ouverte pluridisciplinaire HAL 2006.
- [19] <https://sites.google.com/a/allegoheny.edu/cleanenergy/carrhallsolar/physics>
- [20] M. Capderou, Atlas solaire de l'Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; OPU, 1987.
- [21] A. Mefti ; M. Y Bouroubi ; H. Mimouni, Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, P12, décembre 2002.
- [22] CASSORE, F., G. ORLANDI, and M. RAU, *cellules photovoltaïques a colorant*.
- [23] A. Souici, “*Physique des Semi-conducteurs*”, Cours de l'université de Bejaia, Algérie, (2013-2014).
- [24] A. Bensaada, “*Technologie des semi-conducteurs*”, Livre, Université d'Oran, Alger.
- [25] F. baccar el boubkari. “*Evaluation des mécanismes de défaillance et de la fiabilité d'une nouvelle terminaison haute tension : approche expérimentale et modelisation associée*”, Thèse de doctorat, université de bordeaux, 1 décembre 2015.
- [26] Théorie des bandes [archive], sur futura-sciences.com, consulté le 22 juillet 2016.
- [27] S. M. Sze «*Physics of Semiconductor Device*», (2nd edition) Wiley Inter-Science, 1981.
- [28] M.N. Mchalikh et CH.Hmada "Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau " Mémoire de Master Université Kasdi Merbah–Ouargla 2013.
- [29] [www.solarelectricpower.org](http://www.solarelectricpower.org).
- [30] M.Z. F.Z. Zerhoun, "Optimisation d'un système à énergie verte avec validation pratique," revue des énergies renouvelables, vol. 11, no. N°1, p. 41–49, 2008.
- [31] A.Saadi, "Etude comparative entre les techniques d'optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque," Université de Biskra Mémoire de Magister, 2000.
- [32] S.Brigand, «principe du photovoltaïque », complément technique 2008, [www.Editionsdumoniteur.com](http://www.Editionsdumoniteur.com).
- [33] B.Equer « Le Pompage Photovoltaïque Manuel de cours », énergie solaire photovoltaïque ellipses 1993.
- [34] Y. Bakelli « Étude et dimensionnement d'un convertisseur statique pour la connexion d'un générateur photovoltaïque » mémoire de magister, Université de Boumerdes 2005.

- [35] Sofia, D.B.L., *Cours Énergie solaire photovoltaïque*. 2015.
- [36] Géotzberger A, Luther J, Willeke G. solarcells: past, présent, future, Solar energymaterials&solarcells.
- [37] M, Urien. Cellules photovoltaïques organiques à base copolymères à blocs de type rigide-flexible Thèse de Doctorat. Université de Bordeaux 1.2008.
- [38] Luque, S. Hegedus. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering (2<sup>nd</sup> Edition)*. John Wiley and Sons, 2011.
- [39] H.Yotto « Etude et conception d'une mini centrale PV » mémoire fin d'études Master 2 IE Bénin 2011
- [40] Projet développer le Bénin à partir des sources renouvelables, rapport final, juillet 2010 PNUD, Ministère de l'énergie et de l'eau Bénin
- [41] 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
- [42] Amina, S.M.S. and B.A. Djamila, mémoire «Dimensionnement d'une installation photovoltaïque". 2015.
- [43] J. Labbé, "L'hydrogène électrolytique comme Moyen de Stockage d'électricité pour systèmes photovoltaïques Isolés" thèse de doctorat l'Ecole des Mines de Paris, pp.5\*17\*18-21-50-68-69. 21 décembre 2006.
- [44] Fazia, B., "modélisation et simulation des performances d'une installation hybride de conversion d'énergies renouvelables" mémoire de magister, université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 26/09/2011.
- [45] Othman, B. and D. Fathi, « Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque », mémoire de magister, université de KASDI MERBAH de OURGLA. 2011/2012
- [46] BOUKHLIF Hamza, « Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque De 300kw », Mémoire de Master, Université M'Hamed Bougara de Boumerdes, promotion juin 2017.
- [47] MOSTAHSINE Smail, «Etude comparatif de panneaux solaires photovoltaïques à Ifrane», Rapport de licence, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah 16 Juin 2015.

[48] A .Mabrouk « étude de conception d'une stratégie de commande d'un onduleur connecté au réseau électrique » mémoire de magister en électricité solaire de l'école nationale polytechnique El HARRACH, Alger 2008.