

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
جامعة بلحاج بوشعيب عين تموشنت  
Université-Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département d'Electrotechnique



### **Projet de fin d'études**

Pour l'obtention du diplôme de Master en :  
Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIE  
Filière : Électrotechnique.  
Spécialité : Commandes Electriques.  
Thème

**Dimensionnement et étude par simulation d'une  
installation photovoltaïque implémentée au niveau de la  
commune de bouzjar (w. Ain temouchent)**

**Présenté Par :**

- 1) Melle MEFTAHI Ounissa Fatima Zahra.
- 2) Melle MAAYOUF Ikram.

**Devant le jury composé de :**

<b>Pr Zelmat Samir</b>	<b>Pr</b>	<b>Président</b>	<b>Université de Ain T'émouchent</b>
<b>Dr BENAZZA Beghdadi</b>	<b>MCB</b>	<b>Examineur</b>	<b>Université de Ain T'émouchent</b>
<b>Dr. FLITTI Mohamed</b>	<b>MCA</b>	<b>Encadrant</b>	<b>Université de Ain T'émouchent</b>

**Année universitaire 2021/2022**

---

## REMERCIEMENTS

*En premier lieu, Nous remercions DIEU, qui nous a remplis de foi et de force pour finir ce projet, Nous remercier également nos parents pour tout ce qu'ils ont fait pour nous.*

*Nous remercions notre promoteur MOHAMED FLITTI. Pour son aide, ses conseils, son encouragement et son disponibilité durant toute la période de ce projet de fin D'études.*

*Nous tenons à remercier les membres du jury, qui ont accepté d'examiner et de corriger ce travail.*

*Nous remercions aussi Mr MOHAMMED BOUCHACHIA et Mr ZENAGUIBOUDJEMA ET Mr BENAMARA Mohammed et Melle BOUSMAHA pour leurs énormes efforts et d'avoir nous conseillé.*

*En fin, Nous remercions les enseignants du département d'électrotechnique et tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes très chers parents, source de vie, d'amour et d'affection*

*Que Dieu les protège*

*A mes frères et ma sœur , source de joie et de bonheur. Qui m'avez toujours soutenue et encouragé durant ces années d'études.*

*A mon grand-père*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis et collègues sans exception*

*A **IKRAM**, chère amie avant d'être binôme*

*A vous cher lecteur.*

**MEFTAHI OUNISSA FATIMA ZAHRA**

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes très chers parents, source de vie, d'amour et d'affection*

*Que Dieu les protège*

*A mes sœurs et mon frère , source de joie et de bonheur. Qui m'avez toujours soutenue et encouragé durant ces années d'études.*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis et collègues sans exception*

*A **OUNISSA**, chère amie avant d'être binôme*

*A vous cher lecteur*

**MAAYOUF IKRAM**

## Sommaire

Liste de figure.....	I
Introduction générale.....	1

### Chapitre 1:Etat de l'art

1	Introduction .....	2
2	Historique de l'énergiephotovoltaïque.....	2
3	Definition de l'énergierenouvelable .....	3
4	L'énergiesolaire.....	3
5	Les Rayonnementssolaires .....	3
5.1	Rayonnement direct.....	4
5.2	Rayonnementdiffuse .....	4
5.3	Le Rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol .....	4
5.4	Le Rayonnement global.....	4
6	Les types d'énergiesolaires .....	5
6.1	Energiesolairethermique .....	5
6.2	Energiesolairephotovoltaïque .....	5
6.3	Energiesolairethermodynamique.....	5
7	Les SystèmesPhotovoltaïque.....	6
7.1	Les types de Systèmesphotovoltaïque.....	6
7.1.1	Systèmephotovoltaïqueautonome .....	7
7.1.2	Systèmephotovoltaïqueaccordé au réseau.....	7
8	Avantages et inconvénients pour les Systèmesphotovoltaïque.....	8
8.1	Avantages .....	8
8.2	Inconvénient.....	8
9	Etat de l'art des système PV .....	9
10	Conclusion .....	10

### Chapitre 2:Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

1	Introduction .....	11
2	La cellule photovoltaïque.....	11
3	Conversion photovoltaïque.....	12
3.1	Semi-conducteur.....	12
3.2	Le dopage de semi-conducteur .....	13

3.2.1	Dopage de type N .....	13
3.2.2	Dopage de type P.....	14
3.3	La Jonction PN.....	14
4	Effet photovoltaïque.....	15
5	Principe de fonctionnement.....	15
6	Les types des cellules photovoltaïques .....	16
6.1	Cellule en silicium monocristallin.....	16
6.2	Cellule en poly-cristallin .....	17
6.3	Cellule amorphe .....	18
7	Les différents composants d'un système solaire photovoltaïque.....	19
7.1	Batteries .....	19
7.1.1	Types d'accumulateurs .....	19
7.1.2	Comparaison des types de batteries en énergie massique.....	21
7.1.3	Composition d'une batterie solaire plomb- acide .....	21
7.1.4	Principe de fonctionnement .....	23
7.1.5	Calcul de la capacité des Batteries.....	23
7.1.6	La durée de vie d'une batterie solaire .....	23
7.1.7	les critères de choix d'une batterie solaire .....	24
7.1.8	Association de batteries.....	25
7.2	Régulateur de charge .....	25
7.2.1	Technologies des régulateurs.....	25
7.3	Onduleur.....	26
7.3.1	Le convertisseur continu - continu .....	27
7.3.2	Le convertisseur continu - alternatif.....	27
7.4	Boite de jonction.....	27
8	Conclusion .....	28

### Chapitre 3: Simulation numérique d'une installation photovoltaïque

1	INTRODUCTION .....	29
2	Présentation de logiciel PVSYST .....	29
3	Conception du système .....	30
4	Dimensionnement de système .....	31
5	La simulation numérique .....	32
5.1	Site d'implantation .....	33

5.2	Donnéesgéographique.....	33
5.3	Donnéesmétéorologique.....	34
5.4	La trajectoire du soleil.....	35
6	Orientation des modules PV.....	36
7	Schéma de l`installation PV.....	37
8	Paramètre de simulation.....	38
9	Le rapport de simulation.....	43
10	Conclusion.....	48

## Chapitre 4:Dimensionnement d`une installation photovoltaïque

1	Introduction.....	48
2	Dimensionnement des installations photovoltaïques.....	48
2.1	Les principalesRègles de dimensionnement.....	48
2.2	Les étapes de dimensionnement d`un système photovoltaïque.....	48
3	Méthodes simples de dimensionnement.....	49
3.1	La méthodesimplifiée.....	49
3.1.1	Dimensionnement du champ photovoltaïque.....	49
3.1.2	Dimensionnement de la batterie de stockage.....	50
3.1.3	Application pour la méthode.....	51
3.1.4	Estimation du cout.....	52
3.2	La deuxièmeméthode :.....	53
4	Systemes PV.....	54
5	Dimensionnement des composants constituant le système PV.....	55
5.1	Discussion et analyse des résultats de l`installation dimensionnée.....	55
5.2	Étude comparative.....	56
6	Miseen place d`une structure.....	57
7	Fixation des Panneaux.....	57
	Leur installation doit assurer les points suivants :.....	57
8	Installation mécanique et électrique.....	57
8.1	Maintenance.....	58
8.1.1	Modules.....	58
8.1.2	Batteries.....	58
8.1.3	Régulateurs.....	58
9	Recommandation- perspectives.....	59

10 Conclusion .....	59
Conclusion Générale .....	60



# LISTE DES FIGURES

## Chapitre 1

Figure (1.1) : Types de rayonnements solaires reçus au sol.....	5
Figure (1.2) : Les différents modes d'exploitation de l'énergie solaire.....	6
Figure (1.3) : Système photovoltaïque autonome .....	7
Figure (1.4) : schéma d'une installation photovoltaïque connectée au réseau.....	8

## Chapitre 2

Figure (2.1) : structure basique d'une cellule solaire.....	12
Figure (2.2) : le semi-conducteur (silicium).....	13
Figure (2.3) : dopage de semi-conducteur.....	13
Figure (2.4) : dopage de semi-conducteur de type p.....	14
Figure (2.5) : La jonction PN.....	14
Figure (2.6) : l'effet photovoltaïque.....	15
Figure (2.7) : le principe de fonctionnement d'une cellule PV.....	16
Figure (2.8) : Cellule photovoltaïque monocristalline.....	17
Figure (2.9) : Cellule photovoltaïque poly-cristallin.....	18
Figure (2.10) : Cellule photovoltaïque amorphe.....	18
Figure (2.11) : les différents composants d'une installation photovoltaïque.....	19
Figure (2.12) : batterie ouverte au plomb.....	20
Figure (2.13) : Comparaison des différents types de batteries en énergie massique	21
Figure (2.14) : Composition d'une batterie monobloc.....	22
Figure (2.15) : Association de deux batteries en série / en parallèle.....	25
Figure (2.16) : rôle de l'onduleur.....	26
Figure (2.17) : boîte de jonction.....	28

### Chapitre 3

Figure (3.1) : logiciel PVSYST.....	30
Figure (3.2) : Configuration de system.....	31
Figure (3.3) : Conditions de dimensionnent.....	32
Figure (3.4) : Les données géographiques du Bou Zadjar.....	33
Figure( 3.5) : Les donnée métrologique mensuelle du Bou Zadjar.....	34
figure (3.6) : la trajectoire du soleil à Bou Zadjar.....	35
Figure( 3.7) : positionnent des systèmes P.....	36
Figure (3.8) : Schéma simplifie d`une installation PV liée au réseaux.....	37
Figure( 3.9) : l`effet de l`ensoleillement sur la courbe.....	38
Figure( 3.10) : l`effet de la température sur la courbe I/V.....	39
Figure (3.11) : Température fixe.....	40
Figure (3.12) : ensoleillement fixe.....	41

### Chapitre 4

Figure (4.1) : Implantation du champ de module photovoltaïques.....	57
---	----

# **Introduction générale**

## Introduction générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir, car l'énergie est déjà un facteur essentiel du développement économique dans tous les pays du monde. Son importance relative augmente avec les progrès techniques et de fabrication et le besoin d'équipements modernes. L'augmentation de sa production est synonyme d'amélioration de la qualité de vie et de création de richesse.[41] ,[1]

L'essentiel de l'énergie consommée par l'homme provient d'énergies fossiles dont l'utilisation intensive épuise ses réserves et constitue une réelle menace pour l'environnement (réchauffement climatique). Certains pays développés sont passés au nucléaire, ce qui présente un risque d'accidents graves. C'est pourquoi nous nous intéressons actuellement aux énergies renouvelables. Le solaire photovoltaïque est une alternative que de nombreux pays envisagent d'ici 2030.

La prise de conscience des dangers de la pollution, et l'approche de l'échéance d'épuisement de ces ressources a stimulé la recherche d'autres types d'énergies renouvelables (énergie éolienne, hydroélectricité, géothermie, énergie biomasse et énergie photovoltaïque (qui sera étudiée dans ce mémoire). Le principal avantage de ces énergies renouvelables est que leur utilisation ne pollue pas l'atmosphère.

C'est l'énergie électrique produite par les panneaux solaires qui convertit une partie du rayonnement solaire. L'électricité ainsi produite peut-être consommée sur place ou injectée dans le réseau de distribution. Les installations solaires photovoltaïques peuvent être installées dans tous types de bâtiments : maisons individuelles, immeubles collectifs, etc.

Le solaire PV a des propriétés de base qui permettent aux humains de le capter ; En en faisant un autre usage, plus pratique, le développement de l'électricité solaire nous offre néanmoins un potentiel d'économie d'énergie.

Le premier chapitre est consacré au concept et au type d'énergie photovoltaïque et aux systèmes photovoltaïques, et nous avons évoqué les avantages et les inconvénients d'un système photovoltaïque.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté un concept général de la cellule photovoltaïque et les différents composants d'une installation solaire photovoltaïque avec leurs rôles et principes de fonctionnement.

Le troisième chapitre nous consacrons à l'étude par simulation numérique: nous introduisons le programme que nous avons utilisé PV SYST puis nous représentons les résultats obtenus à partir de la synthèse photovoltaïque.

Le quatrième chapitre définit le dimensionnement d'une installations photovoltaïques implémentée a la commune de Bouzdar, ainsi que la rentabilité économique et l'investissement par rapport au prix de consommation de l'électricité du réseau de la Direction de la Technologie et du Développement « DTD » Sonelgaz Ain Temouchent.

Enfin, nous terminons par une conclusion générale.

# **Chapitre 1**

## **Etat de l'art**

## 1 Introduction

L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839. Cette transformation résulte par l'adaptation directe de la lumière du soleil en énergie électrique. Sachant que le soleil est une source énergétique illimitée, l'homme cherche depuis longtemps à profiter de cette source. Dans notre époque, l'humanité se base sur des cellules solaires [1].

Aujourd'hui, en raison sa fiabilité et à son concept respectueux de l'environnement, le photovoltaïque prend une place importante

Pour découvrir ce phénomène, nous avons rappelé dans ce chapitre quelques notions de base sur le rayonnement solaire et les propriétés des semi-conducteurs ; matériaux de base des cellules photovoltaïques. Une fois ces rappels théoriques sont faits, il nous sera facile de présenter le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque en passant au système photovoltaïque complet et à ses trois types à savoir [2] :

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

## 2 Historique de l'énergie photovoltaïque

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 [10].

1954: Trois chercheurs américains Chapin, Pearson et Prince fabriquent une cellule Photovoltaïque [10], [11].

1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % ; les premiers satellites alimentés par des cellules Solaires sont envoyés dans l'espace [11].

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'université de Delaware [12].

1983 : La première voiture alimentée en énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 Km en Australie [10].

En 2021, 183 GW de capacités photovoltaïques ont été installés dans le monde, soit près de 40 GW de plus qu'en 2020, rapporte Bloomberg New Energy Finance (NEF). En raison de cette forte croissance, le cabinet d'analyse a revu à la hausse ses perspectives pour 2022, prévoyant que les nouvelles installations pourraient totaliser entre 204 et 252 GW. Selon tous les scénarios possibles, la barre des 200 GW devrait donc être franchie pour la première fois cette année. Globalement, les analystes de Bloomberg NEF s'attendent à une augmentation des nouvelles capacités de 81 à 92 GW cette année en Chine.

### 3 Définition de l'énergie renouvelable

Il Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain[17]. Existe cinq principaux types d'énergie renouvelable :

- L'énergie solaire.
- L'énergie éolienne.
- L'énergie hydraulique.
- La biomasse
- La géothermie. [18]

### 4 L'énergie solaire

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie permet de produire de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou de centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil qui traverse l'atmosphère et est ensuite captée par les panneaux solaires. [19]

Il peut être utilisé directement par l'homme pour l'éclairage et le chauffage. [20]

### 5 Les Rayonnements solaires

Le rayonnement solaire est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le soleil. Les rayons du soleil sont classés selon leur longueur d'onde :

Les ondes courtes et les ondes longues qui atteignent la surface de la Terre sont principalement :[3]

- Ultraviolet environ 56%
- Lumière visible environ 39%
- IR environ 5%

## 5.1 Rayonnement direct

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire qui arrive sous forme de rayons parallèles à la surface de la Terre. Elle dépend de l'épaisseur de l'atmosphère et de la pente des rayons par rapport à la Terre. [4]

## 5.2 Rayonnements diffuse

Le rayonnement diffus se produit lorsque le rayonnement solaire direct est diffusé à travers les nuages et les particules atmosphériques. et brisé par la terre. Il ne suit pas la direction indiquée par le Soleil vers le point d'observation à la surface de la Terre. [4]

## 5.3 Le Rayonnements réfléchi ou l'albédo du sol

C'est le rayonnement qui se reflète dans la Terre ou Reflétés dans les objets de surface Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, Neige ...) [3]

## 5.4 Le Rayonnement global

Le rayonnement global est divisé en rayonnements directs, diffus et reflété par le Sol). La Figure (1.1) est schématisé l'ensemble des rayonnements solaires reçus sur Une surface terrestre. [3]

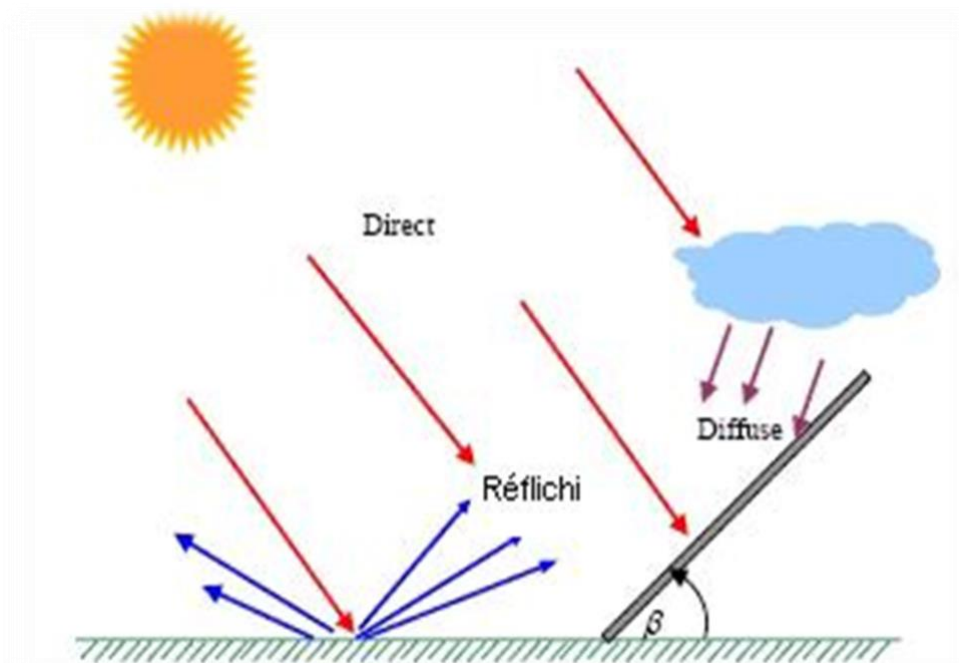


Figure (1.1) : Types de rayonnements solaires reçus au sol.[42]



## **6 Les types d'énergies solaires**

Il existe trois types solaires.

### **6.1 Energie solaire thermique**

L'énergie solaire thermique est l'énergie thermique du rayonnement solaire. Elle est captée dans le but d'échauffer un fluide. L'énergie reçue par le fluide peut être ensuite utilisée directement (par exemple pour chauffer un bâtiment) ou indirecte (par exemple pour produire de la vapeur d'eau pour entraîner une turbine et ainsi obtenir de l'électricité). C'est ainsi une forme d'énergie solaire, provenant de la chaleur transmise par le Soleil par rayonnement

Le rayonnement direct du soleil est concentré par un collecteur sur un échangeur où il est donné à un liquide, qui soit s'évapore directement, soit transporté la chaleur vers un générateur de vapeur. Tous les systèmes partagent un certain nombre de composants : un accumulateur qui concentre la chaleur, un liquide ou un gaz qui transfère la chaleur à un point d'extraction, un évaporateur, un condenseur, une turbine ou un alternateur. [5]

### **6.2 Energie solaire photovoltaïque**

Contrairement à l'énergie solaire thermique, qui utilise le Soleil comme source de chaleur, l'énergie solaire photovoltaïque utilise le Soleil comme source de lumière en convertissant de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. [9]

### **6.3 Energie solaire thermodynamique**

Le solaire thermodynamique ou CSP (Concentrated Solar Power) désigne l'ensemble des techniques visant à transformer l'énergie du rayonnement solaire en chaleur pour la convertir en énergie électrique, au moyen d'un cycle thermodynamique moteur couplé à une génératrice électrique (une turbine et un générateur). Le solaire thermodynamique est principalement destiné aux pays à fort ensoleillement et permet, contrairement aux centrales photovoltaïques, de lisser plus facilement la production grâce à un stockage thermique tampon moins onéreux que les systèmes de batterie. [21]

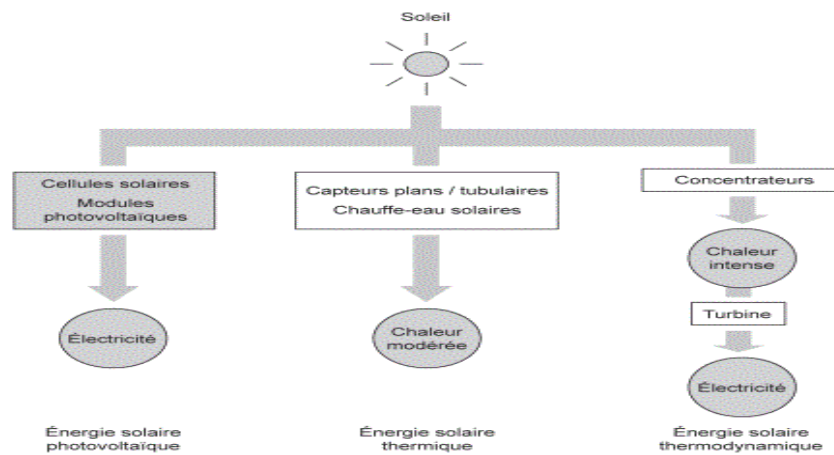


Figure (1.2) : Les différents modes d'exploitation de l'énergie solaire.[6]

## 7 Les Systèmes photovoltaïque

Un système photovoltaïque est un système conçu pour fournir de l'énergie solaire utilisable via des cellules photovoltaïques. Il se compose d'un agencement de plusieurs composants, y compris un panneau solaire pour absorber et convertir la lumière du soleil en électricité, un onduleur solaire pour convertir la sortie du courant continu en courant alternatif, ainsi qu'une installation, des câbles et d'autres accessoires électriques pour créer un fonctionnement système. Il peut également utiliser un système de suivi solaire pour améliorer les performances globales du système et comprend une batterie intégrée.

Les systèmes PV vont des petits systèmes montés sur le toit ou intégrés au bâtiment avec des capacités de quelques à plusieurs dizaines de kilowatts, aux grandes centrales électriques à grande échelle dans les centaines de mégawatts. De nos jours, la plupart des systèmes photovoltaïques sont connectés au réseau, tandis que les systèmes hors ligne ou autonomes représentent une petite partie du marché.

Les systèmes photovoltaïques fonctionnent en silence et sans pièces mobiles ni émissions environnementales.[7]

### 7.1 Les types de Systèmes photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques les plus utilisés sont de deux types : autonome et raccordé au réseau. [8]

### 7.1.1 Système photovoltaïque autonome

Il s'agit d'un système de production d'énergie électrique autonome, non raccordé au réseau public de distribution d'électricité. Ces systèmes nécessitent l'utilisation de batteries cumulatives pour stocker l'énergie dans coucher de soleil, comme le montre la figure(1.3).

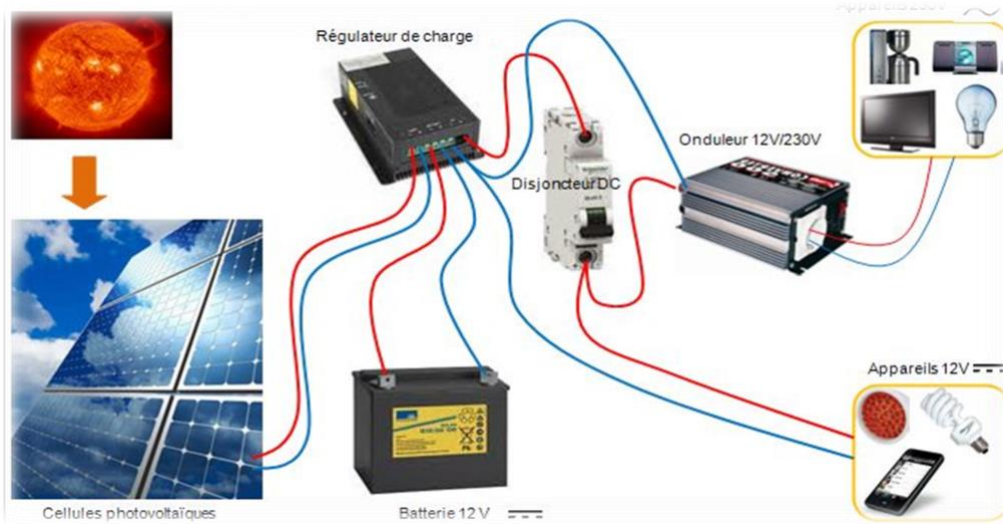


Figure (1.3) : Système photovoltaïque autonome. [43]

### 7.1.2 Système photovoltaïque raccordé au réseau

Les systèmes photovoltaïques connectés au réseau constituent la plus grande partie des installations photovoltaïques dans le monde. Les cellules photovoltaïques au réseau sont constituées de systèmes de production photovoltaïque qui peuvent être centralisés ou décentralisés. Ces systèmes sont constitués de modules solaires photovoltaïques reliés entre eux (en série et en parallèle) et connectés à un ou plusieurs des onduleurs eux-mêmes connectés au réseau de distribution ou de transport d'électricité. Figure(1.4)

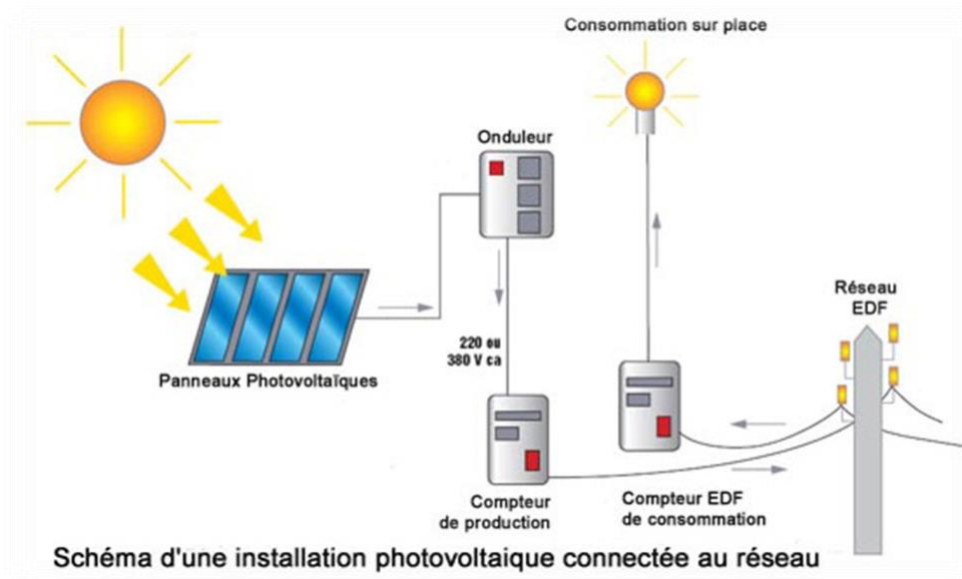


Figure (1.4) : schéma d'une installation photovoltaïque connectée au réseau.[44]

## 8 Avantages et inconvénients pour les systèmes photovoltaïques

### 8.1 Avantages

- L'énergie photovoltaïque est évolutive et répond à tous les besoins.
- Les panneaux photovoltaïques peuvent être utilisés aussi bien en ville qu'à la campagne.
- La vente d'une production excédentaire permet aux propriétaires de consommer les investissements faits pendant l'installation.
- Les panneaux résistent aux intempéries et froid.
- Les panneaux ont une durée de vie de 20 à 35 ans. [22]

### 8.2 Inconvénient

- La production photovoltaïque est de haute technologie et nécessite des investissements à coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 31%).
- Les générateurs photovoltaïques ne sont concurrence par rapport aux générateurs diesel que pour une faible demande d'énergie dans des zones isolées.
- Lorsqu'il est nécessaire de stocker l'électricité sous forme chimique (batterie), le coût d'un générateur photovoltaïque augmente.
- L'accumulation de poussière à la surface des panneaux solaires entraîne une diminution de l'énergie produite Ce qui affecte grandement les panneaux solaires. La perte d'énergie

augmente avec l'augmentation de la densité de poussière, ce qui entraîne une diminution du rendement énergétique normal et affecte ainsi le mécanisme de charge des batteries. [23]

## 9 Etat de l'art des système PV

Les générateurs photovoltaïque sont par leur nature des système non linéaire ils font l'objet des grandes et variations environnementales qui influent sur leur fonctionnement qui sont Spécialement leclairem(l'isolation) et la température de la cellule [5].La première génération des système photovoltaïque utilisé pour le pompage constitue d'un générateur et une charge seulement correspond à un couplage direct; c'est le couplage le plus simple a réaliser et le moins couteux[11].

Appel Baum Analyse le comportement dynamique d'un moteur a courant continue alimente par un générateur photovoltaïque : le moteur a commencer a 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 [13].

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 [16].

**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 de l'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 [15].

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 tels 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 [15], [13].

## **10 Conclusion**

Ce chapitre a été consacré pour présenter l'énergie photovoltaïque, les systèmes photovoltaïques et leurs différents types. Ensuite on a fait un rappel sur les Avantages et les inconvénients de systèmes PV, dans le chapitre suivant sera réservé à l'étude du principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

## **Chapitre 2**

# **Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque**

## 1 Introduction

Le physicien français A. Becquerel découvrit l'effet photoélectrique en 1839. Le mot « photovoltaïque » vient du mot « photo » (du grec « phos » signifiant « lumière ») et du mot « volt » (le surnom d'un physicien Alessandro Volta qui fit une contribution très importante à la recherche de l'électricité).

Le développement des cellules solaires a été suivi de développements dans l'industrie des semi-conducteurs, en particulier ceux de la fabrication du silicium qui est le matériau principal à partir duquel les cellules sont fabriquées. Les premières cellules ont été conçues pour permettre à la source d'énergie de fonctionner pendant plusieurs années sur des satellites. Les grandes entreprises de l'électronique se sont d'abord intéressées à cette technologie pour alimenter des lieux isolés (compteurs, communications, balises, etc.) avant que les chocs pétroliers successifs ne renouvellent leur intérêt dans les années 1970. A partir de cette période, des sociétés spécialisées dans ce domaine se créent, d'abord aux Etats-Unis, puis au Japon et en Europe.

La technologie des cellules au silicium est maintenant bien comprise et de nouveaux développements sont axés sur l'amélioration de l'efficacité et la réduction des coûts de fabrication. Parallèlement à ces produits existants, de nouvelles cellules, utilisant des phénomènes similaires à la photosynthèse, pourraient apparaître sur le marché dans la prochaine décennie si les développements prometteurs obtenus en laboratoire se matérialisent en produits industriels.

## 2 La cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et convertit directement l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Les cellules photovoltaïques sont constituées, figure (2.1) :

- ✓ Une fine couche de semi-conducteur (un matériau à bande interdite, qui agit comme une barrière énergétique que les électrons ne peuvent jamais franchir sans excitation externe, et dont les propriétés électriques peuvent varier) comme le silicium, un matériau à relativement bonne conductivité.
- ✓ D'une couche antireflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires.
- ✓ D'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur

Le dessous ou anode.



Les plus récents ont même une nouvelle combinaison de multicouches réfléchissantes juste en dessous du semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps pour améliorer le rendement.

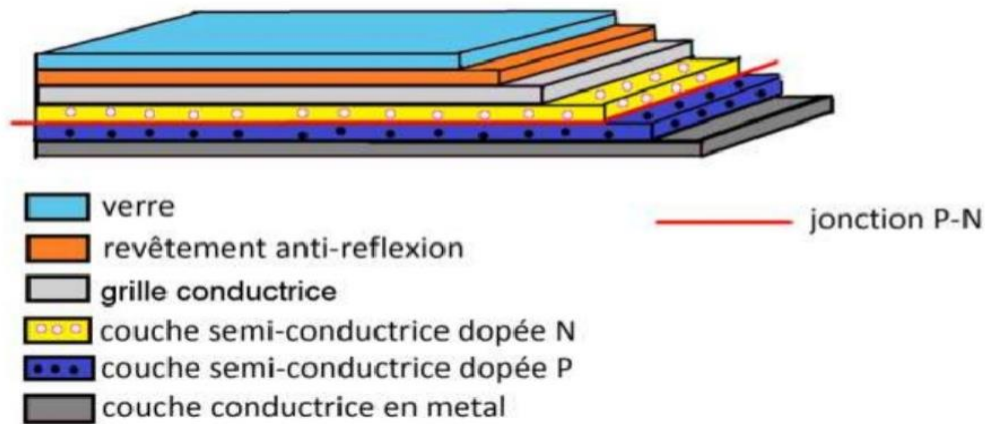


Figure (2.1) : structure basique d'une cellule solaire. [33]

Une cellule photovoltaïque repose sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule.[25]

### 3 Conversion photovoltaïque

#### 3.1 Semi-conducteur

Un semi-conducteur est un matériau qui a les caractéristiques électriques d'un isolant, mais pour lequel la probabilité qu'un électron puisse contribuer à un courant électrique, bien que faible, est suffisamment grande. Les quatre électrons de valence du silicium permettent de former quatre liaisons covalentes avec un atome voisin, figure 2.2).

En d'autres termes, la conductivité électrique d'un semi-conducteur est intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants.[26]

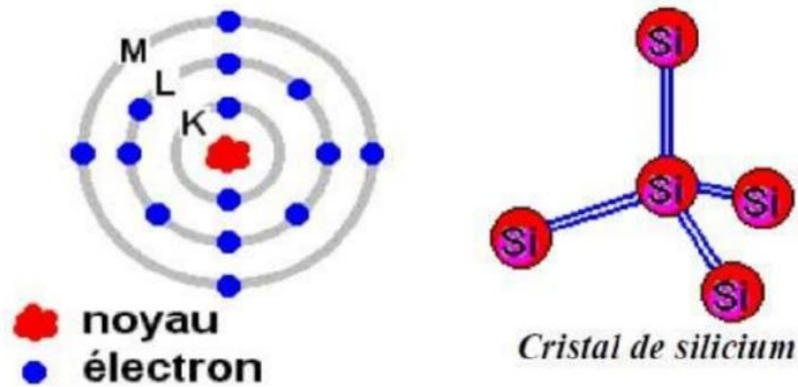


Figure (2.2) : le semi-conducteur (silicium).[45].[46]

### 3.2 Le dopage de semi-conducteur

Pour augmenter la conductivité des semi-conducteurs on y introduit des impuretés. Ce procédé est appelé dopage.

#### 3.2.1 Dopage de type N

L'atome de silicium pentavalent lent (phosphore p) est remplacé. Figure (2.3). Quatre d'entre eux assurent les conductivités avec les atomes de silicium voisins et le cinquième reste disponible, et il sera très facilement excité vers la bande de conduction par agitation thermique.

D'où le nombre d'électrons libres qui va augmenter de manière exponentielle: dans ce cas le nombre de trous est bien inférieur au nombre d'électrons libres, on obtient donc un cristal dopé (négatif). [26]

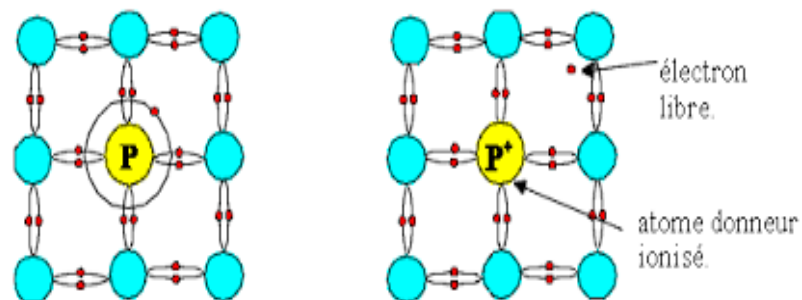


Figure (2.3) :dopage de semi-conducteur de type N. [26]

### 3.2.2 Dopage de type P

De la même manière que nous présentons les atomes trivalents, Figure (2.4) Ses trois électrons assureront des liaisons covalentes avec trois atomes adjacents mais laisseront un trou au quatrième. Ce trou ne se déplace pas à pas dans le cristal pour créer un courant.

Ici, le nombre de trous est beaucoup plus élevé que le nombre d'électrons libres dans le cristal intrinsèque, nous obtenons donc un cristal dopé P (positif), l'impureté la plus souvent utilisée est le B-bore. [26]

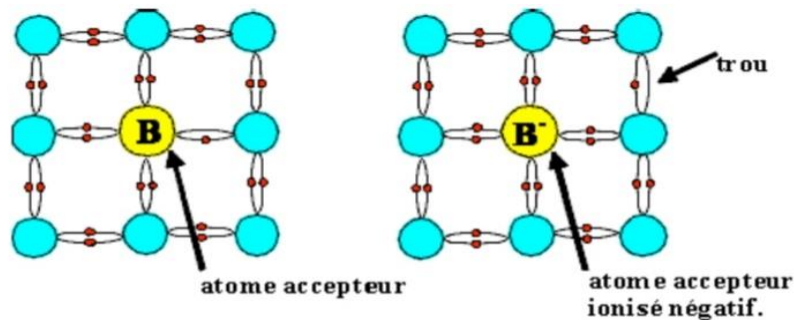


Figure (2.4) :dopage de semi-conducteur de type p. [26]

### 3.3 La Jonction PN

Une jonction est l'accolement d'une région dopé P et d'une région dopée N. Lors de cet assemblage, les porteurs libres s'attirent et se recombinent dans la région d'intersection où les porteurs libres disparaissent : c'est la région de transition. Il ne reste donc que des ions dans cette région ce qui va créer un champ électrique interne au niveau du plan de jonction (Fig. 2.5) qui empêche les charges libres restant dans chaque région de traverser la jonction pour se recombiner. [26]

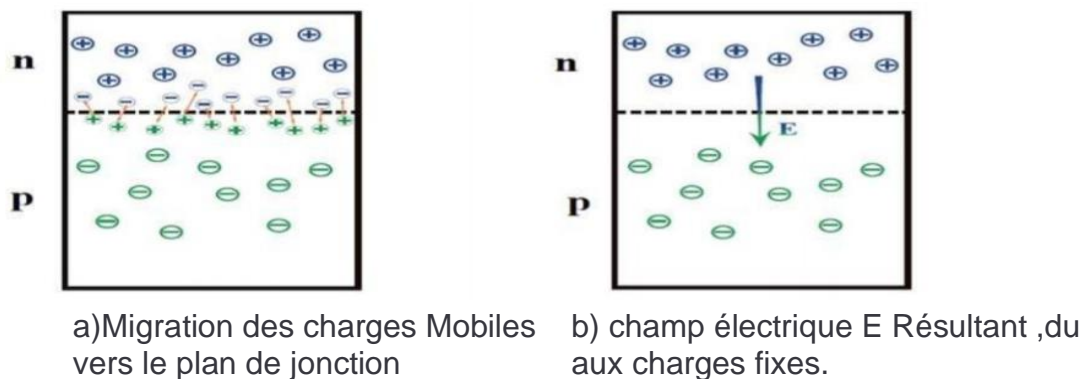


Figure (2.5) : La jonction PN

## 4 Effet photovoltaïque

La conversion de l'énergie solaire en énergie électrique repose sur l'effet photovoltaïque, figure (2.6), c'est-à-dire sur la capacité des photons à créer des porteurs de charge (électrons et trous) dans un matériau. Lorsqu'un semi-conducteur est éclairé par un rayonnement de longueur d'onde appropriée (l'énergie des photons doit être au moins égale à celle de la bande interdite du matériau), l'énergie des photons absorbés permet des transitions électroniques de la bande de valence vers la bande de conduction du semi-conducteur, générant ainsi des paires électron-trou, qui peuvent contribuer au transport de courant (photoconductivité) par le matériau lorsqu'il est polarisé.

Si nous éclairons maintenant une jonction PN représentée sur la figure (2.5), les paires électron-trou créées dans la région de charge d'espace de la jonction seront instantanément séparées par le champ électrique dominant cette région, et tracées dans les zones neutres de chaque côté de la jonction. Si l'appareil est isolé, une différence de potentiel apparaît aux bornes de la jonction (photovoltaïque), s'il est relié à une charge électrique externe, on observe la circulation d'un courant lorsqu' aucune tension n'est appliquée à l'appareil. C'est le principe de base de la cellule photovoltaïque. [24]

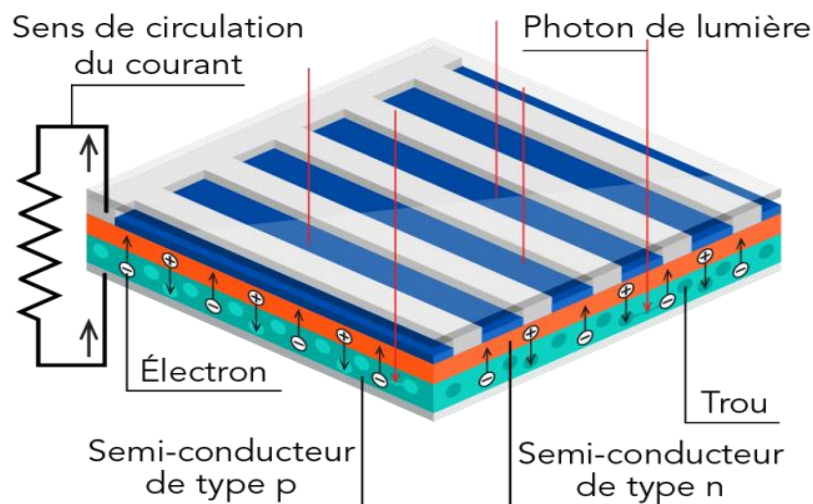


Figure (2.6) : l'effet photovoltaïque[47]

## 5 Principe de fonctionnement

Pour créer un courant électrique dans un semi-conducteur, il faut lui fournir une énergie qui permet d'extraire des électrons de la bande de valence pour les transférer dans la bande de conduction, soit une énergie supérieure au gap de la bande interdite. La lumière dont les photons transportent une énergie :

$E = h\nu$  Permet d'atteindre cet effet : c'est l'effet photovoltaïque.

La lumière pénétrant dans un semi-conducteur permet donc, si son énergie est supérieure au gap de faire passer le semi-conducteur de l'état isolant à l'état conducteur, ce phénomène augmente lorsque la température du semi-conducteur s'élève. Lorsqu'un électron

est extrait de la bande de valence pour passer dans la bande de conduction, il laisse derrière lui une vacance ou un trou à sa place, alors un autre électron proche de la bande de valence peut combler ce trou et laisser derrière lui à son tour un trou, on aura ainsi établi un courant de trous. Les deux types de courant ne seront pas différenciés, on parlera simplement de courant, qu'il s'agisse d'électrons ou de trous.

De même on dit que l'absorption de l'énergie des photons par le semi-conducteur crée des paires de porteurs électron-trou. L'effet photoélectrique modifie simplement la conductivité électrique de certains semi-conducteurs, ceci est utilisé pour fabriquer des résistances dépendant de la lumière, composants largement utilisés dans les appareils photographiques et partout où la lumière doit être mesurée. Pour transformer le semi-conducteur photosensible décomposant passif en composant actif, il faut pouvoir générer un courant de porteurs, donc apporter une force qui obligera les électrons et les trous à s'écouler dans deux directions opposées. Cette force sera réalisée par un champ électrique interne provenant du dopage du semi-conducteur. [27]

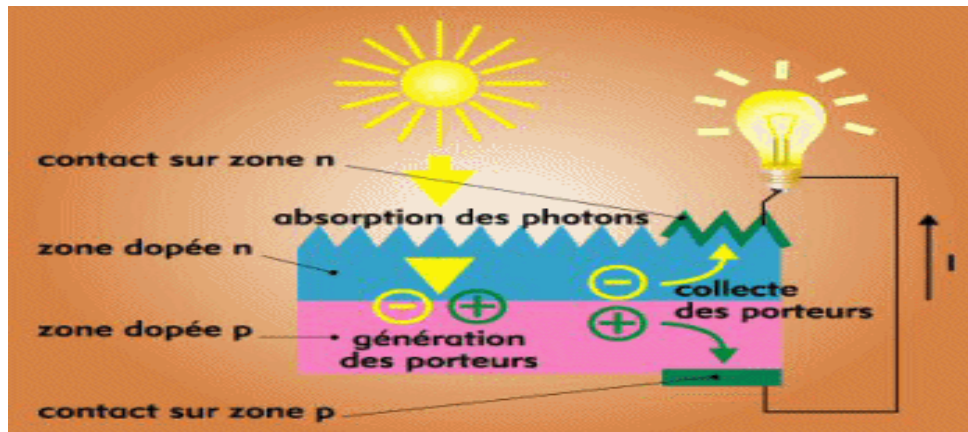


Figure (2.7) : le principe de fonctionnement d'une cellule PV.[48]

## 6 Les types des cellules photovoltaïque

Les différentes techniques utilisées aujourd'hui ont permis de développer différents types de cellules au silicium : monocristallines, poly cristallines, amorphes.

Il existe également d'autres types de cellules qui utilisent d'autres types de matériaux.

### 6.1 Cellule en silicium monocristalline

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie, formant un seul gros cristal. Le cristal est ensuite découpé en tranches fines qui donneront les cellules.

Ces cellules sont généralement d'un bleu uniforme, figure (2.8). Les cellules monocristallines sont les plus commercialisées offrant un bon rendement électrique entre 18% et 22% mais nécessitent un processus de production plus complexe et donc coûteux.

En effet, l'obtention d'un cristal pur nécessite une grande quantité d'énergie. [28]



Figure (2.8) : Cellule photovoltaïque monocristalline.[49]

## 6.2 Cellule en poly-cristalline

Lors du refroidissement du silicium dans une lingotière, plusieurs cristaux se forment. La cellule photovoltaïque a un aspect bleuté, mais non uniforme, figure (2.9). nous pouvons distinguer les motifs créés par les différents cristaux. Les cellules poly cristallines ont un rendement électrique compris entre 14% et 18%. Leur processus de fabrication consomme moins d'énergie. Elles ont ainsi un coût de productions inférieures mais un rendement légèrement inférieur à celui des cellules monocristallines. [28]

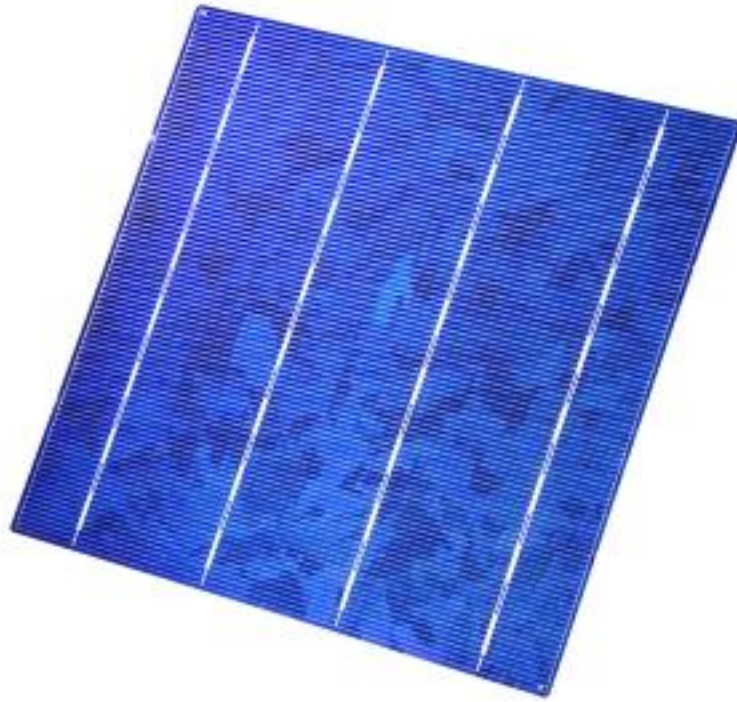


Figure (2.9) : Cellule photovoltaïque poly-cristallin.[50]

### 6.3 Cellule amorphe

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est marronne, figure (2.9). C'est la cellule des calculatrices et des montres dites « solaires », leurs coûts de fabrication sont les plus intéressants, mais elles ont un rendement compris entre 5 et 7%. [28]



Figure (2.10): Cellule photovoltaïque amorphe.[51]

## 7 Les différents composants d'un système solaire photovoltaïque

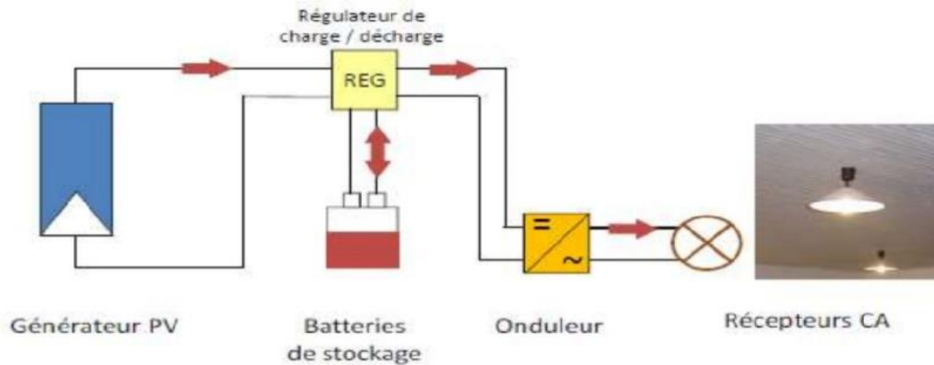


Figure (2.11) : les différents composants d'une installation photovoltaïque [32].

### 7.1 Batteries

Le stockage d'énergie dans les systèmes photovoltaïques s'effectue exclusivement à l'aide des batteries d'accumulateurs.

Dans le système photovoltaïque, la batterie remplit trois fonctions importantes :

- ✓ **Autonomie** : Une batterie peut répondre aux besoins de la charge à tout moment, même la nuit ou par temps nuageux.
- ✓ **Courant de surcharge** : Une batterie peut fournir un courant de surcharge pendant quelques instants, c'est-à-dire un courant supérieur à celui que peut fournir le champ PV. Ceci est nécessaire pour démarrer les moteurs et autres appareils nécessitant un courant de démarrage 3 à 5 fois supérieur au courant de fonctionnement.
- ✓ **Stabilisation de la tension** : Une batterie aide à fournir une tension constante, éliminant les écarts de tension de champ PV et permettant aux appareils de fonctionner à une tension optimisée.

#### 7.1.1 Types d'accumulateurs

Plusieurs types d'accumulateurs sont en vente sur le marché. Le plus connu et le plus utilisé dans le photovoltaïque c'est l'accumulateur au plomb.

##### • Les Accumulateurs au plomb acide

C'est la technologie la plus largement utilisée dans les systèmes solaires autonomes. Il offre actuellement la meilleure réponse en termes de prix et de durée de vie. De plus, il possède



les caractéristiques les plus souhaitables d'une batterie solaire, à savoir un rendement élevé, une longue durée de vie avec un grand nombre de cycles et une faible autodécharge. En revanche, les batteries nickel-cadmium sont plus chères, elles sont utilisées dans des applications où la fiabilité est vitale. [30]

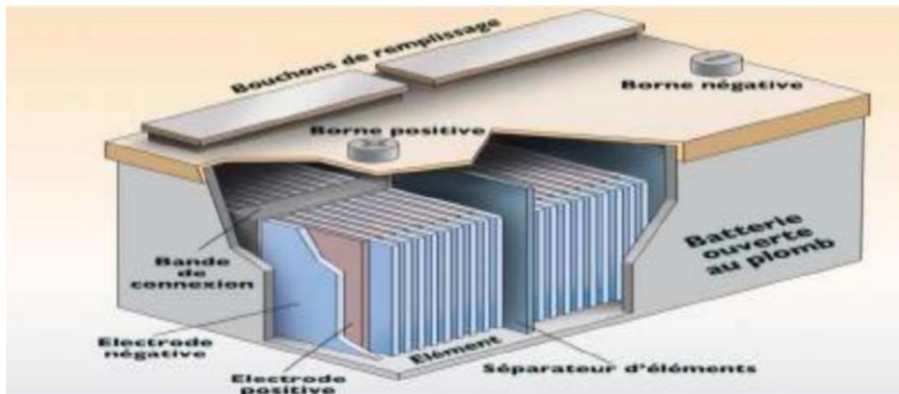


Figure (2.12) : batterie ouverte au plomb.

#### ✓ **Les Accumulateurs au Nickel - cadmium**

Les batteries au nickel-cadmium ont une structure physique similaire à celle du plomb Acide. Au lieu de plomb, ils utilisent de l'hydroxyde de nickel pour les plaques positives et de l'oxyde de cadmium pour les plaques négatives. L'électrolyte est l'hydroxyde de potassium.

La tension de ce type d'accumulateur varie entre 1,15 et 1,17 Volts, par cellule selon l'état de charge. Le rendement énergétique est d'environ 70 %. Malgré un prix encore prohibitif. Ce type d'accumulateur présente de nombreux avantages :

- Très bonne résistance mécanique.
- Possibilité de supporter des décharges profondes.
- Pas d'émanations toxiques à partir de l'électrolyte.
- Ne craint pas de gel. [29]

#### ✓ **Les Accumulateurs NiMH (Nickel-Métal-Hydrure)**

Ces batteries remplacent les NiCD car elles sont moins toxiques. Ils sont cependant assez chers et sont utilisés dans des installations haut de gamme. Leur durée de vie est bien supérieure à celle des batteries au plomb (50% de plus) mais leur capacité est extrêmement faible (quelques Ah tout au plus). [34]

#### ✓ **Les Accumulateurs Li-ion (Lithium-ion)**

- Son énergie spécifique est très élevée, ce qui fait de la batterie Li-ion l'une des plus légères et des moins encombrantes.
- Son rendement est excellent et son autodécharge relativement faible. Le gaspillage est donc réduit.

Un système de sécurité supplémentaire y est intégré car cette batterie présente des risques d'explosion lorsqu'elle est surchargée, trop déchargée ou court-circuitée. Sa durée de vie est d'environ 3 ans. [35]

### 7.1.2 Comparaison des types de batteries en énergie massique

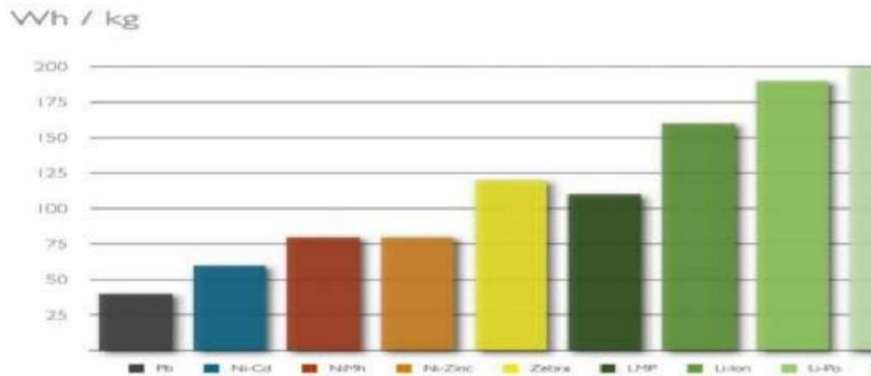


Figure (2.13) : Comparaison des différents types de batteries en énergie massique [32]

### 7.1.3 Composition d'une batterie solaire plomb- acide

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plomb dans une solution d'acide sulfurique, figure (2.14). La plaque est constituée d'une grille en alliage de plomb avec une pâte d'oxyde de plomb incrustée sur la grille. La solution d'acide sulfurique et d'eau est appelée électrolyte.

Le matériau de la grille est un alliage de plomb car le plomb pur est un matériau physiquement faible, et peut se casser pendant le transport et l'entretien de la batterie. [30]

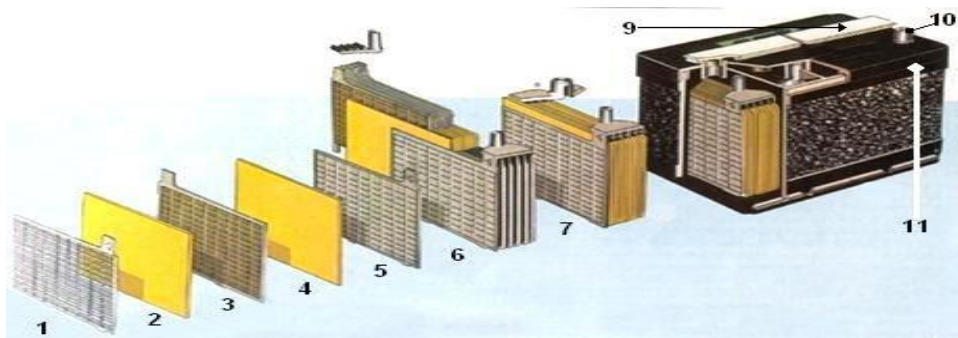


Figure (2.14): Composition d'une batterie monobloc. [30]

- |                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| 1 : Grille.            | 7 : Élément couplet.    |
| 2 : Séparateur.        | 8 : Élément couplet.    |
| 3 : Plaque positive.   | 9 : Pont.               |
| 4 : Plaque négative.   | 10 : Rampe de bouchons. |
| 5 : Barrette           | 11 : Borne.             |
| 6 : Faisceau négative. | 12 : Bac                |

**7.1.4 Principe de fonctionnement**

Une réaction chimique se produit lorsque la batterie alimente une charge connectée à ces deux électrodes. Pendant la décharge, il y a une oxydation au niveau de la plaque négative qui entraîne une perte d'électrons et une réduction au niveau de la plaque positive ou un gain d'électrons.

L'électrolyte présent dans la batterie facilite le mouvement des charges électrochimiques sous forme d'ions

Le processus inverse se produit lorsque la batterie se recharge, une force électromotrice apparaît immédiatement entre les deux électrodes. [29]

**7.1.5 Calcul de la capacité des Batteries**

La quantité d'énergie qu'une batterie peut stocker est définie par sa capacité C, mesurée en ampère-heure (Ah). [36]

$$C = \frac{E_C \cdot N}{D \cdot U} \dots\dots\dots 1$$

C: Capacité de la batterie en ampère. Heure(Ah) .

EC: Énergie consommée par jour(Wh/j) .

N : Nombre de jour d'autonomie(0,8 pour les batteries au plomb) .

D : Décharge maximale admissible

E : Tension de la batterie(V).

**7.1.6 La durée de vie d'une batterie solaire**

La durée de vie d'une batterie solaire s'apprécie en fonction du nombre de cycles de charge/décharge qu'elle est capable de supporter. Parce que c'est une donnée basée sur un niveau de décharge et sur des conditions atmosphériques données.

La durée de vie d'une batterie solaire dépend d'abord de la technologie utilisée : plomb ouvert, AGM, GEL.

Ensuite les batteries solaires vieillissent en raison des charges et décharges, le nombre de cycles dépend principalement de la profondeur habituelle de décharge. Pour donner un ordre d'idée, pour des décharges de l'ordre de 40% on peut estimer les durées de vie suivantes pour les différents types de batteries à décharge lente : [36]

- Batterie solaire au plomb ouverte : 400 à 500 cycles
- Batterie solaire AGM (Absorbed Glass Mat) : 600 à 700 cycles
- Batterie solaire GEL: 800 à 900 cycles
- Batterie solaire GEL Long Life : 600 à 2400 cycles.

## 7.1.7 les critères de choix d'une batterie solaire

### 7.1.7.1 critères techniques

- Les batteries solaires subissent un grand nombre de cycles de charge/décharge et leur état de charge change tout au long de la journée et encore plus au cours des saisons : la plupart des batteries se déchargent souvent à la sortie de l'hiver.
- Les batteries solaires doivent supporter un grand nombre de cycles et doivent supporter la décharge profonde.
- Les batteries sont généralement installées et peuvent supporter plus de 300 cycles à 80% de décharge.
- Une batterie solaire doit résister à une profondeur de décharge pouvant dépasser les 80% et 100% de décharge (mauvais ensoleillement, forte consommation électrique occasionnelle, tension de coupure des convertisseurs trop faible (10,5 V)...).

Obtenir du courant électrique à partir de panneaux solaires reste coûteux et la batterie solaire optimale doit stocker l'énergie électrique avec le moins de perte possible (bonne rendement de charge).

Une batterie déchargée doit accepter toute l'énergie provenant des panneaux solaires afin de ne pas gaspiller l'énergie produite coûteusement. L'acceptation de charge d'une batterie solaire doit être bonne pour que les batteries se rechargent rapidement. Une fois stockée sous forme chimique, cette énergie électrique ne doit pas être perdue : l'autodécharge de la batterie doit être la plus faible possible.

Une bonne acceptation de la charge et une faible auto décharge favorisent un état de charge élevé, ce qui a un impact direct sur la durée de vie de la batterie.

La durée de vie d'une batterie dépend beaucoup des paramètres de charge (tensions, etc.) qui eux-mêmes varient avec la température des batteries : une batterie "idéale" sera insensible à de mauvais paramètres de charge (régulateur solaire non adapté, mal réglé, pas compensation de température...). [37]

### 7.1.7.2 Critères économiques

Il est clair que le coût d'achat des batteries est un critère important...au prix initial s'ajoutent les frais liés au transport, et les coûts liés à l'entretien des batteries que nous nous efforcerons de réduire. [37]

### 7.1.7.3 Critères liés à la sécurité

L'absence de projections d'acide et de dégagement d'hydrogène est un critère important. [37]

### 7.1.8 Association de batteries

Les batteries sont combinées en série pour obtenir plusieurs tensions de (12V,24V et48V) et en parallèle pour augmenter la capacité. [29]

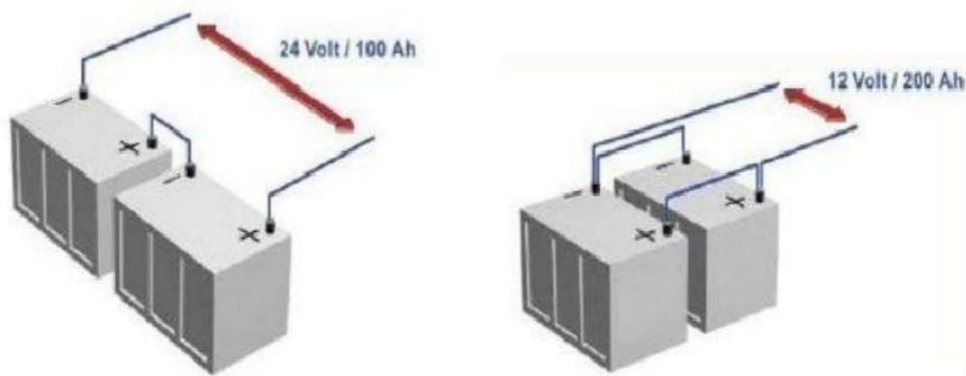


Figure (2.15) : Association de deux batteries en série / en parallèle. [29]

## 7.2 Régulateur de charge

Le régulateur de charge, placé entre les modules PV et les batteries, permet de contrôler la charge pour éviter tout dommage au stockage d'énergie (gestion de la charge et décharge de la batteries ). Il stabilise la tension des modules PV et maintient les batteries correctement chargées. [32]

### 7.2.1 Technologies des régulateurs

Il existe trois principaux groupes de régulateurs de charge, chacun utilisant une méthode de contrôle de charge différente :

- **Le type shunt** :Le courant de charge de la batterie est transféré à la résistance et le courant du circuit est réalisé au niveau des panneaux solaires photovoltaïques ; Il convient aux applications de faible puissance.
- **Le type « série »** : Le courant de charge des batteries est parfois interrompu par l'ouverture d'un circuit entre les panneaux solaires PV et les batteries ; Il convient aux applications de moyenne puissance.

Ces deux méthodes ont en commun qu'elles utilisent le niveau de tension des batteries pour déterminer quand réduire ou arrêter complètement la charge des batteries.

- **Le type MPPT (Maximum Power Point Tracker)** : Il permet d'améliorer en permanence les paramètres électriques de fonctionnement entre les trois systèmes suivants :

Les modules photovoltaïques, les batteries et les récepteurs (moteur, Pompe, éclairage, réfrigérateur, etc.)

Il y parvient en mesurant en continu la tension et le courant du panneau pour tirer de l'énergie au point de puissance maximale. Sa fonction de balayage lui permet de parcourir la tension du panneau solaire toutes les deux heures afin de trouver le point de sortie de puissance maximale. Ainsi il peut adapter la tension fournie par le panneau à la tension pouvant être absorbée par les batteries solaires. Ce type de régulateur est destiné aux systèmes de forte puissance en raison de son coût élevé. [30]

### 7.3 Onduleur

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de générer des tensions et des courants alternatifs à partir d'une source d'énergie électrique, que l'on dispose généralement soit entre le champ *PV* et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu-continu), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu-alternatif).

L'onduleur est généralement associé à un redresseur qui réalise la transformation du courant alternatif en courant continu, figure (2.16) et dont le rôle sera de charger les batteries et d'alimenter le circuit en continu de l'installation en cas de longue période sans soleil. [31]

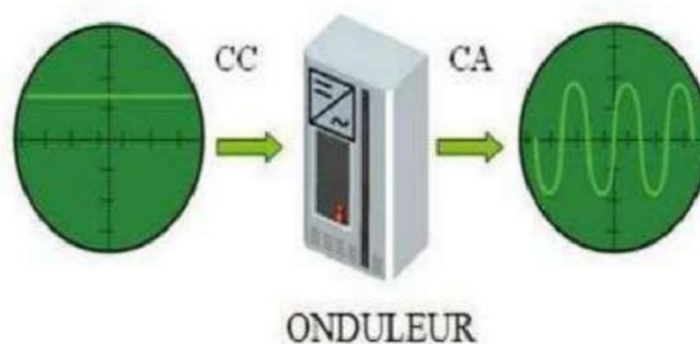


Figure (2.16) : rôle de l'onduleur. [31]

Il existe deux types d'onduleurs :

### 7.3.1 Le convertisseur continu - continu

Ce type de convertisseur est destiné à adapter à chaque instant l'impédance apparente de la charge à l'impédance du champ *PV* correspondant au point de puissance maximale.

Ce système d'adaptation est couramment appelé MPPT (maximum power point tracking). Son rendement se situe 90 et 95% entre [32]

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

- Prix élevé.
- Le gain énergétique annuel par rapport à un système moins complexe (cas de la régulation de tension) n'est pas significatif.

### 7.3.2 Le convertisseur continu - alternatif

C'est un appareil qui convertit le courant continu en courant alternatif. La formation de l'ordre de sortie peut être assurée par deux dispositifs :

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

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

Ses inconvénients sont : cherté, faible rendement (surtout pour les faibles puissances). [32]

- **Statique** : C'est ce qu'on appelle un onduleur. C'est un appareil utilisant des transistors de puissance ou des thyristors. L'onde de sortie présente, dans les cas les plus simples, une forme carrée qui peut s'adapter à certains types de charges, des pertes à vide importantes surtout pour les faibles puissances. [32]

Les onduleurs peuvent être améliorés à l'aide d'un filtrage ou par utilisation des systèmes en PWM (pulse width modulation) qui permettent grâce à la modulation de la longueur des impulsions d'obtenir une onde de sortie sinusoïdale. Avec ce système on obtient :

- Haute efficacité sur une gamme de taux de charge.
- Faibles pertes à vide. [32]

Le choix de ce type de composant découle, d'une part, de sa particularité de pouvoir commuter des valeurs de courant et de tension très élevées lors de la commutation de fréquences de plusieurs dizaines de KHz, et d'autre part, parce qu'il permet la suppression de tous les circuits auxiliaires de commutation des ensembles de thyristors

## 7.4 Boîte de jonction

En électricité, une boîte de jonction (BJ) est un boîtier électrique qui se trouve en aval d'un tableau électrique.

On place cette boîte le plus près possible des installations sur le terrain dans le but qu'il y ait une centralisation des départs vers les divers appareils électriques.

Cette boîte de jonction doit être mise à la terre (si elle est en métal), Fig. (2.17). Pour éviter le risque de choc électrique en cas de dysfonctionnement. Nous devrions également mettre un



compartiment pour éviter de toucher accidentellement les conducteurs. Les communications sont établies à l'aide de capuchons de contact ou de limites. Les fils entrant dans la boîte peuvent être dans des câbles ou dans des conduits. On les fixe à la boîte avec des connecters. [38]

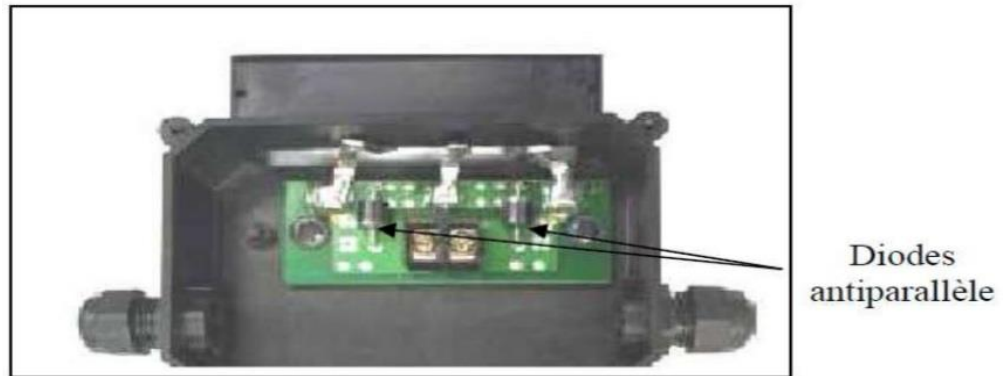


Figure (2.17) : boîte de jonction. [38]

## 8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents composants d'une installation solaire photovoltaïque avec leurs usages et principes de fonctionnements. Le bon fonctionnement de cette installation requiert un bon dimensionnement de ces composants, c'est ce que nous allons voir dans le chapitre suivant.

## **Chapitre 3**

# **Simulation numérique d'une installation photovoltaïque**

## 1 INTRODUCTION

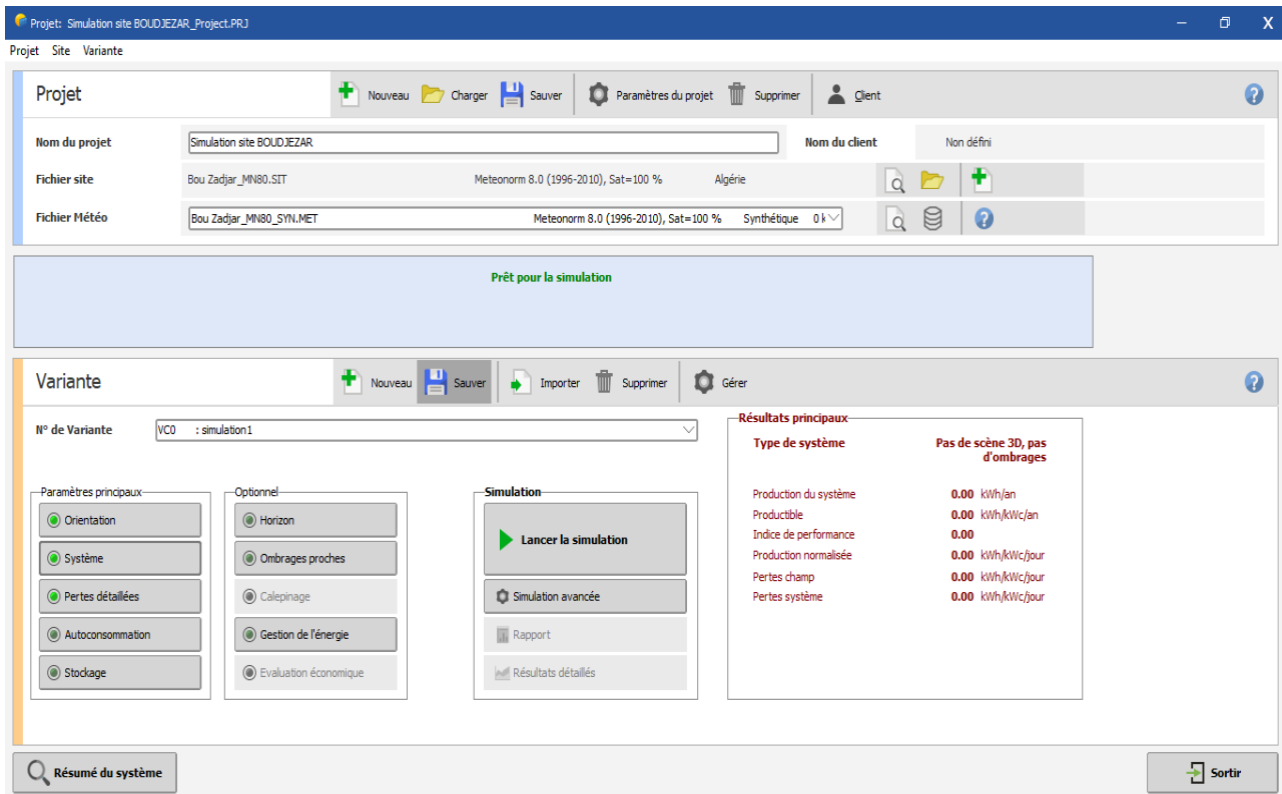
Le développement de l'industrie photovoltaïque dans l'utilisation terrestre, est lié de façon direct au coût du matériau de base [39], [40] et à l'adaptation du système au diverse utilisation domestique [39]. L'énergie solaire constitue un axe de recherche important du faite que la terre reçoit en un an une énergie supérieure à celle correspondante à l'ensemble des ressources fossiles. L'Algérie bénéficie d'une situation géographique très favorable pour le développement et l'épanouissement de ce type d'énergie, elle reçoit chaque année un fort rayonnement solaire de l'ordre de 6 KWh/m<sup>2</sup>/j.

Parmi les utilisations possibles, il existe la conversion directe en électricité par effet photovoltaïque, qui reste très chère. Son traitement et utilisation dans des régions isolées nécessite une étude assez rigoureuse, dans le but de faire le meilleur choix et le plus performant avec le moindre coût possible.

Le développement actuel du domaine de l'informatique, constitue une aide à la simulation des performance des systèmes Photovoltaïques, simuler le bon choix des éléments et une meilleur adaptation aux diverses utilisations industrielle et domestiques. L'énergie solaire a connu un développement important ces dernier années, en particulier dans les sites rurales isolées [40]

## 2 Présentation de logical PVSYST

PV syst est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais c'est 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 ergonomique 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.



Figure( 3.1) : logiciel PVSYS

### 3 Conception du Système

La conception de système est simple, rapide et facile peut se faire en quatre étapes :

- Estimation de la charge
- Estimation du nombre de panneaux PV
- Estimation du parc de batteries
- Estimation des coûts du système.

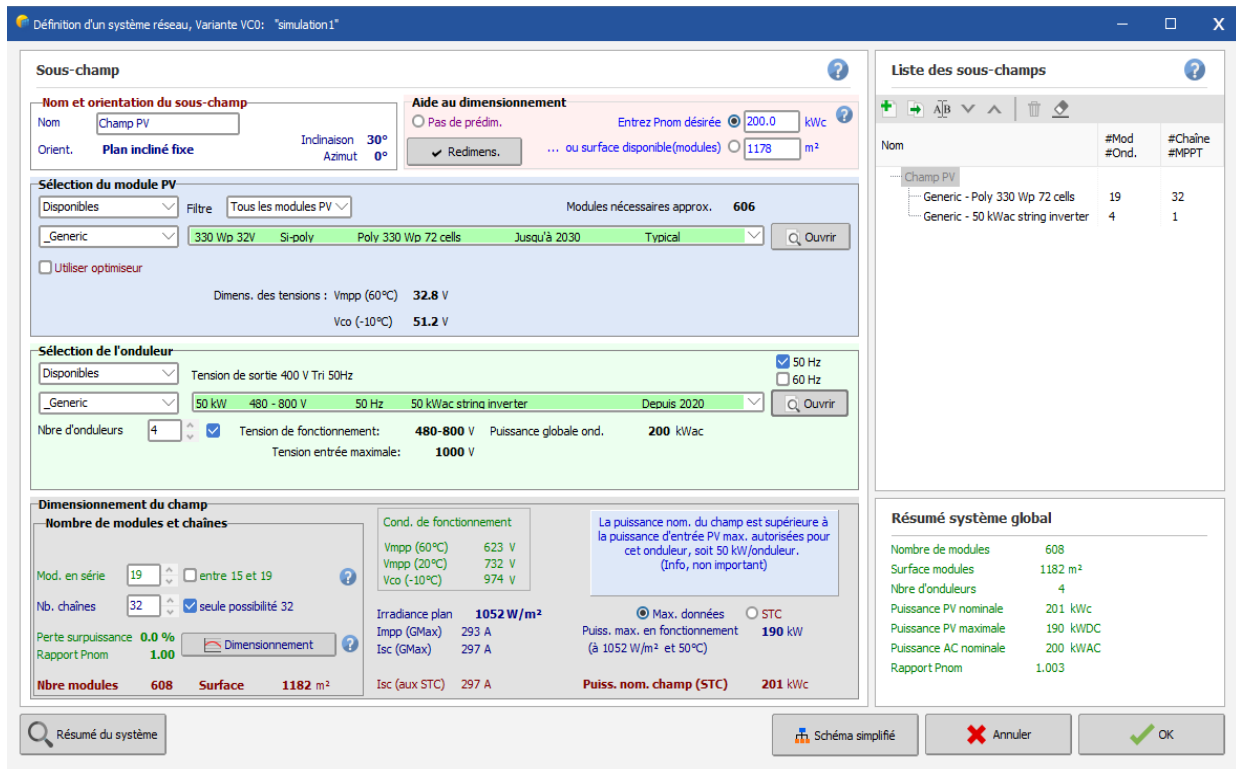


Figure (3.2 ):Configuration de system

## 4 Dimensionnement de Système

C'est un outil spécifique pour le dimensionnement du système

- Le premier diagramme montre la courbe I/V du champ PV et les contraintes de tension de l'onduleur
- Le deuxième graph montre la distribution de puissance annuelle et la puissance effective de l'onduleur
- Le dimensionnement optimal de l'onduleur est basé sur la perte de surcharge acceptable

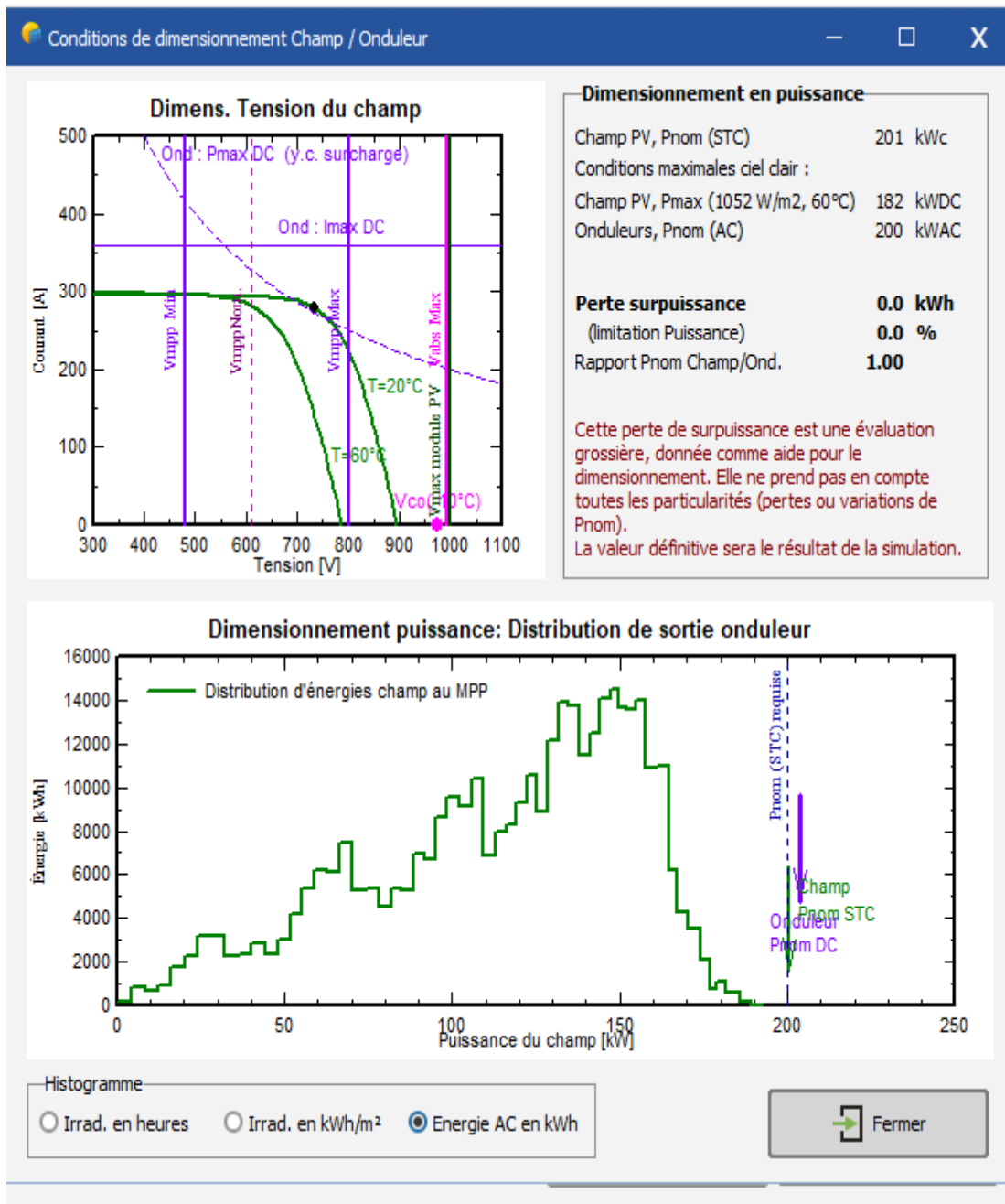


Figure (3.3) : Conditions de dimensionnement

Après un bon dimensionnement du système, on peut définir les pertes comme les pertes de câblage, les ombrages proches et loin.

### 5 La simulation numérique

La simulation calcule la distribution des énergies durant l'année, en assurant la transmission d'un rapport complet vu les résultats principaux et les paramètres impliqués aux utilisateurs.

## 5.1 Site d'implantation

Pour notre simulation nous avons choisi le site de bouzedjar la wilaya de Ain Temouchent.

## 5.2 Données géographique

Paramètres du site géographique pour Bou Zadjar\_MN80.SIT

Coordonnées Géographiques Météo mensuelle Carte interactive

**Lieu**

Nom du site: Bou Zadjar

Pays: Algérie Région: Afrique

Obtenir depuis les coordonnées

Voir carte

**Coordonnées Géographiques**

Trajectoires du soleil

Latitude: 35.5744 [°] 35 34 27 (+ = Nord, - = Hémisph. Sud)

Longitude: -1.1643 [°] -1 9 51 (+ = Est, - = Ouest de Greenwich)

Altitude: 4 M au-dessus du niv. de la mer

Fus. horaire: 1.0 Correspondant à une différence moyenne Temps Légal - Temps Solaire = 1h 5m

Obtenir depuis le nom

**Importation météo**

Meteonorm 8.0

NASA-SSE

PVGIS TMY Version: 5.2

NREL / NSRDB TMY

Solcast TMY

SolarAnywhere@TGY

Importer

Importer Exporter la ligne Exporter le tableau Nouveau Site Imprimer Annuler OK

Figure (3.4) : Les données géographiques du Bou Zadjar

5.3 Données métrologique

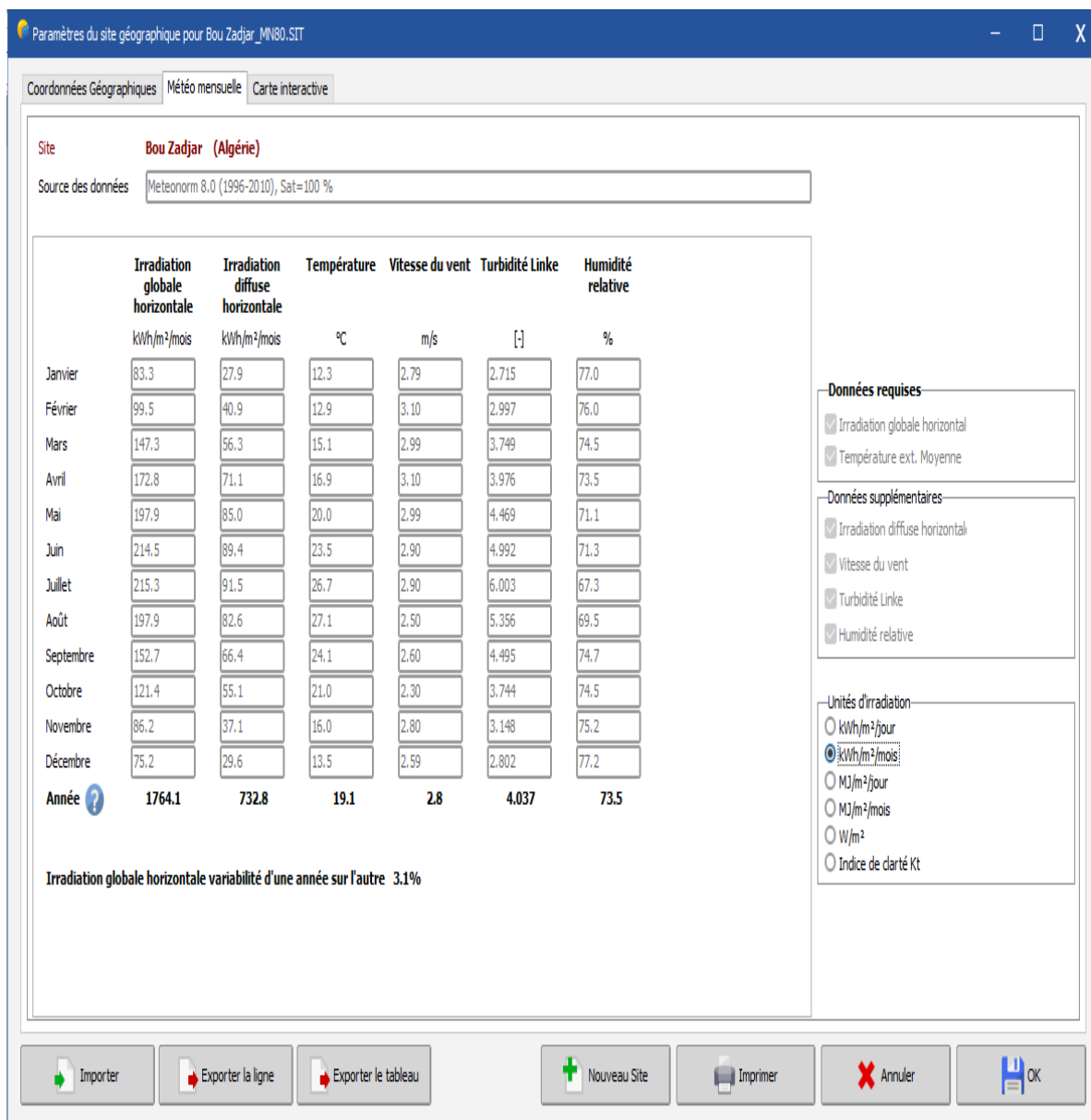


Figure (3.5) :Les donnée métrologique mensuelle duBou Zadjar

Ces données résumant la caractéristique du Bouzdar la wilaya de Ain Temouchent



## 5.4 La trajectoire du soleil

Il faut connaître le mouvement du soleil pour un point donné de la surface

La position du soleil est définie par deux angle :

- Sa hauteur angulaire au-dessus de l'horizon communément appelée l'altitude du soleil, ou encore l'angle entre le zénith du site et la direction du soleil appelé angle zénithal.
- L'azimut, qui est son angle horizontal par rapport au sud (pour l'hémisphère nord).

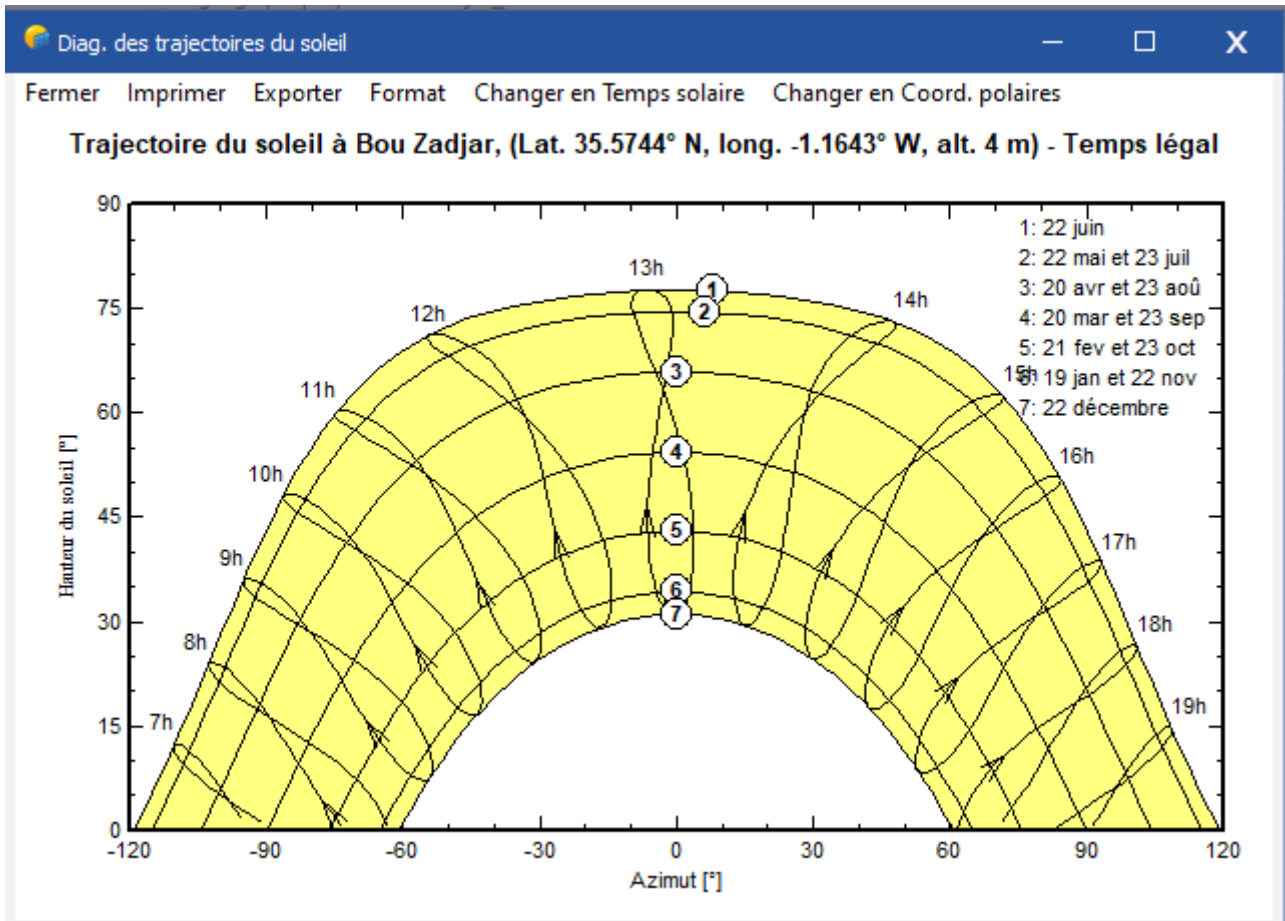


figure (3.6) :la trajectoire du soleil à Bou Zadjar

En regardant plus précisément, la valeur de l'azimut à différents moments de l'année.

En regardant en plus que le soleil est en position optimale à 13H durant l'année mais diffère durant les mois de juin et juillet.

Simulation d'une centrale PV de 200kW avec logiciel PVSYST

La simulation d'un système PV comporte :

- Le choix des composants (panneaux, onduleur, batterie....)
- La disposition du champ de capteurs
- L'estimation de l'énergie produit
- Une évaluation des couts et prix de KW/h résultant

## 6 Orientation des modules PV

Il est nécessaire de choisir orientations favorable à la production de l'énergie .

Nous avons choisi un plan incliné de 30° car c'est l'inclinaison optimale donnée par logiciel PVSYST

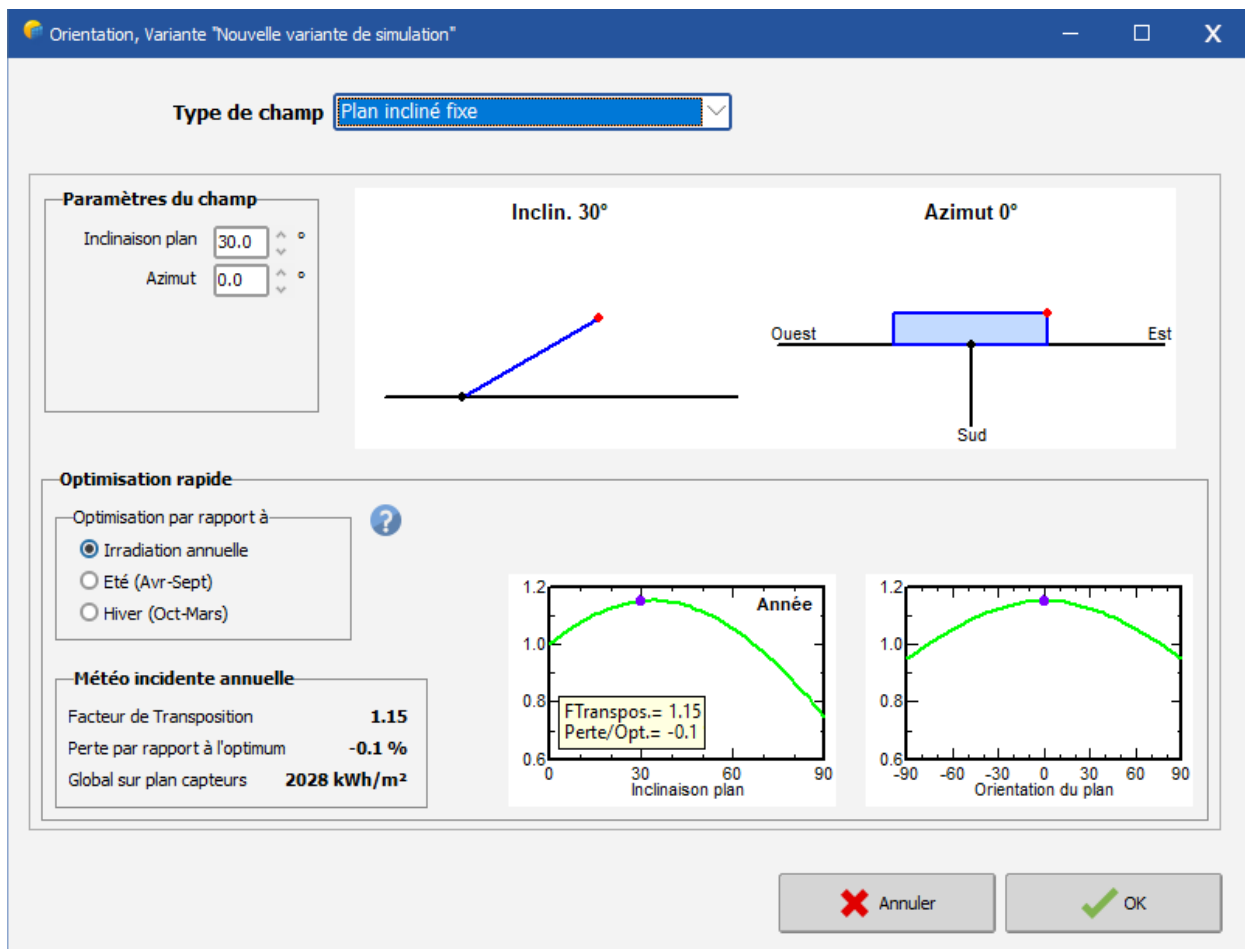


Figure (3.7) : positionnement des systèmes P

## 7 Schéma de l'installation PV

La figure représente le schéma simplifié de l'installation PV dans notre simulation

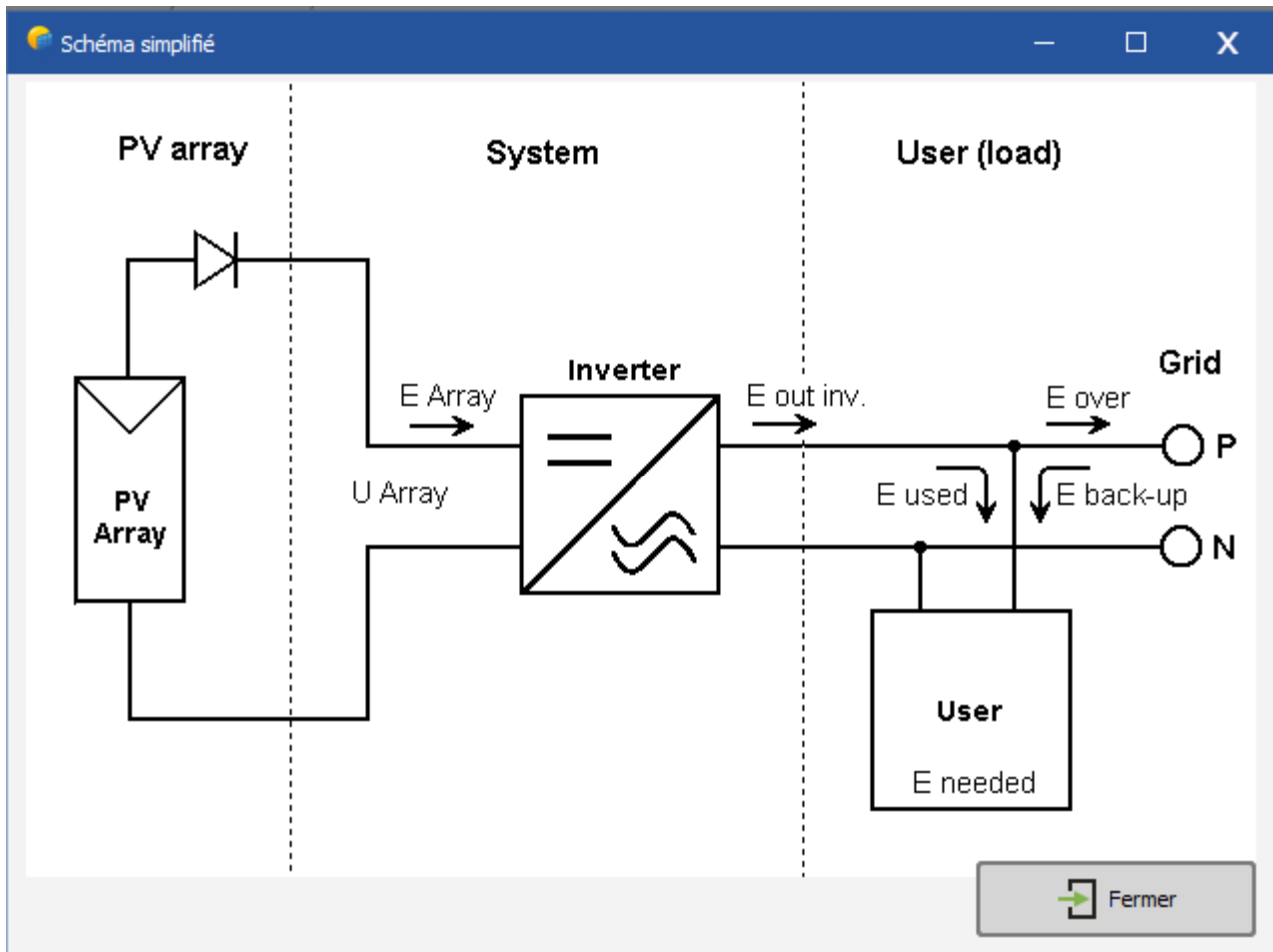


Figure (3.8) : Schéma simplifié d'une installation PV liée au réseaux

## 8 Paramètre de simulation

Caractéristique du notre module PV

- Effet de l'ensoleillement sur les caractéristiques I-V

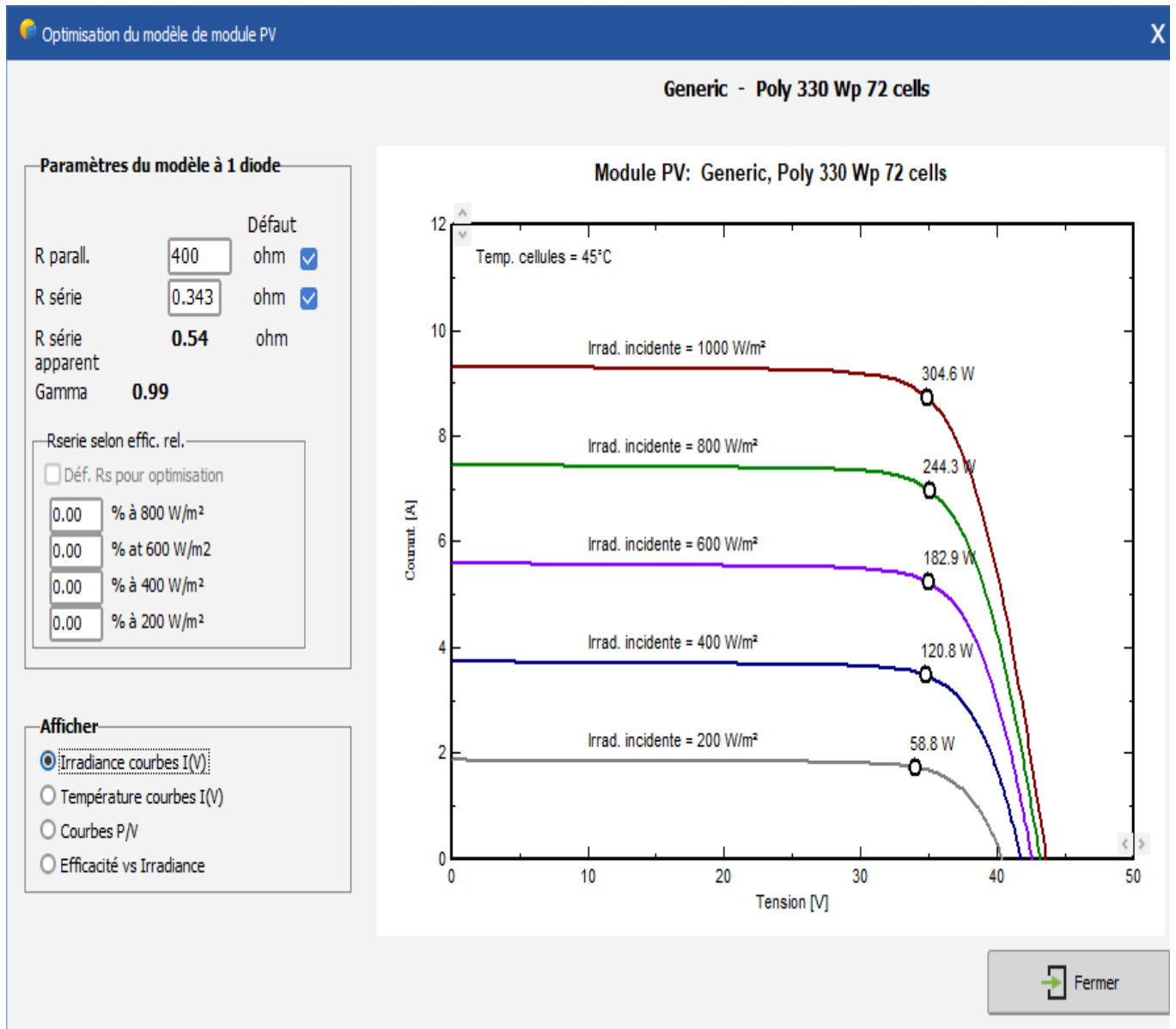


Figure (3.9) : l'effet de l'ensoleillement sur la courbe

D'après la figure on observe une variation importante du courant, mais par contre la tension se varie l'égerment car le courant est en fonction linéaire de l'éclaircement donc la puissance optimale de cellule est proportionnelle au éclaircement.

- Effet de température sur les caractéristiques I-V

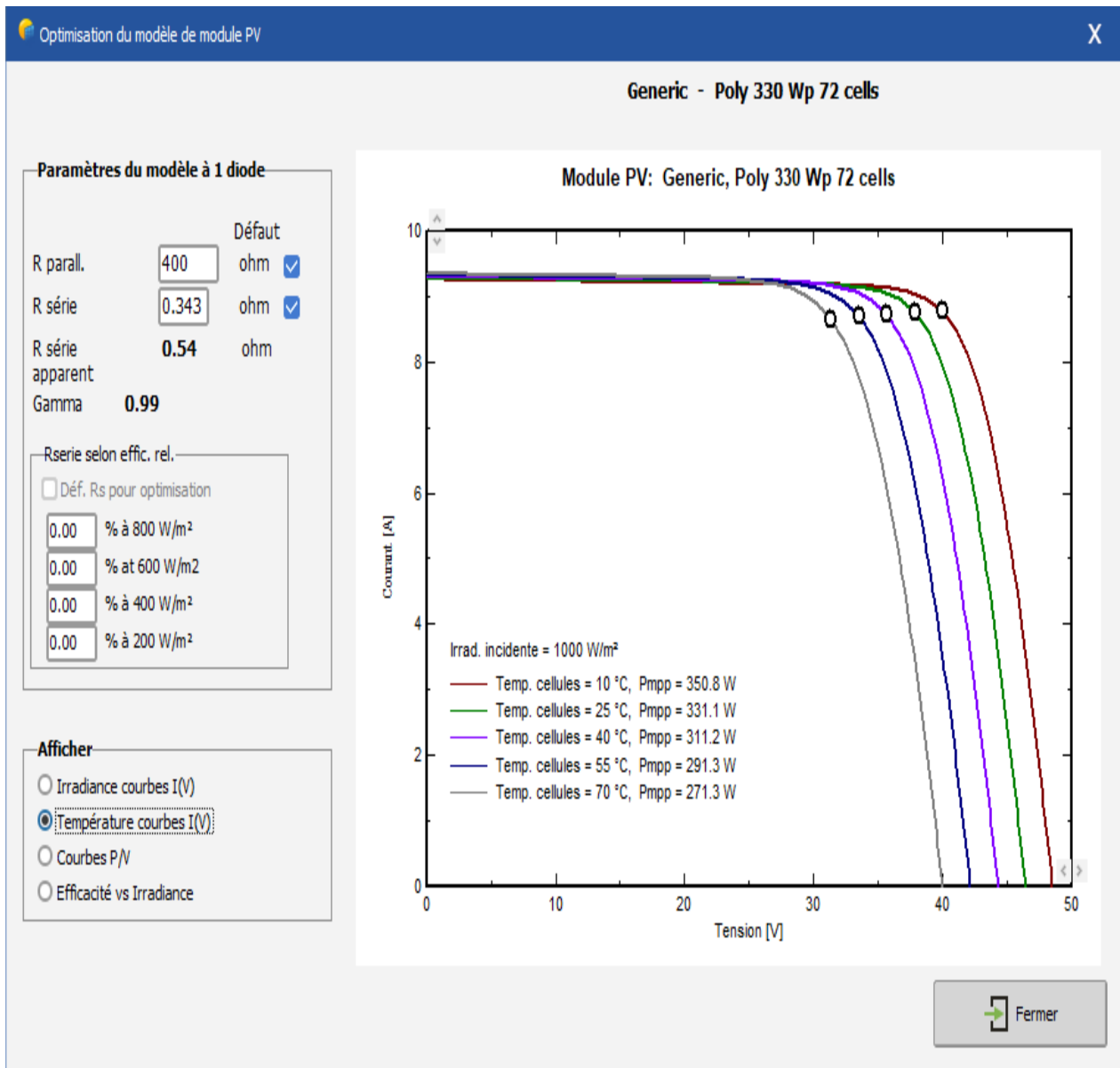


Figure (3.10) : l'effet de la température sur la courbe I/V

D'après le figure on voie que le courant dépend de la température, ça veut dire le courant augment quand la température augment, mais la température influence négativement la tension.

Quand la température augmente la tension diminue et par conséquent la puissance maximale diminue aussi.

- Caractéristique puissance-tension

Avec des caractéristiques I-V, un système PV peut être défini par son caractéristique tension-puissance P-V.

La première figure présente les caractéristiques PV pour une température fixe et différentes valeurs d'ensoleillement.

La deuxième figure présente les caractéristiques PV pour différentes valeurs de température et un ensoleillement fixe.

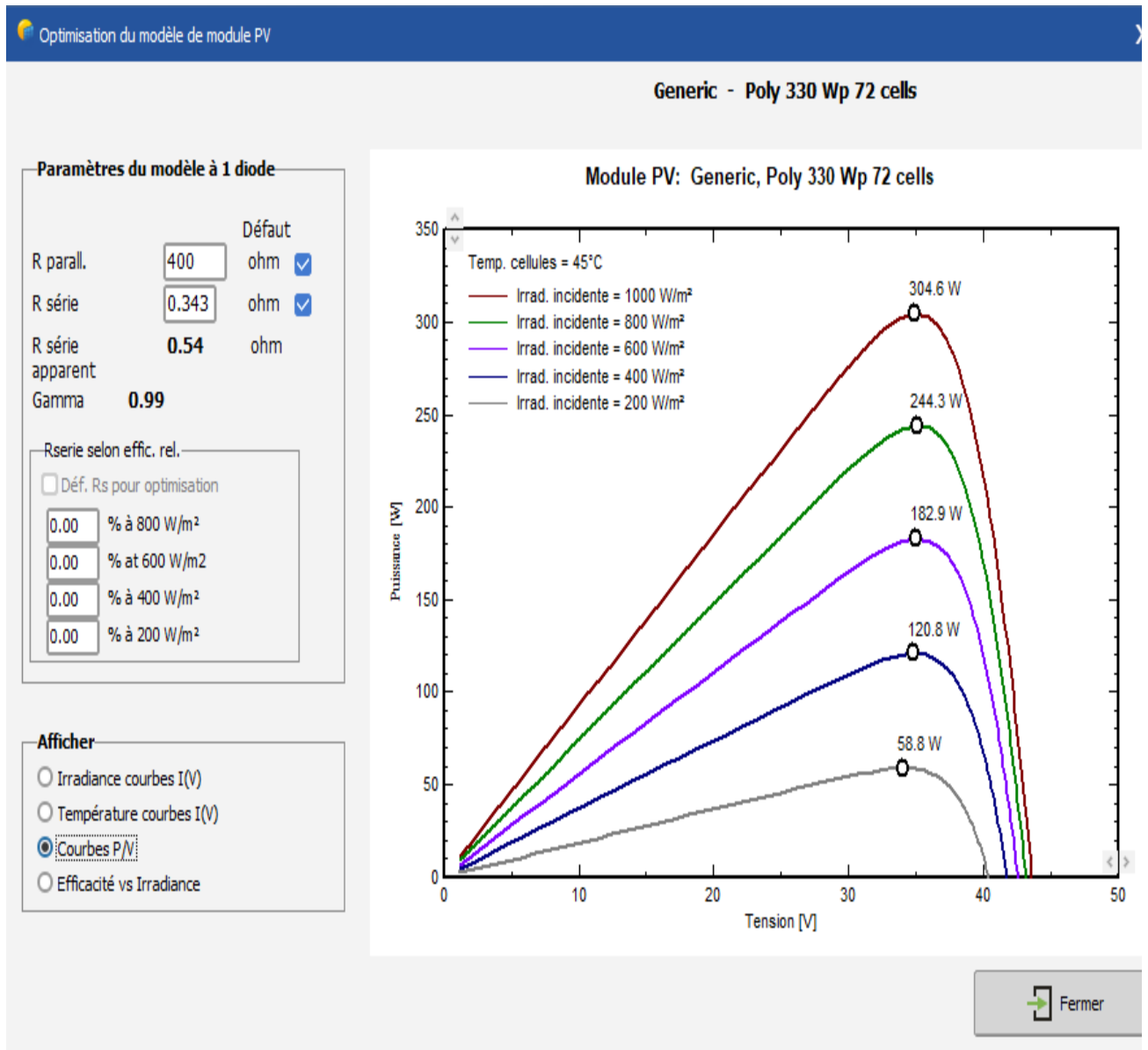


Figure (3.11) : Température fixe

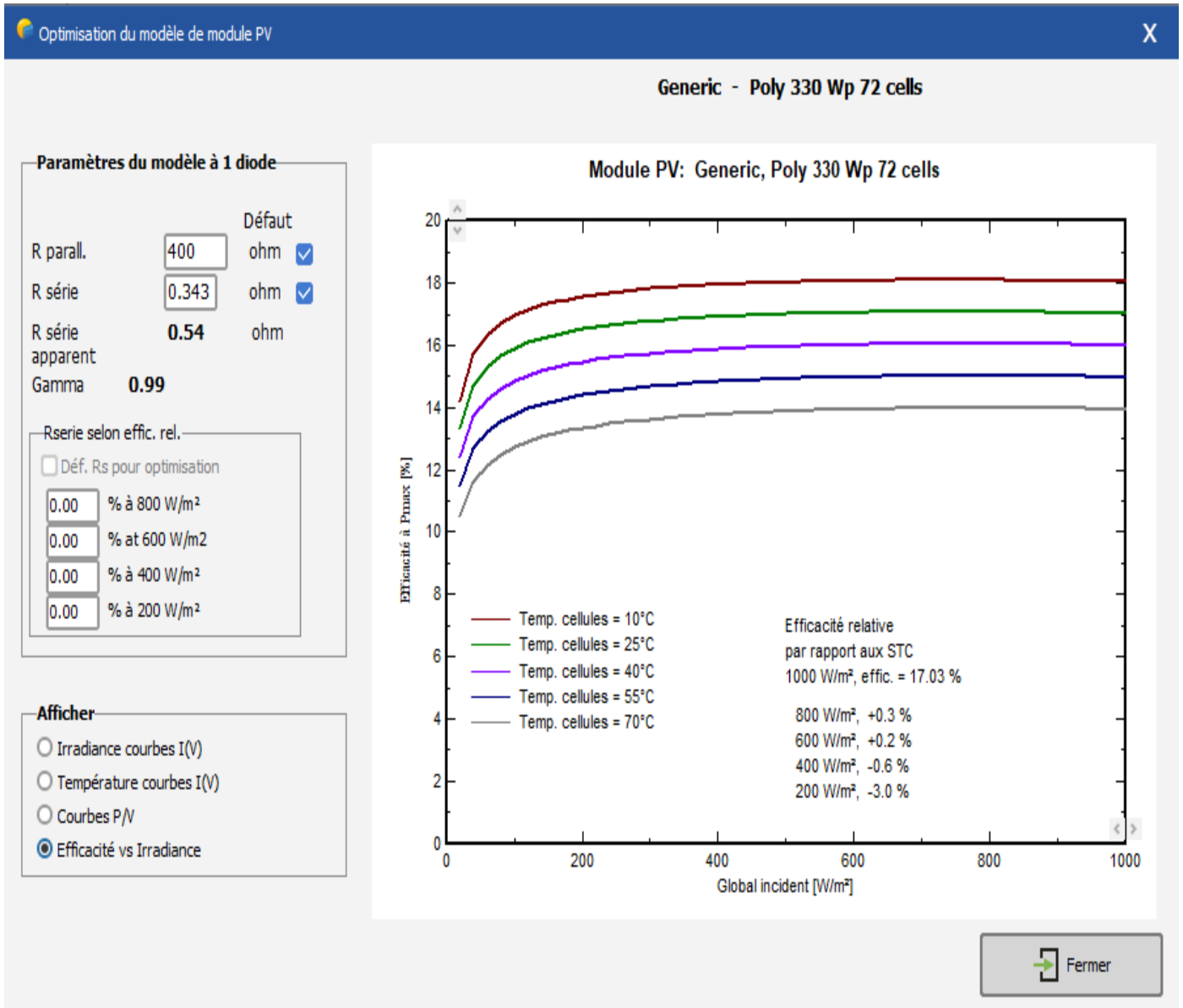


Figure (3.12) : ensoleillement fixe

Les caractéristiques de l'onduleur :

- Tension de fonctionnement : 480/800V
- Tension maximale : 1000V
- Puissance : 50kW
- Type : triphasé
- Fréquence : 50Hz



## 9 Le rapport de simulation



Figure (3.13) : rapport de simulation

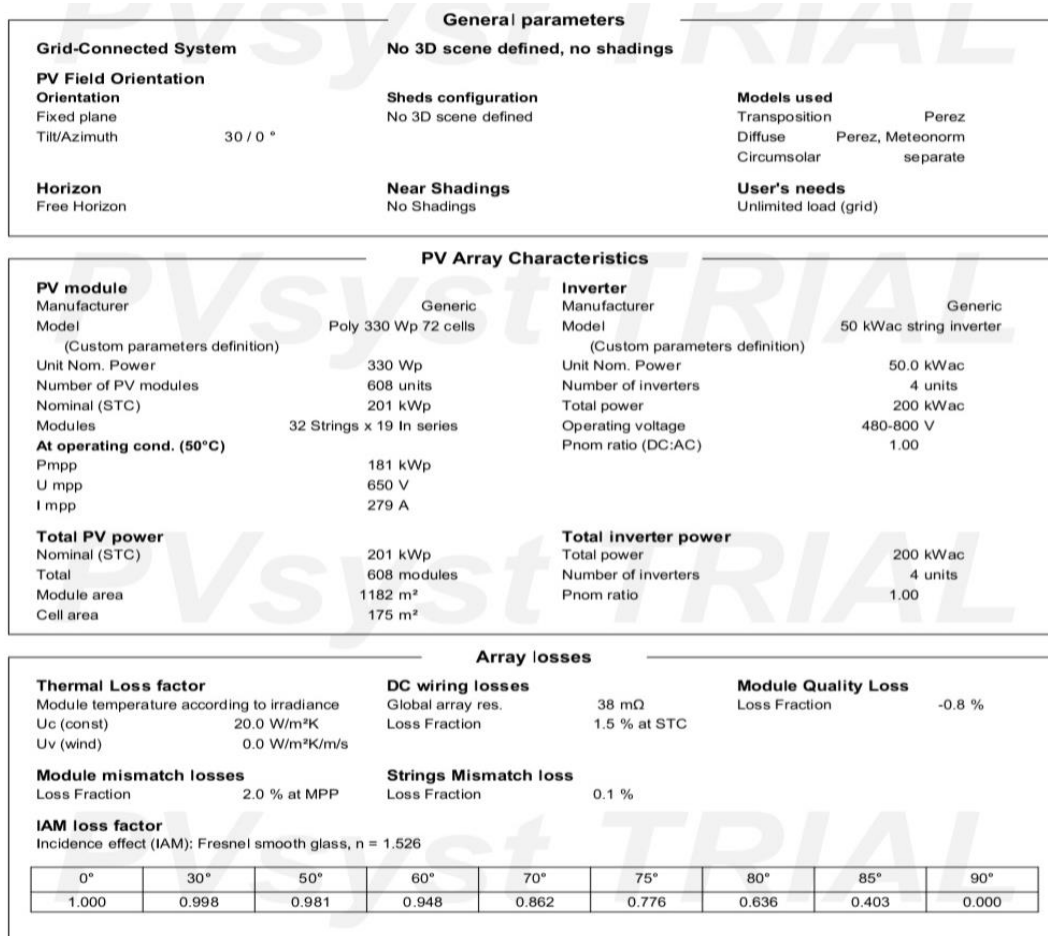


Figure (3.14) : Principaux résultats de simulation .

Comme se présente dans le rapport, le champ PV sera constitué de 608 de module PV (poly-cristalline), sur une surface de 1182 m<sup>2</sup>, et 4 onduleur avec une puissance totale de 200kWc.

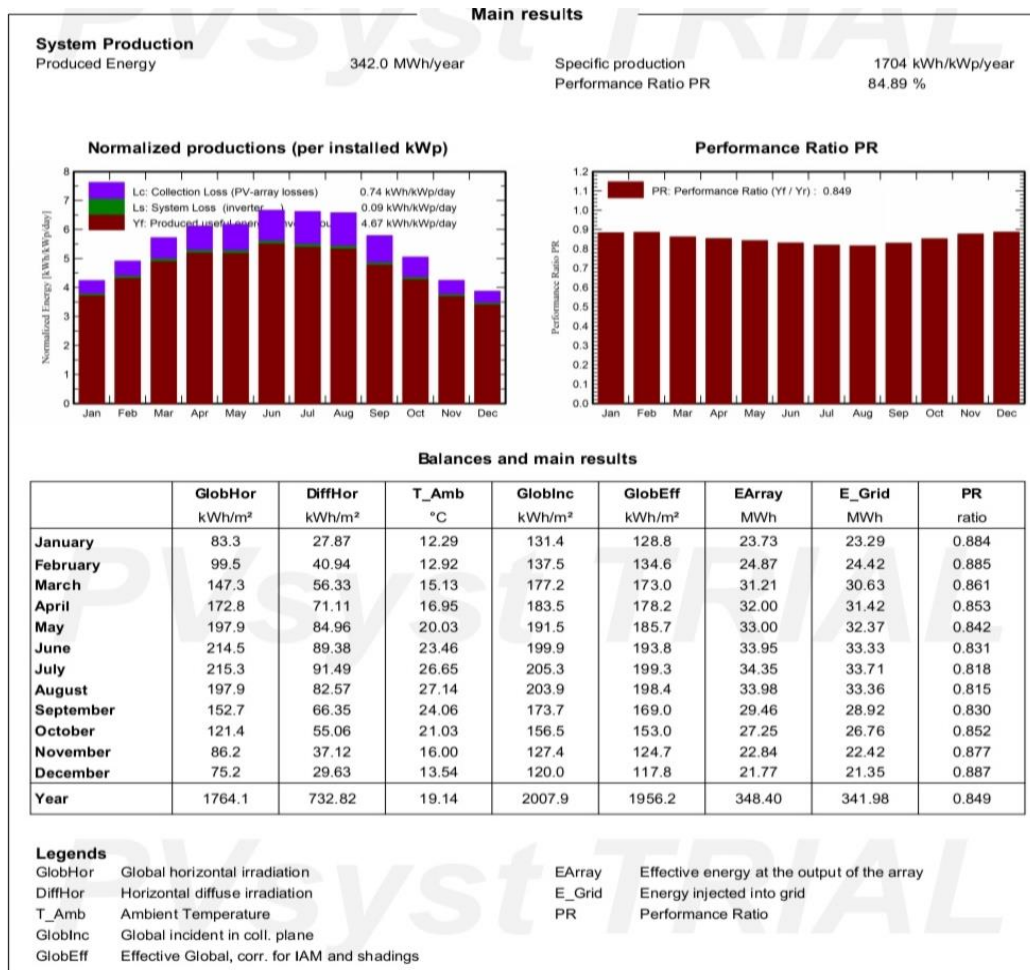


Figure (3.15) : Tableau de Bilan et résultat principaux.

D`après le rapport on constate une belle performance de notre système évalué à 84.80%.

Les pertes Lc et Ls correspondent au champ PV et l`onduleur.

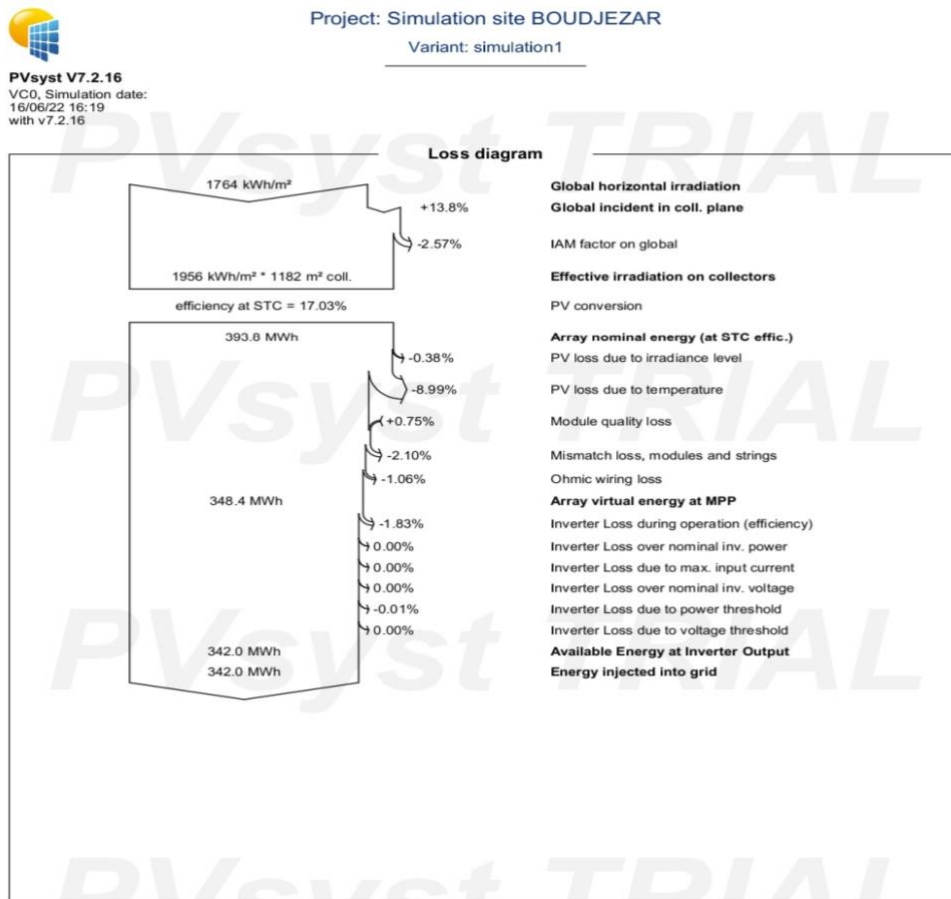


Figure (3.16) : Diagramme des pertes sur une année.

Cette figure démontre l'ensemble de pertes dans le système (pertes du champ PV, pertes d'onduleur ...)

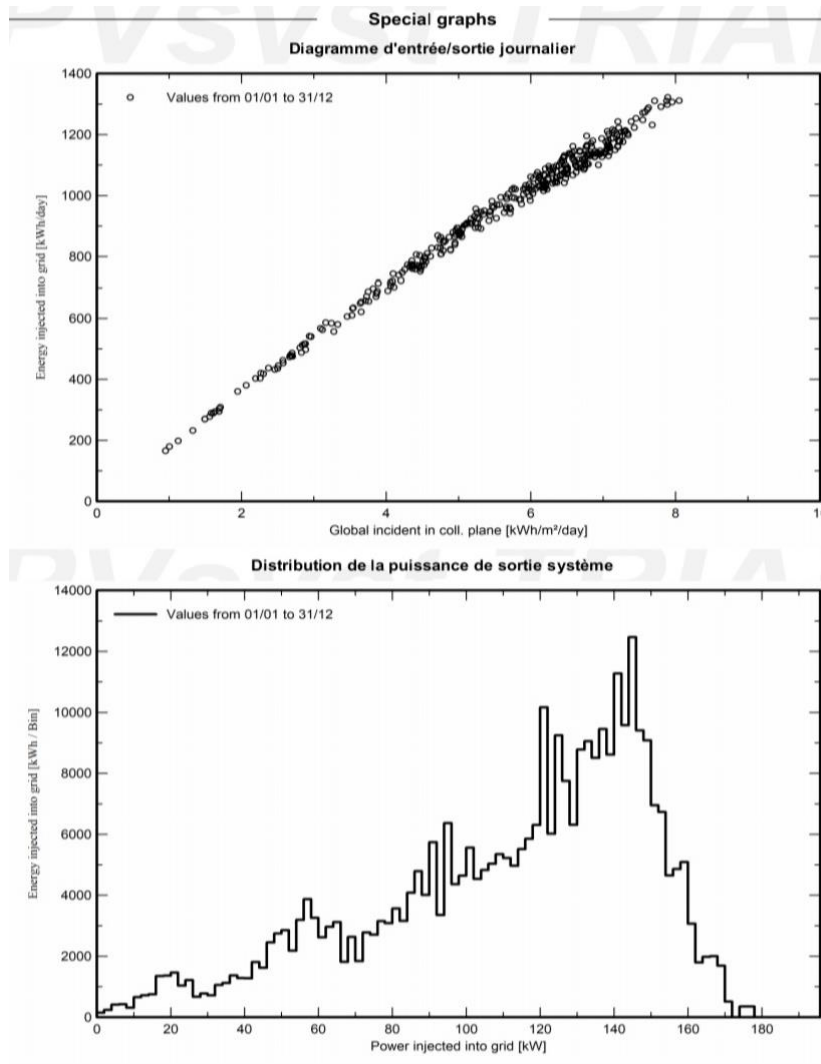


Figure (3.17) : rapport de simulation

Le premier graph présente l'énergie produite en fonction de l'énergie injectée durant l'année, les points de fonctionnement sont alignés sur une droite.

D'après les deux graphes on remarque que la distribution de la puissance en sortie du champ PV varie suivant la même tendance que la distribution du rayonnement incident, à une échelle différente.

## 10 Conclusion

Cette recherche tente de contribuer à la réalisation d'un logiciel qui permet à la fois la simulation et le dimensionnement simple d'une installation photovoltaïque.

Les rôles du logiciel peuvent être résumés comme suit :

- permet au spécialiste du domaine, de faire des simulations par ordinateur dans le but d'estimer les caractéristiques de l'installation réelle. Ce qui permet de réduire le coût et augmenter la fiabilité du système.
- Faire l'étude du fonctionnement du système pour diverse consommation et sur plusieurs sites.
- Comparée plusieurs configurations de l'installation pour un même site et aussi pour plusieurs charges alimentées par ce système.
- Faire un choix des éléments qui s'adapte le mieux pour le site donné et une charge fixe.

## **Chapitre 4**

# **Dimensionnement d'une installation photovoltaïque**

## 1 Introduction

La méthode de dimensionnement consiste à déterminer la puissance crête d'un panneau photovoltaïque qui fournit l'énergie électrique nécessaire pendant la journée.

Ce chapitre aura pour but de présenter les étapes de dimensionnement autonome d'un système photovoltaïque, ainsi que les méthodes de dimensionnement des installations photovoltaïques, en prenant comme cas la commune de bouzedjar la wilaya d'Ain-Temouchent.

## 2 Dimensionnement des installations photovoltaïques

Le dimensionnement d'un générateur photovoltaïque a pour objectif, la détermination de la puissance crête des modules solaires et la capacité de la batterie associée à partir des données d'ensoleillement du site d'une part et des besoins électriques de l'utilisateur d'un autre part.

Les données radiométriques pour une région déterminée sont généralement disponibles mois par mois, et correspondent à l'irradiation quotidienne moyenne sur un plan horizontal.

Cette détermination des différents éléments doit permettre de garantir une fourniture d'énergie électrique sur une période déterminée.

Les valeurs de l'ensoleillement sont données à la latitude du lieu considéré, et dépendent également de ses conditions climatiques. Les données sont généralement exprimées en  $\text{km/m}^2$ .

Pour déterminer l'énergie journalière moyenne incidente sur le plan des modules, on effectue un calcul à partir des données de l'ensoleillement sur le plan horizontal et de l'inclinaison donnée aux modules.

L'inclinaison optimale est fixée par le dimensionnement qui prend directement en compte la capacité correspondante des batteries de stockage.

### 2.1 Les principales règles de dimensionnement

Les générateurs photovoltaïques ne sont utilisés que pour des applications spécifiques de production d'énergie, telles que : éclairage, télétransmission, pompage d'eau, etc.

- Applications thermiques (chauffage et cuisson) qui rejettent de l'électricité.
- Sélectionnez des récepteurs à haut rendement.
- Choisissez la chaîne d'alimentation la plus courte possible (évités si possible les onduleurs).

### 2.2 Les étapes de dimensionnement d'un système photovoltaïque

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque comprend la détermination des caractéristiques de l'installation, parmi lesquelles :

- Identifier avec précision la demande d'électricité de l'utilisateur.



- Connaître les ressources locales en énergie solaire (quantité d'énergie solaire disponible sur le site par unité de surface).
- Calculer le nombre et la surface des modules PV en fonction des ressources énergétiques solaires répondant aux besoins de l'utilisateur.
- Recherche des propriétés des autres composants d'une installation solaire (capacité de la batterie, section des câbles, puissance de l'onduleur, etc.).
- Consulter les fournisseurs pour estimer les investissements à envisager.
- Une bonne sélection des équipements, en rapport avec le bon dimensionnement, assure le bon fonctionnement de l'unité, sa durée de vie et la rentabilité de l'investissement.

### 3 Méthodes simples de Dimensionnement

Parmi ces méthodes, la taille des générateurs et des stockages peut être calculée manuellement. Les étapes suivantes permettront les dimensions approximatives du système photovoltaïque.

#### 3.1 La méthode simplifiée

Cette méthode nécessite la connaissance des valeurs moyennes quotidiennes du rayonnement solaire global pour les mois les moins ensoleillés de l'année (les mois les plus défavorables, généralement décembre). L'énergie consommée par les différents appareils « $C_j$ » sera calculée.

Ensuite, nous pouvons calculer la puissance de crête  $P_c$  du module, de sorte que le nombre requis de modules peut être obtenu par un calcul simple, et la puissance de crête  $P_c$  d'un seul module peut être connue.

Cette méthode nécessite la connaissance de la valeur d'irradiation solaire globale moyenne quotidienne du mois le moins ensoleillé de l'année (mois le plus défavorable, généralement décembre). On calculera l'énergie consommée par les divers équipements « $C_j$ ».

Ensuite on pourra calculer la puissance crête du module  $P_c$ , ainsi le nombre de modules nécessaire est obtenu par un simple calcul on connaissant la puissance crête d'un seul module  $P_{cm}$ .

La détermination du parc batterie s'effectue à partir de la considération d'un certain nombre de jours autonomes  $N_j$  pour assurer une production nulle, qui doit être compris entre 4 et 10 jours, en plus de la valeur de la tension de fonctionnement  $U$ , qui est également nécessaire.

##### 3.1.1 Dimensionnement du champ photovoltaïque

###### • Evaluation de l'énergie moyenne journalière requise par la charge

La consommation journalière moyenne ( $Wh/j$ ) nécessaire au fonctionnement des équipements est donnée par :

$$C_j = \sum P \times t \dots\dots\dots (4.1)$$

Avec :

$P$ : La puissance électrique consommée par la charge (en W) ;

$t$  : La durée d'utilisation quotidienne moyenne (en h).

**• Estimation de la puissance crête nécessaire**

La puissance crête des modules  $P_c$  est donnée par sa formule :

$$P_c = \frac{C_j}{K} \times E \dots\dots\dots (4.2)$$

Où :

$E$ : Le rayonnement solaire global journalier minimal reçu sur le plan des modules(enKW/m/j<sup>2</sup>).

$K$ : Facteur tenant compte des diverses considérations qui affectent le rendement de l'installation, en général il est égal à 0.56 .

**• Calcul du nombre de modules nécessaires**

Le nombre de modules nécessaire à installer est :

$$N_m = \frac{P_c}{p_{cm}} \dots\dots\dots (4.3)$$

Avec :

$P_{cm}$  : La puissance crête correspondant à un module.

**3.1.2 Dimensionnement de la batterie de stockage**

**• Choix de la tension de travail du système**

La tension de fonctionnement est sélectionnée en fonction de la valeur de puissance de crête comme suit :

- Pour  $P_c < 150W_c$  implique  $U = 12V$
- Pour  $150W_c < P_c < 1000W_c$  implique  $U = 24$
- Pour  $P_c > 1000W_c$  implique  $U = 48V$

**• Estimation de la capacité de stockage**

La capacité utile de la batterie en(Ah) est :

$$C_u = \frac{C_j \times N_j}{U} \dots\dots\dots (4.4)$$

Avec :

$$C = C_j \times N_j(wh) \dots\dots\dots (4.5)$$

$N_j$  : Le nombre de jours d'autonomie du système

$U$  : La tension de travail de l'installation.

• **Optimisation des calculs en agissant sur le générateur**

Sachant que la puissance crête du générateur définit pratiquement le coût de l'installation et pour se confronter à un budget donné, on est amené à diminuer la puissance crête  $P_c$ .

La diminution de la puissance crête se répercute en choisissant une puissance crête  $P'_c$ .

On calcul par la suite le nombre de modules  $N'$  avec la nouvelle puissance crête, ainsi que la capacité de la batterie  $C'$  en Wh par l'expression suivant

$$C' = 6 \times p'_c \times E_{min} \dots\dots\dots (4.6)$$

**3.1.3 Application pour la méthode**

Pour cette méthode on a pris le cas d'une installation à éclairage, qui comporte une lampe à incandescence de 90W fonctionnant 2h par jour, et 3 lampes de 40W qui s'allume 6h en moyenne chaque jour, on veut avoir une autonomie de 10 jours du système.

On a choisit des modules Mono cristallin(50W) chacun, ces caractéristique physiques et électriques sont données :

- Puissance maximale: 50 W
- Tension maximale : 17.6 V
- Courant maximum : 2.84 A
- Tension circuit-ouvert 21.6V
- Courant court-circuit : 3.07A

• **Caractéristique physique du module 50 W:**

- Poids : 4.8Kg
- Dimensions : 650 × 505 × 35 mm
- Nombres de cellules : 72

Pour cet exemple on donne :

$E_{min} = 6.502 (KW / m^2 / j)$  Le rayonnement solaire globale journalier minimal reçu sur le plan des modules du site.

$E_{max} = 8.322(KW / m^2 / j))$  ; Le rayonnement solaire globale journalière maximal.

• **Dimensionnement du champ photovoltaïque**

Le calcul de l'énergie moyenne journalière consommée par les divers équipements :

$$C_j = 90 \times 2 + 3 \times 40 \times 6 = 900 \text{ Wh/j}$$

La puissance crête du générateur photovoltaïque est :

$$P_c = \frac{900}{0.56 \times 6.502} = 247.17 W_c$$

Le nombre de modules est alors :

$$N_m = \frac{247.17}{50} = 4.94 \approx 5 \text{ module}$$

### • Dimensionnement de la batterie de stockage

Choix de la tension de travail :

$$U = 24V$$

La capacité de stockage :

$$C_u = 900 \times \frac{10}{24} = 375 \text{ Ah}$$

### • Optimisation des calculs (stockage)

On choisit :

$$P'_c = 0.8 \times P_c \approx P'_c = 197.73 W_c$$

Le nouveau nombre de modules nécessaire sera :

$$N'_m = \frac{197.73}{50} = 3.95 \approx 4 \text{ module}$$

La tension de travail du système  $U' = 24V$ , la capacité est :

$$C' = 6 \times 197.73 \times 8.32 = 9870.27 \text{ Wh}$$

Donc la nouvelle valeur de la capacité utile sera :

$$C' = \frac{9870.68}{24} = 411.27 \text{ Wh}$$

Note :

Pour cette charge de 900 Wh/j ; on a trouvé qu'il faut installer 4 modules de 50W Chacun, avec une capacité de 411Ah.

### 3.1.4 Estimation du cout

Le tableau (4.1) présente le nombre et le coût des éléments constituant ce système. On a choisissant des batteries de 12/100 Ah, on trouve que leurs nombre est égale à 4.

	Prix d'unité€	Nombre utilisé	Coute€
<b>Module</b>	390	4	1595
<b>Batterie</b>	330	4	1320
<b>Total</b>			2915

Tableau 4.1 : Estimation du cout de la première installation

### 3.2 La deuxième méthode :

Puissance installée à la commune de Bouzdar : 75164205 W

Puissance consommée : 60131364 W

#### Etude d'une installation photovoltaïque :

##### • Caractéristique électrique du module

- Puissance maximale: 330 W
- Tension maximale : 37.3 V
- Courant maximum : 8.86 A
- Tension circuit-ouvert : 44.72 V
- Courant court-circuit : 9.57 A

##### • Caractéristique physique du module 330 W:

- Poids : 22.5 Kg
- Dimensions : 1980 × 1002 × 40mm
- Nombres de cellules : 72

## 4 Systèmes PV

Les caractéristiques des composants sont présentées dans le tableau suivant

Désignation du composant	Caractéristiques techniques
Module	Module poly cristallin, Puissance (W), U nominal (V), Rendement (%); U opt(V) ; I opt (A) T(°C); I nom (A).
Onduleur	Type triphasés, tension d'entrée (V), tension de sortie (V) Rendement K ond =0.95
Régulateur	Tension d'entrée (V), tension de sortie (V).K contr
Batterie	Tension (V); profondeur de décharge t= 50%.

Tableau 4.2 : Les caractéristiques des composants

## 5 Dimensionnement des composants constituant le système PV

En tenant compte du bilan de puissance calculé, nous pouvons déterminer le nombre des composants constituant notre installation PV.

Désignation	Caractéristique	Puissance Installée (Wc)	quantité	Prix unitaire euros	Prix unitaire (DZD)	Montant (DZD)	Euro
Module poly cristallin	330w 32v	200kw	608	256	39954	24292032,00	155648
Support pour les Modules	-----	200kw	608		5000	3040000,00	
Génie-civil(enclos pour les modules)	-----	200kw	608		5000	3040000,00	
Armoire de Commande	-----	200Kw				300000,00	
Câble et divers Accessoires	-----	200kw				2000000,00	
Cout de fonctionnement annuel (entretien de 2 visites par ans)	-----	200kw				200000,00	
Régulateur	Mppt	200kw		127834		1278340,00	
Onduleur	50kw	200kw	4	6000	966000	3864000,00	24000
Batteries	12v 165 Ah	200kw	304	400	6440	19577600,00	121600
Coût total	-----	200kw				57591972,00	

### 5.1 Discussion et analyse des résultats de l'installation dimensionnée

Le tableau montre que pour une production de 230kW, selon la valeur de consommation relevée, notre budget d'investissement est estimé à : 57.591.972,00 DZD.

Revenu moyen est de: 6 .831. 000 DZD pendant une année et de: 68.310.000 DZD pendant 10 ans.

Suite aux résultats trouvés, nous prévoyons que l'investissement du projet sera amorti en 18 à 20 ans et que la durée de vie de la batterie sera de 15 ans. Ces batteries devront donc être remplacées deux fois pendant la durée de vie du projet.

## 5.2 Étude comparative

Après avoir estimé le cout de la consommation photovoltaïques, on va la comparer avec celle donnée par SONELGAZ ; comme montre le tableau suivant:

L'installation photovoltaïque	68310000 DZD
l'installation par SONELGAZ	1503284100 DZD

Tableau 4.3 : la comparaison des coûts (photovoltaïque, SONELGAZ)

A partir de ce tableau, on peut dire que :

Le coût de cette consommation photovoltaïque est moins élevé par rapport au coût estimé par le réseau SONELGAZ.

En tenant en compte ces deux derniers critères, on constate que l'on est bénéficiaire avec le système photovoltaïque.

Afin de faire une proposition pour un système PV, il était important d'estimer les besoins de consommation d'électricité et ses modèles de demande.



## 6 Mise en place d'une structure

Quand tous les modules sont interconnectés et fixés aux longerons, on procède au montage des autres éléments de la structure (jambes arrière et avant et triangulations). L'ensemble obtenu (châssis) est alors retourné et implanté sur son support de fixation.

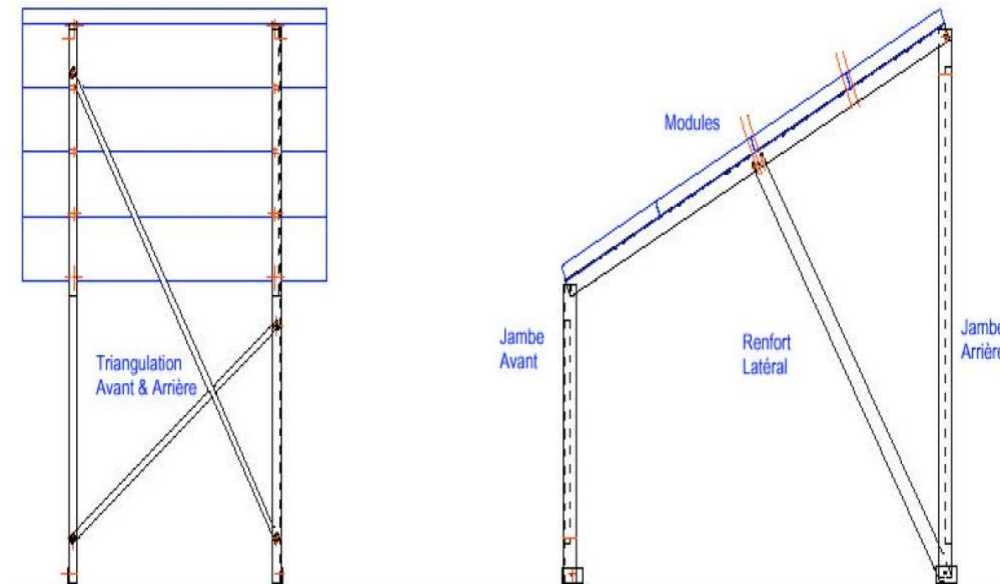


Figure (4.1) : Implantation du champ de modules photovoltaïques

## 7 Fixation des Panneaux

Leur installation doit assurer les points suivants :

- Résistance contre le vent et les autres intempéries.
- Résistance contre les agressions mécaniques.
- Protection contre les salissures, etc.
- Ventilation des panneaux afin de limiter leur échauffement.

## 8 Installation mécanique et électrique

Pour le montage des modules, on adoptera un montage sur châssis au sol puisque la surface à mettre en œuvre est importante.

En ce qui concerne l'orientation et l'inclinaison des modules, on aura la situation suivante en fonction de la latitude du site étudié. L'installation des autres composants se fera dans un local

bien aéré pour éviter surtout les pertes au niveau des batteries dues à la variation de la température réduisant la capacité de stockage

En ce qui concerne la connexion électrique du système, il faudra connecter, d'abord la batterie aux bornes du régulateur en respectant scrupuleusement la polarité, ensuite l'onduleur à la batterie et en fin le régulateur aux panneaux solaires.

L'onduleur sera mis à la terre ou à la masse selon les normes, pour éviter à ce que la foudre ne se propage dans le câblage et ne détruise les équipements

## **8.1 Maintenance**

Les composants photovoltaïques nécessiteront des opérations de maintenance et surtout des contrôles pour s'assurer du bon fonctionnement du système.

### **8.1.1 Modules**

L'entretien des modules se fera chaque fois pour assurer que rien ne gêne l'arrivée du rayonnement et que l'énergie produite est transmise au régulateur. On fera donc :

- Le nettoyage de la face avant des modules à l'eau claire tous les 3 à 6 mois environ pour enlever les salissures, le sable, les éventuels nids
- Une vérification des supports : surveillance des corrosions éventuelles, serrage des fixations mécaniques
- L'élagage de la végétation tout autour si elle a poussé
- La vérification des connexions

### **8.1.2 Batteries**

Les opérations de maintenance et les contrôles sur les batteries doivent être effectués avec de l'outillage isolé et en observant les règles de sécurité pour éviter tout court-circuit. On fera donc des opérations de maintenance et les contrôles suivants :

- La mesure de la tension de chaque élément et report des valeurs dans un tableau
- Le contrôle de l'aspect : bac normale, non déformé, bornes propres (sinon les nettoyer).
- L'entretien des connexions et nettoyage des contacts
- Le contrôle visuel des niveaux d'électrolyte : ajout de l'eau distillée si nécessaire (il y a deux indicateurs de niveau MAX et MIN)
- La mesure de la densité de l'électrolyte de chaque élément.

### **8.1.3 Régulateurs**

Les nécessitent en principe très peu d'entretien. Les éléments à contrôler sont la fixation du régulateur, le serrage des borniers et la tenue des câbles.

Les paramètres de fonctionnement ne devant pas changer dans le temps, sauf après une surcharge occasionnée, par exemple par un impact de foudre proche du système, dans un tel cas on surveillera que le fonctionnement de fin de charge est correct et que la charge s'arrête.

## 9 Recommandation- perspectives

Cette production de l'énergie propre, participerait à la protection de l'environnement. Chacune de ces structures devra utiliser une partie de son budget, évidemment prévu à cet effet, pour le financement de ces projets. Ainsi les factures d'électricité consommée par ces structures étatiques impayées seront prises en compte d'une manière ou d'une autre [27]. Vu l'importance des énergies renouvelables dans le développement socio-économique des populations, la promotion de ces d'énergie est nécessaire. Il paraît opportun de formuler les recommandations suivantes :

- Identifier et caractériser tout le potentiel national en source d'énergie renouvelable.
- Promouvoir les projets de mise en exploitation de ces sources renouvelables.
- Généraliser le projet étudié aux autres institutions et structures de l'état.
- Diversifier les sources d'énergie et surtout renouvelable dans la généralisation du projet, c'est-dire utiliser l'énergie éolienne dans les structures situées dans la région côtière de pays.
- Remplacer les lampes par des lampes solaires plus économiques du point de vue énergétique.

## 10 Conclusion

Une fois les éléments de la chaîne photovoltaïque sont définis, il faut associer à chacun de ces éléments des valeurs numériques : puissance crête pour les modules, capacité pour le Stockage...etc. Pour effectuer ce dimensionnement, il faut considérer la demande énergétique d'une part et l'apport énergétique d'autre part, et nous avons estimé le montant d'investissement global pour la réalisation d'un projet et le temps nécessaire pour l'amortissement.

# **Conclusion Générale**

## **Conclusion Générale**

Le travail présenté dans ce mémoire traite de dimensionnement et la simulation d'un système photovoltaïque de 200kW, Nous avons procédé à cette étude en quatre étapes : état de l'art d'énergie photovoltaïque, Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque, simulation de projet par logiciel PVSYST, dimensionnement d'une installation photovoltaïque.

Dans le premier chapitre, on a présenté des généralités sur les systèmes PV, les systèmes photovoltaïques et leur type. Ensuite on a fait un rappel sur les avantages de systèmes PV.

Dans le deuxième chapitre nous avons présente le principe du fonctionnement d'une cellule photovoltaïque et les différents éléments qui constatent un générateur photovoltaïque.

Dans le troisième chapitre on a fait une simulation presque précise d'une installation photovoltaïque et on a représenté les résultats obtenus.

Dans le quatrième chapitre, on a fait un dimensionnement et une estimation économique pour une installation photovoltaïque.

## Référence Bibliographique

- [1] MERAHI REDA, « Modélisation d'un diapositif MPPT pour l'étude de l'augmentation de la puissance produite par les générateurs photovoltaïques », mémoire de Magister, Université de Annaba, 2010.
- [2] S. NAOUAL, "modélisation et extraction automatique des Paramètres d'un générateur," Université Ferhat Abbas de Sétif mémoire de magister, département d'électrotechnique 2010.
- [3] F. SLAMA, « Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique », mémoire de magister, université Ferhat Abbas – Sétif.
- [4] Florent Monétiser, « Amélioration de l'absorption photonique dans les cellules photovoltaïques organiques », thèse de Doctorat, Université de Marseille, 10/04/2008.
- [5] « Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique », Ministère de l'Énergie et des Mines, mars 2011.
- [6] Anne Labouret, Michel Viloz, « Conception et dimensionnement d'installations Photovoltaïques raccordées au réseau » 5eme édition Paris, 2012 p9, ISBN 978-2-10-057247-2.
- [7] Alain Ricaud, "Photopiles solaires", ISBN 2-88074-326-5.
- [8] S. ZIAT, N. MEDJAHED « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque Commandé par la commande MPPT (P&O) », mémoire de master, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent 2019/2020.
- [9] José Miguel Navarro « Cellules Photovoltaïques Organiques Transparentes Dans Le Visible », Thèse de doctorat, Université Toulouse III - Paul Sabatier, 2008.
- [10] B. Equer « le pompage photovoltaïque manuel de cours », énergie solaire photovoltaïque ellipses 1993
- [11] K. Benlarbi "Optimisation Floue, neuronale et neuro-floue d'un système de pompage Photovoltaïque entraînés par différents machines électrique » Thèse de Magister Université de Batna 2003
- [12] J. Royer, T. Djiako, E. SCHILLER « le pompage photovoltaïque » manuel de cours à l'intention des ingénieurs et techniciens bibliothèque nationale de CANADA 1998
- [13] D. Boukhers « optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage » mémoire Magister en électrotechnique Université de Constantine 2007

- [14]K. Benlarbi "Optimisation Floue, neuronale et neuro-floue d'un système de pompage
- [15]K.Benlarbi, L, Mokrani, M.S .Nait-Said « A fuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water system », Solar Energy 77 -2004
- [16] Note de cours : Electricité solaire photovoltaïque ,2IE, Zacharie KOALAGA
- [24] HelaliKamelia « Modélisation d'une cellule photovoltaïque : Etude comparative », Mémoire de magister, département d'électrotechnique, faculté du génie électrique, UMMTO 2012.
- [25] Angel Cid Pastor « Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques », thèse de doctorat. Institut National Des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.
- [26] M. Rafik Belabed, « Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque» ,2016,2017.
- [27] Charly Cornu « Centrales photovoltaïques (Guide pour le dimensionnement et la réalisation de projets A l'usage des bureaux d'ingénieurs) », office fédéral des questions conjoncturelles, 1996.
- [28] M. Kenane, S. Sadoudi« Modélisation de modules photovoltaïques en milieu réel d'implantation », Mémoire de Master II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO 2013.
- [29] BelaicheHacene, Nanouche Yacine « Etude d'une installation en énergie photovoltaïque intégrée au bâtiment : cas d'un laboratoire au CDER ». Mémoire de mastère II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO2014.
- [30] Sylvain Brigand « Installations Solaires Photovoltaïque (dimensionnement de l'installation et mise en œuvre maintenance) », Edition le moniteur (paris), février 2011.
- [31] Belhadj Mohammed, « Modélisation d'un Système de Captage Photovoltaïque Autonome », Mémoire de Magister Centre Universitaire de Bechar, Institut des Sciences Exactes,2008.
- [32] Cours Sonelgaz « l'énergie solaire photovoltaïque », documentation SKTM, Ghardaïa
- [39] D. F. Menicucci et al., 1988, "PV from has New Approach to Photovoltaic System Performance Modeling", sandia national laboratories USED .
- [40] M. Egido et al. "The Sizing of Stand Alone PV Systems: Reviews and Proposed New Method " Solar Cells
- [41] Ch.p.De .Brichale gisbaut,Ch.Yauge << le gisement solaire ,évaluation de la ressource énergétique >> tichnique de documentation Lavoisier 1982
- [42]: M. Calais ET J.Myrzik et T.Spooner, et V.G.Agelidis « Inverters for single-phase grid connected photovoltaic systems-An overview » in Proc. IEEE PESC'02, vol. 2, pp. 1995– 2000.

## LIENS UTILES

- [17] [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie\\_renouvelable](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_renouvelable)
- [18] <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/energie-renouvelable-sontcinq-types-energies-renouvelables-4134/>
- [19] <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-lenergie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-l-energie-solaire>
- [20] <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/energie-renouvelable-energie-solaire6679/>
- [21]: <https://opera-energie.com/energie-solaire/>
- [22] <https://www.maison-travaux.fr/maison-travaux/renovation-partype/toiturecharpente/toiture-toiture-charpente/avantages-inconvenients-dune-toiture-photovoltaique-fp194680.html>
- [23] <https://www.etudier.com/dissertations/Solaire/252209.htm>
- [33] <http://notr1esolairephotovoltaique.e-monsite.com/medias/images/structure-1.cellule>
- [34] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Accumulateur\\_nickel-hydrure\\_m%C3%A9tallique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Accumulateur_nickel-hydrure_m%C3%A9tallique)
- [35] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Accumulateur\\_lithium-ion](https://fr.wikipedia.org/wiki/Accumulateur_lithium-ion)
- [36] <https://www.quelleenergie.fr/questions/capacite-duree-vie-batteries-solaires>
- [37] <https://www.google.dz/search?q=+quels+ont+les+critères+de+choix+d'une+batterie+solaire>
- [38] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Bo%C3%AEte\\_de\\_jonction](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bo%C3%AEte_de_jonction)
- [43] [https://eduscol.education.fr/sti/ressources\\_techniques/installation-solaire-photovoltaique-autonome](https://eduscol.education.fr/sti/ressources_techniques/installation-solaire-photovoltaique-autonome)
- [44] <https://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0708/beiere/2/html/tr2%20photovolt%20dimensionnement.html>
- [45] <https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM23/RM23D/RM23D05.html>
- [46] <https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM23/RM23D/RM23D01.HTM>
- [47] <https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/production-delectricite-les-cellules-solaires>
- [48] <http://physique.unice.fr/sem6/2011-2012/PagesWeb/PT/Cellule/silicium.html>



[49] <http://www.solar-kit.com/Panneau-solaire-polycristallin-ou-monocristallin>

[50] <https://www.jade-technologie.com/panneau-solaire-polycristallin-2/>

[51] [https://www.researchgate.net/figure/Cellule-en-silicium-amorphe6\\_fig12\\_301487491](https://www.researchgate.net/figure/Cellule-en-silicium-amorphe6_fig12_301487491)

## Résumé

Cette mémoire présente dimensionnement et étude par simulation d'une installation photovoltaïque implémentée au niveau de la commune de bouzedjar (w.ain temouchent) ,la première partie de ce travail commence par une introduction sur le système photovoltaïque et l'application de l'énergie PV dans le monde, et le Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque. Ensuite on explique Les différents composants d'un système solaire photovoltaïque. Dans la deuxième partie on a démontre les étapes pour faire une simulation pour une installation PV on utilisent I logiciel (PV système) ,et on a donnée une estimation économique pour ce projet de PV.

**Mots clés :** installation photovoltaïque (PV) , la commune de bouzedjar , cellule photovoltaïque , logiciel PVSYST, estimation économique.

---

## Abstract

This memory presents dimensioning and study by simulation of a photovoltaic installation implemented at the level of the commune of bouzedjar (w.AinTemouchent), the first part of this work begins with an introduction on the photovoltaic system and the application of energy PV in the world, and the Principle of operation of a photovoltaic cell. Then we explain the different components of a photovoltaic solar system. In the second part, we have demonstrated the steps to make a simulation for a PV installation we use the software PV system, and we gave an economic estimate for this PV project.

**Keywords:** photovoltaic installation(PV) , the commune of bouzedjar , photovoltaic cell , the software PV system , economic estimate

---

## المخلص

تقدم هذه المذكرة الأبعاد والدراسة عن طريق محاكاة التركيب الكهروضوئي PV المنفذ على مستوى بلدية بوزجار(ولاية عين تموشنت) ، يبدأ الجزء الأول من هذا العمل بمقدمة عن النظام الكهروضوئي PV وتطبيق الطاقة الكهروضوئية في العالم، ومبدأ تشغيل الخلية الكهروضوئية. ثم شرحنا المكونات المختلفة للنظام الشمسي الكهروضوئي. في الجزء الثاني، أوضحنا الخطوات اللازمة لعمل محاكاة لتركيب الكهروضوئية، استخدمنا برنامج ( PV system ) وقدمنا تقديرا اقتصاديا لهذا المشروع الكهروضوئي.

**الكلمات الدالة :** محاكاة التركيب الكهروضوئي ، بلدية بوزجار ، الخلية الكهروضوئية ، برنامج PV system ، تقديرا اقتصاديا .

