



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
**UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCEM**

# MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

Pour l'obtention du diplôme :

**MASTER EN PHYSIQUE**

Spécialité : Physique Energétique et Energies Renouvelables.

Par :

**Mlle SOLTANI Hanaa Fatima Zohra**

Sur le thème

---

## **Etude et dimensionnement d'un système PV installé dans la wilaya de Tlemcen**

---

Soutenu publiquement le 14 juin 2023 à Tlemcen devant le jury composé de :

Mme SARI ALI Inchirah	M.C.B	Université de Tlemcen	Présidente
Mme CHADEL Meriem	M.C.B	Université de Tlemcen	Encadrante
Mme MEDJAHDI Sarah Ines	M.C.A	Université de Tlemcen	Examinatrice

## **REMERCIEMENTS**

*Au terme de la rédaction de ce mémoire, c'est un agréable plaisir d'exprimer, en tout premier lieu, mes sincères gratitudees à Dieu le tout-puissant.*

*Ce travail a été élaboré à l'Unité de recherche des Matériaux et des Energies Renouvelable (U.R.M.E.R) de la faculté des sciences de l'Université Abou-Bekr BELKAÏD de Tlemcen, sous la supervision de mon encadrante Madame **CHADEL Meriem**, Maitre de conférences classe B au Département de Physique Université de Tlemcen, que je tiens à remercier de la confiance qu'elle a placée en moi tout au long de ce travail, sa bonne humeur, ses précieux conseils, son aide efficace, sa disponibilité à tout moment et son soutien qui m'a été précieux qui m'ont permis de réaliser ce modeste travail.*

*Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude. J'adresse mes sincères remerciements à Madame **SARI ALI Inchirah**, Maitre de conférence classe B au Département de Physique Université de Tlemcen, d'avoir accepté de présider le jury de mon mémoire. Mes remerciements vont aussi à Madame **MEDJAHDI Sarah Ines**, Maitre de conférences de classe A au Département de Physique Université de Tlemcen, qui a accepté d'examiner mon travail.*

*Enfin, je tiens à remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, ainsi que les enseignants qui ont participé à ma formation.*

# *Dédicaces*

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

*A ma très chère mère BENKALFAT Adiba, tu me donne toujours l'espoir de vivre et tu n'as jamais cessé de prier pour moi. Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.*

*A mon très cher père Sid Ahmed, tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.*

*Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection. A mes très chères sœurs, Lamia, Kawther.*

*A mon très cher frère Mortada , ma belle-sœur Rym .*

*A mes nièce Alae, Tesnime et lilya.*

Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.

A toute ma famille et mes amis.

*SOLTANA Hanaa*

# Table des matières

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

## Chapitre I : Etat de l'art de l'énergie photovoltaïque.

1. Introduction :.....	3
2. L'énergie solaire : .....	3
3. Rayonnement solaire :.....	3
4. Le gisement solaire : .....	3
5. Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque :.....	4
6. Les technologies des cellules photovoltaïques : .....	7
1) La première génération à base de silicium cristallin : .....	7
2) La deuxième génération à base de couche-mince : .....	7
3) La troisième génération « les cellules organiques » :.....	7
7. Les systèmes photovoltaïques :.....	8
1) Le système PV autonome : .....	8
2) Le système raccordé au réseau : .....	9
3) Le système hybride :.....	10
8. Circuit électrique équivalent d'une cellule solaire : .....	10
9. Les paramètres des cellules photovoltaïques :.....	12
1) Courant de court-circuit $I_{CC}$ : .....	12
2) Tension à circuit ouvert $V_{CO}$ :.....	13
3) Rendement d'une cellule : .....	13
4) Le facteur de forme FF : .....	14
5) Puissance maximale : .....	14
10. Conclusion:.....	14

## Chapitre II: la modélisation d'un système photovoltaïque autonome.

1. Introduction :.....	16
2. Le panneau photovoltaïque :.....	16
1) Association des cellules en série : .....	16
2) Association en parallèle :.....	17
3. Influence des conditions atmosphériques : .....	17
1. Influence de l'ensoleillement sur le fonctionnement de la cellule PV :...	17
2. L'influence de la température sur le fonctionnement d'une cellule PV :.	18
4. La modélisation d'un champ photovoltaïque autonome :.....	19
1) Un champ photovoltaïque : .....	19
a) Les caractéristiques I-V : .....	19
2) Estimation de l'énergie générer un par un générateur photovoltaïque : ..	22
3) Le système du stockage :.....	23
a) Type des batteries :.....	23
b) La modélisation d'une batterie :.....	24
c) Le groupement de la batterie :.....	28
4) Le régulateur :.....	30
a) Les différents types du régulateur :.....	30
b) La modélisation du régulateur : .....	30
5) L'onduleur :.....	31
a) Les caractéristiques d'un onduleur : .....	31
b) La modélisation de l'onduleur : .....	31
c) Critère de choix de l'onduleur : .....	32
6) La charge : .....	33

7) Câblage :	33
5. Conclusion :	33
<b>Chapitre III: Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque</b>	
1. Introduction :	35
2. Le logiciel choisi :	35
3. Le choix du site :	36
4. Les besoins énergétiques de site :	38
5. L'azimut :	38
6. Influence de l'angle d'incidence :	39
7. Influence de l'orientation :	40
8. Influence de l'angle d'inclinaison :	40
9. Influence de l'ombrage :	40
10. Résultats et discussions :	41
1) Le schéma de l'installation photovoltaïque :	42
2) Les caractéristiques de la batterie :	43
3) Les caractéristiques du champ PV :	44
4) Régulateur :	46
5) Résultats et discussions de la simulation numérique :	46
a) Performance ratio (PR):	47
b) Les productions normalisées :	47
c) Bilan énergétique :	48
d) L'énergie produite par ces panneaux :	53
e) Discussions et suggestion des solutions :	53
11. Conclusion :	55

**Chapitre IV: Comparaison entre la méthode classique et la simulation par  
PVsyst.**

1. Introduction :.....	57
2. Dimensionnement du générateur photovoltaïque : .....	57
3. Dimensionnement de la batterie : .....	58
4. Comparaison entre la méthode de calcul et la simulation : .....	58
5. Discussion du résultat : .....	59
6. Conclusion : .....	59
Conclusion générale.....	60

## Liste des figures :

### Chapitre I : Etat de l'art de l'énergie photovoltaïque.

Figure I.1: Composants du rayonnement solaire avec $\beta$ est l'angle d'inclinaison.	3
Figure I.2 : Carte de l'irradiation solaire globale horizontale par ciel claire 2019.	4
Figure I.3 : Mécanisme de la conversion photovoltaïque. ....	5
Figure I.4 : Processus d'absorption de la lumière dans un matériau. ....	6
Figure I.5 : Jonction PN semi-conducteur. ....	6
Figure I.6 : Schéma de principe d'un système photovoltaïque autonome avec batterie.....	9
Figure I.7 : Système PV raccordé au réseau sans batterie. ....	10
Figure I.8 : Système PV hybride PV/éolien. ....	10
Figure I.9 : Schéma équivalent d'une cellule solaire idéale. ....	11
Figure I.10 : Caractéristique courant-tension et paramètres physiques d'une cellule photovoltaïque.....	12

### Chapitre II: La modélisation d'un système photovoltaïque autonome.

Figure II.1 : un panneau photovoltaïque. ....	16
Figure II.2 : Association de $N_s$ cellules en série.....	17
Figure II.3 : Association de $N_p$ cellules en parallèle.....	17
Figure II.4: Effet de l'irradiation sur les caractéristiques I–V du panneau Maysun solar.....	18
Figure II.5: Effet de la température sur les caractéristiques I–V du panneau Maysun solar.....	19
Figure II.6: Schéma synoptique d'un système PV autonome[34]. ....	19
Figure II.7 : Schéma électrique équivalent de la cellule photovoltaïque Modèle à une diode.....	20
Figure II.8 : Schéma électrique équivalent de la cellule photovoltaïque Modèle à deux diodes.. ....	20
Figure II.9 : Les caractéristiques I-V de module <b>Maysun Solar</b> . ....	22
Figure II.10: Evolution de la tension et du courant avec le temps durant la charge d'un élément plomb acide. ....	25
Figure II.11 : Caractéristique charge et décharge d'une batterie .....	27

Figure II.12 : Association de deux batteries en série .....	29
Figure II.13 : Association de deux batteries en parallèle.....	29
Figure II.14 : le fonctionnement d'un onduleur[46]. .....	31

**Chapitre III: Simulation par PVSYST d'une installation photovoltaïque autonome.**

Figure III.1: Conception du projet simulation.....	36
Figure III.2: Image prise par le satellite.....	37
Figure III.3: La consommation annuelle.....	38
Figure III.4: Trajectoire du soleil.....	39
Figure III.5: L'influence de l'angle d'inclinaison et de l'orientation.....	40
Figure III.6: Les paramètres météorologiques de Tlemcen.....	41
Figure III.7: Température du champ/ irradiation effective.....	42
Figure III.8: Configuration typique d'un système isolé.....	43
Figure III.9: Diagramme d'entrée/ sortie journalier.....	45
Figure III.10: Indice de performance.....	47
Figure III.11: Les productions normalisées.....	48
Figure III.12: L'énergie produite par le système solaire.....	49
Figure III.13: Le bilan énergétique annuel.....	49
Figure III.14: La fraction solaire.....	50
Figure III.15: Tension de charge selon SOC.....	51
Figure III.16: Tension de décharge selon DOD.....	51
Figure III.17: Tension de circuit ouvert.....	52
Figure III.18: Nombre de cycle selon le DOD.....	53
Figure III.19: Solaire photovoltaïque en autoconsommation avec l'injection....	54
Figure III.20: Solaire photovoltaïque en autoconsommation .....	55

## **Liste des tableaux :**

### **Chapitre I : Etat de l'art de l'énergie photovoltaïque.**

Tableau I.1 : les avantages et les inconvénients des différentes technologies des cellules solaires. ....	8
---	---

### **Chapitre II: La modélisation d'un système photovoltaïque autonome.**

Tableau II.1: Les caractéristiques techniques du panneau.....	21
Tableau II.2: Résumé les niveaux de densité et avantages et les inconvénients.....	24

### **Chapitre III: Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque.**

Tableau III.1: L'effet de l'indice IAM.....	39
Tableau III.2: Les caractéristiques de la batterie.....	44
Tableau III.3: Les caractéristiques .....	45
Tableau III.4: les caractéristiques du régulateur.....	46

### **Chapitre IV: Comparaison entre la méthode classique et la simulation par PVsyst.**

Tableau IV.1 : les résultats itératifs et les résultats du PVsyst.....	59
--	----

## **Introduction générale :**

La transition énergétique et la recherche des solutions durables pour répondre aux besoins croissants en énergie sont des enjeux majeurs auxquels la planète est confrontée aujourd'hui. Dans ce contexte, l'exploitation des sources d'énergie décarbonée, se manifeste comme une solution prometteuse pour assurer une alimentation énergétique durable et respectueuse de l'environnement.

Le présent mémoire de fin d'études porte sur le dimensionnement d'un système solaire photovoltaïque installé dans la wilaya de Tlemcen, en Algérie. Cette région bénéficie d'un fort ensoleillement durant l'année, offrant un bon rendement pour l'exploitation de l'énergie solaire. L'objectif principal de ce travail est d'étudier et dimensionner une installation photovoltaïque autonome adapté aux conditions climatiques et énergétiques de la région de Tlemcen. Ce mémoire est traité en quatre grands chapitres :

Le premier chapitre résume le principe de fonctionnement d'une cellule solaire. Ainsi, nous présentons les différentes architectures d'une installation solaire.

Dans le deuxième chapitre, nous mettrons les étapes nécessaires pour modéliser un système solaire de la cellule au module photovoltaïque.

Le troisième chapitre est le cœur de notre travail. Où nous allons analyser les conditions climatiques d'un site choisi dans la wilaya de Tlemcen, ainsi que les besoins énergétiques auxquels le système PV devra répondre. Ensuite, nous discutons les résultats obtenus par le logiciel PVsyst.

Et en quatrième chapitre, nous comparons les résultats trouvés par la simulation avec la méthode classique.

Enfin, nous finissons ce mémoire par une conclusion générale.

# Chapitre I : Etat de l'art de l'énergie photovoltaïque.

## 1. Introduction :

Ce chapitre, nous analysons le domaine de l'énergie photovoltaïque en étudiant le principe de la conversion photovoltaïque, ainsi que les différentes technologies de ces cellules et les variantes configurations des systèmes photovoltaïques.

## 2. L'énergie solaire :

Le soleil est la principale source d'énergie propre sur notre planète. Le rayonnement solaire se propage dans toutes les directions de l'espace, cette énergie est générée par la conversion de rayons du soleil [1] [2].

## 3. Rayonnement solaire :

Le faisceau lumineux désigne la forme d'énergie qui provient du soleil sous forme de rayons électromagnétique [3].

Il existe différents types de rayonnements, parmi lesquels certains ne sont pas parvenus jusqu'au sol. Cela signifie qu'il existe plusieurs catégories de rayonnements comme illustré dans la figure I.1 [4] :

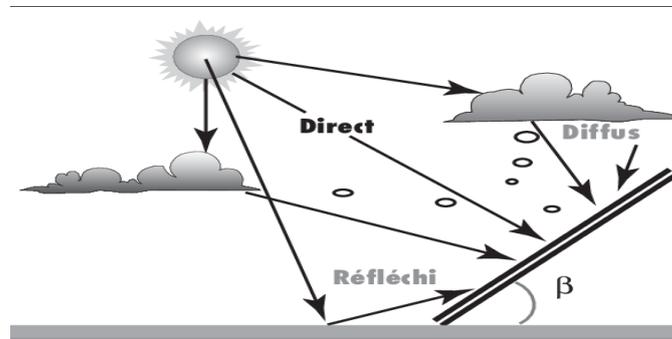


Figure I.1: Composants du rayonnement solaire avec  $\beta$  est l'angle d'inclinaison.

## 4. Le gisement solaire :

Un champ solaire indique un ensemble de données de la variation du rayonnement solaire disponible pour un lieu.

Grace à sa position géographique favorable, l'Algérie possède un important gisement solaire [5] [6].

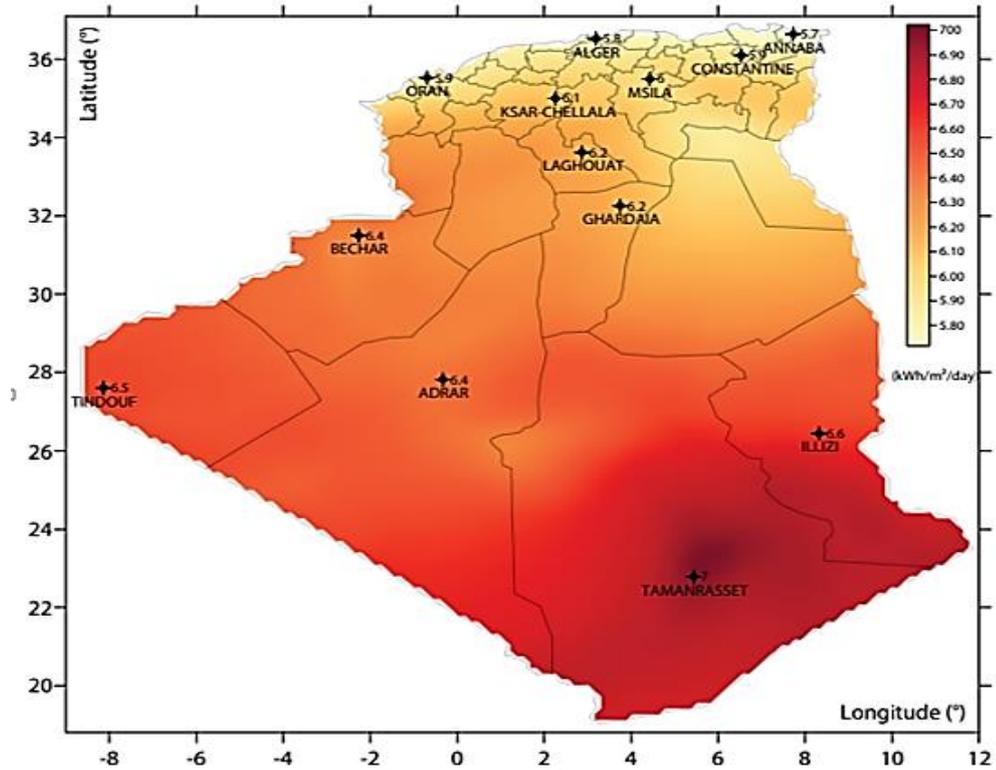


Figure I.2 : Carte de l'irradiation solaire globale horizontale par ciel claire 2019.

## 5. Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque :

La figure suivante discute les techniques principaux mis en jeu, lors de l'évolution de la conversion photovoltaïque[7] [8]:

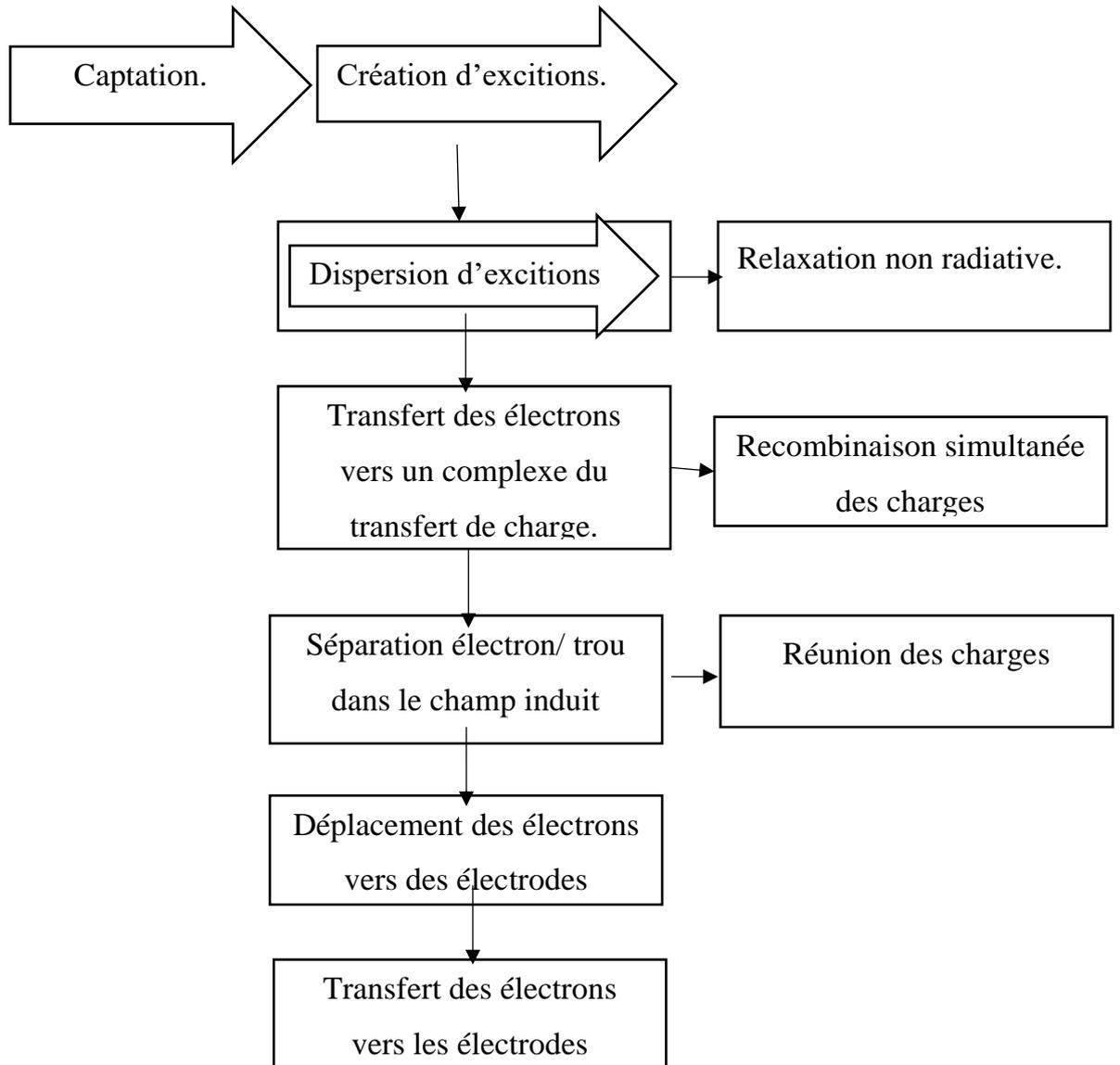


Figure I.3 : Mécanisme de la conversion photovoltaïque.

La conversion photovoltaïque consiste à absorber les rayons solaires à l'aide de cellules solaires, ce qui permet de convertir l'énergie des photons en énergie électrique.

Lorsqu'un matériau semi-conducteur, utilisé pour les cellules solaires, capte un photon il transfère une partie de son énergie à un électron. Par suite, l'électron va être projeté vers un niveau d'énergie supérieur, créant une paire électron-trou avec une énergie électrique (figure I.4).

## Chapitre I : Etat de l'art de l'énergie photovoltaïque.

Les cellules solaires interprètent un rôle important dans l'effet photovoltaïque, elles sont composés d'un semi-conducteur de type n et un semi-conducteur de type p formant une jonction PN (figure I.5). La bande de valence (BV) et la bande de conduction (BC) sont les niveaux d'énergie responsable de l'absorption des photons. Ces derniers sont séparés par une bande de gap ( $E_g$ ), et seuls les photons ayant une énergie supérieure à  $E_g$  seront absorbés[9].

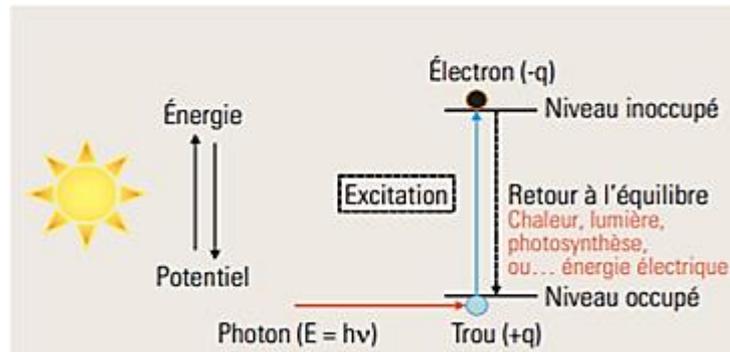


Figure I.4 : Processus d'absorption de la lumière dans un matériau.

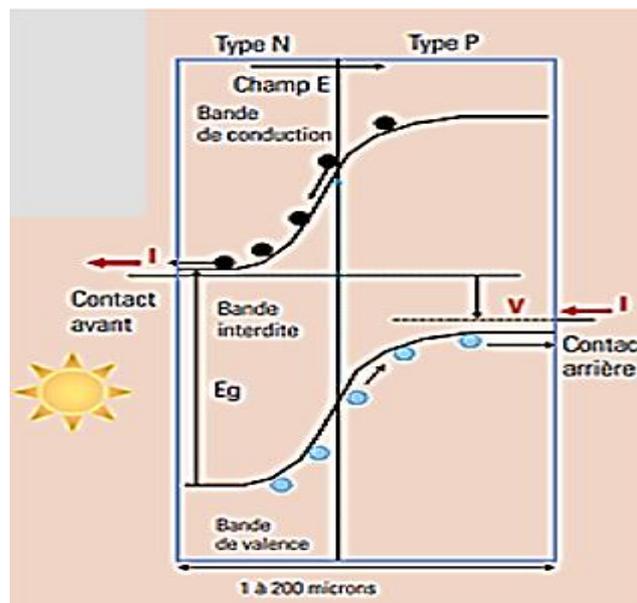


Figure I.5 : Jonction PN semi-conducteur.

L'interface entre les deux zones de la cellule solaire crée un champ électrique qui permet de générer un courant électrique dans le circuit externe. Cependant, il est important de noter que le courant engendré par le capteur photovoltaïque est souvent inférieur au nombre de photons atteignant le matériau, car plusieurs conditions doivent être satisfaites pour une conversion maximale de l'énergie [7].

## 6. Les technologies des cellules photovoltaïques :

D'après la littérature il y a trois grandes générations des cellules solaires relative au développement des technologies au niveau du matériau[10].

### 1) *La première génération à base de silicium cristallin :*

Cette technologie est la plus ancienne dans le domaine des cellules solaires. Elle est principalement reposée sur une seule jonction P-N, utilisant le silicium dopé comme matériau semi-conducteur. Il y a généralement deux catégories du silicium cristallin : le silicium monocristallin et le silicium polycristallin[11] [12].

### 2) *La deuxième génération à base de couche-mince :*

L'utilisation des couches minces de silicium amorphe d'une épaisseur de l'ordre du micron, permet la fabrication de ces cellules à coût réduit. Ouvrant la voie à la deuxième génération connue sous le nom « couche mince » [13] [14].

Des études se sont aussi accordées sur d'autres matériaux que le silicium, offrant de meilleures performance et de rendement élevé.

- ❖ Silicium amorphe (a-Si).
- ❖ Tellurure de cadmium (CdTe).
- ❖ Cuivre- indium- sélénium ou cuivre- indium- galium- sélénium (CIS ou CIGS).

### 3) *La troisième génération « les cellules organiques » :*

Actuellement, il existe trois catégories de cellules solaires faisant partie de la troisième génération : les cellules moléculaires, les cellules polymères et les cellules hybrides organiques. Cependant, il convient de noter que ces technologies sont encore en phase de développement[14] [15].

Le tableau I.1 résume les atouts et les désavantages de différente technologie des cellules solaires.

## Chapitre I : Etat de l'art de l'énergie photovoltaïque.

Tableau I.1 : les avantages et les inconvénients des différentes technologies des cellules solaires.

Technologies	Avantages	Inconvénient
<b>La première génération</b>	Durée de vie plus longue (25 à 30 ans). Un bon rendement (12 à 20%).	Elle consomme plus d'énergie donc c'est cher. Elle a besoin d'un silicium extrêmement pur.
<b>La deuxième génération</b>	Souplesse. Prix moins élevé.	Rendement 7 à 13%.
<b>La troisième génération</b>	La flexibilité et légèreté. Très bas cout.	6 à 7 % pour une cellule en silicium amorphe commerciale à plus de 47% au laboratoire pour une cellule multi-jonction à concentration.

### 7. Les systèmes photovoltaïques :

#### 1) *Le système PV autonome :*

Ce système est conçu pour fonctionner de manière autonome, sans être relié au réseau électrique principal, ce qui en fait une solution adapté aux sites isolés. Ce type de système utilise généralement un système de stockage d'énergie pour une utilisation ultérieure [16]. Les composants clés de ces systèmes sont les suivants :

- **Générateur photovoltaïque :** Est l'élément principal qui permet de convertir l'énergie solaire en énergie électrique.
- **Batterie d'accumulateurs :** Assure le stockage de l'énergie produite par le générateur PV.

- **Contrôleur de charge** : existe deux catégories de contrôleurs, le contrôleur PWM (Pulse Width Modulation) ou le contrôleur MPPT (Maximum Power Point Tracking). Le contrôleur protège la batterie contre les états de décharge profonde.
- **Onduleur** : Est un appareil qui permet de convertir l'énergie en courant alternatif pour alimenter les appareils électriques.

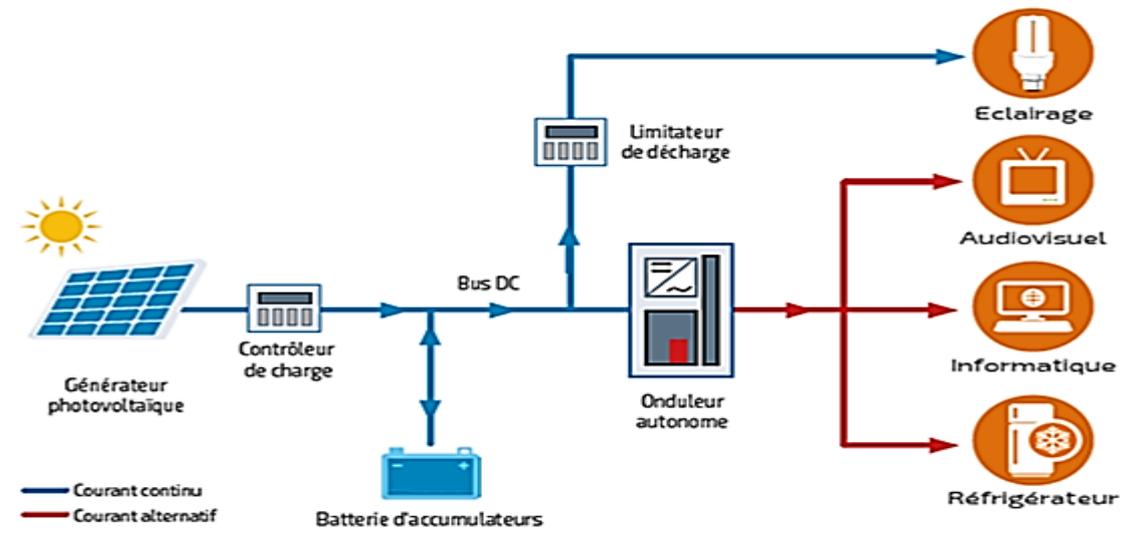


Figure I.6 : Schéma de principe d'un système photovoltaïque autonome avec batterie.

## 2) *Le système raccordé au réseau :*

Ce système a pour fonction de générer de l'électricité et de l'injecter directement dans le réseau électrique public, où elle est utilisée par les consommateurs ou stockée pour une utilisation ultérieure.

Ce type de système est généralement installé sur des sites connectés au réseau électrique, pour utiliser l'énergie produite par le système directement et tout l'excédent ou le manque d'énergie peut être injecté ou extrait du réseau[17].

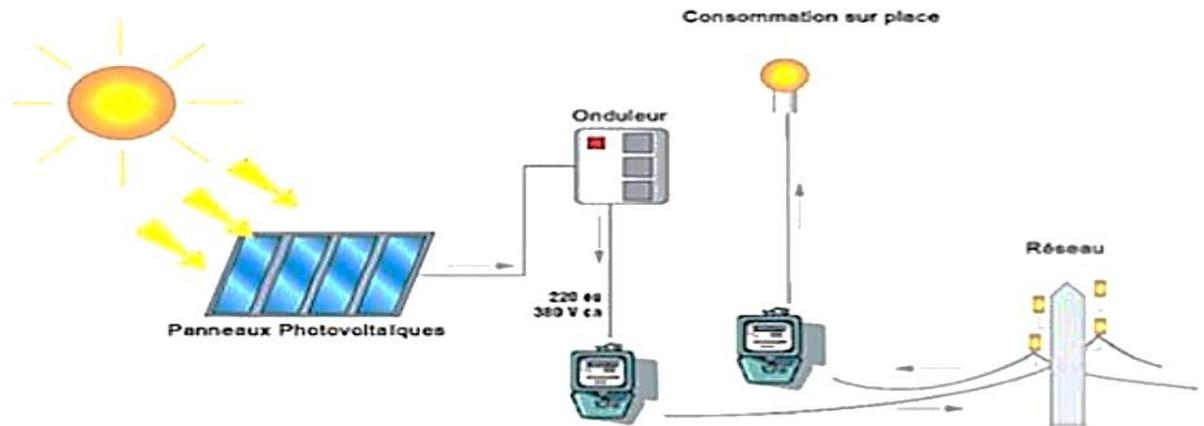


Figure I.7 : Système PV raccordé au réseau sans batterie.

### 3) Le système hybride :

Un système hybride combine des panneaux solaires photovoltaïques avec une autre source d'énergie, telle qu'un groupe électrogène, une batterie ou un générateur diesel, pour assurer une alimentation électrique stable et fiable. Si la production solaire est insuffisante, le système bascule automatiquement sur une autre source d'énergie[18].

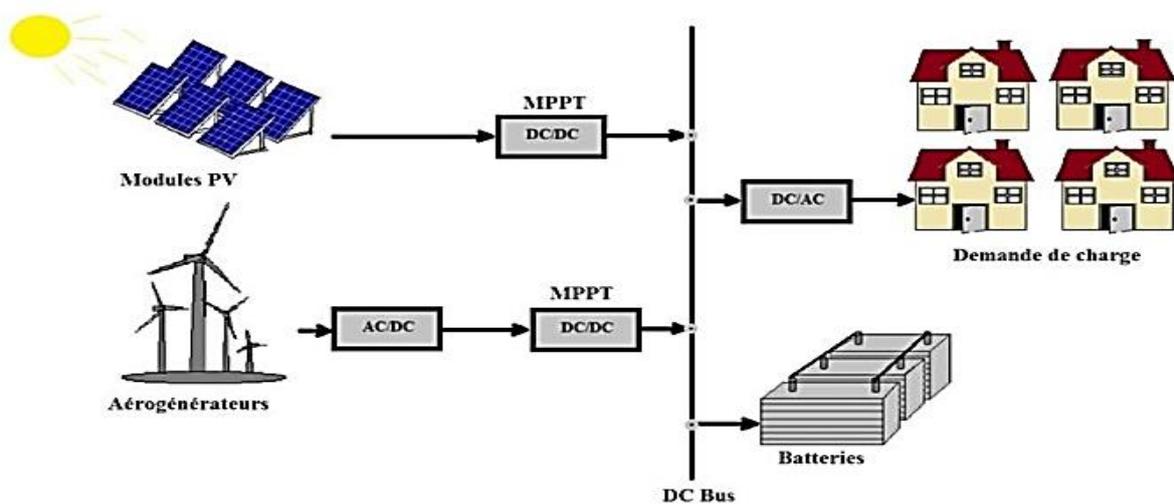


Figure I.8 : Système PV hybride PV/éolien.

## 8. Circuit électrique équivalent d'une cellule solaire :

Le schéma électrique d'une cellule solaire idéale comprend généralement une source de courant ( $I_{ph}$ ) en parallèle avec une diode idéale et une résistance série ( $R_s$ ). La source de courant représente la production d'énergie électrique, tandis que la diode

idéale représente les caractéristiques non linéaires. La résistance série symbolise la résistance interne. La figure I.9 illustre le schéma équivalent d'une cellule solaire idéale :

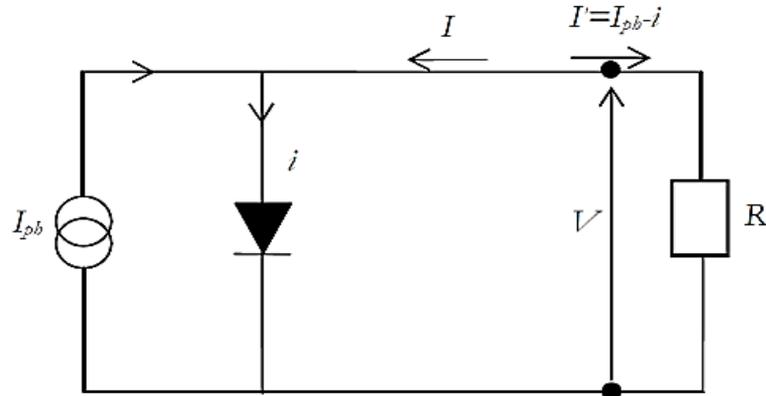


Figure I.9 : Schéma équivalent d'une cellule solaire idéale.

Lorsque la jonction p-n est connectée à une résistance de charge  $R_s$ , une tension  $V$  se développe due à la chute ohmique de courant à travers  $R_s$ . Lorsque le circuit est en circuit ouvert ( $R_s$  tend vers l'infini),  $V$  tend vers  $V_{co}$ . La direction du courant  $I_{ph}$  à travers  $R_s$  crée une tension qui s'oppose au courant  $i$  à travers la jonction[19].

$$I = I_{ph} - i \quad (\text{I.1})$$

La résistance série  $R_s$  représente les pertes résistives au sein de la structure, y compris la résistance de contact à l'interface métal/semi-conducteur et la résistance de contact du métal lui-même. Pour minimiser son impact sur le courant de la cellule, il est important de réduire au maximum  $R_s$  en optimisant le contact métal/semi-conducteur et en diminuant la résistivité du matériau. Cependant, il est crucial de trouver un compromis entre la résistivité et la recombinaison des porteurs: un dopage excessif peut entraîner une recombinaison excessive.

La deuxième composante est la résistance shunt  $R_{sh}$ , qui englobe les pertes surfaciques et les pertes dues à des défauts matériels. Ainsi, une partie du courant  $I_{ph}$  est court-circuitée par cette résistance et ne peut pas être délivrée à la charge. En général,  $R_{sh}$  est supérieure d'au moins un ordre de grandeur par rapport à  $R_s$ . Pour réduire les pertes, il est nécessaire de diminuer  $R_s$  et d'augmenter  $R_{sh}$ . Dans l'idéal,  $R_{sh}$  tendrait vers l'infini tandis que  $R_s$  serait égal à zéro.

Par conséquent, l'équation caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque compte tenu de la résistance parasite est [20] :

$$I(V) = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (I.2)$$

Avec :

$I_d$  : le courant de la diode

$I_{sh}$  : le courant qui traverse la résistance shunt (parallèle).

### 9. Les paramètres des cellules photovoltaïques :

Les paramètres des cellules photovoltaïques ( $I_{cc}$ ,  $V_{co}$ ,  $P_{max}$ ,  $ff$  et  $\eta$ ) extraits des caractéristiques courant-tension permettent de comparer différentes cellules éclairées dans les mêmes conditions.

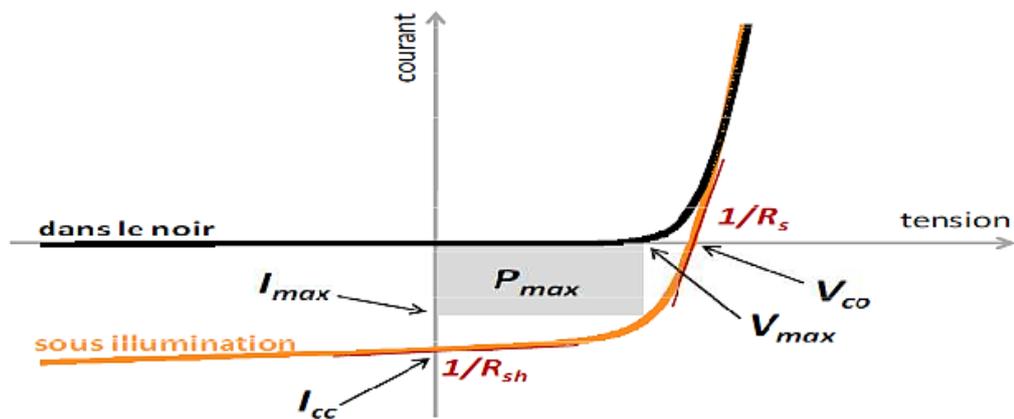


Figure I.10 : Caractéristique courant-tension et paramètres physiques d'une cellule photovoltaïque.

#### 1) Courant de court-circuit $I_{cc}$ :

Le courant de court-circuit d'un module solaire correspond au courant maximum que le module peut fournir lorsque sa tension de sortie est nulle ( $V=0$ ). Ce courant dépend de la longueur d'onde du rayonnement, de la surface de la cellule et de la mobilité des porteurs. Il est directement proportionnel à l'intensité lumineuse reçue[21].

On peut écrire :  $I(V = 0) = I_{ph}$  (I.4)

**2) Tension à circuit ouvert  $V_{CO}$  :**

La tension de circuit ouvert ( $V_{CO}$ ) d'un module solaire représente la tension maximale que le module peut fournir lorsqu'il est connecté à un circuit ouvert, c'est-à-dire lorsque le courant de sortie est nul.

La valeur de tension à circuit ouvert ( $V_{CO}$ ) est également spécifiée dans les caractéristiques techniques du module solaire est mesurée en volts (V). Elle dépend de plusieurs facteurs, tels que la surface de la cellule solaire, le type de matériau semi-conducteur utilisé, etc [22].

$$V_{co} = \frac{KT_c}{q} \log\left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1\right) \quad (\text{I.5})$$

Avec :

$\frac{KT_c}{q}$  : Le potentiel thermodynamique.

$T_c$  : La température absolue.

$q$  : La constante de charge d'électron.  $1.602 \cdot 10^{-23} \text{C}$ .

$K$  : La constante de Boltzman.  $1.38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$ .

$I_{ph}$  : Le courant photonique.

$I_s$  : Le courant de saturation.

**3) Rendement d'une cellule :**

Le rendement d'une cellule solaire est un élément essentiel qui mesure la quantité d'énergie lumineuse convertie en énergie électrique par la cellule solaire. Ce rendement est influencé par divers facteurs, notamment la conception de la cellule, la qualité de fabrication[23].

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{FF \cdot I_{CC} \cdot V_{CO}}{P_{in}} \quad (\text{I.6})$$

Avec :

$P_{max}$  : La puissance maximale.

$P_{in}$  : La puissance incidente.

En améliorant le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension en circuit ouvert, il est possible d'augmenter l'efficacité d'une cellule solaire. La conversion de l'énergie permet d'évaluer les performances de la cellule en se basant sur sa valeur obtenue.

*4) Le facteur de forme FF :*

Un paramètre important utilisé fréquemment dans la caractéristique I-V pour évaluer les performances d'une cellule ou d'un générateur photovoltaïque est le facteur de remplissage (FF). Ce coefficient représente le rapport entre la puissance maximale ( $P_{max}$ ) et la puissance formée par le rectangle  $I_{cc} * V_{co}$ . Une valeur élevée de ce facteur indique une plus grande capacité de conversion. Le facteur de remplissage est défini par la relation suivante[12] :

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (I.7)$$

*5) Puissance maximale :*

La puissance fournie par une cellule photovoltaïque à un circuit externe sous la lumière du soleil dépend de la résistance de charge. Cette puissance est la valeur maximale (notée  $P_{max}$ ) du point de fonctionnement  $P_{max}$  ( $I_{max}$ ,  $V_{max}$ ) de la courbe courant-tension (courant entre 0 et  $I_{CC}$ , tension entre 0 et  $V_{CO}$ )[24].

## **10. Conclusion:**

Les systèmes photovoltaïques sont de plus en plus utilisés comme solution d'énergie renouvelable et durable pour alimenter différentes charges électriques. Leurs avantages à plus longue échéance de production d'énergie propre et de réduction des coûts d'énergie en font un investissement rentable sur le long terme.

## Chapitre II : La modélisation d'un système photovoltaïque autonome

## 1. Introduction :

Un système PV autonome fonctionne indépendamment sans alimentation extérieure. Ces systèmes sont utilisés dans les zones isolées.

Dans ce chapitre nous présentons les différentes formules utilisées pour modéliser un Système PV autonome.

## 2. Le panneau photovoltaïque :

Un panneau solaire photovoltaïque génère de l'électricité en courant continu à partir des cellules solaires. Il se compose d'une ou plusieurs cellules qui sont connectées en série ou en parallèle pour obtenir les caractéristiques électriques souhaitées [25].

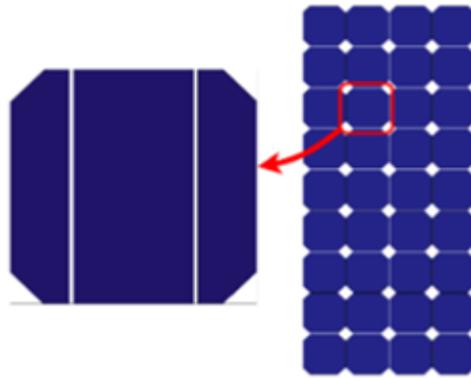


Figure II.1 : un panneau photovoltaïque.

### 1) Association des cellules en série :

Lorsque les cellules sont connectées en série, la tension totale augmente tandis que le courant reste le même. La figure II.2 illustre la caractérisation I-V obtenue en associant les cellules solaires en série, où la tension  $V$  est déterminée selon [26], [27]:

$$V = N_s \cdot V_i \quad (\text{II.1})$$

Avec :

$V$ (V) : La tension aux bornes de l'assemblage (en volt).

$V_i$  : La tension individuelle d'une cellule.

$N_s$  : Le nombre de cellule associé en série.

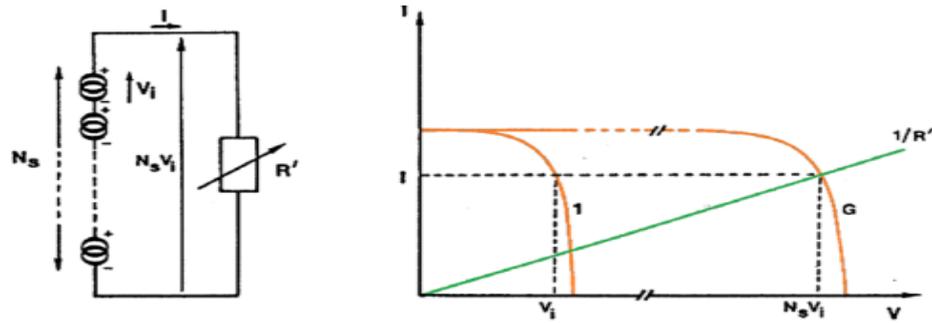


Figure II.2 : Association de  $N_s$  cellules en série.

## 2) Association en parallèle :

Contrairement à l'association en série, lorsque les cellules solaires sont connectées en parallèle, la tension reste constante aux bornes de ses branchements. La figure II.3 représente également la caractérisation I-V obtenue en connectant les cellules solaires en parallèle, où la tension  $V$  est déterminée selon[28]:

$$I = N_p \cdot I_i \quad (\text{II.2})$$

Avec :

$I(A)$  : Le courant aux bornes de l'assemblage (en ampère).

$N_p$  : Le nombre de cellule associé en parallèle.

$I_i$  : le courant d'une cellule.

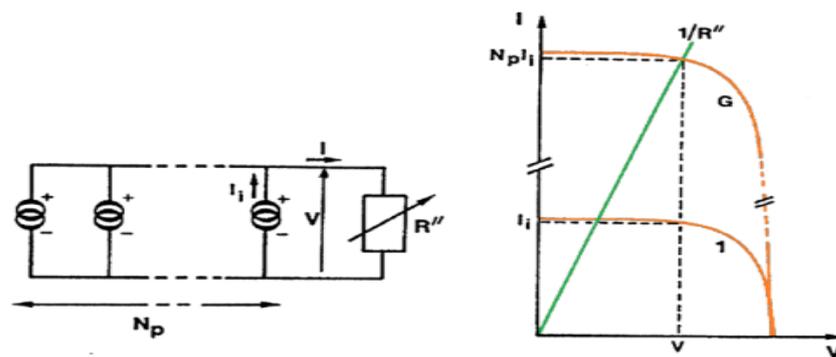


Figure II.3 : Association de  $N_p$  cellules en parallèle.

## 3. Influence des conditions atmosphériques :

### 1. Influence de l'ensoleillement sur le fonctionnement de la cellule PV :

La figure II.4 présente les caractéristiques I-V de module PV simulé dans le chapitre 3, qui sont obtenues à partir de 150 cellules de silicium monocristallin sous

différents niveaux d'ensoleillement. On observe que le courant est directement proportionnel à l'intensité lumineuse. En revanche, la tension subit à une légère diminution lorsque l'intensité diminue, en raison des propriétés de fonctionnement des matériaux semi-conducteurs. Par conséquent, la puissance maximale ( $P_{MAX}$ ) est étroitement liée à l'intensité lumineuse [29], [30].

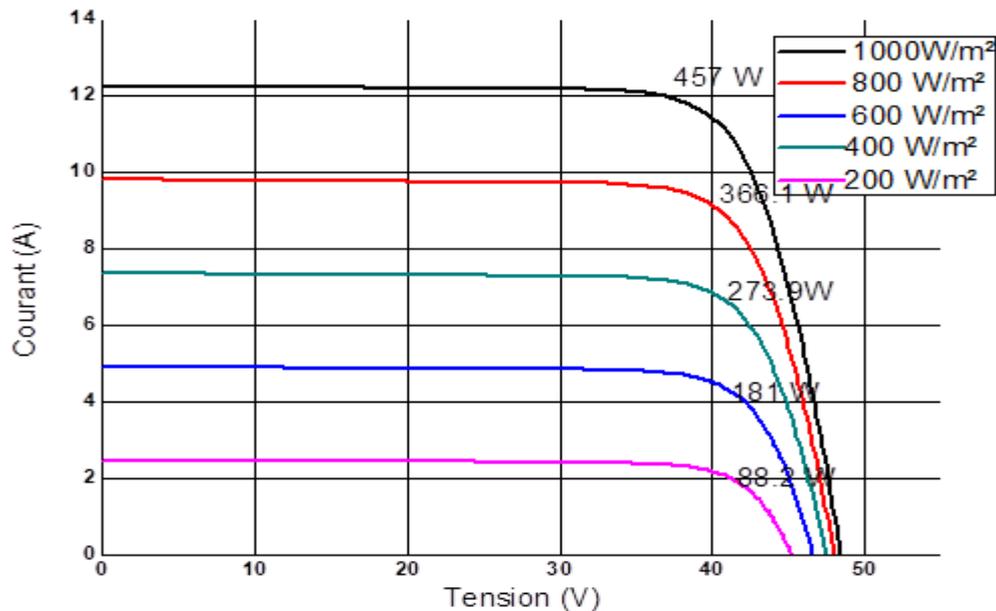


Figure II.4: Effet de l'irradiation sur les caractéristiques I-V du panneau Maysun solar

### *2. L'influence de la température sur le fonctionnement d'une cellule PV :*

Les caractéristiques I-V d'une cellule PV dépendent fortement de la température au niveau de la surface. D'après la figure 5, donné par PVSYST, on remarque que le courant reste constant. Par contre la tension de circuit ouvert diminue en fonction de l'intensité lumineuse. La baisse globale de puissance est d'environ de 0,8 % / °C. Ainsi, plus la température augmente moins la cellule est performante[31], [32].

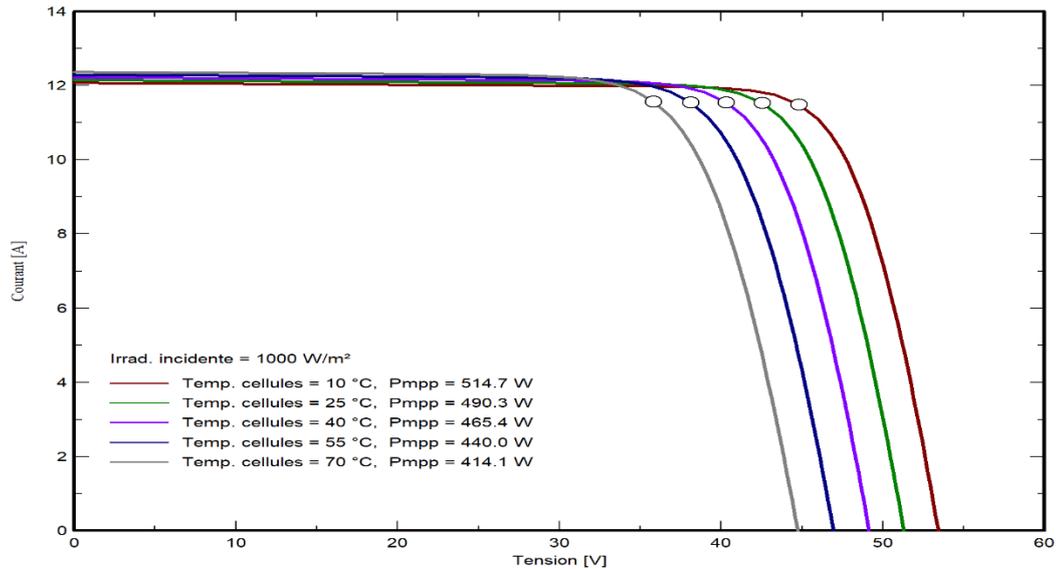


Figure II.5: Effet de la température sur les caractéristiques I-V du panneau Maysun solar.

#### 4. La modélisation d'un champ photovoltaïque autonome :

Dans les installations photovoltaïques autonomes, il est essentiel d'ajouter un système de stockage pour garantir une alimentation électrique continue particulièrement pendant la nuit [33]. D'après SOUISSI Anoir, la référence [34], la figure II.6 représente la composition des éléments de l'installation photovoltaïque autonome.

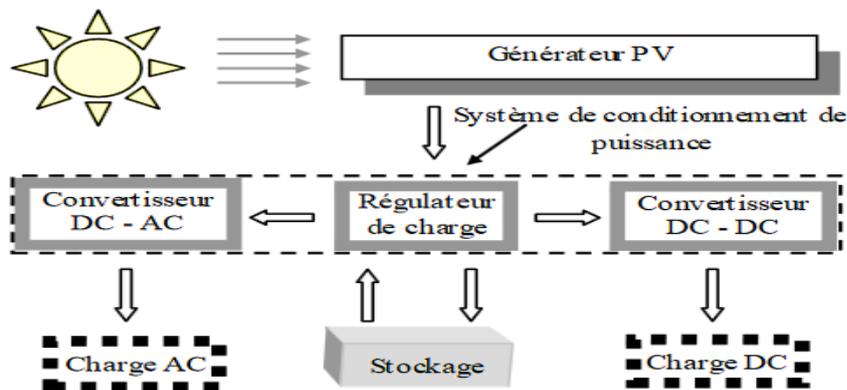


Figure II.6: Schéma synoptique d'un système PV autonome[34].

##### 1) Un champ photovoltaïque :

###### a) Les caractéristiques I-V :

Il existe différentes configurations pour l'association de générateurs photovoltaïques, telles que l'association en série, en parallèle ou mixte, qui sont

choisies en fonction des caractéristiques électriques des panneaux solaires et des besoins du système[35].

Pour simuler les caractéristiques d'un générateur photovoltaïque, l'utilisation de schémas électriques équivalents est courante. Deux modèles principaux sont utilisés: le modèle à une diode et le modèle à deux diodes [36]. Les figures II.7 et II.8 illustrent le circuit électrique de la cellule PV de deux modèles.

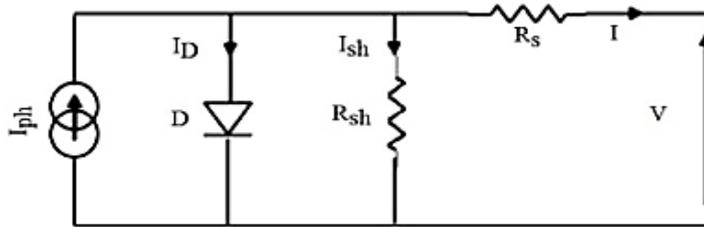


Figure II.7 : Schéma électrique équivalent de la cellule photovoltaïque Modèle à une diode [36].

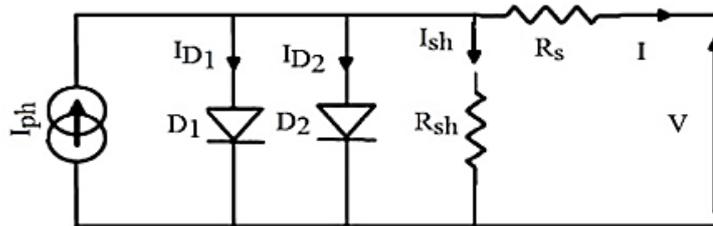


Figure II.8 : Schéma électrique équivalent de la cellule photovoltaïque Modèle à deux diodes [36].

Le modèle à une diode offre un bon rendement compromis entre simplicité et précision : il apparaît très adapté à notre étude. L'équation I-V est donnée par :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ \exp \left( \frac{V + R_s I}{n V_t} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (\text{II.3})$$

Où :

$$V_t = \frac{N_s K T}{q} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

$I_{ph}$  : Photo-courant du module.

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

$n$  : Facteur d'idéalité de la jonction ( $1 \leq n \leq 1,5$ ).

Rsh : Résistance en parallèle (résistance shunt).

R<sub>s</sub> : Résistance en série.

q : Charge de l'électron.

k : Constante de Boltzman.

T : Température des cellules variant en fonction de l'éclairement et de la température ambiante selon la relation suivante :

$$T - T_a = \frac{G}{800} \times (Noct - 20) \quad (II.5)$$

Avec :

T<sub>a</sub> : Température ambiante.

NOCT : Tension nominale de fonctionnement de la cellule. Sous les conditions G= 800 W/m<sup>2</sup> ; T<sub>a</sub>= 20°C.

Nous avons choisi le module photovoltaïque de type Monocristalline PV module de marque **Maysun Solar** dont les caractéristiques techniques sont résumées dans le tableau II.1 :

Tableau II.1 : les caractéristiques techniques du panneau.

**Données électriques pour un flux de 1000W/m<sup>2</sup>**

<b>Type du module PV</b>	MS-490-MB-40H-150cells
<b>Puissance maximale (W<sub>C</sub>)</b>	490
<b>Tension maximale (V)</b>	42.40
<b>Tension de circuit ouvert (V)</b>	51.30
<b>Courant de court de circuit (A)</b>	12.14
<b>Rendement (%)</b>	20.3
<b><u>Caractéristiques du module</u></b>	
<b>Nombres de cellule par module</b>	150
<b>Dimensionnement (mm)</b> (longueur*largeur*épaisseur)	2185*1098*35(±2mm)
<b>Poids (Kg)</b>	26.5

L'équation de la caractéristique tension-courant du champ composé N<sub>s</sub> modules en série et N<sub>p</sub> modules en parallèle est la formule :

$$I = N_p \cdot I_{ph} - N_p \cdot I_0 \left( \exp \left( \frac{q(V+R_{se}I)}{nAKTN_s} \right) - 1 \right) - N_s \cdot \frac{V+R_{se}I}{R_{pe}} \quad (\text{II.6})$$

Avec :

$R_{se}$  et  $R_{pe}$  Résistance en série et en parallèle du module défini par :

$$R_{se} = n \frac{N_s}{N_p} R_s \text{ et } R_{pe} = n \frac{N_s}{N_p} R_p \quad (\text{II.7})$$

La figure II.9 illustre les caractéristiques I-V dans des conditions de 1000W/m<sup>2</sup> et de 25°C.

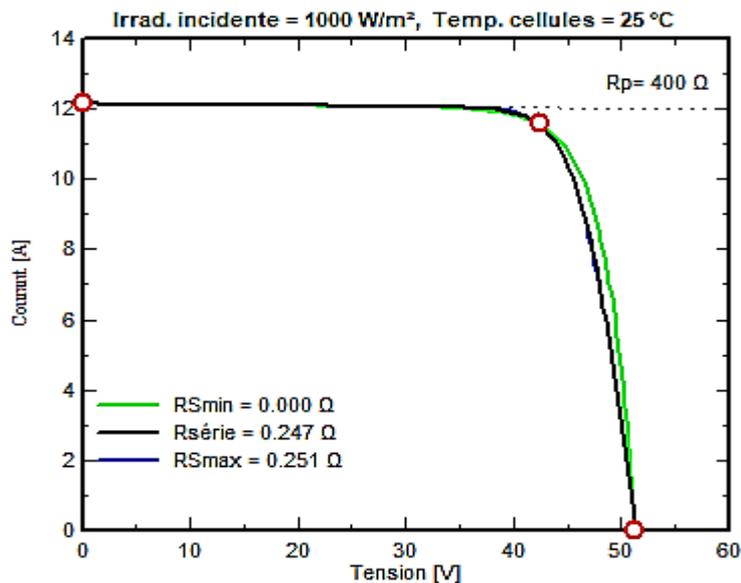


Figure II.9 : Les caractéristiques I-V de module *Maysun Solar*.

## 2) Estimation de l'énergie générer un par un générateur photovoltaïque :

La puissance produite par le générateur photovoltaïque est estimée à partir des données d'irradiation, de la température et des caractéristiques des modules photovoltaïque utilisés[17], qui s'exprime par la relation donnée par :

$$P_{gen} = \eta_{gen} * A_c * E_s \quad (\text{II.8})$$

Tel que:

$A_c$  : La surface totale de captation du générateur photovoltaïque (m<sup>2</sup>).

$\eta_{gen}$  : Le rendement du générateur photovoltaïque.

$E_s$  : Irradiation solaire globale du lieu considéré (W/m<sup>2</sup>).

Le rendement du générateur photovoltaïque est calculé par l'équation :

$$\eta_{gen} = \eta_{mod} * \eta_{dc/ac} * N_{mod} * P_f \quad (\text{II.9})$$

$$\eta_{mod} = \eta_{ref} \{1 - \beta(T_c - T_{ref})\} \quad (\text{II.10})$$

Avec :

$\beta$ : coefficient tenant compte de la variation du rendement du module photovoltaïque en fonction de la température, qui est pris à 0,0045°C[37].

$\eta_{ref}$  : Rendement de la référence du générateur photovoltaïque.

$\eta_{dc/ac}$  : Rendement du convertisseur CC/CA (ce rendement est égale à 0,95)[28].

$T_c$  : Température de la cellule °C.

$P_f$  : Facteur de remplissage du module, égale à 0,9 [28].

### 3) *Le système du stockage :*

#### a) Type des batteries :

Il existe différents types d'accumulateurs qui peuvent être utilisés, tels que :

##### ➤ Les batteries plomb-acide :

Ce sont les batteries les plus courantes utilisées dans les systèmes photovoltaïques[38].

##### ➤ Les batteries Nickel-cadmium (NiCd) :

Les batteries au plomb-acide ont une durée de vie limitée par rapport à ces batteries, qui peuvent fonctionner de manière plus efficace à des températures plus élevées[38].

##### ➤ Les batteries Nickel-Métal hydrure (NiMh) :

Les batteries mentionnées ont une capacité de stockage d'énergie supérieure à celle des batteries au plomb-acide, et elles sont également plus respectueuses de l'environnement par rapport aux batteries Nickel-cadmium[39].

##### ➤ Les batteries Lithium-ion (Li-ion) :

Sont valorisées pour leur densité énergétique élevée, leur faible taux de décharge et leur absence d'effet de mémoire. Cependant, elles sont adaptées aux installations plus petites où l'espace est limité[39].

## Chapitre II : La modélisation d'un système photovoltaïque autonome

Le tableau II.2 résume les niveaux de densité en Watt-heure/kg et quelques avantages et inconvénients de chaque type d'accumulateurs :

Tableau II.2 : résume les niveaux de densité et avantages et inconvénients.

Types d'accumulateurs.	Niveau de densité.	Avantages.	Inconvénients.
<b>Plomb-acide.</b>	40 (Wh/kg)	-Peu coûteuses. - Facilement disponibles. -Peuvent fournir des courants de décharge élevés.	-Durée de vie limitée. -Nécessitent un entretien régulier.
<b>Nickel-cadmium.</b>	55 (Wh/kg)	-Durée de vie plus longue. -Fonctionnement à haute température.	-Coûteuses. -Le cadmium métal toxique.
<b>Nickel-Métal hydrure.</b>	80 (Wh/kg)	-Durée de vie plus longue. -Moins chères.	-Perdre de charge au fil du temps. -Entretien régulier.
<b>Lithium-ion.</b>	120 (Wh/kg)	-Légères et compactes. -Peu d'entretien.	-Coûteuses. -Sensibles aux variations de température.

### b) La modélisation d'une batterie :

#### *i. Les caractéristiques principales d'une batterie :*

La diversité dans le domaine d'utilisation de la batterie impose plusieurs types de normes pouvant être utilisées pour déterminer ses performances ainsi doit remplir trois fonctions importantes[40]:

- **Autonomie :** exprimée en nombre de jours. La durée de vie de la batterie correspond à la période pendant laquelle elle est capable de fonctionner sans se détériorer.

## Chapitre II : La modélisation d'un système photovoltaïque autonome

- Courant surcharge : Cela implique qu'il y'a un courant excédentaire par rapport à la capacité de production du champ photovoltaïque.
- Stabilisation de la tension : La batterie assure une alimentation électrique stable, élimine ainsi les fluctuations de tension du champ photovoltaïque et permettant aux équipements de fonctionner à une tension optimale.

Généralement les propriétés électriques suivantes sont employées pour caractérisés une batterie :

- La capacité nominale :  $C_{batmax}$  représente la quantité maximale d'énergie électrique en ampères-heures (Ah) qu'une batterie peut fournir dans des conditions de décharge spécifiques et prédéterminées [16].
- L'état de la charge SOC (state of charge) : C'est le rapport entre la capacité présente et la capacité nominal à l'instant t [16]:

$$SOC(t) = \frac{C_{bat}(t)}{C_{batmax}(t)} \quad (0 \leq SOC \leq 1) \quad (II. 11)$$

Si SOC=1: La batterie est totalement chargée.

Si SOC=0 : La batterie est totalement déchargée.

- La tension : Plus la demande d'énergie est importante, plus la tension doit être élevée.

La figure 10 représente l'évolution de la tension pendant la charge de batterie plomb acide. On remarque que la charge théorique procède trois phases[37]:

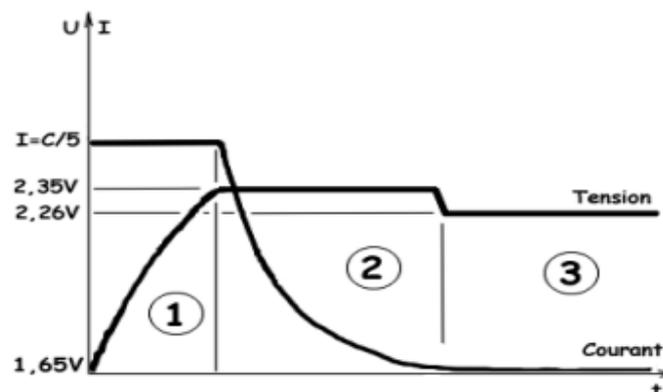


Figure II.10: Evolution de la tension et du courant avec le temps durant la charge d'un élément plomb acide.

## Chapitre II : La modélisation d'un système photovoltaïque autonome

Les trois phases décrivent le processus de charge d'une batterie.

➤ La phase 1 : La première étape est appelée phase de charge initiale, où le courant est limité pour éviter toute surchauffe de la batterie. Pendant cette phase, la tension augmente progressivement jusqu'à atteindre un seuil régulé de 2,35V par élément.

➤ La phase 2 : La deuxième étape est désignée comme la phase de charge principale, pendant laquelle la tension de charge est maintenue à 2,35V par élément tandis que le courant diminue progressivement jusqu'à atteindre une valeur inférieure à C/100. La durée de cette phase dépend à la fois de la capacité de la batterie et du courant de charge appliqué.

➤ La phase 3 : La troisième étape est désignée comme phase de charge d'entretien, au cours de laquelle la batterie est maintenue à une charge de 100 %. Pendant cette phase, la tension est maintenue de 2,26V par élément afin d'éviter toute surcharge de la batterie.

Il est essentiel de respecter ces phases pour garantir une charge optimale de la batterie et prolonger sa durée de vie. Une charge incorrecte peut entraîner des dommages à la batterie et réduire sa capacité de stockage d'énergie[37].

➤ La recharge de batterie :

Une charge correcte de la batterie devient un gain en longévité et en performances optimales quel que soient les conditions d'utilisation de cette batterie. En outre, il existe des exigences techniques telles que fiabilité. Il existe plusieurs modes de recharge, on peut citer : charge à courant constant, charge à tension constante, charge rapide[41].

➤ L'autodécharge :

La capacité d'une batterie peut diminuer progressivement même lorsqu'elle n'est pas utilisée, ce phénomène étant appelé autodécharge. Plusieurs facteurs peuvent contribuer à l'autodécharge. Tout d'abord, dans le cas des batteries non hermétiques, la densité de l'acide peut diminuer au fil du temps. Cela peut être dû à la présence

d'impuretés métalliques fines sur les électrodes, ce qui entraîne la formation de micro-batteries et la génération d'un faible courant électrique[41].

➤ La durée de vie :

La durée de vie de la batterie n'est généralement pas précisée car elle dépend principalement des conditions d'utilisation. On estime généralement sa durée de vie à 300 cycles, un cycle étant défini comme une décharge complète suivie d'une recharge. Le facteur déterminant de la durée de vie de la batterie est le taux de décharge maximal auquel elle est soumise[42].

➤ La charge :

Au cours du processus de charge, la batterie agit comme un récepteur avec une tension d'environ 2,2 V. À la fin de la charge (point M), la tension augmente rapidement et la plaque atteint une polarisation complète, atteignant une tension de 2,6 ou 2,7 V [43].

➤ La décharge :

Pendant des périodes d'utilisation assez longues, la tension reste significativement constante à une valeur d'environ 2 V. A partir du point N, elle chute brutalement à 1,8 V, ce qui implique que la batterie doit alors être chargée[43].

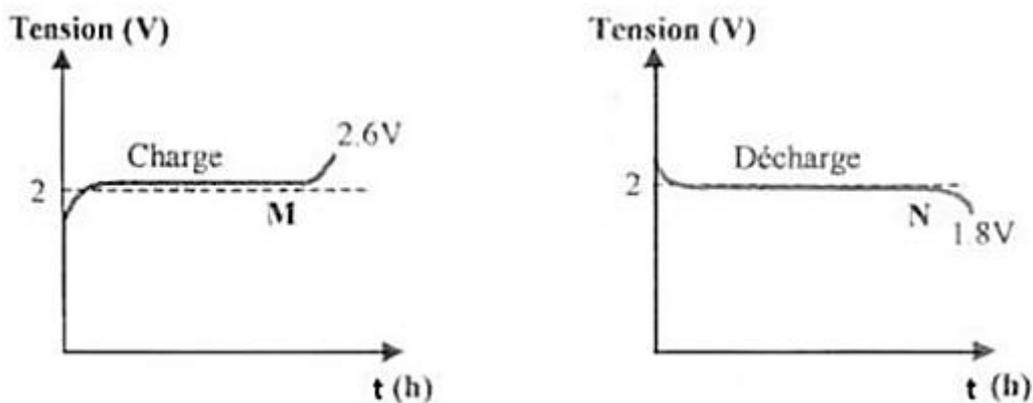


Figure II.11 : Caractéristique charge et décharge d'une batterie

## Chapitre II : La modélisation d'un système photovoltaïque autonome

Le régime de charge (ou décharge) est un paramètre important à prendre en compte lors de l'utilisation d'une batterie. Il représente le rapport entre la capacité nominale de la batterie et le courant auquel elle est chargée ou déchargée.

Pour éviter les décharges profondes qui peuvent endommager la batterie, il est important de maintenir la charge de l'accumulateur dans une certaine valeur. Cette plage de valeurs dépend du type de batterie utilisée et peut varier en fonction des conditions environnementales et des exigences de l'application [43].

$$C_{batmin}(t) \leq C_{bat}(t) \leq C_{batmax}(t) \quad (\text{II.12})$$

Avec :

$$C_{batmin} = \text{DOD} * C_{bat}.$$

Avec DOD est la profondeur de décharge de la batterie pris égal à 0,5.

Les processus de charge et de décharge de la batterie sont donnés respectivement par :

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1) + [(P_{tot}(t) - P_{cha}(t)) + P_{ge}(t)]\eta_{ac/de}\eta_{cha}\Delta t \quad (\text{II.13})$$

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1) + (P_{tot}(t) - P_{cha}(t))\Delta t / \eta_{ac/de}\eta_{decha} \quad (\text{II.14})$$

Où :

$\eta_{cha}$  : Est le rendement pendant la charge de la batterie.

$\eta_{déchar}$ : Est le rendement pendant la décharge de la batterie.

$C_{bat}(t)$  : Est la capacité  $C_{bat}$  de la batterie à l'instant t.

$C_{bat}(t-1)$  : Est la capacité  $C_{bat}$  de la batterie à l'instant t-1.

à t=0,  $C_{bat}(t-1)$  est la capacité initiale de la batterie.

### c) Le groupement de la batterie :

➤ Montage en série :

Le montage en série des plusieurs batteries consiste à obtenir des tensions multiples de 12 V, 24 V et 48 V, comme illustré dans la figure II.12. Le nombre de batteries en série nécessaire peut être déterminé selon la formule suivante[4] :

$$N_{BS} = \frac{V_{inst}}{V_{bat}} \quad (\text{II.15})$$

Avec :

$V_{bat}$  : Tension de la batterie (V).

$V_{insta}$  : Tension d'installation (V).

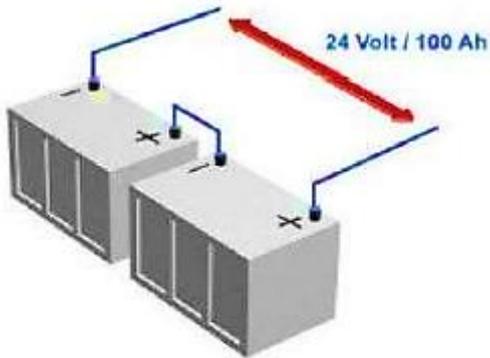


Figure II.12 : Association de deux batteries en série

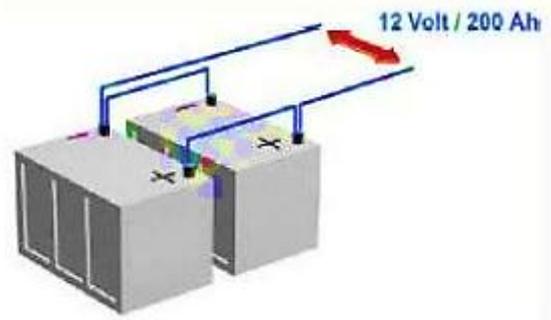


Figure II.13 : Association de deux batteries en parallèle.

➤ Montage en parallèle :

Ce montage est une association des batteries en parallèle pour augmenter la capacité. Pour connaître le nombre de batterie en parallèle, cette formule est utilisé [4] :

$$N_{BP} = \frac{N_B}{N_{BS}} \quad (\text{II.16})$$

Avec :

$N_B$ : Nombre total de la batterie.

$N_{BS}$  : Nombre de batterie en série.

➤ Calcule de nombre total de batterie :

$$N_B = \frac{C_{batmax}}{C_{bat}} \quad (\text{II.17})$$

Avec:

$C_{batmax}$  : Capacité de la batterie de stockage (Ah).

$C_{bat}$  : Capacité de la batterie (Ah).

4) *Le régulateur :*

Le contrôle et l'entretien de la batterie sont d'une importance primordiale pour assurer sa durabilité au sein du système, Le régulateur joue un rôle central dans un système photovoltaïque autonome, car il supervise les flux d'énergie et protège la batterie contre les surcharges et les décharges profondes résultant de son utilisation[32].

a) Les différents types du régulateur :

- Le type shunt : Le courant de charge de la batterie est dévié vers une résistance et conduit le circuit de courant au niveau du panneau solaire, il convient aux applications de faible puissance.
- Type "série" : Coupe occasionnellement le courant de charge de la batterie en ouvrant le circuit entre le panneau solaire et la batterie, il convient aux applications de moyenne puissance. Ce que ces deux méthodes ont en commun, c'est qu'elles utilisent le niveau de tension de la batterie pour déterminer quand réduire ou arrêter complètement la charge de la batterie[1].
- Le type MPPT (Maximum Power Point Tracker) : Permet d'optimiser en continu les paramètres de fonctionnement électrique des trois systèmes suivants : les modules photovoltaïques, les batteries et les récepteurs tels que les moteurs, l'éclairage, les réfrigérateurs, etc. Il mesure en permanence la tension et le courant du panneau solaire afin de capter l'énergie au point de puissance maximale. Ce type de régulateur est principalement utilisé dans les systèmes de grande puissance en raison de son coût élevé[4].

b) La modélisation du régulateur :

Pour dimensionner le régulateur, il faut prendre en considération trois éléments principaux[44]:

- La tension nominale entre les panneaux et la batterie.
- L'intensité maximale du régulateur.

- L'intensité maximale de sortie : Cette caractéristique est particulièrement considérable pour les systèmes solaires autonomes qui doivent alimenter plusieurs récepteurs à la fois.

$$I_S = 1,5 \frac{P}{V_{inst}} \quad (\text{II.18})$$

$I_S$  : courant de sortie du régulateur (A).

P : puissance totale de la charge lorsque tous les appareils fonctionnent au maximum de leur puissance de fonctionnement (W).

### 5) *L'onduleur :*

Les applications domestiques étant principalement alimentées en courant alternatif, le courant continu généré par le générateur doit être converti en courant alternatif ayant les mêmes caractéristiques que le courant du réseau électrique. Cette conversion est effectuée à l'aide d'un onduleur. Un onduleur est défini par sa puissance de sortie (côté AC), exprimé en kilovolt-ampères (kVA)[45].

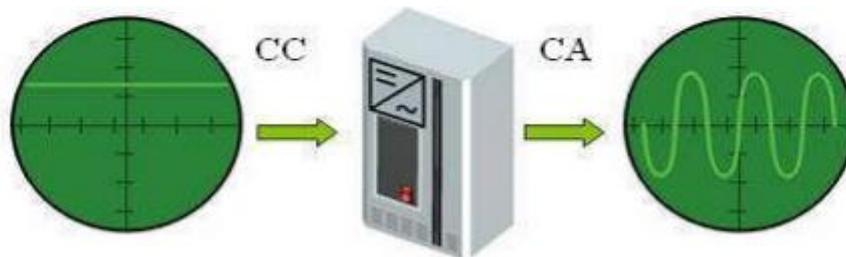


Figure II.14 : le fonctionnement d'un onduleur[46].

#### a) Les caractéristiques d'un onduleur :

L'onduleur doit répondre aux caractéristiques suivantes [47]:

- ✓ Puissance nominale.
- ✓ Puissance de point ou surcharge.
- ✓ Consommation à vide.
- ✓ Tension d'entrée et de sortie.
- ✓ Rendement et la durée de vie.

#### b) La modélisation de l'onduleur :

- La puissance nominale :

## Chapitre II : La modélisation d'un système photovoltaïque autonome

La puissance nominale d'un convertisseur est la puissance maximale qu'il peut fournir de manière continue. Il est crucial de choisir cette puissance en fonction de la somme des puissances des équipements déjà installés ou configurés. Ainsi, la sélection de la puissance nominale se fondera sur la valeur maximale du profil de consommation moyenne[48].

➤ Le rendement :

Le rendement de l'onduleur joue un rôle crucial dans le dimensionnement du champ photovoltaïque et de la batterie. L'efficacité varie en fonction du taux de charge, qui correspond au rapport entre la puissance de sortie et la puissance nominale de l'onduleur[48].

$$\eta_{ond} = a(1 - \exp(b \cdot T_{charge})) \quad (\text{II.19})$$

Où a, b sont des constantes (a= 0.9559 ; b= -6.9164).

Le coefficient « a » contrôle le rendement maximal de l'onduleur. Il dépend également par d'autres facteurs tels que la qualité des composants utilisés, la conception de l'onduleur et les conditions climatiques.

Le coefficient « b » détermine la sensibilité du rendement de l'onduleur à la température de charge.

$T_{charge}$ : Taux de charge donné par :

$$T_{charge} = \left( \frac{P_{sortie}}{P_n} = \frac{P_{charge}}{P_n} \right) \quad (\text{II.20})$$

$P_n$  : la puissance nominale de l'onduleur.

$P_{charge}$  : puissance à la sortie de l'onduleur (puissance de la charge).

c) Critère de choix de l'onduleur :

Un onduleur faut qu'il correspond au critère suivant[47]:

- ✓ La puissance maximale.
- ✓ La tension maximale.
- ✓ La gamme de tension d'entrée.

## Chapitre II : La modélisation d'un système photovoltaïque autonome

- ✓ Le nombre maximal de string raccordables.
- ✓ La puissance maximale et la puissance nominale.
- ✓ La tension nominale et la fréquence nominale.
- ✓ Le rendement.

### 6) *La charge :*

La charge d'un système photovoltaïque spécifie la quantité d'énergie électrique produite par les panneaux solaires installés. La quantité d'énergie produite est influencée par divers facteurs[49].

### 7) *Câblage :*

Chaque installation solaire photovoltaïque possède des câbles qui permettent la connexion entre les panneaux et le passage de l'électricité des panneaux à la batterie, puis à la charge. Généralement, les câbles recommandés pour une utilisation côté CC sont en cuivre doux, avec des propriétés multibrin pour assurer la meilleure qualité de connexion et ainsi minimiser les pertes d'énergie dues à la chute de tension[49].

## 5. Conclusion :

En conclusion, un système photovoltaïque autonome offre une solution fiable pour fournir de l'énergie dans des endroits isolés. Les panneaux solaires produisent de l'énergie électrique à partir de la lumière du soleil, qui est stockée dans des batteries pour une utilisation ultérieure.

**Chapitre III : Simulation par PVsyst  
d'une installation photovoltaïque  
autonome**

## Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

### 1. Introduction :

Une fois que les différents paramètres d'une installation photovoltaïque autonome ont été présentés, l'application de cette dernière nécessite l'utilisation de logiciels spécialisés dans le dimensionnement photovoltaïque. Dans notre étude, nous avons sélectionné le logiciel PVsyst pour dimensionner et simuler une installation photovoltaïque autonome pour un site à Tlemcen.

### 2. Le logiciel choisi :

Le PVsyst est un logiciel qui étudie et modélise la production d'énergie solaire en fonction des caractéristiques techniques des panneaux solaires, de l'orientation et de l'inclinaison des panneaux, des conditions météorologiques et de la localisation géographique du système photovoltaïque.

Nous pouvons même choisir le type d'installation : couplé avec le réseau, isolé avec batterie ou pompage.

Les étapes à suivre pour lancer une simulation en PVsyst sont résumées comme suit :

- Désignation du projet.
- Les paramètres du site.
- Orientation des panneaux.
- Détermination des besoins électriques.
- Dimensionnement du parc de batteries.
- Dimensionnement du champ PV.
- Le choix du régulateur.
- Lancement de la simulation.

# Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

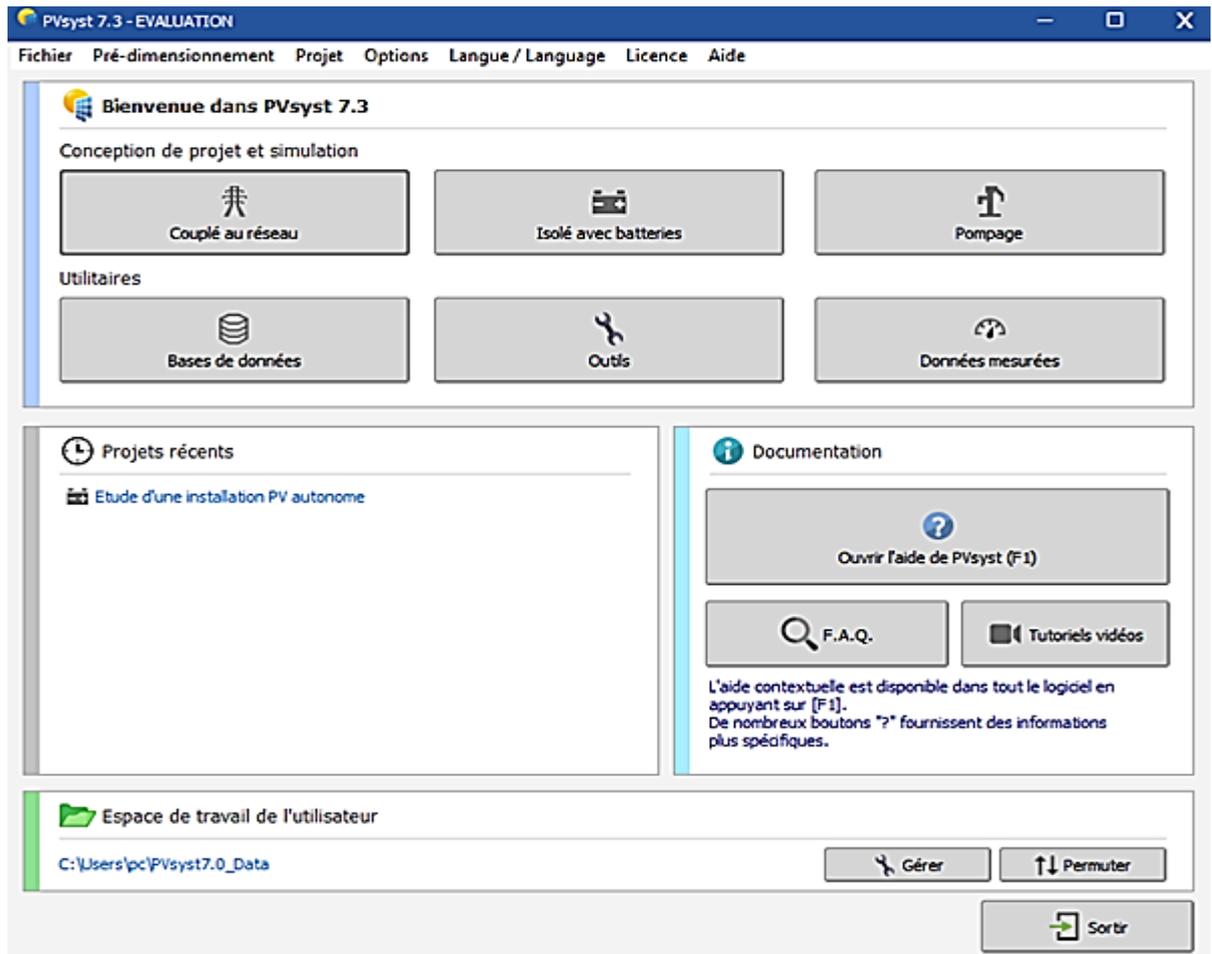


Figure III. 1: Conception du projet et simulation.

### 3. Le choix du site :

Le choix du site pour une installation photovoltaïque est décisif pour garantir la performance et la durabilité du système. Voici quelques critères à prendre en compte pour choisir le site le plus adapté.

Pour notre cas, nous avons choisi le parc de loisir de Lalla Setti « le manège » de la ville de Tlemcen. Le site est donné dans la figure III.2 [50]. Les données géographiques du site choisi sont 34,8783°N de latitude, -1.3150°W de longitude et d'une Altitude de 802m. Ainsi les données météorologiques sont incluses dans le logiciel PVsyst.

- Ensoleillement : Le site doit recevoir suffisamment d'ensoleillement pour garantir la production d'énergie photovoltaïque

### Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

optimale. L'exposition idéale est plein sud avec une inclinaison de 35° à 40°.



Figure III.2 : Image prise par le satellite.

- Ombrage : Le site ne doit pas être ombragé par des bâtiments, des arbres ou d'autres obstacles qui pourraient réduire l'ensoleillement sur les panneaux solaires.
- Orientation et inclinaison : L'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires doivent être adaptées à la latitude et à l'heure de la journée pour maximiser la production d'énergie.
- Ventilation : Le site doit avoir une bonne ventilation pour éviter une surchauffe des panneaux solaires.
- Accès : Le site doit être facilement accessible pour l'installation et la maintenance du système.
- Sol : Le sol doit être stable et résistant pour supporter les panneaux solaires et la structure de support.
- Contraintes réglementaires : Il est important de vérifier les contraintes réglementaires et les permis nécessaires pour l'installation dans la région.

#### 4. Les besoins énergétiques de site :

La listes des coûts énergétiques dans les parcs d'attractions est interminables où les gestionnaires de parcs s'organisent pour ne pas être choqué par les factures des années suivants. Pour cela, nous présentons les données réel de la consommation durant la période de COVID mais nous imaginons que la consommation ne va pas être la même pour les années prochaines.

La figure III.3 résume la consommation réelle ainsi la puissance annuelle du Manège en 2022, donnée par le directeur du manège :

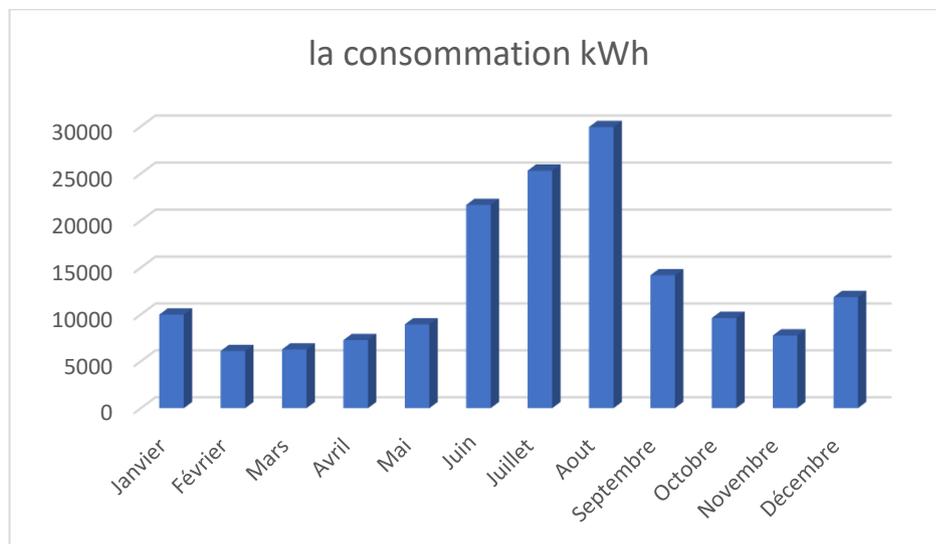


Figure III.3 : La consommation annuelle.

La figure III.3 montre la consommation mensuelle du manège. Où la consommation est petite durant les cinq premiers mois de l'année 2022 à cause de l'épidémie, la température basse et surtout la période scolaire. Alors qu'en Juin Juillet et Août la consommation est élevée. A la fin des derniers mois, la consommation est moyenne. La consommation annuelle de parc est environ 158909 kWh.

#### 5. L'azimut :

L'azimut est défini comme l'angle formé entre la direction du sud et la direction du soleil, mesuré négativement vers l'est. D'après les résultats du logiciel PVsyst, la figure III.4 montre la trajectoire du soleil durant l'année où nous pouvons déterminer la position du soleil:

## Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

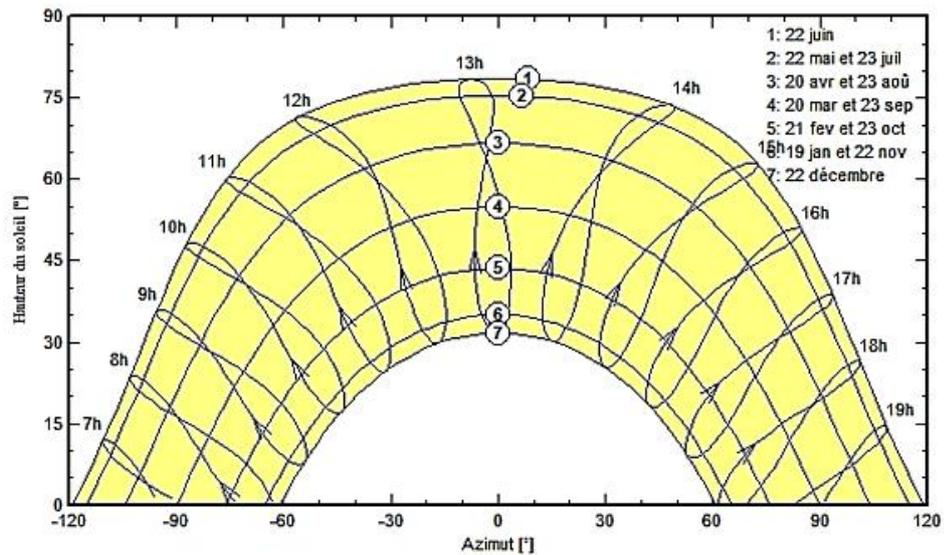


Figure III.4 : Trajectoire du soleil à Tlemcen.

### 6. Influence de l'angle d'incidence :

Le modificateur d'angle d'incidence ou IAM est un moyen de tenir compte des pertes optiques qui se produisent lorsque l'angle d'incidence solaire sur la surface du réseau est supérieur à zéro. Lorsque la surface des panneaux solaires est perpendiculaire aux rayons du soleil, la quantité d'énergie solaire absorbée est maximale. Cependant, lorsque le soleil est à un angle bas dans le ciel, les rayons doivent traverser une plus grande épaisseur d'atmosphère, ce qui peut réduire la quantité d'énergie absorbée par les panneaux, comme présente le tableau III.1.

Tableau III.1 : L'effet de l'indice IAM.

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

En général, pour maximiser la performance d'une installation il est recommandé de monter les panneaux solaires avec un angle d'inclinaison égal à la latitude du site. Cela permet d'optimiser la quantité d'énergie solaire absorbée tout au long de l'année.

Il est important de noter que l'angle d'incidence est influencé par la position du soleil dans le ciel, qui varie au cours de la journée et de l'année[51].

### 7. Influence de l'orientation :

L'orientation d'un panneau photovoltaïque autonome a un impact significatif sur son rendement énergétique. En général, les panneaux solaires fonctionnent le mieux lorsqu'ils sont orientés vers le sud (dans l'hémisphère nord) et inclinés à un angle correspondant à la latitude de l'emplacement[52].

### 8. Influence de l'angle d'inclinaison :

L'angle d'inclinaison des panneaux solaires peut avoir une influence significative sur la performance d'une installation photovoltaïque autonome. En général, l'angle d'inclinaison optimal des panneaux solaires est égal à la latitude du site. Cela permet aux panneaux solaires de recevoir la quantité maximale d'énergie solaire tout au long de l'année[53].

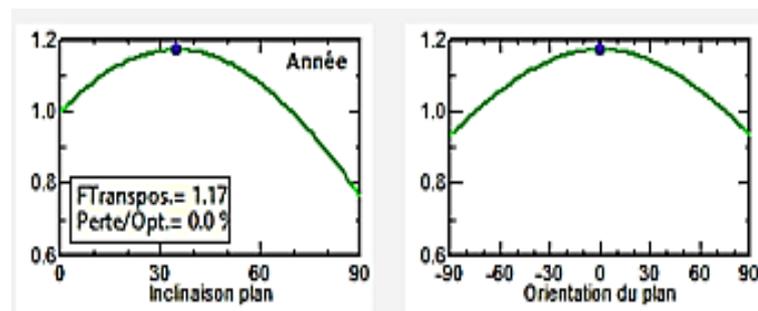


Figure III.5 : l'influence de l'angle d'inclinaison et de l'orientation.

La figure III.5 montre l'influence d'inclinaison sur l'irradiation annuelle. Pour le site de Tlemcen, la meilleure inclinaison est de 35° vers le sud.

Le facteur de transposition mesure la proportion réelle de rayonnement solaire transmise par rapport à l'optimum théorique, tandis que les pertes par rapport à l'optimum quantifient les écarts de performance dus à des conditions non idéales, tels que l'inclinaison, l'orientation ou l'ombrage des panneaux solaires.

### 9. Influence de l'ombrage :

L'ombrage peut avoir une influence importante sur la performance d'une installation photovoltaïque. Les panneaux solaires produisent de l'électricité en convertissant l'énergie solaire en électricité, et tout élément qui réduit l'irradiation solaire reçue par les panneaux peut réduire la production d'électricité. L'ombrage peut

### Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

être causé par des arbres, des bâtiments, des montagnes ou tout autre obstacle qui bloque la lumière solaire[29].

#### 10. Résultats et discussions :

Une fois l'enregistrement terminé, la première étape consiste à obtenir les données météorologiques du site via le Meteonorm. Meteonorm est une base des données mondiales. Il contient aussi des algorithmes permettant de créer des fichiers météo depuis n'importe quel endroit sur la planète.

Les paramètres météorologiques tels que la Température, irradiation globale et irradiation diffuse sont présentés dans la figure III.6 et ils sont inclus dans le logiciel PVSYST.

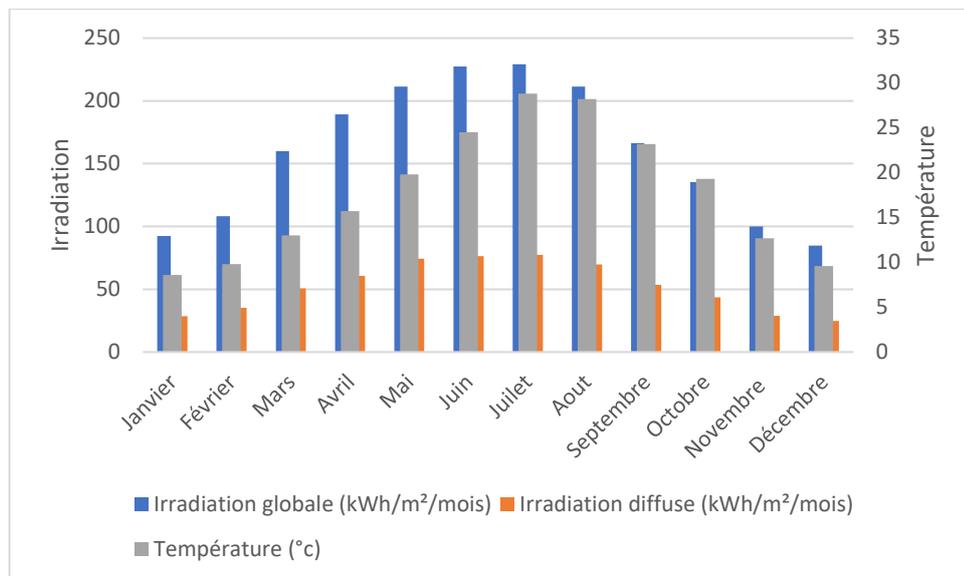


Figure III.6 : Les paramètres météorologiques de Tlemcen.

La température moyenne annuelle est de 7°C à 30°C ; la moyenne quotidienne du mois de janvier peut évoluer de 5°C à 10°C ; et la moyenne du maximum du mois de peut changer de 25°C à de 35°C.

Nous observons que la ville de Tlemcen bénéficie d'une abondante exposition au soleil tout au long de l'année, ce qui la rend propice à la production d'énergie photovoltaïque.

### Chapitre III : Simulation par PVSyst d'une installation photovoltaïque autonome

Par la suite, la figure III.7 présente la variation de la température en fonction de l'irradiation efficace.

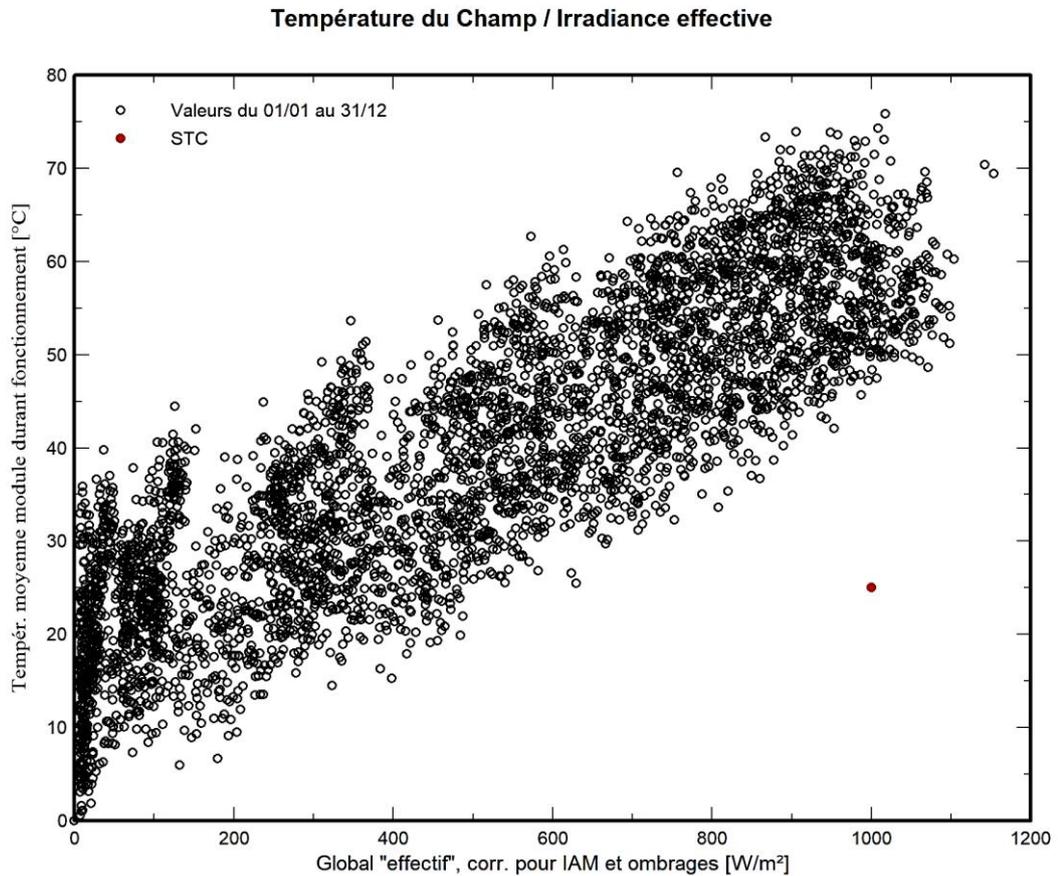


Figure III.7 : Température du champ/ irradiation effective.

#### 1) *Le schéma de l'installation photovoltaïque :*

La figure III.8 montre le schéma simulé en PVSYST de l'installation PV isolé. Ce système est composé de deux grandes parties :

- 1ere partie est le champ PV qui combine plusieurs modules photovoltaïques associées en série et en parallèle, afin d'adapter la tension et le courant au système. Pour cela nous avons couplées 6 modules PV en série et 36 en parallèle
- 2eme partie est le système de stockage plus le régulateur.

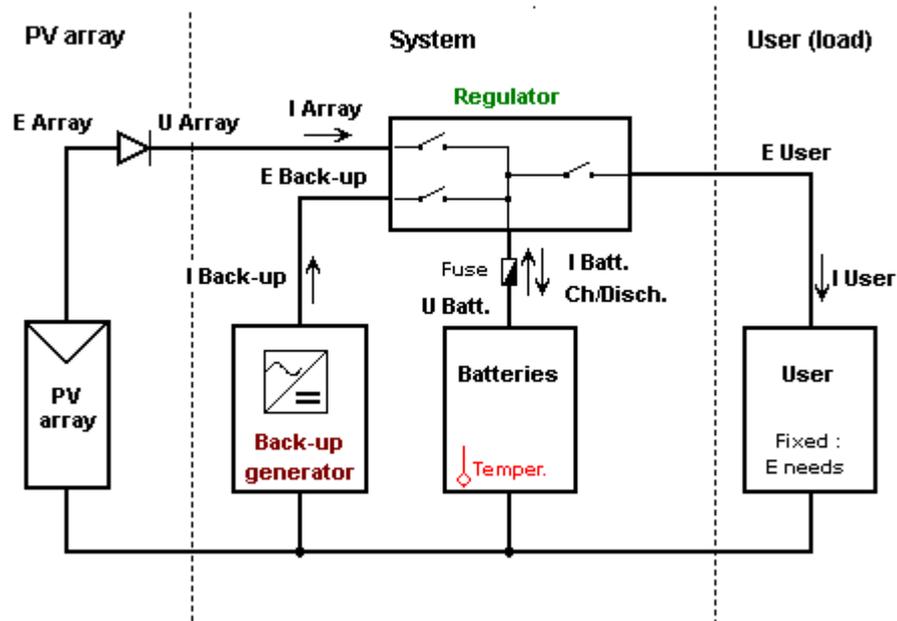


Figure III.8 : Configuration typique d'un système isolé.

Le schéma de configuration typique d'un système isolé est un outil important pour comprendre comment les différentes composantes d'un système énergétique autonome interagissent entre elles pour fournir de l'électricité fiable et durable.

Dans PVsyst, le contrôleur autonome pour un système de haute tension est le chargeur solaire. Ce composant doit également contrôler la décharge et le générateur de secours. Aussi dans PVsyst, le générateur de secours n'est considéré que comme un élément alternatif + redresseur (Genset), assurant la recharge des batteries lorsque l'énergie solaire est insuffisante pour satisfaire les besoins de l'utilisateur.

## 2) *Les caractéristiques de la batterie :*

Afin d'obtenir une installation optimale, nous avons sélectionné des batteries au lithium, car il est important que les batteries soient chargées et déchargées régulièrement pour rester fiables. Nous avons choisi les batteries au lithium car elles sont considérées comme les meilleures sur le marché.

### Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

Tableau III.2 : Les caractéristiques de la batterie :

Modèle	LG Chem (Lithium-ion)
Tension (V)	720
Capacité de la batterie(Ah)	296
Nombre d'unité	21 (1*21)
Type de la batterie	Rack JH4 SR19_4P

#### 3) *Les caractéristiques du champ PV :*

Nous avons opté pour ce type de panneau car cette sélection nous a permis de respecter les limites de la surface disponible tout en satisfaisant les besoins de consommation énergétique du site, nous avons trouvé aussi des panneaux ayant les mêmes caractéristiques commercialisées en Algérie.

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

La figure III.9 présente l'énergie d'entrée/sortie journalier du champ photovoltaïque en fonction d'un rayonnement incident global durant l'année dans la région de Tlemcen, ce diagramme est souvent utilisé pour évaluer la performance d'un système de conversion d'énergie en fonction de la quantité d'énergie solaire reçue. Nous observons que l'énergie produite augmente en fonction du rayonnement incident global sur la surface des modules PV. Une énergie de 100 kWh/jour environ est correspondante à un rayonnement global d'environ 1 kWh/m<sup>2</sup>/jour et pour un rayonnement global d'environ 8 kWh/m<sup>2</sup>/jour nous donne une énergie de 650 kWh/jour.

### Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

Tableau III.3 : les caractéristiques d'un champ PV.

Module PV	Si-mono
Nombre de module PV	En Série : 6 En parallèle : 34
Nombre total de modules PV	204
Puissance unitaire	490 Wp
Puissance globale du champ Nominal (STC)	100kWp
Caractéristiques de fonction	50°C
Pmpp	91.5 kWp
Ump	233 V
Impp	392 A
Surface	489 m <sup>2</sup>

**Diagramme d'entrée/sortie journalier**

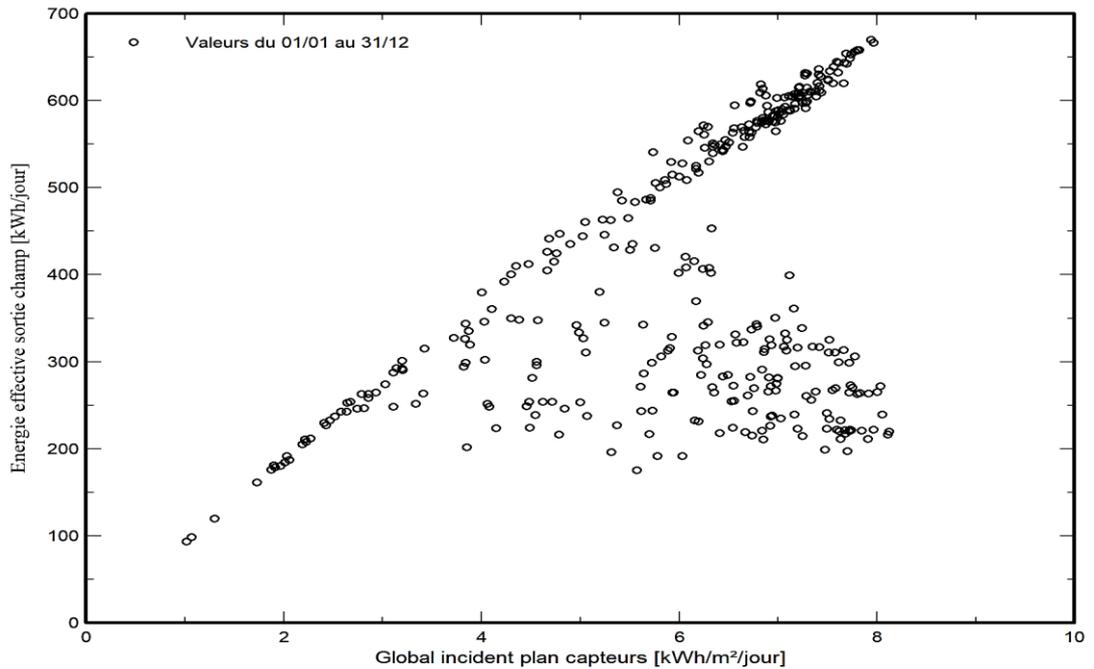


Figure III.9 : Diagramme d'entrée/ sortie journalier.

### Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

#### 4) *Régulateur :*

Dans le choix de système de contrôle ; nous trouvons deux types couplage direct, MPPT ou convertisseur DC/DC, il est conseillé de choisir le " Convertisseur MPPT ". Le convertisseur MPPT est un système de conversion de puissance muni d'un algorithme de contrôle approprié permettant d'extraire le maximum de puissance que le générateur PV peut fournir.

Tableau III.4 : Les caractéristiques du régulateur.

Modèle du régulateur	MPPT converter
Courant de charge max (Ah) (selon STC)	152.8
Courant de décharge max (Ah) (selon utilis)	57.8
Courant générateur max (Ah) (groupe électrogène)	57.8
Puissance nominale convertisseur (W)	79968

#### 5) *Résultats et discussions de la simulation numérique :*

Le système simulé est un système autonome qui s'étend sur une surface de 500 m<sup>2</sup>, équipé de 204 modules photovoltaïques disposés en série 6 panneaux et en parallèle 34 panneaux. De plus, il comporte 21 unités de batteries en parallèle, ainsi qu'un régulateur de type MPPT.

### Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

a) Performance ratio (PR):

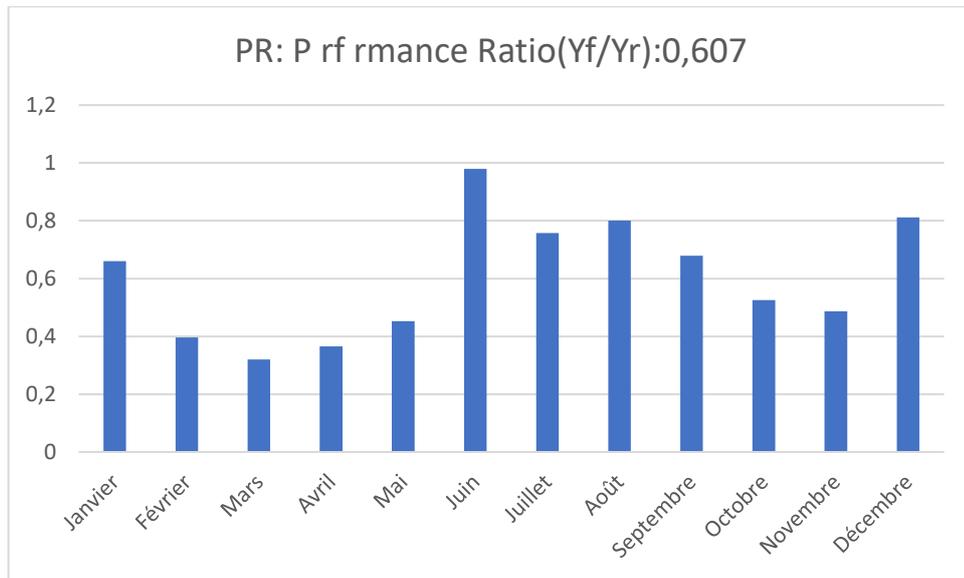


Figure III.10 : indice de performance.

La figure III.10 représente l'indice de performance (Performance Ratio) est le rendement global du système défini par le rapport de rendement réel du système par le rendement nominal du système. Il est à noter que le mois le plus favorable est juin avec un indice de performance de 0.98, tandis que le mois le moins favorable est mars avec un indice de performance de 0.32, comme indiqué dans la figure III.10. Donc l'indice de performance moyenne du système est de 60.7%.

b) Les productions normalisées :

Sur la figure III.11, nous pouvons observer la production du système à la sortie du stockage ( $Y_f$ ). Les pertes  $L_c$ ,  $L_s$  et  $L_u$  sont des pertes associées au champ PV, au système de stockage et à l'énergie inutilisée respectivement :

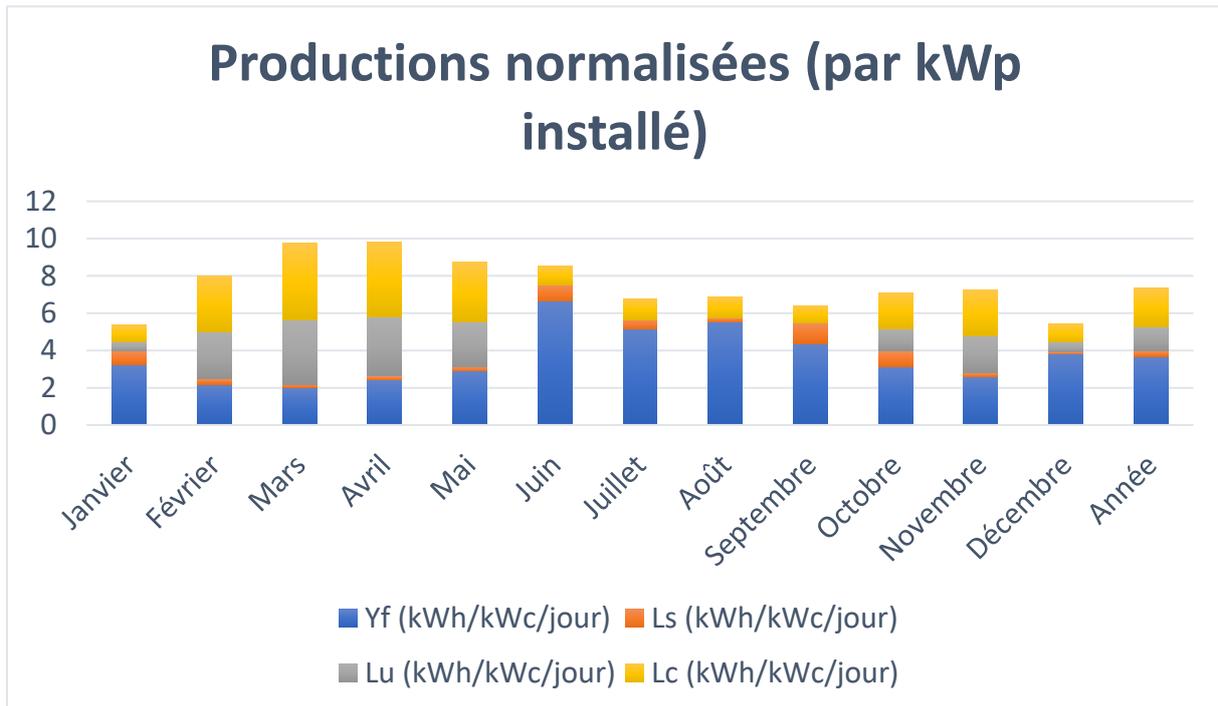


Figure III.11 : Les productions normalisées.

Yf : Représente l'énergie utile quotidienne par rapport à la puissance nominale.

Les pertes de matrice sont regroupées en Lc, incluant les pertes thermiques, de câblage, de qualité du module, d'inadéquation, d'ombrage, de saleté, de MPP et de régulation.

Les pertes du système (Ls) englobent les pertes de l'onduleur ou les inefficacités de la batterie.

Dans les systèmes autonomes, (Lu) représente l'énergie inutilisée due à la saturation, et les pertes de collecte (Lc) sont calculées lorsque le système peut utiliser l'énergie. Ces mesures évaluent l'efficacité et identifient les pertes ou inefficacités spécifiques du système solaire.

c) Bilan énergétique :

Le bilan énergétique annuel est résumé dans les figures III.12, 13,14 suivantes

:

### Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

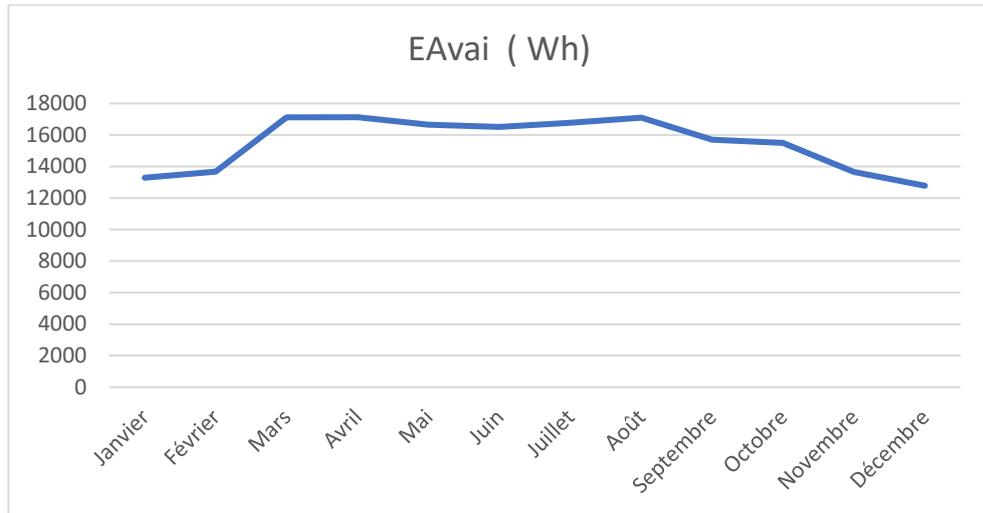


Figure III.12 : L'énergie produite par le système solaire.

Nous observons une variation saisonnière dans la consommation d'énergie solaire disponible ( $E_{AVAIL}$ ), avec une augmentation marquée en mars jusqu'au août et septembre, et une baisse notable en novembre et décembre. Cette variation peut être attribuée à différents facteurs tels que les conditions météorologiques, les activités économiques saisonnières, ainsi que les comportements de consommation d'énergie des consommateurs eux-mêmes.

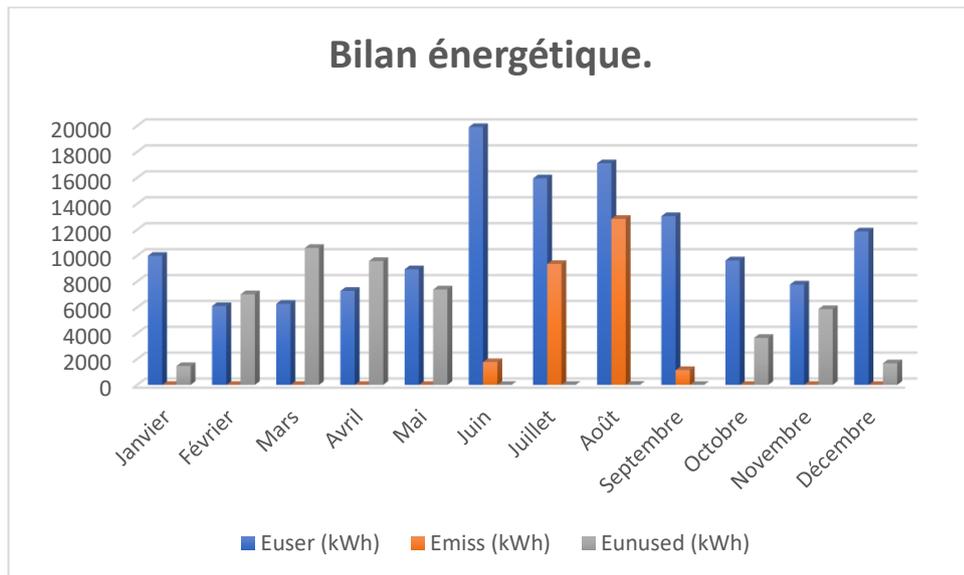


Figure III.13 : Le bilan énergétique annuel.

Nous pouvons observer que la consommation d'énergie électrique par l'utilisateur ( $E_{USER}$ ) final varie considérablement d'un mois à l'autre, avec des pics en

### Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

juin, juillet, août, septembre et décembre. La quantité d'énergie électrique manquante ( $E_{MISS}$ ) reste nulle presque pour tous les mois sauf en juin, juillet, août et septembre car ce sont les mois où il y'a plus de consommation.

Nous pouvons remarquer que la quantité d'énergie non utilisée ( $E_{UNUSED}$ ) varie d'un mois à l'autre. Le mois de mars enregistre la quantité la plus élevée.

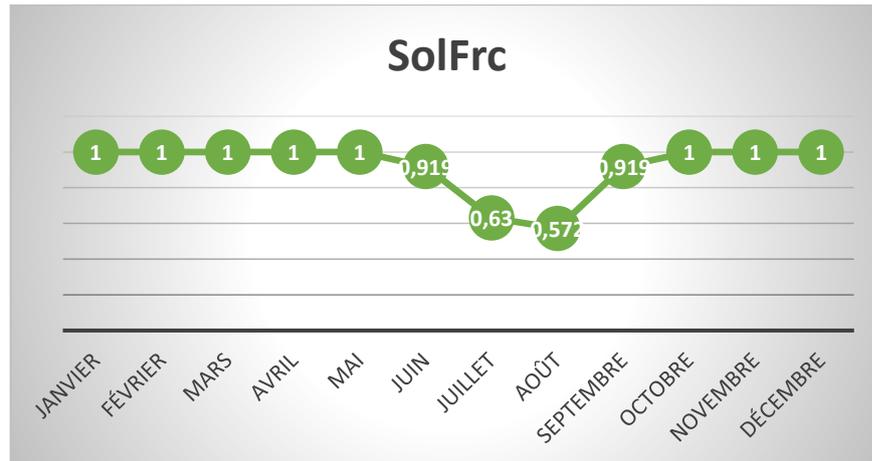


Figure III.14 : La fraction solaire.

La fraction solaire, qui représente la part d'énergie utilisée par l'utilisateur en fonction de ses besoins énergétiques, est illustrée dans la figure 14. Nous pouvons observer que cette fraction diminue durant les mois estivaux par rapport aux autres périodes de l'année, en raison d'une forte consommation énergétique qui dépasse l'énergie solaire produite par le système.

Par la suite nous montrons l'efficacité énergétique du système de stockage simulé par PVsyst. La figure III.15 représente la tension de charge selon SOC est un outil précieux pour évaluer la santé et les performances d'une batterie. La tension de charge de la batterie varie en fonction de l'état de charge de la batterie. C'est-à-dire que plus la batterie est chargée, plus la tension de charge sera élevée, et inversement, plus la batterie est déchargée, plus la tension de charge sera basse.

# Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

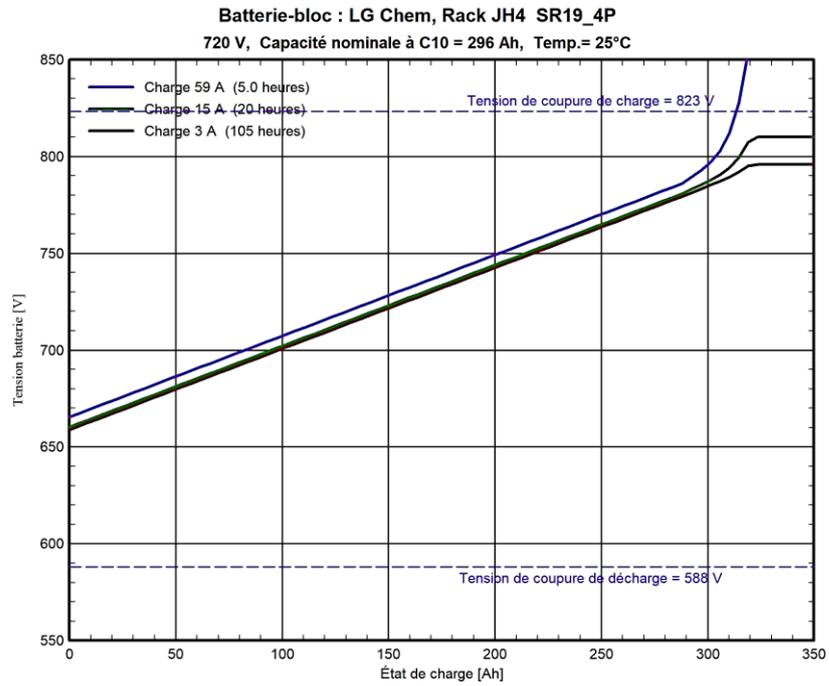


Figure III.15 : Tension de charge selon SOC.

La figure III.16 représente la tension de décharge DOD, cette tension varie en fonction du niveau de décharge de la batterie. Nous pouvons dire que plus la batterie est déchargée plus la tension de décharge sera basse.

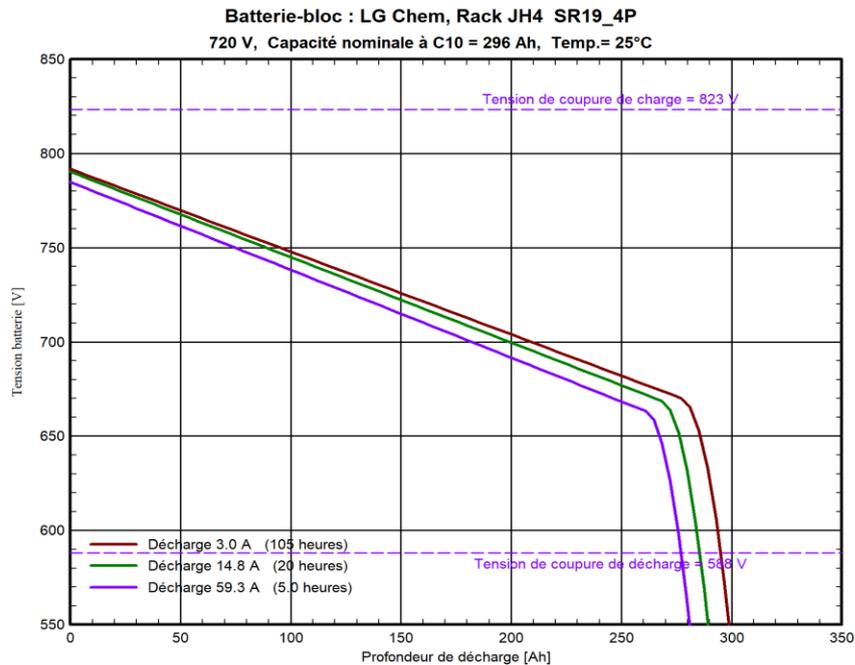


Figure III.16 : Tension de décharge selon DOD.

### Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

La figure III.17 représente la tension de circuit ouvert en fonction de SOC.

Le  $V_{CO}$  est la tension minimale à laquelle une batterie peut être déchargée en toute sécurité, sans endommager la batterie. Cette tension dépend de type de batterie, la température, la charge de la batterie, etc.

Le SOC désigne la quantité d'énergie qui reste dans la. Lorsque le SOC est en minimum la batterie est déchargée.

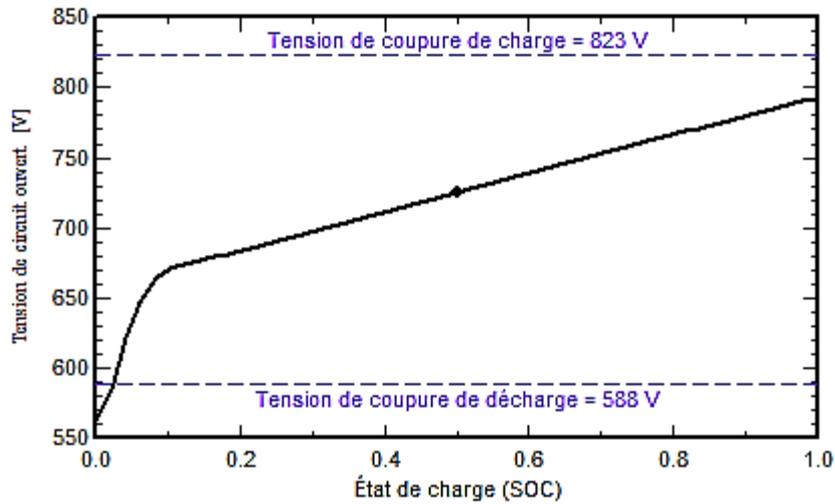


Figure III.17 : Tension de circuit ouvert.

La figure III.18 représente le nombre de cycle selon le DOD pour évaluer la durée de vie d'une batterie.

La DOD représente la quantité d'énergie retirée de la batterie lors de chaque cycle de charge et de décharge.

### Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

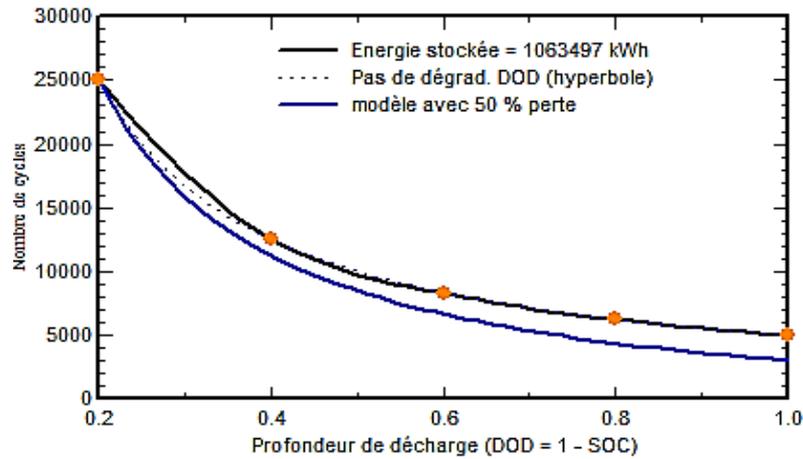


Figure III.18 : Nombre de cycle selon le DOD.

A la fin nous pouvons dire que pour une décharge de 80% le système de stockage à un nombre important de cycle environ de 6000. Et d'après la référence [54] la durée de vie d'une batterie de Li varie entre 8 et 16 ans selon le nombre de cycle et aussi les batteries de Li indiquent souvent des durées de vie entre 3000 et 6000 cycles à 80% de DOD.

#### d) L'énergie produite par ces panneaux :

Après une étude complète de tout le système d'une installation PV autonome, nous pouvons estimer l'énergie qu'elle va être utilisée par le parc de LALA SETTI. En effet, l'énergie produite par le champ PV est estimée à 216473 kWh, mais elle est réduite à 133818 kWh à la sortie pour l'utilisateur en raison des pertes. Les pertes associées à la production du système PV comprennent les pertes ohmiques du câblage, les pertes dues à l'incidence, les pertes liées à la température du champ, les pertes causées par la qualité des modules, et bien d'autres encore.

A la fin l'utilisateur a besoin d'une énergie annuelle 158909 kWh et le site estime une production PV de 133818 kWh pour cela nous allons suggérer des solutions au utilisateur par la suite.

#### e) Discussions et suggestion des solutions :

Après analyse, nous avons remarqué que les mois non-festifs présentent une légère diminution de la production d'énergie, tandis que pendant les mois festifs, la demande en énergie est plus élevée, ce qui provoque une baisse importante de la

### Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

production d'énergie. Nous constatons donc un déficit énergétique plus marqué pendant ces périodes estivales.

Nous avons identifié deux solutions potentielles pour pallier le déficit énergétique pendant les mois festifs. La première consiste à raccorder le champ avec un réseau du Sonelgaz pour vendre l'énergie excédentaire produite lors des mois où la production est supérieure à la demande, puis d'acheter la quantité d'énergie nécessaire pendant les mois où la demande est plus élevée. Cette solution permettrait d'optimiser l'utilisation de l'énergie produite et de réduire le gaspillage, comme montre la figure III.19 [55].

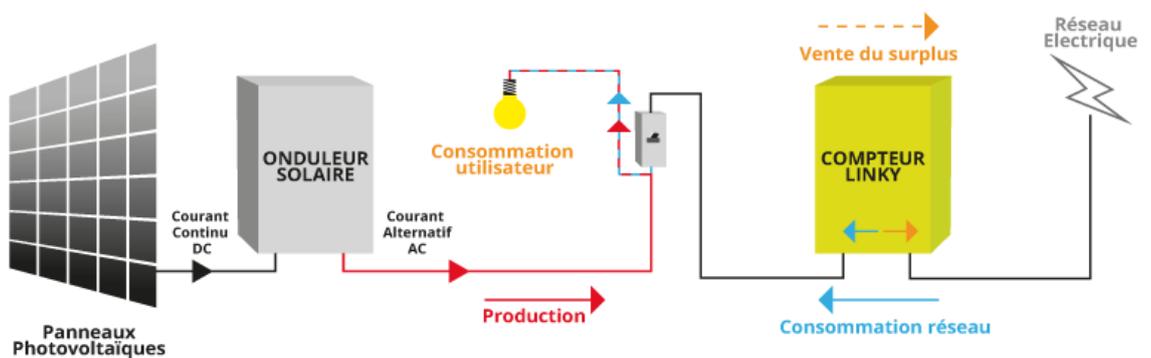


Figure III.19 : Solaire photovoltaïque en autoconsommation avec injection. [55]

La deuxième solution envisagée serait d'installer un onduleur pour augmenter la production d'énergie lors des mois où la demande est plus élevée. Cette solution pourrait améliorer la capacité de production de l'installation photovoltaïque et ainsi combler le déficit énergétique lors des mois festifs[56].

## Chapitre III : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

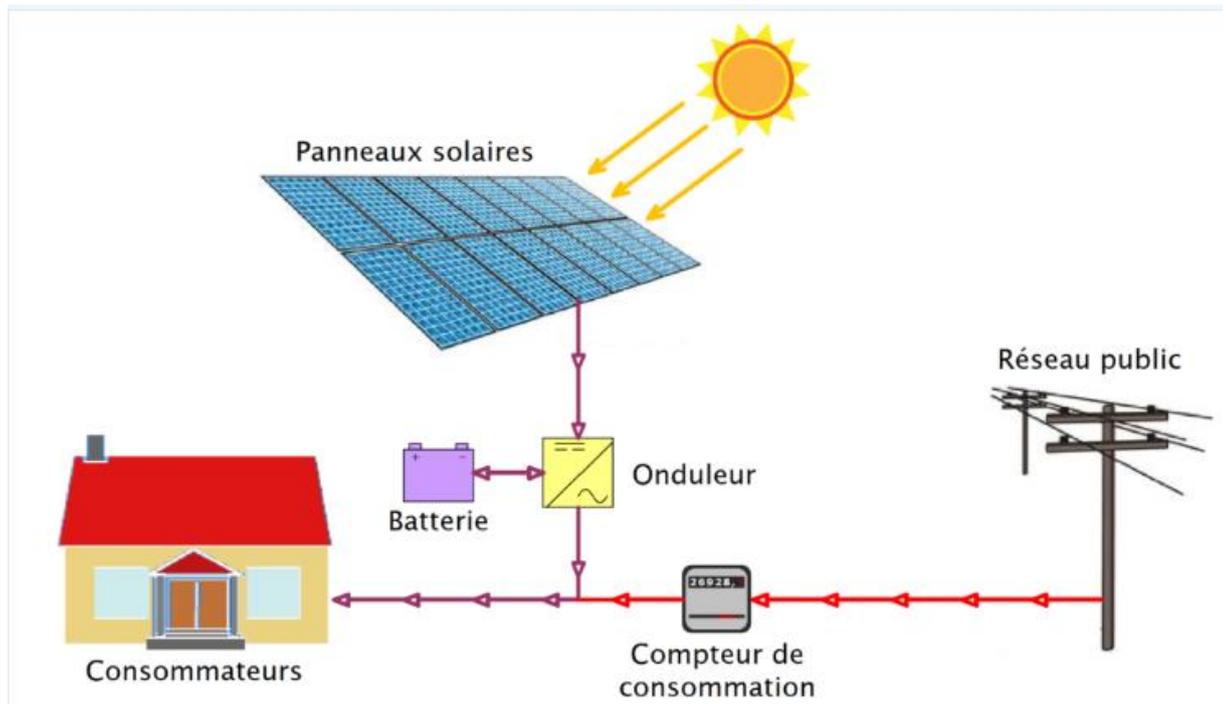


Figure III.20 : Solaire photovoltaïque en autoconsommation[56].

La figure III.20 s'agit d'une alternative pour limiter l'injection gratuite de surplus d'énergie solaire dans le réseau. Dans ce cas, l'énergie produite non utilisée sera directement stockée dans des batteries pour une utilisation ultérieure.

### 11. Conclusion :

Nous avons simulé et étudié une installation d'une puissance de 250kW en utilisant PVsyst et le logiciel de météorologie METEONORM. Grâce à ces logiciels, nous avons pu analyser de manière exhaustive tous les éléments de l'installation photovoltaïque autonome, en identifiant les spécifications électriques de chaque composant.

# Chapitre IV : Comparaison entre la méthode classique et la simulation par PVsyst

## 1. Introduction :

Lorsqu'il s'agit de prédire la production d'énergie solaire d'un système photovoltaïque, le logiciel PVsyst est largement utilisé pour estimer la performance d'un tel système. Cependant, il est souvent nécessaire de valider les résultats de PVsyst en les comparant avec des calculs effectués indépendamment. C'est pourquoi nous avons effectué un dimensionnement de site pour comparer les deux résultats, afin de garantir la précision des prévisions de production d'énergie solaire

## 2. Dimensionnement du générateur photovoltaïque :

Nous avons effectué des calculs itératifs du champ photovoltaïque pour comparer les résultats de PVsyst avec les nôtres.

- Puissance crête du générateur photovoltaïque est donnée par la formule suivante où nous avons trouvé une puissance crête de 133959.11 W<sub>C</sub> :

$$P_c = \frac{E_{cons}}{K \cdot I_r} = \frac{158909 * 10^3}{0,65 * 5 * 365} = 133959,11 W_c.$$

Avec :

K : Coefficient correcteur, ce coefficient dépend de l'agitation climatique, l'inclinaison saisonnière qui doit être corrigé.

I<sub>r</sub> : durée moyenne d'insolation journalière (h/jour).

- Nombre de panneaux photovoltaïque utilisé est donné par la formule :

$$N_m = \frac{P_c}{\text{Puissance crête unitaire panneau}} = \frac{133959,11}{490} = 273.$$

- Nombre de module associés en série est :

$$N_s = \frac{V_{champ}}{V_{par\ un\ seul\ panneau}} = \frac{96}{36} = 2,66 \approx 3$$

- Nombre de module associés en parallèle est :

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} = \frac{273}{3} = 91$$

- La surface de l'installation est donc trouvée :

$$S = 273.2,399 = 655m^2.$$

### 3. Dimensionnement de la batterie :

Nous avons effectué des calculs itératifs de la batterie pour comparer les résultats de PVsyst avec les nôtres.

- Nombre de batterie nécessaire pour l'installation est :

$$N_B = \frac{C_{batmax}}{C_{bat}} = \frac{6224}{296} = 21.$$

- Nombre de batterie connectés en série est :

$$N_{BS} = \frac{V_{champ}}{V_{bat}} = \frac{96}{720} = 0,1 \approx 1.$$

- Nombre de batterie connectés en parallèle est :

$$N_P = \frac{N_B}{N_{BS}} = \frac{21}{1} = 21.$$

### 4. Comparaison entre la méthode de calcul et la simulation :

Suite aux résultats obtenus par des calculs et simulation numérique de logiciel PVSYST, nous résumons dans le tableau IV.1 les aboutissements de ses deux efforts pour tout le système PV étudié.

## Chapitre IV : Comparaison entre la méthode classique et la simulation par PVsyst

Tableau IV.1 : les résultats itératifs et les résultats du PVsyst.

Dimensionnement Paramètres	Méthode classique	Par PVsyst
Puissance crête du panneau	133959,11	153200
Nombre de panneau PV total	273	204
Nombre de panneau PV en série	3	6
Nombre de panneau PV en parallèle	91	34
La surface du champ PV (m <sup>2</sup> )	655	489
Nombre de batterie	21	21
Nombre de batterie en série	1	1
Nombre de batterie en parallèle	21	21

### 5. Discussion du résultat :

Suite à nos calculs itératifs, nous avons observé une similitude presque parfaite des résultats obtenus au niveau des batteries. En revanche, nous remarquons qu'il y a une différence entre les deux méthodes au niveau du champ PV. Donc nous pouvons conclure que le dimensionnement par PVSYST accorde des résultats adéquats par rapport au dimensionnement par la méthode classique. Toutefois, le logiciel PVsyst apparaît plus précis dans ces solutions où il prend en compte les données climatiques et géographiques du site.

### 6. Conclusion :

La comparaison entre les calculs itératifs et les calculs du logiciel PVsyst nous a permis de valider les résultats de ce dernier et de confirmer la précision de ses prévisions de production d'énergie solaire.

**Conclusion générale.**

## **Conclusion générale :**

En conclusion, ce mémoire a permis d'étudier et de dimensionner un système solaire photovoltaïque adapté aux conditions climatiques et énergétiques de la wilaya de Tlemcen en Algérie. Grâce à une analyse approfondie des besoins énergétiques et des conditions météorologiques de la région, nous avons pu concevoir un système PV performant et respectueux de l'environnement. Les résultats obtenus montrent que l'exploitation de l'énergie solaire dans cette région présente un potentiel important pour répondre aux besoins énergétiques locaux et contribuer à la transition énergétique du pays.

Par ailleurs, ce travail souligne l'importance d'une approche intégrée et multidisciplinaire pour la conception et la réalisation de projets d'énergie renouvelable, en tenant compte des aspects techniques, économiques et environnementaux. Il est également essentiel de mettre en place des politiques et des mécanismes de soutien appropriés pour encourager le développement de l'énergie solaire et faciliter la diffusion de cette technologie dans d'autres régions du pays et à l'échelle internationale.

Enfin, il est important de souligner que les systèmes solaires photovoltaïques ne sont pas une solution unique et universelle pour répondre à tous les besoins énergétiques, mais ils constituent un élément clé d'un bouquet énergétique diversifié et durable. Dans cette perspective, il convient de poursuivre la recherche et le développement de nouvelles technologies et de nouvelles approches pour optimiser l'utilisation des ressources énergétiques et faciliter la transition vers un avenir énergétique propre et durable.

## Bibliographie :

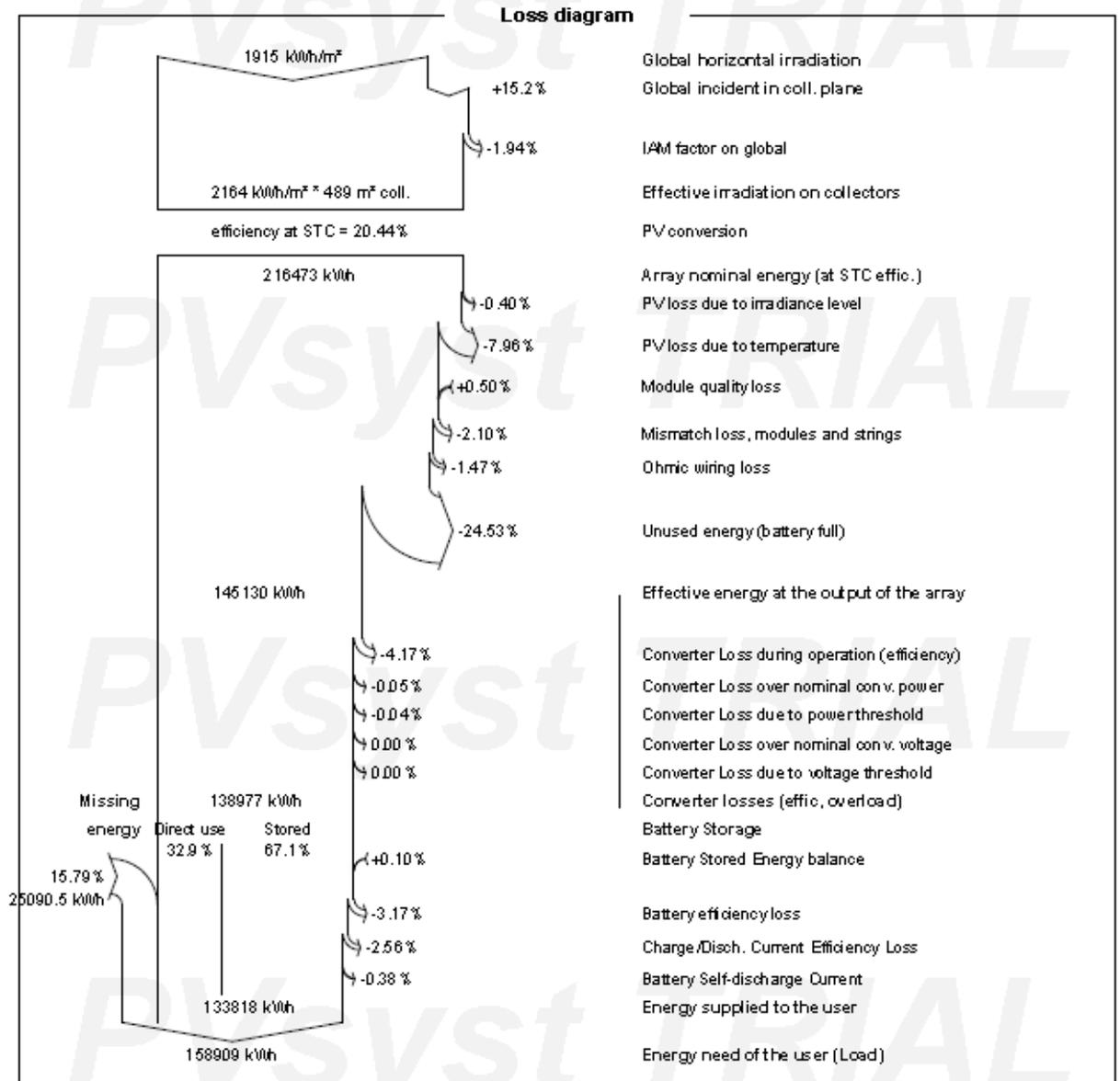
- [1] TAHRAOUI, Ibrahim et AMINE, HALIL. "Dimensionnement et Etude d'une installation photovoltaïque pour une habitation domestique". Mémoire de Master. Université de Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2016.
- [2] BENDJAMAA, Ibrahim. "Modélisation et commande d'un système de stockage photovoltaïque", Mémoire de Magistère, Université de Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2012.
- [3] YOUSFI, Fatiha. "Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque appliquée à un site saharien", Mémoire de Master. Université Ahmed Draïa ADRAR, 2018
- [4] BELABED, Rafik. "Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque". Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2017.
- [5] BENATIALLAH, Djelloul, "Détermination du gisement solaire par imagerie satellitaire avec intégration dans un système d'information géographique pour le sud d'Algérie". Thèse de doctorat. Université Ahmed Draïa Adrar, 2019.
- [6] DÍAZ-CUEVAS, Pilar, HADDAD, Brahim, et FERNANDEZ-NUNEZ, Miriam. "Energy for the future Planning and mapping renewable energy. The case of Algeria" Sustainable Energy Technologies and Assessments ,vol. 47, p. 101445.2021.
- [7] SLAOUI, Abdelilah et GUILLEMOLES, Jean-François. "Nanomatériaux pour la conversion photovoltaïque". l'actualité chimique, no 331, p. 1, 2009.
- [8] MARTINEZ, Bertille. "Étude des propriétés optoélectroniques de nanocristaux colloïdaux à faible bande interdite: application à la détection infrarouge". Thèse de doctorat. Université Sorbonne Paris. 2019.
- [9] NADRI, Amal. "Modélisation de la microstructure des grains dans le silicium multicristallin pour le photovoltaïque". Thèse de doctorat. Université de Grenoble.2012.
- [10] LARBI, Degla Mohammed, BACHIR, Ben Ahmed, "Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque". Mémoire de Master, Université de Kasdi Merbah Ouargla, 2017.
- [11] KAMELIA, Helali. "Modélisation d'une cellule photovoltaïque: Etude comparative". Mémoire de Magistère, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2012.
- [12] CHADEL, Meriem, CHADEL, Asma, BOUZAKI, Mohammed Moustafa, et al. "Optimization by simulation of the nature of the buffer, the gap profile of the absorber and the thickness of the various layers in CZTSSe solar cells. Materials Research Express", vol. 4, no 11, p. 115503, 2017.
- [13] CHADEL, Meriem. "Modélisation et simulation de la production photovoltaïque, de la cellule au système. Optimisation du fonctionnement des installations photovoltaïques et des performances des nouvelles cellules CZTSSe". Thèse de doctorat. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2018.
- [14] LAMKAOUANE, Hind. "Elaboration et caractérisation de couches tampons hybrides originales pour les cellules photovoltaïques organiques". Thèse de doctorat. Université de Nantes,2022.

- [15] MWALUKUKU, Valid Mwatati. "Cellules solaires à colorants organiques photochromes, fabrication et étude des paramètres influençant les performances photovoltaïques et photochromiques des dispositifs". Université Grenoble Alpes 2022.
- [16] MATARI, Mohamed. "Modélisation d'un système de captage photovoltaïque". Thèse de doctorat. Université AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA, 2019.
- [17] VIGHETTI, Stéphane. "Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau: Choix et dimensionnement des étages de conversion". Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, 2010.
- [18] KANCHEV, Hristiyan. "Gestion des flux énergétiques dans un système hybride de sources d'énergie renouvelable: Optimisation de la planification opérationnelle et ajustement d'un micro réseau électrique urbain". Thèse de doctorat. Ecole Centrale de Lille; Université Technique de Sofia, 2014.
- [19] TREMBLAY, Vicky. "Mise en œuvre de cellules solaires organiques à base de solvants verts". Thèse de doctorat. Université Laval, 2021.
- [20] BOUANANI, Boualem, " Etude technologique et électrique des cellules solaires en couches minces à hétérojonctions ZnO/CdS/CIGS utilisant les logiciels Athena et Atlas de Silvaco". Thèse de doctorat, Université Djillali liabes SBA ,2015
- [21] BENMENIA, LEILA." Modélisation et simulation des cellules photovoltaïques organiques transparentes". Thèse de doctorat. Université Larbi Tébéssi-Tébéss,2022.
- [22] MALLEK, Asma. "Simulation des performances des cellules photovoltaïques à hétérojonction: GaInP/GaAs". Thèse de doctorat. Université akli mohand oulhadj-bouira.2022.
- [23] HABIS, Kheira. "Etude des performances électriques de la cellule photovoltaïque à base du Carbure de Silicium, comme couche absorbante". Thèse de doctorat. Université Ibn Khaldoun Tiaret.2022.
- [24] LAIDANI, Chaâbane MADOUÏ Lilya. "Analyse approfondie des paramètres clés d'une cellule solaire au Silicium par simulation numérique". Mémoire de Master. Université de Mohamed El Bachir El Ibrahimî – Bordj Bou Arreridj, 2022.
- [25] HOUSSAM, MERABET. "Etude de faisabilité d'une installation solaire photovoltaïque autonome par PVSyst pour établissement scolaire". Thèse de doctorat. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.2019.
- [26] THIAUX, Yaël. "Optimisation des profils de consommation pour minimiser les coûts économique et énergétique sur cycle de vie des systèmes photovoltaïques autonomes et hybrides Évaluation du potentiel de la technologie Li-ion". Diss. École normale supérieure de Cachan-ENS Cachan, 2010.
- [27] MAMBRINI, Thomas. "Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies". Thèse de doctorat. Paris 11.2014.
- [28] GUENOUNOU, ABDERREZAK. "Contribution à la mise au point d'un banc de caractérisation photovoltaïque piloté par ordinateur". Thèse de doctorat. Université BLIDA 1 2017.
- [29] SARI-ALI, Inchirah, RAHMOUN, Khadidja, CHIKH-BLED, Bachir, et al. Cellules photovoltaïques en silicium monocristallin sous différents niveaux d'irradiation solaire. Optik , vol. 223, p. 165653.2020.

- [30] MERZOUK, Makhlof. "Etude et réalisation d'un caractériser des modules photovoltaïques".Thèse de doctorat. Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira. 2020.
- [31] CHENNI, R., MAKHLOUF, M., KERBACHE, T., et al. "A detailed modeling method for photovoltaic cells". Energy, vol. 32, no 9, p. 1724-1730.2007.
- [32] WAHIBA, BELLILI. "Conception et Réalisation d'une Installation Photovoltaïque Autonome". Mémoire de Master. Université de Badj Mokhtar Annaba, 2017.
- [33] SEMAOUI, Smail, ARAB, Amar Hadj, BACHA, Seddik, et al. "Optimal sizing of a stand-alone photovoltaic system with energy management in isolated areas". Energy Procedia, vol. 36, p. 358-368.2013.
- [34] SOUISSI, Anoir, GUIDARA, Imen, et CHAABENE, Maher. "Contrôle de charge dynamique basé sur la prévision d'une installation photovoltaïque autonome". Informatique et génie électrique , vol. 85, p. 106674.2020.
- [35] KETY, K., AMOU, KA, SAGNA, K., et al." Modélisation et simulation d'un générateur photovoltaïque : Cas du module polycristallin Ecoline LX-260P installé au dispensaire de Sévagan (Togo)". Journal des énergies renouvelables, vol. 19, n° 4, p. 633-645.2016.
- [36] AZIZI, Amina, LOGERAIS, Pierre-Olivier, OMEIRI, Amar, et al. "Impact of the aging of a photovoltaic module on the performance of a grid-connected system". Solar Energy, vol. 174, p. 445-454, 2018.
- [37] MULTON, Bernard, ROBIN, Gaël, ERAMBERT, Erika, et al. "Stockage de l'énergie dans les applications stationnaires. In : Colloque Energie électrique: besoins, enjeux, technologies et applications". p. pp. 64-77, 2014.
- [38] COUPAN, Frédéric. "Stockage pour les énergies renouvelables: évaluation et modélisation de la batterie plomb-acide". Thèse de doctorat. Université de Guyane.2017.
- [39] AÏSSA, BOUTTE. "Identification des paramètres internes d'une batterie pour des applications photovoltaïques". Thèse de doctorat. Université mohamed boudiaf 2015.
- [40] ZERROUKI, Zolikha et BEREKSI REGUIG, Rym. "Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome". Mémoire de Master, Université de Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2017.
- [41] BELARBI, Mustapha. "Contribution à l'étude d'un générateur solaire pour site autonome". Thèse de doctorat. Université Mohamed Boudiaf Oran.2015.
- [42] AMARA, Karima. "Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension". Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri. 2015.
- [43] LACHICHI, Amel. "Modélisation et stabilité d'un régulateur hybride de courant- Application aux convertisseurs pour pile à combustible".Thèse de doctorat. Université de Franche-Comté.2005.
- [44] ABDERRAHIM, Mahdjouba. "ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION PV RACCORDEE AU RESEAU" .Thèse de doctorat. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen. 2018.
- [45] CARER, Philippe, ZENUNI, Ismet, ADRIEN, Bercegol, et al. "Démarche EDF R/Fournisseurs, et retour d'expérience en exploitation, pour la fiabilité des

- onduleurs DC/AC des fermes photovoltaïques. In : Congrès Lambda Mu 23 «Innovations et maîtrise des risques pour un avenir durable»"-23e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Institut pour la Maîtrise des Risques. 2022.
- [46] KORSAGA, Eric, KOALAGA, Zacharie, BONKOUYOU, D., et al. "Comparaison et détermination des dispositifs de stockage appropriés pour un système photovoltaïque autonome en zone sahélienne". Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement, 2018.
- [47] MASSAVIE, Vincent. "Convertisseur VHF intégrant des composants passifs innovants". Thèse de doctorat. Université Grenoble Alpes. 2023.
- [48] HOUÉE, Patrick. "Une installation photovoltaïque en site isolé". article, forum des technologies. p. 32.2011.
- [49] FARIDA, Cherifi et NAIMA, Grim. "Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome". Mémoire de Master. Université Mouloud Mammeri. 2018.
- [50] « Google Mps ».
- [51] STOYANOV, Ludmila, NOTTON, Gilles, ZARKOV, Zahari, et al. "Estimation de l'influence de l'orientation et de la technologie sur la productivité des modules photovoltaïques intégrés dans les bâtiments". In : 7ème COLLOQUE FRancophone en Energie, Environnement, Economie et Thermodynamique-COFRET'14. p. 809-815.2014.
- [52] GÓMEZ-UCEDA, Francisco J., MORENO-GARCIA, Isabel M., JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, José M., et al. "Analyse de l'influence de l'orientation du terrain sur la conception d'installations photovoltaïques avec trackers à un axe". Sciences appliquées, vol. 10, n° 23, p. 8531. 2020.
- [53] BRESSAN, Michaël." Estimation de production des installations PV pour différentes inclinaisons basée sur un modèle d'ensoleillement". La Revue 3 E. I, no 77, p. 2014.
- [54] AL JED, Habib. "Influence de la recharge rapide sur les performances des accumulateurs lithium des véhicules électriques dans le cadre de l'utilisation postale". Thèse de doctorat. Université de Bordeaux.2014.
- [55] " ginstpvautoconsoneufrenojuin19202web ".
- [56] "art167\_moine\_gerard\_pv\_filiere\_competitive".

Annexe : Diagramme des pertes :



## **Résumé :**

L'objectif de ce travail a été de concevoir un système photovoltaïque autonome pour approvisionner en énergie le parc d'attractions du Manège de Tlemcen. Dans un premier temps, nous avons évalué les besoins énergétiques du site à l'aide du logiciel PVsyst. Ensuite, nous avons proposé une solution d'installation photovoltaïque qui répondrait efficacement aux besoins spécifiques du parc tout en étant capable de fonctionner de manière indépendante du réseau électrique conventionnel.

## **Abstract:**

The objective of this work was to design a standalone photovoltaic system to provide energy to the Tlemcen recreation park LALA SETTI. Initially, we evaluated the site's energy needs using the PVsyst software. Indeed, it is our goal to significantly find and propose a solution of the photovoltaic installation that would effectively meet the specific needs of the park while being able to operate independently of the conventional electricity grid.

## **الملخص:**

الهدف من هذا العمل هو تصميم نظام كهروضوئي مستقل لتوفير الطاقة لمدينة الملاهي في تلمسان. قمنا في البداية بتقييم الاحتياجات الطاقوية للموقع باستخدام برنامج PVsyst. هدفنا كان تقديم حلول تثبيت كهروضوئية تلبي احتياجات الموقع بشكل فعال وقادرة على العمل بشكل مستقل عن الشبكة الكهربائية التقليدية.