

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des Sciences Appliquées**

**Département de Génie Electrique**



**Mémoire**

**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

**Présenté par :MECHEHAT Tamader**

**ASSAL Merouane**

**Thème**

**Contribution à la gestion d'énergie d'un  
système renouvelable : panneau  
photovoltaïque / batterie**

Soutenue le : 15/06/2023

Devant le jury :

Mr DJAFOUR Ahmed	Professeur	Président	UKM Ouargla
Mr LOUAZENE Lakhdar	MCA	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
Mr BENMIR Abdelkader	MCB	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2022/2023

## **Remerciement**

*Tout d'abord, nous remercions le dieu nos créateur.*

*Nous tenant à exprimer toute nos gratitude et reconnaissance à notre encadreur : **Dr. Louazne Mohamed Lakhdar** qui d'avoir accepté de diriger ce travail et d'avoir mis à nos dispositions tous les moyens qui permis de mener à terme cette étude et aussi pour ses précieux conseils et ses encouragements.*

*Nous tenons aussi à remercier : **Prof. DJafour Ahmed** pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à ce travail ainsi que pour l'honneur qu'il n'a fait en présidant le jury.*

*Nos remerciements vont également à : **Dr. Benmir Abdelkader** pour s'être intéressé à ce travail et d'avoir bien voulu n'honorer de leur présence dans ce jury.*

*Mes remerciements s'adressent également à **Dr. Danoune Mohammed Bilal** qui nous avons aidé faire aboutir ce travail.*

*Enfin, à tous les étudiants de notre promotion et nous souhaitons le bon courage à tous les étudiants pour finir ces études, et à tous les enseignants de l'université **KASDI MERBAH OUARGLA**.*

## *Dédicace*

*J'offre ce modeste travail :*

*A ceux qui m'ont mis au monde, que je respect et qui M'honorent,  
mes chers parents.*

*A mes chers frères et à mes chères sœurs.*

*Ceux qui m'ont encouragé et soutenu morale matériellement  
pendant les moments les plus difficiles et Ceux que J'aime et je  
respecte.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce propre travail à mes chers parents.*

*A mes chers frères, mes chères sœurs et mes amis.*

*A tous mes collègues qui m'encourage.*

# Tableau de matière

## Chapitre I

### Généralités sur l'énergie photovoltaïque et système photovoltaïque autonome

I.1 Introduction .....	01
I.2 Les énergies renouvelables.....	03
I.2.1 Energie hydraulique.....	03
I.2.2 Energie éolienne .....	03
I.2.3 La biomasse .....	03
I.2.4 L'énergie géothermique.....	04
I.2.5 L'énergie solaire.....	04
I.3 L'évolution de production mondiale en énergies renouvelables .....	05
I.4 Position de soleil.....	06
I.4.1 les coordonnées horaires.....	07
I.4.2 les coordonnées horizontales .....	08
I.5 Rayonnement solaire .....	08
I.5.1 Définition.....	09
I.5.2 Composition.....	09
I.6 Energie photovoltaïque .....	10
I.6.1 Définition .....	10
I.6.2 Historique.....	11
I.6.3 L'effet photovoltaïque .....	11
I.7 Cellule photovoltaïque .....	12
I.7.1 Principe de fonctionnement de cellule photovoltaïque .....	12
I.7.2 Types des cellules photovoltaïque .....	13
I.7.3 Caractéristique et modélisation de cellule photovoltaïque .....	15
I.7.4 Influence d'éclairement et de température .....	19
I.8 Association de cellule photovoltaïque.....	20
I.8.1 Association série.....	20
I.8.2 Association en parallèle.....	21
I.8.3 Association en série/parallèle.....	21
I.9 Différents types de système photovoltaïque.....	21
I.9.1 Les systèmes autonome.....	21

I.9.2 Les systèmes hybride.....	22
I.9.3 Les systèmes raccordés au réseau.....	23
I.10 Module photovoltaïque.....	23
I.11 système de stockage (batterie) .....	24
I.11.1 Définition .....	24
I.11.2 Les type de batterie .....	24
I.11.3 Les caractéristiques des batteries.....	25
I.11.4 Charge et décharge .....	26
I.12 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	27
I.13 Conclusion.....	27

## Chapitre II

### **Dimensionnement d'un système photovoltaïque associé à la batterie accumulateur**

II.1 Introduction.....	29
II.2 Topologie de système photovoltaïque sélectionné.....	29
II.3 Les étapes de dimensionnement d'un système photovoltaïque .....	29
II.3.1 Etape 1:présentation de site.....	30
II.3.2 Etape 2:evolution de production solaire potentielle.....	31
II.3.3 Etape 3:estimation des besoins journaliers d'utilisateur en électricité.....	33
II.3.4 Etape 4:dimensionnement du générateur photovoltaïque.....	34
II.3.5 Etape 5:dimensionnement de la batterie de stockage.....	35
II.3.6 Etape 6:choix du régulateur et onduleur.....	37
II.3.7 Etape 7:dimensionnement des câbles.....	38
II.3.8 Etape 8:dispositifs de protection électrique.....	39
II.4 Application numérique de dimensionnement d'un système photovoltaïque.....	41
II.4.1 Présentation de site .....	41
II.4.2 Evolution de production solaire potentielle.....	42
II.4.3 Description de l'habitation étudiée.....	43
II.4.4 Dimensionnement du générateur photovoltaïque.....	43
II.4.5 Dimensionnement de la batterie de stockage.....	44
II.4.6 Le choix de régulateur.....	45
II.4.7 Le choix d'onduleur .....	45
II.4.8 Dimensionnement des câbles.....	46
II.5 Conclusion.....	47

## Chapitre III

### Commande d'un système PV-batterie autonome –étude de cas

III.1 Introduction.....	48
III.2 Présentation de système.....	48
III.3 Modélisation de générateur photovoltaïque.....	49
III.4 Etude de la commande de hacheur série.....	50
III.4.1 Fonction de transfert.....	52
III.4.2 Choix de contrôleur .....	53
III.5 Algorithme de la commande de gestion d'énergie.....	53
III.6 Implémentation sur système PV-BATTERIE.....	54
III.7 Résultats et discussion.....	54
III.7.1 Test sur un profil de charge journalière.....	56
III.7.2 Interprétation de résultats.....	58
III.8 Conclusion.....	59
Conclusion générale.....	60
Référence .....	63

# Liste des figures

## Chapitre I

### Généralités sur l'énergie photovoltaïque et système photovoltaïque autonome

Figure I.1	Schéma de différentes énergies renouvelables.....	04
Figure I.2	Evolution des capacités électrique renouvelable dans le monde.....	05
Figure I.3	Production d'électricité dans le monde.....	06
Figure I.4	Coordonnées horaires.....	07
Figure I.5	Coordonnées horizontales.....	08
Figure I.6	Rayonnement solaire .....	09
Figure I.7	Composition du rayonnement.....	10
Figure I.8	Principe de fonctionnement d'une cellule PV.....	13
Figure I.9	Circuit électrique idéal du module PV.....	15
Figure I.10	Circuit électrique réel du module PV.....	16
Figure I.11	Influence de l'éclairement solaire.....	19
Figure I.12	Influence de la température.....	20
Figure I.13	Association en série de cellule PV.....	20
Figure I.14	Association en parallèle de cellule PV.....	21
Figure I.15	Système photovoltaïque autonome.....	22
Figure I.16	Système photovoltaïque hybride.....	22
Figure I.17	Système photovoltaïque raccordé au réseau.....	23
Figure I.18	Composants d'un champ de module PV.....	24

## Chapitre II

### Dimensionnement d'un système photovoltaïque associé à la batterie accumulateur

Figure II.1	Diagramme simplifié du dimensionnement d'un système PV.....	30
Figure II.2	Synoptique de l'altitude et la longitude.....	31
Figure II.3	L'orientation idéale d'un module PV.....	32
Figure II.4	Angle d'inclinaison des modules PV.....	32
Figure II.5	Câble solaire.....	39
Figure II.6	Disjoncteur.....	39
Figure II.7	Interrupteur sectionneur.....	40

Figure II.8	Parafoudre.....	40
Figure II.9	Situation géographique de la région d'étude.....	41

## Chapitre III

### Commande d'un système PV-batterie autonome –étude de cas

Figure III.1	Schéma synoptique du système PV.....	48
Figure III.2	Schéma bloc du générateur photovoltaïque sous Matlab/Simulink.	50
Figure III.3	Schéma bloc du hacheur série.....	50
Figure III.4	Organigramme de gestion d'énergie de système PV-BATTERIE.	53
Figure III.5	Caractéristiques (I-V) du module photovoltaïque sous Matlab-Simulink.....	54
Figure III.6	Caractéristiques (P-V) du module photovoltaïque sous Matlab-Simulink.....	54
Figure III.7	Tension de sortie du hacheur série.....	55
Figure III.8	Courant de sortie du hacheur série.....	55
Figure III.9	Profil de rayonnement.....	56
Figure III.10	Puissance de (charge, produite par les systèmes le système renouvelable, panneaux solaire).....	57
Figure III.11	Capacité de stockage de batterie.....	57
Figure III.12	Etat de charge des batteries.....	58

# Liste des tableaux

## Chapitre I

### Généralités sur l'énergie photovoltaïque et système photovoltaïque autonome

Tableau I.1	Répartition du rayonnement solaire a limite supérieur de l'atmosphère.....	09
Tableau I.2	Les différents types de technologie des cellules solaires.....	14
Tableau I.3	Les caractéristiques de type des batteries.....	25
Tableau I.4	Les avantages et les inconvénients de l'énergie PV.....	27

## Chapitre II

### Dimensionnement d'un système photovoltaïque associé à la batterie accumulateur

Tableau II.1	Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle.....	33
Tableau II.2	Tension du champ en fonction de sa puissance crête.....	35
Tableau II.3	Valeurs de l'irradiation journalière moyenne mensuelle.....	42
Tableau II.4	Estimation des besoins électriques journaliers de la maison.....	42
Tableau II.5	Caractéristique du panneau photovoltaïque.....	43
Tableau II.6	Fiche technique de l'onduleur.....	45
Tableau II.7	Résultats du dimensionnementde système.....	46

## Chapitre III

### Commande d'un système PV-batterie autonome –étude de cas

Tableau III.1	les caractéristiques électriques de module photovoltaïque utilisé.....	49
---------------	--	----

---

# Nomenclature

---

$I_b$	Rayonnement direct
$I_d$	Rayonnement diffus
$I_r$	Rayonnement réfléchi
$I_g$	Rayonnement globale
$\delta$	Déclinaison
H	Angle horaire
TSV	Temps solaire vrai
TU	Temps universel
a	Azimut
$I_{pv}$	le courant fournit par la cellule
$I_{ph}$	Le photo-courant produit
$I_d$	Le courant traversant la diode
$I_s$	Le courant de saturation de la diode
$R_s$	la résistance série
$R_{sh}$	la résistance parallèle
$V_t$	Tension thermique à la température
Q	Charge d'électron
K	Constant de Boltzmann
T	Température effective de la cellule en degré Kelvin

---

---

N	Facteur de non idéalité de la jonction.
V <sub>co</sub>	Tension de circuit – ouvert
I <sub>cc</sub>	Courant de court – circuit
P <sub>m</sub>	Puissance maximale d'une cellule PV
H	Rendement énergétique
FF	Facteur de forme
N <sub>s</sub>	Nombre de cellule en série
N <sub>p</sub>	Nombre de cellule en parallèle
$\varphi$	L'angle de la latitude
$\lambda$	La longitude
B	Inclinaison
E <sub>i</sub>	E <sub>i</sub> : L'énergie journalière consommée d'un équipement en (Wh/J)
P <sub>i</sub>	La puissance de cet équipement en (W).
t <sub>i</sub>	La durée d'utilisation de cet appareil dans une journée (J).
P <sub>c</sub>	La puissance crête
E <sub>c</sub>	L'énergie consommée totale.
I <sub>r</sub>	Irradiation journalière (kW/m <sup>2</sup> /j).
K	Coefficient correcteur du système photovoltaïque
N <sub>pt</sub>	Nombre de panneaux total
N <sub>ps</sub>	Nombre de panneaux en série
N <sub>pp</sub>	Nombre de panneaux parallèle

---

---

Ct	Capacité totale des batteries en (Ah).
Vsys	La tension de système PV
Vbat	La tension du système de la batterie
Nbt	Nombre des batteries total
Nbs	Nombre des batteries en série
Nbp	Nombre des batteries en parallèle
Ie	L'intensité admissible du courant d'entrée du régulateur
Is	L'intensité admissible du courant de sortie du régulateur.
E	La chute de tension maximale
$\rho$	La résistivité de cuivre
$\Delta U$	La chute de tension entre les panneaux et les autres éléments
S	Section de câble
N	Nombre de jour d'autonomie .

---

# **Introduction Générale**

# Introduction générale

Le projet de population mondiale par le laboratoire de données mondial a montré que le monde contient + 7 milliards de personnes et cela augmente à chaque instant, plus de personnes signifie plus de consommation d'énergies, mais voyons nos réalités, nous vivons dans un monde qui utilisent des énergies fossiles qui produisent beaucoup de gaz à effet de serre, polluant de plus ils sont limités. Selon l'Agence internationale de l'énergie, les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> provenant de la combustion de carburant ont augmenté de 108 % entre 1973 et 2015. Nous pouvons également remarquer que nous avons des ressources différentes, alors comment les pays peuvent-ils répondre à leurs besoins en fonction de leurs ressources. La solution est d'avoir un mariage technique de production entre les énergies renouvelables et les énergies fossiles.

Les énergies renouvelables impliquent des phénomènes naturels et constituent une solution de substitution. Elles peuvent provenir du soleil, du vent de la chaleur géothermique, de l'eau ou encore de la biomasse. A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies à ressources illimitées et différentes filières technologiques. La filière étudiée dans cette mémoire est l'énergie solaire photovoltaïque à cause de leur importance et leur existence dans le monde.

Aujourd'hui, l'énergie solaire est vue comme étant la meilleure alternative, et représente l'avenir du monde en matière de ressources énergétiques. C'est une énergie à faible coût, facilement exploitable et surtout respectueuse de l'environnement ce qui fait d'elle l'une des plus prometteuse parmi les énergies renouvelables. L'exploitation de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes l'une produit ces calories, c'est l'énergie solaire thermique, et l'autre, l'énergie solaire photovoltaïque qui produit de l'électricité et qui fera l'objet d'étude de cette mémoire.

Ce type d'énergie provient de la transformation directe d'une partie de rayonnement solaire en énergie électrique, cette conversion d'énergie s'exécute par le biais d'une cellule dite cellule photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée au soleil. La tension générée par une cellule (PV) peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule.

Un système (PV) est l'ensemble des équipements qui assure la conversion de l'énergie solaire en électricité, on peut compter des systèmes autonomes, hybrides et raccordé au réseau. On préfère de réaliser un système autonome, en raison de leur capacité à fournir de l'électricité à des zones isolées et éloignées, de leur capacité à contribuer à la durabilité environnementale, de leur fiabilité en cas de coupures de courant et de leur potentiel d'économies à long terme, les systèmes photovoltaïques autonomes sont devenus cruciaux. Ils sont essentiels à la transition vers un avenir où l'énergie est plus propre, plus fiable et plus facilement accessible à tous.

L'objectif de ce travail est de faire le dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome pour une maison située à Ouargla en Algérie dans lequel on se base sur l'utilisation d'une méthode simple qui permet de bien dimensionner les différents éléments de notre système. Faire La modélisation et la simulation de la commande de l'état de charge d'une batterie couplé avec un système photovoltaïque.

Le travail que nous présentons est subdivisé en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à l'état de l'art des énergies renouvelables et en particulier l'énergie solaire photovoltaïque en présentant la cellule photovoltaïque : l'historique, le principe de fonctionnement et types des technologies des cellules..., ensuite on passe aux différents composants de système photovoltaïque existant et leur type d'installation.

Dans le deuxième chapitre, nous allons faire la présentation des étapes de dimensionnement du système photovoltaïque autonome ainsi l'application numérique sur le système.

Enfin, dans le troisième chapitre, nous présenterons les résultats de modélisation et simulation par le logiciel MATLAB/SIMULINK des composants de notre système sélectionné.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur l'énergie photovoltaïque et système photovoltaïque autonome**

### **I.1 Introduction**

L'énergie photovoltaïque est une option attrayante pour la production d'électricité propre et durable, et contribue à la transition vers un système énergétique plus écologique.

Dans ce chapitre, nous parlons brièvement sur les énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire photovoltaïque. La première partie est consacrée à présenter des généralités sur l'énergie photovoltaïque et l'histoire de sa découverte et son développement. Ensuite nous parlons sur les concepts de base de l'effet photoélectrique, le principe de la cellule photovoltaïque, et ses différents types. Nous avons aussi expliqué les différents systèmes photovoltaïques et leurs types d'installations.

### **I.2 Les énergies renouvelables**

Les énergies renouvelables ou « énergies vertes » sont des sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables et réutilisables, elles sont issues des éléments naturels : le soleil, le vent, les chutes d'eau, la chaleur de la terre, la croissance des végétaux. Le faible impact environnemental de leur exploitation en fait un élément majeur des stratégies RSE des entreprises en matière de développement durable. Ce sont les énergies de l'avenir. Il existe cinq grands types d'énergies renouvelables [1, 2]:

#### **I.2.1 Energie hydraulique**

L'énergie hydraulique utilise l'énergie des cours d'eau ou des chutes pour transformer la force motrice de l'eau en électricité. L'eau, par son poids et sa vitesse, actionne une turbine et transforme l'énergie hydraulique en énergie mécanique. La turbine entraîne à son tour une génératrice qui transforme l'énergie mécanique en électricité[3].

#### **I.2.2 Energie éolienne**

L'énergie éolienne est une source d'énergie qui dépend du vent. Le soleil chauffe inégalement la terre, ce qui crée des zones de températures et de pression atmosphérique différentes tout autour du globe. De ces différences de pression naissent des mouvements d'air, appelés vent. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité dans des éoliennes, appelées aussi aérogénérateurs, grâce à la force du vent [4].

#### **I.2.3 La biomasse**

Elle désigne l'ensemble des matières organiques d'origine végétale, animale ou fongique qui peuvent devenir source d'énergie par combustion, après méthanisation (nouvelles

transformations chimiques). La biomasse est utilisée par l'homme depuis des siècles (maîtrise le feu). Elle reste la principale énergie renouvelable utilisée dans le monde, pour le chauffage et la cuisson, mais particulièrement dans les pays peu industrialisés[5].

#### I.2.4 L'énergie géothermique

La géothermie, du grec géo (« la Terre ») et thermos (« la chaleur »), désigne à la fois la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre, et la technologie qui vise à l'exploiter. Cette énergie utilise la chaleur du sous-sol, elle peut permettre de chauffer des locaux (avec une température moyenne ou faible), ou de produire de l'électricité par vapeur interposée (avec une température élevée)[4, 6].

#### I.2.5 L'énergie solaire

L'énergie solaire est l'énergie transmise par le soleil sous la forme de lumière et de chaleur. Cette énergie est virtuellement inépuisable à l'échelle des temps humains, ce qui lui vaut d'être classée parmi les énergies renouvelables (même si le soleil disparaîtra un jour). Il existe deux façons d'utiliser cette énergie : l'énergie solaire thermique et l'énergie photovoltaïque[7].

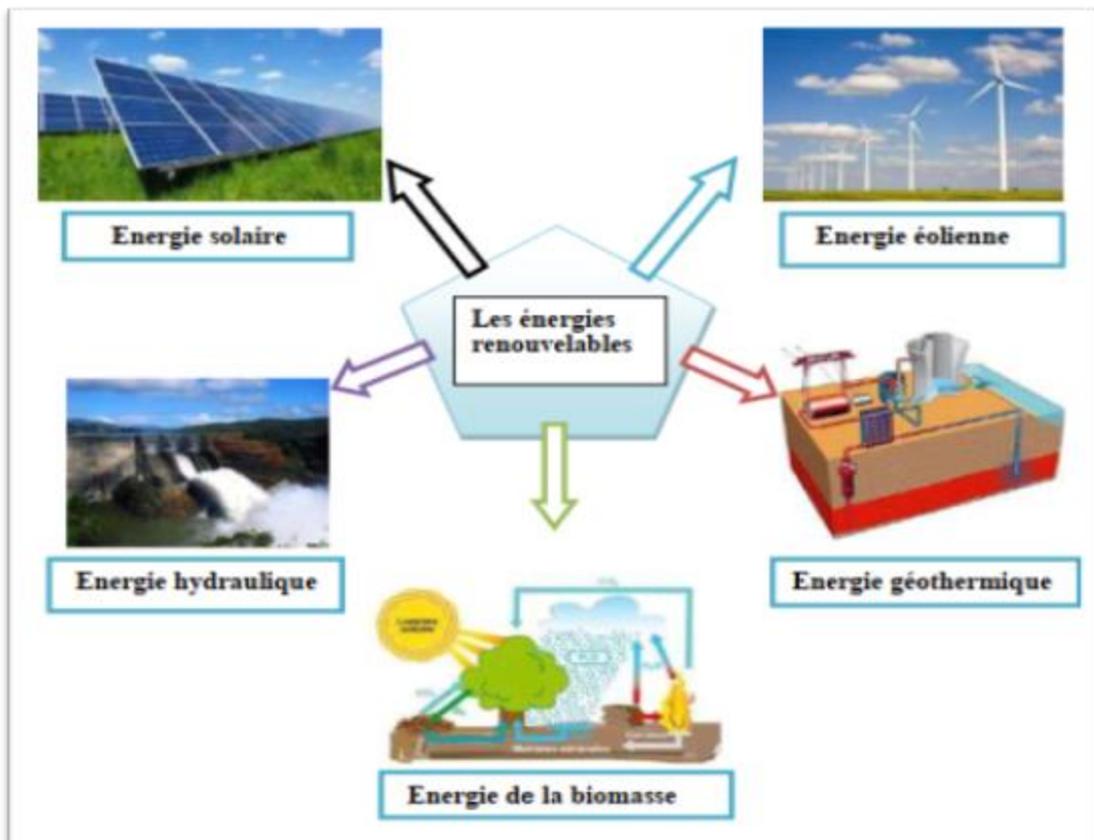


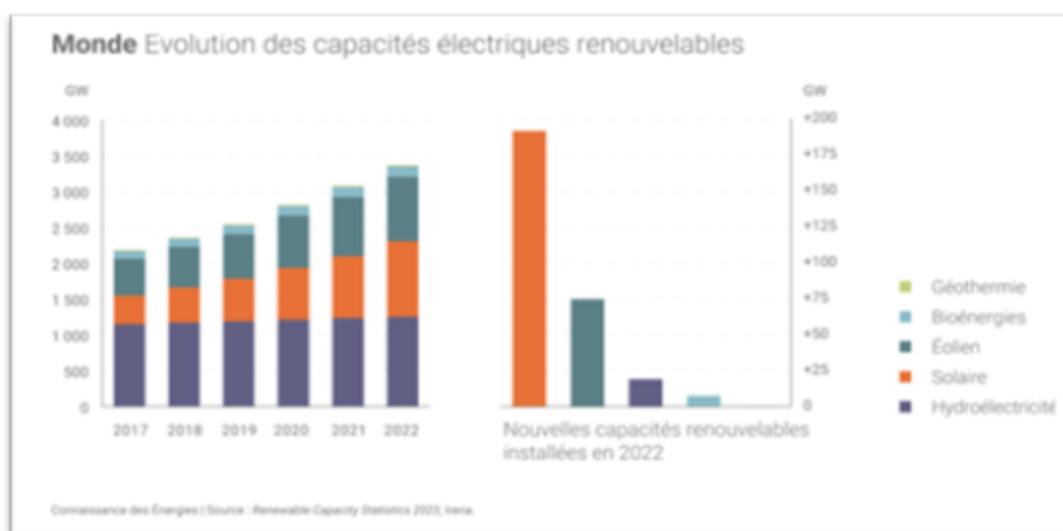
Figure I.1 Schéma de différentes énergies renouvelables.

### I.3 Evolution de la production mondiale en énergies renouvelables

Les énergies renouvelables deviennent de plus en plus importantes dans le monde d'aujourd'hui alors que nous nous efforçons de réduire notre dépendance aux combustibles fossiles et de lutter contre le changement climatique. Les sources d'énergie renouvelables comprennent le solaire, l'éolien, l'hydroélectricité, la géothermie et la biomasse.

À fin de 2022, les capacités électriques renouvelables - toutes filières cumulées - dans le monde s'élevaient à près de 3 372 GW, soit 9,6% de plus qu'à fin 2021 selon l'Irena (Agence internationale pour les énergies renouvelables). Si l'hydroélectricité reste la principale filière renouvelable productrice d'électricité, le solaire et l'éolien ont compté pour près de 90% des nouvelles capacités renouvelables installées dans le monde en 2022.

L'IRENA précise que « la croissance significative des énergies renouvelables est toujours concentrée dans quelques pays et régions comme l'Asie, les États-Unis et l'Europe » (près de 59% des nouvelles capacités renouvelables installées en 2022 ont en particulier été implantées en Asie)[8].



**Figure I.2** Évolution des capacités électriques renouvelable dans le monde.

Selon les dernières données d'Ember les différentes filières renouvelables ont compté pour 30,5% de la production totale électricité dans le monde au 1er semestre 2022 (contre 28,3% en 2021).

L'énergie solaire a été la filière productrice d'électricité ayant le plus progressé dans le monde pour la 18e année consécutive selon Ember, avec une hausse de production de 24%

par rapport à 2021, soit un volume d'électricité « supplémentaire suffisant pour satisfaire la consommation électrique annuelle de l'Afrique du Sud ».

La production éolienne mondiale à quant à elle augmenté de 17% en 2022, ce surplus d'électricité équivalant à l'ensemble de la consommation annuelle d'électricité du Royaume-Uni, indique le nouveau rapport.

Malgré leur progression rapide, le solaire et l'éolien n'ont encore respectivement compté que pour 4,5% et 7,6% de la production mondiale d'électricité en 2022, soit près de 12% en cumul (contre environ 10% en 2021). Le charbon reste de très loin la principale source d'électricité dans le monde (35,7% de la production en 2022, contre 36,5% en 2021).

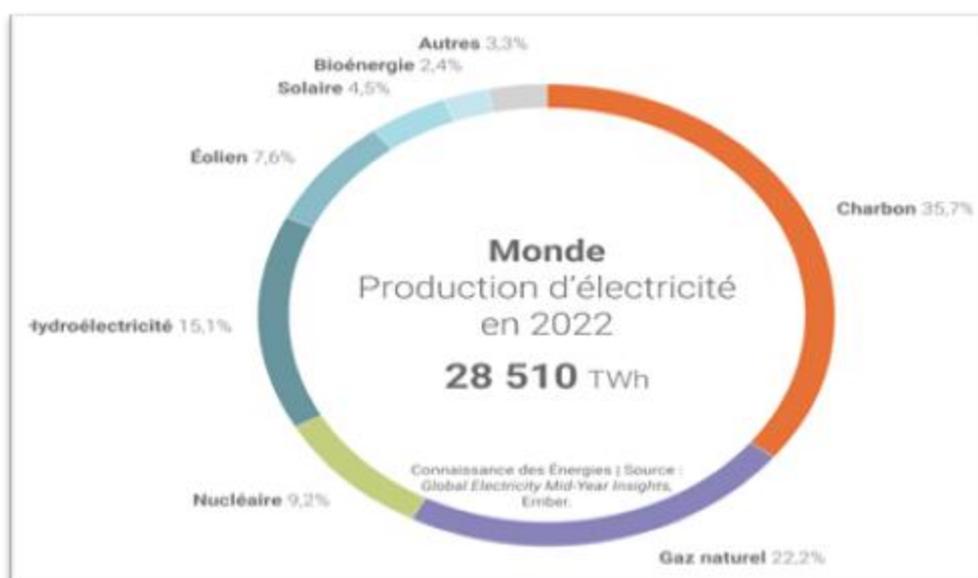


Figure I.3 Production d'électricité dans le monde en 2022.

#### I.4 Position de soleil

La position apparente du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées :

##### I.4.1 Les coordonnées horaires

- **Déclinaison  $\delta$**

La déclinaison est l'angle que fait la direction d'observation du soleil avec sa projection sur le plan équatorial. Elle est exprimée en degrés ( $^{\circ}$ ), minute ( $'$ ) et seconde ( $''$ ) d'arc. Elle traduit l'inclinaison du plan équatorial par rapport au plan écliptique. La déclinaison solaire varie au cours de l'année entre  $-23^{\circ}27'$  au solstice d'hiver et  $+23^{\circ}27'$  au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes de printemps (21 mars) et d'automne (23 septembre), et maximale

aux solstices d'été (22 juin) et d'hiver (22 décembre). Elle s'obtient à partir de la formule suivante [10] :

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

$n_j$  : le numéro du jour dans l'année compte à partir du 1er Janvier.

- **Angle horaire du soleil (H)**

C'est l'angle formé entre le plan méridien passant par le soleil et le plan méridien du lieu obtenu par le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire, dans sa course d'Est en Ouest, par rapport au méridien local. L'angle horaire définit le temps solaire vrai TSV, il est midi TSV si  $\omega=0$ . La valeur de l'angle est nulle à midi solaire, négative le matin, positive en après-midi et augmente de  $15^\circ$  par heure (donc un tour de  $360^\circ$  en 24 heures)[9].

L'angle horaire  $\omega$  ( $^\circ$ ) est donné par la formule suivante :

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (\text{I.2})$$

TSV : est le temps solaire vrai en heure, se calcule par l'équation suivante :

$$TSU = TU + \frac{L}{15} + E_\tau \quad (\text{I.3})$$

TU : est le temps universel du méridien de Greenwich (GMT).

$$E_\tau = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos(B) - 1.5 \sin(B) \quad (\text{I.4})$$

$$B = \frac{2\pi(n-81)}{365} \quad (\text{I.5})$$

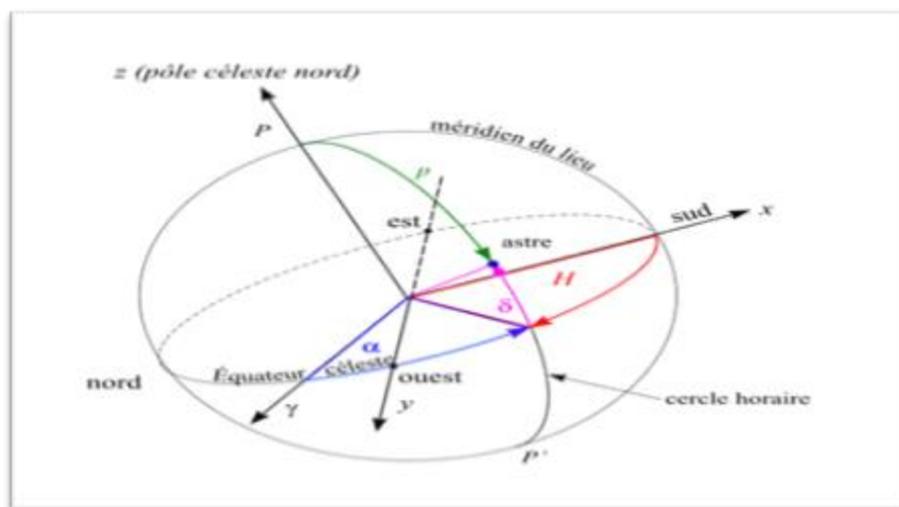


Figure I.4 Coordonnées horaires.

## I.4.2 Les coordonnées horizontales

- **La hauteur (h)**

La hauteur solaire (h) est l'angle entre la droite joignant le centre du disque solaire au point d'observation et le plan horizontal passant par le point d'observation. Ou l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal. La hauteur du soleil varie à chaque instant de la journée et de l'année selon la relation suivante[10] :

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

- **L'azimut**

L'azimut(a) est l'angle entre la direction sud et la projection sur le plan horizontal local de la droite reliant la terre au soleil. L'azimut est relié à l'angle horaire, à la hauteur angulaire et à la déclinaison à chaque instant de la journée, il se compte de 0° à 360° à partir du sud dans le sens rétrograde. Elle est donnée par la relation suivante[10]:

$$\sin \psi = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (\text{I.7})$$

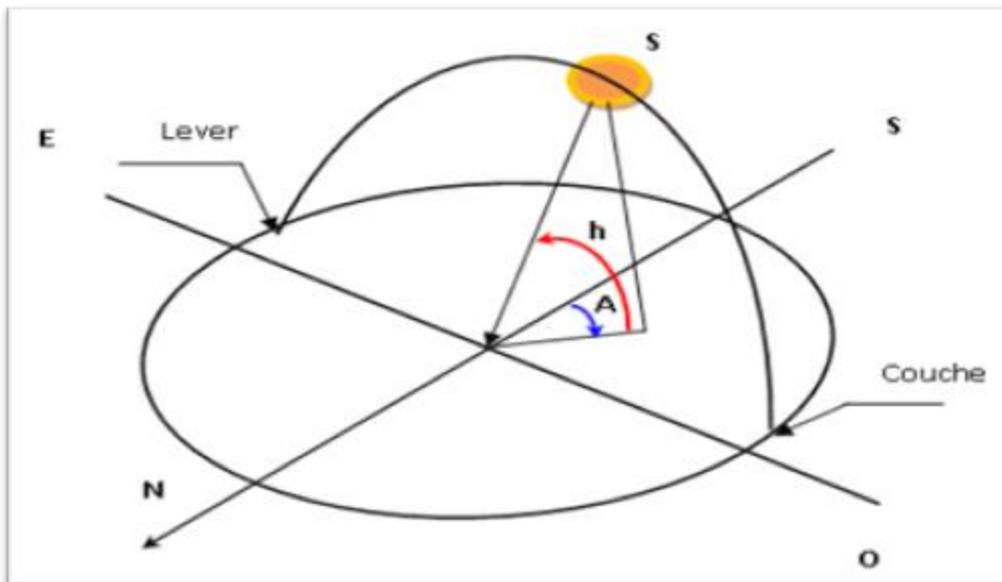


Figure I.5 Coordonnées horizontales.

## I.5 Rayonnement solaire

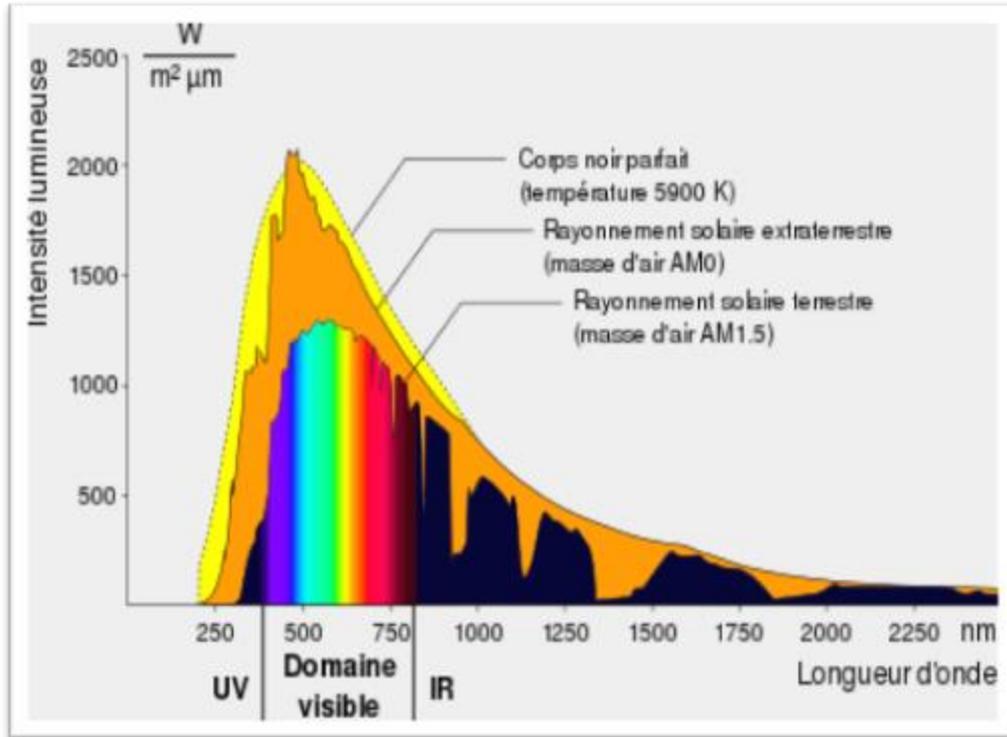
### I.5.1 Définition

On peut définir Le rayonnement solaire comme étant l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le soleil. Il est composé de toute la gamme des rayonnements, de l'ultraviolet lointain comme les rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière

visible1. Le rayonnement solaire contient aussi des rayons cosmiques de basse énergie. La répartition de ce rayonnement à la limite supérieure de l'atmosphère est[11] :

**Tableau I.1** Répartition du rayonnement solaire a limite supérieure de l'atmosphère.

Lumière	Longueur d'onde $\lambda$ (nm)	Répartition (%)
Ultraviolet	$\lambda < 400$	9%
Visible	$400 < \lambda < 800$	47%
Visible	$800 < \lambda < 3000$	44%



**Figure I.6** Rayonnement solaire[2].

## I.5.2 Composition du rayonnement solaire

### a. Rayonnement direct $I_b$

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire atteignant directement la surface terrestre depuis le soleil, il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages. Il peut être mesuré par un pyrhéliomètre[11, 12].

### b. Rayonnement diffus $I_d$

Le rayonnement diffus ( $D_h$ ) est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions, Il peut être mesuré par pyrano-mètre avec écran masquant le soleil[13].

### c. Rayonnement réfléchi (L'albédo) $I_r$

C'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige, etc....)[14].

### d. Rayonnement global $I_g$

Le rayonnement global est subdivisé en rayonnements directs, diffus et reflété par le sol, il est mesuré par un pyrano-mètre ou un solarimètre sans écran. Dans la figure ci-dessous représente l'ensemble des rayonnements solaires reçu sur une surface terrestre[11].

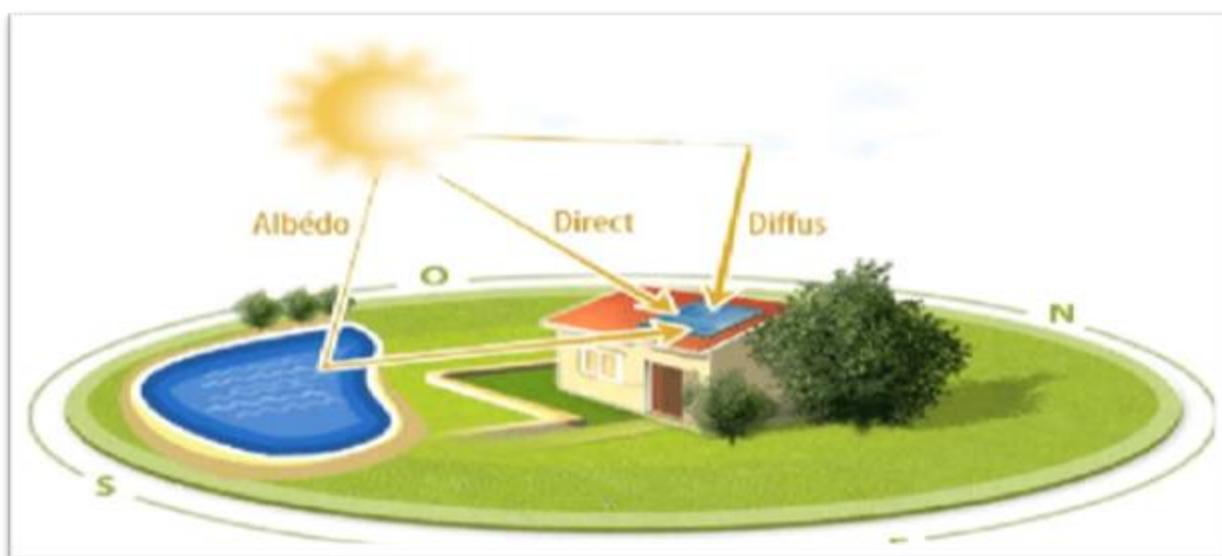


Figure I.7. Composition du rayonnement solaire.

## I.6 Energie photovoltaïque

### I.6.1 Définition

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation d'une partie du rayonnement solaire en électricité, la conversion de cette énergie peut se faire grâce aux cellules photovoltaïques. Cela est basé sur un phénomène appelé effet photovoltaïque. Le mot « Photovoltaïque » est la combinaison de deux mots : « photo », mot d'origine grecque qui signifie lumière et « voltaïque », mot dérivé du physicien italien Alessandro Volta, qui vient de « volt » et qui représente l'unité utilisée pour mesurer le potentiel électrique[1].

### I.6.2 Historique

Quelques dates marquantes dans l'histoire du photovoltaïque :

**1839:**Le physicien français Antoine Edmond Becquerel découvre la possibilité de produire de l'électricité grâce à la lumière et la présence de matériaux semi-conducteurs comme le silicium[15].

**1875:**Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire[16].

**1954:**Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites[17].

**1958:**Les premiers satellites avec panneaux solaires sont envoyés dans l'espace et au même moment une cellule avec un rendement de 9% est mise au point, l'un des premiers satellites américain, l'Explorer-6 lancé en août 1959 était équipé de panneaux solaires, sa masse était de 40 Kg disposait une caméra sommaire pour voir la terre[18].

**1973:**La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques a été construite à l'université de Delaware[18].

**1983:**La première voiture alimentée en énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 Km en Australie[17].

**2000:**La loi EEG sur les énergies renouvelables (EEG), entrée en vigueur le 1er avril 2000 et modifiée en 2004 et 2009, est le résultat de la transposition de la directive européenne relative à la promotion des énergies renouvelables dans le secteur de l'électricité[15].

### **I.6.3 L'effet photovoltaïque**

L'effet photovoltaïque est la conversion directe de la lumière (photons) en électricité par le biais des matériaux semi-conducteurs. Les modules photovoltaïques (PV) qui effectuent cette conversion ont de nombreux avantages, ils sont durables, fiables et nécessitent un entretien minime, car ils n'ont pas de pièces mobiles. Ils sont également totalement silencieux et ne nécessitent que la lumière du soleil comme combustible. Le cœur du photovoltaïque (PV) est un matériau semi-conducteur qui peut être adapté pour libérer des électrons, ces derniers sont les particules chargées négativement qui forment la base de l'électricité. Le matériau semi-conducteur le plus couramment utilisé dans les cellules photovoltaïques est le silicium, un élément le plus souvent trouvé dans le sable[19].

## I.7 Cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque ou encore photopile est un composant électronique le plus petit d'une installation photovoltaïque. Elle transforme directement la lumière solaire en électricité par le processus décrit précédemment appelé « effet photovoltaïque ». Les cellules photovoltaïques sont constituées [20, 21]:

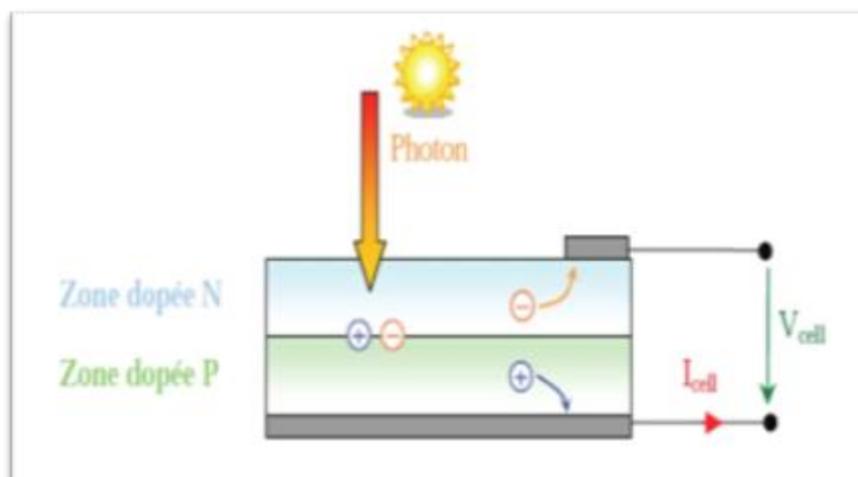
- D'une fine couche semi-conductrice (matériau possédant une bande interdite, qui joue le rôle de barrière d'énergie que les électrons ne peuvent pas franchir sans excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électriques) tel que le silicium, qui est un matériau présentant une conductivité relativement bonne ;
- D'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode ;
- D'une couche antireflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires ;
- Les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multicouche réfléchissant juste en dessous du semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement.

### I.7.1 Principe de fonctionnement de cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir d'une jonction PN (figure I-10) au silicium (diode). Pour obtenir du silicium dopé N, on ajoute du phosphore. Ce type de dopage permet au matériau de libérer facilement des électrons (charge-).

Pour obtenir du silicium dopé P, on ajoute du bore. Dans ce cas, le matériau crée facilement des lacunes électroniques appelées trous (charge+).

La jonction PN est obtenue en dopant les deux faces d'une tranche de silicium. Sous l'action d'un rayonnement solaire, les atomes de la jonction libèrent des charges électriques de signes opposés qui s'accumulent de part et d'autre de la jonction pour former un générateur électrique [12].



**Figure I.8** Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

## I.7.2 Types des cellules photovoltaïques

Il existe plusieurs types de cellules photovoltaïques, notamment les :

### I.7.2.1 Cellule au silicium monocristallin

Les cellules monocristallines sont constituées d'un seul cristal de silicium et sont les plus efficaces. Ce genre d'applications technologiques, le silicium pur est obtenu à partir de la silice de quartz ou de sable par transformation chimique métallurgique. sa durée de vie compris entre 20 et 30 ans[20, 22].

### I.7.2.2 Cellule au silicium poly cristallin

Tandis que les cellules poly cristallines sont constituées de plusieurs cristaux et sont légèrement moins efficaces. sa durée de vie est comprise entre 20 et 30 ans. Il est fabriqué à partir du silicium fondu que l'on met dans un creuset. En contrôlant la vitesse de refroidissement on peut facilement contrôler la taille des cristaux formés lors de la solidification. Le contrôle de la taille de ces cristaux est primordial puisque les joints de grain ont un effet néfaste sur les performances photovoltaïques[23].

### I.7.2.3 Cellule au silicium amorphe

Les cellules amorphes sont constituées de couches de différents matériaux et sont les moins efficaces mais aussi les moins chères à produire. Le silicium amorphe est étudié depuis les années 70 et le seul type de silicium donnant accès aux applications flexibles. Le coût de production est plus bas et sa durée de vie est faible. Le silicium amorphe possède un processus d'absorption des photons mieux que celui de silicium cristallin, il fonction même au temps couvert et faible de luminosité [23, 24].

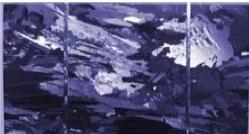
#### I.7.2.4 Cellule sans silicium en couche mince CIS / CIGS

Les cellules CIS représentent une nouvelle génération de cellules solaires sous forme de films minces, de type CIS(cuivre, indium,sélénium) ou CIGS(cuivre, indium,gallium et sélénium). Les matières premières nécessaires à la fabrication de ces cellules sont plus faciles à se procurer que le silicium utilisé dans les cellules photovoltaïques classiques (bien que ce dernier soit déjà très abondant sur terre). De plus, leur efficacité de conversion énergétique est la plus élevée à ce jour pour des cellules photovoltaïques en couche mince[25].

#### I.7.2.5 Cellules organiques

Ils ne sont pas des minéraux semi-conducteurs comme le silicium. Elles sont au contraire fondées sur des molécules ou des polymères de la chimie organique. Bien qu'elles commencent à connaître quelques applications, le rendement qu'elles produisent reste encore trop faible. Leur stabilité à long terme n'est pas non plus satisfaisante. Leur avantage est qu'elles pourraient en théorie être produites à bas coûts, comparé aux cellules au silicium[26].

**Tableau I.2** Les différents types de technologie des cellules solaires.

Type de cellules	Rendement des cellules(%)		Domaines d'application
	En labo	Disponible	
Silicium monocristallin 	24.7	12-18	Modules de grandes dimensions pour toits et façades, appareils de faibles puissances, espace (satellites)
Silicium poly cristallin 	19.8	12-14	Modules de grandes dimensions pour toits et façades, générateurs de toutes tailles (reliés réseau ou sites isolés)
Silicium amorphe 	14	6-8	Principalement utilisé sur les appareils électroniques comme les calculatrices, les montres...etc.
Cellule sans silicium en couche mince CIS / CIGS	18.2	10-12	Appareils de faibles puissances, modules de grandes dimensions (intégration dans le bâtiment)

			
Cellules organiques 	18	5-10	La biologie, de la médecine et de la recherche scientifique

### I.7.3 Caractéristique et modélisation de la cellule photovoltaïque

#### I.7.3.1 Modélisation de cellule photovoltaïque

##### a. Modèle électrique idéal

Le module photovoltaïque peut être représenté par le circuit électrique équivalent donné par la figure (I.11) composé d'un générateur de courant qui produit un courant  $I_{ph}$  proportionnel à la puissance lumineuse incidente, et d'une diode parallèle qui correspond à l'aire de transition P-N du module PV[21]. Le courant généré par le module s'écrit :

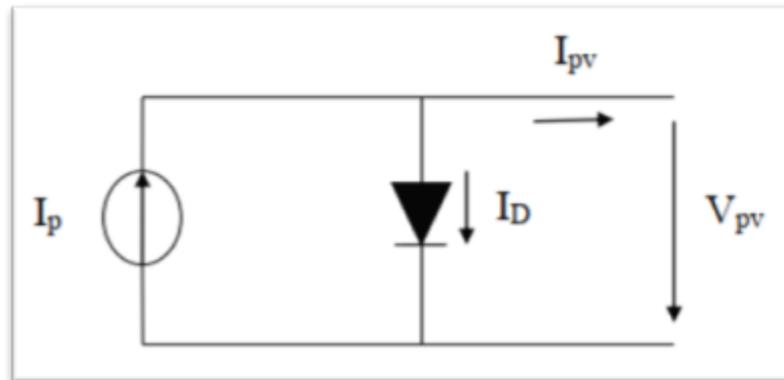


Figure I.9 Circuit électrique idéal du module PV.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_D \quad (I.8)$$

Avec :

$I_{ph}$  : le photo-courant de la diode.

$I_D$  : le courant de la diode.

La diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique Courant –Tension est donnée par la relation :

$$I_D = I_s \left[ \exp\left(\frac{V_d}{V_t}\right) - 1 \right] \quad (\text{I.9})$$

$I_s$  : le courant de saturation de diode.

### b. Modèle d'une cellule photovoltaïque

Le module photovoltaïque réel peut être représenté par le circuit électrique équivalent donné par la figure (I.12) composé d'un générateur de courant qui produit un courant  $I_{ph}$  monté en parallèle avec une diode qui modélise la jonction (PN), et deux résistances :

- $R_s$  : c'est la résistance montée en série qui représente la résistance de contacte et de connexion.
- $R_{sh}$  : c'est la résistance shunt montée en parallèle qui représente le courant de fuite.

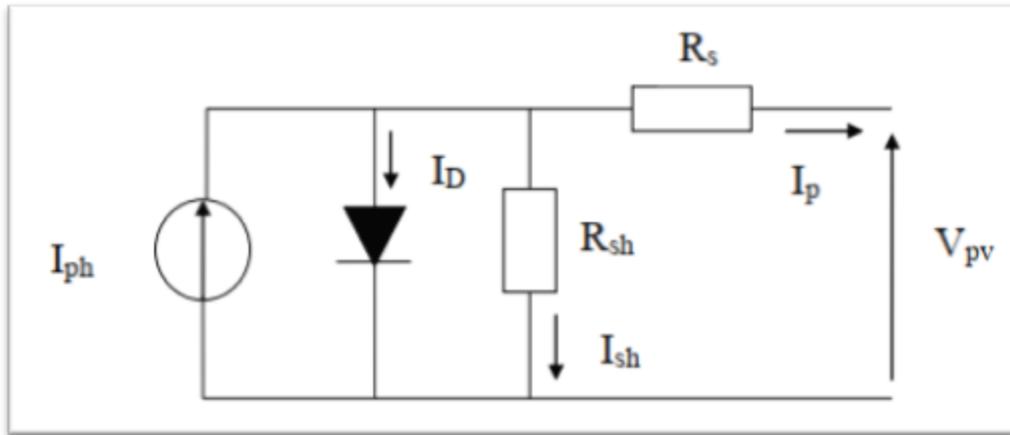


Figure I.10 Circuit électrique réel du module PV.

D'après la loi de Kirchoff la relation du courant généré par le module PV est donnée comme suite :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_p \quad (\text{I.11})$$

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left[ \exp\left(\frac{V_d}{V_t}\right) - 1 \right] - \frac{V_{r_{sh}}}{R_{sh}} \quad (\text{I.12})$$

$$V_{R_{sh}} = V_d \quad (\text{I.13})$$

$$V_{R_{sh}} = R_s \times I_{pv} = V_d \quad (\text{I.14})$$

Donc :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left[ \exp\left(\frac{V_{pv} + R_s \times I_{pv}}{V_t}\right) - 1 \right] - \left[ \frac{V_{pv} + R_s \times I_{pv}}{R_{sh}} \right] \quad (\text{I.15})$$

Avec :

$I$  : le courant fourni par la cellule.

$I_s$  : le courant de saturation de la diode.

$I_{ph}$  : photo courant produit.

$V_t = K_t/q$  Tension thermique à la température  $T$ .

$I_d = I_s \left[ \exp\left(\frac{V_{pv} + R_s \times I_{pv}}{V_t}\right) - 1 \right]$  Le courant traversant la diode.

$R_s, R_{sh}$  : la résistance série et la résistance parallèle, respectivement.

Où :

$q$  : charge d'électron ( $1.602 \times 10^{-19}$  C).

$k$  : constant de Boltzmann ( $1.381 \times 10^{-23}$  J/K).

$n$  : facteur de non idéalité de la jonction.

$T$  : Température effective de la cellule en degré Kelvin.

### I.7.3.2 Caractéristique d'une cellule photovoltaïque

Ces paramètres peuvent être déterminés à l'aide d'équations caractéristiques ou de courbes courant-tension.

Les suivants sont les plus courants :

#### a. Tension de circuit-ouvert $V_{co}$

C'est la tension  $V_{co}$  à laquelle le courant produit par le générateur photovoltaïque est nul (c'est la tension maximale d'une cellule photovoltaïque ou d'un générateur photovoltaïque) [27]; Elle est donnée par l'équation suivante :

$$0 = I_{CC} - I_s \left[ \exp\left(\frac{q \times v}{nkt}\right) \right] \quad (\text{I.16})$$

Dans le cas idéal, sa valeur est légèrement inférieure à :

$$V_{co} = V_t \ln \left[ \frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right] \quad (\text{I.17})$$

#### b. Courant de court-circuit $I_{CC}$

Le courant du court-circuit  $I_{CC}$  est la valeur du courant lorsque la tension aux bornes de la cellule est nulle ( $V=0$ ). En annulant la tension  $V$  dans l'équation (I.18), nous obtenons[28]:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left[ \exp\left(\frac{R_s \times I_{CC}}{nV_t}\right) - 1 \right] - \left[ \frac{R_s \times I_{CC}}{R_{sh}} \right] \quad (\text{I.18})$$

Pour la majorité des cellules solaires (dont la résistance série est extrêmement faible), le terme  $I_s \left[ \exp\left(\frac{R_s \times I_{CC}}{nV_t}\right) - 1 \right]$  devant  $I_{ph}$  peut être négligé. L'expression de courant de court-circuit approuvée est donc :

$$I_{CC} \approx \frac{I_{ph}}{\left[ 1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right]} \quad (\text{I.19})$$

### c. Puissance maximale d'une cellule PV

La puissance fournie au circuit extérieur par un module photovoltaïque sous éclairage dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes du module). Cette puissance est maximale (notée  $P_{max}$ ) pour un point de fonctionnement  $P_{max}$  ( $I_{opt}$ ,  $V_{opt}$ ) de la courbe Courant-Tension[21].

$$P_{max} = I_{opt} \times V_{opt} \quad (\text{I.20})$$

### d. Rendement énergétique

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule  $P_{max}(I_{opt}, V_{opt})$  et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{I_{max} \times V_{max}}{P_{inc}} \quad (\text{I.21})$$

Avec  $P_{inc}$  est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale des photopiles. Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique[27].

### e. Facteur de forme

Nous appelons cela le facteur de forme. FF est le rapport de la puissance maximale fournie par la cellule  $P_{max}(I_{max}, V_{max})$  au produit du courant de court-circuit  $I_{cc}$  par la tension à vide  $V_{co}$  (c'est-à-dire la puissance maximale d'une cellule idéale).

Le facteur de forme reflète la qualité de la cellule ; plus elle est proche de l'unité, plus la cellule est efficace. Pour les cellules performantes, il est d'environ 0,7 et diminue avec la température. Il indique l'impact des pertes de résistance des parasites  $R_s$  et  $R_{sh}$ [27]. Il est défini comme suit :

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{CC} \times V_{co}} = \frac{V_{max} \times I_{max}}{I_{CC} \times V_{co}} \quad (\text{I.22})$$

## I.7.4 Influence d'éclairement et de température

### I.7.4.1 Influence d'éclairement

La puissance délivrée par un générateur PV est déterminée par la quantité de lumière solaire qu'il reçoit. La figure (I.11) montre les caractéristiques courant-tension et puissance-tension d'un module photovoltaïque (PV) en réponse à l'éclairement à température ambiante et vitesse de circulation constantes. Il est à noter que la tension  $V_{\max}$  correspondant à la puissance maximale varie relativement peu en fonction de l'éclairement, contrairement au courant  $I_{\max}$  qui augmente fortement avec l'éclairement[29].

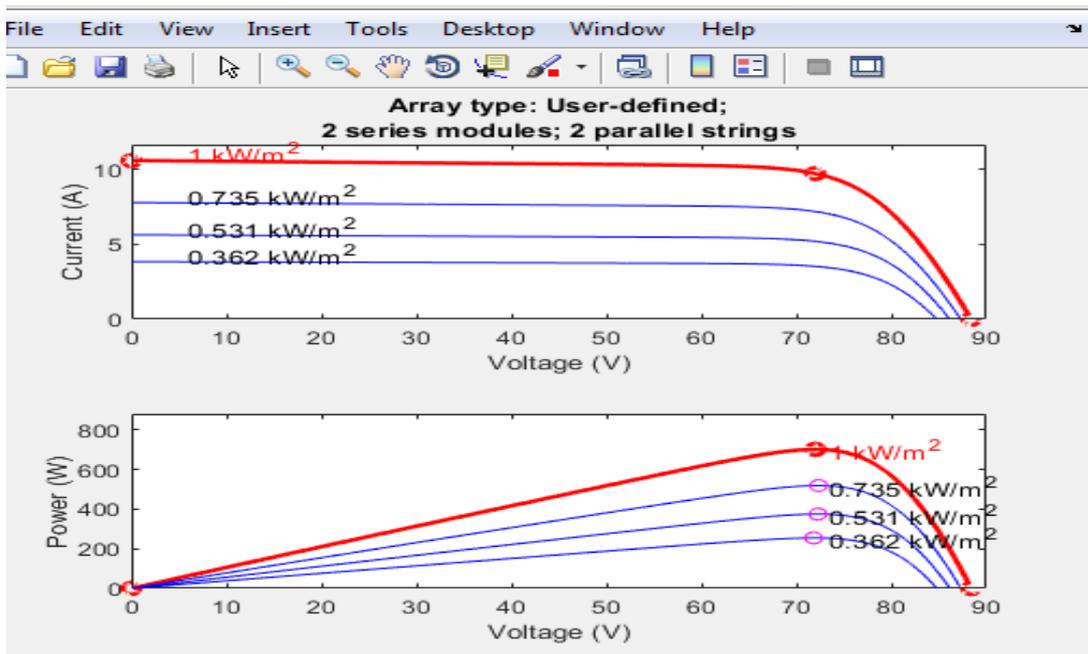


Figure I.11 Influence de l'éclairement solaire.

### I.7.4.2 Influence de température

La température est un paramètre important dans le fonctionnement des cellules photovoltaïques parce que les propriétés électriques d'un semi-conducteur étant extrêmement sensibles à la température. La figure (I.12) montre les caractéristiques courant-tension et puissance-tension d'un module solaire (PV) en fonction de la température dans une constante claire. On constate que l'augmentation de la température entraîne une diminution de la tension en circuit ouvert ainsi qu'une diminution de la puissance maximale [29].

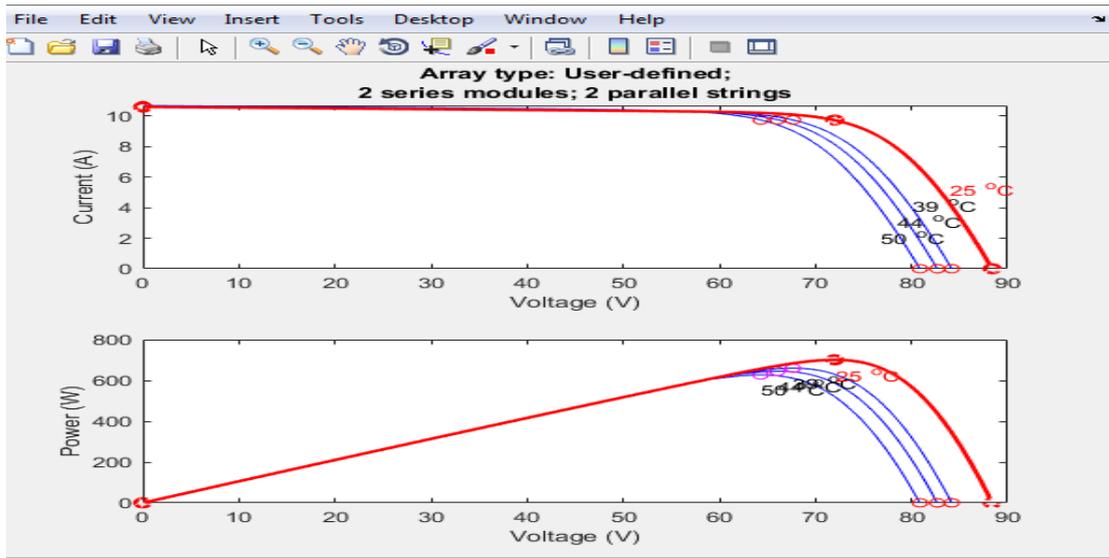


Figure I.12 Influence de la température.

## I.8 Association de cellule photovoltaïque

### I.8.1 Association série

En disposant d'un nombre ( $N_s$ ) de cellules en série pour augmenter la tension du générateur PV, série. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule [30]. Les caractéristiques électriques d'une association série de cellules ( $N_s$ ) sont résumées par l'équation suivante :

$$V_{cos} = N_s \times V_{co} \quad (\text{I.23})$$

$$I_{ccs} = I_{cc} \quad (\text{I.24})$$

Avec :

$V_{cos}$  : la somme des tensions en circuit ouvert de  $N_s$  cellules en série.

$I_{ccs}$  : courant de court-circuit de  $N_s$  cellules en série.

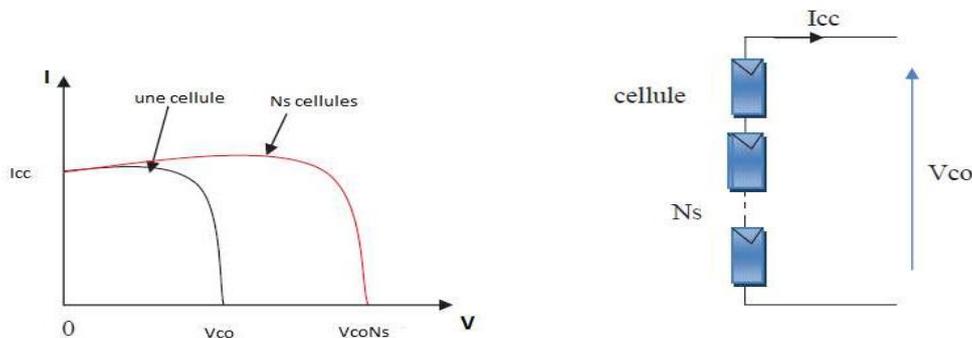


Figure I.13 Associations en série des cellules PV.

### I.8.2 Association en parallèle

En disposant d'un nombre ( $N_p$ ) des cellules en parallèle pour faire augmenter le courant du générateur PV. Les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants[30]. Les caractéristiques électriques d'une association parallèle de ( $N_p$ ) cellules sont résumées par L'équation suivante :

$$I_{ccp} = N_p \times I_{cc} \quad (\text{I.25})$$

$$V_{co} = V_{cop} \quad (\text{I.26})$$

Avec :

$I_{ccp}$  : la somme des courants de court circuit de ( $N_p$ ) cellule en parallèle.

$V_{cop}$  : la tension du circuit ouvert de ( $N_p$ ) cellules en parallèle.

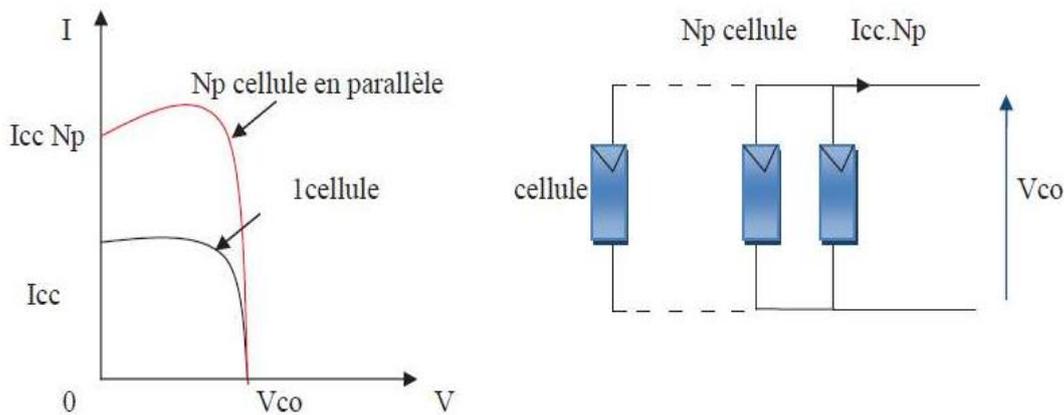


Figure I.14 Associations en parallèle des cellules PV.

### I.8.3 Association en série/parallèle (mixtes)

La connexion en série de plusieurs cellules forme une branche de cellules où on a une augmentation de tension pour même courant, un assemblage de plusieurs branches de cellules en parallèle forme un module où on a un accroissement du courant et une conservation de tension[30].

## I.9 Différent type de système photovoltaïque

### I.9.1 Les systèmes autonomes

Un système est dit «autonome», lorsqu'il ne dépend que d'une seule source d'énergie, comme le cas du système photovoltaïque autonome qui est sous l'énergie solaire uniquement. Il est utilisé fréquemment dans les endroits isolées, par exemple dans des chalets où leurs raccordement au réseau de distribution est très loin. L'énergie solaire n'est disponible que le

jour, et dans le but d'adapter la production à la demande, ce système nécessite des éléments de stockages, donc des accumulateurs [22].

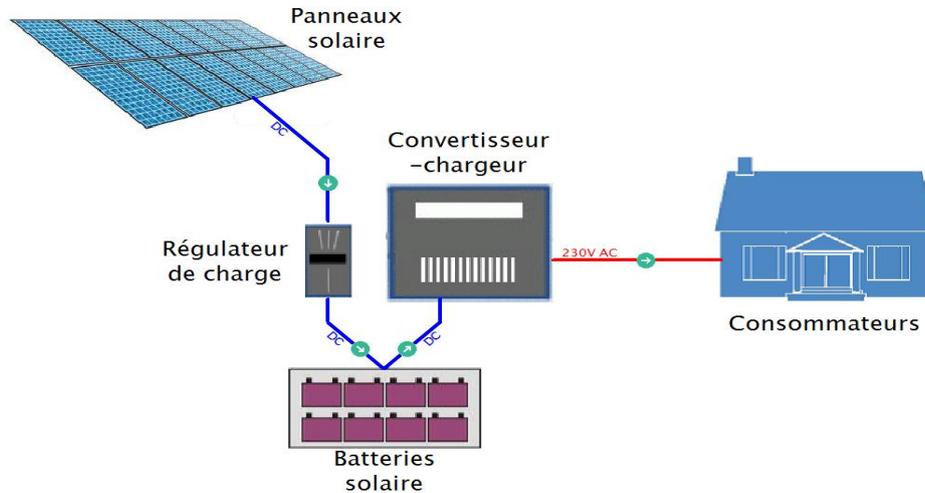


Figure I.15 Système photovoltaïque autonome.

## I.9.2 Les systèmes hybrides

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles facilement mobilisables. Il consiste en l'association de deux ou plusieurs technologies complémentaires de manière à accroître la fourniture d'énergie par une meilleure disponibilité. Les sources d'énergie comme le soleil et le vent ne délivrent pas une puissance constante, et leur combinaison peut permettre de parvenir à une production électrique plus continue. Dans bien de régions, les journées ensoleillées sont en général caractérisées par une activité éolienne faible alors que les vents forts sont observés plutôt lors de journées nuageuses ou la nuit [31].

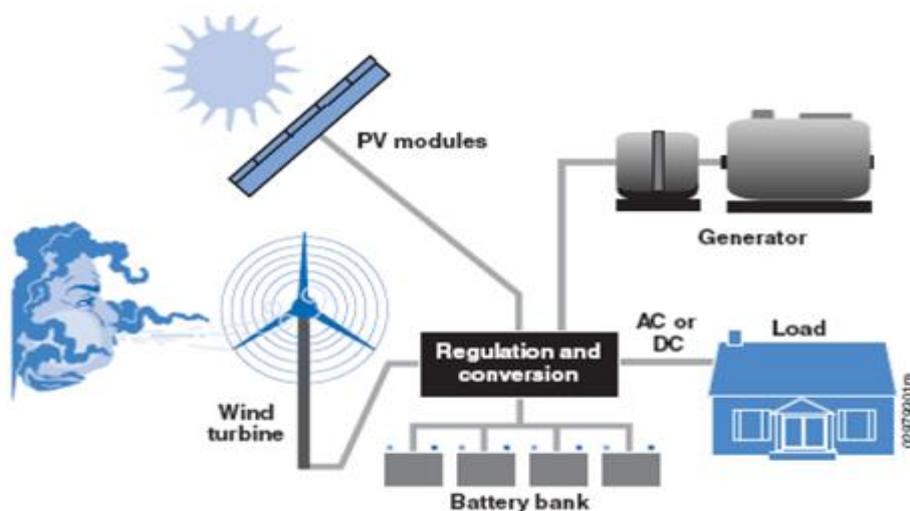


Figure I.16 Système photovoltaïque hybride.

### I.9.3 Système raccordé au réseau

Dans ce cas de système, on parle plus de stockage d'énergie, donc elle est injectée totalement dans le réseau électrique. Qui dit pas de stockage d'énergie, dit absence de batteries d'accumulateurs ce qui diminue le coût d'installation, donc réduire la complexité du fonctionnement, et c'est pour quoi en terme d'investissement et de fonctionnement est le plus avantageux. Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau, généralement sur les habitations ou les entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement[22].

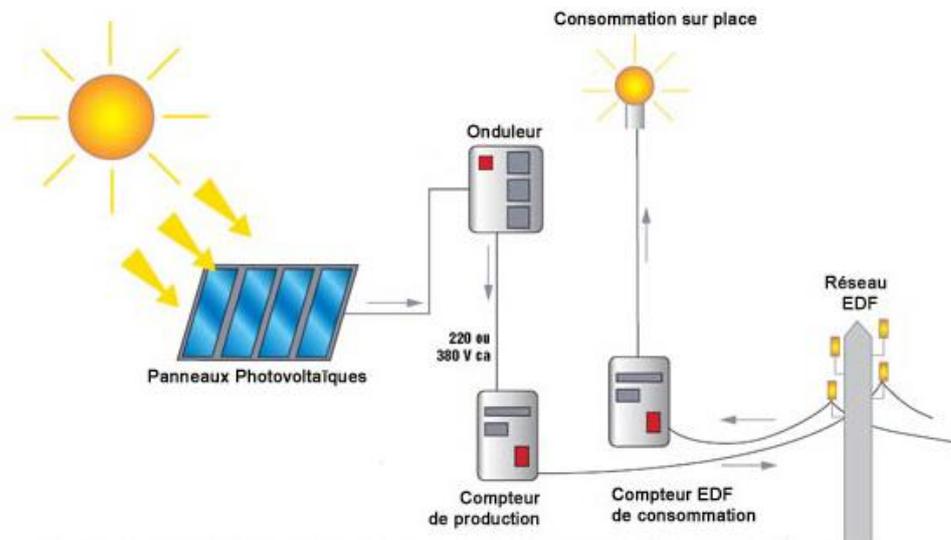
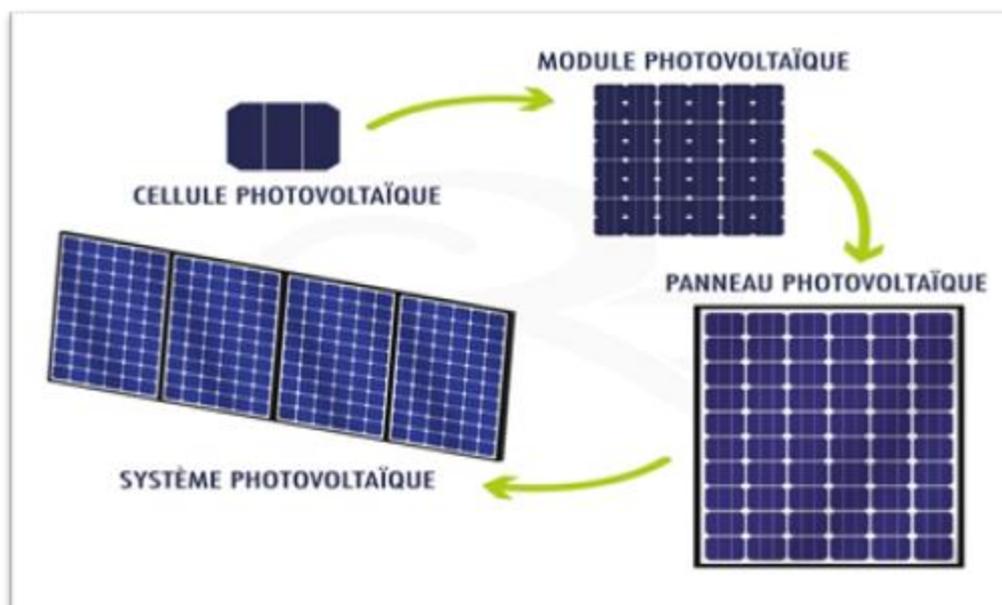


Figure I.17 Système photovoltaïque raccordé au réseau.

### I.10 Module photovoltaïque

La puissance fournie par la cellule est faible, elle n'est pas suffisante dans la pratique, donc il faut les regrouper soit en série. Si l'application demande une tension importante ou en parallèle pour un courant plus élevé, ou en série et parallèle pour augmenter à la fois la tension et le courant du système en cas d'un besoin élevé de la puissance, l'opération d'assemblage des photopiles nous donne un module photovoltaïque, et l'assemblage des modules résulte un panneau photovoltaïque et enfin l'association des panneaux nous donne un champ photovoltaïque[32].



**Figure I.18** Composants d'un champ de modules PV.

## **I.11 Système de stockage (batteries)**

### **I.11.1 Définition**

Une batterie ou un accumulateur électrochimique est un système permettant de convertir de l'énergie électrique en une énergie potentielle chimique durant la phase de charge et de convertir l'énergie potentielle chimique en énergie électrique lors de la décharge[33].

### **I.11.2 Les types de batteries**

#### **a. Batteries au plomb-acide**

La batterie au plomb acide est la plus ancienne et les plus couramment utilisées pour le stockage de l'énergie solaire. Ce sont des batteries à électrolyte liquide, qui se composent de deux électrodes, positive, baignant dans l'acide sulfurique dilué. Une batterie au plomb est composée de plusieurs éléments d'accumulateurs montés en série[32].

#### **b. Batterie au Nickel-cadmium**

La batterie au nickel-cadmium a été utilisée pendant de nombreuses années, mais elles sont progressivement remplacées par des technologies plus avancées en raison de leurs inconvénients environnementaux liés au cadmium, un métal toxique.

#### **c. Batterie au Lithium-ion**

Une batterie au lithium-ion est de plus en plus populaire pour le stockage de l'énergie solaire en raison de leur haute densité énergétique, de leur longue durée de vie et de leur faible taux d'autodécharge. Généralement, elle est utilisée dans les applications à basse puissance (l'ordinateur portable, tablettes, les téléphones portables)[22, 34].

#### d. Batteries au sodium-ion

Les batteries au sodium-ion sont une alternative prometteuse aux batteries au lithium-ion. Elles utilisent du sodium comme matériau actif au lieu du lithium, ce qui les rend potentiellement moins coûteuses et plus abondantes. Cependant, leur développement est encore en cours et elles ne sont pas encore largement disponibles sur le marché.

**Tableau I.3.** Les caractéristiques de type des batteries.

Type de batterie	Tension nominale	Duré de vie	Coût	Rendement
Batteries au plomb-acide	2V par cellule	5 à 7 ans	Abordable	80%
Batterie au Nickel-cadmium	1.2V par cellule	12 à 15 ans	Modéré	70-90%
Batterie au Lithium-ion	3.6V par cellule	8 ans	Modéré à élevé	90-95%
Batteries au sodium-ion	3.6V par cellule	15 ans	Moyen	97%

### I.11.3 Les caractéristiques des batteries

#### a. La capacité

Est une quantité d'électricité, exprimée en Ah, pour un régime donné. Elle correspond au total des Ah disponibles lorsque la batterie est déchargée à un certain régime(ou à un certain courant) à partir de 100% d'état de charge jusqu'à la tension limite de fin de décharge. La capacité est généralement calculée en multipliant le courant de décharge par le temps de décharge.

#### b. Tension de la batterie

Tension électrique entre les bornes d'un élément ou d'une batterie pendant la décharge[35].

**c. Tension en circuit ouvert**

Tension électrique aux bornes d'un élément ou d'une batterie quand le courant de décharge est nul[35].

**d. Profondeur de décharge**

La quantité de charge, en pourcentage de la capacité initiale, qui peut être retirée d'une batterie sans réduire sa durée de vie[35].

**e. Etat de charge**

(Ou SOC pour « State of Charge » en anglais) est la quantité de charge, en pourcentage de la capacité initiale, qui reste accumulée dans la batterie[36].

**f. Etat de santé**

(Ou SOH pour « State of Health » en anglais) est facteur entre la capacité de charge actuelle d'une batterie par rapport à sa capacité initiale de charge. On reconnaît qu'une batterie a atteint sa durée de vie lorsque ce rapport est plus faible que 80%[35].

**g. Durée de vie**

Durée totale de la vie active d'un élément ou d'une batterie en fonctionnement[35].

**h. Température**

Température de l'électrolyte causant la réaction chimique[35].

**i. Vie de tablette**

Période de temps entre la fin de la fabrication et la mise en service[36].

**I.11.4 Charge et décharge**

Le courant de charge est le courant électrique fourni à la batterie et stocké par elle. Comme un réservoir, qui se remplit plus ou moins vite selon le débit du tuyau qui l'alimente, une batterie se charge plus ou moins vite selon le débit du courant qui la charge. Lorsqu'une charge connectée consomme de l'énergie stockée dans la batterie, celle-ci se décharge. L'intensité du courant de décharge correspond au débit de la batterie. On obtient la quantité d'énergie consommée sur une durée donnée en multipliant l'intensité du courant de décharge par la durée de fonctionnement de la charge[21].

## I.12 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque présente plusieurs avantages et inconvénients :

**Tableau I.4.** Les avantages et les inconvénients de l'énergie PV

Avantages	Inconvénients
Énergie renouvelable : Le soleil est une source d'énergie inépuisable.	Coût initial élevé : L'installation de panneaux solaires peut être coûteuse.
La durée de vie des panneaux photovoltaïques est très longue (une durée de 25 ans).	Difficulté à recycler les composants du système.
Flexibilité d'installation : Les panneaux solaires peuvent être installés sur différents types de bâtiments et de terrains.	La puissance est réduite lorsque les conditions climatiques sont défavorables (nuages).
Création d'emplois : L'industrie photovoltaïque crée des emplois dans la conception, l'installation et la maintenance des systèmes solaires.	Impact environnemental de la fabrication des panneaux : La production de panneaux solaires peut entraîner une certaine pollution et consommer des ressources naturelles.
Absence de pollution.	Faible rendement de conversion.
Les systèmes photovoltaïques sont fiables.	Le rendement électrique diminue avec le temps (20 % de moins au bout de 20 ans).

## I.13 Conclusion

Dans ce chapitre, Nous avons présenté les différentes sortes d'énergies renouvelables d'une manière générale puis nous avons concentrée en particulier sur l'énergie photovoltaïque en présentant des généralités, principe de sa conversion énergie électrique par cellule photovoltaïque ainsi que les différentes configurations des systèmes photovoltaïques.

## **Chapitre II**

# **Dimensionnement d'un système photovoltaïque associé à la batterie accumulateur**

## II.1 Introduction

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque consiste à déterminer la taille et les composants nécessaires pour répondre aux besoins en électricité d'un utilisateur. Dans ce chapitre, nous présentons les principales étapes à suivre pour dimensionner un système PV, en commençant par la présentation du site, l'estimation des besoins journalières à savoir le gisement d'énergie solaire du lieu concerné, faire le choix des composants du système, tels que les panneaux solaires, les onduleurs, les batteries de stockage, les régulateurs, en fonction des besoins en énergie, de la disponibilité solaire et d'autres contraintes spécifiques.

## II.2 Topologie de système photovoltaïque sélectionné

Système autonome (stand-alone) : C'est une topologie utilisée pour les installations isolées du réseau électrique. Dans ce système, les panneaux solaires sont connectés à un régulateur de charge qui contrôle la charge des batteries. Les batteries stockent l'énergie produite par les panneaux solaires, et un onduleur convertit ensuite l'énergie stockée en courant alternatif pour alimenter les charges électriques. Un système photovoltaïque autonome peut être dimensionné en fonction des besoins énergétiques spécifiques de l'utilisateur. Il peut être utilisé pour alimenter des appareils électriques tels que des lampes, des réfrigérateurs, des pompes à eau, des systèmes de communication, etc. L'autonomie du système dépend de la capacité des batteries à stocker l'énergie et de l'efficacité des panneaux solaires à la convertir.

## II.3 Les étapes de dimensionnement d'un système photovoltaïque

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque (PV) consiste à déterminer la taille et la configuration appropriées du système en fonction des besoins énergétiques d'un site spécifique. Voici les paramètres à prendre en compte pour concevoir et dimensionner un système photovoltaïque :

- Le lieu où sera placé le générateur PV.
- Le système PV (modules, régulateur, convertisseur et batteries).
- La charge (Consommation électrique).

Les étapes de dimensionnement d'un système PV sont suivies comme suit :

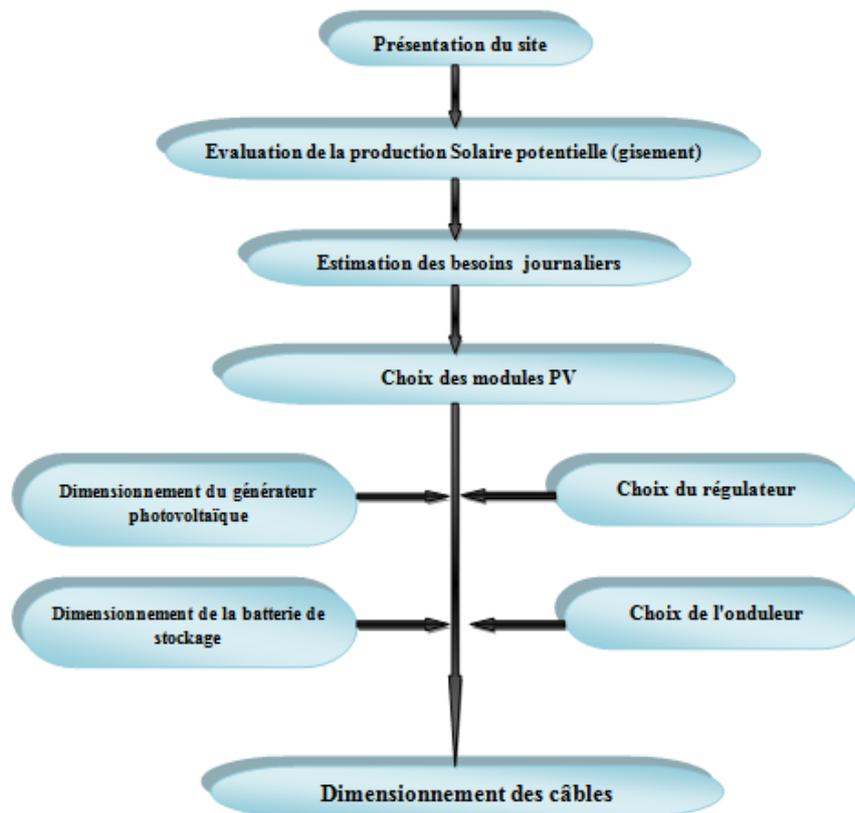


Figure II.1 Diagramme simplifié du dimensionnement d'un système photovoltaïque[37].

### II.3.1 Etape 01 : Présentation du site

Dans cette étape nous devons découvrir : Caractéristiques géographiques et climatiques :

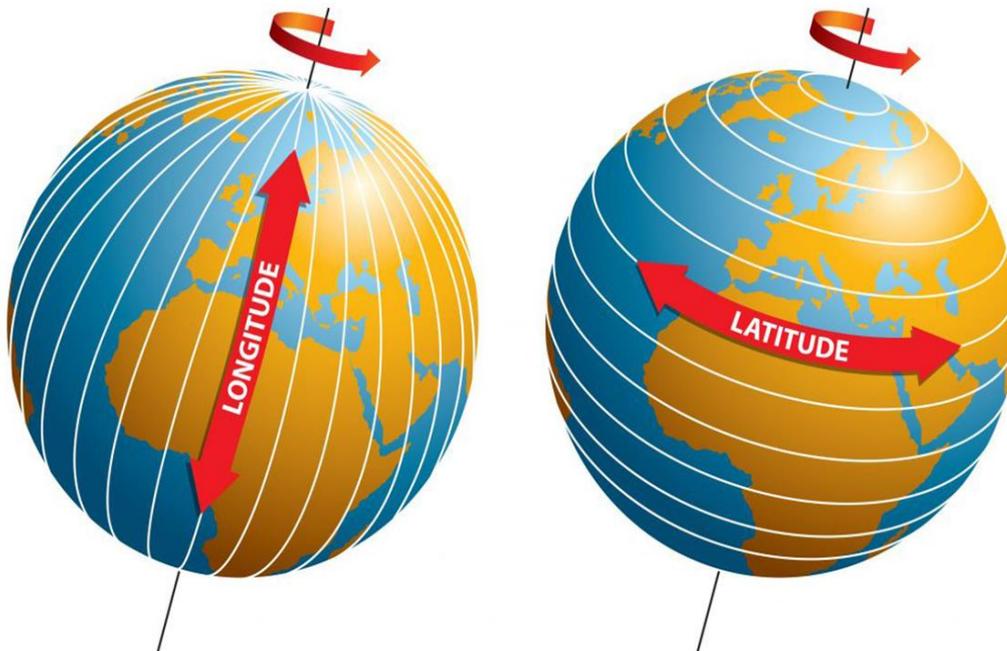
#### II.3.1.1 La latitude

La latitude ( $\varphi$ ) représente l'angle fait par la verticale du lieu (site) avec le plan équatorial. Elle permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque par rapport à l'équateur. Ainsi si le site est situé dans l'hémisphère nord la valeur  $\varphi > 0$ , et lorsque le site est dans l'hémisphère sud  $\varphi < 0$ . (Elle varie de  $0^\circ$  à  $+90^\circ$  vers le Nord et de  $0^\circ$  à  $-90^\circ$  vers le Sud)[10].

#### II.3.1.2 La longitude

La valeur (L) représente l'angle ( $\lambda$ ) formé entre la méridienne origine et le méridien du site considéré. La longitude (L) est comprise entre -180 (vers l'ouest) et +180 (vers l'est), et puisque la terre met 24 heures pour faire un tour sur elle-même ( $360^\circ$ ) on déduit que

chaque heure représente  $15^\circ$  d'écart de longitude. Ce dernier passe par l'observatoire de Greenwich et a pour longitude  $0^\circ$ [10].



**Figure II.2** Synoptique de l'altitude et la longitude [38].

### II.3.1.3 L'Altitude

Elle exprime un écart entre un point donné et un niveau moyen, le plus souvent le niveau de la mer (ou niveau 0). Les sommets sont associés à une altitude, calculée par divers moyens indirects (géodésie, triangulation)[10].

## II.3.2 Etape 02 : Evaluation de la production Solaire potentielle (gisement)

### II.3.2.1 Ensoleillement

L'ensoleillement est une mesure de la quantité de lumière solaire qui atteint un endroit spécifique pendant une période donnée. Les données de l'ensoleillement (exprimé en  $\text{KWh}/\text{m}^2/\text{j}$ ) peuvent être relevées sur le site ou enregistrées sur la carte de l'ensoleillement de la région ou encore obtenues au niveau de la station météo la plus proche de la zone. Pour avoir une autonomie complète et éviter une variation saisonnière de la consommation, il faut prendre comme référence l'ensoleillement du mois ensoleillé[37].

### II.3.2.2 Fixation des panneaux

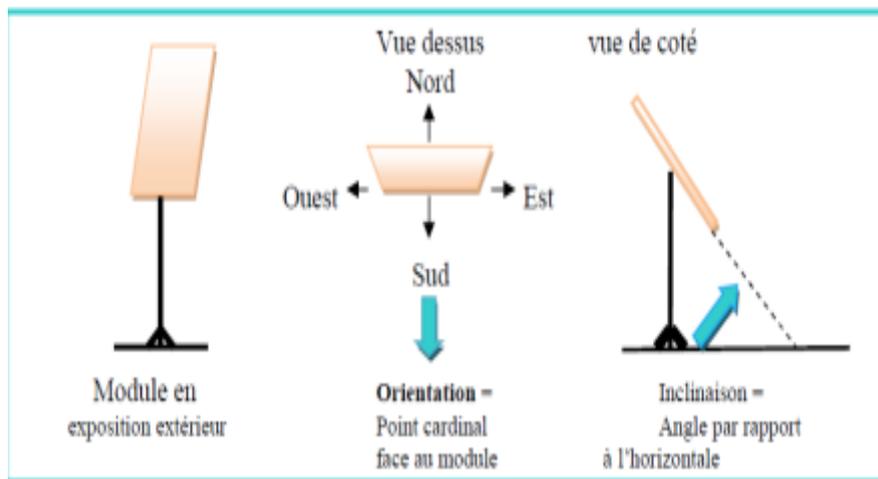
La fixation des panneaux doit assurer correctement les fonctions suivantes :

- Maintien de l'orientation.

- Résistance contre le vent et les autres intempéries.
- Résistance contre les agressions mécaniques.
- Protection contre les salissures, et agressions venant du sol.
- Ventilation des panneaux afin de limiter leur échauffement[39].

### II.3.2.3 Orientation et inclinaison des panneaux solaires

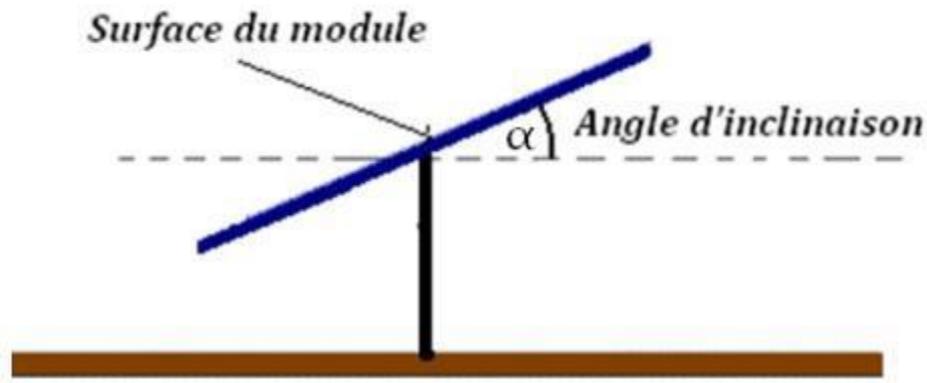
Dans le cadre d'un projet d'installation de panneaux solaires, le choix de leur emplacement est une décision très importante. Les deux critères essentiels à considérer sont l'orientation et l'inclinaison des modules. Orientation: les panneaux solaires devraient idéalement faire face au sud (dans l'hémisphère nord) ou au nord (dans l'hémisphère sud) pour recevoir le maximum d'ensoleillement tout au long de la journée. Cependant, une orientation est-ouest peut également être acceptable, bien que cela réduise légèrement l'efficacité de la production. L'Algérie est située dans l'hémisphère Nord, alors la meilleure orientation est au sud[40].



**Figure II.3** L'orientation idéale d'un module photovoltaïque.

Inclinaison : L'inclinaison optimale des panneaux solaires dépend de la latitude de l'endroit où ils sont installés.

Pour que les modules produisent un maximum d'énergie, il faut que les surfaces soient perpendiculaires aux rayons solaires, or le soleil d'une saison à l'autre n'a pas la même inclinaison, selon les saisons, à midi, il est plus au moins plus haut dans le ciel. On doit donc d'incliner les modules pour qu'ils soient face au soleil. Rappelons que la latitude de notre site est de ;  $33.06^\circ$  Nord et  $06.03^\circ$  Sud. L'inclinaison des panneaux est alors de  $a=34^\circ$ [40].



**Figure II.4** Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques.

**Tableau II.1** Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle.

Latitude $\varphi$ (°)	Inclinaison $\beta$ (°)
$\varphi < 10^\circ$	$10^\circ$
$10^\circ < \varphi < 30^\circ$	$\Phi$
$30^\circ < \varphi < 40^\circ$	$\varphi + 10^\circ$
$\varphi > 40^\circ$	$\varphi + 15^\circ$

### II.3.3 Etape 03 : Estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité

L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité fait référence à l'évaluation de la quantité d'électricité requise par un individu ou un foyer sur une base quotidienne. Cette estimation est importante pour comprendre et planifier la consommation d'électricité, ainsi que pour choisir la taille appropriée d'un compteur électrique ou d'une installation électrique.

Pour effectuer cette estimation, plusieurs facteurs doivent être pris en compte, tels que:

- ✓ Appareils électriques.
- ✓ Durée d'utilisation.
- ✓ Saisonnalité.

Calculer les besoins électriques consiste à calculer l'énergie électrique journalière consommée par les usagers. Ainsi, les besoins électriques s'exprimeront en Wh/jour (ou kWh/jour). On utilise la formule suivante :

$$E_i = P_i \times t_i \implies E_c = \sum E_i \quad (\text{II.1})$$

Avec :

$E_c$  : L'énergie consommée totale.

$E_i$  : L'énergie journalière consommée d'un équipement en (Wh/J).

$P_i$  : La puissance de cet équipement en (W).

$t_i$  : La durée d'utilisation de cet appareil dans une journée (J).

### II.3.4 Etape 04 : Dimensionnement du générateur photovoltaïque

Cette étape consiste à déterminer le nombre de modules photovoltaïque nécessaires pour répondre à ces besoins en électricité. Pour cela, Il faut dimensionner les modules solaires par les étapes suivantes :

#### II.3.4.1 Calcul de la puissance crête du champ photovoltaïque

$$P_c = \frac{E_c}{I_r \times K} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

$P_c$  : La puissance crête de générateur photovoltaïque (WC).

$E_c$  : L'énergie journalière consommée (Wh).

$I_r$  : Irradiation ( $\text{kW}/\text{m}^2/\text{j}$ ).

$K$  : Coefficient correcteur ou le rendement du système photovoltaïque  $K$  [0.55-0.75] dans notre étude nous fixons la valeur de  $k$  à 0,65.

#### II.3.4.2 Calcul le nombre des modules (total, séries et parallèles)

Le nombre de module pour fournir la puissance de l'installation est déterminé par les équations suivantes :

##### a. Le nombre de module total

$$N_{pt} = \frac{P_c}{P_p} \quad (\text{II.3})$$

Avec :

$N_{pt}$  : Le nombre total des modules.

P<sub>c</sub> : La puissance crête.

P<sub>p</sub> : La puissance d'un panneau choisi.

**b. Le nombre de panneaux en série**

$$N_{ps} = \frac{V_{sys}}{V_{opt}} \tag{II.4}$$

Avec :

N<sub>ps</sub> : Le nombre du module série.

V<sub>sys</sub> : La tension de système.

V<sub>opt</sub> : La tension d'un panneau choisi optimale.

**c. Le nombre de panneaux parallèles**

$$N_{pp} = \frac{N_{pt}}{N_{ps}} \tag{II.5}$$

**II.3.5 Etape 05 : Dimensionnement de la batterie de stockage**

Le choix de la tension nominale d'un système dépend de la disponibilité de matériels (modules et récepteurs), aussi, il dépend des niveaux de puissance et d'énergie nécessaire selon le type d'application[37], Le tableau III.4 nous donne la tension adaptée pour les différentes puissances du champ PV :

**Tableau III.2** Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête

Puissance crête	Tension du système
P <sub>c</sub> <500W <sub>c</sub>	12V
500<P <sub>c</sub> <2000W <sub>c</sub>	24V
2000<P <sub>c</sub> <10000W <sub>c</sub>	48V
P <sub>c</sub> >10000 W <sub>c</sub>	>48V

**II.3.5.1 Calcul la capacité de stockage de la batterie**

Le calcul de la capacité de batterie, est donné par la formule suivante [41] :

$$C_t = \frac{E_c \times N_{ja}}{V_{sys} \times DOD} \quad (\text{II.6})$$

Avec :

$C_t$  : Capacité totale des batteries en (Ah).

$E_c$  : L'énergie journalière consommée (Wh).

$N_{ja}$  : Nombre de jour d'autonomie.

$V_{sys}$  : La tension de système (v).

DOD : Décharge maximale de la batterie (%).

### II.3.5.2 Calcul le nombre de batterie (totale, série et parallèle)

#### a. Calcul Le nombre des batteries totale

$$N_{bt} = \frac{U_{sys}}{U_{bat}} \times \frac{C_t}{C_{bat}} \quad (\text{II.7})$$

Avec :

$N_{bt}$  : Le nombre des batteries total.

$U_{sys}$  : La tension du système PV en (V).

$U_{bat}$  : La tension de la batterie en (V).

$C_t$  : La capacité de stockage du système en (Ah).

$C_{bat}$  : La capacité d'une batterie en (Ah).

#### b. Le nombre des Batteries en série

$$N_{bs} = \frac{U_{sys}}{U_{bat}} \quad (\text{II.8})$$

$N_{bs}$  : Le nombre des batteries en séries.

#### c. Le nombre des Batteries en Parallèles

$$N_{bp} = \frac{N_{bt}}{N_{bs}} \quad (\text{II.9})$$

$N_{bp}$  : Le nombre des batteries en Parallèles.

### II.3.6 Etape 06 : Choix du régulateur et l'onduleur

#### II.3.6.1 Choix du régulateur

Le régulateur dispositif est composé d'un système électronique automatisé qui constitue la liaison entre les panneaux, les batteries et la charge. Il est dimensionné d'après les paramètres suivants : tension, courant d'entrée et courant de sortie [32].

**a. Tension nominale :**

Elle doit être celle du champ photovoltaïque.

**b. Courant d'entrée  $I_e$  :**

C'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de débiter. Il doit être supporté sans problème par le régulateur. Pour estimer ce courant, le plus sûr est de prendre 1,5 fois le courant maximal[41].

**c. Courant de sortie  $I_s$  :**

L'intensité du courant de sortie du régulateur doit être supérieure à la valeur maximale que peuvent tirer les récepteurs simultanément[41]. Elle peut être déterminée par la formule suivante :

$$I_{max} = \frac{P_{ch}}{U} \quad (\text{II.10})$$

$$P_{ch} = P_c \times N_p \times N_s \quad (\text{II.11})$$

$P_{ch}$  : La puissance crête du champ photovoltaïque.

$P_c$  : La puissance crête du PV.

$N_p$  : Nombre du PV en parallèle.

$N_s$  : Nombre de PV en série.

### II.3.6.2 Choix de l'onduleur

Un onduleur est un appareil électronique qui permet de convertir le courant continu en courant alternatif avec fréquence sélectionnée avec précision. Le signal généré est une onde Carrée, sinusoïdal (parfait)[41].

Pour une installation autonome, l'onduleur est dimensionné en fonction des caractéristiques des modules, des batteries et des récepteurs fonctionnant uniquement en courant alternatif. Les paramètres de dimensionnement sont :

**a. La tension d'entrée**

C'est la tension CC délivrée par le générateur photovoltaïque ou par le système de stockage.

**b. La tension de sortie**

La forme de l'onde est soit sinusoïdale, soit carrée, soit encore pseudo sinusoïdale selon la nature des appareils que les récepteurs devront faire fonctionner. Le choix de la technologie dépend donc des caractéristiques du ou des récepteurs. En Algérie nous utilisons du 220/380 VAC, 50Hz[37].

**c. La puissance nominale**

Puissance nominale de l'onduleur (KW), définie d'après les besoins exprimés. Elle tient compte du nombre d'équipements et de leurs puissances[37].

**II.3.7 Etape 07 : Dimensionnement des câbles**

On veut déterminer la section des câbles entraînant le moins de chute de tension possible donc on utilise la loi de chute de tension suivant [37] :

$$\Delta U = R \times I = e \times U \tag{II.12}$$

$$R = \frac{\Delta U}{I} = \rho \frac{L}{S} \tag{II.13}$$

Avec :

$\Delta U$  : la chute de tension (V).

R : résistance de câble ( $\Omega$ ).

I : le courant passant sur le câble (A).

e : la chute de tension maximale [3% - 5%]

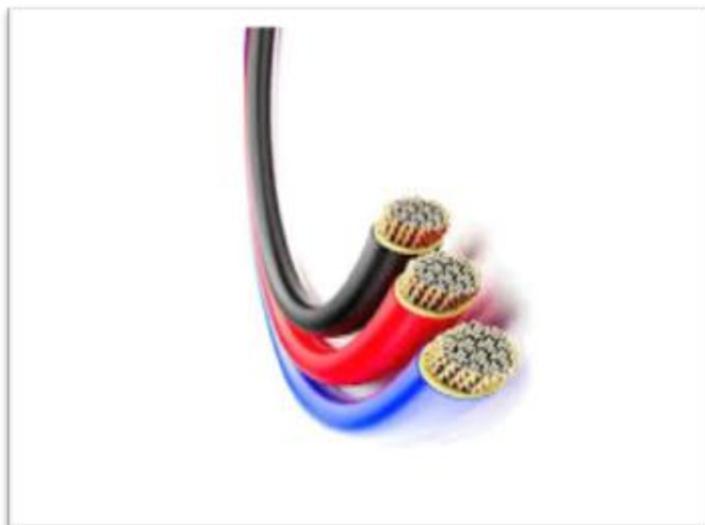
Donc :

$$S = \rho \frac{L \times I}{\Delta U} \tag{II.14}$$

$\rho$  : La résistivité (cuivre) :  $\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega.m$ .

L : La longueur des câbles.

S : Section de câble.



**Figure II.5** Câble solaire.

### **II.3.8 Etape 08: Dispositifs de protection électrique**

Les dispositifs de sécurité d'une installation photovoltaïque autonome visent à garantir la sécurité des personnes, à protéger les équipements et à prévenir les risques liés au fonctionnement de l'installation. Voici quelques dispositifs de sécurité couramment utilisés :

#### **a. Disjoncteur de circuit**

Un disjoncteur de circuit est installé pour protéger l'installation contre les surcharges électriques et les courants-circuits. Il interrompt automatiquement le courant électrique en cas de dépassement des limites de sécurité [40].



**Figure II.6** Disjoncteur.

#### **b. Interrupteur sectionneur**

Un interrupteur sectionneur est utilisé pour isoler l'installation photovoltaïque du réseau électrique ou pour déconnecter l'alimentation de l'installation en cas d'urgence. Il permet de couper complètement l'alimentation électrique.



**Figure II.7** Interrupteur sectionneur.

### c. Parafoudre

Un parafoudre est un dispositif de protection contre les surtensions transitoires causées par la foudre ou d'autres sources. Il détourne les surtensions vers la terre pour éviter d'endommager les équipements électriques [40].



**Figure II.8** Parafoudre.

### d. Fusible

Le fusible est un organe de sécurité dont le rôle est d'ouvrir un circuit électrique lorsque le courant électrique dans celui-ci atteint une valeur d'intensité donnée pendant un certain temps. Ils sont utilisés pour protéger les câbles et les composants de l'installation contre les surcharges [42].

### e. Mise à la terre

Une installation photovoltaïque doit être correctement mise à la terre pour assurer la sécurité des personnes et des équipements. Un dispositif de mise à la terre assure la dissipation des courants de fuite et prévient les risques d'électrocution.

## II.4 Application numérique de dimensionnement d'un système photovoltaïque

### II.4.1 Présentation de site

Notre étude a été réalisée dans la wilaya d'Ouargla qui est située dans le Nord-est du Sahara algérien, plus précisément dans la partie septentrionale du Sahara algérienne, elle est limitée :

- ❖ Au Nord par la wilaya de Djelfa et la wilaya d'El-Oued.
- ❖ Au Sud par la wilaya de Tamanrasset et la wilaya d'Ilizi.
- ❖ A l'Est par la frontière tunisienne.
- ❖ A l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa.

À environ 800 km au sud de la capitale Alger. La ville de Ouargla se caractérise par :

- ❖ Altitude : 141 m.
- ❖ Latitude : 31 N.
- ❖ Longitude : 5°24E.



Figure II.9 Situation géographique de la région d'étude.

### II.4.2 Evaluation de la production Solaire potentielle (gisement)

Les données d'ensoleillement pour la région de OUARGLA sont généralement disponibles mois par mois dans les atlas solaires ou à l'aide des programmes (PVsyst) et correspondent à l'irradiation globale quotidienne moyenne sur un plan horizontal. Les unités sont exprimées soit en  $cal/cm^2$  ou  $kWh/m^2$ , sachant que les valeurs de l'ensoleillement sont évidemment fonction de la latitude mais aussi des conditions climatiques locales et des masques naturels ou artificiels.

A l'aide de programme PVsyst, nous avons obtenu les valeurs de l'irradiation journalière moyenne mensuelle.

**Tableau II.3** Valeurs de l'irradiation journalière moyenne mensuelle.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
<b>Irradiation Global (KWh/m<sup>2</sup>.j)</b>	3.31	4.05	5.00	6.20	6.64	7.11	7.29	6.42	5.46	4.47	3.71	3.04	5.23
<b>Irradiation Diffuse (KWh/m<sup>2</sup>.j)</b>	1.11	1.67	2.18	2.64	3.17	3.25	2.99	2.98	2.48	1.95	1.13	1.12	2.23
<b>Température (°C)</b>	10.8	13.2	18.8	23.3	28.6	33.1	37.0	35.8	30.7	24.8	16.6	11.9	23.7

### II.4.3 Description de l'habitation étudiée

L'habitation choisie pour faire l'objet de notre étude est une Maison sise dans la Wilaya d'Ouargla. Nous avons proposé l'estimation de la consommation électrique journalière estivale pour les différentes charges de cette maison par rapport leurs durées de fonctionnement, puissances et énergies consommées le tableau II.4 :

**Tableau II.4** Estimation des besoins électriques journaliers de la maison.

Equipement	Nombre	Consommation (W)	Durée d'utilisation (h/jour)	Besoin énergétique (Wh/jour)
Lustre	1	45	4	180
Télévision	2	60	5	600
Climatiseur	1	1000	10	10000
Chargeur téléphone	2	5	1	10
Lampe	8	10	8	640
PC portable	2	45	3	270

Modem	1	12	24	288
Machine à laver	1	475	2	950
Réfrigérateur	1	200	24	4800
Cuisinière	1	200	5	1000
Microonde	1	600	1	600
Pompe d'eau	1	370	1	370
				19708

#### II.4.4 Dimensionnement du générateur photovoltaïque

##### II.4.4.1 Calcul de la puissance crête

$$P_c = \frac{E_c}{I_r \times K} = \frac{19708}{6.94 * 0.65} = 4368.87 \text{ W}$$

##### II.4.4.2 Calcul le nombre des modules (total et série, parallèle)

Le module choisi pour notre étude est un module de type d'une puissance optimale de  $P_c = 325W_c$ .

**Tableau II.5** Caractéristique du panneau photovoltaïque [43].

Élément	Les valeurs
Type Cellule	Mono cristallin
Puissance Maximal ( $P_{max}$ )	325W <sub>p</sub>
Tension à Puissance Maximal ( $V_{mp}$ )	33.6 V
Courant à Puissance Maximum ( $I_{mp}$ )	9.68 A
Tension Circuit Ouvert ( $V_{oc}$ )	41.1 V
Courant Circuit Court ( $I_{sc}$ )	10.2A
Fusible série maximale nominale	20A
Tolérance de Puissance (+)	+ 3 %
Tolérance de Puissance (-)	- 3 %
Gamme de Température	40-85 °C
Dimension Module	1665x1002 x 35 mm
Poids	19 kg
Taille Cellule	158.75×158.75 mm
Epaisseur du Verre	3,2 mm

La tension fourni par le champ :  $V_{cPV}=168$  V

a. Le nombre de module total

$$N_{pt} = \frac{P_c}{P_p} = \frac{4368.87}{325} = 13.44 \approx 14$$

b. Le nombre de panneaux en série

$$N_{ps} = \frac{V_{cPV}}{V_{opt}} = \frac{168}{33.6} = 5 \text{ Donc : } N_{ps} = 5 \text{ (Nombre de panneaux en série)}$$

c. Le nombre de panneaux parallèles

$$N_{pp} = \frac{N_{pt}}{N_{ps}} = \frac{14}{5} = 2.8 \text{ Donc : } N_{pp} = 3 \text{ (Nombre de panneaux en parallèle)}$$

Donc le nombre de panneaux total est :  $N_{pt} = 5 \times 3 = 15$

## II.4.5 Dimensionnement de la batterie de stockage

$$P_c = 4368.87 \text{ W}$$

$$V_{sys} = 48 \text{ V} (P_c > 2000)$$

### II.4.5.1 Calcul de la capacité de stockage

$$C_t = \frac{E_c \times N_{ja}}{V_{sys} \times DOD} = \frac{19078 \times 1}{48 \times 0.8} = 513.22 \text{ Ah}$$

Avec :  $E_c = 19078 \text{ Wh}$  ;  $N_{ja} = 1$  jour ;  $U = 48 \text{ v}$  ;  $D = 0.8$

On choisit une batterie solaire de caractéristique :  $U_{bat} = 12 \text{ V}$   $C_{bat} = 130 \text{ Ah}$ .

### II.4.5.2 Calcul le nombre de batterie (totale et série, parallèle)

a. Calcul Le nombre des batteries totale

$$N_{bt} = \frac{U_{sys}}{U_{bat}} \times \frac{C_t}{C_{bat}} = \frac{48}{12} \times \frac{514}{130} = 15.81 = 16 \text{ (Nombre de batterie totale)}$$

b. Le nombre des Batteries en série

$$N_{bs} = \frac{U_{sys}}{U_{bat}} = \frac{48}{12} = 4 \text{ (Nombre de batterie série)}$$

c. Le nombre des Batteries en Parallèles

$$N_{bp} = \frac{N_{bt}}{N_{bs}} = \frac{16}{4} = 4 \text{ (Nombre de batterie parallèle)}$$

#### II.4.6 Le choix de Régulateur

$$P_{ch} = P_c \times N_p \times N_s = 325 \times 5 \times 3 = 4875 \text{ W}$$

$$I_{max} = \frac{P_{ch}}{U} = \frac{4875}{48} = 101.56 \text{ A}$$

Type de régulateur : 48V/102A

#### II.4.7 Le choix d'onduleur

L'onduleur intelligent triphasé de type Huawei SUN2000-10KTL-M0, avec une puissance nominale de sortie de 10 KW, a été sélectionné pour notre étude.

**Tableau II.6** Fiche technique de l'onduleur [44].

Spécifications techniques	Les valeurs
Tension d'entrée max	1100 V
Tension de démarrage	200 V
Tension nominale d'entrée	600 V
Puissance nominal de sortie	10000 W
Puissance apparente maximale	11000 VA
Fréquence nominale AC	50 HZ / 60 HZ
Courant de sortie maximale	16.9 A
Tension de sortie nominale	220/380 V
Rendement maximal	98.1%
Facteur de puissance réglable	0.8 capacitif / 0.8 inductif
Distorsion totale d'harmonique	≤ 3 %
Poids	17 Kg
Indice de protection	IP 65
Communication	-WLAN-FE; 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G

#### II.4.8. Dimensionnement des câbles :

##### II.4.8.1. Calcul la section du câble :

###### Calcul la section du câble utilisé en courant continu:

L'intensité optimale délivrée par un panneau solaire (tableau II.5), soit :

$$I_{mp} = 9.68 \text{ A}$$

Il vient que pour 3 trois strings connectés en parallèles, l'intensité totale délivrée sera :

$$I_{max} = 9.68 \times 3 = 29.04 \text{ A}$$

La tension des batteries étant de 48V, la chute de tension admise pour les câbles de connexion sera alors :

$$\Delta U = 48 \times 0.03 = 1.44 \text{ V}$$

On Considéré que la longueur du câble solaire à utiliser étant égale à  $L = 15 \text{ m}$  donc :

$$S = \rho \frac{L \times I}{\Delta U} = \frac{15 \times 29.04 \times 1.7 \times 10^{-8}}{1.44} = 5.14 \text{ mm}^2$$

**Calcul la section du câble utilisé en courant alternatif :**

Le courant de sortie maximale délivrée par notre onduleur (Tableau II.6), soit :

$$I_{smax} = 16.9 \text{ A}$$

$$\Delta U = 48 \times 0.03 = 1.44 \text{ V}$$

On Considéré que la longueur du câble solaire à utiliser étant égale à  $L = 20 \text{ m}$  donc

$$S = \rho \frac{L \times I}{\Delta U} = \frac{20 \times 16.9 \times 1.7 \times 10^{-8}}{1.44} = 3.99 \approx 4 \text{ mm}^2$$

Le tableau suivant résume notre résultat de dimensionnement :

**Tableau II.7:** Résultats du dimensionnement de système.

Dimensionnement		Les résultats
Puissance crête à installer (Wc)		4368.87 Wc
Nombre de modules (325 w)	Total	15
	Série	5
	Parallèle	3
Batteries	Capacité totale	514 Ah
	Total	16
	Série	4
	Parallèle	4
Régulateur de charge		48V/102 A
Type de câble	En courant continu	6mm <sup>2</sup>

$(mm^2)$	En courant alternatif	$4 mm^2$
Puissance de l'onduleur (KVA)		10Kva

## II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé le dimensionnement d'une maison située dans la wilaya d'Ouargla, en appliquant les étapes de dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome .De ce fait, nous avons obtenu les résultats nécessaires pour choisir les composants adaptés à notre dimensionnement.

## **Chapitre III**

### **Commande d'un système PV-batterie autonome –étude de cas**

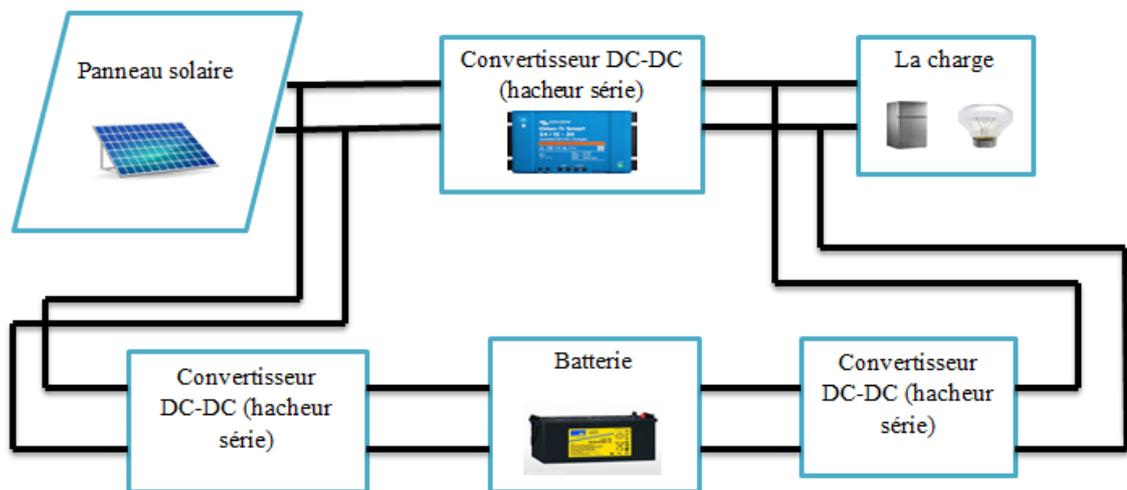
### III.1 Introduction :

La simulation est un outil puissant pour l'évaluation des performances théoriques d'un système. Dans ce chapitre nous allons faire la modélisation des composants de système photovoltaïque autonome et la commande de charge et la décharge de la batterie de stockage.

### III.2 Présentation de système :

La figure III.1 représente le schéma synoptique du système Photovoltaïque étudié composée d'un panneau photovoltaïque, convertisseur DC-DC (hacheur série), batterie, la charge.

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit ciel dégagé ou Couvert).Le convertisseur utilisé pour L'étage d'adaptation entre le panneau photovoltaïque et la batterie et entre la batterie et la charge[1]. En utilisant le logiciel Matlab pour la modélisation et la simulation du ces composants.



**Figure III.1** Schéma synoptique du système PV.

### III.3 Modélisation de générateur photovoltaïque :

Le module photovoltaïque utilisé dans les installations solaires, est constitué de 72 cellules en silicium Mono cristalline. Ce module peut produire une puissance maximale de

175 Watts. Les caractéristiques électriques de ce module photovoltaïque sont données dans le tableau suivant :

**Tableau III.1** les caractéristiques électriques de module photovoltaïque utilisé [45].

Puissance maximale $P_{max}$	175 Wp
Tension à $P_{max}$ $V_{mp}$	36.0 V
Courant à $P_{max}$ $I_{mp}$	4.87A
Courant de court-circuit $I_{sc}$	5.30A
Tension à circuit ouvert $V_{co}$	44.2A
Coefficient de température de $I_{sc}$	0.034% /K
Coefficient de température de $V_{oc}$	-0.34% / K
Coefficient de température de la puissance	-0.48% / K
NOCT	47°C
$N_s$	72
$N_p$	1

Pour simuler le comportement du générateur (PV), nous avons simulé le modèle présenté au chapitre I. Ceci nous a permis de déterminer l'allure des caractéristiques électriques  $I=f(V)$  et  $P=f(V)$  de ce dernier dans les conditions standard du test ( $G=1000W/m^2$  et  $T=25^\circ C$ ).

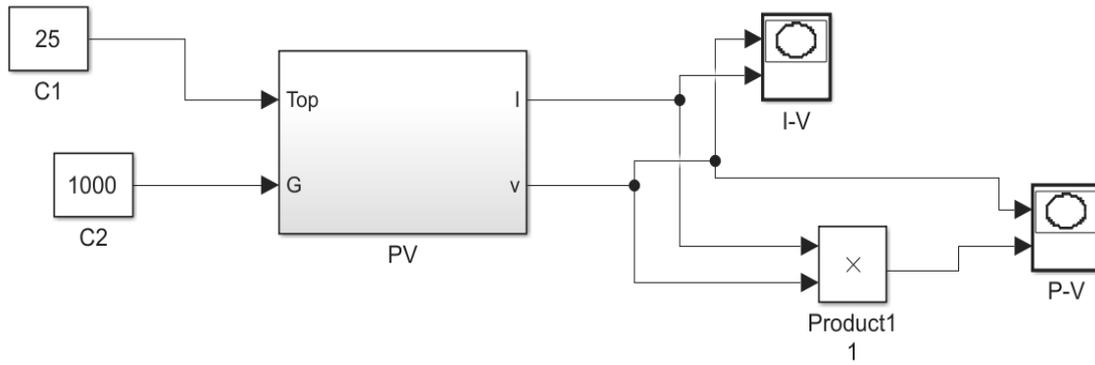


Figure III.2 Schéma bloc du générateur photovoltaïque sous Matlab/Simulink.

### III.4 Etude de la commande de hacheur série :

Un convertisseur Buck, ou hacheur série, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur [46].

La commande d'un hacheur série est une technique utilisée pour réguler la tension ou le courant dans un circuit de hacheur série. Elle permet de réguler avec précision la tension ou le courant de sortie, ce qui est utile dans de nombreux domaines tels que l'électronique de puissance, les convertisseurs de puissance, les alimentations électriques et les variateurs de vitesse

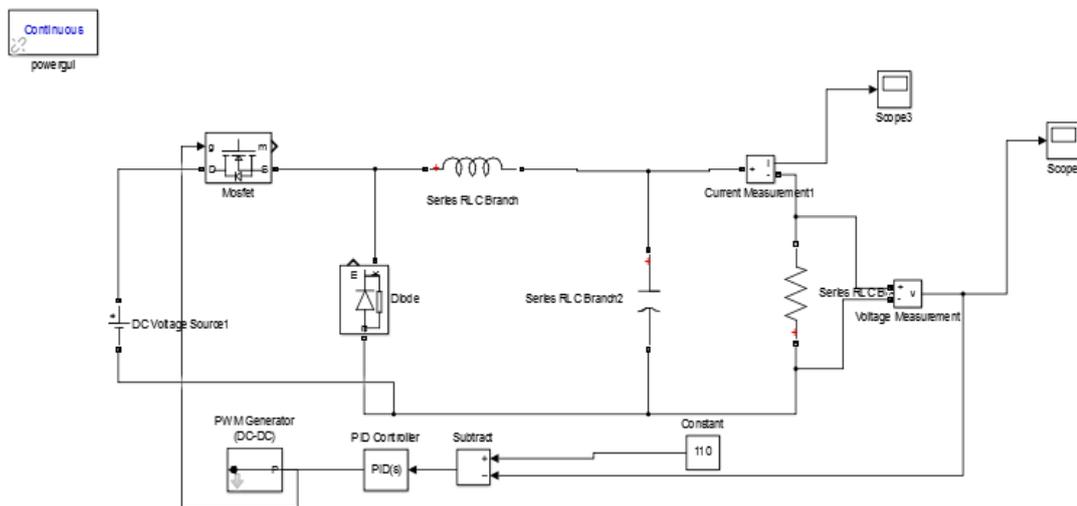


Figure III.3 Schéma bloc du hacheur série.

**Switch on  $\alpha=1$ :**

$$V_{in} = V_L + V_0 = L \frac{di_L(t)}{dt} + V_0(t) \quad (\text{III.1})$$

$$i_L(t) = i_c + i_R = C \frac{dv_0}{dt} + \frac{V_0(t)}{R} \quad (\text{III.2})$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{1}{L} [V_{in} - V_0(t)] \quad (\text{III.3})$$

$$\frac{dv_0(t)}{dt} = \frac{1}{C} \left[ i_L(t) - \frac{v_0(t)}{R} \right] \quad (\text{III.4})$$

**Switch off  $\alpha=0$ :**

$$0 = L \frac{di_L(t)}{dt} + V_0(t) \quad (\text{III.5})$$

$$i_L(t) = C \frac{dv_0(t)}{dt} + \frac{V_0(t)}{R} \quad (\text{III.6})$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{1}{L} [0 - V_0(t)] \quad (\text{III.7})$$

$$\frac{dv_0(t)}{dt} = \frac{1}{C} \left[ i_L(t) - \frac{V_0(t)}{R} \right] \quad (\text{III.8})$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{1}{L} [\alpha V_{in} - V_0(t)] \quad (\text{III.9})$$

$$\frac{dv_0(t)}{dt} = \frac{1}{C} \left[ i_L(t) - \frac{V_0(t)}{R} \right] \quad (\text{III.10})$$

- Calcul de l'inductance et condensateur :

$$L = \frac{V_0(V_{in} - V_0)}{f_s * \Delta I_0 * V_{in}} \quad (\text{III.11})$$

$$\Delta I_0 = 10\% * V_0 \quad (\text{III.12})$$

$$C = \frac{\Delta I_0}{8 * f_s * \Delta V_0} \quad (\text{III.13})$$

$$\Delta V_0 = 10\% * I_0 \quad (\text{III.14})$$

Avec :

$$V_0 = 110 \text{ V}, \quad V_{in} = 325 \text{ V}, \quad f_s = 100 * 10^3$$

Donc :

$$\Delta I_0 = 0.1 * 110 = 11 A$$

$$L = \frac{110(325 - 110)}{100 * 10^3 * 11 * 325} = 6.61 * 10^{-4} H$$

$$C = \frac{0.1 * 110}{8 * 100 * 10^3 * 0.1 * 110} = 1.25 * 10^{-6} \approx 10 * 10^{-6} F$$

### III.4.1 Fonction de transfert :

$$FT(p) = \frac{V_0(p)}{\alpha(p)} \quad (\text{III.15})$$

$$P \times I_L(t) = \frac{1}{L} [\alpha V_{in} - V_0(p)] \quad (\text{III.16})$$

$$PV_0(p) = \frac{1}{c} [I_L(p) - \frac{V_0(p)}{R}] \quad (\text{III.17})$$

$$\frac{I_L(p)}{c} - \frac{V_0(p)}{RC} = PV_0(p) \quad (\text{III.18})$$

$$I_L(p) = C[PV_0(p) + \frac{V_0(p)}{RC}] \quad (\text{III.19})$$

$$I_L(p) = C PV_0(p) + \frac{V_0(p)}{R} \quad (\text{III.20})$$

En remplaçant équation (III.16) ou équation (III.12) :

$$P \left[ C \times P \times V_0(p) + \frac{V_0(p)}{R} \right] = \frac{\alpha}{L} V_{in} - \frac{V_0(p)}{L} \quad (\text{III.21})$$

$$V_0(p) \left[ P^2 \times c + \frac{P}{R} \right] + \frac{V_0(p)}{L} = \frac{\alpha}{L} V_{in} \quad (\text{III.22})$$

$$V_0(p) \left[ P^2 \times C + \frac{P}{R} + \frac{1}{L} \right] = \frac{V_{in}}{L} \times \alpha \quad (\text{III.23})$$

$$\frac{V_0(p)}{\alpha} = \frac{V_{in}/L}{P^2 \times C + \frac{P}{R} + \frac{1}{L}} = \frac{V_{in}}{LC P^2 + \frac{L}{R} p + 1} \quad (\text{III.24})$$

Donc la fonction de transfert est :

$$FT(p) = \frac{V_0(p)}{\alpha(p)} = \frac{V_{in}}{LC P^2 + \frac{L}{R} p + 1} = \frac{K}{\frac{P^2}{W_0^2} + \frac{P}{QW_0} + 1} \quad (\text{III.25})$$

### III.4.1 Choix de contrôleur :

Un contrôleur PID (Proportionnel-Intégral-Dérivatif) est un type de régulateur utilisé dans de nombreux systèmes de contrôle pour maintenir une variable de sortie à une valeur désirée en ajustant une variable de commande. Dans le cas d'un hacheur série, qui est un type de convertisseur de tension, le contrôleur PID peut être utilisé pour réguler la tension de sortie du hacheur.

### III.5 Algorithme de la commande de gestion d'énergie :

L'algorithme de commande de gestion d'énergie dans un système photovoltaïque autonome est responsable de l'optimisation de la production, du stockage et de l'utilisation de l'énergie solaire. Son objectif principal est de maximiser l'efficacité énergétique du système en gérant intelligemment les différentes composantes. La figure (III.4) représente l'organigramme de gestion d'énergie de notre système sélectionné.

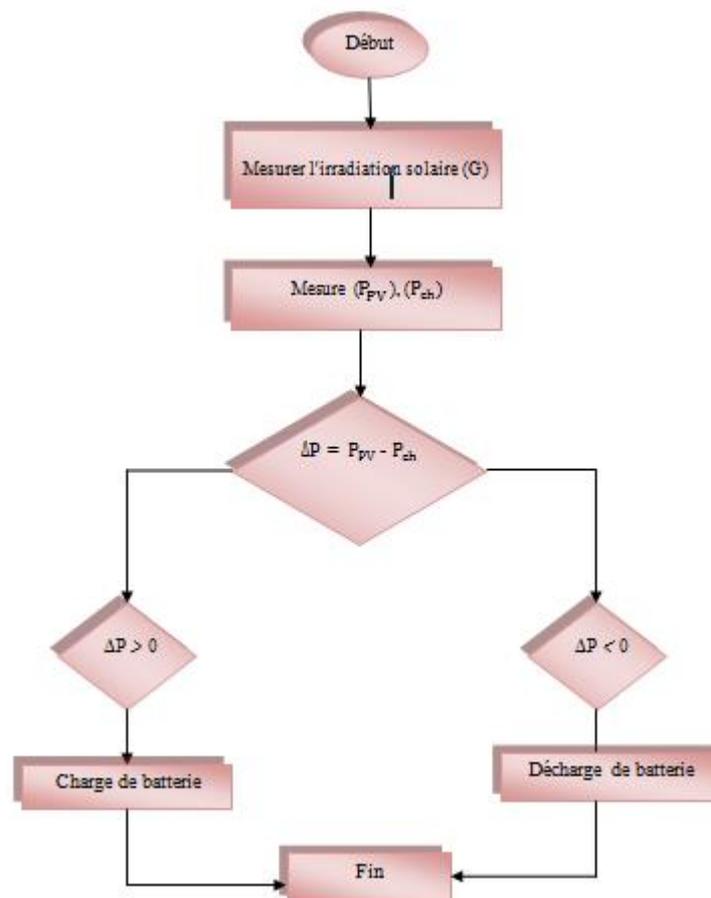


Figure III.4 Organigramme de gestion d'énergie de système PV-BATTERIE.

## II.6 Implémentation sur système PV-BATTERIE :

A l'aide de logiciel MATLAB nous avons fait l'implémentation d'un système PV-BATTERIE dans un fichier MATLAB consiste à coder les étapes nécessaires pour simuler le fonctionnement du système. En définissant les paramètres de système tels que la puissance nominale de panneau solaire et capacité de la batterie.

## III.7 Résultats et discussion :

### a) Générateur photovoltaïque :

La simulation du modèle photovoltaïque sous MATLAB-SIMULINK dans les conditions standard du test ( $G=1000\text{W/m}^2$  et  $T=25^\circ\text{C}$ ), nous a permis de tracer les graphes des figures III.4 et III.5)

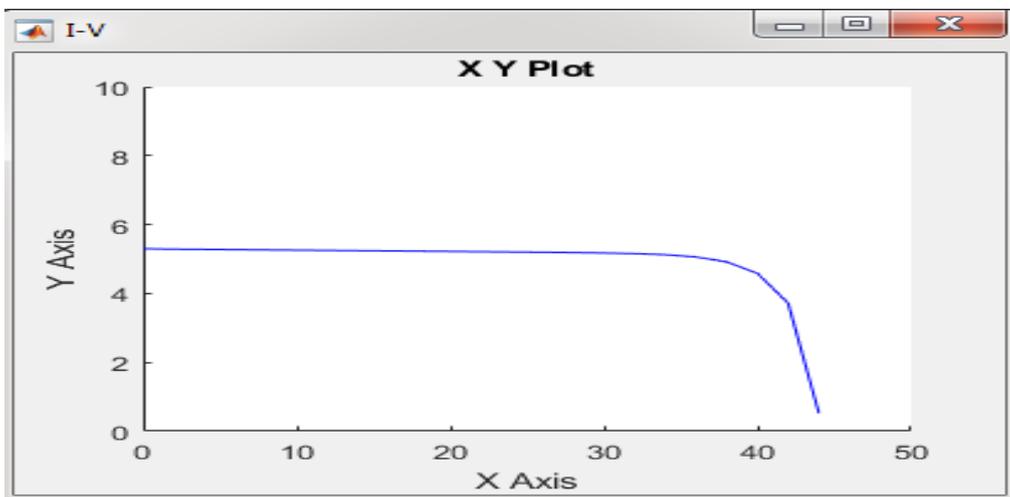


Figure III.5 Caractéristiques (I-V) du module photovoltaïque sous Matlab-Simulink

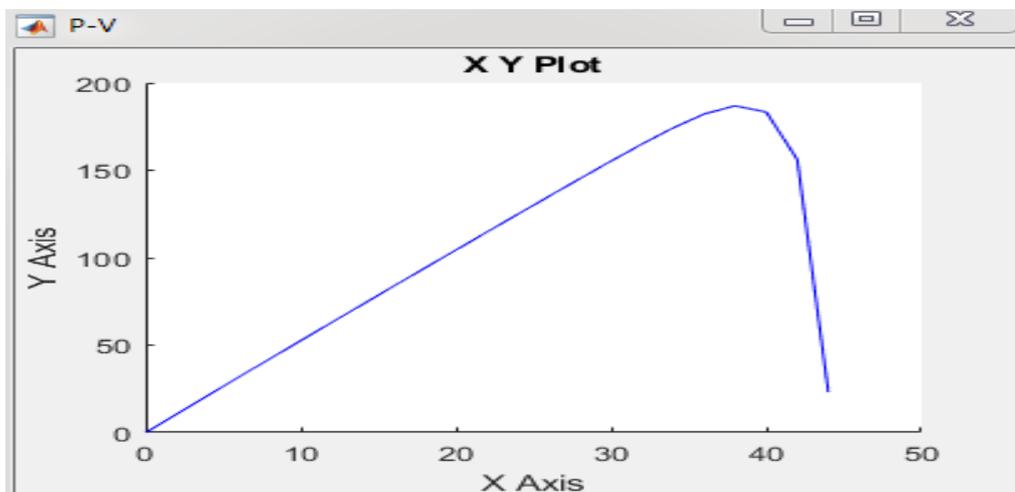
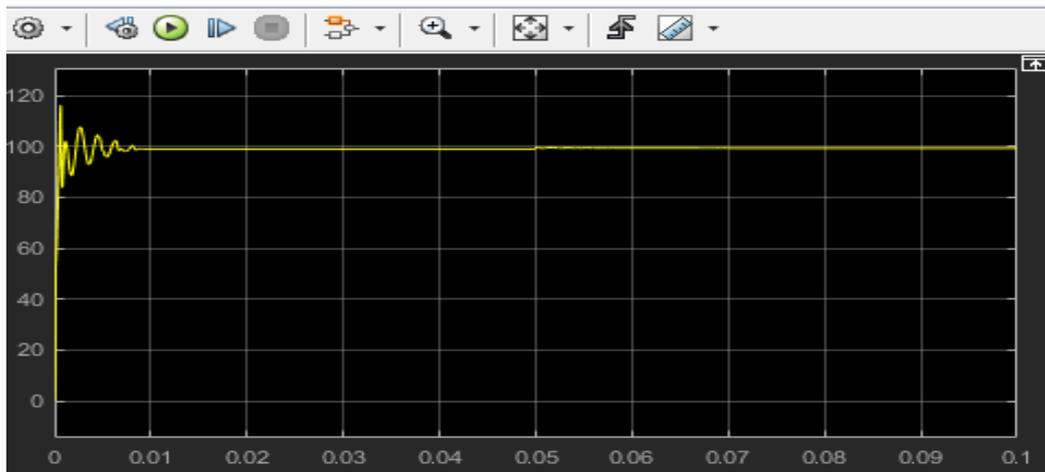


Figure III.6 Caractéristiques (P-V) du module photovoltaïque sous Matlab-Simulink.

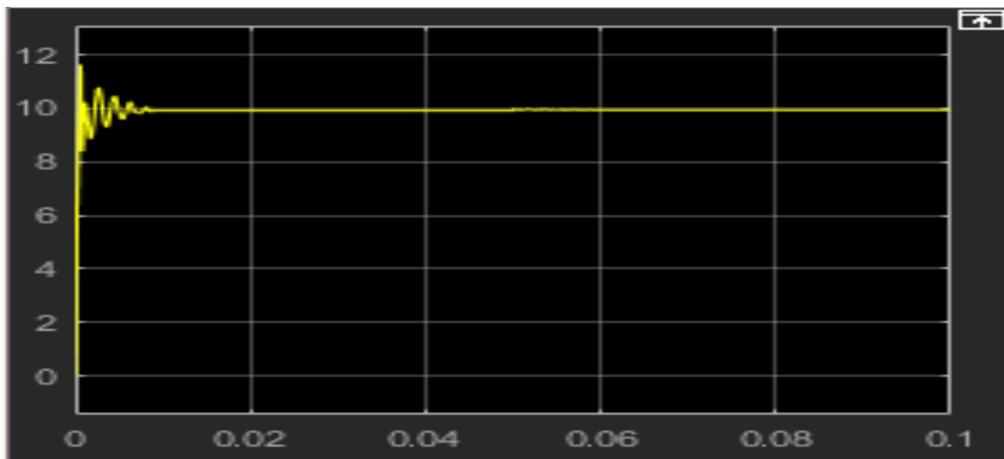
Notre module photovoltaïque utilisé dans les installations solaires, avec une tension du circuit ouvert  $V_{co}=44.2V$  et un courant de court-circuit  $I_{sc}=5.30A$  peut produire une puissance maximale  $P_{mp}=175 W$  à une tension à puissance maximal  $V_{mp}=36 V$  et à un courant à puissance maximal  $I_{mp}= 4.87A$ .

### b) Hacheur série :

Le contrôleur PID permet de réguler efficacement la tension et le courant de sortie du hacheur série, en minimisant les écarts par rapport à la consigne.



**Figure III.7** Tension de sortie du hacheur série.



**Figure III.8** Courant de sortie du hacheur série.

### III.7.1. Test sur un profil de charge journalière :

#### III.7.1.1. Données météorologiques :

Les données météorologiques jouent un rôle crucial dans le fonctionnement et la performance des systèmes photovoltaïques. Pour générer un profil de rayonnement, on introduit les valeurs de rayonnement solaire dans Matlab qui va traduire sous forme de courbe de rayonnement journalière comme indique la figure III.9

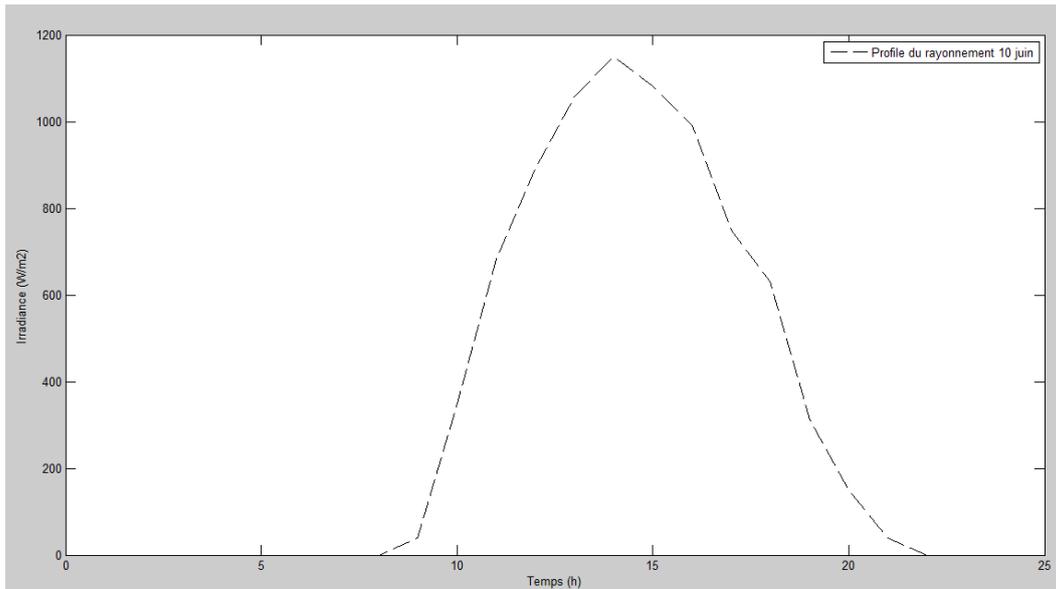


Figure III.9 Profil de rayonnement

#### III.7.1.2. Profil de charge :

Le dimensionnement d'un système de production d'énergie pareil est déterminé à partir de la consommation à satisfaire. On a déjà mentionné la consommation journalière du site à étudier dans le chapitre précédent. Pour générer un profil de charge, On introduit le détail de la consommation dans Matlab qui va les traduire sous forme de courbe de charge journalière comme indique la figure (III.10).

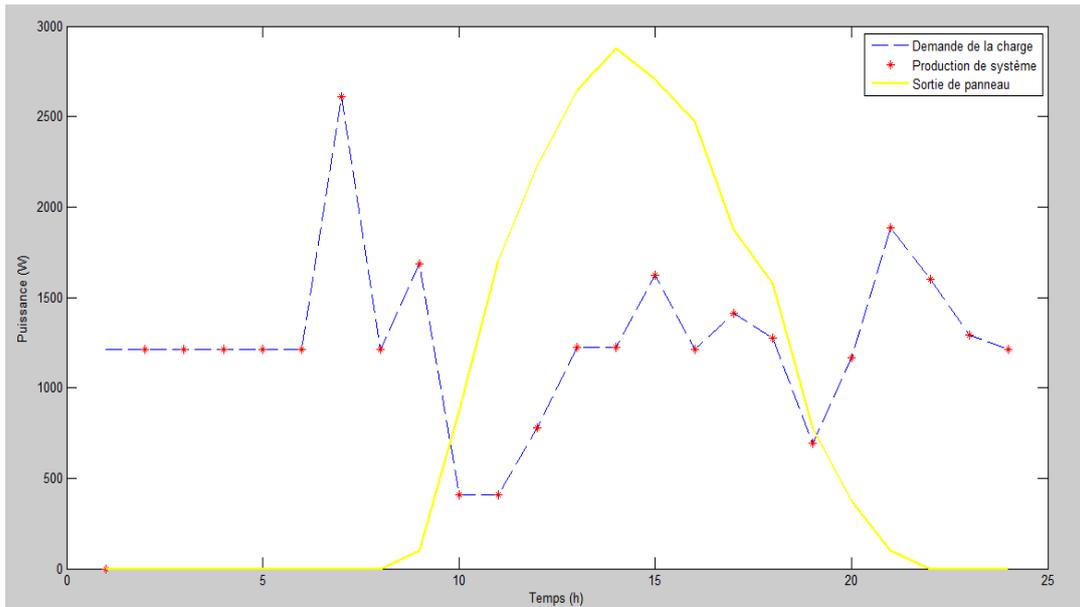


Figure III.10 Puissance de (charge, produite par les systèmes le système renouvelable, panneaux solaire)

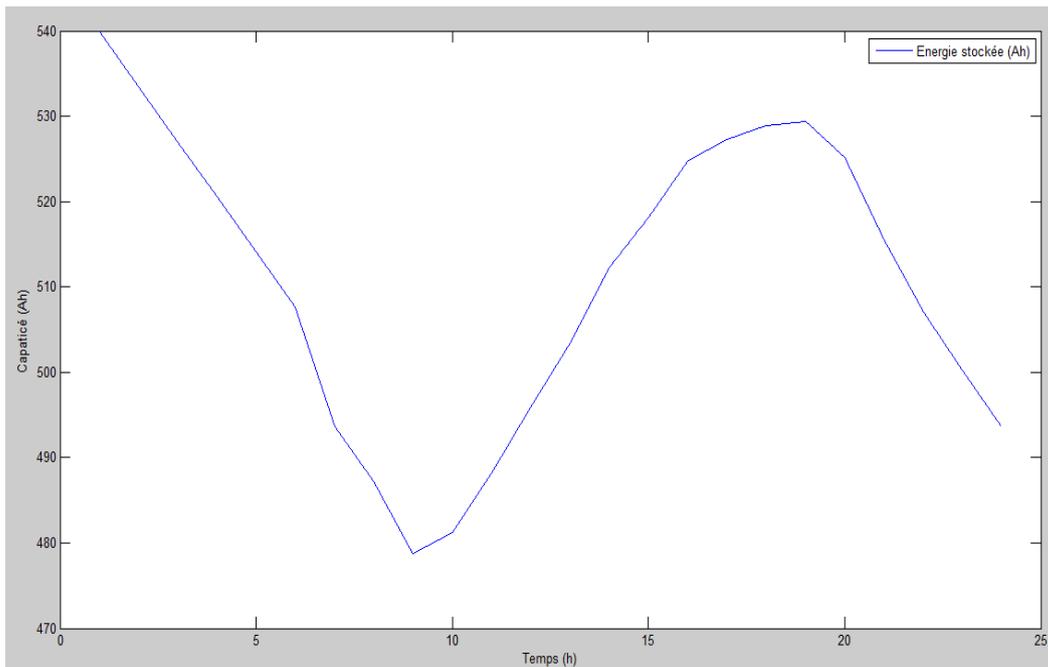
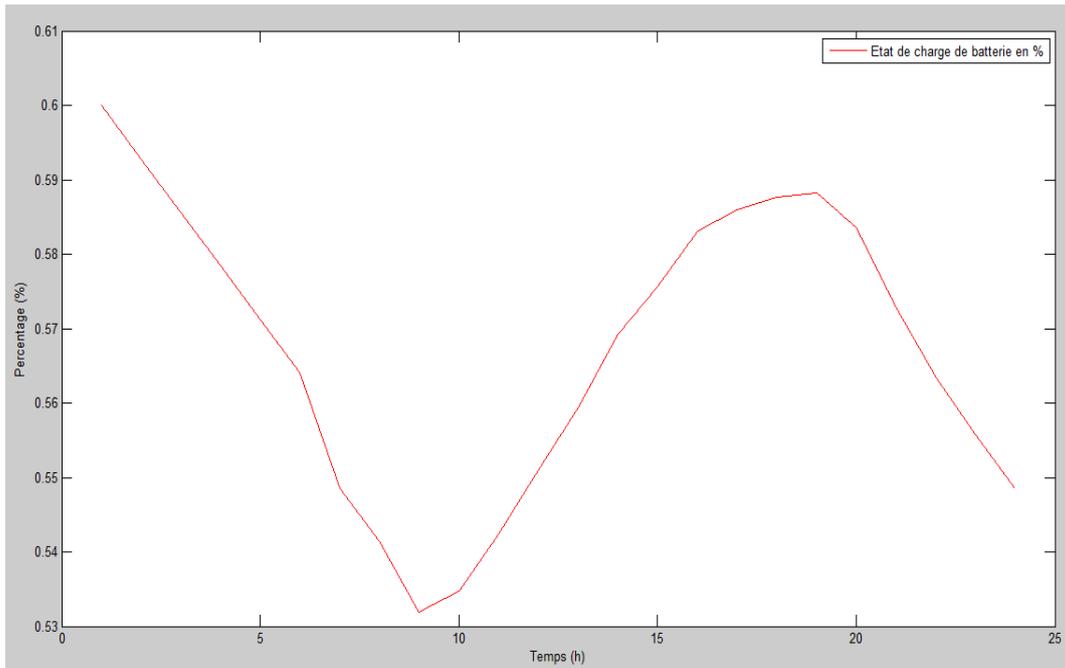


Figure III.11 Capacité de stockage de batterie



**Figure III.12**Etat de charge des batteries

### III.7.2 Interprétation de résultats :

La figure (III.9) représente le profil de rayonnement solaire en fonction du temps pour la journée de 10 juin .on remarque que :

- ❖ les variations de rayonnement solaire tout au long de la journée afin qu'il soit inexistant la nuit en raison de l'absence de soleil et augmente le matin jusqu'à atteindre un maximum en milieu de journée puis diminue progressivement avec le coucher du soleil.
- ❖ Le rayonnement solaire est important car il détermine la quantité d'énergie solaire disponible pour la production d'électricité par les panneaux solaires.

La figure (III.10) représente puissance de charge, puissance produite par le système et puissance des panneaux solaires. On remarque que :

- ❖ la puissance produite par le système renouvelable varie en fonction de la demande de charge et de l'irradiation solaire.
- ❖ Lorsque la puissance demandée par la charge est inférieure à la puissance produite par les panneaux solaires, l'excédent d'énergie est stocké dans la batterie (pendant la journée).

- ❖ Lorsque la demande de charge est supérieure à la puissance solaire disponible, l'énergie est fournie à partir de la batterie pour répondre à la demande (pendant la nuit).

La figure (III.11) représente la capacité du système de stockage en ampères-heures (Ah) au fil du temps. Il montre comment l'énergie est stockée et utilisée dans la batterie. On remarque que :

- ❖ Au cours de la journée, la capacité de batterie augmente ce désigne que la puissance produite par les panneaux solaires est supérieure à la demande de charge donc la batterie se charge.
- ❖ Au cours de la nuit, la capacité de batterie diminue ce désigne que la demande de charge dépasse la puissance solaire disponible donc la batterie se décharge.

La figure (III.12) représente l'état de charge des batteries en pourcentage (%) en fonction du temps. Il montre le niveau de charge de la batterie par rapport à sa capacité nominale. On remarque que :

- ❖ l'état de charge varie en fonction de la charge et de la décharge de la batterie.
- ❖ Pendant la journée, l'état de charge augmente ça signifie que la demande de charge est faible et la puissance solaire est abondante.
- ❖ En revanche, pendant la nuit l'état de charge diminue ça signifie que la demande de charge est élevée et la puissance solaire est insuffisante.

### **Conclusion :**

Ce chapitre a été consacré à la présentation des résultats de la simulation pour un système photovoltaïque autonome qui est constitué d'un générateur photovoltaïque et hacheur série avec un système stockage d'énergie avec batterie. Les résultats de simulations ont montré le bon fonctionnement du système étudié.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

L'énergie solaire photovoltaïque revêt une importance capitale de nos jours en tant que source d'énergie propre, durable et abondante. Son utilisation permet de réduire les émissions de carbone, de créer des emplois, de renforcer l'indépendance énergétique et de fournir l'accès à l'électricité dans les régions éloignées.

Dans ce travail, nous avons dimensionné un système photovoltaïque autonome pour fournir une habitation située dans la wilaya d'Ouargla en électricité sans interruption. Nos études ont été faites sur la base d'un bilan de consommation journalière établi au niveau de ce site. Ce système nécessite les composants nécessaires dans ce système des modules photovoltaïques qui représentent le champ de captage des rayons solaires, des batteries où nous stockons l'énergie produite par ces modules, un régulateur qui protège la batterie contre la surcharge et qui règle ainsi la valeur de la tension nominale, un onduleur qui assure la conversion du courant continu en courant alternatif, et de câblage qui relie les différents composants de ce système. Nous avons établi un bilan énergétique des appareils électriques existants dans l'école où nous avons trouvé que la consommation globale est 19708 Wh/j. Le dimensionnement que nous avons fait exige un système PV qui se compose de : 15 panneaux de 325W, 16 batteries de 12V/130Ah et un onduleur de 10000W et de câblage qui relie les différents composants de ce système.

Ensuite, nous avons présenté les résultats obtenus lors de la simulation d'un système photovoltaïque couplé à une batterie de stockage assurant une disponibilité d'énergie électrique stable pour la charge. D'après les résultats obtenus lors de la simulation, nous concluons :

- ❖ Le système PV-BATTERIE est capable de répondre à la demande de charge en utilisant à la fois la puissance produite par les panneaux solaires et l'énergie stockée dans la batterie. Cela permet de réduire la dépendance aux sources d'énergie externes et d'utiliser efficacement l'énergie solaire disponible.
- ❖ La puissance produite par le système renouvelable (PV) varie en fonction de l'irradiation solaire. Lorsque l'irradiation est élevée, la puissance produite est également élevée, ce qui permet de maximiser l'utilisation de l'énergie solaire

- ❖ La capacité de stockage de la batterie permet d'équilibrer l'offre et la demande d'énergie. Lorsque la puissance produite excède la demande, l'énergie excédentaire est stockée dans la batterie, augmentant ainsi la capacité de stockage. Lorsque la demande dépasse la puissance produite, l'énergie est fournie par la batterie, réduisant ainsi la capacité de stockage.
- ❖ L'état de charge des batteries varie en fonction du flux d'énergie dans la batterie. Lorsque la batterie se charge, l'état de charge augmente, et lorsqu'elle se décharge, l'état de charge diminue. Cela permet de surveiller l'état de la batterie et de s'assurer qu'elle fonctionne dans les limites définies (SOC\_min et SOC\_max).

# **Bibliographie**

# Bibliographie

- .1 KHADIDJA, N., Commande de la charge et la décharge de la batterie d'une installation photovoltaïque isolée. 2022, university center of abdalhafid boussouf-MILA.
- .2 SERAIDI, T. and O. YAHIAOUI, Alimentation d'une pompe par une source d'énergie renouvelable. 2022.
- .3 Soum, A., et al., Exploitation de l'énergie photovoltaïque dans l'habitat individuel à Jijel. 2019, Université de Jijel.
- .4 <https://www.edf.fr/10/05/2023>
- .5 ،عليet al., Impact de l'insertion des Énergies Renouvelables sur la Protection de Réseau Électrique. 2022.
- .6 DJALAB, H., CHAUFFAGE DE SERRE PAR ENERGIE GEOTHERMIQUE. 2020, Univ M'sila.
- .7 Berdjem, A., D. Hambli, and Y. Chiba, Simulation numérique d'un bassin d'eau solaire utilisé comme capteur solaire. 2015.
- .8 <https://www.connaissancedesenergies.org/15/05/2023>
- .9 Louazen, M.L., Etude d'une mini-centrale photovoltaïque pour l'injection d'électricité produite dans le Réseau électrique.
- .10 Chaima, Z., Estimation du rayonnement solaire incident sur un plan incliné par le modèle de Liu-Jordan: région d'Adrar. 2022, university center of abdalhafid boussouf-MILA.
- .11 KHECHAFI, S. and S. BENLAACHI, Calcul et dimensionnement électrique d'une mini centrale photovoltaïque autonome. 2019, Directeur: Dr. MALIKI Fouad/Co-directeur: Mr Belhaouas Nasreddine.
- .12 Ismail, K., Etude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques. 2014.
- .13 Thabet, S. and A. Yahiaoui, Effet de l'orientation des panneaux solaires sur la performance d'une installation photovoltaïque. 2019, Université Ibn Khaldoun-Tiaret-.
- .14 Slama, F., Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique. 2018.
- .15 <https://www.europe-energie.com/petite-histoire-de-photovoltaïque.17/05/2023>
- .16 Abdelhadi, S.I.T., Commande et modélisation de l'énergie photovoltaïque interconnecté au réseau électrique. 2021, Faculté des Sciences et Technologies.
- .17 FAR,M.B. and S. YAQOT BOUDRAF, LA PRO DUCTION PHOTOVOLTAIQUE ELECTRICITE. 2021, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
- .18 Chalal, A. and M. Amine, Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme pilote. 2019.

- .19 Gaouas, M.R., K. Ibn Cherif, and D. Rahem, Etude D'une Chaîne De Conversion De L'énergie Solaire Avec Système De Suiveur Solaire. 2021.
- .20 Hassani Fateh, N.M.I., Détection des pannes photovoltaïques par les réseaux de neurones probabiliste. 2018.
- .21 Azzedine, B. and M. Meziane, Dimensionnement et conception d'une installation photovoltaïque pour la FGEI et optimisation de la consommation. 2017, Université Mouloud Mammeri.
- .22 Hichem, D., Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque dédié à une habitation. 2017 Université Mouloud Mammeri.
- .23 étude de régime photovoltaïque en charges indépendantes de batteries en section Rakotoarimalala RIJA
- .24 Agas, G., et al., On the use of the atmospheric heat sinks for heat dissipation. *Energy and Buildings*, 1991. 17(4): p. 321-329.
- .25 BENCHELLOUIA, B., A. HAFNAOUI, and L. LOUAZENE, Étude et dimensionnement des systèmes de pompage Photovoltaïque dans la région de Ouargla. Université Kasdi Merbah Ouargla.
- .26 <https://mypower.engie.fr/conseils/panneaux-solaires/panneau-solaire-photovoltaïque/types-cellules-solaires.html.22/05/2023>
- .27 Mhenna, B. and G. Ferhat, Alimentation d'un moteur à courant continu par une source photovoltaïque. 2018, Université Mouloud Mammeri.
- .28 Bensalem, S., Effets de la température sur les paramètres caractéristiques des cellules solaires. 2018.
- .29 Soualnia, A., Intégration de la Production Décentralisée dans un Système de Pompage Photovoltaïque. 2014, Thèse de Magister, Université Constantine1.
- .30 Meghellet, H. and L. Hocine, Contribution à l'étude d'un système photovoltaïque. 2018, Université Akli Mouhand Oulhadj-Bouira.
- .31 BILLEL, F., Etude d'un système Hybride (photovoltaïque-éolien). mémoire de master génie mécanique, 2015.
- .32 Rania, B. and B. Yasmina, Etude et réalisation d'un régulateur de charge solaire. 2021, Faculté des Sciences et Technologies.
- .33 Bourad, K., N. Ouchene, and K. Rahrah, Dimensionnement d'un système photovoltaïque avec stockage. 2021, Université A. mira-Béjaia.
- .34 ABBOU, B. and D. Boutkhal, Contribution à l'étude de la gestion de stockage d'énergie hybride: batterie Li-ion supercondensateur dans les systèmes PV et éolien. 2022, Directeur: Mr M. BOUCHAOUR/Co-Directeur: Mr MERAD Lotfi.
- .35 Benhamida, M.T. and T. Sahraoui, Estimation de l'état de charge d'une batterie Li-ion utilisé dans un véhicule électrique. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
- .36 Marchildon, J., Détermination de l'état de charge et l'état de santé d'une batterie plomb acide par la méthode de deux impulsions. 2014, Université du Québec à Trois-Rivières.
- .37 DARI, A. and M. BABEKER, Etude d'une installation photovoltaïque pour une habitation domestique. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.

- .38 <https://www.linkeo.com/gis-geomatics/2021/09/debats-autour-de-la-longitude-et-de-la-latitude/02/06/2023>
- 39 Mohammed, B., Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome. Mémoire de Magister Centre Universitaire de Bechar, Institut des Sciences Exactes, 2008. 15.
- .40 GUITOUN, M.H. and O.R. MEFLAH, Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour l'éclairage public. Université KASDI-MERBAH Ouargla.
- .41 FERDJI, A. and N.E.H. KADRI, ETUDE D'UNE INSTALLATION HYBRIDE (PHOTOVOLTAÏQUE-RESEAU): APPLICATION L'AIRE DE REPOS LES ZIANIDES. 2022, Directeur: Mme. LASSOUANI Fatiha/Co-directeur: Mme. FARADJI Djamilia Née ....
- .42 Haddad, S and Boukhedenna, Y, Régime de court-circuit: distribution du potentiel. Université 8 Mai 1945 Guelma .
- .43 <https://www.jinkosolar.com/02/06/2023>
- .44 Manuel d'utilisation, « SUN2000-(3KTL,10KTL )-M0», HUAWEI TECHNOLOGIES CO.LTD, Edition 05,11/12/2019
- .45 DANOUNE, Mohammed Bilal, et al. "Characterization of photovoltaic panel using single diode and double diode models a comparative study with experimental validation." *The 5th International Seminar on New and Renewable Energies, Ghardaïa–Algeria*. Vol. 24. 2018.
- .46 Bacha, M and Derradji Belloum, A, Étude et réalisation des convertisseurs DC DC de type Boost et Buck. Université Mohamed Khider de Biskra

## Résumé

L'énergie solaire représente la source énergétique la plus et mieux partagée sur la terre. Ce type d'énergie peut être exploité en deux majeurs types l'un pour une production directe de la chaleur (énergie solaire thermique) ou l'autre de l'électricité (énergie solaire photovoltaïque).

Dans ce travail, nous proposons un dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome pour alimenter une habitation domestique située à la wilaya d'Ouargla. Utilisant le MATLAB, nous avons présentés la modélisation des composants de système photovoltaïque autonome (panneau solaire et la batterie) où on relie le générateur photovoltaïque à un système de stockage (la batterie) pour garantir la disponibilité de l'énergie en cas d'absence de rayonnement solaire ainsi la gestion d'énergie produite et stockée.

**Mots clés :** énergie solaire, dimensionnement, générateur photovoltaïque, batterie, MATLAB

### Abstract

Solar energy is the most and best shared energy source on earth. This type of energy can be exploited in two major types, one for direct production of heat (solar thermal energy) or the other of electricity (photovoltaic solar energy).

In this work, we propose a dimensioning of a stand-alone photovoltaic system to supply a domestic dwelling located in the wilaya of Ouargla. Using MATLAB, we have presented the modeling of autonomous photovoltaic system components (solar panel and battery) where the photovoltaic generator is connected to a storage system (the battery) to guarantee the availability of energy in the event of an absence of solar radiation and the management of energy produced and stored.

**Keywords:** solar, energy, sizing, photovoltaic generator, battery, MATLAB.

### الملخص

الطاقة الشمسية هي أكثر وأفضل مصادر الطاقة المشتركة على وجه الأرض. يمكن استغلال هذا النوع من الطاقة في نوعين رئيسيين ، أحدهما للإنتاج المباشر للحرارة (الطاقة الحرارية الشمسية) والآخر للكهرباء (الطاقة الشمسية الكهروضوئية).

في هذا العمل ، نقترح تحديد أبعاد النظام الكهروضوئي المستقل لتوفير مسكن منزلي يقع في ولاية ورقلة. باستخدام الماتلاب، قدمنا نمذجة مكونات النظام الكهروضوئي المستقل (لوحة شمسية وبطارية) حيث يتم توصيل المولد الكهروضوئي بنظام تخزين (البطارية) لضمان توفر الطاقة في حالة غياب الإشعاع الشمسي وإدارة الطاقة المنتجة والمخزنة.

**الكلمات المفتاحية:** الطاقة الشمسية، التحجيم، المولدات الكهروضوئية، البطارية، الماتلاب.