

**République Algérienne Démocratique et populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la**  
**recherche scientifique Université A. MIRA-BEJAIA**  
**Faculté de Technologie**  
**Département Génie Électrique**



Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention du diplôme  
Master  
En électrotechnique  
Option : Energies renouvelables

**Thème**

**Dimensionnement et optimisation d'un  
système photovoltaïque autonome**

Réalisé par :

**BENSIDHOUM Ryma Taoues**

**LOUCIF Imane**

Encadrant :

**Mme.SERIR**

Co-Encadrant :

**Mr.OUCHENE**

**Année universitaire**

**2022-2023**

## Remerciements

---

### **Remerciements**

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout Puissant et Miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*On tient à présenter nos sincères remerciements à :*

*Notre encadrante Mme SERIR Chafiaa pour son accompagnement dans la mise en place du projet, pour son aide et pour ses précieux conseils.*

*Mr BENHERRAT Mounir qui nous a bien accueillis dans son entreprise.*

*Mr OUCHENE Nassim pour son aide et ses encouragements pendant toute la période du stage pratique.*

*Les membres du jury qui ont fait l'honneur de bien vouloir examiner ce travail.*

*A tous les employés de l'entreprise de l'entreprise Mounir Solar Energy.*

*Finalement à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la finalisation de ce travail.*

**Ryma et Imane**

## Dédicaces

---

### DÉDICACES

*Avec tous mes sentiments de respect, avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie ma remise de diplôme et ma joie*

*A mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur. Ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin, ma moitié, maman.*

*A celui qui m'a fait une femme, ma source de vie, d'amour et d'affection, à mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, à mon prince papa.*

*A ma cher sœur Maria qui n'ont pas cessée de m'encourager et soutenir tout au long de mes études.*

*A mon adorable petite sœur Mélissa qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour moi.*

*A mon cher frère Yasser pour l'amour qu'il me réserve.*

*A tous les membres de ma grande famille : Mes grandes mères, mes tantes, oncles, cousines et cousin.*

*A mes chers amis et copines pour leurs soutiens moral, patience et leurs compréhensions tout au long de ce projet.*

*A tout ce qui ont participé à ma réussite et a tous qui m'aiment.*

**RYMA TAOUES**

## Dédicaces

---

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes parents pour leurs sacrifices et leurs encouragements.*

*Ma sœur Nassima et ses enfants.*

*Mon frère Abdelhak.*

*Ma binôme Ryma et à toute sa famille.*

*Monsieur Cherchalli pour son aide et son encouragement.*

*Monsieur et Madame Ghilas pour leurs soutiens.*

*Imane*

# Sommaire

---

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles et abréviations

Liste des annexes

<b>Introduction générale</b> .....	-1-
<b>Chapitre I : Présentation de l'entreprise d'accueil</b>	
I.1 Introduction.....	- 2 -
I.2 Présentation de l'entreprise Mounir Solar Energy.....	- 2 -
I.2.1 Localisation de l'entreprise .....	- 2 -
I.2.2 Magasin de l'entreprise .....	- 3 -
I.3 Principaux services de l'entreprise .....	- 4 -
I.4 Valeurs de l'entreprise .....	- 4 -
I.5 Innovation technologique.....	- 5 -
I.6 Innovation organisationnelle.....	- 5 -
I.7 Organigramme général de la société.....	- 6 -
.....	- 6 -
I.7.1 Moyens humains affectés au chantier .....	- 6 -
I.7.2 Moyens utilisés.....	- 7 -
I.8 Dispositions arrêtées par l'entreprise.....	- 7 -
I.9 Projets réalisés .....	- 7 -
I.10 Conclusion : .....	- 8 -
II.1 Introduction .....	- 9 -
II.2 Energie solaire .....	- 9 -
II.2.1 Energie solaire thermique .....	- 10 -
II.2.2 Energie solaire photovoltaïque .....	- 10 -
II.3 Historique sur l'effet photovoltaïque.....	- 10 -
II.4 Cellule photovoltaïque.....	- 11 -
II.4.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	- 11 -
II.4.2 Types de cellules photovoltaïques .....	- 12 -
II.4.3 Rendement des cellules PV.....	- 14 -
II.5 Systèmes photovoltaïques.....	- 15 -
II.5.1 Systèmes autonomes .....	- 15 -
II.5.1.1 Systèmes autonomes sans stockage.....	- 15 -
II.5.1.2 Systèmes autonomes avec stockage électrochimique .....	- 15 -

# Sommaire

---

II.5.2 Systèmes photovoltaïques hybrides (multi source).....	- 16 -
II.5.3 Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau.....	- 16 -
II.5.4 Différentes applications des systèmes photovoltaïques .....	- 16 -
II.6 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque .....	- 17 -
II.6.1 Avantages.....	- 17 -
II.6.2 Inconvénients .....	- 17 -
II.7 Eléments d'un système PV autonome avec stockage électrochimiques.....	- 17 -
II.7.1 Générateur photovoltaïque.....	- 17 -
II.7.1.1 Association des panneaux photovoltaïques .....	- 17 -
II.7.1.3 Protection des panneaux.....	- 20 -
II.7.2 Système de stockage .....	- 21 -
II.7.2.1 Batterie .....	- 21 -
II.5.1.1 Caractéristiques principales d'une batterie .....	- 22 -
II.7.2.2 Groupement des batteries .....	- 23 -
II.7.3 Convertisseurs.....	- 23 -
II.7.3.1 Convertisseur DC/DC .....	- 23 -
II.7.3.2 Convertisseur DC/AC .....	- 23 -
II.7.4 Régulateurs de charge .....	- 24 -
Les différents types de régulateur à charge.....	- 25 -
II.7.5 Charge alternative .....	- 25 -
II.8 Conclusion .....	- 26 -
III.1 Introduction .....	- 27 -
III.2 Modélisation du générateur photovoltaïque.....	- 27 -
III.2.1 Cellule photovoltaïque.....	- 27 -
III.2.1.1 Paramètres d'une cellule photovoltaïque .....	- 27 -
III.2.2.2 Modèle à une diode .....	- 30 -
III.2.3 Modélisation sous Matlab/Simulink du modèle à une diode.....	- 32 -
III.2.3.1 Paramètres du panneau utilisé.....	- 32 -
III.2.3.2 Caractéristique $I_{pv}$ - $V_{pv}$ et $P_{pv}$ - $V_{pv}$ du générateur photovoltaïque : .....	- 33 -
III.2.3.3 Influence de l'ensoleillement sur les caractéristiques :.....	- 34 -
III.2.3.4 Influence de la température sur les caractéristiques : .....	- 35 -

# Sommaire

---

III.2.4 Groupement des panneaux photovoltaïques .....	- 36 -
III.3 Modélisation des convertisseurs.....	- 37 -
III.3.1 Modélisation d'un hacheur survolteur – BOOST .....	- 37 -
III.4 Point de puissance maximale.....	- 38 -
III.4.1 Méthode de perturbation et observation (P&O).....	- 38 -
III.4.2 Application de la P&O .....	- 39 -
III.4.3.2 Influence de la température sur le panneau PV avec la méthode P&O .....	- 41 -
III.5.1 Le modèle électrique de la batterie.....	- 43 -
III.6 Conclusion.....	- 43 -

## **Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un system photovoltaïque autonome**

IV.1 Introduction.....	- 44 -
IV.2 Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome .....	- 44 -
IV.3 Choix de la méthode de dimensionnement .....	- 44 -
IV.3.1 Méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation .....	- 44 -
IV.3.2 Méthode du mois le plus défavorable.....	- 45 -
IV.3.3 Méthode de la moyenne annuelle .....	- 45 -
IV.4.1 Présentation du projet.....	- 45 -
IV.4.2 Description de l'école.....	- 46 -
IV.4.3 Les étapes de dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome .....	- 47 -
IV.4.3.1 Evaluation du besoin en électricité .....	- 47 -
IV.4.3.2 Puissance crête du champ photovoltaïque ( <b>Wc</b> ).....	- 49 -
IV.4.3.3 Dimensionnement des panneaux photovoltaïques.....	- 49 -
IV.4.3.4 Dimensionnement des batteries .....	- 50 -
IV.4.3.5 Dimensionnement de l'onduleur.....	- 51 -
IV.4.3.6 Dimensionnement des câbles.....	- 53 -
IV.5 Partie 2 : Réalisation du projet.....	- 55 -
IV.5.1 Equipements utilisés dans l'installation : .....	- 55 -
IV.5.1.1 Installation du générateur photovoltaïque : .....	- 55 -
IV.5.1.3 Onduleur .....	- 57 -
IV.5.1.4 Les éléments de protection .....	- 58 -
IV.6 Partie 3 : Devis estimatif de l'installation.....	- 62 -
IV.6.1 Devis estimatif total des panneaux solaires.....	- 62 -

## Sommaire

---

IV.6.2 Devis estimatif total des batteries.....	- 62 -
IV.6.3 Devis estimatif total des câbles électriques :	- 62 -
IV.6.4 Devis estimatif total de l'onduleur .....	- 63 -
IV.6.5 Devis estimatif des armoires électriques .....	- 63 -
IV.6.6 Devis estimatif total de l'installation photovoltaïque.....	- 63 -
III.6.7 Devis estimatif total de l'installation photovoltaïque en pourcentage .....	- 63 -
IV.7 Compte rendu de l'installation.....	- 64 -
IV.8 Conclusion :	- 65 -
<b>Conclusion générale</b> .....	- 65 -

# Listes des figures

## **Chapitre I :**

Figure I. 1: Siège de l'entreprise .....	- 2 -
Figure I. 2: Géo localisation de l'entreprise MSE .....	- 3 -
Figure I. 3: Onduleurs, régulateurs.....	- 3 -
Figure I. 4: Les lampadaires à énergie renouvelable .....	- 3 -
Figure I. 5: Les services de l'entreprise.....	- 4 -
Figure I. 6: Organigramme général de la société .....	- 6 -
Figure I. 7: Installation d'un système solaire d'une puissance 10KW et la pose d'un chauffe-eau solaire d'une capacité de 200L .....	- 8 -
Figure I. 8: Installation solaire photovoltaïque raccordée au réseau Sonelgaz + pompage.....	- 8 -

## **Chapitre II :**

Figure II. 1: Le soleil.....	- 9 -	
Figure II. 2: Alexandre Becquerel	Figure II. 3: Première cellule PV en silicium 1954 .....	- 10 -
Figure II. 4: Structure basique cellule photovoltaïque .....	- 11 -	
Figure II. 5: Silicium monocristallin .....	- 12 -	
Figure II. 6: Silicium poly cristallin .....	- 13 -	
Figure II. 7: Silicium Amorphe .....	- 14 -	
Figure II. 8: Structure d'un système PV autonome .....	- 15 -	
Figure II. 9: Exemple d'un système hybride PV-éolien .....	- 16 -	
Figure II. 10: schéma d'une installation PV connectée au réseau .....	- 16 -	
Figure II. 11: Association des panneaux en série .....	- 18 -	
Figure II. 12: Association des panneaux en série .....	- 18 -	
Figure II. 13: Association des panneaux en série/parallèle .....	- 19 -	
Figure II. 14: Association des panneaux en série/parallèle .....	- 21 -	
Figure II. 15: Recharge et décharge d'une batterie au plomb .....	- 22 -	
Figure II. 16: Schéma de principe d'un hacheur : (a) abaisseur, (b) élévateur.....	- 23 -	
Figure II. 17: Symbole de l'onduleur .....	- 24 -	
Figure II. 18: Symbole du régulateur .....	- 25 -	

## **Chapitre III :**

Figure III. 1: Architecture de système photovoltaïque à étudier .....	- 27 -
Figure III. 2: Modèle d'une cellule photovoltaïque idéale .....	- 30 -
Figure III. 3: Schéma électrique équivalent du modèle à une diode .....	- 30 -
Figure III. 4: Schéma power sous Matlab/Simulink du panneau utilisé.....	- 32 -
Figure III. 5: Schéma bloc du modèle PV 330W .....	- 33 -
Figure III. 6: Caractéristique $P_{pv}=f(V_{pv})$ .....	- 33 -
Figure III. 7: Caractéristique $I_{pv}=f(V_{pv})$ .....	- 34 -
Figure III. 8: Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique de puissance.....	- 34 -
Figure III. 9: Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique de courant .....	- 35 -
Figure III. 10: Influence de la température sur la caractéristique $P_{pv}$ .....	- 35 -
Figure III. 11: Influence de la température sur la caractéristique $I_{pv}$ .....	- 36 -
Figure III. 12: Caractéristique courant tension de $N_s$ panneaux en série .....	- 36 -
Figure III. 13: Caractéristique courant tension de $N_p$ panneaux en parallèle .....	- 37 -
Figure III. 14: Circuit électrique d'un hacheur survolteur.....	- 37 -
Figure III. 15: Schéma bloc du panneau PV 330W avec la méthode P&O.....	- 39 -
Figure III. 16: Organigramme de la méthode MPPT .....	- 40 -
Figure III. 17: Influence de l'ensoleillement sur le panneau avec MPPT .....	- 41 -

## Listes des figures

---

Figure III. 18: Influence de la température sur le panneau avec MPPT .....	- 42 -
Figure III. 19: Allure de puissance .....	- 42 -
Figure III. 20: Schéma équivalent de la batterie.....	- 43 -

# Liste des tableaux

---

## **Chapitre III :**

Tableau III. 1: Caractéristique du panneau utilisé.....	- 32 -
Tableau III. 2: Paramètres du panneau utilisé .....	- 32 -

## **Chapitre IV :**

Tableau IV. 1: consommation de la journée.....	- 47 -
Tableau IV. 2: Les caractéristiques du système PV .....	- 49 -
Tableau IV. 3: Fiche technique d'un panneau PV 330Wc .....	- 50 -
Tableau IV. 4 : Fiche technique d'un onduleur 3000W .....	- 58 -
Tableau IV. 5: Devis estimatif des panneaux .....	- 62 -
Tableau IV. 6: Devis estimatif des panneaux .....	- 62 -
Tableau IV. 7: Devis estimatif total des câbles .....	- 62 -
Tableau IV. 8: Devis estimatif total de l'onduleur.....	- 63 -
Tableau IV. 9: Devis estimatif de l'armoire électrique .....	- 63 -
Tableau IV. 10: Devis estimatif total de l'installation photovoltaïque.....	- 63 -
Tableau IV. 11: Devis estimatif de l'installation photovoltaïque.....	- 64 -

# Symboles et abréviations

---

## Liste des symboles et abréviations

**A** : Coefficient d'idéalité de la diode

**B** : Coefficient qui vaut 1 en triphasé et 2 en monophasé

**B<sub>j</sub>** = Besoin journalier

**C** : La capacité

**C<sub>batt</sub>** : La capacité des batteries [Ah].

**C<sub>batt,u</sub>** : La capacité unitaire des batteries [Ah].

**DC/DC** : Convertisseur continu-continu

**DC/AC** : Convertisseur continu-alternatif

**E** : La consommation globale du système.

**E<sub>i</sub>** : L'énergie journalière consommée d'un équipement (Wh/j).

**E<sub>ref</sub>** : Ensoleillement de référence (W/m<sup>2</sup>)

**E<sub>s</sub>** : Ensoleillement

**FF** : Facteur de forme

**G** : Source de courant parfaite

**I<sub>cal</sub>** : Le courant calculé

**I<sub>cc</sub>** : Courant de court-circuit (A)

**I<sub>ch</sub>** : Le courant de charge

**I<sub>d</sub>** : Courant de la diode (A)

**I<sub>sh</sub>** : Courant shunt

**I<sub>s</sub>** : Courant de saturation de la diode (A)

**I<sub>n</sub>, I<sub>p</sub>** : Respectivement, Longueurs de diffusion des électrons et trous

**I<sub>ph</sub>** : Courant photon

**I<sub>ppm</sub>** : Courant au point de puissance maximale (A)

**I<sub>max,ond</sub>** : Courant maximal de l'onduleur.

**I<sub>ppm,pv</sub>** : Le courant à puissance maximal d'un panneau.

**J<sub>au</sub>** : Le nombre de jour d'autonomie.

**K** : Constante de Boltzmann (K= 1.38.10<sup>-23</sup> J/K)

**K<sub>t</sub>** : Rendement de la batterie.

## Symboles et abréviations

---

**L** : Longueur de la canalisation

**L** : L'inductance

**MPPT** : Maximum Power Point Tracking

**n** : Rendement de conversion

**N** : Jonction en phosphore

**N<sub>batt</sub>** : Nombre de batteries.

**N<sub>e</sub>** : Nombre d'heure équivalent

**N<sub>oct</sub>** : La température nominale de fonctionnement de la cellule solaire (°C)

**N<sub>s</sub>** : Nombre de modules n série.

**N<sub>p</sub>** : Nombre de modules en parallèle

**N<sub>p<sub>v</sub></sub>** : Nombre de panneaux photovoltaïques

**N<sub>p<sub>v</sub>,s,min</sub>** : Nombre de panneaux minimal en série.

**N<sub>p<sub>v</sub>,s,max</sub>** : Nombre de panneaux maximal en série.

**P1, P2, P3, P4** : Paramètres constants

**P** : Jonction en bore

**P-N** : Jonction de la cellule.

**PbO2** : Dioxyde de plomb

**Pb** : Plomb

**P<sub>p<sub>v</sub></sub>** : Puissance photovoltaïque

**P<sub>p<sub>v</sub>,tot</sub>** : Puissance crête du champ PV.

**P<sub>p<sub>v</sub>,u</sub>** : Puissance d'un panneau PV [ $W_c$ ]

**P<sub>c</sub>** : Puissance crête ( $W_c$ )

**PO** : Méthode de perturbation et observation

**POD** : La profondeur de décharge des batteries.

**P<sub>max</sub>** : Puissance au point maximum ( W)

**P<sub>i</sub>** : La puissance de cet équipement.

**P<sub>in</sub>** : La puissance du flux lumineux incident

**P<sub>max</sub>** : Puissance au point maximum (W)

## Symboles et abréviations

---

$P_{c,tot}$  : Puissance crête totale des panneaux photovoltaïques.

$P_{ond}$  : Puissance de l'onduleur.

$q$  : Charge de l'électron ( $q=1.602.10^{-19}C$ )

$\rho$  : Résistivité du matériau conducteur en service normal.

$R_s$  : Résistance série.

$R_{sh}$  : Résistance shunt

$S$  : Section des conducteurs

**STC** : Les conditions standards

$T$  : Température.

$T_a$  : Température ambiante ( $^{\circ}C$ )

$T_j$  : Température de la jonction

$T_{ref}$  : Température de référence

$\Delta t$  : La durée d'utilisation de chacun.

$U_{batt}$  : La tension nominale des batteries [V]

$V_{co}$  : Tension en court ouvert (V)

$V_{ch}$  : La tension de charge

$V_{th}$  : Tension thermique (V)

$V_{co,max,ond}$ : Tension minimal à circuit ouvert de l'onduleur.

$V_{ppm,pv}$ : Tension à puissance maximale du panneau.

$V_{co,max,ond}$ : Tension maximale en circuit ouvert de l'onduleur.

$V_{ppm}$ : Tension au point de puissance maximale (V)

$\Phi$  : La latitude

$\Lambda$  : La longitude

$\mathcal{E}$  : Chute de tension

$\cos\varphi$  : Facteur de puissance

# INTRODUCTION GENERALE

# Introduction Générale

---

## Introduction générale

Le besoin énergétique en toutes ses formes a augmenté, et cela est confronté à plusieurs obstacles comme les énergies fossiles qui se font de plus en plus rares à cause de leur épuisement, ainsi que les problèmes climatiques causés par le gaz à effet de serre. Ce qui a conduit le monde à se tourner vers les énergies propres en raison de leurs natures renouvelables dans le but de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et subvenir aux besoins de l'énergie. [2]

L'utilisation croissante des énergies renouvelables telles que l'énergie photovoltaïque au niveau des habitations ne cessent de se développer permettant ainsi une indépendance partielle vis-à-vis des réseaux électriques. [1]

Dans notre travail, nous allons faire l'étude, le dimensionnement ainsi la modélisation d'un système photovoltaïque isolé pour électrifier une école primaire située à Sedrata, Souk-Ahras.

Le premier chapitre sera consacré pour la présentation de l'entreprise d'accueil Mounir Solar Energy.

Le deuxième chapitre, nous allons présenter les généralités nécessaires sur l'énergie solaire, plus précisément l'énergie photovoltaïque ainsi sa composition, ses différents systèmes et enfin les avantages et les inconvénients de cette énergie.

Le troisième chapitre comporte la modélisation de notre installation puis une simulation sous Matlab/Simulink de l'ensemble des éléments principaux de ce système.

Le dernier chapitre dédié à l'étude et dimensionnement du système photovoltaïque autonome et la réalisation pratique de notre projet.

Nous clôturons notre mémoire par une conclusion générale.

# **Chapitre I :**

## **Présentation de l'entreprise d'accueil**

# Chapitre I : Présentation de l'entreprise d'accueil

---

## I.1 Introduction

Dans nos jours, il est devenu évident à l'échelle mondiale que les énergies renouvelables sont primordiales pour l'avenir de notre planète. C'est pourquoi le gouvernement algérien a alloué une somme considérable pour investir dans ce potentiel d'énergies renouvelables.

On consacre ce chapitre à la présentation de l'entreprise d'accueil **Mounir Solar Energy MSE** [3].

## I.2 Présentation de l'entreprise Mounir Solar Energy

Depuis 2018, Mounir Solar Energy est spécialisée dans les énergies renouvelables, en particulier dans le domaine de l'énergie solaire. Cette entreprise répond aux demandes des collectivités et des investisseurs privés en matière d'éclairage public à basse consommation, d'éclairage solaire et de solutions pour l'habitat autonome partiellement ou totalement. Elle propose des services complets, incluant l'étude, la fourniture et la maintenance d'équipements d'énergie industrielle. De plus, MSE dispose d'un point de vente pour équipements d'énergie solaire, la figure I.1 représente le siège de l'entreprise :



**Figure I. 1:** Siège de l'entreprise

### I.2.1 Localisation de l'entreprise

Mounir Solar Energy se trouve dans le quartier de la gare, RN26 à proximité de la protection civile de Sidi Aiche dans la Wilaya de Bejaïa, la figure I.2 représente la géolocalisation de l'entreprise :

# Chapitre I : Présentation de l'entreprise d'accueil



**Figure I. 2:** Géolocalisation de l'entreprise MSE

## I.2.2 Magasin de l'entreprise

Au niveau de son siège, l'entreprise MSE possède un magasin dédié à la commercialisation de matériel d'installation pour les systèmes d'énergies renouvelables, les figures I.3 et I.4 représentent le matériel disponible au magasin :



**Figure I. 3:** Onduleurs, régulateurs



**Figure I. 4:** Les lampadaires à énergie renouvelable

# Chapitre I : Présentation de l'entreprise d'accueil

## I.3 Principaux services de l'entreprise

- Consulting, étude et dimensionnement technique.
- Conseil et orientation des sociétés nationales et internationales dans le domaine de l'industrie et l'énergie solaire.
- Conseil, assistance, évaluation et préparations de programme de formation.
- Evaluation du cout de projet selon vos besoins en matière d'énergie solaire.
- Fourniture, installation et maintenance des panneaux solaires.
- Fourniture, installation et maintenance des chauffe eaux solaires.
- Fourniture, installation et maintenance du système de pompage solaire.
- Installation des réseaux électriques.
- Suivi du projet durant toute la période de la garantie.

La figure I.5 représente les différents services de l'entreprise :



Figure I. 5: Les services de l'entreprise

## I.4 Valeurs de l'entreprise

Les collaborateurs sont constamment impliqués dans l'approche qualité de l'entreprise grâce à des réunions de sensibilisation, des formations et une prise de conscience de leur rôle au quotidien. Cela a permis de renforcer les compétences de l'équipe de travail.

L'équipe de travail possède les compétences et l'autonomie nécessaires pour prendre des décisions urgentes sur les chantiers, ce qui lui permet d'être réactive et de respecter les délais.

## **Chapitre I : Présentation de l'entreprise d'accueil**

---

La qualification, la proximité et la disponibilité des équipes sont des garanties pour les clients quant à la qualité du service fourni.

### **I.5 Innovation technologique**

L'entreprise est confrontée au défi de fournir à leurs clients les solutions les plus performantes en matière d'économies d'énergie, de confort et de respect de l'environnement. Le bureau d'études renforce son expertise en accueillant régulièrement des jeunes stagiaires, qui apportent des idées novatrices. Ces derniers sont souvent recrutés par l'entreprise à l'issue de leur stage.

L'entreprise a développé une véritable expertise dans le domaine du solaire et aussi dans la réalisation des installations très économes en énergie type géothermie grâce à la réalisation ces dernières années de marchés publics et privés...

### **I.6 Innovation organisationnelle**

L'expérience de réalisation de chantiers a permis à l'entreprise de développer un mode opératoire d'organisation.

Elle assure un suivi minutieux et une traçabilité rigoureuse du chantier, en respectant les délais et les exigences des clients.

Pour chaque phase de chantier, le rôle de chacun est défini, la bonne exécution des travaux est assurée par une information organisée rendue possible grâce à l'établissement de rapports listés dans le mode opératoire.

# Chapitre I : Présentation de l'entreprise d'accueil

## I.7 Organigramme général de la société

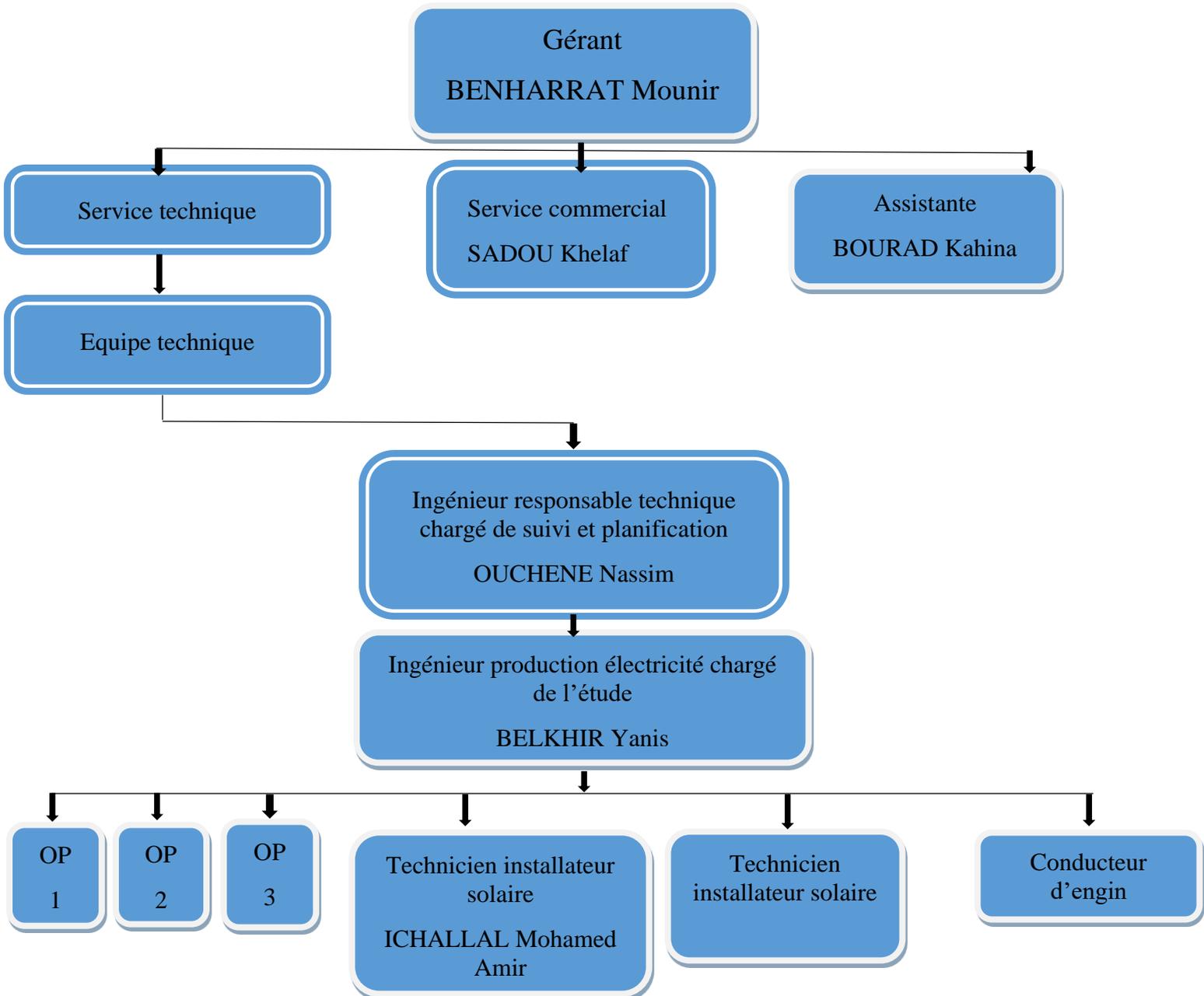


Figure I. 6: Organigramme général de la société

### I.7.1 Moyens humains affectés au chantier

L'entreprise dispose d'une équipe capable de faire preuve d'autonomie et d'initiative pour la Réalisation de prestations demandées dans le cadre du marché.

- Suivi de travaux.
- Chef de chantier.
- Etude et planification.
- Ouvriers professionnels.

# Chapitre I : Présentation de l'entreprise d'accueil

---

## I.7.2 Moyens utilisés

- 02 Camions attirés au transport du matériel et de l'approvisionnement des fournitures.
- Véhicule touristique pour le déplacement éventuel d'un technicien pour une intervention d'urgence.
- 02 Engins.

## I.8 Dispositions arrêtées par l'entreprise

### ✓ Indication sur le programme d'exécution

- Visite du chantier pour finaliser l'étude technique.
- Apprivoisement et transport des équipements et fournitures nécessaires.
- Sécuriser le milieu de chantier (mettre des panneaux de signalisation, prendre les mesures de sécurité et protection humaine et matérielle).
- Installation du système solaire
- Câblages électriques et raccordements.
- La remise en état des lieux après travaux.
- Mise en marche du système solaire.

## I.9 Projets réalisés

L'entreprise Mounir Solar Energy active à travers le territoire national, depuis sa création à ce jour elle a exploité environs 550KW d'électricité et elle a procédé à la réalisation de plusieurs projets, nous pouvons citer à titre d'exemple, l'installation de Batna et celle de Fenaia qui est représenté dans les figures I.7 et I.8 :

## Chapitre I : Présentation de l'entreprise d'accueil

---



**Figure I. 7:** Installation d'un système solaire d'une puissance 10KW et la pose d'un chauffe-eau solaire d'une capacité de 200L



**Figure I. 8:** Installation solaire photovoltaïque raccordée au réseau Sonelgaz + pompage

### I.10 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté l'organisme d'accueil qui est l'entreprise MSE, en présentant l'organigramme général, les moyens humains et les équipements. Enfin, on a cité les dispositions arrêtées par l'entreprise pour garantir la qualité des prestations à réaliser et le respect des délais d'exécutions.

Le prochain chapitre sera consacré aux généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque.

# **Chapitre II :**

Généralités sur l'énergie  
solaire photovoltaïque

# Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

---

## II.1 Introduction

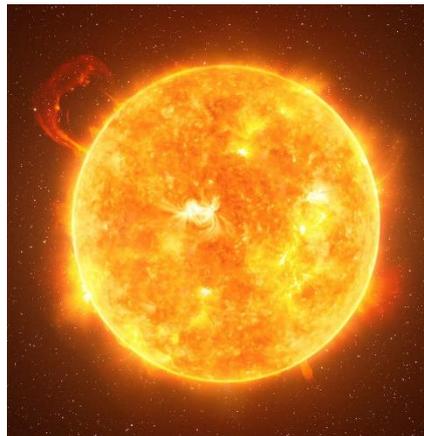
Les énergies renouvelables présentent un ensemble de moyens pour produire l'énergie à partir de sources ou de ressources théoriquement illimitées, disponibles sans limite de temps. On parle généralement des énergies renouvelables par opposition aux énergies tirées des combustibles fossiles dont les stocks sont limités et non renouvelables à l'échelle du temps humain : charbon, pétrole, gaz naturel... Au contraire, les énergies renouvelables sont produites à partir de sources comme les rayons du soleil, l'eau, la biomasse, la géothermie ou le vent, qui sont théoriquement illimitées à l'échelle humaine.

Les énergies renouvelables sont aussi appelées « les énergies vertes » ou « les énergies propres » car elles réduisent l'émission de CO<sub>2</sub>, elles génèrent peu de déchets en plus elles sont un facteur positive très important pour développer certains territoires et le développement local [4].

On consacre ce chapitre pour l'étude d'un système solaire photovoltaïque en expliquant sa composition, les différents systèmes existés ainsi les avantages et les inconvénients de cette énergie.

## II.2 Energie solaire

L'énergie solaire est provoquée par une fusion nucléaire qui se produit au cœur du soleil, elle est diffusée dans le système solaire et dans l'univers sous forme de photons par des rayonnements électromagnétiques contenant tout le spectre lumineux, visible et invisible à l'œil humain [5].



**Figure II. 1:** Le soleil

## Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

### II.2.1 Energie solaire thermique

Elle consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité [6].

### II.2.2 Energie solaire photovoltaïque

Elle consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires photovoltaïque. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon [6].

### II.3 Historique sur l'effet photovoltaïque

Le terme « photovoltaïque » vient de grec « photo » qui signifie lumière et de « voltaïque » qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro Volta [7].

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre aux matériaux semi-conducteurs qui génèrent de l'électricité en étant exposés à la lumière a été découvert par le physicien français Alexandre Edmond Becquerel en 1839 [8].



Figure II. 2: Alexandre Becquerel



Figure II. 3: Première cellule PV en silicium 1954

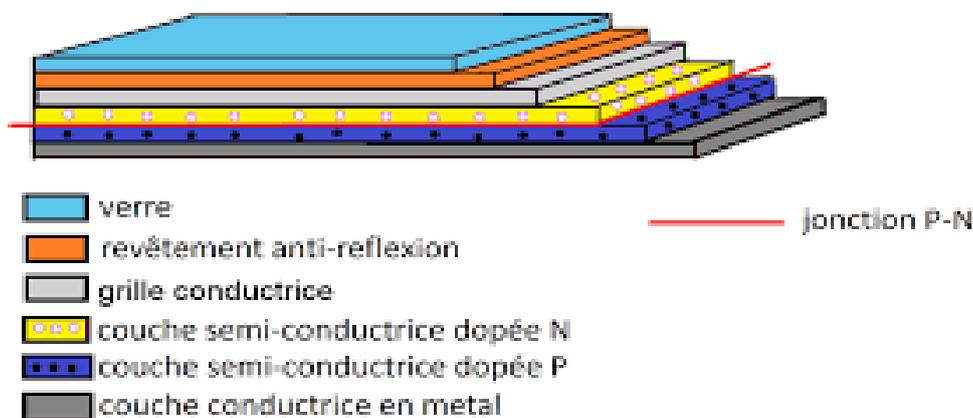
## Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

### II.4 Cellule photovoltaïque

Les cellules solaires, également appelée photopiles le plus petit élément d'une installation photovoltaïque, est un dispositif qui convertit la lumière du soleil en électricité utilisable. Elles sont généralement fabriquées à partir de silicium, un matériau semi-conducteur qui est capable de produire un courant électrique lorsqu'il est exposé à la lumière.

Les cellules solaires sont constituées :

- ✓ D'une fine couche semi-conductrice (matériau possède une bande interdite, qui joue le rôle de la barrière d'énergie que les électrons ne peuvent franchir sans une excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électroniques) tel que le silicium, qui est un matériau présentant une conductivité électrique relativement bonne.
- ✓ D'une couche antireflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires.
- ✓ D'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode.
- ✓ Les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multicouches réfléchissants justes en dessous du semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement [9].



**Figure II. 4:** Structure basique cellule photovoltaïque

#### II.4.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est réalisée à partir de deux couches de silicium, l'une est dopée en phosphore (N), chargée négativement, l'autre en bore (P), chargée positivement, créant une jonction P-N avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, c'est-à-dire elles transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction (P-N), de tel sorte qu'elles libèrent des charges électriques de signes opposés en créant une

## Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

---

différence de potentiel, qu'on peut la mesurer entre la connexion des bornes positives et négatives de la cellule [10].

### II.4.2 Types de cellules photovoltaïques

Il existe plusieurs types de cellules ayant des caractéristiques diverses et variées, appropriées à une fonction ciblée, et chaque type de cellules à un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible [11].

Les cellules solaires peuvent être réparties en trois groupes, selon le matériau de base utilisé :

#### ➤ Cellules monocristallines

Les cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération. Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal. Elles ont un bon rendement, mais la méthode de production est laborieuse.

- Rendement électrique des panneaux : 15% STC.
- Puissance des panneaux : 5 à 150Wc.
- Gamme d'éclairement : 100 à 1000 W /m<sup>2</sup>
- Usage : tous usages en extérieur de forte et moyenne puissance (télécoms, balisage, relais, habitat...) [12].

#### ➤ Avantages

- Très bon rendement avec un bon éclairement.

#### ➤ Inconvénients

- Coût élevé, Rendement faible sous un faible éclairement.

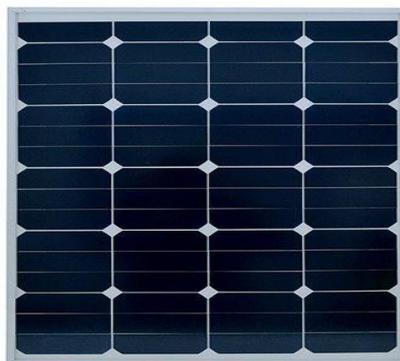


Figure II. 5: Silicium monocristallin

## Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

---

### ➤ Cellules poly cristallines

Les cellules poly cristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Ce genre de cellule est bleu, mais n'est pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux [13].

- Rendement électrique des panneaux : 12-14% STC.
- Puissance des panneaux : 5a 150 WC.
- Gamme d'éclairement : 200 a 1000W /m<sup>2</sup>.
- Usage : id. silicium cristallin [12].

### ➤ Avantages

- Bon rendement 13%, mais cependant moins bon que le monocristallin.
- Sensibilité accrue aux rayonnements directs.
- Moins cher que le monocristallin.

### ➤ Inconvénients

- Forte sensibilité à la température.
- Rendement faible sous un faible éclairement.



**Figure II. 6:** Silicium poly cristallin

### ➤ Cellules amorphes

Ces cellules sont composées d'un support en verre ou en matière synthétique sur lequel est disposée une fine couche de silicium. Elles sont appliquées dans les petits produits de consommation (montres, calculatrices) mais sont peu utilisées dans le cadre des installations solaires [14].

- Rendement électrique des panneaux : 5-7% STC (jusqu'à 9% pour la « multi-jonction »).
- Puissance des photopiles intérieures : 0 à 1 Wc.

## Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

---

- Puissance des panneaux extérieurs : 0,5 à 60Wc.
  - Gamme d'éclairement : 20 lux (en intérieur) à 1000W /m<sup>2</sup> (en extérieur).
  - Usage : électronique professionnelle et grand public (montres, calculettes...), électronique de faible consommation en extérieur, baies vitrées semi-transparentes [12].
- **Avantages**
- Fonctionnent avec un éclairage faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment).
  - Moins chères que les autres
  - Non toxique comparé à certains semi-conducteurs
- **Inconvénients**
- Rendement faible en plein soleil (environ 6%).
  - Performances qui diminuent sensiblement avec le temps.



**Figure II. 7:** Silicium Amorphe

### II.4.3 Rendement des cellules PV

Le rendement  $\eta$ , des cellules PV désignent le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée sous la cellule et la puissance lumineuse incidente.

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant circuit et la tension à circuit ouvert [14].

## Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

### II.5 Systèmes photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques sont classés en trois différents types : autonomes, hybrides et reliés au réseau.

Le type choisit dépendra principalement des besoins, de l'emplacement et de budget.

#### II.5.1 Systèmes autonomes

Les systèmes autonomes sont indépendants des autres sources d'énergie. Ils ont pour but d'alimenter les maisons, les chalets ou les régions isolées et éloignées des villes, ainsi qu'à de multiples applications le pompage de l'eau. Et ces systèmes peuvent être installé avec ou sans stockage électrochimique [15].

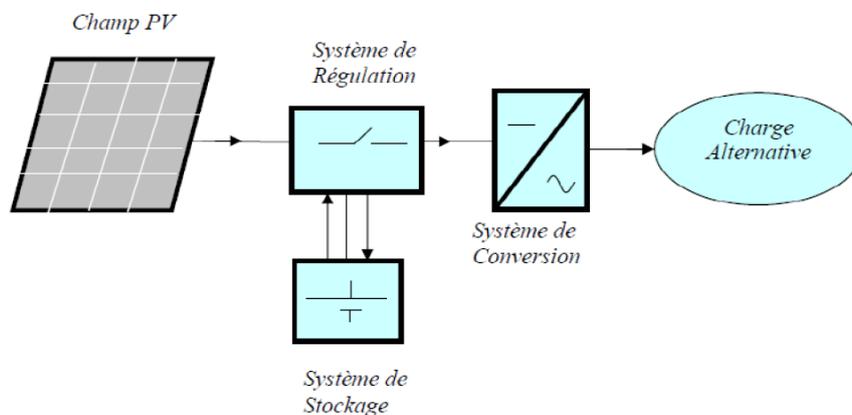


Figure II. 8: Structure d'un système PV autonome

##### II.5.1.1 Systèmes autonomes sans stockage

Dans ce cas, l'appareil alimenté n'est en marche qu'en présence d'une puissance photovoltaïque générée suffisante pour son démarrage. C'est utilisé pour toutes les applications qui n'ont pas besoin de fonctionner pendant l'absence de l'éclairage solaire. Le pompage photovoltaïque est un exemple de cette catégorie de systèmes autonome [16].

##### II.5.1.2 Systèmes autonomes avec stockage électrochimique

C'est les systèmes les plus courants de leur catégorie, ils comportent des batteries qui stockent l'énergie électrique produite par le générateur photovoltaïque durant la journée afin d'assurer le fonctionnement nocturne ou durant un nombre de jours sans ensoleillement des appareils électriques utilisés [16].

## Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

### II.5.2 Systèmes photovoltaïques hybrides (multi source)

On parle d'un système hybride de production de l'énergie, c'est lorsqu'on combine plusieurs sources d'énergie [16]. Les systèmes photovoltaïques hybrides intègrent un générateur photovoltaïque et un autre générateur : éolienne, groupe électrogène... et même parfois le réseau public d'électricité [9].

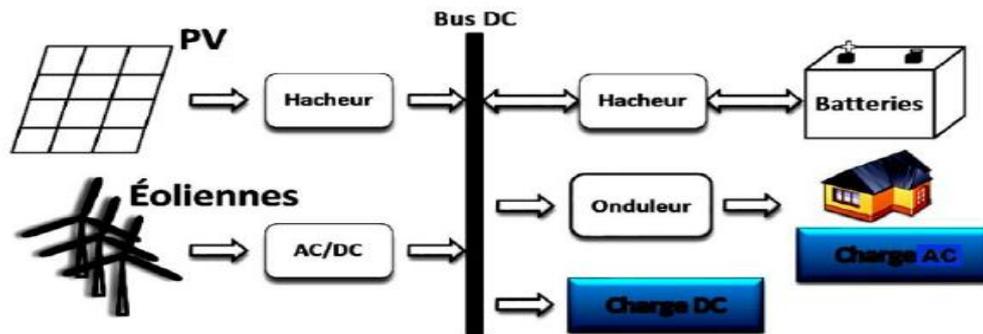


Figure II. 9: Exemple d'un système hybride PV-éolien

### II.5.3 Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau

Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau électrique public. Généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement [15].

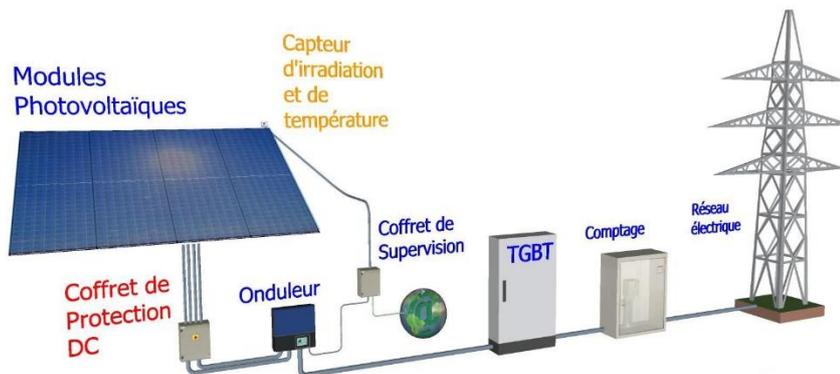


Figure II. 10: schéma d'une installation PV connectée au réseau

### II.5.4 Différentes applications des systèmes photovoltaïques

- L'éclairage (autoroutes, arrêts d'autobus...).
- Les communications (Stations de relais de téléphone, bornes d'appel d'urgences sur Autoroutes, téléphones mobiles, ...).

## **Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque**

---

- La fourniture d'électricité pour des sites éloignés du réseau normal (forêts, montagnes...).
- Capteurs isolés (infos météorologique, enregistrements sismiques, recherche scientifique).
- Chargement des batteries de voitures (les batteries normales, ou de voitures électriques,).
- Pour de petites stations de pompage ou d'irrigation [16].

### **II.6 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque**

L'énergie photovoltaïque est une source d'énergie renouvelable qui est produite à partir de la conversion directe de la lumière du soleil en électricité. Elle présente des avantages et des inconvénients qui sont les suivants [17].

#### **II.6.1 Avantages**

- Renouvelable et propre
- Durabilité
- Réduction de la dépendance énergétique

#### **II.6.2 Inconvénients**

- Coûts initiaux élevés
- Dépendance aux conditions météorologiques
- Impact environnemental des matériaux

### **II.7 Eléments d'un système PV autonome avec stockage électrochimiques**

#### **II.7.1 Générateur photovoltaïque**

C'est un système qui assure la fourniture de l'électricité par un ensemble de panneaux photovoltaïques.

##### **II.7.1.1 Association des panneaux photovoltaïques**

Dans certains systèmes photovoltaïques, on a besoin de plusieurs modules pour satisfaire les besoins en énergie, et ces derniers sont reliés les uns avec les autres. On a deux façons de les brancher : en série ou en parallèle [18].

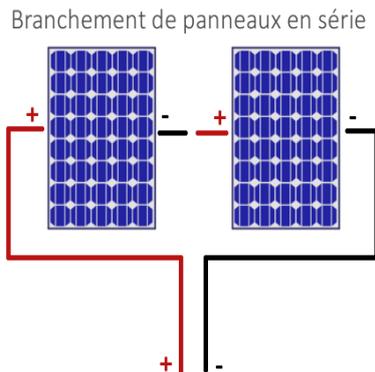
## Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

- **Association en série**

L'association en série consiste à connecter les panneaux les uns après les autres, de sorte que la tension s'additionne tandis que l'intensité reste la même.

**Exemple :** Si l'on a besoin d'une tension de 48 volts pour alimenter un onduleur, on peut connecter 4 panneaux de 12 volts en série pour obtenir cette tension.

Cependant, il est important de noter que l'association en série peut entraîner des pertes de puissance si un des panneaux ne fonctionne pas correctement [14] [17].



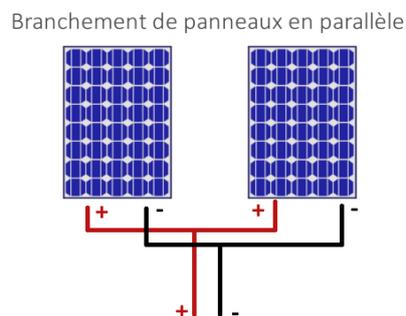
**Figure II. 11:** Association des panneaux en série

- **Association en parallèle**

L'association en parallèle, quant à elle, consiste à connecter les panneaux côte à côte, de sorte que l'intensité s'additionne tandis que la tension reste la même [14] [17].

**Exemple :** Si l'on a besoin d'une intensité élevée pour alimenter un moteur, on peut connecter plusieurs panneaux en parallèle pour augmenter l'intensité.

Cependant il est important de noter que l'association en parallèle peut entraîner des pertes de tension si les panneaux ont des caractéristiques différentes.



**Figure II. 12:** Association des panneaux en série

## Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

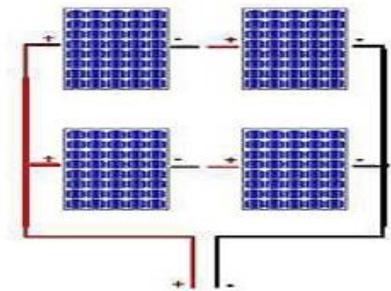
- **Association série- parallèle**

C'est une combinaison de l'association en série et en parallèle. Elle consiste à connecter plusieurs chaînes de panneaux en série, puis à connecter ces chaînes en parallèle les unes avec les autres.

Cette configuration permet de combiner les avantages de l'association en série et en parallèle, en augmentant à la fois la tension et l'intensité [14] [17].

**Exemple :** Si on a besoin d'une tension de 48 volts et d'une intensité de 20 ampères, on pourrait connecter 2 chaînes de 4 panneaux en série, puis connecter ces chaînes en parallèle. Chaque chaîne produirait une tension de 48 volts, et la connexion en parallèle doublerait l'intensité totale à 20 ampères.

Cependant, il est important de noter que cette configuration peut être plus complexe à installer et à dimensionner que l'association en série ou en parallèle seul. Il est important de s'assurer que chaque chaîne équilibrée et que chaque panneau est installé dans un endroit ensoleillé et fonctionne correctement pour maximiser la production d'énergie.



**Figure II. 13:** Association des panneaux en série/parallèle

### II.7.1.2 Choix de l'inclinaison des panneaux photovoltaïques

Les panneaux photovoltaïques sont souvent installés avec une inclinaison pour maximiser leur production d'énergie solaire. Cette inclinaison dépend de plusieurs facteurs, tels que la latitude du lieu d'installation, l'orientation du panneau par rapport au sud, la saison et l'angle optimal pour la production d'énergie maximale.

En général, l'angle optimal d'inclinaison pour les panneaux photovoltaïques se situe entre 20 et 40 degrés, selon la latitude. Pour les régions les plus proches de l'équateur, une inclinaison plus faible peut être utilisée.

Il est important de noter que l'angle d'inclinaison optimal peut varier en fonction de l'objectif de la production d'énergie solaire [14][17].

## Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

---

**Exemple :** Si l'objectif est de maximiser la production d'énergie solaire pendant les mois d'été, une inclinaison plus faible peut être utilisée pour maximiser l'exposition au soleil pendant cette période de l'année.

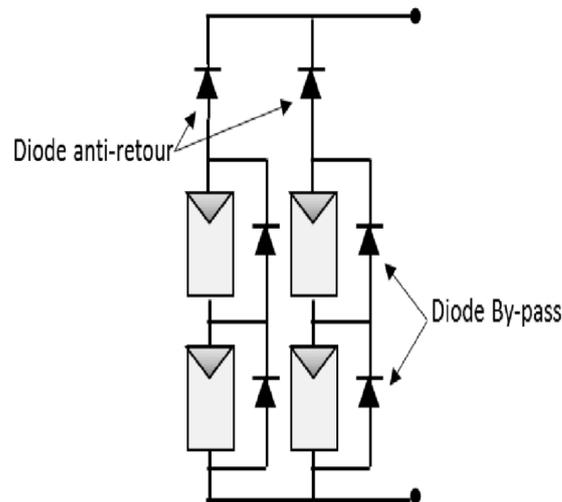
En fin de compte, l'angle d'inclinaison optimal des panneaux photovoltaïques dépend de nombreux facteurs, et il est important de consulter des professionnels de l'énergie solaire pour déterminer l'angle d'inclinaison le plus approprié pour notre installation [14].

### II.7.1.3 Protection des panneaux

La protection du panneau photovoltaïque est importante pour assurer l'efficacité du système. Les diodes anti-retours et les diodes by-pass sont deux types de diodes de protection utilisées dans les systèmes photovoltaïques pour éviter les pertes de rendement et les dommages causés par les surtensions [14].

- **Diodes anti-retour :** Sont également appelées diodes de blocage ou de protection inverse. Elles sont utilisées pour empêcher le courant de circuler dans la mauvaise direction à travers les cellules photovoltaïques lorsqu'elles sont ombragées ou partiellement masquées. Elles sont généralement intégrées dans chaque cellule photovoltaïque pour éviter que les cellules ne se dégradent et ne produisent des points chauds qui pourraient endommager le système [19].
- **Diodes by-pass :** En revanche, elles sont utilisées pour contourner les cellules photovoltaïques défectueuses ou ombragées afin que le courant puisse continuer à circuler à travers les autres cellules sans interruption.

Elles sont généralement installées en parallèle avec chaque groupe de cellules photovoltaïque pour éviter les pertes de rendement et les dommages causés par les surtensions [19].



**Figure II. 14:** Association des panneaux en série/parallèle

### II.7.2 Système de stockage

Le rôle principal du stockage dans les installations photovoltaïques autonomes est la fourniture de l'électricité à tout moment, le stockage est assuré par les batteries [18].

#### II.7.2.1 Batterie

Les batteries sont un ensemble de cellules électrochimiques (accumulateurs) connectées en série qui convertissent l'énergie chimique en énergie électrique. Les batteries se composent de deux électrodes (positif et négatif) [18] [20][21].

- **A la charge :** L'énergie électrique fournie par le générateur est stockée dans les cellules sous forme d'énergie chimique.
- **A la décharge :** L'énergie stockée est convertie en énergie électrique lorsque la batterie est reliée à un circuit comportant une charge.

Les batteries les plus utilisées pour les générateurs autonomes sont en général de type au plomb-acide et nickel-cadmium.

**a) Batterie au Plomb :** Elles sont les plus utilisées dans les systèmes autonomes, elles sont constituées de deux électrodes ( $PbO_2$  positif et Pb négatif). La durée de vie de ces batteries varie entre 10 à 15 ans.

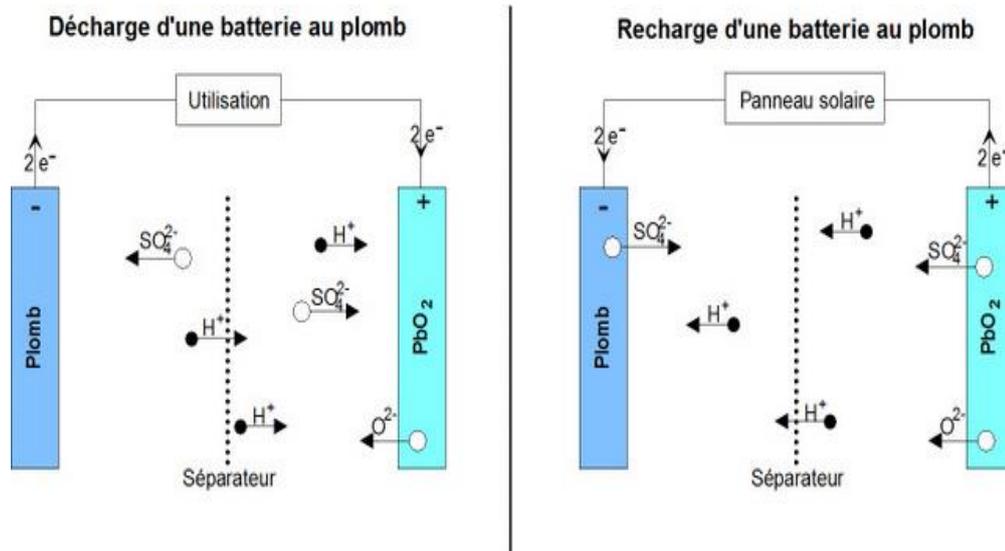


Figure II. 15: Recharge et décharge d'une batterie au plomb

b) **Batterie au Nickel** : Elles sont utilisées dans des applications qui ont une faible puissance, elles sont caractérisées par une durée qui s'élève jusqu'à 20 ans.

### II.5.1.1 Caractéristiques principales d'une batterie

- **La capacité** : Elle est la quantité d'énergie que l'on peut stocker et que l'on peut restituer, elle est exprimée en Ampère-heure Ah.
- **La durée de vie** : Quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année.
- **Rapport de chargement et déchargement** : Si la batterie est chargée ou déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité peut augmenter ou diminuer.
- **La tension de l'utilisation** : La tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.
- **Le rendement** : Il est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.
- **Le taux d'autodécharge** : Elle est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos pendant un temps donné.
- **La charge** : Pendant la charge, l'accumulateur est un récepteur (environ 2.2V), enfin de charge on note un croisement rapide de la tension, les plaques complètement polarisées, la fin de charge est atteinte à 2,6 V ou 2,7 V.
- **La décharge** : Durant une longue durée d'utilisation, la tension reste constante à 2V, à partir du point M, elle diminue à 1.8 V, il faut alors recharger l'accumulateur.

## Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

### II.7.2.2 Groupement des batteries

On peut augmenter la capacité du stockage avec la connexion en série ou / et en parallèle plusieurs batteries identiques et de même durée de vie [21].

- **Montage en série :** Il permet d'augmenter la tension du groupement des batteries sans modifier l'intensité.
- **Montage en parallèle :** Il permet d'augmenter la capacité du parc des batteries sans modifier la tension.

### II.7.3 Convertisseurs

#### II.7.3.1 Convertisseur DC/DC

Le convertisseur continu-continu (Hacheur), a pour fonction de fournir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe. La tension continue du départ peut être fournie à un réseau alternatif redressé et filtré. Une batterie d'accumulateurs assure une alimentation stabilisée. [22] On distingue trois types de convertisseurs continu-continu non isolés :

- Les abaisseurs (BUCK) dans lesquels  $V_o < V_i$
- Les éleveurs (BOOST) dans lesquels  $V_o > V_i$
- Abaisseur-élevateur (BUCK-BOOST), mélange entre les deux précédents qui

Comportent plusieurs topologies [23].

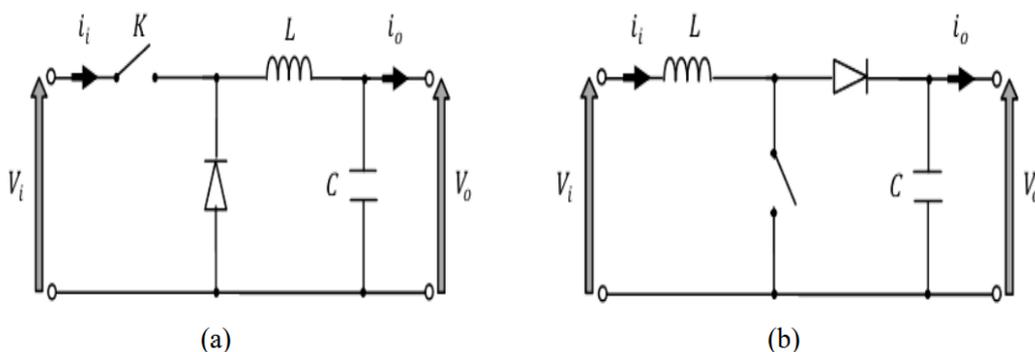
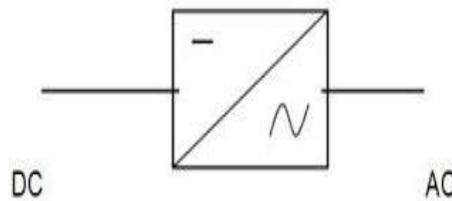


Figure II. 16: Schéma de principe d'un hacheur : (a) abaisseur, (b) éleveur

#### II.7.3.2 Convertisseur DC/AC

L'onduleur est un convertisseur d'électronique de puissance qui transforme la tension à courant continu issue des modules PV ou des batteries en tension à courant alternatif [24].



**Figure II. 17:** Symbole de l'onduleur

### II.7.3.2.1 Caractéristiques des onduleurs

- Puissance nominale.
- Consommation à vide ou en attente.
- Tension d'entrée ou de sortie.
- Rendement et la durée de vie.

### II.7.3.2.2 Différents onduleurs autonomes

- **Onduleurs à onde carrée :** C'est la technique la plus simple pour générer une onde alternative [20].
- **Onduleurs à onde sinusoïdale modifiée :** Elle est la mieux adaptée aux installations PV autonomes en termes d'efficacité et de rendement global [20].
- **Onduleurs à onde sinusoïdale :** Ils sont plus chers que les onduleurs précédents [20].

### II.7.3.2.3 Critères de choix de l'onduleur

Avant de choisir un onduleur il faut assurer que :

- L'onduleur peut démarrer le récepteur.
- Les variations de la tension de sortie sont acceptées par la charge.
- L'onduleur est protégé contre les surcharges coté AC et DC et contre la surchauffe.
- L'onduleur coupe les utilisations en cas de basse tension DC.
- La surcharge tolère la distorsion de l'onduleur.
- Son rendement est suffisant au point de fonctionnement de la charge [24].

### II.7.4 Régulateurs de charge

Le régulateur est un élément central dans l'installation photovoltaïque, il se place entre les panneaux et les batteries, son objectif est de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes pour lui assurer une meilleure durée de vie [25].

## Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

### Les différents types de régulateur à charge

- **Les régulateurs série :**

L'objectif de ce type est de contrôler la charge de la batterie pour déconnecter le générateur PV lorsque la tension de la batterie atteint un niveau prédéterminé [18].

- **Les régulateurs shunt :**

Montés en parallèle entre les panneaux et les batteries, il intervient en déviation sur la batterie à l'aide d'un interrupteur et dissipe l'énergie en chaleur, il contrôle la charge de la batterie en court-circuitant le générateur PV lorsque la batterie atteint sa pleine charge [22].

- **Les régulateurs PWM**

C'est un régulateur classique et piloté par un microprocesseur et il s'adapte automatiquement à la tension du système PV [22].

- **Les régulateurs MPPT**

Dit MPPT ou maximum power point tracking, il utilise un circuit spécial qui cherche le point de puissance maximal du générateur pour charger la batterie avec le plus grand courant possible [25].



Figure II. 18: Symbole du régulateur

### II.7.5 Charge alternative

La charge représente les différentes applications du système PV, allant du simple chargeur de batterie aux systèmes de pompage d'eau. Ainsi les principales applications sont : les utilisations domestiques (électrification), télécommunications, transports, activités maritimes appareillages de sécurité ... etc [25].

D'autres applications sont aussi importantes à savoir la fourniture de courant pour les stations radio et télévision et la production de l'hydrogène par électrolyse [27].

## **Chapitre II: Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque**

---

### **II.8 Conclusion**

Le but de ce chapitre en premier lieu, était d'introduire notre travail sur l'énergie photovoltaïque en général, en deuxième lieu nous avons abordé les différents systèmes PV ainsi les éléments constituant de l'installation photovoltaïque autonome avec leurs intérêts économiques et environnementaux.

Le prochain chapitre sera consacré à la modélisation et la simulation de ce système.

# **Chapitre III :**

**Modélisation et optimisation  
d'un système photovoltaïque  
autonome**

# Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome

## III.1 Introduction

Après avoir fait le tour des généralités dans le chapitre précédent concernant l'énergie photovoltaïque, ainsi que ses différentes configurations, et applications, on passe maintenant à la modélisation de ce dernier à travers ce chapitre 3, en commençant par retrouver les équations mathématiques de chaque composant, pour les modéliser sur Matlab/Simulink afin de mieux comprendre le principe de fonctionnement de ces systèmes-là ainsi que pour effectuer un dimensionnement optimale pour une quelconque installation, la figure III.1 représente l'architecture de système photovoltaïque étudié :

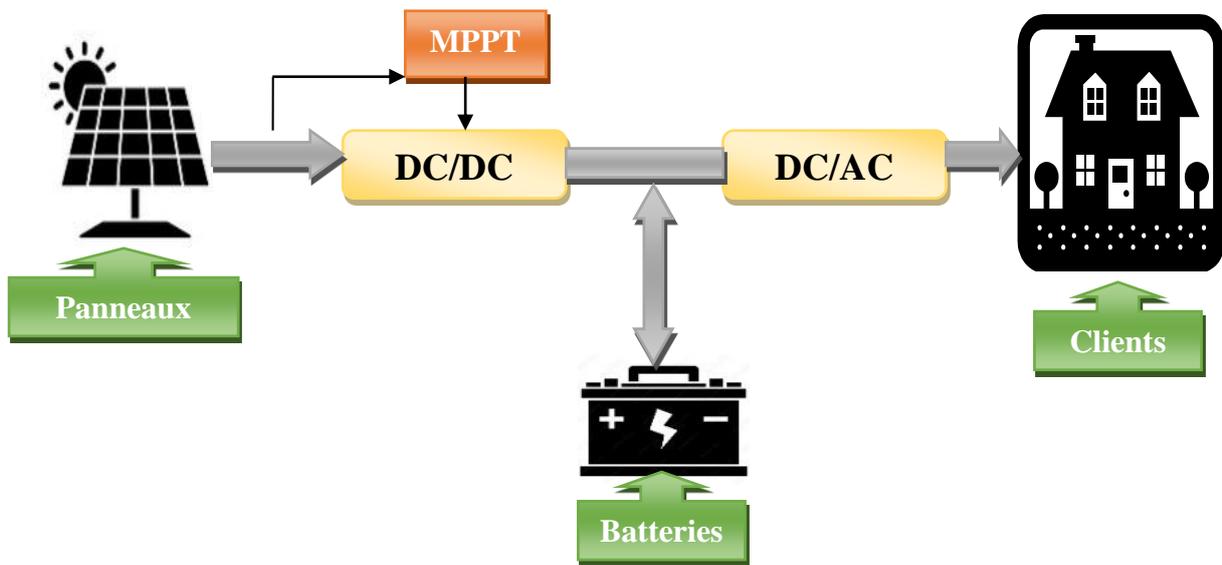


Figure III. 1:Architecture de système photovoltaïque à étudier

## III.2 Modélisation du générateur photovoltaïque

### III.2.1 Cellule photovoltaïque

Un panneau photovoltaïque est composé de cellules photovoltaïques, des composants électroniques semi-conducteurs. Lorsqu'elles sont exposées à la lumière, ces cellules produisent de l'électricité par un processus appelé conversion photovoltaïque [26].

#### III.2.1.1 Paramètres d'une cellule photovoltaïque

##### ❖ Tension circuit ouvert $V_{co}$

C'est la tension fournie par le panneau photovoltaïque lorsqu'il ne fournit pas d'électricité, donc non relié et aucun courant ne passe.

$$V_{co} = V_{th} * I_n \left( \frac{I_{cc}}{I_s} \right) \quad (III.1)$$

## Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome

---

$$V_{th} = \frac{A \cdot K \cdot T_j}{q} \quad (III.2)$$

Avec :

$I_s$ : Courant de saturation de la diode (A).

$V_{th}$ : Tension thermique (V).

$A$ : Coefficient d'idéalité de la diode.

$T_j$  : Température de la jonction (°C).

$K$ : Constante de Boltzmann  $1.38 \cdot 10^{-23}$  (J/K).

### ❖ Courant de court-circuit $I_{cc}$

Le courant de court-circuit noté  $I_{cc}$ , est le courant qui circule à travers une cellule photovoltaïque lorsqu'elle est en court-circuit, c'est-à-dire lorsque la borne positive est reliée à la borne négative, ce qui entraîne une tension nulle aux bornes de la cellule. Dans cette configuration, la puissance fournie par la cellule est généralement nulle,  $P = U \times I$  est nulle [27] [28].

$$I_{cc} = q \cdot G (l_n + l_p) \quad (III.3)$$

Avec :

$I_{cc}$ : Courant de court-circuit de la cellule (A).

$q$ : Charge d'un électron ( $1.6 \cdot 10^{-19}$ ).

$G$  : Source de courant parfaite (A).

$l_n, l_p$  : Respectivement, Longueurs de diffusion des électrons et trous.

### ❖ Température de jonction $T_j$ de la cellule

$$T_j = T_a + \frac{N_{oct} - 20}{800} * E_s \quad (III.4)$$

Avec :

$T_a$ : Température ambiante (°C).

$E_s$ : L'ensoleillement ( $w/m^2$ ).

$N_{oct}$ : La température nominale de fonctionnement de la cellule solaire (°C).

## Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome

---

### ❖ Facteur de Forme

Également appelé "fill factor" en anglais, est un rapport entre la puissance électrique maximale ( $I_{cc} * V_{co}$ ) et il est utilisé pour évaluer l'efficacité d'une cellule solaire [31].

$$FF = \frac{V_{mpp} * I_{mpp}}{V_{oc} * I_{cc}} \quad (III.5)$$

Avec :

$V_{mpp}$ : Tension de point de puissance maximale (V).

$I_{MPP}$ : Courant de point de puissance maximale (A).

$V_{oc}$ : Tension de circuit ouvert (V).

### ❖ Point de puissance maximale

$$P_{ppm} = V_{ppm} * I_{ppm} \quad (III.6)$$

C'est le point où la puissance fournie à la charge est maximisée tel que :

### ❖ Rendement de conversion

Représente le rapport entre la puissance maximale générée et la puissance du rayonnement solaire incident sur une cellule photovoltaïque [27].

$$n = FF * \frac{V_{co} * I_{cc}}{P_{in}} \quad (III.7)$$

Avec :

$P_{in}$ : La puissance du flux lumineux incident.

### ❖ La puissance du flux lumineux incident

$$P_{in} = S * E_s \quad (III.8)$$

$S$ : La surface effective des cellules ( $m^2$ ).

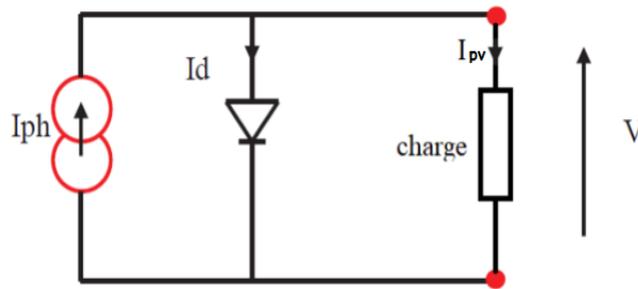
## III.2.2 Modèles mathématiques

### III.2.2.1 Cellule idéale

Prenons la figure ci-dessous comme schéma électronique équivalent d'une cellule idéale. Cette dernière est représentée avec une diode en parallèle avec une source de courant.

## Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome

---



**Figure III. 2:** Modèle d'une cellule photovoltaïque idéale

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (III.9)$$

Avec :

$$I_d = I_s * e^{\left(\frac{q * V_{pv}}{A * K * T_j} - 1\right)} \quad (III.10)$$

Do

Avec :

$I_{pv}$  : Courant disponible (A).

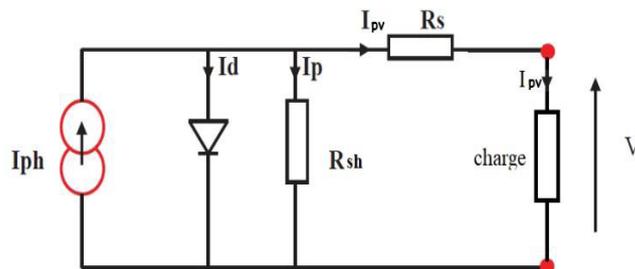
$I_{ph}$  : Courant produit par la photopile (A).

$I_d$  : Courant de la diode (A).

$V_{pv}$ : Tension aux bornes de la cellule (V).

### III.2.2.2 Modèle à une diode

C'est le modèle le plus couramment utilisé en raison de sa précision. Il permet de modéliser la production d'énergie électrique par conversion photovoltaïque à l'aide d'un générateur de courant [30].



**Figure III. 3:** Schéma électrique équivalent du modèle à une diode

• Le courant généré par le module est donné par la loi de Kirchhoff :

Avec :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (III.11)$$

## Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome

---

$I_{sh}$  : Le courant shunt (A).

- Le courant produit  $I_{ph}$  est finalement donné par la formule suivante :

$$I_{ph} = P_1 * E_s [(1 + P_2(E_s - E_{stc}) + P_3(T_j - T_{cref}))] \quad (III.12)$$

Tel que :

$E_{stc}$ : Ensoleillement de référence (W/m<sup>2</sup>).

$T_{cref}$ : Température de référence (°C).

- Le courant de la diode est donné par :

$$I_d = I_s * e^{\left(\frac{q * V_{pv}}{A * K * T_j} - 1\right)} \quad (III.13)$$

Avec :

$$I_s = P_4 * T_j^3 * e^{\left(\frac{-E_g}{K * T_j} - 1\right)} \quad (III.14)$$

Donc :

$$I_d = P_4 * T_j^3 * e^{\left(\frac{-E_g}{K * T_j}\right)} * e^{\left(\frac{q * V_{pv}}{A * K * T_j} - 1\right)} \quad (III.15)$$

Et :

$$E_g = 1.1 eV \quad (III.16)$$

Le courant de la résistance shunt est donné par :

$$I_{sh} = \left(\frac{V_{pv} + R_s * I_{pv}}{R_{sh}}\right) \quad (III.17)$$

Avec :

$R_{sh}$ : Résistance shunt qui prend en compte les fuites inévitables de courant qui intervient entre les bornes opposées positive et négative d'une cellule ( $\Omega$ ).

$R_s$ : Résistance série qui est due aux différentes résistances électriques que le courant rencontre sur son parcours ( $\Omega$ ).

Ainsi l'expression finale de la caractéristique courant-tension est donnée par l'équation ci-dessous :

$$I_{pv} = P_1 * E_s [(1 + P_2(E_s - E_{stc}) + P_3(T_j - T_{cref}))] - P_4 * T_j^3 * e^{\left(\frac{-E_g}{K * T_j}\right)} * e^{\left(\frac{q * V_{pv}}{A * K * T_j} - 1\right)} - \left(\frac{V_{pv} + R_s * I_{pv}}{R_{sh}}\right) \quad (III.18)$$

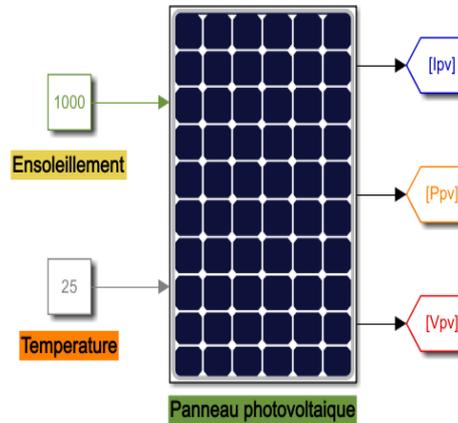
Avec :

$P_1, P_2, P_3, P_4$  : paramètres constants.

# Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome

## III.2.3 Modélisation sous Matlab/Simulink du modèle à une diode

- Schéma bloc sous Matlab/Simulink du panneau utilisé



**Figure III. 4:** Schéma power sous Matlab/Simulink du panneau utilisé

### III.2.3.1 Paramètres du panneau utilisé

Pour les expériences et les simulations effectuées durant ce travail on a utilisé un panneau photovoltaïque dont les paramètres sont :

**Tableau III. 1:** Caractéristique du panneau utilisé

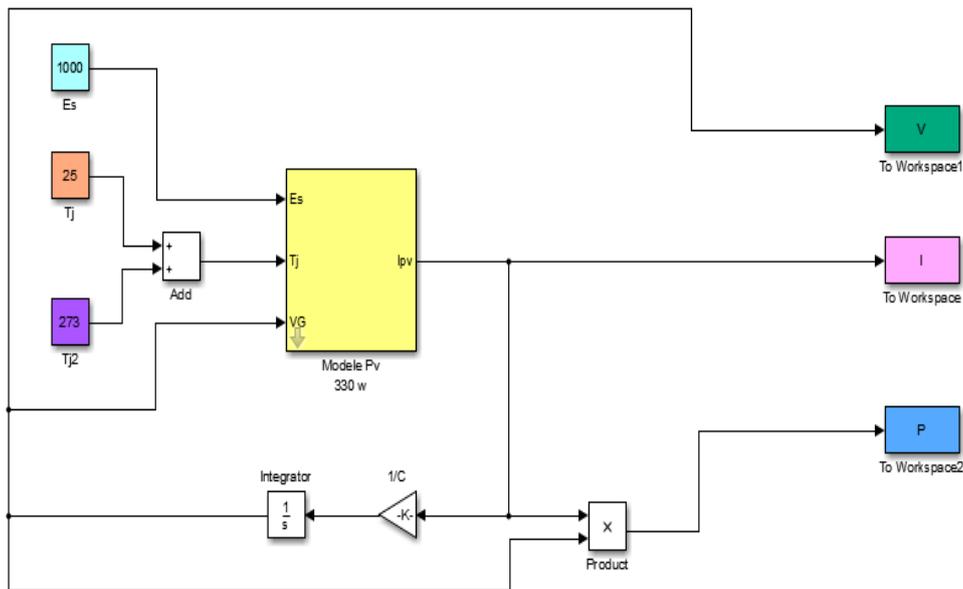
Puissance Nominale (WC)	<b>330</b>
Courant de court-circuit $I_{cc}$ (A)	<b>10.52</b>
Tension à vide $V_{co}$ (V)	<b>40</b>
Courant à puissance max (A)	<b>10.07</b>
Tension à puissance max (V)	<b>32.80</b>

**Tableau III. 2:** Paramètres du panneau utilisé

P1	P2	P3	P4	$R_s$	$R_{sh}$
<b>0.0105561</b>	<b>0.000006438</b>	<b>-0.00003729</b>	<b>793.912737</b>	<b>0.1</b>	<b>840</b>

Afin de retrouver les caractéristiques principales de notre panneau photovoltaïque, nous avons créé le modèle mathématique cité précédemment (modèle à une diode) sous conditions STC avec l'environnement Matlab/Simulink :

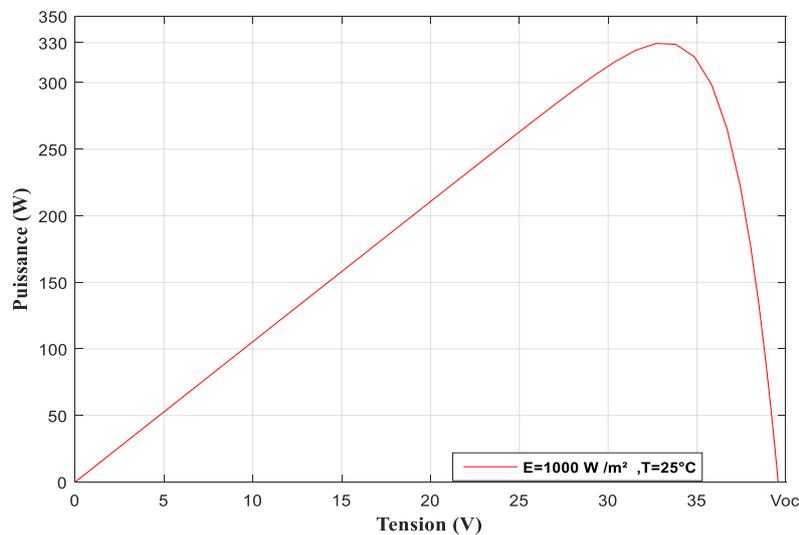
# Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome



**Figure III. 5:** Schéma bloc du modèle PV 330W

### III.2.3.2 Caractéristique $I_{pv}$ - $V_{pv}$ et $P_{pv}$ - $V_{pv}$ du générateur photovoltaïque :

En simulant le panneau utilisé sur Matlab/Simulink, avec un ensoleillement de  $1000\text{W/m}^2$  et une température de  $25^\circ\text{C}$ , la caractéristique de puissance  $P_{pv}$ - $V_{pv}$  est donnée par la figure suivante :



**Figure III. 6:** Caractéristique  $P_{pv}=f(V_{pv})$

Et pour la caractéristique du courant  $I_{pv}$ - $V_{pv}$  est donnée par la figure suivante :

# Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome

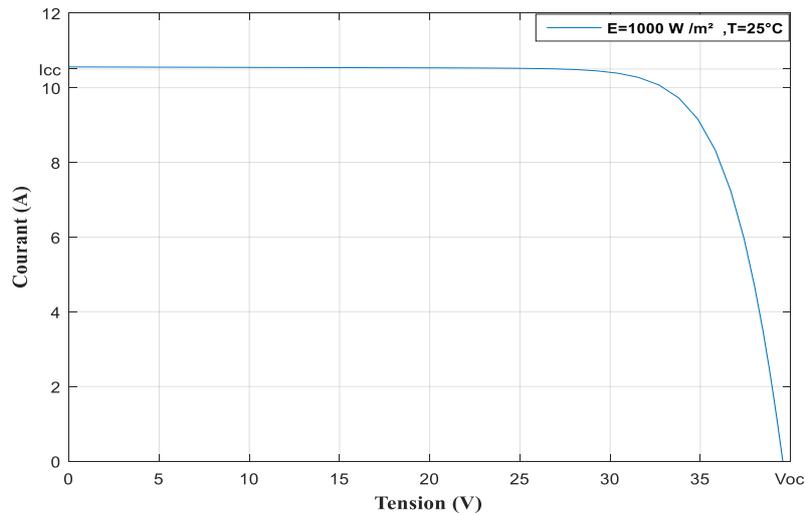


Figure III. 7: Caractéristique  $I_{pv}=f(V_{pv})$

### III.2.3.3 Influence de l'ensoleillement sur les caractéristiques :

Afin d'étudier l'influence de l'ensoleillement sur les caractéristiques  $P_{pv}$  et  $I_{pv}$  on simule sur Matlab/Simulink, mais avec différentes valeurs d'ensoleillement, 1000W/m<sup>2</sup>, 800W/m<sup>2</sup>, 600W/m<sup>2</sup> et 400W/m<sup>2</sup> respectivement et à une température fixe de 25°C.

Les résultats sont représentés dans les deux figures suivantes :

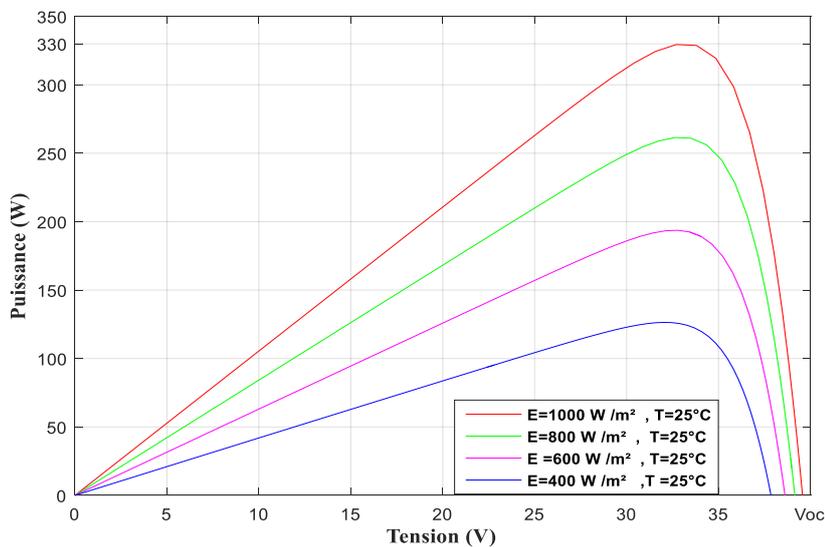
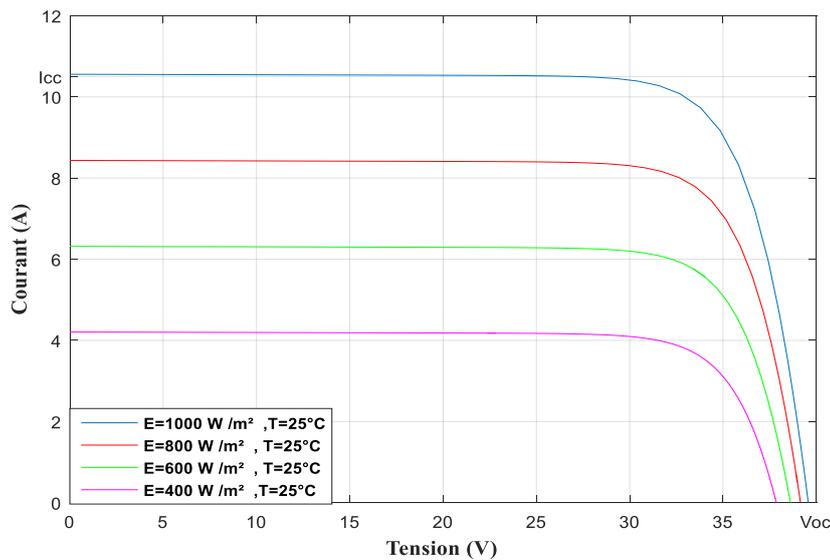


Figure III. 8: Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique de puissance

# Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome



**Figure III. 9:**Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique de courant

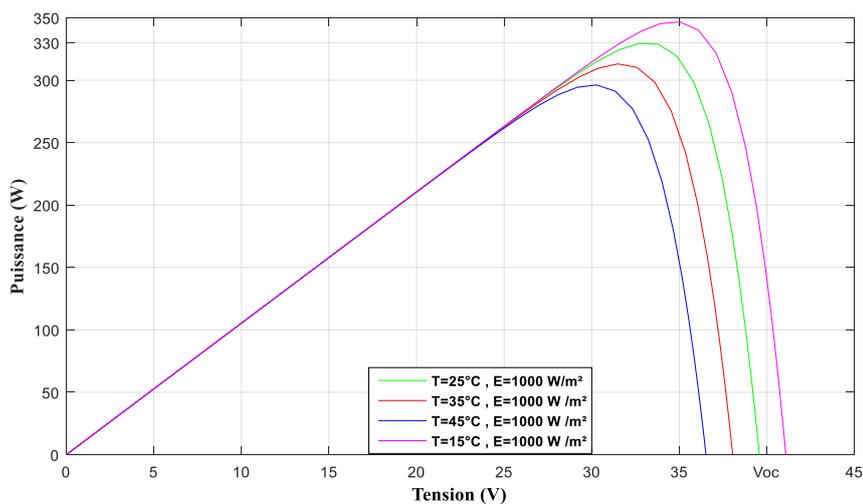
On remarque que le courant  $I_{cc}$  et la puissance varient proportionnellement à l'éclairement.

La tension à vide  $V_{co}$  varie peu avec l'éclairement pouvant être considérée comme une constante pour une installation donnée.

### III.2.3.4 Influence de la température sur les caractéristiques :

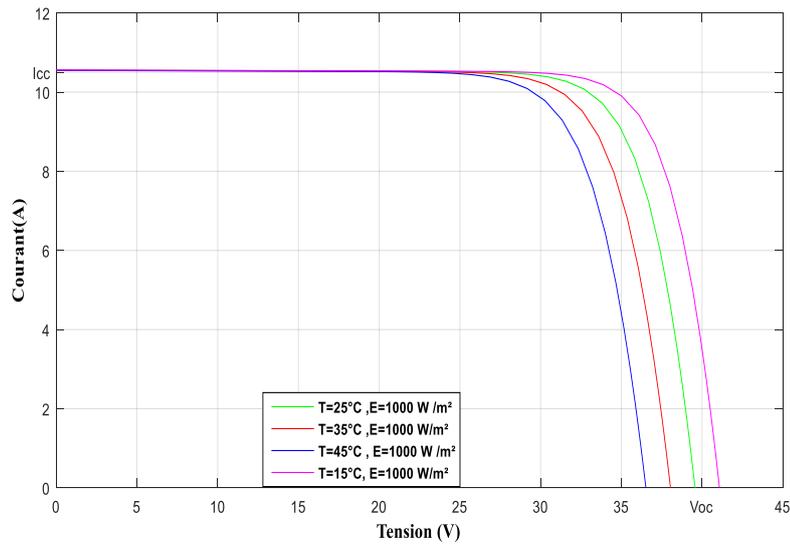
Pour étudier l'influence de la température sur les caractéristiques  $P_{pv}$  et  $I_{pv}$  on utilise des valeurs de température différentes 15°C, 25°C, 35°C, 45°C et en gardant la même valeur de l'ensoleillement à 1000W/m<sup>2</sup>, et effectuer la simulation Matlab/Simulink.

Les résultats de cette simulation sont représentés dans les figures suivantes :



**Figure III. 10:** Influence de la température sur la caractéristique  $P_{pv}$

# Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome



**Figure III. 11:**Influence de la température sur la caractéristique  $I_{pv}$

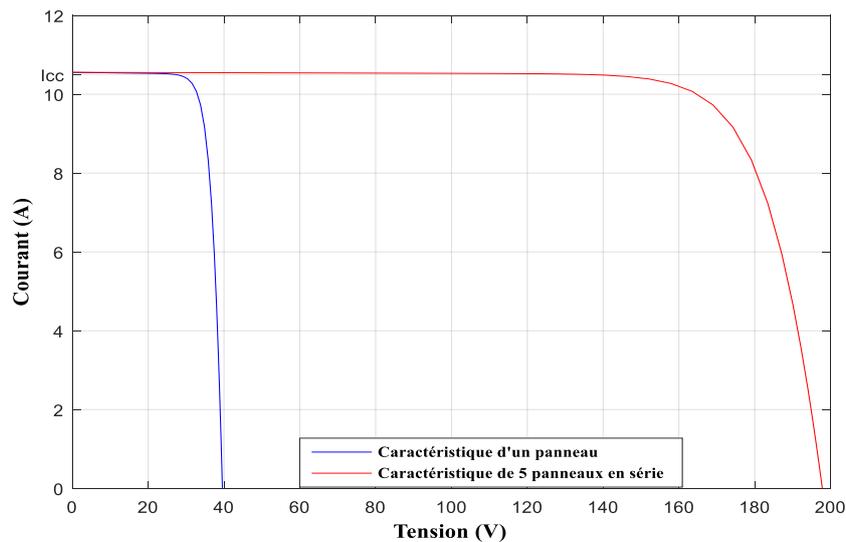
On remarque que la tension à vide  $V_{co}$  décroît avec la température, plus la température est élevée, plus  $V_{co}$  est faible tandis que le courant  $I_{cc}$  reste presque constant.

L'augmentation de la température a un effet sur la puissance.

## III.2.4 Groupement des panneaux photovoltaïques

Pour une association de panneaux PV en série, en parallèle le nous avons les résultats de simulation suivant :

### A. Association en série



**Figure III. 12:** Caractéristique courant tension de  $N_s$  panneaux en série

# Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome

## B. Association en parallèle

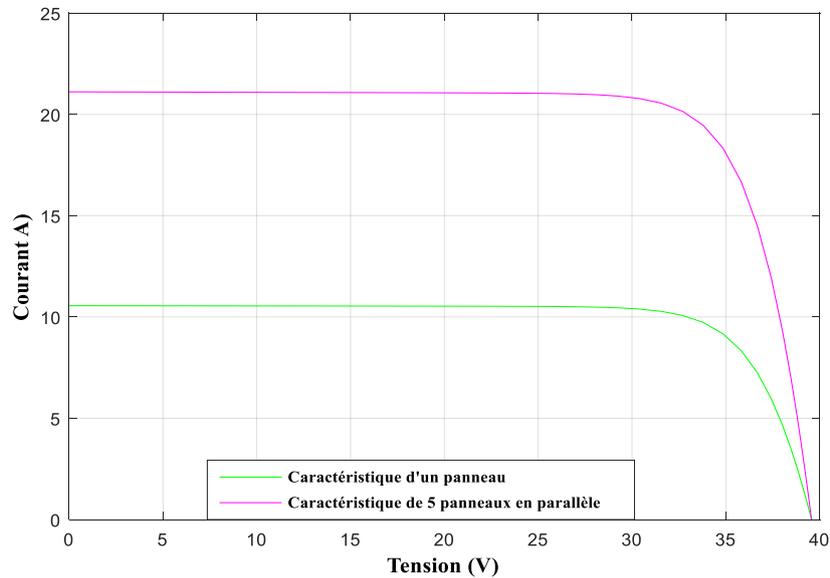


Figure III. 13: Caractéristique courant tension de  $N_p$  panneaux en parallèle

## III.3 Modélisation des convertisseurs

On fait recours aux convertisseurs afin de maximiser la production de puissance des sources, en connectant chacune à un convertisseur dans le but de contrôler son point de fonctionnement, en respectant l'adaptation nécessaire avec son bus commun.

### III.3.1 Modélisation d'un hacheur survolteur – BOOST

Pour augmenter la tension d'une source photovoltaïque ou d'une source continue, on utilise un dispositif appelé hacheur BOOST qui est un convertisseur DC/DC.

Ce convertisseur nous permet d'ajuster la tension aux bornes de notre panneau photovoltaïque en utilisant une commande spécifique afin d'optimiser son fonctionnement au point de puissance maximale [14].

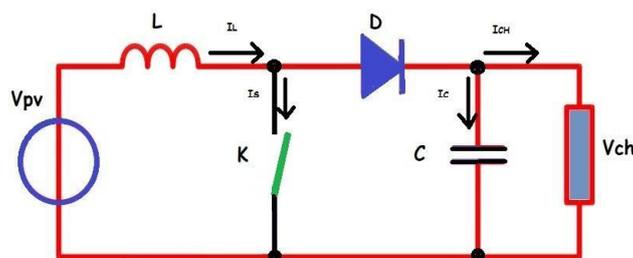


Figure III. 14: Circuit électrique d'un hacheur survolteur

## Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome

---

Lorsque l'interrupteur K est fermé :

$$V_{pv} = L \frac{dI_L}{dt} \quad (\text{III.19})$$

$$0 = C \frac{dV_{ch}}{dt} + I_{ch} \quad (\text{III.20})$$

Lorsque l'interrupteur K est ouvert :

$$V_{pv} = L \frac{dI_L}{dt} + (1-\alpha)V_{ch} \quad (\text{III.21})$$

$$(1-\alpha) I_L = C \frac{dV_{ch}}{dt} + I_{ch} \quad (\text{III.22})$$

### III.4 Point de puissance maximale

Par définition, une commande MPPT (Maximum Power Point Tracking), associé à un étage intermédiaire DC/DC d'adaptation permet de faire fonctionner un générateur photovoltaïque de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance, quel que soit les conditions météorologiques (irradiation, température), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum [27].

La commande MPPT est une commande importante pour un fonctionnement optimal du système PV. Le principe de cette commande est basé sur la variation du rapport cyclique  $\alpha$  en l'amenant à la valeur optimale de manière à maximiser la puissance délivrée par le panneau PV. Pour cette raison, on va présenter et étudier l'algorithme P&O [31].

#### III.4.1 Méthode de perturbation et observation (P&O)

Le principe de cet algorithme est d'effectuer une perturbation sur la tension du panneau PV tout en agissant sur le rapport cyclique  $\alpha$ . En effet, suite à cette perturbation, on calcule la puissance fournie par le panneau à l'instant  $k$ , puis on la compare à la précédente de l'instant  $(k-1)$ . Si la puissance augmente, on s'approche du point à maximum de puissance et la variation du rapport cyclique est maintenue dans le même sens. Au contraire, si la puissance diminue, on s'éloigne du PMP. Alors, on doit inverser le sens de variation du rapport  $\alpha$  [32].

# Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome

## III.4.2 Application de la P&O

La figure III.15 représente le bloc du panneau photovoltaïque avec la méthode la P&O

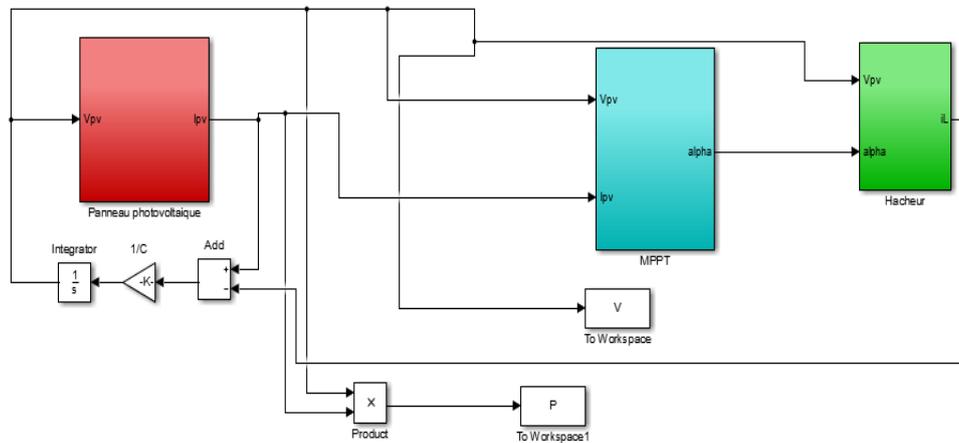
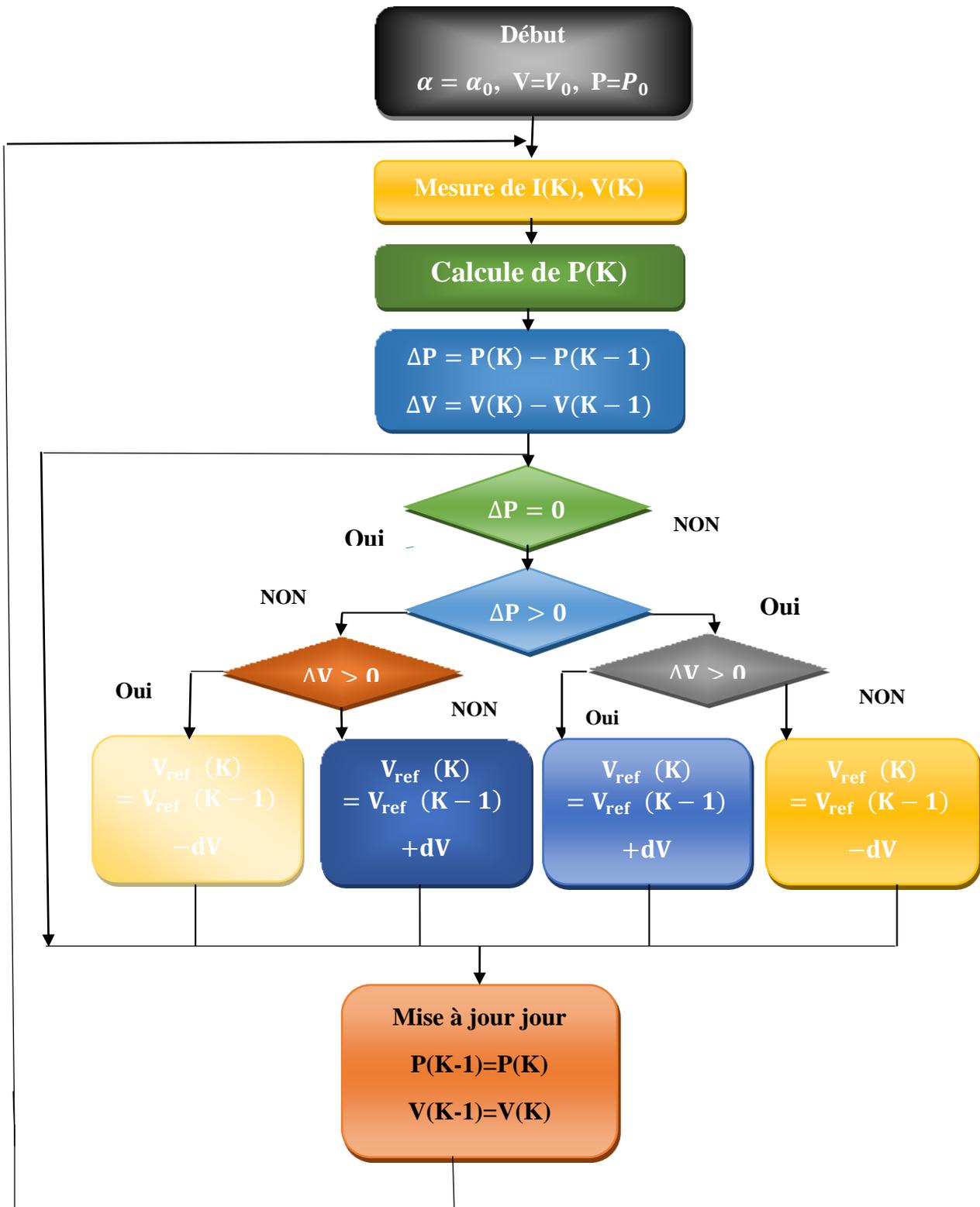


Figure III. 15:Schéma bloc du panneau PV 330W avec la méthode P&O

La figure III.16 représente l'organigramme de la méthode perturbation et observation

# Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome

---



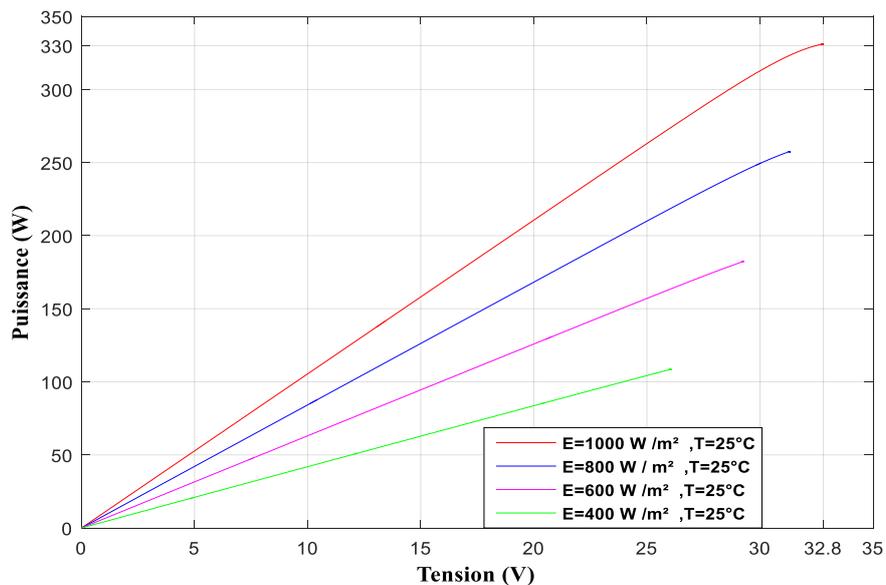
**Figure III. 16:** Organigramme de la méthode MPPT

# Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome

## III.4.3.1 Influence de l'ensoleillement sur le panneau avec la méthode MPPT

Afin d'étudier l'influence de l'ensoleillement sur le point de puissance maximale, on simule sur Matlab/Simulink avec différentes valeurs d'ensoleillement,  $1000\text{W/m}^2$ ,  $800\text{W/m}^2$ ,  $600\text{W/m}^2$  et  $400\text{W/m}^2$  respectivement et à une température fixe de  $25^\circ\text{C}$ .

Les résultats sont représentés dans la figure suivante :



**Figure III. 17:** Influence de l'ensoleillement sur le panneau avec MPPT

D'après ces résultats, on constate que le panneau avec MPPT est influencé par les variations d'ensoleillement, Lorsqu'on diminue ces dernières, on s'éloigne du MPPT.

## III.4.3.2 Influence de la température sur le panneau PV avec la méthode P&O

Afin d'étudier l'influence de la température sur le point de puissance maximale, on simule sur Matlab/Simulink avec différentes valeurs de températures,  $25^\circ\text{C}$ ,  $35^\circ\text{C}$ ,  $45^\circ\text{C}$  et  $15^\circ\text{C}$  respectivement et à ensoleillement fixe de  $1000\text{ W/m}^2$ .

Les résultats sont représentés dans les figures suivantes :

## Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome

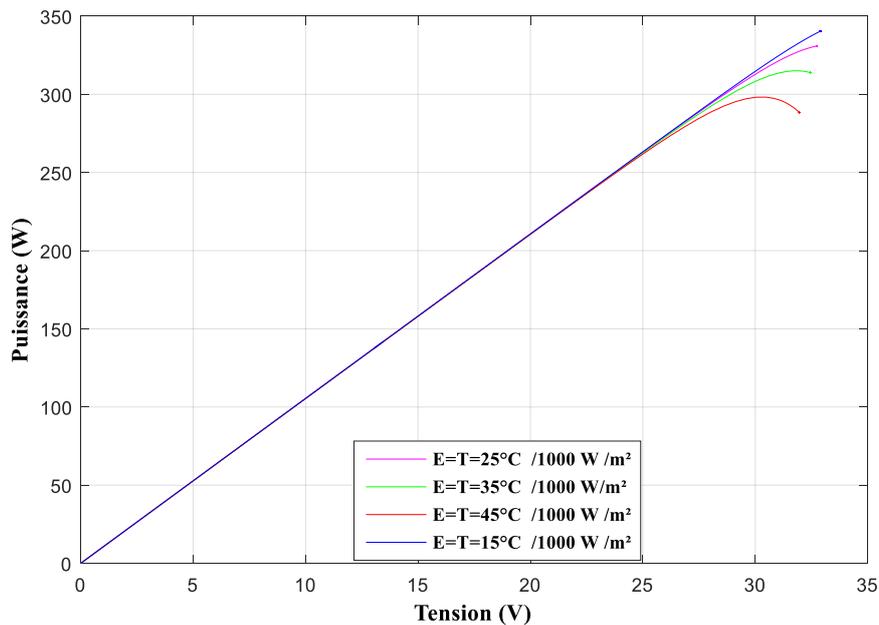


Figure III. 18: Influence de la température sur le panneau avec MPPT

D'après ces résultats, on constate que le panneau avec MPPT est influencé par les variations de la température qui a une influence significative sur les performances des panneaux solaires avec maximum power point, lorsque la température augmente, la tension de circuit ouvert ( $V_{oc}$ ) du panneau solaire diminue légèrement, tandis que le courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) augmente légèrement. Cela signifie que la puissance maximale que le panneau peut produire ( $P_{max}$ ) diminue avec l'augmentation de la température.

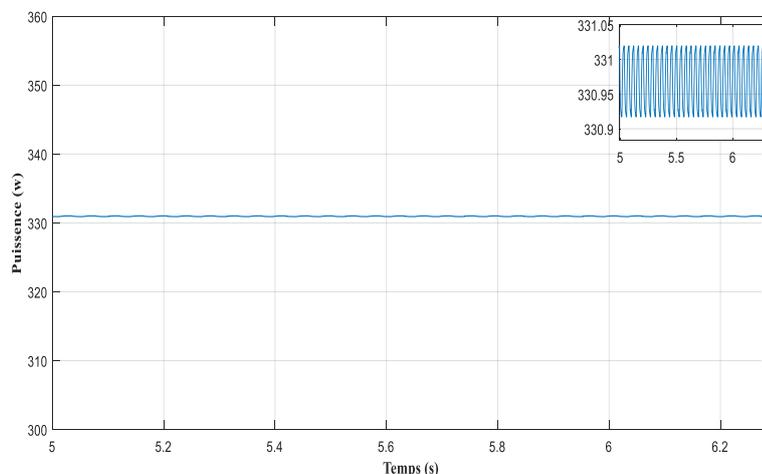


Figure III. 19: Allure de puissance

## Chapitre III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque autonome

D'après cette figure, on remarque des oscillations dues aux perturbations de la tension.

### III.5 Modélisation de la batterie

Les batteries gel sont des batteries au plomb-acide consacré dans lesquelles l'électrolyte est sous forme de gel. Elles sont conçues pour être étanches, sans entretien et résistantes aux vibrations. Les batteries gel sont souvent utilisées dans des applications telles que l'énergie solaire, les systèmes d'alimentation sans interruption (onduleurs) [33].

#### III.5.1 Le modèle électrique de la batterie

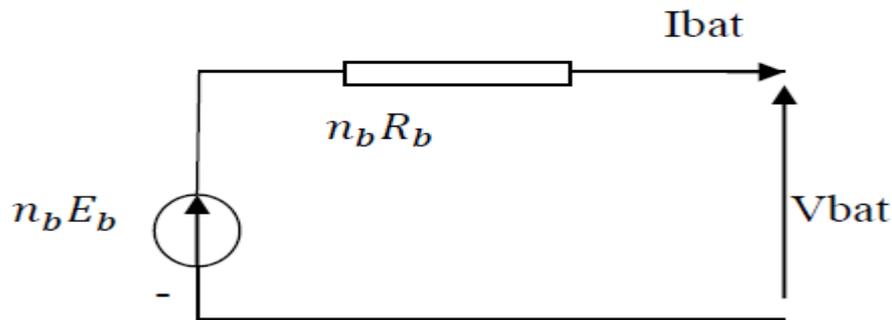


Figure III. 20: Schéma équivalent de la batterie

Ce modèle est basé sur le schéma électrique de la figure III.19, la batterie par deux éléments dont les caractéristiques dépendent d'un certain nombre de paramètre : tension à vide  $E_b$  et sa résistance interne  $R_b$  [34].

$$V_{bat} = n_b E_b + n_b R_b I_{bat} \quad (III.23)$$

Où  $V_{bat}$  et  $I_{bat}$  sont la tension et le courant de la batterie,  $E_b$  est la f.e.m (force électromotrice) d'une cellule de batterie et  $R_b$  sa résistance interne.

La modélisation d'une batterie gel de 200 Ah implique de décrire ses caractéristiques électriques et sa performance.

### III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté et modélisé les éléments importants de notre système photovoltaïque autonome, les caractéristiques essentielles ainsi l'influence des données météorologiques sur le comportement des panneaux. Ensuite on a exploité la méthode perturbation et observation pour optimiser le générateur PV afin de maximiser la production de l'électricité.

Le chapitre suivant sera consacré à l'étude et dimensionnement d'une installation autonome.

# **Chapitre IV :**

**Etude et dimensionnement  
d'un système photovoltaïque  
autonome**

# Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---

## IV.1 Introduction

Pour dimensionner les systèmes solaires, il est essentiel de procéder à une analyse détaillée des besoins en électricité ainsi que des différents facteurs qui peuvent influencer leur performance, tels que les conditions météorologiques et l'environnement d'installation.

On consacre ce chapitre au dimensionnement et la réalisation d'un projet photovoltaïque autonome destiné à fournir de l'électricité à une école primaire située à Sedrata wilaya de Souk-Ahras. Cette initiative fait partie d'un stage pratique effectué au sein de l'entreprise **Mounir Solar Energy**.

Pour réaliser cela, Nous divisons le chapitre en trois parties :

- ✓ Etude et dimensionnement
- ✓ Réalisation du projet
- ✓ Devis estimatif de l'installation

## IV.2 Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

La conception des systèmes photovoltaïques repose sur une méthode essentielle qui est le dimensionnement. Le dimensionnement optimal de ces systèmes est atteint lorsque les composants sont sélectionnés de manière appropriée en fonction d'une ressource solaire et d'un profil de consommation spécifique [35].

- **But**

Le but est de garantir une alimentation ininterrompue du consommateur, tout en minimisant les couts associés au système photovoltaïque en site isolé, il est essentiel de déterminer avec précision tous les paramètres de dimensionnement. En effet, la qualité, la durabilité et le cout du système dépendent étroitement de ces paramètres. Par conséquent, une analyse minutieuse de chaque paramètre de dimensionnement est nécessaire pour optimiser le système dans son ensemble [35].

## IV.3 Choix de la méthode de dimensionnement

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement, parmi ces dernières on trouve :

### IV.3.1 Méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation

Il est possible d'optimiser le dimensionnement d'un système photovoltaïque dans des conditions complexes à l'aide d'un logiciel approprié.

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---

Cependant, cette méthode présente un inconvénient majeur : elle exige la connaissance de l'irradiation pour chaque heure de chaque année sur le site d'installation, sur une période de temps considérable [36].

### IV.3.2 Méthode du mois le plus défavorable

Cette méthode consiste à estimer l'énergie récupérable pendant une période critique d'un mois, appelé le mois le plus défavorable. Cette période correspond au moment où l'irradiation moyenne mensuelle est la plus faible de l'année. Cette approche est couramment utilisée pour dimensionner des systèmes photovoltaïques autonomes, des installations militaires et des centres de soins dans les zones rurales [36].

### IV.3.3 Méthode de la moyenne annuelle

La méthode la plus couramment utilisée pour les systèmes photovoltaïques hybrides consiste à calculer la moyenne mensuelle de l'énergie récupérable (irradiation) sur un site pour 12 mois de l'année.

Cette méthode prend en compte l'irradiation journalière en tant que méthode du mois le plus défavorable. Ainsi, contrairement à une approche qui ne considérerait qu'un seul mois, elle permet de calculer une moyenne qui s'étend sur toute l'année.

## IV.4 Partie 1 : Etude et dimensionnement

### IV.4.1 Présentation du projet

Dans ce projet, nous présentons une installation photovoltaïque autonome pour alimenter l'école primaire CHAHID DJEBBARI AMMAR BEN ABDELLAH. Le site étudié est situé au niveau de la ville Sedrata, wilaya de Souk-Ahras.

Ses coordonnées géographiques sont :

- **La latitude**  $\varphi = 36.1284$  N
- **La longitude**  $\lambda = 7.53147$  E
- **L'altitude** = 811 m

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---

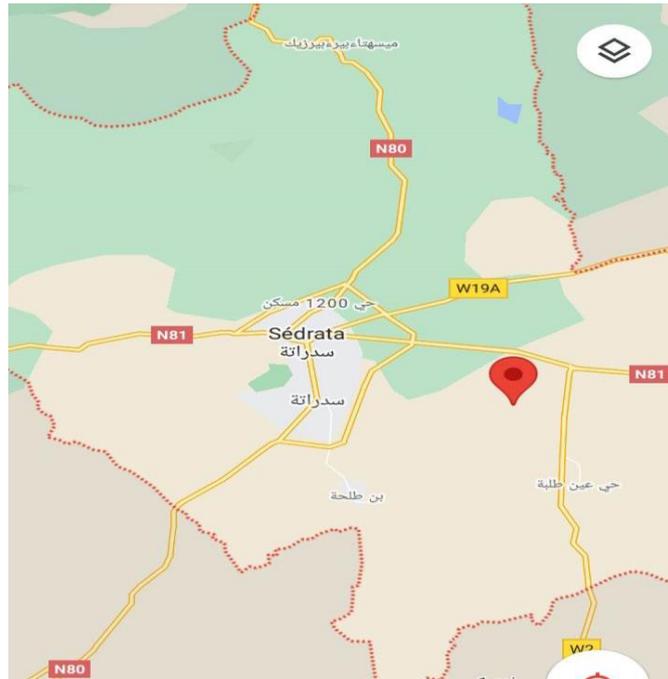


Figure IV. 1: Localisation de la ville Sedrata

### IV.4.2 Description de l'école

L'école primaire est constituée de :

- 10 Salles des cours
- 01 salle des enseignants
- 01 Administration
- 01 Réfectoire
- 01 Sanitaire
- 01 Sonnette
- 01 Loge de gardien
- 07 éclairages extérieurs
- 01 Bibliothèque

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

**Tableau IV. 1: consommation de la journée**

Equipements	Nombre(N)	Puissance(W)	Durée d'utilisation(H)	Energie journalière (NxWxH)
Lampes Néo T180	52	20	10	10400
Lampes Néo T50	30	10	6	1800
Lampes LED E27	25	15	4	1500
Micro-ordinateurs	12	150	4	7200
Imprimantes	03	50	1	150
Photocopieuses	03	80	1	240
Data shoot	02	50	1	100
Réfrigérateurs	03	1200	4	14400
Sonnette	01	20	0.25	5
Extracteurs	03	350	0.5	700
<b>LA CONSOMMATION TOTALE <math>E_j=Wh</math></b>				<b>36 495</b>

### IV.4.3 Les étapes de dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome

#### IV.4.3.1 Evaluation du besoin en électricité

C'est une étude qui consiste à analyser la quantité d'énergie nécessaire pour faire fonctionner divers appareils, souvent mesurée en watts ou en calories par jour pendant différentes périodes. Il s'agit essentiellement de calculer la somme moyenne d'énergie requise quotidiennement pour faire fonctionner différents dispositifs tels que la télévision, les lampes, le réfrigérateur et autres équipements dans le but de les dimensionner correctement [37]. Elle est donnée par la loi suivante :

➤ **La consommation globale du système**

$$E = \sum_1^n E_i \quad (IV.1)$$

Avec :

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---

**E** : La consommation globale du système.

**E<sub>i</sub>** : L'énergie journalière consommée d'un équipement (Wh/j).

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

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

Dans le cas des équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement ou qui ont une fonction marche – arrêt automatique tels que les climatiseurs et les réfrigérateurs, la consommation d'énergie de chaque appareil peut être déterminée de la manière suivante :

➤ **L'énergie journalière consommée d'un équipement**

$$E_i = P_i \times \Delta t \quad (\text{IV.2})$$

Avec :

**E<sub>i</sub>** : L'énergie journalière consommée d'un équipement.

**P<sub>i</sub>** : La puissance de cet équipement.

**Δt** : La durée d'utilisation de chacun.

➤ **Puissance des charges totales**

$$P_{ch} = \sum_1^n P_i = 8675 \text{ W} \quad (\text{IV.3})$$

➤ **Besoin journalier de l'école par jour**

$$B_j = \sum_1^n E_i \quad (\text{IV.4})$$

Avec :

**B<sub>j</sub>**=Besoin journalier

**E<sub>i</sub>**=L'énergie journalière consommée par l'équipement

$$B_j = 36\,495 \text{ Wh}$$

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---

Tableau IV. 2: Les caractéristiques du système PV

Besoin journalier (Wh/j)	36495
Nombre d'heure équivalent (h)	5
Les pertes	30 %
Puissance de panneau photovoltaïque (W)	330

### IV.4.3.2 Puissance crête du champ photovoltaïque ( $W_c$ )

$$P_{pv,tot} = \frac{B_j \times (1 + \Sigma P)}{N_e} \quad (IV.5)$$

Avec :

$P_{pv,tot}$ : Puissance crête du champ PV.

$B_j$ : Besoin journalier.

$P$ : Les pertes.

$N_e$ : Nombre d'heure équivalent.

$$P_{pv,tot} = 9488.7 W_c$$

### IV.4.3.3 Dimensionnement des panneaux photovoltaïques

Cette étape consiste à calculer le nombre de modules nécessaires pour répondre à la demande en puissance.

Le module choisi pour notre étude est un module de type AS-R04-300P d'une puissance Optimale de  $P_c = 330 W_c$ .

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---

**Tableau IV. 3:** Fiche technique d'un panneau PV 330Wc

Puissance Nominale (Wc)	330
Courant de court-circuit $I_{cc}$ (A)	10.52
Tension à vide $V_{co}$ (V)	40
Courant à puissance max (A)	10.07
Tension à puissance max (V)	32.80

### Nombre de panneaux

$$N_{pv} = \text{ent} \left[ \frac{P_{pv,tot}}{P_{pv,u}} \right] \quad \text{(IV.6)}$$

Avec :

$N_{pv}$  : Nombre de panneaux de PV

$P_{pv,tot}$  : Puissance crête du champ PV [ $W_c$ ]

$P_{pv,u}$  : Puissance d'un panneau PV [ $W_c$ ]

Le calcul du nombre de panneaux à installer

$$N_{pv} = 30 \text{ panneaux}$$

### IV.3.3.4 Dimensionnement des batteries

La détermination de la taille des batteries se fait comme suit :

➤ **Calcul de la capacité de la batterie**

$$C_{batt} = \frac{B_j \times J_{au}}{U_{batt} \times POD \times K_t} \quad \text{(IV.7)}$$

$$C_{batt} = \frac{36495 \times 1}{12 \times 0.8 \times 0.8} = 4751.95 \text{ Ah}$$

Avec :

$C_{batt}$  : La capacité nominale des batteries [Ah].

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---

$J_{au}$  : Le nombre de jour d'autonomie.

$U_{batt}$  : La tension nominale des batteries [V]

**POD** : La profondeur de décharge des batteries.

$K_t$  : Coefficient de température.

➤ **Nombre de batteries calculés**

$$N_{batt} = \frac{C_{batt}}{C_{batt,u}} \quad (IV.8)$$

Avec :

$N_{batt}$  : Nombre de batteries.

$C_{batt}$  : La capacité des batteries [Ah].

$C_{batt,u}$  : La capacité unitaire des batteries [Ah].

$$N_{batt} = 24 \text{ batteries}$$

### IV.4.3.5 Dimensionnement de l'onduleur

Nous avons :

✓ **Puissance crête totale des panneaux**

$$P_{c,tot} = P_{pv,u} \times N_{pv} \quad (IV.9)$$

Avec :

$P_{c,tot}$  : Puissance crête totale des panneaux photovoltaïques.

$P_{pv,u}$  : Puissance unitaire d'un panneau photovoltaïque.

$N_{pv}$  : Nombre de panneaux photovoltaïques.

$$P_{c,tot} = 9900 W_c$$

L'onduleur permet de convertir le courant continu DC en courant alternatif AC.

Pour choisir l'onduleur, on tient en compte de trois paramètres :

#### A. La compatibilité en puissance

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---

Puissance de l'onduleur est entre 90% et 95 % de la puissance crête totale des panneaux photovoltaïques.

### ✓ Puissance de l'onduleur

$$P_{\text{ond}} = P_{\text{pv,tot}} \times [0.9 - 0.95] = [8539- 9014] \text{ W} \quad (\text{IV.10})$$

Avec :

$P_{\text{ond}}$  : Puissance de l'onduleur.

L'école est constituée de 3 parties : Les classes, la restauration et l'administration donc, on utilise 3 onduleurs de 3000w chacun type EPEVER afin d'électrifier tout l'établissement.

### B. La compatibilité en tension

- Nombre de panneaux minimal en série

$$N_{\text{pv,s,min}} = \text{Ent} \left[ \frac{V_{\text{co,min,ond}}}{V_{\text{ppm,pv}} \times 0.85} \right] = \frac{80}{32.8 \times 0.85} = 3 \text{ panneaux} \quad (\text{III.11})$$

$N_{\text{pv,s,min}}$  : Nombre de panneaux minimal en série.

$V_{\text{co,max,ond}}$  : Tension minimal à circuit ouvert de l'onduleur.

$V_{\text{ppm,pv}}$  : Tension à puissance maximale du panneau.

- Nombre de panneaux maximal en série

$$N_{\text{pv,s,max}} = \left\lceil \frac{V_{\text{co,max,ond}}}{V_{\text{ppm,pv}} \times 1.25} \right\rceil = \frac{350}{32.8 \times 1.25} = 9 \text{ panneaux} \quad (\text{III.12})$$

Avec :

$N_{\text{pv,s,max}}$  : Nombre de panneaux maximal en série.

$V_{\text{co,max,ond}}$  : Tension maximale en circuit ouvert de l'onduleur.

Le nombre de panneaux en série est entre 3 et 9 panneaux, dans notre cas on prend 5.

### C. La compatibilité en courant

- Nombre de panneaux en parallèle

$$N_{\text{pv,p,max}} = \left\lceil \frac{I_{\text{max,ond}}}{I_{\text{ppm,pv}} \times 1.25} \right\rceil = \frac{80}{10.07 \times 1.25} = 7 \text{ panneaux} \quad (\text{III.13})$$

Avec :

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---

$N_{pv,p,max}$  : Nombre de panneaux maximal en parallèle.

$I_{max,ond}$  : Courant maximal de l'onduleur.

$I_{ppm,pv}$  : Le courant a puissance maximale d'un panneau.

Dans notre cas on prend 2 panneaux en parallèle

### Vérification de la compatibilité

On calcule la puissance, courant et la tension pour vérifier les compatibilités de ces derniers avec celle de l'onduleur.

#### ✓ Vérification de la compatibilité en puissance

$$P_{cal} = N_{pv,s} \times N_{pv,pa} \times P_{pv,u} = 5 \times 2 \times 330 = 3300W$$

$$3300W < 6000W$$

Donc la compatibilité en puissance est vérifiée.

#### ✓ Vérification de la compatibilité en tension

$$V_{max} = N_{pv,s} \times U_{co} = 5 \times 40 = 200V$$

$$V_{max} < V_{nominal}$$

$$200V < 220V$$

Donc la compatibilité en tension est vérifiée.

#### ✓ Vérification de la comptabilité en courant

$$I_{cal} = I_{ppm} \times N_{pv,pa} = 2 \times 10.07 = 20.14A$$

$$20.14A < 80 A$$

Donc la compatibilité en courant est vérifiée.

### IV.4.3.6 Dimensionnement des câbles

Section des câbles, c'est la surface en mm<sup>2</sup> de la coupe transversale de la partie conductrice d'un fil électrique.

Dans ce qui suit, on calcule la section des câbles pour les différentes côté DC et AC.

Avec :

$\rho$  : Résistivité du matériau conducteur en service normal.

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---

**L** : Longueur de la canalisation (m).

**S** : Section des conducteurs (mm<sup>2</sup>).

**ε** : Chute de tension.

**B** : Coefficient qui vaut 1 en triphasé et 2 en monophasé.

**cosφ** : Facteur de puissance.

**I<sub>B</sub>** : Courant maximal d'emploi

### A. Section des câbles coté DC

**Section des câbles entre panneau et la boîte de raccordement (L=9m)**

$$I = 1.25 \times I_{cc} = 13.15 \text{ A}$$

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\varepsilon \times U_{ppm}} = 3.34 \text{ mm}^2$$

Donc la section commerciale est : **4mm<sup>2</sup>**

**Section des câbles entre la boîte de raccordement et le coté DC (L=25m)**

$$I = I_{ppm} \times N_{pv,p} = 20.14 \text{ A}$$

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\varepsilon \times U_{ppm}} = 14.20 \text{ mm}^2$$

Donc la section commerciale est : **16 mm<sup>2</sup>**

**Section des câbles entre le coté DC et l'onduleur (L=12m)**

$$I = I_{ppm} \times N_{pv,p} = 20.14 \text{ A}$$

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\varepsilon \times V} = 6.81 \text{ mm}^2$$

Donc la section commerciale est : **10mm<sup>2</sup>**

### B. Section des câbles coté AC :

**Calcul du courant et de la section coté AC (L=9m)**

$$I_B = \frac{P_{ch}}{3 \times V} = 7.91 \text{ A}$$

$$S = b \times \rho \times I_B \times \frac{L}{\varepsilon \times V} \times \cos\varphi = 13.25 \text{ mm}^2$$

Donc la section commerciale est **16 mm<sup>2</sup>**

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---

### IV.5 Partie 2 : Réalisation du projet

Dans cette partie, nous présentons les différentes étapes qu'on a suivies pour réaliser notre projet qui est composé d'une installation photovoltaïque autonome pour l'électrification de l'école primaire CHAHID DJEBBARI AMMAR BEN ABDELLAH à Sedrata wilaya de Souk-Ahras. L'installation comporte trente panneaux photovoltaïques, trois onduleurs de 3000 W chacun et une armoire de brassage, cette dernière se décompose en trois parties (coté DC, coté AC et coté commande). En cas de faible ensoleillement, l'installation ne satisfait pas le besoin énergétique du client, donc le manque d'énergie électrique va être couvert par les batteries.

#### IV.5.1 Equipements utilisés dans l'installation :

##### IV.5.1.1 Installation du générateur photovoltaïque :

Les modules qu'on a utilisés sont des panneaux de type EURENER de 330V, 120 cellules au poly cristalline. Dimensions (L×l×E) : 1689mm×1002mm×40mm, structure double verre, cadre aluminium anodisé, plage de fonctionnement du module  $-40^{\circ}$   $+85^{\circ}$ .



**Figure IV. 2:** Panneau PV de 330 W

- **Structure support**

La figure présente la structure porteuse des panneaux photovoltaïques, la matière utilisée dans la structure est le galvanisé et vis d'acier pour la stabilité de la structure.

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---



**Figure IV . 3:** Structure porteuse des panneaux

- **Raccordement**

Le raccordement des panneaux se fait en deux chaines de cinq modules en série.



**Figure IV . 4:** Raccordement des panneaux

- **La boîte de jonction**

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---



**Figure IV . 5:** Une boîte de jonction

### IV.5.1.2 Câblage électrique

L'ensemble des interconnexions comprend les éléments suivants :

- Interconnexions modules.
- Interconnexion régulatrice.
- Interconnexion de l'armoire électrique.



**Figure IV . 6:** Cheminement des câbles électriques

### IV.5.1.3 Onduleur

On choisit trois onduleurs de la marque EPEVER, de puissance 3000W chacun

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome



Figure IV. 7: Onduleur Epever

Tableau IV. 4 : Fiche technique d'un onduleur 3000W

Puissance d'entrée max(Wc)	Tension nominale (V)	Tension maximale (V)	Courant d'entrée max (A)
6000	220	350	80

### IV.5.1.4 Les éléments de protection

- **Armoire électrique**

C'est un boîtier robuste utilisé pour protéger les composants électriques et les appareillages de communication.

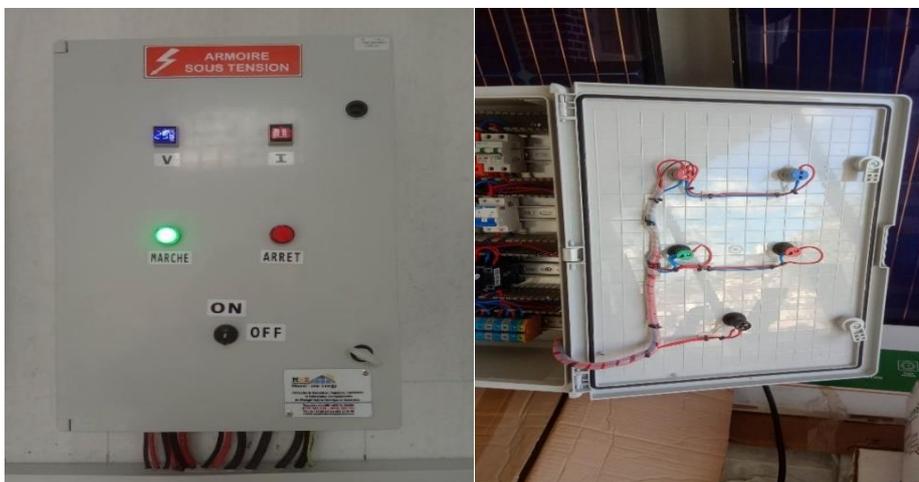


Figure IV. 8: Armoire électrique

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---

### Partie DC

- **Sectionneur**

Un sectionneur est une fonction qui permet de séparer des circuits mais ne permet pas de le commuter et de le protéger, il est nécessaire dans le cas où nous aurions besoin d'isoler les panneaux solaires pour l'entretien [14].



Figure IV. 9: Sectionneur

- **Parafoudre DC**

Le rôle d'un parafoudre n'est pas seulement de protéger contre les surtensions atmosphériques générées par la foudre. En effet, il prévient de tous les écarts de tension, qui peuvent être aussi causés par autre chose que la foudre, comme un défaut électrique ou un court-circuit [14].



Figure IV. 10: Parafoudre.

- **Disjoncteur DC**

C'est un appareil qui permet de couper l'électricité en cas de court-circuit ou de surintensité. Il fonctionne de la même manière qu'un interrupteur, mais il se déclenche automatiquement. [14]

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---



Figure IV. 11: Disjoncteur

### Parie AC

- **Porte fusible**

C'est un appareil qui protège les modules photovoltaïques contre les courants de court-circuit, en même temps, des interventions peuvent être effectuées au point de rupture sur les modules connectés [14].



Figure IV . 12: Porte fusible

- **Parafoudre AC**

C'est un dispositif de protection contre les surtensions qui protège les systèmes électriques [14].

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---



Figure IV . 13: Parafoudre monophasé

- **Disjoncteur AC**

C'est un interrupteur électrique à commande automatique conçu pour laisser circuler le courant et protéger un circuit électrique contre dommages causés par un courant excessif provenant d'une surcharge, d'un court-circuit [14].



Figure IV. 14: Disjoncteur AC

### Partie commande

- **Contacteur**

C'est un appareil électrotechnique destiné à établir ou interrompre le passage du courant à partir d'une commande à distance [14].

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---



**Figure IV. 15:** Contacteur

### IV.6 Partie 3 : Devis estimatif de l'installation

Chaque étude technique est accompagnée de devis estimatif et quantitatif, comprenant le prix unitaire et total par équipement, permettant d'obtenir une estimation financière de l'installation.

#### IV.6.1 Devis estimatif total des panneaux solaires

**Tableau IV. 5:** Devis estimatif des panneaux

Types de panneaux	Nombre de panneaux	Prix unitaire (DA)	Prix totale (DA)
MEPV330(Polycristalline)	<b>30</b>	<b>36 000.00</b>	<b>1 080 000.00</b>

#### IV.6.2 Devis estimatif total des batteries

**Tableau IV. 6:** Devis estimatif des panneaux

Types de batteries	Nombre de batteries	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
200 Ah	<b>24</b>	<b>55 000.00</b>	<b>1 320 000.00</b>

#### IV.6.3 Devis estimatif total des câbles électriques :

**Tableau IV. 7:** Devis estimatif total des câbles

Câble électrique	Longueur	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Câble 4mm <sup>2</sup>	<b>9m</b>	<b>250.00</b>	<b>2250.00</b>
Câble 16mm <sup>2</sup>	<b>25m</b>	<b>350.00</b>	<b>8750.00</b>
Câble 10mm <sup>2</sup>	<b>12m</b>	<b>650.00</b>	<b>7800.00</b>
Câble 16 mm <sup>2</sup>	<b>9m</b>	<b>350.00</b>	<b>3150.00</b>
		<b>Total</b>	<b>21950.00</b>

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

### IV.6.4 Devis estimatif total de l'onduleur

**Tableau IV. 8:** Devis estimatif total de l'onduleur

Onduleur	Nombre d'onduleur	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
3000VA	<b>3</b>	<b>140 000.00</b>	<b>420 000.00</b>

### IV.6.5 Devis estimatif des armoires électriques

**Tableau IV. 9:** Devis estimatif de l'armoire électrique

Armoire électrique	Nombre	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Sectionneurs	<b>3</b>	<b>5 500.00</b>	<b>16 500.00</b>
Parafoudre DC	<b>3</b>	<b>5 000.00</b>	<b>15 000.00</b>
Disjoncteur DC	<b>3</b>	<b>2 000.00</b>	<b>60 000.00</b>
Porte fusible + fusible	<b>6</b>	<b>800.00</b>	<b>4 800.00</b>
Parafoudre AC	<b>3</b>	<b>6 000.00</b>	<b>18 000.00</b>
Disjoncteur AC	<b>3</b>	<b>750.00</b>	<b>2 250.00</b>
Contacteur	<b>3</b>	<b>1 750.00</b>	<b>5 250.00</b>
Disjoncteur DC de la batterie	<b>3</b>	<b>3 000.00</b>	<b>9 000.00</b>
Armoire	<b>3</b>	<b>10 000.00</b>	<b>30 000.00</b>
Accessoire	<b>N</b>	<b>1000.00</b>	<b>1 000.00</b>
<b>TOTAL</b>			<b>161 800.00</b>

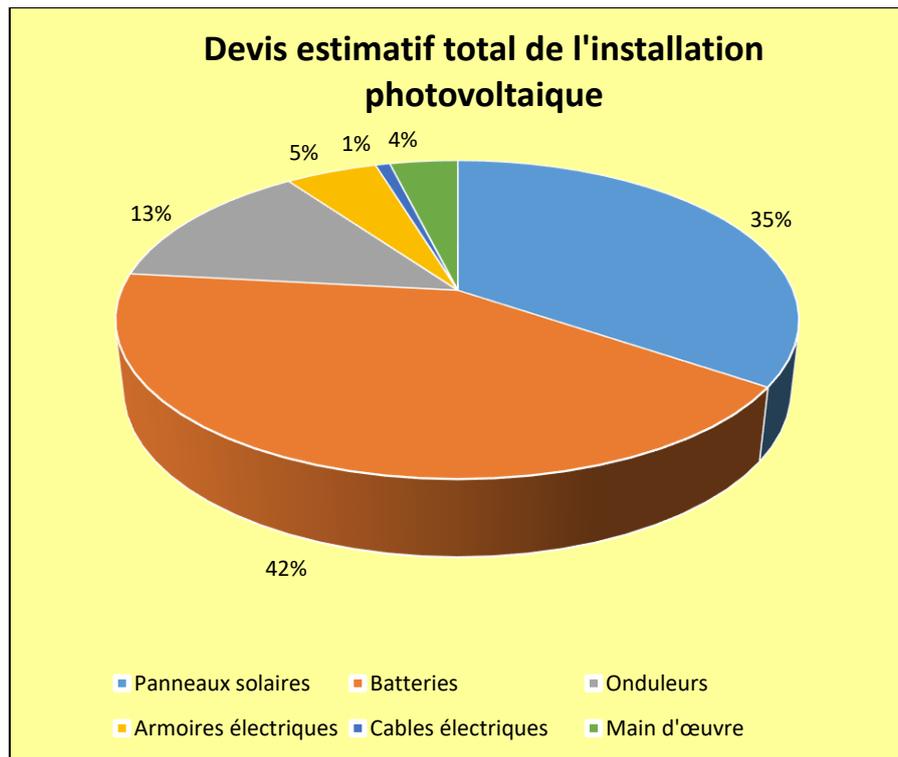
### IV.6.6 Devis estimatif total de l'installation photovoltaïque

**Tableau IV. 10:** Devis estimatif total de l'installation photovoltaïque

Désignation des travaux	Prix (DA)
Générateurs PV avec structure	<b>1 080 000.00</b>
Onduleur MPPT intégré	<b>420 000.00</b>
Câblage électrique	<b>21 950.00</b>
Armoire de commande avec signalisation	<b>161 800.00</b>
Batteries	<b>1 320 000.00</b>
Main d'œuvre	<b>120 000.00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3 123 750.00</b>

### III.6.7 Devis estimatif total de l'installation photovoltaïque en pourcentage

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome



**Tableau IV. 11:** Devis estimatif de l'installation photovoltaïque

D'après le graphe on constate que les batteries et les panneaux solaires sont les éléments les plus coûteux dans notre installation, représentant 42% et 35% respectivement du coût de l'installation.

### IV.7 Compte rendu de l'installation

Nous avons effectué une installation solaire du 21/02 au 24/02/2023 afin d'électrifier une école primaire à Sedrata wilaya de Souk-Ahras.

**Jour 1 :** Nous avons commencé par la visualisation des lieux pour envisager les meilleurs endroits possibles pour l'installation afin de tirer un meilleur rendement.

Par la suite nous avons entamé les travaux par la pose des 30 panneaux solaires d'une puissance de 330 Wc sur 3 structures métalliques galvanisées (10 panneaux sur chaque structure) qui sont à leurs tours fixés sur des socles en béton armé.

**Jour 2 :** Ensuite nous avons fixé 3 onduleurs EPEVER d'une puissance de 3 KW ainsi les 3 armoires de protections, puis nous avons procédé aux raccordements des panneaux (5 panneaux en série reliés à un coffret de protection DC qui est fixé au pied de structure, idem pour les deux autres structures), par la suite nous avons reliés les câbles DC 10 mm<sup>2</sup> sortant des 3 coffrets à leurs onduleurs tout en passant par des gaines électriques et PVC qui servent de

## Chapitre IV: Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

---

protection ainsi éviter tout contact extérieur , même pour tous les autres câbles utilisées au chantier.

**Jour 3 :** Pose des 24 batteries (3 packs de 8 batteries) Master Energy 200 Ah sur des structures métalliques, dans chaque pack nous avons 4 boucles raccordées en parallèle (des boucles de 2 batteries raccordés en série).Chaque pack nous l'avons raccordé à un onduleur en passant par un disjoncteur de protection, après cela nous avons fixé une armoire de protection AC pour relier l'installation à l'armoire principale de l'école par trois câbles 2x16mm<sup>2</sup>.

**Jour 4 :** Nous avons mis en marche l'installation avec succès, puis nous avons procédé au nettoyage des lieux.

### IV.8 Conclusion :

Le présent chapitre se focalise sur la conception et la mise en place du système photovoltaïque autonome qui est examiné. Nous avons calculé la quantité de panneaux photovoltaïque nécessaire, sélectionné l'onduleur adéquat ainsi que la section des câbles appropriée. Nous avons également identifié les composants de protection indispensables pour cette installation. Enfin, nous avons évalué le cout total de cette installation.

# **Conclusion Générale**

# Conclusion Générale

---

## Conclusion générale

Le travail présenté dans ce manuscrit concerne l'étude, le dimensionnement et la modélisation d'un système photovoltaïque autonome.

Nous avons commencé dans le premier chapitre par la présentation de l'entreprise **Mounir Solar Energy** afin de décrire les valeurs de l'entreprise et ses innovations technologiques et organisationnelles ainsi les moyens humains affectés au chantier et le matériel utilisé pour les différents travaux.

Ensuite, dans le deuxième chapitre nous avons passé à la description de l'énergie photovoltaïque, les différents éléments constitutants, le principe de fonctionnement des ainsi les différents systèmes PV.

Dans le troisième chapitre, nous avons modélisé ce système PV isolé et on a détecté l'influence des conditions météorologiques sur la production de l'électricité, enfin on a utilisé la méthode perturbation et observation pour maximiser la puissance.

Le dernier chapitre, nous l'avons consacré au dimensionnement et la réalisation d'un projet photovoltaïque isolé pour l'électrification d'une école primaire située à Souk-Ahras.

Suite à ce travail, nous avons acquis des connaissances concernant une installation photovoltaïque autonome, ce qui fait l'objet actuel des recherches ainsi que son développement.

L'Algérie est un pays riche en énergie solaire, on doit l'exploiter pour développer le secteur de l'économie et être indépendant du réseau électrique.

# Références Bibliographiques

---

## Références bibliographiques

- [1] : I.Tahraoui et A.Halil., Mémoire Master « Dimensionnement et étude d'une installation photovoltaïque pour une habitation domestique » Université de Tlemcen 2017
- [2] : C.Serir , thèse de doctorat « Commande d'un système Multi-sources PV/éolien associé à un système de stockage » Université de Bejaia 2017
- [3] : R.Belabed , Mémoire master « Etude et dimensionnement d'une installation PV» Université de Tizi-Ouzou 2017
- [4] : <https://youmatter.world/fr/definition/energies-R-definition/>
- [5] : D.Takourabt et A.Tamadagt , Mémoire Master énergétique « Chauffage d'une maison individuelle par géothermie à l'aide d'une pompe à chaleur ».
- [6] : M.Mchalikh et CH.Hmada , Mémoire Master « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau » U.Ouargla
- [7] : Mellit.A, thèse de doctorat « Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque ».
- [8] : <https://www.cea.fr>
- [9] : S.Arah.S et D.Toudert., Mémoire Master « Etude d'un système de pompage photovoltaïque » Université de Tizi-Ouzou 2017
- [10] : H.Dahmani et M.Bouzaia , Mémoire Master « Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque dédié à une habitation » U. Tizi-Ouzou
- [11] : A.Berrgui et A.ABSA , Mémoire Master « Etude technicoéconomique d'une installation photovoltaïque pour application dans la région de Ouargla »
- [12] : A.Labouret., P.Cumuel., J.P.Braun., B.Feraggi. « Cellules solaires les bases de l'énergie photovoltaïque » 3 eme édition Paris, 2001
- [13] : K.Dehouche et K.Mouhoubi , Mémoire Master « Etude et conception d'un système de pompage photovoltaïque avec stockage électrochimique Université de Bejaïa 2014
- [14] : N.Ouchene , Mémoire Master « Dimensionnement d'un système à énergie renouvelable» Université de Béjaia2022.
- [15] : I.Agaoua et K.Boudjemai , Mémoire Master « Etude d'un système de pompage photovoltaïque » Université de Bejaia 2019
- [16] : W.Lalami.W et R.Boukerram., Mémoire Master « Contrôle vectoriel d'un système de pompage photovoltaïque avec stockage » Université de Bejaia 2019
- [17] : S.Zeggane, Mémoire Master « Etude et simulation d'un système de pompage photovoltaïque » Université de Bejaia 2022.

## Références Bibliographiques

---

- [18] : K.Ammara., Mémoire de Magister « Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance 1MW interconnectée au réseau de moyenne tension » Université de Tizi-Ouzou 2015.
- [19] : C.Semassou , thèse de doctorat en mécanique « Aide à la décision pour le choix de sites et systèmes énergétiques » Université de Bordeaux 2011
- [20] : M.Hankinks : Installations solaires photovoltaïques autonomes non raccordées au réseau Paris Dunod 2012.
- [21] : S.Briugrand : Installations solaires photovoltaïques, dimensionnement, installation et mise en œuvre maintenance. Paris le Moteur 2011
- [22] : M.Nacef « Analyse et commande optimale du système de stockage d'énergie dans un générateur photovoltaïque ». Mémoire de Master en Sciences et Technologie. Université Ferhat Abbas Sétif. 2012
- [23] : K.Bourad mémoire master « Dimensionnement d'un système photovoltaïque avec stockage » Université de Bejaia 2020/2021 .
- [24] : A.Labouret , ESPV Dunod 2006 3 ème édition.
- [25] : S.Semaoui , Mémoire de Magister «Etude de l'électrification d'un village avec l'énergie solaire photovoltaïque »Université de Ouargla 2004.
- [26] : Cellule photovoltaïque , disponible sur : <https://www.edfenr.com/lexique/cellule-photovoltaïque> Consulté le 27/04/2022
- [27] : C.Serir , thèse de doctorat « Commande d'un système Multi-sources PV/éolien associé à un système de stockage » Université de Bejaia 2017
- [28] : : M.Arrouf et S.Ghabrour « Commande d'un système multi-sources PV/éolien associé à un système de stockage » Journal of Désaliénation 2007, pp 23-30
- [29] : K.Dehouche et K.Mouhoubi , Mémoire Master « Etude et conception d'un système de pompage photovoltaïque avec stockage électrochimique Université de Bejaia 2014
- [30] : D.Laplaze et I.Youm « Modélisation d'une cellule photovoltaïque et détermination des paramètres à partir de la caractéristique courant-tension sous éclairnement » Journal of Solar Cells 1985 pp, 167-177
- [31]: Alonso Gutiérrez.G, Micheal.B, Fernando Jimenez.V,Corrine.A « Shading ratio impact on photovoltaic modules and correlation with patterns » Journal of Enegies 2018 , pp 1-26
- [32] : C.Serir cours de maintenance et fiabilité des systèmes à énergies renouvelables , Université de Bejaia
- [33] : Z.Hamane, H.Hassani « Etude d'un système hybride PV/PAC/Batterie »Université de Bejaia 2017/2018.
- [34] : S.Mouassane , S.Kiciri «Gestion d'énergie d'un système photovoltaïque avec batterie »Université de Bejaia 2013/2014.

## Références Bibliographiques

---

[35] : T.Benkhemou , Mémoire Master « Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque intégrée au bâtiment : Cas d'un laboratoire au CDER » Université Tizi-Ouzou 2014.

[36] : D.Rekioua cours « Application aux systèmes de conversion d'énergie électrique photovoltaïque » , Université de Bejaia

[37] : G.B Dhief et S.L.Mouadh , Mémoire master « Gestion d'énergie d'un système photovoltaïque» Université de Ouargla 2018.

# Annexes

Item	UP3000-HM10022	UP3000-HM5042	UP5000-HM8042
Nominal battery voltage	24VDC		48VDC
Battery input voltage range	21.6 ~ 32VDC		43.2~64VDC
Max. battery charging current	100A	50A	80A
<b>Inverter output</b>			
Continuous output power	3000W@30°C	3000W@30°C	5000W@30°C
Max. surge power	6000W	6000W	8000W
Output voltage range	220VAC(-6%~+3%), 230VAC(-10%~+3%)		
Output frequency range	50/60Hz±0.2%		
Output wave	PureSineWave		
Load power factor	0.2-1 (VA≤continuous output power)		
Distortion THD	THD≤3% (Resistive load)		
80% rated output efficiency	92%	92%	92%
Max. Rated output efficiency	91%	90%	91%
Max. output efficiency	93%	93%	93%
Switch time	10ms(Switch from the utility output to the inverter output) 15ms(Switch from the inverter output to the utility output)		
<b>Utility charging</b>			
Utility input voltage range	176VAC~264VAC(Default) 90VAC~280VAC(Programmable)		
Utility input frequency range	40~65Hz		
Max. utility charge current	80A	40A	60A
<b>Solar charging</b>			
Max. PV open circuit voltage	450V(At minimum operating environment temperature) 395V(25°C)		500V(At minimum operating environment temperature)
MPPT voltage range	80~350V	80~350V	120~400V
Max. PV input power	4000W (Note: For the curve of Max. PV input power Vs. PV open-circuit voltage, see chapter 3.4 Operating mode for details.)		
Max. PV charging power	2875W	2875W	4000W
Max. PV charging current	100A	50A	80A
Equalize charging voltage	29.2V(AGM default)		58.4V(AGM default)
Boost charging voltage	28.8V(AGM default)		57.6V(AGM default)
Float charging voltage	27.6V(AGM default)		55.2V(AGM default)
Low voltage disconnect voltage	21.6V(AGM default)		43.2V(AGM default)
Tracking efficiency	≥99.5%		
Temperature compensate coefficient	-3mV/°C/2V(Default)		
<b>General</b>			
Surge current	60A	56A	95A
Zero load consumption	<1.6A(without PV and utility connection, turn on the load output)	<1.2A(without PV and utility connection, turn on the load output)	
Standby current	<1.0A(without PV and utility connection, turn off the load output)	<0.7A(without PV and utility connection, turn off the load output)	
Enclosure	IP30		
Relative humidity	<95%(N.C.)		
Working environment temperature	-20°C~50°C (When the working temperature reaches 30°C or above, the load power will be reduced appropriately; full load working is not supported)		
Storage environment	-25°C~60°C		
<b>Mechanical Parameters</b>			
Dimension(HxWxD)	642.5x381.6x149mm	607.5x381.6x149mm	642.5x381.6x149mm
Net Weight	19kg	15kg	19kg

## Fiche technique de l'onduleur Epever

# Résumé

---

## Résumé

L'objectif de notre travail était de dimensionner une installation pour électrifier un établissement scolaire situé à Sedrata Wilaya de Souk-Ahras. Nous avons commencé par la présentation de l'entreprise d'accueil Mounir Solar et certaines généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque. Ensuite nous avons réalisé la modélisation nécessaire à notre système pour prendre en compte des caractéristiques physiques des éléments qui constitue notre système PV. Et vers la fin nous avons fait les calculs nécessaires aux dimensionnements d'une installation photovoltaïque isolée.

Cette installation est constituée de 30 panneaux solaires de puissance 330 Wc chacun, l'architecture de l'école nous oblige de partager les 30 panneaux par trois packs c'est à dire (10 panneaux dans chaque partie avec 5 série et 2 chaines). Pour ce qui est dû au stockage, nous avons utilisé 24 batteries Gel de 200 Ah.

La constitution de notre installation est comme suit : 30 panneaux solaires type Eurener (330W), 24 batteries 3 onduleurs type Epever (3000 W chacun) avec des régulateurs intégrés, une boîte de jonction et une armoire électrique afin de protéger notre système.

## Abstract

The objective of our works was to size an installation to electrify a school located in Sedrata, Wilaya de Souk-Ahras. We started with the presentation of the hosting company, Mounir Solar, and some general information about photovoltaic solar energy. Then, we carried out the necessary modeling for our system to take in to account the physical characteristics of the elements that constitute our PV system. Towards the end, we performed the necessary calculations for sizing an off-grid photovoltaic installation.

This installation consists of 30 solar panels with a power rating of 330 W each. The school's architecture requires us to divide the 30 panels in to three packs, meaning there are 10 panels in each section with 5 in series and 2 in parallel. As for storage, we used 24 Gel batteries with a capacity of 200 Ah each.

The components of our installation are as follows: 30 Eurener solar panels (330 W), 24 Gel batteries, 3 Epever inverters (3000 W each) with integrated controllers, a junction box, and an electrical cabinet to protect our system.

## Résumé

### ملخص

الهدف من هذه الأطروحة تأمين الكهرباء لمؤسسة تعليمية في سدراتة ولاية سوق أهراس. بدأنا بتقديم الشركة المضيفة مونيرسولار وبعض المفاهيم العامة حول الطاقة الشمسية الضوئية. ثم قمنا بإجراء التصميم اللازم لنظامنا لمراعاة الخصائص الفيزيائية للعناصر التشكيلية لنظامنا الكهروضوئي. وفي النهاية قمنا بإجراء الحسابات اللازمة لتحجيم تركيبة طاقة شمسية تتكون هذه التركيبة من 30 لوحة شمسية بقدرة 330 واط لكل منها. يلزمنا تقسيم اللوحات الثلاثين إلى ثلاث مجموعات أي 10 لوحات في كل جزء مع 5 لوحات متصلة بتوالي و 2 سلاسل متوازية. فيما يتعلق بالتخزين، استخدمنا 24 بطارية جل بسعة 200 أمبير في الساعة. يتكون تركيبتنا من العناصر التالية: 30 لوحة شمسية من نوع إيورينر (330 واط)، 24 بطارية جل، 3 محولات من نوع إييفر (3000 واط لكل واحد) مع مراقبين مدمجين، صندوق اتصال وخزانة كهربائية لحماية نظامنا.