

République Algérienne Démocratique et Populaire.  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.  
Université A.MIRA-BEJAIA.  
Faculté de Technologie.  
Département de Génie Electrique.



## **Mémoire de Fin d'Etudes**

En Vue de l'Obtention du Diplôme Master En  
Electrotechnique.  
Option Energies Renouvelables En Electrotechnique

### **Thème**

---

# **Dimensionnement d'un système photovoltaïque avec stockage**

---

### **Réalisé Par :**

➤ BOURAD Kahina

### **Encadré par :**

Mme RAHRAH Karima

### **Co-promoteur :**

Mr OUCHENE Nassim

**Année Universitaire :2020/2021**

## REMERCIEMENTS

*En premier lieu, je tiens à remercier le **bon DIEU**, de m'avoir donné Le courage et la patience pour mener à bien ce modeste travail pendant toute cette longue année,*

*Je remercie Très sincèrement :*

- *Mme **RAHRAH Karima** mon promoteur de ce Travail, pour ses conseils, sa patience et diligence, enfin par ses suggestions qui m'ont facilité ce travail.*

- *Mr **ATROUN Salah** pour son soutien et ses orientations judicieuses*

- *Mr **BENHARRAT Mounir** qui m'a accueilli dans son entreprise*

- *Mr **OUCHENE Nassim** qui m'a suivi pendant toute la période de mon stage pratique.*

- *Les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Enfin Je remercie **mes parents** qui n'ont pas arrêté à m'encouragé et qui ont grandement aidé et contribué à la réussite dans mon parcours grâce à leurs sacrifices.*

# SOMMAIRE

---

## SOMMAIRE

Introduction générale .....	2
<b>Chapitre I : Généralités sur le photovoltaïque</b>	
<b>I.1 Introduction.....</b>	<b>2</b>
<b>I.2 Energie solaire photovoltaïque .....</b>	<b>2</b>
<b>I.3 Les différents types de systèmes photovoltaïques .....</b>	<b>2</b>
I.3.1 Système photovoltaïque autonomes .....	2
I.3.2 Système PV connecté au réseau .....	3
I.3.3 Système hybrides.....	4
<b>I.4 La cellule photovoltaïque.....</b>	<b>4</b>
I.4.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	4
I.4.2 Technologie des cellules photovoltaïques .....	5
<b>I.5 Eléments d'un système photovoltaïque .....</b>	<b>6</b>
I.5.1 Un panneau solaire Photovoltaïque .....	6
I.5.2 Convertisseur DC/DC.....	9
I.5.3 Les batteries .....	9
I.5.3.1 Les types de batteries .....	9
I.5.3.2 Les caractéristiques principales d'une batterie.....	10
I.5.4 Choix du régulateur solaire .....	11
I.5.5 Un onduleur .....	11
I.5.6 MPPT.....	12
I.5.7 Les charges .....	12
<b>I.6 Avantages et Inconvénients de l'Énergie Photovoltaïque .....</b>	<b>12</b>
<b>I.7 Conclusion.....</b>	<b>13</b>
<b>Chapitre II : Dimensionnement d'un système photovoltaïque</b>	
<b>II.1 Introduction .....</b>	<b>15</b>
<b>II.2 Le but du dimensionnement .....</b>	<b>14</b>
<b>II.3 Dimensionnement d'un système photovoltaïque .....</b>	<b>14</b>
II.3.1 Choix de la méthode de dimensionnement .....	14
II.3.1.1 La méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation .....	14
II.3.1.2 La méthode la moins défavorable .....	15

---

---

# SOMMAIRE

---

II.3.1.3 La méthode de la moyenne annuelle .....	15
<b>II.4 Coordonnée géographique .....</b>	<b>15</b>
<b>II.5 Etapes de dimensionnement d'une installation photovoltaïque .....</b>	<b>15</b>
II.5.1 Evaluation du besoin en électricité.....	16
II.5.2 Puissance crête du champ photovoltaïque.....	17
II.5.3 Dimensionnement des Panneaux photovoltaïques .....	17
II.5.4 Dimensionnement des batteries.....	19
II.5.5 Dimensionnement de l'onduleur.....	20
II.5.6 Dimensionnement des câbles .....	21
<b>II.6 La protection d'un système photovoltaïque .....</b>	<b>24</b>
<b>II.8 Conclusion .....</b>	<b>25</b>
<b>Chapitre III : Etapes de réalisation et étude du coût de l'installation</b>	
<b>III.1 Introduction.....</b>	<b>26</b>
<b>III.2 Partie I : Présentation du projet .....</b>	<b>26</b>
III.2.1 Description de l'école .....	27
III.2.2 Etapes de dimensionnement de l'installation.....	28
III.2.2.1 Evaluation du besoin en électricité .....	28
III.2.2.2 Puissance crête du champ photovoltaïque .....	28
III.2.2.3 Dimensionnement des panneaux photovoltaïques .....	29
III.2.2.4 Dimensionnement des batteries .....	30
III.2.2.5 Dimensionnement de l'onduleur.....	31
III.2.2.6 Dimensionnement des câbles .....	32
<b>III.3 Réalisation du projet.....</b>	<b>33</b>
III.3.1 Les éléments utilisés dans l'installation .....	33
III.3.1.1Panneaux PV .....	33
III.3.1.2 Batterie.....	36
III.3.1.3 Onduleur .....	36
III.3.1.4 Les éléments de protection.....	37
<b>III.3 Partie II : Devis estimatif total de l'installation .....</b>	<b>42</b>
III.3.1 Devis estimatif total des panneaux .....	43
III.3.1 Devis estimatif total des batteries .....	43
III.3.1 Devis estimatif total des câbles électriques .....	43

---

# SOMMAIRE

---

III.3.1 Devis estimatif total des onduleurs .....	43
III.3.1 Devis estimatif total des armoires électriques .....	43
III.3.6 Devis estimatif total de l'installation photovoltaïque .....	44
III.3.7 Devis estimatif total de l'installation photovoltaïque en pourcentage.....	44
<b>III.4 Conclusion .....</b>	<b>44</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>45</b>
<b>Références Bibliographiques .....</b>	<b>46</b>

---

---

## Liste des tableaux

---

### Liste des tableaux

<b>Tableau II.1</b> : Tension recommandée pour les systèmes photovoltaïques .....	17
<b>Tableau III.1</b> : Consommation de la journée de l'école .....	27
<b>Tableau III.2</b> : Caractéristique du système PV étudié .....	28
<b>Tableau III.3</b> : Fiche technique d'un panneau pv .....	29
<b>Tableau III.4</b> : Fiche technique de la batterie.....	30
<b>Tableau III.5</b> : Fiche technique de l'onduleur .....	31
<b>Tableau III.6</b> : Devis estimatif des panneaux.....	42
<b>Tableau III.7</b> : Devis estimatif des batteries.....	42
<b>Tableau III.8</b> : Devis estimatif total des câbles électriques.....	43
<b>Tableau III.9</b> : Devis estimatif de l'onduleur .....	43
<b>Tableau III.10</b> : Devis estimatif des armoires électriques .....	43
<b>Tableau III.11</b> : Devis estimatif total de l'installation solaire photovoltaïque.....	43

---

## Liste des figures

---

### Liste des figures

<b>Figure I.1:</b> Schéma d'un système pv autonome avec batterie.....	3
<b>Figure I.2 :</b> Exemple de la structure d'un système PV connecté au réseau .....	3
<b>Figure I.3 :</b> Schéma d'un système PV hybride .....	4
<b>Figure I.4 :</b> Silicium monocristallin .....	5
<b>Figure I.5 :</b> Silicium poly cristallin .....	5
<b>Figure. I.6 :</b> Silicium Amorphe .....	6
<b>Figure II.7 :</b> Exemple d'association sécurisée de deux modules PV en parallèle avec leur diode de protection .....	7
<b>Figure I.8 :</b> Association en parallèle .....	7
<b>Figure I.9 :</b> Association en série .....	8
<b>Figure I.10 :</b> Association mixte (série + parallèle) .....	8
<b>Figure I.11:</b> Schéma de principe d'un hacheur : (a) abaisseur, (b) élévateur .....	9
<b>Figure I.12 :</b> Schéma symbolique de l'onduleur .....	12
<b>Figure III.1 :</b> Site de l'école Hassiba Ben bouali.....	26
<b>Figure III.2:</b> Panneau PV .....	34
<b>Figure.III.3 :</b> Plaque signalétique de panneau .....	34
<b>Figure III.4 :</b> La structure porteuse des panneaux .....	34
<b>Figure III.5 :</b> La boîte de jonction connecté au panneaux .....	35
<b>Figure III.6 :</b> L'installation des panneaux .....	35
<b>Figure III.7 :</b> Parc de batterie.....	36
<b>Figure III.8 :</b> Onduleur de 5kVA .....	36
<b>Figure III.9 :</b> Plaque signalitique de l'onduleur.....	36
<b>Figure III.10 :</b> Les 3 onduleurs de 5 kVA .....	36
<b>Figure III.11 :</b> La armoire électrique .....	37
<b>Figure III.12 :</b> Les éléments de protections .....	37
<b>Figure III.13 :</b> Partie DC.....	37
<b>Figure III.14 :</b> Sectionneur .....	38
<b>Figure III.15 :</b> Parafoudre DC .....	38
<b>Figure III.16 :</b> Disjoncteur.....	39
<b>Figure III.17 :</b> Partie AC.....	39
<b>Figure III.18 :</b> Porte fusible .....	39

---

## Liste des figures

---

<b>Figure III.19 :</b> Parafoudre AC .....	40
<b>Figure III.20 :</b> Interrupteur-sectionneur.....	40
<b>Figure III.21 :</b> Mini-Disjoncteur.....	40
<b>Figure III.22 :</b> Partie commande.....	41
<b>Figure III.23 :</b> Disjoncteur.....	41
<b>Figure III.24 :</b> Contacteur de commande.....	42
<b>Figure III.25 :</b> L'onduleur plein fonctionnement .....	42
<b>Figure III.26:</b> Les ondeleur, les batteries et les armoires électrique.....	42
<b>Figure. III.27 :</b> Prix des éléments de l'installation photovoltaïque en pourcentage .....	44

---



---

## Liste des symboles

---

### Liste des symboles

**PV** : Photovoltaïque

**DC** : Courant continu

**AC** : Courant alternatif

**E** : La consommation globale de système

**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 chaque un(h)

**P<sub>pvtot</sub>** : Puissance crête du champ PV

**B<sub>j</sub>** : Besoins énergétique journaliers

**p** : Les pertes

**E<sub>s</sub>** : Ensoleillement (nombre d'heure crête équivalent)

**N<sub>pV</sub>** : Nombre de panneaux de PV.

**P<sub>pV,tot</sub>** : Puissance totale panneaux PV

**P<sub>pV,u</sub>** : Puissance d'un panneau PV

**N<sub>S</sub>** : Nombre de panneaux connectés en série

**V<sub>PV</sub>** : Tension total du champ

**V<sub>pV,u</sub>** : La tension délivrée par un seul panneau photovoltaïque

**N<sub>p</sub>** : Nombre de branches en parallèles

**C<sub>bat</sub>** : La capacité nominale des batteries

**Aut** : Le nombre de jour d'autonomie.

**U<sub>bat</sub>** : La tension nominale des batteries

**P<sub>DD</sub>** : La profondeur de décharge des batteries.

**η<sub>b</sub>** : Rendement de la batterie.

**N<sub>bat</sub>** : Nombre de batteries

**C<sub>bat,u</sub>** : La capacité de batterie unitaire

**N<sub>bat,S</sub>** : Nombre de batteries en série

**N<sub>bat,p</sub>** : Nombre de batteries en parallèle

---

## Liste des symboles

---

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

$N_{\text{PV,S,min}}$  : Nombre de panneaux minimal en série

$V_{\text{OC,min,ond}}$  : Tension minimal a circuit ouvert de l'onduleur

$V_{\text{mp,pv}}$  : Tension a puissance max de panneau

$N_{\text{PV,S,max}}$  : Nombre de panneaux maximal en série

$V_{\text{OC,max,ond}}$  : Tension maximal a circuit ouvert de l'onduleur

$V_{\text{mp,pv}}$  : Tension a puissance max de panneau

$N_{\text{PV,p,max}}$  : Nombre de panneaux maximal en parallèle

$I_{\text{max,ond}}$  : Le courant nominal de l'onduleur

$I_{\text{mp,pv}}$  : Le courant a puissance maximal d'un panneau

$I$  : intensité de courant

$I_{\text{cc}}$  : Courant de court-circuit du panneau

$\Delta v$  : Chute de tension

$\rho$  : Résistivité linéaire du conducteur constitutif du câble

$s$  : Section du câble

$L$  : Longueur du câble

$I_{\text{bat}}$  : Courant des batteries

$\beta$  : Coefficient qui vaut 1 en triphasé 2 en monophasé

$\rho_{\text{cu}}$  : La résistivité du matériau conducteur (cuivre)

$\text{COS}\delta$  : Facteur de puissance (le déphasage entre la tension et le courant en alternatif)

$I_{\text{B}}$  : Courant maximale d'emploi

---

# **Introduction générale**

---

# Introduction générale

---

## Introduction générale

La production d'énergie électrique est un réel défi d'un point de vue écologique, et économique. Aujourd'hui, l'essentiel de cette production mondiale d'énergie provient de sources fossiles non renouvelables. Ce type d'énergie donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution [2].

L'exploitation des ressources naturelles fossiles limitées et épuisables dans le temps poussent les pays développés et émergents à se retenir vers des énergies propres et renouvelables tels que le solaire, la géothermie, la biomasse et l'énergie éolienne [10].

L'énergie solaire est considérée comme une source d'énergie renouvelable à fort potentiel, elle connaît actuellement un fort développement dans le monde.

Notons que l'Algérie dispose d'un des gisements les plus importants dans le monde.

Vu l'importance de l'énergie photovoltaïque, la recherche scientifique se développe dans le but d'améliorer l'exploitation des systèmes solaires qui est basée sur l'optimisation et le dimensionnement de ces derniers.

Notre travail consiste au dimensionnement et la réalisation d'une installation photovoltaïque avec stockage pour une école primaire (Hassiba Ben Bouali) située à Ain Taya à Alger, dans lequel on se base sur l'utilisation d'une méthode simple qui permet de bien dimensionner les différents éléments de notre système.

Pour cela, nous avons subdivisé notre mémoire en trois chapitres :

- Le premier chapitre sera consacré aux généralités sur le photovoltaïque, les différents types de système photovoltaïque particulièrement système avec batterie.
- Dans le deuxième chapitre nous présenterons des méthodes de dimensionnement des systèmes photovoltaïques autonomes.
- Le troisième chapitre sera consacré à la présentation, les étapes du dimensionnement et la réalisation pratique de notre projet, suivi par un devis estimatif pour l'installation complète.

Ce travail sera bien évidemment finalisé par une conclusion générale

# **Chapitre I :**

## **Généralités sur le photovoltaïque**

## I.1 Introduction

L'énergie photovoltaïque connaît actuellement un fort développement dans le monde. Celle-ci est la plus populaire et la plus répandue vu son caractère écologique.

Dans ce chapitre, nous décrivons des généralités sur le système photovoltaïque, (la définition de l'énergie solaire photovoltaïque, les différents types de système photovoltaïque, les cellules PV, les éléments de système PV...etc.)

## I.2 L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium recouvert d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure, c'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et libèrent un courant électrique continu. L'électricité produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stockée en batteries (énergie électrique décentralisée) ou en électricité injectée dans le réseau. Un générateur solaire photovoltaïque est composé de modules photovoltaïques eux même composés de cellules photovoltaïques connectées entre elles [3] [4] [5].

## I.3 Les différents types de systèmes photovoltaïques

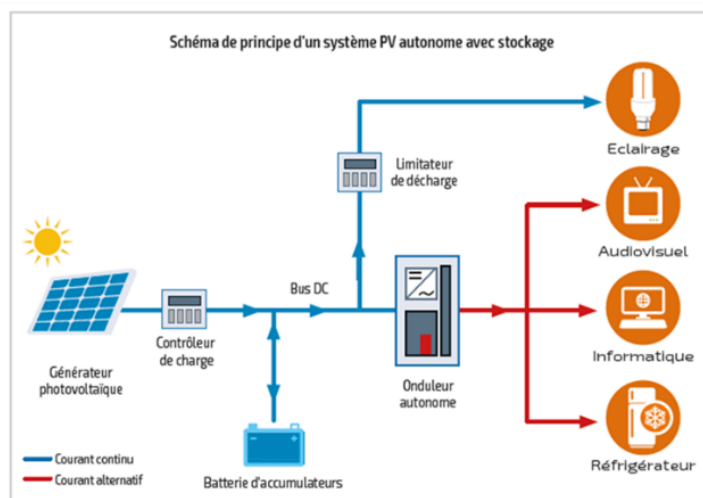
### I.3.1 Système photovoltaïque autonome [6]

Ces systèmes photovoltaïques sont installés pour assurer un fonctionnement autonome sans recours à d'autres sources d'énergie. Généralement, ces systèmes sont utilisés dans les régions isolées et éloignées du réseau. Selon l'utilisation ou non du stockage électrochimique, les systèmes photovoltaïques autonomes sont classés comme suit :

- **Système autonome sans stockage électrochimique** : Ce type de système ne requiert pas de stockage d'électricité, soit parce que la production d'énergie des cellules est suffisante sous un faible éclairage, soit que le temps de fonctionnement de la charge n'est pas critique (ex.: pompe à eau: le réservoir d'eau sert de stockage) [6].
- **Système autonome avec stockage électrochimique** : C'est le système photovoltaïque le plus commun. Le champ PV sert de chargeur pour la batterie. L'électricité peut alors être utilisée en tout temps. Par exemple, ce système est bien

## Généralités sur le photovoltaïque

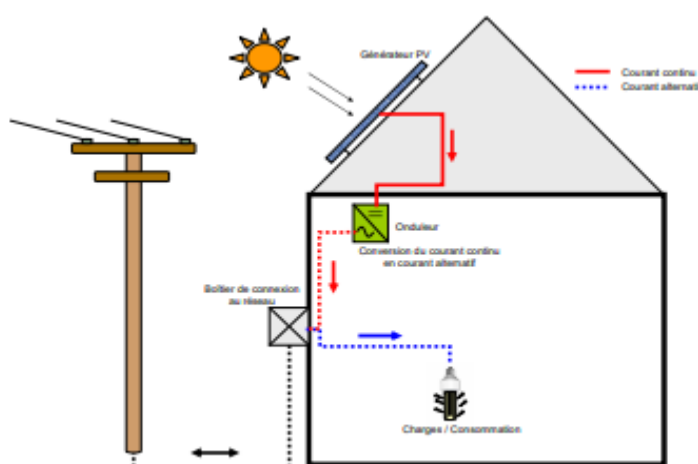
adapté pour l'éclairage d'une maison où il faut de l'électricité lorsqu'il ne fait plus jour [6].



**Figure I.1:** Schéma d'un système pv autonome avec batterie [6].

### I.3.2 Système PV connecté au réseau

La figure I.2 représente un système PV connecté au réseau électrique, dont le rôle principal est de contribuer à la production d'électricité d'origine renouvelable sur le réseau. D'un point de vue de la physique, l'énergie produite par les modules est directement consommée par les charges locales de l'habitat. L'éventuel surplus de production par rapport à la consommation instantanée est injecté sur le réseau. Le réseau est utilisé en appoint à la production PV [7].



**Figure I.2 :** Exemple de la structure d'un système PV connecté au réseau [7].

### I.3.3 Système hybrides

Il s'agit de systèmes qui regroupent des sources d'énergie de nature différentes. On prend comme exemple l'énergie photovoltaïque et l'énergie éolienne, ce qui permet d'optimiser au maximum les systèmes de production d'électricité. Ce type d'installation est utilisé lorsque le générateur photovoltaïque seul ne couvre pas toute l'énergie requise [2].

Les systèmes photovoltaïques hybrides intègrent un générateur photovoltaïque et un autre générateur : éolienne, groupe électrogène... et même parfois le réseau public d'électricité. En général, un système de batteries stocke l'énergie et permet ainsi de ne pas perdre l'énergie des sources aléatoires telles que le solaire ou l'éolien. La difficulté de ce type de système est d'équilibrer les différentes sources d'énergie de façon à toutes les optimisées. Etant entendu que les sources thermiques et le réseau public, sont toujours les appoints de dernier recours [8]

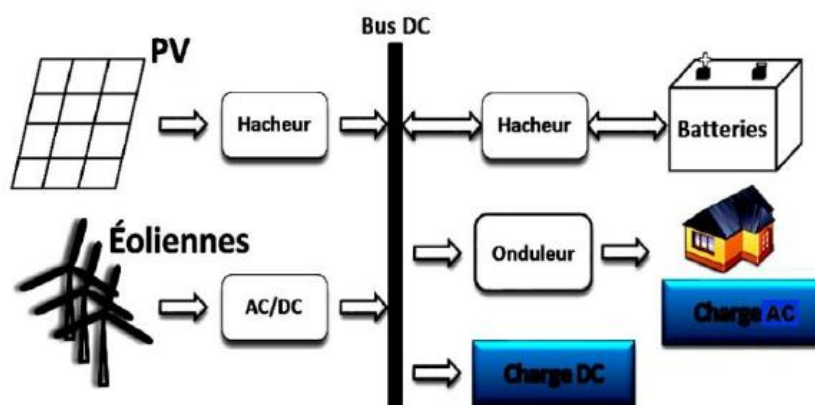


Figure I.3 : Schéma d'un système PV hybride [8].

### I.4 La cellule photovoltaïque

#### I.4.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [8]

Le principe de fonctionnement de cette cellule repose sur l'effet photovoltaïque. En effet une cellule est constituée de deux couches minces d'un semi-conducteur, ces deux couches sont dopées différemment :

- Pour la couche N, apport d'électrons périphériques



---

## Généralités sur le photovoltaïque

---

- Pour la couche P, déficit d'électrons

Ces deux couches présentent ainsi une différence de potentiel. L'énergie des photons lumineux captés par les électrons périphériques (couche N) leur permet de franchir la barrière de potentiel et d'engendrer un courant électrique continu. Pour effectuer la collecte de ce courant, des électrodes sont déposées par sérigraphie sur les deux couches de semi-conducteur.

### I.4.2 Technologie des cellules photovoltaïques [9]

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïque. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant quelque soit le type, le rendement reste assez faible entre : 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. Les cellules les plus utilisées sont :

- **Silicium monocristallin :**

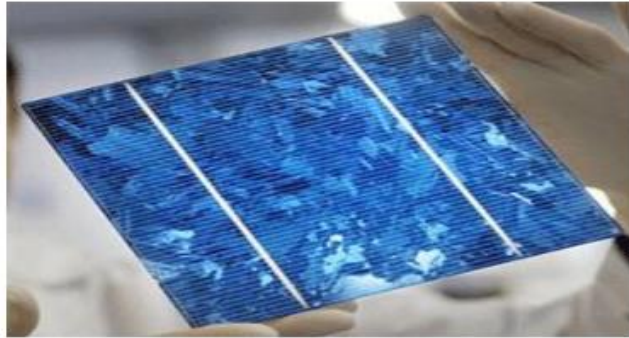
Les cellules monocristallines sont des photopiles élaborées à partir de silicium cristallisé en un cristal unique. Leur rendement est de 10 à 16 %, mais leur fabrication est complexe et consommatrice d'énergie.



Figure I.4 : Silicium monocristallin[14]

- **Silicium poly cristallin**

Les cellules poly cristallines sont fabriquées à partir d'un bloc de silicium cristallisé sous forme de cristaux multiples. Leur rendement moyen est de 11 à 13 %, et leur coût de production est un peu moins élevé que celui des cellules monocristallines.



**Figure I.5 :** Silicium poly cristallin [9]

- **Silicium amorphe**

Les cellules amorphes se composent de couches de silicium très minces appliquées sur un support en verre, en plastique souple ou en métal. A l'origine, leur rendement était plus faible (6 à 10%), mais la technologie évolue rapidement, ils fonctionnent avec un éclairage faible ou diffus (même par temps couvert, y compris sous éclairage artificiel de 2 à 3000 lux).



**Figure. I.6 :** Silicium Amorphe [9]

### **I.5 Eléments d'un système photovoltaïque**

Il existe plusieurs composants d'un système photovoltaïque :

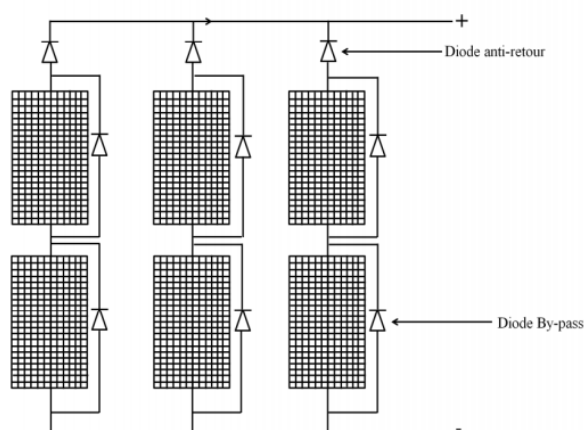
#### **I.5.1 Un panneau solaire photovoltaïque**

Un panneau solaire transforme l'énergie du soleil en énergie électrique : Le panneau est constitué de couches de silicium chargées positivement et négativement. Quand les rayons du soleil entre en contact avec le panneau, cela crée une différence de potentiel électrique et donc crée un courant électrique. Cette énergie sera transportée vers le réseau électrique pour la revente ou vers votre tableau électrique pour votre propre consommation. Plus le panneau reçoit d'énergie solaire, plus il produit d'électricité [10].

## A. Protection du panneau

**La diode anti-retour** : empêchant un courant négatif dans les modules photovoltaïques. Ce phénomène peut apparaître lorsque plusieurs modules sont connectés en parallèle, ou bien quand une charge en connexion directe peut basculer du mode récepteur en mode générateur, par exemple une batterie durant la nuit [11].

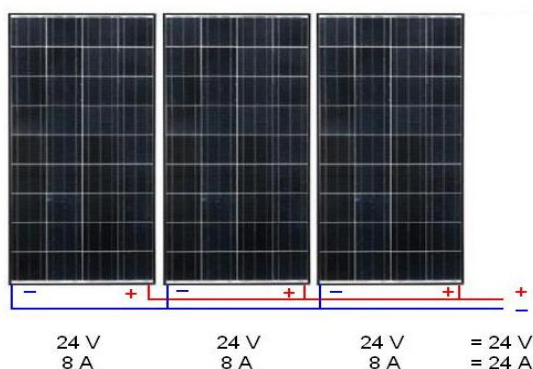
**Les diodes by-pass** : peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairement n'est pas homogène évitant ainsi l'apparition de points chauds et la destruction des cellules mal éclairées. La mise en conduction de ces diodes affecte la caractéristique de sortie du générateur, par la perte d'une partie de la production d'énergie et par la présence de deux maximums de puissance [11].



**Figure I.7** : Exemple d'association sécurisée de deux modules PV en parallèle avec leur diode de protection [11].

## B. Association des modules photovoltaïques [10]

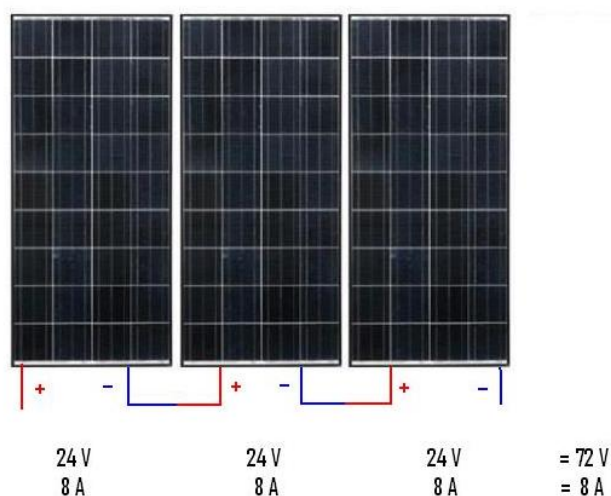
Pour augmenter le courant du générateur on associe les modules en parallèle comme montrer dans la figure (I.8) suivante :



**Figure I.8** : Association en parallèle [10].

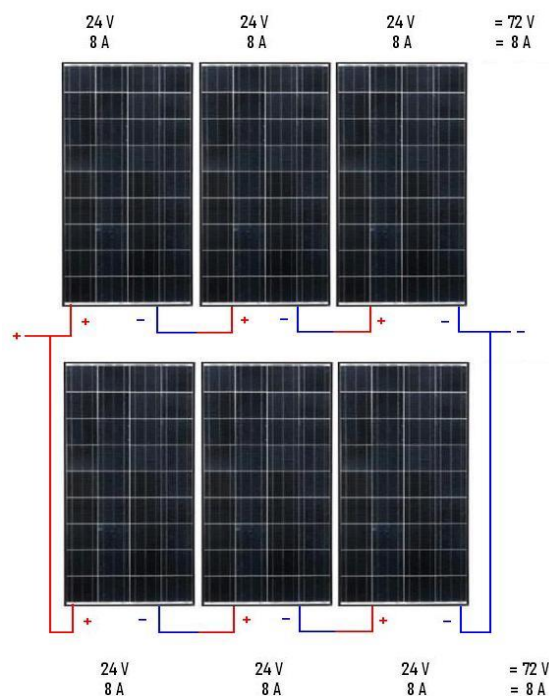
## Généralités sur le photovoltaïque

Pour obtenir une augmentation de la tension du générateur en associe les modules en série comme montrer dans la figure (I.9) suivante :



**Figure I.9 :** Association en série [10].

Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque comme montrer dans la figure (I.10) suivante

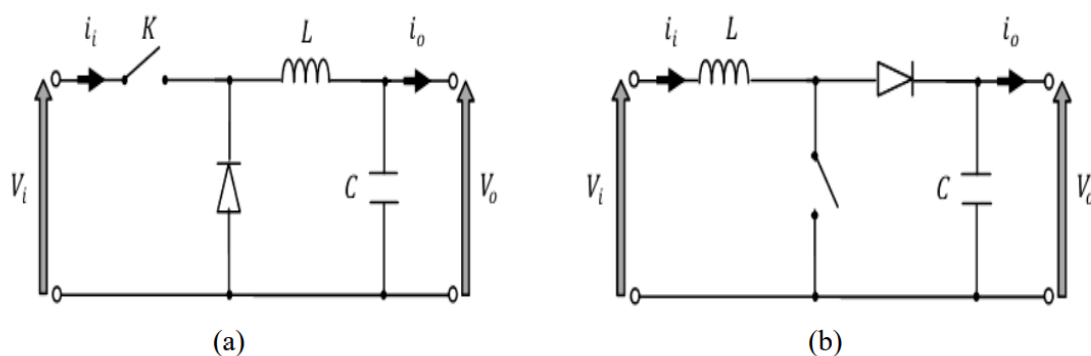


**Figure I.10 :** Association mixte (série + parallèle) [10].

### I.5.2 Convertisseur DC/DC [12]

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. On distingue trois types de convertisseurs continu-continu non isolés :

- **Les abaisseurs** (BUCK) dans lesquels  $V_o < V_i$
- **Les élévateurs** (BOOST) dans lesquels  $V_o > V_i$
- **Abaisseur-élévateur** (BUCK-BOOST), mélange entre les deux précédents qui comportent plusieurs topologies



**Figure I.11** : Schéma de principe d'un hacheur : (a) abaisseur, (b) élévateur [12].

### I.5.3 Les batteries

Une batterie ou un accumulateur électrochimique est un système permettant de convertir de l'énergie électrique en une énergie potentielle chimique durant la phase de charge et de convertir l'énergie potentielle chimique en énergie électrique lors de la décharge. C'est la modification chimique d'électrolyte qui permet d'accumuler ou de restituer cette énergie [13].

#### I.5.3.1 Les types de batteries [2]

Dans les systèmes solaires autonomes on utilise principalement :

- **Les batteries alcalines (Ni/Cd et Ni/MH)** : sont beaucoup plus robustes mais aussi plus coûteuses. Elles sont mieux adaptées aux basses températures. Par contre, leur recyclage est compliqué à cause du cadmium qui est un métal lourd et polluant.

---

## Généralités sur le photovoltaïque

---

- **Les batteries au lithium** : présentent « techniquement » les meilleures performances. L'autodécharge des accumulateurs Li-ion est en effet faible alors que leur énergie massique stockée est relativement bien supérieure.
- **Les batteries « gel »** : L'électrolyte est figé par l'addition de gel de silice. Dans certaines batteries, de l'acide phosphorique est additionné afin d'améliorer la durée de vie en cyclage profond.
- **Les batteries au plomb** : constituent l'investissement le plus économique pour un système multi-sources et présentent l'avantage d'être recyclable à plus de 90%. Cependant, ces batteries sont sensibles aux mauvais usages et leur durée de vie est souvent bien inférieure à celle du dispositif générateur d'électricité.

### I.5.3 .2 Les caractéristiques principales d'une batterie [14] [15]

- **Capacité en Ampère heure** : Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant. Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 Ah peut fournir 200 A pendant une heure, ou 50 A pendant 4 heures, ou 4 A pendant 50 heures. Il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie tels que :
  - **Rapports de chargement et déchargement** : Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.
  - **Température** : Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie.
  - **La durée de vie**: Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation

---

## Généralités sur le photovoltaïque

---

del'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles) de 7 à 10 ans.

- **Profondeur de décharge** : La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge. Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle. La majorité des batteries de "cycle profond" fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommager. Les fabricants de batteries de nickel- Cadmium assurent qu'elles peuvent totalement être déchargées sans aucuns dommages. La profondeur de décharge, cependant, affecte même les batteries de cycle profond. Plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite.
- **La tension d'utilisation** : C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.
- **Le rendement** : C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.
- **Le taux d'autodécharge** : L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.

### I.5.4 Choix du régulateur solaire [16]

Une fois la technologie la plus adaptée identifiée, il faut s'attacher au dimensionnement du régulateur photovoltaïque. Celui-ci dépend de 2 critères principaux :

- **La tension nominale** doit correspondre à celle qui existe entre les panneaux et la batterie photovoltaïque : 12, 24 ou 48 Volts.

- **L'intensité maximale admissible** par le circuit d'entrée du régulateur doit être supérieure à l'intensité du courant produit par les panneaux solaires. Cela vaut également pour le circuit de sortie.

### I.5.5 Un onduleur

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu-continu), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu-alternatif). L'onduleur est généralement associé à un redresseur qui réalise la transformation du courant alternatif en courant continu et dont le rôle sera de charger les batteries et d'alimenter le circuit en continu de l'installation en cas de longue période sans soleil [17].

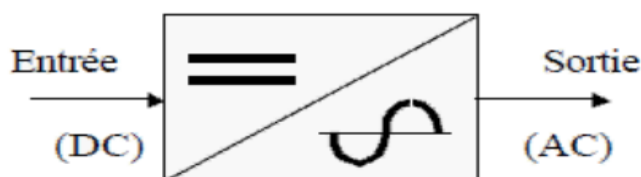


Figure I.12 : Schéma symbolique de l'onduleur

### I.5.6 MPPT

La commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) est un organe fonctionnel du système PV et permet de chercher le point de fonctionnement optimal du générateur PV qui dépend des conditions météorologiques et de la variation de la charge. Son principe de régulation est basé sur la variation automatique du rapport cyclique  $\alpha$  à la valeur adéquate de manière à maximiser continuellement la puissance à la sortie du panneau PV [18].

### I.5.7 Les Charges

Les charges sont les éléments consommateurs de puissance électrique. La consommation de cette puissance électrique dépend des caractéristiques de la charge. Il existe des charges à caractère résistif et inductif (l'éclairage, les chauffages, le pompage...etc).

## I.6 Avantages et Inconvénients de l'Énergie Photovoltaïque [19]

L'énergie solaire apportée e par des panneaux photovoltaïques a plusieurs avantages, néanmoins elle présente aussi quelques inconvénients, ils seront présentas ci-dessous :

### ❖ Avantages de l'énergie photovoltaïque

- ✚ Sa gratuité.



## Généralités sur le photovoltaïque

---

- + Pas de pollution
- + Sa fiabilité et la longue vie de l'installation.
- + Sa structure fixe
- + Son coût de maintenance bas.
- + L'installation ne produit aucun bruit.

### ❖ Les inconvénients de l'énergie photovoltaïque

- + Le coût élevé de l'installation.
- + Le rendement relativement bas de l'effet photovoltaïque.
- + La puissance est réduite lorsque les conditions climatiques sont défavorables (nuages).
- + Le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire pour une installation autonome.
- + Même si l'électricité produite par une installation photovoltaïque est sans pollution, la fabrication, l'installation et l'élimination des panneaux ont un impact sur l'environnement.

## I.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur les systèmes photovoltaïques, l'énergie solaire photovoltaïque et les différents types de système photovoltaïque (systèmes autonomes, système autonome sans batterie, système autonome avec batterie, systèmes hybrides, système PV connecté au réseau électrique).

Nous avons vu aussi le fonctionnement de la cellule photovoltaïque puis l'association des modules PV, les éléments d'un système PV et les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

# **Chapitre II :**

## **Dimensionnement d'un système photovoltaïque**

## **II.1 Introduction :**

Pour la réalisation d'une installation photovoltaïque, le dimensionnement reste une étape indispensable. La méthode de dimensionnement consiste à déterminer d'abord la puissance crête d'un panneau photovoltaïque qui fournit l'énergie électrique nécessaire pendant la journée, la période de besoin en électricité et la consommation requise.

## **II.2 Le but du dimensionnement**

Le dimensionnement est une étape primordiale dans la conception des systèmes photovoltaïques. En effet, le dimensionnement optimal de tels systèmes s'obtient lorsque les différents composants tels que les panneaux, les batteries, l'onduleur, le régulateur et les câbles sont choisis de façon adéquate pour une ressource solaire donnée et un profil de consommation donné [20]. Le dimensionnement ayant une incidence sur le prix, la qualité et la pérennité d'un système photovoltaïque en site isolé, il constitue une étape cruciale lors de la mise en place du système. Ainsi, lorsque l'on cherche à optimiser le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome, le but est de déterminer l'ensemble des paramètres de dimensionnement du système afin de minimiser les différents coûts, tout en assurant l'alimentation du consommateur sans interruption [11].

## **II.3 Dimensionnement d'un système photovoltaïque :**

### **II.3.1 Choix de la méthode de dimensionnement [4] [10] :**

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système PV. Parmi ces dernières, on peut citer les suivantes :

#### **II.3.1.1 La méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation :**

Méthode permet d'optimiser le dimensionnement d'un système photovoltaïque dans des conditions complexes (fluctuation saisonnières de l'irradiation, ciel nuageux pour plusieurs jours, ...etc.) grâce à un logiciel adapter. L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut connaître l'irradiation qui correspond aux données horaires sur le site d'installation pour un nombre d'années trop grand (10 à 20ans). Cette méthode s'applique dans des grandes installations PV.

## **II.3.1.2 La méthode de mois le plus défavorable :**

Dans cette méthode, on estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois, appelé le mois le plus défavorable ce mois correspond au mois pendant lequel la valeur de l'irradiation moyenne mensuelle est la plus faible de l'année ou dans certains pays la période d'hivers est rude (le mois de décembre est choisi en Algérie). Généralement cette méthode utilisée pour les systèmes autonomes, l'installation militaire et les centres de soins des zones rurales.

## **II.3.1.3 La méthode de la moyenne annuelle :**

Dans cette méthode, on utilise l'irradiation journalière [KWh/m<sup>2</sup>.j] comme la méthode du mois le plus défavorable. Mais pour une moyenne qui s'étend pour toute une année au lieu d'un seul mois. Donc on calcule la moyenne mensuelle de l'énergie (irradiation) récupérable sur un site pour les 12 mois de l'année. C'est la méthode la plus appliquée au système photovoltaïque hybride, et les systèmes ayant un profil de charge assez élevé.

## **II.4 Coordonnée géographique : [3]**

Un site géographique est défini par :

- Son nom, pays et région du monde.
- Ses coordonnées géographiques : Latitude, longitude, altitude et fuseau horaire.
- Données météorologiques mensuelles.

## **II.5 Etapes de dimensionnement d'une installation photovoltaïque :**

Les étapes de dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome sont :

- 1) Evaluation du besoin en électricité (Bj)
- 2) Calcul de la puissance crête du champ photovoltaïque (Pc)
- 3) Dimensionnement des panneaux
- 4) Dimensionnement des batteries
- 5) Dimensionnement de l'onduleur
- 6) Dimensionnement des câbles

## II.5.1 Evaluation du besoin en électricité [21] :

C'est l'étude de la consommation d'énergie requise par des dispositifs, qui sont généralement connus pour chaque appareil en watts ou en calories par jour dans différents périodes (été, Hiver, Vacances). Donc c'est la somme de l'énergie quotidienne moyenne nécessaire pour le processus de dimensionnement, par exemple, TV, lampe, réfrigérateur, et d'autres appareils. Elle est donnée par la loi suivante :

### ❖ La consommation globale de système :

$$E = \sum_1^n E_i \quad (\text{II.1})$$

Avec :

**E** : La consommation globale de 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.

Pour les appareils qu'on n'utilise pas quotidiennement ou les machines ayant un marche-arrêt automatique (climatiseur, réfrigérateur), la consommation de chaque appareil peut être calculée comme suit :

### ❖ L'énergie journalière consommée d'un équipement :

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

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 chaque un

## II.5.2 Puissance crête du champ photovoltaïque (Wc) :

❖ Le calcul de la puissance crête :

$$P_{pvtot} = \frac{B_j \times (1 + \sum p)}{E_s} \quad (II.3)$$

Avec :

$P_{pvtot}$  : Puissance crête du champ PV

$B_j$  : Besoins énergétique journaliers

$p$  : Les pertes

$E_s$  : Ensoleillement (nombre d'heure crête équivalent)

Le watt crête (Wc) est différent du watt qu'on connaît déjà, c'est un watt produit par les panneaux photovoltaïques dans les conditions standard (STC).

❖ Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque :

Le choix de la tension nominale d'un système photovoltaïque dépend de la puissance crête du champ photovoltaïque :

Le tableau suivant, nous donne la tension adaptée la plupart du temps pour les différentes puissances du champ photovoltaïque.

Puissance crête	<500 Wc	500Wc- 2KWc	>2KWc
Tension du système	12 V <sub>DC</sub>	24 V <sub>DC</sub>	48 V <sub>DC</sub>

**Tableau II.1** : Tension recommandée pour les systèmes photovoltaïques

## II.5.3 Dimensionnement des Panneaux photovoltaïques :

Les modules sont regroupés en panneaux, qui sont à leur tour associés pour obtenir des champs photovoltaïques selon les besoins et sont associés en série et en parallèle pour obtenir des puissances importantes et la tension voulue.

### ❖ Nombre de panneaux :

$$N_{pv} = \text{Ent} \left[ \frac{P_{pv,tot}}{P_{pv,u}} \right] \quad (\text{II.4})$$

Avec :

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

$P_{pv,tot}$  : Puissance totale panneaux PV [Wc].

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

### ❖ Le câblage des panneaux :

A partir de la tension de fonctionnement du champ photovoltaïque et la tension délivrée par un panneau, on peut déterminer le nombre de modules connectés en séries et en parallèles.

#### ✓ Le nombre de panneaux en série :

$$N_S = \text{Ent} \left[ \frac{V_{PV}}{V_{PV,u}} \right] \quad (\text{II.5})$$

Avec :

$N_S$  : Nombre de panneaux connectés en série

$V_{PV}$  : Tension total du champ [V].

$V_{PV,u}$  : La tension délivrée par un seul panneau photovoltaïque [V]

#### ✓ Le nombre de branches en parallèles :

$$N_p = \text{Ent} \left[ \frac{N_{PV}}{N_S} \right] \quad (\text{II.6})$$

Avec :

$N_p$  : Nombre de branches en parallèles

$N_{PV}$  : Nombre total des panneaux photovoltaïques

$N_S$  : Nombre de panneaux connectés en série

### ❖ Nombre de panneaux totaux :

$$N_{pv,tot} = N_s \times N_p \quad (II.7)$$

### II.5.4 Dimensionnement des batteries

Pour assurer la continuité de l'alimentation pendant les jours de mauvais temps, on prévoit un système de stockage qui se compose généralement des batteries. La capacité qui doit être installée dépend de la consommation énergétique par jour, du nombre de jours d'autonomie nécessaire pendant lesquels les batteries initialement chargées peuvent assurer les besoins en électricité sans que les modules fonctionnent, rendement de la batterie, la tension nominale et la profondeur de décharge des batteries.

#### ❖ Capacité des batteries (Ah) :

$$C_{bat} = \frac{B_j \cdot Aut}{U_{bat} P_{DD} \eta_b} N_p \quad (II.8)$$

Avec :

$C_{bat}$  : La capacité nominale des batteries

$B_j$  : Les besoins énergétiques journaliers

$Aut$  : Le nombre de jour d'autonomie.

$U_{bat}$  : La tension nominale des batteries

$P_{DD}$  : La profondeur de décharge des batteries.

$\eta_b$  : Rendement de la batterie.

#### ❖ Nombre de batteries :

$$N_{bat} = \text{Ent} \left[ \frac{C_{bat}}{C_{bat,u}} \right] N_p \quad (II.9)$$

Avec :

$N_{bat}$  : Nombre de batteries

$C_{bat,u}$  : La capacité de batterie unitaire

#### ❖ Le câblage des batteries



---

## Dimensionnement d'un système photovoltaïque

---

A partir de la tension de fonctionnement du champ photovoltaïque et la tension nominale de la batterie on peut déterminer le nombre de batteries connectés en séries et en parallèles :

✓ **Nombre de batteries en série :**

$$N_{\text{bat,S}} = \text{Ent} \left[ \frac{V_{\text{PV}}}{V_{\text{ch}}} \right] N_{\text{p}} \quad (\text{II.10})$$

**Avec :**

$N_{\text{bat,S}}$  : Nombre de batteries en série

$V_{\text{PV}}$  : Tension de fonctionnement

$V_{\text{ch}}$  : Tension de la batterie

✓ **Nombre de branches en parallèle :**

$$N_{\text{bat,p}} = \text{Ent} \left[ \frac{N_{\text{bat}}}{N_{\text{bat,S}}} \right] \quad (\text{II.11})$$

**Avec :**

$N_{\text{bat,p}}$  : Nombre de batteries en parallèle

$N_{\text{bat}}$  : Nombre de batteries totales

$N_{\text{bat,S}}$  : Nombre de batteries en série

❖ **Nombre de batteries totales :**

$$N_{\text{bat,tot}} = N_{\text{bat,S}} \times N_{\text{bat,p}} \quad (\text{II.12})$$

### II.5.5 Dimensionnement du l'onduleur :

L'onduleur permet de convertir le courant DC (courant continu) en AC (courant alternatif). pour le choix de l'onduleur (des sites isolés) on tient compte de trois paramètres :

❖ **La compatibilité en puissance :** Puissance de l'onduleur est entre 90% et 95% de la puissance crête totale des panneaux photovoltaïque.

✓ **Puissance de l'onduleur**

$$P_{\text{ond}} = P_{\text{c,tot}} \times [0.9 - 0.95] \quad (\text{II.13})$$

Avec :

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

$P_{\text{c,tot}}$  : Puissance crête des panneaux

✓ **Puissance crête totale des panneaux :**

$$P_{\text{c,tot}} = P_{\text{pv,u}} \times N_{\text{pv}} \quad (\text{II.14})$$

❖ **La compatibilité en tension :**

✚ Nombre de panneaux minimal en série :

$$N_{\text{PV,S,min}} = \text{Ent} \left[ \frac{V_{\text{OC,min,ond}}}{V_{\text{mp,pv}} \times 0.85} \right] \quad (\text{II.15})$$

Avec :

$N_{\text{PV,S,min}}$  : Nombre de panneaux minimal en série

$V_{\text{OC,min,ond}}$  : Tension minimal a circuit ouvert de l'onduleur

$V_{\text{mp,pv}}$  : Tension a puissance max du panneau

✚ Nombre de panneaux maximal en série :

$$N_{\text{PV,S,max}} = \text{Ent} \left[ \frac{V_{\text{OC,max,ond}}}{V_{\text{mp,pv}} \times 1.25} \right] \quad (\text{II.16})$$

Avec :

$N_{\text{PV,S,max}}$  : Nombre de panneaux maximal en série

$V_{\text{OC,max,ond}}$  : Tension maximal a circuit ouvert de l'onduleur

❖ **La compatibilité en courant :**

$$N_{\text{PV,p,max}} = \text{Ent} \left[ \frac{I_{\text{max,ond}}}{I_{\text{mp,pv}} \times 1.25} \right] \quad (\text{II.17})$$

Avec :

$N_{\text{PV,p,max}}$  : Nombre de panneaux maximal en parallèle

---

## Dimensionnement d'un système photovoltaïque

---

$I_{\max, \text{ond}}$  : Le courant nominal de l'onduleur

$I_{\text{mp, pv}}$  : Le courant à puissance maximal d'un panneau

### II.5.6 Dimensionnement des câbles :

Les systèmes solaires fonctionnent généralement sous faible tension (12V, 24V, 48V), donc avec un courant élevé ( $P = U \cdot I$ ). Si  $U$  est faible,  $I$  est très élevé pour la même puissance.

Le transport à distance de ce courant de plusieurs ampères provoque des pertes par effet joule aux niveaux des conducteurs, pour assurer le transport de l'énergie des modules jusqu'au régulateur de charge, on ne peut pas utiliser n'importe quel câble électrique. La résistance d'un câble électrique dépend de la résistivité ( $\rho$ ) du matériau utilisé (cuivre, argent, fer, ...), de la longueur du câble, de sa section, et de sa température.

Le dimensionnement des câbles se fait suivant les formules suivantes :

❖ **Section des câbles coté DC :**

✓ Section des câbles entre un panneau et la boîte de raccordement :

$$I = 1.25 \times I_{\text{cc}} \quad (\text{II.18})$$

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta v \times V} \quad (\text{II.19})$$

Avec :

$I$  : Intensité de courant

$I_{\text{cc}}$  : Courant de court-circuit du panneau

$\Delta v$  : Chute de tension

$\rho$  : Résistivité linéaire du conducteur constitutif du câble

$S$  : Section du câble

$L$  : Longueur du câble

## Dimensionnement d'un système photovoltaïque

---

### ✓ Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC :

$$I = I_{mp} \times N_{pv} \quad (II.20)$$

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta v \times V} \quad (II.21)$$

Avec :

$I_{mp}$  : Courant a puissance max du panneau

$N_{pv,p}$  : Nombre de panneaux

### ✓ Section des câbles entre le DC/DC et les batteries :

$$V_{bat} = N_{bat,s} \times V_{batt,u} \quad (II.22)$$

$$1 - \alpha = \frac{V_{bat}}{V_{pv}} \quad (II.23)$$

$$I_{bat} = \frac{I}{1 - \alpha} \quad (II.24)$$

$$S = \frac{\rho \times I_{bat} \times L}{\Delta v \times V_{bat}} \quad (II.25)$$

Avec :

$V_{bat}$  : La tension nominale des batteries

$N_{bat,s}$  : Nombres de batteries en série

$V_{bat,u}$  : La tension d'une batterie

$I_{bat}$  : Courant des batteries

$\alpha$  : rapport cyclique

### ❖ Section des câbles coté AC :

#### ✓ Section des câbles entre l'onduleur et la charge :

$$s = \beta \times \rho_{cu} \times \frac{L \times \cos \delta \times I_B}{\Delta v \times V} \quad (II.26)$$

$$I_B = \frac{P_{ch}}{3V} \quad (II.27)$$

Avec :

$\beta$  : Coefficient qui vaut 1 en triphasé 2 en monophasé

$\rho_{cu}$  : La résistivité du matériau conducteur (cuivre)

---

## Dimensionnement d'un système photovoltaïque

---

**COSS** : Facteur de puissance (le déphasage entre la tension et le courant en alternatif)

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

### II.6 La protection d'un système photovoltaïque :

Chaque élément de ce système doit être protégé par des organes convenables à sa nature et principe de fonctionnement sans oublier le raccordement de cet élément avec des câbles qui remplissent les conditions d'utilisation de point de vue section ou construction et pour cela on va mettre chaque élément avec la protection qui correspond :

➤ **Les panneaux solaires :**

On met des disjoncteurs DC ou fusible plus la mise à la terre et le parafoudre.

❖ **Mise à la terre :**

La mise à la terre est un moyen de protection pour maintenir les tensions de contact ou de décharge aussi faibles que possible, pour que des personnes ou installations ne soient blessées ou endommagées. Les systèmes photovoltaïques à courant supérieur à 2 A sont considérés comme des installations à courant fort et doivent par conséquent être mis à la terre [22].

❖ **Protection contre la foudre [22]:**

Les protections contre la foudre sont indispensables si l'on veut garantir une alimentation fiable en électricité. Le nombre de pannes recensés augmente avec l'altitude, il est fortement recommandé de prévoir des protections supplémentaires à celles qui sont en général incorporées aux régulateurs. Trois principes doivent être respectés pour réaliser une protection contre la foudre

- Conduire le courant de foudre vers la terre par le chemin le plus direct ;
- Minimiser les surfaces des boucles de masse ;
- Limiter l'onde de surtension par des parafoudres.

➤ **Les batteries :**

Il faut les protéger contre la surcharge ou le court-circuit dans les deux cotés (coté batteries – régulateur) et (coté batteries-onduleur) avec des disjoncteurs DC ou fusibles.

### ➤ **Le régulateur de charge :**

Il est déjà équipé d'une protection interne représenté par les deux éléments qui sont raccordé avec lui (les panneaux et les batteries) et qui sont équipés avec cette propre protection indiquée.

### ➤ **L'onduleur :**

Généralement les onduleurs solaires sont protégés eu même contre les surcharges, cour circuit ou autre défaut mais malgré ça il est indispensable de mettre un disjoncteur différentiel à la sortie de l'onduleur pour éviter les défauts de la charge tel que court-circuit ou surcharge sans oublier la mise à la terre de tout le système afin d'obtenir une bonne protection.

### ➤ **Le câblage dans les deux cas (DC et AC) :**

On choisit la section et le chemin de câble convenable de point vue température ambiante, chute de tension ...etc.

## **II.8 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté les méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque, en présentant les étapes de dimensionnement de chaque élément de la chaine photovoltaïque avec batterie. Nous avons cité aussi présenter la protection nécessaire pour cette chaine.

# **Chapitre III :**

## **Etapes de réalisation et étude du coût de l'installation**

### III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les étapes de dimensionnement et la réalisation du projet d'installation photovoltaïque avec stockage non connecté au réseau pour alimenter une école primaire. Cette réalisation rentre dans le cadre d'un stage pratique passé au sein de l'entreprise **Mounir Solar Energy**, spécialisée dans le domaine d'énergie solaire (étude et synthèse de l'énergie solaire, pompage, éclairage général, chauffe-eau solaire, réparation des systèmes solaires...etc.), située à sidi Aiche.

Notre travail sera présenté en deux parties, la première sera consacré comme déjà cité en haut à la présentation du projet ainsi que les différentes étapes de dimensionnement pour la réalisation du projet. Dans la deuxième partie, nous avons établis un devis estimatif pour l'installation.

### III.2 Partie I : Présentation du projet

Le projet consiste à la réalisation d'une installation PV avec batteries pour une école primaire **Hassiba Ben Bouali** à Ain Taya, wilaya d'Alger.

Ses coordonnées géographiques sont :

- Latitude 36.79 N,
- Longitude 3.28 E



**Figure III.1** : Site de l'école Hassiba Ben bouali



## Etapas de réalisation et étude du coût de l'installation

---

### III.2.1 Description de l'école :

Cette école est constituée de l'administration, 8 classes, Salle des profs, Cantine, Sanitaire et loge de gardien.

Désignation	Les charges	Nombre	Puissance de chaque appareil (W)	Puissance (W)	Durée d'utilisation (h)	Energie journalier (Wh)
<b>Administration</b>	<b>Micro-ordinateur</b>	3	150	450	8h	3600
	<b>Modem wifi</b>	1	4	4	8h	32
	<b>Imprimante</b>	3	50	150	30 min	75
	<b>Photocopieuse</b>	1	60	60	30 min	30
	<b>Lampe</b>	6	15	90	8h	720
	<b>Climatiseur</b>	1	2400	2400	5h	12000
<b>Les classes</b>	<b>Lampe</b>	16	15	240	8h	1920
<b>Salle des profs</b>	<b>Lampe</b>	2	15	30	8h	240
	<b>Climatiseur</b>	1	2400	2400	5h	12000
<b>Cantine</b>	<b>Réfrigérateur</b>	3	100	300	8h	2400
	<b>Lampe</b>	8	15	120	6h	720
	<b>Hotte d'aspiration cuisine</b>	2	4	8	6h	48
	<b>Pompe d'eau</b>	1	500	500	5h	2500
<b>Sanitaire</b>	<b>Lampe</b>	4	15	60	4h	240
<b>Loge de gardien</b>	<b>Lampe</b>	1	15	15	8h	120
	<b>Sonnette</b>	1	20	20	15min	5

**Tableau III.1 :** Consommation de l'école pendant une journée

## Etapes de réalisation et étude du coût de l'installation

### III.2.2 Etapes de dimensionnement de l'installation :

Dans cette partie, on cherche à dimensionner le nombre de panneaux nécessaire pour obtenir l'énergie suffisante pour satisfaire la demande, le nombre de batteries nécessaires pour accumuler cette énergie, et quel type d'onduler est nécessaire pour le garantir.

Besoin journalière : $B_j$ (Wh/jour)	36650
Ensoleillement : $E_s$	4
Tension du bus continu : $U_{bat}$ [V]	48
Nombre de jour d'autonomie : $Aut$	1
Rendement de la batterie : $\eta_b$	0.8
Les pertes : $p$	30%
La profondeur de décharge des batteries : $P_{DD}$	0.8
Puissance de panneau PV (W)	250
Capacité nominale des batteries (Ah)	200

Tableau III. 2 : Les caractéristiques du système PV.

#### III.2.2.1 Evaluation du besoin en électricité :

➤ La puissance de chaque appareil :  $P_i = P_n \times n_i$  (III.1)

➤ La consommation énergétique de chaque appareil :  $E_i = P_i \times \Delta t$  (III.2)

➤ **Puissance des charges totale :**

$$P_{ch} = \sum_1^n P_i = 6847W \quad (III.3)$$

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

$$B_j = \sum_1^n E_i = 33650Wh/j \quad (III.4)$$

#### III.2.2.2 Puissance crête du champ photovoltaïque (Wc) :

❖ **Le calcul de la puissance crête totale**

$$P_{pvtot} = \frac{B_j \times (1 + \sum p)}{E_s} = \frac{36650 \times 1.3}{4} = 11911Wc \quad (III.5)$$

Il faudra donc installer une puissance photovoltaïque d'au moins **11923Wc**

## Etapes de réalisation et étude du coût de l'installation

### ❖ La tension de fonctionnement du champ photovoltaïque :

D'après la puissance crête des panneaux qu'on a trouvés on va choisir la tension du système (48V).

### III.2.2.3 Dimensionnement des panneaux photovoltaïques :

Cette étape consiste à calculer la quantité de modules photovoltaïques que l'on devra posséder pour couvrir ces besoins en électricité.

Le module choisi pour notre étude est un module de type AS-R04-250P d'une puissance optimale de  $P_c = 250 \text{ Wc}$ .

Puissance nominale $P_{mp}$	250 w
Tension a puissance max. $V_{mp}$	30.77V
Courant a puissance max. $I_{mp}$	8.07A
Tension en circuit ouvert $V_{oc}$	37.70V
Courant de court-circuit $I_{sc}$	8.71A
Quantité de cellules	60
Tension maximale système	1000 V DC
Maximum courant inverse	15 A

**Tableau III.3** : Fiche technique d'un panneau PV

**Remarque :** Le choix du panneau dépend de ce qu'on a dans le marché.

### ❖ Nombre de panneaux :

Le nombre de modules à installer se calcule par :

$$N_{pv} = \text{Ent} \left[ \frac{P_{PV,tot}}{P_{pv,uni}} \right] = \frac{11911}{250} = 48 \quad (\text{III.6})$$

### ❖ Le câblage des panneaux :

✓ Le nombre de panneaux en série :

$$N_s = \text{Ent} \left[ \frac{V_{ch}}{V_n} \right] = \frac{48}{30.77} = 2 \quad (\text{III.7})$$

✓ Le nombre de branches en parallèles :

$$N_p = \text{Ent} \left[ \frac{N_{pv}}{N_s} \right] = \frac{48}{2} = 24 \quad (\text{III.8})$$

### ❖ Nombre de panneaux totaux :

$$N_{pv,tot} = N_s \times N_p = 2 \times 24 = 48 \quad (\text{III.9})$$

## Etapes de réalisation et étude du coût de l'installation

Pour avoir une tension de 48 V, il faudra :

24 boucles et dans chaque boucle 2 modules en série. Donc il faut avoir 48 modules en tout.

Le nombre de panneaux totale a utilisé dans cette installation est **48 panneaux**

### III.2.2. 4 Dimensionnement des batteries :

La batterie choisi pour notre étude et une batterie de type HT12-200 d'une capacité optimale de 200Ah

Capacité nominale	200 Ah
Tension	12V
Résistance interne	4
Durée	15ans

Tableau III. 4 : Fiche technique de la batterie

#### ❖ Capacité des batteries (Ah) :

$$C_{\text{batt}} = \frac{B_j \cdot \text{Aut}}{U_{\text{bat}} P_{\text{DD}} \eta_b} = \frac{36650 \times 1}{12 \times 0.8 \times 0.8} \quad (\text{III.10})$$
$$= 4772 \text{Ah}$$

La valeur minimale de la capacité nécessaire est de **4772Ah**

#### ❖ Nombre de batteries :

$$N_{\text{bat}} = \text{Ent} \left[ \frac{C_{\text{bat}}}{C_{\text{bat,u}}} \right] = \frac{4772}{200} = 24 \quad (\text{III.11})$$

Nombre de batterie nécessaire est 24 batteries

#### ❖ Le câblage des batteries

##### ✓ Nombre de batteries en série :

$$N_{\text{bat,s}} = \text{Ent} \left[ \frac{V_{\text{ch}}}{V_{\text{PV}}} \right] = \frac{48}{12} = 4 \quad (\text{III.12})$$

##### ✓ Nombre de branches en parallèle :

$$N_{\text{bat,p}} = \text{Ent} \left[ \frac{N_{\text{bat}}}{N_{\text{bat,s}}} \right] = \frac{24}{4} = 6 \quad (\text{III.13})$$

Pour une tension de 48 V, il faudra :

6 branches et dans chaque branche 4 batteries en série, donc il faut avoir 24batteries en tout

#### ❖ Nombre de batteries totales :

$$N_{\text{bat}} = N_{\text{bat,s}} \times N_{\text{bat,p}} = 4 \times 6 = 24 \quad (\text{III.14})$$

## Etapes de réalisation et étude du coût de l'installation

Alors le nombre de batteries totale a utilisé dans cette installation est 24 batteries

### III.2.2.5 Dimensionnement de l'onduler :

Le dimensionnement de l'onduler se fait suivant les formules suivantes :

#### ❖ La compatibilité en puissance :

##### ✓ Puissance crête totale des panneaux :

$$P_{c,tot} = P_{pv,u} \times N_{pv} = 250 \times 48 = 12000Wc \quad (III.15)$$

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

##### ✓ Puissance de l'onduleur

$$\begin{aligned} P_{ond} &= P_{c,tot} \times [0.9 - 0.95] \\ &= 12000 \times [0.9, 0.95] \\ &= [10800, 11400] \end{aligned} \quad (III.16)$$

Puissance de l'onduleur est **11kVA**

Puisque on n'a pas un onduleur de 11kVA on va utiliser 3 onduleurs de 5kVA

On doit diviser le système en 3 chaînes de 16 panneaux un onduleur 5kVA et 8 batteries de 200Ah, alors le raccordement des 16 panneaux c'est par rapport à  $I_{cc}$  et  $V_{oc}$  de panneau et de l'onduleur.

Nous avons choisi 3 onduleurs de la marque Rohs compliant de (5kW-48V), leur caractéristique est :

Puissance nominale	5000VA /5000W
Caractéristique d'entrée DC	48VDC, 117A
Caractéristique de sortie AC	230VAC, 50/60Hz, 22A
Courant nominal	80A
Tension du système	48VDC
Tension solaire min	40VDC
Tension solaire max ( $V_{oc}$ )	145VDC

**Tableau III. 5 :** Fiche technique de l'onduler

## Étapes de réalisation et étude du coût de l'installation

### ❖ La compatibilité en tension :

✚ Nombre de panneaux minimal en série :

$$N_{PV,S,min} = \text{Ent} \left[ \frac{V_{OC,min,ond}}{V_{mp,pv} \times 0.85} \right] = \text{Ent} \left[ \frac{40}{30.77 \times 0.85} \right] = 2 \quad (\text{III.17})$$

✚ Nombre de panneaux maximal en série :

$$N_{PV,S,max} = \text{Ent} \left[ \frac{V_{OC,max,ond}}{V_{mp,pv} \times 1.25} \right] = \text{Ent} \left[ \frac{145}{30.77 \times 1.25} \right] = 3 \quad (\text{III.18})$$

### ❖ La compatibilité en courant :

$$N_{PV,p,max} = \text{Ent} \left[ \frac{I_{max,ond}}{I_{mp,pv} \times 1.25} \right] = \text{Ent} \left[ \frac{80}{8.07 \times 1.25} \right] = 8 \quad (\text{III.19})$$

### Raccordement :

Pour notre cas de 16 panneaux on va raccorder 8 branche en parallèles et dans chaque branche 2 panneaux en série.

Et pour le raccordement des batteries d'après qu'on a divisé le système en 3 chaînes (16 panneaux et 8 batteries) pour une tension de système 48V est : 2 branches en parallèles et dans chaque branche 4 batteries en série

### III.2.2.6 Dimensionnement des câbles :

Le dimensionnement des câbles se fait suivant les formules suivantes :

#### Section des câbles coté DC :

- Section des câbles entre un panneau et la boîte de raccordement (4m) :

$$I = 1.25 \times I_{cc} = 1.25 \times 8.71 = 10.89 \text{ A} \quad (\text{III.20})$$

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta v \times V} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 4 \times 10.89}{0.02 \times 30.77} = 1.13 \text{ mm}^2 \quad (\text{III.21})$$

Donc on choisit le câble de  $S=1.5 \text{ mm}^2$

- Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC (20) :

$$I = I_{mp} \times N_{pv} = 8.07 \times 16 = 129.12 \text{ A} \quad (\text{III.22})$$

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta v \times V} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 20 \times 129.42}{0.02 \times 30.77} = 6.72 \text{ mm}^2 \quad (\text{III.23})$$

Donc on choisit le câble de  $S=10 \text{ mm}^2$

- Section des câbles entre le DC/DC et les batteries (4m) :

## Etapes de réalisation et étude du coût de l'installation

---

$$V_{\text{bat}} = N_{\text{bat},s} \times V_{\text{batt},u} = 4 \times 12 = 48 \quad \text{V} \quad (\text{III.24})$$

$$1 - \alpha = \frac{V_{\text{bat}}}{V_{\text{pv}}} = \frac{48}{30.77} = 1.55 \quad (\text{III.25})$$

$$I_{\text{bat}} = \frac{I}{1 - \alpha} = \frac{129.12}{1.55} = 83.3 \text{ A} \quad (\text{III.26})$$

$$s = \frac{\rho \times I_{\text{bat}} \times L}{\Delta v \times V_{\text{bat}}} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 83.3 \times 4}{0.02 \times 48} = 5.55 \text{ mm}^2 \quad (\text{III.27})$$

Donc on choisit le câble de  $S=6\text{mm}^2$

### Section des câbles coté AC :

- Section des câbles entre l'onduleur et la charge (2) :

$$I_B = \frac{P_{\text{ch}}}{3 \times V} = \frac{6847}{3 \times 220} = 10.37 \text{ A} \quad (\text{III.28})$$

$$s = \beta \times \rho_{\text{cu}} \times \frac{L \times \cos \delta \times I_B}{\Delta v} \quad (\text{III.29})$$

$$= 2 \times 0.0225 \times \frac{2 \times 0.8 \times 10.37}{0.02} = 37.33 \text{ mm}^2$$

Donc on choisit le câble de  $S= 50 \text{ mm}^2$

## III.3 Réalisation du projet

Dans cette partie, nous avons réalisé une installation photovoltaïque pour une école qui consomme presque 37kJ par jour, cette installation est composée de 48 panneaux de 250W, de 3 onduleurs off grid de 5kVA, de 24 batteries de 200Ah-12V, des câbles et des éléments de protections. Chaque onduleur est branché avec 16 panneaux, 8 batteries et une armoire électrique. Chaque armoire se décompose en 3 partie (coté DC, coté AC et coté commande).

### III.3.1 Les éléments utilisés dans l'installation

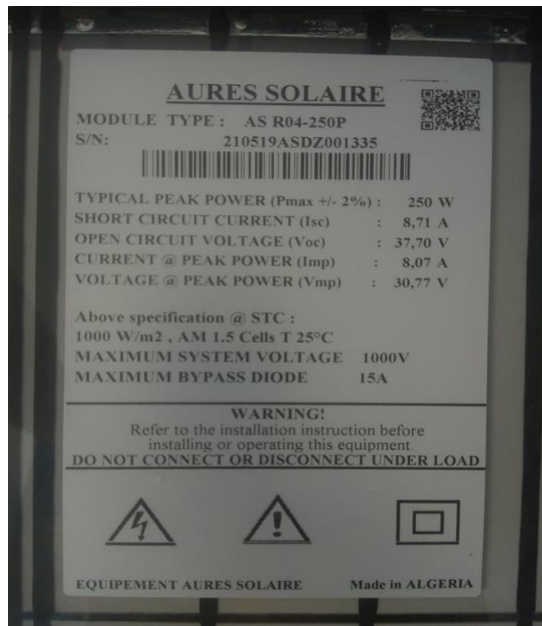
#### III.3.1.1 Panneaux PV

On a utilisé des panneaux de type AS R04-250P, 60 cellules au poly-cristalline. Dimensions : 1675 mm x 996 mm x 40 mm, structure double verre, cadre aluminium anodisé, excellente résistance aux conditions climatique extrême (forte humidité, chaleur).

## Etapes de réalisation et étude du coût de l'installation



**Figure III.2 :** Panneau PV



**Figure III.3 :** Plaque signalétique du panneau

- L'orientation des panneaux : plein sud
- L'inclinaison ( $30^\circ$ )



**Figure III.4 :** La structure porteuse des panneaux





**Figure III.5 :** La boîte de jonction connecté au panneaux

Le branchement des panneaux a été divisé en 3 partie de 16 panneaux, chaque partie on a connecté 2 panneaux en séries et 8 en parallèles, la connexion a été par rapport au Icc et Voc du panneau et de l'onduleur.



**Figure III.6 :** L'installation des panneaux

### III.3.1.2 Batterie

on a utilisé 24 batteries de (12V , 200 Ah) a gel



**Figure III.7 :** Parc de batterie

### III.3.1.3 Onduleur

On a utilisé 3 onduleurs de la marque Rohs compliant de (5kW-48V)



**Figure III.8 :** Onduleur de 5kVA



**Figure III.9:** Plaque signalitique de l'onduleur



**Figure III.10 :** Les 3 onduleurs de 5 kVA

### III .3.1. 4 Les éléments de protection :

#### ✚ L'armoire électrique :

C'est un boîtier résistant destiné à protéger les dispositifs électriques et à distribuer le courant vers les différents appareillages de système.

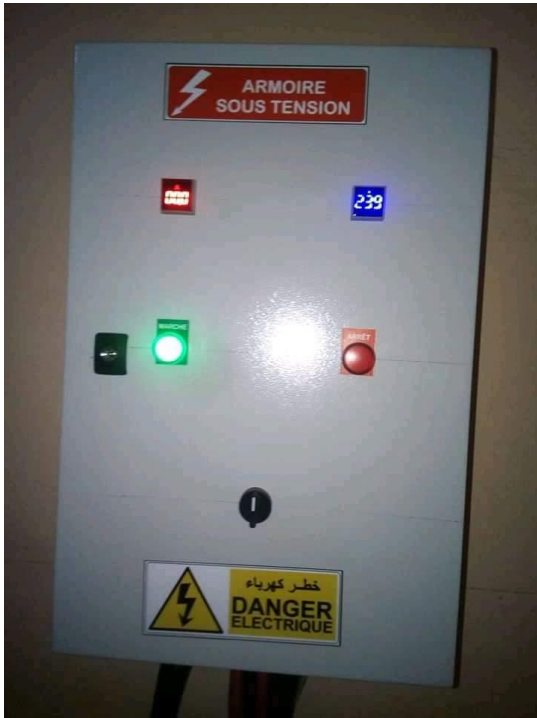


Figure III.11 :L'armoire électrique

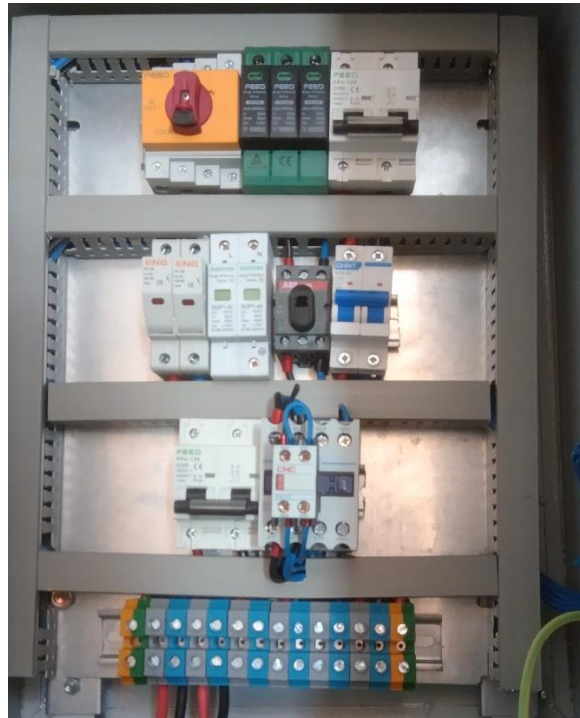


Figure III.12 :Les éléments de protections

#### - Partie DC :

C'est la partie qui protège le coté DC dans cette installation



Figure III.13 : Partie DC

---

## Etapes de réalisation et étude du coût de l'installation

---

### Sectionneur :

Le sectionneur est nécessaire dans le cas où vous auriez besoin d'isoler les panneaux solaires photovoltaïques pour l'entretien ou si quelque chose va mal avec eux.



**Figure III.14 :** Sectionneur

### Parafoudre :

C'est un composant qui vient sécuriser l'installation électrique, ainsi que les appareils, en cas de surtension provoquée par la foudre dans le système solaire. Son emplacement d'installation est recommandé aux deux extrémités de la ligne d'alimentation en courant continu (côté panneau solaire et côté onduleur/convertisseur)



**Figure III.15 :** Parafoudre DC

### Disjoncteur :

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



**Figure III.16 :** Disjoncteur

## Etapes de réalisation et étude du coût de l'installation

---

### Partie AC :



Figure III.17 : Partie 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.



Figure III.18: Porte fusible

### Parafoudre AC :

C'est un dispositif de protection contre les surtensions qui protège les systèmes électriques



Figure III.19 : Parafoudre AC

## Etapes de réalisation et étude du coût de l'installation

---

### Interrupteur-sectionneur :

Un interrupteur-sectionneur est un appareil de protection joue le rôle de disjoncteur pour couper l'alimentation électrique de votre logement en urgence. Elle a une double fonction (celle d'un interrupteur et celle d'un sectionneur).



Figure III.20 : Interrupteur-sectionneur

### Mini-Disjoncteur :

C'est un interrupteur qui fonctionne automatiquement et il protège contre les chocs électriques.



Figure III.21 : Mini-Disjoncteur

### Partie commande :

Dans cette partie on a utilisé Disjoncteur différentiel et un contacteur.

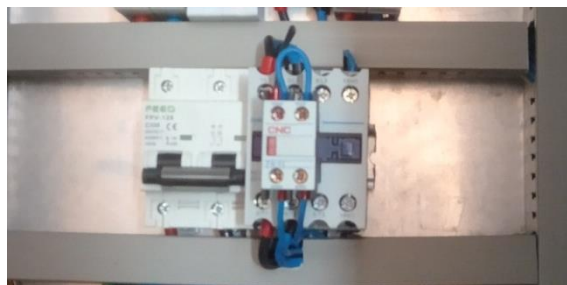


Figure III.22 : Partie commande.

## Etapes de réalisation et étude du coût de l'installation

---

### Disjoncteur :



Figure III.23 : Disjoncteur 2

### Contacteur :

Un contacteur est un appareil électrotechnique destiné à établir ou interrompre le passage du courant, à partir d'une commande à distance.



Figure III.24 : Contacteur de commande



Figure.25 : L'onduleur plein fonctionnement



**Figure III.26:** Les onduleur, les batteries et les armoires électrique après l'installation

### III.3 Partie II : Devis estimatif total de l'installation

Chaque étude technique est accompagnée d'un devis estimatif et quantitatif composant d'un prix unitaire et total de chaque équipement pour avoir une estimation financière d'une installation.

#### III.3.1 Devis estimatif total des panneaux :

Type de panneaux	Nombre de panneaux	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
AS R04-250P	<b>48</b>	<b>25000</b>	<b>1200000</b>

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

#### III.3.2 Devis estimatif total des batteries :

Type de batteries	Nombre de batteries	Prix unitaire(DA)	Prix total(DA)
HT12-200	<b>24</b>	<b>40000</b>	<b>960000</b>

**Tableau III.7 :** Devis estimatif des batteries



## Etapas de réalisation et étude du coût de l'installation

### 5.3 Devis estimatif total des câbles électriques

Câble électrique	Longueur	Prix unitaire(DA)	prix total(DA)
Câble 1.5mm <sup>2</sup>	2m	75	140
Câble 6mm <sup>2</sup>	4m	250	1000
Câble 35mm <sup>2</sup>	20m	750	15000
Câble 120 mm <sup>2</sup>	10	2100	21000

Tableau III.8 : Devis estimatif total des câbles électriques.

### III.3.4 Devis estimatif total des onduleurs :

Onduleur	Nombre d'onduleur	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
5000VA/24V	3	180000	540000

Tableau III.9 : Devis estimatif de l'onduleur

### III.3.5 Devis estimatif total des armoires électriques :

Armoires électriques	Prix (DA)
2 sectionneurs	84000
2 disjoncteurs	165000
2 parafoudre	114000
Porte fusible	84000
Prix totale	447000

Tableau III.10 : Prix estimatif total des disjoncteurs

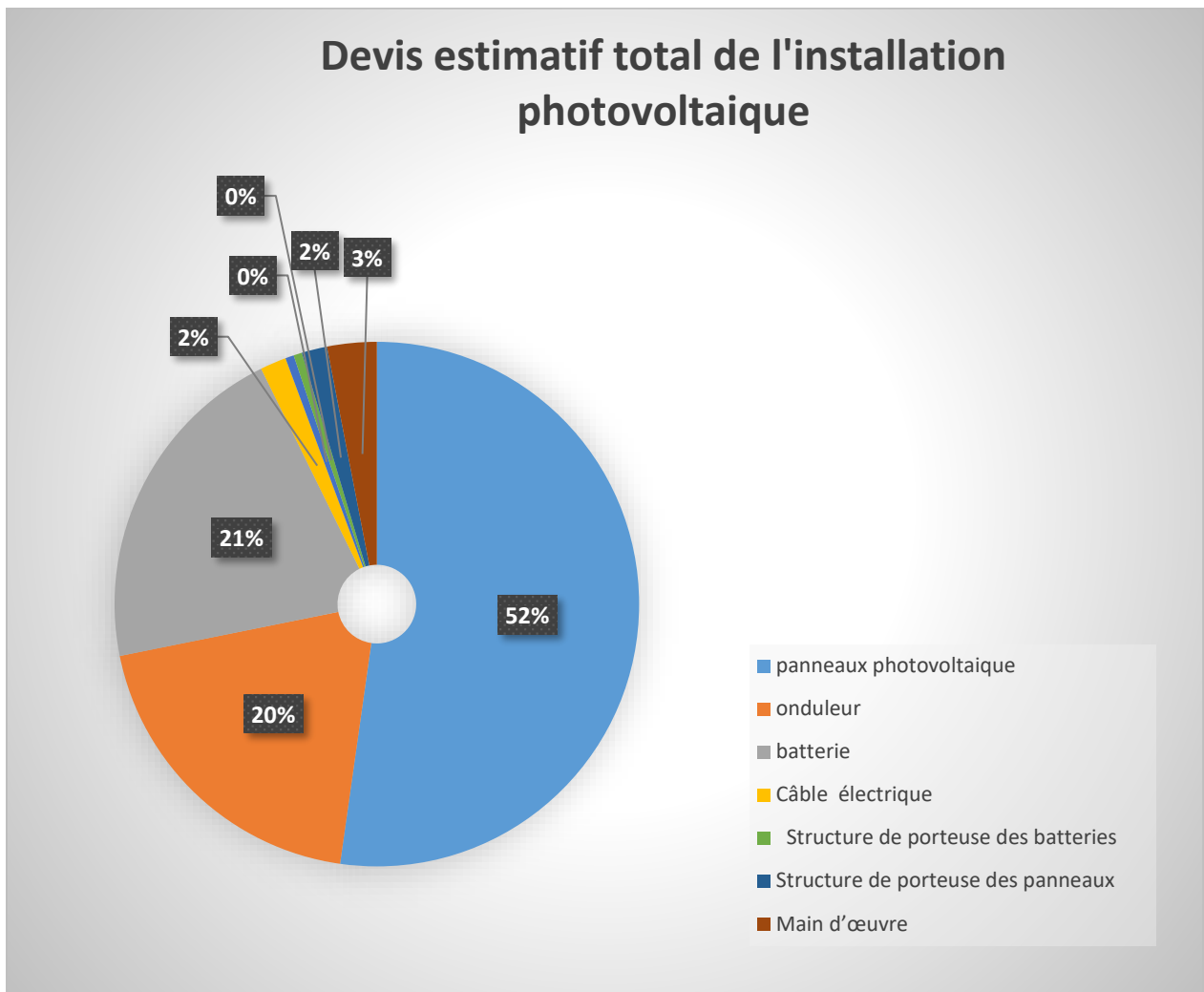
### III.3.6 Devis estimatif total de l'installation photovoltaïque :

Eléments	Prix (DA)
Panneaux photovoltaïques	1200000
Batteries	960000
Onduleur	540000
Câbles électrique	37000
Structure porteuse des panneaux	300000
Structure porteuse des batteries	8000
Main d'œuvre	150000
Armoire électrique	447000
Prix totale	3642000

Tableau III.11: Devis estimatif total de l'installation solaire photovoltaïque

Le prix total de l'installation est de **3644200DA**

### III.3.7 Devis estimatif total de l'installation photovoltaïque en pourcentage :



**Figure III.27 :** Prix des éléments de l'installation photovoltaïque en pourcentage.

Les panneaux solaires représentent généralement la partie la plus coûteuse du système, représentant globalement jusqu'à 60% du coût de notre système.

### III.4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les étapes suivies pour le dimensionnement et la réalisation de l'installation photovoltaïque avec stockage pour une école primaire, et nous avons pu définir les différents éléments nécessaires pour l'installation, ainsi que sa protection. A la fin nous avons déterminé le coût de cette dernière.

# Conclusion générale

## **Conclusion générale**

---

### **Conclusion générale**

Le travail présenté dans ce mémoire concerne le dimensionnement et la réalisation d'un système photovoltaïque avec stockage.

Dans le premier chapitre, nous avons donné un aperçu sur l'énergie photovoltaïque et les différents systèmes photovoltaïques en général. Leur principe de fonctionnement et les différentes cellules qui constituent le module photovoltaïque, et les avantages et les inconvénients de ce type d'énergie. Ainsi que les composants nécessaires pour une installation autonome.

Dans le deuxième chapitre, nous avons fait une étude des méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque. Nous avons choisi une méthode simple qui consiste à déterminer les différents composants du système photovoltaïque pour couvrir les besoins énergétiques d'une installation.

Pour le dernier chapitre, nous avons présentés toutes les étapes pratiques pour la réalisation de l'installation photovoltaïque après étude et dimensionnement. Enfin, nous avons effectuée une étude économique du coût de cette dernière.

---

## Références Bibliographiques

---

### Références Bibliographiques

- [1] Ibrahim Tahraoui et Amin Halil, « Dimensionnement et Etude d'une installation photovoltaïque pour une habitation domestique », Diplôme de master en science Technologie, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 2017
- [2] Djilat Zahra et Bouras Sara, « Méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque, application à la région de M'sila », Master Académique en Physique Energétique et Energies Renouvelables, Université Mohamed Bodiaf - M'SILA, 2019
- [3] Belkhir Yanis et Babahamed Khadidja. « Etude et faisabilité d'une installation photovoltaïque pour une mosquée ». Diplôme Master en energie renouvelable . Université Abderrahmane-Mira de Bejaia. 2020
- [4] Boudehouche Mouhamed Djallal et Ouennoughi Mokhtar. « Gestion d'un système photovoltaïque avec stockage », Mémoire Master en électrotechnique, Université Abderrahmane-Mira de Bejaia. 2016
- [5] Ouchene Nacime et Idir Farid, « Etude et réalisation d'un système photovoltaïque avec stockage », Mémoire Master en énergie renouvelable, Université Abderrahmane-Mira de Bejaia. 2019
- [6] J. Royer, T. Djiako, E. Schiller « le pompage photovoltaïque » manuel de cour a l'intention des ingénieurs et techniciens bibliothèque national de Canada, 1998
- [7] Yann Riffonneau. « Gestion des flux énergétique dans un système photovoltaïque avec stockage connecter au réseau-Application a l'habitat », Thèse doctorat en Energie électrique. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2009
- [8] Salim Arab et Dalila Toudert, « Etude d'un Système Photovoltaïque ». MASTER ACADEMIQUE en Réseaux Electriques. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 2017
- [9] I. Vechiu « modélisation et analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome » thèse doctorat. Université du Havre de france, 2005
- [10] AYACHE IDIR, « Etude et contrôle d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome », Master en Electromécanique, Université Abderrahmane-Mira de Bejaia, 2020
- [11] Clarence Semassou, « Aide à la décision pour le choix de sites et systèmes énergétique adaptes aux besoins de bénin », Thèse doctorat en Mécanique, L'Université Bordeaux I Ecole doctorale : Sciences Physiques pour l'Ingénieur (SPI), 2011
- [12] NACEF Mohamed. « 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
- [13] A. J. Dhers « 10 questions sur le stockage de l'énergie électrique » académie des technologies commission énergie et environnement, 2006
- [14] N. Achaibou, A Malek, N Bacha « Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV » ; N. spécial (CHEMSS), Génie électrique 2000.

## Références Bibliographiques

---

- [15] E. Buchet, « Etude du dimensionnement et développement d'un logiciel d'aide à la conception de système de production d'énergie utilisant la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire », Thèse de Doctorat, Faculté de Science et Technique de Saint-Jérôme, d'Aix Marseille, juillet 1988
- [16] OUALID Mokhtar, Elaboration d'un programme d'aide au diagnostic pour un système photovoltaïque autonome », Mémoire master : Technologie des Systèmes Electro Energétiques de source d'Energies Renouvelables (TS3ER), Université Mouhamed Boudiaf- M'SILA. 2016
- [17] M. Rafik BELABED, « Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque », master académique en énergétique, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou , 2017
- [18] Alayat Mahmoud et Boucetta Issam, « Maximisation de la production d'un système photovoltaïque à base de MPPT soumis à des éclairagements différents», Memoir master en Electronique de puissance. Université Badji Mokhtar Annaba. 2017
- [19] Boukli Hacem Omar « conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique », thèse de magistère, UNIVERSITE Abou-Bakr Belkaid –Tlemcen, 2011
- [20] Tounsia BEN KHEMMOU, « Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque intégrée au bâtiment : Cas d'un laboratoire au CDER », MASTER ACADEMIQUE en Génie Electrique, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2014
- [21] Ghedeir Brahim Dhif et Sayah Lembarek Mouadh, « Gestion d'énergie d'un système photovoltaïque », Master professionnel en Electronique, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018
- [22] Alain Ricaud , « Modules et systèmes photovoltaïques », Septembre 2008