

*République algérienne démocratique et populaire*  
*Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique*  
*Université Abderrahmane-Mira de Bejaia*  
*Faculté de technologie*  
*Département de génie électrique*

## *Mémoire de fin d'étude*

**En vue de l'obtention du diplôme Master**

**Filière : énergies renouvelables**

**Option : énergies renouvelables en électrotechnique**



### Thème

Etude et faisabilité d'une installation  
photovoltaïque pour une mosquée

**Réalisé par :**

*- Belkhir Yanis*  
*- Babahamed Khadidja*

**Promoteur :**

*- Professeur Rekioua. D*

**Membres du jury :**

*-M<sup>me</sup> Belaid. S*

*-M<sup>r</sup> Fella. B*

2019 / 2020

## Remerciement

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à notre  
Promotrice Mme D. Rekioua professeur à l'université  
de Béjaia d'avoir accepté de diriger ce travail.

Aux membres de jury qui ont accepté de juger ce  
travail.

Toutes les personnes qui ont contribué de prêt ou de  
loin à ce que nous sommes aujourd'hui, merci à tous.

# Sommaire

---

## Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES	
Introduction :.....	2
I. 1. Énergie solaire photovoltaïque :.....	2
I.2 Type de système photovoltaïque :.....	2
I.2.1 Système photovoltaïque autonome :.....	2
I.2.1.1 Système photovoltaïque autonome sans stockage électrochimique :.....	3
I.2.1.2 Système photovoltaïque autonome avec stockage électrochimique :.....	3
I.2.2 Systèmes photovoltaïques autonomes hybrides :.....	3
I.2.3 Systèmes photovoltaïques connectés au réseau :.....	4
I.3 Cellules photovoltaïques :.....	5
I.3.1 Fonctionnement de la cellule :.....	5
I.3.2. Technologie des cellules photovoltaïques :.....	6
I.3.3. Comparatif des différentes technologies de la cellule photovoltaïque :.....	6
I.4. Association des modules photovoltaïques :.....	7
I.5 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :.....	8
I.5.1 Avantages :.....	8
I.5.2 Inconvénients :.....	9
I.6. Système de stockage :.....	9
I.6.1 Les caractéristiques principales d'une batterie :.....	9
I.7 Choix du régulateur solaire :.....	10
I.8 Le MPPT :.....	11
I.9. Convertisseur Continu-Alternatif (Onduleur) :.....	11
I.9.1 Critères de choix d'un onduleur solaire :.....	12
Conclusion :.....	12
CHAPITRES II : METHODES DE DIMENSIONNEMENT ET REALISATION DU PROJET	
II.1. Introduction :.....	13
II.2 Dimensionnement du système photovoltaïque.....	13
II.2.1 Choix des méthodes de dimensionnement.....	13
II.2.1.1 La méthode du mois le plus défavorable.....	14
II.2.1.2 Méthode de la moyenne annuelle.....	14
➤ Domaine d'application.....	14
II.2.1.3 Méthode de probabilité d'erreur sur la charge (L.L.P).....	14

---

# Sommaire

---

➤ Domaines d'applications : .....	15
II.3. Coordonnée géographique : .....	15
II.4. Présentation de projet : .....	15
II.5. Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV : .....	16
II.6. L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité : .....	18
II.6.1 Evaluation des besoins : .....	18
II.6.2 Choix des appareils électriques et leur adaptation au système PV : .....	19
II.6.3 Description de la mosquée : .....	19
II.6.4 Cahier des charges : .....	20
II.6.5 Détermination de la tension de fonctionnement du système : .....	20
II.7 dimensionnement solaire photovoltaïque de la mosquée.....	21
II.7.1 Les méthodes de dimensionnement des panneaux photovoltaïques .....	21
II.7.2 Les principaux éléments d'une installation photovoltaïque .....	21
II.7.3.1 Calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon le besoin journalier .....	21
II.7.3.2 Calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon la puissance.....	22
II.7.3.3 Calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon la surface.....	22
II.7.4 Dimensionnement de l'onduleur.....	25
A- La méthode de dimensionnement selon le besoin.....	25
B- La méthode de dimensionnement selon la puissance.....	28
C- La méthode de dimensionnement selon la surface.....	30
II.7.5 Dimensionnement des batteries.....	32
II.7.5.1 Calcul de la taille du système de stockage pour les trois méthodes.....	32
A. méthode de dimensionnement selon le besoin journalier.....	32
B. La méthode de dimensionnement selon la puissance.....	33
C. La méthode de dimensionnement selon la surface.....	33
II.7.6 La section des câbles.....	33
A. La méthode de dimensionnement selon le besoin.....	34
B. La méthode de dimensionnement selon la puissance.....	34
C. La méthode de dimensionnement selon la surface.....	35
II.8 Schéma de la mosquée sous le logiciel SketchUp.....	36

---

# Sommaire

---

Schéma de l'installation électrique solaire.....	37
II.9. Choix des composants du système : .....	38
II.10. Protection d'un système photovoltaïque : .....	38
➤ Les panneaux solaires : .....	38
➤ Les batteries : .....	39
➤ Le régulateur de charge : .....	39
➤ L'onduleur : .....	39
➤ Le câblage dans les deux cas (DC et AC) : .....	39
II.11. Maintenance : .....	39
a) Module photovoltaïque : .....	39
b) Régulateur : .....	39
c) Les Batteries : .....	40
d) Onduleur : .....	40
Conclusion : .....	40
<b>CHAPITRE III : ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DU SYSTEME ETUDIE</b>	
Introduction.....	41
III.1. Les technologies à privilégier pour le photovoltaïque : .....	41
III.2. Maintenance des installations : .....	42
III.3. Evaluation du coût de l'installation : .....	44
III.4. Temps de retour de l'investissement : .....	44
III.5. Puissance produite par l'installation : .....	44
III.6. Evaluation du coût du kWh : .....	45
III.7 Devis estimatif du raccordement de la mosquée au réseau électrique.....	47
III.7.1. Devis estimatif du transport de l'énergie électrique.....	47
III.7.2 Devis estimatif du branchement au réseau électrique : .....	48
III.7.3 Devis estimatif de la consommation électrique .....	48
III.7.4 Devis estimatif total du raccordement au réseau électrique : .....	48
III.8 Comparaison entre le prix de l'installation solaire en autonome et le prix du raccordement au réseau .....	49
Conclusion.....	50
Conclusion générale.....	51

---

## Liste des figures

---

### CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES

<b>Figure (I.1) :</b> Système photovoltaïque autonome .....	3
<b>Figure (I.2) :</b> Système photovoltaïque autonome hybride avec éolien .....	4
<b>Figure (I.3) :</b> Système photovoltaïque connecté au réseau .....	5
<b>Figure (I.4) :</b> Association des modules photovoltaïques .....	8
<b>Figure (I.5) :</b> Onduleur .....	12

### CHAPITRES II : METHODES DE DIMENSIONNEMENT ET REALISATION DU PROJET

<b>Figure (II.1) :</b> Structure de l'installation photovoltaïque autonome.....	13
<b>Figure (II.2) :</b> Site de la mosquée de Béni Hammad .....	16
<b>Figure (II.3) :</b> Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau .....	17
<b>Figure (II.4) :</b> Irradiation globale moyenne mensuelle journalière et les températures moyennes mensuelles .....	18
<b>Figure (II.5) :</b> Schéma de branchement de l'installation avec la première méthode .....	28
<b>Figure (II.6) :</b> Schéma de branchement de l'installation avec la deuxième méthode .....	30
<b>Figure (II.7) :</b> Schéma de branchement de l'installation avec la troisième méthode .....	32
<b>Figure (II.8) :</b> Représentation de la mosquée sous SketchUp .....	37
<b>Figure (II.9) :</b> Représentation de l'installation photovoltaïque sous SketchUp .....	38
<b>Figure II.10 :</b> Exemples d'organes de protection .....	39

### CHAPITRE III : ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DU SYSTEME ETUDIE

<b>Figure III.1 :</b> Prix des éléments de l'installation photovoltaïque en pourcentage .....	47
---	----

---

## Liste des figures

---

**Figure III.2** : Prix du raccordement au réseau en pourcentage ..... 49

**Figure III.3** : Comparaison entre le prix du réseau et le prix de l'installation solaire de la maison ..... 50



# Liste des tableaux

---

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES

**Tableau (I.1) :** Etat comparatif des différentes technologies des cellules photovoltaïques ... 7

## CHAPITRES II : METHODES DE DIMENSIONNEMENT ET REALISATION DU PROJET

**Tableau (II.1) :** les températures et l'irradiation globale moyenne mensuelle ..... 17

**Tableau (II.2) :** Pièces et équipement électrique de la mosquée ..... 19

**Tableau (II.3) :** L'équipement électrique et leurs puissances ..... 19

**Tableau (II.4) :** Consommation de la mosquée ..... 20

**Tableau (II.5) :** Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance Crête ..... 20

**Tableau (II.6) :** Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance Crête ..... 21

**Tableau (II.7) :** Calcul de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier ..... 22

**Tableau (II.8) :** Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier ..... 22

**Tableau (II.9) :** Calcul de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon la puissance ..... 22

**Tableau (II.10) :** Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de dimensionnement selon la puissance ..... 22

**Tableau (II.11) :** Calcul de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon la surface (a) ..... 23

**Tableau (II.12) :** Calcul de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon la surface (b) ..... 23

**Tableau (II.13) :** Calcul de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon la surface (c) ..... 23

**Tableau (II.14) :** Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de dimensionnement selon la surface ..... 24

---



## Liste des tableaux

---

<b>Tableau (II.15) :</b> Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de dimensionnement selon la longueur et la largeur des surfaces .....	24
<b>Tableau (II.16) :</b> Tableau comparatif des résultats obtenus des trois méthodes de dimensionnement .....	25
<b>Tableau (II.17) :</b> Dimensionnement de l'onduleur .....	25
<b>Tableau (II.18) :</b> Vérification des compatibilités .....	25
<b>Tableau (II.19) :</b> Fiche technique de l'onduleur (a) .....	26
<b>Tableau (II.20) :</b> Dimensionnement de l'onduleur pour la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier .....	26
<b>Tableau (II.21) :</b> Vérification des compatibilités pour la méthode de dimensionnement selon le besoin .....	26
<b>Tableau (II.22) :</b> Fiche technique de l'onduleur (b) .....	28
<b>Tableau (II.23) :</b> Dimensionnement de l'onduleur pour la méthode de dimensionnement selon la Puissance .....	28
<b>Tableau (II.24) :</b> Vérification des compatibilités pour la méthode de dimensionnement selon la Puissance .....	29
<b>Tableau (II.25) :</b> Fiche technique de l'onduleur (c) .....	30
<b>Tableau (II.26) :</b> Dimensionnement de l'onduleur pour la méthode de dimensionnement selon la surface .....	30
<b>Tableau (II.27) :</b> Vérification des compatibilités pour la méthode de dimensionnement selon la surface .....	31
<b>Tableau (II.28) :</b> Dimensionnement des batteries .....	32
<b>Tableau (II.29) :</b> Dimensionnement du système de stockage pour la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier .....	32
<b>Tableau (II.30) :</b> Dimensionnement du système de stockage pour la méthode de dimensionnement selon la puissance .....	33
<b>Tableau (II.31) :</b> Dimensionnement du système de stockage pour la méthode de dimensionnement selon la surface .....	33
<b>Tableau (II.32) :</b> Dimensionnement des panneaux restant .....	33
<b>Tableau (II.33) :</b> Calcul de la section des câbles pour la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier .....	34

---

## Liste des tableaux

---

**Tableau (II.34) :** Calcul de la section des câbles pour la méthode de dimensionnement selon la puissance ..... 35

**Tableau (II.35) :** Calcul de la section des câbles pour la méthode de dimensionnement selon la surface ..... 35

### CHAPITRE III : ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DU SYSTEME

#### ETUDIE

**Tableau (III.1) :** Besoin, durée de vie et coût des constituants d'installation ..... 45

**Tableau (III.2) :** Prix du transport d'énergie électrique pour une longueur de 80 mètres .... 47

**Tableau (III.3) :** Prix du branchement au réseau électrique ..... 48

**Tableau (III.4) :** Devis estimatif de la consommation électrique pour une durée de 20 ans ..48

**Tableau (III.5) :** Devis estimatif total du raccordement au réseau électrique ..... 48

---

# Introduction générale

---

## INTRODUCTION GENERALE

De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir des énergies fossiles, la consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures, pour cela, la science s'est intéressée aux ressources dites renouvelables qui constituent un secteur stratégique et occupent une place privilégiée dans les domaines de recherche et développement [1],[3].

Par ailleurs aujourd'hui nous distinguons plusieurs sources d'énergies renouvelables : l'énergie Hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie de la biomasse, l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque (qui sera étudiée dans notre thèse). L'avantage principal de ces énergies renouvelables est que leurs utilisations ne polluent pas l'atmosphère et elles ne produisent pas de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote qui sont responsables du réchauffement de la terre.

L'énergie photovoltaïque est une possibilité de développement efficace et durable. C'est pour cela que les recherches scientifiques se développent dans le sens de généraliser, améliorer et optimiser l'exploitation des systèmes solaires. L'optimisation des systèmes solaires est basée sur des critères de dimensionnement et de maximisation de la puissance générée pour avoir un bon rendement [5].

Notons que l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. La moyenne annuelle d'insolation dépasse les 3000 heures. C'est aussi le plus important de tout le bassin méditerranéen avec 169440TWh/an. L'énergie solaire moyenne reçue est de 1700 kWh/m<sup>2</sup>/an au niveau des régions côtières ; 1900 kWh/m<sup>2</sup>/an dans les Hauts-Plateaux et 2650kWh/m<sup>2</sup>/an au Sahara. Notre pays peut donc couvrir certains de ses besoins en énergie par les systèmes photovoltaïques [4].

Notre travail consiste à étudier la faisabilité d'une installation photovoltaïque pour une mosquée située à Bejaïa. Le premier chapitre est consacré à quelques généralités sur la production de l'énergie photovoltaïque, et les différents systèmes de stockage d'énergie électrique et en particulier les batteries, sera suivi du deuxième chapitre qui est dédié à l'étude des méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque et l'application du projet puis nous clôturerons nos chapitres par une étude technico-économique qui est faite dans le troisième chapitre.

On terminera par une conclusion générale.

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES

### Introduction :

L'énergie photovoltaïque est la transformation directe de l'énergie de la lumière du soleil en énergie électrique au moyen des cellules solaires fabriquées à base du matériau semi conducteur généralement au silicium. L'association en série et en parallèle de ces cellules donne lieu à un module photovoltaïque. Pour obtenir une puissance d'utilisation désirée, ces modules peuvent être également assemblés en série et en parallèle pour former un générateur PV. La puissance produite par le générateur PV dépend du niveau d'éclairement et de la température de jonction de la cellule [6], [7]. Dans ce premier chapitre, nous décrivons des généralités sur le système photovoltaïque, (la définition de l'énergie solaire photovoltaïque, type de système photovoltaïque, cellules PV, système de stockage...etc.). En s'intéressant particulièrement au principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques.

### I. 1. 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 ou recouverts d'une couche mince 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 les libèrent, induisant un courant électrique. Ce courant continu de micro-puissance calculé en watt crête ( $W_c$ ) peut être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur. 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. Les performances d'une installation photovoltaïque dépendent de l'orientation des panneaux solaires et des zones d'ensoleillement.

### I.2 Type de système photovoltaïque : [2]

#### I.2.1 Système photovoltaïque autonome :

Le rôle des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés dans une zone isolée du réseau électrique. La Fig. I.1 présente un exemple d'un système PV autonome, en remarquant qu'il y a un système de stockage qui est associé aux générateurs PV pour assurer l'alimentation à chaque instant et pendant plusieurs jours malgré l'intermittence de la production. Ce système est utilisé en tampon, celui-ci étant rechargé en cas de surplus de production et déchargé en cas de surconsommation.



**Fig. I.1 :** Système photovoltaïque autonome. [8]

### **I.2.1.1 Système photovoltaïque autonome sans stockage électrochimique :**

Dans ce cas, l'appareil alimenté ne fonctionnera qu'en présence d'un éclairage solaire suffisant pour son démarrage. C'est intéressant pour toutes les applications qui n'ont pas besoin de fonctionner dans l'obscurité, et pour lesquelles le besoin en énergie coïncide avec la présence de l'éclairage solaire. Mais il faut bien dimensionner le générateur photovoltaïque de sorte de qu'il ait assez de puissance pour alimenter l'appareil à l'éclairage le plus faible. Le pompage photovoltaïque est un exemple de cette catégorie de système autonome.

### **I.2.1.2 Système photovoltaïque autonome avec stockage électrochimique :**

C'est la configuration la plus courante des systèmes photovoltaïques autonomes. Elle comporte des batteries qui emmagasinent l'énergie électrique produite par le générateur photovoltaïque au cours de la journée. Donc, le stockage électrochimique est indispensable pour assurer le fonctionnement nocturne ou durant un nombre de jours prédéfinis dans le dimensionnement des systèmes photovoltaïques.

Le système de stockage représente une partie très importante du coût de l'installation, et ses conditions de fonctionnement sont très contraignantes. Par conséquent, des systèmes de gestion de l'énergie ont été développés afin d'optimiser la durée de vie du système de stockage et de réduire les coûts de fonctionnement. Un sous-dimensionnement a notamment pour conséquences un vieillissement prématuré du système de stockage ainsi qu'un accroissement des délestages de consommation et de production alors qu'un surdimensionnement peut conduire à un surcoût économique.

### **I.2.2 Systèmes photovoltaïques autonomes hybrides :**

Les systèmes Hybrides sont généralement des systèmes PV couplés à d'autres sources comme par exemple une éolienne ou un groupe électrogène. Le rôle du second producteur d'énergie est de palier aux insuffisances éventuelles de la production photovoltaïque.

# Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Dans le cas d'un système hybride avec éolien (voir la Fig. I.2), l'énergie produite par celle-ci (qui possède son propre contrôleur) vient compléter la charge des batteries. Sa production étant plus aléatoire que celle des panneaux solaires, elle complète efficacement un générateur photovoltaïque pour des applications particulièrement gourmandes en électricité, qui ne nécessitent pas de fonctionner de façon régulière, mais au gré du vent.

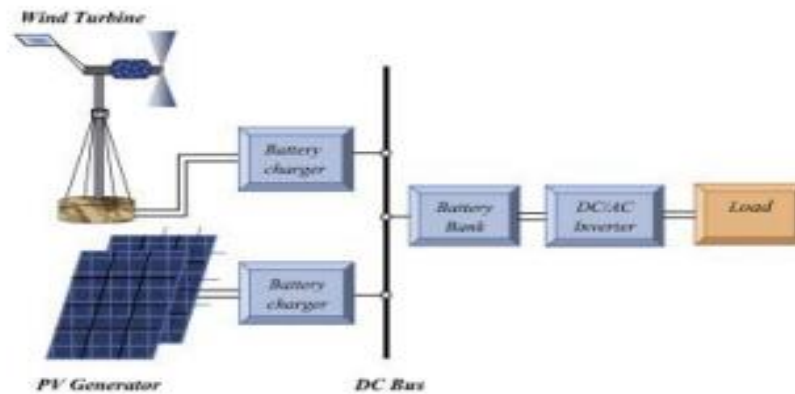


Fig. I.2 : Système photovoltaïque autonome hybride avec éolien [9]

### I.2.3 Systèmes photovoltaïques connectés au réseau :

La Fig. I.3 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 panneaux 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. Et en cas de coupure réseau, l'onduleur stoppe l'injection d'électricité photovoltaïque produite sur le réseau et bascule la production sur un circuit électrique de secours parallèle, constitué d'un ensemble de batteries. La protection de découplage permet de supprimer tout risque d'électrocution en cas de rupture de courant pour le personnel intervenant. Cette fonction est assurée par l'onduleur qui s'arrête automatiquement lorsque le réseau est mis hors tension.

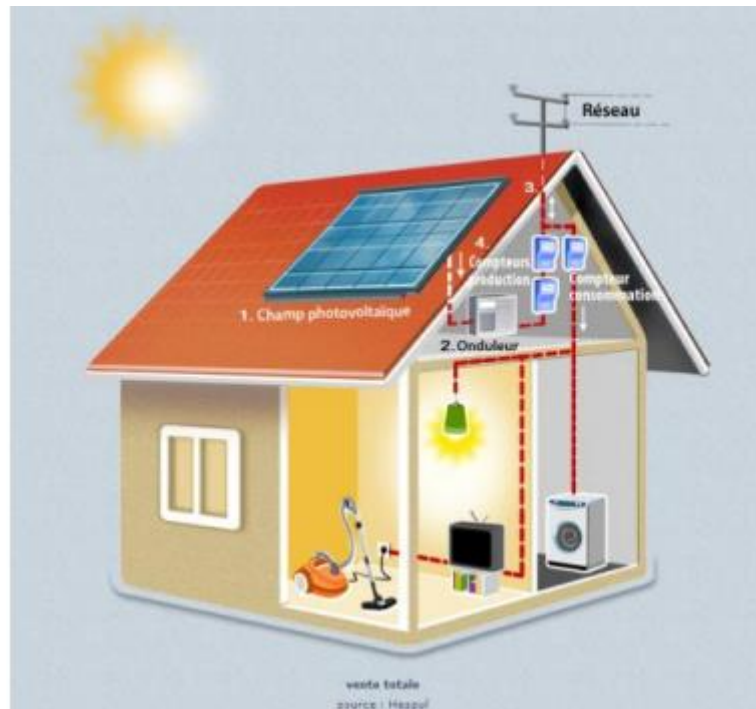


Fig. I.3 : Système photovoltaïque connecté au réseau [11]

### I.3 Cellules photovoltaïques [12] :

Une cellule photovoltaïque ou photopile est l'élément de base de la conversion photovoltaïque, elle est assimilable à une diode photosensible son fonctionnement est basé sur les propriétés des matériaux semi-conducteurs.

#### I.3.1 Fonctionnement de la cellule [13] :

Elle est constituée de deux couches de silicium que l'on a exposées au préalable à des faisceaux d'ions, l'une à des ions de phosphore(-), l'autre à des ions de bore(+). La première couche présente un excédent d'électron et l'autre un déficit, elles sont dites respectivement dopée N et dopée P. Ce procédé est appelé le « dopage » et sert à créer un champ électrique entre les deux zones où se crée une jonction dite PN, et dirigé de la zone (P) vers la zone (N).

Lorsque les deux couches dopées sont mise en contact, les électrons en excès dans le matériau dopé N diffusent dans le matériau dopé P. La zone initialement dopée N devient chargée positivement et la zone initialement dopée P chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone P ; une jonction dite PN a été formée.

Les photons ayant une énergie excitent les atomes de silicium et créent des charges positives et négatives, ainsi les électrons et les trous créés respectivement dans les régions P et N diffusent et atteignent la zone de charge d'espace, accélérés par le champ électrique interne, ils traversent la zone de transition. La région N reçoit des électrons et se charge négativement,

## Généralités sur les systèmes photovoltaïques

la région P accepte des trous et se charge positivement. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, créant ainsi un courant électrique.

### I.3.2. Technologie des cellules photovoltaïques : [14]

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. 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 :

#### A. 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.

#### B. 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.

#### C. 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).

### I.3.3. Comparatif des différentes technologies de la cellule photovoltaïque :

Les types et technologies de cellules photovoltaïques citées ci-dessus sont différents et ces différences nous ont permis d'élaborer un tableau comparatif. Nous montrons dans ce tableau (Tableau. I.1) les caractéristiques des différentes cellules classées par leur rendement, longévité et leurs principales utilisations.

Matériaux	Rendement	Longévité	Caractéristiques	Principales utilisations
<b>Silicium monocristallin</b>	10 à 16% (24,7% au laboratoire)	20 à 30 ans	*Très performant *Stabilité de production *Méthode de production couteuse et laborieuse	Aérospatiale, modules pour toits, façades,...
<b>Silicium Poly cristallin</b>	11 à 13% (19.8% en laboratoire)	20 à 30 ans	*Très performant *Stabilité de production *Plus facile à fabriquer.	Modules pour toits, façades, générateurs...



## Généralités sur les systèmes photovoltaïques

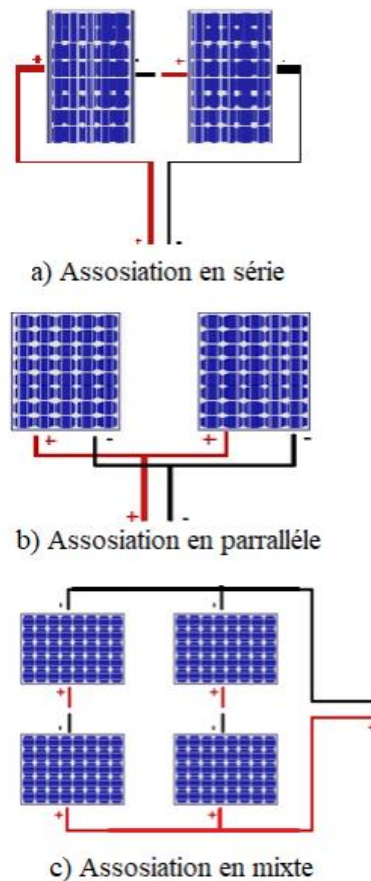
<b>Amorphe</b>	6 à 10% (13% au laboratoire)	≤ 10 ans	*Peut fonctionner sous la lumière fluorescente. *Fonctionnement faible si luminosité. *Fonctionnement par temps couvert. *Fonctionnement si ombrage Partiel. *La puissance de sortie varie dans le temps. En début de vie, la puissance délivrée est de 15 à 20% supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois.*Rendement très faible.	Appareil électroniques (montres, calculatrice...), Intégration dans le bâtiment
----------------	---------------------------------	----------	--	--

**Tableau (I.1)** Etat comparatif des différentes technologies des cellules photovoltaïques

[15]

### I.4. Association des modules photovoltaïques :

Un module des cellules connectées en parallèle est suffisant pour augmenter le courant du générateur en associant les modules en parallèle “Np” comme montré dans la figure (Fig. I.4). pour obtenir une augmentation de la tension du générateur on associe les modules en série “Ns” comme le montre la figure ci-dessous. Afin d’obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d’associer les modules et de monter les panneaux en rangées série et parallèle pour former ce que l’on appelle un générateur photovoltaïque. [17]



**Fig. I.4 :** Association des modules photovoltaïques

## I.5 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque : [18]

### I.5.1 Avantages :

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux ;
- le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

---

# Généralités sur les systèmes photovoltaïques

---

## I.5.2 Inconvénients :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé ;
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées ;
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru ;
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.

## I.6. Système de stockage [19] :

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite s'envisager des stockages suivant les conductions météorologiques et qui vont répondre à deux fonctions principales :

- Fournir à l'installation de l'électricité lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou par mauvais temps par exemple)
- Fournir à l'installation des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur PV.

### I.6.1 Les caractéristiques principales d'une batterie [21] [22] [23] :

**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 :**

---

## Généralités sur les systèmes photovoltaïques

---

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 de l'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.7 Choix du régulateur solaire :

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.

---

## Généralités sur les systèmes photovoltaïques

---

- **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.8 Le MPPT [24] :

La recherche du point de puissance maximum (MPPT) est intégralement réalisée de façon électronique, sans aucun dispositif ou système mécanique.

Le contrôleur ou régulateur MPPT mesure et compare en permanence, la tension délivrée par le panneau avec celle du dispositif batterie.

Il calcule alors le niveau de puissance maximum que :

- ✓ le panneau peut délivrer à la batterie
- ✓ la batterie est capable de recevoir

A partir de cette valeur de puissance, il détermine la tension la plus adaptée afin de fournir une intensité optimum pour la batterie.

Ainsi le système adapte en permanence la tension aux bornes du générateur photovoltaïque afin de se rapprocher du point de puissance maximum, sans jamais l'atteindre précisément.

La plupart des régulateurs MPPT modernes permettent d'obtenir des rendements situés entre 92% et 97%.

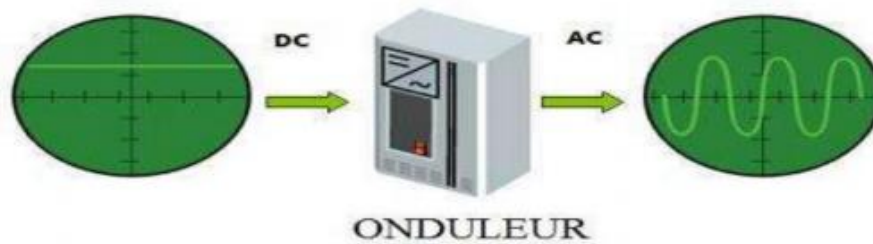
L'emploi d'un régulateur MPPT permet d'obtenir généralement de 20% à 45% de puissance supplémentaire en hiver et de 10% à 15% en été (par rapport à un régulateur classique).

### I.9. Convertisseur Continu-Alternatif (Onduleur) [25] :

Son rôle est de transformer l'énergie électrique continue délivrée par le générateur photovoltaïque en énergie électrique alternative. De tels appareils doivent délivrer un signal le plus proche possible du signal sinusoïdal et avec une fréquence précise. En effet, pour les fonctionnements de la plupart des charges, la présence d'harmoniques est néfaste. Ces appareils appelés couramment onduleurs (Fig. I.5), présentent généralement deux inconvénients majeurs:

- pertes à vide très élevées,
- rendement acceptable uniquement pour la charge nominale.

Pour les systèmes PV, leur utilisation représente un gaspillage d'énergie important, surtout lorsque la charge est variable au cours du temps et est bien inférieure à sa valeur nominale. Il convient de choisir un onduleur dont les pertes à vide doivent être réduites et le rendement doit être moins sensible au pourcentage de la puissance appelée.



**Fig. I.5 :** Onduleur

## **I.9.1 Critères de choix d'un onduleur solaire :**

On a plusieurs critères pour choisir un onduleur solaire certains sont indispensables et d'autres sont optionnelles

Les critères indispensables sont :

- Puissance électrique.
- Tension d'entrée.
- Tension de sortie.
- Forme d'onde.

Les critères optionnels sont généralement :

- Puissance de pic.
- Plage de tension d'entrée.
- Protection contre le court – circuit
- Protection contre la surcharge.
- Protection contre la baisse tension d'entrée.
- Protection contre la baisse tension d'entrée.
- Incorporation d'un régulateur de charge.

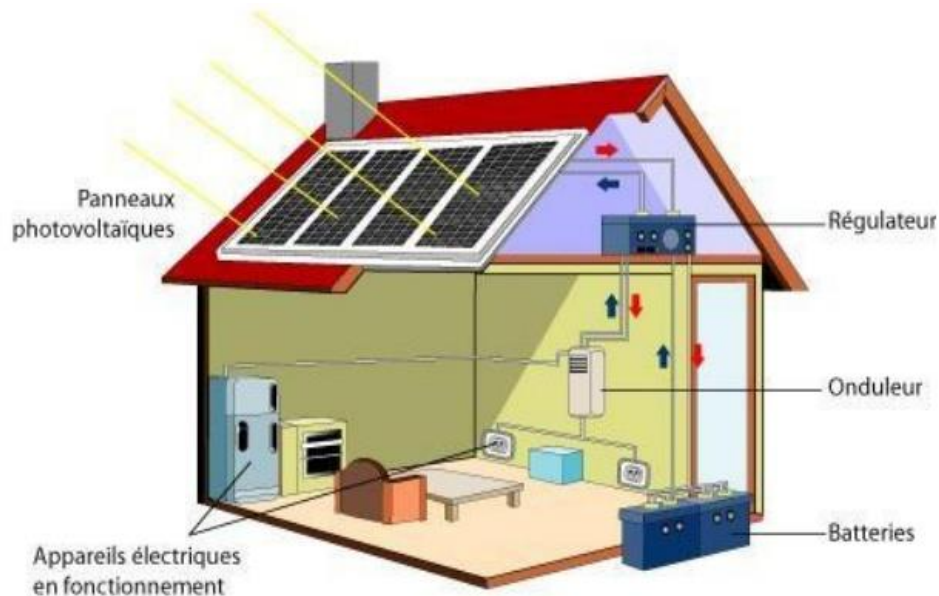
## **Conclusion :**

L'énergie est au centre de l'économie pour tous les pays et à la base de toute activité humaine, ces sources se sont diversifiées au cours du temps afin de satisfaire une demande toujours croissant. Dans ce chapitre nous avons présenté le système photovoltaïque, l'énergie solaire photovoltaïque et les différents systèmes photovoltaïques, nous avons vu aussi le fonctionnement de la cellule photovoltaïque et l'association des modules et aussi les régulateurs, batteries, onduleurs.

## CHAPITRES II : METHODES DE DIMENSIONNEMENT ET REALISATION DU PROJET

### II.1. Introduction :

La conception et le dimensionnement d'un champ photovoltaïque précis est en réalité un processus relativement complexe car il y a de nombreux paramètres à prendre en considération, une certaine dose d'impondérable (la météorologie), et surtout de multiples interactions entre les choix. Par exemple, la consommation du régulateur de charge, de l'onduleur, doivent être ajoutés à celle des récepteurs pour définir la consommation totale du système. Or, le choix de ces paramètres dépend de la taille du champ photovoltaïque, lui-même déterminé par la consommation. Donc la conception d'un système photovoltaïque est le résultat d'une optimisation réalisée par itérations. La structure principale de l'installation photovoltaïque autonome est donnée par la figure suivante :



**Figure II.1 :** structure de l'installation photovoltaïque autonome [26].

### II.2 Dimensionnement du système photovoltaïque

#### II.2.1 Choix des méthodes de dimensionnement [27]

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque. La méthode de probabilité d'erreur dans la consommation, de la moyenne annuelle, du mois le plus défavorable. Dans notre travail on s'intéresse à cette dernière méthode qui est simple et sûre, 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 où la période d'hiver est rude.

### II.2.1.1 La méthode du mois le plus défavorable

L'irradiation est un élément clé dans le dimensionnement des systèmes photovoltaïques. Dans cette méthode on estime le besoin énergétique durant le mois le moins rayonné de l'année, 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, où dans certains pays c'est la période d'hiver, comme le mois de décembre choisi en Algérie. Cette période est généralement choisie en fonction du climat et de l'utilisation de l'installation, il faut définir le nombre maximal des jours d'autonomie pour que la batterie puisse assurer le fonctionnement du système pendant les jours de non ensoleillement. Si le bilan énergétique garantit le fonctionnement du système pendant cette période, on aura alors une certitude en ce qui concerne son fonctionnement pendant toute l'année.

#### ➤ Domaines d'applications :

- L'installation militaire.
- Les installations de télécommunication.
- Les centres de soins des zones rurales.
- Cette méthode est utilisée généralement pour les systèmes autonomes.

### II.2.1.2 Méthode de la moyenne annuelle

Elle est proche de celle du mois le plus défavorable. Elle utilise aussi l'irradiation journalière (kWh/m<sup>2</sup> .j). Mais pour la moyenne qui s'étend sur toute l'année au lieu d'un seul mois. Et par conséquent on calcule la moyenne annuelle de l'énergie récupérable sur un site pour les 12 mois.

#### ➤ Domaine d'application

- Elle est utilisable sur tous les systèmes, plus précisément les systèmes ayant un profil de charge assez élevé.
- C'est la méthode la plus appliquée au système photovoltaïque hybride.

### II.2.1.3 Méthode de probabilité d'erreur sur la charge (L.L.P)

Elle réalise les bilans énergétiques journaliers durant une période très grande (quelques années), ensuite on applique des modèles mathématiques aux différentes charges relatives aux probabilités d'erreurs commises lors de l'étude de cette charge. Ceci garantit une bonne fiabilité des modules et les batteries. Le modèle mathématique le plus utilisé est appelé LLP, défini comme suit :



$$LLP = \int EDf \int EDm \quad (II-1)$$

EDf : Energie déficitaire.

EDm : Energie demandée.

➤ **Domaines d'applications :**

- Dans des grandes installations PV.
- Cette méthode a l'avantage d'être l'une des plus fiables des méthodes de dimensionnement des systèmes photovoltaïques, mais elle est trop compliquée.

### II.3. Coordonnée géographique :

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.
- **La latitude** :  $\varphi$

La latitude permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque par rapport à l'équateur.

- **La longitude** :  $\lambda$

La longitude d'un lieu (ou méridien) est une valeur angulaire, exprimant le positionnement Est-Ouest d'un lieu par rapport au méridien d'origine (méridien de Greenwich). Alors si :

- ✓  $\lambda > 0$ , vers l'Est.
- ✓  $\lambda < 0$ , vers l'Ouest.

D'une façon plus complète, on dit aussi que c'est la mesure de l'arc compris entre le méridien du lieu et le méridien de Greenwich.

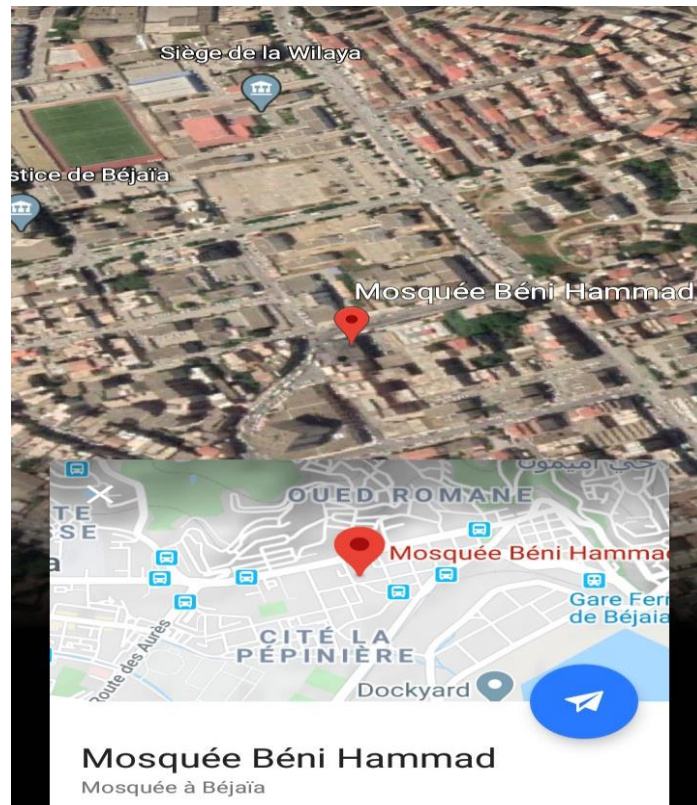
- **L'altitude** : L'altitude exprime un écart entre un point donné et le niveau de la mer (ou niveau 0).
- **Le Fuseau horaire** : C'est une bande de  $15^\circ$  de large s'étendant du pôle nord au pôle sud permettant de décomposer le globe terrestre en 24 tranches horaires.

### II.4. Présentation de projet :

Dans ce projet, nous avons présenté une installation PV autonome pour alimenter une mosquée « Béni Hammad ». Le site étudié est situé au niveau de la cité tobal, wilaya de

## Méthodes de dimensionnement et réalisation du projet

Bejaia. Ses coordonnées géographiques sont : latitude 36.45N, longitude 5.04E et l'altitude 1m, fuseau horaire (gmt+1).



**Figure (II.2) :** Site de la mosquée de Béni Hammad

### **II.5. Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV [28]:**

Les données de l'ensoleillement (exprimé en  $\text{KWh}/\text{m}^2/\text{j}$ ) peuvent être relevées sur le site ou enregistrées sur la carte de l'ensoleillement de la région ou encore obtenues au niveau de la station météo la plus proche de la zone. Pour avoir une autonomie complète et éviter une variation saisonnière de la consommation, il faut prendre comme référence l'ensoleillement du mois ensoleillé.

La position des modules photovoltaïques par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leur possibilité. On appelle orientation, le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (Sud, Nord, Sud-ouest...). L'inclinaison indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal, elle se compte donc en degrés. L'orientation idéale d'un panneau photovoltaïque obéit à une règle qui consiste à l'orienter vers l'équateur.

Ce qui donne l'orientation vers :

- Le sud dans l'hémisphère nord.
- Le nord dans l'hémisphère sud.

## Méthodes de dimensionnement et réalisation du projet

En ce qui concerne l'inclinaison, on tiendra compte de la période de l'année le mois ensoleillé pour optimiser la production de l'énergie. Les panneaux doivent donc récupérer l'énergie d'un soleil dont la hauteur est faible [26]. Cette inclinaison va être fixée par la latitude et la périodicité de l'inclinaison. Dans le site à l'étude (Béjaia) la position des modules sera comme suit :

- ✓ Orientation des panneaux : plein sud.
- ✓ L'inclinaison (45°).

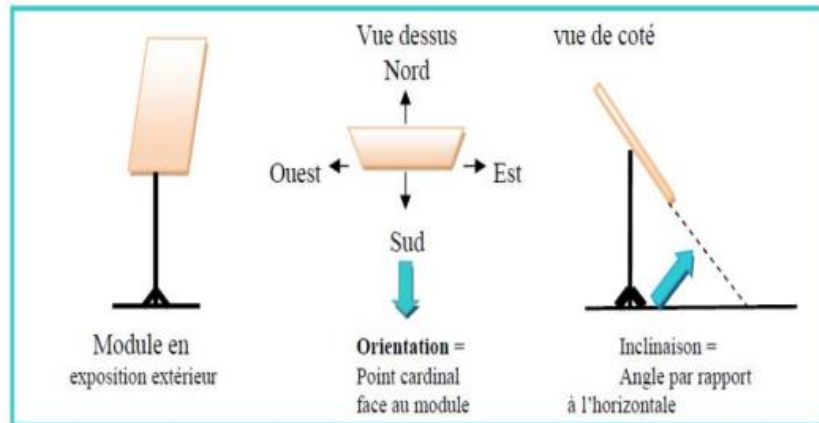


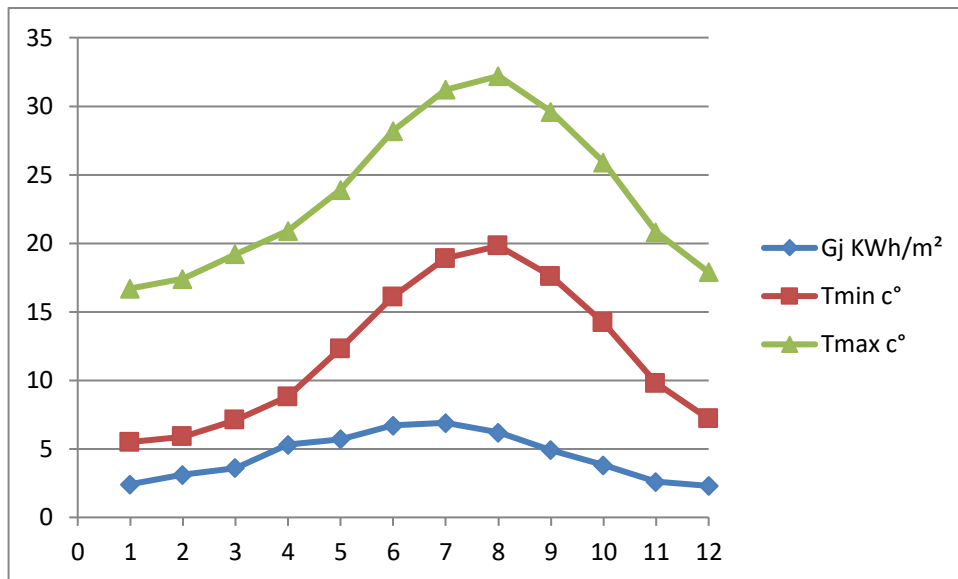
Figure (II.3) : Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
<b>Gj(KWh/j/m<sup>2</sup>)</b>	2.4	3.1	3.6	5.3	5.7	6.7	6.9	6.2	4.9	3.8	2.6	2.3
<b>Température Min journalière</b>	5.5	5.9	7.1	8.8	12.3	16.1	18.9	19.8	17.6	14.2	9.8	7.2
<b>Température max journalière</b>	16.7	17.4	19.2	20.9	23.9	28.2	31.2	32.2	29.6	25.9	20.8	17.9

Tableau (II.1) : les températures et l'irradiation globale moyenne mensuelle.

Les graphes dans la figure (II.3) interprète les données de tableau (II.1). On remarque que l'irradiation est maximale en mois de juillet elle arrive jusqu'à 6.9 KWh/j/m<sup>2</sup> (le mois le plus favorable). Alors que l'irradiation est faible en mois de décembre (le mois le plus défavorable), sa valeur elle est de 2.3 KWh/j/m<sup>2</sup>.

Pour couvrir le besoin de toute l'année nous choisissons le mois le plus défavorable à Béjaia. Dans ce cas on choisit une orientation 36.45E.



**Figure (II.4) :** Irradiation globale moyenne mensuelle journalière et les températures moyennes mensuelles.

### II.6. L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité :

Il s'agit d'estimer la consommation d'équipements supposés connus. L'objectif est d'obtenir la consommation totale moyenne par jour et par période (été, hivers, vacances...). L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour  $E$  (Wh/j) est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier, à savoir la télévision, les lampes d'éclairage, les appareils électroniques, etc... Elle est donnée par la loi suivante [31] :

$$E = \sum E_i \quad (\text{II.2})$$

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

- ✓ La tension.
- ✓ Le nombre d'occupants.
- ✓ Le mode d'utilisations.

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement et pour tous les équipements à forte consommation, partez de la durée du cycle de fonctionnement de la tâche. Ainsi, la consommation de chaque équipement peut être calculée comme suit [30] :

$$E = P_i * T_i \quad (\text{II.3})$$

*L'énergie journalière consommée d'un équipement (Wh/j) = la puissance de cet équipement (W) × le temps d'utilisation (h)*

#### II.6.1 Evaluation des besoins :

Le kWh solaire est cher, il faut procéder à une économie d'énergie au niveau des récepteurs par une technologie de basse consommation ou remplacer le parc existant par un

## Méthodes de dimensionnement et réalisation du projet

autre sous tension continue. Même s'ils sont onéreux à l'achat, le coût global sera bien moins car il faudra moins de modules photovoltaïques et de batteries pour les alimenter.

### II.6.2 Choix des appareils électriques et leur adaptation au système PV :

Le système PV peut s'adapter à tout, mais il sera souvent rentable d'y adapter des appareils qui consomment particulièrement peu ou qui sont capables de fonctionner directement en basse tension. Par exemple : les sources lumineuses les plus adéquates sont des luminaires à tubes fluorescents de petite puissance, 8 à 20W. Leur efficacité est très bonne et leur utilisation très satisfaisante.

### II.6.3 Description de la mosquée :

Cette mosquée est constituée de 3 salles de prières, 3 bureaux, une salle de lecture, et une salle d'ablution.

Désignation	L'équipement électrique
<b>3 salles de prières</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 2 lustres de 10 lampes (9W)</li><li>• 30 Lampes (9W)</li><li>• 18 ventilateurs (50W)</li><li>• 3 climatiseurs (1000W)</li><li>• 3 aspirateurs (150W)</li></ul>
<b>3 bureaux</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 6 Lampes (9W)</li><li>• 3 pc (50W)</li><li>• 3 climatiseurs (1000W)</li></ul>
<b>Salle de lecture</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 6 Lampes (9W)</li><li>• 1 climatiseur (1000W)</li><li>• 2 ventilateurs (50W)</li></ul>
<b>Salle d'ablution</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 24 Lampes (9W)</li><li>• 2 pompes d'eau (700W)</li></ul>
<b>Eclairage</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 6 Lampes (25W)</li></ul>

Tableau (II.2) : Pièces et équipement électrique de la mosquée

Type d'équipements	Equipements	Puissance (W)
Eclairage	<ul style="list-style-type: none"><li>• 86 Lampes (9w)</li><li>• 6 Lampes (25w)</li></ul>	774
		150
Electronique	<ul style="list-style-type: none"><li>• 3 PC</li></ul>	150
Electroménager	<ul style="list-style-type: none"><li>• 3 Aspirateurs</li><li>• 7 climatiseurs</li><li>• 20 ventilateurs</li></ul>	450
		7000
		1000
Divers	<ul style="list-style-type: none"><li>• 2 Pompes d'eau</li></ul>	1400

**Tableau (II.3) : L'équipement électrique et leurs puissances**

## II.6.4 Cahier des charges :

Bilan des puissances de la mosquée (tableau II-4) ci-dessous pour optimiser la consommation journalière, nous prenons par compte toutes les pertes de système (les rendements des composants) pour présenter le cahier des charges. Les récepteurs seront alimentés par un onduleur. On considère que l'onduleur est bien utilisé (rendement de conversion est alors de 95%, le rendement de régulateur est 98%, le rendement de batterie est 90%). Ainsi la puissance à fournir à l'onduleur pour disposer à sa sortie de l'énergie nécessaire aux récepteurs AC.

Estimation de la consommation d'énergie électrique :

Equipement	Puissance (w)	Nombre	Durée/Jour (h)	Consommation journalière (wh/j)
<b>Lampes LED</b>	9	86	6	4644
<b>Eclairage extérieur</b>	25	6	8	1200
<b>Pompes d'eau</b>	700	2	3/2	2100
<b>Climatiseurs</b>	1000	7	3	21000
<b>Ventilateurs</b>	50	20	4	4000
<b>Aspirateurs</b>	150	3	1	450
<b>PC</b>	50	3	2	300
<b>Consommation journalière moyenne (Wh/j)</b>				33694

**Tableau (II.4) : Consommation de la mosquée**

Dans notre cas :

- L'énergie totale installée est égale à 33694Wh
- La puissance totale installée est égale à 10924 W

-Pour la tension d'alimentation : cette dernière sera choisie d'après le tableau (II.5)

$P_c > 10\text{KWc}$  on choisit une tension de  $U=48$  Volt courant continu.

## II.6.5 Détermination de la tension de fonctionnement du système [29] :

Le choix de la tension nominale d'un système dépend de la disponibilité de matériels (modules et récepteur), il dépend aussi des niveaux de puissance et de l'énergie nécessaire selon le type d'application. Il faut déterminer la tension de fonctionnement de système : 12v, 24v, 48v. La règle du jeu pour cela est assez simple : plus on utilise une tension élevée.

Puissance crête	<500Wc	500Wc-2KWc	2-10KWc	>10 kWc
Tension du système	12 V <sub>DC</sub>	24 V <sub>DC</sub>	48 V <sub>DC</sub>	>48 V <sub>DC</sub>

**Tableau (II.5) : Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance Crête**

## II.7 Dimensionnement solaire photovoltaïque de la mosquée :

L'installation photovoltaïque doit répondre au besoin de la mosquée en énergie durant la journée. La réalisation de cette installation exige une méthode de calcul et de dimensionnement de haute précision.

Dans cette partie, nous allons nous intéresser à la production de l'énergie électrique à partir de l'énergie solaire à travers une chaîne de conversion composée de différents éléments. Ainsi, nous allons présenter les différentes méthodes de dimensionnement de l'installation photovoltaïque. Afin d'aboutir à un choix qui nous procure plus d'efficacité et une meilleure rentabilité pour l'installation.

### II.7.1 Les méthodes de dimensionnement des panneaux photovoltaïques :

1. Méthode du besoin journalier.
2. Méthode des puissances.
3. Méthode des surfaces.

### II.7.2 Les principaux éléments d'une installation photovoltaïque [18] :

En général les installations photovoltaïques comprennent quatre éléments essentiels :

- ✓ Un générateur photovoltaïque.
- ✓ Un système de régulation.
- ✓ Une ou plusieurs batteries.
- ✓ Un onduleur.
- ✓ Les câbles.

#### Fiche technique du module photovoltaïque

La puissance crête	$P_c = 270W_c$
La tension à vide	$U_{co} = 38,04V$
Le courant de puissance maximale	$I_{mpp} = 8.52A$
La tension de puissance maximale	$U_{mpp} = 31.7V$
Le courant de court-circuit	$I_{cc} = 9.21A$

**Tableau (II.6) :** Fiche technique du module photovoltaïque

#### II.7.3.1 Calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon le besoin journalier :

Le tableau ci-dessous montre les lois de calculs de la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier

Besoin journalier	Puissance photovoltaïque journalière	Nombre d'heures d'équivalent avec [h]	Puissance réelle	Nombre de panneaux	Nouvelle puissance estimée	Surface de captage
-------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	------------------	--------------------	----------------------------	--------------------

## Méthodes de dimensionnement et réalisation du projet

$B_j = \sum_1^n Pch \times \Delta t$	$P_{pv}/J = P_c \times N_e$	$N_e = G_s / 1000$	$p_{PV}/J_{réel} = P_{pvj} \times (1 - 0.2)$	$N_{pv} = B_j / (P_{pv}/j_{réelle})$	$P_{nouv} = N_{pv} \times P_c$	$S_c = N_{pv} \times S_{pv.u}$
--------------------------------------	-----------------------------	--------------------	--	--------------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

**Tableau (II.7) :** Calcul de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier

Les résultats du premier type des méthodes de dimensionnement sont réunis dans le tableau ci-dessous :

Ne (h/j)	Ppv,j(Wh/j)	Ppv /Jréel (Wh/j)	Npv(Panneaux)	Npv,nouv(Panneaux)	<b>Pnouv(W)</b>
2.3	621	496.8	67.82	<b>68</b>	<b>18360</b>

**Tableau (II.8):** Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier

### II.7.3.2 Calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon la puissance :

Le tableau ci-dessous montre les lois de calculs de la méthode de dimensionnement selon la puissance.

Puissance crête estimée (W)	Nombre provisoire de panneaux	Nouvelle puissance estimée (W)
$P = E_s \times S \times \eta$	$N_{pv} = P_{est} / P_c$	$P_{nouv} = N_{pv_{prov}} \times P_c$

**Tableau (II.9) :** Calcul de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon la puissance

Les résultats du deuxième type des méthodes de dimensionnement sont réunis dans le tableau ci-dessous :

Pc (Wc)	Npv (panneaux)	Npv <sub>nouv</sub> (panneaux)	P <sub>nouv</sub> (W)
11261.5	41.7	<b>42</b>	<b>11340</b>

**Tableau (II.10) :** Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de dimensionnement selon la puissance

### II.7.3.3 Calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon la surface :

Les tableaux ci-dessous illustrent les lois de calculs de la méthode de dimensionnement selon la surface



## Méthodes de dimensionnement et réalisation du projet

<b>N<sub>pv</sub></b>	<b>P<sub>nouv</sub> (Wc)</b>
<b>N<sub>pv</sub>=Stoit/Spv.u</b>	<b>P<sub>nouv</sub>.=N<sub>pv</sub>.prov×Pc</b>

**Tableau (II.11) :** Calcul de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon la surface (a)

Montage des panneaux selon les dimensions du toit et des panneaux :

Selon la longueur			Selon la largeur		
<b>NL1</b>	<b>NL2</b>	<b>N<sub>pmax1</sub></b>	<b>NI1</b>	<b>NI2</b>	<b>N<sub>pmax2</sub></b>
<b>NL1 = longueur du toit / longueur du panneau</b>	<b>NL2 = largeur du toit / largeur du panneau</b>	<b>N<sub>pvmax</sub> = NI1 × NI2</b>	<b>NI1 = longueur de toit / largeur de panneau</b>	<b>NI2 = largeur du toit / longueur des panneaux</b>	<b>P<sub>t,nouv</sub> = N<sub>pv,nouv</sub> × Pc</b>

**Tableau (II.12) :** Calcul de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon la surface (b)

La vraie surface qui sera occupée est calculée selon les lois rapportées sur le tableau ci-dessous :

<b>N<sub>pv,nov</sub></b>	<b>Nouvelle puissance totale</b>	<b>Nouvelle surface à installer</b>
<b>N<sub>pmax1</sub> × N<sub>pmax2</sub></b>	<b>P<sub>t,nouv</sub> = N<sub>pv,nov</sub> × Pc</b>	<b>S<sub>inst</sub> = N<sub>pv,nov</sub> × Spv,u</b>

**Tableau (II.13) :** Calcul de la taille du générateur photovoltaïque de la méthode de dimensionnement selon la surface (c)

### Cahier de charge :

Soit la surface de la toiture de la mosquée de 101m<sup>2</sup> constituée de deux surfaces différentes. La première surface S1= 68.7 m<sup>2</sup>, (13.2m selon la longueur et 5.2 m selon la largeur). Soit la deuxième surface S2= 32.3 m<sup>2</sup>, (11.1 selon le sens de la longueur et 2.9 selon le sens de la largeur).Et le panneau choisi est de **270wc** de dimension (1.64 m selon le sens de la longueur et 0.992 selon le sens de la largeur)

Les résultats du troisième type des méthodes de dimensionnement sont réunis dans les tableaux ci-dessous :

## Méthodes de dimensionnement et réalisation du projet

S1 =68.7 m <sup>2</sup>		S2=32.3 m <sup>2</sup>	
Npv	Pnouv(Wc)	Npv	Pnouv(Wc)
42	11340	19	5130

**Tableau (II.14) :** Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de dimensionnement selon la surface

Selon la longueur						Selon la largeur				
S1 = 68.7 m <sup>2</sup>	NL1	NL1,c orrigé	NL2	NL2,c orrigé	Npanneaux, max	NL1	NL1,c orrigé	NL2	NL2,c orrigé	Npanneaux,max
	8.04	8	5.24	5	40	13.3	13	3.17	3	39
S2= 32.3m <sup>2</sup>	NL1	NL1,c orrigé	NL2	NL2,c orrigé	Npanneaux, max	NL1	NL1,c orrigé	NL2	NL2,c orrigé	Npanneaux,max
	6.76	6	2.92	2	12	11.18	11	1.76	1	11

**Tableau (II.15) :** Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de dimensionnement selon la longueur et la largeur des surfaces.

### Commentaires et discussions :

Tableau II.14 : Les résultats du tableau montrent que l'on peut placer 42 panneaux sur la première surface et 19 de plus sur la deuxième. Soit 61 panneaux sur toute la toiture. Qui pourront assurer une puissance de 16470 Wc.

Tableau II.15 : Pour la première surface on prend le nombre de panneaux selon le sens de la longueur qui est égale à  $8 \times 5 = 40$  panneaux, Par ailleurs, pour la seconde surface on opte pour le montage selon le sens de la longueur avec le nombre de panneaux de  $6 \times 2 = 12$  panneaux. Nous aurons par conséquent, 52 panneaux au total et une puissance crête de 14040 Wc.

Les résultats des trois méthodes de dimensionnement sont réunis dans le tableau suivant :

## Méthodes de dimensionnement et réalisation du projet

Dimensionnement selon le besoin journalier	Dimensionnement selon la puissance	Dimensionnement selon la surface
68 panneaux	42 panneaux	52 panneaux

**Tableau (II.16) :** Tableau comparatif des résultats obtenus des trois méthodes de dimensionnement

### II.7.4 Dimensionnement de l'onduleur

Le choix et le nombre d'onduleurs repose sur 3 critères :

- ✓ La compatibilité en puissance
- ✓ La compatibilité en tension
- ✓ La compatibilité en courant

A partir de ces trois critères, le dimensionnement des onduleurs va imposer la façon de câbler les modules entre eux.

Le tableau ci-dessous illustre les lois de calculs des paramètres de compatibilité

Compatibilité en puissance		Compatibilité en tension		Compatibilité en courant
Pond, min	Pond, max	Npvs .min	Npvs .max	Npv.ch
<b>Pond,min=</b> <b>0.9 ×</b> <b>Ppv<sub>nouv</sub></b>	Pond,max = 0.95 × Ppv <sub>nouv</sub>	Ns1 = ENT [ ( Umpp.min,ond ) / ( Umpp.pv × 0.85 ) ]	Ns2 = ENT [ ( Umpp.max,ond ) / ( Umpp.pv × 1.25 ) ]	Nch = ENT [ ( Imax – ondu ) / ( Impp × 1.25 ) ]

**Tableau (II.17) :** Dimensionnement de l'onduleur

Avec les lois du tableau suivant, on vérifie la compatibilité en puissance, en tension et en courant avec l'onduleur

Vérifier la compatibilité en puissance	Vérifier la compatibilité en tension	Vérifier la compatibilité en courant
<b>Pcalculé = Npvs × Npv, × Pc</b>	Icalculé = Impp × Npv.ch	V <sub>max</sub> = Npvs.max × Uco

**Tableau (II.18) :** Vérification des compatibilités

#### A- La méthode de dimensionnement selon le besoin

L'onduleur qu'on doit choisir, est de marque SMC 11000TL, avec une fiche technique qui indique les caractéristiques suivantes :

## Méthodes de dimensionnement et réalisation du projet

Puissance DC max	11400Wc
Tension d'entrée max	700V
Plage de tension MPP	333 V / 500 V
Courant d'entrée max	34 A
Courant de sortie max	48 A
Nombre de MPP trackers	5

**Tableau (II.19)** : Fiche technique de l'onduleur (a)

Notre installation est composée de 68 panneaux (VICTRON) d'une puissance crête de 270Wc. Donc la puissance crête totale est de 18360 Wc

Compatibilité en puissance		Compatibilité en tension		Compatibilité en courant
Pond, min (kW)	Pond, max (kW)	Npvs .min	Npvs .max	Npv.ch
16.524	17.442	12	12	3

**Tableau (II.20)** Dimensionnement de l'onduleur pour la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier

D'après les calculs, le nombre de modules en série doit être compris entre 21 et 36, tandis que, le nombre de chaînes photovoltaïques, doit être égal à 3.

Vérifier la compatibilité en puissance	Vérifier la compatibilité en tension	Vérifier la compatibilité en courant
Pcalculé (kW)	Vmax (V)	Icalculé (A)
9.72	524.96	25.56

**Tableau (II.21)** Vérification des compatibilités pour la méthode de dimensionnement selon le besoin

### Vérifier La compatibilité en puissance

$P_{calculé} < P_{max\text{de l'onduleur}}$   
 $9.72 \text{ KW} < 11.4 \text{ KW}$   
 la compatibilité en puissance est vérifiée

### Vérifier La compatibilité en tension

La tension max de photovoltaïque est  $V_{max} = 524.96V$   
Donc les 12 modules en série est compatible avec la tension maximale admissible de l'onduleur

### Vérifier La compatibilité en courant

$25.56 < I_{max}, = 34 A$   
Donc les 3 panneaux sont compatibles en courant admissible de l'onduleur

### Nombre de panneaux restant :

$$N_{pret,b} = N_{pvtot} - N_{pbr}$$

$$N_{pret,b} = 68 - 36$$

Donc il nous reste 32 panneau a branché

### La puissance totale :

$$P_{tot} = N_{pvrest} \times p_c$$

$$P_{tot} = 32 \times 270$$

$$\implies P_{tot} = 8640W$$

Nous utilisons donc un onduleur **SMC 9000TL** car cette puissance est compatible avec la puissance admissible en entre de l'onduleur.

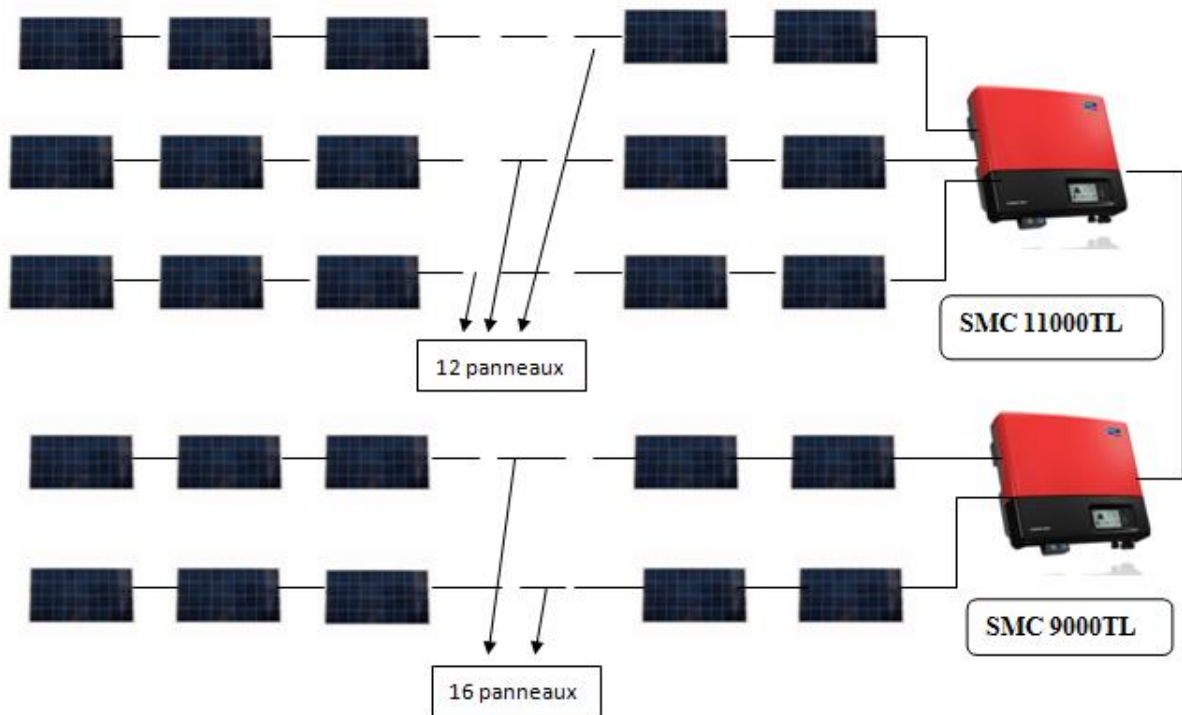


Figure (II.5) : schéma de branchement de l'installation avec la première méthode.

## B. La méthode de dimensionnement selon la puissance

L'onduleur qu'on doit choisir, est de marque SMC 10000TL, avec une fiche technique qui indique les caractéristiques suivantes :

Puissance DC max	10350Wc
Tension d'entrée max	700V
Plage de tension MPP	333 V / 500 V
Courant d'entrée max	31 A
Courant de sortie max	44 A
Nombre de MPP trackers	5

Tableau (II.22) : Fiche technique de l'onduleur (b)

Notre installation est composée de 42 panneaux (VICTRON) d'une puissance crête de 270Wc. Donc la puissance crête totale est de 11340Wc.

Compatibilité en puissance		Compatibilité en tension		Compatibilité en courant
Pond, min	Pond, max	Npvs .min	Npvs .max	Npv.ch
10,206 KW	10,773 KW	12	12	2

Tableau (II.23) : Dimensionnement de l'onduleur pour la méthode de dimensionnement selon la Puissance

Vérifier la compatibilité en puissance	Vérifier la compatibilité en tension	Vérifier la compatibilité en courant
<b>Pcalculé (kW)</b>	<b>Vmax (V)</b>	<b>Icalculé (A)</b>
6.48	524.95	17.04

**Tableau (II.24) :** Vérification des compatibilités pour la méthode de dimensionnement selon la Puissance

### Vérifier La compatibilité en puissance

$$P_{\text{calculé}} < P_{\text{max de l'onduleur}}$$
$$6.48 \text{ KW} < 10.35 \text{ KW}$$

Donc la compatibilité en puissance est vérifiée

### Vérifier La compatibilité en tension

La tension max de photovoltaïque est  $V_{\text{max}} = 524.95 \text{ V}$   
Donc la comptabilité en tension est vérifiée.

### Vérifier La compatibilité en courant

$$17.04 < I_{\text{max}}, = 31 \text{ A}$$

La compatibilité en courant est vérifiée.

### Nombre de panneaux restant :

$$N_{\text{pret},b} = N_{\text{pvtot}} - N_{\text{pbr}}$$

$$N_{\text{pret},b} = 42 - (12 \times 2)$$

$$N_{\text{pret},b} = 18$$

Donc il nous reste 18 modules à placé

### La puissance totale :

$$P_{\text{tot}} = N_{\text{pvrest}} \times p_c$$

$$P_{\text{tot}} = 18 \times 270$$

## Méthodes de dimensionnement et réalisation du projet



$$P_{tot} = 4860W$$

Nous utilisons donc un onduleur **SB5000TL** car cette puissance est compatible avec la puissance admissible en entrée de l'onduleur.

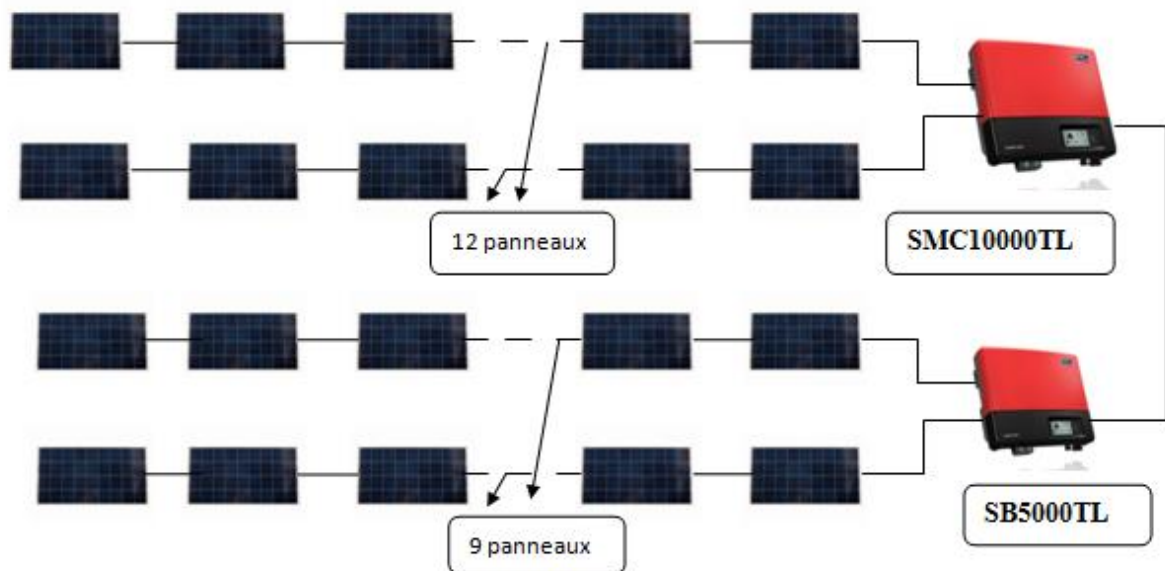


Figure (II.6) : schéma de branchement de l'installation avec la deuxième méthode.

### C -La méthode de dimensionnement selon la surface

L'onduleur qu'on doit choisir, est de marque GW12000TL35, avec une fiche technique qui indique les caractéristiques suivantes :

Puissance DC max	13500Wc
Tension d'entrée max	1000V
Plage de tension MPP	480 V / 850 V
Courant d'entrée max	20 A
Nombre de MPP trackers	2

Tableau (II.25) : Fiche technique de l'onduleur (c)

Notre installation est composée de 52 panneaux (VICTRON) d'une puissance crête de 270Wc. Donc la puissance crête totale est de 14040 Wc.

Compatibilité en puissance		Compatibilité en tension		Compatibilité en courant
Pond, min	Pond, max	Npvs,min	Npvs,max	Npv,ch
12.636 KW	13.338 KW	17	21	1

Tableau (II.26) Dimensionnement de l'onduleur pour la méthode de dimensionnement selon la surface



## Méthodes de dimensionnement et réalisation du projet

Vérifier la compatibilité en puissance	Vérifier la compatibilité en tension	Vérifier la compatibilité en courant
<b>Pcalculé (kW)</b>	<b>Vmax (V)</b>	<b>Icalculé (A)</b>
5.67	918.66	8.52

**Tableau (II.27)** Vérification des compatibilités pour la méthode de dimensionnement selon la surface

Vérifier La compatibilité en puissance

$P_{calculé} < P_{max \text{ de l'onduleur}}$   
 $5.67 \text{ KW} < 13.5 \text{ KW}$   
Donc la compatibilité en puissance elle est vérifiée

Vérifier La compatibilité en tension

La tension max de photovoltaïque est **Vmax = 918.66V**  
Donc les modules en série sont compatibles avec la tension

Vérifier La compatibilité en courant

$8.52 < I_{max}, = 20 \text{ A}$   
La compatibilité en courant est vérifiée.

**Nombre de panneaux restant :**

$$N_{pret, b} = N_{pvtot} - N_{pbr}$$

$$N_{pret, b} = 52 - 21 = 31$$

Donc il nous reste 31 modules à placé

**La puissance totale :**

$$P_{tot} = N_{pvrest} \times p_c$$

$$P_{tot} = 31 \times 270$$

$$\implies P_{tot} = 8370\text{W}$$

Nous utilisons donc un onduleur **SMC9000TL** car cette puissance est compatible avec la puissance admissible en entre de l'onduleur.

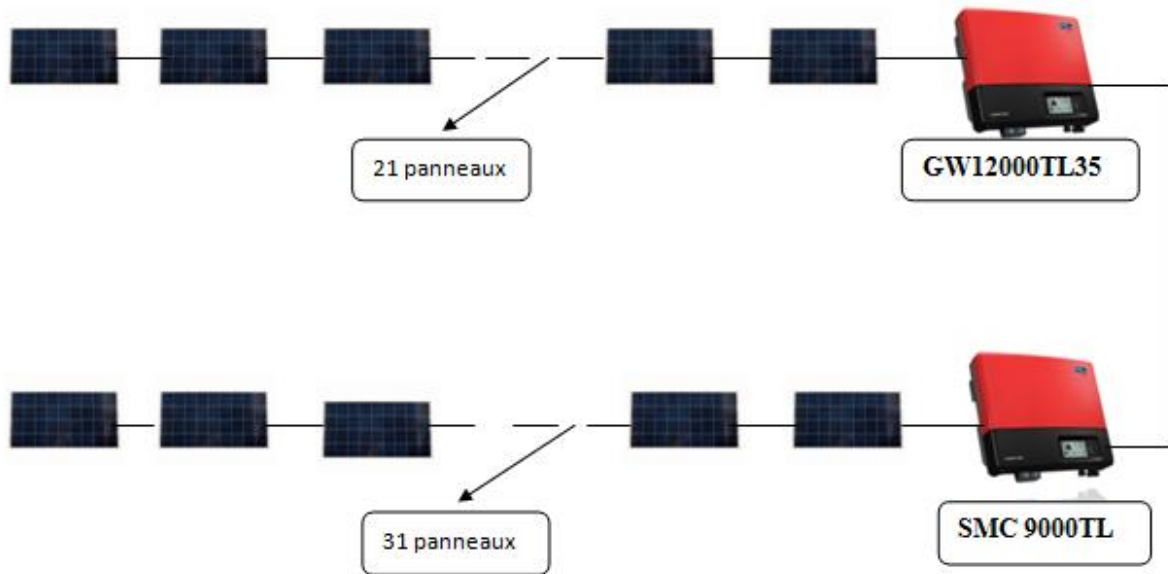


Figure (II.7) : schéma de branchement de l'installation avec la troisième méthode.

### II.7.5 Dimensionnement des batteries

Capacité des batteries (Ah)	Nombre de batteries calculé	Nombre de batteries en série	Nombre de batteries en parallèle
$C_{batt} = ( B_J \times J_{aut} ) / ( V_{batt} \times DOD \times \eta_b )$	$N_{bat} = C_{batt} / C_{batt,u}$	$N_{bat,s} = ( \text{tension de fonctionnement} ) / ( \text{tension de la batterie} )$	$N_{bat,p} = ( \text{nombre de batterie total} ) / ( \text{nombre de batterie serie} )$

Tableau (II.28) Dimensionnement des batteries

#### II.7.5.1 Calcul de la taille du système de stockage pour les trois méthodes

On choisira des batteries de 550Ah/12V.

NB : le jour d'autonomie ( $J_{aut}$ ) est de deux jours.

#### A. méthode de dimensionnement selon le besoin journalier

Capacité des batteries (Ah)	Nombre de batteries calculé	Nombre de batteries en série	Nombre de batteries en parallèle	Nombre de batteries retenu
11699.3	22	4	6	24

Tableau (II.29) Dimensionnement du système de stockage pour la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier

### B. La méthode de dimensionnement selon la puissance

Capacité des batteries (Ah)	Nombre de batteries calculé	Nombre de batteries en série	Nombre de batteries en parallèle	Nombre de batteries retenu
3937.5	8	4	2	8

**Tableau (II.30)** : Dimensionnement du système de stockage pour la méthode de dimensionnement selon la puissance

### C. La méthode de dimensionnement selon la surface

Capacité des batteries (Ah)	Nombre de batteries calculé	Nombre de batteries en série	Nombre de batteries en parallèle	Nombre de batteries retenu
5718.75	11	4	3	12

**Tableau (II.31)** Dimensionnement du système de stockage pour la méthode de dimensionnement selon la surface

	Nombres de panneaux restant à installer	Besoin journalier (Wh)	Capacité des batteries (Ah)	Nombres de batteries	Batteries en série	Batteries en parallèle	Nombre de batteries à installer
Méthode Selon le besoins méthode selon la puissance	26	7020	2437.5	5	4	2	8
Méthode Selon le besoins méthode selon la surface	16	4320	1500	3	4	1	4

**Tableau (II.32)** Dimensionnement des panneaux restant

#### II.7.6 La section des câbles

Dans ce qui suit, un calcul de la section des câbles est établi pour chaque méthode de dimensionnement proposée.

# Méthodes de dimensionnement et réalisation du projet

## A. La méthode de dimensionnement selon le besoin

Section des câbles coté DC		
Section des câbles entre un panneau et la boîte de raccordement (L=4m)	$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$\frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times 4 \times 11.51}{0.02 \times 31.7} = 1.16 \text{mm}^2$
Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC (L=8m)	$I = I_{ppm} \cdot N_{pv}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$8.52 \times 68 = 579.36 \text{A}$ $\frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times 8 \times 579.36}{0.02 \times 31.7} = 116.96 \text{mm}^2$
Branchement des batteries		
Calcul de la tension de la batterie	$V_{batt} = V_{batt,u} \times N_{batt,serie}$	$V_{batt} = 12 \times 4 = 48 \text{V}$
Section des câbles entre le DC/DC et les batteries et Section des câbles entre les batteries et l'onduleur (L=3 m)	Calcul de $1-\alpha$ $1-\alpha = \frac{V_{batt}}{V_{pv}}$	$1-\alpha = 1.51$
	Calcul du courant de batterie $I_{batt} = \frac{I}{1-\alpha}$	$I_{batt} = 579.36 / 1.51 = 383.68 \text{A}$
	$S = \frac{\rho \times L \times I_{batt}}{\Delta V \times V}$	$S = \frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times 3 \times 383.68}{0.02 \times 48} = 19.18 \text{mm}^2$
Section des câbles coté AC		
Calcul du courant	$I_B = \frac{P_{charge}}{3 \times V}$	$= \frac{10924}{3 \times 230} = 15.83 \text{A}$
Calcul de la section	$S = B \times \rho_1 \times I_B \times \frac{L}{\epsilon \times V_n} \times \cos(\delta)$	$S = 2 \times 0.0225 \times 15.83 \times \frac{8}{0.02} \times \cos(36.68) = 228.51 \text{mm}^2$

**Tableau (II.33) :** Calcul de la section des câbles pour la méthode de dimensionnement selon le besoin journalier

## B. La méthode de dimensionnement selon la puissance

Section des câbles coté DC		
Section des câbles entre un panneau et la boîte de raccordement (L=4m)	$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$\frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times 4 \times 11.51}{0.02 \times 31.7} = 1.16 \text{mm}^2$
Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC (L=8m)	$I = I_{ppm} \cdot N_{pv}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$8.52 \times 42 = 357.84 \text{A}$ $\frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times 8 \times 357.84}{0.02 \times 31.7} = 72.24 \text{mm}^2$
Branchement des batteries		
Calcul de la tension de la batterie	$V_{batt} = V_{batt,u} \times N_{batt,serie}$	$V_{batt} = 12 \times 4 = 48 \text{V}$
Section des câbles		

entre le DC/DC et les batteries et Section des câbles entre les batteries et l'onduleur (L=3 m)	Calcul de $1-\alpha$	$1-\alpha=1.51$
	$1-\alpha = \frac{V_{batt}}{V_{pv}}$	
	Calcul du courant de batterie $I_{batt} = \frac{I}{1-\alpha}$	$I_{batt} = 357.84/1.51 = \mathbf{236.98A}$
	$S = \frac{\rho \times L \times I_{batt}}{\Delta V \times V}$	$S = \frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times 3 \times 236.98}{0.02 \times 48} = \mathbf{11.84mm^2}$
<b>Section des câbles coté AC</b>		
Calcul du courant	$I_B = \frac{P_{charge}}{3 \times V}$	$= \frac{11340}{3 \times 230} = \mathbf{16.43A}$
Calcul de la section	$S = B \times \rho_1 \times I_B \times \frac{L}{\epsilon \times V_n} \times \cos(\delta)$	$S = 2 \times 0.0225 \times 16.43 \times \frac{8}{0.02} \times \cos(36.68)$ $\mathbf{S = 237.24mm^2}$

**Tableau (II.34) :** Calcul de la section des câbles pour la méthode de dimensionnement selon la puissance

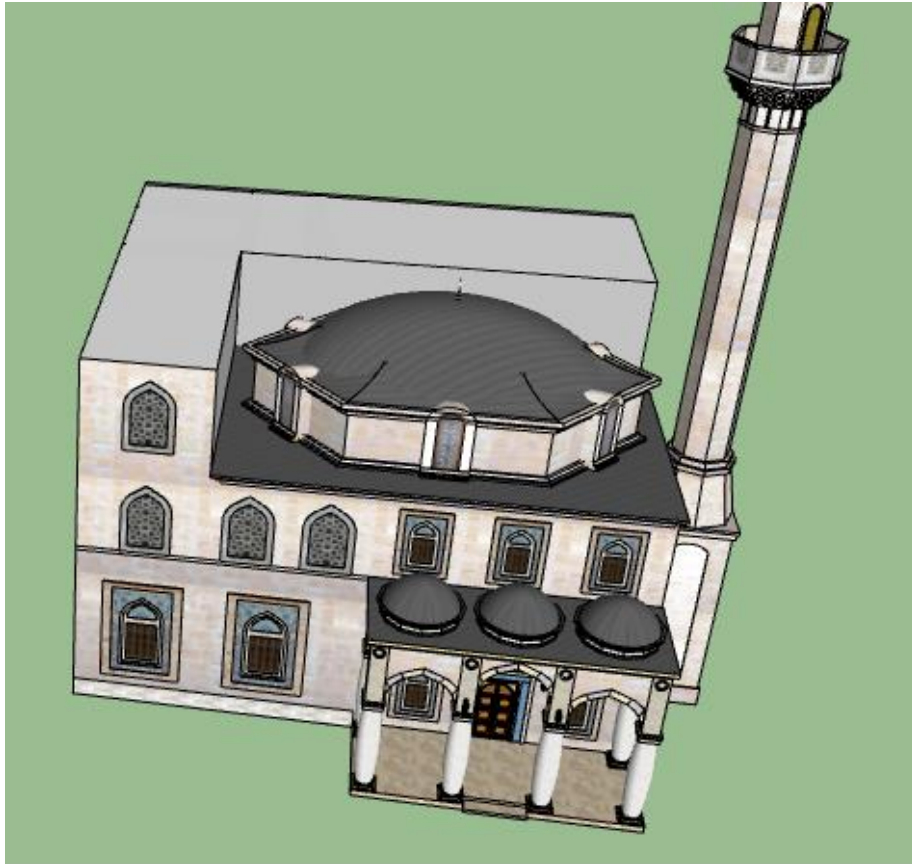
### C. La méthode de dimensionnement selon la surface

Section des câbles coté DC		
Section des câbles entre un panneau et la boîte de raccordement (L=4m)	$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$\frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times 4 \times 11.51}{0.02 \times 31.7} = \mathbf{1.16mm^2}$
Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC (L=8m)	$I = I_{ppm} \cdot N_{pv}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$8.52 \times 52 = 443.04A$ $\frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times 8 \times 443.04}{0.02 \times 31.7} = \mathbf{89.44 mm^2}$
Branchement des batteries		
Section des câbles entre le DC/DC et les batteries et Section des câbles entre les batteries et l'onduleur (L=3 m)	Calcul de la tension de la batterie	$V_{batt} = 12 \times 4 = \mathbf{48 V}$
	$V_{batt} = V_{batt,u} \times N_{batt,serie}$	
	Calcul de $1-\alpha$	$1-\alpha=1.51$
	$1-\alpha = \frac{V_{batt}}{V_{pv}}$	
	Calcul du courant de batterie $I_{batt} = \frac{I}{1-\alpha}$	$I_{batt} = 443.04/1.51 = \mathbf{293.4A}$
	$S = \frac{\rho \times L \times I_{batt}}{\Delta V \times V}$	$S = \frac{1.6 \times 10^{(-8)} \times 3 \times 293.4}{0.02 \times 48} = \mathbf{14.67mm^2}$
Section des câbles coté AC		
Calcul du courant	$I_B = \frac{P_{charge}}{3 \times V}$	$= \frac{16470}{3 \times 230} = \mathbf{23.86A}$
Calcul de la section	$S = B \times \rho_1 \times I_B \times \frac{L}{\epsilon \times V_n} \times \cos(\delta)$	$S = 2 \times 0.0225 \times 23.86 \times \frac{8}{0.02} \times \cos(36.68)$ $\mathbf{S = 344.57mm^2}$

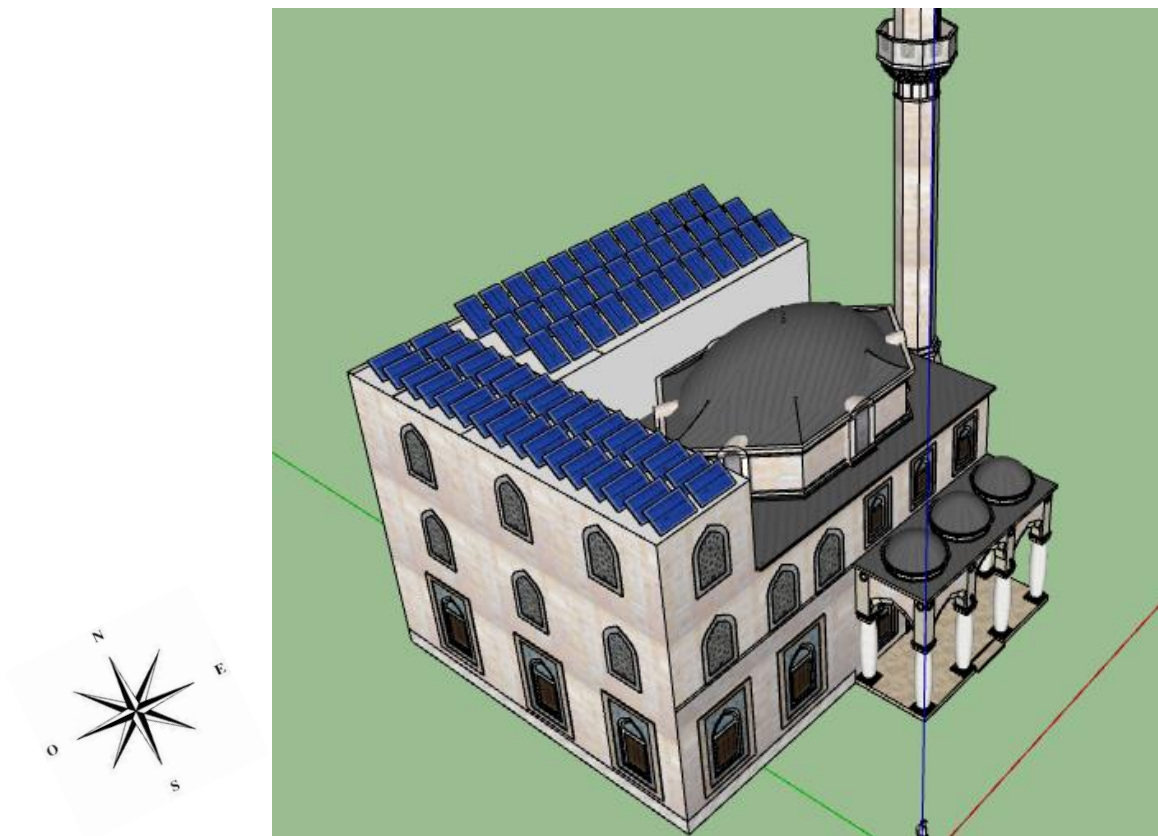
**Tableau (II.35) :** Calcul de la section des câbles pour la méthode de dimensionnement selon la surface

### II.8 Schéma de la mosquée sous le logiciel SketchUp

Le schéma ci-dessous représente le modèle de la mosquée étudiée sous le logiciel SketchUp.



(a) Schéma avant installation des panneaux

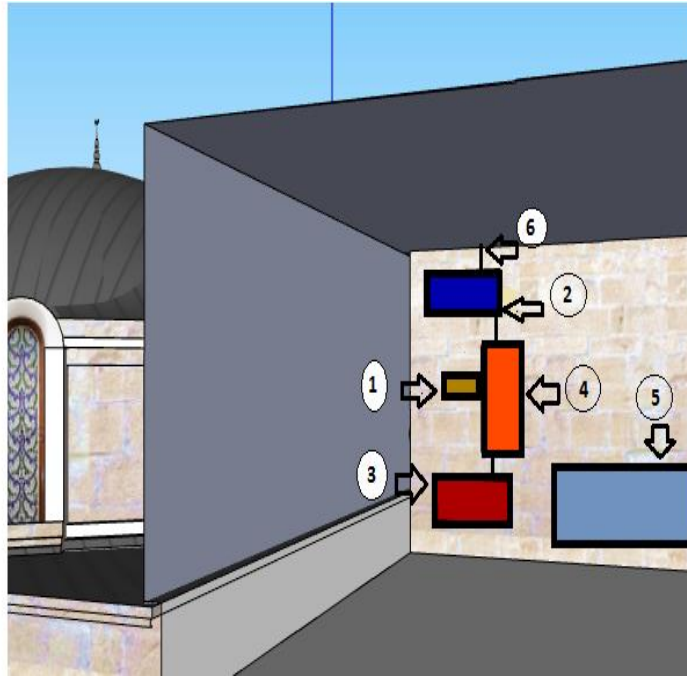


(b) Schéma après installation des panneaux

**Figure (II.8)** : Représentation de la mosquée sous SketchUp

### **Schéma de l'installation électrique solaire**

Les différents éléments constituant l'installation photovoltaïque sont représentés sur la figure ci-dessous.



**Figure (II.9):** Représentation de l'installation photovoltaïque sous SketchUp

**Avec :**

- 1 : batterie de stockage
- 2 : boîte de raccordement.
- 3 : convertisseur DC/AC.
- 4 : convertisseur DC/DC
- 5 : charge
- 6 : les câbles

### **II.9. Choix des composants du système [6] :**

En tenant compte des caractéristiques des différents éléments dimensionnés pour chaque système PV et des catalogues des constructeurs, nous pourrions choisir aisément de manière spécifique les équipements adéquats à utiliser en tenant compte des coûts et de la qualité.

### **II.10. Protection d'un système photovoltaïque [31]:**

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.



### ➤ 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.



**Figure II.10 :** Exemples d'organes de protection.

## II.11. Maintenance [27], [10] :

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

### a) Module photovoltaïque :

- ✓ Nettoyage de la face avant à l'eau.
- ✓ Vérification de l'aspect des modules.
- ✓ Vérification des supports.
- ✓ Vérification des connexions.

### b) Régulateur :

- ✓ Vérification de la fixation du régulateur.
- ✓ Vérification de l'état de charge.

### c) Les Batteries :

- ✓ Mesure de la tension.
- ✓ Contrôle de l'aspect.
- ✓ Contrôle de la connexion.
- ✓ Niveau d'électrolyte.

### d) Onduleur :

Faire les contrôles sur l'onduleur, c'est s'assurer que : les récepteurs tolèrent la distorsion de l'onduleur et acceptent les variations de la tension de sortie, l'onduleur protège contre la surcharge et coupe l'utilisateur en cas basse tension pour la protection de la batterie .

### Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les étapes nécessaires pour concevoir un système photovoltaïque autonome. Ainsi, le dimensionnement de chaque élément de la chaîne photovoltaïque.

On a proposé un schéma du prototype de maison à réaliser faite sous le logiciel SketchUp.

## CHAPITRE III : ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DU SYSTEME ETUDIE

### Introduction

Dans le cadre d'une étude de faisabilité du photovoltaïque, trois aspects paraissent pertinents à examiner :

- Le premier, l'aspect réglementaire, qui vise à étudier le cadre réglementaire actuel, la concordance entre le projet et ce cadre, et si nécessaire les dispositions et les aménagements à mettre en œuvre pour la réussite de l'entreprise.
- Le second, l'aspect technique, et qui consiste à travers des études de dimensionnement et de coûts, à définir des gammes de puissance photovoltaïques pour la réalisation de projets photovoltaïques.
- Le troisième, l'aspect économique, qui permet d'étudier la rentabilité des projets photovoltaïques.

Il est favorable à l'implantation du photovoltaïque, de par on a un ensoleillement important et aussi une stratégie de relance des énergies renouvelables a été proposée. Il reste donc à étudier plus profondément les aspects technico-économiques et les orientations à adopter pour assurer un développement de la filière. Ce volet est développé dans cette partie du travail, et il s'agit d'énoncer ce qui suit :

- Les technologies à privilégier pour le photovoltaïque.
- Les gammes de puissance photovoltaïques que nous avons retenues pour notre étude.
- Les éléments d'analyse économique considérés dans l'étude de faisabilité.

### III.1. Les technologies à privilégier pour le photovoltaïque :

- Technologie et architecture du photovoltaïque.
- Technologie des modules photovoltaïques :

Il existe plusieurs technologies de modules, dont : les siliciums mono et poly-cristallins.

-Les cellules mono et poly-cristallines sont à ce jour très employées dans le domaine photovoltaïque car elles offrent un rapport « rendements de conversion/ prix » acceptable.

- Mais compte tenu des progrès observés sur les modules de couches minces, le silicium amorphe, séléniure de cuivre et autres, auront vraisemblablement un rôle non négligeable à jouer dans l'avenir du photovoltaïque.

- Technologies de l'onduleur :

L'onduleur transforme le courant électrique continu produit par les cellules PV en courant électrique alternatif, semblable à celui qui est délivré par le réseau. En cas de défaillance,

---

## Etude technico-économique du système étudié

---

l'onduleur se déconnecte automatiquement pour des raisons de sécurité : c'est la « protection de découplage » qui permet de supprimer tout risque d'électrocution lorsque des techniciens font une opération de maintenance sur le réseau,

-« Règle d'or » : la puissance crête des modules ne doit jamais être inférieure à la puissance de l'onduleur,

-Comme tout composant électronique, l'onduleur a une durée de vie limitée. Ainsi il faut prévoir de le changer tout les 8 à 10 ans.

-Recommandations :

- Opter pour un onduleur performant dont le rendement est proche de 95%,
- Existence d'une protection contre les surtensions.
- Situer l'onduleur dans un endroit aéré, accessible et protégé de la pluie et des rayons directs du soleil,
- Installer un dispositif spécifique de coupure du réseau aisément accessible à l'extérieur de la maison.

➤ Technologie de câblage :

Le choix des câbles est très important dans les installations électriques soit coté section ou matière d'isolation, en calculant le courant admissible qui le traverse.

On a ici quelques sections de câble avec leurs courants limites :

1.5mm<sup>2</sup> : moins de 16A

2.5mm<sup>2</sup> : moins de 20A

6 mm<sup>2</sup> : moins de 32A

10 mm<sup>2</sup> : raccordement d'un tableau de protection et de répartition pour une puissance domestique moderne (15/45A).

Concernant la matière d'isolation elle est choisie selon les conditions du milieu et du climat.

### **III.2.Maintenance des installations [16] :**

Les actions techniques minimales de maintenance doivent être envisagées durant le cycle de vie d'une installation photovoltaïque pour maintenir ou rétablir l'installation dans un état dans lequel elle peut accomplir la fonction pour laquelle elle a été conçue. Toutes les opérations de maintenance doivent être envisagées avec pour priorité d'assurer et de maintenir la sécurité des biens et des personnes. En marge de la maintenance, peuvent être envisagées des opérations visant à pallier l'usure de certains matériels et les adapter à l'évolution des techniques, des normes et règlements en vigueur, et également des opérations ayant pour but d'optimiser l'installation existante.

## Etude technico-économique du système étudié

---

On distingue trois niveaux de maintenance correspondant aux opérations qui sont :

**-La maintenance conditionnelle**, basée sur une surveillance des paramètres significatifs de l'installation,

**-La maintenance prévisionnelle**, exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation des paramètres significatifs de la dégradation du bien (ex. : corrosion) ;

**-La maintenance systématique**, exécutée à des intervalles de temps préétablis et sans contrôle préalable de l'état du bien ni de ses éléments constitutifs.

Pour les tous types d'installation, hormis les locaux d'habitation individuelle non destinés à une occupation temporaire ou saisonnière, les trois niveaux de maintenance doivent être envisagés. Pour les locaux d'habitation non destinés à une occupation temporaire ou saisonnière, seul le niveau de maintenance systématique sera envisagé. Pour la maintenance systématique la périodicité recommandée est d'un an.

**-Points techniques de maintenance :**

Sont à distinguer les actions relatives à la sécurité des personnes et des biens, des actions relatives à la sûreté de fonctionnement. Ces actions techniques de maintenance peuvent être amenées à être complétées en fonction des obligations réglementaires de sécurité auxquelles le bâtiment peut être soumis. La maintenance ne porte que sur les parties normalement et facilement accessibles de l'installation.

**Les points relatifs à la sécurité des personnes et des biens sur le plan électrique sont les suivants :**

État général de l'installation ; vérification de l'absence de corrosion, état des câbles; état des boîtes de jonction; état des connexions; resserrage des bornes sur tableaux électriques; contrôle visuel et caractéristiques techniques des fusibles; contrôle visuel du disjoncteur; Vérifications des liaisons équipotentielles; fonctionnement de la fonction coupure d'urgence. Toutes ces actions doivent être envisagées dans le cadre d'une maintenance systématique, et ce pour tous types de locaux.

**Les points réservés exclusivement à la sûreté de fonctionnement sont les suivants :**

- Nettoyage des modules photovoltaïques,
- Vérification du maintien des conditions initiales de l'environnement des modules PV,
- Maintien des conditions thermiques d'exploitation des modules (aération en sous-face des modules) en fonction des prescriptions du fabricant,
- Vérification des mises à la terre fonctionnelles,

- Vérification du maintien des conditions d'exploitation des locaux et du maintien de leur destination initiale,
- Dépoussiérage.

Pour les locaux d'habitation équipés de modules photovoltaïques il convient pour assurer la sûreté de fonctionnement des installations PV de prévoir la maintenance sur la base du périmètre ci-dessus. Pour les ensembles industriels ou tertiaires. Le maintien ou l'amélioration de la sûreté de fonctionnement de l'installation sont envisagés en fonction de la politique de maintenance de l'établissement.

### III.3. Evaluation du coût de l'installation [20] :

Le coût du matériel (panneaux et onduleur) a diminué des à 10% par an depuis une dizaine d'années et cette performance devrait être renouvelée sur la prochaine décennie. Le coût des travaux peut varier, suivant la situation locale : bâtiment neuf ou existant, pose une surimposition ou en intégration, réglementation spécifique pour les permis de construire, normes de raccordement au réseau, distances panneaux-onduleurs et onduleurs-tableau, participation du propriétaire aux travaux...

Début 2000, le coût minimum pour un système complet d'un kWc (10 m<sup>2</sup>) se situe aux environs de 7 500 euros (, y compris le travail de pose et la TVA. La grande majorité de ce coût vient de l'investissement en matériel, et à l'intérieur de ce dernier, les panneaux représentent de loin la plus grande partie (70 à 80%). Les coûts de maintenance sont en principe très peu élevés, mais il est nécessaire d'avoir une information claire à ce sujet de la part du fournisseur dans le cas d'un projet individuel ou du prestataire de service (le réseau, la municipalité, une association locale...) dans le cas d'un programme collectif.

### III.4. Temps de retour de l'investissement :

*Temps de retour en année = coût final de la centrale photovoltaïque subvention déduite / (nombre de kWh produits en un an x tarif d'achat du kWh par le réseau).*

### III.5. Puissance produite par l'installation :

$$P_c = N \times P_{cp} \times K \quad (\text{III.1})$$

Avec :  $P_c$  : puissance crête de l'installation.

$N$  : nombre de panneaux.

$P_{pc}$  : puissance crête d'un panneau.

$K$  : facteur de correction.

AN :  $P_c = 68 \times 0.27 \times 0.9$

$$P_c = 16.524 \text{ Kw}$$

## Etude technico-économique du système étudié

$$P_{\text{annuelle}} = P_c * \text{Gisement solaire moyen annuelle selon la région}$$

Avec :

$P_{\text{annuelle}}$  : la production annuelle.

$P_c$  : la production max de l'installation.

Pour le gisement solaire moyen annuel à Béjaia est de 1400 kWh/an/kW

$$AN : P_{\text{annuelle}} = P_c \times G_s \quad (III.2)$$

$$P_{\text{annuelle}} = 16.524 \times 1400$$

$$P_{\text{annuelle}} = 23133.6$$

On calcule la production de notre installation pour une durée de vie de 20 ans, les panneaux photovoltaïques ont des pertes 1% de leur rendement chaque année, d'où au bout de 20 ans de production les panneaux ne seront qu'à 80% de leur capacité initiale.

$$P_{(\text{produite en 20ans})} = P_{\text{annuelle}} \times P_{\text{annuelle}} \times 0.99 + P_{\text{annuelle}} \times 0.98 \dots + P_{\text{annuelle}} \times 0.80 \quad (III.3)$$

$$P_{(\text{produite en 20ans})} = P_{\text{annuelle}} \times (1 + 0.99 + 0.98 + 0.97 + 0.96 + \dots + 0.80)$$

$$P_{(\text{produite en 20ans})} = P_{\text{annuelle}} \times 18.9 = 437225.04 \text{ Kwh}$$

### III.6. Evaluation du coût du kWh :

Les éléments qu'on a besoin pour une durée de vie de 20 ans sont donnés dans le tableau suivant :

Eléments		Durée de vie	Nombre	Prix/(unité ou mètre), en DA
Panneaux Pv		Plus de 25 ans	68	29 480
Onduleurs	SMC11000TL	De 10 à 12 ans	1	328960
	SMC9000TL		1	181500
Régulateurs		/	1	24000
Batteries		De 7 à 10 ans	24	52 000
Câble (sections normalisées)	1.5mm <sup>2</sup>	Plus de 30 ans	4m	20
	25mm <sup>2</sup>		3m	540
	120mm <sup>2</sup>		8m	2010
	240mm <sup>2</sup>		8m	4900
Disjoncteurs		Plus de 5 ans	1	7900
Main d'œuvre		/	/	50000

**Tableau (III.1) :** Besoin, durée de vie et coût des constituants d'installation

$$C_{T_{20\text{ans}}} = C_{\text{panneaux}} + C_{\text{onduleurs}} + C_{\text{régulateurs}} + C_{\text{Batterie}} + C_{\text{cable}} + C_{\text{disjoncteurs}} + \quad (III.4)$$

$C_{MO}$

## Etude technico-économique du système étudié

---

Avec :

$C_{T20ans}$  : coût total de l'installation pour 20 ans.

$C_{panneaux}$  : coût des panneaux.

$C_{Onduleurs}$  : coût des onduleurs.

$C_{régulateurs}$  : coût des régulateurs.

$C_{Batteries}$  : coût des batteries.

$C_{Câble}$  : coût de câble.

$C_{disjoncteurs}$  : coût des disjoncteurs.

$C_{MO}$  : coût de la main d'œuvre.

**AN :**

$$C_{T20ans} = C_{panneaux} + C_{onduleurs} + C_{régulateurs} + C_{Batterie} + C_{cable} + C_{disjoncteurs} + C_{MO}$$

$$C_{T20ans} = 3901980 \text{ DA}$$

On doit prendre en compte le prix de maintenance en considération qui représente 1% du prix totale de l'installation photovoltaïque.

Alors le prix total de l'installation est de  $3901980 + 39019.8 = \mathbf{3\ 940\ 999.8 \text{ DA}}$

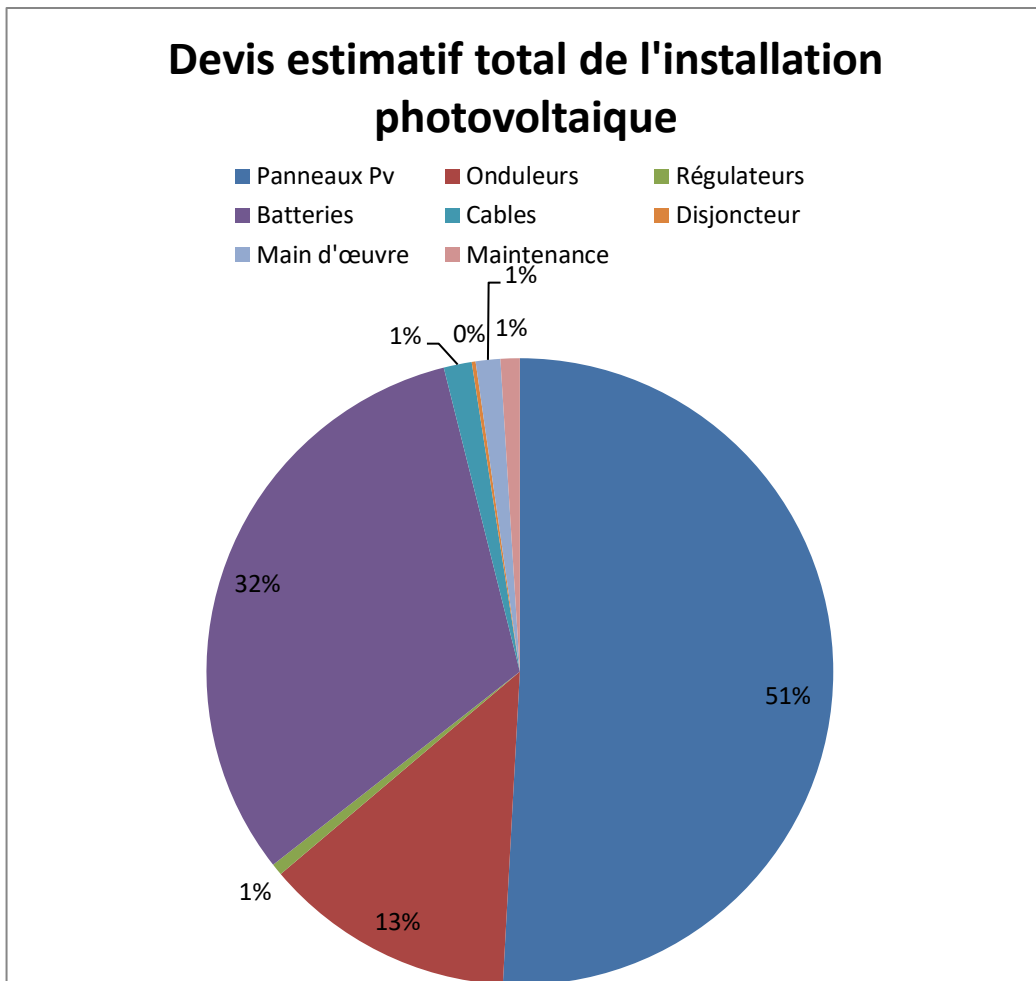
D'où le coût du kWh est :

$$C_{Kwh} = C_{T20ans} / P_{produite\ en\ 20\ Ans} \quad (III.5)$$

**AN:**

$$C_{Kwh} = 9.01 \text{ DA/Kwh}$$





**Figure III.1** : Prix des éléments de l’installation photovoltaïque en pourcentage

### III.7 Devis estimatif du raccordement de la mosquée au réseau électrique

Pour estimer le cout total de l’installation on suppose que la mosquée est isolée de 80 mètres, alors le cout total dépendra du prix du transport de l’énergie électrique ainsi que du prix du branchement au réseau électrique.

#### III.7.1. Devis estimatif du transport de l’énergie électrique

Pour une longueur de 80 mètres on doit placer 2 poteaux électriques (40 mètres entre chaque poteau). Le câble est multiconducteur et se compose d’un : câble (3×35mm<sup>2</sup>), un autre de (1×54.6mm<sup>2</sup>) et enfin d’un câble de (1×16mm<sup>2</sup>).

Eléments	Nombre	Prix unitaire DA	Prix total DA
Poteaux électrique	2	100 000	200 000
Câbles électriques	80 mètres	1000	80 000
Prix total du transport de l’énergie électrique			280 000

**Tableau (III.2)** : Prix du transport d’énergie électrique pour une longueur de 80 mètres

## Etude technico-économique du système étudié

### III.7.2 Devis estimatif du branchement au réseau électrique :

L'estimation du branchement au réseau électrique pour un habitat est représenté dans le tableau suivant :

Branchement en réseau électrique	Prix (DA)
Pour une mosquée	30 000

**Tableau (III.3) :** Prix du branchement au réseau électrique

### III.7.3 Devis estimatif de la consommation électrique

Pour estimer le devis de la consommation électrique de la maison, on doit calculer le coût de celle-ci pour une durée de 20 ans. Cette durée correspond à la durée de vie moyenne de l'installation solaire de la maison.

Pour une mosquée qui consomme en moyenne 33.694 kWh par jour (le cas de la mosquée solaire) le coût estimatif de la consommation est représenté dans le tableau suivant :

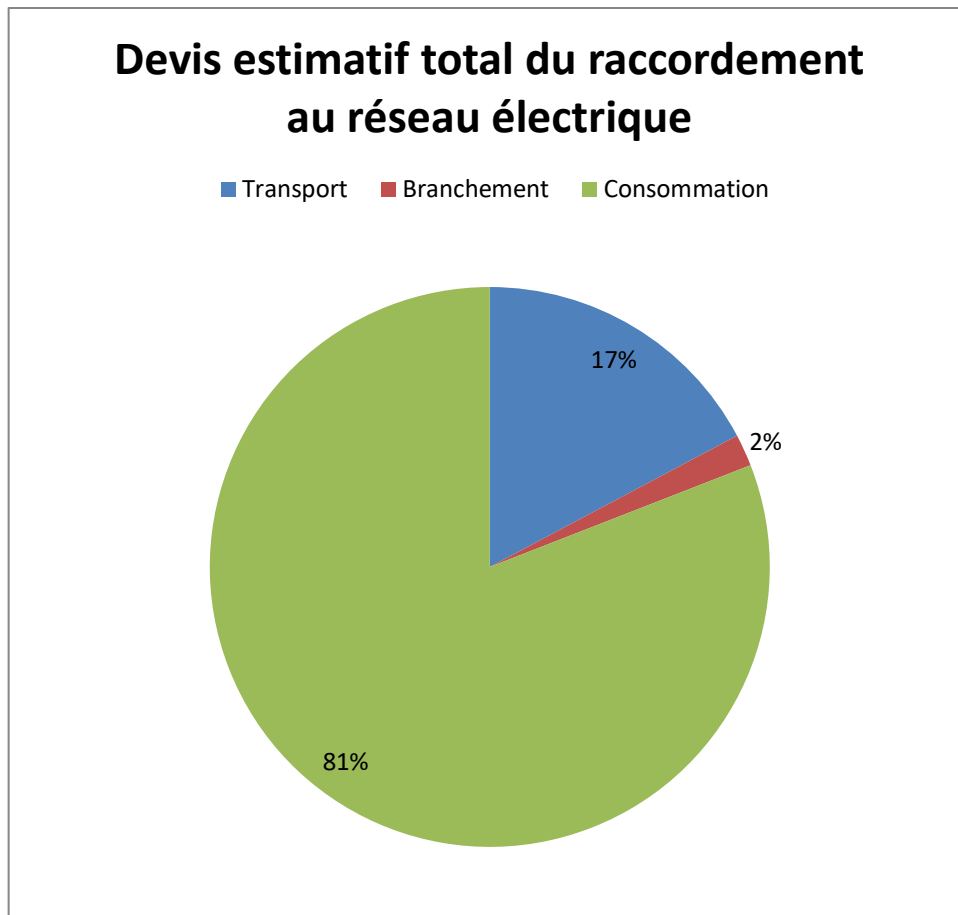
	Consommation en KWh	Prix DA
Par jour	33.694	182.6
Par trimestre	3032.46	16434.79
Par 20 ans	242596.8	1314783.45

**Tableau (III.4) :** Devis estimatif de la consommation électrique pour une durée de 20 ans

### III.7.4 Devis estimatif total du raccordement au réseau électrique :

Raccordement au réseau	Prix (DA)
Transport	280000
Branchement	30000
Consommation	1314783.45
Prix total du raccordement au réseau	1624783.45

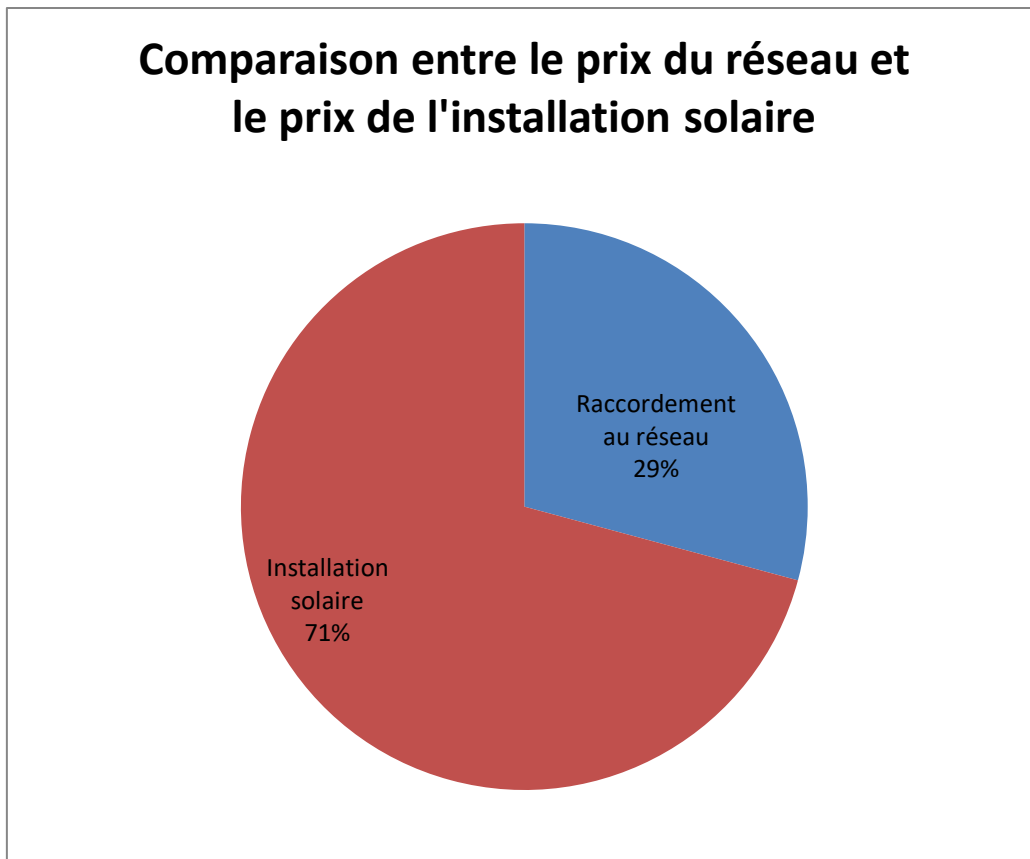
**Tableau (III.5) :** Devis estimatif total du raccordement au réseau électrique



**Figure III.2** : Prix du raccordement au réseau en pourcentage

### **III.8 Comparaison entre le prix de l'installation solaire en autonome et le prix du raccordement au réseau**

Le prix de l'installation solaire de la maison et le prix du raccordement au réseau sont représentés dans la figure suivante :



**Figure III.3 :** Comparaison entre le prix du réseau et le prix de l'installation solaire de la maison

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre on a parlé sur les principales technologies éléments d'une installation photovoltaïque et ainsi sur la maintenance, et on a fait l'évaluation du prix du kWh d'énergie produite. Puis nous avons établi une autre étude comparative entre le devis de l'installation solaire et celui du raccordement au réseau électrique.

Enfin, nous avons remarqué que le cout de l'installation en énergie solaire pour alimenter les régions non-isolées est plus élevé que celui ou la région est alimentée par le réseau de distribution électrique.

# Conclusion générale

---

## Conclusion générale :

L'énergie photovoltaïque est le leader des énergies renouvelables, très demandée dans nos jours pour sa rentabilité et sa disponibilité. Il existe plusieurs installations photovoltaïques, dont l'installation autonome que nous avons vue dans notre thèse.

Dans notre thèse nous avons pour objectif d'étudier l'approvisionnement en énergie électrique de la mosquée « Béni Hamad » située à Béjaia, à partir de l'énergie solaire, d'où dans le premier chapitre on a donné quelques généralités sur la production de l'énergie photovoltaïque des notions sur l'énergie solaire et ses caractéristiques ont été annoncées ainsi que les différents types de systèmes photovoltaïques existants et le potentiel solaire en Algérie. Dans le second chapitre, nous avons fait une étude des méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque. Pour atteindre ce but, nous avons déterminé la capacité du générateur et celle du stockage, avec le choix du module PV et de l'élément batterie convenables à un bon dimensionnement, et nous avons fait l'application des méthodes et les étapes nécessaires pour concevoir un système photovoltaïque autonome. Ainsi, le dimensionnement de chaque élément de la chaîne photovoltaïque. Enfin, nous avons établi une étude de la rentabilité économique et nous avons constaté que l'installation PV peut être très coûteuse, mais très bénéfique pour l'environnement et minimise la pollution.

L'étude économique est très importante pour n'importe quel projet avant sa réalisation, c'est la clé de la réussite de ce projet en matière qualité prix.

Dans le cas où l'installation produit un surplus d'énergie, y'aura une possibilité de la vendre au réseau ou bien alimenter les villages en manque d'énergie électrique.

# Bibliographie

---

- [1] Ch. p. De. Brichabaut, Ch.Yauge « le gisement solaire, évaluation de la ressource énergétique » Technique et documentation Lavoisier 1982
- [2] J .Royer,T.Djiako, E.SCHILLER «le pompage photovoltaïque» manuel de cour a l'intention des ingénieurs et techniciens bibliothèque national de CANADA 1998
- [3] B .Equer « le pompage photovoltaïque manuel de cours », énergie solaire photovoltaïque ellipses 1993
- [4]Y.Baklli «Etude et dimensionnement d'un convertisseur statique pour la connexion d'un générateur PV » mémoire Magister ,Université de Boumerdes 2005
- [5]Pompage photovoltaïque : : guide à l'intention des ingénieurs et techniciens , Institut de L'énergie et de l'environnement de la francophonie , Université d'OTTAWA
- [6] C.Bernard « station solaire autonome pour l'alimentation station pompage » l'archive ouverte pluridisciplinaire HAL 2006
- [7] A.Hammidat Hadj arab et M.T BOUKADOUM « performance et cout des systèmes de pompage PV en ALGERIE » (2005)
- [8] Système photovoltaïque en autoconsommation, <http://www.imex-cgi.fr/solairephotovoltaique/systeme-photovoltaique-en-autoconsommation>.
- [9] A. Kaabeche, M. Belhamel, and R. Ibtouen, "Sizing optimization of grid-independent hybrid photovoltaic/wind power generation system," Energy , vol. 36, no. 2, pp. 1214- 1222, 2011.
- [10] Daifi Mohamed Amine, « Mémoire de fin d'étude master : Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome en site isolé au sud du pays ville de Biskra », université de Biskra 2015.
- [11] Principe du photovoltaïque, <http://www.monabee.fr/blog/principe-photovoltaique>.
- [12] :O.DERUELLE, « Mise Au Point D'un Système De Spectroscopie Pour Mesurer Des Sections Efficaces Neutroniques Applicables A Un Possible Développement Du Nucléaire Comme Source D'énergie », Thèse de doctorat, Université De Paris XI, Génie électrique 2002.
- [13] TRAHY Fatiha. «Application pour le dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation du laboratoire de recherche LAMPA. » Mémoire de Magister, université de Tizi Ouzou Génie électrique 2011
- [14] Bouzid Allah El Moubarak. «Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme (Etude de l'onduleur triphasé li a cette application) »,mémoire d'ingénieur d'état, université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Génie électrique 2008.
- [15] MEZIANI Zahra. «Modélisation de modules photovoltaïques » . Mémoire de magister, Université de Batna Génie électrique 2012.
- [16] <http://www.a3m-photovoltaique.com>
-

## Bibliographie

---

- [17]: Frank Jackson : Planning and Installing Photovoltaic Systems Green Dragon Energy, A guide for installers, architects and engineers second edition Berlin October 2007.
- [18] Bendjamâa Ibrahim. «Modélisation et commande d'un système De stockage photovoltaïque » Mémoire de Magister, université de Tlemcen Génie électrique 2011
- [19] N. Achaibou ; A.Malek ; N.Bacha, « Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV », N. spécial (CHEMSS), pp 61-66,2000.
- [20] Paul D. Maycock "Cost Reduction In PV manufacturing Impact in Grid-connected and Building Integrated Markets" Solar Energy Materials and Solar cells 47 (1997)pp :37-45.
- [21] N. Achaibou, A Malek, N Bacha « Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV » ; N. spécial (CHEMSS), Génie électrique 2000.
- [22] 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.
- [23] I. Tsuda, K. Kurokawa, K.Nozaki, «Annual simulation results of photovoltaic system with redox flow battery », solar Energy Materials and solar cells 35,pp 503 – 508,1994.
- [24] <https://studylibfr.com/doc/2232459/r%C3%A9gulateur-mppt>
- [25] M. BENGHANEM, « Etude de la performance des systèmes photovoltaïque autonomes Travaillant à poste fixe », Thèse de Doctorat, U.S.T.H.B, avril 1999.
- [26] <https://www.energienature.fr/stockage-energie-photovoltaique> .
- [27] Anne labouret Michel Villos : énergie solaire photovoltaïque, 2003, 2004, 2005.
- [28] S. Petibon, « nouvelles architectes distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques », thèse de doctorat de l'université de toulouse, 2009. Bibliographie
- [29] Guesmia Mohamed Takieddine 'Mémoire de fin d'étude master, « Etude et dimensionnement d'un système PV pour une habitation saisonnière isolée », université de Biskra 2017.
- [30] FOGELMAN & Régis MONTLOIN, « Installations Photovoltaïques dans l'habitat isolé», livre édité par: EDISUD, 1983.
- [31] Merabti Yousef 'Mémoire de fin d'étude master, « Etude et réalisation d'un système photovoltaïque hybride à trois sources », université de Biskra 2016.
-