

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION  
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES  
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
École Supérieure en  
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : **Electrotechnique**  
Spécialité : **Energie et Environnement**

Présenté par : **HAMIDOUCHE Abdelfattah et HADDOUCHE Hichem**

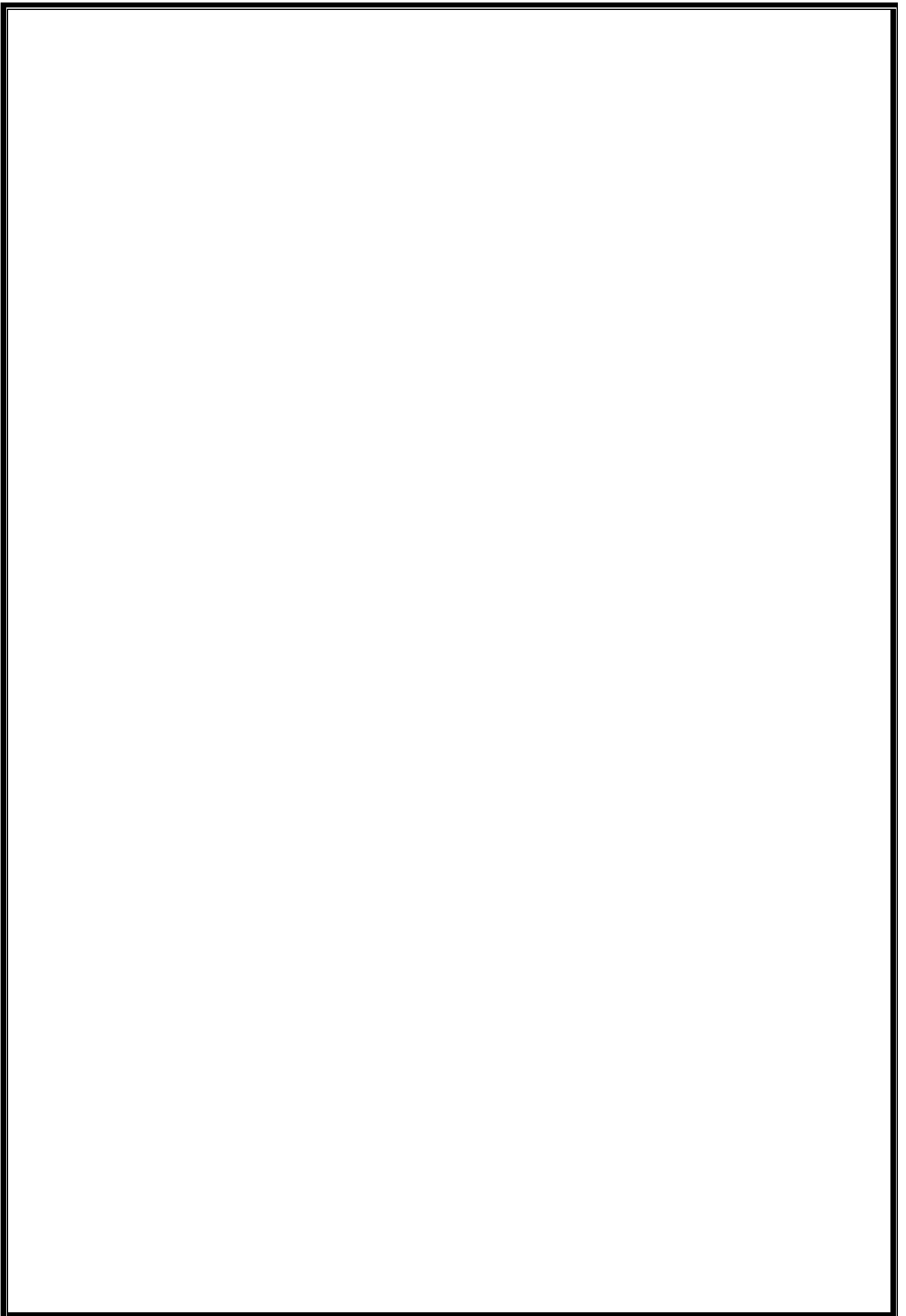
Thème

**Etude de l'emplacement des panneaux  
photovoltaïques à l'ESSAT**

Soutenu publiquement, le 03 / 07 / 2022 , devant le jury composé de :

G. ABDELLAOUI	Président	Maître de Conférences	ESSA - Tlemcen
S.BOURI	Encadrant	Maître de Conférences	U.A.B - Tlemcen
I. BOUSMAHA	Examineur	Maître de Conférences	ESSA - Tlemcen
L.MERAD	Examineur	Professeur	ESSA - Tlemcen

Année universitaire : 2021 / 2022



---

## Dedicaces 1

Je dédie ce modeste travail aux être les plus chères, je cite :

Mes meilleurs parents, chère mère LELDJA et chère père OMAR, qui ont sacrifié tout leur temps pour mon bonheur et ma réussite qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde ma reconnaissance, que dieu les gardes et les protèges.

Mon grand père ALLAL et ma grande mère EZOHRA

Mon frère Mohamed EL AMINE

Mes sœurs : Chahrazed, Hadjer et Rahma et ma petite adorable niece INESS.

Tous mes amis et mes collègues et tous ceux j'aime que et spécialement à mon binôme HADDOUCHE Hichem.

HAMIDOUCHE ABDELFATTAH

---

## Dedicaces 2

Je dédie ce modeste travail

A mes parents (cher père et chère mère) pour leur aide et leur patience. Je pense ne jamais pouvoir assez les remercier.

A mes frères, A tous mes amis (es)

A mon binôme Abdelfattah

A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science

Et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la Prospérité de l'humanité.

HADDOUCHE HICHEM

---

## Remerciements

Ce document présente les travaux effectués dans le cadre de notre projet de fin d'étude d'Ingéniorat au Département de Second Cycle de l'Ecole Supérieure des Sciences Appliquées de Tlemcen.

En premier lieu, nous tenons à exprimer notre gratitude à notre encadrant, Docteur BOURI Sihem Maitre de Conférences à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, pour nous avoir proposé et dirigé ce travail, nous la remercions pour nous avoir fait profité de son expérience, pour orientations qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous sommes sensibles à l'honneur que nous a fait monsieur Ghouti ABDELLAOUI, Maitre de conférences à l'ESSA Tlemcen, pour avoir accepté de présider et de nous honorer de sa présence au sein du jury de soutenance du présent mémoire ; qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre respect.

Enfin, nous tenons également à adresser nos vifs remerciements au Docteur Iman BOUSMAHA, Maitre de Conférences à l'ESSAT et au Professeur Lotfi MERAD, nous les remercions chaleureusement pour avoir accepté d'examiner le présent mémoire et pour ses observations et remarques pertinentes et constructives.

Merci enfin à tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont aidé et donc ont contribué au succès de ce travail.

***HAMIDOUCHE ABDELFAHATTAH    HADDOUCHE HICHEM***

# CONTENTS

DEDICACES 1	i
DEDICACES 2	ii
REMERCIEMENTS	iii
GLOSSAIRE	ix
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
<b>I GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE</b>	<b>3</b>
I.1 INTRODUCTION	4
I.2 APERÇU HISTORIQUE	4
I.3 ENERGIE SOLAIRE	4
I.4 RAYONNEMENT SOLAIRE	4
I.4.1 Spectre du rayonnement	5
I.4.2 Les types de rayonnement solaire	5
I.4.2-a Rayonnement solaire direct	6
I.4.2-b Rayonnement solaire diffus	6
I.4.2-c Le rayonnement réfléchi	6
I.5 COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES TERRESTRES	7
I.5.1 La latitude $\varphi$	7
I.5.2 Longitude $\lambda$	7
I.6 COORDONNÉES HORIZONTALES	8
I.6.1 L'azimut du soleil ( $\alpha$ )	8
I.6.2 Hauteur du soleil $h$	9
I.7 GISEMENT SOLAIRE	9
I.7.1 L'énergie solaire dans l'espace, hors atmosphère	10
I.7.2 Gisement solaire disponible à la surface de la terre	10
I.8 CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES	10
I.8.1 Définition	10
I.8.2 Principe de la conversion photovoltaïque	11
I.8.3 Technologies de fabrication de la cellule solaire	12
I.8.4 Types de cellules solaires photovoltaïques	13
I.8.4-a Cellules monocristallines	13
I.8.4-b Cellules polycristallines	13
I.8.4-c Cellules amorphes	13

I.8.5	Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque . . . . .	14
I.8.5-a	Tension de circuit ouvert $V_{CO}$ . . . . .	14
I.8.5-b	Courant de court-circuit $I_{CC}$ . . . . .	14
I.8.5-c	Puissance . . . . .	14
I.8.5-d	Le rendement . . . . .	15
I.8.6	Le couplage des modules photovoltaïques . . . . .	15
I.8.6-a	Le montage de modules photovoltaïques en parallèle . . . . .	15
I.8.6-b	Le montage de modules photovoltaïques en parallèle . . . . .	15
I.8.7	Module Photovoltaïque . . . . .	16
I.9	SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE . . . . .	17
I.9.1	Composition du système photovoltaïque . . . . .	17
I.9.2	Types de systèmes photovoltaïques . . . . .	17
I.9.3	Les Systèmes hybrides . . . . .	18
I.10	LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS DE L'ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE . . . . .	18
I.10.1	Avantages . . . . .	18
I.10.2	Inconvénients . . . . .	19
I.11	CONCLUSION . . . . .	19
II	PRÉSENTATION D'UN SYSTÈME PV AUTONOME . . . . .	<b>20</b>
II.1	INTRODUCTION . . . . .	21
II.2	L'ORIENTATION . . . . .	21
II.2.1	L'angle d'inclinaison . . . . .	21
II.2.2	L'orientation et les vents . . . . .	22
II.3	INFLUENCE DE L'ANGLE D'INCIDENCE . . . . .	23
II.4	INFLUENCE DE L'ENSOLEILLEMENT ET DE LA TEMPÉRATURE SUR LE MODULE PV . . . . .	24
II.4.1	La température . . . . .	24
II.4.2	L'ensoleillement . . . . .	25
II.5	L'EFFET DE LA RÉSISTANCE SUR LE MODULE PV . . . . .	26
II.5.1	La résistance série $R_S$ . . . . .	26
II.5.2	La résistance parallèle (shunt) $R_{sh}$ . . . . .	26
II.6	L'EFFET D'OMBRAJE SUR LE MODULE PV . . . . .	26
II.7	L'EFFET DE L'HUMIDITÉ . . . . .	27
II.8	PROTECTIONS CLASSIQUES D'UN GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE . . . . .	28
II.8.1	La protection par diode de by-pass . . . . .	29
II.8.2	La protection par diode Anti-Retour . . . . .	29
II.9	CONCLUSION . . . . .	30
III	ÉTUDE DE L'EMPLACEMENT DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES À L'ESSAT . . . . .	<b>31</b>
III.1	INTRODUCTION . . . . .	32
III.2	PRÉSENTATION DU SYSTÈME . . . . .	32
III.2.1	Panneaux PV . . . . .	32
III.2.2	Régulateur MPPT . . . . .	32

---

III.2.3	Batterie	33
III.2.4	L'onduleur	33
III.3	PRÉSENTATION DU SITE D'EMPLACEMENT	33
III.3.1	Situation géographique	34
III.3.2	La surface disponible pour l'emplacement	34
III.3.2-a	Bloc A	34
III.3.2-b	Bloc B	35
III.3.2-c	Bloc C	35
III.3.2-d	Bloc administratif	36
III.4	L'EMPLACEMENT DU PROJET	36
III.4.1	Support de fixation des modules	36
III.4.2	Les modules	37
III.4.2-a	Simulation avec logiciel sketchup	38
III.4.2-b	L'emplacement des modules :	40
III.4.3	Les régulateurs de charge	40
III.4.4	Les batteries	41
III.4.5	Les onduleurs	41
III.5	SYSTÈME DE PROTECTION	42
III.5.1	Partie courant continu	42
III.5.1-a	Les fusibles	42
III.5.1-b	Interrupteur-sectionneur	43
III.5.2	Partie courant alternatif	44
III.5.2-a	Disjoncteur différentiel	44
III.5.2-b	Parafoudre AC	45
III.6	L'ENTRETIEN DU SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE	47
III.6.1	Les modules	47
III.6.2	Les batteries	47
III.6.3	Le régulateur	48
III.6.4	L'onduleur	48
III.6.5	Le câblage	49
III.7	LES FUSIBLES ET LES INTERRUPTEURS	49
III.8	CONCLUSION	49
	CONCLUSION GÉNÉRALE	50
	BIBLIOGRAPHIE	52
	ANNEXES	56



# LIST OF FIGURES

I.1	Spectre solaire. . . . .	5
I.2	schéma des rayonnements direct, diffus, réfléchi. . . . .	6
I.3	Longitudes et latitudes sur le globe . . . . .	7
I.4	Latitude et longitude d'un point M sur la surface de la terre . . . . .	8
I.5	Hauteur et azimut pour un observateur dans l'hémisphère Nord . . . . .	8
I.6	Moyenne annuelle de l'énergie reçue en Algérie . . . . .	10
I.7	cellule photovoltaïque . . . . .	11
I.8	Principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule Photovoltaïque . . . . .	11
I.9	Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque . . . . .	12
I.10	Chaine de fabrication de la cellule photovoltaïque . . . . .	12
I.11	Types de cellules photovoltaïque . . . . .	13
I.12	caractéristique d'une cellule PV . . . . .	14
I.13	Branchement de panneaux en série . . . . .	15
I.14	Branchement de panneaux en parallèle . . . . .	16
I.15	Module PV en groupement série - parallèle des cellules . . . . .	16
I.16	Représentation d'un Module Photovoltaïque . . . . .	17
I.17	Systèmes photovoltaïques . . . . .	17
I.18	Schéma d'une installation solaire autonome avec batterie . . . . .	18
II.1	Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques . . . . .	22
II.2	La rose des vents . . . . .	22
II.3	Influence de l'angle d'incidence [20] . . . . .	23
II.4	Influence de la température sur la caractéristique I(V) pour une irradiation constante [18] . . . . .	24
II.5	Influence de la température sur la caractéristique P(V) pour une irradiation constant [18] . . . . .	24
II.6	Caractéristiques I(V) d'un module pour différentes irradiations solaires à T constant [18] . . . . .	25
II.7	Caractéristiques P(V) d'un module pour différentes irradiations solaires à T constant [18] . . . . .	25
II.8	GPV dans des conditions partiellement ombragés causés par le passage de nuage. . . . .	27
II.9	La puissance en fonction de l'humidité. L'humidité apparaît sur l'axe X et la tension sur l'axe Y [21] . . . . .	28
II.10	Protection d'un générateur photovoltaïque . . . . .	28

---

II.11 Protection d'un module de 32 cellules associées en série par deux diodes de by-pass . . . . .	29
II.12 Caractéristiques I-V d'une cellule solaire ensoleillée et dans l'obscurité . . . . .	30
III.1 Ecole supérieure en sciences appliquées de Tlemcen . . . . .	33
III.2 Dimensions de surface du toit du bloc A . . . . .	34
III.3 Dimensions de surface du toit du bloc B . . . . .	35
III.4 Dimensions de surface du toit du bloc C . . . . .	35
III.5 Dimensions de surface du toit du bloc administratif . . . . .	36
III.6 Support de module PV en aluminium, montage solaire au sol, 2 mètres . . . . .	37
III.7 Module PV . . . . .	37
III.8 la distance entre deux panneaux photovoltaïque . . . . .	38
III.9 Le plan architectural de l'école en 2D . . . . .	39
III.10 L'emplacement des panneaux photovoltaïque sur le toit de l'école . . . . .	39
III.11 Ombre partielle exposée sur le toit . . . . .	40
III.12 Régulateur . . . . .	41
III.13 Batterie . . . . .	41
III.14 Onduleur . . . . .	42
III.15 Fusible . . . . .	43
III.16 Interrupteur-sectionneur . . . . .	44
III.17 Disjoncteur différentiel . . . . .	44
III.18 Carte des densités de foudroiement (niveau céramique) dans le monde [15] . . . . .	45
III.19 Parafoudre . . . . .	47

---

## Glossaire

Acronyme	Signification
PV	Photovoltaïque
GPV	Générateur Photovoltaïque
MPPT	Suivi de point de puissance maximale (maximum power point Tracking).
$S_A$	surface du toit du bloc A
$S_B$	surface du toit du bloc B
$S_C$	surface du toit du bloc C
$S_{ad}$	surface du toit du bloc Administratif
$S_T$	surface du toit Total
$B_T$	Basse Tension
DC	courant continue (Direct Current)
AC	courant alternative (Alternating Current)
UTE	Union Technique de L'électricité
$I_{cc}$	Courant en court-circuit du panneau photovoltaïque.
$V_{co}$	Tension en circuit ouvert du panneau photovoltaïque
$I_{max}$	courant maximal du panneau photovoltaïque.
$N_p$	Nombre de modules dans le panneau en parallèle
$N_k$	Niveaux karénique de local.

---

## Introduction Générale

IL existe de nombreux sites isolés dans le monde, alimentés par des systèmes autonomes. On a plusieurs types de générateurs utilisent les sources renouvelables locales. On y trouve des panneaux photovoltaïques, des éoliennes. L'électricité provenant des sources renouvelables est intermittente, dépendante des conditions climatiques. Ces générateurs renouvelables autonome sont couplés à un système de stockage assurant une disponibilité en continue d'énergie.

Généralement, le stockage est assuré par des batteries. Ces systèmes, appelés systèmes isolé avec Batteries, sont actuellement une des solutions les plus utilisées. Les batteries ont de très bons rendements, de l'ordre de 80-85 %.

L'énergie photovoltaïque est une possibilité de développement efficace et durable. C'est pourquoi la recherche scientifique s'oriente vers la généralisation, l'amélioration et l'optimisation de l'utilisation du système solaire. L'optimisation d'un système solaire repose sur des critères dimensionnels et la maximisation de la production d'énergie pour avoir un bon rendement.

Les installations photovoltaïques autonomes pourraient devenir la principale source d'électrification dans les pays qui possède un gisement solaire important comme l'Algérie, la chine, le canada, si l'obstacle du coût est résolu.

Les différents composants de l'installation photovoltaïque sont assemblés ensemble et forment ainsi le système photovoltaïque. La taille de chacun des composants dépend du cahier des charges du système. Ce cahier des charges prend en compte les besoins à satisfaire.

Le système de base comprend les éléments suivants :

- Le générateur photovoltaïque assurant la production d'électricité
- Les batteries, permettent de mettre en réserve l'électricité produite par les panneaux solaires pour une utilisation ultérieure

- les régulateurs, dont le rôle principal est d'éviter la surcharge et la décharge profonde de l'accumulateur.
- Les onduleurs, permettant de générer des tensions et des courants alternatifs à partir d'une source d'énergie électrique continue

L'objectif de ce mémoire est de faire l'emplacement de système PV pour une application d'autoconsommation électrique au sein d'une école supérieure à Tlemcen, Algérie.

Notre mémoire est structuré en 3 chapitres comme suit :

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur l'énergie solaire. Nous présentons tout d'abord, l'énergie solaire photovoltaïque et aussi les paramètres utilisés pour l'implantation des panneaux photovoltaïques.

Le deuxième chapitre couvre les facteurs qui influent sur les performances des modules solaires photovoltaïques, et puis on a parlé sur la protection classique utilisé les panneaux.

Enfin, le troisième chapitre est consacré aux différences étapes principales d'emplacement du projet photovoltaïque avec batterie pour l'alimentation électrique de l'école supérieure en science appliquée de Tlemcen.

Finalement, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale.

## Chapter I

---

# Généralités sur l'énergie photovoltaïque

---

### SOMMAIRE

---

I.1	INTRODUCTION . . . . .	4
I.2	APERÇU HISTORIQUE . . . . .	4
I.3	ENERGIE SOLAIRE . . . . .	4
I.4	RAYONNEMENT SOLAIRE . . . . .	4
I.4.1	Spectre du rayonnement . . . . .	5
I.4.2	Les types de rayonnement solaire . . . . .	5
I.5	COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES TERRESTRES . . . . .	7
I.5.1	La latitude $\varphi$ . . . . .	7
I.5.2	Longitude $\lambda$ . . . . .	7
I.6	COORDONNÉES HORIZONTALES . . . . .	8
I.6.1	L'azimut du soleil ( $a$ ) . . . . .	8
I.6.2	Hauteur du soleil $h$ . . . . .	9
I.7	GISEMENT SOLAIRE . . . . .	9
I.7.1	L'énergie solaire dans l'espace, hors atmosphère . . . . .	10
I.7.2	Gisement solaire disponible à la surface de la terre . . . . .	10
I.8	CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES . . . . .	10
I.8.1	Définition . . . . .	10
I.8.2	Principe de la conversion photovoltaïque . . . . .	11
I.8.3	Technologies de fabrication de la cellule solaire . . . . .	12
I.8.4	Types de cellules solaires photovoltaïques . . . . .	13
I.8.5	Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque . . . . .	14
I.8.6	Le couplage des modules photovoltaïques . . . . .	15
I.8.7	Module Photovoltaïque . . . . .	16
I.9	SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE . . . . .	17
I.9.1	Composition du système photovoltaïque . . . . .	17
I.9.2	Types de systèmes photovoltaïques . . . . .	17
I.9.3	Les Systèmes hybrides . . . . .	18
I.10	LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS DE L'ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE . . . . .	18
I.10.1	Avantages . . . . .	18
I.10.2	Inconvénients . . . . .	19
I.11	CONCLUSION . . . . .	19

---

## I.1 Introduction

Le système photovoltaïque est également connu sous le nom de système solaire PV. Il s'agit d'un système énergétique conçu pour capter l'énergie du soleil et la transformer en électricité à l'aide de panneaux photovoltaïques, également connus sous le nom de panneaux solaires [1].

Le mot " photovoltaïque " vient de la grecque " photo " qui signifie lumière et voltaïque, qui tire son origine du nom du physicien italien Alessandro Volta (1754 -1827), alors le photovoltaïque signifie littérairement la lumière électricité [1].

## I.2 Aperçu historique

L'effet photovoltaïque a été découvert dans la première moitié du 19ème siècle. En 1839, un jeune physicien français, Alexandre Edmond Becquerel, a observé un phénomène qui permet la conversion de la lumière en électricité, le fonctionnement des cellules solaires est basé sur ce principe, dans les années qui ont suivi, un certain nombre de scientifiques ont contribué au développement de cet effet, les plus importants d'entre eux étant Charles Fritts, Edward Weston, Nikola Tesla et Albert Einstein, qui a reçu le prix Nobel pour ses travaux sur "l'effet photoélectrique" en 1904.

Dans les années soixante, les cellules solaires sont utilisées exclusivement pour fournir de l'électricité aux satellites en orbite terrestre, où elles s'avèrent être une technologie très fiables et compétitive, dans les années soixante-dix, des améliorations sont apportées à la production, performance et la qualité des cellules solaires, tandis que la crise pétrolière contribue à réduire les coûts de production des cellules solaires et ouvre de nombreuses possibilités pour leur mise en œuvre pratique [2].

## I.3 Energie Solaire

La quantité de l'énergie solaire atteignant une surface donnée dépend directement de l'orientation de celle-ci et la position du soleil. Pour récupérer le plus d'énergie possible, il faut positionner le récepteur par rapport aux rayons lumineux, il est donc crucial de connaître la position du soleil en fonction du temps [3].

L'énergie solaire est disponible en abondance partout, du matin au soir, ce qui nous laisse suffisamment de temps pour exploiter l'énergie du soleil [3].

## I.4 Rayonnement solaire

Malgré la distance considérable entre le soleil et la terre 150.106 km, la couche terrestre reçoit une quantité importante d'énergie 180.106 GW, c'est pour cela que l'énergie solaire est une bonne alternative aux autres sources d'énergie [1].

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre  $d=139.104$  km, soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé à 80 % d'hydrogène, 19 % d'hélium et 1 % d'un mélange de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus depuis que Langevin et Perrin, s'appuyant sur la théorie de la relativité d'Einstein, ont émis l'idée il y a une soixantaine d'années que c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance, il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène-hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium, la réaction se fait dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement [1].

### I.4.1 Spectre du rayonnement

La lumière du soleil consiste en un rayonnement de différentes couleurs avec différentes longueurs d'onde. Les photons, particules de lumière, constituent ce rayonnement électromagnétique.

Le rayonnement émis par le soleil correspond à celui d'un corps noir à une température de  $5800^{\circ}K$ . Une courbe standard, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom de  $AM_o$ . Sa distribution en énergie est répartie en [4] :

- Ultraviolet :  $UV 0.20 < l < 0.38mm 6.4\%$ .
- Visible :  $0.38 < l < 0.78mm 48.0\%$ .
- Infrarouge :  $IR 0.78 < l < 10mm 45.6\%$ .

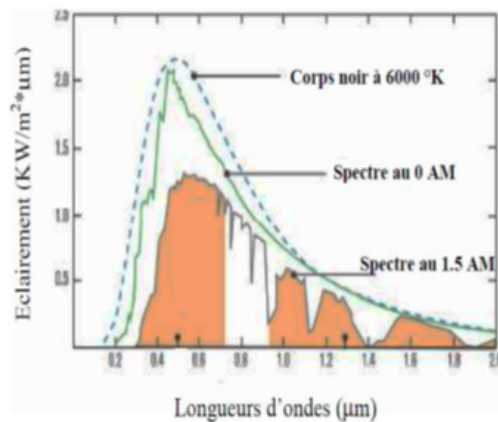


Figure I.1: Spectre solaire.

### I.4.2 Les types de rayonnement solaire

En réalité, le rayonnement total reçu sur une surface, appelé irradiation solaire incidente (ou encore éclairement énergétique global), est défini par la somme de trois composantes.



#### I.4.2-a Rayonnement solaire direct

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire atteignant directement la surface terrestre depuis le soleil. Il dépend de l'épaisseur de l'atmosphère que la radiation solaire doit traverser et de l'inclinaison des rayons par rapport au sol. Cette composante s'annule si le Soleil est caché par des nuages ou par un obstacle.

#### I.4.2-b Rayonnement solaire diffus

Le rayonnement diffus est également appelé rayonnement indirect. Cela est dû à l'absorption et Diffusion atmosphérique et réflexion d'une partie du rayonnement solaire global à travers les nuages et les aérosols. Autre définition, le rayonnement diffus représente Le rayonnement solaire a été exposé à au moins une particule de gaz atmosphérique en changeant L'angle d'incidence, cependant, atteint le sol car il est pointé vers le sol. Une partie de Le rayonnement diffus revient dans l'espace [5].

#### I.4.2-c Le rayonnement réfléchi

C'est la partie du rayonnement solaire incident réfléchi par la surface de la terre en raison de l'effet albédo.

L'albédo est le coefficient de réflexion  $c$ . Les valeurs de  $c$  sont généralement comprises entre 0 et 1 ou exprimées en pourcentage. Elle est donnée par la relation entre l'énergie rayonnante réfléchi par une surface par rapport à l'énergie incidente. La Terre a une valeur moyenne de 40 % ( $c = 0,4$ ). À l'altitude de l'albédo de la Terre, nous ajoutons le rayonnement réfléchi par les particules atmosphériques [5].

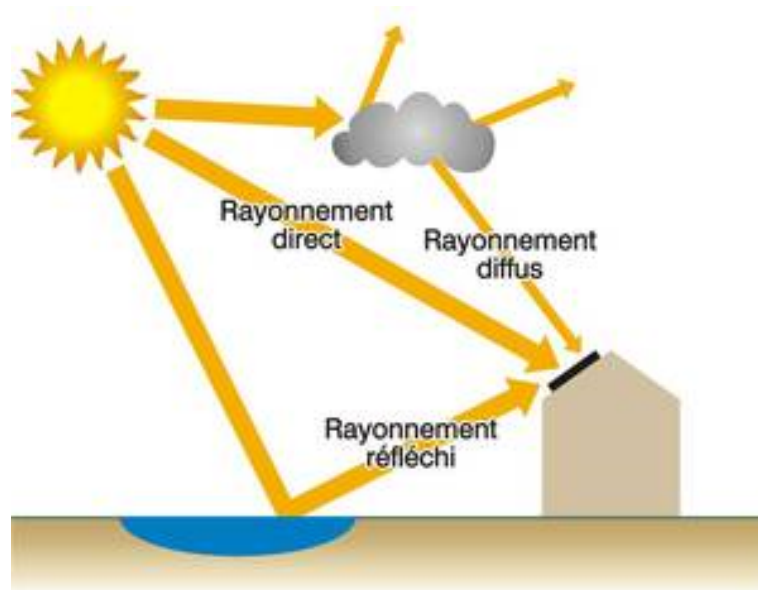


Figure I.2: schéma des rayonnements direct, diffus, réfléchi.

## I.5 Coordonnées géographiques terrestres

Les coordonnées géographiques utilisées pour déterminer la localisation d'un point sur la surface terrestre sont :

La latitude et la longitude, qui sont calculées en angle et qui s'expriment en degrés.

### I.5.1 La latitude $\varphi$

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

L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à  $0^\circ$ , le pôle nord par la latitude  $+90^\circ$  et le pôle sud par la latitude  $-90^\circ$  [6].

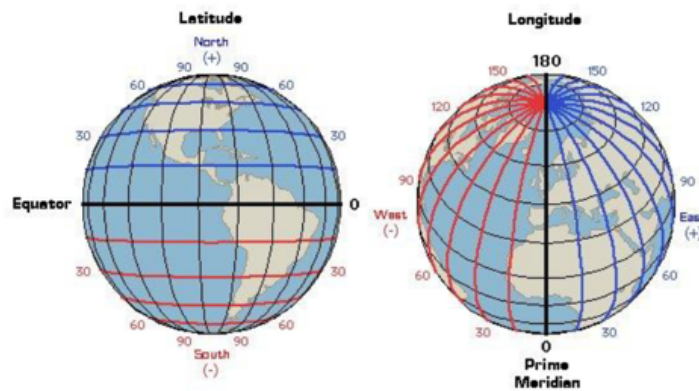


Figure I.3: Longitudes et latitudes sur le globe

### I.5.2 Longitude $\lambda$

La longitude  $\lambda$  d'un lieu correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On choisit pour méridien origine ( $0^\circ$ ) le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention on affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien et (-) les méridiens situés à l'ouest [6] [7].

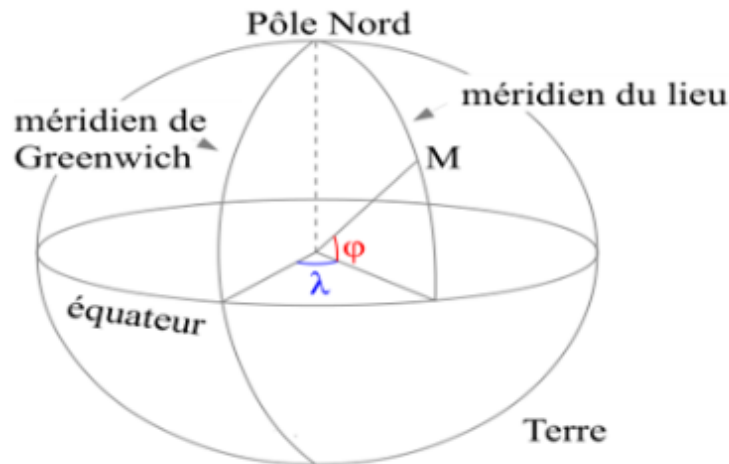


Figure I.4: Latitude et longitude d'un point M sur la surface de la terre

## I.6 Coordonnées horizontales

Le système de coordonnées horizontales constitue le système de coordonnées locales le plus utilisés pour repérer la position apparente du soleil dans le ciel. [6]

Dans ce système de coordonnées, la direction d'un astre est caractérisé par son azimut A et sa hauteur h [6].

### I.6.1 L'azimut du soleil (a)

L'azimut solaire a est l'angle mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre entre le point cardinal Sud (dans l'hémisphère nord) ou Nord (dans l'hémisphère sud) et la projection sur le plan horizontal [7]

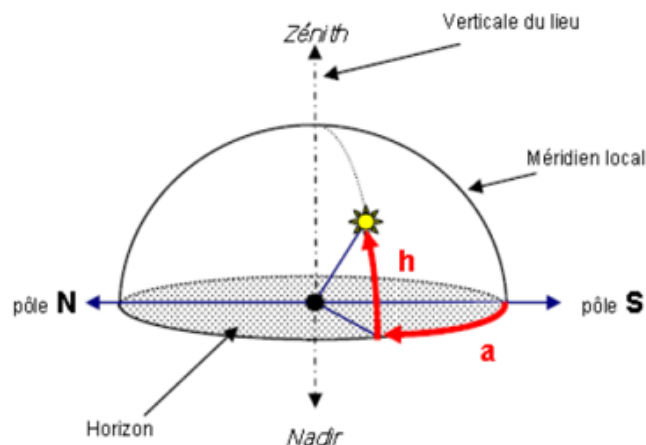


Figure I.5: Hauteur et azimut pour un observateur dans l'hémisphère Nord

### I.6.2 Hauteur du soleil $h$

La hauteur angulaire du soleil, communément appelée hauteur du soleil ou élévation du soleil, c'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal [7].

Elle varie entre 90 et -90 :

Zénith :  $h = +90$ ,

Nadir :  $h = -90$

- $h > 0$  : correspond au jour
- $h < 0$  : correspond à la nuit
- $h = 0$  : correspond au lever et au coucher du soleil

## I.7 Gisement solaire

Le champ solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement Énergie solaire disponible sur une période donnée. Il est utilisé pour déterminer l'énergie reçue par le système solaire et aide Les dimensions sont les plus précises possibles en tenant compte des exigences à respecter.

La connaissance du gisement solaire d'une région est plus ou moins précise :

- Selon la densité des stations pour lesquelles on a des données [8].
- Selon le nombre d'années de mesures disponibles [8].
- Selon le pas de temps des données (mois, jour, heure) [8].
- Selon la nature des données : durée d'ensoleillement, composante directe et diffuse et globale du rayonnement solaire, albédo du sol etc....

Pour pallier les insuffisances des réseaux de mesure, des modèles sont proposées, qui sont principalement basée sur l'utilisation de données météorologiques, en particulier la durée coup de chaleur.

Les différentes irradiations solaires utilisées par les concepteurs de systèmes solaires, sont :

- L'irradiation directe à incidence normale [8].
- Les irradiations de base, la composante diffuse et la composante globale mesurées sur plan horizontal [8].
- L'irradiation solaire globale reçue sur des plans verticaux orientés Est, Ouest et Sud [8].

- L'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu et orienté Sud [8].

La répartition de l'énergie reçue par l'Algérie en moyenne annuelle, est donnée par la figure (I.6). Elle présente les différents niveaux énergétiques qui donnent ainsi un découpage du pays en régions iso énergétiques.

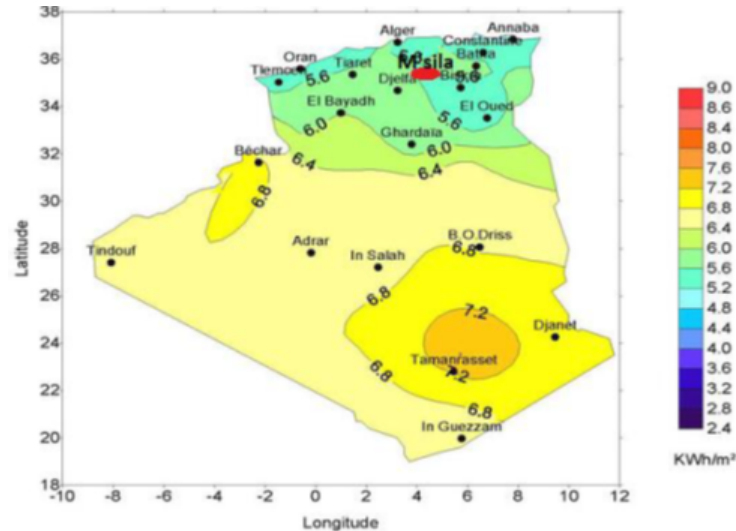


Figure I.6: Moyenne annuelle de l'énergie reçue en Algérie

### I.7.1 L'énergie solaire dans l'espace, hors atmosphère

Le soleil est l'étoile autour de laquelle la terre orbite, son énergie provient de la réaction thermonucléaire dans laquelle l'hydrogène est fusionné à l'hélium, sa température de surface est estimée en moyenne à 5 800 K. L'énergie transportée par le rayonnement solaire dans l'espace a été précisément évaluée grâce aux mesures satellitaires. Un mètre carré exposé face au soleil en dehors de l'atmosphère reçoit tant qu'il le voit 1.353 KW/m<sup>2</sup>, ce qui signifie qu'en 24 heures 32,5 kWh [6].

### I.7.2 Gisement solaire disponible à la surface de la terre

L'atmosphère terrestre absorbe une partie de l'énergie qu'elle reçoit du soleil et modifie la nature du rayonnement [6].

## I.8 Cellules photovoltaïques

### I.8.1 Définition

Les cellules photovoltaïques ou cellules solaires sont les plus petits composants de l'appareil Photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique.

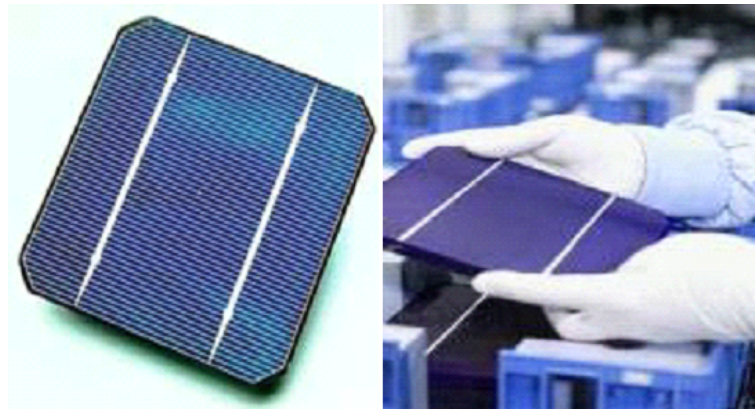


Figure I.7: cellule photovoltaïque

### I.8.2 Principe de la conversion photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet Photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule [5].

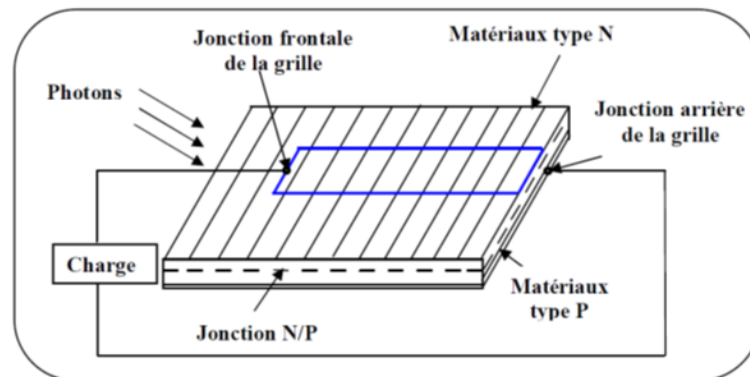


Figure I.8: Principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule Photovoltaïque

Une cellule PV sont constituées au moins deux couches de matériau semi-conducteur, généralement du silicium, une dopée P (dopée au Bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore), créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par les semi-conducteurs, ils transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons (charges N) et des trous (charges P) créent alors une différence de potentiel entre les deux couches [1].

Cette différence de potentiel est mesurable entre les connections des bornes positive et négative de la cellule.

La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul, cette tension est nommée tension de circuit ouvert  $V_{co}$ . Le courant maximal se produit lorsque

les bornes de la cellule sont court-circuitées ; il est appelé courant de court-circuit ICC et dépend fortement du niveau d'éclairement [5].

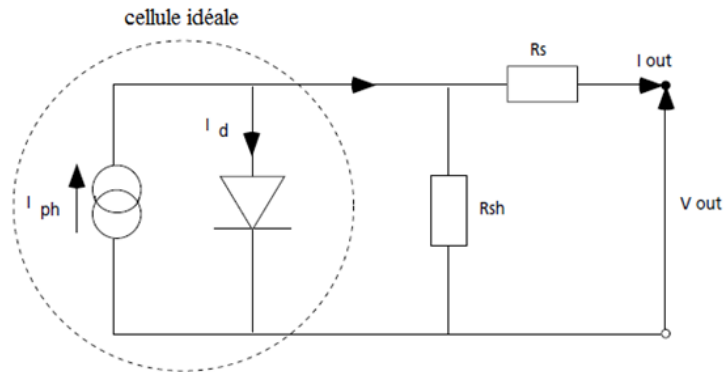


Figure I.9: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

### I.8.3 Technologies de fabrication de la cellule solaire

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer des cellules photovoltaïques. On l'obtient par réduction à partir de la silice. Ce composé est le plus abondant dans la croûte terrestre et notamment dans le sable. Plus de 90 % des cellules solaires fabriquées à l'heure actuelle sont au silicium cristallin. La première étape est la production du silicium dit métallurgique, pur à 98 % seulement [9].

Le silicium de qualité électronique doit être purifié jusqu'à plus de 99,99 %. Il est produit sous forme des lingots de section ronde ou carrée. Les lingots monocristallins et les briques multi-cristallines sont après la première étape découpés en tranches par une scie à fil, à une épaisseur d'environ 250  $\mu\text{m}$  [9].

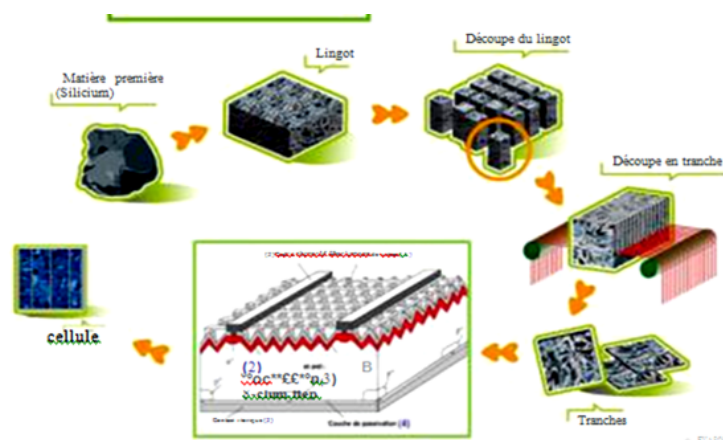


Figure I.10: Chaîne de fabrication de la cellule photovoltaïque

La plaque doit être de l'ordre d'une centaine de microns pour absorber les photons incidents. La face arrière est dopée p+ par diffusion d'aluminium et joue aussi le rôle de conducteur ohmique avec l'électrode arrière. La zone avant est dopée n+. Une couche

antireflet est déposée dessus [9].

La face supérieure de la cellule est traitée de manière à optimiser la quantité de lumière entrant dans la cellule au moyen de traitement de surface, par l'application d'une couche anti réflexion. Les faces supérieure et inférieure sont équipées d'électrodes pour récolter les électrons [9]

#### I.8.4 Types de cellules solaires photovoltaïques

Les cellules solaires sont constituées de plusieurs couches de matériau semi-conducteur, le matériau le plus courant pour la production de cellules solaires est le silicium. Le silicium est obtenu du sable et l'un des éléments les plus courants de la croûte terrestre.

Il existe différents types de cellules photovoltaïques (ou cellules solaire), chaque type de cellule a ses propres performances et son propre coût. Cependant, quel que soit leur type, Leur rendement est encore très faible : de 8 % à 23 % de l'énergie qu'ils reçoivent. Il y a trois principaux types de cellules aujourd'hui [5].

##### I.8.4-a Cellules monocristallines

Ce sont les cellules qui ont le meilleur rendement mais aussi celle qui ont le cout le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée [4]. Les cellules ont un meilleur rendement entre 16 % et 24 % [10].

##### I.8.4-b Cellules polycristallines

plus faciles pour réaliser, leur coût de fabrication est moins important, mais moins performantes, leur rendement situé entre 13 % et 18 % [10].

##### I.8.4-c Cellules amorphes

Faible rendement, mais ne nécessitent qu'une très faible épaisseur de silicium et un faible coût pour fabriqué. Ils sont généralement utilisés dans les petits produits de consommation par exemple les calculatrices solaire ou pour des montres [5]. Les cellules ont le moins bon rendement, il est compris entre 6 % et 9 % [10].

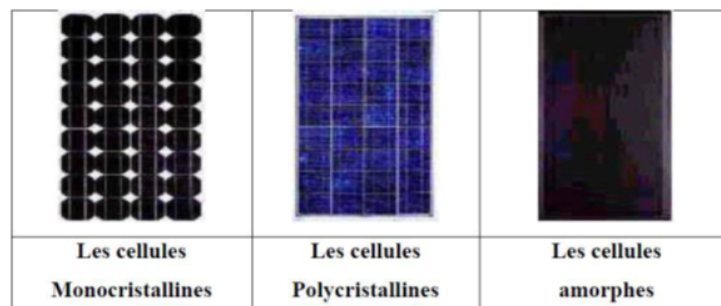


Figure I.11: Types de cellules photovoltaïque



## I.8.5 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

### I.8.5-a Tension de circuit ouvert $V_{CO}$

Si nous plaçons une cellule sous une source de lumière constante sans aucun récepteur a ses bornes, cela produira une tension continue d'environ  $0.6V$ , appelée tension de circuit ouvert (il varie légèrement selon l'éclairement). Pour augmenter la tension produit par le module, il faut faire connecter les cellules en série [5].

### I.8.5-b Courant de court-circuit $I_{CC}$

Contrairement au cas précédent, si l'on place une cellule en court-circuit, elle débite un courant maximal à tension nulle. Ce courant est appelé courant de court-circuit.

Pour augmenter les valeurs d'intensité délivrées par le module, il est nécessaire de connecter les cellules en parallèle [5].

### I.8.5-c Puissance

Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards ( $25^{\circ}C$  et un éclairement de  $1000W/m^2$ )

L'objectif poursuivi par tous les utilisateurs de générateurs photovoltaïques est produire de manière le plus performance. La figure I.12 montre la caractéristique courant tension d'une cellule photovoltaïque

$$Puissance = tension \times courant$$

Pour l'éclairement considéré, le point de puissance maximale MPPT représente le point où la puissance de la cellule est maximale. Ceci est lié à la tension maximale et le courant maximal. C'est cette puissance qui sera toujours recherchée par des régulateurs de charge [11].

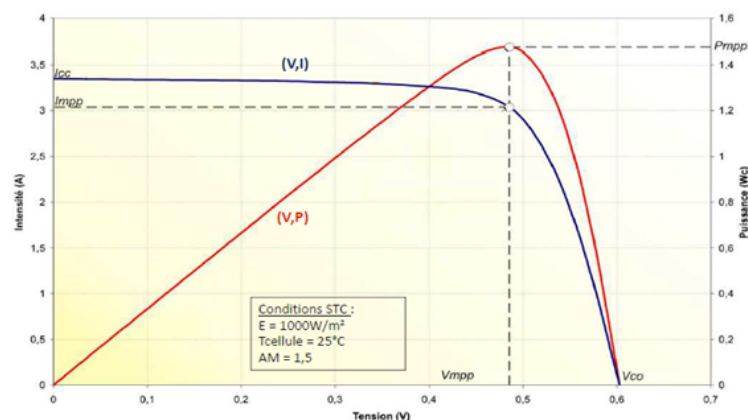


Figure I.12: caractéristique d'une cellule PV

### I.8.5-d Le rendement

C'est le rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.

## I.8.6 Le couplage des modules photovoltaïques

Comme vous le savez, pour qu'un panneau solaire fonctionne dans un système photovoltaïque, plusieurs modules doivent être connectés les uns aux autres. Il existe deux méthodes de connexion : série ou parallèle. Les deux options sont complètement différentes et vous devez utiliser l'une ou l'autre selon vos besoins [12].

### I.8.6-a Le montage de modules photovoltaïques en parallèle

Lorsque les modules PV sont connectés en série, cela augmente la tension tout en conservant le même ampérage. Cela se produit généralement entre des modules de même ampérage. Sinon, les composants s'aligneront sur l'ampérage le plus bas [12].

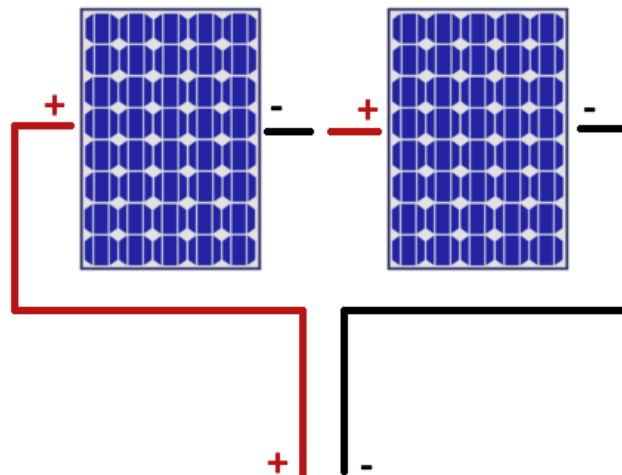


Figure I.13: Branchement de panneaux en série

Pour une connexion en série, le pôle positif d'un module doit être connecté au pôle négatif de l'autre module [12].

### I.8.6-b Le montage de modules photovoltaïques en parallèle

Lorsque des modules sont installés en parallèle, les intensités (ampères) s'additionnent tandis que la tension (voltage) reste la même. Le résultat est donc le contraire d'une connexion en série. Elle se fait généralement entre modules de même tension pour éviter tout risque de surtension ou de court-circuit. Les intensités peuvent varier car elles s'additionnent. Ce type de connexion est utilisé lorsqu'une résistance élevée est requise [12].

Pour les connexions parallèles, les bornes positives doivent être connectées ensemble. Il en est de même pour la borne négative. Lors de l'installation d'un système PV dans votre maison, un technicien vous guidera dans le choix du système qui correspond le mieux à vos besoins [12].

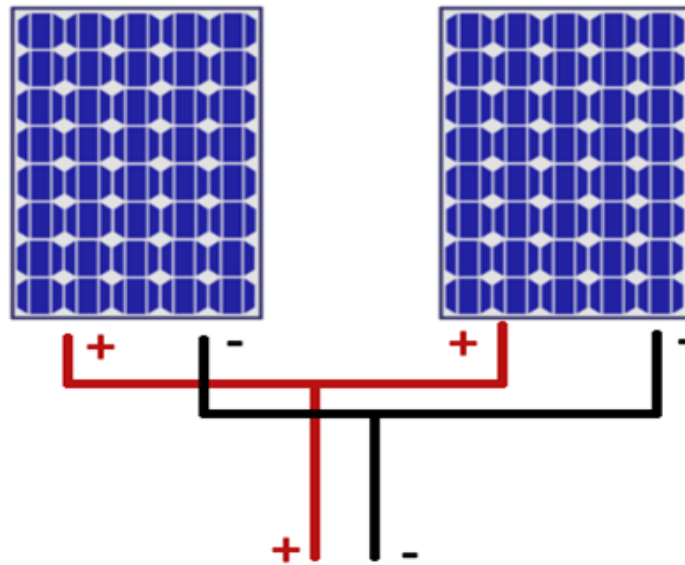


Figure I.14: Branchement de panneaux en parallèle

### I.8.7 Module Photovoltaïque

La tension générée par une cellule étant très faible, pour avoir des tensions compatibles avec des charges à alimenter, il faudra associer en série-parallèle plusieurs cellules [5]. Celles-ci sont encapsulées dans une même structure pour former un module Figure (I.13). L'encapsulation ainsi réalisée va avoir deux rôles principaux [5] :

- Protection des cellules contre les agressions extérieures (chocs, humidité, etc. ...).
- Contrôle de température des cellules qui va permettre une bonne dissipation vers l'extérieur de la partie de l'énergie incidente qui n'est pas transformée en énergie électrique [4].

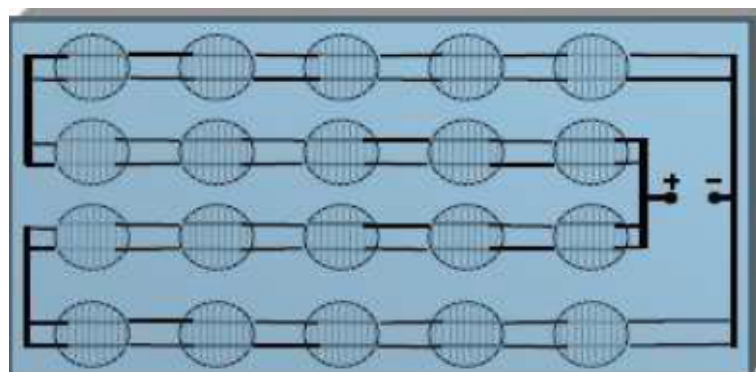


Figure I.15: Module PV en groupement série - parallèle des cellules

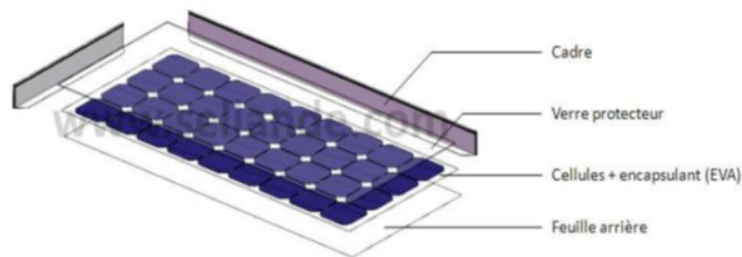


Figure I.16: Représentation d'un Module Photovoltaïque

## I.9 Système photovoltaïque

Les panneaux photovoltaïques (solaires) contiennent des semi-conducteurs, tels que le silicium, qui convertit le rayonnement solaire directement en électricité. Contrairement aux sources d'énergie non renouvelables, l'énergie solaire est gratuite, zéro émission et accessible à tous [13].

### I.9.1 Composition du système photovoltaïque

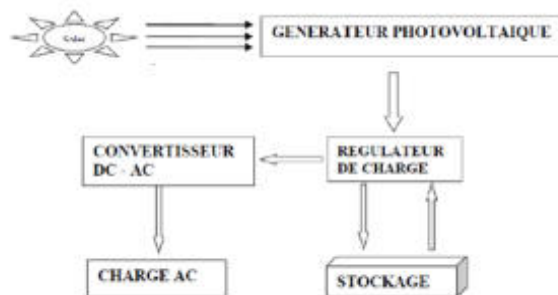


Figure I.17: Systèmes photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques consistent une source d'énergie (générateur photovoltaïque), interface de puissance (convertisseurs statiques DC-AC avec système de contrôle) et la charge [1].

### I.9.2 Types de systèmes photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques peuvent généralement être divisés en deux groupes de base :

- **non autonomes ou grid on:** c'est-à-dire rattachées au réseau de distribution électrique. Dans les systèmes connectés aux réseaux, les consommateurs standards de puissance AC sont connectés au générateur via un onduleur (convertisseur DC/AC). Le surplus d'énergie du générateur photovoltaïque est injecté au réseau public [1].
- **Autonomes ou grid off:** Les installations solaires hors-réseau transforment le rayonnement solaire en électricité sans raccordement au réseau. On a deux cas :

- **Sans batterie :** Comme leur nom l'indique, elles sont utilisées pour des applications autonomes, qui sont moins coûteuses et plus simples, comme les pompes à eau et les systèmes d'arrosage. Elles ne nécessitent pas de stockage sur batterie car elles sont destinées à un usage spécifique pour une période de temps réduite, et ils sont plus légers et faciles à installer [3].
- **Avec batterie :** Un système PV autonome produit l'énergie électrique et stocké dans des batteries qui peuvent être utilisées même la nuit, lorsqu'il n'y a pas de lumière du soleil [3].

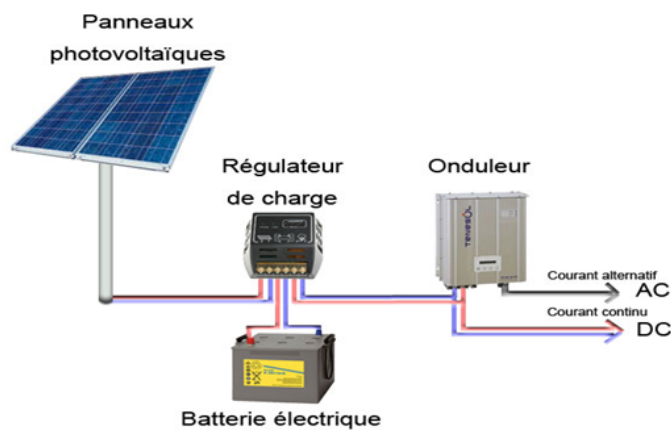


Figure I.18: Schéma d'une installation solaire autonome avec batterie

### I.9.3 Les Systèmes hybrides

Les systèmes énergétiques hybrides combinent deux ou plusieurs formes de production d'énergie, ou de stockage, ils peuvent offrir une multitude d'avantages par rapport aux systèmes à source unique, en termes de performance et de réduction des coûts [3].

Les centrales électriques hybrides associent au minimum deux types d'énergie différents. La combinaison de groupes électrogènes diesel et de systèmes d'énergie renouvelable, avec ou sans stockage, est assez courante [3].

## I.10 Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque

### I.10.1 Avantages

- Conversion directe de l'énergie solaire gratuite et inépuisable en électricité [9].
- Absence de bruit, de pollution et d'émissions.
- Maintenance réduite (pas de pièces en mouvement, durée de vie des modules = 20 ans) [14].

- Rentabilité assurée pour les applications de faible puissance (moins de 3–5 kWh/jour).
- Possibilité d'adaptation de la taille de l'installation aux besoins existants, avec possibilité d'extension à la demande, au fur et à mesure que le besoin énergétique augmente.
- Sécurité absolue si l'installation est conforme.
- Le risque de choc électrique est réduit en 12 ou 24 Vcc et le risque d'incendie est moindre qu'avec les groupes électrogènes alimentés au kérosène ou au fuel [14].

### I.10.2 Inconvénients

- Le coût initial des systèmes PV est élevé, même si la rentabilité à long terme est assurée. Ils sont donc parfois hors de portée des personnes à faibles revenus [14].
- Dans la plupart des installations, l'électricité doit être stockée dans des batteries. Et ce dernier, requièrent une maintenance régulière, et elle a aussi un durée de vie (environ de 5 ans), Il doit être changé, parce que cela affecte le rendement du système [14].
- Les systèmes PV doivent être conçus et installés par des techniciens car toute erreur de conception ou de réalisation conduirait à créer une diminution du rendement [14].
- Les systèmes PV de forte puissance nécessitent souvent un système d'appoint (autre système de production d'énergie) pour les périodes de forte demande [14].

## I.11 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le système photovoltaïque, aussi les types et les caractéristiques d'une cellule photovoltaïque, Et enfin on à parler sur les avantages et les inconvénients des systèmes photovoltaïques.

## Chapter II

---

# Présentation d'un système PV autonome

---

### SOMMAIRE

---

II.1	INTRODUCTION . . . . .	21
II.2	L'ORIENTATION . . . . .	21
II.2.1	L'angle d'inclinaison . . . . .	21
II.2.2	L'orientation et les vents . . . . .	22
II.3	INFLUENCE DE L'ANGLE D'INCIDENCE . . . . .	23
II.4	INFLUENCE DE L'ENSOLEILLEMENT ET DE LA TEMPÉRATURE SUR LE MODULE PV . . . . .	24
II.4.1	La température . . . . .	24
II.4.2	L'ensoleillement . . . . .	25
II.5	L'EFFET DE LA RÉSISTANCE SUR LE MODULE PV . . . . .	26
II.5.1	La résistance série $R_S$ . . . . .	26
II.5.2	La résistance parallèle (shunt) $R_{sh}$ . . . . .	26
II.6	L'EFFET D'OMBRAGE SUR LE MODULE PV . . . . .	26
II.7	L'EFFET DE L'HUMIDITÉ . . . . .	27
II.8	PROTECTIONS CLASSIQUES D'UN GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE . . . . .	28
II.8.1	La protection par diode de by-pass . . . . .	29
II.8.2	La protection par diode Anti-Retour . . . . .	29
II.9	CONCLUSION . . . . .	30

---

## II.1 Introduction

Les fabricants garantissent généralement une puissance comprise entre 80 % et 90 % de puissance initiale après 25 ans, les modules PV sont exposés à diverses contraintes externes provenant de diverses sources.

- Les changements de température entre la nuit et le jour ainsi qu'entre les 4 saisons.
- Contraintes mécaniques dues par exemple au vent et à la neige,
- La contrainte par les substances transportées dans l'atmosphère telle que la poussière et le sable,
- Le rayonnement UV hautement énergétique est un défi pour de nombreux matériaux.

Dans ce chapitre nous présentons déférente paramètre l'influence sur le rendement de panneaux photovoltaïque rayonnement solaire.

## II.2 L'orientation

Pour générer une puissance maximale, les modules PV doivent être inclinés perpendiculaire aux rayons du soleil. Ceci est très souvent indisponible Parce que la position du soleil change selon l'heure de la journée et la saison. L'orientation optimale de l'angle d'inclinaison des modules photovoltaïques est Le moyen idéal pour optimiser la production de générateurs photovoltaïques [15].

Le choix de l'orientation tient compte de nombreux facteurs tels que les vues depuis différentes directions, la topographie du site, l'emplacement des sources de nuisances, les effets du rayonnement solaire et son chauffage, et la ventilation en rapport avec la direction des vents dominants [16].

## II.3 L'angle d'inclinaison

L'angle d'inclinaison correspond à l'angle formé par le plan du module solaire par rapport à l'horizontale [2].



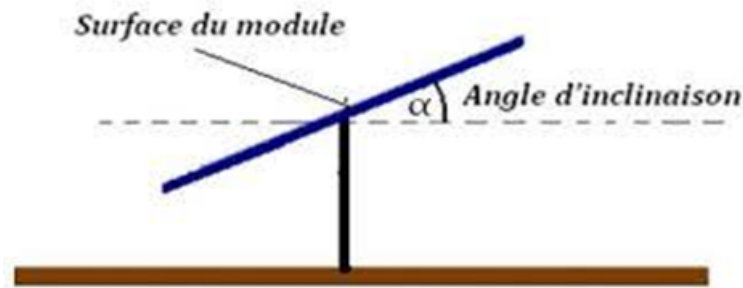


Figure II.1: Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques

## II.4 Influence de l'angle d'incidence

Lorsque le rayonnement incident provient d'une direction inclinée par rapport à la normale au module, le rayonnement effectivement absorbé est réduit.

- **La plus grande partie de cette diminution s'explique de façon purement géométrique** : La surface effective "vue par le rayonnement" varie comme le cosinus de l'angle d'incidence [17].
- **La réduction de la consommation d'énergie est encore exacerbée par des raisons optiques** : Réflexions de la paroi externe et de la surface de la cellule, augmente avec angle d'incidence. La figure II.3 donne l'allure de la variation du rayonnement reçu par la surface du module et rayonnement effectif absorbé en fonction de l'angle d'incidence. [17]

Compte tenu de cette dépendance angulaire, la puissance délivrée par le module Tout dépend de son inclinaison et de sa direction. Il est rare que les modules soient équipés d'un système qui les oriente en permanence dans la meilleure direction en Considérez le mouvement du soleil. L'orientation est généralement fixe, inclinée Il peut parfois être modifié manuellement pour tenir compte de la saison.

## II.5 Influence de l'ensoleillement et de la température sur le module PV

### II.5.1 La température

La température est un paramètre très important dans le comportement des cellules photovoltaïques car les propriétés électriques des semi-conducteurs sont très sensibles à la température [18].

La figure ci-dessous donne l'allure générale des caractéristiques électriques d'un générateur photovoltaïque pour différentes valeurs de températures et un éclairement constant.

On remarque, que lorsque la température augmente, le courant augmente très légèrement alors que la tension de circuit ouvert diminue énormément, ce qui signifie que la température a un effet à long terme.

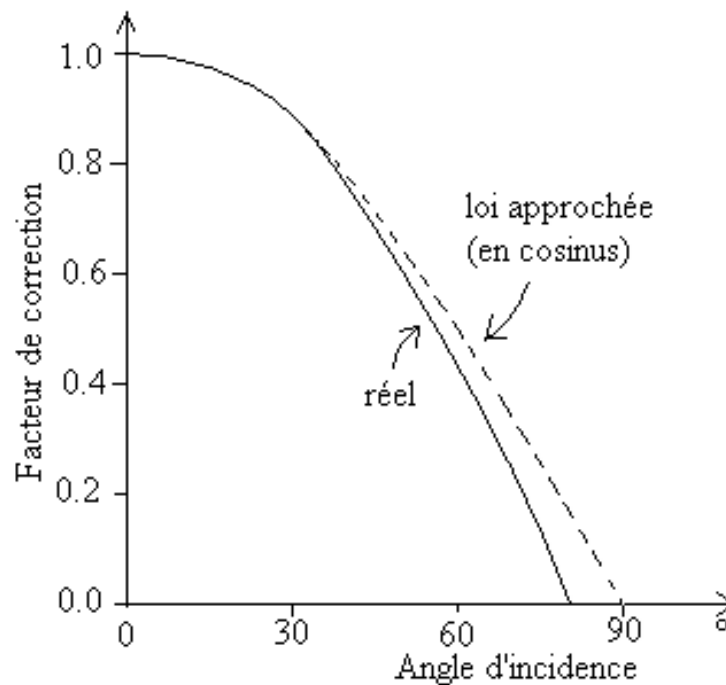


Figure II.2: Influence de l'angle d'incidence [20]

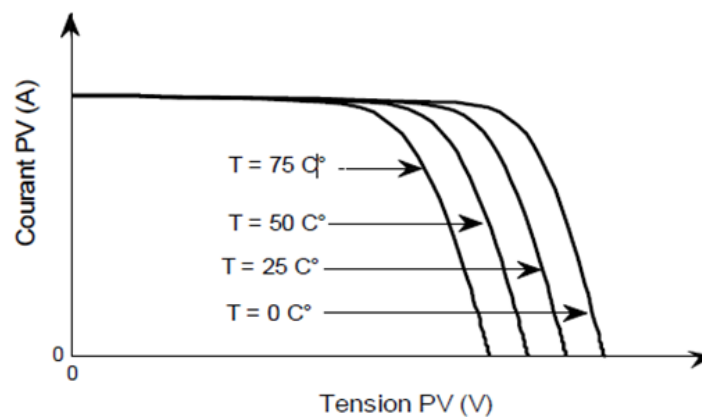


Figure II.3: Influence de la température sur la caractéristique I(V) pour une irradiation constante [18]

### II.5.2 L'ensoleillement

Sur un panneau photovoltaïque, la réduction de l'ensoleillement se traduit par moins de paires électron-trou, donc le courant solaire ( $I_{cc}$ ) chute proportionnellement au changement d'ensoleillement, tandis que la tension ( $V_{co}$ ) baisse légèrement, de sorte un décalage du point de la puissance maximale du panneau vers des puissances inférieures. La figure ci-dessus montre la variation de  $I=f(V)$  en fonction de l'ensoleillement [18].

L'énergie électrique produite par une cellule photovoltaïque dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface. Lorsque l'ensoleillement augmente, l'intensité du courant photovoltaïque augmente.

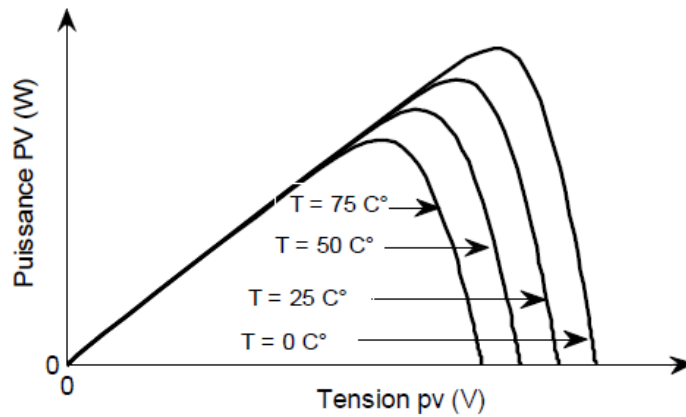


Figure II.4: Influence de la température sur la caractéristique P(V) pour une irradiation constant [18]

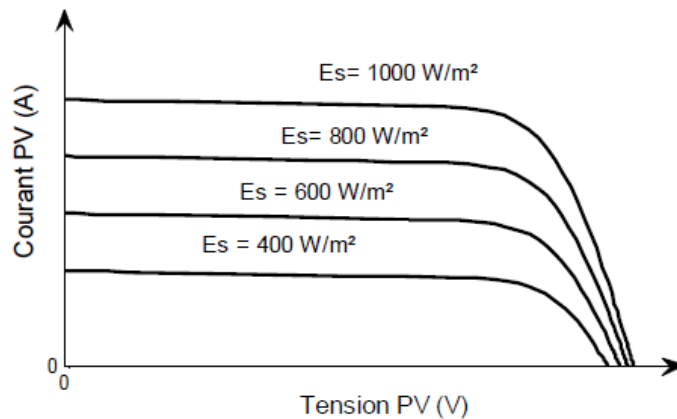


Figure II.5: Caractéristiques I(V) d'un module pour différentes irradiances solaires à T constant [18]

## II.6 L'effet de la résistance sur le module PV

### II.6.1 La résistance série $R_S$

La résistance en série est la résistance interne de la cellule, caractérise les pertes par effets Joule de la résistance propre du semi-conducteur.

Les contacts semi-conducteur-électrodes à haute résistance réduisent considérablement la tension et le courant de sortie, ce qui limitera l'efficacité de la conversion [19].

### II.6.2 La résistance parallèle (shunt) $R_{sh}$

La résistance shunt représente tout chemin du courant de fuite, est liée directement au procédé de fabrication et son influence ne se fait directement sentir qu'à des valeurs de courant très faibles (proches du courant de court-circuit).

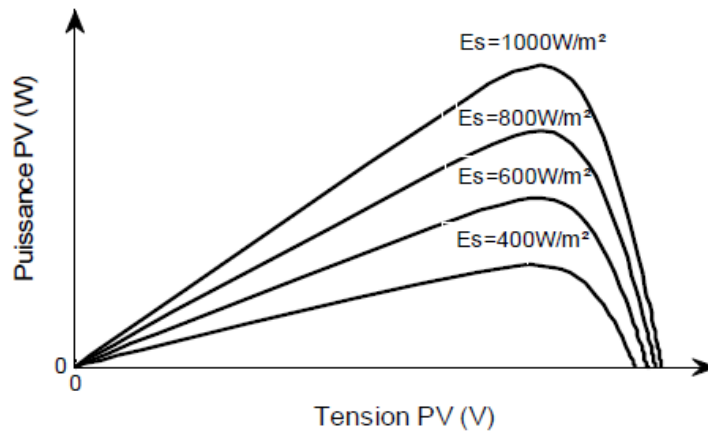


Figure II.6: Caractéristiques  $P(V)$  d'un module pour différentes irradiances solaires à  $T$  constant [18]

L'existence de phénomène des fissures et des défauts des structures complexes, devient assimilable aussi à une résistance parallèle ( $R_{sh}$ ). Ordre de grandeur de RP pour une cellule au Silicium :  $R_{sh} = 10^2$  à  $10^4 \Omega$ .  $R_{sh}$  augmente avec le groupement série de cellules solaires et diminue avec une connexion parallèle [19].

## II.7 L'effet d'ombrage sur le module PV

Il se peut qu'un obstacle, de quelque nature qu'il soit (maison, arbre, etc.) fasse de l'ombre aux panneaux solaires.

Un ombrage sur les panneaux photovoltaïques traduit par une perte d'énergie. Cette perte varie en fonction de la taille et de la densité de l'obstacle. Mieux vaut quantifier l'importance de la perte avant d'entreprendre de poser ses panneaux photovoltaïques [20].

Toutefois, les panneaux photovoltaïques sont aujourd'hui équipés des diodes by-pass, ce qui permet de limiter l'impact d'une ombre sur le capteur photovoltaïque [20].

Par exemple pour un panneau équipé d'un jeu de 3 diodes by-pass, si une ombre affecte une cellule alors la série de cellules branchée sur la même diode by-pass est court-circuitée et le reste du panneau continue de produire.

Il faut savoir que les cellules photovoltaïques sont montées en série. La cellule la plus faible va donc avoir un impact sur le rendement des autres cellules. Ainsi, l'ombrage total d'un rangier de cellules peut rendre l'ensemble du module photovoltaïque inefficace [20].

On peut distinguer deux types d'ombrages : l'ombrage partiel et l'ombrage total. On appelle ombrage total ou complet ce qui vient couvrir le passage de rayonnement solaire 100 % au panneau, l'ombrage partiel laisse passer une partie de rayonnement solaire [20].

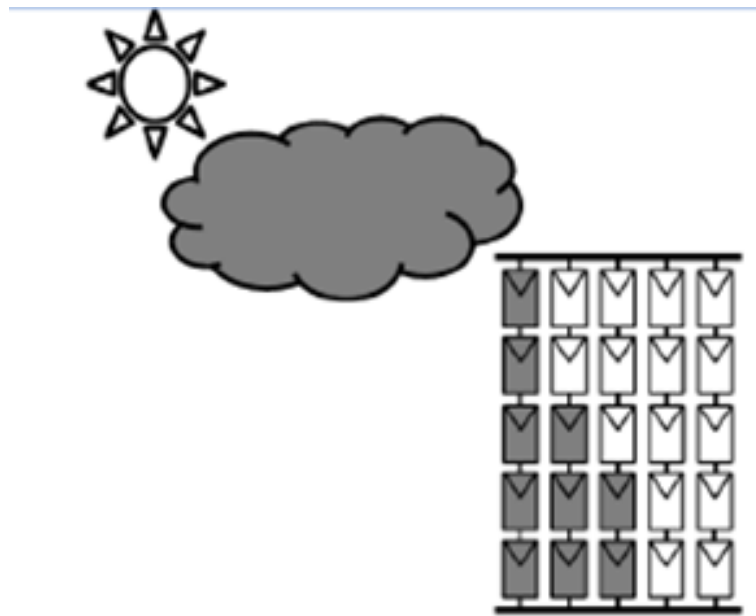


Figure II.7: GPV dans des conditions partiellement ombragés causés par le passage de nuage.

Cette problématique de l'ombrage sur les générateurs photovoltaïques est primordiale pour une meilleure intégration des systèmes et pour augmenter la rentabilité économique de tels systèmes [20].

## II.8 L'effet de l'humidité

Sur 100 % d'énergie provenant du soleil, environ 30 % de l'énergie est soit réfléchi, soit absorbée par les nuages, les océans et les masses terrestres. Dans les villes où l'humidité est important, ce qui entraîne une couche minimale de vapeur d'eau sur la cellule solaire avant directement face au soleil [21].

L'énergie solaire qui frappe effectivement la cellule solaire subite une perte par absorption/réflexion d'énergie. On a constaté des pertes approximatives d'environ 15-30 % de l'énergie. L'un des effets que nous avons découvert après notre analyse expérimentale est que l'humidité réduit l'utilisation de l'énergie solaire [21].

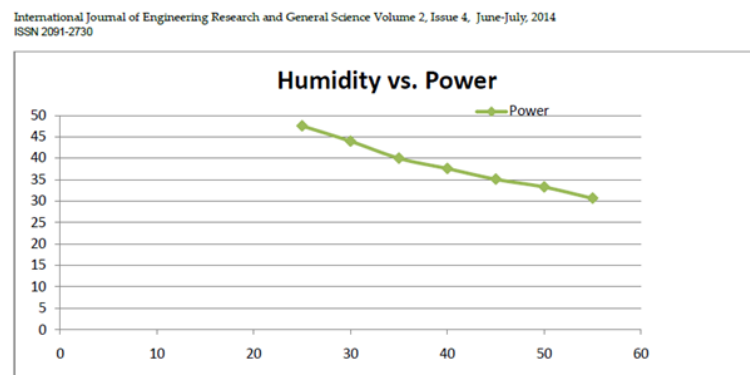


Figure II.8: La puissance en fonction de l'humidité. L'humidité apparaît sur l'axe X et la tension sur l'axe Y [21]

La figure II.9 montre que la puissance de la cellule photovoltaïque est inversement proportionnelle à l'humidité. Ce qui implique une décroissance de la performance du panneau solaire et réduit la puissance produite.

## II.9 Protections classiques d'un générateur photovoltaïque

Lorsque nous concevons une installation photovoltaïque, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter la durée de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement en cas d'ombrage. Pour cela, deux types de protections sont classiquement utilisées dans les installations actuelles [22] :

- La protection en cas de connexion en parallèle de modules PV pour éviter les courants négatifs dans les GPV (diode anti-retour) [22].
- La protection lors de la mise en série de modules PV permettant de ne pas perdre la totalité de la chaîne (diode by-pass) et éviter les points chauds [22].

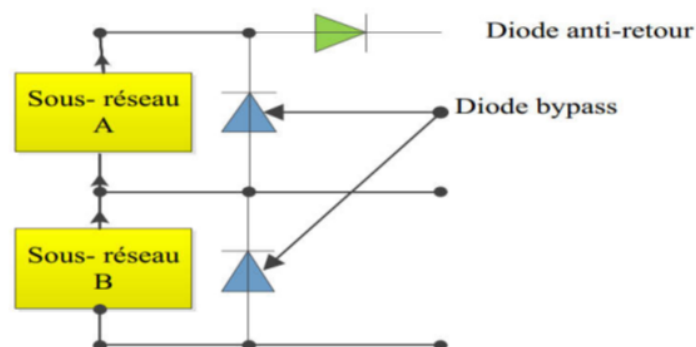


Figure II.9: Protection d'un générateur photovoltaïque

La figure II.10 rassemble les deux types protections.

### II.9.1 La protection par diode de by-pass

Pour protéger les panneaux de ce phénomène de hot spot connu depuis de nombreuses années, on installe en dérivation et en polarité inverse des diodes de by-pass (ou anti-parallèle) [23].

Si une cellule ou un groupe de cellule est ombragé, le courant passera par la diode de by-pass et on évite ainsi un échauffement trop intense de ces cellules.

Généralement, une diode de by-pass est installée en parallèle à une branche de 18 cellules au silicium cristallin associées en série. Une cellule ombragée ne peut alors être polarisée que par 17 cellules au maximum. En fonctionnement normal, la diode de by-pass doit pouvoir être polarisée avec une tension inverse égale à la tension de travail du module [23].

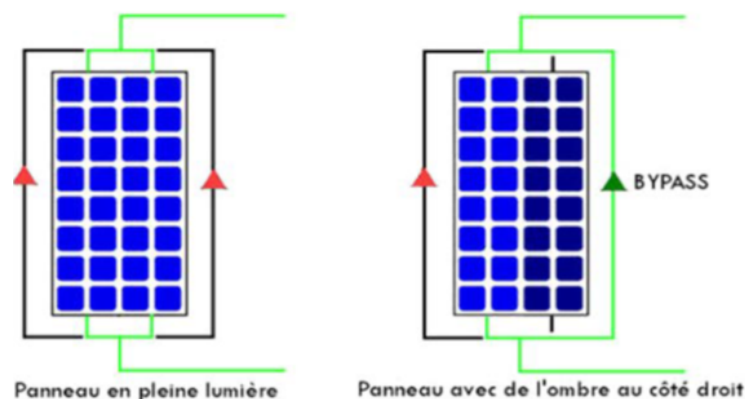


Figure II.10: Protection d'un module de 32 cellules associées en série par deux diodes de by-pass

Le problème lié à cette façon de faire est que le groupe de cellules qui est ombragé est court-circuité via la diode de by-pass et ne produit donc plus rien. Ce qui a pour effet de faire chuter drastiquement la courbe I-V du module et par conséquent la puissance délivrée. Si l'on prend l'exemple d'un module composé de 48 cellules au silicium cristallin et de deux diodes de by-pass, une ombre partielle qui cache une cellule cristalline peut donc faire chuter la moitié des cellules ou de puissance [18].

Une solution pour éviter de "éliminer" toute une branche de cellules serait de placer une diode de by-pass par cellule mais cette opération coûterait trop cher à réaliser [23].

### II.9.2 La protection par diode Anti-Retour

Dans le cas de plusieurs chaînes des cellules mises en parallèle sur une charge, le risque est que des chaînes de cellules éclairées débitent dans des chaînes ombrées ou que la charge ne se décharge à travers le générateur. On dispose pour cela de diodes de blocage (anti-retour) mises en série avec le GPV comme le montre la Figure II.10 Cette diode est indispensable quand la charge du module PV est une batterie. En fait, cette diode

évite que la batterie de stockage ne débite sur le module PV pendant la nuit. Figure II.10 Montre les caractéristiques I(V) d'une cellule solaire, ensoleillée, puis dans l'obscurité [22].

Sans cette diode, le courant de décharge dépendrait bien sûr de l'impédance vue depuis la batterie [22].

Comme nous pouvons le voir, quand la cellule est dans l'obscurité, une batterie pourrait se décharger à travers la cellule dépendrait bien sûr de l'impédance vue depuis la batterie [22].

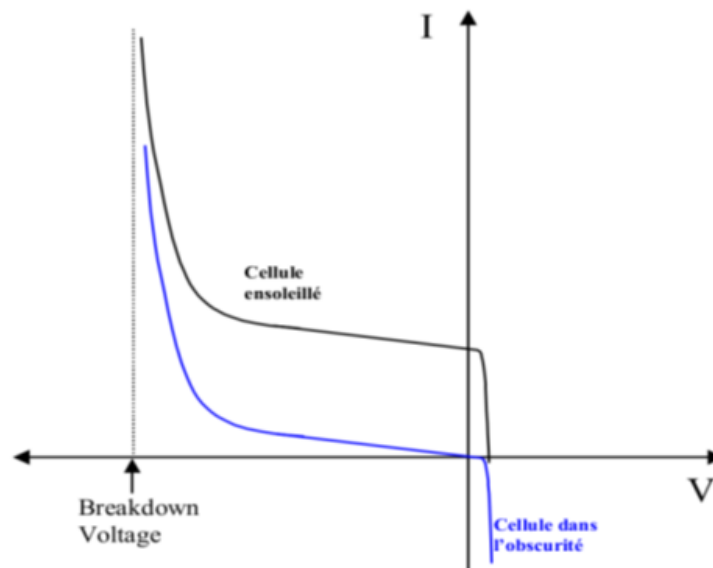


Figure II.11: Caractéristiques I-V d'une cellule solaire ensoleillée et dans l'obscurité

## II.10 Conclusion

Les performances des générateurs PV dépendent fortement des conditions climatiques, principalement du rayonnement solaire, de la température des modules, et des autres paramètres comme humidité et la résistance des modules PV?etc., dans ce chapitre, nous présentons les effets importants sur les propriétés et le rendement des modules PV.



## Chapter III

---

# Etude de l'emplacement des panneaux photovoltaïques à l'ESSAT

---

### SOMMAIRE

---

III.1 INTRODUCTION . . . . .	32
III.2 PRÉSENTATION DU SYSTÈME . . . . .	32
III.2.1 Panneaux PV . . . . .	32
III.2.2 Régulateur MPPT . . . . .	32
III.2.3 Batterie . . . . .	33
III.2.4 L'onduleur . . . . .	33
III.3 PRÉSENTATION DU SITE D'EMPLACEMENT . . . . .	33
III.3.1 Situation géographique . . . . .	34
III.3.2 La surface disponible pour l'emplacement . . . . .	34
III.4 L'EMPLACEMENT DU PROJET . . . . .	36
III.4.1 Support de fixation des modules . . . . .	36
III.4.2 Les modules . . . . .	37
III.4.3 Les régulateurs de charge . . . . .	40
III.4.4 Les batteries . . . . .	41
III.4.5 Les onduleurs . . . . .	41
III.5 SYSTÈME DE PROTECTION . . . . .	42
III.5.1 Partie courant continu . . . . .	42
III.5.2 Partie courant alternatif . . . . .	44
III.6 L'ENTRETIEN DU SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE . . . . .	47
III.6.1 Les modules . . . . .	47
III.6.2 Les batteries . . . . .	47
III.6.3 Le régulateur . . . . .	48
III.6.4 L'onduleur . . . . .	48
III.6.5 Le câblage . . . . .	49
III.7 LES FUSIBLES ET LES INTERRUPTEURS . . . . .	49
III.8 CONCLUSION . . . . .	49

---

## III.1 Introduction

Les installations photovoltaïques autonomes ont pour rôle d'alimenter des récepteurs électriques de façon fiable, c'est pour cela que la production de cette énergie se repose sur le matériel choisit et son emplacement.

Dans ce chapitre, nous allons décrire les différentes étapes pour l'emplacement du projet photovoltaïque avec batterie pour l'alimentation électrique de l'école supérieure en sciences appliquées de Tlemcen (ESSAT), et aussi les caractéristiques des composants utilisés pour la protection.

## III.2 Présentation du système

### III.2.1 Panneaux PV

Table III.1: Tableau récapitulatif pour les résultats de dimensionnement des panneaux

Nombre de panneaux	268 Panneaux	séries	4
		Panneaux parallèles	67
puissance nominale unitaire (STC)	410 Wc	puissance nominale total (STC)	109880 Wc
Surface du panneau PV	$2m^2$	Surface du champ PV	539 m2

### III.2.2 Régulateur MPPT

Table III.2: Tableau récapitulatif pour les résultats de dimensionnement du régulateur MPPT

Nombre de Régulateurs		29	
Courant unitaire de charge nominal		70 A	
Tension PV maximale	150 V	Tension de charge "d'absorption"	48 V
La puissance totale supportée par les régulateurs		116 kW	

### III.2.3 Batterie

Table III.3: Tableau récapitulatif pour les résultats de dimensionnement de la batterie

Nombre de batteries	676	Batteries séries	4
		Batteries parallèles	169
Capacité unitaire de batterie	296 Ah	Capacité Total de batterie	50024 Ah
Tension unitaire de batterie	12 V	Tension de parc de batterie	48 V

### III.2.4 L'onduleur

Table III.4: Tableau récapitulatif pour les résultats de dimensionnement de l'onduleur

Nombre de l'onduleur		8	
Puissance unitaire de l'onduleur	15 kW	Puissance Total de l'onduleur	120 kW
Tension de sortie de l'onduleur		230 V	

## III.3 Présentation du site d'emplacement

Le site dont nous allons installer le système PV avec Batterie est l'école supérieure en sciences appliquées (ESSAT) située à Bel-Horizon, wilaya de Tlemcen, au nord-ouest de l'Algérie.



Figure III.1: Ecole supérieure en sciences appliquées de Tlemcen

L'école se compose de différents espaces : les salles de cour et TD, les salles de

dessin, l'administration, salle de conférences, laboratoires ainsi qu'un espace extérieur pour l'éclairage de nuit.

### III.3.1 Situation géographique

L'ESSAT est située géographique comme suit :

1. Altitude : 813 m.
2. Latitude :  $34.877^{\circ}$  Nord.
3. Longitude :  $1.327^{\circ}$  Ouest.

Selon la latitude, l'exposition quotidienne varie d'un endroit à l'autre, car l'énergie disponible au sol dépend de l'angle d'incidence des rayons solaires. Les sites d'altitude sont généralement plus favorisés par l'ensoleillement que ceux de plaine.

### III.3.2 La surface disponible pour l'emplacement

Pour l'installation de panneaux photovoltaïques, nous choisirons le toit de l'école, nous allons donc calculer sa surface à partir du site [www.google.com/maps](http://www.google.com/maps).

#### III.3.2-a Bloc A

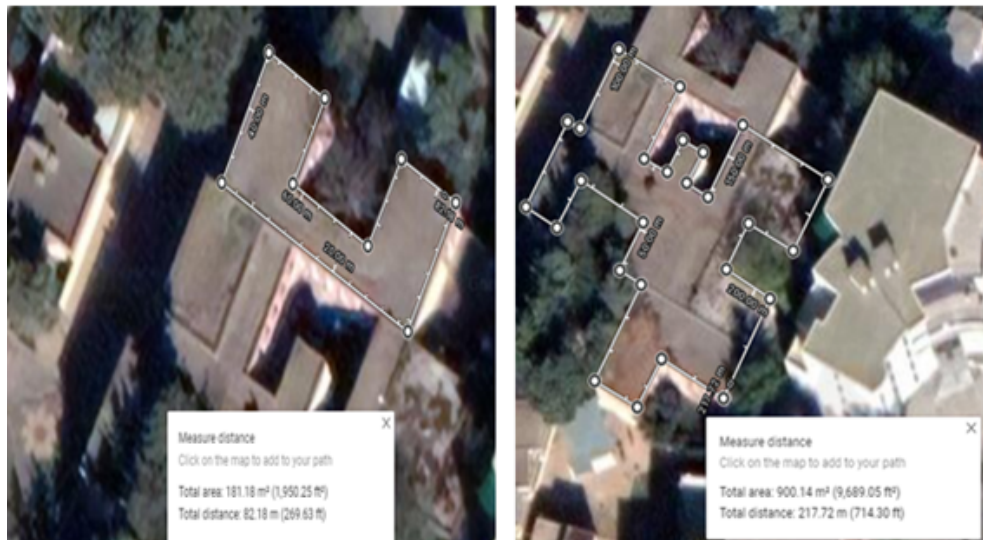


Figure III.2: Dimensions de surface du toit du bloc A

$$S_A = 181 + 900 = 1181m^2$$

III.3.2-b Bloc B

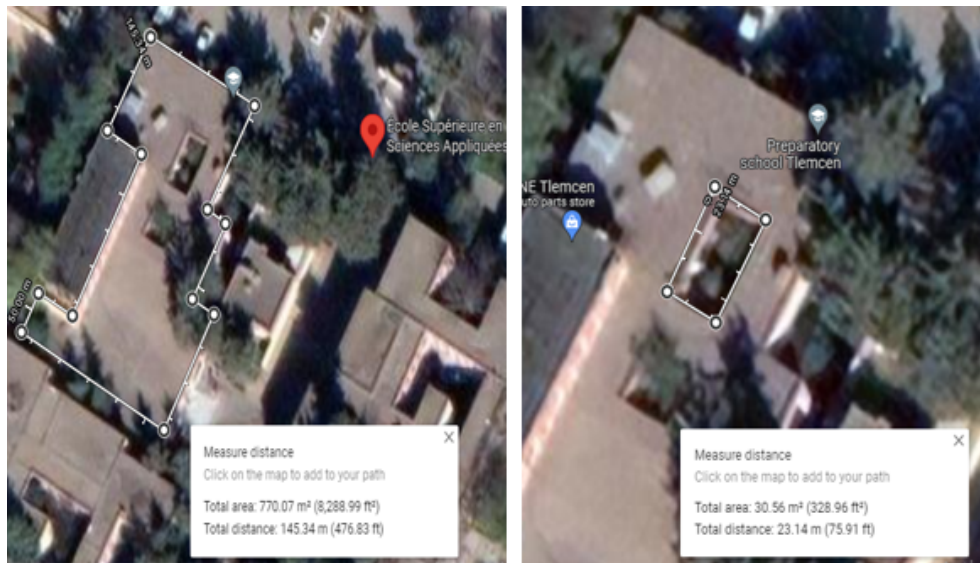


Figure III.3: Dimensions de surface du toit du bloc B

$$S_B = 770 \times 30 = 740m^2$$

III.3.2-c Bloc C



Figure III.4: Dimensions de surface du toit du bloc C



$$S_C = 850m^2$$

### III.3.2-d Bloc administratif

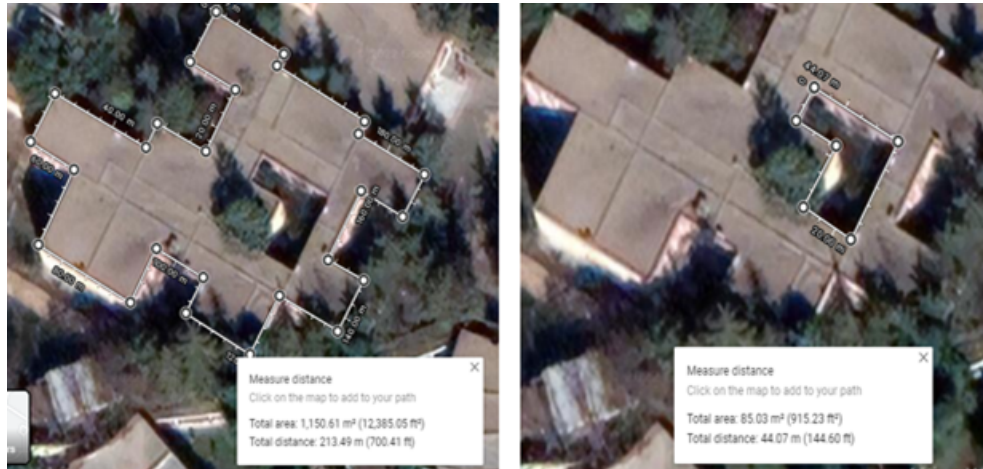


Figure III.5: Dimensions de surface du toit du bloc administratif

$$S_{ad} = 1150 - 85 = 1075m^2$$

Donc, la surface totale disponible du toit est :

$$S_T = S_A + S_B + S_C + S_{ad} = 1181 + 770 + 850 + 1075 = 3876m^2$$

## III.4 L'emplacement du projet

L'emplacement de projet se déroule en plusieurs étapes :

### III.4.1 Support de fixation des modules

Au début, on met la fondation à base de béton armé, la dimension minimale de ces plots sont de  $300mm \times 300mm \times 300mm$ , et après on pose le support qui maintient les panneaux fixés avec l'inclinaison et l'orientation choisies. On a choisit des supports en aluminium fabriqués par CHIKO Solar Structure.



Figure III.6: Support de module PV en aluminium, montage solaire au sol, 2 mètres

### III.4.2 Les modules

Une fois le module fixé, le travail suivant est le positionnement des panneaux.

On a utilisé 268 panneaux de type JKM410M-72H fabrique chez JINKOSOLAR, qui comportent 104 cellules photovoltaïques de type monocristallin. Dimensions :  $2008mm \times 1002mm \times 40mm$  pour un poids de 22.5 kg.



Figure III.7: Module PV

L'orientation des panneaux est vers sud

L'inclinaison est de  $35^\circ$ .

Vu que le système d'installation est très important, on va diviser le champ PV en 10 petits champs, 10 boîtiers de raccordement vers le régulateur, comprenant 4 modules en série et 7 En parallèle, les câbles utilisés pour raccorder les panneaux et boites de raccordements sont de section  $S = 6mm^2$ .

La distance entre les panneaux est calculée par la formule suivante :

$$d + b = h(\cos \beta + \sin \beta / \tan \alpha)$$

Avec:

$h$  : hauteur de panneau.

$\alpha$  : hauteur solaire minimum (généralement prise le 21 décembre soit d'un angle de  $16^\circ$ ).

$\beta$  : inclinaison du panneau.

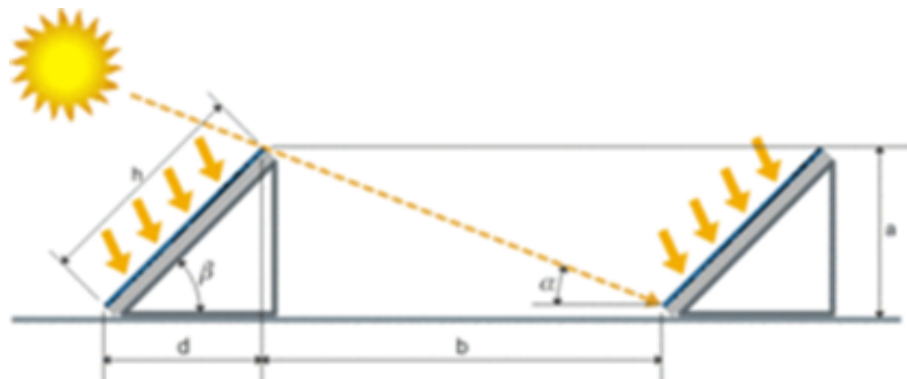


Figure III.8: la distance entre deux panneaux photovoltaïque

En considérant des capteurs de 1,2 m de large, l'entre-axe des rangées de capteurs est de :

$$D = 2 \times (\cos 35^\circ + \sin 35^\circ / \tan 16^\circ) = 5.63m$$

Donc, la distance entre deux panneaux est de 5.63 m

#### III.4.2-a Simulation avec logiciel sketchup

Sketchup est un logiciel de modélisation 3D, d'animation et de cartographie orienté vers l'architecte, initialement édité par la société @Last Software (racheté par Google ensuite). Ce logiciel se caractérise par des outils simples (rotation, extrusion, déplacement, etc.), qui en font un logiciel de 3D très différent des modeleurs 3D classiques. Il a été racheté



en 2012 par la société Trimble.

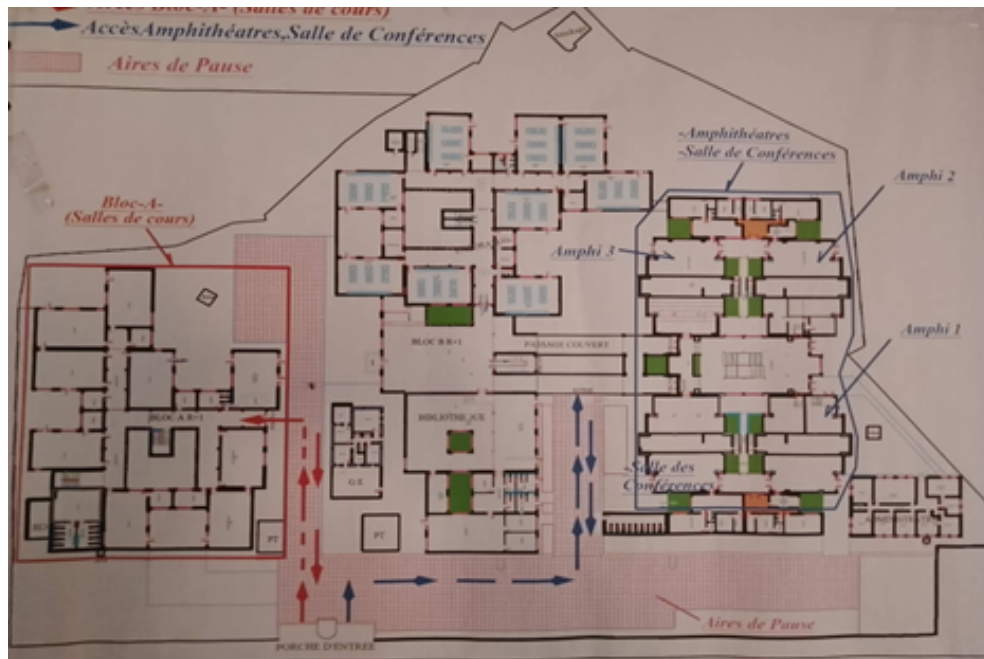


Figure III.9: Le plan architectural de l'école en 2D

A partir du plan architectural version autocade, nous avons pu dessiner l'école en 3D en utilisant le logiciel sketchup avec les dimensions réelles.

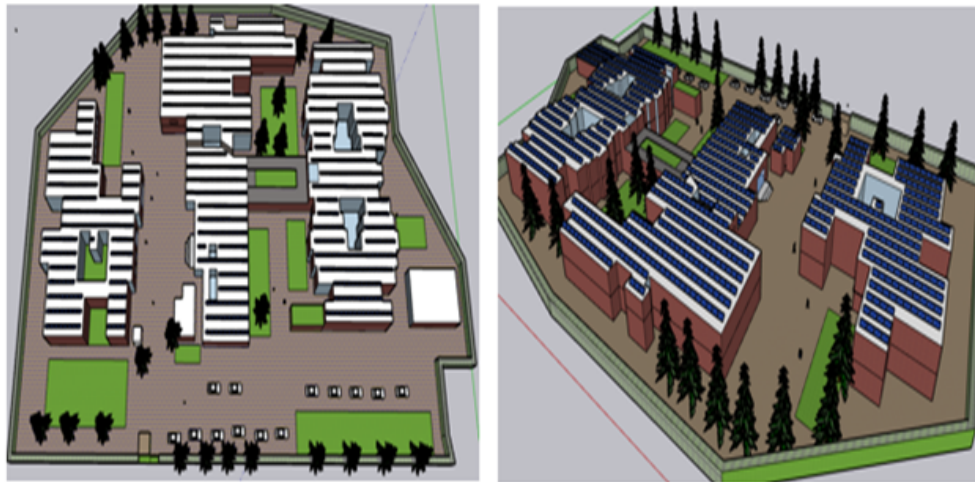


Figure III.10: L'emplacement des panneaux photovoltaïques sur le toit de l'école

Ce plan donne une vision globale de notre projet et plus précisément l'emplacement de panneaux solaires.

### III.4.2-b L'emplacement des modules :

Lors de l'installation des modules PV il faut respecter quelques règles nécessaires pour assurer un bon fonctionnement des modules.

Le problème majeur c'est "l'ombrage". Donc, il faut bien calculer les distances entre le lieu de l'emplacement des modules et les différents obstacles existents tel que les arbres et les murs.

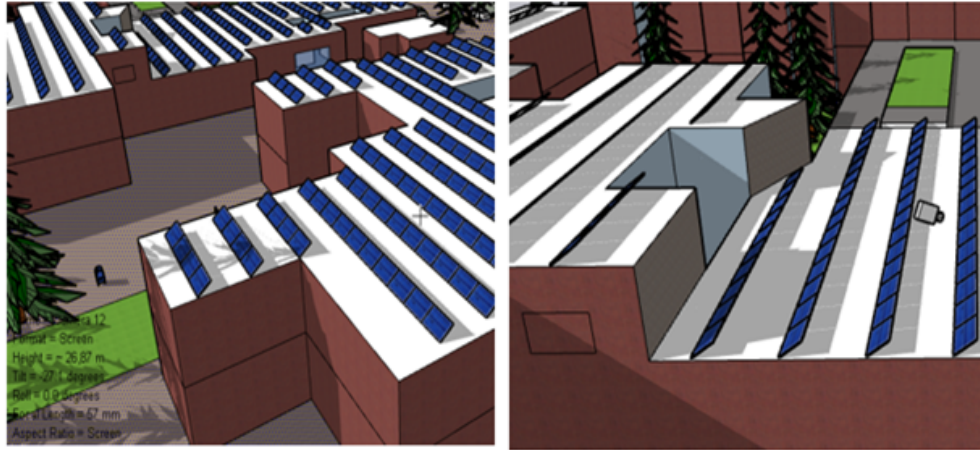


Figure III.11: Ombre partielle exposée sur le toit

Donc, par rapport à la simulation qu'on a faite sur le site d'installation, le meilleur emplacement pour les modules PV est le toit du Bloc A et celui du bloc administratif.

### III.4.3 Les régulateurs de charge

La batterie c'est l'élément le plus cher dans l'installation photovoltaïque autonome, donc il est indispensable d'intégrer un régulateur pour la gestion de la charge et la décharge du parc de batteries.

Le régulateur doit être installé à la hauteur des yeux (fixe au mur avec un support), soit à peu près 1.50 m du sol afin que l'utilisateur puisse bien voir les indications lumineuses. Il est placé le plus près possible de la batterie et du module afin d'éviter des pertes inutiles.

On a utilisé 29 régulateurs MPPT de la marque victron de (150V, 70A, 4000W), relie les boîtes de raccordement avec les régulateurs avec des câbles de  $S = 6mm^2$ .



Figure III.12: Régulateur

#### III.4.4 Les batteries

Les batteries sont placées dans un local ventilé, car la durée de vie et les performances dépendent fortement de la température ambiante, et aussi en dehors des locaux où des personnes sont susceptibles de séjourner.

La batterie est installée sur un support (en bois si possible enduit d'une protection contre l'agression de l'acide). De plus, elle doit être aussi proche que possible du panneau et du régulateur de charge (pour minimiser le coût du câble et la chute de tension).



Figure III.13: Batterie

On a utilisé 676 batteries de (12V, 296 Ah) a base de Plomb de la marque Rolls modelé 12-CS-11PS, les câble de raccordement de batteries et régulateur sont de sections  $S = 25mm^2$ .

#### III.4.5 Les onduleurs

L'onduleur se trouve également dans un local aéré. Pour assurer une bonne ventilation, la distance entre les deux onduleurs est bien respectée (15 cm au minimum).

Il doit être placé au niveau des yeux pour assurer la lisibilité de l'écran, aussi il doit être fixé dans un local différent du local des batteries car les dégagements gazeux provenant des batteries peuvent avoir des effets explosifs ou de corrosion.

L'onduleur doit être installé dans un lieu sec et protégé du rayonnement direct du soleil, des sources de chaleur et d'humidité.

L'onduleur doit être installé à une distance minimale de la batterie afin d'éviter des chutes de tension excessives.



Figure III.14: Onduleur

Par rapport au besoin de l'école et la disponibilité au marché, on a choisi un onduleur de 15 kW de la marque Solax model X3-15.0P, relie avec la partie DC par des câbles de  $S = 50mm^2$ .

## III.5 Système de protection

Le choix des organes de protection peut être classé en deux groupes : la partie courant continue et la partie courant alternative. Le choix des protections est régit selon la norme solaire UTE C15-712

### III.5.1 Partie courant continu

#### III.5.1-a Les fusibles

Dans les installations photovoltaïques, le rôle des fusibles est de protéger les modules photovoltaïques des risques de surintensité. Lors de l'apparition d'un défaut électrique, le courant est anormalement élevé par rapport au courant nominal conduit. Le fusible agit alors comme un organe coupant : le fil métallique qu'il contient fond sous l'apport de chaleur provoqué par le défaut électrique.

La norme du photovoltaïque impose une protection contre les surintensités à partir de 3 strings en parallèles. Le risque doit être éliminé par la présence de fusible sur chaque chaîne. Leur calibre doit être 1.25 fois le courant maximal de la chaîne dans les conditions standards. Concrètement, les fusibles sont placés dans des porte-fusible

eux-mêmes installés dans les coffrets de protection.

Chaque string (chaîne PV parallèle) est protégé par deux fusibles, un pour le câble de polarité négative et l'autre pour le positive.

$$I = 1.25 \times I_{cc} \times N_p$$

$$I = 1.25 \times 10.6 \times 7$$

$$I = 92.75A$$

Donc, on utilise un fusible de  $I=100\text{ A}$ , entre la boîte de raccordement et le régulateur.



Figure III.15: Fusible

### III.5.1-b Interrupteur-sectionneur

Le guide solaire exige la mise en place d'un interrupteur général en amont de l'onduleur, remplissant la fonction de coupure en charge préalable à tout sectionnement. En effet, dans les coffrets de protection, les portes-fusibles hors charge. Ceci impose en conséquence la présence d'un interrupteur-sectionneur.

Le sectionneur DC permet d'isoler électriquement le champ PV afin de permettre des opérations de maintenance en sécurité. L'interrupteur-sectionneur doit être dimensionné selon la règle suivante :

Pour un dispositif installé entre le régulateur et l'onduleur, si le courant maximal qui sort du régulateur est de  $70\text{ A}$ , on utilise un sectionneur de  $I=100\text{ A}$ .



Figure III.16: Interrupteur-sectionneur

### III.5.2 Partie courant alternatif

Le guide photovoltaïque impose côté alternatif la mise en place d'un interrupteur-sectionneur de tête, d'un dispositif de protection différentielle, d'une protection magnétothermique ainsi que de parafoudres AC.

#### III.5.2-a Disjoncteur différentiel

Le disjoncteur différentiel est constitué de l'association d'un disjoncteur magnétothermique et d'un bloc différentiel. Il a pour rôle de réaliser la protection des biens et des personnes en protégeant notamment l'onduleur contre les surcharges et en éliminant les risques de contact indirect. Les calibres du disjoncteur et de son différentiel associé correspondent au calibre normalisé 1.5 fois le courant maximal fourni par l'onduleur.

Le courant maximal sortie par régulateur :  $I_{max} = 35.85A$

Donc, on utilise un disjoncteur de  $I=63 A$ .



Figure III.17: Disjoncteur différentiel

### III.5.2-b Parafoudre AC

Les parafoudres AC permettent de protéger les modules PV contre les risques de surtensions induites dans le circuit dans la partie alternative.

Le choix entre un parafoudre de type 1 et de type 2 dépend du niveau aéraulique du site. La norme solaire UTE C15-712 présente le tableau ci-dessous qui régit le choix du type de parafoudre.

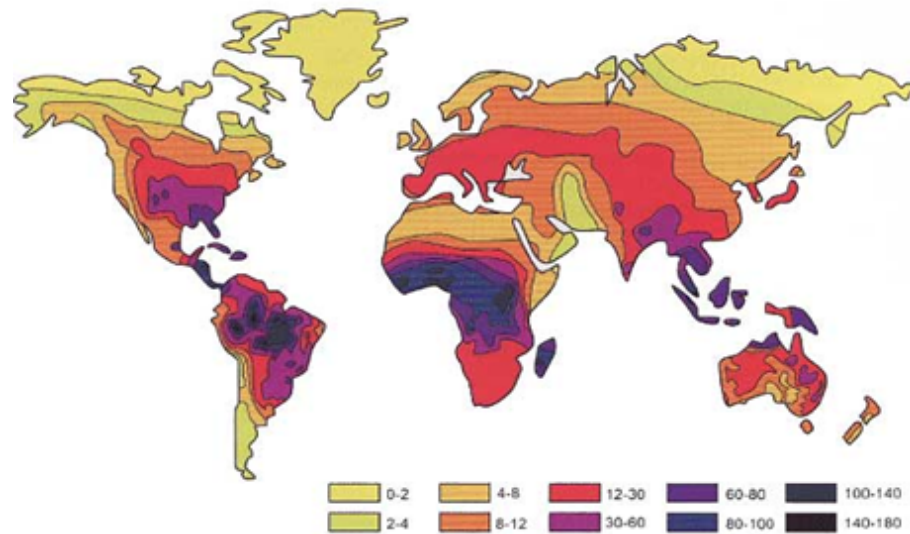


Figure III.18: Carte des densités de foudroiement (niveau kéraunique) dans le monde [15]

Table III.5: Choix de la protection par parafoudre selon la norme solaire UTE C15-712

Caractéristique de l'installation	$Nk < 25$		$Nk > 25$	
	Coté DC	Coté AC	Coté DC	Coté AC
Bâtiment ou structure équipée d'un paratonnerre	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 1	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 1
Alimentation BT par une ligne entièrement ou partiellement aérienne	Peu utile Type 2	Recommandé Type 2	Recommandé Type 2	Obligatoire Type 2
Alimentation BT par une ligne entièrement souterraine	Peu utile Type 2	Peu utile Type 2	Recommandé Type 2	Recommandé Type 2

L'endroit où nous allons installer le système PV se situe dans une place de faible densité de foudroiement ( $Nk$  moins de 25), et pour le caractéristique de l'installation c'est une alimentation BT par une ligne entièrement ou partiellement aérienne.

Donc, d'après la norme solaire UTE C15-712 le choix parafoudre est Un **parafoudre AC de type 2**.



Une fois le type de parafoudre défini, il faut dimensionner la valeur du courant nominal de décharge  $I_n$  qui dépend du niveau d'exposition aux surtensions comme suit :

$$F_{pv} = NK \times (1 + \delta + \phi)$$

$Nk$  : Niveaux karénique de local

$\phi$  : donnée de tableaux III.6.

$\delta$  : donnée de tableaux III.7.

On va déterminer la valeur de  $\delta$  et  $\phi$  d'après les tableaux ci dessous :

Table III.6: Valeurs de  $\phi$  selon la norme solaire UTE C15-712

Condition d'utilisation	Obligatoire	Recommandé	Peu utile
$\phi$	2	1	0

Table III.7: Valeurs de  $\delta$  selon la norme solaire UTE C15-712

Situation de champ PV	Complètement entouré de structure	Quelque structure a proximité ou inconnues	Terrain plat ou découvert	Sur une crête présente de pant d'eau site montagneux
$\delta$	0	0.5	0.75	1

Dans notre cas :

Condition d'utilisation : Recommandé  $\phi = 1$

Situation de champ PV : Terrain plat ou découvert  $\delta = 0.75$

$Nk$  entre 8 et 12 donc on prend la valeur maximale  $Nk = 12$

$$F_{pv} = 12 \times (1 + 1 + 0.75) = 33$$

Le tableau suivant permet de choisir  $I_n$  en fonction du paramètre  $F_{pv}$ .

Table III.8: Choix de  $I_n$  en fonction de  $F_{pv}$

Estimation de risque $F_{pv}$	$I_n (kA)$
$F_{pv} < 40$	5
$40 < F_{pv} < 80$	10
$F_{pv} > 80$	20



Donc le choix final du parafoudre :

Parafoudre AC de type 2 de  $I_n = 5kA$ .



Figure III.19: Parafoudre

Le parafoudre AC doit être installé au plus près de l'onduleur (une distance inférieure à 30m) et raccordé directement à la terre.

## III.6 L'entretien du système photovoltaïque

### III.6.1 Les modules

On doit vérifier que rien ne fait de l'ombre aux panneaux et que les connecteurs sont bien serrés et que le support ne présente aucune trace de corrosion.

Pour fournir une puissance optimale, les modules doivent être propres. Donc, il faut faire un nettoyage annuel ou 2 fois par an quand les panneaux ne sont pas exposés à un fort ensoleillement. On utilise l'eau tiède sans calcaire avec une éponge ou un chiffon doux et propre. On doit surtout éviter l'eau froide sur un panneau chaud, car il provoque un choc thermique et donc sera endommagé.

### III.6.2 Les batteries

Tout d'abord, la première charge de la batterie a un impact sur sa durée de vie, elle doit donc être complètement chargée avant l'utilisation, en plus il faut vérifier les connexions et dépoussiérer les surfaces.

Le nettoyage doit se faire à l'extérieur et au dessus de la batterie avec un chiffon propre et sec.

**Contrôles visuels des batteries :**

- Vérifier les connexions des éléments
- Fissures des éléments.
- Les fuites d'électrolytes
  - **Fuites d'électrolyte** : avec un chiffon, nettoyer les dépôts d'électrolyte sur les bacs des éléments. Pour ce faire, utiliser uniquement de l'eau propre.
  - **Corrosion des bornes et des connexions** : une des principales causes de la mauvaise performance des batteries est la corrosion des bornes et des connexions, qui peut entraîner une défaillance des bornes ou d'une rupture d'éléments.

En cas de corrosion des connexions, il faut effectuer les opérations suivantes :

- \* Isoler complètement la batterie de tous les branchements : branchement au champ, branchement à l'onduleur (régulateur de charge).
- \* Isoler l'élément ou les éléments concernés (selon les prescriptions du constructeur).
- \* Utiliser une brosse métallique pour nettoyer la connexion ou la borne corrodée.
- \* connecter les éléments et serrer les connexions.
- \* Rebrancher la batterie dans le circuit de connexion au régulateur de charge et à l'onduleur.

### III.6.3 Le régulateur

Le régulateur de charge est un équipement qui nécessite peu d'entretien. On effectue chaque 3 mois les opérations suivantes :

- Vérifier l'aération du régulateur de charge.
- Vérifier les connexions aux bornes du régulateur.
- Observer le bon fonctionnement, lorsque le soleil brille, l'indicateur de charge des batteries doit être allumé, si ce n'est pas le cas, il faut vérifier que les batteries se chargent.

### III.6.4 L'onduleur

Tout d'abord, il est recommandé de dépoussiérer l'entrée d'air de l'onduleur et de s'assurer que la grille de ventilation n'est pas obstruée. Le contrôle simple de l'onduleur comprend également la vérification de son bon fonctionnement :

- Vérifier que les câbles de raccordement AC et DC sont correctement serrés.
- Nettoyer les boîtiers de protection électrique AC et DC de l'onduleur.
- Regardez qu'il n'y ait pas de trace d'échauffement et/ou de corrosions au niveau des connexions.

### III.6.5 Le câblage

Les câbles électriques relient :

- Les modules au régulateur de charge.
- Les batteries au régulateur de charge.
- L'onduleur avec la partie DC.
- L'onduleur aux récepteurs.

L'inspection des câbles électriques:

- inspecter les câbles à chaque visite d'entretien pour être sûr qu'ils sont en bon état
- Vérifier les connexions aux bornes des batteries.
- Suivre le câble de bout à l'autre pour chercher les détériorations suivantes : coupure, isolant usé ou mangé dénudant l'âme des conducteurs. Tout câble endommagé doit être remplacé.
- Protéger les câbles avec un fourreau s'ils sont rongés par des animaux.

### III.7 Les fusibles et les interrupteurs

Des inspections de ces appareils seront effectuées mensuellement :

- Vérifiez que l'interrupteur fonctionne correctement.
- Le fusible vitrifié est en bon état. Remplacez les fusibles endommagés ou défectueux par des fusibles du même ampérage
- Vérifier le bon état des câbles et piquets de terre

### III.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé de l'emplacement des composants du système PV. Ensuite, nous avons décrit les caractéristiques des éléments de protection pour la partie DC et AC de notre installation. Enfin, nous avons expliqué l'entretien des différents dispositifs de l'installation photovoltaïque autonome.

---

## Conclusion Générale

Notre étude est basée sur l'emplacement d'un système photovoltaïque autonome avec batterie pour avoir un bon rendement de système.

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

Dans le deuxième chapitre, nous avons discutons sur l'influence des différents paramètres climatiques et autres sur les caractéristiques du panneau photovoltaïque.

Pour le dernier chapitre, nous avons présentés toutes les étapes pour la réalisation de l'installation photovoltaïque après étude et dimensionnement. Enfin, nous avons effectué une étude sur différents éléments de protection d'un l'installation photovoltaïque. Dans notre travail, l'étude qu'on a réalisé était dirigé dans ce sens, et cela en prenant en compte quatre paramètres importants dans une installation photovoltaïque : le disjoncteur, le fusibles, le parafoudre, le sectionneur.

L'emplacement des panneaux photovoltaïques dans notre projet se fait sur les toits de l'école, et pour assurer le meilleur rendement il faut prendre en considération toutes les obstacles naturels tels que l'ombrage.

Le photovoltaïque est cependant une solution d'avenir qui mérite d'être plus exploitée. Cette source d'énergie permet la production autonome d'énergie propre sans combustibles fossiles et donc une réduction des gaz à effet de serre ainsi qu'une considérable réduction de la pollution atmosphérique, l'implantation et l'installation des systèmes PV sont nécessaires pour que le système soit robuste, fiable et adapté aux besoins énergétiques.

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine de la production d'énergie solaire, et de mettre en œuvre nos compétences ainsi acquises durant tout notre parcours ayant trait à l'étude se rapportant à la réalisation de ce projet.

**Perspectives :**

On envisage d'améliorer deux axes très importants dans notre étude qui sont :

- le dimensionnement électrique des éléments de protection de l'installation
- le choix optimal des sections des câbles

Afin de minimiser les chutes de tensions et les pertes énergétiques.

---

## Bibliographie

---

## Bibliographie

- [1] Mr.Boukhlifa Hamza. Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque De 300 KW. Mémoire de Master, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES, 2017.
  
- [2] <https://www.sunballast.it/fr/approfondissements/photovoltaique-une-histoire-ancienne-un-avenir-radieux/> consulter le 20/05/2022
  
- [3] <https://opera-energie.com/energie-solaire/> consulter le 27/05/2022
  
- [4] Mr. Mohamed El Amine Khaled BENALOUACH. Modélisation, Simulation et Optimisation d'un Système Energétique de Production Photovoltaïque associé Accumulateur. Mémoire de magister, Université ABOU BAKER BELKAID ?Tlemcen, 2013.
  
- [5] <https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/> consulter le 07/06/2022
  
- [6] <http://www.foad.uadb.edu.sn/mod/book/tool/print/> consulter le 10/06/2022
  
- [7] Benbouza Naima. Etude du rayonnement solaire dans la région de Batna. Mémoire de Magister en Electrotechnique, UNIVERSITE DE BATNA, 2008.
  
- [8] Mark Hankins. Stand-Alone Solar Electric Systems : The Earthscan Expert Handbook for Planning, Design and Installation . 2010.
  
- [9] Naveen Shankarappa, Mufasssireen Ahmed, Shashikiran, Dr. H Naganagouda . Solar Photovoltaic Systems ? Applications & Configurations. International Research Journal of Engineering and Technologie (IRJET) ,2017

- [10] <https://www.photovoltaique.info/fr/consulter> le 13/06/2022
- [11] <https://mypower.engie.fr/energie-solaire/conseils/>.consulter le 15/06/2022
- [12] <https://mon-panneau-solaire.info/panneaux-solaires/consulter> le 17/06/2022
- [13] <https://mypower.engie.fr/energie-solaire/conseils/>.consulter le 20/06/2022
- [14] <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/>.consulter le 22/06/2022
- [15] IBRAHIM TAHRAOUI et AMINE HALIL. Dimensionnement et Etude d'une installation photovoltaïque pour une habitation domestique. mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen Faculté de Technologie, 2017
- [16] GASMI Assia. L'étude expérimentale de l'influence de l'inclinaison et de vent sur le rendement d'une cellule PV. Mémoire de Master, UNIVERSITE L'ARBI BEN M'HIDI-Oum El Bouaghi-, 2019
- [17] <https://perso.uclouvain.be/ernest.matagne/>consulter le 24/06/2022
- [18] Salim ARAB, Dalila TOUDERT. Etude d'un Système Photovoltaïque. mémoire de Master, UNIVERSITEMOULOUDE MAMMERI DE TIZI-OUZOUFACULTE DE GENIEELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE, 2017.
- [19] KHECHAFI Sofiane, BENLAACHI Salah. étude et analyse des performances d'un générateur photovoltaïque pour un système autonome. Mémoire de Master, ECOLE SUPERIEURE EN SCIENCES APPLIQUEES, TLEMEN, 2019.
- [20] BENBLIDIA HOUSSAM, KERKAR AMAR .Etude de effet de l'ombrage sur un système photovoltaïque. Mémoire de master, université Saad Dahlab de Blida, 2014.
- [21] Manoj Kumar Panjwani, Dr. Ghous Bukshsh Narejo. Effect of Humidity on the Efficiency of Solar Cell (photovoltaic). International Journal of Engineering Research and General Science Volume 2, Issue 4, June-July, 2014.
- [22] IMESSAOUDENE Saïd, LACEB Chafie. Détection et Localisation de Défauts dans un Système Photovoltaïque. Mémoire de Master, UNIVERSITÉ MOULOUDE MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2013



- 
- [23] Thomas Mambrini. **Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïque sen Conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies.** Météorologie. Université Paris Sud - Paris XI, 2014. Frans. NNT : 2014PA112380. tel-01164783.
- [24] *<https://www.africa.hager.com/> consulter le 02/07/2022*

---

## Annexes

## Annexe 1: Fusible



Taille	Intensité	Tension max.
22 x 58 mm	100 A	500 V (AC) 80 V (DC)
Pouvoir de coupure	Fabriqué en	Normes
120 kA (AC) 15 kA (DC)	Espagne	<ul style="list-style-type: none"><li>• IEC 60269-1</li><li>• IEC 60269-6</li><li>• EN 60269-1</li><li>• EN 60269-2</li></ul>

## Annexe2: Interrupteur-sectionner



### C120 NA-DC 1000VDC 100A 2 P INTERRUPTEUR

A9N61701

#### Principales

Utilisation de l'interrupteur	Protection onduleur photovoltaïque Champ photovoltaïque
Gamme	Acti 9
Gamme de produit	C120
Type de produit ou équipement	Interrupteur-sectionneur
Nom du produit	C120
Nom de l'appareil	C120NA-DC
Description des pôles	2P
Catégorie d'emploi	DC-21B
Aptitude au sectionnement	Oui se conformer à EN/CEI 60947-3

#### Complémentaires

[Ie] courant assigné d'emploi	100 A DC-21B 1000 V CC
[Ui] tension d'isolement	1000 V CC
[Uimp] tension assignée de tenue aux chocs	6 kV

Activer Win  
Accédez aux ns

---

## Annexe3: Disjoncteur différentiel



Marque	Legrand
Nombre de pôles	2
Tension assignée	230 V
Courant nominal assigné	63 A
Type de montage	Rail DIN
Classe de protection (IP)	IP20
Résistance aux chocs (IK)	IK04
Tension d'alimentation	180-250 V
Type de borne	Borne à vis
Type de connexion	Peigne et câble

## Résumé :

Ce travail a pour l'étude d'un emplacement d'une installation photovoltaïque autonome pour alimenter l'école supérieure en sciences appliquées de Tlemcen par l'énergie électrique.

Après le dimensionnement du système photovoltaïque autonome, nous parlent sur l'emplacement des différents composants du ce système, et aussi les caractéristiques des éléments de protection.

Enfin, nous terminons notre travail par une recherche sur la méthode de suivi pour l'entretien de notre projet.

**Les mots clés :** système PV, l'emplacement, autonome, système de protection, l'entretien.

## ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة موقع منشأة كهروضوئية مستقلة لتزويد المدرسة العليا للعلوم التطبيقية في تلمسان بالطاقة الكهربائية

بعد تحديد حجم النظام الكهروضوئي، نتحدث عن طريقة وضع وتركيب المكونات المختلفة لهذا النظام، وكذلك خصائص عناصر الحماية.

أخيراً، نهي عملنا بالبحث عن طريقة المتبعة من أجل صيانة مشروعنا.

الكلمات المفتاحية: نظام الطاقة الكهروضوئية، الموقع، مستقل، نظام الحماية، الصيانة.

## Abstract:

This work has for the study of a site of an autonomous photovoltaic installation to feed the higher school of applied sciences of Tlemcen by the electric energy.

After the dimensioning of the autonomous photovoltaic system, we're talking about how to install different components of this system, and also the characteristics of the elements of protection.

Finally, we end our work by researching the monitoring method for the maintenance of our project.

Key words: PV system, location, autonomous, protection system, maintenance.