

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Electrotechnique

Spécialité : Commandes Electriques

Par : KHEBICHAT Boumediene et GHERDAINE Moustefa El Amine

Sujet

Etude d'une alimentation autonome de la faculté de Technologie de Tlemcen par panneaux photovoltaïques

Soutenu publiquement, le 23/06/2022, devant le jury composé de :

M BRIKCI NIGASSA MA

Mme GHLAM K

Mme BOURI S

MAA

MCB

MCA

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Président

Examineur

Encadreur

Année universitaire : 2021 /2022

Résumé

L'électricité est devenue une nécessité de la vie quotidienne, et en raison de la demande croissante en énergie, il est nécessaire de trouver d'autres sources de production d'électricité.

Plusieurs sources d'énergie renouvelables ont émergé. Dans notre mémoire, nous étudions un cas d'installation photovoltaïque autonome basée sur l'énergie solaire pour sécuriser la demande en électricité du Département de Génie Électrique de la Faculté de Technologie de Chetaoune Tlemcen.

Abstract

Electricity has become a necessity of daily life, and due to the increasing demand for energy, it is necessary to find other sources of electricity production.

Several renewable energy sources have emerged. In our memory, we study a case of autonomous photovoltaic installation based on solar energy to secure the electricity demand of the Department of Electrical Engineering of the Faculty of Technology of Chetaoune Tlemcen.

ملخص

أصبحت الكهرباء ضرورة في الحياة اليومية، وبسبب الطلب المتزايد على الطاقة أصبح من الضروري إيجاد مصادر أخرى لإنتاج الكهرباء

ظهرت العديد من مصادر الطاقة المتجددة. في مذكرتنا، ندرس حالة تركيب كهروضوئي مستقل يعتمد على الطاقة الشمسية لتأمين الطلب على الكهرباء لقسم الهندسة الكهربائية بكلية التكنولوجيا في شتوان تلمسان.

Dedicaces 1

JE dédie mon travail à mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et prières tout au long de mes études,

A mes frères pour leur encouragements permanents, et leurs soutien moral,

A toute ma famille, mes cousins et mes amis pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire

GHERDAINE MOUSTEFA EL AMINE

Dedicaces 2

JE dédie mon travail à mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et prières tout au long de mes études,

A ma sœur pour son encouragement permanent, et son soutien moral,

A toute ma famille, mes cousins et mes amis Sofiane, Ismail, Omar, Riad, Anes et Tayeb, pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

KHEBICHAT BOUMEDIENE

Remerciements

Mener à bien un projet de fin d'étude est un exercice difficile, exigeant un fort investissement, mais apportant nécessairement, en retour, un sentiment de satisfaction dû à l'accomplissement réussi d'un travail.

De ce fait remercier, c'est le plaisir de se souvenir de tous ceux qui, par leurs encouragements, leur disponibilité, leur amitié et leur compétence, en nous ayant permis de finaliser nos travaux de recherche.

Qu'il nous soit permis, au terme de notre formation en électrotechnique, de reconnaître les mérites et la participation de tous ceux qui ont contribué, au pris de multiples sacrifices, à notre formation et à l'élaboration du présent travail.

Nous tenons à exprimer nos plus profonds remerciements à notre encadreur Mme BOURI SIHEM, MCA à l'Université de Tlemcen, pour son suivi au quotidien, pour ses conseils, sa disponibilité, son travail constructif et pour toute la confiance qu'elle a su nous témoigner au travers de l'autonomie qu'elle nous accordé durant cette recherche.

Nous remercions Mme GHLAM KARIMA, MCB à l'Université de Tlemcen, et à Mr BRIKCI NIGASSA MOHAMMED AMINE, MAA à l'Université de Tlemcen, qui ont accepté d'examiner et de juger ce travail.

Nous tenons à exprimer une fois notre sincère reconnaissance à nos enseignants et nos amis(es) qui nous ont prouvé une fois de plus leur présence et leur amour au cours de cinq années d'une vie.

KHEBICHAT BOUMEDIENE

GHERDAINE MOUSTEFA EL AMINE

Tlemcen, le 23 Juin 2022

CONTENTS

DEDICACES 1	i
DEDICACES 2	ii
REMERCIEMENTS	iii
GLOSSAIRE	x
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I GÉNÉRALITÉ SUR LE SYSTÈME PV AUTONOME	3
I.1 INTRODUCTION	4
I.2 QU'EST-CE QUE UN SYSTÈME PV AUTONOME [2]	4
I.3 LES CELLULES ET MODULES PV	4
I.3.1 Définition de La cellule photovoltaïque	4
I.3.2 Caractéristique du courant-tension d'une cellule photovoltaïque	5
I.3.2-a Courant de court-circuit (I_{cc})	6
I.3.2-b Tension à circuit ouvert (V_{co})	6
I.3.2-c Facteur de forme FF	6
I.3.2-d Le rendement η	7
I.3.3 Effet du niveau d'éclairement sur la cellule [3]	7
I.3.4 Effet de la température sur la cellule PV [3]	8
I.3.5 Le générateur photovoltaïque [2]	8
I.3.6 La forme d'un module photovoltaïque	8
I.3.7 Les types d'Association des cellules	9
I.3.7-a Association en série	9
I.3.7-b Association en parallèle	10
I.3.7-c Association série et parallèle	11
I.3.8 Caractéristiques courant-tension du module PV	12
I.4 RÉGULATEUR [4]	14
I.4.1 Définition	14
I.4.2 Rôles de la régulation	14
I.4.2-a Gestion de la charge	14
I.4.2-b Gestion de la décharge	14
I.4.2-c Indication de l'état du système	15
I.4.3 Historique des régulateurs	15
I.4.3-a Régulateur "tout ou rien"	15

I.4.3-b	Régulateur MLI	16
I.4.3-c	Régulateur PPM	16
I.4.4	Rendements des régulateurs	16
I.5	L'ONDULEUR [3]	17
I.5.1	Définition	17
I.5.2	Rôle de l'onduleur	17
I.5.2-a	Les onduleurs assistés par une source de tension alternative	17
I.5.2-b	Les onduleurs autonomes	18
I.5.3	Dimensionnement de l'onduleur	18
I.5.3-a	Partie DC	18
I.5.3-b	Partie AC	18
I.5.3-c	Puissance nominale	18
I.5.3-d	Courants de démarrage des appareils électriques	18
I.5.4	Performance de l'onduleur	18
I.5.4-a	Rendement de l'onduleur	18
I.5.4-b	Effet de la température sur l'onduleur	19
I.5.4-c	Consommation en veille	19
I.6	LES BATTERIES	19
I.6.1	Définition	19
I.6.2	Caractéristiques des batteries [5]	20
I.6.3	Différentes technologies de batteries [6]	20
I.6.3-a	La batterie Nickel-Cadmium (Ni-Cd)	20
I.6.3-b	La batterie Nickel-Métal-Hydrure (Ni-MH) :	21
I.6.3-c	La batterie lithium-ion :	22
I.6.3-d	La batterie à l'Acide-Plomb [5]	24
I.7	CONCLUSION	30
II	DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE	31
II.1	INTRODUCTION	32
II.2	LE GISEMENT SOLAIRE [9]	32
II.2.1	Notions de base sur le gisement solaire	32
II.2.1-a	Reconstitution du rayonnement sur un plan horizontal	32
II.2.1-b	Reconstitution du rayonnement sur un plan incliné	34
II.2.2	évaluation des gisements locaux d'énergie solaire [9]	35
II.2.2-a	Influence de la localisation sur le gisement solaire	36
II.2.2-b	Inclinaison et orientation optimales des capteurs photovoltaïques [10]	37
II.2.2-c	Ombrage ou repérage des masques	38
II.2.2-d	Données météorologiques	38
II.3	QUALITÉ D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE AUTONOME [4]	39
II.3.1	Rendement des modules	39
II.3.2	Pertes par échauffement des câbles [13]	41
II.3.3	Rendement du régulateur	42
II.3.4	Pertes par absence du MPPT	42
II.3.5	Rendement des batteries	43

II.3.6	Rendement de l'onduleur	43
II.3.7	Autres pertes	44
II.3.8	Le ratio de performance PV	44
II.4	DIMENSIONNEMENT DU GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE [4]	44
II.4.1	L'énergie d'un générateur photovoltaïque	44
II.4.2	Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque	45
II.4.3	Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser	45
II.5	DIMENSIONNEMENT DU PARC DE BATTERIES [4]	46
II.6	CHOIX DU RÉGULATEUR [16]	47
II.7	DIMENSIONNEMENT DE L'ONDULEUR [18]	48
II.8	DIMENSIONNEMENT DES CÂBLES [13]	49
II.8.1	Courant admissible des câbles	49
II.8.2	Chute de tension	49
II.8.3	Conditions de fonctionnement des câbles photovoltaïques	49
II.9	CONCLUSION	49
III	ETUDE DE L'ALIMENTATION AUTONOME	50
III.1	INTRODUCTION	51
III.2	SITE D'IMPLANTATION	51
III.2.1	Situation géographique de Chetouane Tlemcen	51
III.2.2	Climat de Chetouane Tlemcen	52
III.2.3	Orientation des panneaux	53
III.3	DÉTERMINATION DES BESOINS ÉLECTRIQUES	53
III.3.1	Définition du besoin électrique	53
III.3.2	Inventaire de charge électrique	53
III.3.3	Calculs des besoins électriques	54
III.4	DIMENSIONNEMENT DU CHAMP PV	55
III.4.1	Le nombre du panneau total choisi dans l'installation	56
III.4.2	Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque	56
III.4.3	Les caractéristiques (puissance, courant, tension) du panneau	57
III.5	DIMENSIONNEMENT DU PARC DE BATTERIES	57
III.6	CHOIX DU L'ONDULEUR AVEC UN RÉGULATEUR INTÉGRÉ	58
III.7	DIMENSIONNEMENT DES CÂBLES	58
III.7.1	La section du câble entre les panneaux et l'onduleur	59
III.7.2	La section du câble entre l'onduleur et les batteries	59
III.7.3	La section du câble entre l'onduleur et les appareils	60
III.8	LE SCHÉMA DU SYSTÈME & LE TABLEAU DE DIMENSIONNEMENT	60
III.9	LA SURFACE DU L'INSTALLATION ÉTUDIÉ	61
III.10	L'ÉTUDE ÉCONOMIQUE DE SYSTÈMES	63
III.10.1	L'investissement	63
III.10.2	Financement	63
III.10.3	Le coût d'énergie	63
III.11	CONCLUSION	63
	CONCLUSION GÉNÉRALE	64

BIBLIOGRAPHIE	66
ANNEXE A: BATTERIE	2
ANNEXE B: PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE	5
ANNEXE C: ONDULEUR	8

LIST OF FIGURES

I.1	Système PV autonome avec batteries [2]	4
I.2	cellule PV [2]	5
I.3	Caractéristique courant-tension d'une cellule PV [2]	6
I.4	Effet de l'éclairement sur la cellule [3]	7
I.5	Effet de la température sur la cellule [3]	8
I.6	La constitution d'un module PV [2]	9
I.7	Encapsulation des cellules [2]	9
I.8	Caractéristiques résultantes d'un groupement de (Ns) cellules en séries [2]	10
I.9	Caractéristiques d'un groupement de (Np) cellules en parallèle [2]	10
I.10	(a) Architecture classique d'un panneau solaire photovoltaïque avec diode de protections. (b) Défaillance d'une des cellules du module PV et activation de diode de circulation I_{pv} [2]	12
I.11	Caractéristique ($I_{pv} - V_p$) d'un panneau photovoltaïque et effet des cellules qui composent le module PV [2]	12
I.12	Caractéristique I(V) d'un module photovoltaïque [2]	13
I.13	Types des régulateurs [1]	14
I.14	Courbe de rendement d'un régulateur MLI avec fonction MPPT [4]	17
I.15	Les Types d'onduleur [1]	17
I.16	La batterie Nickel-Cadmium (Ni-Cd) [6]	21
I.17	La batterie Nickel-Métal-Hydrure [7]	22
I.18	La batterie lithium-ion [1]	23
I.19	Structure d'une batterie acide-plomb [5]	24
I.20	Structure d'une batterie acide-plomb [5]	24
I.21	Principe électrochimique de la charge [5]	25
I.22	Processus de surcharge [5]	26
I.23	Evolution du courant de charge en fonction de l'état de charge [8]	27
I.24	Principe électrochimique de la décharge d'une batterie acide-plomb	28
I.25	Production de sulfate de plomb $PbSO_4$ lors de la décharge d'une batterie [8]	29
I.26	Phénomène de la sulfatation [8]	29
I.27	Phénomènes d'autodécharge [8]	30
II.1	Composantes de rayonnements solaires sur un plan horizontal [9]	32
II.2	Composantes de rayonnements solaires sur un plan incliné [9]	34
II.3	Définition de l'air masse [9]	36
II.4	Définition des angles pour un plan incliné : (inclinaison β , azimut χ et l'angle d'incidence θ) [10]	37
II.5	Rendement global et Différentes pertes au sein d'une installation [4]	39

II.6	D'une cellule et d'un module exposés au rayonnement solaire [4]	40
II.7	Modélisation électrique d'un câble [13]	41
II.8	Gain de puissance avec ou sans régulateur MPPT [14]	42
II.9	Rendement de l'onduleur [5]	43
II.10	Aperçu d'une batterie solaire [15]	47
II.11	Aperçu du régulateur [17]	48
III.1	Carte de faculté de technologie Département GEE [19]	51
III.2	Carte de faculté de technologie Département GEE [20]	51
III.3	Données Météorologiques mensuelles de Chetouane (2010) [21]	52
III.4	Carte de l'irradiation solaire de l'Algérie [22]	53
III.5	Panneau Solaire JA 460W 24V Monocristallin PERC (JAM72S20-460/MR) (Annexe A)	56
III.6	La batterie scellée Tensite Blue (Annexe B)	57
III.7	L'onduleur avec un régulateur intégré (Annexe C)	58
III.8	Le schéma de l'installation du système autonome étudié	61
III.9	La taille du panneau batterie (Annexe B)	62
III.10	Une image approximatif du l'emplacement d'installation des panneaux et des batteries [23]	62

Glossaire

Les principales notations et abréviations utilisées dans cette thèse sont explicitées ci-dessous, sous leur forme la plus couramment employée dans le domaine du génie électrique.

Symboles	Signification
α	Azimut de soleil Degré
φ	Latitude
β	Inclinaison
δ	Déclinaison
$\eta_{cellule}$	Le rendement de la cellule
η_{module}	Le rendement du module
ρ	Albédo du sol
ρ	Résistivité
θ_i	l'ongle d'incidence du rayonnement solaire sur un plan incliné
ε	La chute de la tension
η	le rendement

Symboles	Signification
Ah	ampèreheure
AC	courant alternatif
DC	courant continu
FF	facteur de forme
GPV	générateur photovoltaïque
I_{cc}	Courant du court-circuit
I_{ccN_s}	courant de court-circuit de N_s cellules en série
I_{ccN_p}	la somme des courants de court-circuit de (N_p) cellules en parallèle
KTc/q	potentielle thermodynamique
K	la constante de Boltzmann ($1.381 \cdot 10^{-23} \text{ Joules/Kelvin}$)
q	la charge d'un électron
T_c	la température absolue
I_s	le courant de saturation
I_{ph}	le courant photonique
I_{max}	courant maximal
I_p	photocourant
I_{pv}	courant du générateur photovoltaïque
V	la tension
V_{co}	la tension en circuit ouvert
V_{coN_p}	la tension du circuit ouvert des cellules en parallèle
V_{coN_s}	la tension du circuit ouvert des cellules en série
V_{max}	tension maximale
V_{pv}	tension du générateur photovoltaïque
C_p	la capacité selon Peukert (Ampères-heures)
I	le courant de décharge (Ampères)
t	le temps de décharge (heures)
P_{ch}	Puissance crête de panneau photovoltaïque en Watt crête (Wc)
V_{ch}	Tension du champ
$C_{batterie}$	Capacité d'une batterie
P_n	La puissance nominale
$P_{onduleur}$	La puissance du l'onduleur
E_c	Énergie consommée par jour (Wh/j)

Symboles	Signification
MLI	Modulation de Largeur d'Impulsion
N_p	nombre de cellule en parallèle
N_s	nombre de cellule en série
P_{in}	puissance incidente
P_{max}	puissance maximale
PPM	Point de Puissance Maximal
MPT	Maximal Power Tracking
PV	photovoltaïque
BH	l'éclairement dû au rayonnement direct calculé sur un plan horizontal
B_n	l'éclairement dû au rayonnement direct
h	la hauteur du soleil
D_r	L'irradiation diffuse provenant de la diffusion de Rayleigh
D_a	L'irradiation diffuse provenant de la diffusion par les aérosols
D_m	L'irradiation diffuse issue du phénomène de multi réflexion terre atmosphère
DH	L'éclairement dû au rayonnement diffus sur un plan horizontal
HS	l'angle formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil
AZ	l'angle formé par la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et la direction sud de se repère
I_n	l'éclairement dû au rayonnement direct sur un plan incliné
L	Longueur du câble
S_{module}	est la surface du module
$S_{cellule}$	est la surface de la cellule
E_p	Énergie produite de panneau par jour (Wh/jour)
E_c	Énergie totale de consommation par jour (Wh/jour)
I_r	Temps moyen d'ensoleillement journalier (h/jour)
N_m	Nombre total de panneaux photovoltaïques
N_s	Nombre de panneaux connectés en série
N_p	Nombre de panneaux connectés en parallèle
C_{ch}	Capacité du champ de batterie en ampère. Heure (Ah)
N	nombre de jour d'autonomie
D	décharge maximale admissible
U	tension de la batterie (V)
N_{bp}	Nombre de batterie en parallèles
N_{bs}	Nombre de batteries en séries
$L=2l$	la longueur du câble

Introduction générale

Ces dernières années, le développement continu de la société industrielle et l'essor inévitable des transports et des communications ont conduit à un besoin urgent de plus d'électricité, dont la plupart sont produites à partir de source d'énergie fossile et, d'autre part, à l'augmentation du coût de l'énergie conventionnelle, qui est une source nécessaire. Les énergies renouvelables se distinguent comme l'une des solutions les plus prometteuses pour éliminer les émissions de gaz à effet de serre à long terme. Les options énergétiques bénéficient des avantages de l'abondance, de la non-pollution et de l'approvisionnement important dans le monde entier. Tout cela rend urgent de trouver et de développer la meilleure utilisation des sources d'énergie renouvelable, y compris l'énergie solaire photovoltaïque et une heure d'énergie solaire suffit pour alimenter le monde pendant un an. En conséquence, ces dernières années, pour devenir la principale source d'électricité du monde, le système électrique, le marché a dû faire face à de nombreuses difficultés économiques et les surmonter. [1]

La production d'énergie renouvelable intermittente dépend des conditions climatiques, il est donc nécessaire d'avoir un système de stockage de l'énergie produite pour assurer la disponibilité continue de l'énergie.

Le type de source d'énergie étudié dans ce travail est les cellules photovoltaïques, et plus précisément l'étude d'une alimentation autonome par les panneaux photovoltaïques (PPA) qui assurent la production d'énergie électrique à la Faculté de technologie de l'Université de Tlemcen.

Cependant, le système se compose d'un champ électromagnétique (PV) accompagné d'un système de stockage formé par un groupe de batteries, généralement en plomb, ainsi que le régulateur de charge et de déchargement, qui est un élément important dans tout système photovoltaïque, en plus du réflecteur pour convertir le courant continu produit par le panneau PV en courant alternatif que nous utilisons dans l'alimentation de la charge électrique, qui est l'ensemble des appareils électriques contenus dans la Faculté de technologie en utilisant des composants fiables et économiques.

À ce propos, nous avons divisé notre travail en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à l'affichage des différents composants du système,

en commençant par les cellules et les modules photovoltaïques, puis des batteries et différents types de stockage d'énergie produits par le panneau. En plus le régulateur et l'onduleur et la charge.

- Le deuxième chapitre comprend l'étude détaillée des composants du système photovoltaïque, qui consiste en le dimensionnement d'une installation PV.
- Dans le dernier chapitre, nous ferons une étude sur l'alimentation autonome de la faculté de technologie et plus précisément notre département Génie Electrique et Electronique (GEE).
- En conclusion générale, nous présentons une synthèse des travaux menés ainsi que les principaux résultats obtenus, puis les perspectives à entreprendre dans le futur.

Chapter I

Généralité sur le système PV autonome

SOMMAIRE

I.1	INTRODUCTION	4
I.2	QU'EST-CE QUE UN SYSTÈME PV AUTONOME [2]	4
I.3	LES CELLULES ET MODULES PV	4
I.3.1	Définition de La cellule photovoltaïque	4
I.3.2	Caractéristique du courant-tension d'une cellule photovoltaïque	5
I.3.3	Effet du niveau d'éclairement sur la cellule [3]	7
I.3.4	Effet de la température sur la cellule PV [3]	8
I.3.5	Le générateur photovoltaïque [2]	8
I.3.6	La forme d'un module photovoltaïque	8
I.3.7	Les types d'Association des cellules	9
I.3.8	Caractéristiques courant-tension du module PV	12
I.4	RÉGULATEUR [4]	14
I.4.1	Définition	14
I.4.2	Rôles de la régulation	14
I.4.3	Historique des régulateurs	15
I.4.4	Rendements des régulateurs	16
I.5	L'ONDULEUR [3]	17
I.5.1	Définition	17
I.5.2	Rôle de l'onduleur	17
I.5.3	Dimensionnement de l'onduleur	18
I.5.4	Performance de l'onduleur	18
I.6	LES BATTERIES	19
I.6.1	Définition	19
I.6.2	Caractéristiques des batteries [5]	20
I.6.3	Différentes technologies de batteries [6]	20
I.7	CONCLUSION	30

I.1 Introduction

Les utilisations de la technologie photovoltaïque sont nombreuses et variées et comprennent divers domaines. Ce mémoire est donc dédiée à l'étude d'une alimentation autonome par les panneaux photovoltaïques pour assurer le besoin d'électricité pour la Faculté de Technologie située à l'Université de Tlemcen et en première partie du contexte de notre étude est un lien général avec le système photovoltaïque et les différentes techniques et le fonctionnement des composants et son rôle.

I.2 Qu'est-ce que un système PV autonome [2]

Les systèmes photovoltaïques sont classés selon trois types, le premier Autonome, le type que nous avons choisi d'étudier, le second hybride et le troisième connecté au réseau.

Les systèmes entièrement indépendants des autres sources d'énergie utilisent généralement des chalets ou des camps dans des régions éloignées ainsi que dans des applications telles que la surveillance à distance et le pompage de l'eau. Dans la plupart des cas, le système indépendant nécessite des piles d'accumulateurs pour stocker l'énergie. Ces systèmes sont particulièrement utiles et rentables dans les applications d'été, lors de l'accès, l'endroit est difficile, coûteux ou lorsque cela est nécessaire pour l'entretien doit être minimisé.

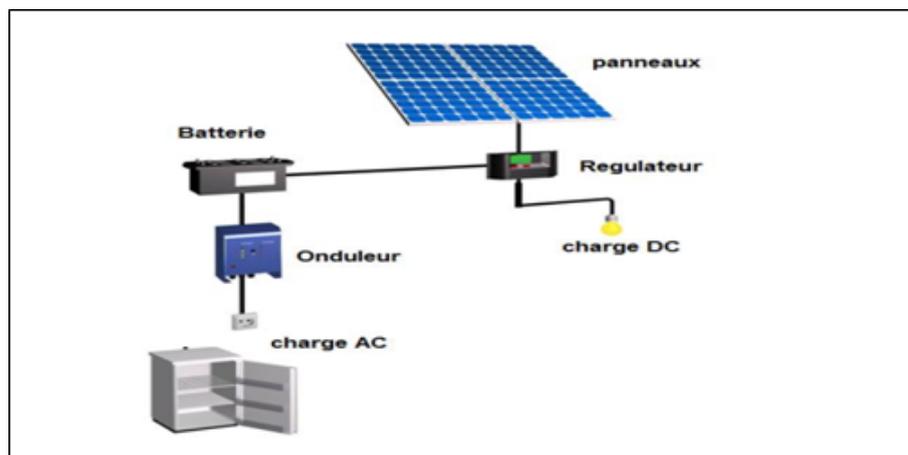


Figure I.1: Système PV autonome avec batteries [2]

I.3 Les cellules et modules PV

I.3.1 Définition de La cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque ou plutôt la photopile est considérée comme le plus petit élément de l'installation optique. Il se compose de matériaux semi-conducteurs et entraîne une conversion directe de l'énergie photovoltaïque en énergie électrique.

Les cellules photovoltaïques sont résumées en composants sous formes :

- Une fine couche de semi-conducteur (ce matériau contient une gamme de fréquences sous la forme d'un espace, qui est une barrière d'énergie que les électrons ne peuvent pas surmonter sans excitation externe, qui peut varier ses propriétés électroniques) comme un matériau semblable au silicium, qui se caractérise par une connexion électrique ment pour dire relativement bon.
- Couche anti-réflexion à travers laquelle nous obtenons la quantité maximale de pénétration du rayonnement solaire.
- A la cathode, il y a une grille conductrice, et au niveau de l'Anode, il y a un métal conducteur.
- Le dernier contient une nouvelle combinaison de plusieurs couches En réfléchissant directement les semi-conducteurs, cela permet un plus grand recul de la lumière, ce qui améliore les performances.



Figure I.2: cellule PV [2]

I.3.2 Caractéristique du courant-tension d'une cellule photovoltaïque

De nombreux paramètres qui peuvent faire la caractérisation des cellules solaires. Il est appelé paramètres photovoltaïques et est déduit de la propriété de $I(V)$. La figure ?? représente la fonction de tension de courant I (V) dans deux modes, la première position dans l'obscurité et la seconde sous l'éclairage typique de la cellule photovoltaïque à jonction PN. Le tracé de cette courbe est de fournir l'accès à de nombreux paramètres physiques du composant qui le distingue. Premiers paramètres les cellules photovoltaïques qui apparaissent sur la fonction de tension actuelle sont le courant I_{cc} et la tension de cercle ouvert (V_{co}). La valeur du facteur FF est limitée à (1 et 2) il en va de même pour le rendement η .

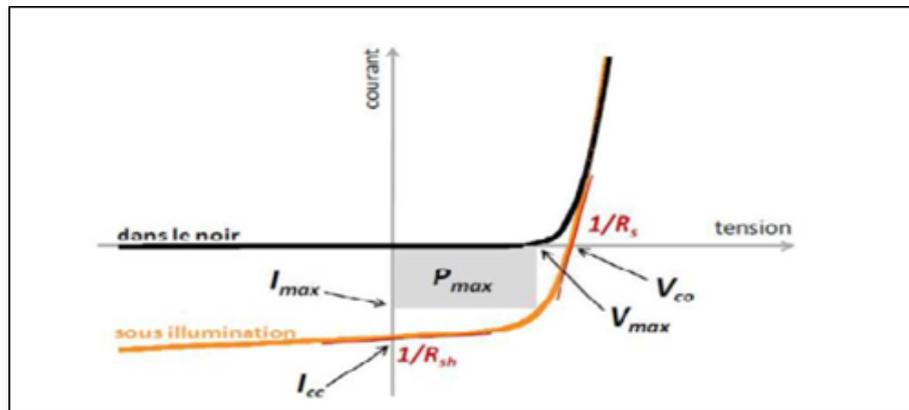


Figure I.3: Caractéristique courant-tension d'une cellule PV [2]

I.3.2-a Courant de court-circuit (I_{cc})

C'est le courant lorsque le potentiel appliqué à la cellule est nul. C'est le plus grand courant que la cellule peut fournir. Celle-ci est fonction de la température, de la longueur d'onde du rayonnement, de la surface activée de la cellule, de la mobilité des porteurs. Ce courant est linéairement dépendant de l'intensité lumineuse reçue.

I.3.2-b Tension à circuit ouvert (V_{co})

Comme nom destiné à la tension sur les bords de la cellule lorsqu'elle n'est connectée à aucune charge ou lorsqu'elle est Sa connexion à une charge de valeur est une résistance innombrable. Cela dépend principalement du type de cellules solaires (Schottky Junction, PN Junction), Les matériaux de la couche active et la nature des contacts actifs des pôles dépendent de l'éclairage des cellules.

$$V_{co} = \frac{KT_c}{q} \log \frac{I_{ph}}{I_s + 1} \quad (I.1)$$

I.3.2-c Facteur de forme FF

Ce paramètre est important car il est souvent utilisé à partir de la propriété $I(V)$ pour qualifier la qualité de la cellule ou un générateur d'électrolytes qui est l'agent de remplissage (FF). Il représente le rapport d'énergie maximal qui peut être connecté par la cellule P_{max} et l'énergie formée par le rectangle $I_{cc} \cdot V_{co}$. Ainsi, on peut dire que les meilleures cellules ont été technologiquement compromises afin d'obtenir autant de caractéristiques idéales que possible. Le facteur de forme est donc défini par la relation suivante :

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (I.2)$$

La puissance des unités photovoltaïques est exprimée en Watts-Crèt. Ce dernier représente l'énergie totale qu'un module peut fournir lorsqu'il est placé dans des conditions standard, à partir d'un éclairage à $1000W/m^2$ et à une température estimée à $25^\circ C$.

I.3.2-d Le rendement η

L'efficacité des cellules photovoltaïques est indiquée par la valeur de puissance. Le rendement est défini comme le rapport entre la puissance maximale livrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{FF \cdot V_{co} \cdot I_{cc}}{P_{in}} \quad (I.3)$$

Cette efficacité peut être améliorée en augmentant le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension en circuit ouvert. L'efficacité de conversion est un paramètre important. En effet, connaissant sa valeur, on peut évaluer les propriétés de la cellule.

I.3.3 Effet du niveau d'éclairement sur la cellule [3]

Dans le paragraphe précédent, nous avons discuté de l'augmentation de l'intensité du photocourant avec l'augmentation du rayonnement solaire. La figure ?? représente le contraste de courant, qui se rapporte à la tension de deux intensités différentes de lumière et à la puissance maximale pour les deux cas.

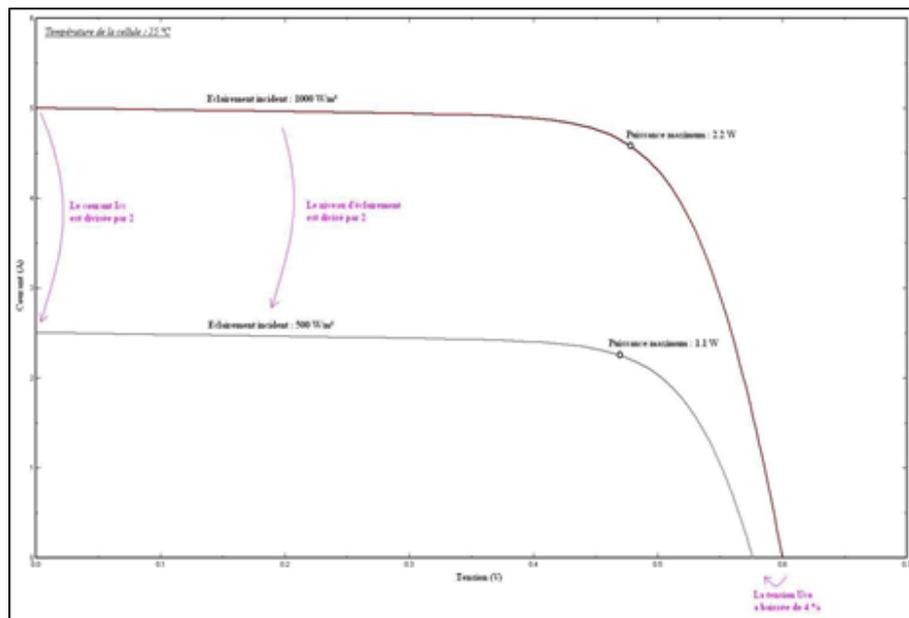


Figure I.4: Effet de l'éclairement sur la cellule [3]

De cette figure, nous pouvons voir que la relation du courant avec le rayonnement solaire est une relation d'éjection. En revanche, la détérioration de la tension était relativement faible. Par conséquent, nous concluons que la cellule peut fournir des tensions acceptables même en cas de faible luminosité.

Il est important de noter que la tension de la cellule solaire change à son tour lorsque l'éclairement est inférieur à 100 W/m². Diminution avec l'éclairage (variation logarithmique). Seules les cellules solaires en silicium amorphe peuvent encore fonctionner dans ces conditions du fait de leur tension suffisamment élevée. Pour cette raison, le silicium amorphe,

contrairement au silicium cristallin, peut être utilisé sous lumière artificielle. Il favorise la sélection cellulaire.

I.3.4 Effet de la température sur la cellule PV [3]

Pour connaître la courbe distinctive de la cellule solaire, il est nécessaire de partir des caractéristiques de la diode au silicium qui sont de l'une de ses caractéristiques est (jonction PN dans l'obscurité) et ensuite nous prenons en compte l'illumination, nous obtenons la relation suivante:

$$I = I_p - I_s(e^{U/U_T} - 1) \quad (\text{I.4})$$

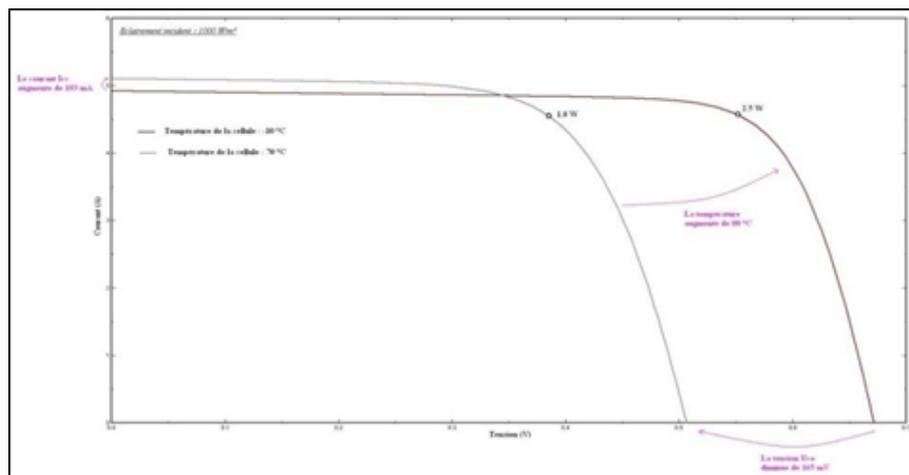


Figure I.5: Effet de la température sur la cellule [3]

Il a été observé que la température de la cellule photovoltaïque a un effet significatif sur la cellule solaire et sa tension. D'autre part, l'effet de la température sur le courant des photocellules sont négligeables.

Il a été démontré que la tension en circuit ouvert diminue à mesure que la température de l'appareil augmente. La puissance d'un élément est égale au produit du courant et de la tension, et la même règle s'applique à la puissance. Plus la température de l'élément est élevée, plus il perd de puissance.

I.3.5 Le générateur photovoltaïque [2]

Le module ou un générateur photovoltaïque consiste en un ensemble de base de cellules photovoltaïques installées en série et/ou en parallèle pour obtenir les caractéristiques électriques requises telles que la puissance, le courant de court-circuit et la tension de circuit ouvert.

I.3.6 La forme d'un module photovoltaïque

Les cellules sont reliées entre elles par de fines lamelles de métal (cuivre étamé) des contacts à l'avant (-) aux contacts à l'arrière (+).

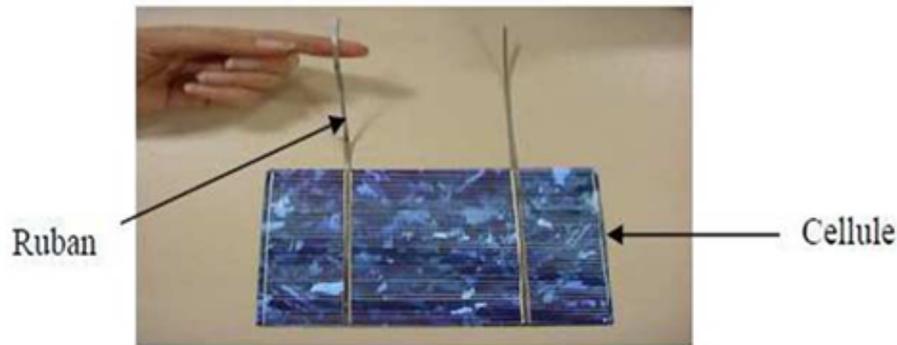


Figure I.6: La constitution d'un module PV [2]

Les cellules sont enveloppées sous vide entre deux membranes thermoplastiques transparents (EVA : éthylène vinyle acétate). Dans la plupart des cas, ils ont un cadre en aluminium avec un joint périphérique qui permet l'expansion. Le verre trempé en façade protège mécaniquement les cellules pour laisser passer la lumière. Le dos est en verre ou en feuille de Tedlar.

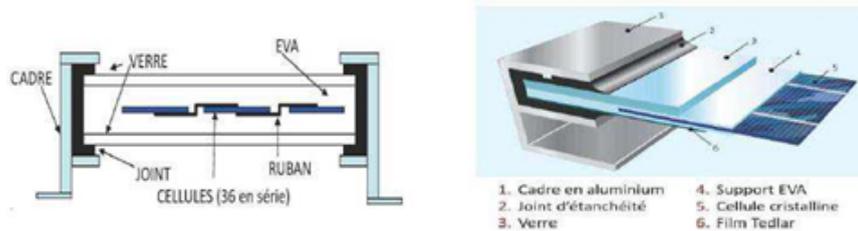


Figure I.7: Encapsulation des cellules [2]

I.3.7 Les types d'Association des cellules

Un module photovoltaïque est un groupe de cellules photovoltaïques identiques connectées les unes aux autres en série, ou en parallèles ou les deux en même temps.

I.3.7-a Association en série

La combinaison de (N_s) cellules en série donne Augmentation de la tension du générateur solaire. Ensuite, les cellules sont croisées et traversées par le même courant. Les mêmes caractéristiques de montage en série et résultant sont obtenues en ajoutant : La tension de base de chaque cellule, ces groupements sont représentés sur la figure. L'équation résume les propriétés électriques d'une connexion en série (N_s) de la cellule.

$$V_{coNS} = N_s \cdot V_{co} \quad (I.5)$$

$$I_{cc} = I_{ccNS} \quad (I.6)$$

Ce système de combinaison est le plus couramment utilisé pour les modules PV commerciaux. Au fur et à mesure que la surface de la cellule devient plus importante, le courant obtenu à

partir de la cellule augmente régulièrement en tant que développement technique alors que la tension est encore très faible. Donc, l'association série est celle qui pourrait le rendre possible augmentez la tension et augmentez ainsi la puissance de l'ensemble.

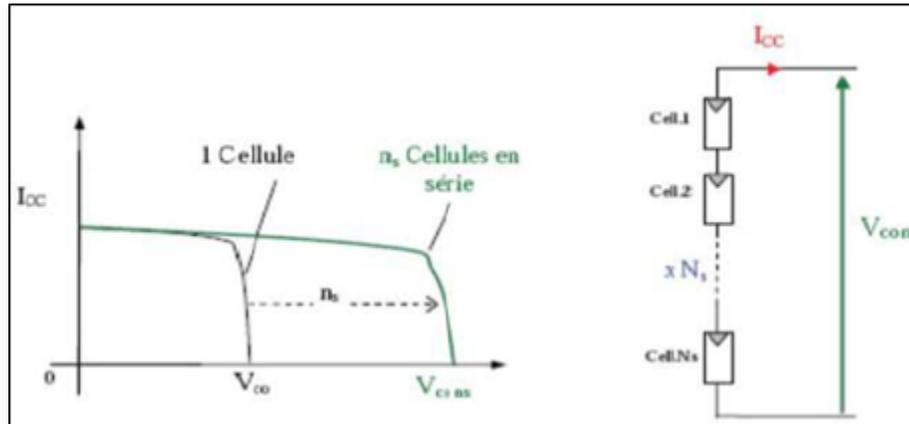


Figure I.8: Caractéristiques résultantes d'un groupement de (N_s) cellules en série [2]

I.3.7-b Association en parallèle

Un couplage en parallèle (N_p) de cellules est possible, ce qui augmente le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans le même groupe d'éléments connectés en parallèle, la même tension est appliquée aux éléments et la caractéristique résultante du groupe est obtenue en ajoutant le courant.

L'équation résume les propriétés électriques du couplage en parallèle (N_p) de la cellule.

$$I_{ccNP} = I_{cc} \cdot N_p \tag{I.7}$$

$$V_{co} = V_{coNP} \tag{I.8}$$

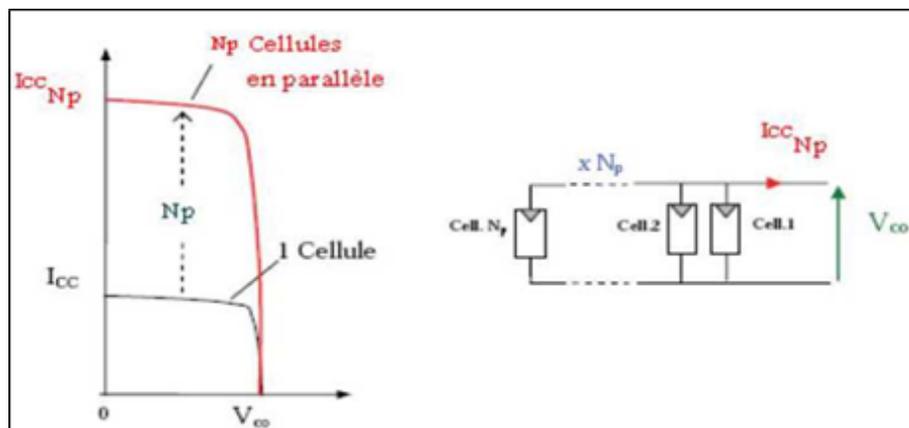


Figure I.9: Caractéristiques d'un groupement de (N_p) cellules en parallèle [2]

I.3.7-c Association série et parallèle

La caractéristique (I_{pv} V_{pv}) d'un générateur solaire peut être considérée comme le résultat d'une association d'un réseau de ($N_s \cdot N_p$) cellules en série/parallèle. La caractéristique globale peut également varier en fonction de l'éclairement, de la température, du vieillissement des cellules et des effets d'ombrage ou d'inhomogénéité de l'éclairement.

Il suffit également que le courant généré par le module photovoltaïque soit considérablement réduit en raison de l'ombrage ou de la défaillance de l'une des cellules connectées en série.

Lorsque le courant fourni est supérieur au courant généré par la cellule faiblement éclairée, la tension de cette dernière devient négative et devient un élément récepteur. Ce s'il détecte que trop d'énergie est consommée et que l'erreur dure trop longtemps, cela peut endommager l'alimentation. Il s'agit d'un phénomène de points chauds. Par conséquent, pour corriger ce phénomène, une diode de dérivation est montée sur le panneau solaire, qui sert à protéger l'élément passif.

Des mesures réalisées sur un module photovoltaïque commercial de (85Wc) sur lequel on occulte volontairement (à différents niveaux d'ombrage) une des (36) cellules qui composent se générateur sont consignées en Figure I.10.a.

On observe clairement la déformation de la courbe ($I_{pv}V_{pv}$) associée à l'effet d'ombrage partiel du module PV. Lorsque la diode de dérivation commence à fonctionner, elle court-circuite une partie du panneau comme illustré à la Figure I.10.b, empêchant la circulation de courant inverse à l'intérieur de la cellule défectueuse. D'autre part, cette solution efficace réduit la puissance fournie et la tension aux bornes du panneau. Par conséquent, la dégradation d'une seule cellule met en cause le groupe de cellules connectées à la cellule défectueuse. Il est protégé par une diode (bypass) pour empêcher la production de la puissance.

Ce symptôme de dégradation des performances parallèles peut être comparé à la défaillance globale de l'ensemble du panneau en cas de panne. Un champ avec un panneau qui fonctionne sans protection. Le regroupement de telles cellules (série et parallèle) avec des diodes de protection est illustré dans la figure suivante.

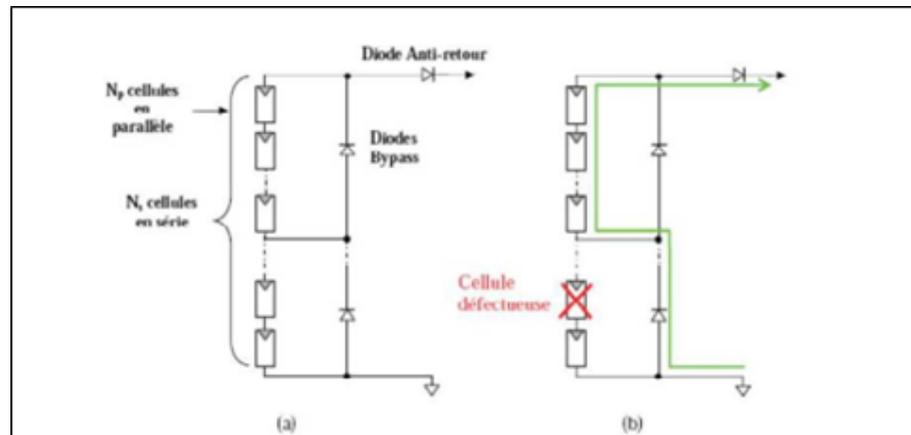


Figure I.10: (a) Architecture classique d'un panneau solaire photovoltaïque avec diode de protections. (b) Défaillance d'une des cellules du module PV et activation de diode de circulation I_{pv} [2]

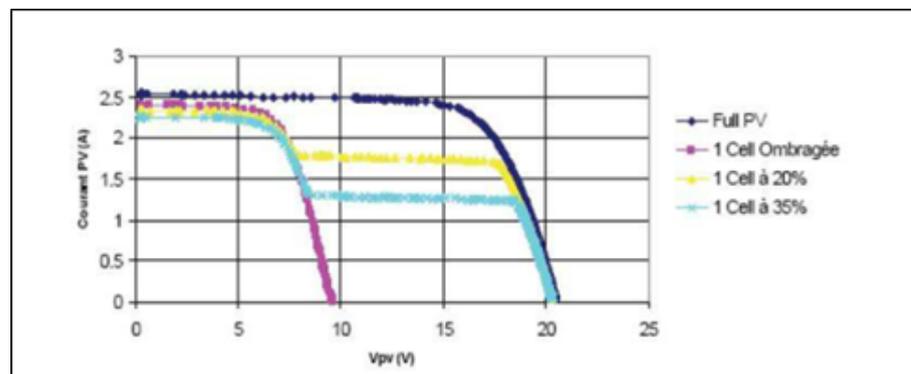


Figure I.11: Caractéristique ($I_{pv} - V_p$) d'un panneau photovoltaïque et effet des cellules qui composent le module PV [2]

Par conséquent, nous reconnaissons que contrôler cette énergie photovoltaïque n'est pas aussi simple qu'il y paraît. Par conséquent, la production actuelle de modules PV commerciaux est limitée par les cellules les plus faibles de l'assemblage.

En général, lors de l'assemblage d'une cellule, il est nécessaire de classer la cellule selon ses caractéristiques électriques afin d'obtenir une liaison homogène et de ne pas limiter la puissance fournie par le panneau du fait de la diffusion cellulaire. De plus, le vieillissement cellulaire peut entraîner une variabilité des propriétés. Les conditions météorologiques auxquelles le module est exposé (rayonnement solaire irrégulier, température, saleté, neige, pluie, feuilles mortes, etc.) font de l'énergie photovoltaïque une ressource difficile à gérer.

I.3.8 Caractéristiques courant-tension du module PV

Les propriétés électriques d'un panneau solaire dépendent de la température, de l'éclairage et des conditions de fonctionnement en général lorsqu'il est placé. Il est connecté à la charge spécifiée. Cette section rappelle brièvement le comportement du générateur sous diverses

contraintes. Ces concepts sont en effet nécessaires pour comprendre le comportement des générateurs photovoltaïques et effectuer des optimisations opérationnelles.

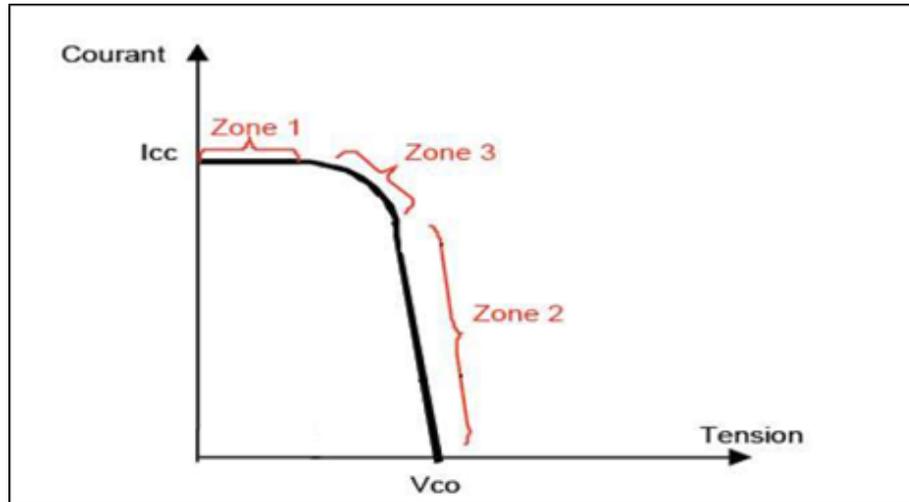


Figure I.12: Caractéristique I(V) d'un module photovoltaïque [2]

Caractéristiques d'un générateur PV composé de plusieurs cellules dont la forme générale est comparable à la forme d'un générateur de base, à condition qu'il n'y ait pas de déséquilibre entre les caractéristiques de chaque cellule (rayonnement solaire et température uniforme).

Les caractéristiques I (v) des générateurs photovoltaïques peuvent être divisées en trois zones :

- Zone 1 similaire au générateur de courant I_{cc} , qui est proportionnel à l'irradiante, l'admittance interne peut être modélisée à $1/R_{sh}$
- Zone 2 similaire au générateur de tension V_{co} dont l'impédance interne est égale à la résistance série R_s .
- Zone 3 où l'impédance interne du générateur change significativement de R_s à R_{sh} . La zone 3 est le point de fonctionnement où l'alimentation est fournie maximum par générateur. Ce point est appelé point de puissance optimale et est caractérisé par des couples I_{max}, V_{max} , et seules les charges dont les caractéristiques sont supérieures à ce point permettent d'extraire la puissance disponible dans les conditions considérées.

Les deux types de regroupement sont possibles et sont souvent utilisés pour obtenir les valeurs de tension et de courant souhaitées en sortie. Par conséquent, dans le cas de la cellule N_s en série, qui forment eux-mêmes une branche N_p en parallèle, la puissance disponible en série du générateur PV est donnée par :

$$P_{pv} = N_s \cdot V_{pv} \cdot N_p \cdot I_{pv} \quad (I.9)$$

I.4 Régulateur [4]



Figure I.13: Types des régulateurs [1]

I.4.1 Définition

En général, un contrôleur (régulateur) est un outil qui permet de maintenir un état de quantité égal à une valeur définie. Dans un système PV, la tension fournie par le champ PV varie en fonction des conditions climatiques, le régulateur est donc un composant très important pour contrôler l'état de la batterie (charge et décharge).

I.4.2 Rôles de la régulation

Dans les systèmes PV autonomes, les régulateurs doivent assurer deux fonctions clés : la gestion de la charge et de la décharge de la batterie.

I.4.2-a Gestion de la charge

Pendant le processus de charge, la batterie est exposée à plusieurs sources de dommages. Le contrôleur PV doit protéger la batterie du risque de ces détériorations.

- Pour éviter le dégazage dû à l'électrolyse de l'eau, le régulateur maintient une tension de 2.2V par cellule de batterie.
- Pour réduire le risque de stratification électrolytique et donc de détérioration La capacité réelle de la batterie, le régulateur maintient la tension à une valeur de 2.3V (par exemple) pendant un certain temps (environ 2 heures).
- Limite de courant de charge pour éviter le courant de surcharge.
- Le régulateur doit garder la batterie chargée lorsqu'elle n'est pas chargée il faut éviter le phénomène d'autodécharge de la batterie.

I.4.2-b Gestion de la décharge

Lorsque la batterie est déchargée, le phénomène qui endommage la batterie est le sulfate. Pour éviter ce phénomène, le contrôleur déconnecte le parc de batteries des appareils si le niveau de charge est trop faible et se reconnecte lorsque la batterie est complètement chargée.

Généralement, la limite de décharge est de 70 % (c'est-à-dire avec une charge de 30 %). Cependant, ce paramètre peut être réglé directement sur le contrôleur. Evitez le phénomène Sulfatation.

I.4.2-c Indication de l'état du système

En plus de charger et de décharger, le contrôleur doit pouvoir le faire affichage des paramètres d'état du système PV, notamment :

- Courant dans le champ PV qui change en fonction des conditions climatiques et le courant consommé par l'appareil électrique.
- Courant du banc de batteries il peut être positif ou négatif selon la présence de la batterie. Charger ou décharger.
- Le régulateur mesure la tension d'un système composé d'un générateur photovoltaïque, d'un banc de batteries et d'un équipement électrique. Ces trois éléments étant montés en parallèle, leurs tensions sont égales. Par conséquent, le régulateur mesure la tension au niveau du parc de batteries. Cela vous donne un meilleur contrôle sur la charge et la décharge amende.

De plus, vous pouvez utiliser un système qui collecte et stocke des données quotidiennes pour analyser le comportement de votre installation depuis son lancement. Cela vous permet de détecter les opérations d'installation anormales.

- La quantité d'énergie générée par la production d'énergie solaire (kWh).
- Consommation électrique journalière (kWh) des équipements électriques.
- Tension minimale et maximale quotidienne de la borne de la batterie.

I.4.3 Historique des régulateurs

En 1973, la première maison alimentée par des cellules solaires et des contrôleurs a été construite.

Les premiers contrôleurs PV avaient initialement une structure très simple. En d'autres termes, c'était un contrôleur "tout ou rien". Celles-ci tendent à disparaître depuis la fin des années 1990, mais sont encore très répandues dans les localités individuelles existantes.

Nous avons assisté à l'évolution des agences de régulation depuis la fin des années 1990. Un système photovoltaïque plus avancé utilisant les technologies PWM (Pulse Width Modulation) et PPM (Maximum Power Point).

I.4.3-a Régulateur "tout ou rien"

Lors de la connexion du module de cellule solaire aux bornes de la batterie, le point de fonctionnement provient de l'intersection des deux caractéristiques courant-tension. Par conséquent, le module de cellule solaire doit être déconnecté pour éviter d'endommager la

batterie au-delà de la tension maximale autorisée. C'est ainsi que fonctionne le contrôleur "tout ou rien" lors de la charge de la batterie. Si vous connectez le générateur photovoltaïque au groupe de batteries ou si la tension devient trop élevée, il s'éteindra.

I.4.3-b Régulateur MLI

Le régulateur PWM a été conçu à la fin des années 1990, pour éliminer l'inconvénient majeur du régulateur "tout ou rien" lié à la terminaison de charge. Sa valeur ajoutée est donc les frais de clôture ultimes avec un statut de facturation à 100 % (au lieu de 75 % pour un régulateur "tout ou rien").

Au démarrage de la charge, le régulateur PWM agit comme un régulateur "tout-ou-rien". A la fin du processus de charge (à partir d'environ 70 % d'état de charge), le régulateur PWM est un régulateur qui réduit la tension du champ photoélectrique afin que la batterie puisse le supporter.

I.4.3-c Régulateur PPM

C'est un principe à suivre, comme son nom l'indique, le point de puissance maximale d'un générateur non linéaire. Dans ce régulateur, un circuit mesure en continu la tension et le courant du panneau pour capter l'énergie au point de puissance de crête. Cela garantit une récupération d'énergie maximale, quels que soient la température et l'ensoleillement. Ces régulateurs fonctionnent en augmentant ou en diminuant la tension. Le premier circuit régule la demande au point de puissance maximum de tous les panneaux et le second circuit transforme le courant et la tension pour qu'ils soient adaptés au type de batterie. Les régulateurs MPPT coûtent généralement beaucoup plus cher que les régulateurs standards. Pour cette raison son utilisation n'est pas généralisée et il n'est pas recommandé pour les petites installations (les pertes ne sont pas assez importantes).

A ces quatre types de circuits s'ajoute généralement un régulateur de décharge pour éviter une décharge profonde de la batterie.

I.4.4 Rendements des régulateurs

Les régulateurs photoélectriques étant constitués de composants électroniques (transistors, diodes, bobines, condensateurs, etc.), une partie de la puissance électrique qui les traverse sera dissipée sous forme de chaleur.

En pratique, les performances dépendent du rapport de charge du régulateur, comme illustré sur la courbe de rendement ci-dessous :

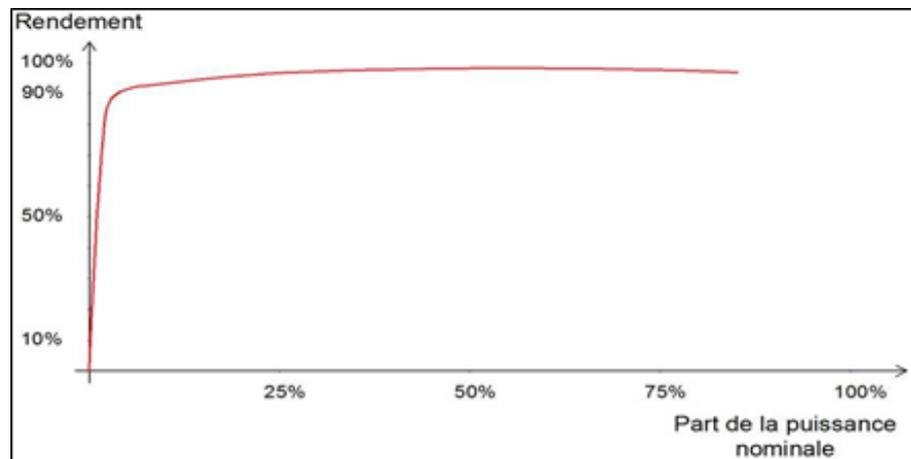


Figure I.14: Courbe de rendement d'un régulateur MLI avec fonction MPPT [4]

I.5 L'onduleur [3]



Figure I.15: Les Types d'onduleur [1]

I.5.1 Définition

Un onduleur est un appareil électronique de puissance qui convertit le courant continu et la tension en courant et tension alternatifs. Il y aura donc toujours une distinction entre la partie continue notée DC, en haut de l'onduleur, et la partie alternative notée AC, en bas de l'onduleur.

I.5.2 Rôle de l'onduleur

Actuellement, la plupart des équipements électriques du marché sont réglés à la tension alternative du secteur, les fabricants ne proposent pas d'équivalents modifiés pour la tension continue. Dès lors, la présence d'un onduleur devient nécessaire pour permettre à l'utilisateur d'avoir de nombreux choix pour cet appareil électrique.

Il faut distinguer deux lignes principales d'onduleurs :

I.5.2-a Les onduleurs assistés par une source de tension alternative

Ils convertissent le signal DC en un signal AC compatible avec cette source de tension, c'est-à-dire qu'ils ont les mêmes attributs (valeur efficace, fréquence). Ces onduleurs sont

utilisés dans le cas d'une installation photovoltaïque connectée à un réseau (l'onduleur fournit alors une tension alternative équivalente à celle du réseau).

I.5.2-b Les onduleurs autonomes

Ceux-ci peuvent fonctionner même s'ils n'existent pas d'alimentation de secteur externe. Ils fournissent la tension alternative correspondante à la demande de l'utilisateur.

I.5.3 Dimensionnement de l'onduleur

I.5.3-a Partie DC

L'onduleur doit s'adapter à la tension du système spécifiée par le banc de batteries. Les fabricants spécifient généralement une tension d'entrée de 12 V, 24 V ou 48 V.

I.5.3-b Partie AC

L'onduleur émet un signal de sortie compatible avec l'appareil qu'il alimente. (Le cas général) :

- Fréquence tension alternative 50Hz
- Valeur efficace de la tension : $U_{rms} = 230V$

I.5.3-c Puissance nominale

L'onduleur doit être dimensionné pour que sa puissance nominale couvre la puissance totale de tous les consommateurs qui veulent l'utiliser en même temps.

I.5.3-d Courants de démarrage des appareils électriques

Certains équipements électriques fonctionnant sous tension alternative nécessitent une grande quantité de courant lors de leur mise sous tension, l'onduleur doit donc être capable de fournir une grande quantité de courant dans un court laps de temps.

Le régulateur ne peut pas absorber le courant d'appel élevé appelé côté AC. Il est donc interdit de connecter un onduleur à l'une des sorties DC du contrôleur. La batterie agit comme un tampon et peut fournir un courant d'appel élevé, elle doit donc être connectée directement à la batterie.

I.5.4 Performance de l'onduleur

I.5.4-a Rendement de l'onduleur

Comme d'autres équipements électriques, un onduleur est composé de composants électroniques (diodes, condensateurs, etc.) qui sont chauffés pendant le fonctionnement, de sorte qu'une partie de la puissance d'entrée DC de l'onduleur est dissipée sous forme de chaleur. Ensuite, définissez l'efficacité de l'onduleur comme le rapport de la puissance de sortie (AC) à la puissance d'entrée (DC).

$$\eta = \frac{\text{Puissance alternative}}{\text{Puissance continue}}$$

I.5.4-b Effet de la température sur l'onduleur

L'onduleur devient chaud en raison de l'efficacité de conversion. Ensuite, cette chaleur doit être dissipée afin que la température maximale de fonctionnement ne soit pas dépassée. L'évacuation peut se faire facilement par la présence de la convection naturelle de l'onduleur de faible puissance ou du ventilateur de l'onduleur de forte puissance, la présence de ce dernier entraînant une consommation supplémentaire qui affecte légèrement le rendement global du système. Dans les deux cas, l'onduleur doit être installé dans une pièce bien ventilée.

Généralement, la plage de température de fonctionnement d'un onduleur est 25°C et 60°C . Lorsque la température de l'onduleur dépasse la valeur maximale, l'onduleur limite volontairement la sortie (pour protéger le composant d'une surchauffe). Par conséquent, l'onduleur continuera à fonctionner, mais limitera le courant de l'appareil électrique. De plus, le fonctionnement à des températures élevées réduira la durée de vie de l'onduleur. Si la température de l'onduleur est inférieure à la température minimale, l'onduleur ne s'allumera pas.

I.5.4-c Consommation en veille

De nombreux onduleurs continuent de consommer de l'énergie même si tous les appareils électroniques sont éteints. Pour économiser la batterie, il est préférable de choisir un onduleur avec une fonction veille (consommation en mode veille). Cette fonction éteint automatiquement l'onduleur et le met en mode de recherche de charge. L'onduleur redémarre dès qu'une demande de puissance est détectée côté AC.

I.6 Les batteries

I.6.1 Définition

L'énergie produite par les panneaux photovoltaïques est très importante et afin d'assurer l'approvisionnement dans toutes les conditions (jour ou nuit, ciel clair ou couvert), nous utilisons donc des batteries solaires pour le stockage, de sorte que cette dernière est une partie importante du système photovoltaïque, non seulement techniquement mais aussi économiquement. En fait, il représente 40 à 50 % du coût d'installation.

Les batteries utilisées dans les panneaux solaires et les éoliennes sont des batteries à cycle lent (également appelées batteries solaires). Ces batteries sont spécialement conçues pour de telles applications. Elles n'ont pas de fonctionnalités similaires telles que les batteries de voiture, par exemple, elles se déchargent plus lentement et peuvent supporter des décharges plates fréquentes.

Vous pouvez connecter la batterie solaire directement au panneau solaire, mais si la charge dépasse 90 %, il y a un risque d'endommager la batterie. Pour cette raison, nous recommandons d'installer un contrôleur solaire entre le panneau photovoltaïque et la batterie solaire.

I.6.2 Caractéristiques des batteries [5]

La sélection de la batterie est basée sur plusieurs critères:

- **Tension de charge :** Pour charger efficacement la batterie, on doit appliquer une tension minimale et son unité est Volts
- **Tension nominale :** La force électrochimique de la batterie en fonction du couple électrochimique appliqué, exprimée en Volts.
- **Capacité de la batterie:** La quantité de courant qui peut être fournie par la batterie dans des conditions est un nombre spécifié d'heures et une température de référence (principalement 20 degrés). L'unité de mesure ampères heures (Ah) est donc le produit du courant de charge exprimé par I (A) au moment de la décharge exprimé par t(h).

$$C = I \cdot t \quad (\text{I.10})$$

- **Cycle de vie :** Il s'agit de la capacité de la batterie à supporter des cycles continus de charge et de décharge. C'est une caractéristique essentielle des accumulateurs qu'ils peuvent être chargés plusieurs fois.
- **Profondeur de décharge:** Il s'agit d'un rapport entre la quantité d'électricité et la capacité de la batterie au fil du temps.
- **Autodécharge :** Lorsque la batterie n'est pas utilisée, le pourcentage de perte de batterie est appelé autodécharge et augmente en valeur en raison de plusieurs conditions de vieillissement et de température de la batterie, après un mauvais entretien, après une décharge profonde ou une inversion polaire.

I.6.3 Différentes technologies de batteries [6]

Pour le stockage d'énergie, plusieurs types de batteries sont conçus, nous allons mentionner les plus couramment utilisés qui sont les suivants:

I.6.3-a La batterie Nickel-Cadmium (Ni-Cd)

Le nickel et le cadmium ont été exploités en duo par Waldemar Junger et ont été utilisés pour la première fois en 1890, et utilisés comme batterie au début du 20ème siècle. Sa dépendance primaire à la polarité niOOH-positive et à l'électrolyse cadmium-négatif (CD) résultant de l'électrolyse dans une solution alcaline (KOH de 22 %).

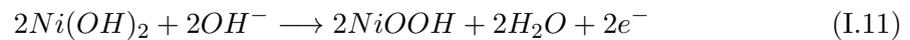


Figure I.16: La batterie Nickel-Cadmium (Ni-Cd) [6]

Son rôle est de charger et de décharger deux phénomènes selon les réactions chimiques

1) Processus de charge :

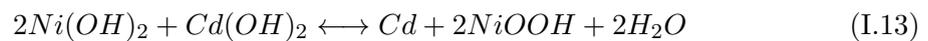
Anode:



Cathode:



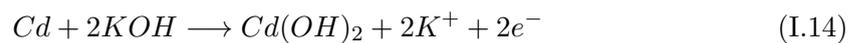
Cellule:



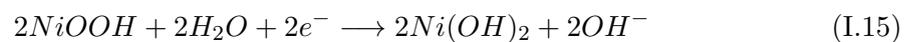
Lors de la charge, l'électrolyse de H_2O entre en compétition avec les réactions primaires.

2) Processus de décharge :

Anode (-):



Cathode (+):



Cellule:



I.6.3-b La batterie Nickel-Métal-Hydrure (Ni-MH) :

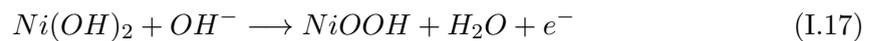
En 1967, des recherches sur une nouvelle paire Ni-MH ont été lancées dans lesquelles le cadmium de l'électrode négative a été remplacé par un composé intermétallique hydratante (MH) pour surmonter la limitation de capacité des batteries Ni-Cd. Les deux électrodes sont électriquement séparées l'une de l'autre par un séparateur pour empêcher le système de court-circuiter. L'électrolyte utilisé est le même que celui de Ni-Cd.



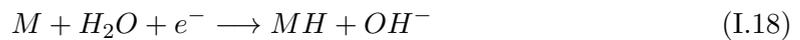
Figure I.17: La batterie Nickel-Métal-Hydrure [7]

1) Processus de charge :

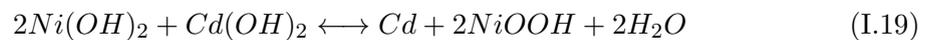
Anode:



Cathode:



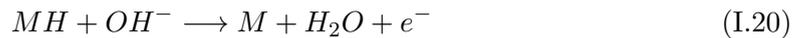
Cellule:



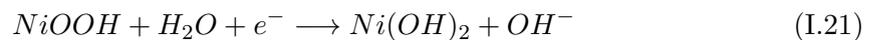
Cependant, l'instabilité et l'incertitude du nombre de cycles rencontrées par Ni-MH à ses débuts ont conduit les scientifiques à développer à la place une batterie nickel-hydrogène (NiH_2) sous pression.

2) Processus de décharge :

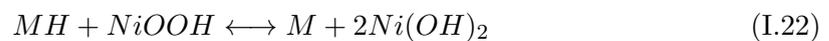
Anode



Cathode:



Cellule:

**I.6.3-c La batterie lithium-ion :**

Les premières batteries Li-Ion commerciales ne sont apparues qu'au début des années 1990. Plusieurs types sont disponibles aujourd'hui, les plus courants étant le Lithium-Ion (Li-Ion) et le Li-Polyme (Li-Po).

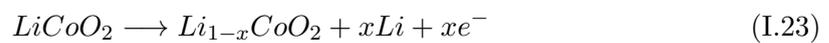


Figure I.18: La batterie lithium-ion [1]

Pour mieux comprendre l'électrochimie des batteries Li-Ion, suivons les deux réactions chimiques de charge et de décharge:

1) Processus de charge :

Anode :



Cathode :



Cellule :



2) Processus de décharge :

Anode :



Cathode :



Cellule :



I.6.3-d La batterie à l'Acide-Plomb [5]

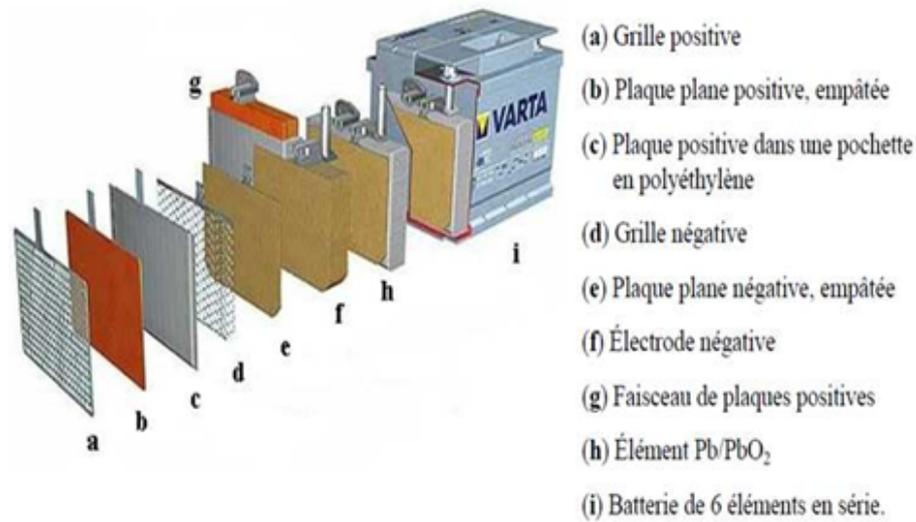


Figure I.19: Structure d'une batterie acide-plomb [5]

Les batteries à l'acide-plomb sont les plus utilisées dans le stockage de l'énergie photovoltaïque, en raison de leur coût et de leurs caractéristiques. Leur action est basée sur la réaction redox suivante :

Décharge



Charge

PbO_2 est l'électrode positive (+), Pb est l'électrode négative (-) tant que pendant la charge ou la décharge son électrolyte est de l'acide sulfurique (H_2SO_4)

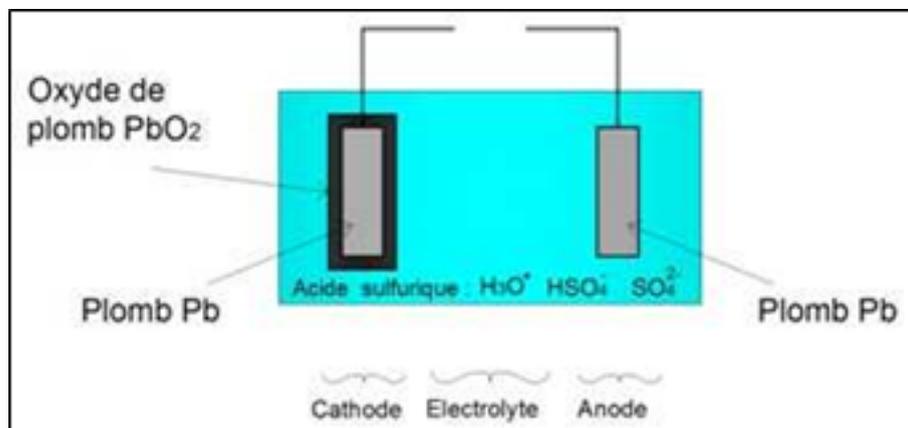


Figure I.20: Structure d'une batterie acide-plomb [5]

1. La charge de la batterie Acide-Plomb :

(a) Principe électrochimique de la charge :

La charge d'une batterie est l'opposé d'une réaction chimique à la décharge. Bien entendu, cette réaction inverse est impossible, il est donc nécessaire de procéder à une réaction dite forcée. Pour ce faire, utilisez un générateur qui oblige les électrons à passer dans le sens opposé. Ce processus est appelé électrolyse.

Les paires redox impliquées dans la charge sont les mêmes que dans le cas de la décharge. Un couple PbO_2/Pb^{2+} et Pb^{2+}/Pb . Par conséquent, l'ion plomb (Pb^{2+}) est l'oxydant le plus faible et est réduit en plomb (Pb) selon la formule semi-réductrice suivante.



Encore une fois, l'agent réducteur le plus faible est l'ion plomb (Pb^{2+}). Celui-ci s'oxydera en oxyde de plomb (PbO_2) selon la demi-équation d'oxydation suivante :

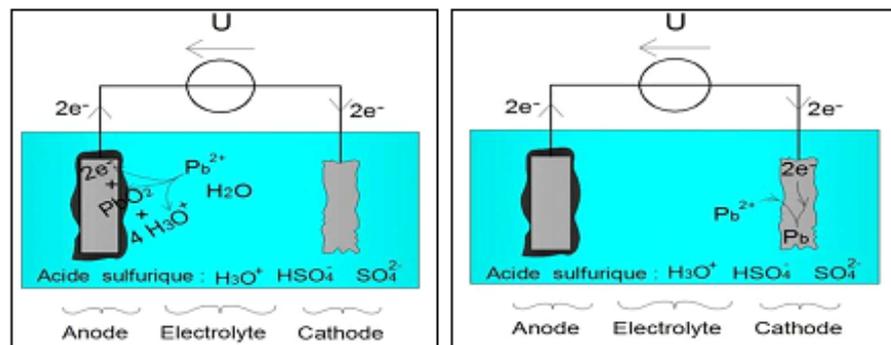
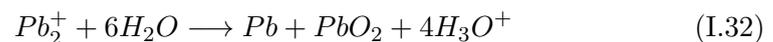


Figure I.21: Principe électrochimique de la charge [5]

La réaction redox forcée suivante peut être obtenue :



(b) Stratification de l'électrolyte et surcharge :

i. Stratification :

Les ions plus lourds que l'eau dans l'électrolyte ont tendance à s'accumuler au fond, provoquant une stratification de la densité acide. Il en résulte que la conductivité diminue dans la zone où la densité d'acide est faible, et le phénomène de corrosion de la grille s'accélère très fortement dans la zone où la densité d'acide dépasse 1.38. En conséquence, la capacité de la

batterie s'affaiblit et un vieillissement prématuré se produit.

Une façon de contrer la stratification électrolytique consiste à appliquer une légère surcharge.

ii. **Surcharge :**

Lorsque la batterie est complètement chargée, la concentration d'ions Pb^{2+} dans l'électrolyte sera insuffisante. Dès lors, le générateur ne contribue plus à la charge de la batterie, mais une autre réaction peut se produire, à savoir l'électrolyse de l'eau avec des dégagements importants et dangereux de dihydrogène et de dioxygène.

À la fin du processus de charge, la tension de charge des bornes de la batterie est légèrement augmentée (environ $2.3V$ par élément) pour accélérer et brasser l'électrolyse de l'eau évite le phénomène de stratification des électrolytes et de l'acide sulfurique. Ce phénomène est volontairement amplifié, mais contrôlé par le régulateur en fin de charge.

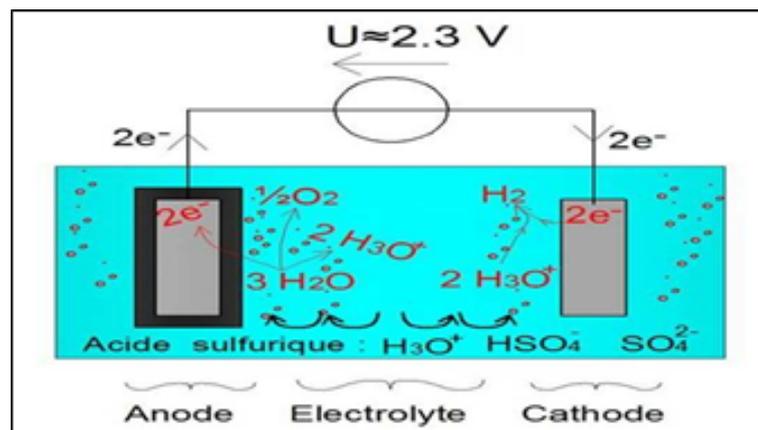


Figure I.22: Processus de surcharge [5]

(c) **Vitesse de la charge :**

La vitesse de charge des batteries plomb-acide est limitée par la diffusion lente des réactifs dans l'électrolyte. Les réactions chimiques secondaires (telles que l'électrolyse de l'eau) entravent également la charge rapide.

2. **Propriétés électrochimiques de la batterie Acide-Plomb [7]**

(a) **Tension**

La tension de la batterie correspond à la tension en circuit ouvert. C'est-à-dire lorsque le courant traversant la batterie est nul.

- **Caractéristique courant-tension :**

Lorsque le pack batterie est connecté au récepteur, la tension et le courant générés par la connexion de ces deux éléments dépendent des caractéristiques courant-tension du pack batterie et du récepteur. Aussi, il est important de faire la distinction entre ces deux configurations, car le comportement de la batterie lors de la charge et de la décharge n'est pas électriquement le même.

- **Lors de la décharge de la batterie :**

Lors de la décharge, la batterie se comporte comme un générateur avec une résistance interne d'environ 10Ω . Cela provoque la chute de la tension de la batterie à mesure que le courant fourni par la batterie augmente.

- **Lors de la charge de la batterie :**

Lorsque la batterie est en mode charge, elle se comporte comme un récepteur comme une résistance. Ses caractéristiques courant-tension changent en fonction de l'état de charge, comme indiqué ci-dessous.

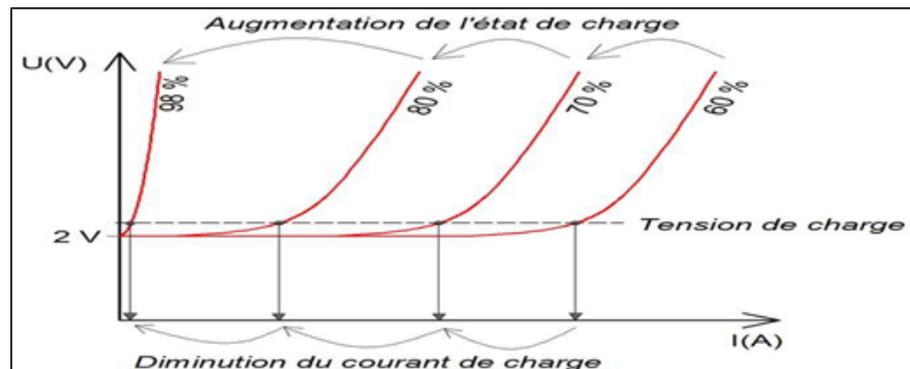


Figure I.23: Evolution du courant de charge en fonction de l'état de charge [8]

(b) **Capacité**

La capacité de la batterie est la quantité d'énergie électrique qui peut être fournie après avoir été complètement chargée à un courant de décharge, une température et une tension définis spécifiques. Elle est donnée en ampères-heures (Ah). Cette capacité diminue lorsque le courant de décharge augmente.

3. Processus de décharge

(a) **Principe électrochimique de la décharge**

Lors de la décharge, les conducteurs d'anode s'oxydent et perdent deux électrons, tandis que les conducteurs de cathode en acquièrent deux lors de la réduction. L'hydrogène produit à l'anode et l'oxygène produit à la cathode se recombinaient

pour former de l'eau (H_2O).

Anode:



Cathode:



Cellule:

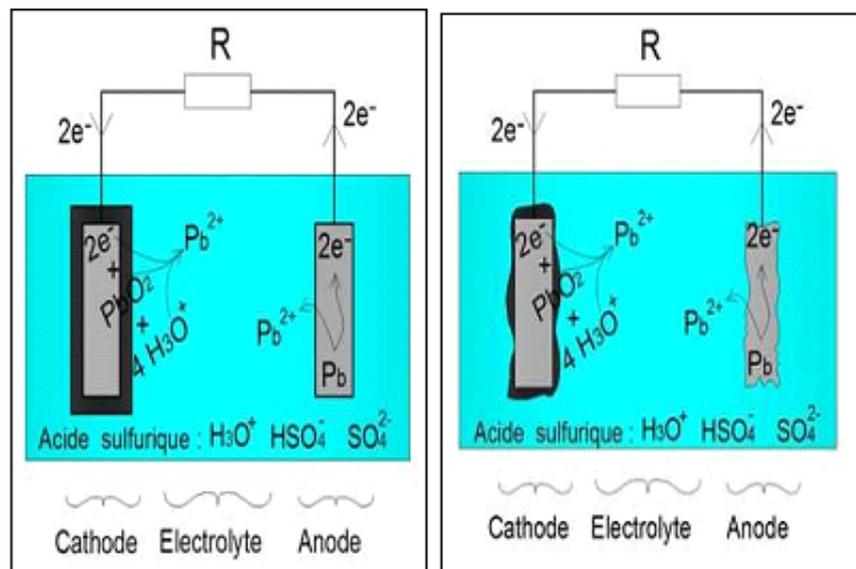
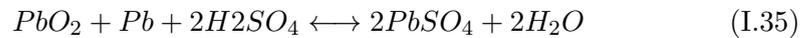


Figure I.24: Principe électrochimique de la décharge d'une batterie acide-plomb

Par conséquent, l'anode en plomb perd progressivement de la masse. La masse d'oxyde de plomb (PbO_2) est également réduite.

- **Décharge profonde et phénomène de sulfatation :**

Les batteries au plomb sont sujettes à une décharge profonde. Comme expliqué ci-dessus, la décharge d'une batterie au plomb produit des ions Pb_2^+ . On observe donc une augmentation de la concentration en ions Pb_2^+ dans l'électrolyte lors de la décharge.

Cependant, les ions Pb_2^+ sont relativement insolubles dans une solution d'acide sulfurique. Ils réagissent avec le sulfate de plomb $PbSO_4$ selon l'équation suivante.



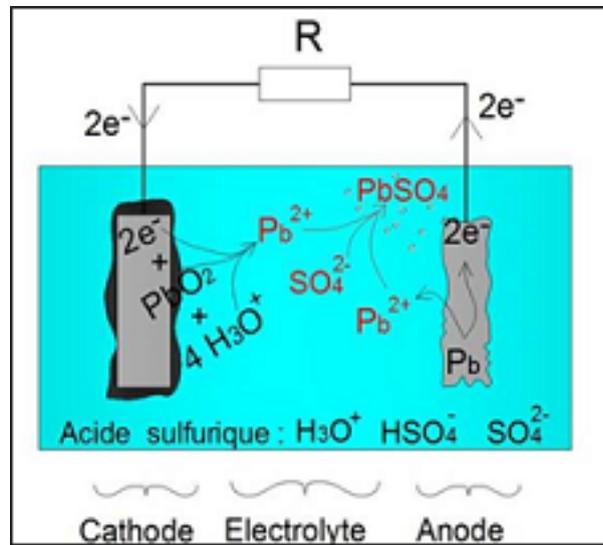


Figure I.25: Production de sulfate de plomb $PbSO_4$ lors de la décharge d'une batterie [8]

La sulfatation se produit lorsque le sulfate de plomb ne peut pas être dissous par une charge normale de la batterie, mais ce phénomène est problématique. En fait, le sulfate de plomb se présente sous la forme d'un cristal solide qui s'accumule sur les électrodes et est généré pendant le cycle de charge/décharge, renforcé au fur et à mesure que la décharge s'approfondit, et devient une couche isolante de sulfate de plomb, empêchant l'apparition de réactions chimiques. ..



Figure I.26: Phénomène de la sulfatation [8]

Pour cette raison, les décharges profondes répétées sont interdites. Par conséquent, la limite d'émission est limitée à environ 70 %.

- **Autodécharge :**

Les batteries au plomb sont affectées par le phénomène d'autodécharge provoqué par la réaction redox secondaire qui se produit au niveau des électrodes. Contrairement à une décharge normale, l'échange d'électrons

entre le comburant et le réducteur dans la même électrode s'effectue sans transport de charge à travers l'électrolyte et donc sans production d'électricité.

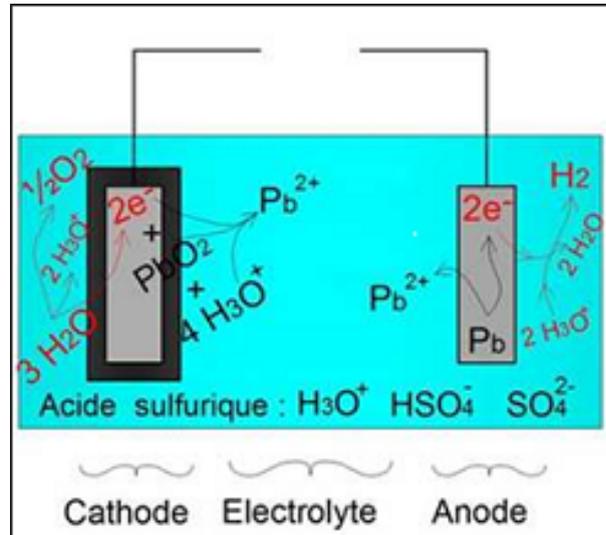


Figure I.27: Phénomènes d'autodécharge [8]

Lorsque la batterie est retirée (circuit ouvert), elle se décharge automatiquement, de sorte que la batterie chargée non utilisée sera complètement déchargée en quelques mois.

I.7 Conclusion

Plusieurs technologies ont émergé pour réaliser des systèmes PV, et chacun des composants du système présente ces avantages et inconvénients. Le choix de ces composants est basé sur leurs performances. La deuxième partie est consacrée à déterminer la taille des seconds ainsi que leur sortie.

Chapter II

Dimensionnement du système photovoltaïque

SOMMAIRE

II.1	INTRODUCTION	32
II.2	LE GISEMENT SOLAIRE [9]	32
II.2.1	Notions de base sur le gisement solaire	32
II.2.2	évaluation des gisements locaux d'énergie solaire [9]	35
II.3	QUALITÉ D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE AUTONOME [4]	39
II.3.1	Rendement des modules	39
II.3.2	Pertes par échauffement des câbles [13]	41
II.3.3	Rendement du régulateur	42
II.3.4	Pertes par absence du MPPT	42
II.3.5	Rendement des batteries	43
II.3.6	Rendement de l'onduleur	43
II.3.7	Autres pertes	44
II.3.8	Le ratio de performance PV	44
II.4	DIMENSIONNEMENT DU GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE [4]	44
II.4.1	L'énergie d'un générateur photovoltaïque	44
II.4.2	Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque	45
II.4.3	Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser	45
II.5	DIMENSIONNEMENT DU PARC DE BATTERIES [4]	46
II.6	CHOIX DU RÉGULATEUR [16]	47
II.7	DIMENSIONNEMENT DE L'ONDULEUR [18]	48
II.8	DIMENSIONNEMENT DES CÂBLES [13]	49
II.8.1	Courant admissible des câbles	49
II.8.2	Chute de tension	49
II.8.3	Conditions de fonctionnement des câbles photovoltaïques	49
II.9	CONCLUSION	49

II.1 Introduction

La taille d'une installation photovoltaïque nécessite de multiples études des différents paramètres qui la composent, comme la taille du champ photovoltaïque, les cellules, onduleurs et régulateurs, et les câbles reliant tous ces composants.

Dans ce chapitre on va parler d'abord du gisement solaire, puis nous aborderons en détail le dimensionnement de l'installation photovoltaïque autonome, enfin on va déterminer le besoin électrique de département génie électrique et électronique de faculté de technologie Tlemcen.

II.2 Le gisement solaire [9]

II.2.1 Notions de base sur le gisement solaire

Le champ solaire est composé de plusieurs irradiations selon différents paramètres tels que la position et la distance de la terre au soleil, le mouvement de la terre, l'atmosphère, et surtout l'environnement. Dans les systèmes photovoltaïques, le rayonnement solaire varie en fonction de la position du plan.

II.2.1-a Reconstitution du rayonnement sur un plan horizontal

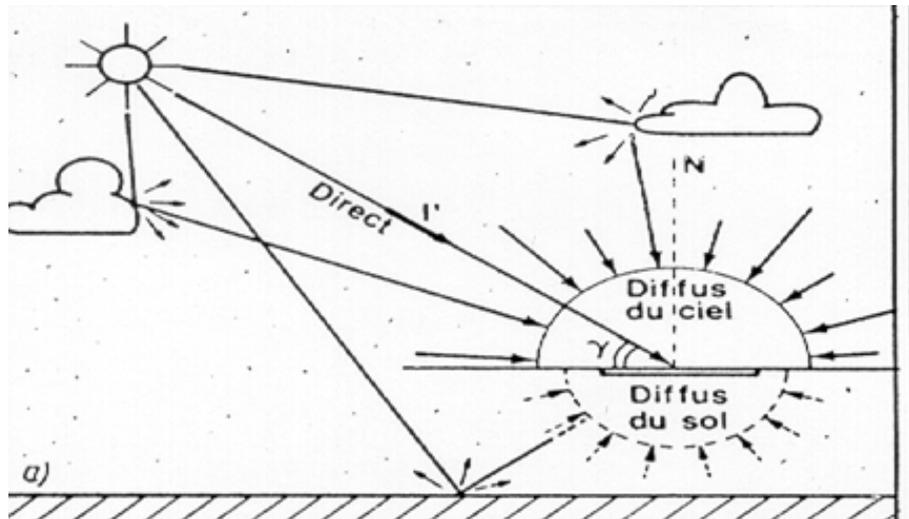


Figure II.1: Composantes de rayonnements solaires sur un plan horizontal [9]

Le rayonnement solaire subit plusieurs modifications en traversant l'atmosphère ce qui réduit son spectre de diffusion et se décompose en trois composantes :

- **Rayonnement direct** : c'est le rayonnement reçu directement du soleil sans être subit des modifications par l'atmosphère. Il est donné par l'équation suivante :

$$BH = B_n \sin h \quad (\text{II.1})$$

Avec :

BH : l'éclairement dû au rayonnement direct calculé sur un plan horizontal.

B_n : l'éclairement dû au rayonnement direct.

h: la hauteur du soleil.

- **Rayonnement diffus** : c'est l'ensemble des rayonnements diffusés dû aux différents types de diffusion du rayonnement causés par les phénomènes atmosphériques.

Le calcul du rayonnement diffus sur un plan horizontal est donné par :

$$DH = D_r + D_a + D_m \quad (\text{II.2})$$

Où :

D_r : L'irradiation diffuse provenant de la diffusion de Rayleigh.

D_a : L'irradiation diffuse provenant de la diffusion par les aérosols.

D_m : L'irradiation diffuse issue du phénomène de multi réflexion terre atmosphère.

- **Rayonnement global** : c'est la somme de tous les rayonnements captés par le plan horizontal. Il est donné par l'équation suivante :

$$GH = BH + DH \quad (\text{II.3})$$

Avec :

BH : L'éclairement dû au rayonnement direct sur un plan horizontal.

DH : L'éclairement dû au rayonnement diffus sur un plan horizontal.

II.2.1-b Reconstitution du rayonnement sur un plan incliné

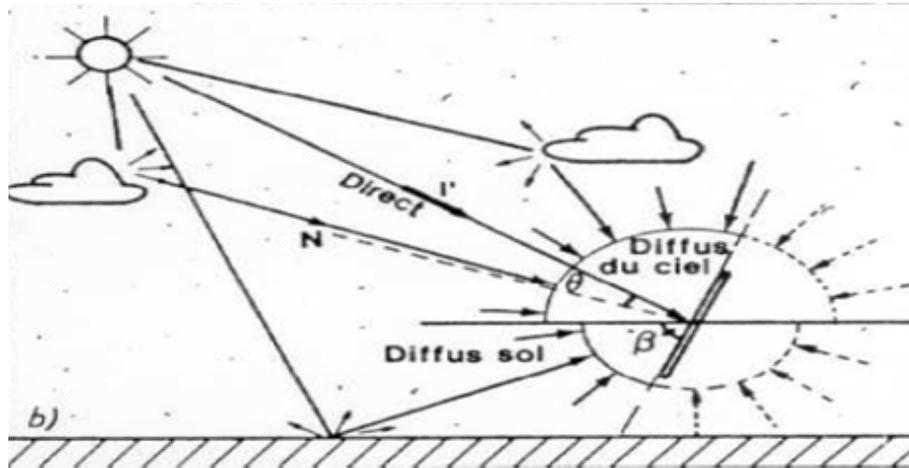


Figure II.2: Composantes de rayonnements solaires sur un plan incliné [9]

Le plan incliné est caractérisé par une pente β par rapport à l'horizontale et une orientation γ , qui est l'angle entre la normale de la pente et le plan méridien au sud du site. L'angle d'incidence α est l'angle formé entre la normale du plan et les rayons du soleil. On parle souvent d'incidence normale lorsque $\alpha = 0$, c'est-à-dire lorsque le rayon est perpendiculaire au plan.

L'angle d'incidence s'écrit, en fonction de la position du soleil (HS, AZ) :

$$\cos \alpha = \cos \beta \times \sin HS + \sin \beta \times \cos HS \times \cos AZ - \gamma \quad (\text{II.4})$$

Avec :

HS : l'angle formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil.

AZ : l'angle formé par la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et la direction sud de se repère.

Le rayonnement sur un plan incliné est composé de trois types de rayonnement :

- **Rayonnement direct** : il est donné par la relation suivante :

$$I_{ni} = I_n \times \cos \theta_i \quad (\text{II.5})$$

Avec :

I_{ni} : Rayonnement direct

θ_i : l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur un plan incliné.

I_n : l'éclairement dû au rayonnement direct sur un plan incliné.

- **Rayonnement diffus** : donné par l'équation suivante :

$$I_{di} = I_d \times \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (\text{II.6})$$

Avec :

I_{di} : Rayonnement diffus

β : l'angle d'inclinaison du plan incliné.

I_d : l'éclairement dû au rayonnement diffus sur un plan incliné.

- **Rayonnement réfléchis** : exprimé par l'équation :

$$I_{ri} = (I_n \sin h + I_d) \times \rho \times \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \quad (\text{II.7})$$

Où :

I_{ri} : Rayonnement réfléchis

ρ : Albédo du sol

- **Rayonnement global** : c'est la somme de tous les rayonnements captés par le plan horizontal. Il est donné par l'équation suivante :

$$I_{gi} = I_{ni} + I_{di} + I_{ri} \quad (\text{II.8})$$

Avec:

I_{gi} : Rayonnement global

II.2.2 évaluation des gisements locaux d'énergie solaire [9]

L'objectif de l'évaluation de l'abondance solaire est de caractériser le profil d'ensoleillement à un endroit bien précis pour un système photovoltaïque en examinant la répartition annuelle de l'ensoleillement. Avant cette évaluation, la définition de l'éclairement solaire et de l'ensoleillement est requise.

- **L'éclairement solaire** : Il s'agit du flux d'énergie généré par le rayonnement solaire entrant reçu par unité de surface. Exprimé en W/m^2 .
- **Rayonnement solaire** : c'est la quantité horaire d'énergie solaire du rayonnement solaire incident par unité de surface. Exprimé en Wh/m^2 ou J/m^2 .

II.2.2-a Influence de la localisation sur le gisement solaire

La répartition du rayonnement solaire à la surface de la terre dépend de plusieurs paramètres.

- **Longitude** : Elle correspond à l'angle formé par deux plans méridiens, l'un étant le méridien 0° de Greenwich et l'autre dépendant de la position considérée. Le signe (+) est attribué aux méridiens qui se trouvent à l'est de ce méridien, et le signe (-) est attribué aux méridiens qui se trouvent à l'ouest.
- **Latitude** : La latitude d'un endroit sur la surface de la Terre est l'angle entre l'équateur et le rayon de la Terre passant par cet endroit. Dans l'hémisphère Nord, la latitude est calculée de 0° à $+90^\circ$.

La latitude a également un effet important :

- Loin de l'équateur, les journées d'été deviennent plus longues et plus ensoleillées
Le soleil est bas à midi.
- Les journées d'hiver sont plus courtes et le soleil est encore plus bas que l'équateur. C'est-à-dire l'intensité maximale (midi) et le rayonnement total
Le soleil sur le plan horizontal diminue avec l'augmentation de la latitude.
- **L'altitude** : La hauteur du point est la distance verticale entre ce point et la surface de référence théorique (niveau moyen de la mer), généralement exprimée en mètres.
- **Couverture nuageuse**: Aussi une zone sèche changeante avec une couverture nuageuse très faible la plus sensible au rayonnement solaire extrême.
- **Masse d'air** : La part d'énergie reçue par la surface de la Terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser, qui est représentée par le nombre de masses d'air AM sur la Figure. Dans un ciel clair, le rayonnement atteignant le niveau de la mer à midi est de $1000(W/m^2)$ et est décrit comme rayonnement de la masse d'air ?1? (ou AM1).

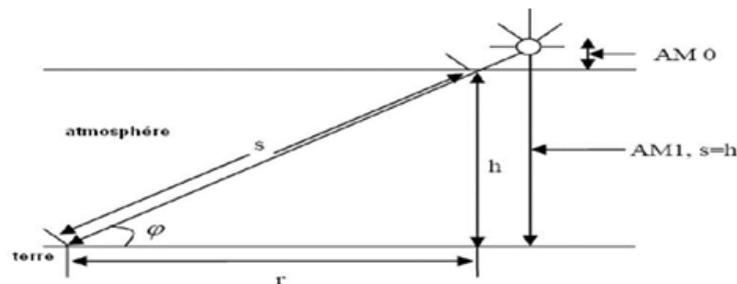


Figure II.3: Définition de l'air masse [9]

II.2.2-b Inclinaison et orientation optimales des capteurs photovoltaïques [10]

L'énergie fournie par le capteur photovoltaïque est directement proportionnelle à l'ensoleillement. Pour la meilleure optimisation d'une installation solaire, ce facteur doit être pris en compte, qui dépend à son tour de l'emplacement d'installation, de l'orientation et de l'inclinaison de ces capteurs.

Idéalement, ils doivent être orientés au sud dans l'hémisphère nord et au nord dans l'hémisphère sud, à l'écart des zones ombragées, et inclinés selon un angle permettant une récupération d'énergie optimisée.

Un plan incliné est caractérisé par son inclinaison β (par rapport à l'horizontale) et la direction ou azimut χ par rapport au sud.

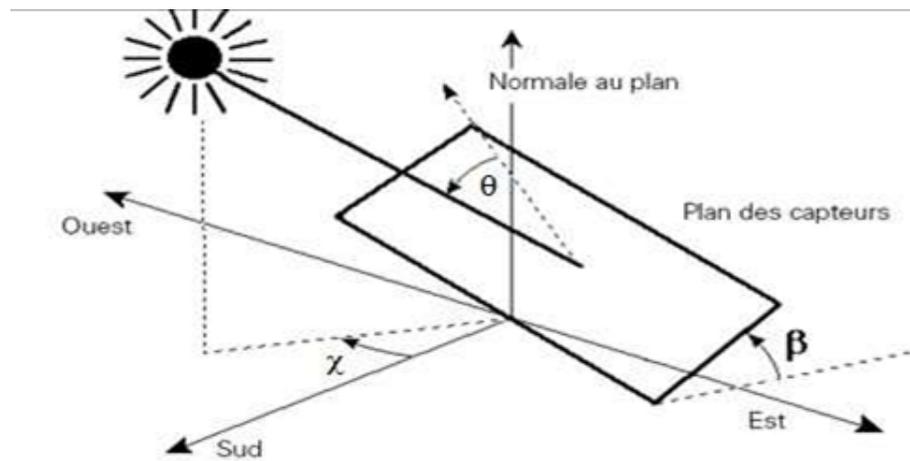


Figure II.4: Définition des angles pour un plan incliné : (inclinaison β , azimut χ et l'angle d'incidence θ) [10]

Plus les rayons sont proches de la perpendiculaire au plan des panneaux ($\cos\theta = 1$), plus la quantité d'énergie disponible est importante.

- En moyenne, sur l'année, l'inclinaison optimale pour maximiser l'énergie annuelle produite est égale à la latitude du lieu.
- Une inclinaison plus forte que la latitude peut augmenter l'énergie récupérée en hiver (la trajectoire du soleil étant basse dans le ciel), au détriment de celle récupérée en été.
- L'inverse est réalisé pour une inclinaison plus faible que la latitude.

Ces considérations sont prises en compte lors du dimensionnement des systèmes photovoltaïques. Le tableau suivant fournit les valeurs d'inclinaison recommandées des capteurs photovoltaïques pour une utilisation annuelle continue par latitude [11].

Table II.1: Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle [12]

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

II.2.2-c Ombrage ou repérage des masques

Cela se produit lorsque le module est placé face à une sorte d'obstacle comme des bâtiments, des montagnes, des arbres... etc. qui obscurcira le soleil.

Ces effets d'ombrage sur le rayonnement reçu sont difficiles à estimer visuellement, cependant il faut faire attention aux ombrages partiels voire temporisés car ils affectent la production d'énergie et provoquent un assombrissement.

Il est à noter que lorsqu'une cellule est ombragée, le courant de toute la série de cellules est limité et cela peut avoir de graves conséquences si les cartes ne sont pas équipées de diodes anti-retour.

II.2.2-d Données météorologiques

La conception d'un système photovoltaïque nécessite la connaissance du rayonnement solaire utile sur le site d'installation. Cette connaissance est l'un des paramètres essentiels de la recherche préliminaire. Pour une demande d'électricité donnée, plus il y a d'énergie solaire reçue, moins il y aura de panneaux solaires installés et vice versa. Lors de son passage dans l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé sur le sol.

Les effets de l'atmosphère provoquent la diffusion et l'absorption du rayonnement incident. La variation du rayonnement solaire de l'atmosphère est soumise à des phénomènes assez complexes et surtout aléatoires. Le flux lumineux reçu au sol à un instant donné dépend d'un grand nombre de paramètres : Gaz atmosphériques, Nuages, Albédo (réflectivité du sol), Température ambiante, Vent, Humidité relative, etc.

Cependant, tous ces paramètres dépendent de la situation géographique, de la saison, de l'heure de la journée, des conditions météorologiques de cette période. Il est donc important de disposer de données fiables à partir des statistiques accumulées les années précédentes à l'aide d'un instrument de mesure appelé "héliographe". Avec cet instrument de mesure, la station météo calcule les statistiques du rayonnement solaire intégré en $[KWh/m^2.J]$ de toutes les données collectées. Ce sont ces données, globales sur une journée, qui servent la plupart du temps au dimensionnement d'un système.

II.3 Qualité d'une installation photovoltaïque autonome [4]

Le rendement d'un dispositif photovoltaïque représente le rapport entre l'énergie électrique fournie par le panneau et l'énergie solaire reçue par ce dernier.

$$\eta = \frac{\text{Puissance électrique fournie}}{\text{Puissance solaire reçue}}$$

Le rendement d'une installation photovoltaïque est d'environ 10 %, ce qui signifie que seulement 10 % de l'énergie solaire reçue par le module est convertie en électricité, et les 90 % restants sont perdus sous forme de chaleur et de réflexion. Ce rendement est encore réduit en sortie de l'installation PV en raison des pertes causées par les différents composants de l'installation (batteries, régulateurs, onduleurs, câbles, etc.), comme le montre la figure ci-dessous.



Figure II.5: Rendement global et Différentes pertes au sein d'une installation [4]

II.3.1 Rendement des modules

Les performances des unités photovoltaïques varient en fonction de la technologie utilisée dans la conception des cellules. Ceci est résumé dans le tableau suivant :

Table II.2: Rendement d'une cellule PV selon sa technologie [4]

Technologie des cellules PV	Rendement
Silicium mono cristallin	Entre 14 % et 19 %
Silicium poly cristallin	Entre 10 % et 15 %
Silicium amorphe	Entre 5 % et 10 %

Comme décrit au chapitre 1, un module photovoltaïque est constitué de cellules photovoltaïques installées en série et/ou en parallèle, cependant le rendement d'un module est inférieur à

celui de l'ensemble des cellules qui le composent.

Le rendement de la cellule est donné par l'équation suivante :

$$\eta_{cellule} = \frac{\text{la puissance électrique fournie}}{S_{cellule} \times \text{la puissance radiative reçue}} \quad (\text{II.9})$$

Avec :

$S_{cellule}$: la surface de la cellule

$\eta_{cellule}$: Le rendement de la cellule

Le rendement du module est donné par l'équation suivante :

$$\eta_{module} = \frac{\text{la puissance électrique}}{S_{module} \times \text{la puissance radiative reçue}} \quad (\text{II.10})$$

Avec :

S_{module} est la surface du module

η_{module} : Le rendement du module

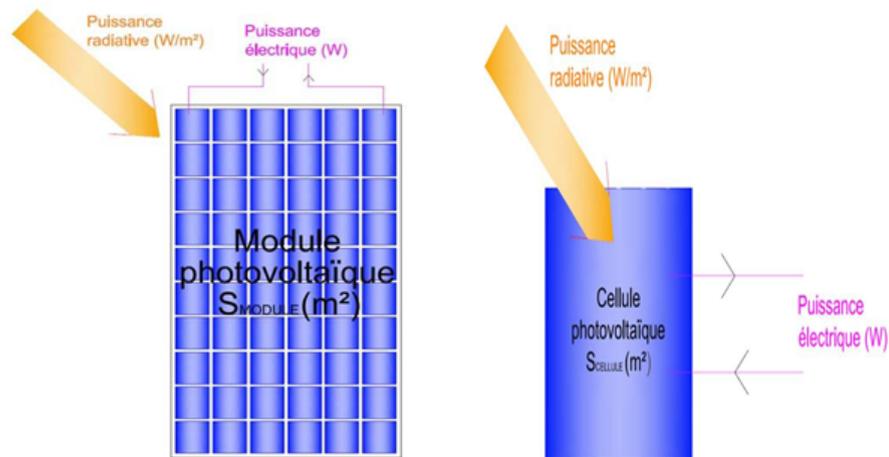


Figure II.6: D'une cellule et d'un module exposés au rayonnement solaire [4]

La Figure ?? montre que la surface de l'unité est plus grande que la surface de tous les autres éléments qui la composent, ce qui explique la différence de performance, causée par des espaces vides entre les éléments, et donc une diminution de la qualité des performances.

Un autre facteur très important qui a un impact sur l'efficacité de l'unité photovoltaïque est la température.

En théorie, le rendement est estimé dans les Conditions Standards de Test (STC) : niveau d'éclairement $P_i = 1000W/m^2$, Température de cellule $25^{\circ}C$, $AM = 1.5$; dans ce cas la puissance électrique fournie par le module est la puissance crête.

Le rendement est donné par :

$$\eta_{cmodule,STC} = \frac{P_c}{P_{i,STC} \times S_{module}} \quad (II.11)$$

En pratique la température de la cellule est de l'ordre de $50^{\circ}C$, ce qui diminue le rendement du module. Dans ce cas le rendement est donné par :

$$\eta_{cmodule,50^{\circ}} = \frac{P_{50^{\circ}C}}{P_{i,STC} \times S_{module}} \quad (II.12)$$

On peut donc noter que la température des cellules joue un rôle important dans la performance de l'installation photovoltaïque. Par conséquent, pour assurer une bonne qualité d'installation, nous devons avoir une bonne ventilation du plafond photovoltaïque car il est considéré comme une nécessité.

II.3.2 Pertes par échauffement des câbles [13]

Les câbles électriques sont caractérisés par une résistance (R) exprimée en ohms (Ω) qui varie selon le matériau utilisé, cette résistance dépend de la résistivité (ρ), de la longueur (L) et de la section (S) du câble selon à cette équation :

$$R = \rho \times L/S \quad (II.13)$$

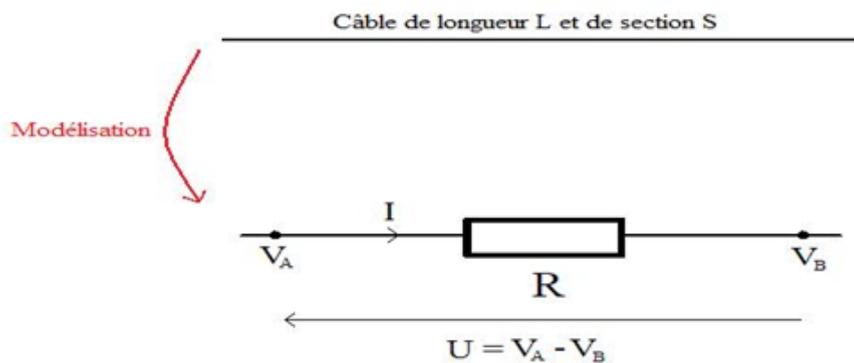


Figure II.7: Modélisation électrique d'un câble [13]

La tension (U) au borne du câble est donnée par :

$$U = V_A - V_B = R \times I \quad (II.14)$$

La résistance du câble, ci-dessus, provoque une basse tension entre les deux extrémités du câble. En pratique, une taille du système de qualité est déterminée pour réduire les pertes ohmiques. Dans les fils de courant continu (DC) lorsque la tension diminue jusqu'à 2 % entre les unités et l'onduleur. Si la tension diminue plus que la valeur mentionnée (par exemple en raison de la très longue longueur du câble), l'augmentation de la section transversale du fil direct actuel sera la solution pour éviter les câbles chauffants.

II.3.3 Rendement du régulateur

Comme décrit au chapitre 1, Les régulateurs photovoltaïques perdent une partie de leur énergie électrique sous forme de chaleur.

La performance des régulateurs dépend de leur technologie :

Table II.3: Rendement moyen d'un régulateur photovoltaïque [13]

Technologie du régulateur	Rendement moyen
Tout-ou-rien	Entre 97 % et 100 %
MLI	Entre 95 % et 98 %
MLI + MPPT	Entre 90 % et 95 %, mais la fonction MPPT permet d'améliorer le rendement du champ photovoltaïque

II.3.4 Pertes par absence du MPPT

La figure montre la différence de puissance avec et sans régulateur MPPT. Ainsi, pour augmenter la puissance maximale de 20 à 30 % de l'efficacité des panneaux solaires, il est connecté au contrôleur MPPT.

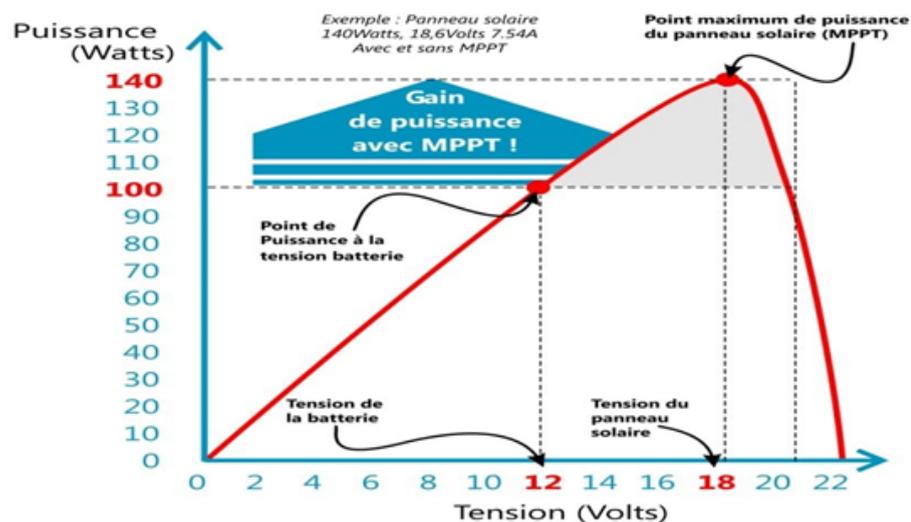


Figure II.8: Gain de puissance avec ou sans régulateur MPPT [14]

II.3.5 Rendement des batteries

Les performances de la batterie sont contrôlées par plusieurs facteurs électrochimiques, par exemple :

- L'efficacité de charge est le rapport entre la capacité de récupération et la capacité de charge.
- Le phénomène de la loi de Peukert qui nous permet de calculer l'énergie totale fournie par la batterie:

$$C_p = I^k \times t \quad (\text{II.15})$$

Avec :

C_p : est la capacité selon Peukert (Ampères-heures).

I : le courant de décharge (Ampères).

t : le temps de décharge (heures).

- L'autodécharge des batteries

Après tous ces phénomènes, l'efficacité de la batterie est estimée à environ 85 %.

II.3.6 Rendement de l'onduleur

L'efficacité de l'onduleur est réduite d'environ 5 % en raison de ses composants électriques, qui dissipent une partie de l'énergie sous forme de chaleur, mais cela est également lié à la tension et à la capacité d'entrée, de sorte que 95 % de l'énergie continue générée par le panneau photovoltaïque se transforme en énergie alternative lorsque l'onduleur est éjecté.

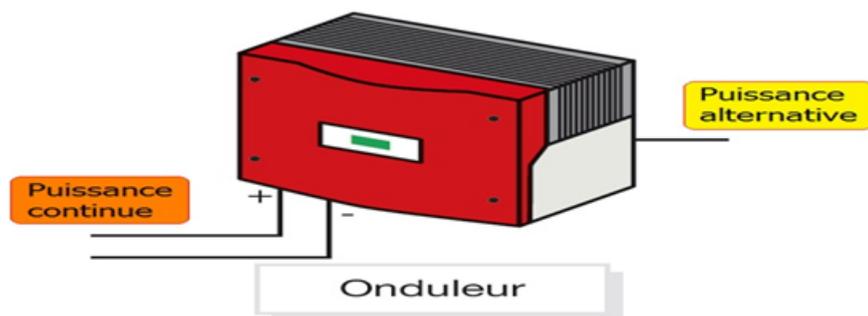


Figure II.9: Rendement de l'onduleur [5]

II.3.7 Autres pertes

Ce ne sont pas seulement les pertes d'électricité dues aux différents composants du système photovoltaïque qui existent qui peuvent entraîner d'autres pertes lors de cette installation et sont estimées à 2 %, telles que:

- La différence de production entre les cellules d'une même unité photovoltaïque.
- Résistance maximale des unités avec une marge d'erreur estimée à $\pm 3\%$.

II.3.8 Le ratio de performance PV

Le ratio de performance, appelé PR, est un indicateur de performance indiquant le rapport entre les rendements énergétiques réels et théoriques. Nous le distinguons en pourcentage, si sa valeur approche 100 %, nous pouvons dire que l'installation est très efficace.

Appelé aussi facteur de qualité, il mesure la qualité d'un appareil photovoltaïque et quantifie les pertes électriques de l'appareil.

$$PR = \frac{\text{rendement réel}}{\text{rendement théorique}} \quad (\text{II.16})$$

II.4 Dimensionnement du générateur photovoltaïque [4]

Cette étape comprend le calcul du nombre de modules photovoltaïques dont nous aurons besoin pour répondre à la demande d'électricité.

II.4.1 L'énergie d'un générateur photovoltaïque

La puissance crête des panneaux installés dépend de l'irradiance du site d'installation. Il est calculé en appliquant la formule suivante :

$$E_p = P_c \times I_r \quad (\text{II.17})$$

Avec :

E_p : énergie produite de panneau par jour (Wh/jour)

P_c : Puissance crête de panneau photovoltaïque en Watt crête (Wc)

I_r : Temps moyen d'ensoleillement journalier (h/jour)

En Algérie : $2 \leq I_r \leq 8$. On prend la moyenne de 5 h/Jour

II.4.2 Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque

La tension de fonctionnement est sélectionnée en fonction de la puissance de crête du champ photoélectrique en watts. En général:

Table II.4: Tension du champ en fonction de sa puissance crête [12]

Puissance de générateur (W)	Moins de 500W	De 501W à 2000W	De 2001W à 10000W	Plus de 10000 W
Tension de générateur (V)	12	24	48	96

II.4.3 Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser

A partir de la puissance crête des panneaux on peut déterminer le nombre de :

- Panneaux solaire nécessaires à l'installation :

$$N_m = \frac{E_c}{E_p} \quad (\text{II.18})$$

Avec :

E_p : énergie produite de panneau par jour (Wh/jour)

E_c : énergie totale de consommation par jour (Wh/jour)

- Le nombre de modules connectés en série sera égale à :

$$N_s = \frac{U_{max}}{U_{co}} \quad (\text{II.19})$$

Avec :

U_{max} : Tension total du champ du régulateur choisi.

U_{co} : La tension de circuit ouvert du panneau photovoltaïque.

- Le nombre de modules connectés en parallèles s'exprime par :

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} \quad (\text{II.20})$$

Avec :

N_m : Nombre total de panneaux photovoltaïques

N_s : Nombre de panneaux connectés en série

II.5 Dimensionnement du parc de batteries [4]

Pour le dimensionnement des batteries, suivez ces étapes :

- Calcule l'énergie consommée (E_c) par les différents récepteurs.
- Détermine le nombre de jours d'autonomie nécessaires.
- Détermine la profondeur de décharge acceptable pour le type de batterie utilisé.
- Calcule la capacité (C) de la batterie en appliquant la formule ci-dessous :

$$C_{ch} = \frac{E_c \times N}{D \times U} \quad (\text{II.21})$$

Avec :

C_{ch} : Capacité du champ de batterie en ampère. Heure (Ah)

E_c : énergie consommée par jour (Wh/j)

N : nombre de jour d'autonomie

D : décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb)

U : tension de la batterie (V)

- Nombre de batteries en séries :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{batterie}} \quad (\text{II.22})$$

Avec :

V_{ch} : Tension du champ

$V_{batterie}$: La tension de la batterie

- Nombre de batterie en parallèles :

$$N_p = \frac{C_{ch}}{C_{batterie}} \quad (\text{II.23})$$

Avec :

C_{ch} : Capacité totale du champ de batteries associées à toute l'installation PV.

$V_{batterie}$: Capacité d'une batterie.



Figure II.10: Aperçu d'une batterie solaire [15]

II.6 Choix du régulateur [16]

Le régulateur solaire, également appelé régulateur de charge, a les tâches suivantes

- Lorsque la batterie est complètement chargée, la charge sera limitée.
- Il ralentit la décharge pour éviter les décharges profondes
- Il affiche en permanence l'état de fonctionnement du panneau solaire et l'état de charge de la batterie.

Les deux facteurs principaux pour choisir un régulateur de charge sont :

- Tension entre panneau et batterie : Le régulateur doit pouvoir accepter cette tension (généralement 12V, 24V ou 48V).
- L'Intensité maximale du régulateur : l'intensité du régulateur (ampères, A) doit être supérieure à l'intensité du court-circuit du panneau solaire relié. Une marge de sécurité de 10 % à 20 % n'est pas vaine

Les régulateurs solaires MPPT contribuent à améliorer les performances des panneaux solaires.



Figure II.11: Aperçu du régulateur [17]

II.7 Dimensionnement de l'onduleur [18]

Les convertisseurs de courant sont dimensionnés selon plusieurs critères :

- **Tension d'entrée** : identique à la tension de la batterie ou du régulateur (12, 24 ou 48V CC).
- **Tension de sortie** : en Algérie on utilise 220/230V, 50Hz.
- **La puissance nominale** : C'est La puissance que les appareils électriques consomment pour faire leur travail de manière "normale". Pour les connaître, il suffit de collecter la puissance de sortie des appareils électriques qui peuvent être utilisés en même temps. Il est toujours nécessaire de choisir un adaptateur dont la puissance est légèrement supérieure à celle des appareils.
- **Puissance maximale** : L'onduleur doit être capable de fournir une grande quantité de puissance (généralement deux ou trois fois la puissance nominale). Cette fonctionnalité est utile pour les appareils motorisés (réfrigérateurs, fours à micro-ondes, lave-linge, etc.) car la consommation augmente très rapidement pendant le processus de démarrage.

En général, la puissance maximale fournie par ces onduleurs est suffisante si les dimensions de puissance nominale sont correctement définies.

- **Rendement** : Une partie de la puissance convertie est consommée par le transformateur de courant (80 à 95 % de l'énergie est récupérée). Il est important de contrôler ce rendement, car on sait que les bons produits se situent autour de 90.

De plus, la plupart des convertisseurs consomment de l'énergie même lorsqu'ils ne fonctionnent pas (veille). Certains sont équipés de systèmes marche/arrêt qui peuvent faire économiser beaucoup d'argent sur les petits systèmes PV.

II.8 Dimensionnement des câbles [13]

Le choix des câbles reliant les différents composants de l'installation photovoltaïque dépend de deux caractéristiques :

II.8.1 Courant admissible des câbles

Le courant admissible d'un câble est la valeur maximale de l'intensité du courant qui peut traverser le câble sans que sa température ne dépasse la norme.

II.8.2 Chute de tension

Comme indiqué plus haut, la chute de tension d'un câble augmente inversement avec sa section, donc pour réduire ces chutes il est important de choisir une section de câble suffisamment importante.

II.8.3 Conditions de fonctionnement des câbles photovoltaïques

Afin d'obtenir les meilleures performances de l'installation, la sélection des câbles reliant les modules PV aux régulateurs et aux batteries est très importante car les conditions de fonctionnement suivantes doivent être respectées :

- Choisir une longueur la plus courte possible entre les composants de l'installation.
- Choisir une section suffisamment grande pour diminuer les chutes de tension.
- Choisir un câble résistant aux changements climatiques qui provoquent une élévation et une baisse de la température.

II.9 Conclusion

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome est la meilleure étude la plus précise possible.

Afin d'avoir une installation fiable et satisfaisante, il est indispensable de choisir des composants répondant à trois qualités : la meilleure technologie, un bon rendement, un coût réduit.

Chapter III

Etude de l'alimentation autonome

SOMMAIRE

III.1 INTRODUCTION	51
III.2 SITE D'IMPLANTATION	51
III.2.1 Situation géographique de Chetouane Tlemcen	51
III.2.2 Climat de Chetouane Tlemcen	52
III.2.3 Orientation des panneaux	53
III.3 DÉTERMINATION DES BESOINS ÉLECTRIQUES	53
III.3.1 Définition du besoin électrique	53
III.3.2 Inventaire de charge électrique	53
III.3.3 Calculs des besoins électriques	54
III.4 DIMENSIONNEMENT DU CHAMP PV	55
III.4.1 Le nombre du panneau total choisi dans l'installation	56
III.4.2 Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque	56
III.4.3 Les caractéristiques (puissance, courant, tension) du panneau	57
III.5 DIMENSIONNEMENT DU PARC DE BATTERIES	57
III.6 CHOIX DU L'ONDULEUR AVEC UN RÉGULATEUR INTÉGRÉ	58
III.7 DIMENSIONNEMENT DES CÂBLES	58
III.7.1 La section du câble entre les panneaux et l'onduleur	59
III.7.2 La section du câble entre l'onduleur et les batteries	59
III.7.3 La section du câble entre l'onduleur et les appareils	60
III.8 LE SCHÉMA DU SYSTÈME & LE TABLEAU DE DIMENSIONNEMENT	60
III.9 LA SURFACE DE L'INSTALLATION ÉTUDIÉE	61
III.10 L'ÉTUDE ÉCONOMIQUE DE SYSTÈMES	63
III.10.1 L'investissement	63
III.10.2 Financement	63
III.10.3 Le coût d'énergie	63
III.11 CONCLUSION	63

III.1 Introduction

Après avoir étudié les différents paramètres de l'installation de PV autonome, nous étudions nécessairement l'application de cette installation au Département de génie électrique de la Faculté de technologie de l'Université de Tlemcen.

III.2 Site d'implantation

Pour l'étude d'une installation de système photovoltaïque autonome, nous avons choisi le site du Département de génie électrique de la Faculté de technologie de l'Université de Tlemcen et les données géographiques et météorologiques



Figure III.1: Carte de faculté de technologie Département GEE [19]

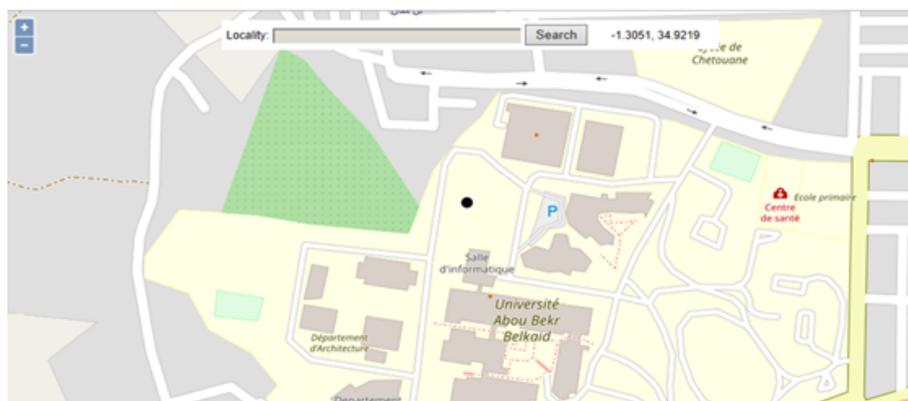


Figure III.2: Carte de faculté de technologie Département GEE [20]

III.2.1 Situation géographique de Chetouane Tlemcen

Chetouane est une commune de la wilaya de Tlemcen en Algérie. Les coordonnées géographiques du site de collecte de données sont les suivantes [20]:

- Latitude : 34°55'14" Nord

- Longitude : $-1^{\circ}18'8''$ Est
- L'altitude par rapport au niveau de la mer : 581

III.2.2 Climat de Chetouane Tlemcen

Chetouane Tlemcen bénéficie d'un climat tempéré chaud. Selon la classification de Kppen-Geiger, le climat est de type Csa. Chetouane affiche une température annuelle moyenne de 17.4°C . La moyenne des précipitations annuelles atteints 196 mm

	Irradiation globale horizontale	Irradiation diffuse horizontale	Température	Vitesse du vent	Turbidité Linke	Humidité relative
	W/m ²	W/m ²	°C	m/s	[-]	%
Janvier	122.8	38.3	9.4	3.40	2.658	71.3
Février	159.7	57.4	10.3	3.50	2.955	71.7
Mars	213.7	63.6	12.8	3.40	3.755	69.8
Avril	258.8	86.7	14.9	3.39	4.106	67.8
Mai	280.6	101.9	18.6	3.40	4.708	60.3
Juin	313.9	108.2	23.0	3.51	5.256	54.5
Juillet	304.0	110.6	26.7	3.49	6.662	46.1
Août	280.1	99.3	26.8	3.40	5.701	50.7
Septembre	227.8	73.9	22.6	3.00	4.704	62.6
Octobre	180.1	61.6	19.3	2.90	3.897	63.9
Novembre	135.8	44.9	13.5	3.29	3.164	69.2
Décembre	113.8	31.9	10.6	3.20	2.758	72.7
Année	216.2	73.3	17.4	3.3	4.194	63.4

Irradiation globale horizontale variabilité d'une année sur l'autre 3.1%

Figure III.3: Données Météorologiques mensuelles de Chetouane (2010) [21]

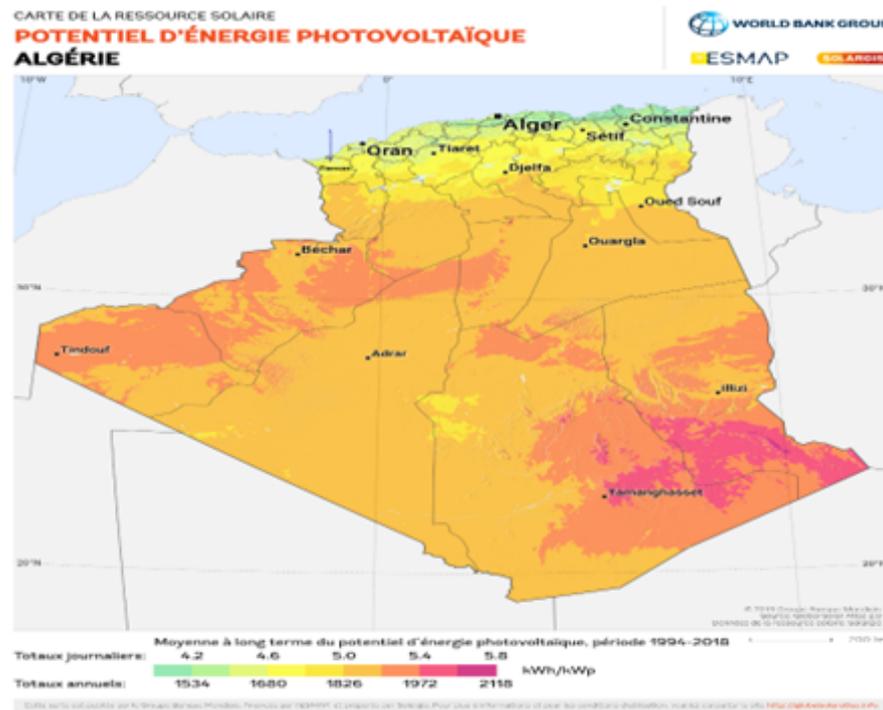


Figure III.4: Carte de l'irradiation solaire de l'Algérie [22]

III.2.3 Orientation des panneaux

Selon les informations citées au paragraphe III.2.1 ci-dessus, l'utilisation de l'énergie solaire est encouragée sur le site de Chetouane (Département GEE). Cependant, afin de pouvoir estimer les angles d'inclinaison optimaux des modules photovoltaïques dans cette région où le gain de puissance est amélioré, nous avons choisi :

Inclinaison → Latitude 34.5, donc l'inclinaison : 34°

L'orientation → Azimut vers le sud

III.3 Détermination des besoins électriques

III.3.1 Définition du besoin électrique

Pour déterminer la taille du champ PV et le parc de batteries, il faut d'abord connaître les besoins électriques pour éviter les dysfonctionnements de l'installation et leurs coûts élevés. Cette définition s'appuie sur l'inventaire de la consommation de l'ensemble des appareils électriques et comment calculer les besoins électriques.

III.3.2 Inventaire de charge électrique

L'installation photovoltaïque est destinée à alimenter plusieurs appareils électriques dont certaines et leurs consommations.

Après avoir compté le département de génie électrique, on a constaté qu'il contient vingt-trois salles, deux amphithéâtres, d'un siège de gestion, le sanitaire et trois couloirs. Représenter dans le tableau suivant :

Table III.1: Puissance des appareils

Types d'appareils	Leurs puissances électriques
une imprimante	350 W
Vidéoprojecteur (DATASHOW)	90 W
Un ordinateur de bureau	100 W
Un ordinateur portable	80 W
Un routeur réseau Wi-Fi	7 W
Un chargeur de téléphone portable	5 W
Un photocopieur	300 W
Tubes fluorescents	10 W à 60 W
Ampoule fluorescente compacte	1 W à 50 W
Lampe LED	12 W

III.3.3 Calculs des besoins électriques

Une fois l'inventaire des appareils réalisé, il faut calculer les besoins en électricité afin de connaître l'énergie journalière totale consommée par ceux-ci, pour cela il faut faire une estimation du temps d'utilisation journalière de chaque appareil. Puissance (W) pour la durée d'utilisation (h) donne la consommation énergétique (Wh) de chaque appareil, enfin la somme de ces énergies calculées calcule la demande électrique, exprimée en Wh/jour.

$$\text{Une consommation électrique (Wh)} = \text{Puissance (W)} \times \text{Temps d'utilisation (h)}$$

Table III.2: la Consommation d'énergie journalière

Appareil électrique	Puissance nominale (en W)	Durée d'utilisation journalière (en h/jour)	Consommation d'énergie journalière (en Wh)
Tubes fluorescents	$226 \times 10 = 2260W$	7 h/jour	15820Wh/jour
Ampoule fluorescente compacte	$48 \times 20W = 960W$	7 h/jour	6720 Wh/jour
Lampe LED	$6 \times 12W = 720W$	5 h/jour	3600 Wh/jour
Vidéoprojecteur (DATASHOW)	$90 \times 12W = 1080W$	7 h/jour	7560 Wh/jour
Un ordinateur portable	$80 \times 25 = 2000W$	2 h/jour	4000 Wh/jour
Un chargeur de téléphone portable	$5 \times 61 = 305W$	2 h/jour	2135 Wh/jour
une imprimante	$3 \times 60W = 180W$	2 h/jour	360 Wh/jour
Un ordinateur de bureau	$5 \times 100W = 500W$	7 h/jour	3500 Wh/jour
Une photocopieuse	$2 \times 50W = 100W$	2 h/jour	200 Wh/jour
Un routeur réseau Wi-Fi	$1 \times 7W = 7W$	8 h/jour	56 Wh/jour
TOTAL	8112 W		43063.25 Wh/jour

- Puissance nominale : 8112W
- Consommation d'énergie journalière : 43063.25 Wh/jour

On prend une Pourcentage de consommation supplémentaire pour compenser la restriction/perte de 20 % donc l'énergie totale :

$$E_T = E_c + (0.20 \times E_c) = 43063.25 + 8612.65 = 51675.9 \approx 51676Wh/jour$$

III.4 Dimensionnement du champ PV

Plusieurs technologies sont disponibles pour les modules PV ; Ainsi, la détermination de la taille du module repose sur plusieurs critères tels que les besoins électriques de l'installation et le choix d'une technologie qui réduit au maximum le nombre de batteries sans manquer d'énergie. C'est indiqué sur la figure ??le type de module choisi dans le cas de cette présente étude est de type : Panneau Solaire JA 460 W 24V Monocristallin PERC (JAM72S20-460/MR) dont les caractéristiques techniques sont données en (Annexe A).

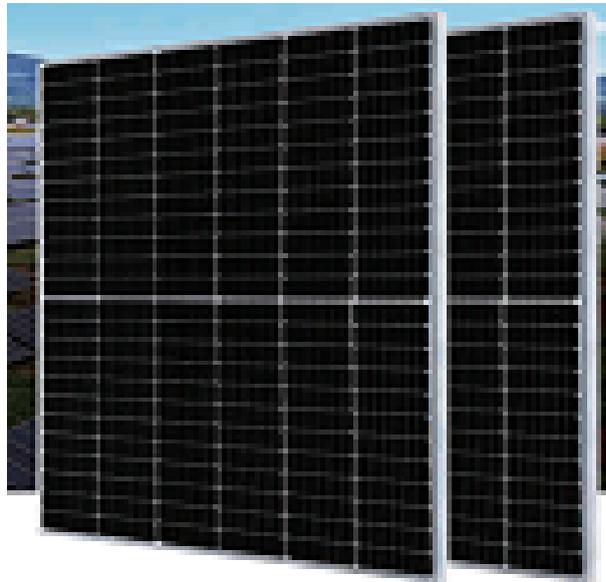


Figure III.5: Panneau Solaire JA 460W 24V Monocristallin PERC (JAM72S20-460/MR) (Annexe A)

III.4.1 Le nombre du panneau total choisi dans l'installation

$$\text{Le nombre de panneau} = \frac{\text{Energie totale de consommation par jour (Wh/jour)}}{\text{Energie produite de panneau par jour (Wh/jour)}}$$

$$E_p = P_c \times I_r = 460 \times 5 = 2300 \text{Wh/jour}$$

$$N_m = \frac{E_c}{E_p} = \frac{51676}{2300} = 22.46$$

Donc utilise 24 Panneaux

III.4.2 Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque

Selon les informations dans le tableau ?? et la valeur nominale de la puissance des équipements qui est :

La puissance nominale (en W) = 8112W

La tension de fonctionnement du champ PV = 48V

III.4.3 Les caractéristiques (puissance, courant, tension) du panneau

Table III.3: la Consommation d'énergie journalière

Type	JA Monocristallin PERC
Puissance maximum (Pmax) (W)	460 W
Courant de cr maximale (Imp) (A)	10.92 A
Tension de puissance max (Vmp) (V)	42.13 V
Tension en circuit ouvert (Vco) (V)	50.01 V
Courant de court-circuit (Isc) (A)	11.45 A

III.5 Dimensionnement du parc de batteries

On a choisit dès la batterie scellée Tensite Blue (Annexe B) pour le stockage d'énergie ; pour une tension DC de 48 V et une durée d'autonomie de deux jours et un décharge maximale admissible (0.8 pour les batteries au plomb).



Figure III.6: La batterie scellée Tensite Blue (Annexe B)

Le nombre de batteries nécessaires pour un tel système photovoltaïque est :

- Calculer la capacité du champ de batteries :

$$C_{ch} = \frac{E_c \times N}{D \times U} = \frac{51676 \times 2}{0.8 \times 48} \approx 2692Ah$$

- Calculer le nombre des batteries en série :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{batterie}} = \frac{48}{12} = 4batteries$$

- Nombre des batteries en parallèles :

$$N_p = \frac{C_{ch}}{C_{batterie}} = \frac{2692}{260} = 10.35 = 11Batteries$$

- Le nombre des batteries Totale :

$$N_b = N_s \times N_p = 4 \times 11 = 44 \text{ Batteries}$$

III.6 Choix du L'onduleur avec un régulateur intégré



Figure III.7: L'onduleur avec un régulateur intégré (Annexe C)

Le choix de l'onduleur (Annexe C), pour cela on a opté pour un onduleur choisis par rapport à trois critères :

- Le rendement est de 95 %
- La tension d'entrée de l'onduleur doit e la m tension de sortie du régulateur et la m tension de de champ PV qui est : 48 V.
- Sa puissance doit e supérieure égale ou à la puissance maximale journalière du besoin plus 30 % de cette dernière ; Soit : la puissance nominale = 8112 W

Donc la puissance de l'onduleur :

$$P_{\text{onduleur}} = P_n + 0.3P_n = 8112 + (0.3 \times 8112) = 10545.6W$$

Donc choisi un onduleur de puissance du : 12KW

III.7 Dimensionnement des câbles

Afin d'obtenir une meilleure efficacité d'installation, le choix des câbles reliant les unités photovoltaïques et le régulateur ainsi que les batteries est très important et basé sur les

équations mentionnés au chapitre II :

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (\text{III.1})$$

$$U = R \times I \quad (\text{III.2})$$

Donc l'équation de la section du câble est :

$$S = \frac{\rho \times 2l \times I}{\varepsilon \times V}$$

Avec :

S : la section du câble

ρ : La résistivité du cuivre

$L = 2l$: la longueur du câble

ε : La chute de la tension

III.7.1 La section du câble entre les panneaux et l'onduleur

- On a 3 panneaux en série donc la tension des panneaux :

$$V_{Panneaux} = V_{mp} \times 3 = 42.13 \times 3 = 126.39V$$

- On a 8 en parallèles donc le courant sortir des panneaux :

$$I_{Panneaux} = I_{sc} \times 8 = 11.45 \times 8 = 91.6A$$

- La longueur $L=20m$ et la chute de la tension $\varepsilon = 3\%$; $\rho = 0.017\Omega mm^2/m$ donc :

$$S_1 = \frac{\rho \times L_1 \times I}{\varepsilon \times V} = \frac{0.017 \times 20 \times 91.6}{0.03 \times 126.39} = 8.21mm^2$$

Donc on choisit le câble de $10mm^2$

III.7.2 La section du câble entre l'onduleur et les batteries

La puissance du l'onduleur $P_{onduleur} = 12KW$

Le courant $I=100 A$

La tension $V=48 V$

La longueur $L= 4m$ et la chute de la tension $\varepsilon = 3\%$; $\rho = 0.017\Omega mm^2/m$ donc :

$$S_2 = \frac{\rho \times L_2 \times I}{\varepsilon \times V} = \frac{0.017 \times 4 \times 100}{0.03 \times 48} = 4.7222 \text{mm}^2$$

Donc on le choisit le câble de 6mm^2

III.7.3 La section du câble entre l'onduleur et les appareils

La puissance du l'onduleur $P_{\text{onduleur}} = 12 \text{KW}$

La tension $V=220 \text{ V}$

$$I = \frac{P_{\text{onduleur}}}{V_{AC} \times \eta_{\text{onduleur}}} = \frac{12000}{220 \times 0.9} = 60.61 \text{A}$$

La longueur $L= 20 \text{m}$ et la chute de la tension $\varepsilon = 3\%$; $\rho = 0.017 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ donc :

$$S_3 = \frac{\rho \times L_3 \times I}{\varepsilon \times V} = \frac{0.017 \times 20 \times 60.61}{0.03 \times 220} = 3.12 \text{mm}^2$$

Donc on le choisit le câble de 6mm^2

III.8 Le schéma du système & le tableau de dimensionnement

Table III.4: le dimensionnement du système autonome étudié

Dimensionnement	Le système étudié
Puissance cr à installer (Wc)	11040 Wc
Tension de l'installation (V)	48 V
Nombre de modules	24
En série	3
En parallèle	8
Courant de sortie(A)	
Batteries Total	44
Capacité Total (Ah)	2860
éléments en séries	4
éléments en parallèles	11
Régulateur de charge	48V /100A
Puissance de l'onduleur (KW)	12
Longueur de câble (m)	$L_1 = 20; L_2 = L_3 = 4$
Section de câble (mm^2)	$S_1 = 10; S_2 = 16; S_3 = 6$

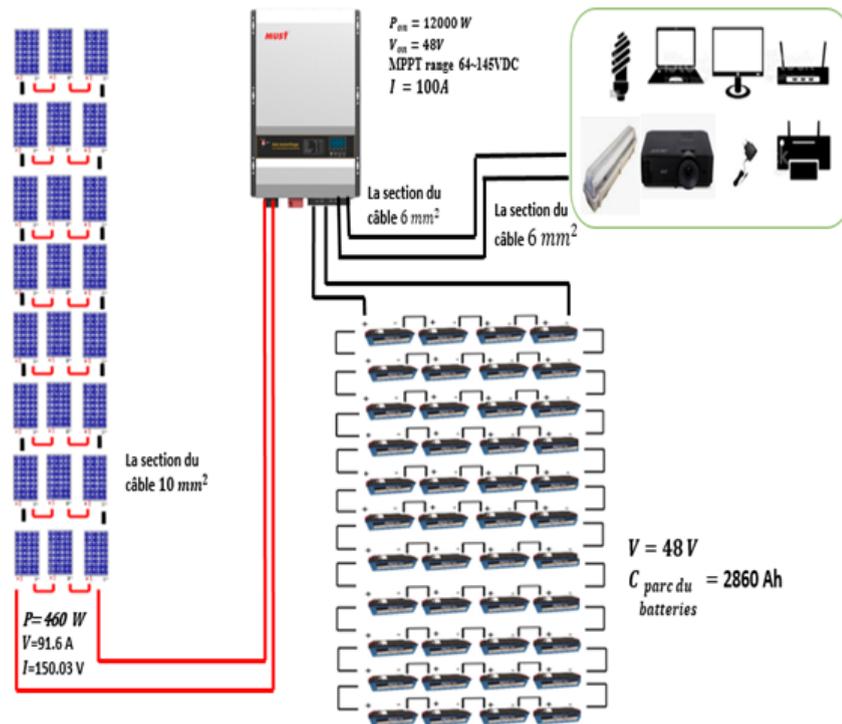


Figure III.8: Le schéma de l'installation du système autonome étudié

III.9 La surface de l'installation étudié

La surface des panneaux solaire :

- le nombre totale de panneaux = 24
- La surface des panneau:

$$\text{La longueur} = 2.112 \times 8 + 1.5 \times 9 = 30.396m$$

$$\text{La largeur} = 1.5 \times 2 + 1.05 \times 3 = 6.15m$$

$$\text{La longueur} \times \text{La largeur} = 186.9354 \approx 187m^2$$

- La surface du parc des batteries

$$\text{La longueur} = 0.514 \times 11 + 0.5 \times 10 = 10.654m$$

$$\text{La largeur} = 0.276 \times 4 + 1.5 = 2.604m$$

$$\text{La longueur} \times \text{La largeur} = 10.654 \times 2.604 = 27.743 \approx 28m^2$$

La surface totale de l'installation = $187 \times 28 = 215m^2$

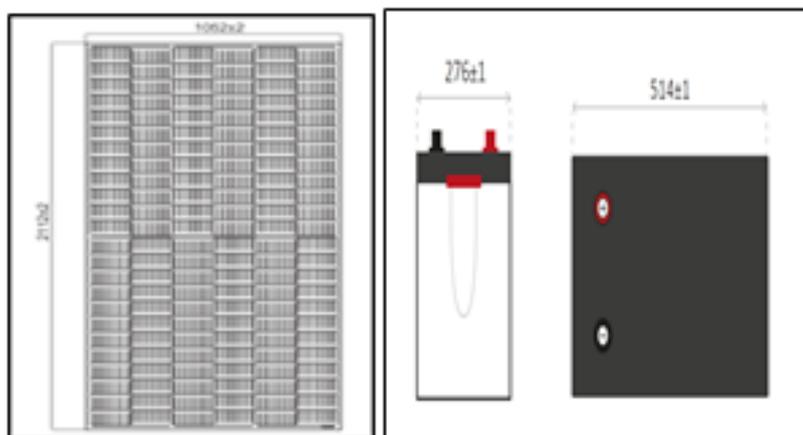


Figure III.9: La taille du panneau batterie (Annexe B)

Après avoir calculé la surface totale pour l'installation, on a choisi l'endroit approprié pour cela, qui est montré dans l'image suivante

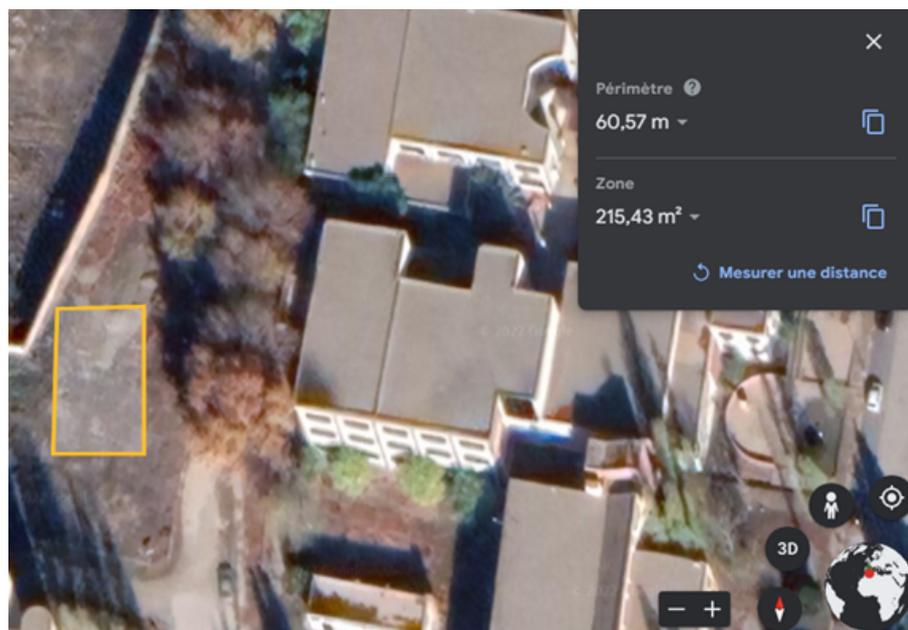


Figure III.10: Une image approximatif du l'emplacement d'installation des panneaux et des batteries [23]

III.10 L'étude économique de systèmes

III.10.1 L'investissement

Table III.5: l'investissement

Modules PV ($P_n = 460W$)	24 panneaux	25 500 DZD/panneau	612 000 DZD
Support et intégration			0 DZD
Batteries (12V, 260 Ah)	44 batteries	39 800 DZD/batterie	1751 200 DZD
Construction, câblage			40 000 DZD
Onduleur (48V, 12KW)			137 900 DZD
Le siège de site		10 000 DZD/m	610 000 DZD
Armoire électrique			6 000 DZD
L'investissement Brut (sans taxes)			3 157 100 DZD

III.10.2 Financement

Table III.6: Financement

L'investissement Brut (sans taxes)		3 157 100 DZD
Taxes sur L'investissement (TVA)	Taux 19 %	599 849 DZD
L'investissement Brut (TTC)		3 756 949 DZD

III.10.3 Le coût d'énergie

Table III.7: le coût d'énergie

Energie solaire utilisé	15 718 KWh/an
Le prix de KWh en Algérie	5.37 DZD
Le cout d'énergie (sans taxes)	84 406.12 DZD
(TVA) Taux 19 %	16 038 DZD
Le cout d'énergie	100 444 DZD

III.11 Conclusion

- Connaître les caractéristiques de l'emplacement géographique est important avant de créer le site d'installation.
- L'orientation et l'inclinaison des panneaux dépendent de la latitude et du mouvement du soleil dans la zone étudiée.
- Pour connaître le nombre de panneaux et de batteries nécessaires, il faut calculer le besoin électrique.
- La section du câble à utiliser est en fonction de l'énergie dont nous aurons besoin pour alimenter le département.
- Après avoir identifié le coût d'installation, nous concluons qu'il dépend du long terme pour bénéficier de ne pas compter sur le coût de l'énergie normale.

Conclusion générale

LES systèmes photovoltaïques sont des solutions futures et doivent être augmentés. Ils permettent de produire de l'énergie propre indépendamment des combustibles fossiles et donc de réduire la quantité de gaz à effet de serre émis et la pollution atmosphérique. Ces systèmes sont faciles à installer et peuvent être facilement construits et entretenus.

Notre étude était basée sur l'installation d'un système photovoltaïque indépendant pour répondre aux besoins en énergie de tous les appareils électriques au département de Génie Electrique et Electronique de la Faculté de technologie, Université de Tlemcen. L'installation indépendante du réseau est utilisée pour couvrir les besoins énergétiques des sites isolés dans la plupart des cas, par opposition au nôtre, qui est l'une des premières études qui a choisi d'être le lieu de son étude, une université, et non une maison isolée.

Ce système nécessite des unités photovoltaïques pour capter l'énergie solaire, des unités de stockage pour être trempées dans des batteries où nous stockons l'énergie générée par ces unités, Le régulateur protège la batterie de la surcharge et sa mission est de régler la valeur de tension nominale Et enfin l'onduleur convertit le courant continu en courant alternatif. En ce qui concerne les fils reliant les différents composants de ce système, trois sections différentes du fil ont été utilisées, selon aux exigences de l'installation photovoltaïque.

Il s'agit de notre étude détaillée sur le système photovoltaïque en tenant compte de sa consommation estimée d'appareils électriques disponibles sur le site. Notre système indépendant se compose des unités photovoltaïques avec une puissance nominales de 460 Wc dédiées aux appareils électriques qui consomment une énergie constante toute l'année de 43,064 kWh/jour, nous avons choisi d'utiliser 24 unités ensemble.

L'intensité maximale totale de notre système est estimée en tenant compte des pertes lorsqu'il fait nuit ou lorsque le rayonnement solaire est insuffisant. L'alimentation est fournie aux appareils exclusivement à partir du champ de stockage. Par conséquent, nous avons choisi des batteries avec des caractéristiques de haute performance de 44 batteries sous forme de 11 séries. De plus, afin d'assurer la protection et le fonctionnement du parc de stockage, nous avons fourni un régulateur de charge. Le but de l'onduleur dans notre application est de convertir le courant produit à partir de panneaux photovoltaïques, à un AC prêt pour la distribution à des appareils électriques.

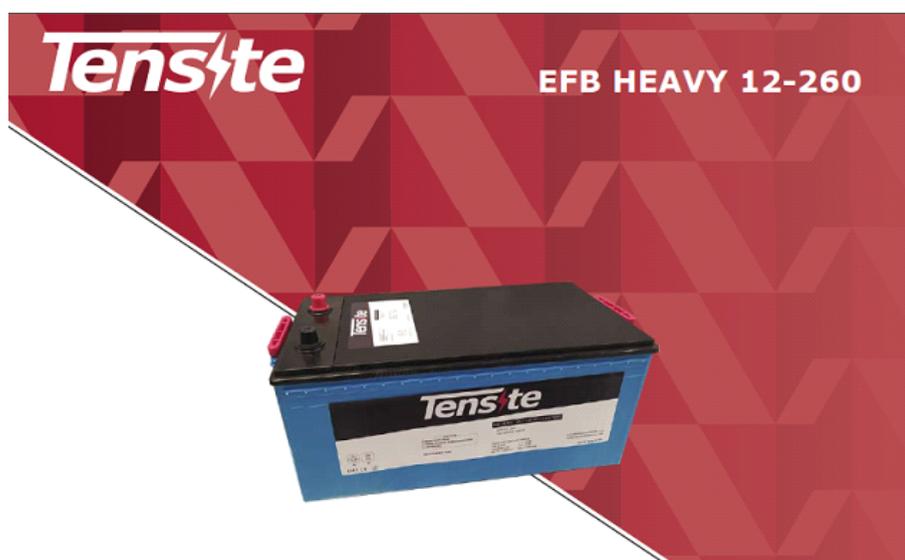
Afin d'améliorer le fonctionnement de l'installation photovoltaïque sur le site choisi, nous avons pris plusieurs décisions :

- D'incliner le champ photovoltaïque de 34.5° , ce qui est l'angle optimal pour capter l'énergie semi-constante tout au long de l'année, donc un bon rendement garanti et une augmentation de la durée de vie du système de stockage.
- Un service de maintenance consistant en une inspection de prop et des connexions tout en nettoyant les faces des unités photovoltaïques
- Vérifier l'apparence des batteries fermées : s'assurer qu'il n'y a pas de trace d'électrolyte sur la surface indiquant une charge élevée avec perte d'acide.
- Vérifier l'état de charge du régulateur : Il est nécessaire que les indicateurs soient cohérents avec l'état de la batterie.

Bibliography

- [1] H.Abderrazak. *Conception et dimensionnement d'un système Photovoltaïque pour habitation et pompage*. Mémoire de Master. Université Mohamed Khider de Biskra. 2017 - 2018.
- [2] AMARA Karima. *Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension*. Mémoire de magister en électronique UMMTO
- [3] Yves Brière, Microtransat 2006
- [4] <https://www.photovoltaique.guidenr.fr>
- [5] CHABANI.K. *Etude et réalisation d'un régulateur de charge et d'un onduleur monophasé pour un système photovoltaïque autonome*. Mémoire de fin de formation, centre de formation professionnelle Ouaguenoun, 2007.
- [6] BOUTTE Aïssa. *Identification des paramètres internes d'une batterie pour des applications photovoltaïques*. Thèse de doctorat en électronique, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2014 - 2015.
- [7] <https://www.lavoitureelectrique.info/>
- [8] Saliha, M. S. (2017-2018). *étude de conception d'un système photovoltaïque autonome*. Mémoire de Master en Electronique.
- [9] Djohra SAHEB-KOUSSA, Maiouf BELHAMEL et Khaled BENFERHAT. *Contribution à l'étude théorique du comportement d'un système hybride (éolien photovoltaïque- diesel) de production d'électricité sans interruption*. Centre de développement des énergies renouvelables Route de l'observatoire B.P.62 Bouzaréah, Alger, Algérie.
- [10] R. Rezoug, A. Zaatri. *Optimisation du rendement d'un système photovoltaïque par poursuite du soleil*. Revue des énergies Renouvelables 12, 299 ? 306, 2009
- [11] S. Brigand. *Les principes de l'énergie solaire photovoltaïque*. complément technique, Techniques de construction, www.editiondumoniteur.com, Mars-Avril 2008

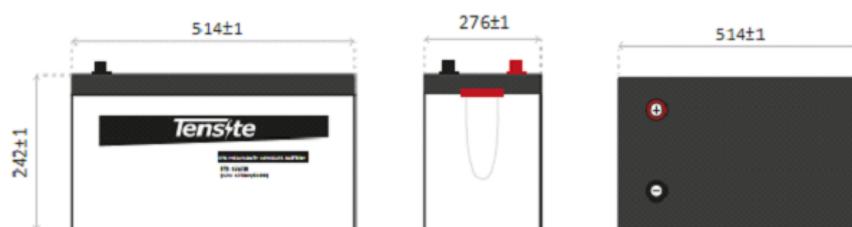
-
- [12] Rafik BELABED. Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque. 2016 - 2017
- [13] MAHMOUDI Sabrina et RABEHI Saliha. Etude de conception d'un système photovoltaïque autonome. 2017 - 2018
- [14] <https://www.jade-technologie.com/role-regulateur-de-charge-solaire-mppt/>
- [15] <https://quincaillerie.wendpouire.com/accueil/532-panneau-solaire-monocristallin-mes-150wc.html>
- [16] MATALLAH Sorya. Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla. Mémoire master académique, Université Kasdi Merbah ? Ouargla, 2014/2015
- [17] <https://www.solaris-store.com/>
- [18] K. Kassmil, M. Hamdaouil et F. Olivié. *Conception et modélisation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique*. Université Mohamed Premier Maroc, 2007
- [19] RETScreen Expert
- [20] PV systèmes (openstreetMap).
- [21] Meteonorm 8.0 (2010).
- [22] <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/algeria>
- [23] Google earth



LES CARACTÉRISTIQUES

-  Taille compacte idéale pour tout type d'utilisation
-  Convient aux énergies renouvelables, utilisation cyclique.
-  Parfait pour être utilisé comme accumulateur dans les installations photovoltaïques.

LES DIMENSIONS



Batterie inondée améliorée 12V 260AH

LES CARACTÉRISTIQUES

La batterie EFB 260Ah 12V Tensite est une batterie 12V, elle est donc composée de 6 éléments 2V. Il est de type monobloc donc sa maintenance est minimale. Ses utilisations les plus courantes sont pour alimenter des appareils de faible puissance tels que l'éclairage, l'ordinateur portable, la télévision, les chargeurs de téléphone portable et même de petites installations isolées. Il est également idéal pour les utilisations peu exigeantes.

APPLICATION

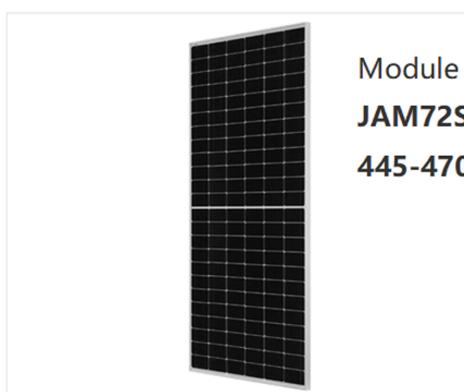
- Système d'alimentation de secours
- équipement de communication
- Systèmes de télécommunication
- Alimentations sans interruption
- Outils électroportatifs
- équipement marin
- équipement médical
- Système d'énergie solaire et éolienne

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- étanchéité de sécurité
- Densité de puissance élevée
- Construction anti-déversement
- Plaques épaisses et matériaux hautement actifs
- Durée de vie plus longue et conception à faible autodécharge

SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

SPÉCIFICATIONS ÉLECTRIQUES	Tension nominale		12V	
	Capacité nominale (taux de 100 heures)		260A	
	Courant de démarrage à froid		1250A [EN]	
	Courant de démarrage à froid		750A [DIN]	
DIMENSION	Longueur	Largeur	Hauteur	
	514mm	276mm	242mm	
Incertitude poids	60,45 kg ± 3%			
MÉTHODE DE CHARGE @25°C	Utilisation du cycle		Utilisation flottante	
	14.1-14.4V (Courant de charge initial inférieur à 27A)		13.50-13.80V	
RÉCIPIENT	Cas	Bouchons d'aération	Couvercle	Poignées
	Polypropylène B0 Bleu	Polypropylène SMF Noir	Polypropylène SMF Noir	Polypropylène Côtés – sur conteneur Noir



Module demi-cellule MBB 72 cellules

JAM72S20

445-470/MR

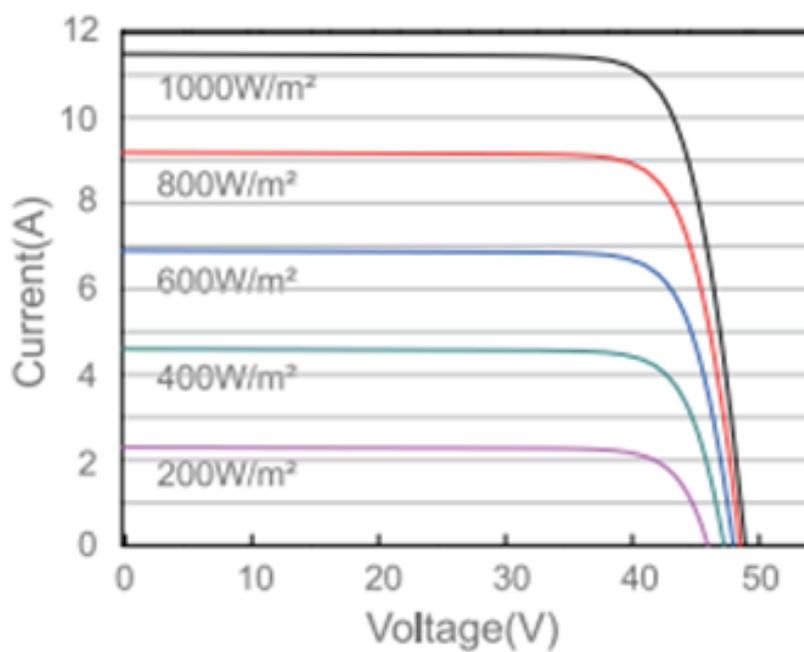
Description du produit

Assemblé avec des cellules PERC multi-barres omnibus, la configuration demi-cellule des modules offre les avantages d'une puissance de sortie plus élevée et de meilleures performances pendant la température, d'un effet d'ombrage réduit sur la génération d'énergie, d'un risque réduit de point chaud, ainsi que d'une tolérance accrue pour charge inégale.

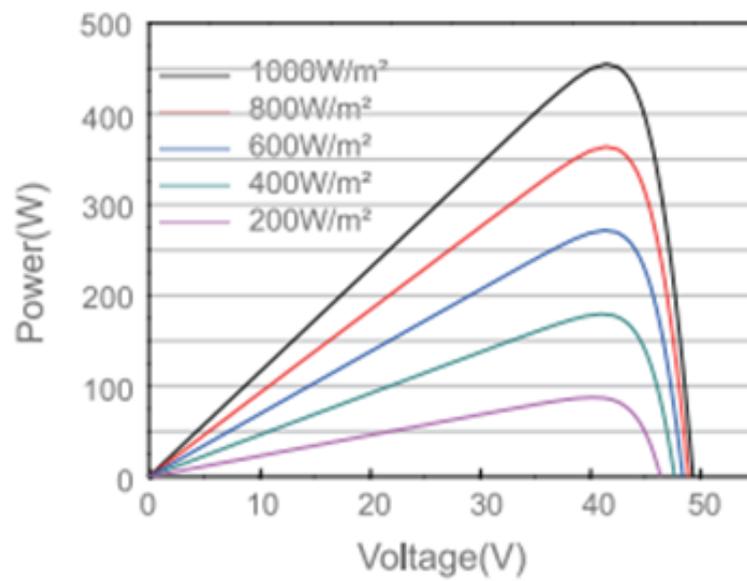
Prntation du produit

Cellule	Mono
Nombre de cellules	144 (6×24)
Puissance maximale nominale(Pmax)	470W
Efficacité maximale	21,2 %
Boite de dérivation	IP68,3 diodes
Tension maximale du système	1000V/1500V CC
Température de fonctionnement	-40°C ~ +85°C
Connecteurs	MC4 EVO2/ QC4.10-35

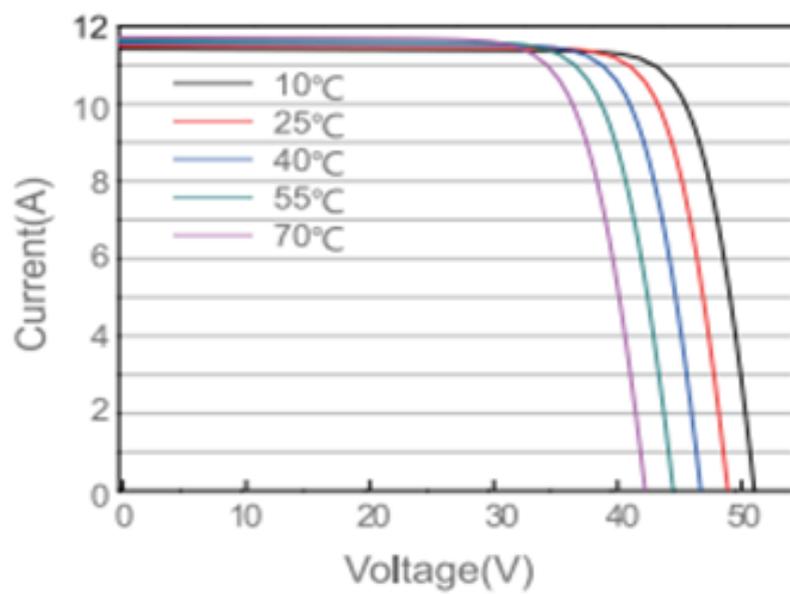
Courbe courant-tension



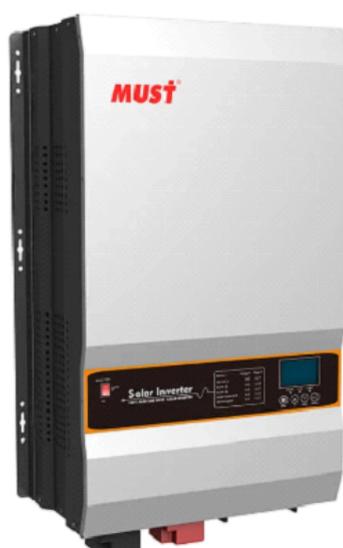
Courbe puissance-tension



Courbe courant-tension



Onduleur solaire hors réseau basse fréquence série PV3500 TLV (8-12KW)



Description

La série PV3500 TLV est un onduleur multifonction, combinant les fonctions d'onduleur et de contrôleur de chargeur solaire MPPT, de chargeur solaire et de chargeur de batterie pour offrir un support d'alimentation sans interruption. L'écran LCD complet offre un fonctionnement par bouton configurable par l'utilisateur et facilement accessible, tel que le courant de charge de la batterie, la priorité du chargeur AC/solaire et la tension d'entrée sélectionnable en fonction de différentes applications.

- Réglage intelligent de l'écran LCD (modes de travail, courant de charge, tension de charge, etc.)
- Contrôleur de charge solaire MPPT intégré 100A
- Efficacité MPPT max 98

- Taux de charge puissant jusqu'à 80 ampères
- Démarrage CC et fonction d'autodiagnostic automatique
- Fonction de surveillance USB
- Prise en charge de l'AGS, du port BTS
- Compatible avec le générateur

Caractéristiques

MAQUETTE	PV35-8048 TLV	PV35-10048 TLV	PV35-12048 TLV
Tension nominale du système de batterie	48VDC		
SORTIE INVERSEUR			
Puissance nominale	8.0KW	10.0KW	12.0KW
Indice de surtension	24000VA	30000VA	36000VA
Capable de démarrer un moteur électrique	4HP	5CV	6CV
Forme d'onde	Onde sinusoïdale pure / Identique à l'entrée (mode bypass)		
Tension de sortie nominale RMS	100V/110V/120V/200V/220V/240V		
Fréquence de sortie	50 Hz / 60 Hz ± 0.3 Hz		
Efficacité de l'onduleur (pic)	>88 %		
Efficacité en mode ligne	>95%		
Facteur de puissance	1.0		
Temps de transfert typique	20 ms (maximum)		
ENTRÉE CA			
Tension	220V/230V/240V		
Plage de tension sélectionnable	90-280 VCA (APL)		
Gamme de fréquences	50Hz / 60Hz		
LA BATTERIE			
Coupeure de tension de batterie faible	40-48VDC pour le mode 48VDC		
Récupération de tension de batterie faible	42-50VDC pour le mode 48VDC		
Coupeure haute tension de la batterie	60VDC pour le mode 48VDC		
Récupération de la tension élevée de la batterie	57VDC pour le mode 48VDC		
Mode de recherche de consommation au ralenti	< 60W lorsque l'économiseur d'énergie est activé		

CHARGEUR CA			
Tension de sortie	Dépend du type de batterie		
Classement du disjoncteur d'entrée CA du chargeur	80A	80A	80A
Protection contre les surcharges SD	31.4VDC pour le mode 24VDC (62.8VDC pour le mode 48VDC)		
Courant de charge maximal	60A	70A	80A
BTS			
Puissance de sortie continue	Oui/ Variations de la tension de charge et de la tension SD en fonction de la température de la batterie		
BY-PASS & PROTECTION			
Forme d'onde de tension d'entrée	Onde sinusoïdale (grille ou générateur)		
Fréquence d'entrée nominale	50Hz ou 60Hz		
Protection contre les surcharges (charge SMPS)	Disjoncteur		
Protection contre les courts-circuits de sortie	Disjoncteur		
Classement du disjoncteur de dérivation	63A	63A	63A
Courant de dérivation maximal	80Amp		
CHARGEUR SOLAIRE			
Courant de charge PV maximal	100A		
Tension continue	48V		
Puissance maximale du générateur photovoltaïque	5000W (10000W pour 200A en option)		
Plage MPPT @ tension de fonctionnement (VDC)	64 ~ 145 VCC		
Tension maximale en circuit ouvert du générateur photovoltaïque	145 VCC		
Efficacité maximale	>98%		
Consommation électrique en veille	<2W		

SPÉCIFICATIONS MÉCANIQUES			
Montage	montage mural		
Dimensions (L*H*P)	670*410*215mm		
Poids net (CHG solaire) (kg)	69±2.5	75.75±2.5	75.75±2.5
Dimensions d'expédition (L*H*P)	884*618*443mm		
Poids à l'expédition (Solar CHG) (kg)	82.5±2.5	89±2.5	92±2.5
AUTRE			
Plage de température de fonctionnement	0°C à 40°C		
Température de stockage	-15°C à 60°C		
Bruit audible	60dB MAX		
Affichage	DEL+LCD		
Chargement (200P/400P/40HQ)	140 pièces/280 pièces/320 pièces		