



UFR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

Mention : Physique et Applications

Spécialité : Physique des Matériaux

Mémoire de Master



*Sujet : Contribution à l'amélioration de
la maintenance des installations
photovoltaïques*

Présenté par **Thiar DIOP**

Sous la direction de :

Dr Moustapha THIAME et Dr Ababacar NDIAYE

Soutenu publiquement le 17/07/2020 devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Qualité	Etablissement
SOW Bamol Ali	Maitre de Conférences CAMES	Président de jury	UASZ
THIAO Serigne	Assistant	Rapporteur	UASZ
DIATTA Joseph Sambasene	Maitre-assistant	Examineur	UASZ
DIATTA Samo	Maitre-assistant	Examineur	UASZ
NDIAYE Ababacar	Maitre-Assistant	Co-encadrant	UASZ
THIAME Moustapha	Maitre-Assistant	Encadrant	UASZ

Année universitaire 2019-2020

Remerciements

Avant tout je remercie le bon Dieu de nous avoir accordé la vie accompagnée de santé mais aussi le courage et la volonté afin que nous puissions accomplir ce travail de fin d'étude.

Je remercie mes parents qui, depuis mon enfance, n'ont jamais cessé de nous conseiller mais aussi de s'invertir dans nos études.

Je remercie chaleureusement Dr Moustapha THIAMÉ et Dr Ababacar NDIAYÉ respectivement encadrant et co-encadrant d'avoir accepté de diriger ce travail. Soyez rassuré de notre profonde gratitude et notre plus haute considération.

Je remercie également Dr Serigne THIAO d'avoir accepté d'évaluer ce travail et de faire le rapport de ce mémoire.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit de Dr Bamol Ali SOW d'avoir accepté de présider le jury ainsi que les deux examinateurs à savoir Dr Joseph Sambasene DIATTA et Dr Samo DIATTA. Soyez assuré de notre profonde gratitude.

Je remercie le professeur Diouma KOBOR, responsable du LCPM ainsi que tous les professeurs du département de physique qui nous ont enseigné et soutenu dans nos études.

Je remercie le professeur Lat Grand NDIAYÉ qui m'a mis en rapport avec l'entreprise Sud Solar System où j'ai effectué mon stage. Soyez assuré de notre reconnaissance.

Je remercie toute l'équipe de Sud Solar System en commençant par son Directeur Mr Alpha M BARRY jusqu'aux stagiaires pour l'accueil chaleureux et l'accompagnement durant notre stage. Soyez assuré de notre profonde gratitude et considération.

Je remercie aussi à Matar Diallo qui, malgré la distance n'a ménagé aucun effort pour la réussite de ce travail. Soyez assuré de notre sincère reconnaissance.

Je remercie aussi l'ensemble de mes tuteurs du collège jusqu'à l'université. Soyez rassuré de notre profonde reconnaissance.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents Daouda et NDIAYE Fatou pour leurs sacrifices mais aussi l'attention particulière qu'ils ont toujours prêtée à notre modeste personne.

A mes frères et sœurs qui ont contribué de près ou de loin à ma réussite.

A tous mes enseignants du primaire jusqu'à l'université qui m'ont toujours soutenu et encouragé.

A mes amis et camarades de promotion pour des années passées ensemble dans les meilleurs comme dans les pires moments.

A Sory Baldé qui m'a accueilli à l'université Assane Seck de Ziguinchor.

A l'ensemble des membres de notre groupe de travail de la première année jusqu'en licence.

A mon épouse Diouma Ngom pour sa compréhension.

A l'ensemble de mes tuteurs de la 6^{ème} jusqu'à l'université. Soyez assuré de notre profonde gratitude.

Résumé

Le travail présenté ici a pour but de contribuer à l'amélioration de la maintenance des installations photovoltaïques. Plus précisément, notre travail consiste à recenser un grand nombre d'installations photovoltaïques afin de faire une évaluation de leur état de fonctionnement actuel. Celle-ci consiste à : évaluer le niveau de satisfaction en terme de performance, recenser les différents types de pannes et classer les types de pannes selon leur niveau de récurrence.

Pour ce faire, un stage de trois mois a été effectué au sein de l'entreprise **Sud Solar System**. Durant ce stage, 47 systèmes photovoltaïques pour l'électrification répartis entre les régions de Fatick, Kolda, Sédhiou et Ziguinchor ont été recensés. A côté de ces systèmes photovoltaïques pour l'électrification, 23 systèmes photovoltaïques pour le pompage solaire tous localisés à Ziguinchor ont aussi été recensés. Les différentes pannes des composantes de ces systèmes et leurs causes ont été analysées.

Les résultats trouvés montrent que pour les systèmes photovoltaïques pour l'électrification, les batteries sont les composants les plus fragiles (60,67% des pannes en moyenne). Les onduleurs et les régulateurs représentent en moyenne 13,13% des défaillances des systèmes photovoltaïques pour l'électrification. Les modules photovoltaïques sont les composants les plus résistants (13,07%).

Pour les systèmes photovoltaïques pour le pompage solaire, les contrôleurs sont les composants les plus vulnérables avec 34,8% des défaillances, suivi de la pompe (21,7%). Les tuyaux et les sondes/flotteurs sont à l'origine de 17,4%, respectivement, du dysfonctionnement des systèmes photovoltaïques pour le pompage solaire. Dans un système photovoltaïque pour le pompage solaire, le variateur est le composant le plus résistant.

Mots clés : Défaillance, Diagnostic, Electrification, Maintenance, Photovoltaïque, Pompage, Récurrence.

Abstract

The work presented here aims to contribute to the improvement of the maintenance of the photovoltaic installations. More precisely, our work is to identify a large number of photovoltaic installations in order to make an assessment of their current operating state. This one consists of: assessing the level of satisfaction in terms of performance, identifying the different types of breakdowns and classifying the types of breakdowns according to their level of recurrence.

To do this, a three-month internship was carried out within the company **Sud Solar System**. During this internship, 47 photovoltaic systems for electrification distributed between the regions of Fatick, Kolda, Sedhiou and Ziguinchor were identified. In addition to these photovoltaic systems for electrification, 23 photovoltaic systems, all located in Ziguinchor, have also been identified. The various failures of the components of the systems and their causes have been analyzed.

The results found show that for photovoltaic systems for electrification, the batteries are the most fragile (60.67% on average). Inverters and regulators represent on average 13.13% of failures in photovoltaic systems for electrification. Photovoltaic modules are the most resistant components (13.07%).

For photovoltaic systems for solar pumping, the controllers are the most vulnerable with 34.8% of failures, followed by the pump (21.7%). Pipes and probes/ floats are responsible for 17.4%, respectively, of the dysfunction of photovoltaic systems for solar pumping. In a photovoltaic system for solar pumping, the dimmer is the most resistant component.

Keywords : Diagnostic, Electrification, Failure, Maintenance, Photovoltaic, Pumping, Recurrence.

Nomenclature

λ : Longueur d'onde du photon (m)

η : Rendement de conversion

c : Célérité de la lumière ($c = 3.10^8 \text{m. s}^{-1}$)

E : Energie d'un photon (J)

FF : Facteur de forme

f_i : La fréquence du type de panne

f_{xi} : Le nombre de fois d'apparition du type de panne

h : Constante de Planck ($h = 6,63.10^{-34} \text{J. s}$)

G : Quantité de paires électron-trous générées

I : Courant continu [A]

I_D : Courant de la diode [A]

I_{max} : Intensité maximale [A]

I_{cc} : Courant de court-circuit [A]

I_{ph} : Courant photovoltaïque ou photocourant [A]

I_0 : Courant de sursaturation de la diode [A]

k : Constante de Boltzmann ($k = 1,38.10^{-23} \text{J. K}^{-1}$)

L_n : Longueur de diffusion de la zone dopée N

L_p : Longueur de diffusion de la zone dopée P

n : Facteur d'idéalité de la diode

P_0 : Puissance du rayonnement solaire incident [W]

P : Puissance électrique [W]

P_i : Puissance idéale [W]

P_{max} : Puissance maximale [W]

q : Charge de l'électron ($q = 1,6.10^{-19} \text{C}$)

R_s : la résistance série [Ω]

Nomenclature

R_{sh} : la résistance shunt [Ω]

T : Température ($^{\circ}\text{K}$)

V : Tension [V]

V_{max} : Tension maximale [V]

V_{co} : Tension de circuit-ouvert [V]

V_t : Tension thermique ($\text{J} \cdot \text{C}^{-1}$)

Liste des abréviations

ASER : Agence Sénégalaise d'Electrification Rurale

BP : Boite postale

BT : Basse tension

CICR : Comité International de la Croix Rouge

EEV : Energie et Eau pour la Vie

ERIL : Electrification Rurale d'Initiative Locale

ERSEN : Electrification Rurale Sénégal

GIE : Groupement d'Intérêt Economique

GRH : Gestion des Ressources Humaines

LED : Light-emitting diode

MPPT : Maximum Power Point Tracking

PASE : Programme d'Accès au Service Energétique

PV : Photovoltaïque

SHS : Solar Home System

SNV : Organisation Néerlandaise de Développement

SPVE : Système photovoltaïque pour l'électrification

SPVP : Système photovoltaïque pour le pompage

SSS : Sud Solar System

STC : Standard Tests Conditions

UV : Ultraviolet

Wc : Watt crête

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Rendement des différents types de cellules en silicium [13].....	11
Tableau III.1 : Liste des centrales installées dans les régions de Sédhiou et de Kolda.....	36
Tableau III.2 : Systèmes domestiques installés dans la région de Ziguinchor.....	37
Tableau III.3 : Les centrales électriques installées dans la région de Fatick.....	37
Tableau III.4 : Liste des systèmes photovoltaïques pour le pompage.....	38
Tableau III.5 : Les pannes des composants d'un système PV pour l'électrification.	39
Tableau III.6 : Composants défaillants, causes des défaillances et solutions proposées des installations dans la région de Fatick.	40
Tableau III.7 : Composants défaillants, causes des défaillances et solutions proposées des systèmes PV dans les régions de Sédhiou et de Kolda.	41
Tableau III.8 : Composants défaillants, causes des défaillances et solutions proposées pour les systèmes installés dans la région de Ziguinchor	42
Tableau III.9 : Les composants d'un système PV pour le pompage et leurs défaillances. ..	50
Tableau III.10 : Les causes des pannes et les solutions proposées pour les SPVP étudiés..	51

Liste des figures

Figure I.1 : Composants du rayonnement solaire [10]	4
Figure I.2 : Spectres solaires relevés dans plusieurs conditions selon la convention AM [12].	5
Figure I.3 : Processus d'absorption de la lumière dans un matériau [11].	6
Figure I.4 : Les jonctions semi-conductrices [11]	7
Figure I.5 : Schéma équivalent de cellule PV [13].	7
Figure I.6 : Caractéristique puissance-tension [13].....	10
Figure I.7 : Pompage photovoltaïque au fil du soleil [1].	13
Figure I.8 : Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie [1]	13
Figure I.9 : Schéma de principe d'un système PV autonome avec stockage [8].	14
Figure II.1 : Concept d'acquisition de la caractéristique I-V dans deux zones dépendantes [23].	18
Figure II.2 : Principe de la méthode de réflectométrie pour localiser le défaut dans le string [24].	19
Figure II.3 : Quelques exemples de la localisation de défauts par la caméra thermique [26].	20
Figure III.1 : Organigramme de Sud Solar System	34
Figure III.2 : Histogramme de fréquence des niveaux de récurrence des défaillances des composants d'un SPVE dans les régions de Sédhiou et de Kolda.	43
Figure III.3 : Histogramme de fréquence des défaillances des composants d'un système PV pour l'électrification installé dans la région de Fatick.	43
Figure III.4 : Histogramme de fréquence des niveaux de récurrence des composants d'un système PV pour l'électrification dans la région de Ziguinchor.	44
Figure III.5 : Histogramme de fréquence des niveaux de récurrence des composants des systèmes PV pour l'électrification d'une manière globale.....	45
Figure III.6 : Histogramme de fréquence des niveaux de récurrence des pannes des modules PV d'une manière générale.	45
Figure III.7 : Histogramme fréquence des niveaux de récurrence des pannes des onduleurs et des régulateurs d'une manière générale.	46
Figure III.8 : Histogramme fréquence des niveaux de récurrence des défaillances des batteries de manière globale.	47

Liste des figures

Figure III.9 : Les différentes causes des défaillances des systèmes PV pour l'électrification installés dans les régions de Sédhiou et de Kolda.	48
Figure III.10 : Histogramme de fréquence des causes des défaillances des systèmes PV pour l'électrification installés dans la région de Ziguinchor.	48
Figure III.11 : Histogramme des défaillances des SPVE dans la région de Fatick.	49
Figure III.12 : Histogramme de récurrence des défaillances des composants d'un SPVP. .	52
Figure III.13 : Histogramme des niveaux de récurrence des défaillances de la pompe.	52
Figure III.14 : Histogramme de fréquence des types de pannes du contrôleur et du variateur.	53
Figure III.15 : Histogramme des niveaux de récurrence des types de pannes des sondes/flotteurs.	53
Figure III.16 : Histogramme des niveaux de récurrence des défaillances des tuyaux.	54
Figure III.17 : Histogramme des causes des défaillances d'un système de pompage solaire.	54

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur le photovoltaïque	3
Introduction	3
I.1 Le rayonnement solaire	3
I.1.1 La propagation du rayonnement solaire dans l’atmosphère et son spectre.	3
I.1.2 La durée d’ensoleillement	5
I.2 La conversion photovoltaïque	5
I.2.1 Le principe de la conversion	6
I.2.2 Modélisation électrique d’une cellule photovoltaïque	7
I.3 Paramètres essentiels caractérisant une cellule PV	9
I.3.1 Courant de court-circuit	9
I.3.2 Tension de circuit ouvert.....	9
I.3.3 Puissance caractéristique d’une cellule PV	9
I.3.4 Facteur de forme.....	10
I.3.5 Rendement de conversion	10
I.4 Technologie photovoltaïque au silicium	11
I.5 Classification des systèmes PV	11
I.5.1 Systèmes raccordés au réseau électrique.....	11
I.5.2 Systèmes non raccordés au réseau électrique ou autonomes	12
I.5.3 Systèmes hybrides	12
I.6 Applications des systèmes PV	12
I.6.1 Le pompage solaire	12
I.6.1.1 Le pompage au fil du soleil.....	12
I.6.1.2 Le pompage avec batteries.....	13
I.6.2 Le photovoltaïque pour l’électrification.....	13

Conclusion	14
Chapitre II : Maintenance des systèmes PV : méthodes et outils de diagnostic de défauts.	15
Introduction	15
II.1 Introduction aux défauts	15
II.1.1 Défauts dans le générateur PV	15
II.1.1.1 Défauts au niveau de la cellule	15
II.1.1.2 Défauts au niveau des modules PV.....	16
II.1.1.3 Autres défauts du générateur PV	16
II.1.2 Défauts des systèmes PV sur le réseau de distribution	17
II.2 Méthodes et outils de diagnostic	17
II.2.1 Méthodes électriques.....	18
II.2.1.1 Analyse de la caractéristique I-V	18
II.2.1.2 Méthode de réflectométrie électrique	19
II.2.1.3 Analyse de la puissance et de l'énergie produite	19
II.2.1.4 Analyse du point de fonctionnement	19
II.2.2 Méthodes non électriques.....	20
II.3 Maintenance des systèmes PV	20
II.3.1 Maintenance préventive	20
II.3.1.1 Maintenance préventive systématique	21
II.3.1.2 Maintenance préventive conditionnelle	21
II.3.1.3 But de la maintenance préventive	21
II.3.2 Maintenance corrective	22
II.4 Proposition d'un planning de maintenance.....	22
II.4.1 Maintenance préventive de l'équipement de génération d'énergie.....	22
II.4.1.1 Modules photovoltaïques	22
II.4.1.2 Armoire électrique et boîtiers	23

II.4.1.3	Équipement de protection	23
II.4.2	Maintenance corrective de l'équipement de génération d'énergie.....	23
II.4.2.1	Rangée solaire	23
II.4.2.2	Remplacement des pièces	24
II.4.3	Maintenance préventive des batteries	24
II.4.4	Maintenance corrective des batteries	25
II.4.4.1	Maintenance curative	25
II.4.4.2	Maintenance palliative	25
II.4.5	Tâches typiques pour la maintenance des batteries.....	25
II.4.5.1	Préparation d'un système pour la maintenance	25
II.4.5.2	Isolement du système pour la maintenance	25
II.4.5.3	Nettoyage des cellules.....	25
II.4.5.4	Mesure de tension	26
II.4.5.5	Refaire le plein de l'électrolyte et régénération de batterie	26
II.4.5.6	Nettoyage des batteries	26
II.4.6	Maintenance du système de régulation	27
II.4.6.1	L'onduleur.....	27
II.4.6.2	Le régulateur	27
II.4.6.3	Câblage du système.....	28
II.4.7	Interprétation d'équipement de surveillance	28
Conclusion		29
Chapitre III : Etude et analyse des défauts des systèmes photovoltaïques		31
Introduction		31
III.1	Méthodologie	31
III.1.1	Présentation de Sud Solar System.....	31
III.1.2	Méthode de collecte et présentation des données.....	35

Tables des matières

III.1.3	Méthode d'analyse des données	38
III.2	Analyses des pannes des systèmes PV pour l'électrification.....	39
III.2.1	Les défaillances	39
III.2.2	Les causes.....	47
III.2.3	Les solutions proposées.....	49
III.3	Analyse des défaillances des systèmes de pompage solaire	50
III.3.1	Les défaillances	50
III.3.2	Analyse des causes des défaillances.....	54
III.3.3	Les solutions proposées.....	55
III.4	Synthèse	55
III.5	Diagnostics et proposition de maintenance des lampadaires au sein de l'UASZ	56
III.5.1	Diagnostics des défauts	56
III.5.2	Proposition de maintenance des lampadaires	57
Conclusion	57
Conclusion générale	58
Références bibliographiques	59



Introduction Générale

Introduction générale

La production d'énergie est un défi d'une grande importance pour les années à venir. En effet les besoins en énergie des sociétés industrielles ne cessent d'augmenter [1]. Par ailleurs la montée en puissance des pays en voie de développement, de même que l'augmentation de la population mondiale et l'accroissement du revenu moyen par habitant, nous amènent à une hausse des besoins énergétiques [2]. Ce problème d'énergie est encore plus sensible dans les sites isolés où l'utilisation des ressources classiques s'avère très coûteuse.

Comme nous le savons, la plus grande partie de l'énergie consommée actuellement provient de l'utilisation des combustibles fossiles. Les études et les prévisions récentes nous alertent que l'utilisation massive de ces ressources conduira certainement à leur épuisement total [3]. Aussi, la production d'électricité à partir de ces combustibles est à l'origine de 40% des émissions mondiales de CO₂ [4].

A partir de ce constat, il paraît nécessaire de chercher d'autres ressources d'énergies de remplacement. Les énergies renouvelables, comme l'énergie photovoltaïque, éolienne ou hydraulique, représentent une solution de remplacement par excellence et elles sont de plus en plus utilisées de nos jours. Ce type d'énergie n'est pas seulement inépuisable, mais aussi très propre pour l'environnement. D'ailleurs, on parle souvent d'une énergie « verte », puisqu'elle permet d'éviter totalement la pollution produite par les sources traditionnelles [3].

Parmi les différents systèmes utilisant des sources d'énergie renouvelables, le photovoltaïque s'avère prometteur en raison de ses qualités intrinsèques : ses frais de fonctionnement sont très réduits, ses exigences d'entretien sont limitées, il est fiable, silencieux et relativement facile à installer. De plus, dans certaines applications autonomes, le photovoltaïque est très pratique comparé à d'autres sources d'énergie, en particulier dans les endroits difficiles d'accès et peu rentables pour l'installation de lignes électriques traditionnelles [5].

La technique photovoltaïque est basée sur des principes physiques totalement différents des autres moyens de production d'électricité. Le photovoltaïque est fondé sur la physique quantique qui régit le comportement de la matière à l'échelle nanométrique et en-dessous. Cette spécificité du photovoltaïque fait que cette industrie se rapproche beaucoup dans sa

dynamique de développement des industries de l'électronique qui connaissent des baisses de coûts que celles de l'énergie [6].

Toutefois l'efficacité de la production de l'énergie solaire photovoltaïque (PV) dépend essentiellement des conditions auxquelles est soumis le générateur photovoltaïque. Ces conditions peuvent être environnementales, opérationnelles liées au processus de fabrication ou de l'exploitation. Ces facteurs sont à l'origine d'un important nombre de défauts qui engendrent la dégradation de générateur PV [7]. Nous nous permettons dans ce travail de faire le focus sur l'exploitation, particulièrement sur la maintenance.

Pour bien mener notre travail nous avons effectué un stage de trois mois au sein de l'entreprise **Sud Solar System** localisée à Ziguinchor pendant lequel nous avons participé à des missions de dimensionnement, d'installation et de dépannage. Le stage fait au sein de **Sud Solar System**, est aussi d'une grande importance car il nous a permis d'obtenir, entre autre, des données qui sont utilisées dans ce travail.

Notons que le présent mémoire a pour objectif de contribuer à l'amélioration de la maintenance des systèmes solaires photovoltaïques. Ainsi il est composé de trois chapitres. Le premier chapitre est consacré aux généralités sur le photovoltaïques, le deuxième chapitre se focalise sur les méthodes et outils de diagnostics de défauts. Et enfin le troisième chapitre est destiné à l'étude et à l'analyse des défaillances des systèmes solaires photovoltaïques.



Chapitre I : Généralités sur le photovoltaïque

Chapitre I : Généralités sur le photovoltaïque

Introduction

Les systèmes de production d'énergie électrique à base de panneaux solaires photovoltaïques se sont largement démocratisés depuis le début des années 1980 conduisant à un coût du kWh produit très compétitif. Cela a fait connaître au marché des systèmes photovoltaïques connectés, autonomes et hybrides un net accroissement. Des architectures se sont ainsi développées combinant onduleurs et panneaux photovoltaïques, unité de stockage, groupes électrogènes pour les systèmes hybrides et connexion réseau pour les systèmes réinjectant sur le réseau. L'intérêt de ce marché est renforcé par les préoccupations environnementales et son essor devrait donc se poursuivre [8].

I.1 Le rayonnement solaire

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre de 1 390 000 km, soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé de 80% d'hydrogène, 19% d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments ; soit pratiquement tous les éléments chimiques connus. Il y'a une soixantaine d'années que Langevin et Perrin, s'appuyant sur la théorie relativiste d'Einstein ont émis l'idée que c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance. Il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène-hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium. La réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 15 millions de degrés Celsius. Ainsi, chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement [9].

I.1.1 La propagation du rayonnement solaire dans l'atmosphère et son spectre.

Le rayonnement solaire se propageant dans l'atmosphère, interagit avec tous les constituants gazeux de celle-ci et avec toutes les particules en suspension. En effet, quatre composantes de l'irradiation appelées rayonnements ont été répertoriées :

➤ Le rayonnement réfléchi :

C'est le rayonnement renvoyé dans une direction privilégiée (rayonnement dit spéculaire) ou de manière diffuse. Le soleil réfléchit plutôt le rayonnement de manière diffuse et isotrope.

➤ Le rayonnement diffus :

Il est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie de l'irradiation solaire globale par l'atmosphère et sa réflexion par les nuages et les aérosols.

➤ Le rayonnement direct :

La conversion du rayonnement direct est une question trigonométrique. Le rayonnement direct, sur le plan horizontal, est la différence entre le rayonnement global et le rayonnement diffus.

➤ Le rayonnement global :

Le rayonnement global est subdivisé en rayonnements directs, diffus et reflété par le sol.

Sur la figure I.1 ci-dessous, il est schématisé l'ensemble des rayonnements reçus sur une surface terrestre.

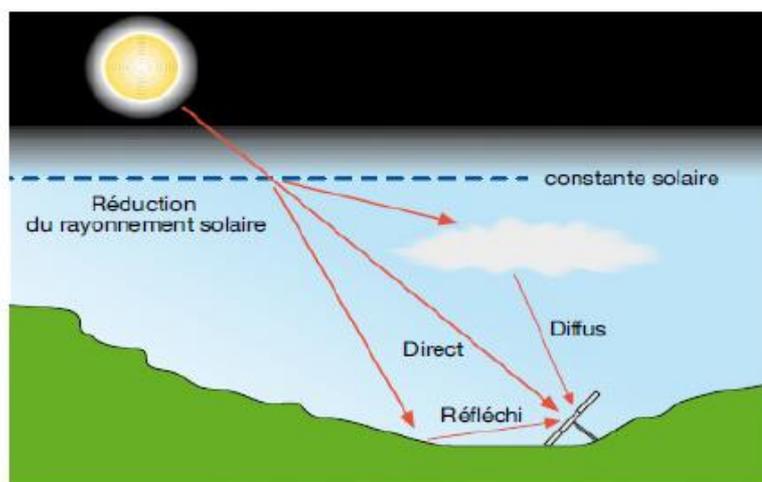


Figure I.1 : Composants du rayonnement solaire [10]

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique, appelé rayonnement solaire, qui est approximativement celui qu'émettrait un corps noir à la température de 6000°K. Le rayonnement solaire couvre un domaine très étendu de longueur d'onde qu'on appelle spectre solaire, variant de 0,22 à 10 microns (μm). L'énergie associée à ce spectre solaire se décompose approximativement comme ainsi :

- ◆ 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$)
- ◆ 47% dans la bande visible ($0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$)
- ◆ 44% dans la bande des infrarouges ($0,8 \mu\text{m}$) [11].

La figure I.2 donne le spectre du rayonnement solaire.

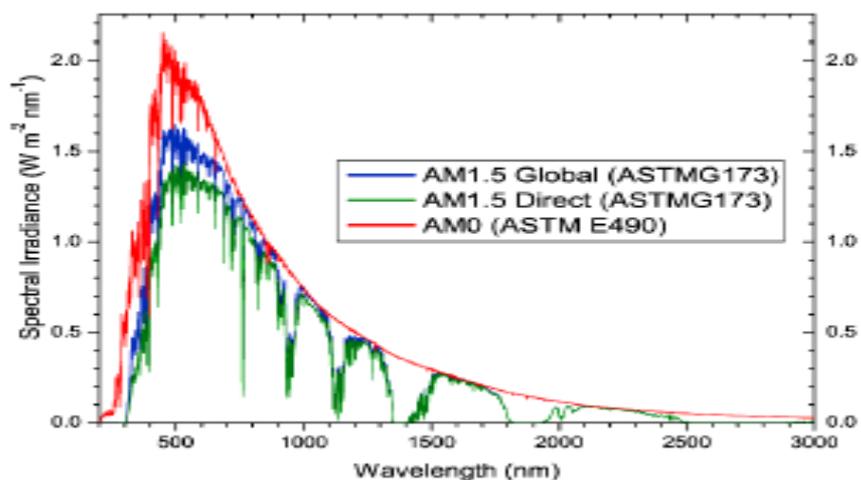


Figure I.2 : Spectres solaires relevés dans plusieurs conditions selon la convention AM [12].

I.1.2 La durée d'ensoleillement

Par ensoleillement, nous faisons référence à la mesure du rayonnement solaire que reçoit une surface au cours d'une période donnée [kWh/m²]. Sa durée correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et le coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Elle est relevée à l'aide de l'héliographe de Campbell-Stokes dans lequel, une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant. Toutefois, on n'enregistre que les moments où le soleil est bien visible : on parle de durée d'insolation réelle ou effective. La durée d'insolation dépend du fait que le soleil levé soit visible ou caché par les nuages [9].

I.2 La conversion photovoltaïque

Albert Einstein a découvert en travaillant sur l'effet photoélectrique que la lumière n'avait pas qu'un seul caractère ondulatoire, mais que son énergie était portée par des particules, les photons. L'énergie d'un photon notée E (en joule) étant donnée par la relation :

$$E = \frac{h.c}{\lambda} \tag{I.1}$$

λ est la longueur d'onde (m).

h est la constante de Planck qui est égale à $6,63.10^{-34}$ J.s.

c est la célérité de la lumière. Sa valeur est égale environ à 3.10^8 m.s^{-1} .

I.2.1 Le principe de la conversion

La conversion photovoltaïque aujourd'hui largement utilisée peut être définie comme la transformation de l'énergie des photons en énergie électrique grâce au processus d'absorption de la lumière par la matière. Lorsqu'un photon est absorbé, il injecte un électron d'un niveau d'énergie inférieur vers un niveau d'énergie supérieur, créant ainsi une paire électron-trou, de même énergie électrique (voir figure I.3). Généralement cette paire électron-trou revient à l'équilibre en transformant son énergie électrique en énergie thermique [11].

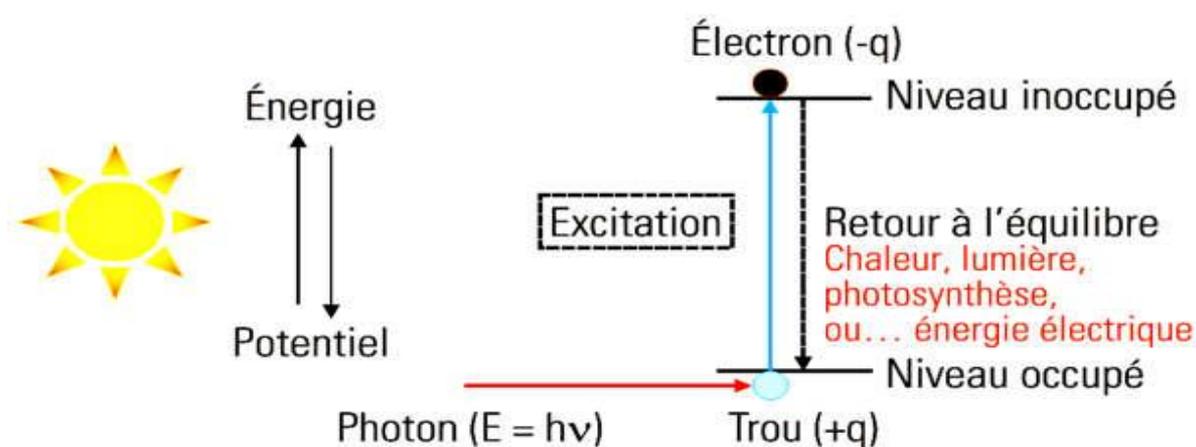


Figure I.3 : Processus d'absorption de la lumière dans un matériau [11].

Toutefois l'objectif de la conversion photovoltaïque est de récupérer toute ou une partie de cette énergie sous forme électrique. Pour ce faire, il faut séparer les paires électron-trou créées en les forçant de passer dans un circuit extérieur. Ceci a été rendu possible par le fait que les électrons et les trous ont des charges de signes opposés ($-q$; $+q$). Donc si elles sont soumises à un champ électrique, les forces qui s'exercent seront de sens opposé et devraient permettre la séparation (figure I.3). Cela marche grâce au dopage du semi-conducteur par des impuretés (figure I.4). Ce dopage est de deux types :

- ◆ Un dopage de type N (négatif), réalisé par adjonction d'un élément, dont les atomes possèdent un électron périphérique de plus que ceux du silicium.
- ◆ Un dopage de type P (positif), réalisé par adjonction d'un élément, dont les atomes possèdent un électron périphérique de moins que ceux du silicium.

La mise en contact de ces deux zones au dopage opposé constitue un élément fort utile en électronique : la diode [11].

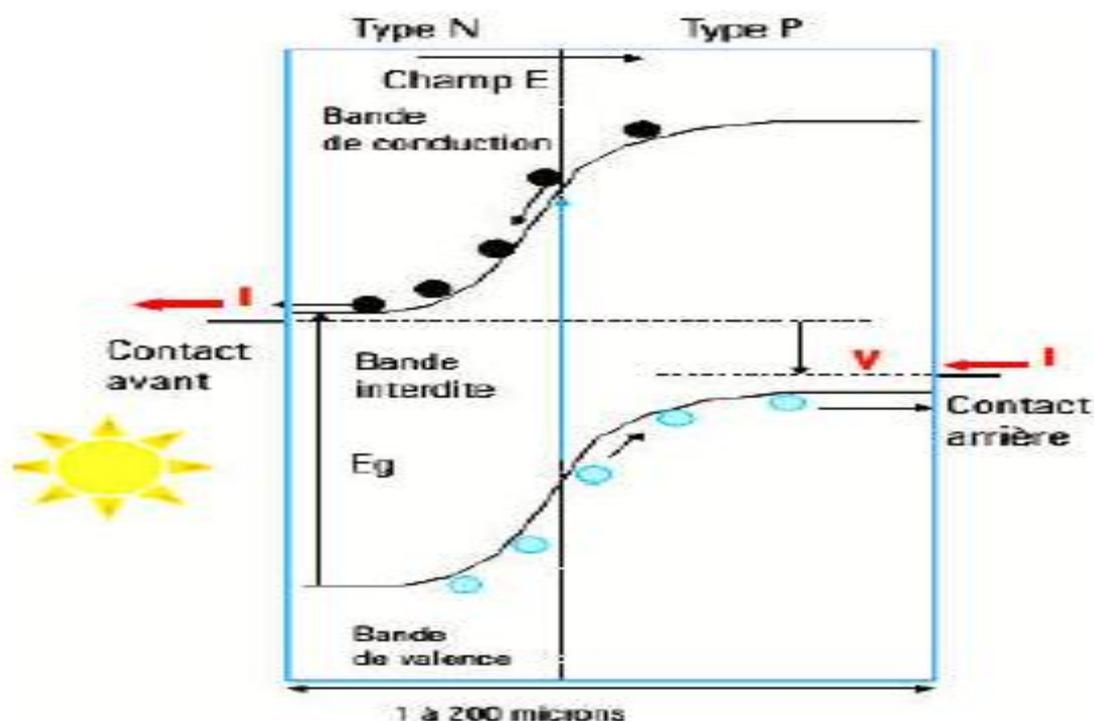


Figure I.4 : Les jonctions semi-conductrices [11]

I.2.2 Modélisation électrique d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est schématisée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode. Pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, le modèle est complété par des résistances série R_s et shunt R_{sh} (égale à R_p) comme le montre le schéma équivalent de la figure I.5 suivante [13].

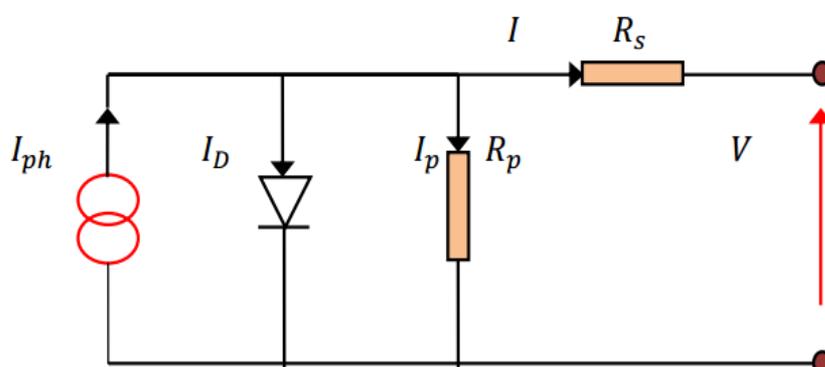


Figure I.5 : Schéma équivalent de cellule PV [13].

La résistance série est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité des grilles. La résistance shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction.

D'après la loi de Kirchoff [3] (loi des nœuds), le courant délivré par le générateur PV est donné par l'équation I.2 ci-après :

$$I = I_{ph} + I_D + I_p \quad \text{I.2}$$

D'où, le courant de la diode est donné par l'équation suivante :

$$I_D = I_0 \left(\exp\left(\frac{V + R_s \cdot I}{n \cdot V_t}\right) - 1 \right) \quad \text{I.3}$$

Le courant aux bornes de la résistance shunt est exprimé par la relation suivante :

$$I_{sh} = \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad \text{I.4}$$

L'équation caractérisant un générateur PV sera donc donnée par :

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left(\exp\left(\frac{V + R_s \cdot I}{n \cdot V_t}\right) - 1 \right) - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad \text{I.5}$$

Avec :

I_{ph} : le courant photovoltaïque [A] ; I_0 : le courant de saturation de la diode [A]

n : le facteur d'idéalité de la diode ; R_s : la résistance série [Ω].

R_{sh} : la résistance shunt [Ω] ; k : la constante de Boltzmann $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

V_t : la tension thermique $V_t = \frac{k \cdot T}{q} (\text{J} \cdot \text{C}^{-1})$. Avec :

q : charge de l'électron ($q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) et T la température de la cellule (en $^{\circ}\text{K}$).

I.3 Paramètres essentiels caractérisant une cellule PV

Une cellule PV est caractérisée par un rendement de conversion η , une tension à circuit ouvert V_{co} , un courant de court-circuit I_{cc} et un facteur de forme FF. Les caractéristiques courant-tension sont utilisées pour déterminer ces paramètres. Elles permettent de comparer différentes cellules éclairées dans des conditions identiques.

I.3.1 Courant de court-circuit

Si les deux électrodes sont en court-circuit, les électrons drainés par un champ interne de la jonction vont donner naissance à un courant de court-circuit I_{cc} qui correspond au photocourant I_{ph} généré par le rayonnement. Il définit la quantité de paires électron-trou générées G qui traverse la jonction sans recombinaison entre les longueurs de diffusion L_n et L_p , donnée par la relation I.6 suivante [14] :

$$I_{ph} = q \cdot G \cdot (L_n + L_p) \quad \text{I.6}$$

I.3.2 Tension de circuit ouvert

C'est la tension qu'il faudrait appliquer à la diode dans le sens passant pour générer un courant égal au photocourant, elle est donnée par la relation I.7 suivante [14] :

$$V_{co} = \left(\frac{kT}{q} \right) \cdot \ln \left[\frac{I_{cc}}{I_0} + 1 \right] \quad \text{I.7}$$

I.3.3 Puissance caractéristique d'une cellule PV

Dans les conditions ambiantes de fonctionnement fixes, la puissance électrique P disponible aux bornes d'une cellule photovoltaïque (figure I.6) est égale au produit du courant continu fourni I par une tension continue donnée V :

$$P = V \cdot I \quad \text{I.8}$$

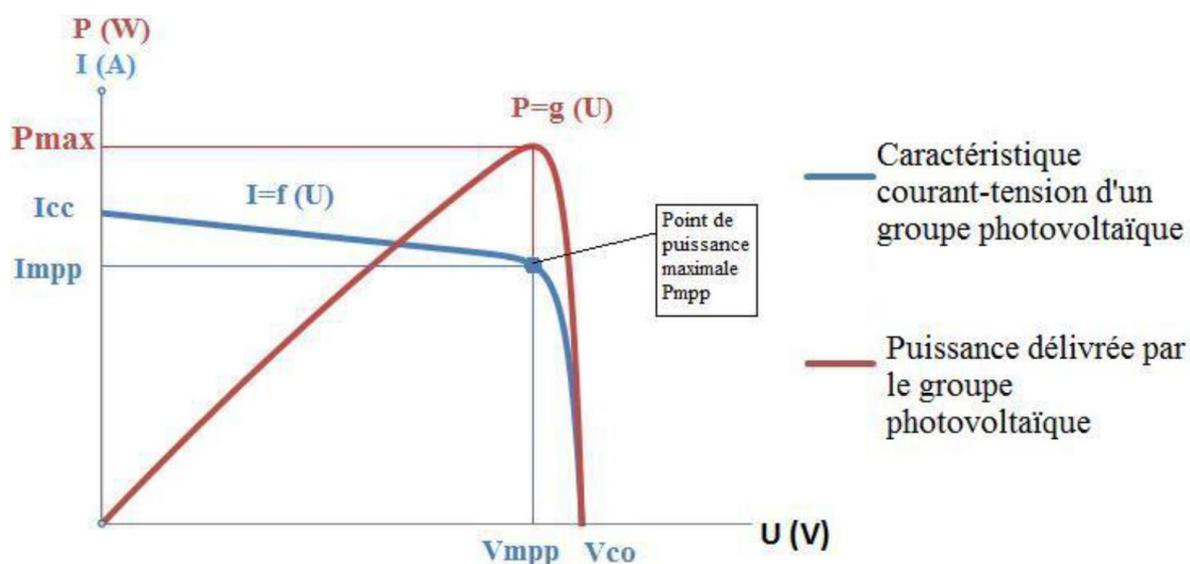


Figure I.6 : Caractéristique puissance-tension [13].

Où P, V et I sont respectivement la puissance, la tension et l'intensité de la cellule PV.

Pour une cellule solaire idéale, la puissance maximale idéale P_i correspondrait donc à la tension de circuit ouvert V_{co} multipliée par le courant de court-circuit I_{cc} (figure I.6).

$$P_i = P_{\max \text{ idéale}} = V_{co} \cdot I_{cc} \quad \text{I.9}$$

En pratique, la courbe caractéristique d'une cellule PV est plus arrondie, et la tension au point de puissance maximale $V(P_{\max})$ est inférieure à la tension de circuit ouvert V_{co} , de même que le courant fourni $I(P_{\max})$ est inférieur, pour cette même tension, au courant de court-circuit I_{cc} : $P_{\max} = V_m \cdot I_m$ I.10

I.3.4 Facteur de forme

Le facteur de forme représente l'efficacité de la cellule ou encore, il peut nous renseigner sur le vieillissement de la cellule. C'est le rapport entre la puissance maximale débitée P_{\max} et la puissance idéale P_i . Le facteur de forme FF (en anglais File Factor) correspond au

$$\text{rapport [13]} : FF = \frac{P_{\max}}{P_i} = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad \text{I.11}$$

I.3.5 Rendement de conversion

Le rendement de conversion d'énergie est le rapport de la puissance générée et de la puissance du rayonnement solaire incident P_0 qui est normalisée à $100 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ pour un

spectre d'AM 1.5. On appelle rendement maximal, le rapport entre la puissance maximale et la puissance P_0 [14] :

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_0} = \frac{V_m \cdot I_m}{P_0} = FF \cdot \frac{V_{co} \cdot I_{cc}}{P_0} \quad \text{I.12}$$

I.4 Technologie photovoltaïque au silicium

La majeure partie des cellules photovoltaïques accessibles sont à base de silicium qui peut être de type monocristallin ou polycristallin ou encore amorphe [5].

Les cellules monocristallines : sont composées de cristaux de silicium de grande pureté. Le principal avantage de ces cellules est leur efficacité.

Les cellules poly cristallines : sont constituées par des cristaux qui s'agrègent en prenant différentes formes et sens. L'efficacité est inférieure à celle du silicium monocristallin. Elles sont moins coûteuses que les cellules monocristallines.

Les cellules amorphes : le silicium amorphe déposé sous forme de couches sur un support permet d'avoir une technologie PV à un coût réduit par rapport au silicium cristallin, toutefois l'efficacité de ces cellules a tendance à diminuer au fil du temps.

Tableau I.1 : Rendement des différents types de cellules en silicium [13].

Technologies de cellules	Rendement en laboratoire	Rendement de production
Cellules amorphes	13%	5-9%
Cellules poly cristallines	19,80%	11 à 15%
Cellules monocristallines	24,70%	13 à 17%

I.5 Classification des systèmes PV

I.5.1 Systèmes raccordés au réseau électrique

Les systèmes PV raccordés au réseau électrique sont avant tout des équipements de production d'énergie appelés à produire de l'énergie électrique d'origine photovoltaïque qui va être injecté au réseau électrique alimenté par d'autres sources de production, à partir de machines tournantes beaucoup plus important. On peut considérer deux architectures électriques de raccordement, selon que l'énergie produite est consommée sur le site de production (autoconsommation) ou non (injection totale) [8].

I.5.2 Systèmes non raccordés au réseau électrique ou autonomes

Ces systèmes PV sont installés pour assurer un fonctionnement autonome sans recours à d'autres sources d'énergie. Généralement, ces systèmes sont utilisés dans les régions isolées et éloignées du réseau. Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes ont les possibilités de couplage direct à une charge adaptée ou couplage avec adaptateur d'impédance MPPT (Maximum Power Point Tracking), fonctionnement au fil du soleil ou avec stockage d'énergie électrique [15].

I.5.3 Systèmes hybrides

Il consiste en l'association de deux ou plusieurs technologies complémentaires de manière à accroître la fourniture d'énergie par une meilleure disponibilité. Les sources d'énergie comme le soleil et le vent ne délivrent pas une puissance constante, et leur combinaison peut permettre de parvenir à une production électrique plus continue. Dans bien de régions, les journées ensoleillées sont en général caractérisées par une activité éolienne faible alors que les vents forts sont observés plutôt lors de journées nuageuses ou la nuit [16].

I.6 Applications des systèmes PV

I.6.1 Le pompage solaire

Il existe deux méthodes de pompage solaire : le pompage au fil du soleil et le pompage avec batteries.

I.6.1.1 Le pompage au fil du soleil

La méthode de pompage au fil du soleil permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux qu'un système utilisant des batteries pour stocker de l'énergie d'abord. En effet, dans cette première technique, c'est l'eau elle-même qui est pompée et stockée lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement. On parle alors d'un stockage hydraulique. L'eau est stockée dans un réservoir à une hauteur au-dessus du sol pour qu'elle soit, au besoin ensuite, distribuée par gravité. Il faut bien signaler ici que le réservoir d'eau peut souvent être construit localement [1] : voir figure I.7.

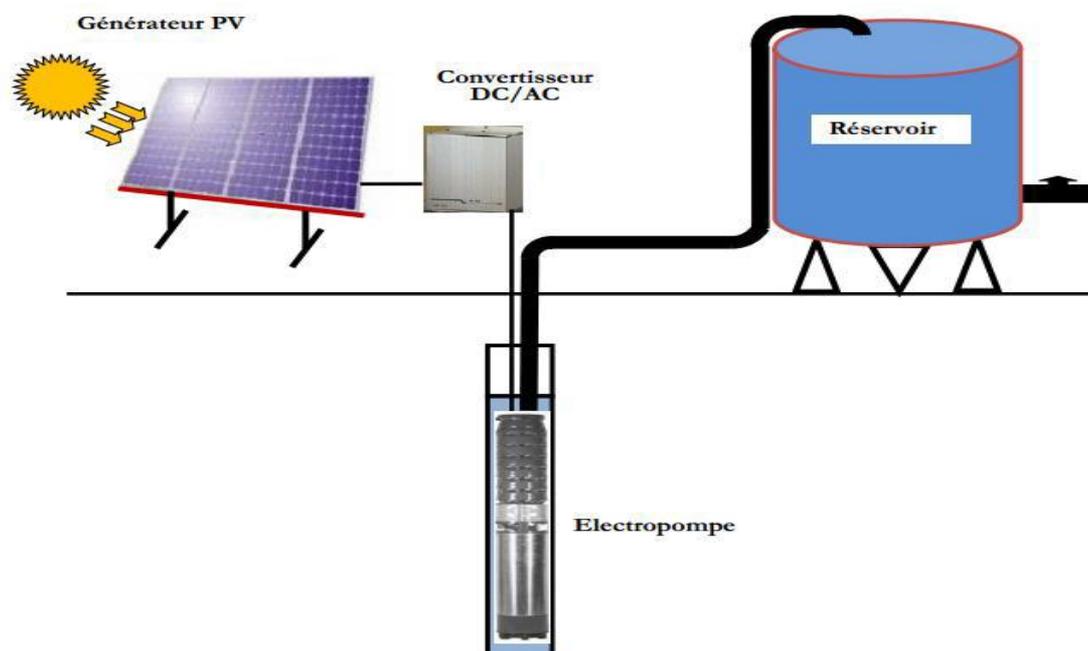


Figure I.7 : Pompage photovoltaïque au fil du soleil [1].

I.6.1.2 Le pompage avec batteries

La méthode de pompage d'eau en utilisant l'énergie stockée sur des batteries peut avoir l'avantage de garantir une stabilité d'alimentation des équipements (système présente l'avantage d'un débit régulier, la possibilité de pomper lorsque le soleil est absent). Un tel système est plus coûteux que le précédent, vu la nécessité de changer les batteries, car elles ont une courte durée de vie [1] (voir figure I.8).

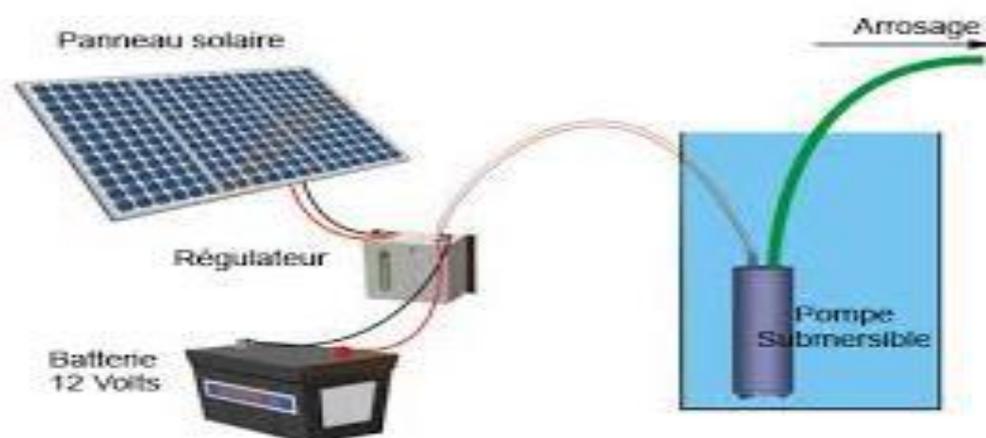


Figure I.8 : Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie [1]

I.6.2 Le photovoltaïque pour l'électrification

En site isolé le champ photovoltaïque peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipements domestiques). Un

système de régulation et des batteries d'accumulateurs permettent de stocker l'énergie électrique utilisable en l'absence de soleil. Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous une forme chimique. Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques. Le régulateur de charge a pour fonction principale de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes. Il est un élément essentiel pour la durée de vie de la batterie [17] (voir figure I.9).

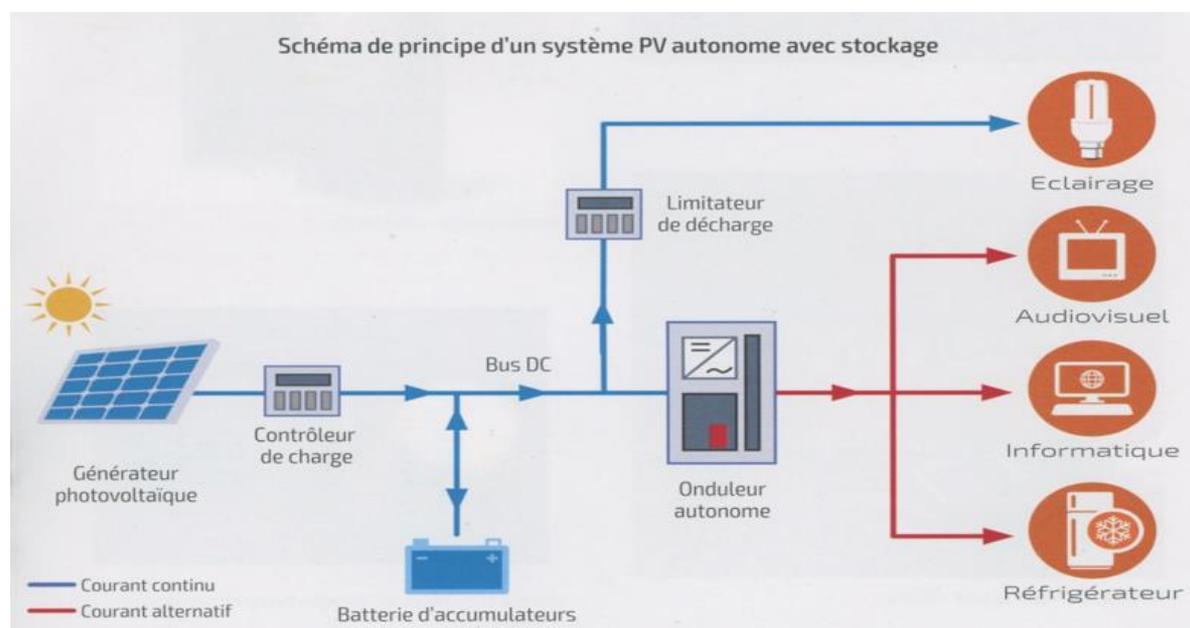
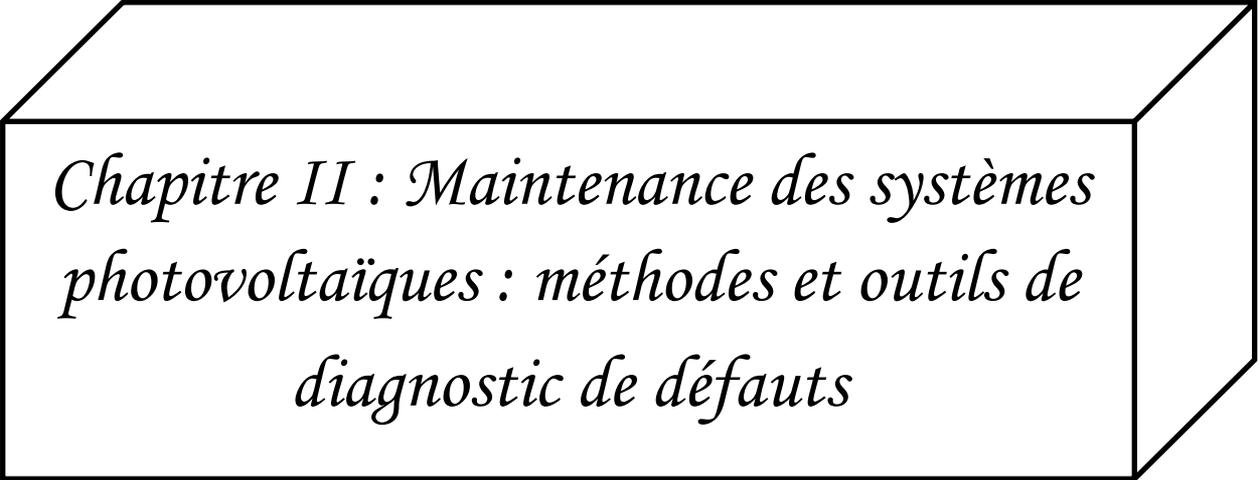


Figure I.9 : Schéma de principe d'un système PV autonome avec stockage [8].

Conclusion

Dans ce chapitre, il a été question de faire une revue sur la généralité des systèmes PV. Ainsi après un aperçu sur le rayonnement solaire, la conversion photovoltaïque et les facteurs caractérisant une cellule PV, les types de cellules ont aussi été présentés. Ce chapitre est d'une grande importance car, il a permis de classer les différents systèmes PV mais aussi de voir les applications de ces derniers. Ainsi le chapitre suivant sera consacré aux méthodes et outils de diagnostics.



*Chapitre II : Maintenance des systèmes
photovoltaïques : méthodes et outils de
diagnostic de défauts*

Chapitre II : Maintenance des systèmes PV : méthodes et outils de diagnostic de défauts.

Introduction

La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise [18]. Un système photovoltaïque entretenu peut fonctionner pendant une vingtaine d'années [18]. Alors pour une gestion optimale de l'énergie disponible à la sortie de générateur photovoltaïque, les techniques d'optimisation, de régulation et de contrôle permettent d'augmenter le rendement énergétique de l'ensemble de l'installation photovoltaïque en transférant à la charge la puissance maximale issue de générateur PV [18].

II.1 Introduction aux défauts

Dans cette partie, il est question de discuter sur toutes les problématiques liées à la productivité d'une installation photovoltaïque et comment ces problématiques nécessitent une étude de détection et de localisation de défauts [10].

II.1.1 Défauts dans le générateur PV

Au cours de son fonctionnement, une installation PV peut être éventuellement soumise à différents défauts et conditions de fonctionnement anormales. Les défauts et les anomalies apparus varient d'une installation à une autre en fonction de sa conception, de son installation, de son opération et de sa maintenance.

II.1.1.1 Défauts au niveau de la cellule

Il existe des défauts permanents et évolutifs avec le temps. La diminution graduelle de la performance d'une cellule peut être causée par :

- une augmentation de la valeur de la résistance série. L'augmentation de la résistance série réduit la tension de sortie et par conséquent le facteur de forme de la caractéristique courant-tension du module [19].
- une diminution de la résistance parallèle. La migration du métal dans la jonction PN peut causer une diminution de la tension de circuit ouvert et par la même occasion une diminution de la puissance maximale [20].
- une détérioration du traitement de surface (couche antireflet);

Des court-circuits peuvent se manifester au niveau des interconnexions. Ce type de défaut est beaucoup plus fréquent dans les cellules en couche mince car les électrodes supérieures et inférieures sont beaucoup plus rapprochées et ont plus de chance de se retrouver court-circuitées par du matériel corrodé ou endommagé. Le défaut des cellules en circuit ouvert est commun. Elles sont généralement connectées par deux rubans traversant les électrodes. Mais celles-ci peuvent se briser pour diverses raisons :

- contraintes thermiques ;
- contraintes mécaniques ;
- fissures invisibles au moment de l'assemblage [21] ;

II.1.1.2 Défauts au niveau des modules PV

Les problèmes liés aux modules peuvent eux aussi causer une réduction graduelle de la puissance de sortie d'un module PV au fil du temps ou bien engendrer une baisse de cette puissance par une ou plusieurs cellules en défaut. Nous pouvons en citer :

- ✓ Les court-circuits : il se présente également au niveau des modules. Ces court-circuits trouvent leurs origines dans la dégradation de l'isolation électrique due à l'exposition aux effets climatiques qui induisent des délaminations, fissures ou oxydation.
- ✓ des cellules ombragées ou fissurées : elles peuvent donner naissance à un phénomène qui surchauffe localement le module, entraînant sa perte. Ce phénomène s'appelle « Hot spot ». En effet, si une ou plusieurs cellules sont occultées, le module voit sa caractéristique I-V modifiée. Les autres cellules du groupement lui imposent un courant très supérieur à son courant de court-circuit. Du coup, les cellules occultées passent en polarisation inverse (tension négative) et dissipent une puissance importante qui provoque un échauffement amenant à sa destruction.
- ✓ dégradation de l'encapsulant à cause des UV : absorption des photons qui n'arrivent plus jusqu'à la cellule entraînant la diminution des performances.
- ✓ dégradation à cause de la lumière : diminution des performances, surtension, destruction de diodes [21].

II.1.1.3 Autres défauts du générateur PV

D'autres défauts peuvent apparaître au niveau du générateur PV comme :

- ❖ des défauts physiques concernant par exemple le câblage ou les connecteurs des systèmes PV peuvent apparaître notamment sur la corrosion des contacts ;

- ❖ des défauts au niveau de la diode anti-retour connectée en série sur chaque string. Son rôle est d'éviter tout retour de courant inverse ;
- ❖ des défauts de courants de fuites : ils peuvent être créés du fait des caractéristiques capacitives des panneaux et peuvent devenir dangereux en cas de contact avec le fil de terre. Des disjoncteurs différentiels sont utilisés dans ce cas pour la protection des personnes [21].

II.1.2 Défauts des systèmes PV sur le réseau de distribution

- ✓ **Défaut de mismatch et d'ombrage** : le défaut de mismatch est le défaut causé par le groupement de cellules possédant une caractéristique I-V non identique. Le défaut d'ombrage est un cas particulier du défaut de mismatch car sa présence conduit à une réduction de l'ensoleillement reçu par des cellules.
- ✓ **Défaut de diode bypass** : dans son bon état, la diode bypass est passante quand la somme de la tension des cellules qu'elle protège est négative et elle est bloquée dans le cas contraire. Dans son état défaillant, ce rôle de protection n'est plus assuré. Les défauts électriques associés à cette diode sont : diode court-circuitée, diode déconnectée et diode inversée. En plus de ces défauts électriques, cette diode pourrait éventuellement claquer en cours de fonctionnement et se comporter comme une impédance d'une valeur quelconque.
- ✓ **Défaut de connectique** : le défaut de connectique est lié au problème de l'augmentation de la résistance de connectique entre deux modules PV. Le défaut de connectique n'intervient que dans l'étape de détermination de la caractéristique du string.
- ✓ **Défaut de diode anti-retour** : De la même manière que pour la diode bypass, quatre types de défauts peuvent être envisagés pour la diode anti-retour : court-circuit, impédance quelconque, circuit ouvert et inversée [22].

II.2 Méthodes et outils de diagnostic

Il existe deux méthodes courantes industrialisées de diagnostics : des méthodes reposant sur l'analyse du courant et de la tension (appelées méthodes électriques) et des méthodes reposant sur d'autres grandeurs que la tension et le courant (appelées méthodes non électriques).

II.2.1 Méthodes électriques

Les systèmes actuels de monitoring d'un système PV sont essentiellement intégrés aux onduleurs. Dans ce cadre, les données mesurées sont souvent les mêmes d'un système à l'autre.

Les grandeurs mesurées les plus courantes sont :

- ✓ le courant débité par le champ PV ;
- ✓ la tension aux bornes du champ PV ;
- ✓ la résistance d'isolement entre les bornes positives et négatives du champ PV [22].

II.2.1.1 Analyse de la caractéristique I-V

L'analyse de la caractéristique I-V dans des conditions anormales permet d'extraire des informations concernant la nature du défaut. C'est une technique complémentaire par rapport à la technique de l'analyse des pertes de puissance du générateur PV. Une acquisition de la caractéristique I-V d'un string est effectuée sous faible ensoleillement. Chaque courbe I-V est divisée en deux zones, une zone de tension et une zone de courant (voir figure II.1).

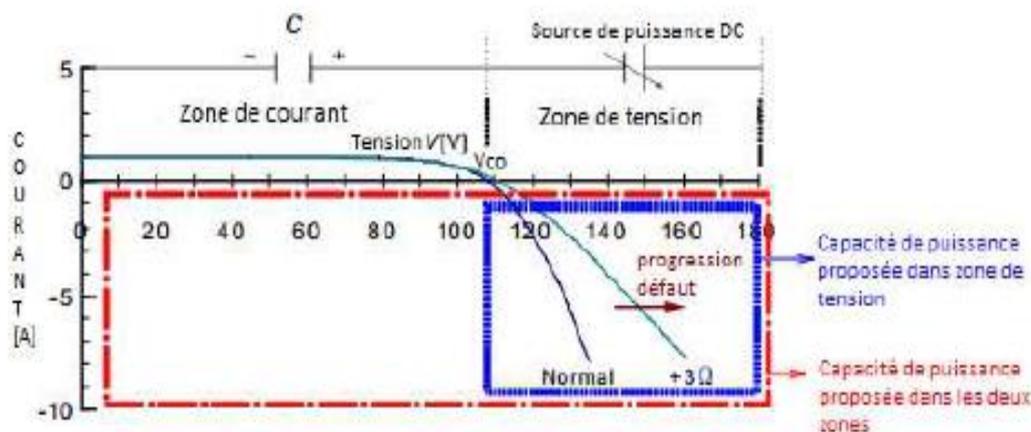


Figure II.1 : Concept d'acquisition de la caractéristique I-V dans deux zones dépendantes [23].

La première zone de courant est obtenue lors de la charge du condensateur connecté en parallèle des panneaux en série. Une fois le condensateur chargé, un interrupteur commute vers la charge variable en série avec le condensateur. Ainsi, la seconde zone de tension est obtenue. Si un défaut est détecté, une déviation se crée dans la zone de tension. Avec cette

méthode de détection, trois paramètres de la caractéristique peuvent être identifiés comme la résistance série, la résistance shunt et le facteur d'idéalité de la diode [21].

II.2.1.2 Méthode de réflectométrie électrique

Il s'agit d'envoyer un signal dans le système ou le milieu à diagnostiquer. Une partie du signal sera renvoyé vers le point d'injection lorsque celui-ci rencontre une discontinuité [23].

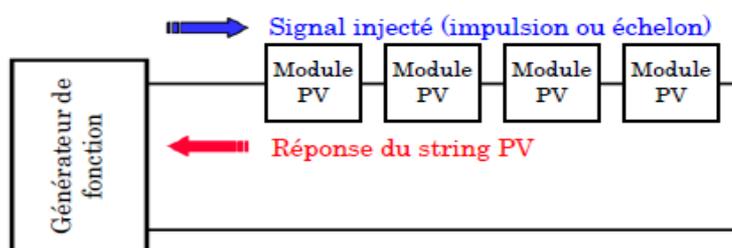


Figure II.2 : Principe de la méthode de réflectométrie pour localiser le défaut dans le string [24].

II.2.1.3 Analyse de la puissance et de l'énergie produite

De nombreuses études reposent sur l'analyse de la puissance et de l'énergie produite par le champ PV pour faire la détection et la localisation de défauts qui y sont apparus. La puissance ou l'énergie actuelle (mesurée) est comparée à celle attendue et lorsqu'une déviation importante a lieu, on considère qu'il y a un défaut. Par contre, une meilleure localisation de défauts peut être accomplie grâce à une analyse plus approfondie sur les grandeurs mesurées. L'analyse mentionnée consiste à générer des attributs supplémentaires de la chute de la puissance ou de l'énergie produite telles que : la durée, l'amplitude, la fréquence et les instants de la chute. Ces mêmes attributs sont également prédéterminés pour les différents défauts considérés [22].

II.2.1.4 Analyse du point de fonctionnement

Outre la comparaison de la puissance ou de l'énergie produite actuelle et celle attendue, la comparaison du point actuel de la puissance maximale (courant et tension correspondant à la puissance maximale) et celui attendu peut apporter plus d'information sur l'état du système PV. Les quatre familles de problèmes sont les suivants :

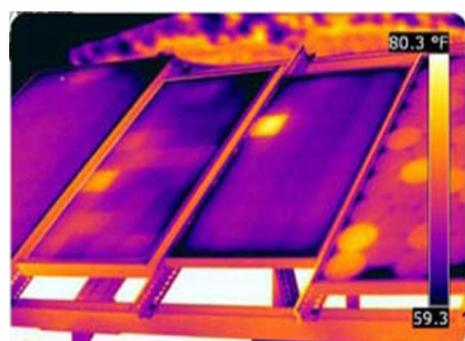
- ✓ modules défectueux dans un string ;
- ✓ string défectueux ;

- ✓ famille de défauts non discriminables : ombrage, erreur de MPPT, vieillissement ;
- ✓ fausses alarmes [22]

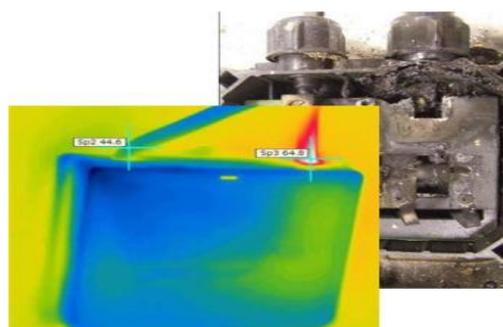
II.2.2 Méthodes non électriques

Il existe plusieurs méthodes non-électriques, destructives ou non destructives, pour diagnostiquer le défaut au niveau de cellule PV. On peut citer comme méthodes : les essais mécaniques de flexion, l'imagerie par photoluminescence et électroluminescence, tests de thermographie [25].

Au niveau du module PV, la méthode de l'imagerie d'infrarouge (caméra thermique) est largement appliquée. Cette méthode repose sur le fait que tous les matériels émettent un rayonnement infrarouge sur une plage de longueur d'onde qui dépend de la température du matériau. En examinant la distribution de la température au niveau du module, des anomalies (si elles ont lieu) peuvent être localisées.



cellule court-circuitée (a)



corrosion dans la boîte de jonction (b)

Figure II.3 : Quelques exemples de la localisation de défauts par la caméra thermique [26].

Quelques succès de la localisation de défauts utilisant la caméra thermique ont été reportés : courant de fuite dans la cellule, augmentation de la résistance de la connectique entre les cellules, échauffement anormal des cellules, conduction de la diode bypass [25]. Cette méthode peut être également appliquée pour les connectiques dans la boîte de jonction, la fonctionnalité de la diode anti-retour.

II.3 Maintenance des systèmes PV

II.3.1 Maintenance préventive

Ella a pour objectif d'éviter que l'installation tombe en panne. Pour y arriver, un suivi et un contrôle de chacun des constituants de la station sont effectués régulièrement, tout en prenant soin de remplacer les pièces usées juste avant que leur état

perturbe le fonctionnement normal du système. Cependant il existe trois modes de maintenances préventives : la maintenance systématique, la maintenance conditionnelle et celle prévisionnelle. Seules les deux premières sont abordées dans cette partie.

II.3.1.1 Maintenance préventive systématique

Là, il s'agit de changer les pièces selon un échéancier préétabli. Son objectif étant de maintenir l'équipement dans l'état de son rendement de départ ; les coûts directs de cette maintenance ne doivent pas être supérieurs à la valeur des conséquences que l'on cherche à éviter. Il se limite généralement au nettoyage des modules, au désherbage de la station, à la prévention de l'ombre sur les modules et au contrôle visuel de l'état des câbles et des autres constituants externes.

II.3.1.2 Maintenance préventive conditionnelle

Elle a pour objectif la correction de la dérive éventuelle du rendement technique de la station, ceci à travers une exploitation rigoureuse des relevés de mesures et des constats effectués sur le site. Elle nécessite un diagnostic avant le remplacement de la pièce et dépend des résultats des visites et des inspections. Ces inspections doivent être confiées au maître d'œuvre ou à toute autre structure compétente et doivent être assurées par un technicien spécialisé.

II.3.1.3 But de la maintenance préventive

La maintenance préventive a pour but :

- ❖ d'augmenter la durée de vie des matériels.
- ❖ de diminuer la probabilité des défaillances en service.
- ❖ de diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- ❖ de prévenir et prévoir les interventions coûteuses.
- ❖ de permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- ❖ d'éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant...etc.
- ❖ d'améliorer les conditions de travail du personnel de production.

- ❖ de diminuer le budget de maintenance.
- ❖ de supprimer les causes d' accidents graves.

II.3.2 Maintenance corrective

La maintenance corrective consiste à remettre en état de marche une installation tombée en panne. L' arrêt de la station peut être dramatique pour les populations d' autant plus que les pièces de rechange peuvent ne pas être disponibles localement. Elle se fait en deux étapes :

- ✓ **Le dépannage** : action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement. Compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires (maintenance palliative) avec des conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation. Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières.
- ✓ **La correction** : intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

II.4 Proposition d'un planning de maintenance

Comme avec n'importe quel équipement, effectuer l'entretien et l'inspection régulière des composants aidera à assurer des bonnes performances au système et à réduire au minimum la défaillance des composants.

II.4.1 Maintenance préventive de l'équipement de génération d'énergie

II.4.1.1 Modules photovoltaïques

- ✓ **Nettoyage** : dans la plupart des situations, le nettoyage est seulement nécessaire pendant de longues périodes sèches où il n'y a aucune pluie pour fournir le nettoyage naturel. Pour enlever une couche de poussière et de saleté des modules, laver simplement les modules avec de l'eau. Si le module a la saleté ou la crasse épaisse, il est plus difficile d'enlever, laver avec de l'eau chaude et une éponge. Le lavage des modules est semblable aux fenêtres de verre de lavage mais aucun détergent ne

devrait être employé. Les modules devraient être nettoyés quand ils ne sont pas excessivement chauds, en général le matin (tôt) [27].

- ✓ **Vérification de structure** : après que les modules aient été nettoyés, une inspection visuelle des modules peut être faite pour vérifier les défauts tels que des fissures, des morceaux et la décoloration. Si des défauts évidents sont trouvés, noter les dans le carnet d'entretien, ainsi ceux-ci peuvent être surveillés à l'avenir en cas de détérioration. Quand on inspecte les modules solaires, l'état du bâti de support de panneau devrait également être noté. Les articles à observer devraient inclure les boulons de fixation de rangée (par exemple desserrage des boulons) et vérifier pour s'assurer que l'armature et les modules sont fermement fixés [27].

II.4.1.2 Armoire électrique et boîtiers

- **Vérification mécanique** : cette tâche inclura le serrage des contacts électriques (point de raccordement, cosses,...etc.), aussi l'efficacité du joint des boîtiers.
- **Vérification électrique** : la mesure quotidienne du courant et de la tension électrique du panneau solaire sera essentielle pour voir le rendement électrique, tant que pour la détection des défauts, aussi que l'efficacité des diodes de protection dans les boîtiers au-dessus des panneaux solaires [27].

II.4.1.3 Equipement de protection

- ✓ **Paratonnerre** : il faut que le dispositif assure l'amorçage c'est à dire il faut qu'il soit pointu et en bon état de câblage.
- ✓ **Prise de terre** : si la résistance du sol est supérieure à 10Ω il faut la réduire par l'arrosage avec de l'eau salifiée si non on ajoute quelques piquets en cuivre.

II.4.2 Maintenance corrective de l'équipement de génération d'énergie

II.4.2.1 Rangée solaire

- ✓ **Renverser l'action d'encapsulation** : certaines cellules sont collées sur le verre extérieur par la température, un personnel qualifié sur les traitements de surface a les solutions convenables.
- ✓ **Nettoyage** : pour obtenir une cellule propre on assure le décapage des conducteurs et des autres produits comme le gel, papier et autres.
- ✓ **Test d'efficacité** : mesure de tension, de rendement et autres grandeurs électriques.

- ✓ **Raccordement d'encapsulation** : par cette étape finale on obtient un nouveau module solaire photovoltaïque prêt à utiliser.

II.4.2.2 Remplacement des pièces

Tous les dommages d'équipement (pièce métallique, dispositif électrique, joint de boîtier ou autre) doivent être rechangés rapidement pour assurer une maintenance active ; bien évidemment il dépend de personnel qualifié et de la disponibilité des pièces de rechange c'est-à-dire la gestion du stock.

II.4.3 Maintenance préventive des batteries

- **Vérification des batteries** : en tant qu'élément de l'entretien régulier, une inspection visuelle complète de la banque de batteries est exigée. Cette inspection devrait inclure : propriété des batteries, niveau de l'électrolyte, état des bornes des batteries même les cosses, vérifier s'il y'a de l'électrolyte dans les plateaux de sureté ou sur le plancher indiquant une fuite possible de batteries ou que le remplissage excède la capacité des batteries, état des récipients des batteries et niveau de tension des batteries.
- **Charge des batteries** : pour maximiser la durée de vie d'une banque de batteries il est mieux de s'assurer que ces dernières reçoivent régulièrement une pleine charge et que leur état de charge n'est pas permis de tomber excessivement.
- **Température** : un facteur important qui détermine la durée de vie d'une batterie est sa température de fonctionnement. Ce facteur à une influence très importante sur la durée de vie des batteries. Ainsi la durée de vie diminue de 50% par tranche de 10°C au-dessus de 20°C.

Une batterie peut devenir chaude pour les raisons suivantes : une décharge rapide, une charge rapide et un environnement chaud.

Une élévation de température d'une batterie agira sur le vieillissement de celle-ci. La réaction chimique s'accélère avec la température. La durée de vie sera plus courte.

Il est très important de garder les batteries à des températures fraîches environ 20°C.

En effet les règles de l'art pour l'utilisation des batteries sont :

- le local : il doit être frais ;
- la ventilation : s'assurer que les batteries peuvent dissiper leur température ;
- utilisation : s'assurer que les batteries ne montent pas en température.

II.4.4 Maintenance corrective des batteries

Lorsqu'il y'a un dysfonctionnement au niveau des batteries, nous envisageons deux types d'intervention que sont : la maintenance curative et la maintenance palliative.

II.4.4.1 Maintenance curative

Là, il y'a un rechange complet de la batterie endommagée car la réparation n'assure pas les caractéristiques internes.

II.4.4.2 Maintenance palliative

- **Réparation des fuites :** avec de la colle ou du plastique spécial on peut dépanner ces dommages.
- **Régénération des bornes :** la corrosion et le mauvais contact entre cosses-bornes font la dégradation des bornes, une action de maintenance dans le laboratoire de la maintenance est nécessaire. Les tâches sont les suivantes :
 - nettoyage total des bornes ;
 - fixation d'un vice juste dans l'axe ;
 - on place un tube en cuivre de même taille que la borne (le vice est maintenant dans le tube).

II.4.5 Tâches typiques pour la maintenance des batteries

II.4.5.1 Préparation d'un système pour la maintenance

Assurer qu'il y'a de la ventilation dans la salle des batteries. Vérifier que les systèmes de ventilation fonctionnent correctement et sont propres, ainsi enlever tous les outils inutiles, en laissant seulement l'équipe d'entretien et de sécurité.

II.4.5.2 Isolement du système pour la maintenance

Pour isoler la banque des batteries il faut suivre les étapes suivantes :

- arrêter toutes les charges du système ;
- débrancher tous les dispositifs de génération d'énergie ;
- arrêter la banque de batteries : ceci impliquerait le débranchement de tous les fusibles sur la batterie, enlever celui sur la borne négative ensuite celui sur la borne positive.

II.4.5.3 Nettoyage des cellules

Chaque cellule devrait être propre avant d'enlever tous les bouchons de remplissage pour effectuer l'entretien ou les mesures. Ceci évitera la contamination de la cellule par la saleté.

Pour nettoyer les cellules, utiliser une brosse pour enlever le matériel sec et/ou un chiffon plongé dans une solution de bicarbonate de soude et l'eau pour arroser.

II.4.5.4 Mesure de tension

Une fois que la banque de batteries est isolée, on utilise un voltmètre pour mesurer la tension de la banque complète et de chaque cellule. Si n'importe quelle cellule a une tension supérieure ou inférieure de 10% à la tension moyenne des cellules, une charge d'égalisation devrait être améliorée et la banque de batteries doit être vérifiée.

II.4.5.5 Refaire le plein de l'électrolyte et régénération de batterie

Quand les batteries sont en charge, la cellule perd de l'eau. Pour refaire le plein de l'électrolyte, il faut employer l'eau distillée et remplir la cellule jusqu'au niveau correct. Il est préférable d'ajouter l'eau distillée quand la charge de la batterie est élevée car l'addition de l'eau diminuera la charge de la batterie.

Il existe deux types de régénération de batteries : la régénération électronique et la régénération chimique.

La régénération électronique consistant à l'exploitation de la fréquence de résonance propre de la batterie. Un équipement spécial émet des impulsions de fréquences comprises entre 1 et 10kHz alternativement négatives et positives pour faire éclater les cristaux de sulfate de plomb. Ces cristaux vont se dissoudre dans l'électrolyte, la résistance interne de la batterie va baisser, et la charge en sera plus aisée.

La régénération chimique consistant à l'ajout d'une petite quantité de sulfate de magnésium. Ce composé chimique va dissoudre la croute de sulfate de plomb dans l'électrolyte. Le traitement se fait généralement en vidant l'électrolyte, puis rinçage, puis adjonction de la solution de nettoyage, vidange, puis réinjection de l'électrolyte filtré.

II.4.5.6 Nettoyage des batteries

Si les bornes de la batterie montrent des signes de corrosion, ou n'ont pas eu d'antioxydant, le nettoyage devient nécessaire. Ceci impliquera de débrancher les fils de la batterie et de nettoyer les bornes de la batterie et les connecteurs. La corrosion finale de la batterie est souvent vue comme une matière blanche cristalline ou de la poudre autour ou sur les bornes. Une borne fortement oxydée aura un enduit très foncé et presque noir. Si c'est entre les surfaces des connecteurs et les bornes il devra être nettoyé.

Avant de débrancher, essuyer soigneusement la majeure partie de la corrosion outre d'employer une brosse ou un chiffon avec la solution de bicarbonate de soude, puis débrancher soigneusement le connecteur de fil de la batterie du borne terminal de la batterie et nettoyer tous les deux.

Une fois qu'elle est propre, appliquer l'antioxydant et rebrancher la connexion de fil de la batterie sur le post terminal. Répéter ce procédé pour chaque borne, comme requis, en faisant attention à ne pas souiller l'électrolyte avec n'importe quel matériaux étranger.

II.4.6 Maintenance du système de régulation

Le système de régulation comprend le régulateur, l'onduleur et autres.

II.4.6.1 L'onduleur

Le convertisseur devrait être installé dans un secteur propre, sec, aéré, il doit être séparé, et pas directement au-dessus, de la banque de batteries. Tandis que le système fonctionne, les contrôles opérationnels suivants peuvent être faits :

- vérifier que le convertisseur fonctionne correctement par l'observation des LED ;
- vérifier pour voir si le convertisseur en mode réserve (si présent) fonctionne correctement. Ceci peut être fait par l'interruption de toutes les charges et les appareils fonctionnant dans le système. Une fois dans le mode réserve, brancher un appareil et le convertisseur commence immédiatement ;
- vérifier que toutes les opérations de déclenchement à distance du générateur de secours (si présent) fonctionnent ;
- s'assurer que le générateur de secours démarre et s'arrête aux niveaux de tension corrects de la batterie.

II.4.6.2 Le régulateur

Le régulateur est un dispositif électronique qui contrôle la tension de la source d'énergie pour charger la banque de batterie convenablement et il est exactement conçu pour débrancher ou réduire le courant de charge. En général il y'a des élévateurs et des onduleurs de tension.

L'inspection des régulateurs a besoin d'être entretenue par des personnes qualifiées, en inspectant, il faut :

- ✓ rechercher n'importe quelle coupure du câblage sur les points du raccordement. S'ils sont mal connectés il faut suivre les procédures d'arrêt de système avant la réparation.
- ✓ enlever toute la poussière excessive ceci devrait seulement être fait avec un tissu ou une brosse sèche.

II.4.6.3 Câblage du système

Vérifier n'importe quelle coupure ou détérioration dans le câblage exposé. Inspecter les raccordements pour voir tous les signes de la corrosion et/ou de la brûlure.

Inspecter l'état du câblage :

- ✓ de la source solaire à son régulateur ;
- ✓ du régulateur à la banque de batterie ;
- ✓ du convertisseur à la banque de batterie;
- ✓ du générateur de secours au chargeur de batterie ;
- ✓ du chargeur de batterie à la banque de batterie ;
- ✓ du convertisseur et générateur de secours au tableau de contrôle du courant alternatif.

II.4.7 Interprétation d'équipement de surveillance

Il est recommandé qu'un système solaire inclus des voltmètres et des ampèremètres. Régulièrement la surveillance de ces instruments aidera à identifier un problème avant que le point soit atteint où le commutateur est bloqué (outré) à cause de l'état bas de la charge de la batterie. Ceci se manifeste par une basse tension aux bornes de la batterie.

Si une mesure du rendement solaire est faite pour les rangées photovoltaïques, par mesure du courant de sortie régulièrement n'importe quelle perte de fonctionnement peut être notée. Il y'aura une certaine variation de ce courant due aux changements de la température ambiante, l'angle du soleil et la durée d'ensoleillement pour les modules. Pour réduire au minimum ces effets, cette observation devrait être faite durant les belles journées ou peu nuageuses à environ midi. Tous les changements cruciaux de rendement qui sont notés peuvent être étudiés. Les causes les plus communes pour la perte de rendement sont la saleté excessive sur les modules ou la nuance partielle de la rangée. D'autres causes pourraient inclure des problèmes de câblage et/ou les problèmes avec des régulateurs.

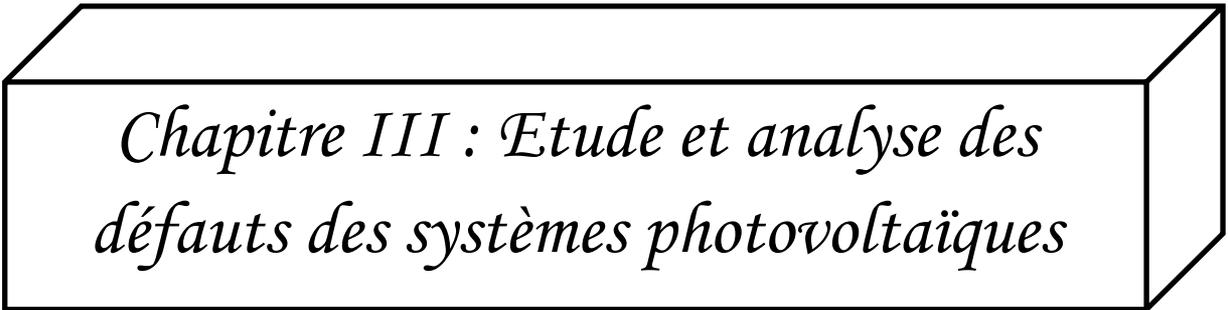
Le bon temps pour observer la tension est le matin et au premier temps de nuit. Si la tension est inférieure à ce qui est prévu alors ceci pourrait indiquer que : le système n'est pas

chargé efficacement ou l'appel d'énergie a augmenté, le système consomme plus qu'il ne produit ou encore vieillissement des cellules, des batteries ou bien quelques cosses sont défailantes.

Plusieurs convertisseurs et régulateurs sur le marché sont aujourd'hui sous forme d'un microprocesseur contrôlé et permettent donc d'autres dispositifs de surveillance. On arrive à la télésurveillance par l'intermédiaire de modems et de lignes téléphoniques. Si le système contient ce type de surveillance, l'écoulement quotidien d'énergie (dans et dehors) aidera à déterminer si le système fonctionne correctement et alertera souvent d'un problème avant qu'il se cause une défaillance [27].

Conclusion

Dans ce chapitre, les différents types de défauts que peuvent rencontrer les systèmes PV ont été répertoriés. Les différentes méthodes de diagnostics ont aussi été présentées. La dernière partie de ce chapitre a été consacrée à la définition des différents types de maintenance, à une proposition d'un planning de maintenance et à l'interprétation d'équipement de surveillance. Ce chapitre est d'une importance capitale, il permet d'aborder la partie qui suit : l'étude et l'analyse des défauts des systèmes photovoltaïques.



Chapitre III : Etude et analyse des défauts des systèmes photovoltaïques

Chapitre III : Etude et analyse des défauts des systèmes photovoltaïques

Introduction

Ce chapitre est destiné à l'étude et à l'analyse des défauts des systèmes photovoltaïques. Tout d'abord, la méthode utilisée pour la recherche de données sera présentée ensuite les composants et les défaillances seront déterminés. Après avoir étudié et analysé les défaillances des systèmes photovoltaïques, une synthèse des résultats sera faite. La dernière partie de ce chapitre est destiné au diagnostic et à une proposition d'un planning de maintenance des lampadaires installés au sein de l'UASZ.

III.1 Méthodologie

III.1.1 Présentation de Sud Solar System

Ce présent travail est réalisé avec la collaboration de l'entreprise **Sud Solar System** à Ziguinchor. Mais, pour ce faire, nous avons séjourné au sein de cette entreprise. Ce séjour de trois mois nous a permis de recueillir des données relatives aux systèmes PV et de mieux connaître cette structure d'accueil (**Sud Solar System**).

La société **Sud Solar System**, créée en 2001 est spécialisée dans les études, réalisations, commercialisation, maintenance et conseils en systèmes solaires photovoltaïques. Avec plus de 20 ans d'expérience dans le domaine de l'énergie solaire, l'expertise de **Sud Solar System** repose sur les Solar Home System (SHS), les Systèmes à usage productif, les mini-centrales hybrides, les centrales de système communautaire raccordé ou non au réseau de distribution électrique et les lampadaires solaires.

L'entreprise a une bonne connaissance des outils de dimensionnement, de l'évolution technologique, mais surtout des bases solides en électronique et en électricité.

Par ailleurs, son abnégation, son professionnalisme, son souci de révolutionner et toujours proposer des solutions simples et adéquates lui ont valu un positionnement considérable au Sénégal, fruit d'un long processus de travail.

Son expertise avérée dans ce domaine lui a permis de fidéliser des clients telles que; l'armée sénégalaise, l'ambassade de France, l'ambassade des Etats Unies, la coopération allemande, ainsi que beaucoup d'organisations non gouvernementales tels que le CICR, SNV...etc.

La société emploie à son actif vingt-six (26) salariés dans le respect du genre. Cette équipe est composée de talents professionnels internes et externes notamment des techniciens et

ingénieurs qui travaillent continuellement en vue de soutenir la population rurale pour l'accès à l'électricité.

➤ **Organisation de l'entreprise**

Le groupe **S.S.S** est composé de quatre services : la direction, le service technique, le service commerciale et enfin un cabinet comptable externe pour la gestion et le contrôle de la gestion financière.

Depuis sa création, elle a eu de nombreuses mutations dues à l'évolution du marché actuel de la commercialisation des produits photovoltaïques au Sénégal.

Sud Solar Système est passée d'une société de commercialisations de matériels solaires à une entreprise de vente de service électrique et de sous-traitance de travaux d'installations électriques (installations intérieures –réalisations de centrales solaires PV – câblages et raccordement réseau BT etc.). Surtout avec l'avènement du programme d'électrification rurale d'initiative locale instauré par l'état du Sénégal via l'ASER en 2006.

Ainsi la nouvelle organisation de l'entreprise est la suivante :

- l'administrateur, secondé par un responsable administratif et financier,
- une direction technique qui est composé du département des travaux et le département de la panification, suivi et contrôle des travaux,
- un service commercial pour la gestion des mini-concessions et ERIL (il est chargé du benchmark, de la vente des produits, du niveau de service, du règlement des conflits et en relation avec les autorités administratives locales).
- un service comptable géré par le cabinet fiduciaire de Ziguinchor.

➤ **Carte d'identité de l'entreprise**

La carte d'identité de la société **S.S.S** est la suivante :

- ✓ Dénomination Sud Solar System
- ✓ Raison sociale GIE
- ✓ Adresse : Escalier Ziguinchor-rue de France
- ✓ BP 95 Ziguinchor
- ✓ Tel : 775664364/775734162/776360820

✓ **Email** : southsystem@yahoo.fr

➤ **Activités proprement dites de l'entreprise**

Sud Solar System est spécialisée dans la fourniture et pose de matériels solaires photovoltaïques, thermiques et divers. En outre, elle fait des études de projet (système individuel, système communautaire et système centralisé) et propose une gamme de produits variée et adaptée aux besoins des populations urbaines et villageoises.

Parallèlement à cela elle propose des solutions techniques innovantes pour l'amélioration de la fourniture d'électricité dans les endroits reculés en utilisant des solutions mobiles money et plug and Play géo localisé avec des partenaires étrangers notamment américains et français (spark-meter et Sunna Design).

L'entreprise réalise des applications notamment dans l'électrification de :

- maisons,
- dispensaires,
- postes de santé, hôpitaux, foyers socio-éducatifs,
- lieux de culte,
- hôtels et campements touristiques.

Mais aussi dans des activités génératrices de revenus notamment des blocs maraichers avec système d'exhaure d'eau par voie solaire photovoltaïque :

- chauffage solaire par effet de serre,
- séchage solaire par des capteurs plans.

Sud Solar System, en dépit de ses activités principales, fait des activités secondaires notamment :

- ✓ fourniture et installation de paratonnerre
- ✓ installation de groupe électrogène
- ✓ aménagement de blocs maraichers
- ✓ dépannage de matériels défectueux.

Sud Solar System gère et exploite des ERIL notamment : ERSEN 1, ERSEN 2, PASE, EEV etc...

L'organigramme de **Sud Solar System** est ci-dessous :

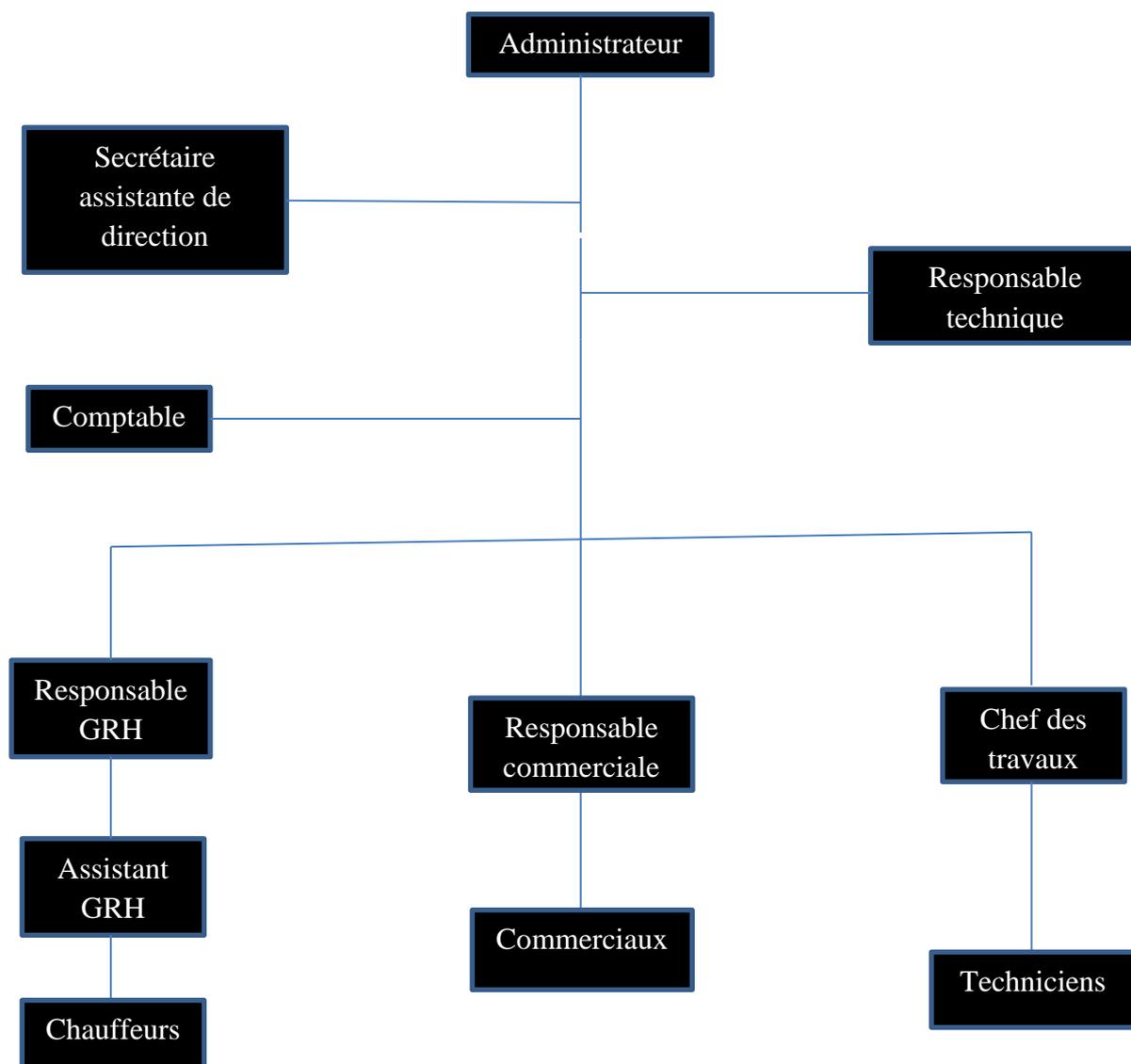


Figure III.1 : Organigramme de **Sud Solar System**

III.1.2 Méthode de collecte et présentation des données

Pour atteindre les objectifs qui nous ont fixés, la méthode suivante est adoptée :

- ◆ un stage de trois mois en entreprise (**Sud Solar System**) à Ziguinchor durant lequel nous avons participé à des missions d'installation, de dimensionnement et de maintenance.
- ◆ la mise en disposition d'une base de données relative à l'état de fonctionnement des systèmes PV.
- ◆ enfin, une analyse et un traitement de données requises sont réalisés.

Durant ce stage, un certain nombre de centrales électriques, de systèmes domestiques, de systèmes de pompage et d'autres tels que les systèmes conçus pour les activités génératrices de revenus sont étudiés. Ces systèmes sont classés en fonction de leur site d'installation, de leur taille et de leur type. A partir de ce classement, nous élaborons une méthode d'étude des systèmes.

Les centrales électriques installées dans les régions de Sédhiou et Kolda sont listées dans le tableau III.1 suivant :

Tableau III.1 : Liste des centrales installées dans les régions de Sédhiou et de Kolda.

Régions de Sédhiou et Kolda		
Villages	Type	Taille
Babadi	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1000Ah
Bani	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24bat/12V/1000Ah
Badougha	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24bat/12V/1300Ah
Bari	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24bat/12V/1300Ah
Diatoumane	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1300Ah
Bissary Doukia	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24bat/12V/1300Ah
Kandion Mangana	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1000Ah
Saré Biteye	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24bat/12V/1300Ah
Diallo Kunda	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1300Ah
Sare Yaya	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24bat/12V/1300Ah
Kani Kunda	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24bat/12V/1300Ah
Badji Kunda	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1000Ah
Massambang	Electrification	24PV/215Wc//36V24bat/12V/1000Ah
Gassikon	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1000Ah
Ndiolloffene	Electrification	36PV/145Wc/8A/24bat/12V/1000Ah
Bambadala 1	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1000Ah
Kitim	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1000Ah
Lamel	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1000Ah
Fadhioughar	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1000Ah
Frankunda	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1300Ah
Bissassou Douma	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1000Ah
Bissassou Santos	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24bat/12V/1300Ah
Kougnara	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24bat/12V/1300Ah
Sékafoula	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24bat/12V/1300Ah
Djinany	Electrification	24PV/215Wc/36,9V/24bat/12V/1000Ah
Saré Koubé	Electrification	30PV/165Wc/24V/24bat/12V1300Ah
Diassina	Electrification	30PV/165Wc/24V/24bat/12V/800Ah

Des centrales électriques et d'autres systèmes sont aussi installés dans les régions de Ziguinchor et Fatick. Ces systèmes sont listés dans les tableaux III.2 et III.3 suivants :

Tableau III.2 : Systèmes domestiques installés dans la région de Ziguinchor.

Région de Ziguinchor		
Villages	Type	Taille
Essyl	Electrification	4PV/80Wc/12V/2bat/180Ah/12V
Badiate	Electrification	4PV/80Wc/12V/2bat/180Ah/12V
Kameubeul	Electrification	4PV/80Wc/12V/2bat/180Ah/12V
Médina	Electrification	3PV/450Wc/24V/4bat/100Ah/12V
Séléky	Electrification	2PV/500Wc/24V/4bat/150Ah/12V
Etama	Electrification	4PV/80Wc/12V/2bat/180Ah/12V
Mlomp Kofone	Electrification	1PV/100Wc/24V/2bat/55Ah/12V
Enampor	Electrification	2PV/500Wc/24V/2bat/200Ah/12V
Bailla	Electrification	1PV/100Wc/24V/2bat/55Ah/12V
Dodé (Affiniam)	Electrification	1PV/100Wc/24V/2bat/55Ah/12V
Oussouye	Système froid	2PV/500Wc/24V/2bat/220Ah/12V
Loudia Diola	Electrification	1PV/100Wc/24V/4bat/26Ah/12V
Kandé	Electrification	1PV/100Wc/24V/2bat/40Ah/12V
Diana	Electrification	18PV/230Wc/24V/28bat/180Ah/12V

Tableau III.3 : Les centrales électriques installées dans la région de Fatick.

Région de Fatick		
Villages	Type	Taille
Djidah	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1000Ah
Madina Djikhoye	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1000Ah
Keur Allassane Diallo	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1300Ah
Ndorone Sérère	Electrification	48PV/115Wc/24V/24bat/12V/1000Ah
Bangualaire	Electrification	24PV/215Wc/36V/24bat/12V/1000Ah
Sakhor	Electrification	36PV/145Wc/8A/24bat/12V/1000Ah

De la même façon les systèmes photovoltaïques pour le pompage solaire sont listés dans le tableau III.4 suivant.

Tableau III.4 : Liste des systèmes photovoltaïques pour le pompage.

Région de Ziguinchor			
Sites	Types	Taille	Pompes
Kakène	Pompage solaire	4 PV/1040Wc	Lorentz PS600
Kabrousse	Pompage solaire	2PV/500Wc	Lorentz PS600
Diagong	Pompage solaire	5PV/1300Wc	Lorentz PS600
Tending	Pompage solaire	8 PV amorphes/976Wc	Lorentz PS600
Sindone	Pompage solaire	3PV/780Wc	Lorentz PS600
Adéane	Pompage solaire	3PV/780Wc	Lorentz PS600
Djibonker	Pompage solaire	6PV/900Wc	Lorentz PS600
Djibélor	Pompage solaire	4PV/1000Wc	Lorentz PS600
Barakabanao	Pompage solaire	8 PV/976Wc	Lorentz PS600
Affiniam	Pompage solaire	8 PV/976Wc	Lorentz PS600
Sansankoto	Pompage solaire	20PV/5000Wc	Grundfos RS1800
Birkamending	Pompage solaire	8 PV/976Wc	Lorentz PS600
Sindone	Pompage solaire	3PV/780Wc	Lorentz PS600
Tivaouane	Pompage solaire	8PV/800Wc	Lorentz PS600
Mlomp	Pompage solaire	12PV/1200Wc	Lorentz PS600
Loudi 1	Pompage solaire	12PV/1200Wc	Lorentz PS600
Maraboune	Pompage solaire	30PV/2400Wc	Grundfos
Oulampane	Pompage solaire	264Wc	Grundfos
Toubacouta	Pompage solaire	264Wc	Grundfos
Dialang	Pompage solaire	675Wc	Grundfos
Essaout	Pompage solaire	396Wc	Grundfos
Niabina	Pompage solaire	308Wc	Grundfos
Dianki	Pompage solaire	660Wc	Grundfos SQFlex 2,5

III.1.3 Méthode d'analyse des données

La méthode utilisée pour l'analyse des données est la suivante :

- ◆ classification de données en deux groupes : électrification et pompage ;
- ◆ analyse des défaillances des systèmes photovoltaïques ainsi que leurs composants ;
- ◆ analyse des causes des défaillances ;
- ◆ et enfin, une détermination du niveau de récurrence de chaque type de défaillance.

Pour la détermination des fréquences de pannes, la formule III.1 sera utilisée aussi bien pour les systèmes d'électrification que les systèmes de pompage.

$$f_i = \frac{f_{xi} \times 100}{\sum f_{xi}} \text{ en \% [26]} \quad \text{III.1}$$

Dans cette formule : f_i est la fréquence du type de panne et s'exprime en pourcentage, f_{xi} le nombre de fois d'apparition du type de panne.

III.2 Analyses des pannes des systèmes PV pour l'électrification

III.2.1 Les défaillances

Les principales pannes rencontrées dans les systèmes photovoltaïques pour l'électrification sont relativement liées aux différents composants du système. Les principaux composants d'un système photovoltaïque pour l'électrification sont : les modules photovoltaïques, les régulateurs, les onduleurs et les batteries. Le tableau III.5 suivant résume les différentes pannes de ces composants.

Tableau III.5 : Les pannes des composants d'un système PV pour l'électrification.

Composants	Modules PV	Régulateurs	Onduleurs	Batteries
Les différentes pannes des composants d'un système PV	Salissure (poussière)	Surcharge	Surcharge	Manque d'entretien
	Intrusion humaine	Durée de vie atteinte	Durée de vie atteinte	Durée de vie atteinte
	Interconnexion dégradée	Inversion de polarité	Inversion de polarité	Surcharge
	Fissure	Intrusion humaine	Intrusion humaine	Intrusion humaine
	Ombrage	Défaut d'isolement des câbles (causé par l'humidité)	Défaut d'isolement des câbles (causé par l'humidité)	Défaut d'isolement des câbles (causé par l'humidité)
	Salissure (nids d'insectes)			Décharge profonde
			Surchauffe	

Pour les SPVE étudiés, les composants défaillants sont listés dans les tableaux suivants. Dans ces tableaux figurent aussi les causes et les solutions proposées de chaque installation.

Chapitre III : Etude et analyse des défauts des systèmes photovoltaïques

Tableau III.6 : Composants défaillants, causes des défaillances et solutions proposées des installations dans la région de Fatick.

Régions de Fatick					
Villages	Type	Taille	Composants défaillants	Causes/symptômes	Solutions
Djidah	Electrification	24PV/215Wc/ 36V/24bat/12 V/1000Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Madina Djikhoye	Electrification	24PV/215Wc/ 36V/24bat/12 V/1000Ah	onduleur	surcharge	réparation
Keur Allassane Diallo	Electrification	24PV/215Wc/ 36V/24bat/12 V/1300Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Ndorone Sérère	Electrification	48PV/115Wc/ 24V/24bat/12 V/1000Ah	régulateur	surcharge	réparation et entretien
Bangualaire	Electrification	24PV/215Wc/ 36V/24bat/12 V/1000Ah	batteries et PV	surchauffe et fissure	changement des batteries et des modules PV
Sakhor	Electrification	36PV/145Wc/ 8A/24bat/12V /1000Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries

Tableau III.7 : Composants défectueux, causes des défaillances et solutions proposées des systèmes PV dans les régions de Sédhiou et de Kolda.

Région de Sédhiou et Kolda					
Villages	Type	Taille	Composants défectueux	Causes/symptômes	Solutions
Babadi	Electrification	24PV/215Wc/36V/24 bat/12V/1000Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Bani	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24 bat/12V/1000Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Badougha	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24 bat/12V/1300Ah	onduleurs	surcharge	réparation et entretien
Bari	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24 bat/12V/1300Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Diatoumane	Electrification	24PV/215Wc/36V/24 bat/12V/1300Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Bissary Doukia	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24 bat/12V/1300Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Kandion Mangana	Electrification	24PV/215Wc/36V/24 bat/12V/1000Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Saré Biteye	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24 bat/12V/1300Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Diallo Kunda	Electrification	24PV/215Wc/36V/24 bat/12V/1300Ah	régulateur	surcharge	réparation et entretien
Sare Yaya	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24 bat/12V/1300Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Kani Kunda	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24 bat/12V/1300Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Badji Kunda	Electrification	24PV/215Wc/36V/24 bat/12V/1000Ah	batteries et PV	surchauffe et fissure	changement des batteries et PV
Massambang	Electrification	24PV/215Wc//36V24 bat/12V/1000Ah	batteries et PV	surchauffe et fissure	changement des batteries et PV
Gassikon	Electrification	24PV/215Wc/36V/24 bat/12V/1000Ah	batteries et PV	surchauffe et fissure	changement des batteries et PV
Ndiolloffene	Electrification	36PV/145Wc/8A/24bat/12V/1000Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Bambadala 1	Electrification	24PV/215Wc/36V/24 bat/12V/1000Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Kitim	Electrification	24PV/215Wc/36V/24 bat/12V/1000Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Lamel	Electrification	24PV/215Wc/36V/24 bat/12V/1000Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Fadhiougar	Electrification	24PV/215Wc/36V/24 bat/12V/1000Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Frankunda	Electrification	24PV/215Wc/36V/24 bat/12V/1300Ah	batteries et PV	surchauffe et fissure	changement des batteries et PV
Bissassou Douma	Electrification	24PV/215Wc/36V/24 bat/12V/1000Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Bissassou Santos	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24 bat/12V/1300Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Kougnara	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24 bat/12V/1300Ah	onduleurs	surcharge	réparation et entretien
Sékafoula	Electrification	22PV/235Wc/36,9V/24 bat/12V/1300Ah	batteries	surchauffe	changement des batteries
Djinany	Electrification	24PV/215Wc/36,9V/24 bat/12V/1000Ah	régulateur	surcharge	réparation et entretien

Chapitre III : Etude et analyse des défauts des systèmes photovoltaïques

Dans la région de Ziguinchor, le tableau suivant III.8 présente les composants défectueux, les causes des défaillances et les solutions proposées des installations.

Tableau III.8 : Composants défectueux, causes des défaillances et solutions proposées pour les systèmes installés dans la région de Ziguinchor

Région de Ziguinchor					
Villages	Type	Taille	Composants défectueux	Causes/symptômes	Solutions
Essyl	Electrification	4PV/80Wc/12V/2 bat/180Ah/12V	régulateur	Surcharge	Réparation
Badiate	Electrification	4PV/80Wc/12V/2 bat/180Ah/12V	onduleur	Intrusion humaine	Changement d'onduleur
Kameubeul	Electrification	4PV/80Wc/12V/2 bat/180Ah/12V	batteries	Durée de vie atteinte	Changement des batteries
Médina	Electrification	3PV/450Wc/24V/4bat/100Ah/12V	batteries	Surcharge	Changement des batteries
Séléky	Electrification	2PV/500Wc/24V/4bat/150Ah/12V	régulateur	Surcharge	Réparation
Etama	Electrification	4PV/80Wc/12V/2 bat/180Ah/12V	PV	Fissure	Changement du PV
Mlomp Kofone	Electrification	1PV/100Wc/24V/2bat/55Ah/12V	batteries	Durée de vie atteinte	Changement des batteries
Enampor	Electrification	2PV/500Wc/24V/2bat/200Ah/12V	onduleur	Surcharge	Réparation
Bailla	Electrification	1PV/100Wc/24V/2bat/55Ah/12V	régulateur	Surcharge	Changement du régulateur
Dodé (Affiniam)	Electrification	1PV/100Wc/24V/2bat/55Ah/12V	PV	Fissure	Changement du PV
Oussouye	Système froid	2PV/500Wc/24V/2bat/220Ah/12V	onduleur	Durée de vie atteinte	Changement d'onduleur
Loudia Diola	Electrification	1PV/100Wc/24V/4bat/26Ah/12V	batteries	Manque d'entretien	Réparation
Kandé	Electrification	1PV/100Wc/24V/2bat/40Ah/12V	batteries	Surcharge	Changement des batteries
Diana	Electrification	18PV/230Wc/24V/28bat/180Ah/12V	batteries	Manque d'entretien	Changement des batteries

Pour bien mener l'analyse et l'interprétation des défaillances des systèmes PV, nous avons tracé les histogrammes ci-dessous.

La figure III.2 suivante représente l'histogramme de fréquence des niveaux de récurrence des composants des systèmes PV installés dans les régions de Sédhiou et de Kolda.

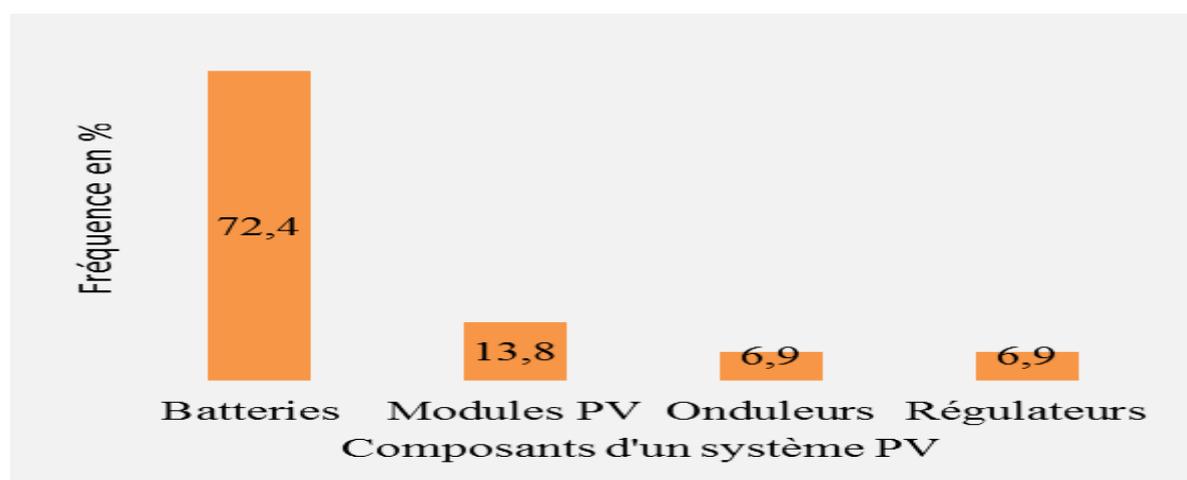


Figure III.2 : Histogramme de fréquence des niveaux de récurrence des défaillances des composants d'un SPVE dans les régions de Sédhiou et de Kolda.

Cette figure nous montre que le dysfonctionnement des systèmes PV pour l'électrification est dû majoritairement à une défaillance des batteries qui représente 72,4% des pannes. La défaillance des modules PV est de 13,8%. Celle des onduleurs et des régulateurs sont de 6,9% chacune. D'après cette figure, nous constatons que dans les régions de Sédhiou et de Kolda, les pannes sont plus fréquentes au niveau des batteries tandis que les onduleurs et les régulateurs sont les plus résistants dans la région de Sédhiou et de Kolda.

La figure III.3 suivante représente l'historgramme de fréquence des défaillances des composants des systèmes photovoltaïques installés dans la région de Fatick.

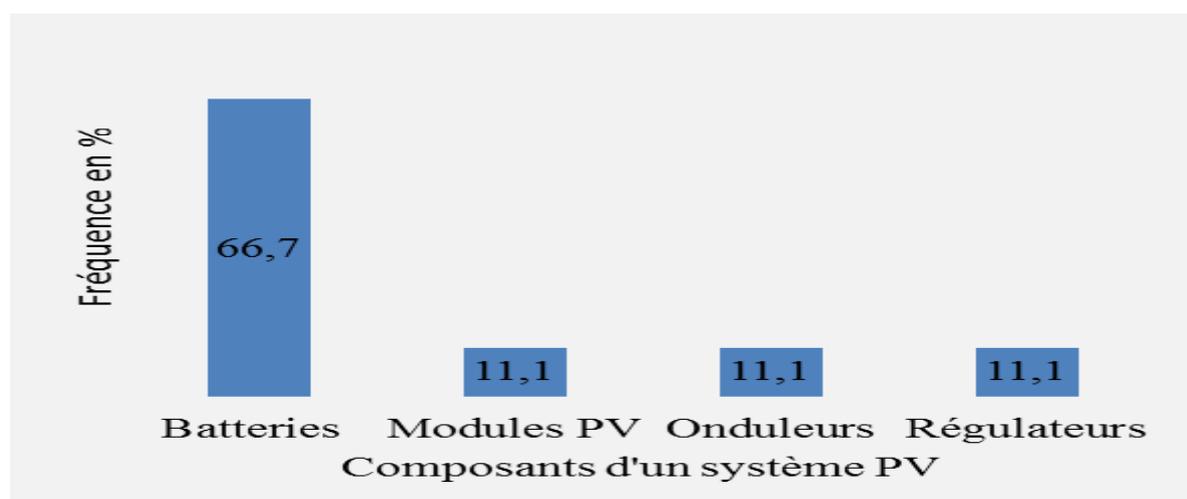


Figure III.3 : Histogramme de fréquence des défaillances des composants d'un système PV pour l'électrification installé dans la région de Fatick.

Cette figure montre que les principales défaillances des systèmes PV pour l'électrification installés dans la région de Fatick sont relatives aux batteries dont la fréquence des pannes avoisine 66,7%. Les modules PV, les régulateurs et les onduleurs impactent sur la défaillance des systèmes PV avec un niveau de récurrence de 11,1% chacun.

La figure III.4 ci-après représente les fréquences des niveaux de récurrence des défaillances des composants d'un système PV pour l'électrification. Ces systèmes sont tous localisés dans la région de Ziguinchor.

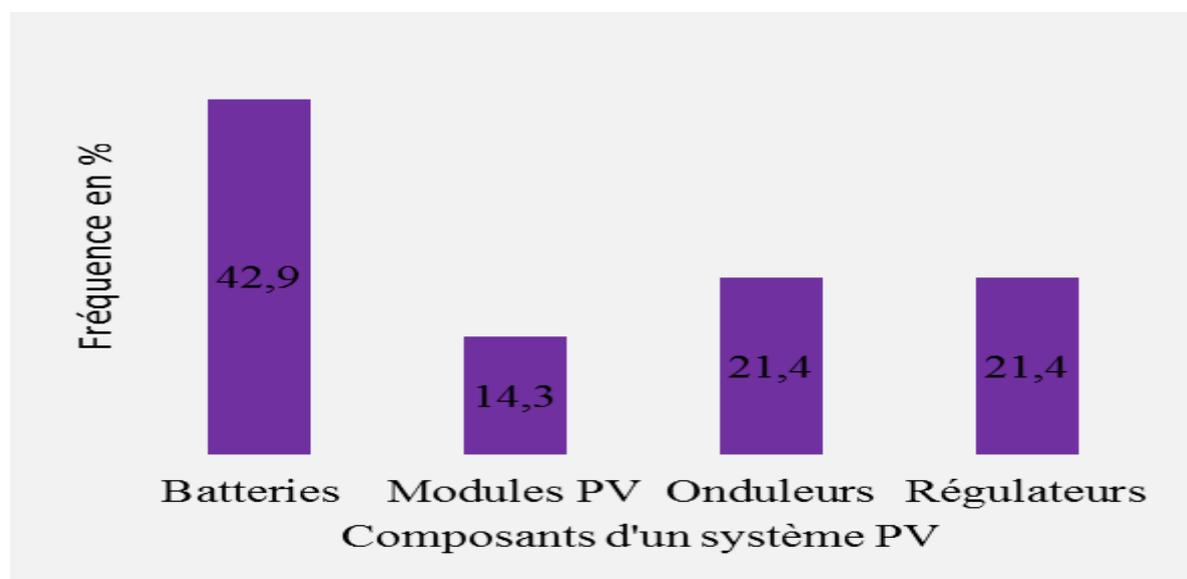


Figure III.4 : Histogramme de fréquence des niveaux de récurrence des composants d'un système PV pour l'électrification dans la région de Ziguinchor.

Nous remarquons que dans la région de Ziguinchor les défaillances relatives aux composants des systèmes PV pour l'électrification sont plus fréquentes au niveau des batteries avec une fréquence de 42,9% des pannes. Les onduleurs et les régulateurs ont une fréquence de pannes de 21,4% pour chacun. Notons que les modules PV sont les composants qui impactent les moins sur le dysfonctionnement des systèmes avec un niveau de récurrence de 14,3%.

La figure III.5 suivante donne un aperçu global sur les défaillances des systèmes PV pour l'électrification étudiés. Il est obtenu en utilisant les tableaux III.6, III.7 et III.8 précédents. Notons que cette étude globale ne concerne que les systèmes PV pour l'électrification.

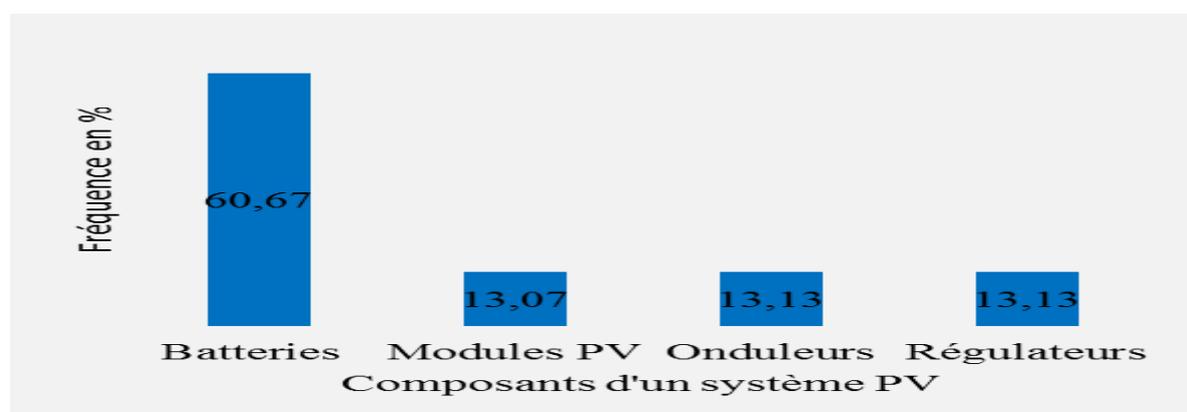


Figure III.5 : Histogramme de fréquence des niveaux de récurrence des composants des systèmes PV pour l'électrification d'une manière globale.

Les résultats montrent que les batteries sont les composants les plus vulnérables dans une installation PV pour l'électrification avec une fréquence moyenne de 60,67% des pannes. Les régulateurs et les onduleurs impactent sur le dysfonctionnement des systèmes PV pour l'électrification avec une fréquence de 13,13%. Remarquons que dans une installation PV, les modules PV sont les composants les plus résistants avec une fréquence de 13,07% des pannes.

De la même manière, nous avons tracé l'historgramme des défaillances des modules photovoltaïques, des onduleurs, des régulateurs et des batteries en utilisant le tableau III.5. Le résultat obtenu pour les modules photovoltaïques est donné par la figure III.6 suivante.

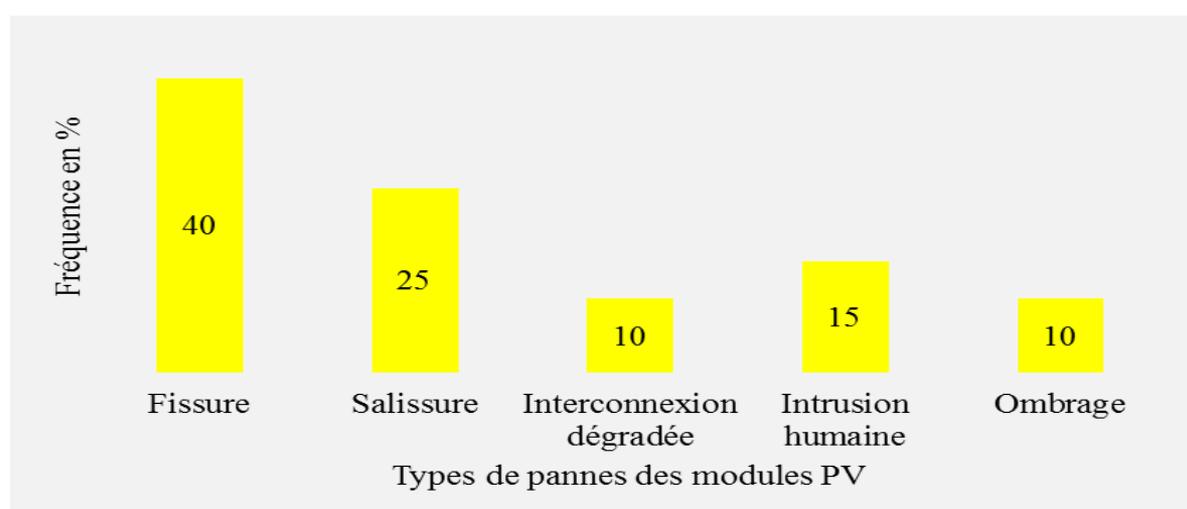


Figure III.6 : Histogramme de fréquence des niveaux de récurrence des pannes des modules PV d'une manière générale.

Les résultats montrent que les défaillances des modules PV sont dominées par les fissures de ces derniers (40%). La salissure (poussières et nids d'insectes) impacte sur le dysfonctionnement des modules PV avec un niveau de récurrence de 25%. L'intrusion humaine, quant à elle impacte sur le dysfonctionnement des modules PV avec une fréquence de 15%. Les interconnexions dégradées et les ombres impactent les moins sur le dysfonctionnement des modules PV avec un niveau de récurrence de 10% chacune.

La figure III.7 suivante représente l'histogramme de fréquence des niveaux de récurrence des défaillances des onduleurs et des régulateurs.

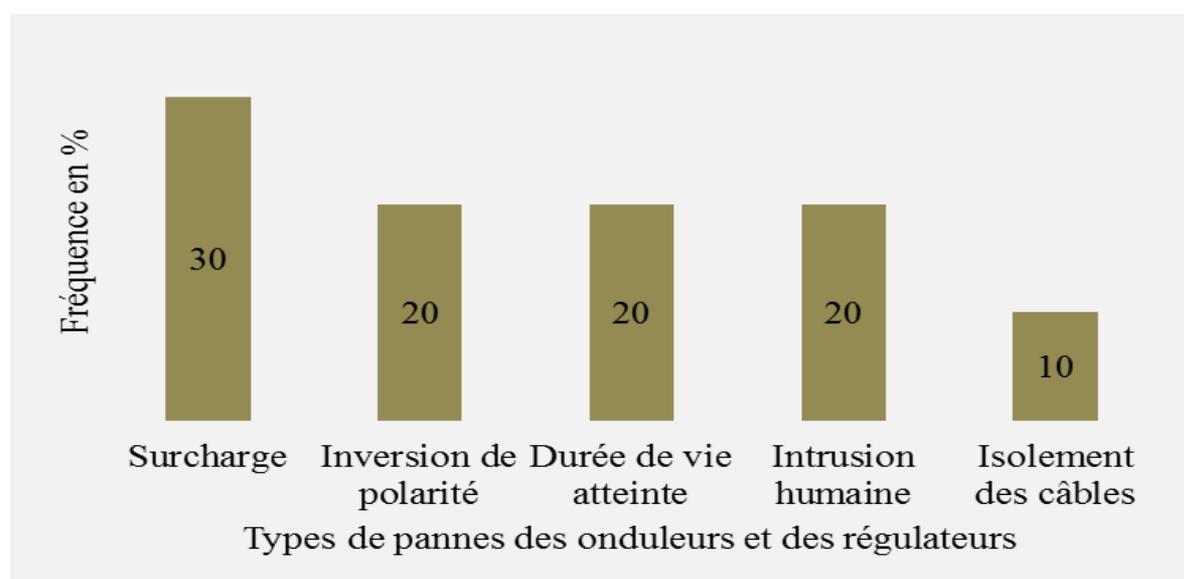


Figure III.7 : Histogramme fréquence des niveaux de récurrence des pannes des onduleurs et des régulateurs d'une manière générale.

Nous constatons que le dysfonctionnement des onduleurs et des régulateurs est pour la plupart causé par des surcharges avec un niveau de récurrence de 30%. L'intrusion humaine, la durée de vie atteinte et l'inversion de polarité impactent sur le dysfonctionnement des régulateurs et des onduleurs avec une fréquence de récurrence de 20%. Le défaut d'isolement des câbles (qui peut être causé par l'humidité) impacte le moins sur le dysfonctionnement des régulateurs et des onduleurs avec un niveau de récurrence de 10%.

La figure III.8 suivante nous donne un aperçu sur le niveau de récurrence des types de pannes des batteries.

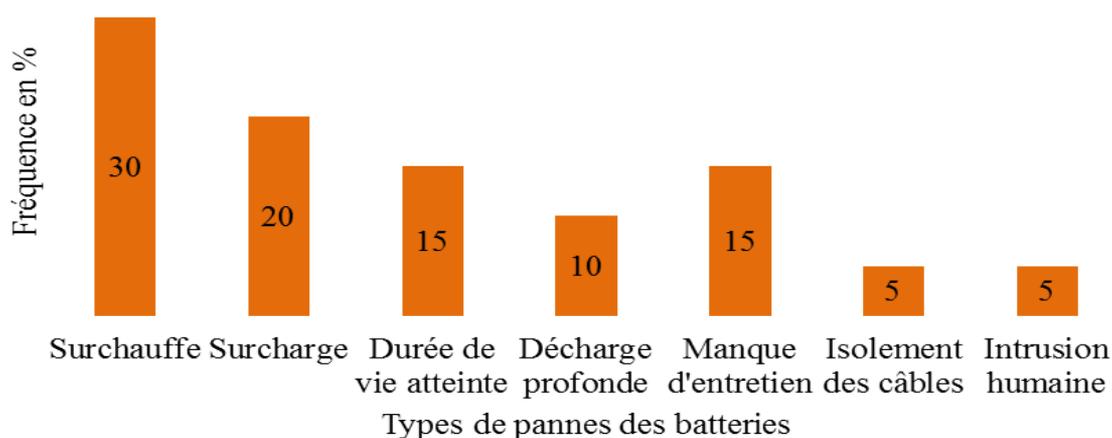


Figure III.8 : Histogramme fréquence des niveaux de récurrence des défaillances des batteries de manière globale.

Les résultats montrent que les défaillances les plus fréquentes des batteries au cours de leur cycle de vie sont dues à une surchauffe dont le niveau de récurrence est de 30%. Il faut noter que 20% des pannes sont issues d'une surcharge. La durée de vie atteinte et le manque d'entretien impactent sur la défaillance des batteries avec un niveau de récurrence de 15%. La décharge profonde quant à elle, impacte sur le dysfonctionnement des batteries avec une fréquence de 10%. Le défaut d'isolement des câbles (qui peut être causé par l'humidité) et l'intrusion humaine impactent les moins sur le dysfonctionnement des batteries avec un niveau de récurrence de 5% chacune.

III.2.2 Les causes

Les principales causes des défaillances que peut rencontrer un système PV sont : la surchauffe, la surcharge, l'intrusion humaine et l'inversion de polarité etc. Les tableaux III.6, III.7 et III.8 précédents sont utilisés pour étudier les causes des défaillances des systèmes PV étudiés dans différentes régions à savoir dans les régions de Ziguinchor, de Fatick, de Sédhiou et de Kolda.

Ainsi les figures suivantes représentent les fréquences des niveaux de récurrence des causes des défaillances des systèmes PV.

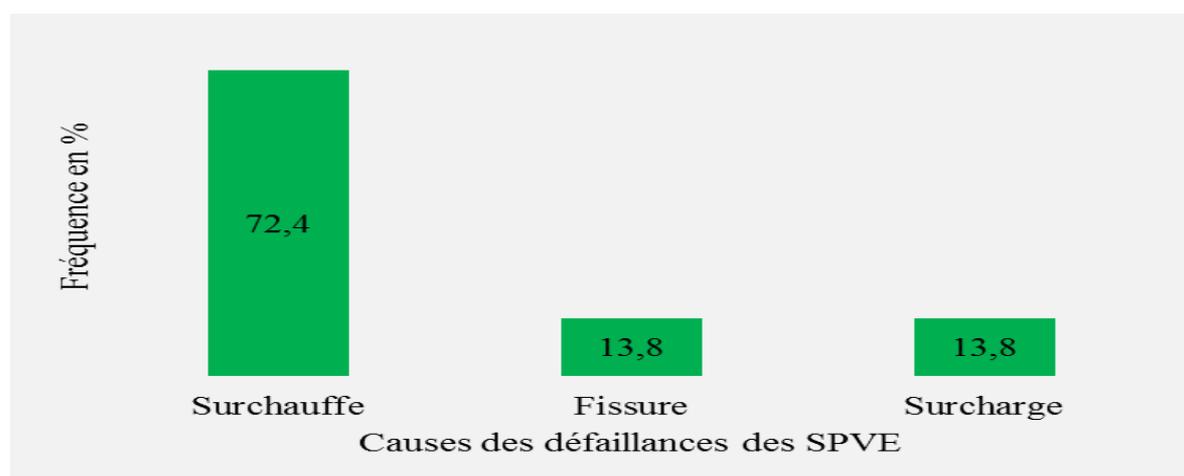


Figure III.9 : Les différentes causes des défaillances des systèmes PV pour l'électrification installés dans les régions de Sédhiou et de Kolda.

Les résultats montrent que les principales défaillances des systèmes PV installés dans les régions de Sédhiou et de Kolda sont dues majoritairement à une surchauffe des batteries ; 72,4% des causes. Ceci est la conséquence de l'élévation des températures dans ces régions. Les fissures et les surcharges impactent sur le dysfonctionnement des SPVE avec un niveau de récurrence de 13,8% chacun.

La figure III.10 suivante nous donne un aperçu sur les causes des défaillances des systèmes PV dans la région de Ziguinchor.

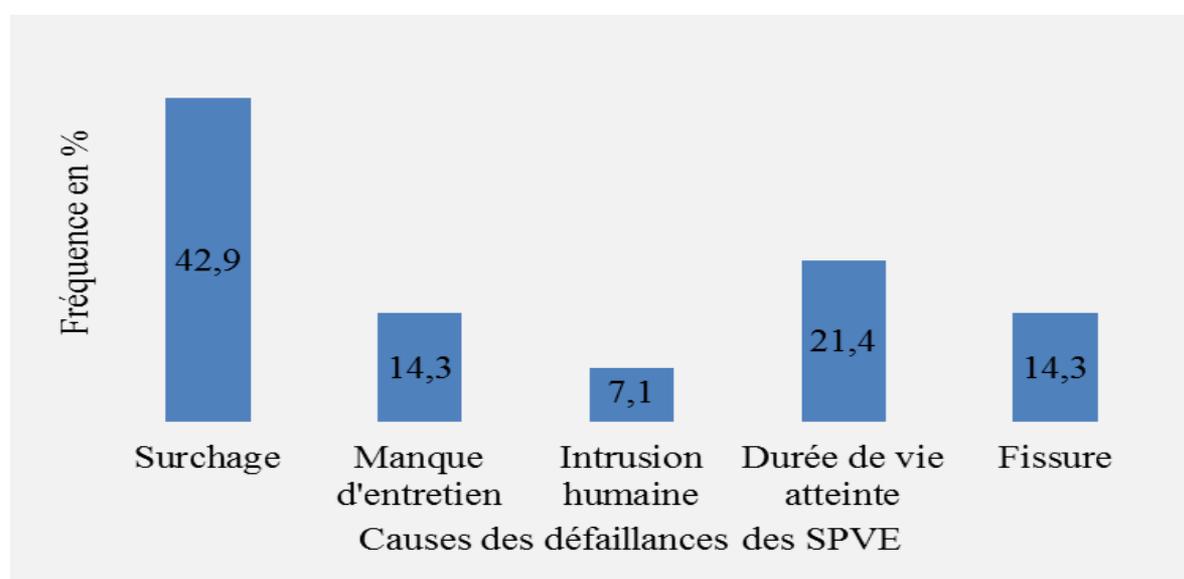


Figure III.10 : Histogramme de fréquence des causes des défaillances des systèmes PV pour l'électrification installés dans la région de Ziguinchor.

Les résultats montrent que la plupart des défaillances relatives aux composants des systèmes PV est due à une surcharge (42,9% des pannes). La durée de vie atteinte impacte sur les pannes des composants avec une fréquence de 21,4%. Les fissures et le manque d'entretien ont une fréquence de 14,3% chacun tandis que l'intrusion humaine impacte le moins sur les défaillances des systèmes PV avec une fréquence de 7,1% des pannes.

A présent nous allons voir les causes des pannes des systèmes PV installés dans la région de Fatick.



Figure III.11 : Histogramme des défaillances des SPVE dans la région de Fatick.

Nous constatons que la majeure partie des pannes est due à une surchauffe (66,7% des pannes). Les surcharges et les fissures impactent sur les défaillances des systèmes avec des fréquences respectives de 22,2% et 11,1% des pannes.

D'après les figures III.9, III.10 et III.11 nous pouvons dire que les défaillances des SPVE sont dues majoritairement à une surchauffe dans les régions de Sédhiou, Kolda et Fatick tandis que dans la région de Ziguinchor, la surcharge est la principale cause des défaillances. Il est aussi important de noter que dans les régions de Sédhiou, Fatick et Kolda, les systèmes étudiés sont des centrales et que dans la région de Ziguinchor les systèmes sont des systèmes individuels (petits systèmes).

III.2.3 Les solutions proposées

D'après l'analyse des différents histogrammes des défaillances des SPVE, nous remarquons que les batteries sont les composants les plus vulnérables. A cet effet, pour les batteries qui explosent à cause de l'élévation de température, nous envisageons comme solution de les changer. Par contre pour les batteries dont le niveau de l'électrolyte est bas, il convient de

refaire le plein : il faut employer l'eau distillée et remplir la cellule jusqu'au niveau correct. Il est préférable d'ajouter l'eau distillée quand la charge de la batterie est élevée car l'addition de l'eau diminuera la charge de la batterie. Pour les modules PV qui ont subi une fissuration, la solution est de les changer. Cependant pour les régulateurs et les onduleurs, s'ils sont totalement endommagés, la solution est de les changer sinon une réparation suffirait pour les remettre en bon état. Pour éviter les défauts causés par la foudre ou les tonnerres, il faut penser à installer un système de protection qui peut être un parafoudre ou un paratonnerre.

III.3 Analyse des défaillances des systèmes de pompage solaire

III.3.1 Les défaillances

Les principales défaillances des composants des systèmes PV pour le pompage sont présentées dans le tableau III.9 suivant.

Tableau III.9 : Les composants d'un système PV pour le pompage et leurs défaillances.

Composants d'un SPVP	Pompe	Contrôleur	Sondes	Tuyaux	variateur
Les différentes défaillances des composants d'un SPVP	Ensablement	Affichage défectueux	Blocage du flotteur	Fuite d'eau	Affichage défectueux
	Blocage du moteur	Déconnexion	Blocage de la sonde	Oxydation	Déconnexion
	Surtension	Surtension		Connexion défectueuse	Surtension

Les causes et les solutions proposées pour les SPVP sont présentées dans le tableau III.10 suivant.

Tableau III.10 : Les causes des pannes et les solutions proposées pour les SPVP étudiés.

Sites	Type	Taille	Panne	Causes/symptômes	Diagnostic	Solutions
Kakène	Pompage solaire PS600	4 PV 1040Wc	Contrôleur grillé	La foudre	Contrôleur Multimètre	Changement de la pompe
Kabrousse	Pompage solaire PS150	2PV 500Wc	Flotteur	saleté	Constat Contrôleur Multimètre	Changement du flotteur
Diagong	Pompage Solaire PS600	5PV 1300Wc	Claquage du coude de la pompe	Vannes fermées	constat	Réfection du coude
Tending	Pompage Solaire PS600	8PV/40V amorphes	Contrôleur grillé	La foudre	Contrôleur Multimètre	réparation
Sindone	Pompage Solaire PS600	3PV 780Wc	Ensablement de la pompe	Affaissement du puits	constat	Nettoyage de la pompe Mise à niveau du puits
Adéane	Pompage Solaire PS600	3PV 780Wc	Surtension	Disfonctionnement de la pompe	Constat Contrôleur Multimètre	réparation
Djibonker	Pompage Solaire PS600	6PV 900Wc	Contrôleur grillé	La foudre	Contrôleur Multimètre	réparation
Djibélor	Pompage Solaire PS600	1000Wc	Blocage du flotteur	Saleté	Contrôleur Multimètre	Changement du flotteur
Barakabanao	Pompage Solaire PS600	8 PV amorphe 976 Wc	Contrôleur grillé	La foudre	Contrôleur Multimètre	Changement de contrôleur
Affiniam	Pompage Solaire PS600	8 PV amorphes 976 Wc	Blocage de la pompe	Ensablement	Constat Contrôleur Multimètre	réparation & Entretien
Sansankoto	Pompage Solaire PS1800	20PV 5000Wc	Oxydation du tube de refoulement	La rouille	Constat Contrôleur Multimètre	réparation & Entretien
Birkamending	Pompage Solaire PS600	8PV amorphes 976Wc	Blocage de la sonde	Saleté	Constat Contrôleur Multimètre	Changement par un flotteur
Sindone	Pompage Solaire PS600	3PV 780Wc	Détachement du tuyau de refoulement	Forte pression de l'eau	Constat Contrôleur Multimètre	réparation & Entretien
Tivaouane	Pompage Solaire PS600	8 PV 800Wc	Blocage de la pompe	Ensablement	Constat Contrôleur Multimètre	réparation & Entretien
Mlomp	Pompage Solaire PS1200	12 PV 1200Wc	Blocage de la sonde	Saleté	Constat Contrôleur Multimètre	Changement par un flotteur
Loudi 1	Pompage Solaire PS1800	12 PV 1200 Wc	Contrôleur grillé	La foudre	Contrôleur Multimètre	réparation
Maraboune	Pompe solaire Grundfos	2400Wc	Détachement du tuyau de refoulement	Connexion défectueuse	Constat contrôleur multimètre	réparation
Oulampane	Pompe solaire Grundfos	264Wc	Contrôleur grillé	La foudre	Contrôleur multimètre	Changement de contrôleur
Toubacouta	Pompe solaire Grundfos	264Wc	Blocage de la pompe	Ensablement	Constat contrôleur multimètre	réparation et entretien
Dialang	Pompe solaire Grundfos	675Wc	Variateur	Affichage défectueux	Constat contrôleur multimètre	réparation
Essaout	Pompe solaire Grundfos	396Wc	Oxydation du tuyau de refoulement	La rouille	Constat contrôleur multimètre	réparation et entretien
Niabina	Pompe solaire Grundfos	308Wc	Contrôleur grillé	La foudre	Constat contrôleur multimètre	Changement du contrôleur
Dianki	Pompe solaire Grundfos	660Wc	Blocage de la pompe	Ensablement	Constat contrôleur multimètre	réparation et entretien

Pour bien mener notre analyse, nous avons tracé en utilisant le tableau III.10, l'histogramme des niveaux de récurrence des défaillances du système. Le résultat obtenu est donné par la figure III.12 suivante.

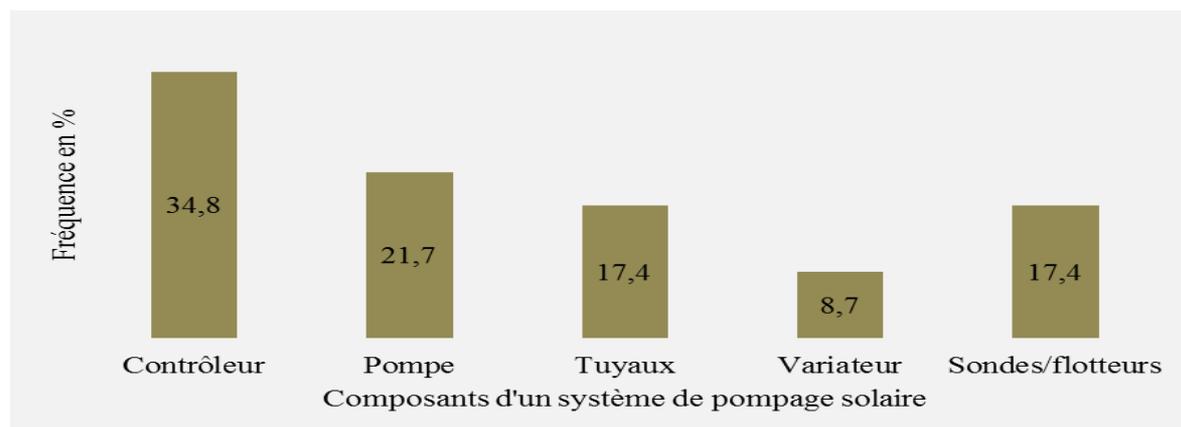


Figure III.12 : Histogramme de récurrence des défaillances des composants d'un SPVP.

Les résultats montrent que les principales pannes des composants d'un système de pompage solaire sont en majorité dominées par une défaillance du contrôleur (34,8% des pannes). La pompe impacte sur le dysfonctionnement des SPVP avec un niveau de récurrence de 21,7%. Les sondes (flotteur et sonde) et les tuyaux impactent sur le dysfonctionnement des composants des SPVP avec un niveau de récurrence de 17,4%. Le variateur est le composant le plus résistant avec un niveau de récurrence de 8,7% des pannes.

Pour mieux apprécier notre travail, nous avons analysé les pannes de chaque composant du système en utilisant le tableau III.9. Ainsi sur la figure III.13 suivante sont représentés les différents types de pannes de la pompe.

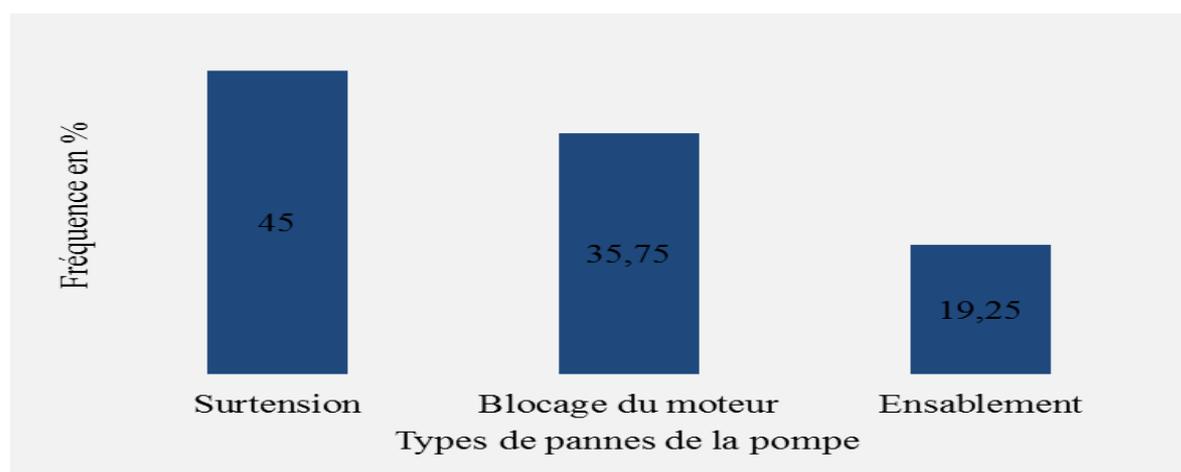


Figure III.13 : Histogramme des niveaux de récurrence des défaillances de la pompe.

Remarquons que les dysfonctionnements d'une pompe solaire sont dus en majorité à une surtension 45%. Mais nous rencontrons le blocage de moteur et l'ensablement 35,75% et 19,25% respectivement.

De même, les types de pannes du contrôleur et du variateur sont représentés sur la figure III.14 suivante.

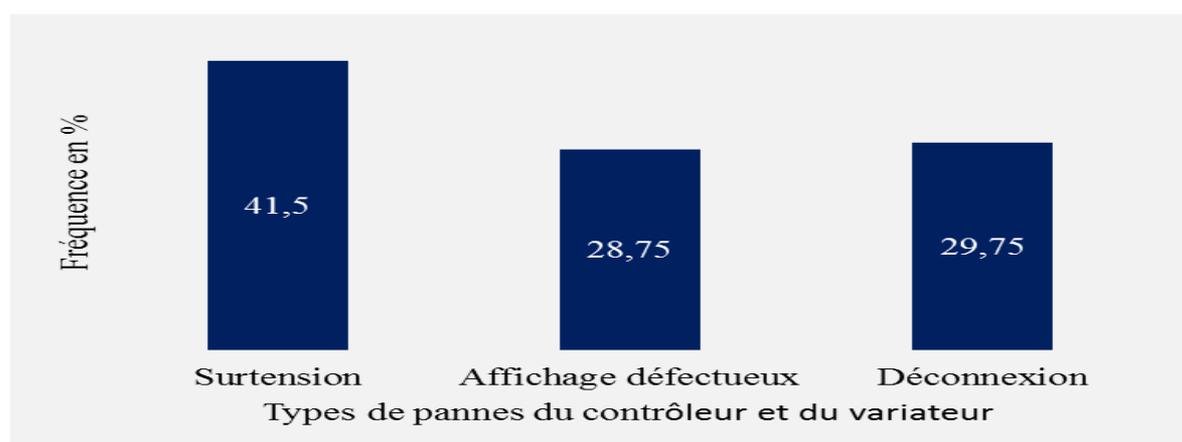


Figure III.14 : Histogramme de fréquence des types de pannes du contrôleur et du variateur.

Les résultats montrent que 41,5% des pannes du contrôleur et du variateur sont dominés par une surtension. La déconnexion et l'affichage défectueux impactent sur les dysfonctionnements du contrôleur et du variateur avec les niveaux respectifs de 29,75% et 28,75%.

Les différents types de pannes des sondes/flotteurs sont représentés sur la figure III.15 suivante :

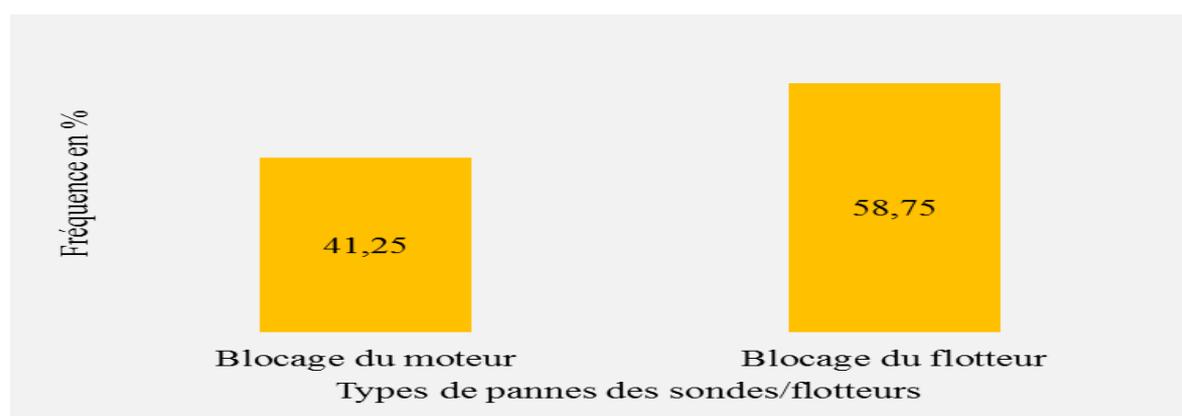


Figure III.15 : Histogramme des niveaux de récurrence des types de pannes des sondes/flotteurs.

Les différents types de pannes des sondes/flotteurs de la pompe solaire sont dominés par un blocage du flotteur 58,75% contre 41,25% pour le blocage de la sonde.

Sur la figure III.16 figurent les différents types de pannes des tuyaux dans un SPVP.

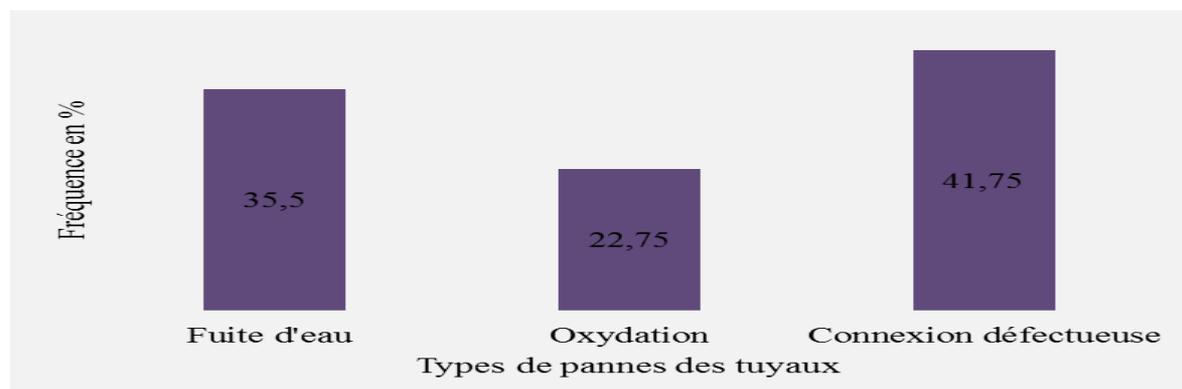


Figure III.16 : Histogramme des niveaux de récurrence des défaillances des tuyaux.

Notons que les défaillances des tuyaux sont pour la plupart dominées par une connexion défectueuse (41,75%). Il est aussi important de remarquer que la fuite d'eau et l'oxydation impactent fortement sur le dysfonctionnement des tuyaux de refoulement avec des niveaux de récurrence respectifs de 35,5% et 22,75%.

III.3.2 Analyse des causes des défaillances

Les principales causes des défaillances d'un système de pompage solaire sont les suivantes : la foudre, la saleté, l'affaissement du puits, contrôleur défectueux et la rouille.

Le tableau III.10 cité plus haut, est utilisé pour étudier les différentes causes des défaillances des SPVP d'une manière générale.

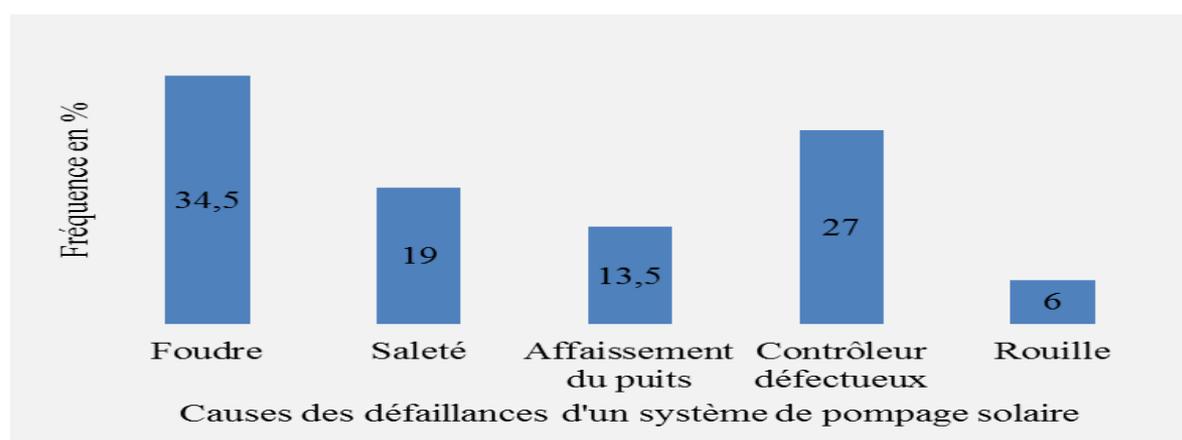


Figure III.17 : Histogramme des causes des défaillances d'un système de pompage solaire.

Les résultats montrent que la foudre est la principale cause des défaillances d'un SPVP (34,5%). Un contrôleur défectueux, la saleté, l'affaissement du puits et la rouille représentent respectivement 27%, 19%, 13,5% et 6% des causes.

III.3.3 Les solutions proposées

Pour les défaillances liées à la foudre, la solution la plus adéquate en général est le rechange du composant concerné. Pour les défaillances liées à la saleté, un nettoyage pourrait suffire pour le remettre à son état de fonctionnement normal. Pour les contrôleurs défectueux la meilleure solution est de changer de contrôleur. Pour la protection du système, il serait intéressant d'installer un parafoudre ou un paratonnerre.

III.4 Synthèse

En résumé, nous avons étudié 47 systèmes photovoltaïques pour l'électrification dont 25 à Sédhiou, 14 à Ziguinchor, 6 à Fatick et 2 à Kolda. A côté de ces systèmes photovoltaïques pour l'électrification, 23 systèmes photovoltaïques pour le pompage solaire sont aussi étudiés. Les SPVP sont tous installés dans la région de Ziguinchor.

Le niveau de récurrence des défaillances d'un SPVE est défini selon le composant défaillant. En effet, en moyenne 60,67% des dysfonctionnements des SPVE sont dus à une panne des batteries, 13,13%, et 13,07% respectivement pour celles des onduleurs, des régulateurs et des modules PV. Retenons que dans les SPVE les batteries sont les composants les plus sensibles aux défaillances. Les régulateurs, les onduleurs et les modules sont les composants les plus résistants dans une installation PV.

D'après les résultats de l'analyse des défaillances des composants des systèmes PV pour l'électrification nous pouvons retenir que pour :

- ✓ Modules PV : 40% représente les fissures, 20% celle de la poussière et 15% l'intrusion humaine.
- ✓ Régulateurs et onduleurs : 30% des défaillances sont dues à une surcharge tandis que l'intrusion humaine, la durée de vie atteinte et l'inversion de polarité sont responsables de 20% des défaillances chacune.
- ✓ Batteries : 30% sont dues à une surchauffe, 20% sont dues à une surcharge et que la durée de vie atteinte et le manque d'entretien sont responsables de 15% chacun.

Dans le cas général, les causes des défaillances sont en majorité la surchauffe (60,67% en moyenne), la surcharge 26,3% et la durée de vie atteinte 21,4%.

A présent nous allons faire une synthèse pour les SPVP. Ici il faut noter que les défaillances sont en fonction des composants du système. D'après la figure III.12, nous remarquons que 34,8% des défaillances sont dues à une panne des contrôleurs et 21,7% sont issues d'une panne de la pompe. Les sondes, les flotteurs et les tuyaux impactent sur le dysfonctionnement des SPVP avec un niveau de récurrence de 17,4% chacun. Le variateur impacte avec un niveau de 8,7%. Retenons que les contrôleurs sont plus fragiles.

Pour les défaillances de chacun des composants du système, il faut retenir :

- ❖ Pompe solaire : 45% des défaillances sont dues à la surtension, 35,75% au blocage du moteur et 19,25% à l'ensablement.
- ❖ Contrôleur et variateur : 41,5% des pannes sont dues à la surtension, 28,75% à l'affichage défectueux et 29,75% à la déconnexion.
- ❖ Sondes : 58,75% des défaillances sont dues au blocage du flotteur et 41,25% au blocage de la sonde.
- ❖ Tuyaux : le dysfonctionnement des tuyaux est dû en majorité à des connexions défectueuses (41,75%), 35,5% des défaillances sont dues à une fuite d'eau et 22,75% à l'oxydation.

Les principales causes de ces défaillances sont : la foudre 34,5%, le contrôleur défectueux 27% et la saleté 19%.

III.5 Diagnostics et proposition de maintenance des lampadaires au sein de l'UASZ

Dans cette partie nous allons faire une évaluation de l'état de fonctionnement actuel des lampadaires installés dans l'université depuis 2016. En effet sur 44 lampadaires installés nous avons 24 qui ne fonctionnent plus, 15 qui fonctionnent correctement et 5 qui s'allument par flash et s'éteignent au bout de quelques secondes.

III.5.1 Diagnostics des défauts

Les défaillances peuvent être liées aux panneaux solaires ou aux batteries. Il est fort probable que ce soit uniquement les batteries qui sont déchargées ou défectueuses. Quand les batteries sont fortement déchargées, la régulation interne va couper l'alimentation des LED pour préserver la vie des batteries. Il se peut que les cosses soient peut-être oxydées.

Toutefois ces défaillances peuvent aussi être dues à un effet d'ombrage des panneaux solaires. Les saletés empêchent le passage correct de la lumière et ralentissent l'apport de charge pour les batteries.

III.5.2 Proposition de maintenance des lampadaires

Il convient :

Pour les panneaux solaires : de déplacer les panneaux solaires afin qu'ils soient plein Sud sans zone d'ombre. Il serait aussi intéressant de nettoyer les panneaux avec une éponge et de l'eau claire.

Pour les batteries : vérifier la charge des batteries car il se peut que les batteries soient fortement déchargées et dans ce cas, la régulation interne va couper l'alimentation des LED pour préserver la vie des batteries ou simplement le manque de charge. Il faudra aussi les nettoyer. Vérifier qu'aucun fil ne s'est débranché. Il faudra peut-être envisager de remplacer les batteries par des batteries neuves.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la méthodologie utilisée tout au long de ce travail. L'étude et l'analyse des défaillances des systèmes photovoltaïques (électrification et pompage) et de leurs causes, ainsi que les solutions proposées, ont aussi été présentées. Les composants défaillants des SPVE et SPVP ont été classés selon leur niveau de récurrence. La dernière partie de ce chapitre est consacré à un diagnostic et une proposition de maintenance des lampadaires au sein de l'UASZ. Les résultats trouvés montrent que :

- ❖ pour les SPVE, les batteries sont les composants les plus fragiles (60,67% des pannes en moyenne) ;
- ❖ pour les SPVP, les contrôleurs sont les composants les plus vulnérables avec 34,8% des défaillances.



Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans le cadre du travail de ce mémoire, nous nous sommes principalement intéressés à la maintenance des systèmes photovoltaïques. L'objectif est de recenser un grand nombre d'installations photovoltaïques (électrification, pompage etc..) afin d'en faire une évaluation de leur état de fonctionnement actuel. Ce mémoire se compose de trois chapitres. Dans le premier chapitre, nous avons parlé des généralités sur le photovoltaïque. En effet une revue a été faite sur le rayonnement solaire, la conversion photovoltaïque et les paramètres essentiels caractérisant une cellule photovoltaïque. Mais ce n'est pas tout puisque nous avons étudié l'état de l'art sur la technologie photovoltaïque avant de finir par les types de systèmes (raccordés, autonomes etc...) et des types d'application (électrification, pompage etc...).

Dans le deuxième chapitre nous avons fait une introduction aux défauts. Ce chapitre est aussi consacré aux méthodes et outils de diagnostics de défauts. La dernière partie de ce chapitre est consacrée à la définition des différents types de maintenance existant pour les systèmes photovoltaïques et d'une proposition d'un planning de maintenance.

Et enfin, le troisième chapitre se consacre à l'étude et à l'analyse des défaillances des systèmes photovoltaïques. Les défaillances des composants des systèmes ont aussi été étudiées avant d'être analysées.

Les résultats trouvés montrent que pour les systèmes photovoltaïques pour l'électrification, les batteries sont les composants les plus fragiles (60,67% des pannes en moyenne). Les onduleurs et les régulateurs représentent en moyenne 13,13% des défaillances des systèmes photovoltaïques pour l'électrification. Les modules photovoltaïques sont les composants les plus résistants (13,07%).

Pour les systèmes photovoltaïques pour le pompage solaire, les contrôleurs sont les composants les plus vulnérables avec 34,8% des défaillances, suivi de la pompe (21,7%). Les tuyaux et les sondes/flotteurs sont à l'origine de 17,4%, respectivement, du dysfonctionnement des systèmes photovoltaïques pour le pompage solaire. Dans un système photovoltaïque pour le pompage solaire, le variateur est le composant le plus résistant.

Conclusion générale

Le travail réalisé dans ce mémoire constitue une contribution à la maintenance des systèmes solaires photovoltaïques et ouvre quelques perspectives qui se résument ainsi :

- ✓ un séjour dans d'autres entreprises pour plus d'information afin d'avoir des résultats plus représentatifs ;
- ✓ utilisation d'algorithme pour le diagnostic de défauts ;
- ✓ modélisation des niveaux de défaillances pour faciliter la planification de la maintenance ;
- ✓ travailler sur une étude qui permettra de proposer des moyens de protection des batteries des facteurs qui impactent sur leur durée de vie telle que la température ;
- ✓ la recherche de nouvelles solutions pour les nouvelles pannes.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **T. Bouguerra**, 2014, « Optimisation d'un système photovoltaïque : Application en continu et en alternatif », mémoire de magister, UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE 1, 128 p.
- [2] **T. Mambrani**, 2014, « Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies », Thèse de doctorat UNIVERSITE PARIS SUD, 194 p.
- [3] **B. Farida**, 2010, « Diagnostics de pannes d'un système de pompage photovoltaïque », mémoire de magister, Université UMMTO, 145 p.
- [4] **M. D. Boudehouche et M. Ouennoughi**, 2016, « gestion d'un système photovoltaïque avec stockage », mémoire de master, UNIVERSITE ABDERAHMANE MIRA DE BEJAÏA, 108 p.
- [5] Document d'application technique n°10. « Installation photovoltaïque » 1SDC007109G0201 - 04/2010
- [6] **N. Ott, M. Cohen, A. Grandjean et A. J. Guérin**, 2015, la collection « Etats des Lieux et Analyses », Solaire photovoltaïque : 25% de l'électricité mondiale sans carbone en 2050, 2^{ème} édition.
- [7] **N. Aouchiche**, 2018, « défauts liés aux systèmes photovoltaïques autonomes et techniques de diagnostics-Etat de l'art », revue des énergies renouvelables article Vol. 21 N°2 pp.247-265.
- [8] **M. Gérard**, 2018, « l'énergie solaire photovoltaïque (PV) : une filière compétitive en site isolé », article 167 pp. 4-9.
- [9] **M. Belhadj**, 2008, « Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome », mémoire de magister, Centre Universitaire De Bechar, 95 p.
- [10] **L. Brahim et M. Salim**, 2015, « Etude et caractérisation d'un panneau photovoltaïque type condor, mémoire de fin de cycle, Université A.MIRA de Bejaïa, 105 p.
- [11] **M. Belarbi**, 2015, « Contribution à l'étude d'un générateur solaire pour site autonome », Thèse de Doctorat Es-Sciences, UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN MOHAMED BOUDIAF, 202 p.

Références bibliographiques

- [12] **M. O. Reese, A. R. Marshall and G. Rumbles**, 2017, CHAPTER 1: Reliably Measuring the Performance of Emerging Photovoltaic Solar Cells, in Nanostructured Materials for Type III Photovoltaics, pp.1-32
- [13] **D. M. Labri et B. A. Bachir**, 2017, « Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque », mémoire de master professionnel, Université Kasdi Merbah Ouargla, 44 p.
- [14] **A. Belaout**, 2014, « Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension », Thèse de doctorat, UNIVERSITE-SETIF-1- (Algérie), 127 p.
- [15] **Z. Zolikhha and B. R. Rym**, 2007, « Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome », mémoire de master2, UNIVERSITÉ ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEM, 94 p.
- [16] **F. Boumediene**, 2012, « Système hybride photovoltaïque-éolien, de production d'électricité. Applications aux sites Tlemcen et de Bouzaréah », mémoire de magister, UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAID de TLEMCEM, 152 p.
- [17] **B. Flèche – D. Delagnes**, 2007, « Energie solaire photovoltaïque » 14 p.
- [18] **J. Royer, T. Djiako, E. Schiller et B. S. Sy**, 1998 « LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE : Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens », IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPA, 281 p.
- [19] **E. E. V. Dyk**, 2004, « Assessing the Reliability and Degradation of Photovoltaic Module Performance Parameters » Article in IEEE Transactions on Reliability, at Nelson Mandela University 53(1) pp : 83 – 92.
- [20] **E. L. Meyer and M. Simon**, 2010, « Detection and analysis of hot-spot formation in solar cells » article in Solar Energy Materials and Solar Cells 94(2) pp : 106-113.
- [21] **M. Bressan**, 2014, « Développement d'un outil de supervision et de contrôle pour une installation solaire photovoltaïque », Thèse de doctorat, UNIVERSITE DE PERPIGNAN VIA DOMITIA, 160 p.
- [22] **L. Bun**, 2011, « Détection et localisation de défauts pour un système PV », Thèse de doctorat, UNIVERSITE DE GRENOBLE, 207 p.

Références bibliographiques

[23] **T. Takashima, K. Otani, J. Yamaguchi and T. Oozeki**, 2009, « Experimental studies of fault location in PV module strings » article in Solar Energy Materials and Solar Cells, pp 1079-1082.

[24] **D.L. King, M.A. Quintana, J.A. Kratochvil, D.E. Ellibee and B.R. Hansen**, 2000, « Photovoltaic module performance and durability following long-term field exposure » article Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM 87185-0752 pp.1-19.

[25] **A. Benkaddour**, 2008, « La maintenance d'un système photovoltaïque autonome » mémoire d'ingénierie d'état en maintenance génie électrique, Université Batna Algérie pp.1-8.

[26] **M. Diallo**, 2018, « Contribution à l'amélioration de la maintenance des installations photovoltaïques : analyse de la récurrence des défaillances » mémoire de master, Université de Ziguinchor, 56 p.