

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTROTECHNIQUE ET AUTOMATIQUE



REF...../2024

Mémoire

Présenté pour l'obtention du **Diplôme de MASTER Académique**

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : automatique

Spécialité/Option : Automatique et informatique industrielle

Par: Boukaraa Yassine

Aidoud Mohammed Chihab

Thème

Surveillance et diagnostic d'un système photovoltaïque

Soutenu publiquement le 23/06/2024, devant les jurys composés de :

Dr. BOUCERREDJ Leila	MCA	Univ.guelma	Encadreur
Pr. BABOURI Abdesselam	Professeur	Univ.guelma	Examineur
M. DEBBECH Mehdi	MAA	Univ.guelma	Examineur

2023/2024

Remerciement

Toute notre gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous 'a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

*Nous tenons à exprimer notre sincères remerciements et profonde gratitude à notre encadreur **Dr. BOUCERREDJ Leila**, qui à proposer ce thème de fin d'études et nous accompagnés durant le déroulement des travaux en nous prêtant une écoute attentive et un soutien sans relâche malgré ses obligations pédagogiques et professionnelles.*

*Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants, pour l'aide, l'encouragement et les moyens didactiques qu'ils ont mis à notre disposition pour mener à terme notre travail. Sur tout **Mr. AZZOUZI Ahamid** et qui nous 'a beaucoup aidé dans son domaine.*

Nous saisissons également cette opportunité pour remercier les membres du jury d'avoir accepté de lire ce manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à fin d'améliorer notre travail.

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Dédicace

À nos chers parents,

Pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs encouragements constants tout au long de notre parcours académique. Leur foi en nous a été une source inépuisable de motivation et de force. Ce mémoire est le fruit de leurs sacrifices et de leur générosité.

*À notre directeur de mémoire, **Dr. BOUCERREDJ Leila.***

Pour ses conseils avisés, sa patience et sa disponibilité. Ses connaissances approfondies et ses orientations précieuses ont été indispensables à la réalisation de ce travail. Nous sommes reconnaissants pour son encadrement et son engagement sans faille.

Avec toute notre gratitude.

Chihab & Yassine

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités Sur Les Systèmes Photovoltaïques	1
I.1. Introduction	4
I.2. Historique	4
I.3. Généralité sur l'énergie solaire	5
I.3.1. Rayonnement solaire	6
I.4. Le Système photovoltaïque.....	8
I.4.1 Définition	8
I.4.2. Types d'un système solaire photovoltaïque.....	8
I.5 Générateur photovoltaïque	11
I.6. Caractéristique d'un module photovoltaïque.....	11
I.7 Protection des modules photovoltaïques	12
I.8. Injection du surplus de production	13
I.9. Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques	14
I.9.1. Avantages	14
I.9.2. Inconvénients	14
I.10. La Cellule photovoltaïque	14
I.10.1. Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïque).....	16
I.11. Les différents branchements des panneaux PV	17
I.11.1. Le branchement en série	17
I.11.2. Le branchement en parallèle	19
I.11.3. Association hybride (en série et en parallèle).....	20
I.12. Applications des systèmes photovoltaïques.....	Erreur ! Signet non défini.
I.13. Conclusion.....	20
Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et surveillance.....	21
II.1. Introduction	22
II.2. Technologie photovoltaïque	22
II.3. Comparaison entre différent type	23
II.4. Production mondiale de la cellule PV	24
II.5. Modélisation d'une cellule PV	25
II.5.1. Modélisation idéale	25
II.5.2. Modèle réel de la diode	26
II.6. Caractéristiques électriques d'une cellule	27
II.7. Type de cellules PV	29

II.7.1	Système PV autonome (stand alone)	30
II.7.2.	Système PV non autonome.....	31
II.8.	La surveillance d'un système photovoltaïque	32
II.8.1.	Le rayonnement solaire	32
II.8.2.	L'objectif de la surveillance des systèmes photovoltaïques.....	33
II.9.	Technologies de surveillance des panneaux solaires	34
II.9.1.	Les paramètres à surveiller.....	35
II.9.2.	Méthode de surveillance.....	36
II.10.	L'optimisation des performances.....	38
II.11.	Conclusion	39
Chapitre III :	Diagnostic Des Défauts Dans Un Système Photovoltaïque.....	41
III.1.	Introduction.....	42
III.2.	Défauts des panneaux photovoltaïques	42
III.3.	Différents défauts d'un système PV	42
III.3.1.	Défaut d'ombrage.....	43
III.3.2.	Les points chauds ou Hot-spots.....	45
III.3.3.	Fissures dans les cellules	46
III.3.4.	Défauts de la diode de by-pass et diode anti-retour	46
III.3.5.	Délaminage.....	47
III.4.	Les défauts les plus fréquents dans une installation photovoltaïque.....	48
III.4.1.	Défauts dans le générateur photovoltaïque.....	48
III.4.2.	Défauts dans la boîte de jonction	49
III.4.3.	Défauts dans le système de câblage.....	50
III.4.4.	Défauts dans le système de protection	51
III.4.5.	Défauts de l'onduleur	52
III.4.6.	Défauts dans le système d'acquisition des données	53
III.5.	Diagnostic des défauts sans un système photovoltaïque	54
III.5.1.	Définition du diagnostic.....	54
III.5.2.	Le diagnostic industriel.....	54
III.5.3.	But du diagnostic industriel	55
III.5.4.	Etape de diagnostic.....	55
III.5.5.	Objectifs	56
III.6.	Application.....	56
III.6.1.	Appareils utilisés	56
III.6.2.	Le but de l'application	60
III.6.3.	Les panne.....	60
III.6.4.	2 ^{eme} problème	62

III.6.5. La réparation	62
III.6.6. L'indice de protection	Erreur ! Signet non défini.
III.7. Conclusion	63
Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV	64
IV.1. Introduction	65
IV.2. Surveillance d'un système PV	66
IV.3. Surveillance de panneau solaire en liaison parallèle	69
IV.4. Essaie sur un panneau solaire en parallèle avec ombrage	72
IV.5. Surveillance d'un panneau solaire à l'aide du logiciel WatchPower	75
IV.5.1. Caractéristique du Watch power	76
IV.5.2. Flux de puissance et signification	77
IV.5.3. Surveillance et diagnostics d'une installation PV par le logiciel Watch Power	79
IV.5.4. La connexion avec le logiciel WatchPower	83
IV.6. Interprétation des résultats	90
IV.7. Partie pratique	92
IV.7.1. Objectifs du projet	93
IV.7.2. Matériaux et méthodes	95
IV.7.3. Notre intervention pratique	95
IV.7.4. Analyse de la conception	96
IV.7.5. Etude de la puissance du ventilateur solaire	98
IV.8. Objectifs et résultats	104
IV.9. Conclusion	104
Conclusion générale	105
Références Bibliographiques	107

Liste des Figures

Figure 1 : Le soleil source de l'énergie solaire.....	6
Figure 2 : Composants du rayonnement solaire.....	7
Figure 3 : Types de rayonnements solaires reçus au sol.....	8
Figure 4 : Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes.....	9
Figure 5 : Configuration du système hybride à bus continu.....	10
Figure 6 : Systèmes photovoltaïques connectés au réseau.....	10
Figure 7 : Cellule (a), module (b) et panneau PV(c).....	11
Figure 8 : Composition d'un panneau solaire.....	12
Figure 9 : Protection des modules photovoltaïques.....	13
Figure 10 : Schéma d'une cellule photovoltaïque.....	15
Figure 11 : Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïques).....	17
Figure 12 : Cellules ou module photovoltaïque en série.....	18
Figure 13 : Branchement en série des panneaux PV.....	18
Figure 14 : Cellules ou modules photovoltaïques en parallèle.....	19
Figure 15 : Branchement parallèle des panneaux PV.....	19
Figure 16 : Caractéristique d'un générateur à (np.ns) cellules identiques.....	20
Figure 17 : Partition de la production des modules photovoltaïques dans le monde en 2013.....	25
Figure 18 : Modèle simplifié d'une cellule PV.....	25
Figure 19 : Modèle réel à une diode d'une cellule PV.....	27
Figure 20 : Caractéristiques électriques d'une cellule PV.....	27
Figure 21 : Système autonome à couplage direct.....	30
Figure 22 : Système autonome avec batteries de stockage.....	31
Figure 23 : Analyse spectrale du rayonnement solaire.....	33
Figure 24 : Capteur thermique.....	34
Figure 25 : Représentation du fonctionnement du Solarimètre.....	34
Figure 26 : Représentation d'une mesure à l'aide d'un multimètre.....	35
Figure 27 : Représentation d'une mesure d'un angle sur un panneau PV.....	36
Figure 28 : Défaut de point chaud.....	46
Figure 29 : Fissures dans les cellules PV.....	46
Figure 30 : Défaut de délaminage.....	47
Figure 31 : Exemple de défauts rencontrés dans la boîte de jonction.....	50
Figure 32 : Exemple de défauts rencontrés dans le système de câblage.....	51
Figure 33 : Exemple de défauts de diode by-pass.....	52
Figure 34 : Organigramme de diagnostic des défauts.....	56
Figure 35 : Deux panneaux solaires.....	57
Figure 36 : Caractéristiques des panneaux solaires.....	57
Figure 37 : Deux batteries.....	58
Figure 38 : Régulateur.....	58
Figure 39 : Caractéristique de régulateur.....	59
Figure 40 : Onduleur.....	59
Figure 41 : Power inverter RGP800W.....	59
Figure 42 : Absence totale de la tension.....	60
Figure 43 : La réparation de la fiche.....	61
Figure 44 : affichage de régulateur.....	61

Figure 45 : Affichage inputAffichage batterie 14.7v=charge off	61
Figure 46 : Absence de diode	62
Figure 47 : L'ajout de diode pour la protection contre le court-circuit.....	62
Figure 49 : Représentation de chargement de téléphone	63
Figure 50 : Représentation graphique de la tension, du courant et de la puissance en fonction du temps.	67
Figure 51 : Représentation du temps couvert pour le deuxième essaie	68
Figure 52 : Représentation du courant, tension, puissance en fonction du temps du deuxième essaie .	69
Figure 53 : Représentation des panneaux solaire connectée en parallèle.	69
Figure 54 : Représentation des caractéristiques des panneaux solaires utilisés	70
Figure 55 : Représentation du courant, tension et puissance en fonction du temps.....	71
Figure 56 : L'ombrage sur des panneaux solaire	72
Figure 57 : Représentation de la courbe, Courant tension et puissance avec ombrage.....	73
Figure 58 : Représentation de l'ombrage au deuxième essaie.....	73
Figure 59 : Courbe représentant les mesures du deuxième essaie.	74
Figure 60 : Interface principale du logiciel WatchPower	76
Figure 61 : Configuration des propriétés de l'onduleur.....	77
Figure 62 : Mode mise sous tension.	77
Figure 63 : Mode veille	78
Figure 64 : Mode ligne	78
Figure 65 : Mode batterie	78
Figure 66 : Mode défaut	79
Figure 67 : WatchPower en utilisant l'application mobile	79
Figure 68 : Générateurs PV solaire de 8 panneaux de 48V (connexion mixte).....	80
Figure 69 : Représentation de la connexion de 8 panneaux.....	80
Figure 70 : Plaque signalétique des panneaux.	80
Figure 71 : Régulateurs MPPT	81
Figure 72 : Branchement de 4 batteries de 12Ven série	82
Figure 73 : Onduleur hybride utilisé.....	83
Figure 74 : L'interface du WatchPower connecté avec l'installation.....	83
Figure 75 : Les informations basiques.....	84
Figure 76 : Les informations nominales	84
Figure 77 : Tension en AC	84
Figure 78 : Fréquence en AC.....	85
Figure 79 : Tension d'entrée de l'installation PV	85
Figure 80 : La puissance d'entrée de l'installation PV	86
Figure 81 : La puissance apparente de la sortie	86
Figure 82 : Puissance active de la sortie	87
Figure 83 : La tension de la batterie	87
Figure 84 : La capacité de la batterie.....	88
Figure 85 : Le courant de charge	88
Figure 86 : Courant de décharge de la batterie	89
Figure 87 : Tension de sortie	89
Figure 88 : Fréquence de sortie	90
Figure 89 : Représentation du moteur installée au ventilateur.....	93
Figure 90 : Batterie de 12V utilisée.....	94
Figure 91 : Le régulateur utilisé	95
Figure 92 : Vue d'ensemble de l'installation	94

Figure 93 : Diagramme représentant l'installation du système.....	95
Figure 94 : Représentation graphique de la puissance, le courant et la tension du VS.....	99

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Caractéristique principale et performances des cellules photovoltaïques les plus importantes selon les données publiées par le NREL (National Renewable Energy Laboratory).....	23
Tableau 2 : Défauts du générateur photovoltaïque	42
Tableau 3 : Exemples de défauts d'ombrage	44
Tableau 4 : Différents défauts dans le générateur photovoltaïque.....	48
Tableau 5 : Différents défauts dans la boîte de jonction.....	49
Tableau 6 : Différents défauts dans le système de câblage.....	50
Tableau 7 : Différents défauts dans le système de protection.....	51
Tableau 8 : Différents défauts de l'onduleur	52
Tableau 9 : Différents défauts dans le système d'acquisition des données.	53
Tableau 10 : Tableau représentant la caractéristique du panneau.....	70
Tableau 11 : Tableau représentant les mesures du 19/05/2024	71
Tableau 12 : Tableau qui représente les mesures du dernier essai	74
Tableau 13 : Caractéristique du moteur utilisé	94
Tableau 14 : Tableau représentant le courant tension puissance en fonction du temps.....	99

Résumé :

La surveillance et le diagnostic sont cruciaux pour la santé des systèmes photovoltaïques (PV). Ils permettent de détecter et de diagnostiquer rapidement les défaillances, réduisant ainsi les temps d'arrêt, optimisant la production d'énergie et prolongeant la durée de vie du système.

Divers outils et techniques, tels que la surveillance des paramètres électriques sont utilisés pour surveiller et diagnostiquer les systèmes PV. Les avantages de ces pratiques incluent une réduction des coûts de maintenance, une production d'énergie améliorée et une fiabilité accrue du système. En adoptant une approche proactive de la surveillance et du diagnostic, les propriétaires de systèmes PV peuvent assurer le bon fonctionnement de leurs installations et maximiser leur retour sur investissement.

L'utilisation des logiciels tels que le Watch power est aussi nécessaire pour la surveillance du système PV

En se basant sur une réalisation pratique d'un système PV nous permet de bien comprendre la surveillance et le contrôle d'un système PV

Abstract:

Monitoring and diagnostics are crucial for the health of photovoltaic (PV) systems. They enable quick detection and diagnosis of failures, thereby reducing downtime, optimizing energy production, and extending the system's lifespan. Various tools and techniques, such as monitoring electrical parameters, are used to oversee and diagnose PV systems. The benefits of these practices include reduced maintenance costs, improved energy production, and increased system reliability. By adopting a proactive approach to monitoring and diagnostics, PV system owners can ensure the smooth operation of their installations and maximize their return on investment. The use of software such as Watch Power is also necessary for monitoring PV systems. Understanding the function of a PV system through practical applications, help us to better grasp the system's operation.

ملخص

تُعدُّ المراقبة والتشخيص أمراً بالغ الأهمية لصحة أنظمة الطاقة الشمسية (PV) فهي تُمكن من الكشف السريع عن الأعطال وتشخيصها، مما يقلل من فترات التوقف، ويُحسن إنتاج الطاقة، ويُطيل عمر النظام. تُستخدم أدوات وتقنيات متنوعة، مثل مراقبة المعلمات الكهربائية، لمراقبة وتشخيص أنظمة الطاقة الشمسية. تشمل فوائد هذه الممارسات تقليل تكاليف الصيانة، وتحسين إنتاج الطاقة، وزيادة موثوقية النظام. من خلال اتباع نهج استباقي في المراقبة والتشخيص، يمكن لأصحاب أنظمة الطاقة الشمسية ضمان التشغيل السلس لمنشآتهم وزيادة عائد استثماراتهم إلى أقصى حد. يُعتبر استخدام البرامج مثل WatchPower ضرورياً أيضاً لمراقبة أنظمة الطاقة الشمسية. يُسهّم فهم وظيفة النظام الشمسي من خلال التطبيقات العملية، في فهم أفضل لكيفية عمل النظام.

Introduction générale

Introduction

La grande partie de l'énergie consommée par l'homme provient des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel...etc.) dont l'utilisation massive conduit à l'épuisement de ses réserves et suppose une menace réelle à l'environnement, qui se manifeste, principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre.

D'autre part, il y a inégalité extrême de la distribution de la consommation de l'énergie. Beaucoup de populations, spécialement dans les zones rurales isolées des pays en voie de développement qui bénéficient d'un fort ensoleillement, sont confrontées à de grands problèmes pour satisfaire leurs besoins en énergie.

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) de par ses caractéristiques de modularité qui permet de l'adapter à des besoins énergétiques divers, autonomie, fiabilité et viabilité sur le plan économique, permet d'apporter de réelles solutions telles que l'éclairage public et domestique, le pompage d'eau pour la consommation et l'irrigation, ...etc.

La conversion photovoltaïque est l'un des modes les plus intéressants d'utilisation de l'énergie solaire. Elle permet d'obtenir de l'électricité de façon directe et autonome à l'aide d'un matériel fiable et de durée de vie relativement élevée, permettant une maintenance réduite.

Initialement liée à la conquête spatiale où elle a prouvé ses qualités technologiques, la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire, dans les pays en développement ou en voie de développement qui bénéficient d'un fort ensoleillement, a jusqu'à présent trouvé ses débouchés préférentiels dans des installations en sites isolés, de petites et moyennes puissances. Pour améliorer la connaissance de ces systèmes, on a fait une étude de la surveillance et diagnostic d'un système photovoltaïque.

Ce travail est organisé en quatre chapitres :

- ❖ Dans le chapitre 1, nous avons présenté des généralités sur les système Photovoltaïque et de leur fonctionnement, En commençant par généralité sur l'énergie solaire ainsi le générateur photovoltaïque et leur caractéristique après les différents types des cellules et le principe de fonctionnement.
- ❖ Dans le deuxième chapitre nous avons étudié le type de module et de cellule photovoltaïque ainsi que la méthode de fonctionnement électrique et le circuit des

Panneaux photovoltaïques Ainsi que le type de branchement des systèmes photovoltaïques.

- ❖ Le troisième chapitre nous avons vu les différents défauts des panneaux photovoltaïques ensuite le but et les étapes du diagnostic Et enfin une application.
- ❖ Le quatrième chapitre a inclus la surveillance des panneaux photovoltaïques en mesurant leur puissance par le courant et tension On a aussi utilisé le logiciel Watch power afin de suivre en temps réel les différents paramètres à mesurer dans le système (puissance, fréquence en courant continue, capacité de batterie ...) Et enfin une partie pratique permettons de comprendre la réalisation d'un système photovoltaïque ainsi de mesurant ses différents paramètres pour la surveillance et le contrôle du système photovoltaïque.

Enfin, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale qui résume notre étude.

Chapitre I : Généralités
Sur Les Systèmes
Photovoltaïques

Chapitre 1 : Généralités Sur Les Systèmes Photovoltaïques

I.1. Introduction

Les énergies renouvelables sont issues des phénomènes naturels réguliers ou constants principalement par le Soleil (l'énergie solaire mais aussi hydraulique, éolienne et biomasse...), la Lune (énergie marémotrice, certains courants : énergie hydrolienne...) et la Terre (géothermique profonde...), à l'échelle de la durée de vie d'humanité. Ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires [1]. Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque [2] [3]

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancées sur le plan technologiques et industriel, en effet le silicium et l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice non toxique.

En effet le mot " **photovoltaïque** " vient du grec " **photo** " qui signifie lumière et de " **voltaïque** " qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro Volta (1754-1827) qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque signifie littérairement la « lumière électricité » [4].

Pour comprendre le fonctionnement de cette énergie et en optimiser son utilisation, nous effectuons dans ce chapitre un bref rappel sur le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule photovoltaïque et ses caractéristiques ainsi le générateur solaire photovoltaïque.

I.2. Historique

Bien que les bases théoriques de l'effet photovoltaïque fussent connues depuis le début Du siècle ; ce n'est qu'à partir de 1954, dans les laboratoires de la Bell Téléphone à New Jersey, que la première cellule ayant un rendement raisonnable a été mise au point. Depuis la Deuxième moitié du siècle précédent, le processus de purification de monocristaux de silicium A émergé. En 1956 Lofer ski publiait différentes tables de conversion de rendement Photovoltaïque pour tous les matériaux semi-conducteurs. Puis, c'est au début des années 70Que l'on a pu obtenir en laboratoire un rendement de 20 % en travaillant sur des cellules de

Chapitre 1 : Généralités Sur Les Systèmes Photovoltaïques

monocristal d'arsenic de Gallium (GaAs). Le rendement est sensiblement inférieur lorsque ces cellules se font d'échelle industrielle.

Aussi, des expériences ont été faites avec des cellules composées de deux couches : Une de Sulfure de Cadmium (CdS) et une autre de Sulfure de Cuivre (Cu₂S). Ces cellules Présentent d'avantage d'utiliser très peu de matière active et permettent un processus de Fabrication plus simple. Cependant, leur faible rendement ne permet pas de les utiliser à L'échelle industrielle. Ces cellules ont été commercialisées des cellules de Silicium des années 70. En 1999, elles occupaient 12% de marché[4].

Plus tard, apparurent les matériaux poly-cristallins, de fabrication économique, Mais présentant encore de faible rendement. Récemment se sont commercialisées de cellules de Silicium amorphe, utilisées pour Des dispositifs de très faible puissance : calculettes, montres, radio portable, etc...

Les premières applications pratiques de l'électricité photovoltaïque se firent dans les Véhicules spatiaux, permettant l'alimentation des équipements de commande, de mesure, ou De retransmission de données. Ensuite, la production industrielle de premiers panneaux ayant Des applications terrestres domestiques a débuté. Bien qu'au début des années 80 ces Panneaux n'aient pas été suffisamment compétitifs pour la production à grande échelle, ils ont Tout de même permis l'électrification de logements isolés.

Les recherches pour faire des produits plus efficaces et économiques continuent à bon Rythme même s'il existe peu d'entreprise au niveau mondial ayant la capacité de supporter des Coûts élevés de recherche [4] [5].

I.3. Généralité sur l'énergie solaire

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement [6-9] qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (KWc/m²) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge [10].

Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés :

Chapitre 1 : Généralités Sur Les Systèmes Photovoltaïques

L'énergie solaire thermique : qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.

L'énergie solaire photovoltaïque : qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon.

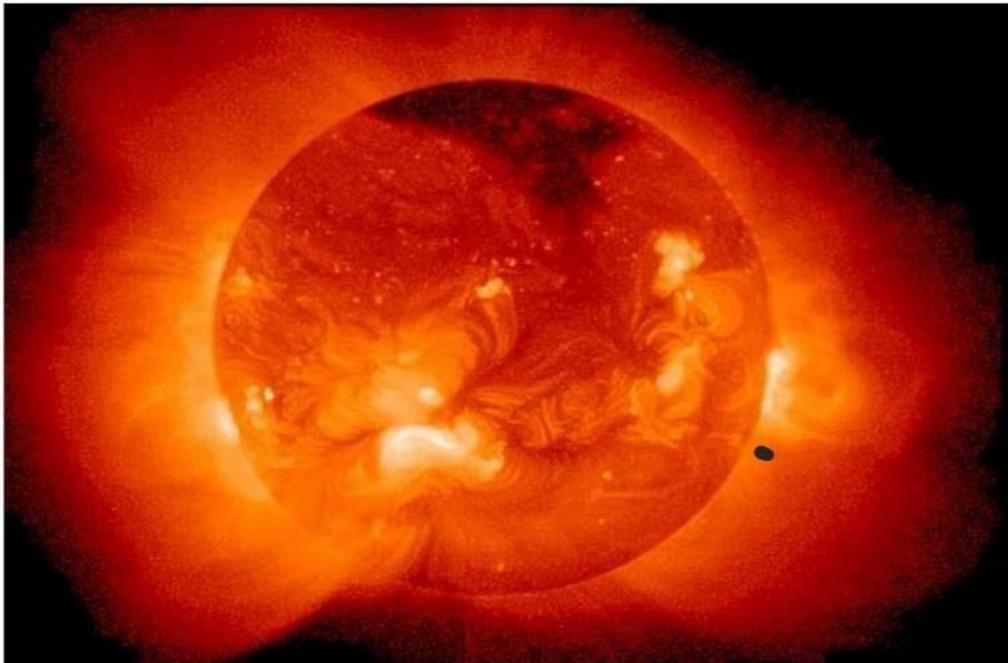


Figure 2 : Le soleil source de l'énergie solaire [3].

I.3.1. Rayonnement solaire

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre de 1390000 km, soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé à 80% d'hydrogène, 19% d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus depuis que Langevin et Perrin, s'appuyant sur la théorie de la relativité d'Einstein, ont émis l'idée il y a une soixantaine d'années que c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance, il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène – hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium, la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement.

Chapitre 1 : Généralités Sur Les Systèmes Photovoltaïques

Sa lumière, à une vitesse de 300000 km/s, met environ 8 minutes pour parvenir à la terre, sa distribution spectrale de l'atmosphère est présentée un maximum pour une longueur d'onde d'environ $0.5\mu\text{m}$, la température de corps noir à la surface du soleil est d'environ 5780°K [11] [12].

$\frac{3}{4}$ Diamètre de soleil

$D_s = 1.39.10^9\text{m}$ $\frac{3}{4}$ Diamètre de la terre.

$D_t = 1.27.10^7\text{m}$ $\frac{3}{4}$ Distance moyenne soleil - terre

$L_{ts} = 1.5.10^{11}\text{m}$ [30].

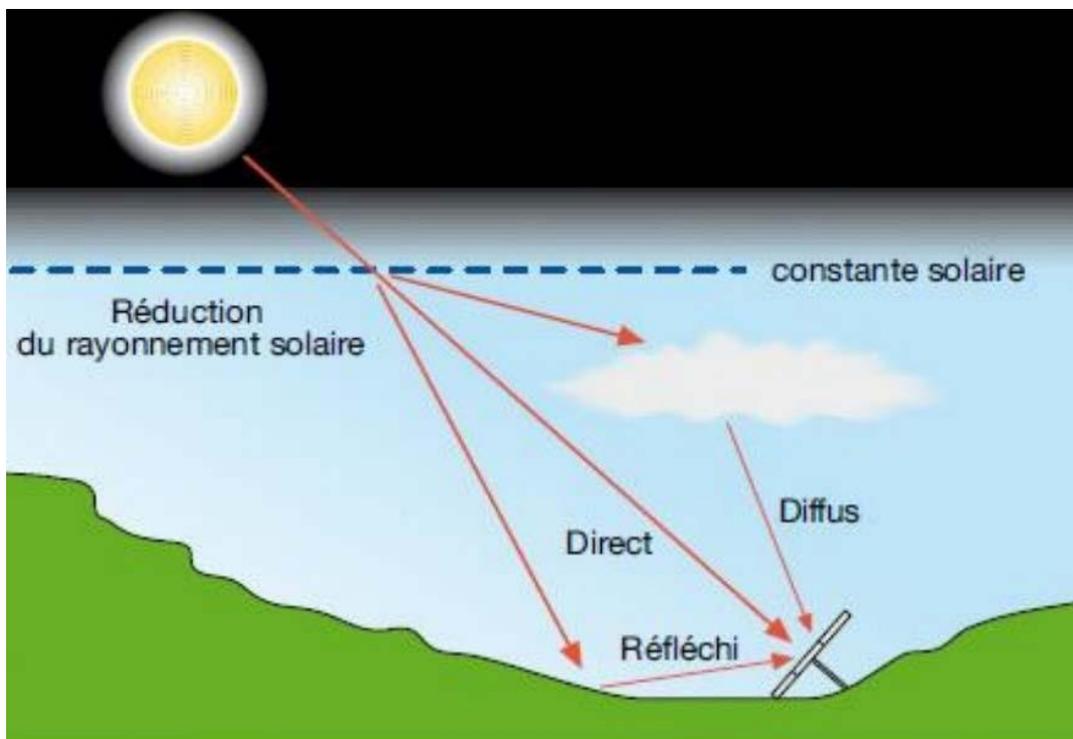


Figure 3 : Composants du rayonnement solaire [15].

I.3.1.1. Rayonnement direct

Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant de disque soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère [12].

I.3.1.2. Rayonnement diffus

C'est la partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi multiples réflexions (dispersions), dans l'atmosphère [1].

I.3.1.3. Rayonnement réfléchi

C'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige) [1].

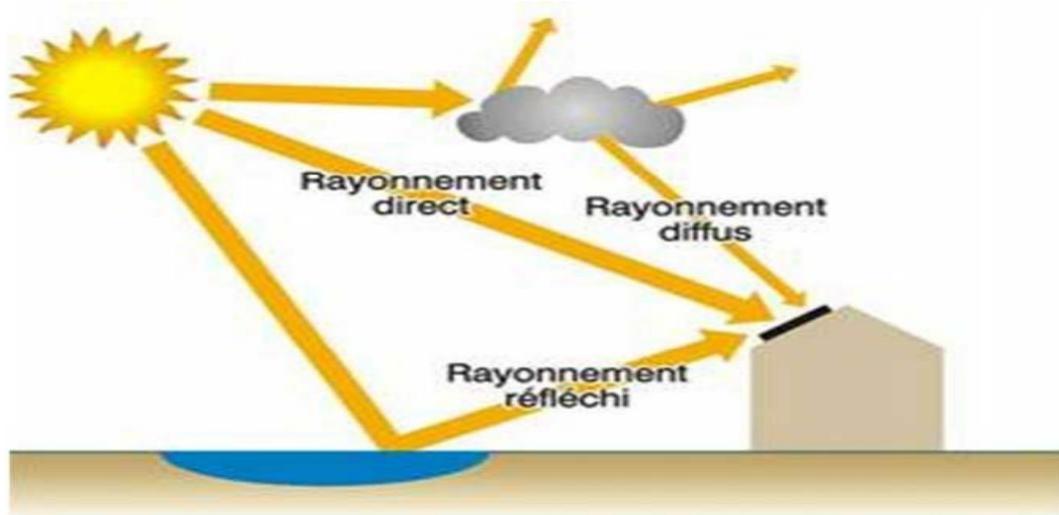


Figure 4 : Types de rayonnements solaires reçus au sol.

I.4. Le Système photovoltaïque

I.4.1 Définition

Le système photovoltaïque est constitué par une source d'énergie (générateur photovoltaïque), une interface de puissance (les convertisseurs statiques DC-DC et DC-AC avec un système de commande) et une charge. Le rôle principal du convertisseur statique est de faire une adaptation d'impédance de sorte que le générateur délivre le maximum d'énergie[16].

I.4.2. Types d'un système solaire photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques sont actuellement divisés en trois catégories : Autonome hybride et raccordé au réseau électrique.

I.4.2.1 Système autonome

Le rôle des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés dans Une zone isolée du réseau électrique. Les systèmes photovoltaïques autonomes sont actuellement divisés en deux types[5].

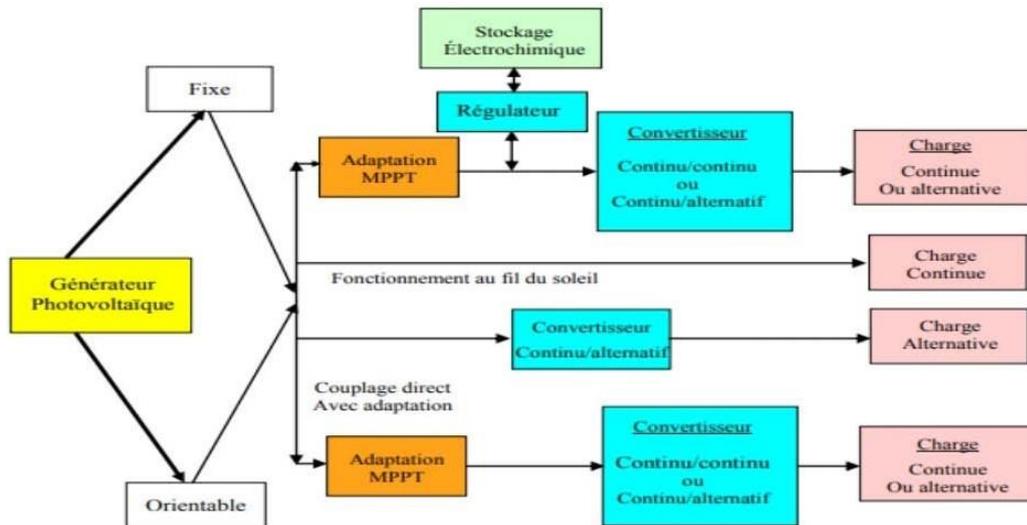


Figure 5 : Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes [5].

I.4.2.2 Système autonome sans batterie

Ce type de système ne requiert pas de stockage d'électricité, soit parce que la production d'énergie des cellules est suffisante sous un faible éclairage (exemple : calculatrice), soit que le temps de fonctionnement de la charge n'est pas critique (ex.: pompage photovoltaïque : le Réservoir d'eau sert de stockage).

I.4.2.3 Système autonome avec batterie

C'est le système photovoltaïque le plus commun. Le champ PV sert de chargeur pour la batterie. L'électricité peut alors être utilisée en tout temps. (Ex. l'éclairage d'une maison dans la nuit).

I.4.2.4 Système hybride

Un système hybride à sources d'énergie renouvelables (SHSER) est un système électrique, comprenant plus d'une source d'énergie, parmi lesquelles une au moins est renouvelable. Ce type de système s'applique particulièrement bien à des sites éloignés où il est important d'avoir de l'électricité à tout moment, où les coûts de transport du carburant sont élevés et où il n'est pas encore rentable d'utiliser le système photovoltaïque seul avec les batteries. Ils sont souvent utilisés pour de très nombreuses applications d'intérêt sensible et stratégique Comme les relais de télécommunication, les postes frontaliers, l'habitat isolé, etc., hors réseau D'électricité conventionnelle [5] [6].

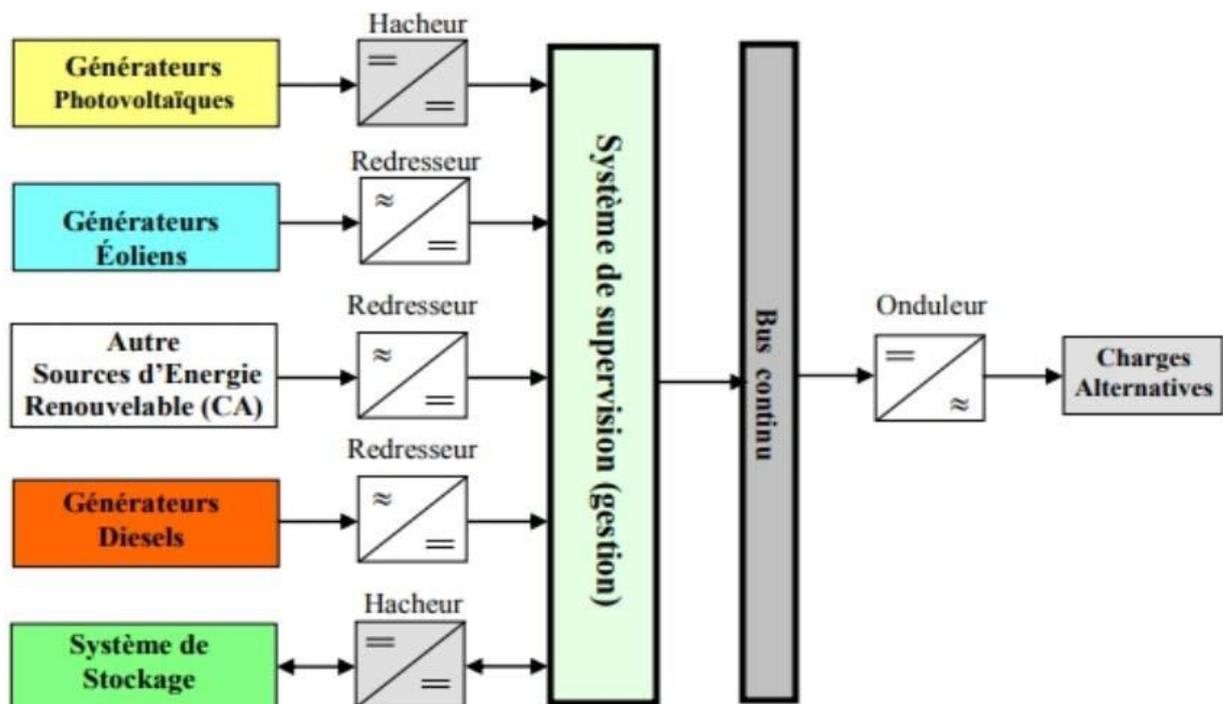


Figure 6 : Configuration du système hybride à bus continu [5] [6].

I.4.2.5 Système raccordé au réseau électrique

Le système photovoltaïque est couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un Convertisseur Courant Continu/Courant Alternatif (DC-AC). Étant donné que l'énergie est Normalement emmagasinée dans le réseau même. Il y'a deux types d'installations existantes Pour l'injection de la production solaire.

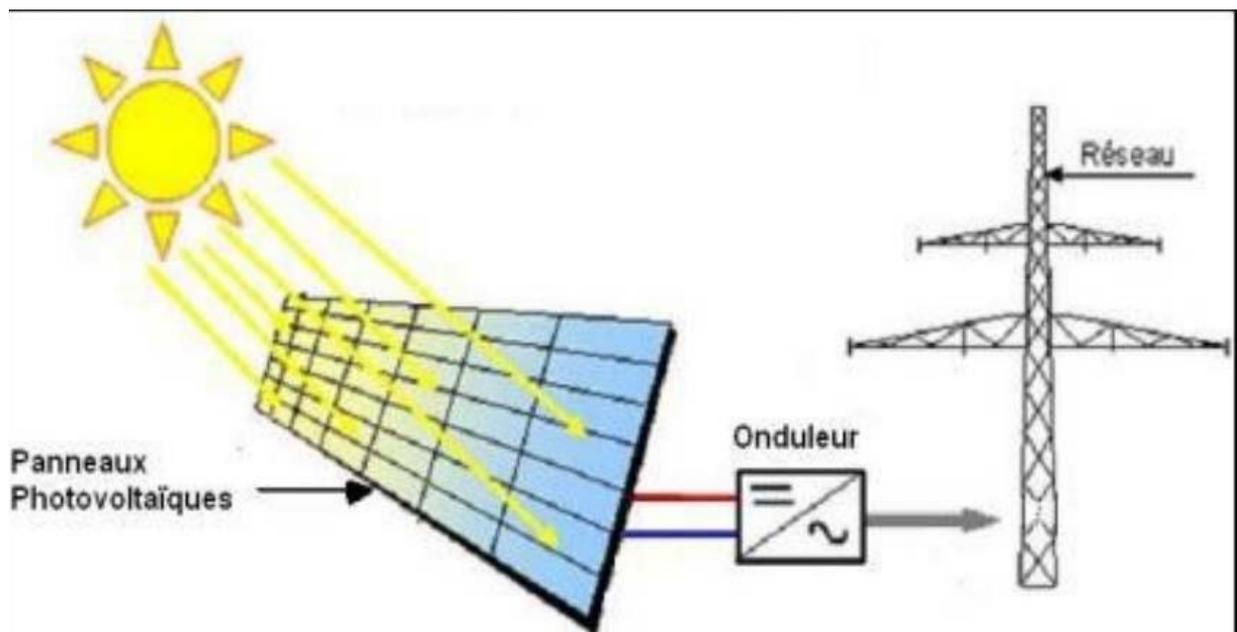


Figure 7 : Systèmes photovoltaïque connectés au réseau.

Chapitre 1 : Généralités Sur Les Systèmes Photovoltaïques

I.4.2.6 Injection de la totalité de la production

L'énergie produite par les modules est directement injectée sur le réseau électrique. Les Périodes d'injections sur le réseau correspondent aux périodes de production photovoltaïque [34].

I.5 Générateur photovoltaïque

Un module photovoltaïque est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques Elémentaires montées en série et en parallèle[22], elles produisent de l'électricité du moment Où elles sont exposées au rayonnement solaire, elles ne polluent pas, n'ont aucune pièce Mobile, ne nécessitent pratiquement aucun entretien et ne produisent aucun bruit [23]. Si une Cellule (sous éclairement) n'est pas connectée à un circuit extérieur elle présente une tension Nommée tension de circuit ouvert (V_{co}) fortement dépendante de la température. D'autre part, Le courant maximal PV est atteint lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées. On Parle alors de courant de court-circuit noté ICC dépendant fortement du niveau d'éclairement Noté E. Pour produire davantage de puissance, plusieurs cellules doivent être assemblées afin de créer Un module photovoltaïque complet (générateur d'énergie). Ainsi, la connexion en série de Cellules identiques permet d'augmenter la tension de l'ensemble, tandis que la mise en Parallèle permet d'accroître le courant. Le câblage série/parallèle est possible et souvent Utilisé pour obtenir globalement un générateur PV aux caractéristiques souhaitées afin D'adapter théoriquement la production d'énergie photovoltaïque à la demande[21].

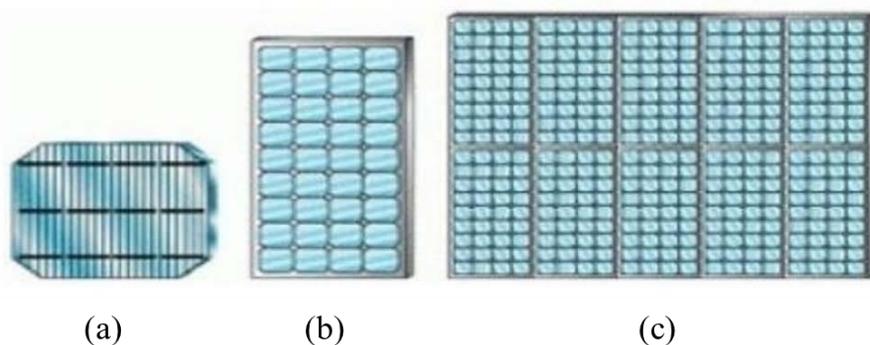


Figure 8 : Cellule (a), module (b) et panneau PV(c) [23].

I.6. Caractéristique d'un module photovoltaïque

Voici la description des paramètres d'un module :

La puissance crête P_c : Puissance électrique maximum que peut fournir le module

Chapitre 1 : Généralités Sur Les Systèmes Photovoltaïques

Dans la condition standard (25°C et un éclairement de (1000 W/m²). La caractéristique I (V) : Courbe représentant le courant I débité par le module en Fonction de la tension aux bornes de celui-ci.

- **Tension à vide V_{co}** : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, Pour un éclairement « plein soleil ».
- **Courant de court-circuit I_{cc}** : Courant débité par un module en court-circuit pour Eclairement «plein soleil »
- **Point de fonctionnement optimum (U_m, I_m)** : Lorsque la puissance de crête est Maximum en plein soleil, $P_m = U_m \cdot I_m$
- **Rendement maximal** : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de Radiation incidente.
- **Facteur de forme** : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale Que peut avoir la cellule : $V_{co} \cdot I_{cc}$ [54]

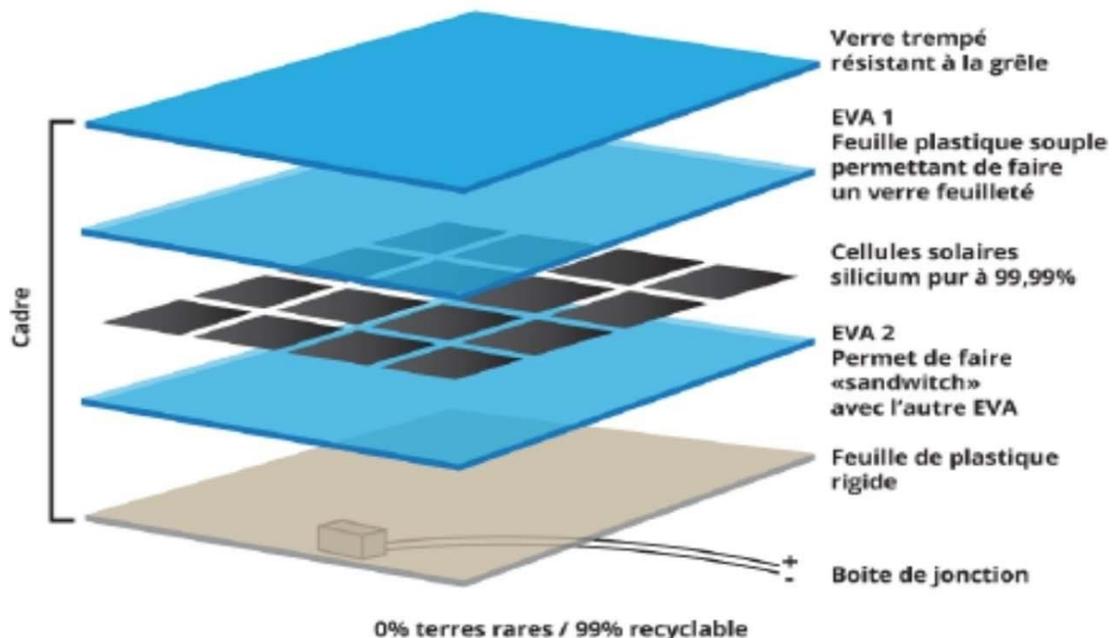


Figure 9 : Composition d'un panneau solaire.

I.7 Protection des modules photovoltaïques

Il faut faire attention à ce que toutes les photopiles soient éclairées de la même façon. En Effet, une photopile ombragée (même partiellement) voit sa tension et surtout son

Chapitre 1 : Généralités Sur Les Systèmes Photovoltaïques

intensité baisser considérablement. Une perte de puissance risque de provoquer une polarisation Inverse avec dissipation d'énergie dans la diode défaillante[55].

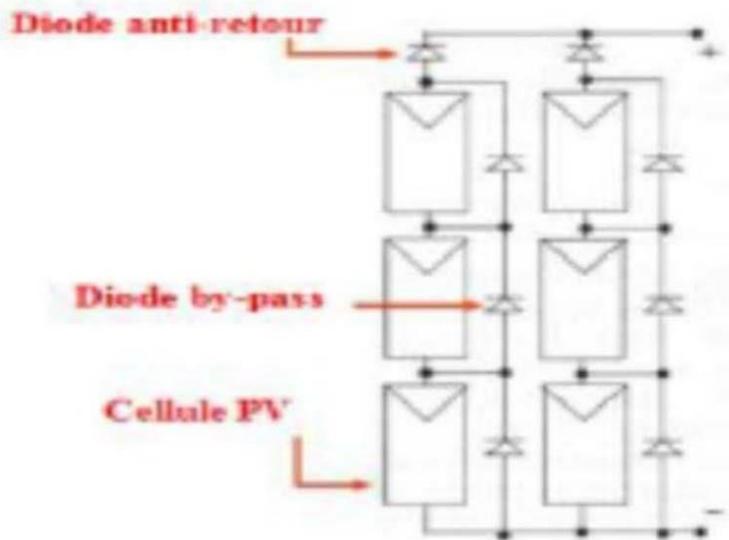


Figure 10 : Protection des modules photovoltaïques.

Pour limiter la perte de Puissance, on utilise une diode by-pass qui se place en dérivation d'un groupe de cellule pour ne pas limiter le courant en situation de déséquilibre. De même, si tout le module est à l'ombre, une batterie bien chargée pourrait débiter dans celui-ci, ce qui serait dangereux pour la structure des photodiodes quasiment incapables de dissiper de l'énergie. On introduit une diode anti-retour sur la borne + du module pour être à l'abri d'un tel ennui. Les diodes anti-retour et by-pass provoquent une chute de potentiel de 0,6V environ qu'il faut prendre en compte dans le rendement des modules.

I.8. Injection du surplus de production

L'énergie produite par les modules est directement consommée sur place par les charges. L'éventuel surplus de production par rapport à la consommation instantanée est injecté sur les réseaux.

I.9. Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques

I.9.1. Avantages

- Sa gratuité.
- Pas de pollution.
- Sa fiabilité et la longue vie de l'installation.
- Sa structure fixe.
- Son coup de maintenance bas.
- Sa flexibilité (dimensionnement selon les besoins, modularité).
- L'installation ne produit aucun bruit
- Son potentiel illimité. 5% de la surface des déserts sucrerait pour alimenter la planète Entière.

I.9.2. Inconvénients

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

I.10. La cellule photovoltaïque

Cellule PV ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Les cellules photovoltaïques sont constituées :

D'une fine couche semi-conductrice (matériau possédant une bande interdite, qui joue le rôle de barrière d'énergie que les électrons ne peuvent franchir sans une excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électroniques) tel que le silicium, qui est un matériau présentant une conductivité électrique relativement bonne.

D'une couche anti-reflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires.

Chapitre 1 : Généralités Sur Les Systèmes Photovoltaïques

D'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode.

Les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multicouches réfléchissants justes en dessous du semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement.

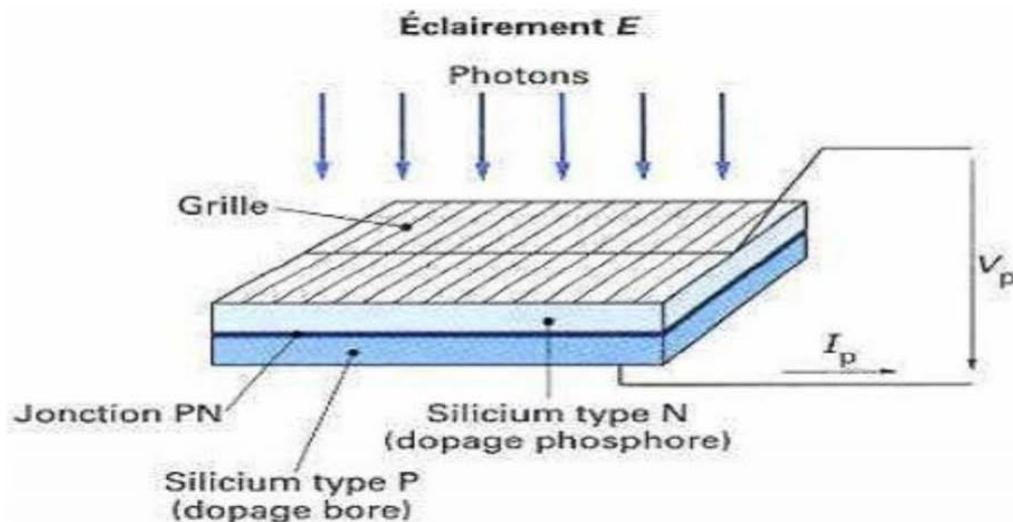


Figure 11 : Schéma d'une cellule photovoltaïque [18].

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

Il existe différentes techniques permettant la conversion directe de la lumière solaire en électricité, la plus connue est la conversion photovoltaïque effectuée à l'aide de matériaux semi-conducteurs tel que le silicium (Si), le germanium (Ge), le sélénium (Se) ou les composés semi-conducteurs tel que l'arséniure de gallium (GaAs), le tellure de cadmium (CdTe). Les cellules solaires de type GaAs sont très coûteuses dans leur fabrication, leur utilisation est aujourd'hui essentiellement limitée aux applications spatiales. La majorité des cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir du silicium cristallin, car il possède la caractéristique d'être non toxique contrairement au cadmium ou au sélénium, en plus, il permet d'atteindre des efficacités de conversion remarquables, il constitue environ 28% de

Chapitre 1 : Généralités Sur Les Systèmes Photovoltaïques

l'écorce terrestre sous forme de composés (silicates, silice), ce qui en fait une source quasi inépuisable.

La cellule solaire à semi-conducteur est un dispositif permettant de débiter un courant électrique dans une charge externe lorsque celui-ci est exposé à la lumière. Son principe de fonctionnement se résume comme suit:

- Lorsque la cellule est exposée au rayonnement solaire, les photons d'énergie ($E_{ph} = h\nu$).
- Pénétrant dans la cellule solaire transmettent leur énergie aux atomes de la jonction. Si cette énergie est suffisamment élevée, elle peut faire passer les électrons de la bande de valence à la bande de conduction du matériau semi-conducteur et créer ainsi des paires «électron- trou».
- Les électrons (charges N) et les trous (charges P), sont alors maintenus séparés par un champ électrique qui constitue une barrière de potentiel.
- Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel et un courant électrique circule

I.10.1. Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïque)

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par a un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. Actuellement, il existe trois principaux types de cellules.

I.10.1.1. Les cellules monocristallines

Elles ont le meilleur rendement (de 12 à 18% voir jusqu'24% en laboratoire) Cependant, elles coûtent trop chers dues à leur fabrication complexe[20].

I.10.1.2. Les cellules poly cristallines

Leur conception est plus facile et leur coût de fabrication est moins important. Cependant leur rendement est plus faible (de 11% à 15% voir jusqu'à19.8 en laboratoire) [22].

I.10.1.3. Les cellules amorphes

Elles ont un faible rendement (de 5% à 8% voir jusqu'13% en laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont

Chapitre 1 : Généralités Sur Les Systèmes Photovoltaïques

utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.

L'avantage de ce demi-type est le fonctionnement avec un éclairage faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment)[22].

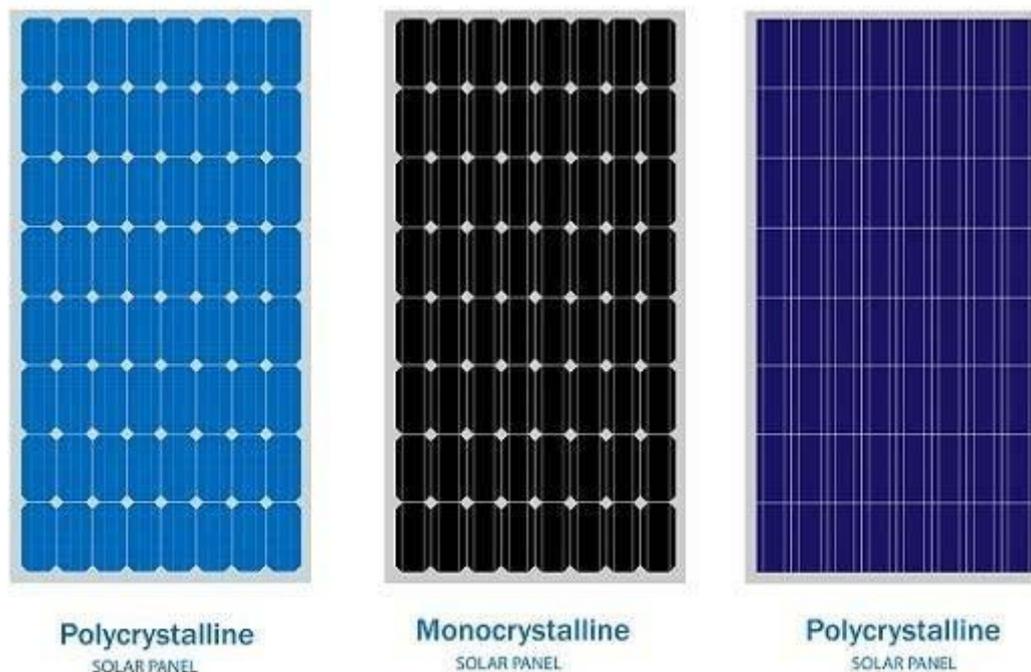


Figure 12 : Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïque)

I.11. Les différents branchements des panneaux PV

I.11.1. Le branchement en série

En additionnant des cellules ou des modules identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série.

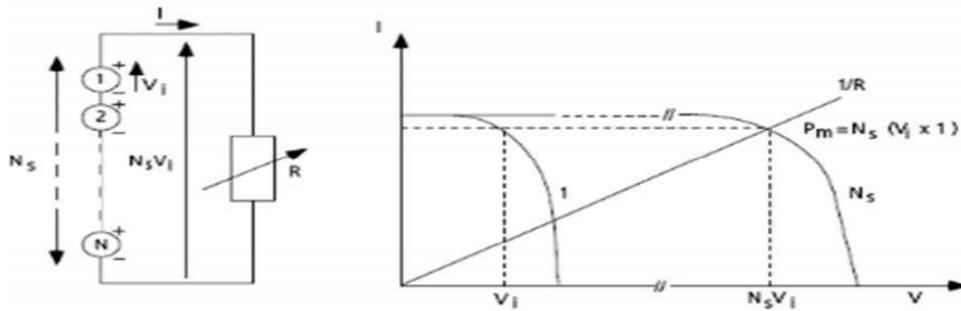


Figure 13 : Cellules ou module photovoltaïque en série.

Branchement en série

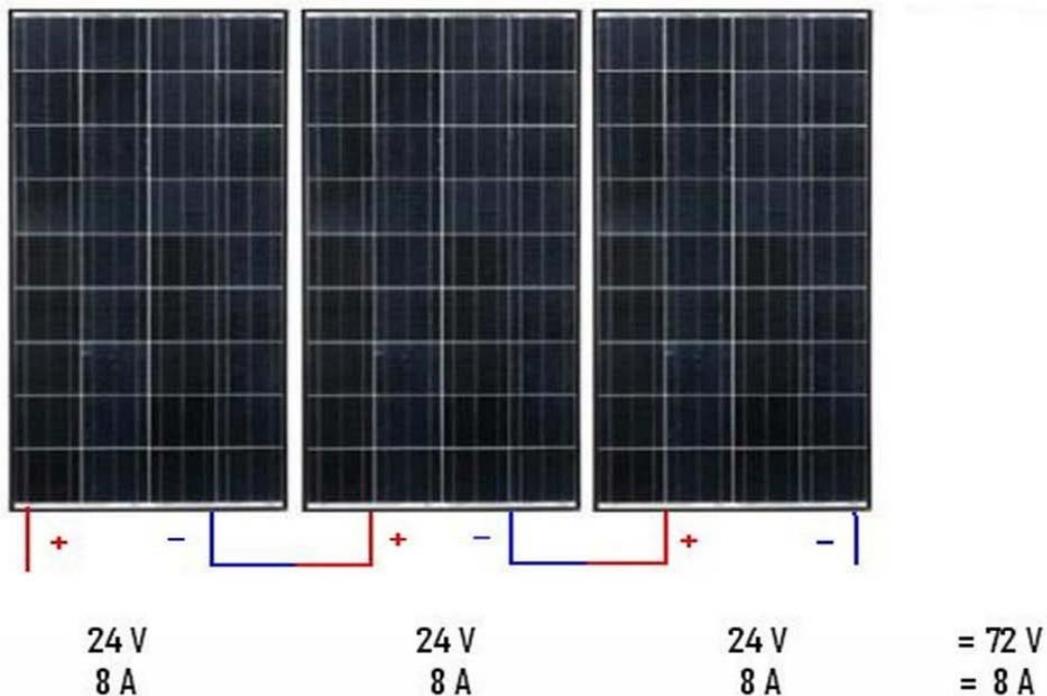


Figure 14 : Branchement en série des panneaux PV

A noter que, si les tensions V s'additionnent systématiquement, c'est l'intensité la plus faible qui prime dans le cas de panneaux solaires différents. Imaginons que sur ces 3 panneaux l'un d'eux ait une intensité de 4 Ampères, l'Ampérage total serait de 4 Ampères même si les autres sont à 8 Ampères. Par contre si nous avons $24\text{ V} + 12\text{ V} + 10\text{ V} = 46\text{ V}$. L'inconvénient du branchement en série c'est qu'il y a une perte de puissance si un seul des panneaux est ombragé (arbre, bâtiment, cheminée...) Si un panneau est ombragé il va perdre en intensité et c'est cette intensité qui va déterminer celle des autres panneaux. Puissance en plein soleil: $72\text{ V} \times 8\text{ A} = 576\text{ W}$ Avec une ombre sur un panneau, supposons qu'il descende à

Chapitre 1 : Généralités Sur Les Systèmes Photovoltaïques

4 Ampères (tous les panneaux seront à 4 A) $72 \text{ V} \times 4 \text{ A} = 288 \text{ W}$ (perte de moitié).
 Conclusion il faut bien étudier l'emplacement de ses panneaux solaires.

I.11.2. Le branchement en parallèle

En additionnant les modules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche.

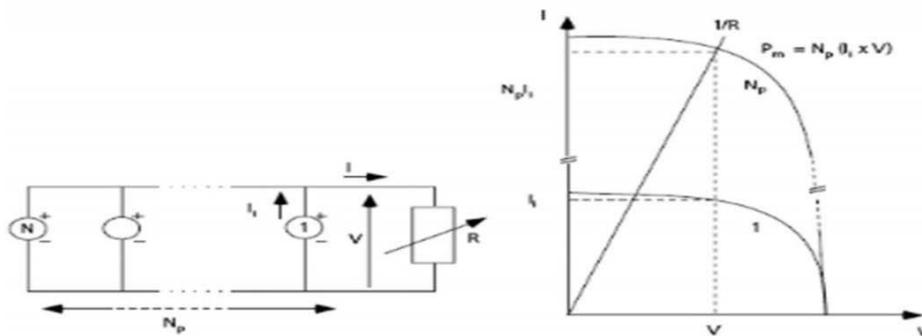


Figure 15 : Cellules ou modules photovoltaïques en parallèle.

Branchement en parallèle

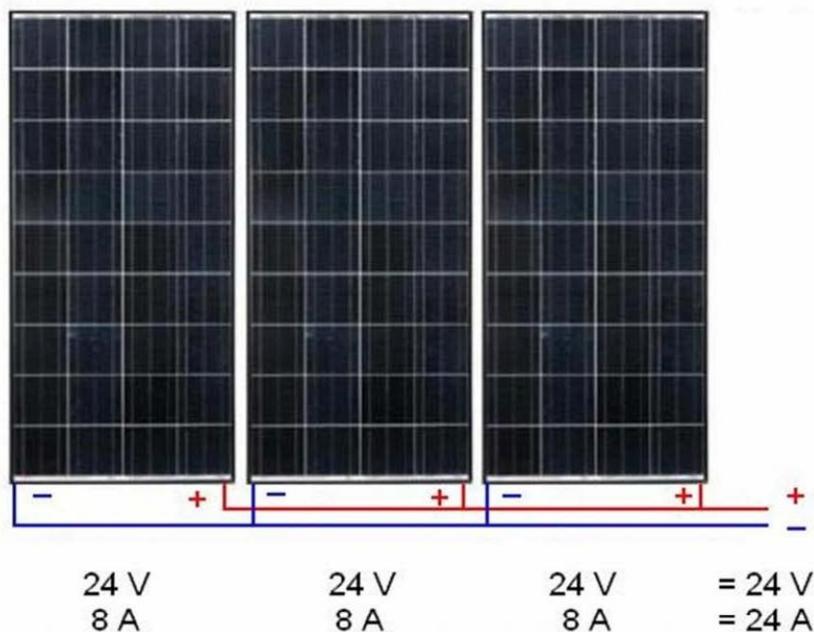


Figure 16 : Branchement parallèle des panneaux PV

Chapitre 1 : Généralités Sur Les Systèmes Photovoltaïques

Ce branchement n'est possible qu'avec des panneaux de mêmes tensions! Contrairement au branchement en série, il n'est pas possible d'avoir des panneaux de 24 V et un autre de 18 V par exemple (C'est théoriquement possible avec la tension la plus faible qui prime, mais il y a un risque de surtension et court-circuit).

Dans ce branchement c'est donc l'intensité qui s'additionne. C'est le branchement idéal lorsque l'on a besoin d'une plus grosse intensité. C'est également le bon montage lorsqu'il peut y avoir un ombrage sur les panneaux photovoltaïque, reprenons le 1^{er} exemple. Puissance en plein soleil : 24 V x 24 A = 576 W (exactement comme le montage en série) Avec un ombrage et un panneau qui descend à 4 Ampères d'intensité. Nous aurons toujours 24 V de tension et 8 A + 8 A + 4 A d'intensité puisque dans le montage en parallèle les intensités s'additionnent alors que dans le montage en série c'est la plus petite qui prime. 24 V x 20 A = 480 W (nous avions 288 W dans le montage en série).

I.11.3. Association hybride (en série et en parallèle):

La caractéristique globale courant/tension d'un générateur photovoltaïque se déduit théoriquement de la combinaison (n_s , N_p) Cellules élémentaires supposées identiques qui le composent par le rapport (n_s) parallèlement à l'axe des tensions et du rapport (n_p) parallèlement à l'axe des courant.

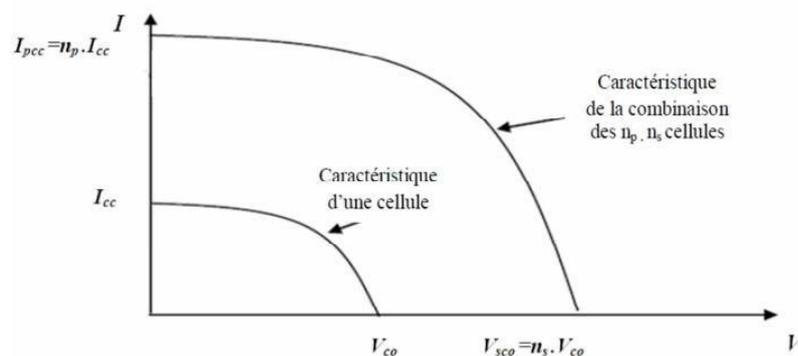


Figure 17 : Caractéristique d'un générateur a ($n_p.n_s$) cellules identiques.

I.13. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu les généralités sur l'énergie solaire et les systèmes photovoltaïque et leur caractéristique ainsi le générateur photovoltaïque.

Enfin nous avons vu les différent types des cellules photovoltaïque et leur bronchement.

***Chapitre II : Systèmes
Photovoltaïques et
surveillance***

II.1. Introduction

Il est vrai que la position du soleil dans le ciel affecte la quantité de rayonnement solaire interceptée par un collecteur solaire, ce qui influe sur la conversion de l'énergie solaire. Les systèmes de suivi solaire peuvent optimiser cette capture en ajustant la position des collecteurs pour suivre la trajectoire du soleil tout au long de la journée. Ce chapitre semble aborder les facteurs influençant la qualité de la conversion solaire, les normes d'installation des panneaux solaires et les différents types de suiveurs solaires pour optimiser cette conversion.

II.2. Technologie photovoltaïque :

Dans le domaine de la technologie photovoltaïque, les cellules solaires sont regroupées en trois générations, toutes faisant actuellement l'objet de recherches simultanées.

Les cellules de première génération reposent sur une seule jonction P-N et utilisent principalement du silicium cristallin comme matériau semi-conducteur. Le processus de fabrication implique la fusion du silicium suivi de son refroidissement pour former un cristal, qui est ensuite découpé en tranches fines appelées wafers pour la production des cellules photovoltaïques. Ce processus est énergivore et coûteux, nécessitant du silicium de haute pureté. Deux types de cellules sont distingués : le silicium monocristallin et le silicium polycristallin [32].

- Les cellules au silicium monocristallin offrent le meilleur rendement commercial, entre 13% et 15%, permettant ainsi une plus faible superficie requise pour une puissance donnée. Cependant, le silicium monocristallin étant plus coûteux, son principal avantage réside dans son utilisation d'une surface réduite, nécessitant environ 7m² pour produire 1 kWc.

- Les cellules au silicium polycristallin ont généralement un rendement commercial entre 12% et 14%, nécessitant environ 8m² de cellules pour produire 1 kWc. Elles sont plus simples à fabriquer et moins chères que les cellules monocristallines, reconnaissables à la forme irrégulière des cristaux visibles à l'œil nu.

- Les cellules de deuxième génération sont basées sur des couches minces, où le semi-conducteur est directement déposé par vaporisation sur un support tel que le verre.

Dans le cadre de la deuxième génération de technologie photovoltaïque, des exemples incluent le silicium amorphe (a-Si), le Tellure de Cadmium (CdTe) et le CIGS (Cuivre,

Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et surveillance

Indium, Gallium et Sélénium). La production de ces cellules est moins coûteuses que celle de la première génération, car elles nécessitent moins de matériaux semi-conducteurs et n'impliquent pas la transformation en "wafers". Elles présentent l'avantage de fonctionner efficacement avec un éclairage faible et d'être moins sensibles aux températures élevées que les cellules monocristallines ou polycristallines. Cependant, leur rendement est inférieur, généralement compris entre 5% et 10%, ce qui nécessite environ 16m² pour produire 1 kWc.

La troisième génération de cellules photovoltaïques vise à dépasser la limite maximale de rendement des cellules actuellement en développement en laboratoire, mais qui ne sont pas encore industrialisées. Plusieurs concepts sont envisagés pour atteindre cet objectif :

- Superposition de multiples cellules, utilisant des bandes d'énergie différentes.
- Cellules à concentration, permettant l'utilisation de photons à basse énergie qui ne sont généralement pas absorbés par la cellule.
- Cellules à électrons chauds, produisant davantage de paires électron-trou pour des énergies supérieures à la bande d'énergie.
- Cellules organiques.

II.3. Comparaison entre différent type

Voici un exemple de tableau comparatif pour les cellules photovoltaïques des trois générations, basé sur les rendements vérifiés en 2015 :

Tableau 2 : Caractéristique principale et performances des cellules photovoltaïques les plus importantes selon les données publiées par le NREL (National Renewable Energy Laboratory)

Types	Rendement en labo (%)	Rendement commercial	Epaisseur	Niveau de développement
1 ^{er} génération				
Monocristallin	27.60	12-20	200-350	Production industrielle
Polycristallin	20.80	11-15	200-350	Production industrielle
2eme génération				
Silicium amorphe	13.40	5-9	1	Production industrielle
CIGs	23.30	9-11	1-2	Production industrielle
CdTe	21.60	6-9	2-8	Production industrielle

Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et surveillance

3eme génération				
Cellule organique	11.10		0.1	Au stade de la recherche
Cellule multi jonction	46.00		Non connue	Au stade de la recherche, production dédiée exclusivement pour les applications spatiales
Cellule de gratzel	15.00		1	Au stade de la recherche

Ce tableau permet de comparer les rendements et les superficies requises pour produire 1 kWc d'électricité pour différents types de cellules photovoltaïques des trois générations.

II.4. Production mondiale de la cellule PV

La production totale de cellules à couche mince a diminué pour la deuxième année consécutive : elle a été estimée à 4,2 GW en 2013, comparée à 4,7 GW en 2011. La part de marché de la couche mince dans le marché global des modules était de 10%, atteignant ainsi son plus bas niveau depuis 2006. Depuis 2009, où elle représentait 19% de la production totale de modules, la pertinence de la technologie à couche mince sur le marché solaire a stagné. Les raisons de cette tendance sont simples : la technologie à couche mince est plus coûteuse et moins efficace que la technologie cristalline au silicium, notamment la technologie chinoise qui domine actuellement le marché. En se penchant sur la production de la couche mince, le CdTe a représenté 39% de la production totale de cette technologie en 2013, suivi du CIGS (31%) et du silicium amorphe (30%)[33].

Après une décennie d'expansion continue, la part de la Chine dans la production mondiale de modules a légèrement diminué en 2013, passant de 65% en 2012 à 64%. Cette baisse est due à des facteurs tels que les restrictions sur les importations chinoises dans l'UE, qui ont limité l'expansion. Pendant ce temps, d'autres nations asiatiques, principalement le Japon, la Malaisie, la Corée du Sud et Taiwan, ont représenté 22% de la production mondiale de modules. Avec une part de production de module de l'Asie atteignant 86%, les 14% restants ont été répartis entre l'Europe (9%), les États-Unis (2%) et le reste du monde (RM) représentant 3%[34].

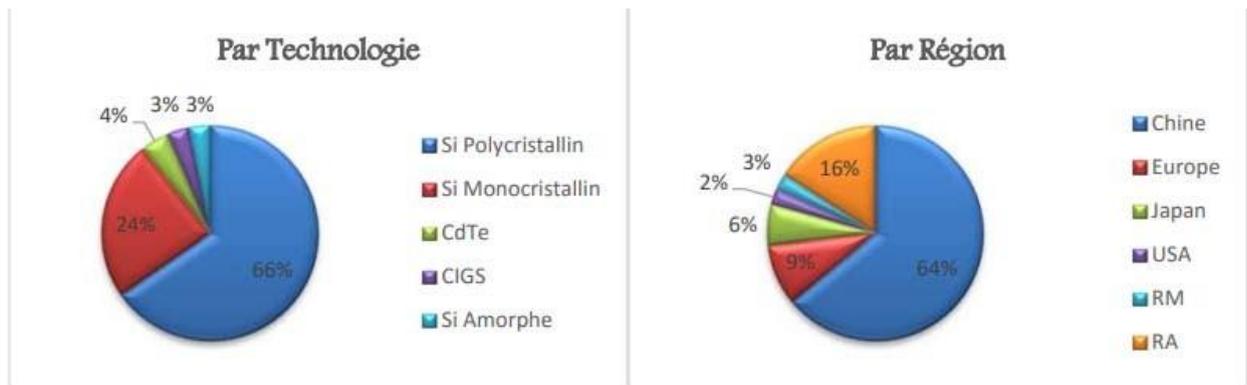


Figure 18 : Partition de la production des modules photovoltaïques dans le monde en 2013.

II.5. Modélisation d'une cellule PV

II.5.1. Modélisation idéale

Une cellule photovoltaïque peut être décrite de manière simple comme une source idéale de courant produisant un courant photonique I_{Ph} proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode correspondant à la zone de transition P-N de la cellule PV. Lorsqu'une charge résistive est connectée aux bornes de la cellule photovoltaïque, cette dernière fournit une partie du courant I_s à la charge, tandis que le reste du courant, I_D , circule dans la diode. Cette relation peut être exprimée comme suit :

$$I_s = I_{ph} - I_D$$

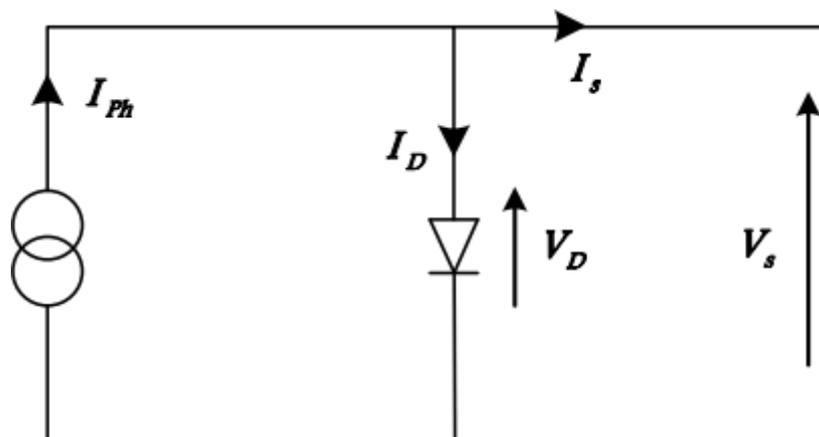


Figure 19 : Modèle simplifié d'une cellule PV

La diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique I_D - V_D est donnée par la relation :

$$ID = I_0 \left(e^{\frac{VD}{nVT}} - 1 \right)$$

Où :

- I_0 : courant de saturation inverse de la diode ;
- n : coefficients d'idéalité de la jonction PN ;
- $VT = kT/q$: potentiel thermique ;
- k : constante de Boltzmann ($k=1.381 \times 10^{-23}$ J/K) ;
- T : température effective de la cellule en Kelvin ;
- q : charge d'électron ($q=1.6 \times 10^{-19}$ C).

Le courant débité est équivalu à :

$$Is = IPh - ID = Iph - I_0 \left(e^{\frac{VD}{nKT}} - 1 \right)$$

Ce modèle demeure théorique et ne représente pas parfaitement le comportement d'une cellule photovoltaïque dans des conditions réelles. Néanmoins, il conserve sa validité sous certaines hypothèses (telles que l'absence de considération des pertes de tension, du courant de fuite, etc.). D'autres modèles existent, également théoriques, mais offrent une représentation plus fidèle du comportement de la cellule photovoltaïque[34].

II.5.2. Modèle réel de la diode

Le modèle précédent de la cellule photovoltaïque ne prenait pas en compte tous les phénomènes observés lors de la conversion d'énergie lumineuse. En réalité, des pertes de tension en sortie ainsi que des courants de fuite sont observés. Pour modéliser ces phénomènes, on introduit une résistance en série R_s pour représenter la perte de tension et une résistance en parallèle R_p pour représenter les courants de fuite. Ce modèle est utilisé par les fabricants pour fournir les caractéristiques techniques de leurs cellules solaires[34].

Dans le cas réel de conversion d'énergie lumineuse, plusieurs phénomènes sont observés, tels que la perte de tension en sortie et les courants de fuite. Pour prendre en compte ces phénomènes, on modélise la perte de tension par une résistance en série R_s [34].

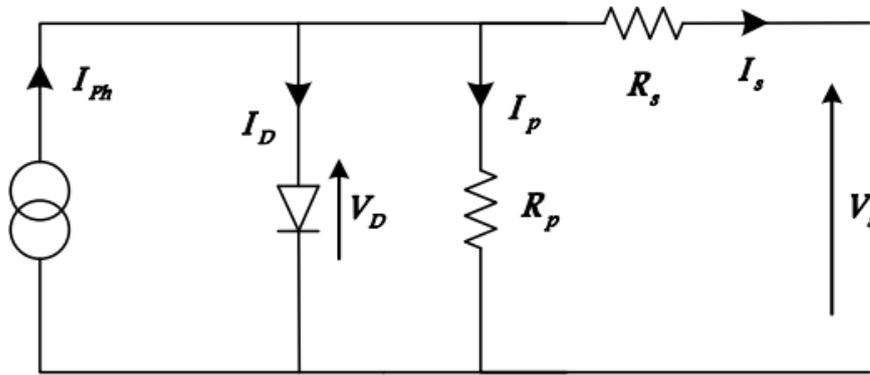


Figure 20 : Modèle réel à une diode d'une cellule PV

$$I_s = I_{ph} - I_D - I_p = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V_D}{n k T}\right) - 1 \right] - \frac{V_D}{R_p}$$

Et comme :

$$V_D = V_s + R_s I_s$$

La relation devient

$$I_s = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V_s + R_s I_s}{n k T}\right) - 1 \right] - \frac{V_s + R_s I_s}{R_p}$$

II.6. Caractéristiques électriques d'une cellule

La figure ci-dessous représente les caractéristiques courant-tension (I_s - V_s) et puissance-tension (P_s - V_s) pour une cellule photovoltaïque. Lorsqu'une résistance variable R_{ch} est connectée aux bornes de la cellule PV, le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection de la caractéristique I_s - V_s de la cellule avec la courbe de charge. Pour une charge résistive, la courbe de charge est une droite de pente $1/R_{ch}$.

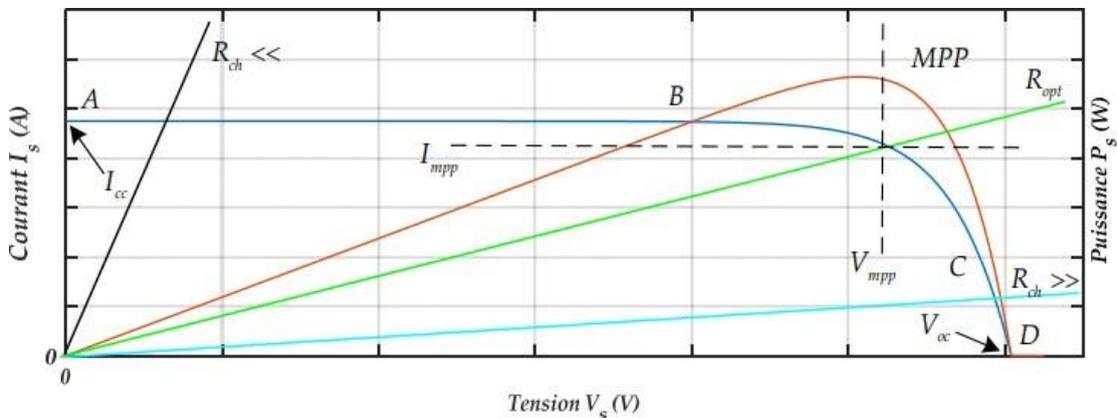


Figure 21 : Caractéristiques électriques d'une cellule PV.

Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et surveillance

Ainsi, si la résistance R_{ch} est petite, le point de fonctionnement se situe dans la région AB de la courbe. Le courant I_s varie peu en fonction de la tension (il est presque égal au courant de court-circuit). La cellule se comporte alors comme un générateur de courant. En revanche, si la résistance R_{ch} est grande, la cellule fonctionne dans la région CD. Dans cette zone, la tension de la cellule varie peu en fonction du courant I_s : la cellule se comporte comme une source de tension qui est presque égale à la tension de fonctionnement à vide. Dans la région BC sur la courbe, la cellule PV ne peut être caractérisée ni par une source de courant, ni par une source de tension. C'est dans cette zone que se trouve le point pour lequel la puissance fournie est maximale dans des conditions fixées d'éclairement et de température. Une cellule réelle peut être caractérisée par les paramètres principaux, présentés aussi dans la figure.

- **Le courant de court-circuit noté I_{cc}** : Le courant de court-circuit, noté I_{cc} , est proportionnel à l'éclairement et représente le courant qui traverse la cellule photovoltaïque lorsque celle-ci est en court-circuit, c'est-à-dire lorsque la tension à ses bornes est nulle. Pour une cellule en silicium, I_{cc} est généralement de l'ordre de 30 mA/cm^2 pour un éclairement maximal. Dans cette situation de court-circuit, la puissance fournie par la cellule ($P_s = V_s \times I_s$) est effectivement nulle, car la tension à ses bornes est nulle et donc le produit de la tension et du courant est nul.
- **La tension en circuit ouvert notée V_{co}** : La tension en circuit ouvert, désignée par V_{co} , représente la tension mesurée aux bornes de la cellule photovoltaïque lorsque aucun courant ne la traverse, c'est-à-dire lorsqu'elle est en circuit ouvert, et que les pôles + et - sont électriquement isolés de tout autre circuit. Cette tension est directement liée à la chute de tension sur la diode. Pour une cellule en silicium, cette chute de tension sur la diode est généralement comprise entre $0,55 \text{ V}$ et $0,6 \text{ V}$. Dans ce scénario, la puissance fournie par la cellule ($P_s = V_s \times I_s$) est effectivement nulle, car lorsque la tension de la cellule est égale à la tension de circuit ouvert (V_{co}), le courant de sortie (I_s) est nul, ce qui signifie que la puissance est également nulle.
- **Le point de puissance maximale MPP (Maximum Power Point)** : Le point de puissance maximale (MPP - Maximum Power Point) est atteint lorsque la charge présente une résistance égale à la résistance optimale (R_{opt}), et la cellule photovoltaïque délivre alors sa puissance maximale, comme l'indique la formule suivante : $P_{mpp} = V_{mpp} \times I_{mpp}$
- **Le rendement** : le rendement d'une cellule photovoltaïque peut être défini comme le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule (P_{mpp}) et la puissance

lumineuse reçue par la cellule. Cette puissance lumineuse est le produit de la surface de la cellule (S en mètres carrés) par l'ensoleillement (G). Ainsi, le rendement (η) est donné par:

$$\eta = \frac{P_{pv}}{SG}$$

- **Coefficient de performance** : c'est le rapport entre les rendements réel η_{pv} et théorique η_{th} .

Ce qui signifie que le rendement représente la proportion de la puissance lumineuse incidente qui est convertie en puissance électrique maximale par la cellule photovoltaïque.

II.7. Type de cellules PV

Effectivement, les systèmes photovoltaïques peuvent varier en complexité en fonction de leur application. Un système photovoltaïque simple peut se composer d'un module PV et d'une charge, comme dans le cas de l'alimentation directe d'un moteur de pompe à eau. Dans ce cas, la pompe à eau peut fonctionner uniquement lorsque le soleil brille.[30]

En revanche, les systèmes plus complexes, comme ceux conçus pour alimenter une maison, doivent être capables de fonctionner jour et nuit. Cela nécessite souvent l'intégration de dispositifs de stockage d'énergie, tels que des batteries, pour permettre l'utilisation de l'électricité produite pendant la journée pendant les périodes où il n'y a pas de soleil, comme la nuit.[30]

En résumé, la complexité d'un système photovoltaïque dépend de l'application spécifique et des besoins en énergie, allant des systèmes simples alimentant des charges directes aux systèmes plus sophistiqués fournissant une alimentation continue pour les besoins domestiques.

Effectivement, en fonction de leur configuration, les systèmes photovoltaïques peuvent être classés en deux types principaux : autonomes (stand-alone) et raccordés au réseau ou non autonomes (on-grid). Dans les deux cas, les principes fondamentaux et les éléments du système PV restent les mêmes. Cependant, les différences résident dans la manière dont ces systèmes sont connectés et utilisés.[34]

1. Autonome (Stand Alone) : Ces systèmes fonctionnent de manière indépendante du réseau électrique principal. Ils sont généralement utilisés dans des endroits éloignés où l'accès au réseau est difficile ou inexistant. Les systèmes autonomes intègrent souvent des dispositifs de

Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et surveillance

stockage d'énergie, tels que des batteries, pour fournir de l'électricité en l'absence de soleil, comme la nuit.[38]

2. Raccordé au réseau ou non autonome (On-Grid) : Ces systèmes sont connectés au réseau électrique principal. L'électricité produite par le système PV peut être consommée directement par le propriétaire ou injectée dans le réseau pour être utilisée par d'autres consommateurs. Les systèmes raccordés au réseau ne nécessitent généralement pas de dispositifs de stockage d'énergie, car ils peuvent tirer de l'électricité du réseau lorsque la production solaire est insuffisante.[38]

Bien que les principes et les éléments des systèmes PV soient similaires dans les deux configurations, les exigences et les considérations de conception peuvent varier en fonction du type de système et de son application spécifique.

II.7.1 Système PV autonome (stand alone)

II.7.1.1. Système a couplage direct

Les systèmes autonomes photovoltaïques sont conçus pour fonctionner indépendamment du réseau de distribution d'électricité et sont généralement dimensionnés pour alimenter certaines charges électriques en courant continu (DC) et/ou en courant alternatif (AC).

Le type le plus simple d'installation photovoltaïque autonome est un système à couplage direct, où la sortie en courant continu d'un module photovoltaïque est directement connectée à une charge à courant continu (voir Figure ci-dessous). Dans ces systèmes à couplage direct, la charge ne fonctionne que pendant les heures où le soleil brille. Les applications courantes pour ce type de système incluent les ventilateurs, les pompes à eau et les petites pompes à eau dans les systèmes de chauffage solaires thermiques.[38]

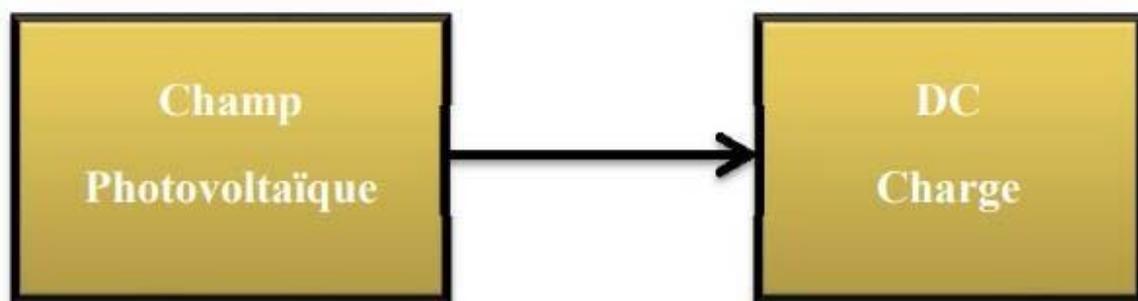


Figure 22 : Système autonome à couplage direct

II.7.1.2. Système autonome avec batterie de stockage

Dans les applications photovoltaïques autonomes, où l'énergie électrique est nécessaire pendant la nuit ou les heures d'obscurité, le stockage d'énergie est essentiel. En général, les batteries sont utilisées à cette fin.[38]

Plusieurs types de batteries peuvent être utilisés, notamment le plomb-acide, le nickel-cadmium, le bromure de lithium et de zinc, le chlorure de zinc, le sulfure de sodium, le nickel-hydrogène et le vanadium redox.[38]

L'onduleur est un composant crucial dans un système photovoltaïque autonome. Il utilise un générateur de fréquence interne pour obtenir la fréquence de sortie correcte.

De plus, un contrôleur de charge est nécessaire pour maintenir la batterie à son état le plus élevé possible tout en la protégeant contre la surcharge causée par le générateur photovoltaïque et la décharge excessive causée par les charges reliées au système. Le contrôleur de charge joue un rôle crucial dans la gestion de l'énergie entrante et sortante pour garantir une longue durée de vie de la batterie et un fonctionnement optimal du système.[34][38]

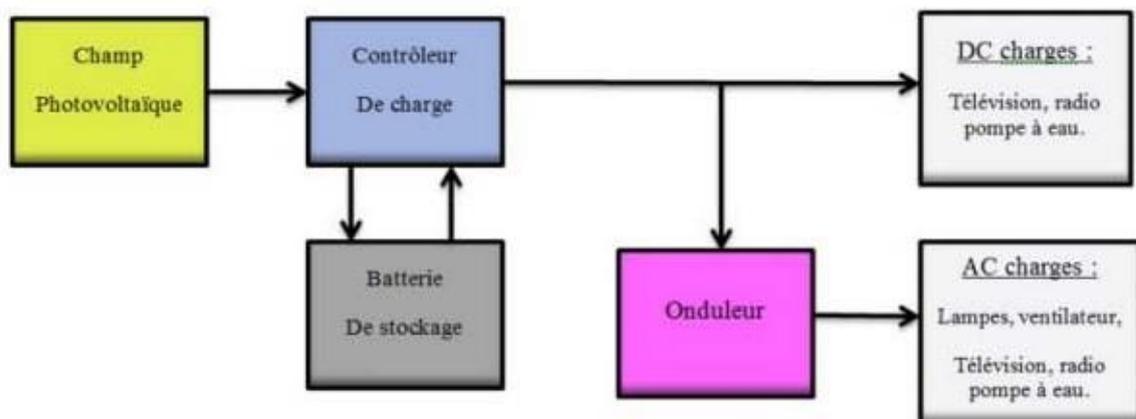


Figure 23 : Système autonome avec batteries de stockages.

II.7.2. Système PV non autonome

Les systèmes photovoltaïques non autonomes, également appelés systèmes connectés au réseau, offrent la possibilité de générer des quantités importantes d'énergie de haute qualité à proximité du point de consommation, ce qui permet d'éviter les pertes de transmission et de distribution. Ces systèmes fonctionnent en parallèle avec les réseaux électriques existants, ce qui permet l'échange d'électricité entre le système PV et le réseau électrique.[38]

II.7.2.1. Système non autonome décentralisé

Exactement, une station centrale photovoltaïque est conçue pour des installations à grande échelle, pouvant atteindre plusieurs mégawatts de puissance. Elle est généralement connectée au réseau électrique à moyenne ou haute tension. Ces stations centrales photovoltaïques sont souvent déployées dans des zones vastes où l'ensoleillement est abondant, telles que des déserts ou des terres agricoles non utilisées. Elles permettent de fournir une quantité significative d'électricité au réseau électrique, contribuant ainsi à la production d'énergie renouvelable à grande échelle.[38]

II.8. La surveillance d'un système photovoltaïque

On sait que le soleil n'est pas immobile dans le ciel, que ce soit pendant la journée ou tout au long de l'année. La capacité du collecteur solaire à convertir l'énergie solaire est grandement influencée par la quantité de rayonnement solaire interceptée. Plusieurs facteurs jouent un rôle dans cette quantité, tels que la position de la surface réceptrice par rapport au rayonnement solaire. Effectivement, il est préférable que les collecteurs soient positionnés de manière verticale afin que le rayonnement soit absorbé de manière optimale. Il est préférable d'utiliser des collecteurs solaires équipés de systèmes de suivi de la trajectoire du soleil (suiveurs solaires) plutôt que des collecteurs fixes.[39]

Pendant environ 4,6 milliards d'années, la Terre tourne autour de son axe imaginaire chaque jour, ce qui entraîne le phénomène d'alternance du jour et de la nuit, où un cycle se termine en 23 h 56 min et 4,1 s. On dit que la vitesse de la Terre est à son maximum à l'équateur et diminue à chaque fois que sa circonférence se tourne vers le haut ou vers le bas, jusqu'à ce qu'elle atteigne ses maximums aux pôles sud et nord. Ainsi, la vitesse de la Terre est plutôt élevée dans les zones situées au centre de la Terre, comme l'Europe, le Japon et certaines autres régions.[39]

II.8.1. Le rayonnement solaire :

Au centre du système qui porte son nom (système solaire auquel la Terre appartient), le soleil exerce sur notre planète une action vitale, véritable source de vie. Bien que le soleil soit à une distance importante de 150.10⁶ km de la Terre, la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie considérable de 180.10⁶ GW. C'est pourquoi l'énergie solaire se présente comme une alternative viable aux autres sources d'énergie. L'énergie qui sort de sa surface se manifestera sous forme de rayonnement électromagnétique avec une longueur allant de 0,22 à

Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et surveillance

10 μm . L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose de manière approximative de la manière suivante :

- ✓ 9 % dans la bande des ultraviolets ($< 0.4\mu\text{m}$).
- ✓ 47 % dans la bande visibles ($0.4 \text{ à } 0.8 \mu\text{m}$).
- ✓ 44 % dans la bande des infrarouges ($> 0.8\mu\text{m}$).

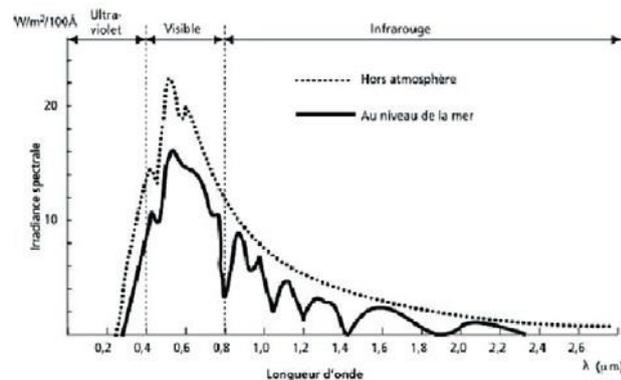


Figure 24 : Analyse spectrale du rayonnement solaire.

II.8.2. L'objectif de la surveillance des systèmes photovoltaïques :

L'objectif de la surveillance d'un système photovoltaïque est de collecter et d'analyser des données en temps réel afin d'assurer un fonctionnement optimal. Cette surveillance permet de détecter les problèmes potentiels, tels que les pannes, les dysfonctionnements ou les fluctuations de production, et d'agir rapidement pour les résoudre. Elle aide également à évaluer la performance du système, à maximiser la production d'énergie et à prolonger la durée de vie des composants. En mettant en place une surveillance efficace, il est possible d'optimiser les performances du système photovoltaïque et de garantir un rendement optimal sur le long terme.[37]

L'importance de la surveillance :

La surveillance d'un système photovoltaïque revêt une grande importance pour plusieurs raisons. Tout d'abord, elle permet d'assurer la sécurité du système en détectant les problèmes potentiels liés aux surtensions, aux dysfonctionnements électriques ou aux risques d'incendie. Ensuite, elle contribue à optimiser la production d'énergie en identifiant les fluctuations et les perturbations qui pourraient impacter les performances du système. De plus, en surveillant régulièrement les différents paramètres du système, tels que la tension, le courant et la température, il est possible de prévenir les pannes et de planifier des

Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et surveillance

interventions de maintenance préventive. En somme, la surveillance d'un système photovoltaïque est essentielle pour assurer un fonctionnement optimal, une sécurité accrue et une durée de vie prolongée des composants.[37]

II.9. Technologies de surveillance des panneaux solaires

La technologie de surveillance des panneaux solaires a considérablement évolué au fil des ans pour répondre aux besoins croissants de l'industrie solaire en matière de performance, de fiabilité et de maintenance. Voici quelque capteur pour la surveillance des panneaux photovoltaïques :

Capteur thermique : mesure la température des panneaux pour détecter les surchauffes et les variations thermiques.



Figure 25 : Capteur thermique.

Capteur de luminosité : mesure l'intensité lumineuse pour évaluer l'irradiance solaire et l'efficacité de la conversion photovoltaïque telle que le Solarimètre ;



Figure 26 : Représentation du fonctionnement du Solarimètre

Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et surveillance

Capteur de courant et de tension : surveille les paramètres électriques pour détecter les variations de performance et les pannes potentielles. On parle ici pour l'ampèremètre.



Figure 27 : Représentation d'une mesure à l'aide d'un multimètre

Il Ya aussi les systèmes de surveillance à distance citons comme exemple :

Système de télémétrie : transmet les données des capteurs à distance via des réseaux sans fil ou une connexion internet.

Plateformes IOT (internet des objets) : intègre les capteurs à des réseaux IOT pour une surveillance en temps réel et une gestion à distance.

II.9.1. Les paramètres à surveiller

La surveillance des panneaux photovoltaïques consiste à observer et à analyser les différents paramètres afin d'assurer un fonctionnement optimal et une performance maximale des systèmes solaires. Citons quelques paramètres essentiels :

Efficacité énergétique :

Rendement du système : qui consiste à mesurer la quantité d'énergie électrique par rapport à l'énergie reçue du soleil.

Dégradation de performance : qui consiste à surveiller les baisses de rendement dues à des facteurs tels que l'encrassement des panneaux, la dégradation des matériaux ou les défauts électriques.

Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et surveillance

Température des panneaux :

Température des cellules solaires : qui consiste à surveiller la température des cellules photovoltaïques pour prévenir les surchauffes, qui peuvent nuire à la durée de vie des panneaux.

Température ambiante : on mesure la température environnante, nous pouvons savoir l'impact sur le refroidissement des panneaux et l'efficacité de conversion, car comme expliqué précédemment, plus la chaleur est grande plus la friction des atomes est grande qui veut dire la difficulté de déplacement des électrons.

Irradiance solaire :

Intensité lumineuse : surveille l'éclairement solaire qui incident sur les panneaux pour estimer la quantité d'énergie solaire disponible pour la conversion.

L'angle d'incidence : évalue l'angle entre les rayons solaires et la surface des panneaux pour optimiser l'orientation et le positionnement de l'installation.



Figure 28 : Représentation d'une mesure d'un angle sur un panneau PV

En surveillant attentivement ces paramètres, les exploitations de systèmes photovoltaïques peuvent optimiser les performances, détecter les problèmes potentiels et prolonger la durée de vie des installations.

II.9.2. Méthode de surveillance

La surveillance efficace des panneaux photovoltaïques est cruciale pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité des installations solaires. Cette surveillance repose sur l'utilisation de différentes méthodes et technologies permettant de collecter, d'analyser et d'interpréter des données essentielles concernant les performances des panneaux, les

Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et surveillance

conditions environnementales et l'état général du système. Dans cette section, nous explorerons en détail les différentes méthodes de surveillance disponibles, en mettant l'accent sur les techniques de collecte de données, les outils d'analyse et les approches préventives pour maintenir et optimiser les performances des installations photovoltaïques.

On commence avec la première méthode :

La surveillance en temps réelle et en temps périodique : La surveillance en temps réel assure une vigilance continue grâce à des capteurs intégrés et des systèmes de communication instantanés. Cette approche permet une détection immédiate des problèmes et une réaction rapide aux fluctuations de performance ou aux dysfonctionnements. En comparaison, la surveillance périodique consiste en des inspections programmées à des moments spécifiques, manuellement ou automatiquement. Bien qu'elle offre moins d'immédiateté, cette méthode peut s'avérer plus économique et suffisante pour des applications moins critiques. [39]

Méthode de collecte de données : Les capteurs intégrés aux panneaux solaires sont conçus pour mesurer divers paramètres comme la température, la tension, le courant et la luminosité. Ces informations sont ensuite transmises à un système de surveillance central pour être analysées. Parallèlement, les stations météorologiques situées à proximité des panneaux collectent des données environnementales telles que la température, l'humidité, la vitesse du vent et l'irradiance solaire. Ces données sont essentielles pour évaluer l'impact des conditions météorologiques sur les performances des panneaux solaires. [39]

Analyse des données et interprétation des résultats : Les logiciels d'analyse avancée sont équipés d'algorithmes sophistiqués pour traiter les données recueillies. Leur rôle est de détecter les anomalies et les tendances, offrant ainsi des insights précieux sur les performances des panneaux solaires. De plus, l'utilisation croissante de l'intelligence artificielle et des techniques d'apprentissage automatique permet d'analyser des volumes massifs de données. Cette approche permet d'identifier des modèles ou des anomalies qui pourraient échapper à une analyse manuelle. [39]

En combinant ces différentes méthodes et approches, les opérateurs de parcs solaires peuvent mettre en place des systèmes de surveillance robustes et efficaces. Cela leur permet d'assurer une maintenance proactive, de détecter précocement les problèmes et d'optimiser en permanence les performances des installations photovoltaïques.

II.10. L'optimisation des performances

1. Détection des problèmes et maintenance proactive : La détection des problèmes et la maintenance proactive sont des éléments cruciaux de la gestion efficace des parcs solaires. En surveillant en permanence les paramètres électriques, il est possible de détecter les anomalies de performance qui pourraient signaler des problèmes émergents. Cette surveillance continue permet également d'anticiper les défaillances potentielles avant qu'elles ne causent des temps d'arrêt imprévus. En intégrant des modèles de prévision de la performance des panneaux solaires, la maintenance proactive devient encore plus efficace, réduisant ainsi les coûts de maintenance et minimisant les interruptions de production d'énergie. [34]

2. Optimisation de l'orientation et de l'inclinaison : L'optimisation de l'orientation et de l'inclinaison des panneaux solaires est une stratégie clé pour augmenter la production d'énergie. Des recherches ont démontré que cette optimisation peut avoir un impact significatif sur la quantité d'énergie produite, en fonction de la localisation géographique et des conditions météorologiques spécifiques. En outre, l'utilisation de systèmes de suivi solaire offre une méthode encore plus efficace. Ces systèmes ajustent automatiquement l'angle des panneaux en fonction de la position du soleil, maximisant ainsi la production d'énergie tout au long de la journée. [34]

3. Gestion de l'ombrage : La modélisation informatique et la cartographie de l'ombrage offrent des outils précieux pour évaluer l'impact des obstacles potentiels sur les performances des panneaux solaires. Ces techniques permettent de planifier judicieusement l'emplacement des panneaux afin de maximiser leur exposition au soleil. De plus, des stratégies telles que l'élagage des arbres et la réorientation des panneaux peuvent être mises en œuvre pour réduire au minimum l'ombrage et optimiser la production d'énergie. En intégrant ces approches dès la phase de conception, il est possible d'assurer une efficacité maximale de l'installation solaire. [34]

4. Contrôle de la température : L'utilisation de revêtements de surface spéciaux et de matériaux de dissipateur de chaleur représente une stratégie efficace pour optimiser le refroidissement des panneaux solaires et atténuer les effets de la surchauffe. En parallèle, la surveillance continue de la température des panneaux solaires offre une solution proactive. Cette surveillance permet d'ajuster automatiquement les paramètres de fonctionnement, tels que la tension de fonctionnement, afin de minimiser les pertes de rendement. En combinant

Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et surveillance

ces approches, il est possible d'améliorer la performance globale des installations solaires et d'assurer une production d'énergie optimale. [34]

En intégrant ces approches et techniques d'optimisation des performances, les opérateurs de parcs solaires peuvent réaliser des améliorations significatives tant en termes de production d'énergie que de rentabilité de leurs installations photovoltaïques.

II.11. Conclusion :

Ce chapitre a exploré les aspects fondamentaux et avancés des systèmes photovoltaïques (PV), soulignant l'importance de l'optimisation technologique et de l'innovation dans la conversion de l'énergie solaire en électricité. Nous avons discuté de l'impact de la position solaire sur l'efficacité des collecteurs solaires et de l'utilisation des systèmes de suivi solaire pour maximiser l'absorption de l'énergie solaire.

Les cellules photovoltaïques se classent en trois générations, chacune représentant des progrès significatifs en termes de matériaux et de rendement. Les cellules de première génération, à base de silicium cristallin, sont bien établies mais coûteuses à produire. Les cellules de deuxième génération, utilisant des couches minces, offrent une réduction des coûts au détriment d'une légère baisse de rendement. Les cellules de troisième génération, en cours de développement, promettent des rendements supérieurs grâce à des approches novatrices comme la superposition de cellules et les cellules à électrons chauds.

La production mondiale de cellules photovoltaïques est dominée par la Chine, avec une augmentation notable des technologies avancées malgré une baisse des parts de marché pour les couches minces. La modélisation des cellules PV, qu'elles soient idéales ou réelles, est cruciale pour comprendre et améliorer leurs performances. Les modèles mathématiques et les simulations permettent d'optimiser le design et l'intégration des systèmes PV dans les réseaux énergétiques.

Les systèmes photovoltaïques autonomes et connectés au réseau ont des applications distinctes. Les systèmes autonomes, souvent utilisés dans des zones reculées, nécessitent des solutions de stockage comme les batteries. En revanche, les systèmes connectés au réseau permettent un échange d'énergie bidirectionnel, optimisant ainsi la production et la consommation d'électricité.

Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et surveillance

La surveillance des systèmes PV est essentielle pour garantir leur performance optimale et leur durabilité. Les technologies de surveillance, incluant des capteurs thermiques, de luminosité, de courant et de tension, permettent une détection précoce des anomalies et une optimisation de la production énergétique. La surveillance en temps réel, facilitée par les systèmes de télémétrie et les plateformes IoT, permet une gestion proactive des systèmes PV.

En conclusion, la transition vers une énergie solaire plus efficace et largement adoptée repose sur des innovations technologiques continues, l'amélioration des processus de production et la mise en œuvre de systèmes de surveillance avancés. Ces efforts combinés sont essentiels pour réaliser un avenir énergétique durable et réduire la dépendance mondiale aux combustibles fossiles.

***Chapitre III : Etude de
Diagnostic Des Défauts
Dans Un Système
Photovoltaïque***

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

III.1. Introduction

Dans une station solaire photovoltaïque, des centaines voire des milliers de panneaux photovoltaïques sont installées et placées selon les exigences du site, et pour avoir de l'énergie électrique utilisable, plusieurs dispositifs rentrent en vigueur (convertisseurs, câblages, système de protection ...) afin de réaliser un système complet qui permet de produire le maximum d'électricité et d'assurer une bonne distribution et stockage de cette dernière. Et comme toutes installations industrielles existantes une station solaire photovoltaïque comporte plusieurs défauts et anomalies affectant négativement la rentabilité de la station, ils sont liés aux défauts des différents composants de la station et aux perturbations liées aux conditions naturelles, parfois ces perturbations et défauts peuvent causer le dysfonctionnement total de la station.

III.2. Défauts des panneaux photovoltaïques

Dans cette partie nous décrirons les différents défauts rencontrés d'un système « P.V ». Ces défauts peuvent apparaître suite à un défaut de fabrication ou bien en raison des conditions climatiques et vieillissement qui affectent la puissance de sortie du module PV. Notre objectif est de présenter les principaux défauts ou des dégradations associées à un système PV.

III.3. Différents défauts d'un système PV :

Les systèmes PV peuvent être soumis à plusieurs défauts durant leur fonctionnement, et On peut distinguer deux types principaux :[60]

- ✓ Défauts permanents (dégradation, court-circuit, circuit ouvert...).
- ✓ Défauts temporaires (ombrage partiel, accumulation de poussière...).

Les différents défauts que nous pouvons trouver dans un système PV sont représentés dans le Tableau suivant :

Tableau 3 : Défauts du générateur photovoltaïque [60]

Composant	Default
-----------	---------

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

Générateur PV	<ul style="list-style-type: none"> • Feuilles d'arbre, déjections, pollution, sable, neige etc. • Détérioration des cellules, fissure, échauffement des cellules • Pénétration de l'humidité, dégradation des interconnexions, • Corrosion des liaisons entre les cellules • Modules de performances différentes • Module arraché ou cassé • Modules court-circuités, modules inversés
Boite de jonction	<ul style="list-style-type: none"> • Rupture du circuit électrique • Court-circuit du circuit électrique • Destruction de la liaison • Corrosion des connexions
Câblage et connecteur	<ul style="list-style-type: none"> • Circuit ouvert • Court-circuit • Mauvais câblage (module inversé) • Corrosion des contacts • Rupture du circuit électrique
Protection (Diode by-pass et diode anti-retour)	<ul style="list-style-type: none"> • Destruction des diodes. • Absence ou non fonctionnement de diodes • Inversion de la polarité des diodes au montage

III.3.1. Défaut d'ombrage :

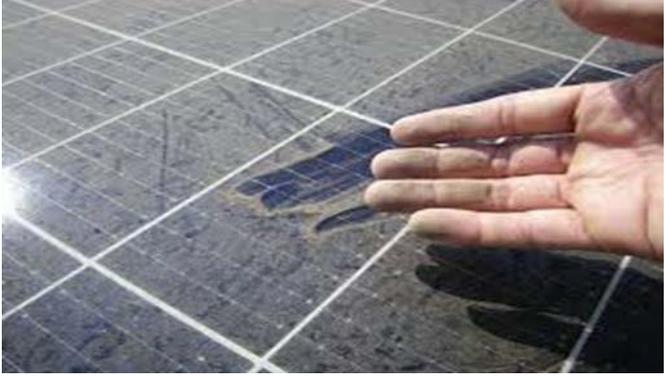
L'ombrage est la diminution de l'intensité d'éclairement solaire, il existe deux types D'ombrage :

- **Ombrage dur** : qui se produit si les panneaux PV sont ombragés par un matériau solide Par exemple bâtiment ou poussière, qui entraine une baisse de tension.

- **Ombrage doux (léger)** : qui peut être causé par les nuages, qui affecte le courant mais Non pas la tension Les deux influent négativement sur les performances du module PV. En effet, les cellules Ombrées se comportent comme une résistance au courant généré. Elles chauffent et le Phénomène de hot spot se produit.

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

Tableau 4 : Exemples de défauts d'ombrage

Défauts	Images descriptive
Ombrage	
Poussière	
Déjection d'oiseau	
Neige	

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques



III.3.2. Les points chauds ou Hot-spots

Le phénomène des points chauds est un problème relativement fréquent dans les générateurs photovoltaïques actuels. Il comporte à la fois un risque pour la durée de vie du module photovoltaïque et une diminution de son efficacité opérationnelle lorsque des cellules PV sont associées en série, le courant circulant dans l'ensemble est limité par le courant généré par la cellule la moins performante ou la moins éclairée. Ainsi, une cellule qui ne recevrait pas la même quantité de lumière que le reste de l'ensemble, produirait un courant plus faible c'est ce qu'on appelle l'ombrage partiel. Si l'une d'elles était partiellement ombragée le courant ne pouvait plus circuler. La cellule accumulait alors le courant produit en amont et se comportait comme un récepteur. Elle dissipait une puissance sous forme de chaleur pouvant dépasser les 100°C ce qui pouvait la faire griller si le point chaud est causé par un shunt (court-circuit d'une cellule) ou une erreur dans l'interconnexion entre les cellules générant également un shunt.

Le point chaud est directement lié à une erreur de fabrication de la cellule ou du module PV. En outre, si une cellule génère un courant plus faible que le reste des cellules (appelée mésappariement). Un point chaud apparaît sous la forme d'une cellule entière fonctionnant à une température Plus élevée que le reste des cellules. Elle peut être considérée aussi comme une erreur de fabrication du module photovoltaïque. Le hot spot pourrait causer des dommages à la cellule ou l'encapsulant dans un court laps de temps de fonctionnement.



Figure 29 : Défaut de point chaud.

III.3.3. Fissures dans les cellules

Les fissures constituent un facteur important de dégradation des modules PV. À cause de réduire le cout de fabrication des panneaux PV pour économiser le silicium l'épaisseur et la surface du silicium de cellules sont modifiées (de 300 μm à moins de 200) donc cette modification rendait les cellules plus fragiles et sensibles aux fractures au cours de leur manipulation et au cours du stockage.

Cependant, le risque de choc électrique et de pénétration de l'humidité devient plus élevé. Les casses, les bris de verre et les fissures sont généralement suivies des autres types de dégradation tels que la corrosion, la décoloration, la délamination.



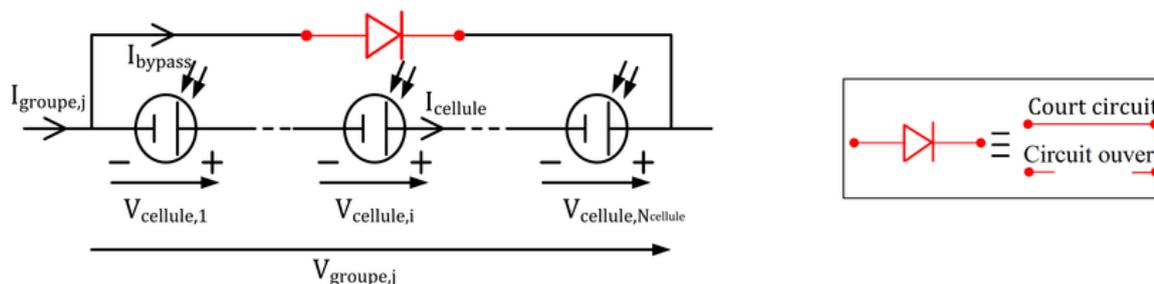
Figure 30 : Fissures dans les cellules PV

III.3.4. Défauts de la diode de by-pass et diode anti-retour

La diode de by-pass est une des solutions pour protéger les cellules de l'ombrage partiel elle évite la polarisation inverse, le hot spot et destruction du module. Cette diode se place, en général, en parallèle avec une branche de dix-huit cellules. On peut constater plusieurs défauts de cette dernière, ces défauts sont en général des défauts de fabrication ces

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

défauts peuvent être apparus suite à la rupture de la connexion de la diode. Donc dans un panneau photovoltaïque on peut trouver une diode déconnectée, une diode équivalente à une impédance quelconque, une diode court-circuitée et une diode inversée. De la même manière que pour la diode de by-pass, la diode anti-retour est exposée aux mêmes types de défauts envisagés pour la diode anti-retour : court-circuit, impédance quelconque, circuit ouvert et diode inversée.



III.3.5. Délaminage

Le délaminage est la conséquence de la perte d'adhérence entre les différentes couches du module PV et le détachement subséquent de ces couches. Il peut apparaître entre encapsulant et cellules polymères ou entre les cellules et la vitre avant. Le délaminage est un problème majeur, car il peut conduire à deux effets : une diminution de la lumière, où la réflexion augmente, ainsi que la pénétration de l'eau à l'intérieur de la structure de module.

Le délaminage est plus grave s'il se produit dans les extrémités du module car, outre les pertes de puissance, il entraîne des risques électriques sur le module et l'installation. La figure () présente un exemple de la façon dont un décollement extrême peut détruire un module PV.



Figure 31 : Défaut de délaminage.

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

III.4. Les défauts les plus fréquents dans une installation photovoltaïque

III.4.1. Défauts dans le générateur photovoltaïque

Dans le tableau 5, on resume les différents défauts dans le générateur photovoltaïque.

Tableau 6: Différents défauts dans le générateur photovoltaïque

Défauts	Conséquence
Salissure (pollution, sable, neige)	Perte de puissance
Inversion des liaisons de sortie	Module mal câblé, diminution des Performances
Air marin, Couple galvanique dû au mélange de matériau de la jonction module/support	Corrosion
Dégradation des modules par Vandalisme	Diminution des performances, Non fonctionnement de l'installation
Vol des modules	Non fonctionnement de l'installation
Mauvaise orientation et/ou inclinaison des modules	Ombre, diminution des performances
Module mal ou pas ventilé	Échauffement
Module mal fixé	Déplacement du module, diminution des Performances
Modules non câblés	Diminution des performances
Fissure	Perte d'étanchéité, détérioration des cellules, diminution des performances
Rouille par infiltration d'eau	Perte d'étanchéité, détérioration des Cellules
Mauvaise isolation entre modules et onduleur	Court-circuit, destruction du module, Incendie
Détérioration des joints d'étanchéité	Perte d'étanchéité, détérioration des Cellules
Déformation du cadre des Modules	Infiltration d'eau
Corrosion du cadre des modules	Perte d'étanchéité, détérioration des Cellules
Délaminage	Diminution des performances, échauffement
Foudre	Détérioration des modules
Tempête, Faiblesse au vent des Structures	Module arraché, cassé
Pénétration de l'humidité	Hot spot, augmentation du courant de fuite, corrosion, perte d'adhérence et d'isolation,

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

	diminution de la résistance de CC à la terre
Foudre sur l'installation	Destruction des modules
Modules de performances Différentes	Diminution des performances du champ
Sortie par le bas des boîtes de connexions impossibles	Mauvais câblage
Support mécanique des modules inadéquat ou mal posé	Efforts mécaniques importants sur les Modules
Inclinaison des modules trop Faible	Stagnation d'eau, dépôt de terre, prolifération de champignons, problème d'étanchéité
Panneaux inaccessibles	Panneaux inaccessibles
Chaleur	échauffement, détérioration des joints

III.4.2. Défauts dans la boîte de jonction

Dans le tableau 5, on resume les différents défauts dans boite de jonction.

Tableau 7 : Différents défauts dans la boite de jonction [59]

Défauts	Conséquences
Absence de parafoudre ou protection foudre inadaptée	Destruction en cas de foudre
Presse-étoupe mal serré	Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique
Liaison de mise à la terre non fixée ou sectionnée	Pas de mise à la terre
Boîte de jonction sans presse-étoupe	Pas d'étanchéité, corrosion des contacts, rupture du circuit électrique
Presse-étoupe en caoutchouc	Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique
Infiltration d'eau par les vis de Fixation	Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique
Boîte de jonction non repérée	Problème pour contrôle et Maintenance
Déconnexion des soudures	Arc électrique, incendie, diminution des performances
Boîtier infesté d'insectes	Rupture du circuit électrique
Fourreaux non prévus pour usage extérieur	Destruction de la protection
Liaison sans protection	Destruction de la liaison
Pénétration de l'eau ou de l'humidité	Corrosion des connexions, des diodes, des

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

	bornes, incendie
--	------------------



Figure 32 : Exemple de défauts rencontrés dans la boîte de jonction

III.4.3. Défauts dans le système de câblage

Dans le tableau 6, on résume les différents défauts dans le système de câblage.

Tableau 8: Différents défauts dans le système de câblage [59]

Défauts	Conséquences
Mauvais dimensionnement des câbles	Chute de tension >3 %, échauffement
Connexion desserrée ou Cassée	Arc électrique, incendie, destruction de la boîte de jonction, destruction des diodes
Principe de câblage en goutte d'eau non respecté	Mauvais câblage
Câbles inter module de section trop faible par rapport au presse-étoupe	Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique
Bornes rouillées	Faux contacts, circuit ouvert, arc électrique
Câbles non fixés	Boucle de câblage, circuit ouvert
Mauvais câblage	Court-circuit, claquage des diodes anti-retour, destruction des connecteurs (circuit ouvert), aléas de fonctionnement sur disjoncteur
Toron	Boucle électromagnétique
Câbles d'arrivée des sous-champs entamés lors du dénudage	Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique
Absence de graisse de Silicone	Humidité

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

Câble mal dénudé	Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique
Câble rongé par des rats	Faux contacts, circuit ouvert, arc Electrique
Modification du câblage par l'usager non compétent	Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique
Boîte de connexion décollée	Connexion des cellules en série Endommagée



Figure 33: Exemple de défauts rencontrés dans le système de câblage

III.4.4. Défauts dans le système de protection

Dans le tableau 7, on résume les différents défauts dans le système de protection.

Tableau 9 : Différents défauts dans le système de protection [59]

Défauts	Conséquences
Protections inappropriées ou mal dimensionnées	Court-circuit, hot spot, incendie, arrêt de l'installation
Interrupteur, disjoncteur Inapproprié	Arc électrique, incendie, destruction à l'ouverture
Disjoncteur différentiel non conforme à la norme	Non déclenchement, tension entre neutre et terre
Armoire électrique posée à même le sol à l'extérieur	Dysfonctionnement en cas de pluie
Parafoudre non connecté à la Terre	Pas de protection
Impossibilité de déconnecter les modules par branche	Problème de sécurité
Pas de possibilités de Problème de sécurité sectionnement extérieur au coffret	Problème de sécurité

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

Mauvaise dissipation de la chaleur des diodes	Échauffement
Sous dimensionnement des diodes de bypass	Hot spot, destruction des diodes, échauffement de la boîte de jonction
Absence de protection contre les courants inverses	Hot spot, destruction des diodes, échauffement de la boîte de jonction
Diode mal connectée	Non fonctionnement des diodes, absence de protection contre les courants inverses
Inversion de la polarité des diodes au montage	Non fonctionnement des diodes, court-circuit, hot spot
Phénomènes de résonance	Non fonctionnement des fusibles et des protections de surtension
Dégradation à cause de la Lumière	Non fonctionnement des diodes de Bypass
Échauffement des diodes placées dans un endroit mal ventilé	Température de destruction atteinte
Vieillessement des Disjoncteurs	Non fonctionnement des disjoncteurs



Figure 34: Exemple de défauts de diode by-pass

III.4.5. Défauts de l'onduleur

Dans le tableau 8, on resume les différents défauts de l'onduleur.

Tableau 10 : Différents défauts de l'onduleur [59]

Défauts	Conséquences
Dégradation à cause de la chaleur	Détérioration de l'onduleur, des Connexions
Faux contact, Fusible fondu, Bobine des filtres, thyristors, capacités en défaut	Arrêt de l'onduleur
Surtension	Déconnexion de l'onduleur

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

foudre sur le réseau	Surtension, destruction de l'onduleur
Tension du générateur inférieure à la limite basse de l'onduleur	Déconnexion de l'onduleur
Onduleur sous dimensionné	Destruction de l'onduleur
Problème d'interface avec le réseau	Découplage de l'onduleur
Défaut d'isolement	Détérioration de l'onduleur
Surchauffe des onduleurs	Diminution des performances
Onduleur installé dans un lieu non Etanche	Panne de l'onduleur
Onduleur mal fixé	Chute de l'onduleur
Onduleur surdimensionné	Perte de puissance, diminution des performances
Visserie et bouton de commande Oxydés	Réglage impossible
Visserie et bouton de commande Oxydés	Réglage impossible
Mauvais choix de la tension nominale d'entrée	Diminution des performances
Pile de sauvegarde HS	Perte de données
Témoins de défaut d'intensité allumé en permanence	Mauvaise information sur l'intensité
Onduleur non mis à la terre	Disjoncteur différentiel non Actif
Perte de la mémoire (mauvaise manipulation du technicien)	Perte de données
Afficheur de cristaux liquide endommagé ou illisible	Pas d'information sur le Fonctionnement

III.4.6. Défauts dans le système d'acquisition des données

Dans le tableau9,on resume les différents défauts dans le système d'acquisition des données.

Tableau 11 : Déférénts défauts dans le système d'acquisition des données. [59]

Défauts	Conséquences
Coupure de courant	Perte de données
Sonde de température non câblée	Mesure impossible
Sonde d'ensoleillement non câblée	Mesure impossible

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

Défaut de paramétrage	Enregistrement de fausses Données
Mauvais câblage des shunts de mesure	Mesure impossible ou Erronée
Afficheur de données mal placé (trop haut)	Données non visibles
Carte électronique mal positionnée	Touches inactives, défaut de Commande
Non configuré pour l'acquisition des Données	Pas de donnée enregistrée
Armoire fermée par le service de maintenance ou présence d'un code	Lecture des données par l'exploitant impossible
Bornier de mesures et de sonde de température trop proches	Câblage difficile, risque de court-circuit
Acquisition de données vierge	Aucune information Enregistrée
Mesure de données non nulles alors que système PV à l'arrêt	Données non fiables

III.5. Diagnostic des défauts sans un système photovoltaïque

III.5.1. Définition du diagnostique

Le diagnostic est le raisonnement menant à l'identification de la cause (l'origine) d'une défaillance, d'un problème ou d'une maladie, à partir de symptômes relevés par des observations, des contrôles ou des tests.

Il ne doit pas être confondu avec la diagnose qui est la détermination d'une espèce biologique par rapport à une autre (c'est une des activités principales d'une science appelée la taxinomie), à partir de caractères distinctifs.

III.5.2. Le diagnostic industriel

C'est l'utilisation d'un raisonnement logique pour identifier les causes possibles d'une défaillance sur la base d'un ensemble d'informations provenant d'inspections, de contrôles ou d'essais. Il existe deux tâches de diagnostic de base :

- Observez les symptômes de panne.
- Utiliser un raisonnement logique basé sur l'observation pour identifier les causes de défaillance. Le diagnostic est l'étape pour trouver la cause première de la panne. Cette recherche ne sera effectuée que si une panne est détectée.

III.5.3. But du diagnostic industriel

Diagnostic industriel dont le but principal est la détection et la localisation la défaillance des équipements du système industriel joue un rôle clé détection. Enregistrez les diagnostics, le dépannage d'assimilation stricte et maintenant fait partie de la fonction de maintenance.

Selon l'AFNOR (Association Française de Normalisation), la maintenance c'est « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et managériales tout au long du processus Le cycle de vie d'une marchandise, destiné à la maintenir ou à l'établir dans l'état dans lequel elle se trouve peut exécuter la fonction requise »

III.5.4. Etape de diagnostic

Tout système est susceptible de présenter des symptômes révélateurs de défauts. Le défi est de pouvoir détecter et localiser ces défauts d'une manière automatique.

Les étapes sont détaillées comme suit :

- **Prise de mesures-** La mesure que l'on fait sur le système est la seule information pour connaitre l'évolution du système. Elle se fait à l'aide d'un capteur approprier et nécessite souvent d'une étape de filtrage.
- **Détection de défauts-** Souvent, il s'agit d'un test statistique traitant un signal susceptible de contenir des informations sur l'état du système à surveiller.
- **Localisation de défauts-** C'est souvent une tâche liée aux caractéristiques du système. Il s'agit d'un test qui traite l'information sur l'origine de la provenance du défaut.
- **Identification de défauts-** Il s'agit de caractériser le défaut, d'estimer son importance et son comportement dans le temps.
- **Décision-** C'est une décision sur le type d'action à prendre pour rétablir de système.
- **Correction-** C'est l'action d'arrêter le système et de procéder à une maintenance corrective.

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

- **Adaptation**- C'est l'action de reconfiguration et d'adaptation de la consigne à injecter dans le système.

III.5.5. Objectifs

- Réduction des arrêts imprévus
- Réduction des pertes de production
- Eviter les graves dommages
- Planification optimale des opérations de maintenance et limitation des coûts de réparation

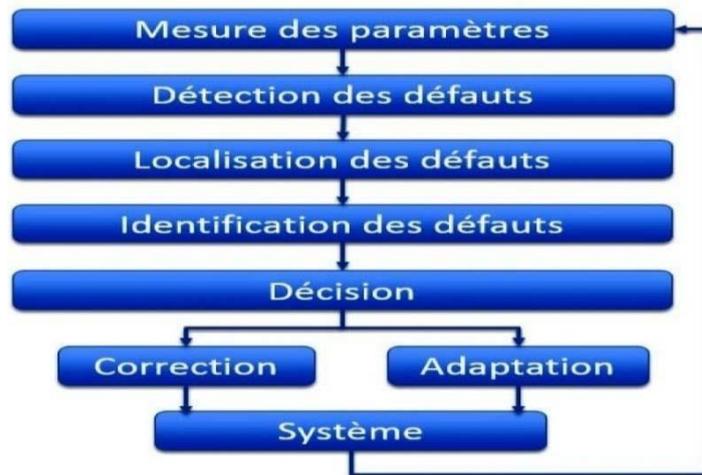


Figure 35 : Organigramme de diagnostic des défauts

III.6. Application

III.6.1. Appareils utilisés

III.6.1.1. Deux panneaux solaires

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques



Figure 36 : Deux panneaux solaires

Description:	Solo Line 80 LX-80M/125-36 Art. No. LD14106
Pmpp:	80Wp (+/- 3%)
Umpp:	17.86 V
Impp:	4.50 A
Uoc:	21.96 V
Isc:	5.06 A
Max. series fuse:	15A
Max. system voltage:	1000 V DC nominal rating, at STC (1000 W/m ² - AM 1.5 - 25°C)
Fire Rating:	

Figure 37 : Caractéristiques des panneaux solaires

Caractéristique	Valeurs
Modèle	Solo line 80
Puissance Pmpp	80Wp (+/_ 3%)
Tension Umpp	17.86 V
Courant Impp	4.50 A
Tension en courant ouvert Uoc	21.96 V
Courant de court-circuit Isc	5.06 A
Fusible en séries max	15 A
Tension système max	1000 VDC

III.6.1.2. Deux batteries

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques



Figure 38 : Deux batteries.

III.6.1.3. Régulateur



Figure 39 : Régulateur

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques



Figure 40 : Caractéristique de régulateur

III.6.1.4. Onduleur



Figure 41 : Onduleur.

III.6.1.5. Power inverter (onduleur)

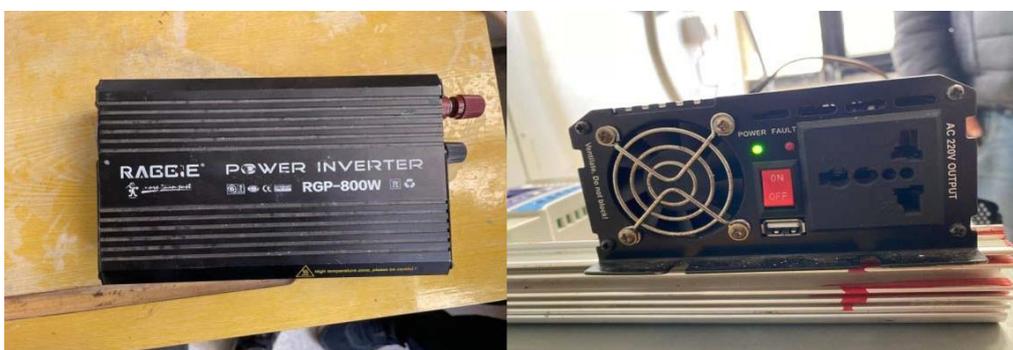


Figure 42 : Power inverter RGP800W

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

III.6.2. Le but de l'application

Transformer l'énergie solaire en énergie électrique par les panneaux solaires et connaître les pannes que nous rencontrons

III.6.3. Les panne

III.6.3.1. Panne de mauvais contact

Au début de l'expérimentation, les dispositifs ont été initialisés et une anomalie dans l'affichage du régulateur a été observée lorsque l'entrée était établie à zéro. Après une analyse approfondie, il a été constaté une absence totale de liaison. Une première étape de diagnostic a consisté en la mesure de la tension au niveau du panneau solaire, mettant en évidence un dysfonctionnement au niveau de la connexion due à un fil débranché. Suite à cette constatation, les interventions appropriées ont été effectuées pour rectifier cette anomalie. Par la suite, la valeur d'entrée a été correctement affichée dans le régulateur (15.2), ce qui a permis de rétablir le processus de chargement de la batterie jusqu'à atteindre sa tension maximale de 14.7 volts.



Figure 43 : Absence total de la tension

III.6.3.2. La réparation

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques



Figure 44 : La réparation de la fiche

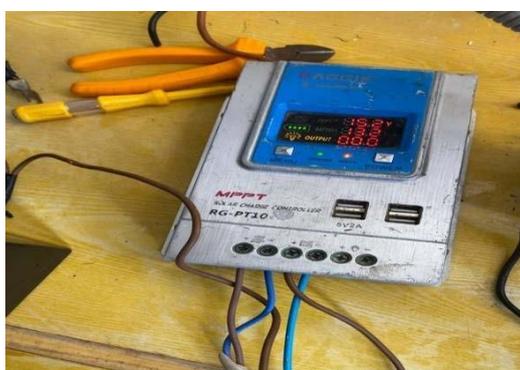


Figure 45: affichage de régulateur



Figure 46 : Affichage input Affichage batterie 14.7v=charge off

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

III.6.4. 2^{ème} problème

L'absence complète de diodes anti-retour (by-pass) expose le panneau à des risques de surtensions en courant continu, pouvant endommager les cellules photovoltaïques. Afin d'assurer la protection nécessaire et de prolonger la durabilité du panneau, il est impératif d'installer des diodes appropriées et de les intégrer dans le système pour garantir une utilisation sécurisée à long terme.



Figure 47 : Absence de diode.

III.6.5. La réparation



Figure 48 : L'ajout de diode pour la protection contre le court-circuit

Chapitre III : Etude de diagnostic des défauts dans un systèmes photovoltaïques

Suite à la correction des défauts de mauvais contact et d'absence de diode, le courant continu a été régularisé, ce qui a permis de procéder à la recharge du téléphone.



Figure 49 : Représentation de chargement de téléphone

III.7. Conclusion

L'objectif de ce chapitre est de présenter les défauts liés aux systèmes photovoltaïques et les différentes étapes de diagnostic de ces défauts afin de rendre notre système de protection fiable. A la fin ce chapitre on a étudié le diagnostic de défaut dans une application réelle.

***Chapitre IV : La
surveillance et le
diagnostic de notre cas
d'application***

IV.1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est devenue l'une des sources d'énergie renouvelable les plus prometteuses et largement déployées dans le monde entier. Les systèmes photovoltaïques (PV) convertissent directement la lumière du soleil en électricité, offrant ainsi une solution écologique et durable pour répondre aux besoins énergétiques croissants de la société moderne. Cependant, pour assurer un fonctionnement optimal et prolonger la durée de vie utile des installations PV, une surveillance et un diagnostic précis des systèmes sont essentiels.

Ce chapitre se concentre sur l'importance de la surveillance et du diagnostic dans le domaine des systèmes photovoltaïques, en mettant en lumière des aspects pratiques et des cas d'étude concrets. Nous explorerons les principaux défis et enjeux rencontrés dans l'exploitation des installations solaires, notamment la dégradation des performances, les pannes matérielles et les conditions environnementales variables.

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

IV.2. Surveillance d'un système PV

Dans notre cas nous avons fait des expériences sur le terrain afin de réaliser une étude expérimentale sur la surveillance des panneaux photovoltaïque, nous avons été dans le centre d'innovation à Annaba afin de pouvoir étudier avec des capteur électrique le taux de puissance que peut donner un panneau solaire tout en l'étudiant dans différents jours du mois de février 2024.

Le capteur électrique utilisé est le multi mètre afin de pouvoir mesurer la tension et l'intensité du courant que peut donner un panneau solaire.



Nous avons pris les mesures de jours différents tout en les classant dans un tableau, nous avons commencé les mesures on a utilisé le Solari mètre afin de mesurer l'intensité lumineuse afin de savoir quelle est le taux d'énergie que transmet le soleil (W/m^2).

Les mesures classées dans ce tableau sont la mesure prise le 27/02/2024.

Nous avons alors classé les deux paramètres de mesure dans le tableau ci-dessous :

Temps	Tension (V)	Courant (A)	Ensoleillement (w/m^2)
8:00	20,4	2	445
9 :00	20,6	2,3	446
10 :00	20,9	2,8	448

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

11 :00	21,1	3,1	449
12 :00	21,1	3,3	450
13 :00	21,1	3,2	451
14 :00	21,1	3,2	453
15 :00	21,2	3	453
16 :00	21,2	2,8	453

Grace à ses résultats nous avons pu dessiner un graphe qui représente la puissance enregistrer du panneau solaire au cours de la journée, prenons bien en compte que la température était de 15 degrés avec un climat pleinement ensoleillée.

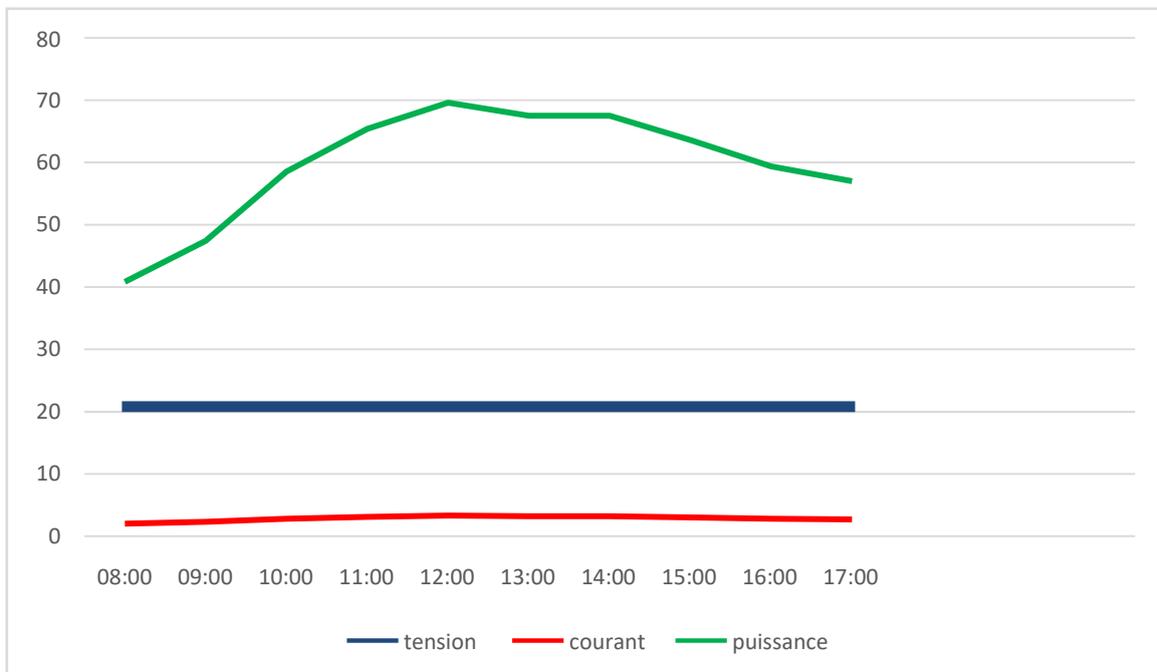


Figure 50 : Représentation graphique de la tension, du courant et de la puissance en fonction du temps.

Il est observé que dans le premier essai, le courant et la tension ont commencé à des niveaux relativement bas et ont atteint un pic vers midi, vers 12h00 avec une valeur de 21.1V pour la tension et 3.3A de courant qui nous donne 69.9W de puissance, ce qui suggère que c'est le moment où l'ensoleillement atteint son maximum.

Pour notre deuxième essai le jour du 28/02/2024 le ciel était couvert avec partiellement des chutes de pluie on a eu le résultat du tableau qui va être représenté ci- dessous :



Figure 51 : Représentation du temps couvert pour le deuxième essai

Temps	Tension (V)	Puissance (W)	Ensoleillement (W/m ²)
07:00	20	20	219
08:00	20,1	26,13	215
09:00	20,2	36,36	211
10:00	20,3	42,63	208
11:00	20,4	46,92	205
12:00	20,5	45,1	203
13:00	20,4	42,84	200
14:00	20,7	39,33	199
15:00	20,5	32,8	198
16:00	20,5	28,7	196

Ce tableau peut être représenté dans la courbe ci-dessous :

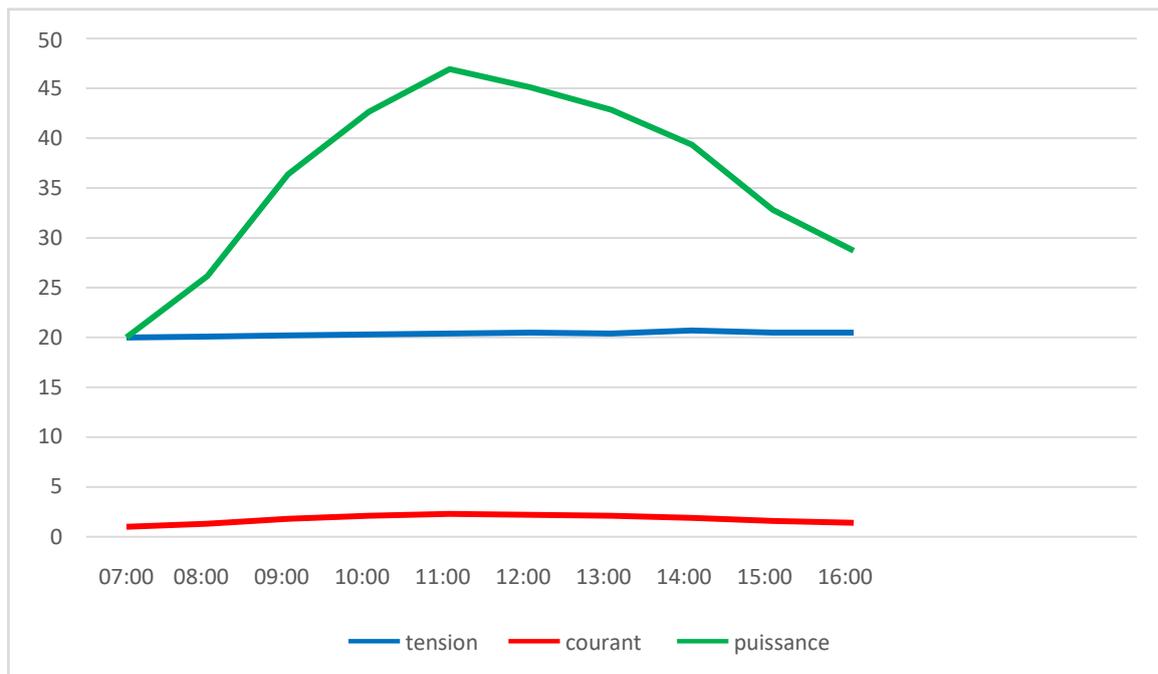


Figure 52 : Représentation du courant, tension, puissance en fonction du temps du deuxième essai

Nous pouvons observer une diminution de la puissance par rapport au premier essai, attribuable à la capacité réduite des cellules photovoltaïques à absorber les photons en raison de la faible luminosité. En effet, la présence de nuages limite le passage des photons à la surface terrestre, réduisant ainsi la quantité de photons absorbés et impactant directement la puissance produite par le panneau solaire.

IV.3. Surveillance de panneau solaire en liaison parallèle



Figure 53 : Représentation des panneaux solaire connectée en parallèle.

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

Les panneaux solaires qui ont été mis en parallèle sont deux panneaux présentant des caractéristiques identiques. Ce sont des panneaux monocristallins, et leurs spécifications sont les suivantes :



Figure 54 : Représentation des caractéristiques des panneaux solaires utilisés

Les caractéristiques de ce panneau sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau 12: Tableau représentant la caractéristique du panneau

Caractéristique	Valeur
Modèle	Solo Line 80
Puissance (Pmpp)	80 W ($\pm 3\%$)
Tension à Pmpp (Ump)	17.86 V
Courant à Pmpp (Imp)	4.50 A
Tension en circuit ouvert (Uoc)	21.96 V
Courant de court-circuit (Isc)	5.06 A
Fusible en série max	15 A
Tension système max.	1000 V DC

Avec la connexion des deux panneaux nous avons rédigé le tableau suivant le jour du 19/05/2024 avec un angle de 20 degrés avec 28°C qui est insérer ci-dessous :

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

Tableau 13 : Tableau représentant les mesures du 19/05/2024

Temps	Tension(V)	Courant(I)	Puissance (W)	Ensoleillement (w/m ²)
08:00	19,81	9,81	194,3361	680
09:00	19,83	9,83	194,9289	680
10:00	19,86	9,95	197,607	679
11:00	19,92	9,97	198,6024	680
12:00	19,96	9,99	199,4004	681
13:00	19,94	10	199,4	683
14:00	19,93	9,96	198,5028	679
15:00	19,9	9,94	197,806	675
16:00	19,85	9,9	196,515	673

Nous pouvons ainsi tracer la courbe qui représente les valeurs acquises en courant et tension et en puissance :

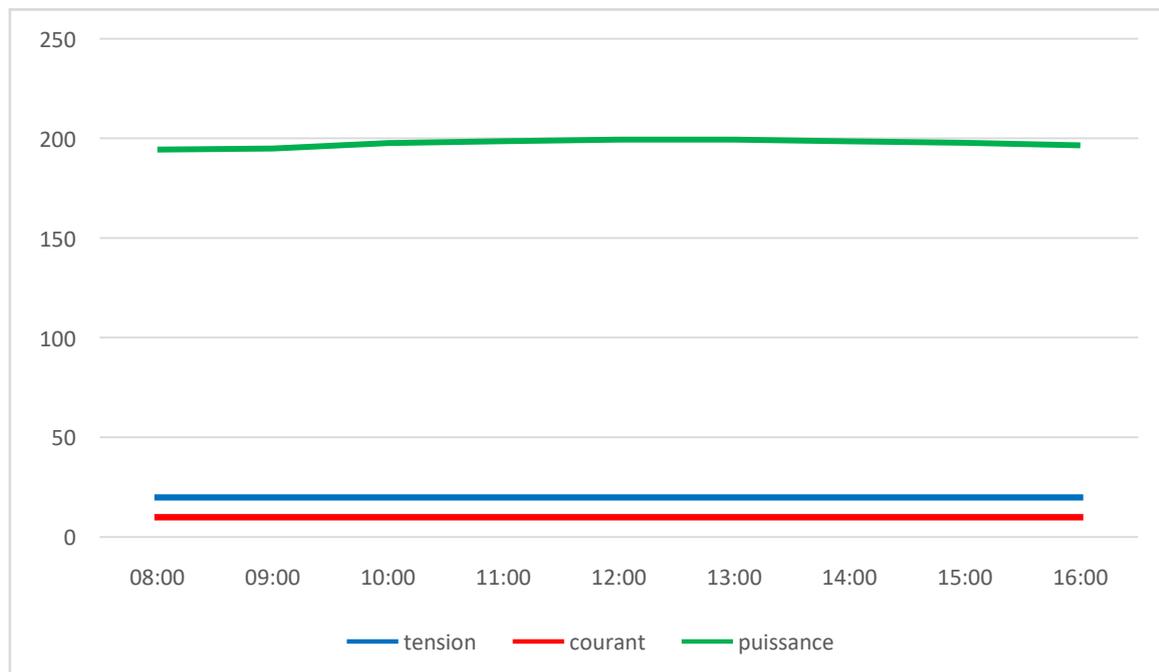


Figure 55: Représentation du courant, tension et puissance en fonction du temps.

Grâce à ces résultats, nous pouvons conclure que l'association de deux panneaux solaires en parallèle entraîne une augmentation significative de la puissance fournie. Cela s'explique par le fait que lorsque les panneaux sont connectés en parallèle, leur puissance individuelle s'additionne, ce qui se traduit par un rendement global plus élevé.

IV.4. Essaie sur un panneau solaire en parallèle avec ombrage

Nous avons connecté deux panneaux solaires comme dans l'essai précédent mais cette fois en mettant de l'ombre sur différente partie des panneaux connectée comme le montre la photo ci-dessous :



Figure 56 : L'ombrage sur des panneaux solaire

Nous avons établi cet essai le 20/05/2024 avec une température de 30 degrés en cachant modules du panneau droit en bas, et nous avons mesuré le courant et les tensions en compagnie de l'ensoleillement chaque 30 min avec un angle de 20 degrés, nous avons rédigé le tableau ci-dessous :

Temps	Tension (V)	Courant(I)	Ensoleillement (w/m ²)
08:00	19,59	5,55	680
09:00	19,62	5,62	682
10:00	19,69	5,69	666
11:00	19,75	5,85	679
12:00	19,81	5,92	680
13:00	19,83	5,89	685
14:00	19,79	5,81	683
15:00	19,76	5,75	680
16:00	19,74	5,68	676

En accumulant ces résultats nous avons pu tracer l'histogramme suivant :

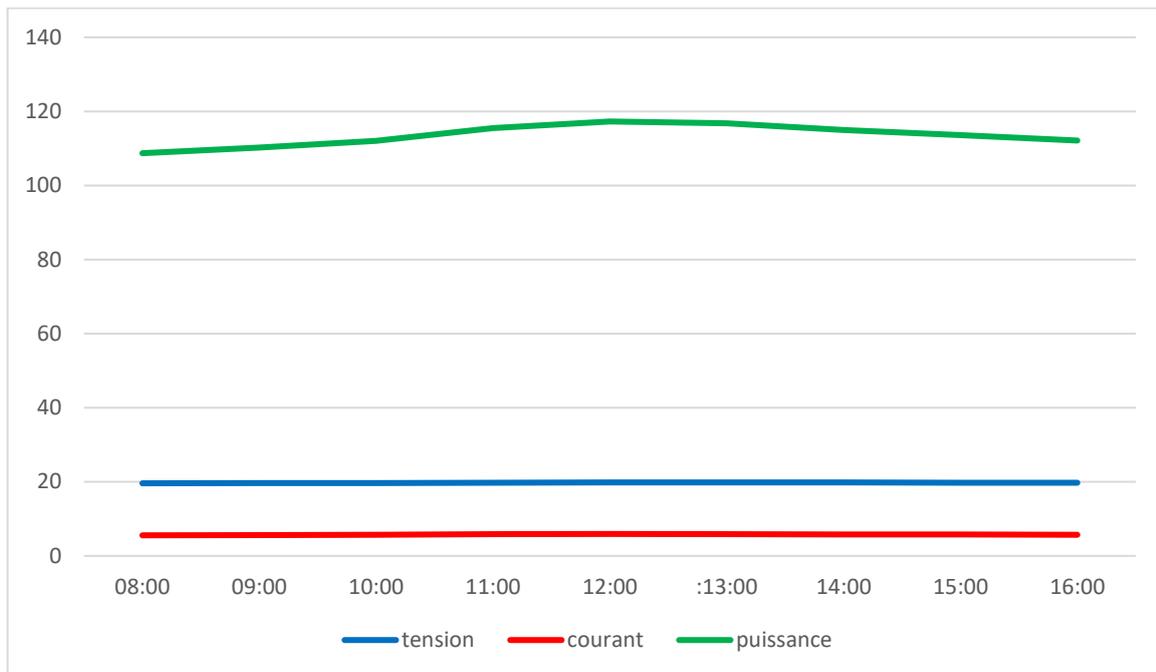


Figure 57 : Représentation de la courbe, Courant tension et puissance avec ombrage

Nous pouvons conclure immédiatement que le taux de puissance a nettement chuté, ne dépassant même pas les 120 W, contrairement aux 200 W enregistrés lors de l'essai précédent, bien que les conditions météorologiques et de température soient presque identiques pour les deux jours. Cela indique que l'ombre peut considérablement réduire le rendement en puissance des panneaux solaires.

Le mardi 21/05/2024 a été le dernier jour de la prise de mesures, mais cette fois-ci, la partie inférieure du panneau gauche a été ombrée, tandis que la température enregistrée était de 29 degrés Celsius, et en tenant compte du fait que le temps était ensoleillé. Cela signifie que les conditions étaient les mêmes que la journée précédente.



Figure 58 : Représentation de l'ombrage au deuxième essai.

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

Nous avons eu les mesures du tableau ci-dessous :

Tableau 14: Tableau qui représente les mesures du dernier essaie

Temps	Tension (V)	Puissance (W)	Ensoleillement (w/m ²)
08:00	19,59	108,72	680
09:00	19,62	110,26	682
10:00	19,69	112,04	666
11:00	19,75	115,54	679
12:00	19,81	117,28	680
13:00	19,83	116,80	685
14:00	19,79	114,98	683
15:00	19,76	113,62	680
16:00	19,74	112,12	676

Grace au tableau, nous avons pu tracer la courbe en puissance qui est ci-dessous :

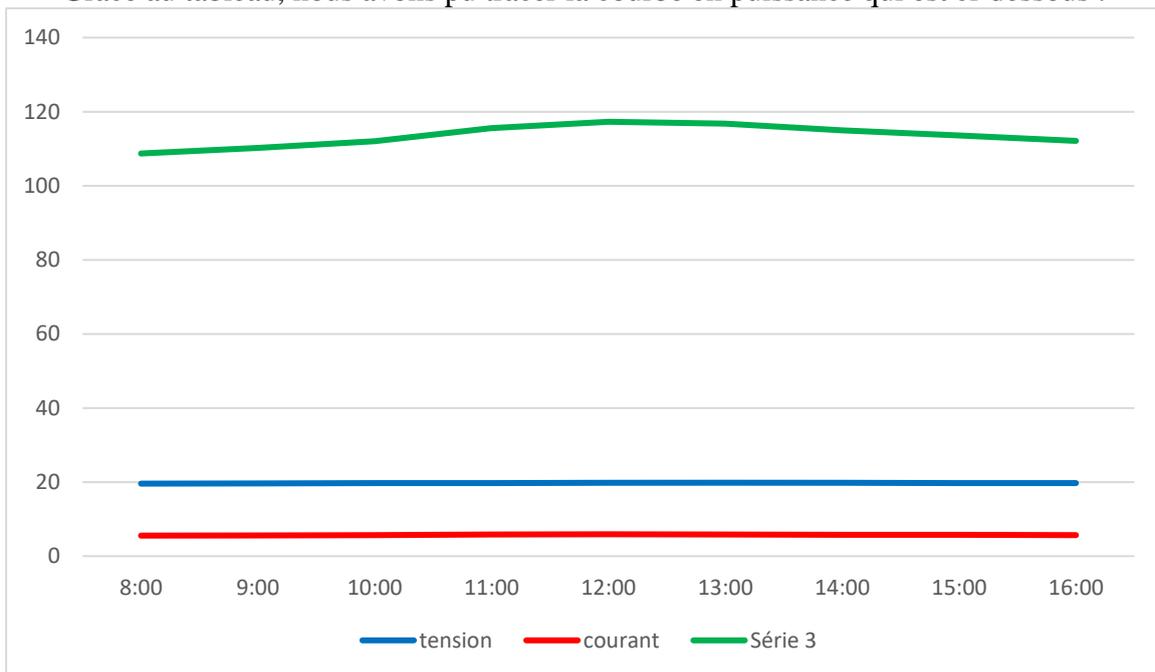


Figure 59 : Courbe représentant les mesures du deuxième essaie.

Nous avons conclu que les deux essais ont des résultats pratiquement similaires en termes de puissance, ce qui signifie que les cellules photovoltaïques ont le même rendement pour chaque panneau solaire vu qu'ils ont les mêmes caractéristiques.

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

La réalisation d'expériences sur le terrain pour étudier la surveillance des panneaux photovoltaïques a été une démarche cruciale dans notre recherche. En nous rendant au centre d'innovation à Annaba, nous avons pu obtenir des données précises sur le taux de puissance fourni par les panneaux solaires, en utilisant des capteurs électriques, et ce, sur différents jours.

Cette approche expérimentale nous a permis de recueillir des informations concrètes et pertinentes sur le comportement des panneaux solaires dans des conditions réelles. Nous avons pu observer comment divers facteurs tels que l'exposition au soleil, la température et la présence d'ombre ont influencé le rendement en puissance des panneaux photovoltaïques.

En résumé, nos expériences sur le terrain ont confirmé l'importance cruciale de la surveillance des systèmes PV pour garantir un fonctionnement optimal et une performance maximale. Ces résultats serviront de base solide pour orienter les futures recherches dans le domaine de l'optimisation et de la gestion des installations photovoltaïques.

IV.5. Surveillance d'un panneau solaire à l'aide du logiciel WatchPower

Dans le domaine des systèmes photovoltaïques (PV), la surveillance et l'analyse des performances revêtent une importance cruciale pour garantir un fonctionnement efficace et durable des installations solaires. Dans cette optique, les outils logiciels jouent un rôle essentiel en permettant une visualisation précise des données de production d'énergie solaire, ainsi qu'une analyse approfondie des paramètres clés.

Parmi les logiciels les plus utilisés dans ce domaine, WatchPower se distingue comme une solution polyvalente et puissante pour la surveillance en temps réel des panneaux solaires. Développé par des experts du secteur photovoltaïque, WatchPower offre une gamme étendue de fonctionnalités permettant aux utilisateurs de suivre de près les performances de leurs systèmes PV, d'identifier les éventuels problèmes et de prendre des mesures correctives rapidement.

À travers cette analyse approfondie, nous mettrons en lumière l'importance de WatchPower dans l'optimisation des performances des systèmes PV, la réduction des temps d'arrêt et des coûts d'entretien, et la maximisation du rendement énergétique global. Enfin, nous soulignerons les tendances émergentes dans le domaine de la surveillance des installations photovoltaïques, et le rôle essentiel que des outils comme WatchPower joueront dans l'avenir de l'énergie solaire.

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

IV.5.1. Caractéristique du Watch power :

- Les données des périphériques sont automatiquement acquises en temps réel et sauvegardées de manière sécurisée dans un journal.
- Les données de chaque appareil sont affichées graphiquement pour permettre une lecture rapide et facile.
- Le logiciel envoie des notifications d'alerte et d'alarme par messagerie mobile, message vocal et e-mail en cas de défaut.
- Les statistiques des événements peuvent être facilement diagnostiquées.
- Il est possible de suivre à distance le système photovoltaïque via l'application Watch Power sur un téléphone Android, en utilisant la connectivité Bluetooth ou Wifi.
- La possibilité de la surveillance de plusieurs onduleurs simultanément en configurant les paramètres adéquats.

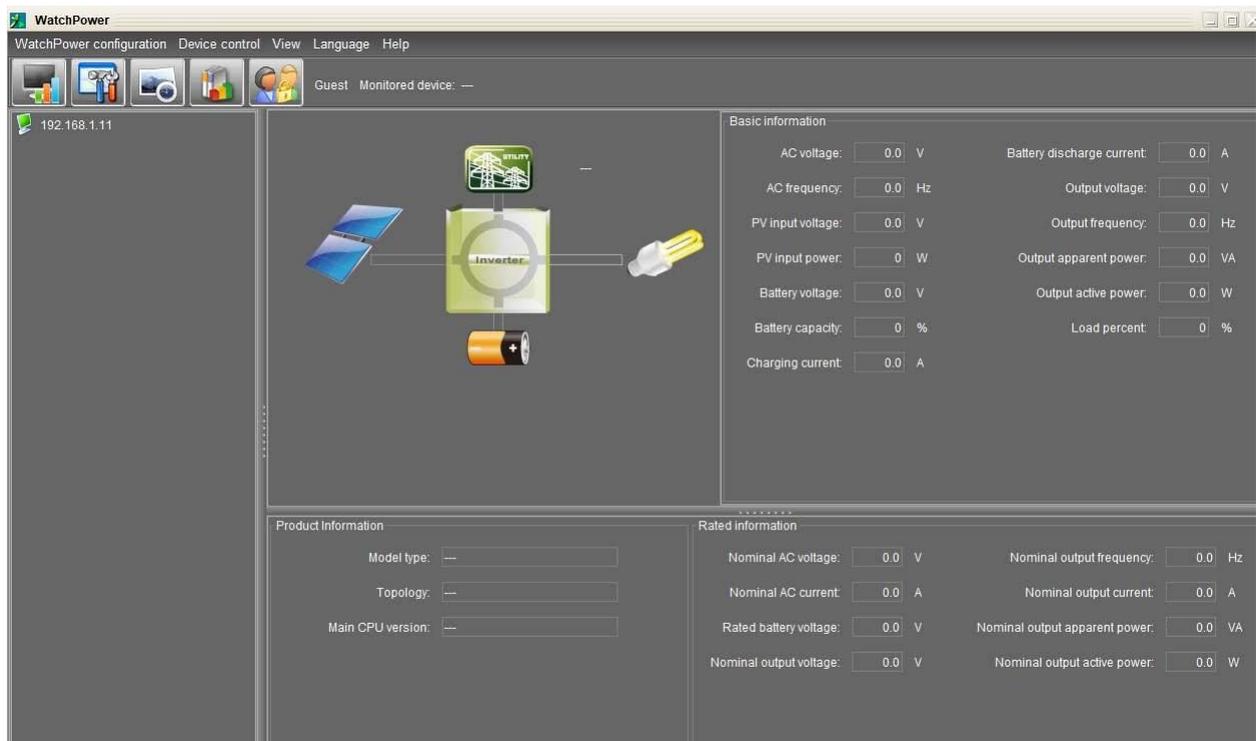


Figure 60 : Interface principale du logiciel WatchPower.

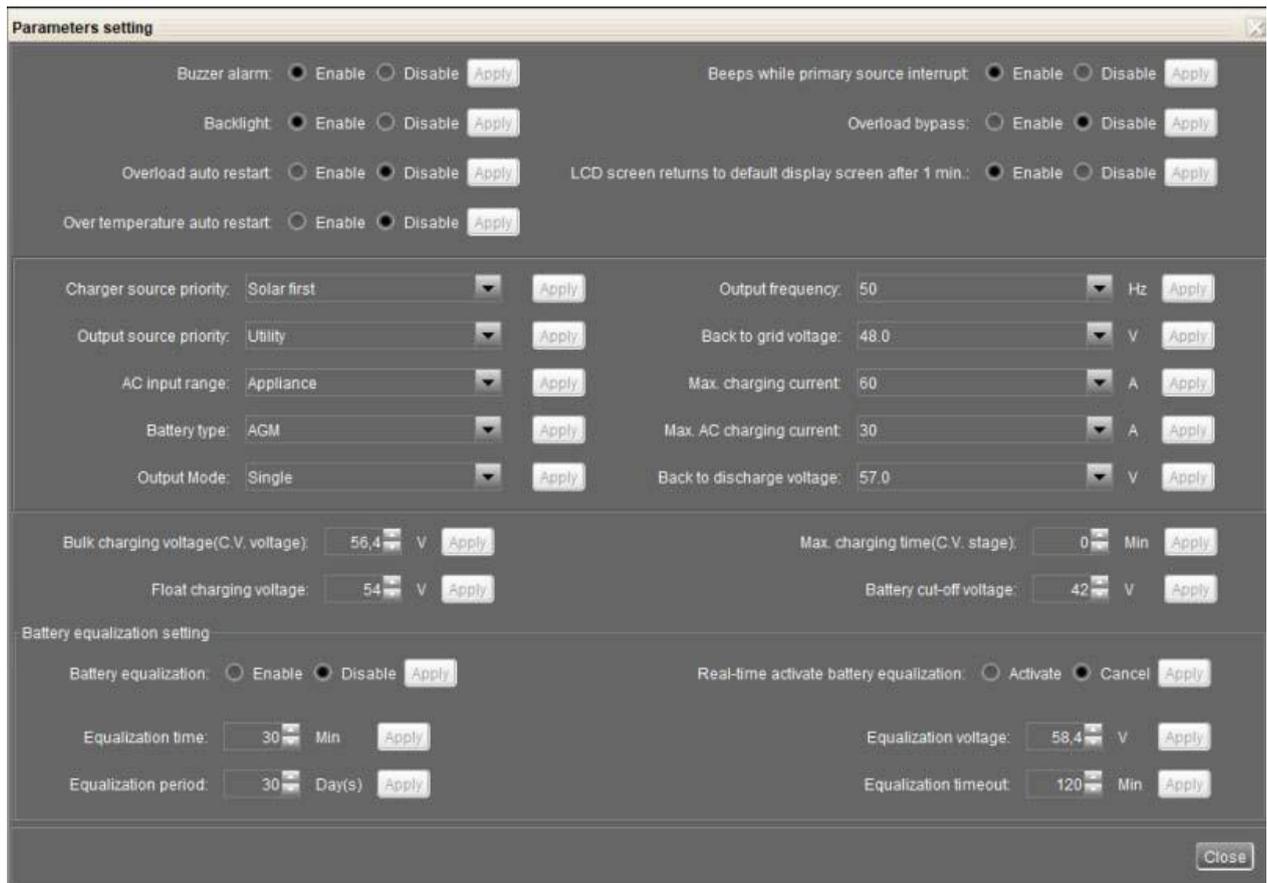


Figure 61 : Configuration des propriétés de l'onduleur.

IV.5.2. Flux de puissance et signification :

Mode de mise sous tension et de veille : L'onduleur n'alimente pas la charge tant que l'interrupteur "ON" n'est pas activé. Cela permet à la source PV de charger la batterie même en mode veille.



Figure 62 : Mode mise sous tension.

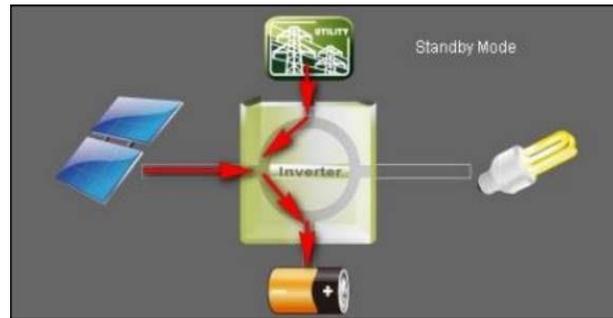


Figure 63 : Mode veille.

Mode ligne : la charge du réseau est alimentée par l'onduleur, le réseau qualifié ou la source PV peut charger la batterie.

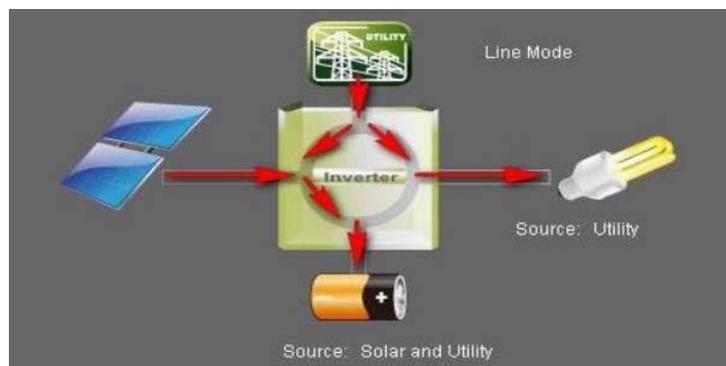


Figure 64 : Mode ligne

Mode batterie : La charge de la batterie ou du panneau PV sera alimenté par l'onduleur. Cependant seule une source PV est capable de charger la batterie.

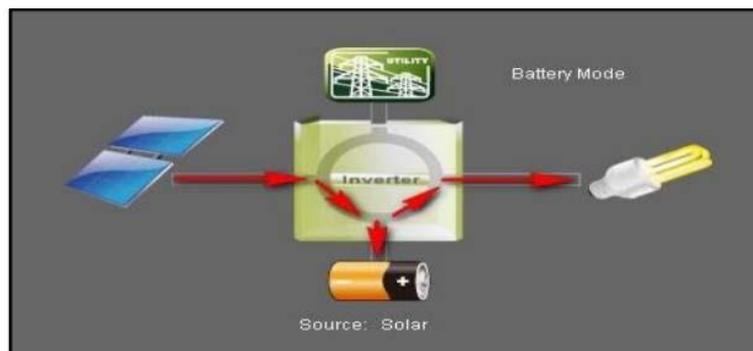


Figure 65 : Mode batterie.

Mode défaut : l'onduleur à certains défauts qui l'empêchent de générer toute la sortie de la puissance. la batterie peut être toujours être chargée par le réseau qualifié ou la source PV.

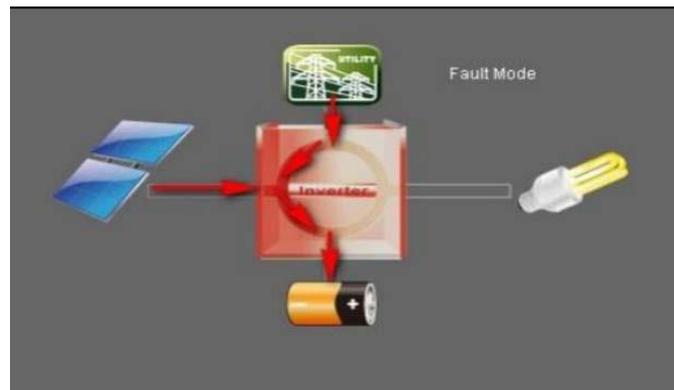


Figure 66 : Mode défaut.

Connexion du WatchPower avec application : wifi Pour surveiller les installations PV à distance à travers des applications Android ou IOS en utilisant le WI-FI.



Figure 67 : WatchPower en utilisant l'application mobile

IV.5.3. Surveillance et diagnostics d'une installation PV par le logiciel Watch Power

Nous avons effectué un suivi de performance d'une installation composé de 8 panneaux solaire pendant une journée ensoleillé du 05/06/2024, le suivi a été effectuée pendant 24h afin de suivre la production énergétique du panneau solaire.

Au cours de ce suivi nous avons enregistré plusieurs paramètres tels que la température, la tension, la puissance ainsi que le courant ont été enregistré dans un intervalle de temps de 1h jusqu'à 15h

Ces données ont été interpréter pour évaluer la performance globale de l'installation et pour déterminer les défauts courants et les problèmes qui peuvent affecter son efficacité.



Figure 68 : Générateurs PV solaire de 8 panneaux de 48V (connexion mixte).



Figure 69 : Représentation de la connexion de 8 panneaux.



Figure 70 : Plaque signalétique des panneaux.

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

Nous avons fait nos expériences sur une installation photovoltaïque contenant quatre panneaux de 250W (cas d'application), les caractéristiques de chaque panneau est résumé dans le tableau ci-dessous.

Caractéristique électrique	
Puissance maximal produite par le panneau (P_m)	250W
Courant de court-circuit (sans charge) (I_{sc})	9.2A
Tension maximale produise par panneau (V_{mpp})	30V
Intensité maximale produise par panneau (I_{mpp})	8.47A
Tension maximale du système (V_{max})	1000VDC



Figure 71 : Régulateurs MPPT



Figure 72 : Branchement de 4 batteries de 12V en série

Caractéristique	Signification
Nom du modèle	RG-MS5000-48
Couleur	Argent et noir
Plage de température de fonctionnement	0-55°C
Mode inverseur	
Puissance nominale	5000VA/5000W
Entrée DC	48VDC, 117A
Sortie AC	230VAC, 50/60Hz, 22A, 1φ
Mode chargeur AC	
entrée AC	230VAC, 50/60Hz, 35A, 1φ
Sortie DC	54VDC
Courant de sortie DC max	60A, par default 30A
Sortie AC	230VAC, 50/60Hz, 22A, 1φ
Mode chargeur solaire	
Courant nominal	80A
Tension du système	48VDC
Tension solaire minimale	40VDC
Tension solaire maximale	145VDC



Figure 73 : Onduleur hybride utilisé.

IV.5.4. La connexion avec le logiciel WatchPower :

Les résultats obtenus de la période de surveillance de l'installation sont si dessus :

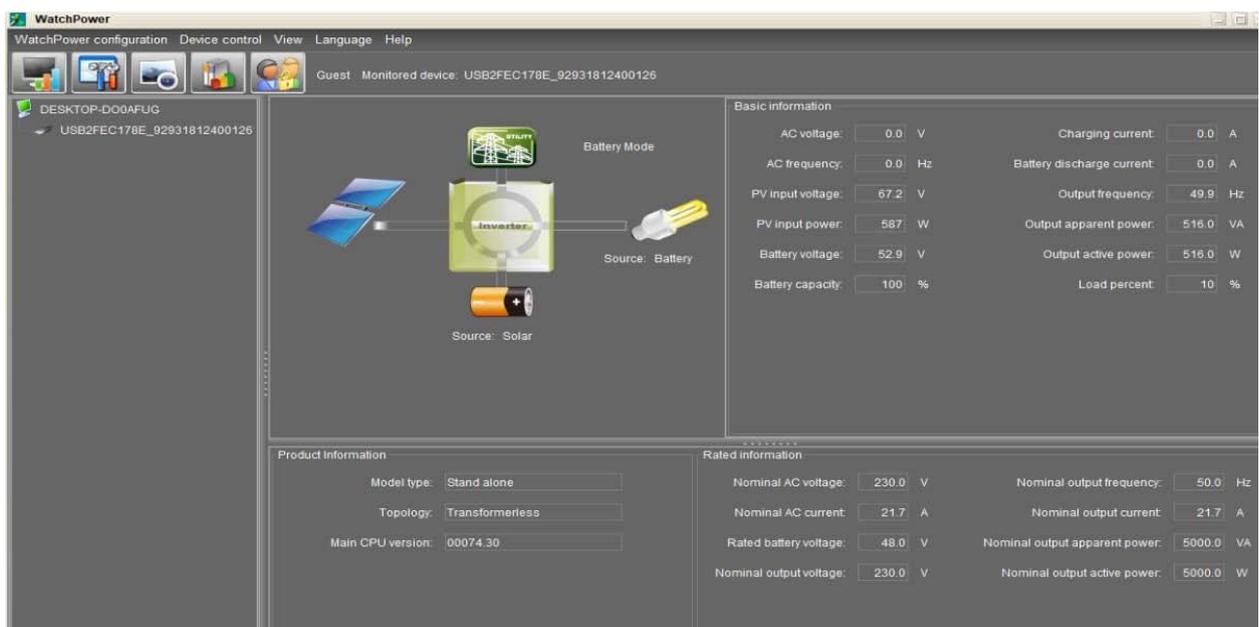


Figure 74 : L'interface du WatchPower connecté avec l'installation.

Les informations basiques et nominales de l'installation PV étudiée ont donné par le logiciel Watch Power si dessus :

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV



Figure 75 : Les informations basiques



Figure 76 : Les informations nominales

Résultats donnés par le logiciel :



Figure 77 : Tension en AC

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

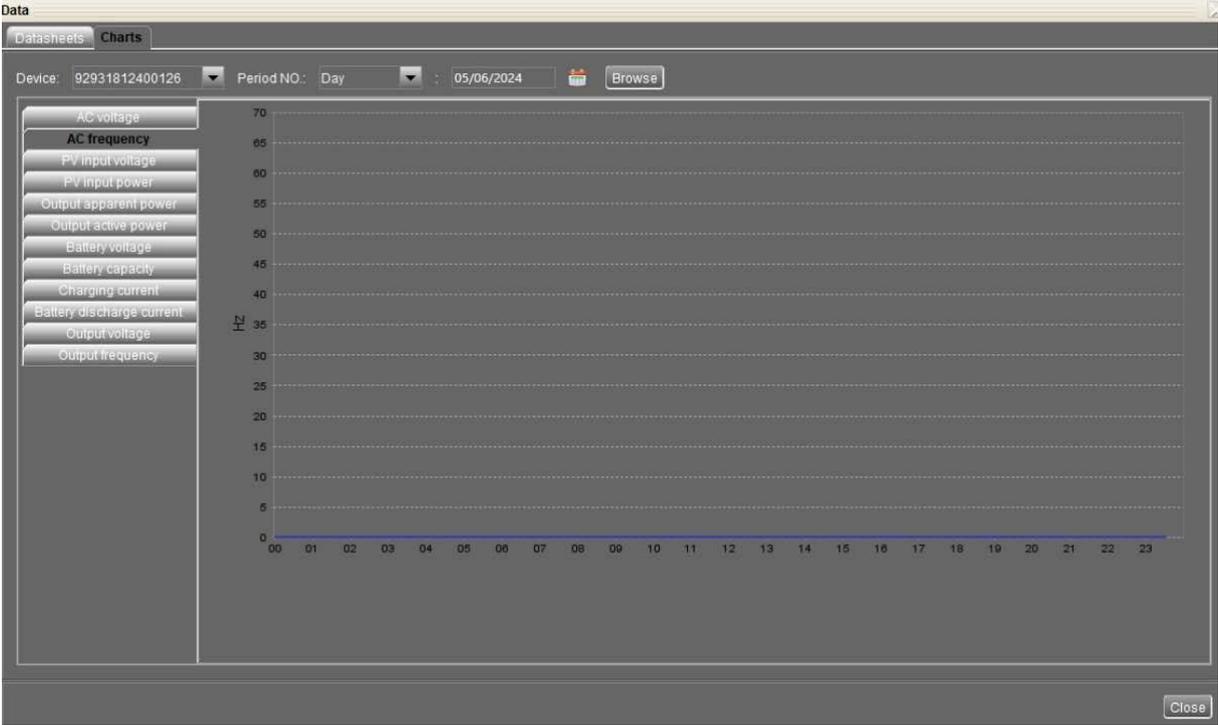


Figure 78 : Fréquence en AC



Figure 79 : Tension d'entrée de l'installation PV

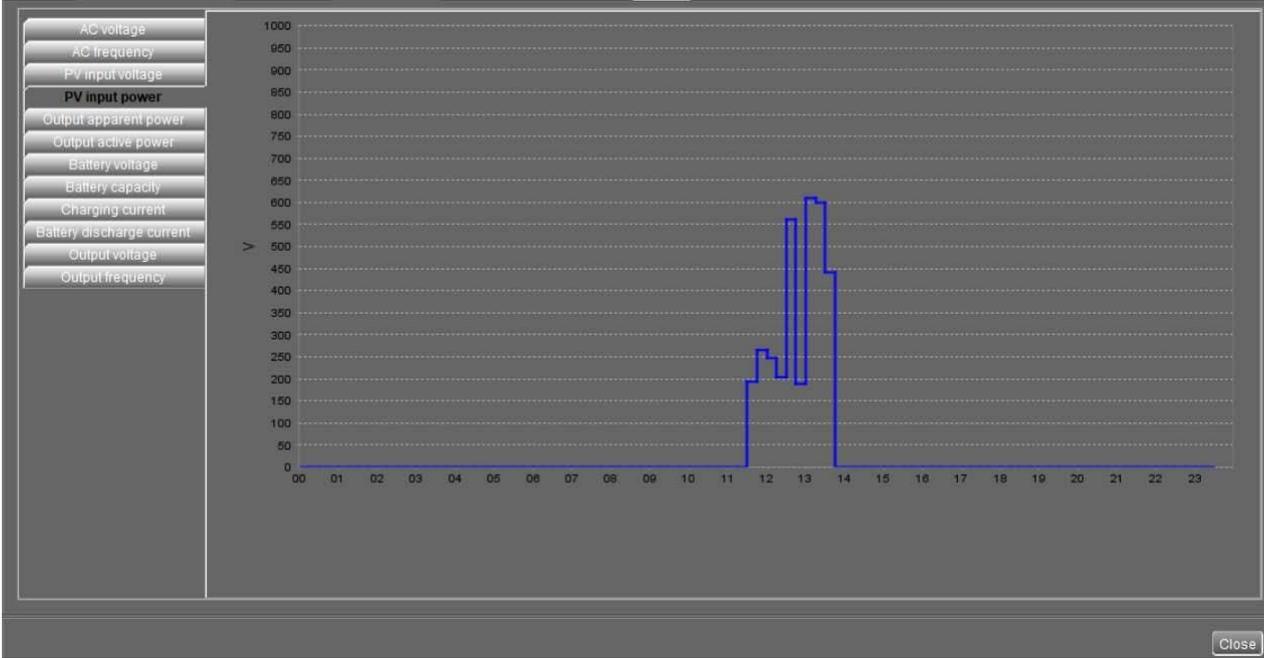


Figure 80 : La puissance d’entrée de l’installation PV



Figure 81 : La puissance apparente de la sortie

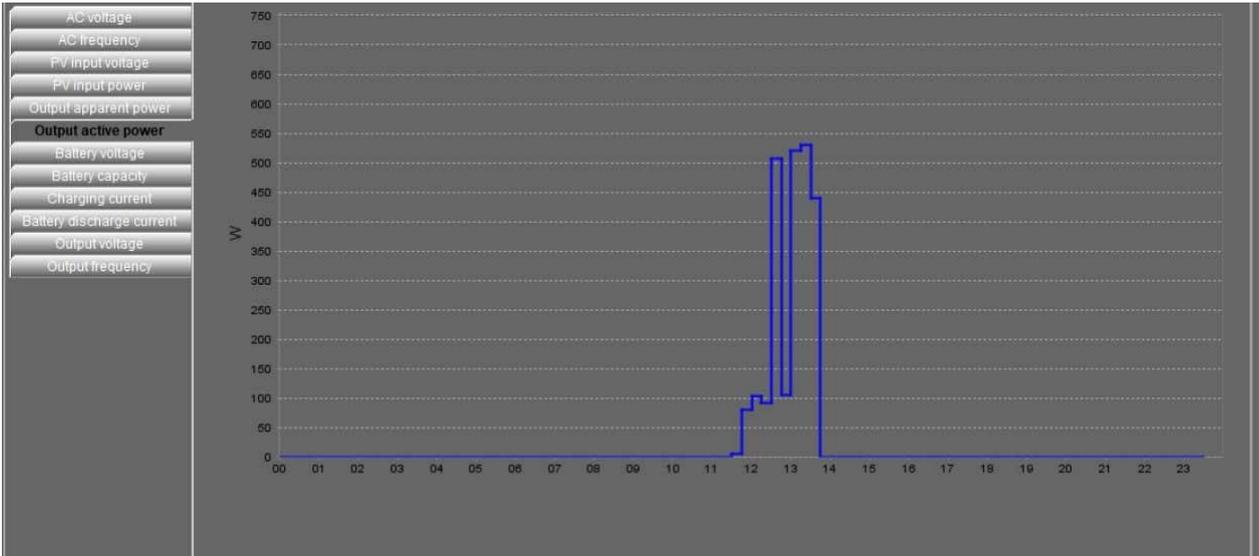


Figure 82 : Puissance active de la sortie



Figure 83 : La tension de la batterie

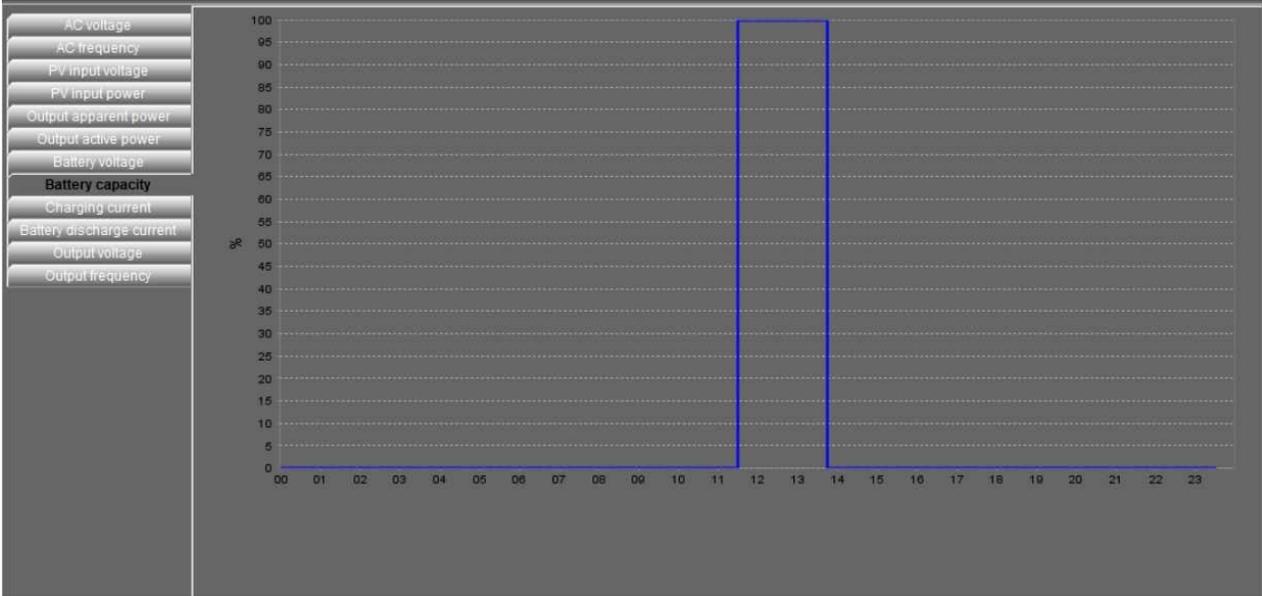


Figure 84 : La capacité de la batterie.

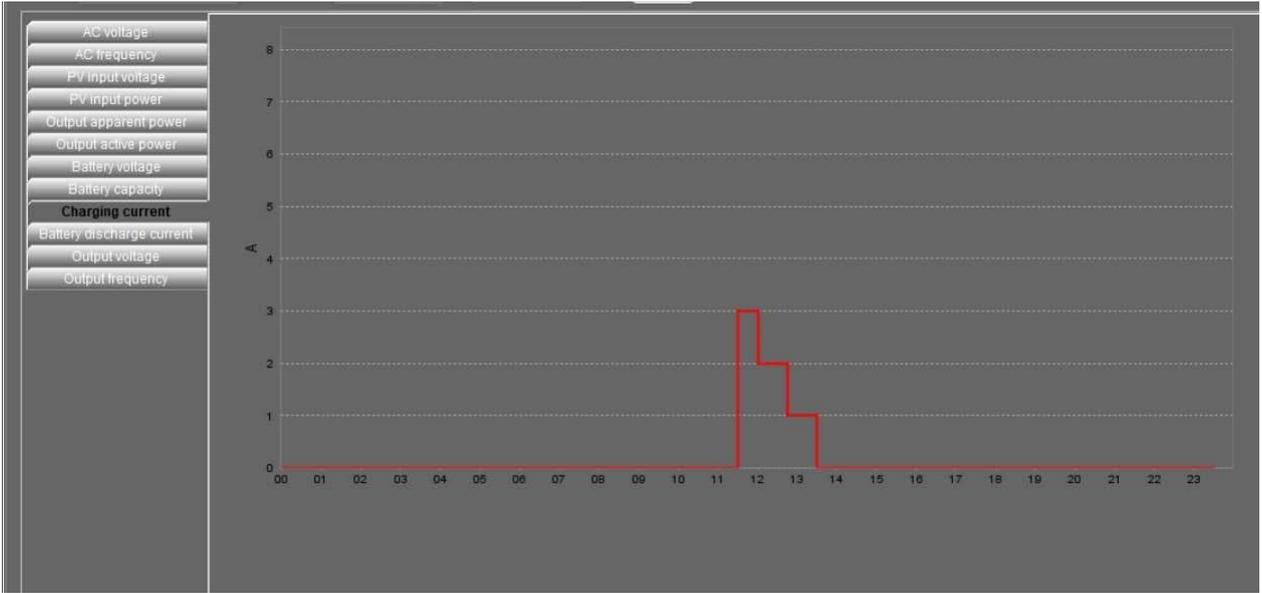


Figure 85 : Le courant de charge

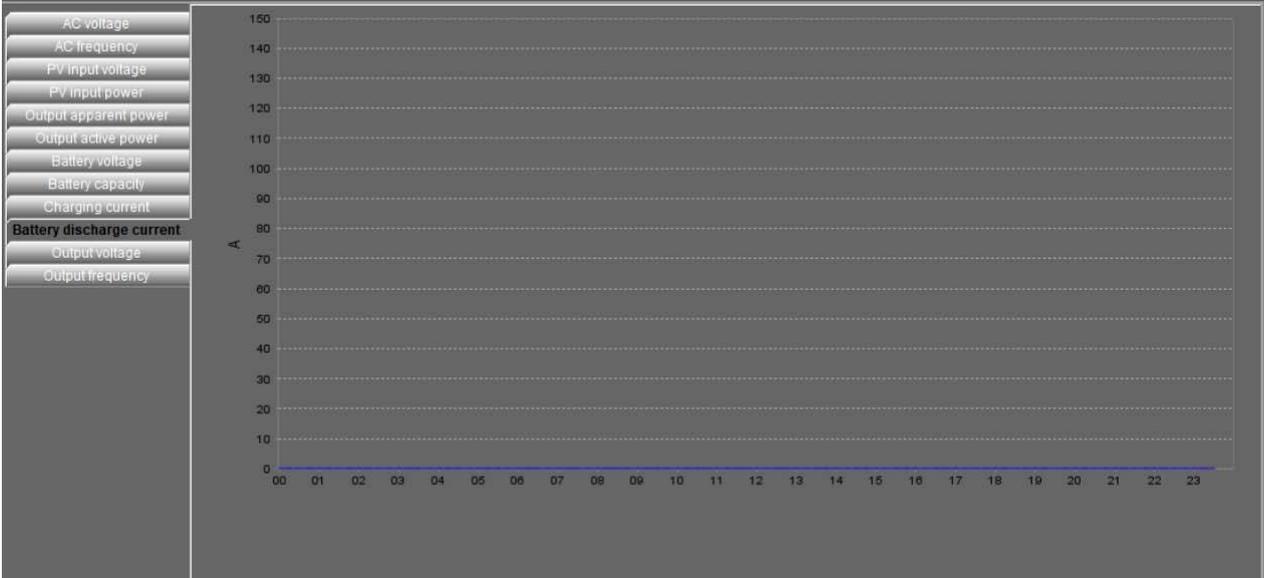


Figure 86 : Courant de décharge de la batterie

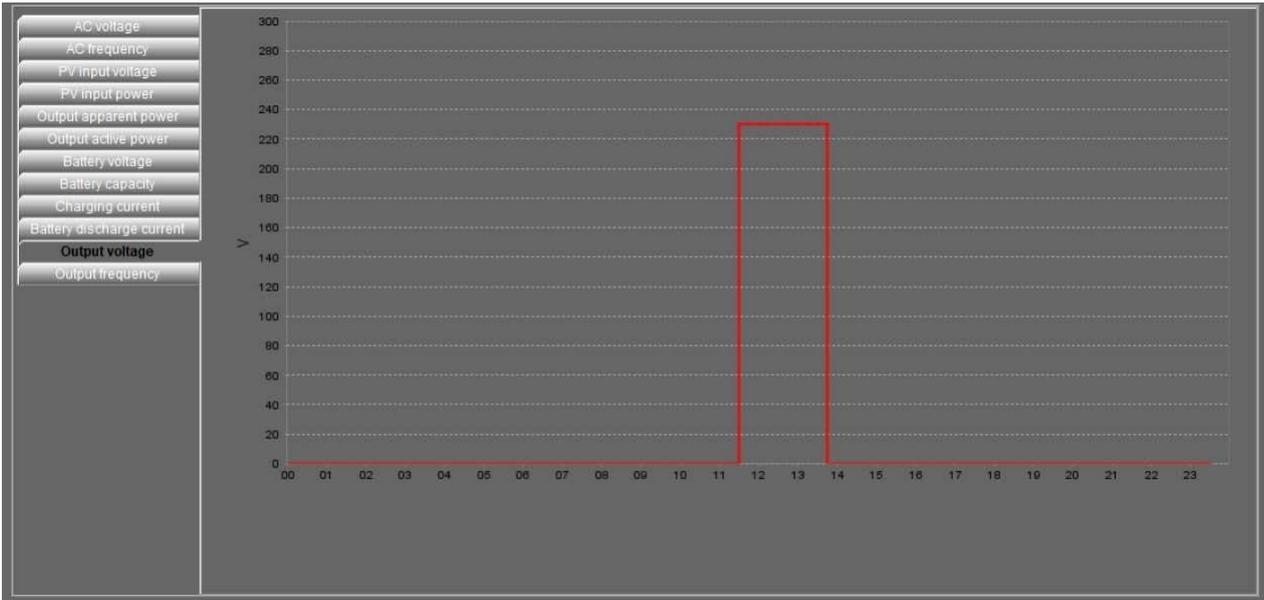


Figure 87 : Tension de sortie

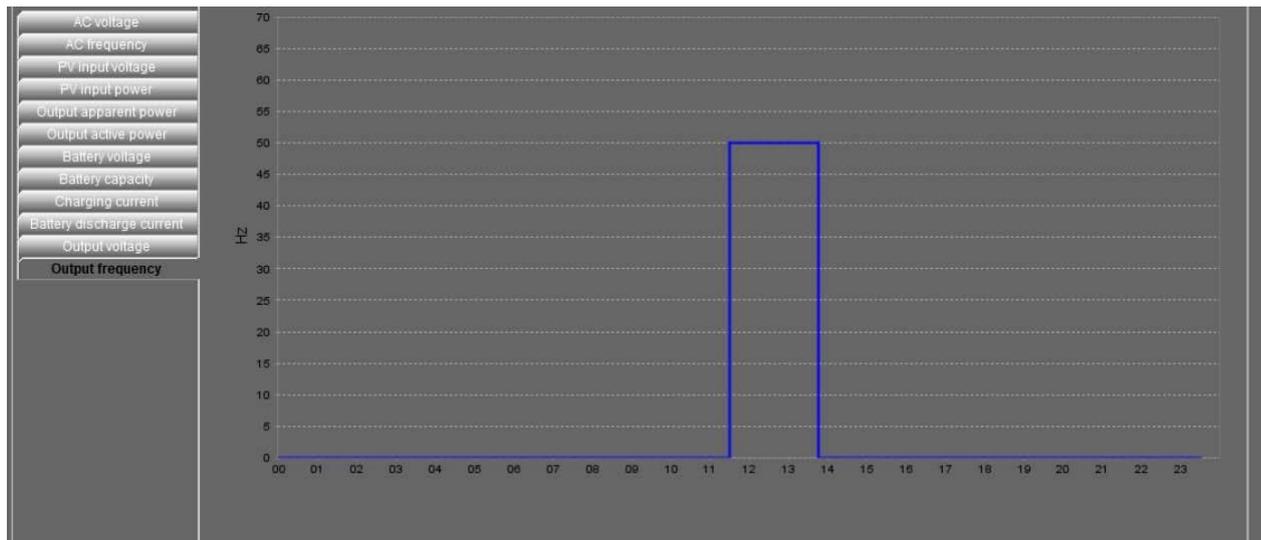


Figure 88 : Fréquence de sortie

IV.6. Interprétation des résultats

Pendant la période d'étude, la tension et la fréquence en courant alternatif sont restées à zéro, car aucune consommation d'énergie électrique n'a été enregistrée. Cette observation a eu lieu tôt le matin, lorsque les dispositifs connectés n'étaient pas encore en utilisation. En revanche, la tension de sortie générée par les cellules photovoltaïques du panneau solaire a montré une variation significative en fonction de l'intensité de l'ensoleillement. Aux alentours de midi, lorsque l'ensoleillement est à son maximum, la tension de sortie a atteint un pic de 71V. Cela correspond à la période de la journée où le taux d'irradiance solaire est le plus élevé.

La puissance active d'entrée, mesurée à 587W, et la puissance active de sortie, mesurée à 516W, indiquent que le Maximum Power Point Tracker (MPPT) assure une conversion efficace entre le générateur photovoltaïque (PV) et la charge. Le MPPT optimise en effet le point de fonctionnement du système pour maximiser l'énergie transférée.

Cependant, il y a une différence notable de puissance d'environ 1413W entre la puissance nominale des panneaux solaires (2000W) et la puissance d'entrée mesurée (587W). Cette différence significative peut être attribuée à divers facteurs de dégradation observés dans l'installation. Parmi ces facteurs, on peut citer la délamination, qui est la séparation des couches du panneau solaire, et les fissures cellulaires, qui sont des cassures dans les cellules

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

photovoltaïques. Ces dégradations réduisent l'efficacité des panneaux en limitant leur capacité à convertir l'énergie solaire en énergie électrique.

En résumé, bien que le MPPT fonctionne de manière efficace en maximisant la conversion de l'énergie disponible, l'état dégradé des panneaux solaires impacte fortement la quantité d'énergie qu'ils peuvent produire, ce qui explique la grande différence entre la puissance nominale et la puissance d'entrée mesurée.

Pendant la période d'observation, la tension des batteries a oscillé entre 54V et 55V, ce qui est resté dans l'intervalle de tension admissible pour ces batteries. Cette plage de tension indique que les batteries fonctionnaient correctement, à l'exception de deux pics de tension. La capacité des batteries est restée à 100 %, car il n'y a pas eu de consommation d'électricité pendant cette période.

Pourtant, afin de prolonger la durée de vie des batteries et éviter les dommages, il est recommandé de ne pas les charger à plus de 95 %. Une surcharge excessive peut effectivement réduire leur durée de vie en diminuant la capacité de stockage et en compromettant leur performance lorsqu'elles sont nécessaires. En maintenant la charge à un niveau optimal, on prévient la dégradation prématurée des batteries et on assure leur efficacité à long terme.

Oscillation de la Tension : La tension fluctuait entre 54V et 55V, montrant une stabilité dans l'intervalle acceptable pour les batteries, avec seulement deux exceptions de pics de tension.

Capacité des Batteries : Les batteries sont restées à pleine capacité (100 %) puisque aucune électricité n'a été utilisée durant l'observation.

Conseils pour la Durée de Vie : Il est conseillé de ne pas charger les batteries à plus de 95 % pour éviter les surcharges, qui peuvent réduire la durée de vie et la capacité de stockage des batteries.

Maintenir les batteries dans cette plage de charge optimale est crucial pour assurer leur longévité et leur performance future.

Les résultats observés revêtent une importance significative, car ils offrent des données essentielles sur la performance et l'efficacité de l'installation photovoltaïque examinée. Ils permettent une évaluation précise des processus de dégradation potentielle des panneaux solaires et des batteries, fournissant ainsi des indications cruciales pour la maintenance et le remplacement éventuel des composants.

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

IV.7. Partie pratique :

Dans le contexte de l'évolution énergétique et de la recherche de solutions durables, l'intégration des panneaux solaires dans les systèmes énergétiques autonomes joue un rôle crucial. L'objectif de ce travail est d'étudier comment ces composants interagissent pour fournir une alimentation électrique fiable et efficace, en particulier dans des environnements où l'accès à l'électricité conventionnelle est limité ou inexistant.

IV.7.1. Objectifs du travail

Le recours aux panneaux solaires pour la production d'électricité présente de nombreux avantages, notamment leur durabilité, leur faible impact environnemental et leur disponibilité dans de nombreuses régions du monde. Cependant, pour exploiter pleinement leur potentiel, il est essentiel d'intégrer ces panneaux dans des systèmes comprenant des composants tels que des régulateurs de charge, des batteries et des dispositifs de ventilation pour assurer un fonctionnement optimal et prolonger leur durée de vie.

Le moteur placé au ventilateur est présenté ci-dessous :



Figure 89 : Représentation du moteur installée au ventilateur

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

Le moteur utilisé a une puissance nominale de 80W, 3 nombres de pales, une tension nominale de 12V, un courant de 6.66A.

Tableau 15: Caractéristique du moteur utilisé

Puissance nominal	80W
Nombre de pales	3
Tension nominal	12V
Courant	6.66A

Utilisant une batterie de 12V, elle permettra de gardé le système autonome et conservera de l'énergie en cas de diminution du de l'énergie photovoltaïque.



Figure 90: Batterie de 12V utilisée.

Enfin, le régulateur permettra de changer l'énergie utilisé par le ventilateur entre celle produite par le panneau solaire ou l'énergie de la batterie conservée.



Figure 91 : Le régulateur utilisé

IV.7.2. Matériaux et méthodes

Les principaux composants du ventilateur sur pied alimenté par énergie solaire se composent des éléments suivants, comme illustré à la Figure ci-dessous. Tous les dessins des figures ont été réalisés à l'aide du logiciel de conception assistée par ordinateur, car il est rapide et plus efficace pour modifier et ajuster toute partie du dessin.



Figure 92 : Vue d'ensemble de l'installation

IV.7.3. Notre intervention pratique

Notre rôle dans ce projet a débuté par la mise en place des panneaux solaires polycristallins, de la marque SolarWorld suivie de l'installation du régulateur DC-DC pour convertir efficacement l'énergie solaire en une tension adaptée pour charger la batterie. Ensuite, nous avons établi la connexion directe entre le régulateur et la batterie de 12V et de 50Ah pour assurer une alimentation continue. Enfin, nous avons ajouté un ventilateur à cette configuration, permettant ainsi une régulation efficace de la température.

Les caractéristiques du panneau solaire est donné ci-dessous :

Caractéristique	Signification
Nom du module	Solar World
Couleur	Bleu et argent
Tension nominal	17.9 V
Courant nominal	4.76 A
Classe d'application	A
Tension max du système	1000 V DC (Classe A), 600 V DC (USA NEC)
Câblage sur site	Cuivre uniquement, isolé 12 AWG pour 90°C minimum

Le diagramme ci-dessous représente la méthode de connexion de notre système :

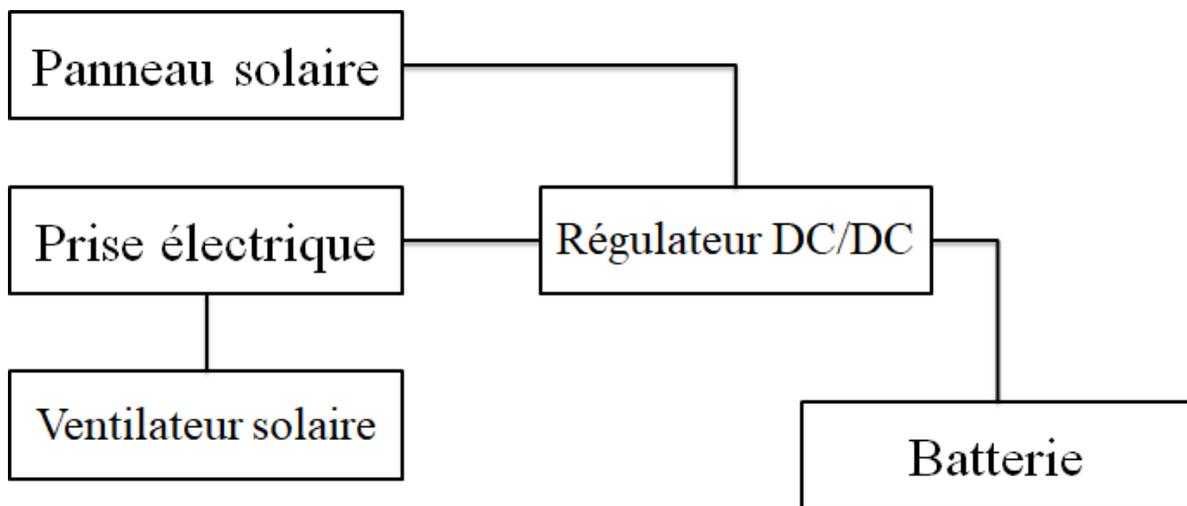


Figure 93 : Diagramme représentant l'installation du système

Dans un système photovoltaïque (PV), le régulateur de charge protège la batterie contre la surcharge et la décharge excessive, optimise la gestion de l'énergie (souvent avec la technologie MPPT), et assure la stabilité de la tension pour protéger et prolonger la durée de vie des composants du système.

La batterie stocke l'énergie produite par les panneaux solaires pour une utilisation ultérieure, fournit une alimentation électrique stable en l'absence de production solaire (comme la nuit ou par temps nuageux), et aide à réguler la tension et la puissance pour alimenter les appareils de manière fiable.

IV.7.4. Analyse de la conception

La conception de ce ventilateur sur pied alimenté par énergie solaire doit avoir quelque caractéristique importante pour bien fonctionner.

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

Le ventilateur DC de 30 W est prévu pour fonctionner pendant 8 heures par jour. Par conséquent, la consommation quotidienne d'énergie est calculée comme suit :

$$\text{consommation quotidienne d'énergie} = 240 \text{ Wh}$$

✓ **Calcul des Panneaux Solaires**

Pour alimenter ce ventilateur, nous devons choisir des panneaux solaires capables de fournir au moins 240 Wh par jour. La taille des panneaux solaires dépend de plusieurs facteurs, notamment l'ensoleillement quotidien moyen (en heures de pointe solaire) dans l'emplacement où le système sera installé. Supposons que l'emplacement reçoit en moyenne 8 heures de pointe solaire par jour.

La puissance nécessaire des panneaux solaires:

$$\text{puissance des panneaux solaire} = 48 \text{ wh}$$

✓ **Sélection des Panneaux Solaires**

Il est conseillé de choisir des panneaux solaires avec une certaine marge de sécurité pour compenser les pertes d'efficacité et les variations des conditions météorologiques. Un panneau solaire de 50 W à 60 W devrait être suffisant pour cette application.

✓ **Calcul de la Capacité de la Batterie**

Pour assurer que le ventilateur fonctionne même pendant les jours nuageux, une batterie avec une capacité suffisante pour stocker l'énergie nécessaire est requise. Supposons une autonomie de 2 jours sans soleil.

$$\text{capacite de la batterie} = 480 \text{ wh}$$

IV.7.5. Etude de la puissance du ventilateur solaire

Dans cette étude nous avons étudié la puissance produite par le ventilateur solaire et pour cela nous avons utilisé deux panneaux solaires polychristallin connecté à un régulateur et une batterie, nous avons ensuite mesurer la tension et le courant afin de mesurer la puissance du ventilateur.

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

Nous avons pu ainsi mesurer la tension et le courant et nous avons obtenu le tableau suivant :

Tableau 16 : Tableau représentant le courant tension puissance en fonction du temps

Temps	Courant(A)	Puissance(w)	Ensoleillement(w/m ²)
11 :00	1,48	32,91	749
11 :15	1,5	33,37	755
11 :30	1,47	32,7	757
11 :45	1,49	33,15	760
12 :00	1,51	33,59	761
12 :15	1,52	33,83	762
12 :30	1,45	32,62	763
12 :45	1,44	32,25	765
13 :00	1,41	31,44	764
13 :15	1,37	30,55	763
13 :30	1,34	29,74	762

Chapitre IV : La surveillance des systèmes PV

Le tableau ci-dessus nous a permis de tracer les courbes suivantes :

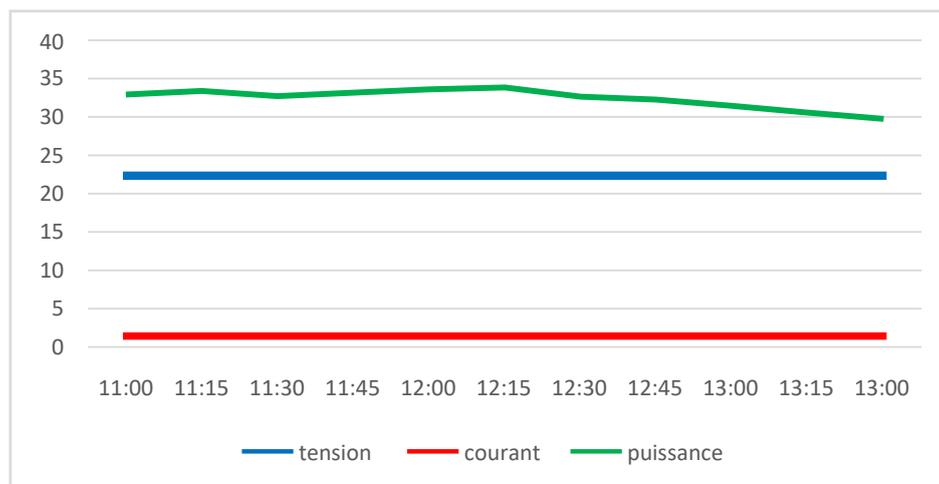


Figure 95: Représentation graphique de la puissance, le courant et la tension du ventilateur solaire (VS).

➤ Interprétation des résultats

Nous constatons que le pique de la puissance a été enregistré à 12H15 (le pique de l'ensoleillement générale), après cela nous remarquons une baisse continue de la puissance. La baisse continue de la puissance après ce pic peut être due à plusieurs facteurs, tels que :

- **Déplacement du soleil :** Après-midi, le soleil commence à se déplacer vers l'ouest, ce qui peut entraîner une diminution progressive de l'ensoleillement direct sur les panneaux solaires.
- **Effets météorologiques :** Des nuages ou d'autres conditions météorologiques peuvent réduire l'intensité de la lumière solaire, diminuant ainsi la puissance générée.
- **Température des panneaux :** Les panneaux solaires peuvent devenir plus chauds à mesure que la journée avance, ce qui peut réduire légèrement leur efficacité.

En conclusion, il semble que les résultats indiquent une forte dépendance de la puissance générée par le système solaire photovoltaïque sur l'ensoleillement, avec une diminution graduelle de la puissance après le pic de midi.

IV.8. Objectifs et résultats

L'objectif principal était d'évaluer les performances de ce système intégré, en mesurant la production d'énergie solaire, la charge de la batterie, la consommation énergétique du ventilateur. Les résultats obtenus ont permis de constater une amélioration significative de l'efficacité globale du système, ainsi qu'une meilleure gestion de la température, contribuant ainsi à son fonctionnement optimal dans différentes conditions environnementales.

IV.9. Conclusion

En résumé, notre intervention pratique dans ce projet a permis de concrétiser une configuration novatrice pour les systèmes d'énergie solaire autonomes. En combinant nos efforts avec les recherches théoriques, nous avons réussi à améliorer la performance et la fiabilité de cette installation, ouvrant ainsi la voie à de futures applications dans le domaine des énergies renouvelables et durables.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

En conclusion, cette étude a mis en évidence l'importance cruciale de la surveillance et du diagnostic des systèmes photovoltaïques pour garantir leur performance, leur fiabilité et leur durabilité à long terme. Nos résultats ont souligné que l'intégration de technologies avancées offre un potentiel considérable pour améliorer la surveillance en temps réel, le diagnostic des anomalies et la maintenance préventive des installations photovoltaïques. Cependant, des défis persistent, notamment en ce qui concerne la standardisation des protocoles de surveillance, la gestion des données massives générées et l'optimisation des coûts.

En conclusion, cette mémoire met en lumière l'urgence et l'opportunité d'approfondir nos connaissances et nos pratiques dans le domaine de la surveillance et du diagnostic des systèmes photovoltaïques, en vue de maximiser leur efficacité, leur durabilité et leur contribution à une transition énergétique durable.

Références
Bibliographiques

Bibliographie

- [1] N.Touil, S.Ghenbazi, «Modélisation et Simulation d'un Système Photovoltaïque », Master Académique, Université Echahid Hama Lakhder, El-Oued ,Septembre 2015.
- [2] S.M.Ait-Cheikh, «Etude Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués Aux systèmes photovoltaïques», Thèse de Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2007.
- [3]M.Adouane, «Etude et conception d'une stratégie de commande d'un onduleur connecté au Réseau électrique», Mémoire de magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.
- [4] N. Anbouchabana, « Etude d'une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT », Ecole Doctorale Energie renouvelable, Ecole Nationale Polytechnique, Alger,2008.
- [5]Y.Djadi, B Ebabaissa, « Simulation et réalisation d'un MPPT appliqué à un système de Pompage photovoltaïque », Mémoire de fin d'étude ENP Alger, 2012.
- [6] A.Ferrai, « Dimensionnement des Infrastructures Utilisant Diverses Sources Énergétiques Renouvelables Potentielles pour l'Alimentation Electrique d'un Village», Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2008.
- [7] M.Derbal, N.Debbah, « Étude et Commande d'un Système Hybride Eolien Photovoltaïque Connecté au Réseau avec Stockage. Contribution à l'Amélioration de la Qualité de l'Énergie », Mémoire du projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme D'Ingénieur d'Etat en Électrotechnique, École Nationale Polytechnique, Alger, Juin 2013.
- [38] M.R.Yaiche, A. Bouhanik, « Atlas Solaire Algérien », Ministère de l'enseignement Supérieur Et de la recherche scientifique direction générale de la recherche scientifique et du développement Technologique centre de développement des énergies renouvelables, dépôt légal 2002
- [8] Ministère de L'énergie et des Mines-Guide Des Energies Renouvelables, potentiels national Des énergies renouvelables.
- [9] S.Zeggaoui, « Stockage de l'énergie Solaire », Master en Electronique, Ecole Nationale Polytechnique 10, Avenue Hacén Badi, El-Harrach, Alger, Algérie, 2013.
- [10] M.N.Mchalikh, CH.Hmada, «Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en Fonctionnement autonome et connecté au réseau », Mémoire de Master, Université KasdiMerbah,Ouargla, 2013.
- [11] A. Moummi, N. Hamani, N. Moummi & Z. Mokhtari, «Estimation du rayonnement solaire Par deux approches semi empiriques dans le site de Biskra »,8ème séminaire

international sur la Physique énergétique, centre universitaire de Bechar, Algérie, novembre 2006.

[12] L.Kemmouche, «Module de fonctionnement d'une station solaire photovoltaïque en Préviation de panne », Mémoire de magistère, Université de Constantine, année 2002.

[13] F.Hananou, A.Rouabah, « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque », Master Académique, Université KasdiMerbah,Ouargla, 09 /06/2014.

[14] S.Zahra,CH.Makhlouf ,« Etude et simulation d'un générateur photovoltaïque Muni d'un Convertisseur MPPT pour une Meilleur Gestion Energétique », Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf – M'SILA,2016/2017.

[15] M. Dahbi, « Etude et optimisation d'une installation Hybride PV-Eolienne Autonome », Mémoire de magister, option physique énergétique, 2007.

[16] C.Cabal, « Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la Conversion photovoltaïque », Thèse du doctorat, Université TOULOUSE III – PAUL SABATIER, 15 Décembre 2008.

[17] K.Tabet, «Etude, Modélisation et optimisation des systèmes Photovoltaïques », Mémoire de Magister ,2011.

[18] L. Protin, S. Astier, « Convertisseur photovoltaïques», Techniques de l'Ingénieur, Ref : D 3360, (1997).

[19] A.Bisker, M.Chiri, « Commande d'un Système Photovoltaïque en mode Isolé et en mode Connecté au Réseau», Projet de fin d'études En vue de l'obtention du diplôme D'Ingénieur d'État En Électrotechnique, École Nationale Polytechnique, Juin 2012.

[20] A. Labouret, M. Viloz, Energie solaire photovoltaïque, 3ème édition, DUNOD, Paris, 2006.

[21] F. Chekired, « Etude et implémentation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA», Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008

[22] B.Robyns, P.Bastard, «Production décentralisée d'électricité : contexte et enjeux Techniques», La revue 3EI n°39, Décembre 2004.

[23] S.Belakehal, «Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables», Thèse Doctorat, Université de Constantine, 10/06/ 2010.

[24] Home Energy, «Etude comparative de panneaux solaires photovoltaïques», Rapport de stage De fin de D.U.T. Mesures Physiques, Université Paris VII 2, place Jussieu 75005 PARIS, Mai 2006/Juillet 2006.

[25] F.Slama, «Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques Interconnectés au Réseau électrique », Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas UFAS, Sétif, ALGERIE,01/04/2011.

- [26] O.Benseddik, F.Djaloud, «Etude et optimisation du fonctionnement d'un Système Photovoltaïque », Mémoire de Master Université KasdiMerbah-Ouargla, 27/06/2012.
- [27] A. Ould Mohamed Yahya, A. Ould Mahmoud Et I. Youm, « Etude et modélisation d'un Générateur photovoltaïque », revue des énergies renouvelables vol. 11 n°3 Sénégal, 2008
- [28] Tsamda, K. Mahmoud «Développement d'un logiciel de dimensionnement des installations photovoltaïques », Mémoire d'Ingénieur d'Etat En Electrotechnique, Département de Génie Electrique, Promotion Juin 2007, Ecole Nationale Polytechnique Alger.
- [29] Khellout, A., « Etude et Réalisation d'un Tracker solaire autopiloté Commande via une carte Arduino », Mémoire de master, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El- Oued, 2018.
- [30] Aouine, A, « Conception et Réalisation d'un tracker solaire intelligent à Bas d'une Carte Arduino-UNO », Mémoire de Master professionnel, Université de TiziOuzou, 2017.
- [31] S. Bensaoucha, S. Djloud «Réalisation d'un suiveur solaire à base d'Arduino», Mémoire de Master, Université de Mohammed Boudiaf M'sila, 2019/2020.
- [32] S.Kahila, I. Bouakline «Etude conception et réalisation d'un suiveur solaire bi axial», Mémoire de Master, Université Akli MoandOulhadj de Bouira, 2018/2019.
- [33] M. Stéphane PETIBON, “Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques”, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, Janvier 2009.
- [34] 2013 Renewable energy data book, US department of energy: Energy efficiency & renewable energy. December 2014.
- [35] Djamel BELLALA, “Contribution à l'Optimisation des Systèmes de Conversion d'Energie. Application aux Systèmes Photovoltaïques”, Thèse de doctorat, Université deBatna, 2009.
- [36] AkassewaTchapo SINGO, “Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome”, Thèse de doctorat, Université de Nancy, Février 2010.
- [37] LAHLOU Samir, Mémoire de fin d'études «Détection et localisation des défauts convertisseurs statiques dans un système Photovoltaïque raccordé au réseau moyenne tension », Université M'Hamed BOUGARA – Boumerdes, Juin 2016.
- [38] Djriou, . Simulation d'un système photovoltaïque alimentant une machine . thèse magistère. Sétif : université Ferhat Abbas, 2011.
- [39] Jimmy Royer, Thomas Djiako,Eric Schiller. Le pompage photovoltaïque: manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens. canada : Université d'Ottawa, 1998.

- [40] . Belakehal, . Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables. Constantine : thèsedoctoratuniversité de Constantine.
- [41] Department of Energy Efficiency and renewable Energy. (2003), Improving Fan System Performance, Washington, D.C., US, 20585
- [42] Ezeilo, C. O. (1998)“ S un Table and Charts for Nigeria latitude, Nigerian Journal of Solar Energy. 3:75-82.
- [43] Hudson Product Consideration (2000), The Basics of Axial flow fans.
- [44] Khurmi, R. S. and Gupta, J. K. (2005), A Textbook of Machine design, Eurasia Publishing House (PVT) LTD, New Delhi.
- [45] Kuurmi, R.S. and Gupta, J. K. (2006), Theory of Machines, revised Edition, S. Chand, New Delhi.
- [46] Kreider, T. F. and Kreith, F. (1981), Solar Energy handbook, McGraw-Hill, New York, New York, USA
- [47] Nasir, A. (2004), Design, Construction and Experimental Study of the Thermal Performance of a Parabolic Cylindrical Trough Solar Air Heater, Assumption University Journal of Technology.8:1.
- [48] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (2011), Renewable 2011 Global Status Report, 1:4
- [49] : Lete.Agence d’information globale (AFP).www.letemp.eh 2021.
- [50] : B. Farida « diagnostic de pannes d’un système pompage photovoltaïque », mémoire de magister. Université Tizi-Ouzou 2012.
- [51] : k. Djamila « commande d’un système de pompage photovoltaïque », mémoire de magister. Université Bejaia 2009.
- [52] : A. Lynda et Z. Djamila « étude d’un système pompage photovoltaïque », mémoire de magister université de Bejaia 2013.
- [53] : Z. Yanis D. Brahim « modélisation et simulation d’un système pompage photovoltaïque», mémoire de magister. Université Bejaia 2018.
- [54] : B. Hamza « modélisation d’un module photovoltaïque par les réseaux de neurones », mémoire de master. Université Oum El boughi 2017.
- [55] : T. Nacer G. Slimane « modélisation d’un système photovoltaïque », mémoire de magister. Université d’el oued 2015.
- [56] : T.Maamar « Détection et classification de défauts pour un GPV », mémoire de magister. Université de Chleff 2018.

- [57] : N. Aouchiche « défauts liés aux systèmes photovoltaïques autonomes et techniques de diagnostic », centre développement d'énergie Alger bouzaréah 2018.
- [59] : LAHLOU Samir, Mémoire de fin d'études «Détection et localisation des défauts Convertisseurs statiques dans un système Photovoltaïque raccordé au réseau moyenne Tension », Université M'Hamed BOUGARA – Boumerdes, Juin 2016.
- [60] : CHEBABHI Ardjouna, mémoire de master « Etude d'identification et Localisation des défauts d'un générateur photovoltaïque », Université MOHAMED BOUDIAF M'SILA, juin 2016.
- [61] : PETIT Pierre, thèse de doctorat « Optimisation du transfert d'énergie dans les Systèmes photovoltaïques », Université de Metz , 06 juillet 2011.
- [62] : BENSACI Wafa, projet de fin d'études «Modélisation et simulation d'un système Photovoltaïque adapté par une commande MPPT », Université KasdiMerbah–Ouargla, 2011/2012.
- [63] : R. Merahi, R. Chenni, M. Houbes, 10ème Séminaire International sur la Physique Energétique « Modélisation et Simulation d'un Module PV par Matlab »,2010
- [64] : BELHADJ Mohammed ,Mémoire de Magister « Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome »,Universitaire De Bechar,2008.
- [65] : SAOUDI Messaoud , SALHI Massinissa , Mémoire de Fin de Cycle « Etude et Optimisation d'un système Photovoltaïque »,Université A.MIRA-BEJAIA, 15 Juin 2017.
- [66] : CHOUDER Aissa, Division Energie solaire photovoltaïque « Diagnostic et Détection des Pannes dans les Systèmes Photovoltaïques »,2011.
- [67] : BUN Long, thèse de doctorat « Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV », Université de GRENOBLE , 7 août 2006.
- [68] : BELAOUT Abdesslam, mémoire de magister « Etude et diagnostic des défauts Fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension », Université – Sétif-1, 28/10/2014.
- [69] : HACHOUR Samir , Approche décentralisée pour la détection et la localisation de Défauts dans une ferme photovoltaïque, 07 septembre 2011.
- [70] : Benali Oussama, Evaluation de potentiel énergétique éolien dans la région sud-est Du Sahara algérienne, le : 08 / 06 / 2015.
- [71] : LATRECHE Mohammed Tahar, mémoire de magister « Commande Floue de laMachine synchrone à aimant permanent (MSAP) utilisée dans un système éolien», Département d'Electrotechnique, université Ferhat Abbas de Sétif le : 24 /06 /2012.
- [72] : Notions de base sur l'énergie solaire photovoltaïque, Lycée Jules GARNIER