



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar- El Oued

Faculté de Technologie

Département de Genie Mécanique

Mémoire de fin d'étude

Présenté Pour l'obtention du diplôme de

Master Academique

Domaine : Technologies

Filière : Energies renouvelables

Spécialité : Energies renouvelables en mécanique

Thème

**Étude de Défauts et Défaillances sur les Panneaux
Photovoltaïques et leur Maintenance**

Soutenue le 27/06/2021

Devant la Commission d'Examen :

MILOUDI Khaled

ZINE ALI

BOUSBIA Seif Eddine

Président

Examineur

Encadreur

Présenté par :

ASKRI Abdallah

SOUDA El Mekki

KHEMICI Ahmed

Année Universitaire : 2020/2021

Dédicace

*Le présent travail, fruit de longues années d'efforts
et de persévérance est dédié A toutes personnes
qui nous sont chères surtout à nous familles
qui nous ont beaucoup donné pour être
que nous sommes.*

Abdallah..... El Mekki..... Ahmed

Remerciements

Avant tous, nous remercions **ALLAH** tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage, la patience et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent en premier lieu à notre encadreur M. **BOUSBIA Seif Eddine** pour ses conseils judicieux et son appui tout au long de cette étude et surtout pour ses nombreuses critiques constructives. Votre sérieux, votre compétence et votre sens du devoir nous ont énormément marqués.

Nos remerciements s'adressent également à tous les membres de jury qui ont bien voulu accepter de juger ce modeste travail, M. **MILOUDI Khaled** qui nous a fait l'honneur de présider ce jury, M. **ZINE ALI** qui nous a honorés de bien vouloir examiner ce travail.

*Un merci spécial à M^{elle} . **ASKRI Souhaila**, Maître de conférence B à l'université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued, pour son aide précieuse.*

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis.

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Table des figures	5
Liste des tableaux	7
Introduction générale	11
I Système photovoltaïque	13
I.1 Introduction	13
I.2 Effet photovoltaïque	13
I.3 Panneaux solaires	14
I.3.1 Types de panneaux solaires	14
I.3.1.1 Panneaux solaires photovoltaïques	14
I.3.1.1.1 Fonctionne un panneau solaire photovoltaïque	15
I.3.1.2 Panneaux solaires thermiques	16
I.3.1.2.1 Fonctionne un panneau solaire thermique . .	17
I.4 Systèmes photovoltaïques	18
I.4.1 Composants d'un système PV	18
I.4.1.1 Générateur photovoltaïque	18
I.4.1.2 Onduleurs	19
I.4.1.3 Module PV	19
I.4.1.4 Champ PV	20
I.4.1.5 Concentrateurs et multiplexeurs	20
I.4.1.6 Cellule PV	21
I.4.1.7 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque	21
I.4.2 Systèmes photovoltaïques : avantages et inconvénients	22
I.4.3 Avantages	22
I.4.4 inconvénients	22
I.5 Résumé	22

TABLE DES MATIÈRES

III.4.1.2	Méthode de thermographie infrarouge (IR)	48
III.4.1.3	Méthode par verrouillage en thermographie (LIT) . .	48
III.4.1.4	Technique de Vibrations ultrasoniques résonante ou à résonnance(RUV)	48
III.4.2	Méthodes électriques	49
III.4.2.1	Analyse de la puissance et de l'énergie produite	49
III.4.2.2	Analyse du point de fonctionnement	49
III.4.2.3	Analyse de la caractéristique statique	49
III.5	Application pour système photovoltaïque	50
III.6	Résultats et discussions	54
III.7	Conclusion	55
Conclusion générale		56
	Références bibliographiques	57
Résumé		59

Table des figures

I.1	Schéma d'une l'effet photovoltaïque	14
I.2	Le panneau solaire photovoltaïque	15
I.3	Schéma d'une installation photovoltaïque connectée au réseau	16
I.4	Panneau solaire thermique	16
I.5	Schéma d'une fonction un panneau thermique	17
I.6	Schéma simplifié d'un système PV	18
I.7	Schéma générateur photovoltaïque	19
I.8	Caractéristiques du module photovoltaïque	20
I.9	Champ photovoltaïque	20
I.10	Schéma d'une cellule photovoltaïque	21
II.1	Les Objectifs de la maintenance	24
II.2	Types de maintenance	25
II.3	Diagramme de Pareto ou courbe ABC	27
II.4	Diagramme d'Ishikawa (cause à effet)	29
II.5	Démarche AMDEC Processus / Produit	32
III.1	Institut National d'El Oued	34
III.2	Poussière	35
III.3	Nettoyer le panneau solaire de la poussière	35
III.4	Variation de la Tension V en fonction de temps	36
III.5	Variation de Intensité I en fonction de temps	36
III.6	Bris du verre de la face avant	37
III.7	Appareil de mesure	38
III.8	Variation de la Tension V en fonction de temps	38
III.9	Variation de Intensité I en fonction de temps	39
III.10	Traces d'escargot	40
III.11	Mesure sur le panneau	40
III.12	Variation de la Tension V en fonction de temps	41
III.13	Variation de Intensité I en fonction de temps	41
III.14	Végétation	42
III.15	Variation de la Tension V en fonction de temps	43

III.16Variation de Intensité I en fonction de temps	43
III.17Corrosion dans les interconnexions de cellules	44
III.18Délamination	45
III.19Fissure de la cellule	45
III.20Encrassement des Panneaux	46
III.21Quatre Défauts après maintenance en terme de tension V.	52
III.22Quatre Défauts après maintenance en terme d'intensité I.	53

Liste des tableaux

III.1	Mesure effectuée sur le panneau en état poussière.	35
III.2	Mesure effectuée sur le panneau en état Bris du verre.	38
III.3	Mesure effectuée sur le panneau en état Traces d'escargot.	40
III.4	Mesure effectuée sur le panneau en état Traces d'escargot.	42
III.5	La classification des défauts selon leurs catégories.	47
III.6	Mesure effectuée sur le panneau en état Traces d'escargot.	50
III.7	Résultats avant et après la maintenance.	54

Introduction générale

Au cours des dix dernières années, le marché du photovoltaïque a connu une croissance très remarquable, surtout dans les quelques dernières années grâce aux différents facteurs stimulants : réduction des coûts de production et politiques de soutien. Ces facteurs stimulants rendent le retour sur investissement d'une installation photovoltaïque de plus en plus intéressant. Or, comme tous les autres processus industriels, un système photovoltaïque peut être soumis, au cours de son fonctionnement, à différents défauts et anomalies conduisant à une baisse de la performance du système et voire à l'indisponibilité totale du système. Toutes ces conséquences défavorables vont évidemment réduire la productivité de l'installation, et donc réduire le profit de l'installation, sans compter le coût de maintenance pour remettre le système en état normal.

L'objectif de ce travail de mémoire c'est d'étude des défauts et défaillances sur les panneaux solaires, nous intéressons spécifiquement à la détection et la localisation de défauts côté DC du système PV, c'est-à-dire du côté générateur PV.

Et étude l'Influence des quelques méthodes de maintenance sur le rendement d'un un système solaire photovoltaïque avec l'Analyse de la maintenance et les pannes sur les panneaux solaires que l'on peut éviter.

L'analyse prévisionnelle des défaillances, Soit de manière quantitative puis qualitative en exploitant l'historique de l'équipement et les données qualitatives du diagnostic et de l'expertise des défaillances, Soit de manière prévisionnelle en phase de conception ou a posteriori, après retour d'expérience

Dans le **premier chapitre** nous avons présenté les différents éléments qui entrent dans la constitution d'un système photovoltaïque tels que la cellule, module et champ PV, Avec la mention de la fonction du système photovoltaïque et les avantages et les inconvénients.

Dans le **deuxième chapitre** nous entamons Présentation des différents types de méthodes de maintenance. Donc on va commencer en premier lieu par une petite introduction, ensuite nous discutons un peu sur l'objectif de la maintenance, en outre nous parlons sur les différents types de maintenance, à savoir la corrective et la préventive.

Dans le **troisième et dernier chapitre**, c'est la partie pratique de ce travail. Nous avons sommes entraînés à **Conservation National Des Formation à l'Environnement de EL Oued (CNFE)** et avons mené plusieurs expériences sur le

panneau solaire, dans lesquelles nous avons découvert de nombreux défauts et nous étions capable de la maintenance, ce qui nous a permis d'obtenir de très bons résultats.

A la fin de ce travail nous terminerons une conclusion générale avec des résultats et discussion

Chapitre I

Système photovoltaïque

I.1 Introduction

L'énergie électrique provenant d'une conversion photovoltaïque à partir de l'énergie solaire est devenue une alternative incontournable aux autres sources énergétiques en voie d'épuisement tel que le pétrole. Cette nouvelle source énergétique a montré par sa grande souplesse et son aptitude au fonctionnement en milieu hostile d'être la solution intéressante aux moyens de production conventionnels. De même, son exploitation est loin d'être préjudiciable à l'environnement que les combustibles fossiles et aussi d'avoir une portabilité et flexibilité inégalée par rapport aux autres ressources hydraulique, géothermique. La conversion de cette nouvelle forme énergétique en électricité fut possible grâce à la découverte de nouveaux systèmes faits à base de cellules photovoltaïques. Ces dernières sont faites de matériaux constituant le siège du phénomène de conversion photovoltaïque dont l'essentiel sera discuté à travers ce chapitre [2].

I.2 Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque dont le terme souvent abrégé par les lettres P et V est un phénomène physique propres à certains matériaux communément appelés les semi-conducteurs (souvent le silicium). Il est composé à partir de 3 étapes qui se résument en l'absorption de lumière par le matériau de la cellule P.V. Le transfert d'énergie des photons vers les charges électriques et finalement la collecte de charge. La puissance du champ photovoltaïque est directement proportionnelle aux nombres de cellules employées dans une installation. Seulement, une exposition au rayonnement homogène de l'ensemble de la surface est exigée pour une meilleure rentabilité. Pailleurs, l'obtention de puissance maximale peut être assurée par observation des 3 critères : l'orientation, l'inclinaison et la température. Cette dernière doit être maintenue à un niveau minimal au sein du dispositif par une ventilation importante [3].

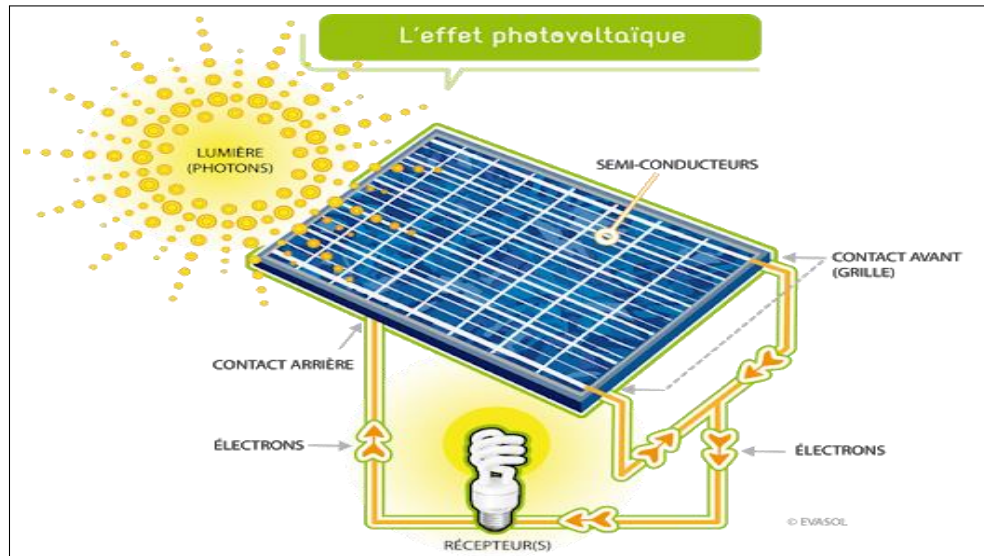


Figure I.1 : Schéma d'une l'effet photovoltaïque

I.3 Panneaux solaires

La cellule photovoltaïque ou encore photopile est l'élément constitutif des modules photovoltaïques. Un panneau photovoltaïque est constitué de plusieurs cellules en série ou en parallèle afin d'obtenir une tension souhaitée [4].

I.3.1 Types de panneaux solaires

Un panneau solaire est destiné à récupérer une partie du rayonnement solaire pour le convertir en énergie. Ces panneaux solaires peuvent être classés sous deux catégories distinctes : les panneaux photovoltaïques et les panneaux thermiques. La différence est fondamentale, alors que les premiers transforment le rayonnement solaire en chaleur, les seconds la convertissent en électricité. Chaque modèle a des caractéristiques spécifiques et un impact qui diffère. Lorsque l'on s'intéresse à leur rendement, on peut constater l'existence de fortes disparités selon les technologies utilisées.

I.3.1.1 Panneaux solaires photovoltaïques

Le panneau solaire photovoltaïque est le capteur solaire qui convertit les rayons solaires en électricité.

Grâce aux technologies de ses cellules, le panneau PV capte les photons contenus dans le rayonnement solaire pour produire du courant.

Il est formé par un matériau semi-conducteur avec des cellules photovoltaïques en jonction PN : une couche positive et une autre négative.

Lorsque le photon du rayon solaire arrache un électron à l'atome, une charge positive (un trou) va se former pour produire au final un courant continu.

C'est ce courant continu qui sera transformé en courant alternatif par l'onduleur qui fait, bien entendu, partie de l'installation.

Ce courant alternatif sera par la suite utilisé par votre installation domestique.

Le panneau photovoltaïque est le type de panneau le plus utilisé actuellement grâce à son efficacité et à son prix largement plus accessible que celui du panneau hybride. Il est également très facile à installer.

Pour avoir une efficacité optimale, il faut observer une pente comprise entre 30 et 35°, idéalement sur un toit orienté Sud.



Figure I.2 : Le panneau solaire photovoltaïque

I.3.1.1.1 Fonctionne un panneau solaire photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont des composants électroniques capables de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire, et ceci grâce à l'effet photovoltaïque. Découvert en 1839 par Antoine Becquerel, ce phénomène est basé sur le comportement des matériaux semi-conducteurs lorsqu'ils reçoivent un rayonnement solaire. En effet, lorsque les photons de la lumière du soleil rentrent en contact avec ces matériaux particuliers, ils transmettent leur énergie aux électrons des semi-conducteurs qui génèrent alors une tension électrique. Le matériau semi-conducteur le plus massivement employé à l'heure actuelle par les fabricants de modules photovoltaïques demeure le silicium.

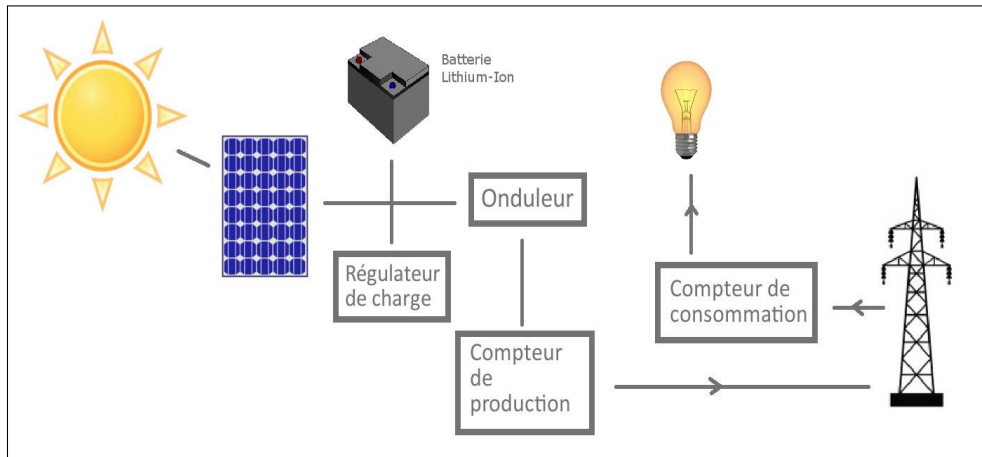


Figure I.3 : Schéma d'une installation photovoltaïque connectée au réseau

I.3.1.2 Panneaux solaires thermiques

Le panneau solaire thermique est un dispositif qui transforme l'énergie solaire en énergie calorifique. Il est utilisé pour avoir de l'eau chaude sanitaire, mais aussi pour alimenter le système de chauffage.

Sachez que contrairement au panneau photovoltaïque, il ne permet pas d'obtenir de l'électricité.

Dans un premier temps, le panneau va capter et absorber le rayonnement solaire et la chaleur pour réchauffer un fluide caloporteur.

Ensuite, ce liquide, de l'eau glycolée la plupart du temps, va circuler et réchauffer l'eau dans un ballon de stockage qui est généralement équipé d'un appoint.

En ce qui concerne son installation, le panneau solaire thermique doit être orienté Sud et présenter une inclinaison de 45°.



Figure I.4 : Panneau solaire thermique

I.3.1.2.1 Fonctionne un panneau solaire thermique

Des capteurs de rayons solaires composent le panneau solaire thermique. Les plaques sur lesquelles elles sont disposées sont fixées sur les toits. Un échangeur thermique se charge de transmettre la chaleur captée au sein d'un réseau d'eau sanitaire ou de chauffage. Ce principe est le même pour tout panneau solaire thermique. Cependant, selon le type de capteur utilisé, le fonctionnement peut varier. À ce titre, on distingue plusieurs sortes de capteurs :

- Les capteurs plans vitrés Une plaque en métal noir qui absorbe les rayons solaires compose ces capteurs. Elle est en contact avec un des tubes qui renferment le fluide caloporteur. Un isolant se charge de garder la chaleur dans les tubes, tandis que du verre en acier trempé veille à la protection de l'installation. De plus, ce vitrage assure l'effet de serre nécessaire pour produire encore plus de chaleur.
- Les capteurs plans non vitrés Leur mode de fonctionnement est similaire à celui des modèles sus-cités. Néanmoins, ils n'ont pas une grande résistance à cause de l'absence de protection par une vitre. Ces capteurs sont sollicités surtout pour le chauffage d'une piscine.
- Les capteurs tubaires sous vide Ils sont constitués de tubes en verre disposés côte à côte. L'absorption de la chaleur est effectuée via une plaque en métal noir. Ces capteurs sont conçus sous vide afin de minimiser la déperdition de chaleur. Ils sont largement plébiscités dans les régions aux conditions climatiques extrêmes. Pour éviter le gel du fluide caloporteur ou sa surchauffe, il est nécessaire d'investir dans des fluides antigel ou dans un système auto-vidangeable.
- Les capteurs monobloc Ces modèles sont dotés d'un ballon de stockage qui est fixé également sur le toit. Le seul désavantage de ce capteur réside dans le fait que le ballon est en contact direct avec l'air extérieur. Cela entraîne plus facilement une perte de chaleur.

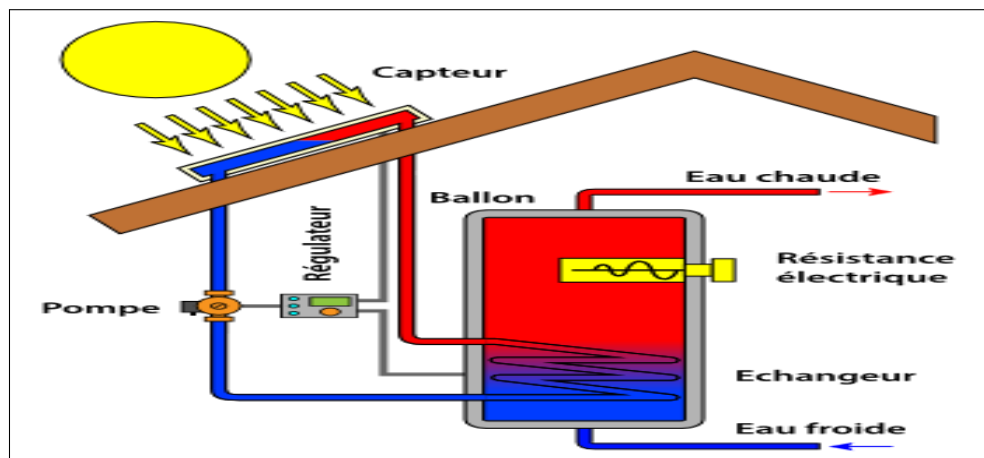


Figure I.5 : Schéma d'une fonction un panneau thermique

I.4 Systèmes photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques convertissent le soleil (photo) en puissance électrique (voltaïque). Le soleil, qui touche le matériau semi-conducteur dans les cellules individuelles, fait bouger les électrons dans un câble. L'électricité générée par les systèmes photovoltaïques peut être utilisée pour faire fonctionner un éventail d'équipements, allant des appareils électroménagers à un équipement de production commerciale. Il existe un grand nombre de variables dans un système photovoltaïque (PV), mais généralement, le panneau PV est installé sur un toit orienté autant que possible vers le sud. Les obstacles entre le soleil et le panneau doivent être évités. Veuillez noter qu'en hiver, le panneau générera moins d'électricité qu'en été, à cause des jours plus courts. La puissance maximum est générée à midi plutôt que le matin ou le soir [5].

Un système photovoltaïque sera donc constitué du générateur précédemment décrit, généralement associé à l'un ou plusieurs des éléments suivants :

- un système d'orientation ou de suivi (rencontré assez rarement sous nos latitudes) ;
- une gestion électronique (stockage, mise en forme du courant, transfert de l'énergie) ;
- un stockage palliant la nature aléatoire de la source solaire ;
- un convertisseur DC/AC ;
- une charge en courant continu basse tension ou en courant alternatif standard.

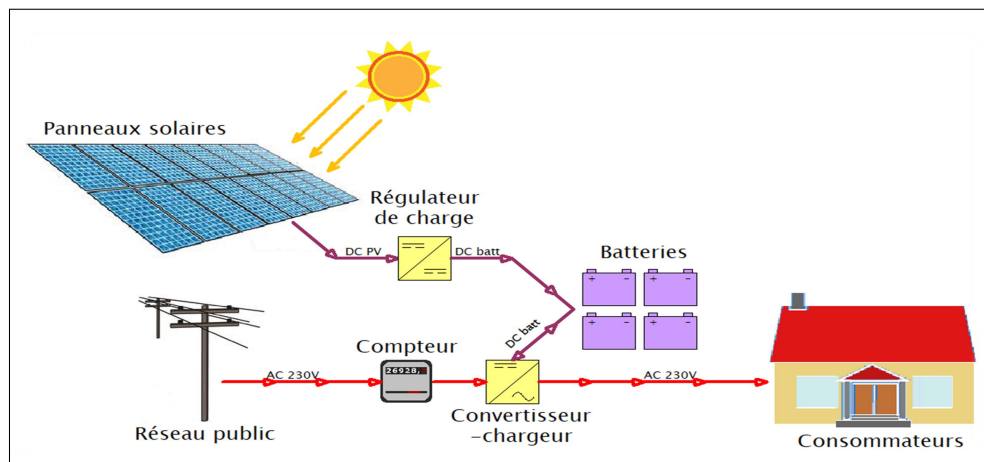


Figure I.6 : Schéma simplifié d'un système PV

I.4.1 Composants d'un système PV

I.4.1.1 Générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque est l'unité de production d'énergie électrique sous forme de courant continu. Le composant élémentaire de cette unité qui convertit l'éner-

gie solaire en l'énergie électrique est la cellule photovoltaïque [2].

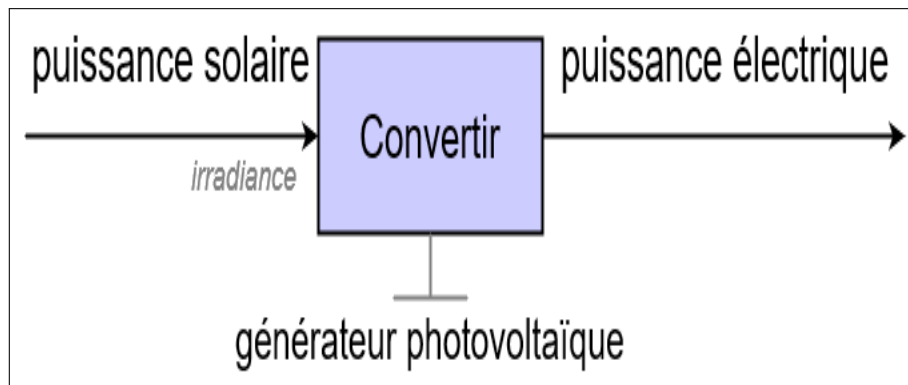


Figure I.7 : Schéma générateur photovoltaïque

I.4.1.2 Onduleurs

Un onduleur est un dispositif permettant de transformer en alternatif une énergie électrique de type continue, Utilisation des onduleurs : Ils sont utilisés en électrotechnique pour [6] :

- Soit fournir des tensions ou courants alternatifs de fréquence et amplitudes variables.
- Soit fournir une ou des tensions alternatives de fréquence et d'amplitude fixes. On distingue les onduleurs de tension et les onduleurs de courant, en fonction de la source d'entrée continue : source de tension ou source de courant. La technologie des onduleurs de tension est la plus maîtrisée et est présente dans la plupart des systèmes industriels, dans toutes les gammes de puissance (quelques Watts à plusieurs MW).

I.4.1.3 Module PV

Un module est un ensemble de cellules connectées ensemble côte à côte. Les modules peuvent être en série ou parallèles, selon la tension et le courant désirés. Comme chaque cellule individuelle ne produit qu'une petite quantité d'électricité, il faut joindre de grandes quantités de cellules pour obtenir des quantités significatives d'électricité. Comme vous pouvez l'imaginer, ces modules peuvent devenir très grands et sont limités par la taille du toit dédié à leur usage. Les modules raccordés entre eux s'appellent alors des panneaux. Un câblage connecte les cellules individuelles pour former ces panneaux. Les panneaux sont alors connectés ensemble à un point central. Le courant reste identique tandis que la tension est multipliée par le nombre de cellules en série. Un module PV « classique » contient 36 ou 72 cellules. Mais ce nombre de cellules peut varier selon les modules servant aux applications spécifiques. On peut trouver des modules de 40, 54, 60 ou même 92 cellules en série [7].

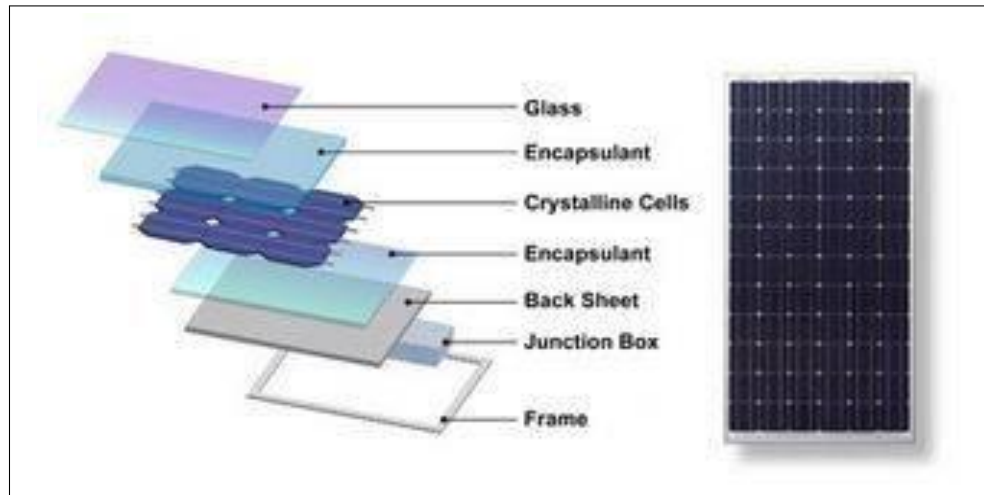


Figure I.8 : Caractéristiques du module photovoltaïque

I.4.1.4 Champ PV

C'est un regroupement de modules solaires photovoltaïques raccordés entre-eux et destiné à produire de l'électricité, soit à titre autonome (panneaux solaires sur les toits des habitations par exemple), soit dans le cadre d'un raccordement à un réseau public de distribution d'électricité.



Figure I.9 : Champ photovoltaïque

I.4.1.5 Concentrateurs et multiplexeurs

Un concentrateur ou un multiplexeur est le point de câblage central pour les cellules et les modules. Il représente la puissance de sortie totale de l'intégralité du panneau solaire. Bien que la puissance de sortie de chaque cellule soit réduite, lorsque plusieurs modules sont connectés, on obtient un courant de plusieurs ampères. Le comptage et le conditionnement de l'électricité peuvent également avoir lieu dans le

concentrateur. Le concentrateur est alors connecté à un stockage électrique ou à un onduleur. Le stockage peut consister en un grand nombre de batteries.

I.4.1.6 Cellule PV

Une cellule est une petite partie d'un système PV. Une cellule consiste en un matériau semi-conducteur, une structure de support et un matériau transparent qui permet au soleil de toucher le matériau semi-conducteur. La cellule doit être physiquement résistante, car elle est exposée aux intempéries. Le matériau transparent qui recouvre la cellule doit également être résistant aux taches et encrassements. Chaque cellule individuelle produit seulement quelques watts d'électricité [8].

I.4.1.7 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque

Le principe de fonctionnement de cette cellule repose sur l'effet photovoltaïque, en effet une cellule est constituée de deux couches minces d'un semi-conducteur, ces deux couches sont dopées différemment [9] :

- pour la couche N, apport d'électrons périphériques.
- pour la couche P, déficit d'électrons. Ces deux couches présentent ainsi une différence de potentiel. L'énergie des photons lumineux captés par les électrons périphériques (couche N) leur permet de franchir la barrière de potentiel et d'engendrer un courant électrique continu. Pour effectuer la collecte de ce courant, des électrodes sont déposées par sérigraphie sur les deux couches de semi-conducteur.

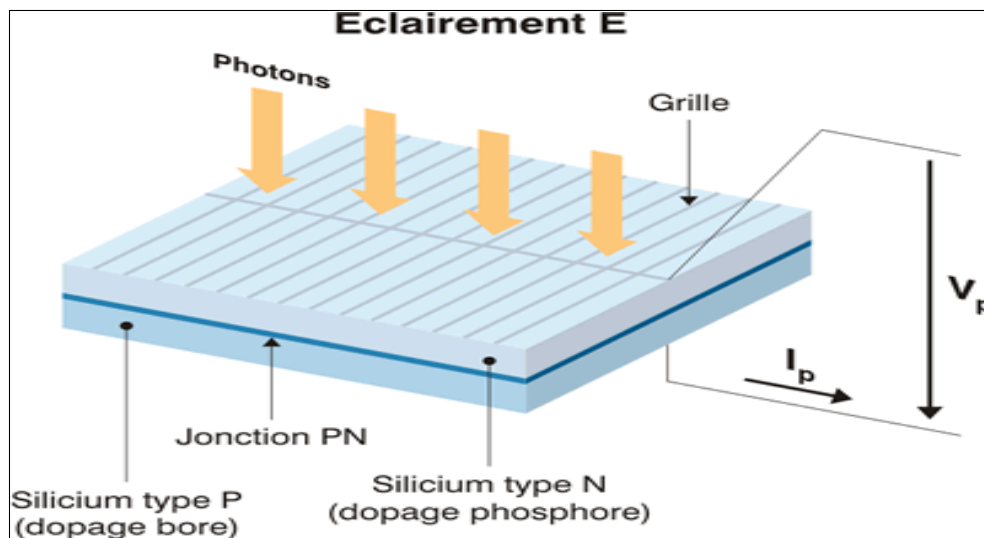


Figure I.10 : Schéma d'une cellule photovoltaïque

I.4.2 Systèmes photovoltaïques : avantages et inconvénients

I.4.3 Avantages

- ils sont de fonctionnement sûr, non polluants et silencieux ;
- ils sont très fiables ;
- ils n'exigent presque aucun entretien ;
- ils fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales.

I.4.4 inconvénients

- Ils ne conviennent pas aux utilisations à forte consommation d'énergie comme le chauffage. Si vous souhaitez utiliser l'énergie solaire à cette fin, considérez d'autres solutions de rechange comme un chauffe-eau solaire, qui produit de la chaleur beaucoup plus efficacement.

I.5 Résumé

Les systèmes photovoltaïques permettent d'exploiter l'énergie du soleil à diverses fins. Ils sont très fiables et constituent une source non polluante d'électricité qui peut convenir à toute une gamme d'applications.

Chapitre II

Méthodes de maintenance

II.1 Introduction

Longtemps vue comme un mal nécessaire, la maintenance est devenue une réelle préoccupation dans les entreprises. Elle s'est affirmée comme un véritable enjeu compétitif, tant sur l'assurance des performances de disponibilité des matériels existants qu'en termes de sécurité, de qualité et de coûts, par exemple. On note aussi la prise en compte de nouvelles préoccupations telles que les aspects environnementaux par le biais de la réduction des émissions de déchets polluants ou encore le recyclage des systèmes en fin de vie. Aujourd'hui, elle est perçue comme un processus industriel à part entière lorsqu'elle n'est pas identifiée comme une des activités principales de l'exploitation industrielle. L'objectif de ce chapitre est de mettre en relief la notion de maintenance, son importance et les différentes pratiques existantes selon la taille et la productivité de l'entreprise [10].

II.2 Définition de la maintenance

Selon l'AFNOR par la norme NF X 60-010, la maintenance se définit comme étant : ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Bien maintenir, c'est assurer l'ensemble de ces opérations au coût optimal [11].

II.3 Objectifs de maintenance

Les objectifs de la maintenance sont schématisés dans la figure II.1 -Assurer la qualité et la quantité des produits fabriqués, tout en respectant les délais. Optimiser les actions de maintenance.

Contribuer à la création et le maintien de la sécurité au travail. Consolider la compétitivité de l'entreprise.

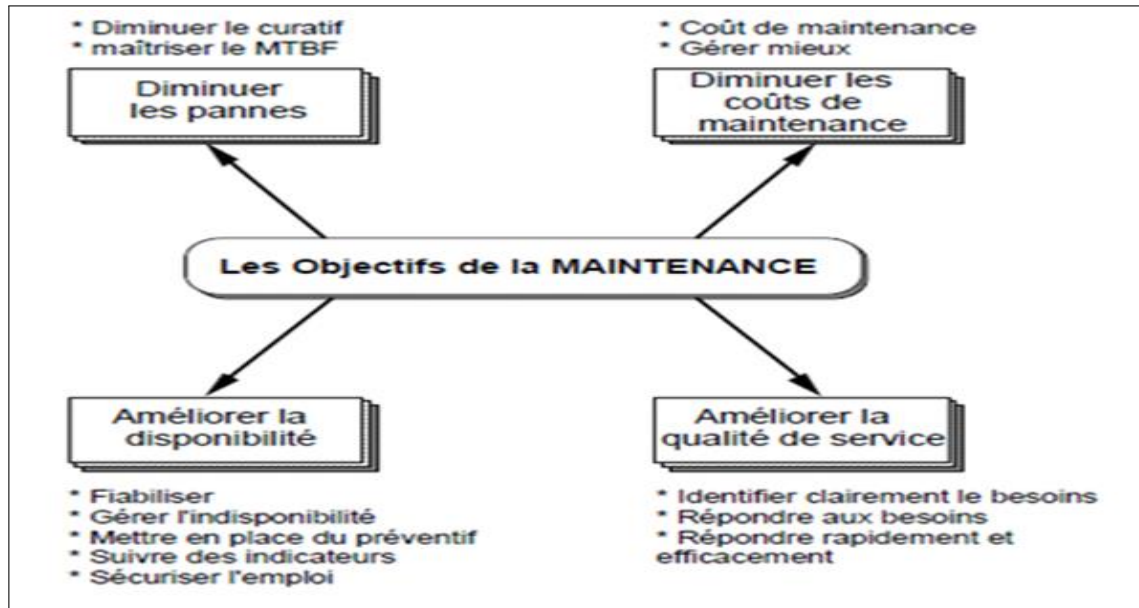


Figure II.1 : Les Objectifs de la maintenance

II.4 Types de maintenance

II.4.1 Maintenance corrective

« Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ». Deux types de maintenance corrective peuvent être mis en œuvre :

- **La maintenance curative** constitue une réparation définitive du système, et vise à supprimer tout dysfonctionnement,
- **La maintenance palliative** constitue une réparation à caractère provisoire, celle-ci intervient lorsque la défaillance empêche de poursuivre l'exploitation du système de production, et a pour but de le remettre en état afin d'assurer une ou plusieurs de ses fonctions.

Nous nous intéresserons à ce type de maintenance corrective dans notre manuscrit.

II.4.2 Maintenance préventive

« Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien ». Les maintenances préventives servent à entretenir le système, afin de le maintenir en bon état de fonctionnement, et sont mises en œuvre avant que le système soit en état de panne. Trois stratégies de maintenances préventives peuvent être mise en œuvre :

- **La maintenance systématique** : « maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien ». Bien que simple à mettre en œuvre, cette politique de maintenance n'est pas très intéressante car elle se base sur l'hypothèse que le temps moyen de bon fonctionnement est constant, ce qui n'est pas forcément le cas en réalité,
- **La maintenance prévisionnelle** : « maintenance préventive exécutée selon un calendrier préétabli ou selon un nombre défini d'unités d'usage ». Ce type de maintenance se base sur l'estimation du temps de fonctionnement correct du système, qui peut être établie par l'analyse de différentes mesures sur le système,
- **La maintenance conditionnelle** : « maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent ». Cette politique de maintenance se base sur l'évolution de paramètres qui décrivent l'état du système, comme par exemple son état de dégradation.

Lorsque les valeurs de ces paramètres atteignent certains seuils, une maintenance est

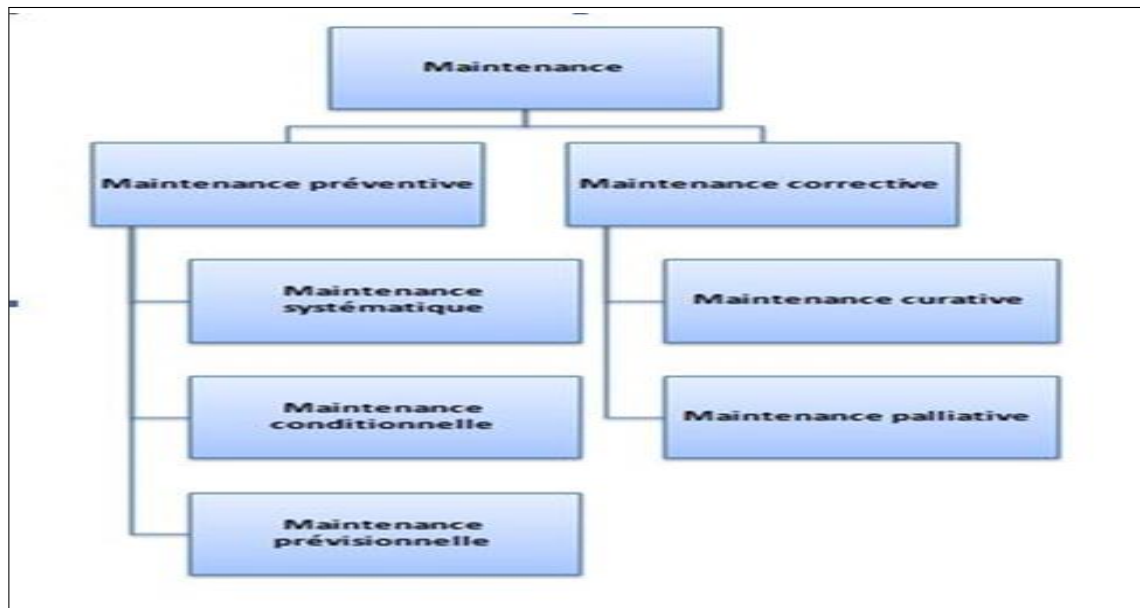


Figure II.2 : Types de maintenance

II.5 Panne

« Etat d'un bien inapte à accomplir une fonction requise, excluant l'incapacité due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou à un manque de ressources extérieures ».

Le système de production passe de l'état de disponibilité à l'état de panne lorsqu'une défaillance survient. Une maintenance du système sera alors nécessaire pour repasser de l'état de panne à l'état opérationnel [12].

II.6 Défaillance

Une défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques. On peut classer les défaillances selon leur degré de sévérité par :

- **Défaillance critique :**
nécessite une intervention d'urgence.
- **Défaillance significative :**
nécessite un processus de traitement.
- **Défaillance absorbable :**
pouvant être ignorée dans un premier temps.

II.7 Méthode ABC (Diagramme Pareto)

Parmi la multitude de préoccupations qui se posent à un responsable maintenance, il lui faut décider quelles défaillances doivent être étudiées et/ou améliorées en premier. Pour cela, il faut déceler celles qui sont les plus importantes et dont la résolution ou l'amélioration serait le plus rentable, en particulier en terme de coûts d'indisponibilité. La difficulté réside dans le fait que ce qui « est important » et que ce qu'il « l'est moins » ne se distinguent pas toujours de façon claire.

La méthode ABC apporte une réponse. Elle permet l'investigation qui met en évidence les éléments les plus importants d'un problème afin de faciliter les choix et les priorités. On classe les événements (pannes par exemple) par ordre décroissant de coûts (temps d'arrêts, coût financier, nombre, etc...), chaque événement se rapportant à une entité. On établit ensuite un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de types de pannes ou de défaillances cumulés., on observe trois zones.

- **Zone A :** 20% des pannes occasionnent 80% des coûts.
- **Zone B :** les 30% de pannes supplémentaires ne coûtent que 15% supplémentaires.
- **Zone C :** les 50% de pannes restantes ne concernent que 5% du coût global.

Conclusion : il est évident que la préparation des travaux de maintenance doit porter sur les pannes de la zone A.

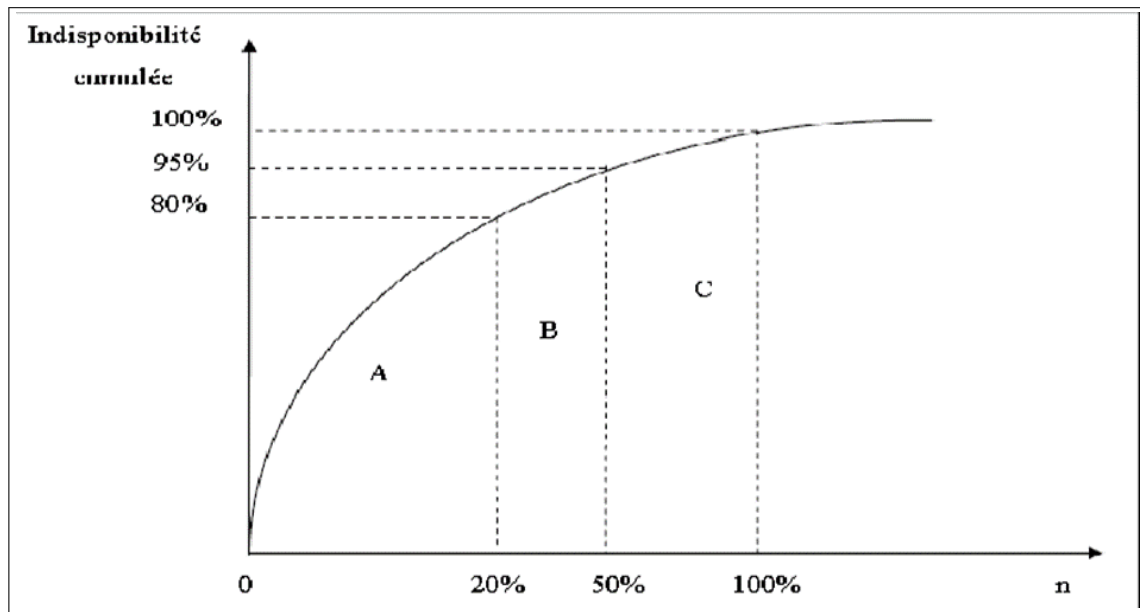


Figure II.3 : Diagramme de Pareto ou courbe ABC

II.7.1 Fonction

Suggérer objectivement un choix, c'est-à-dire classer par ordre d'importance des éléments (produits, machines, pièces...) à partir d'une base de connaissance d'une période antérieure (historique de pannes par exemple). Les résultats se présentent sous la forme d'une courbe appelée courbe ABC dont l'exploitation permet de détecter les éléments les plus significatifs du problème à résoudre et de prendre les décisions permettant sa résolution [13] .

II.7.2 But de la méthode ABC

L'analyse ABC est une analyse permettant [14] :

- D'établir la proportionnalité ou l'importance de chaque élément étudié dans l'ensemble des éléments.
- De trier et donc de classer les éléments les uns par rapport aux autres.
- De tirer les enseignements de cette proportionnalité.
- De vérifier la concentration grâce à l'indice de concentration de Gini.
- De déterminer l'importance relative de causes ou d'autres critères.
- De les classer par ordre d'importance.
- De dégager les axes prioritaires.

II.7.3 Objectifs de la méthode ABC

Un système amélioré de suivi des coûts doit être le moyen d'accroître les profits de l'entreprise avant d'être le moyen d'avoir des coûts plus précis. L'utilisation de la méthode ABC améliorera la rentabilité de l'entreprise grâce à une plus grande précision dans l'analyse des coûts qui permettra d'établir de meilleures stratégies de gestion des produits et des activités.

II.7.4 Caractéristiques

- Une activité définit comme un ensemble de tâches élémentaires.
- Le premier principe est tout d'abord de recenser toutes les activités génératrices de valeurs puis ensuite d'évaluer pour chacune d'elles, le coût correspondant.
- L'inducteur est l'unité de mesure de l'activité.
- Un processus est un ensemble d'activités nécessaires pour fournir un produit ou un service.
- La méthode ABC se concentre essentiellement sur les coûts des activités qui seront affectés par la suite aux coûts des produits fabriqués et vendus.
- Le coût d'une activité quelconque peut ainsi, être constitué des coûts relatifs aux tâches suivantes :
Commande + Fabrication + Facturation + Expédition + Maintenance [15]

II.7.5 Méthode de création d'un graphique de Pareto

- Recueillir les données.
- Placer les valeurs dans un tableau.
- Trier les valeurs par ordre décroissant.
- Canceler les pourcentages cumulés.
- Etablir le graphique.
- Recueillir les données.

II.8 Méthode des 5s

C'est un Outil d'amélioration continue importé du Japon, permettant d'optimiser l'organisation et l'efficacité d'un poste de travail, d'un service, d'une entreprise. Il est basé sur la participation du personnel qui prend en charge et organise son espace de travail. C'est un outil essentiel pour amorcer une démarche de Qualité Totale (TQM). L'appellation "5S" vient des initiales des mots clés de la méthode [16] :

- SEIRI : c'est Débarrasser (éliminer ce qui est inutile).
- SEITON : c'est Ranger (classer, ordonner ce qui est utile).
- SEISO : c'est Nettoyer (tenir propre les outils, les équipements, l'atelier ...).
- SEIKETSU : c'est Organiser (établir et formaliser des règles).
- SHITSUKE : c'est Maintenir la rigueur (respecter les règles).

Cette méthode :

- Améliore la productivité, l'efficacité et la Qualité. - Diminue les pannes (gravité/fréquence).
- Réduit les pertes de temps (recherche d'un outil ...).
- Contribue à l'implication et à la motivation du personnel.
- Inspire confiance et donne une bonne image de l'entreprise (un environnement propre et agréable est votre meilleure publicité).
- Améliore la sécurité au travail et réduit les risques de pollution.
- Libère de l'espace inutilement utilisé.
- Permet au personnel d'avoir une meilleure qualité de vie au travail.

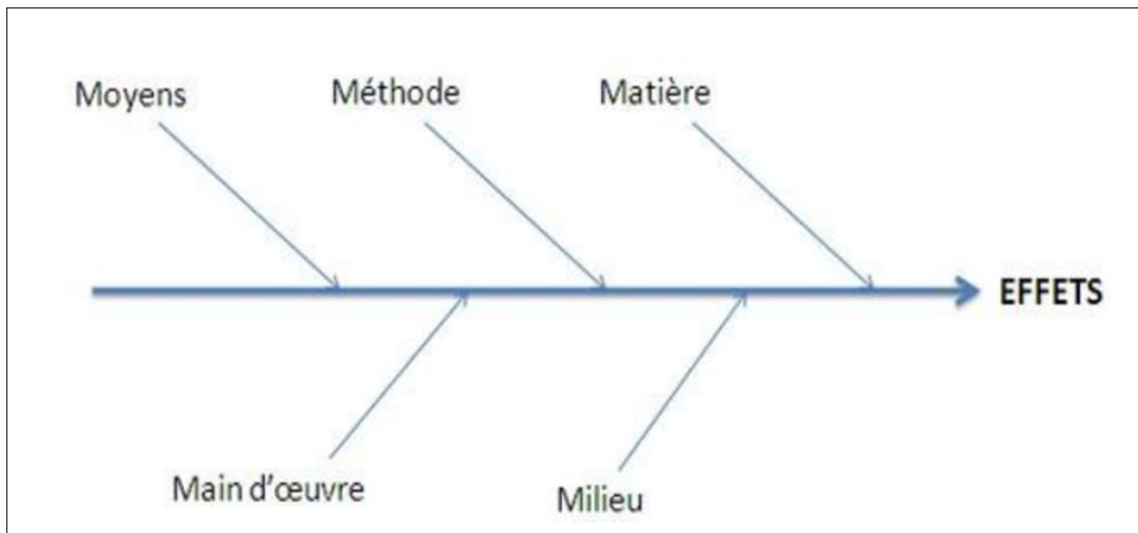


Figure II.4 : Diagramme d'Ishikawa (cause à effet)

II.9 Méthode KAIZEN

II.9.1 Définition et Présentation

Le mot KAIZEN est la fusion des deux mots japonais KAI et ZEN qui signifient respectivement « changement » et « bon ». La traduction française courante est « amélioration continue ». En fait, par extension, on veut signifier « analyser pour

rendre meilleur » .

Le KAIZEN est un processus d'améliorations concrètes, simples et peu onéreuses réalisées dans un laps de temps très court. Mais le KAIZEN est tout d'abord un état d'esprit qui nécessite l'implication de tous les acteurs [17].

II.9.2 Démarche

Cette démarche japonaise repose sur des petites améliorations faites au quotidien, constamment. C'est une démarche graduelle et douce, qui s'oppose au concept plus occidental de réforme brutale du type « on jette le tout et on recommence à neuf » ou de l'innovation, qui est souvent le résultat d'un processus de réingénierie.

En revanche, le KAIZEN tend à inciter chaque travailleur à réfléchir sur son lieu de travail et à proposer des améliorations. Donc contrairement à l'innovation, le KAIZEN ne demande pas beaucoup d'investissements financiers, mais une forte motivation de la part de tous les employés. En conséquence, plus qu'une technique de management, le KAIZEN est une philosophie, une mentalité devant être déployée à tous les niveaux de l'entreprise.

La bonne mise en œuvre de ce principe passe notamment par :

- Une réorientation de la culture de l'entreprise.
- La mise en place d'outils et concepts comme les outils du TQM (gestion globale de la qualité), un système de suggestion efficace et le travail en groupe.
- La standardisation des processus.
- Un programme de motivation (système de récompense, satisfaction du personnel...).
- Une implication active du management pour le déploiement de la politique.
- Un accompagnement au changement, lorsque le passage au KAIZEN représente un changement radical pour l'entreprise.

II.9.3 Objectifs du KAIZEN

- Simplification des flux.
- Amélioration de la qualité.
- Amélioration des délais.
- Amélioration de la productivité.
- Amélioration de la gestion des fournisseurs.
- Développement de nouveaux produits.

II.10 Méthode AMDEC

II.10.1 Présentation

L'AMDEC ou Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité.

Technique d'analyse préventive permettant d'identifier et de traiter les causes potentielles des défauts et des défaillances avant qu'ils ne surviennent.

L'AMDEC est une méthode rigoureuse de travail en groupe, très efficace grâce à la mise en commun de l'expérience et des connaissances de chaque participant, à condition toutefois que l'animateur AMDEC soit suffisamment expérimenté.

On peut effectuer :

- Une AMDEC Produit, pour vérifier le produit, pour vérifier la conformité d'un produit développé par rapport aux exigences du client,
- Une AMDEC Processus, pour valider la fiabilité du processus de fabrication,
- Une AMDEC Moyen, pour vérifier la fiabilité d'un équipement

Le principe consiste à recenser toutes les causes potentielles de chaque mode de défaillance et d'évaluer la criticité.

Cette dernière résulte d'une triple cotation quantifiée :

- note "G" : Gravité ou sévérité de l'effet du défaut ou de la défaillance,
- note "F" : Occurrence ou fréquence d'apparition de la cause,
- note "D" : Détection : probabilité de non détection de la cause.

L'indice de criticité est obtenu par le produit des trois notes :

$$C = GFD$$

Plus la criticité est importante, plus la défaillance considérée est préoccupante. Lorsque la criticité dépasse la limite prédéfinie par le groupe, ce dernier recherche les actions d'amélioration possible pour la ramener à un niveau acceptable en jouant sur :

- la gravité (exemple : la gravité d'une fuite de carburant sera diminuée par la mise en place d'un bassin de rétention),
- L'occurrence (exemple : en augmentant la fiabilité d'un composant, en jouant sur la maintenance préventive ...),
- La non-détection (exemple : en mettant en place des outils de contrôle et de surveillance, en formant les contrôleurs...).
- La méthode proposée, c'est l'AMDEC qui a pour horizon de focaliser les efforts sur la minorité des éléments qui causent la majorité des effets nuisibles à la maintenance, à la production et à la qualité.

II.10.2 Méthode AMDEC Processus/Produit

Notre approche de l'AMDEC Processus et Produit est basée sur la même démarche (Figure) que nous regroupons en quatre étapes séquentielles :
L'initialisation et l'analyse fonctionnelle, l'étude qualitative ou analyse des modes de défaillance et de leurs effets, l'étude quantitative ou évaluation de la criticité et finalement les actions correctives à mener à travers la minimisation de la criticité.

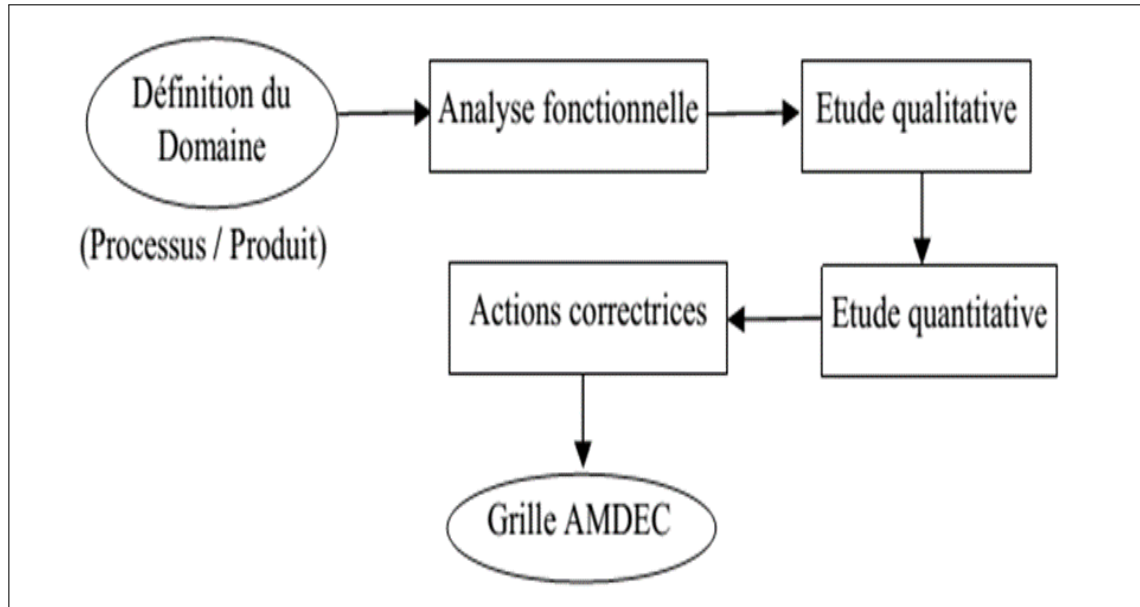


Figure II.5 : Démarche AMDEC Processus / Produit

II.10.2.1 Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)

L'AMDEC – pour Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité – est une méthode d'analyse de la fiabilité technique « qui permet d'une manière inductive de recenser les défaillances dont les conséquences affectent les fonctionnements du système technique dans le cadre d'une application donnée. Autrement dit, elle constitue un « outil d'analyse qualitative et quantitative qui, par anticipation, aide à définir les défaillances potentielles d'un produit, leur probabilité de survenue ainsi que leurs conséquences » Elle s'effectue en passant en revue soit un produit soit un processus et elle comporte deux étapes :

- première étape : réaliser une « analyse qualitative permettant de faire ressortir les modes de défaillance 101 potentiels.
- Deuxième étape : effectuer une « analyse quantitative dont l'objectif est de chiffrer la criticité.

II.10.2.2 Acteurs et le déroulement de l'étude AMDEC

L'AMDEC nécessite l'implication d'un certain nombre d'acteurs formant un groupe pluridisciplinaire : l'animateur, le chef de projet, les concepteurs, les opérateurs, etc. La démarche se déroule en 7 phases.

- Initialisation : définir le périmètre de l'étude ;
- Préparation : collecter l'ensemble des données d'entrée de l'étude (analyse fonctionnelle, description des solutions, méthodes et processus de production, retours d'expérience...);
- Identification des modes de défaillance : d'abord analyser, pour chaque « fonction », les « modes de défaillance » des constituants (ou « composants ») du système qui conduisent au non-respect des caractéristiques attendues ; ensuite décliner, pour chaque mode de défaillance, l'« effet » et la « cause » ;
- Evaluation et hiérarchisation des causes de défaillance : évaluer, pour chaque mode de défaillance, sa « fréquence d'apparition (F) », sa « gravité (G) » et sa « détection (D) ». Un indicateur du niveau de risque – la « criticité (C) » – peut ensuite être calculé en appliquant la formule suivante $C = F \times G \times D$;
- Recherche d'actions préventives : déterminer une action destinée à ramener la criticité à une valeur acceptable si celle-ci est trop élevée ;
- Mise en œuvre de solutions : mettre en œuvre les actions identifiées ;
- « Contrôle d'efficacité » : effectué un suivi de l'efficacité des améliorations apportées.

* Exemple de support AMDEC :

Défaillance		Effets				Criticité			
Mode	Cause	Sur le sys- tème	Sur la fonc- tion	Dommages induits	No de pannes	Fréquence F	Gravité G	Evidence E	Obs

II.11 Conclusion

La maintenance n'est pas toujours le fait de mesurer et de remettre en marche un équipement défaillant, mais c'est maîtriser ces équipements au point de dresser leur planning de maintenance. Cette fonction doit être basée sur des méthodes pour optimiser les comportements des équipements.

Chapitre III

Application du maintenance

III.1 Introduction

La maintenance est la partie importante de notre travail pour découvrir les défauts qui affectent le panneau solaire et réduire de la production, selon les expériences que nous avons menées à Conservation National Des Formation à l'Environnement de EL Oued (CNFE).

Nous avons abordé de nombreuses méthodologies au système PV dans l'Institut National.

En suivant les étapes de maintenance, enfin nous provenons combien il est important de maintenir Sur le panneau solaire de tous les défauts et obstacles naturels.



Figure III.1 : Institut National d'El Oued

III.2 Maintenances des panneaux

III.2.1 Défaut 1 : Poussière

Définition : Prévenir l'encrassement des filtres à air des onduleurs pour éviter leur vieillissement prématuré. Nettoyer les filtres à air, qui ne devraient pas dégager de poussières lorsqu'on les tape (A défaut, les changer).

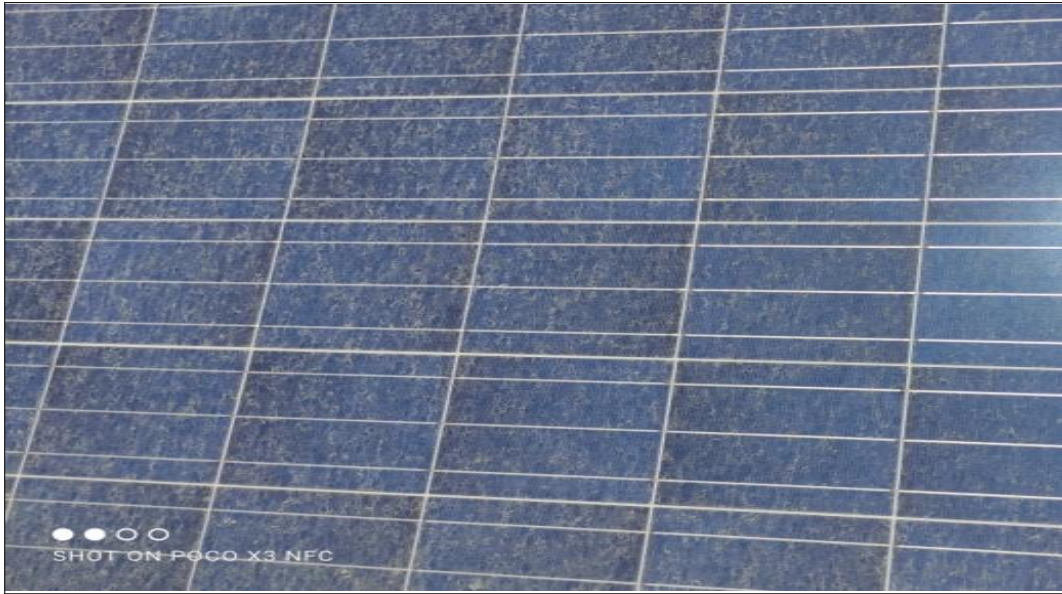


Figure III.2 : Poussière



Figure III.3 : Nettoyer le panneau solaire de la poussière

Tableau III.1 : Mesure effectuée sur le panneau en état poussière.

Heure	Avant la maintenance		Après la maintenance		Etat normal	
	Tension V	Intensité I	Tension V	Intensité I	Tension V	Intensité I
08 :00	19.32	2.04	20.18	2.76	20.40	2.86
11 :00	19.56	2.20	20.36	2.98	20.90	3.25
13 :00	19.69	2.37	20.96	3.45	21.20	3.75
15 :00	19.74	2.49	21.27	3.82	21.60	3.87

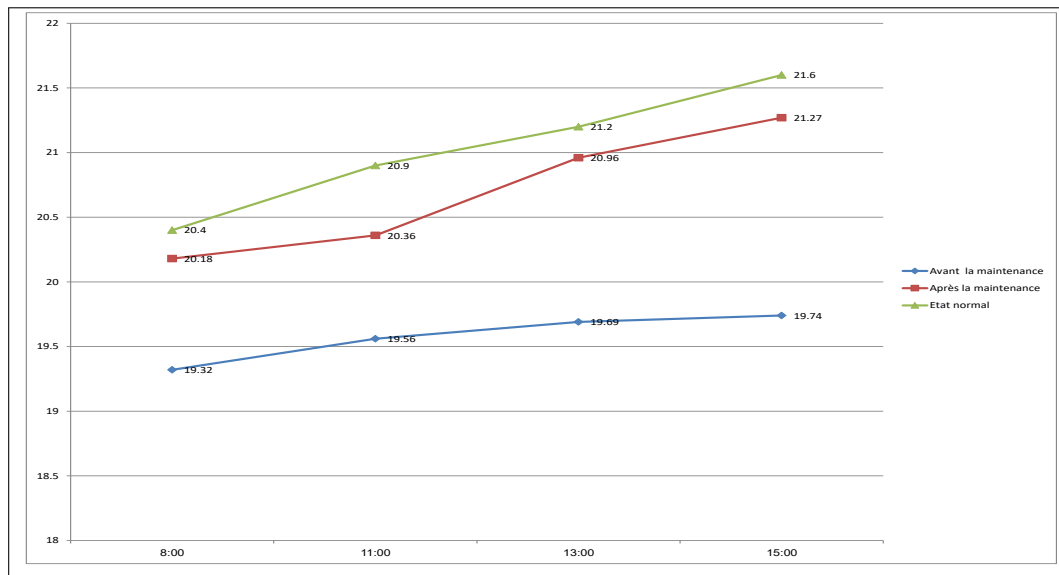


Figure III.4 : Variation de la Tension V en fonction de temps

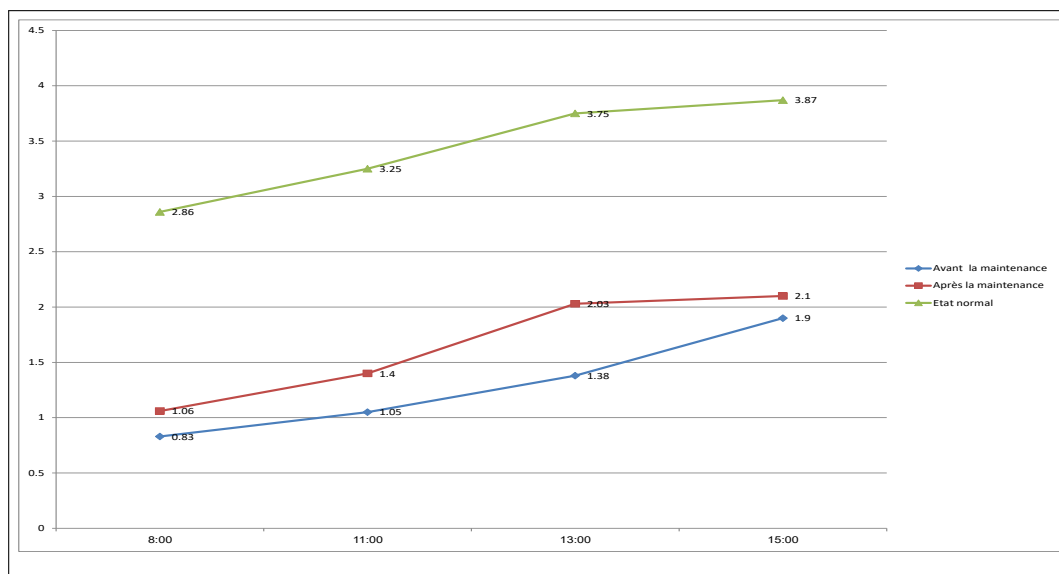


Figure III.5 : Variation de Intensité I en fonction de temps

Résultats 1 :

- Dans la figure (III.4) On peut voir que la tension V **avant maintenance** n'a pas beaucoup changé avec le temps, parce que la poussière n'a pas clairement affecté les résultats, par exemple à l'heure 08 :00 était $V=19.32$ et avec l'augmentation de rayonnement solaire et dans l'heure 13 :00 était $V=19.69$ et aussi sur l'heure 15 :00 était $V=19.74$.
- Quant à l'**après maintenance**, on remarque un changement important la tension par rapport à l'avant maintenance par exemple à l'heure 08 :00 était $V=20.18$ et avec le temps, les résultats augmentent jusqu'à ce qu'il ait presque atteint l'état de la panneau solaire, qui est dans son état naturel, et c'est ce que nous avons enregistré à l'heure 15 :00 était $V=21$.
- Dans la figure (III.5) On peut voir que l'intensité I **avant maintenance** était un léger changement et n'est pas considérée comme efficace, par exemple à l'heure 08 :00 était $I=2.04$ avec le passage du temps, et à environ l'heure 13 :00 était $I=2.37$, les résultats sont restés stables.
- Quant à l'**après maintenance**, Il y a un changement radical que nous avons remarqué à l'heure 11 :00 était $I=2.98$ et il a continué à augmenter les résultats jusqu'à ce que il a arrive à l'heure 15 :00 était $I=3.82$.

III.2.2 Défaut 2 : Bris du verre de la face avant

Définition :La face avant du panneau photovoltaïque est recouverte d'une surface de verre, et peut être brisé en cas d'événement mécanique non prévu (grêle, jet de pierre). Ceci aura Our conséquence une perte d'étanchéité (possibilité de corrosion, de détérioration des cellules et une probable diminution de la performance globale du module).

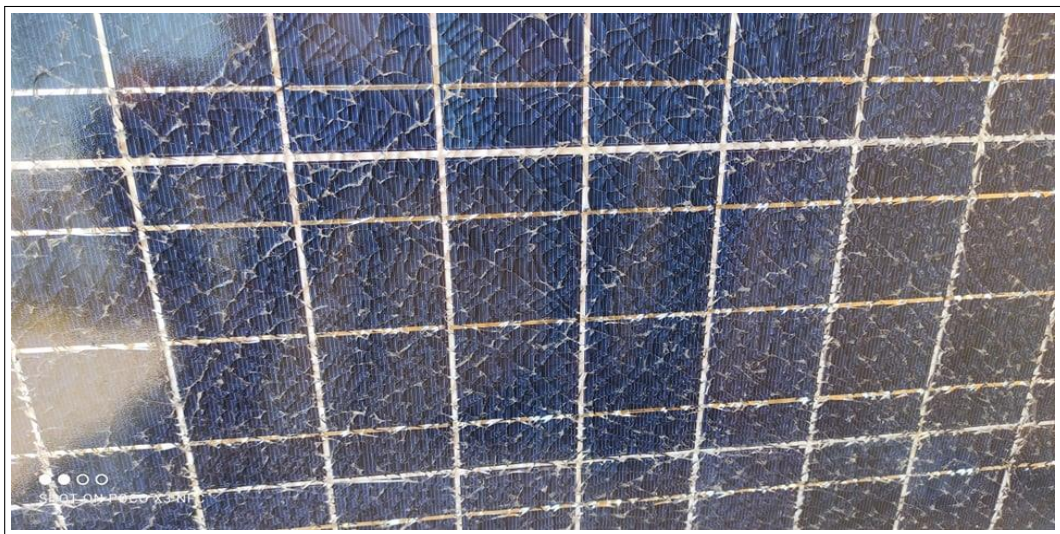


Figure III.6 : Bris du verre de la face avant



Figure III.7 : Appareil de mesure

Tableau III.2 : Mesure effectuée sur le panneau en état Bris du verre.

Heure	Avant la maintenance		Après la maintenance		Etat normal	
	Tension V	Intensité I	Tension V	Intensité I	Tension V	Intensité I
08 :00	18.62	0.83	19.60	1.06	20.40	2.86
11 :00	19.24	1.05	19.82	1.40	20.90	3.25
13 :00	19.81	1.38	20.41	2.03	21.20	3.75
15 :00	19.95	1.90	20.56	2.10	21.60	3.87

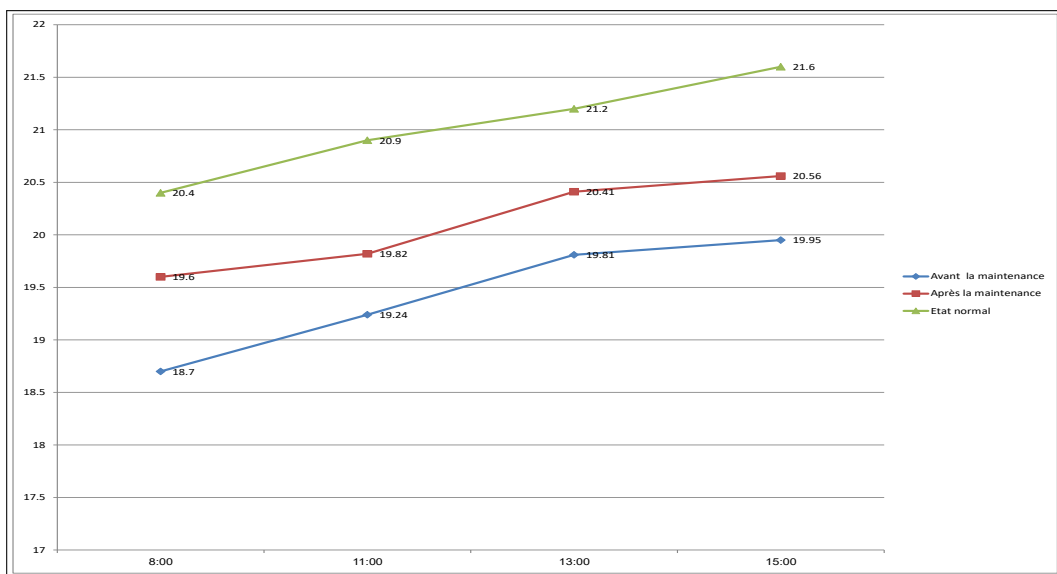


Figure III.8 : Variation de la Tension V en fonction de temps

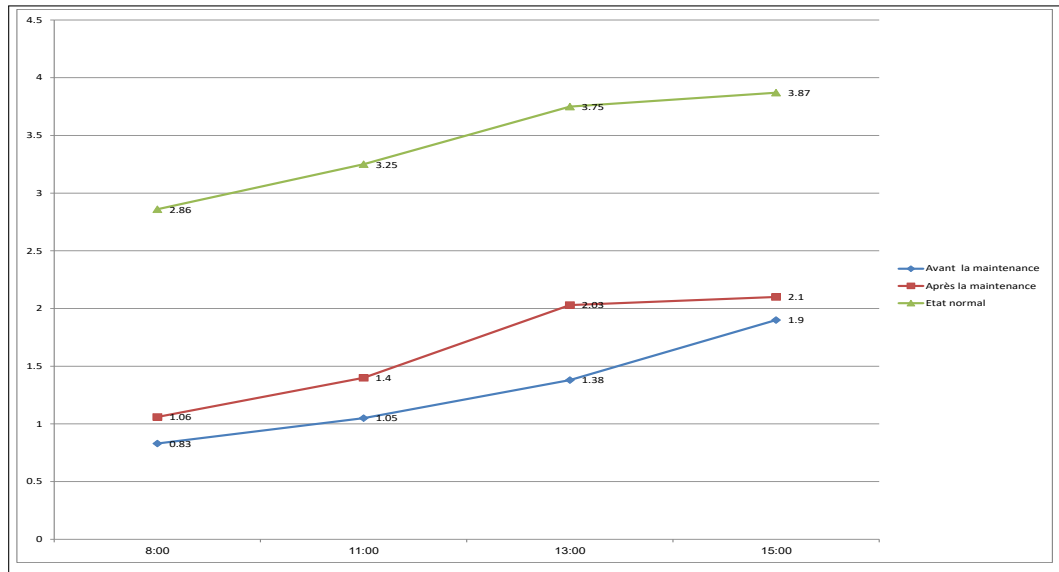


Figure III.9 : Variation de Intensité I en fonction de temps

Résultats 2 :

- Nous pouvons regarder la figure (III.8) La tension V **avant maintenance** a changé au cours du temps car Bris du verre de la face avant elle est fortement empêchée absorbeur de rayonnement solaire, par exemple à l'heure 08 :00 était $V=18.62$ et il a continué à augmenter les résultats jusqu'à ce que j'arrive à l'heure 15 :00 était $V=19.95$.
- Quant à l'**après maintenance**, nous avons vu un changement dans les résultats par rapport à ce que nous atteignons avant la maintenance, à l'heure 08 :00 était $V=19.60$ et également constaté une différence significative à l'heure 15 :00 était $V=20.56$.
- nous avons vu la figure (III.9)l'intensité I **avant maintenance**, c'était presque inexistant et très petit par exemple à l'heure 08 :00 était $I=0.83$ les résultats n'ont pas beaucoup changé jusqu'à ce que il a arrive à l'heure 13 :00 était $I=1.38$.
- Quant à l'**après maintenance**, Il y a un changement important , à l'heure 08 :00 était $I=1.06$ et les résultats ont augmenté de manière significative par rapport à ce que nous avons enregistré avant la maintenance à l'heure 13 :00 était $I=2.03$.

III.2.3 Défaut 3 : Trace d'escargot

Définition :Les traces d'escargots sont le résultat de plusieurs phénomènes identifiés. Pour connaître la source exacte de ce phénomène, des études en laboratoire peuvent être nécessaires. Si les traces d'escargots ne provoquent pas nécessairement de perte de production, il convient de surveiller leur évolution pour prévenir une éventuelle détérioration des modules impactés. Il est important de mesurer son impact sur la production avant d'envisager le changement de ces modules.

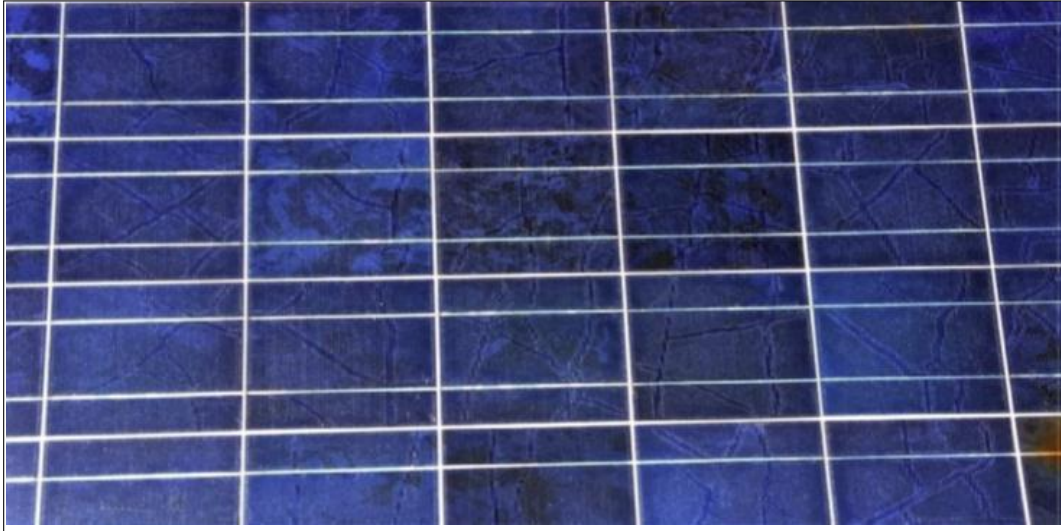


Figure III.10 : Traces d'escargot



Figure III.11 : Mesure sur le panneau

Tableau III.3 : Mesure effectuée sur le panneau en état Traces d'escargot.

Heure	Avant la maintenance		Après la maintenance		Etat normal	
	Tension V	Intensité I	Tension V	Intensité I	Tension V	Intensité I
08 :00	19.28	0.90	19.42	1.04	20.40	2.86
11 :00	19.53	1.03	19.90	1.49	20.90	3.25
13 :00	19.76	1.20	20.05	1.92	21.20	3.75
15 :00	19.92	1.66	20.38	2.20	21.60	3.87

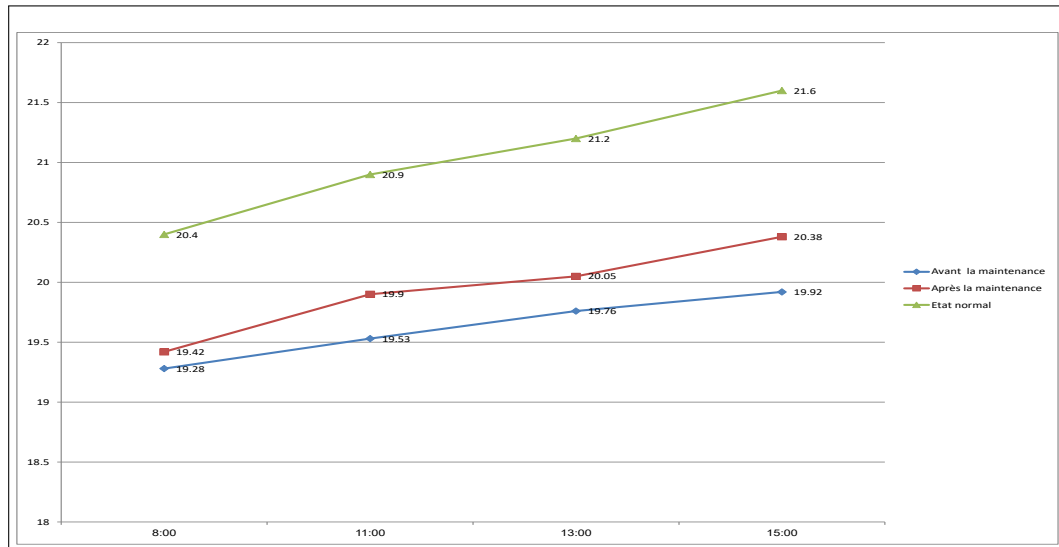


Figure III.12 : Variation de la Tension V en fonction de temps

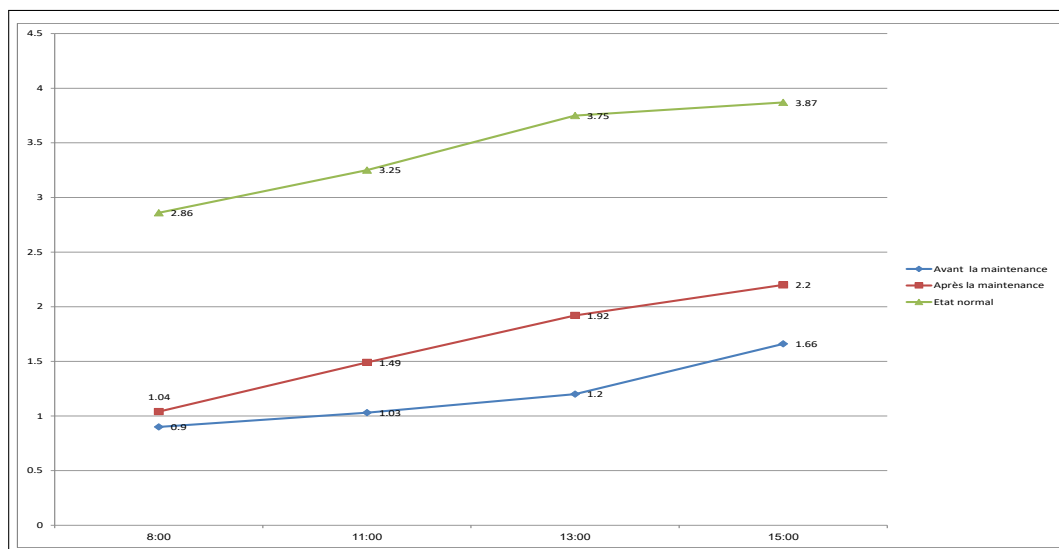


Figure III.13 : Variation de Intensité I en fonction de temps

Résultats 3 :

- Nous avons atteint dans la figure III.12 La tension V **avant maintenance**, Il a enregistré de bons résultats et ne l'a pas affecté trace d'escargot par exemple à l'heure 08 :00 était $V=19.28$ et il a continué à augmenter légèrement les résultats jusqu'à l'heure 15 :00 était $V=19.92$.
- Quant à l'**après maintenance**, nous avons obtenu des résultats plus que bons par rapport à ce que nous avons enregistré avant maintenance à l'heure 08 :00 était $V=19.42$ il s'est levé pour atteindre à l'heure 15 :00 était $V=20.38$.
- Nous avons atteint dans la figure III.13 L'intensité I **avant maintenance**, c'était presque inexistant et très petit par exemple à l'heure 08 :00 était $I=0.90$ les

résultats n'ont pas beaucoup changé jusqu'à ce que il a arrive à l'heure 11 :00 était $I=1.03$ il est également resté presque stable à l'heure 15 :00 était $I=1.66$.

- Quant à l'**après maintenance**, il y a un changement significatif et significatif par rapport à ce que nous avons enregistré avant la maintenance à l'heure 11 :00 était $I=1.49$ les résultats ont continué à augmenter à l'heure 15 :00 était $I=2.20$.

III.2.4 Défaut 4 : Végétation

Définition :Il faut vérifier que la végétation ne fait pas d'ombre sur l'installation.

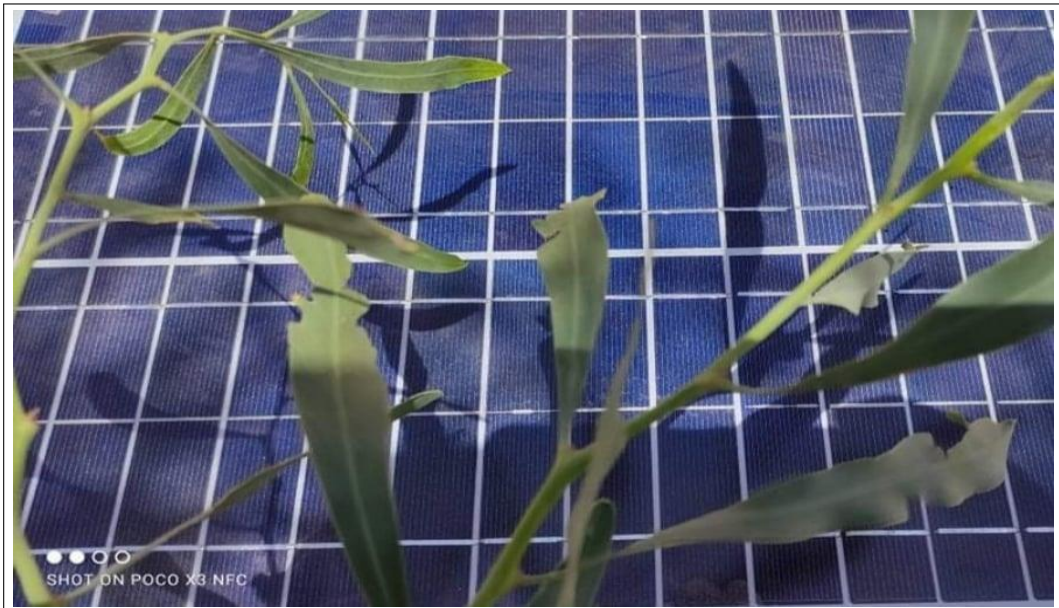


Figure III.14 : Végétation

Tableau III.4 : Mesure effectuée sur le panneau en état Traces d'escargot.

Heure	Avant la maintenance		Après la maintenance		Etat normal	
	Tension V	Intensité I	Tension V	Intensité I	Tension V	Intensité I
08 :00	19.03	0.56	20.31	2.82	20.40	2.86
11 :00	19.28	0.68	20.67	3.17	20.90	3.25
13 :00	19.53	0.82	21.09	3.60	21.20	3.75
15 :00	19.67	0.91	21.37	3.82	21.60	3.87

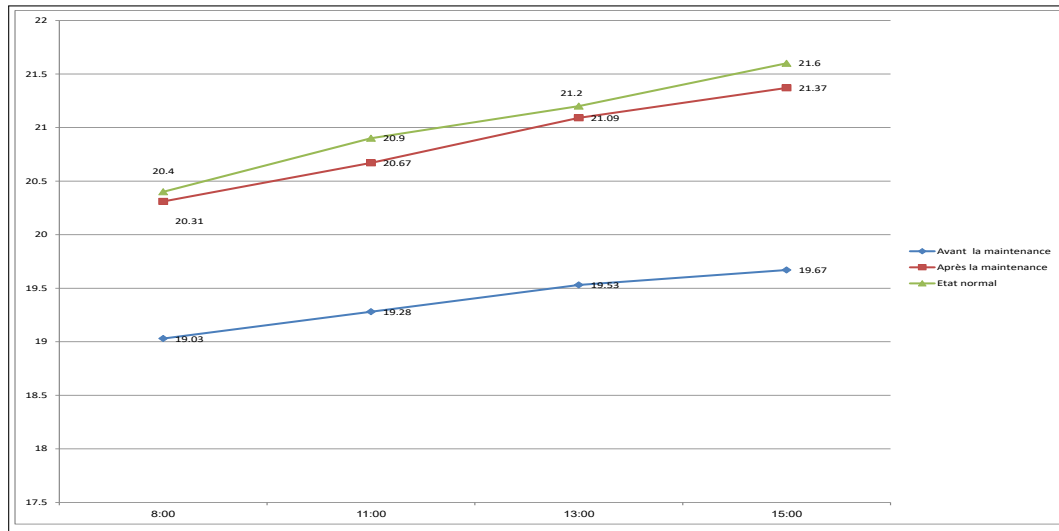


Figure III.15 : Variation de la Tension V en fonction de temps

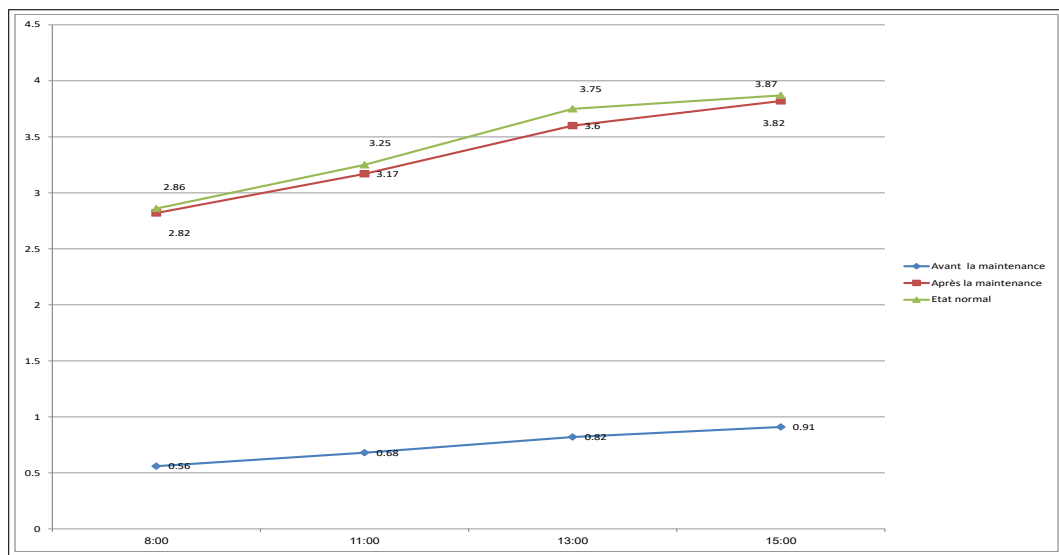


Figure III.16 : Variation de Intensité I en fonction de temps

Résultats 4 :

- Nous avons réalisé dans la figure (III.15) la tension V **avant maintenance**, cela n'a pas beaucoup affecté même si le panneau solaire était à végétation par exemple à l'heure 08 :00 était $V=19.03$ et il a continué à augmenter légèrement les résultats jusqu'à l'heure 15 :00 était $V=19.67$.
- Quant à l'**après maintenance**, nous avons trouvé un changement notable par rapport à ce que nous avons enregistré avant la maintenance à l'heure 08 :00 était $V=20.40$ Les résultats ont continué à augmenter au fil du temps jusqu'à ce qu'ils atteignent à l'heure 15h00 était $V=21.60$.

- Nous avons réalisé dans la figure (III.16) L'intensité I **avant maintenance**, Les résultats étaient presque totalement inexistant car le panneau est à végétation à l'heure 08 :00 était $I=0.56$ et c'est resté presque le même, même pendant environ une heure 15 :00 était $I=0.91$.
- Quant à l'**après maintenance**, Il y a un changement très important et impressionnant, qui a donné de très bons résultats par exemple à l'heure 08 :00 était $I=2.82$ il a augmenté avec le passage du temps jusqu'à ce qu'il atteigne à l'heure 15 :00 était $I=3.82$.

III.2.5 Défaut 5 : Corrosions et oxydation

Définition :La corrosion (décoloration) et l'oxydation des contacts métalliques tels que les doigts, les barres omnibus, les interconnexions de ruban et de chaîne, le lien de soudure et les bornes de sortie sont causés par plusieurs facteurs tels que la pénétration d'humidité, une absorption plus importante de l'agent d'encapsulation, une combinaison de tension du système, ce défaut augmente la résistance série et dégrade le facteur de remplissage, conduit à une puissance de sortie réduite , Un exemple de corrosion des interconnexions de barres et de cellules.



Figure III.17 : Corrosion dans les interconnexions de cellules

III.2.6 Défaut 6 : Délamination

Définition : La délamination est une perte d'adhésion entre le verre, l'encapsulant, la surface photovoltaïque active et la face arrière devient poreuse. Dans le cas d'une encapsulation EVA, la délamination a plus de chance de se produire entre l'encapsulant et la surface active en raison d'une adhésion initiale déjà limitée. La délamination peut être suivie par une augmentation de l'humidité à l'intérieur du panneau et donc de la corrosion.

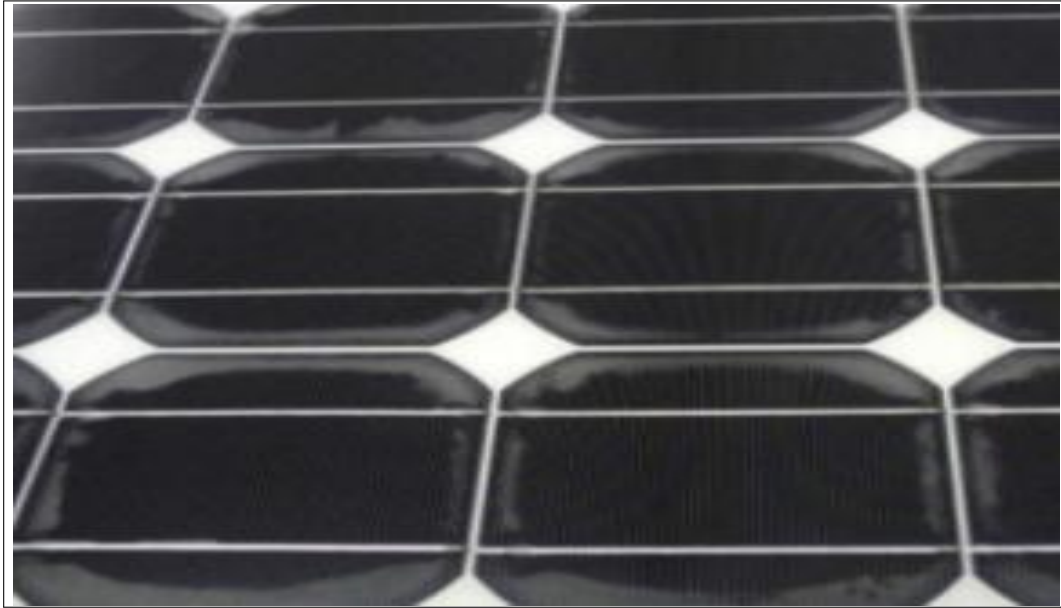


Figure III.18 : Délamination

III.2.7 Défaut 7 : Fissuration de la cellule PV

Définition : Les fissures visibles des cellules peuvent être formées par des contraintes mécaniques ou thermiques pendant une période d'exposition extérieure. Les microfissures peuvent également être causées par les mêmes contraintes, qui se forment lors de la fabrication.



Figure III.19 : Fissure de la cellule

III.2.8 Défaut 8 : Encrassement des Panneaux

Définition : Indique la nécessité de nettoyer les panneaux.



Figure III.20 : Encrassement des Panneaux

III.3 Classification des défauts d'un générateur photovoltaïque

Nous avons cité précédemment quatre catégories de défauts : les défauts prolongés avec un rendement nul, les défauts brefs avec un rendement nul, les défauts d'ombrage et les défauts sans d'ombrage avec un rendement non nul. Dans cette partie on va présenter la classification des défauts selon leur catégorie .

III.4 Méthodes de détection et de localisation de défauts dans un système PV

Si nous voulons maximiser la production d'énergie pendant toute la vie du système photovoltaïque, nous devons être capables de reconnaître l'instant d'apparition d'un défaut ou une réduction de la puissance de sortie. Nous devons également savoir ce qui a causé la perte de la production dès que possible, et de trouver une solution rapide. Car le temps d'arrêt du système provoque en effet un dommage économique et une diminution de la production d'électricité. On peut distinguer deux catégories de méthodes de diagnostic courantes industrialisées : des méthodes reposant sur l'analyse du courant et de la tension (que nous appellerons méthodes électriques) et des méthodes reposant sur l'analyse d'autres grandeurs que I et V (que nous appellerons méthodes non –électriques).

Tableau III.5 : La classification des défauts selon leurs catégories.

Défauts	Description	Catégorie
Défauts du composant Système déconnecté (longue durée)	La production de l'électricité est nulle lorsqu' il ya des pannes au niveau des composant La production est arrêté puisqu' il ya une isolation (déconnection) du Système PV	Défauts prolongé avec un rendement nul
déconnection temporaire de l'onduleur Système déconnecté (courte durée)	La production de l'électricité est nulle puisqu' il ya une déconnection entre la chaine PV et l'onduleur La production est arrêté puisqu' il ya une isolation (déconnection) du Système PV	Défauts bref avec un rendement nul
Défauts d'ombrage	Le rayonnement solaire est bloqué par des objets d'ombrage externe (batiments , arbres)	Défauts d'ombrage
Erreurs MPPT	La variation des caractéristiques (I V) varie la caractéristiques de la courbe de puissance	Défauts avec un rendement non nul (pas d'ombrage)

III.4.1 Méthodes non – électriques

Il existe plusieurs méthodes non électriques, destructives ou non destructives, pour diagnostiquer le défaut au niveau de cellule P V. Le défaut principal qui peut avoir lieu à ce niveau est la fissure de la cellule. On peut citer comme méthodes : les essais par Inspection visuelle, Technique de Vibrations ultrasoniques résonante et, tests de thermographie. Pour le diagnostic des modules PV, la méthode de l'imagerie (caméra thermique) infrarouge est largement appliquée.

III.4.1.1 Inspection visuelle

L'Inspection visuelle est la première étape de l'analyse, elle peut être utilisée pour détecter les défauts de fabrication à la sortie d'une chaine de production comme elle peut être utilisée dans un champ photovoltaïque opérationnel, cette méthode permet de détecter certains défauts tels que le Jaunissement, les décollements, les bulles, les fissures dans la cellule, l'inadaptation et les cellules brûlées. Cette méthode est généralement la première étape pour déterminer si un module PV doit être soumis à d'autres tests. L'inspection doit être effectuée sous la lumière naturelle afin de recevoir une lumière intense de bonne qualité. Les Réflexions de la lumière doivent être évitées, car ils peuvent conduire à des images défectueuses. L'inspection doit être effectuée sous

des angles différents pour différencier la couche où le défaut pourrait apparaître et d'éviter les erreurs dues à des images réfléchies. Il faut prendre plusieurs photos et de plusieurs positions car une seule photo prise d'une seule position n'est pas suffisante, elle pourrait contenir une image réfléchie et conduire à une erreur de détection.

III.4.1.2 Méthode de thermographie infrarouge (IR)

Cette technique est également connue comme la thermographie [18], elle détecte la température de la surface de différentes zones et génère un graphique. La thermographie infrarouge est une technique qui permet de mesurer à distance et sans contact la température d'une scène observée. La thermographie IR est devenue un des outils de diagnostic incontournables de la maintenance prédictive. En effet, la plupart des défauts se traduisent par un échauffement ou un refroidissement anormal. Seule la Thermographie Infrarouge vous permet d'observer rapidement une scène thermique et de mettre en évidence, sans contact, des différences de températures à la surface de tout type d'objet. Ainsi, en détectant ces anomalies, souvent invisibles à l'oeil nu, la thermographie permet des actions correctives avant l'apparition de pannes ou problèmes coûteux.

Cette technique peut détecter et localiser plusieurs défauts : points chauds, le mis match, l'ombrage et les défauts de diode de by-pass.

III.4.1.3 Méthode par verrouillage en thermographie (LIT)

Il s'agit d'une variante de la méthode IR mentionnée précédemment. Cette méthode est utile dans la recherche de perte de puissance. Dans cette technique, un courant électrique est injecté dans la cellule solaire. Le courant n'est pas un courant continu, mais plutôt un courant pulsé. Si la cellule a un défaut de court-circuit la température augmente chaque fois que ce dernier se manifeste. Il est possible de détecter plusieurs types de défaut en utilisant différentes modulations des courants injectés. Ce test peut être effectué dans des conditions sombres ou sous éclairage. Dans le cas de l'éclairage, les cellules sont généralement sous les conditions de circuit ouvert (Voc). Une étude faite dans [19] pour comparer cette méthode aux méthodes d'électroluminescence et de photoluminescence afin de localiser les défauts de court-circuit.

III.4.1.4 Technique de Vibrations ultrasoniques résonante ou à résonance(RUV)

Afin de détecter les fissures et les microfissures dans les cellules, une technique basée sur l'analyse des vibrations ultrasoniques peut être utilisée. Cette technique permet de détecter les écarts de la réponse de la fréquence caractéristique après une excitation de la cellule par ultrasons. Ce détecteur est basé sur un transducteur piézoélectrique situé dans la périphérie de la cellule, un système d'acquisition de données commandée par ordinateur est utilisé pour traiter les données obtenues. Il a été démontré que la diminution de la fréquence de résonance et la bande passante augmente lorsque une

fissure apparaîât dans une cellule .Ce système est utile pour détecter les fissures dans les cellules autonomes, et avec certaines restrictions, il pourrait être appliqué à des modules photovoltaïques complets.

III.4.2 Méthodes électriques

Dans ces méthodes les grandeurs mesurées les plus courantes sont :

- Le courant débité par le GPV.
- La tension aux bornes du GPV.
- La résistance d'isolement entre les bornes positive et négative du GPV.
- Il est aussi possible d'ajouter les grandeurs complémentaires que sont la température ambiante du site et l'ensoleillement aux mesures électriques.

Des mesures écrites dans les deux paragraphes précédents, il est aisé de déduire :

- La puissance instantanée DC.
- L'énergie produite sur différentes périodes (suivant la capacité de stockage des données) côtés DC [20].

III.4.2.1 Analyse de la puissance et de l'énergie produite

La puissance ou l'énergie mesurée est comparée à celle attendue et lorsqu'une déviation importante a lieu, on considère qu'il y a un défaut. L'analyse mentionnée consiste à générer des attributs supplémentaires de la chute de la puissance ou de l'énergie produite telles que : la durée, l'amplitude, la fréquence et les instants de la chute. Ces mêmes attributs sont également prédéterminés pour les différents défauts considérés. Lors de leur comparaison, le défaut dont la valeur des attributs considérés est la plus proche de celle déduite des grandeurs mesurées est considéré comme le défaut responsable de la chute [21].

III.4.2.2 Analyse du point de fonctionnement

Outre la comparaison de la puissance ou de l'énergie produite actuelle et celle attendue, la comparaison du point de la puissance maximale actuel (courant et tension correspondante à la puissance maximale) et celui attendu peut apporter plus d'information sur l'état du système PV [22].

III.4.2.3 Analyse de la caractéristique statique

Nous avons vu précédemment qu'un champ photovoltaïque peut être décrit par sa caractéristique statique courant/tension (caractéristique I-V). La déformation de la caractéristique courant-tension peut être provoquée par le changement de la condition de fonctionnement (ensoleillement ou température) ou par l'apparition d'un ou des défauts dans le système PV. La figure suivante montre l'allure de la caractéristique I-V en mode défaillant (ombrage d'un module de 36 cellules à 50%) comparée à celle du mode normal.

L'analyse de la caractéristique I-V consiste à étudier l'impact des différents défauts (dans la cellule, module, string et champ) sur la performance du champ PV, donc sur la caractéristique I-V elle-même.

-Caractéristique I-V dans le cas défaut d'ombrage dans un string ou dans un champ [23, 24].

-Augmentation de la résistance série entre cellules ou entre modules, vieillissement) [25].

III.5 Application pour système photovoltaïque

La synthèse entre l'inspection visuelle et l'avis des experts, nous a permis de réaliser le tableau AMDEC

Tableau III.6 : Mesure effectuée sur le panneau en état Traces d'escargot.

Elément	Fonction	Modes de défaillances	Effets	Causes
Module PV	Transformer l'énergie solaire en énergie électrique	Le module PV ne délivre pas d'énergie électrique	Le système ne produit pas d'énergie électrique	Point chaud
				Défaillance de la boîte de connexion
				Vitrage cassé
				Défaillance de diodes de by-pass
		Le module PV délivre une puissance dégradée inférieure à la puissance maximale	Le système produit moins ou pas d'énergie électrique	délamination
				Cellules cassées
				Défaillance de la soudure des rubans
				Interconnexions cassées
				Décoloration de l'encapsulant
				Corrosion

Batterie	Délivrer l'énergie électrique quand il y a insuffisance	Problème de l'électrolyte	Pas d'énergie à la sortie de la batterie	Stratification de l'électrolyte
		Détérioration des électrodes		Sulfatation
				Corrosion
				Non cohésion des masses actives
Régulateur	Protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profonde	Problème des composants électroniques	Pas de régulation de la tension de la batterie	Défaillance de la Resistance
				Défaillance de la diode
				Défaillance du transistor
Onduleur	Transformer l'énergie électrique contenue en alternative	L'onduleur ne délivre pas d'énergie électrique alternative	Pas d'énergie à la sortie de l'onduleur	Panne de relais de sortie
				Faux contacte
				Fusible fondue
				Défaillance MPPT
		L'onduleur délivre une énergie électrique alternative dégradée		Corrosion
				Oxydation des boutons de commande et de visseries

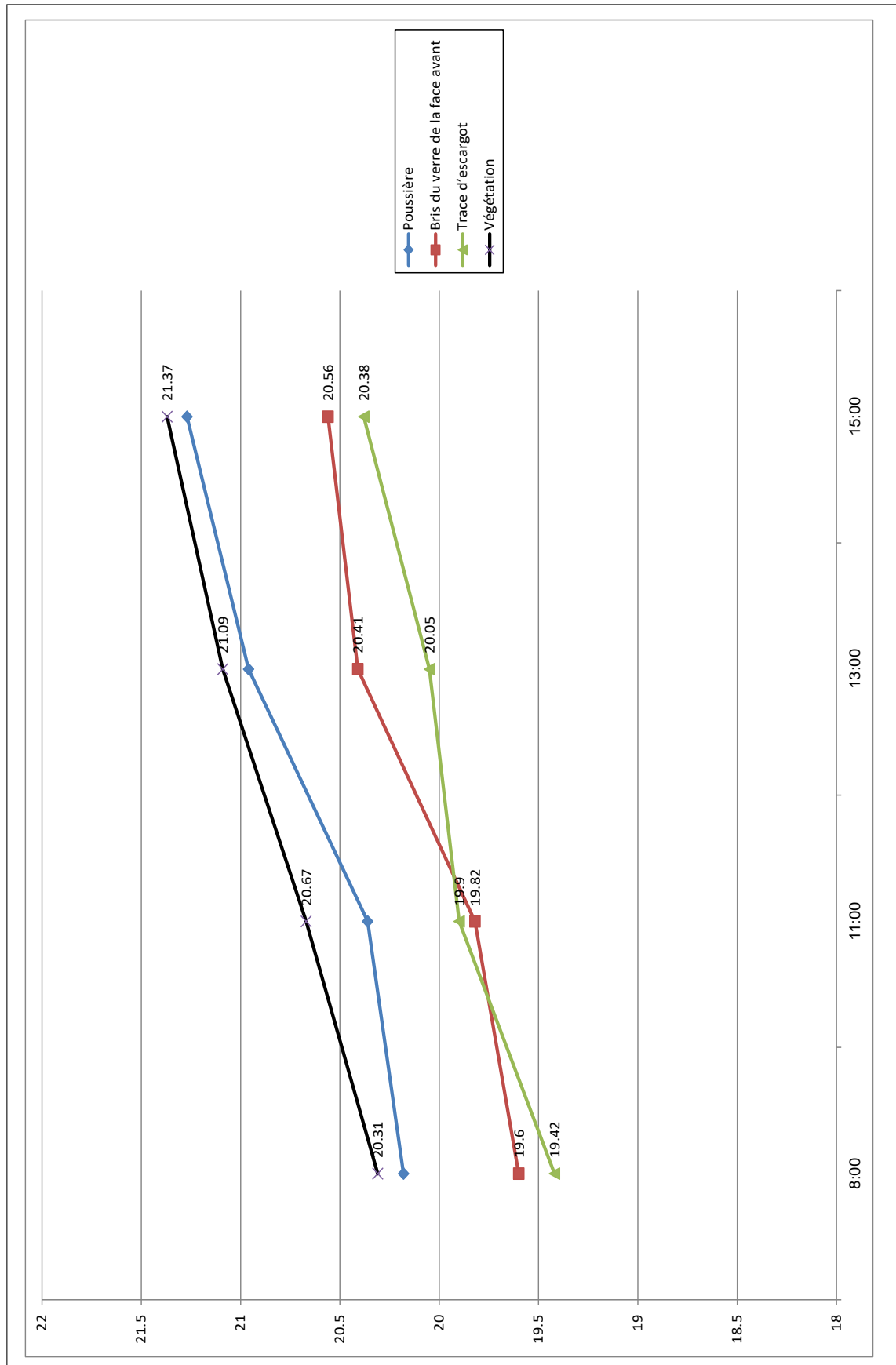


Figure III.21 : Quatre Défauts après maintenance en terme de tension V.

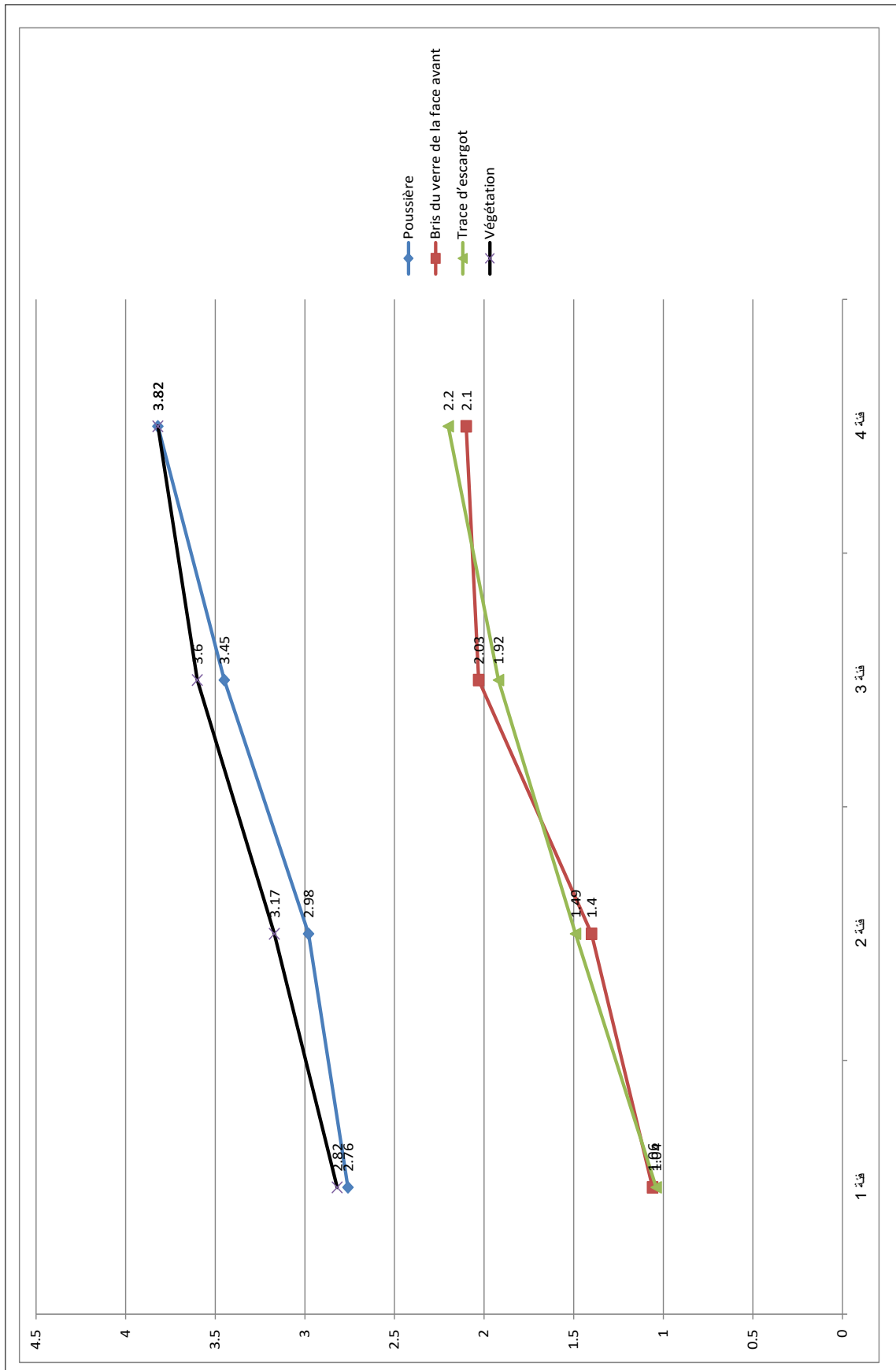


Figure III.22 : Quatre Défauts après maintenance en terme d'intensité I.

III.6 Résultats et discussions

A travers ce que nous avons étudié et grâce aux expérimentations que nous avons menées à Conservation National Des Formation à l'Environnement de EL Oued (CNFE).

D'étude et de maintenance des défauts sur le panneau solaire, nous avons touché de nombreux points importants et obtenu les résultats souhaités grâce à la maintenance corrective, que nous recherchons dans cette mémoire, et nous avons résumé tout les resultats dans le tableau(III.7) :

Tableau III.7 : Résultats avant et après la maintenance.

Défauts	Avant la maintenance	Après la maintenance
Poussière	- La tension n'est pas beaucoup affectée car la poussière ne réduit pas la température. - L'intensité n'était pas non plus très affecté car le panneau solaire dans ce cas continuait d'absorber les rayons du soleil.	Le nettoyage a joué un rôle efficace en donnant de très bons et excellents résultats par rapport à avant la maintenance, nous avons donc obtenu un tension et une Intensité élevée.
Bris du verre de la face avant	- La tension n'a presque pas beaucoup diminué et à un degré qui a affecté les résultats. - L'intensité était presque inexistant car le verre brisé réduit l'efficacité de capture de la lumière nécessaire des rayons du soleil.	La tension n'a pas changé de manière significative par rapport à L'intensité qui a changé et a donné de bon résultats.
Trace d'escar-got	- La tension ici n'a pas été clairement affectée car le panneau solaire dans ce cas absorbe la température. - L'intensité qui change significativement par rapport à la tension, et ses résultats sont élevés et donne un grand rendement en production.	Le rapport de Intensité a augmenté de manière significative et supérieure par rapport à ce que nous avons enregistré à propos de la tension.

Végétation	- La tension les résultats sont considérés comme valides et acceptables car la température est présente. - L'intensité très peu des résultats et presque inexistantes ont été enregistrés car il n'y a pas de soleil.	Le rapport d'intensité a augmenté de manière significative et supérieure par rapport à ce que nous avons enregistré à propos de la tension.
-------------------	---	---

III.7 Conclusion

Dans la fin de cette partie pratique de ce mémoire et après les études qu'on a faits sur ce système Dans ce chapitre, nous avons traité de l'étude et du diagnostic des défauts visuels pouvant survenir dans le panneau solaire et de la mesure du courant et de la tension avant et après maintenance. En adoptant la maintenance corrective. En conclusion, la maintenance d'un système photovoltaïque est une obligation, pour assurer une longévité du système.

Conclusion générale

La performance et le rendement du dispositif photovoltaïque sont une condition préalable à la stabilité et aux systèmes de production. La stratégie de maintenance est l'une des fonctions qui contribuent à améliorer la prospérité des entreprises et des institutions économiques et industrielles. Par conséquent, la stratégie de maintenance la plus appropriée doit être choisie pour contrôler à la fois les coûts de maintenance, la disponibilité, l'outil de production et la qualité des produits et des services. Lors de notre stage pratique à Conservation National Des Formation à l'Environnement de EL Oued (CNFE).

Au début des travaux, nous avons effectué la maintenance préventive avec toutes les notes dans le fiche de suivi et de donner des solutions préventives. Après avoir pris toutes les précautions et fourni toutes les demandes selon ce qui est dans la fiche de suivi, nous avons effectué une maintenance corrective sur les panneaux solaires, qui a consisté à nettoyer des salissures et poussières pour absorber de manière significative les rayons, ainsi qu'un bon examen du panneau. pour l'absence de Trace d'escargot ou Bris du verre de la face avant ou Délamination ou Corrosion dans les interconnexions de cellules . Ensuite, nous avons travaillé à appliquer de nombreuses méthodologies et appliquer la méthode (AMDEC) au système PV .

À la fin de nos travaux, nous avons fait des recommandations pour améliorer le plan Maintenance préventive, ces recommandations sont principalement basées sur la réduction La survenue de défauts sur le panneau solaire ayant affecté le rendement de production de ce système photovoltaïque .

Références Bibliographiques

- [1] BUN Long, thèse docteur de l'université de Grenoble, 7 août 2006.
- [2] Fateh SLAMA, “ Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique”, mémoire de magister, Université de Sétif, Janvier 2012.
- [3] BELAOUT Abdesslam, mémoire magister universite – Setif-1-.28/10/2014.
- [4] F. ADAMO, F. ATTIVISSIMO, A. DI NISIO, A. M. L. LANZOLLA and M. SPADAVECCHIA, “Parameters estimation for a model of photovoltaic panels”, XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology, September 2009, Lisbon, Portugal, pp. 964-967.
- [5] 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.
- [6] V. Didier, ”les onduleurs des systèmes photovoltaïques : fonctionnement, état de l'art et étude des performances”, rapport HESPUL, Villeurbanne, 2007.
- [7] Kamelia HELALI, “ Modélisation D'une Cellule Photovoltaïque : Etude Comparative”, Mémoire de magister, Université de Tizi-Ouzou, Juin 2012.
- [8] Akassewa Tchapo SINGO, Système d'alimentation photovoltaïque avec .stockagehybride pour l'habitat énergétiquement autonome, Université Henri Poincaré, Nancy-I, 2010.
- [9] A, Labouret. M, Villos. « Energie solaire photovoltaïque » le manuel du professionnel.3^{me} édition Dunod, 2006.
- [10] OUMHANI, M. and S. MECHTA, Amélioration du rendement d'un système électromécanique par l'utilisation des méthodes de maintenance industrielle. 2020, Université de M'sila.
- [11] Cours Master.Maintenance.pdf.
- [12] Géhan, M., Contribution à l'intégration des processus de planification de la production et de la maintenance en contexte incertain. 2014, Nantes.
- [13] Zemouri, R., Contribution à la surveillance des systèmes de production à l'aide des réseaux de neurones dynamiques : Application à la e-maintenance. 2003, Université de Franche-Comté.

- [14] OUFRANI, M.A. and D.E. HAMADI, Optimisation de la maintenance préventive d'une turbine à gaz TURBOMACH T70 par les méthodes AMDEC et PARETO. 2020, جامعة غرداية .
- [15] MEBBANI, Y., La Méthode ABC (Activity Based Costing) Concepts et mise en place. *مجلة الإستراتيجية والتنمية*, 2012 (2) 2 : p. 49-75
- [16] A. ABDI, «mémoire de master, optimisation de la fonction maintenance par la methode AMDEC,» Tlemcen, 2012/2013
- [17] ILLOUL, M. and H. OUDDAI, Optimisation de la fonction maintenance par la methode amdec Cas de la Presse Transfert 630 2MR-TR3 au sein de l'entreprise ENIEM. 2016.
- [18] P. Parinya, B. Wiengmoon, D. Chenvidhya, C. Jivacate, K. Kirtikara, and C. Limsakul, "correlation between electrical parameters of solar cells and temperature characteristics obtained from infrared thermography," *Tech. Dig. Int. PVSEC-17*, Fukuoka, Japan, 2007
- [19] A. Monastyrskiy, S. Ostapenko, O. Polupan, H. Maeckel, and M. Vazquez, "Resonance Ultrasonic Vibrations for in-line crack detection in silicon wafers and solar cells," in *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2008
- [20] Long Bun "Détection et localisation de défauts dans un système photovoltaïque" Thèse de doctorat dans l'énergie électrique. Université de Grenoble, 2011
- [21] K.-H. Chao, S.-H. Ho and M.-H. Wang, "Modeling and fault diagnosis of a photovoltaic system," *Electric Power Systems Research*, vol. 78 pp. 97-105, 2008
- [22] A. Chouder, S. Silvestre; "Automatic supervision and fault detection of PV systems based on power losses analysis"; *Energy Conversion and Management*; vol. 51 pp. 1929, 1937, 2010
- [23] T. Mishina, H. Kawamura, S. Yamanaka, H. Ohno and K. Naito, "A study of the automatic analysis for the I-V curves of a photovoltaic subarray," presented at the Photovoltaic Specialists Conference, 2002 *Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE*, 2002
- [24] M. Miwa, S. Yamanaka, H. Kawamura and H. Ohno, "Diagnosis of a Power Output Lowering of PV Array with a $(-dI/dV) - V$ Characteristic " presented at the Photovoltaic Energy Conversion, *Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on Waikoloa, HI*, 2006
- [25] .D. Sera, R. Teodorescu and P. Rodriguez, "Photovoltaic module diagnostics by series resistance monitoring and temperature and rated power estimation " in *Industrial Electronics*, 2008 *IECON .2008 34th Annual Conference of IEEE Orlando, FL*, 2008 pp. 2195 – 2199

Résumé

Le but de cette mémoire : C'est **Étude de Défauts et Défaillances sur les Panneaux photovoltaïques et leur Maintenance** .

Où plusieurs expériences ont été menées sur le panneau solaire, et nous avons trouvé de nombreux défauts qui ont grandement affecté le rendement de production et réduit son pourcentage, ce qui a conduit à la défaillance de ce système.

Grâce à la maintenance , qui est la partie la plus importante et la plus importante de ce travail, nous avons pu explorer et réparer ces défauts, et nous avons obtenu les résultats souhaités et un rendement élevé par rapport à ce que nous enregistrions avant la maintenance corrective.

Mots clés :méthodes de maintenance, système photovoltaïque, défauts.

Abstract

The aim of this work : It is **Study of Faults and Failures on Photovoltaic Panels and their Maintenance** .

Where several experiments were conducted on the solar panel, and we found many defects that greatly affected the yield of production and reduced its percentage, which led to the failure of this system.

Thanks to the maintenance, which is the most important and important part of this work, we were able to explore and repair these defects, and we have obtained the desired results and a high return compared to what we recorded before corrective maintenance.

Key words :maintenance methods, photovoltaic system, Faults.

ملخص

الهدف من هذه المذكرة :هو دراسة عيوب وفشل لوحة الطاقة الشمسية وصيانتها.

حيث تم اجراء عدة تجارب على اللوح الشمسي فوجدنا العديد من العيوب التي تؤثر بشكل كبير على مردودية الانتاج وتقلل من نسبته مما ادى الى فشل هذا النظام، وبفضل الصيانة التي تعتبر الجزء المهم والاهم في هذا العمل تمكنا من استكشاف واصلاح تلك العيوب، ولقد حصلنا على النتائج المرجوة ومردود مرتفع مقارنة بما سجلناه قبل الصيانة التصحيحية.

الكلمات المفتاحية : طرق الصيانة، النظام الكهروضوئي، العيوب.