

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued



FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Énergies renouvelables

Thème

**Etude de la maintenance de l'installation de
système solaire photovoltaïque**

Devant le jury composé de :

Présenté par :

Président

- BEN KADDOUR Chafik

Examineur

- TALHA Ayoub

Examineur

BOUSBIA Seif Eddine

Encadreur

2019-2020

Remerciements

*Ce mémoire a été réalisé dans le cadre du projet de fin d'étude au
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE FACULTE DE
TECHNOLOGIE, l'université*

Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued.

Avec un grand plaisir on remercie Allah qui nous a aidé et nous a donné la patience, le courage et la force d'achever ce travail, et d'aller jusqu'au bout du rêve car sans lui rien n'est possible.

Nous tenons à remercier en cette occasion tout le Corps professoral et administratif de DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE pour la richesse et la qualité de leurs enseignements et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Nous tenons à remercier sincèrement BOUSBIA SALAH SEIF EDDINE, qui, en tant que directeur de thèse, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour ses orientations, la confiance, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer.

. Nous exprimons également notre gratitude aux membres du jury, qui nous ont honorés en acceptant de juger et d'évaluer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier sincèrement nos parents, qui nous ont donné le courage

Nous souhaitons d'adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué de près et de loin à l'enrichissement de notre travail et à notre épanouissement intellectuel

Dédicace

A l'aide de **DIEU** tout puissant, qui trace le chemin de ma vie, j'ai pu arriver à réaliser ce travail honorable que je dédie en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime à :

A mes très chères parents ; Ben kaddour Abd louhab et Seba Aicha

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes sont-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Vous n'avez cessé de me soutenir et de m'encourager tout au long de mon parcours. Vous avez su m'inculquer le sens de la responsabilité de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie.

Vos conseils votre encouragement ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir.

*Que **Dieu** le tout puissant vous préserve, vous accorde santé, bonheur et longue vie.*

A mes très chères frères et mes très chères sœurs ;

Majda, Torkia , Widad, Nassim, Hadjer, Absessamie

Puissions-nous rester toujours ainsi dans la tendresse, solidarité dans la vie et fidèles à l'éducation que nos chères parents ont su nous inculquer.

*Ne voyez pas en moi un exemple à suivre, mais à dépasser. Mon affection et ma tendresse les plus sincères. Que **DIEU** le Tout Miséricordieux vous protège.*

A mes très chers amis

Que je ne pourrais nommer de peur d'en oublier,

En souvenir des moments inoubliables passés ensemble.

Ben kaddour Chafik

Dédicace

A l'aide de **DIEU** tout puissant, qui trace le chemin de ma vie, j'ai pu arriver à réaliser ce travail honorable que je dédie en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime à :

A mes très chères parents ; Talha Abderezzak et Laimeche Laila

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soit-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Vous n'avez cessé de me soutenir et de m'encourager tout au long de mon parcours. Vous avez su m'inculquer le sens de la responsabilité de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie.

*Vos conseils votre encouragement ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir. Que **Dieu** le tout puissant vous préserve, vous accorde santé, bonheur et longue vie.*

A mes très chères frères et mes très chères sœurs ;

Walid, Asma, Chaima, Rahma, Amor

*Puissions-nous rester toujours ainsi dans la tendresse, solidarité dans la vie et fidèles à l'éducation que nos chères parents ont su nous inculquer. Ne voyez pas en moi un exemple à suivre, mais à dépasser. Mon affection et ma tendresse les plus sincères. Que **DIEU** le Tout Miséricordieux vous protège.*

A mes très chers amis

*Que je ne pourrais nommer de peur d'en oublier,
En souvenir des moments inoubliables passés ensemble.*

Talha Ayoub

Table des matières

Remerciement

Dédicaces

<i>Table des matières</i>	<i>i</i>
<i>Liste des figures.....</i>	<i>iv</i>
<i>Liste des tableaux.....</i>	<i>vii</i>
<i>Nomenclature.....</i>	<i>viii</i>
<i>Introduction general.....</i>	<i>1</i>

CHAPITRE I : SYSTEME PHOTO VOLTAIQUE

<i>I.2. Introduction.....</i>	<i>3</i>
<i>I.3. Configuration des installations solaires photovoltaïques</i>	<i>3</i>
<i>I.3.2. Objectifs</i>	<i>3</i>
<i>I.3.3. Définition</i>	<i>3</i>
<i>I.3.4. Récapitulatif & points forts de chaque configuration.....</i>	<i>8</i>
<i>I.4. Description et principe de fonctionnement des composants des différents systèmes photovoltaïques</i>	<i>9</i>
<i>I.4.2. Description et principe de fonctionnement du module photovoltaïque</i>	<i>9</i>
<i>I.4.3. Comment lire la fiche technique d'un module photovoltaïque</i>	<i>10</i>
<i>I.4.4. Raccordement des modules photovoltaïques.....</i>	<i>11</i>
<i>I.4.5. Effet de l'ombrage.....</i>	<i>12</i>
<i>I.4.6. Rôle des diodes By-pass : Modules ombragés sans diode by-pass</i>	<i>13</i>
<i>I.4.7. Rôle des diodes by-pass : module ombrages avec diodes by-pass</i>	<i>14</i>
<i>I.4.8. Les principales composantes du module photovoltaïque</i>	<i>15</i>

I.4.9. Les appareils de coupures et de protections.....	21
I.4.10. Choix des protections	22
<i>I.5. Conversion photovoltaïque.....</i>	<i>25</i>
I.5.2. Objectifs	25
I.5.3. Définition	26
I.5.4. Le Silicium (SI).....	26
I.5.5. Les différentes technologies photovoltaïques.....	26
I.5.6. Les cellules cristallines	27
I.5.7. La Cellule photovoltaïque	28
<i>I.6. Rayonnement solaire</i>	<i>29</i>
I.6.2. Rayonnement solaire émis par le soleil	29
I.6.3. Le Specter Solaire.....	29
I.6.4. Propagation du rayonnement dans l'atmosphère.....	31
I.6.5. Rayonnement solaire reçu au sol.....	31
I.6.6. Composantes du rayonnement solaire	33
<i>I.7. Conclusion</i>	<i>34</i>

CHAPITRE II : LES METHODE DE LA MAINTENANCE

<i>II.2. Maintenance</i>	<i>35</i>
II.2.2. Introduction.....	35
II.2.3. Objectifs de la maintenance :.....	35
II.2.4. Les type de maintenance.....	36
II.2.5. Les niveaux de maintenance	38
<i>II.3. La loi de PARETO (20/80) et la méthode ABC</i>	<i>39</i>
II.3.2. Introduction.....	39
II.3.3. La méthode ABC.....	40
II.3.4. Fonction	40

II.3.5. Methods	41
II.3.6. Définition de l'objectif de l'étude et de ses limites :.....	41
II.3.7. Comment créer un diagramme de Pareto ?.....	42
II.4. Method AMDEC:	46
II.4.2. Introduction.....	46
II.4.3. Definition	46
II.4.4. Avantages de la méthode AMDEC	47
II.4.5. Types de l'AMDEC.....	48
II.4.6. Exemple d'application du L'AMDEC.....	49
II.5. Conclusion	50
<i>CHAPITRE III : APPLICATION DU MAINTENANCE</i>	
III.2. Introduction	51
III.3. Définition du système PV (6kw)	51
III.4. Application de la méthode sur le système	53
III.4.2. Maintenance préventive	53
III.4.3. Maintenance corrective	58
III.5. Conclusion.....	78
Conclusion générale	79
Références bibliographiques.....	χ

Liste des figures

Figure I-1: Système de pompage solaire	4
Figure I-2: Système autonome avec stockage	6
Figure I-3 : système de stockage (parc de batteries).....	7
Figure I-4 : Système hybride 60 KW	7
Figure I-5: Système hybride 5 KW.....	7
Figure I-6: Système connecté au réseau public électrique	8
Figure I-7: cellule photovoltaïque.....	9
Figure I-8: Assemblage des cellules photovoltaïques.....	10
Figure I-9: Connexion des cellules photovoltaïques.....	10
Figure I-10: Branchement des modules en série.....	11
Figure I-11: Branchement des modules en parallèle.....	12
Figure I-12: Modules en fonctionnement normal.	12
Figure I-13: Module ombragé avec diode by-pass.....	14
Figure I-14: Module photovoltaïque muni de 04 diodes dans le boîtier de connexion du module	15
Figure I-15: Module d'un groupage en parallèle.....	16
Figure I-16: Module d'un groupage en série	16
Figure I-17: Convertisseur électrique Convertisseur électrique	17
Figure I-18: Schéma d'un quadripôle électrique	17
Figure I-19: Les périodes de fermeture et s'ouverture d'un commutateur	18
Figure I-20: Onduleur monophasé	18
Figure I-21: Schéma symbolique de l'onduleur.	19
Figure I-22: Principe de fonctionnement d'Onduleur monophasé	19
Figure I-23: Principe de fonctionnement d'Onduleur triphasé.....	20
Figure I-24: Batteries PV	21

Figure I-25: Les appareils de coupures et de protections.....	22
Figure I-26: fusible	23
Figure I-27: Protection fusible	23
Figure I-28: Protection parafoudre.....	24
Figure I-29 Disjoncteur différentielle.....	25
Figure I-30: Disjoncteur différentielle	25
Figure I-31: La cellule monocristalline.....	27
Figure I-32: La cellule poly cristalline.....	28
Figure I-33: Structure du Soleil	29
Figure I-34: Spectre solaire	30
Figure I-35: Propagation du rayonnement dans l'atmosphère.....	31
Figure I-36: Angle d'incidence	32
Figure I-37: <i>Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi en fonction de l'angle d'incidence.</i>	33
Figure II-1: Objectifs de la maintenance.....	36
Figure II-2: Maintenance corrective	37
Figure II-3: <i>Intervention preventive.</i>	38
Figure II-4: La courbe détermine la zone A.B.C.....	41
Figure II-5: La courbe détermine les éléments ont la même valeur.	42
Figure II-6: une courbe impossible.....	42
Figure II-7: <i>Le diagramme de Pareto</i>	45
Figure II-8: Different types de l'AMDEC [10].....	48
Figure III-1: pavions (23).....	51
Figure III-2 : système PV (6kw).....	52
Figure III-3: Les valeurs de tension des batteries avant la maintenance	57
Figure III-4: classement des composantes du système	60

Figure III-5: classement des Pourcentage Cumulé.....	60
Figure III-6: Les batteries POWERBLOCS.....	66
Figure III-7: Remplir électrolytes de batterie	66
Figure III-8: Nettoyages des bornes	67
Figure III-9: Les valeurs de tension des batteries après la maintenance	69
Figure III-10: La substance soufrée active est placée sur une plaque	70
Figure III-11: Électrodes de batterie en état corrodé.....	71
Figure III-12: Fuite d'acide de batterie	72
Figure III-13: Un régulateur brûlé.....	72
Figure III-14: UN régulateur de system PV	73
Figure III-15: onduleurs (SIEMENS).....	77

Listed des tableaux

Tableau I-1: Les types de batteries PV [3].....	21
Tableau I2-: L'éclairement énergétique du rayonnement solaire hors atmosphère dans les divers domaines de longueurs d'ondes [2].....	30
Tableau II-1: Types de maintenance	36
Tableau II-2: La cause : "disposition des tables" se retrouve au sommet du tableau, suivi de la "qualité du service".....	43
Tableau II-3: le pourcentage relatif à chaque cause.	44
Tableau II-4: les pourcentages cumulés	44
Tableau II-5: Cotation pour l'étude AMDEC du système photovoltaïque	49
Tableau III1-: Fiche de suivi (système allemand)	53
Tableau III2-: Fiche de suivi (système italien)	54
Tableau III-3: les valeurs de tension des Batteries (système allemand) et les valeurs de tension des Batteries (système italien).	55
Tableau III-4: d'analyse ABC	58
Tableau III-5: Contrôle visuel des panneaux [14].....	62
Tableau III-6: Mesure de la tension avant et après la maintenance	65
Tableau III-7: Maintenances des batteries allemand et des batteries italiennes.	67

Nomenclature

Symboles	Désignations	Unités
P	puissance	W
U	voltage	V
I	l'intensité	A
DC	direct courant	A
AC	alternatif courant	
Hz	fréquence hertz	hertz
V_{OC}	Open circuit voltage	[V]
I_{CC}	Intensité court-circuit	[A]
U_{MPP}	Rated voltages	[V]
V_{MPP}	Rated voltages	[V]
I_{MPP}	Intensité maximum point power	[A]
I_e	courant entrant	[A]
I_s	courant sortant	[A]
I_d	courant de déclenchement	[A]
AM	spectrale du rayonnement	
Ns	nombre des cellules série	
Ns	la période de commutation	
IGBT	l'anglais Insulated Gate Bipolar Transistor	

Acronyme

PV : photovoltaïque

ABC : trois zones A, B et C

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur criticité

IFEG : Institut de Formation en Electricité et Gaz

Etc : existera

STC : Standard Test Conditions

Introduction Générale

Introduction général

La plus grande partie de l'énergie consommée actuellement provient de l'utilisation des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore l'énergie nucléaire. ces ressources deviennent de plus en plus rares, pendant que les demandes énergétiques du monde s'élèvent continuellement. Il est estimé que les réserves mondiales seront épuisées vers 2030 si la consommation n'est pas radicalement modifiée, et au maximum vers 2100 si des efforts sont produits sur la production et la consommation [1].

Etant donné que cette forme d'énergie couvre une grosse partie de la production énergétique actuelle, il s'avère nécessaire de trouver une autre solution pour prendre le relais, la contrainte imposée est d'utiliser une source d'énergie économique et peu polluante car la protection de l'environnement est devenue un point important. A ce sujet, Les énergies renouvelables, comme l'énergie solaire photovoltaïque, éolienne ou hydraulique, ... apparaissent comme des énergies inépuisables et facilement exploitables.

Si l'on prend l'exemple du soleil, une surface de 145000km² (4% de la surface des déserts arides) de panneaux photovoltaïques (PV) suffirait à couvrir la totalité des besoins énergétiques mondiaux [2].

Dans ce dernier cas, la conception, l'optimisation et la réalisation des systèmes Photovoltaïques sont des problèmes d'actualité puisqu'ils conduisent sûrement à une meilleure exploitation de l'énergie solaire. Pour une installation photovoltaïque, la variation de l'éclairement ou de la charge induit une dégradation de la puissance fournie par le générateur photovoltaïque, en plus ce dernier ne fonctionne plus dans les conditions optimum[1].

Dans ce domaine, de nombreux chercheurs s'efforcent de maintenir les rendements des systèmes Photovoltaïques pendant la période de production.

Dans ce travail, nous intéressons à l'étude de la maintenance des systèmes Photovoltaïques.

Dans **le premier chapitre** nous présentons une généralité sur les systèmes Photovoltaïques. En commençant par la configuration des installations solaire

Photovoltaïques. Dans le deuxième temps nous montrons la conversion photovoltaïque, ensuite on va montrer configuration des installations solaires photovoltaïques Et nous finissons ce chapitre, par une description du principe de fonctionnement des composants des différents systèmes photovoltaïques.

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**. De plus on va traiter les 5 niveaux de la maintenance aussi.

Dans un deuxième lieu, vient la partie qui parle sur *les méthodes de la maintenance ; entre autres la Loi de PARETO (20/80), la méthode ABC et la méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur criticité)*

Dans **le troisième chapitre** et c'est le dernier, c'est **la partie pratique** de ce travail.

S'est déroulée à l'IFEG c'est **l'école technique de Blida**, on a appliqué différents types de maintenance **corrective ; préventive** et la **méthode ABC** sur un système photovoltaïque de **6KW** à travers lequel nous démontrons l'importance de la maintenance sur le bon fonctionnement de système et les pannes que l'on peut éviter pour un rendement de production optimal.

A la fin de ce travail nous terminerons une **conclusion général**

CHAPITRE I :

Système

Photo voltaïque

I. CHAPITRE I : SYSTEMEPHOTO VOLTAÏQUE

I.2. Introduction

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est l'une des plus facilement exploitables.

Nous avons jugé utile d'introduire ce mémoire relatif au rayonnement solaire et la conversion photovoltaïque dans le but d'en dégager les notions indispensables à l'étude de cette énergie renouvelable à laquelle nous nous intéressons.

A cet effet, nous allons étudier de façon succincte et en premier lieu, le soleil source du rayonnement solaire, le comportement de ce rayonnement solaire tout le long de sa traversée depuis la surface solaire jusqu'à la terre. Nous décrirons également les appareils de mesure ainsi que la collecte des données météorologiques [2].

I.3. Configuration des installations solaires photovoltaïques

I.3.2. Objectifs

A la fin de ce cours vous serez capable de distinguer entre les différentes configurations des systèmes solaires photovoltaïques [12].

I.3.3. Définition

Les configurations des systèmes solaires PV sont prédéfinies pour que chaque système soit rentable et utile répondant aux besoins d'utilisations.

Il existe quatre configurations, chacune d'elles dépend du besoin exprimé :

1. Système d'alimentation direct.
2. Système autonome avec stockage.
3. Système autonome hybride.
4. Système connecté au réseau [12].

Remarque :

Un système autonome est un système isolé du réseau électrique public.

I.3.3.2 Alimentation direct :

Dans un système solaire au fil du soleil, un ou plusieurs modules photovoltaïques solaires sont connectés en série et/ou parallèle afin de créer un « champ photovoltaïque », également nommé « générateur solaire ». Ce champ photovoltaïque génère un courant et une tension continue (DC) à partir des rayons du soleil. Cette tension continue est ensuite utilisée directement ou alors, modifiée via un contrôleur, pour alimenter l'ensemble des équipements en présence du soleil. L'application la plus souvent utilisée, dans cette configuration du système photovoltaïque, est l'irrigation des cultures ou l'approvisionnement en eau potable dans les régions où le réseau électrique est absent. Le pompage au fil du soleil est bien souvent la solution la plus évidente. L'évolution progressive, depuis 20 ans, des matériels et des gammes de performances permet aujourd'hui de considérer le pompage solaire comme une technologie mature [12].

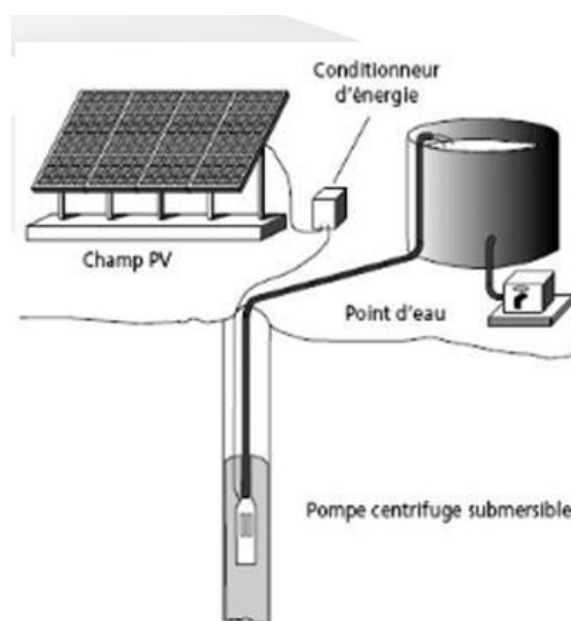


Figure I-1: Système de pompage solaire

I.3.3.3 Système isolé :

I.3.3.3.B Système autonome avec stockage

Une installation Photovoltaïque (PV) est dite autonome ou isolée quand elle n'est pas reliée à un réseau de distribution électrique.

Le système PV autonome permet de fournir du Courant électrique à des endroits où il n'y a pas de réseau.

Il se révèle particulièrement adapté pour des applications comme :

Une alimentation d'une maison en campagne ou aux régions isolées du sud algérien, l'éclairage en zone isolée (éclairages publique), l'alimentation de bornes téléphoniques le long de l'autoroute, etc.

Pour ces applications, il n'est pas toujours possible de mettre en place un réseau d'alimentation classique, soit à cause des contraintes techniques, soit pour des raisons économiques.

Le système autonome doit être capable de fournir du courant aux consommateurs, pendant la période de l'année de moindre irradiation lumineuse.

Si on a besoin du courant toute l'année, la période de moindre irradiation est l'hiver. Pendant cette période, il faudra plus de panneaux pour couvrir les mêmes besoins qu'en été.

Les batteries donnent une autonomie au système pour des applications nocturnes ou quand les panneaux ne fournissent pas assez de courant.

Ce système peut délivrer du courant continu uniquement pour alimenter des charges qui fonctionnent avec cette nature de courant (souvent adapté pour les petites puissances), ou bien du courant alternatif si on complète avec un onduleur photovoltaïque autonome (pour l'alimentation des appareils domestique tel qu'un téléviseur, un réfrigérateur. etc.).

Sinon, on peut avoir les deux natures de courant (courant alternatif et continu) comme le montre l'image [12].

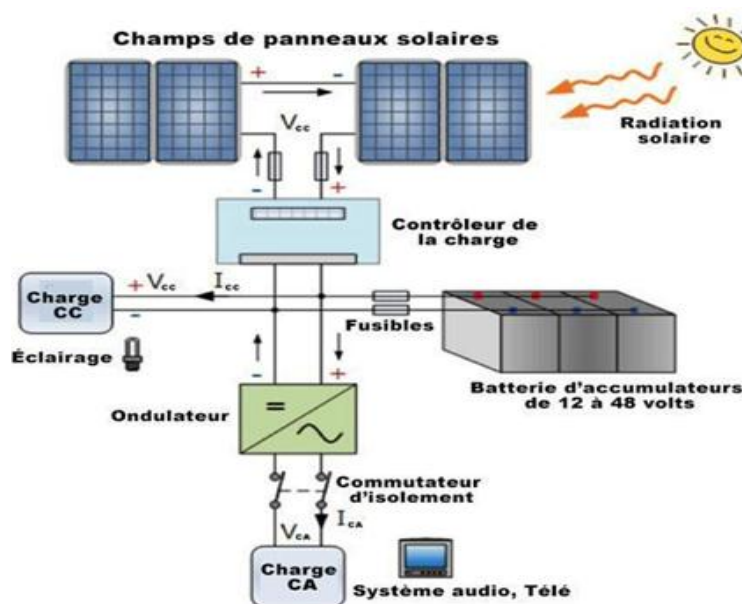


Figure I-2: Système autonome avec stockage

I.3.3.3.C Système autonome hybride

Le Photovoltaïque, ainsi que les autres technologies des énergies renouvelables, peuvent significativement contribuer au développement économique et social. Aujourd'hui, près de 1,5 milliard de personnes dans le monde, dont bon nombre vivent dans des régions isolées, n'ont toujours pas accès à l'électricité, à l'eau potable, à des soins de santé de base, à l'éducation et à d'autres services essentiels.

Du fait de l'éloignement du site, des difficultés d'approvisionnement en carburant, de l'augmentation du coût de celui-ci et de l'accroissement de la population, les besoins en électricité deviennent indispensables.

La solution la plus adaptée, dans ce cas, est une centrale photovoltaïque hybride où elle associe un champ photovoltaïque ainsi qu'un groupe électrogène pour l'appoint (pic) de consommation ; elle peut ainsi contenir une autre source renouvelable telle que l'éolienne, l'hydraulique, etc.

a. Sources d'énergies :

- Champs photovoltaïque.
- Groupe électrogène.

b. Conversion et contrôle d'énergie :

- Onduleur photovoltaïque autonome.
- 4. Onduleur chargeur (onduleur réversible) pour charger les batteries AC vers DC et convertir du DC vers AC pour alimenter la charge Alternatif.

c. Stockage d'énergie :

- Ensemble de batteries d'accumulateurs (parc de batteries) [12].



Figure I-3 : système de stockage (parc de batteries)



Figure I-4 : Système hybride 60 KW



Figure I-5: Système hybride 5 KW.

I.3.3.4 Système connecté au réseau

Un système photovoltaïque connecté au réseau est un système qui produit de l'énergie électrique qui est directement injectée sur le réseau d'électricité publique (Sonelgaz) sans avoir recours au stockage.

I.3.3.4.B Principaux composants

- Panneaux photovoltaïques.
- Un ou plusieurs coffrets de protection électrique cotée courant continu "coffrets DC", ils contiennent des fusibles, interrupteurs sectionneurs, parafoudres.
- Des câbles solaires.
- Un ou plusieurs onduleurs qui convertissent l'énergie continue en courant alternatif synchronisé au réseau (230V, 50 Hz pour la France).
- Un coffret de protection coté alternatif "coffret AC" avec disjoncteur et
- Éventuellement un système de supervision et surveillance.

I.3.3.4.C Schémas de raccordement basique [12]

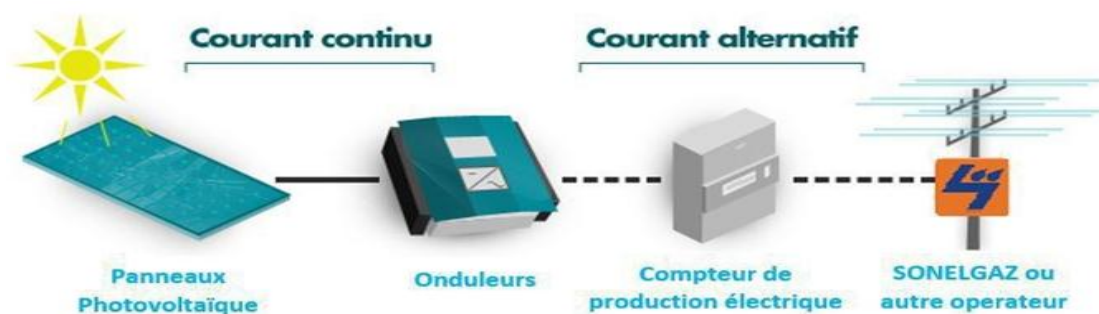


Figure I-6: Système connecté au réseau public électrique

I.3.4. Récapitulatif & points forts de chaque configuration

- **Un système autonome** : est destiné aux sites isolés là où le réseau électrique c'est inexistant vu que l'électrification de ces derniers peut s'avérer très coûteuse.
- **Système d'alimentation direct** : est une configuration idéale pour le pompage d'eau. Cette dernière marche au fil du soleil et ne nécessite pas forcément l'utilisation des batteries. Au lieu de stocker de l'énergie électrique on préfère stocker de l'eau.
- **Système hybride** : système adapté pour l'électrification autonome dont le bilan énergétique est très important. Exemple : alimentation d'un groupe d'habitant.
- **Système connecté au réseau** : Sans la subvention de l'état cette configuration n'est pas possible, néanmoins ce système ne nécessite pas de grande maintenance [12].

I.4. Description et principe de fonctionnement des composants des différents systèmes photovoltaïques

Les cellules cristallines telles quelles ne permettent pas d'utiliser l'énergie photovoltaïque de manière efficace et pérenne. En effet, les cellules ne développent qu'une puissance, relativement faible, et sont extrêmement fragiles et sensibles aux éléments extérieurs (corrosion). Pour utiliser l'énergie PV à grande échelle, les cellules sont connectées entre elle en série pour augmenter la tension et constituer un module (ou panneau) photovoltaïque [13].

I.4.2. Description et principe de fonctionnement du module photovoltaïque

I.4.2.2 Interconnexion des cellules

- Toutes les cellules composant un module photovoltaïque doivent être identiques. Les cellules sont soudées deux à deux par un ou plusieurs collecteurs métalliques en forme de ruban.



Figure I-7: cellule photovoltaïque

- La connexion se fait du contact en face avant (pôle négatif) au contact en face arrière (pôle positif).
- Les rubans adhèrent par soudure à la cellule photovoltaïque grâce à une lamelle de cuivre étamé (cuivre + étain).
- On trouve en général 36 à 72 cellules en série dans un module, mais ce nombre varie d'un fabricant à l'autre.
- Le fait de connecter des cellules en série permet leur utilisation à des tensions suffisamment élevées compatibles avec les charges électriques usuelles (onduleur par exemple) [13].

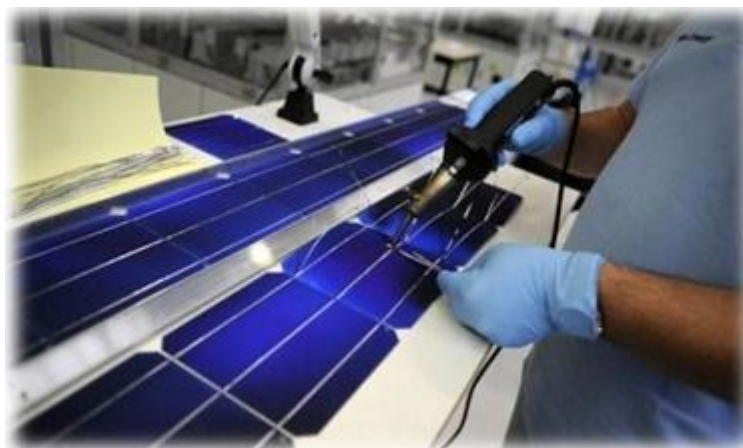


Figure I-8: Assemblage des cellules photovoltaïques

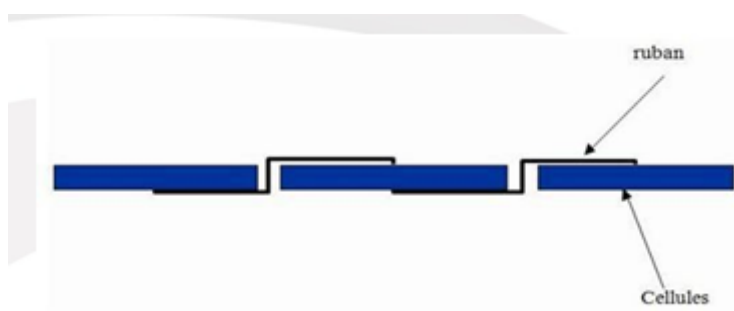


Figure I-9: Connexion des cellules photovoltaïques.

I.4.3. Comment lire la fiche technique d'un module photovoltaïque

Les modules photovoltaïques sont testés en laboratoire dans les conditions STC. Ces tests permettent de déterminer les propriétés électriques telles que la tension à vide V_{OC} , le courant de court-circuit I_{CC} , la tension de puissance maximale U_{MPP} et le courant de puissance maximale I_{MPP} .

Les conditions STC (Standard Test Conditions)

Les valeurs crêtes (Watt-crête, puissance crête) correspondent à des grandeurs électriques délivrées par le module dans des conditions standard définies de test, normalisées comme suit :

- Ensoleillement : 1000 W/m^2
- Température du module : 25°C (attention ! ce n'est pas la température ambiante qui est à 25°C , mais celle des cellules donc du module).
- Répartition spectrale du rayonnement dit AM=1.5, correspondant au spectre solaire parvenant au sol après avoir traversé une atmosphère et demie.

Les fabricants testent tous les modules sous ces conditions d'essais et leurs attribuent alors à leurs caractéristiques électriques. Cela permet ainsi de comparer les performances des modules entre eux [13].

I.4.4. Raccordement des modules photovoltaïques

I.4.4.2 Introduction

Pour une installation sur mesure on opte pour un raccordement des panneaux en série ou en parallèle, ou bien une combinaison des deux.

I.4.4.3 Schéma de montage de panneaux photovoltaïques en série

Le montage de modules photovoltaïques en série est l'option à retenir lorsque l'on souhaite additionner les voltages de chaque panneau en préservant un ampérage identique.

On relie les pôles positifs d'un module aux pôles négatifs d'un autre panneau. Ce type de branchement s'effectue avec des modules de même ampérage. En effet si l'on relie deux modules d'ampérage différent, l'ensemble s'aligne sur l'ampérage le plus faible.

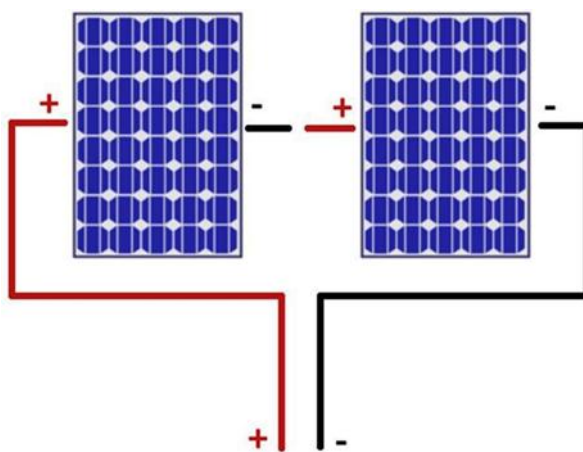


Figure I-10: Branchement des modules en série.

I.4.4.4 Schéma de montage de panneaux photovoltaïques en parallèle

Le montage des modules photovoltaïques en parallèle additionne les intensités tandis que la tension reste identique. Ce type de raccordement influe donc sur l'ampérage et non sur le voltage.

Les bornes positives de chaque module sont reliées entre elles, de même que les bornes négatives. On choisit ce type de branchement lorsque l'on souhaite avoir une forte intensité.

Afin d'éviter les risques de surtension et de court-circuit, on relie des modules de même voltage. On peut par contre utiliser des modules d'intensité différente afin d'atteindre l'ampérage désiré [13].

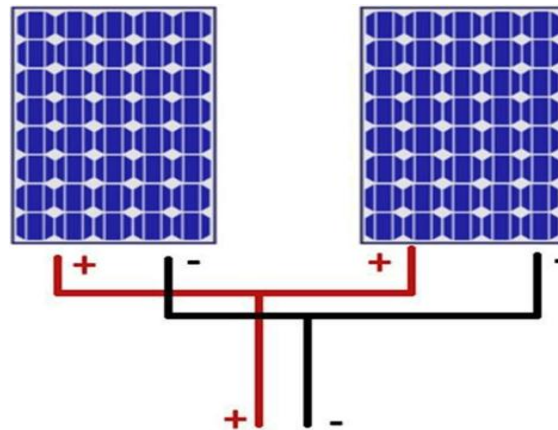


Figure I-11: Branchement des modules en parallèle.

I.4.5. Effet de l'ombrage

I.4.5.2 Module en fonctionnement normal

En fonctionnement normal, c'est-à-dire sans effet d'ombrage, toutes les cellules photovoltaïques composant le module fournissent leur maximum de puissance. Dans ce cas, toutes les cellules fournissent 3 W chacune [13] :

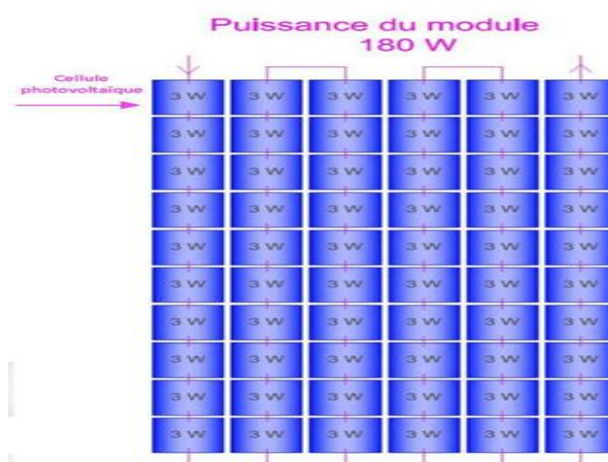


Figure I-12: Modules en fonctionnement normal.

I.4.6. Rôle des diodes By-pass : Modules ombragés sans diode by-pass

Lorsqu'une des cellules est ombragée, cela correspond à une sous-irradiation de la cellule. Il se traduit par une diminution du courant débité par la cellule ombragée, et par conséquent une diminution de la puissance fournie.

$$(P = U \times I).$$

Comme les cellules du module sont connectées en série, la cellule qui débite le moins de courant impose ce courant aux autres cellules. Par conséquent, la puissance fournie par les autres cellules (non-ombragées) diminue aussi.

On peut considérer que la puissance générée par les cellules non-ombragée est égale à la puissance de la cellule ombragée.

Considérons que la cellule ombragée délivre 1W. Du coup, toutes les autres cellules fournissent aussi 1W.

La puissance du module se retrouve être de $60 \times 1 = 60$ W. Cela correspond à une perte de puissance très importante à cause d'une seule cellule ombragée.

Par ailleurs, il peut se produire une inversion de polarité aux bornes de la cellule ombragée (la tension change de signe). Cela signifie que la cellule ne se comporte plus comme un générateur mais comme un récepteur. En d'autres termes, elle se comporte comme un dipôle qui dissipe de l'énergie électrique (au lieu d'en produire) sous forme de chaleur. Par la suite, la cellule va s'échauffer ce qui peut endommager irrémédiablement la cellule, ce phénomène d'échauffement de la cellule s'appelle un point chaud (ou Hot-Spot en Anglais).

Nous constatons à travers cet exemple que l'ombre est un ennemi redoutable pour un module photovoltaïque : perte importante de puissance et échauffement des cellules [2].

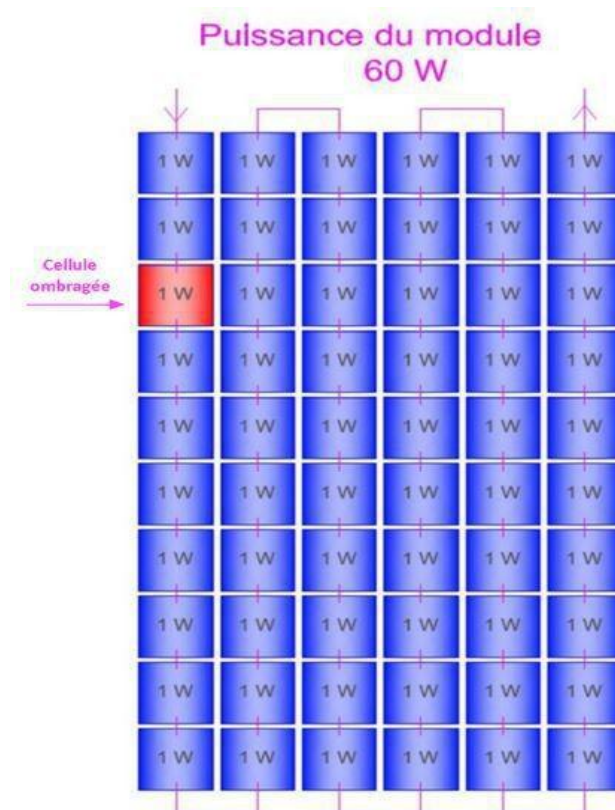


Figure I-13: Module ombragé avec diode by-pass.

I.4.7. Rôle des diodes by-pass : module ombrages avec diodes by-pass

Pour éviter les effets indésirables du phénomène "point chaud" (Hot-Spot), les Fabricants ont implanté des diodes dites **by-pass** dont le principe est de court-circuiter les cellules ombragées.

Les constructeurs de modules implantent généralement entre 2 et 5 diodes by-pass par modules (dans le boîtier de connexion du module). Chacune des diodes by-pass est associée à un sous-réseau de cellules du module. Lorsqu'une des cellules du sous-réseau est ombragée, la diode by-pass devient passante, c'est-à-dire que le courant circule dans la diode en isolant ainsi du circuit électrique le sous-réseau de cellule associé [2].

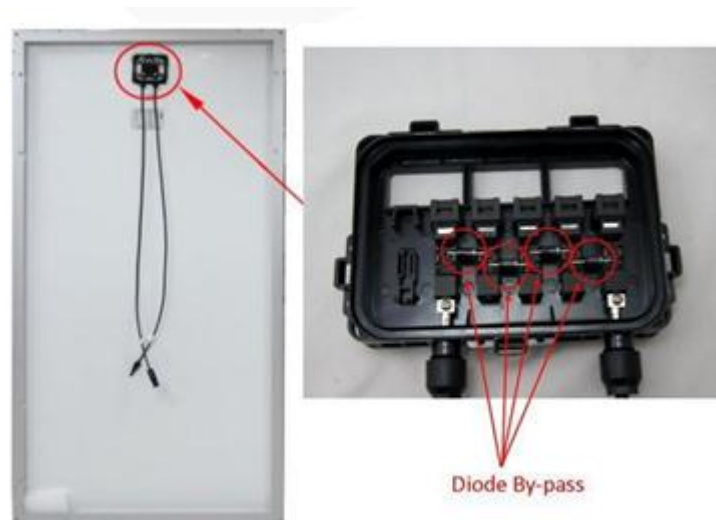


Figure I-14: Module photovoltaïque muni de 04 diodes dans le boîtier de connexion du module

I.4.8. Les principales composantes du module photovoltaïque

I.4.8.2 Le Générateur Photovoltaïque

Le module est un assemblage des cellules solaires qui transforme l'énergie solaire en énergie électrique. Un module PV contient généralement 33 à 72 cellules PV [3].

I.4.8.2.B Groupement des cellules

La tension générée par une photopile est limitée à la valeur du gap du matériau, typiquement ; la tension optimale qui correspond à une puissance maximale d'une cellule au silicium vaut environ 475 mV dans les conditions standards.

1. Groupement parallèle

Avec ce groupement la tension reste en même valeur, et la totalité de courant devient N_p (nombre des cellules parallèle) fois que celui fournit par une seule cellule.

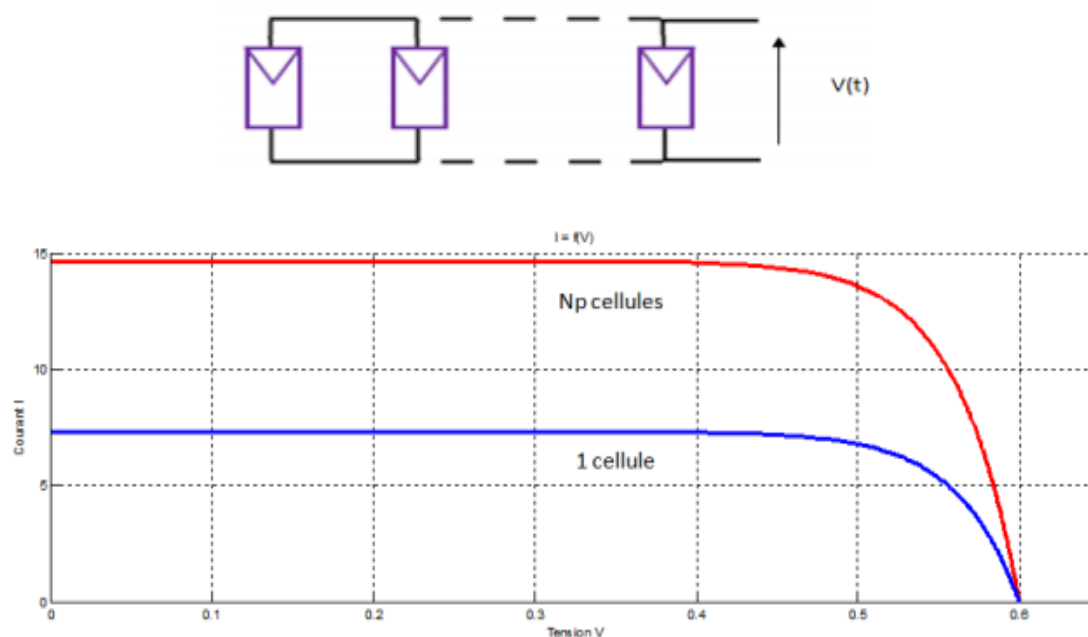


Figure I-15: Module d'un groupage en parallèle.

2. Groupement série

Pour une tension pertinente avec la charge, on doit assembler des cellules en série. Avec (N_s : nombre des cellules série) de cellules en série en gagnée le même courant et N_s de tension (qui génèrait par une cellule) [3].

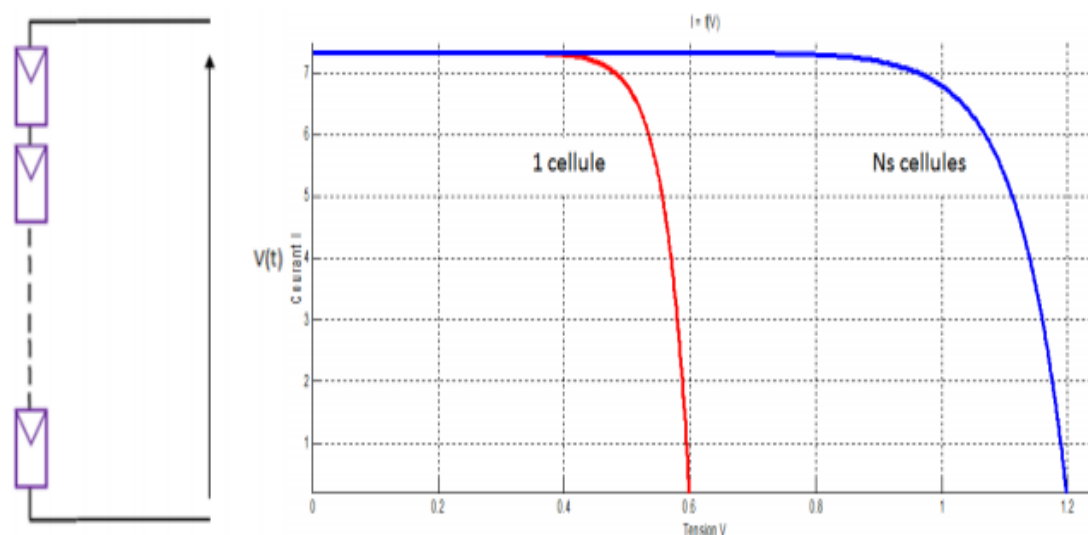


Figure I-16: Module d'un groupage en série

I.4.8.3 Les convertisseurs

Les hacheurs Les hacheurs présentent la partie essentielle dans le dispositif de commande d'un générateur photovoltaïque, ils sont des convertisseurs statiques DC/DC permettant de contrôler la puissance électrique dans les circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé .De point de vue circuit, le hacheur apparaît comme un quadripôle figure (II-17), jouant le rôle d'organe de liaison entre deux parties d'un réseau. On peut le considérer comme un transformateur de grandeurs électriques continues.



Figure I-17: *Convertisseur électrique*

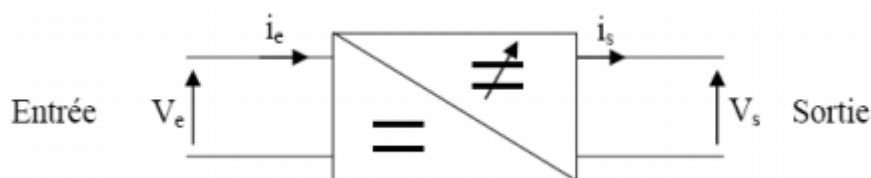


Figure I-18: *Schéma d'un quadripôle électrique*

Le hacheur se compose de condensateurs, d'inductances et des commutateurs. Dans le cas idéal, tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance active, c'est la raison pour laquelle on a de bons rendements dans les hacheurs. Le commutateur est un dispositif semi-conducteur en mode (bloqué - saturé), habituellement un transistor MOSFET. Si le dispositif semi-conducteur est bloqué, son courant est zéro et par conséquent sa dissipation de puissance est nulle. Si le dispositif est dans l'état saturé, la chute de tension à ses bornes sera presque zéro et par conséquent la puissance perdue sera très petite. Pendant le fonctionnement du hacheur, le transistor sera commuté à une fréquence constante f s avec un temps de fermeture $=d.TTs$ et un temps d'ouverture $= (1-d)T_s$, où :

- T_s est la période de commutation qui est égale à $1/f_s$.
- d le rapport cyclique du commutateur ($d \in [0,1]$) Figure(I.19) [3].

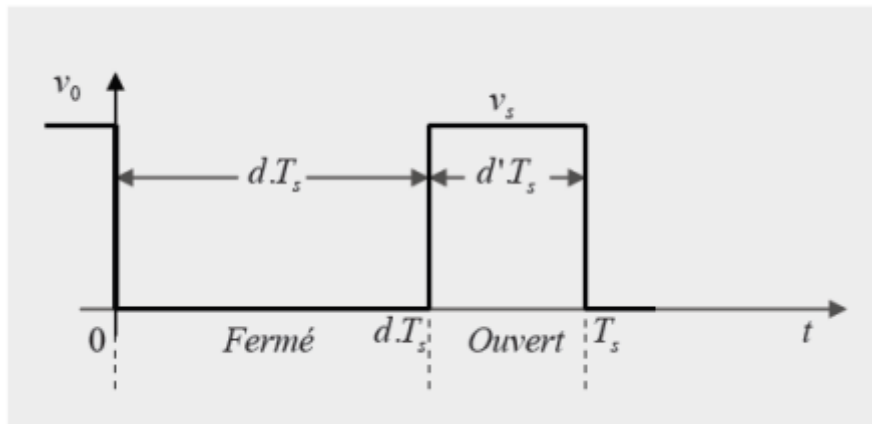


Figure I-19: Les périodes de fermeture et s'ouverture d'un commutateur

I.4.8.4 L'onduleur

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de fournir des tensions et des courants alternatifs à partir d'une source d'énergie électrique de tension ou de fréquence différente. C'est la fonction inverse d'un redresseur. L'onduleur est un convertisseur statique de type continu/alternatif. Certains onduleurs sont dits hybrides ou intelligents et plusieurs générations de micro-onduleurs sont apparues sur le marché en 2014. Compatibles avec des modules jusqu'à 310 W, résistant à des températures de +65 °C, refroidis par convection naturelle de l'air et dont le rendement atteint 95,7 %



Figure I-20: Onduleur monophasé

- Il filtre les parasites
- Il se substitue au réseau électrique pendant les coupures

- Il stabilise l'énergie électrique (tension et fréquence)
- Il élimine les microcoupures

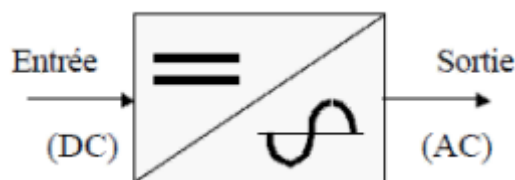


Figure I-21: Schéma symbolique de l'onduleur.

I.4.8.4.B Principe de fonctionnement :

1. Onduleur monophasé

Les onduleurs sont basés sur une structure en pont en H, constituée le plus souvent d'interrupteurs électroniques tels que les IGBT, transistors de puissance ou thyristors. Par un jeu de commutations commandées de manière appropriée (généralement une modulation de largeur d'impulsion), on module la source afin d'obtenir un signal alternatif de fréquence désirée. Il existe deux types d'onduleurs : les onduleurs de tension et les onduleurs de courant. On distingue aussi les onduleurs autonomes et les onduleurs non autonomes.

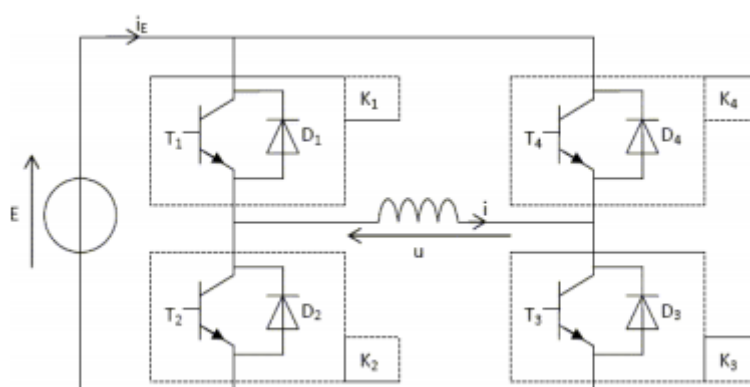


Figure I-22: Principe de fonctionnement d'Onduleur monophasé

2. Onduleur triphasé

L'onduleur triphasé constitue de trois cellules de commutation figure(II.23). On retrouve évidemment une structure différentielle dans laquelle les tensions triphasées sont obtenues de façon composée sur les trois bornes de sortie. Il est facile de généraliser ce principe à un onduleur « p-phase » en pont qui comporterait donc p cellules. Dans cette configuration différentielle, la cellule de commutation peut donc

être considérée comme une phase de l'onduleur, la composante alternative de sa tension de sortie constituant une tension simple du système polyphasé. On peut cependant indiquer la possibilité d'élaborer les phases d'un générateur p-phase à l'aide de p onduleurs monophasés en pont, solution lourde mais qui peut avoir son intérêt en termes de contrôle des tensions et de dimensionnement. Cela est utilisé dans des applications telles que les alimentations de secours de forte puissance [3].

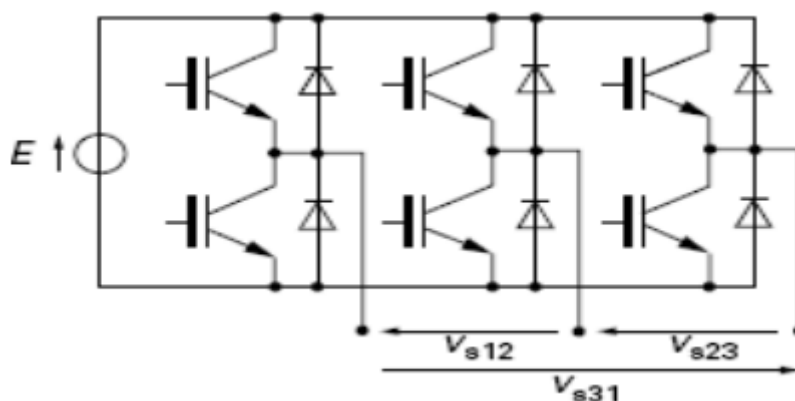


Figure I-23: Principe de fonctionnement d'Onduleur triphasé.

I.4.8.5 Système stockage PV (Les batteries)

I.4.8.5.B Définition

Une batterie solaire est un appareil destiné à stocker l'énergie électrique produite par les 5Tpanneaux solaires photovoltaïques5T. Le courant qu'entre ou sort est forcément continu (DC) et non alternatif ((AC) : comme dans le réseau électrique domestique). Les batteries sont indispensables dans les 5Tinstallations autonomes5T car les modules photovoltaïques ne fonctionnent que quand il y a de la lumière. Pour consommer de l'électricité le soir ou la nuit. Il faut donc que les batteries en aient emmagasiné dans la journée. Son fonctionnement de base est identique à celui des autres types de batteries (5Tbatterie de démarrage5T pour les voitures, batterie de téléphone, ...), c'est à dire que l'énergie est stockée sous forme chimique. Des composants (5Tle plomb et l'acide5T sont les plus courant) réagissent entre eux à l'intérieure, ce qui permet d'accumuler ou de restituer de l'électricité au moment voulu. Cependant, la façon dont on utilise les batteries solaires n'est pas la même, ce qui implique des technologies différentes. Par exemple, les batteries de voiture sont fortement sollicitées au démarrage, et se rechargent ensuite très vite. A l'inverse, les batteries solaires sont vidées lentement, sur de longues périodes, et sont parfois rechargées quelques jours après seulement. C'est pour cela qu'elles sont également appelées "batteries stationnaires", ou "batteries à décharge lente". Une batterie de voiture ne peut pas survivre très longtemps à ce

traitement. Les batteries des téléphones ou des ordinateurs portables fonctionnent sur le même principe que les batteries solaires, mais la quantité d'énergie stockée n'est pas la même. Une batterie de téléphone stocke quelques Ampère-heure (Ah), alors qu'une batterie solaire peut en stocker plusieurs centaines [3].



Figure I-24: Batteries PV

Tableau I-1: Les types de batteries PV [3]

Type	Tension nominale (V)	Capacité nominale (10HR) (Ah)	Capacité nominale /WPC (15min) (1.67V)	Longueur		Largeur		Hauteur		Total hauteur		Terminale	Poids	
				mm	In	Mm	In	Mm	In	mm	In		Kg	IBS
HF12-390WP-X	12v	/	390	306	12.05	170	6.69	220	8.66	225	8.86	M8	28.5	62.8
HF12-420WP-X	12v	/	420	341	13.4	173	6.81	215	8.46	220	8.66	M8	31.5	69.4
HF12-850WP-X	12v	/	850	526	20.7	238	9.37	246	9.69	246	9.69	M8	67.5	148.8
6FM100PX	12v	100	/	341	13.4	173	6.81	214.5	8.44	220	8.66	M8	27.5	60.6
6FM200PX	12v	200	/	526	20.71	238	9.37	246	9.69	246	9.69	M8	59.5	131.2

I.4.9. Les appareils de coupures et de protections

I.4.9.2 Dispositions des appareils de coupure et des protections

Les appareils de coupure tels que les disjoncteurs, interrupteurs, sectionneurs....

Ainsi que les protections tels que les fusibles, parafoudres, protection différentielle ...etc sont disposé d'une manière prédéfinie dans une installation photovoltaïque selon les caractéristiques et l'utilité de ces derniers.

Tout en amont d'une installation photovoltaïque (Entre le champ PV et l'onduleur), on utilise des sectionneurs fusible pour la protection contre les court-circuits, éventuellement suivi d'un interrupteur sectionneur pour pouvoir couper le circuit électrique de l'installation en plein fonctionnement, pratiquement dangereux à l'aide d'un sectionneur.

Sur la partie courant alternatif (Aval) le plus souvent on protège les équipements et les personnes contre les surcharges électrique, les courts-circuits et les défauts d'isolement en utilisant un disjoncteur magnétothermique avec différentiel .le parafoudre est utilisé pour la protection contre les sur tension issus des foudres, son utilisation est nécessaire en amont et en aval si ce phénomène de foudre existe sur le site d'installation du système [13].

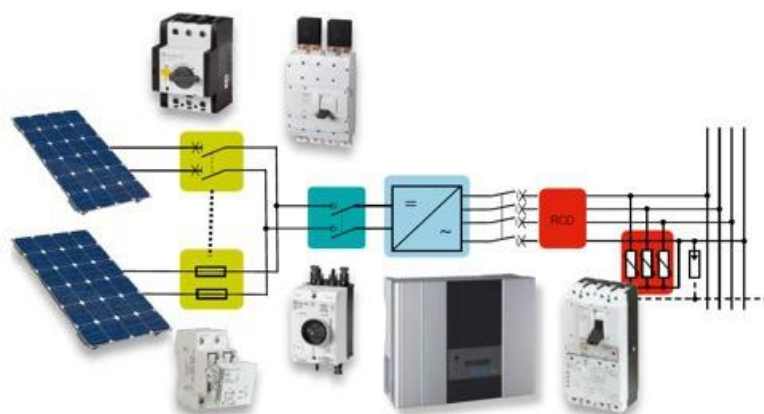


Figure I-25: Les appareils de coupures et de protections.

I.4.10. Choix des protections

I.4.10.2 Protection fusible

I.4.10.2.B Définition

Le fusible, également appelé coupe-circuit à fusible, est un organe de sécurité qui coupe le courant électrique lors d'un court-circuit ou d'une surcharge. Fusible signifie susceptible de fondre [13].

I.4.10.2.C .Calibre du fusible :

La définition du calibre d'un fusible consiste à choisir une protection qui puisse :

- Supporter sans fusionner les surintensités normales lors des phases de sur ensoleillement et à la température ambiante de l'enveloppe dans laquelle le fusible est installé.
- Le calibre ou le courant nominal du fusible $> I_{sc \text{ MAX}}$
- En absence d'information complémentaire $I_{sc \text{ MAX}} = 1,4 I_{sc}$
- Fondre de façon certaine avant que les modules ne soient dégradés par ce courant inverse, $I_n < I_{rm}$ [13]



Figure I-26: fusible



Figure I-27: Protection fusible

I.4.10.3 Protection parafoudre

I.4.10.3.B Définition

Un parafoudre est un dispositif inséré entre les conducteurs d'énergie électrique, de télécommunication, ou entre une antenne et le sol ou la masse pour protéger les personnes et les matériels contre les effets directs ou indirects de la foudre ou d'une autre surtension dangereuse.

Les types de parafoudre utilisés dans une installation photovoltaïque dépendent de la nature de la tension (alternative et continu), elle dépend aussi de l'ampleur et la puissance de la foudre, on y retrouve 3 types qui sont définis ci-après :

- **Le Type 1** : Admet des chocs de foudre proches, voire directs ; le parafoudre de type 1 ne suffit pas à protéger les matériels électroniques fragiles, et doit être complété en aval par des parafoudres de type 2, voire 3.
- **Le Type 2** : N'admet que des chocs plus faibles ; idéalement, il doit donc être utilisé en complément d'un parafoudre de type 1 placé en amont ; mais il peut aussi être placé "en première ligne" sur des sites peu exposés.
- **Le Type 3** : Est une protection admettant des courants de choc encore plus faibles, mais il fournit un bas niveau de protection (on rencontre le terme de protection fine, ou protection terminale) ; il est utilisé en aval de parafoudres de type 2, soit pour la protection d'un équipement particulièrement fragile ou stratégique, soit pour la protection d'une partie de l'installation trop éloignée de la protection amont.

Pratiquement sur une canalisation électrique, on utilise plusieurs points de protection parafoudre, selon la distance parcourue, cela permet une élimination progressive du phénomène comme illustré sur la photo ci-dessous [13].

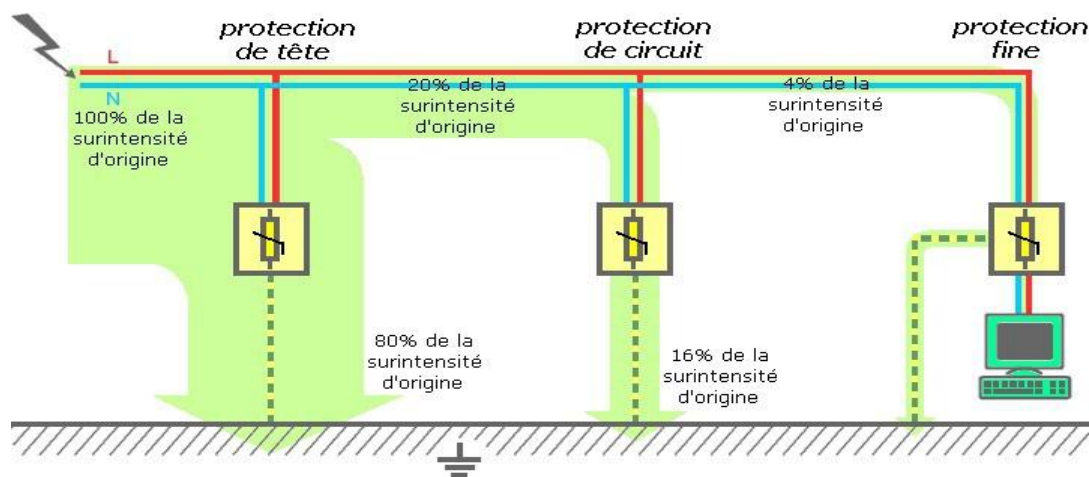


Figure I-28: Protection parafoudre.

I.4.10.4 Protection différentielle

I.4.10.4.B Définition

Une protection différentielle est une protection électrique qui consiste à Comparer le courant entrant I_e et le courant sortant I_s d'un appareil. Si les

deux sont différents, la protection conclut à une fuite à l'intérieur de l'appareil par le courant résultant de leurs différence, cela va faire naître un courant de déclenchement I_d , et commande son retrait du réseau électrique, on parle de «déclenchement ». La protection différentielle est une protection très répandue.

I.4.10.4.C Principe de fonctionnement

- Dans le régime normal $I_e = I_s \Rightarrow I_d = 0 \Rightarrow$ Pas de déclenchement.
- Lors d'un défaut d'isolement $I_s = I_e +$ le courant de fuite, cela va créer une issymétrie entre les deux champs magnétique produits par les deux bobines Phase et neutre, la résultante alimentera la bobine de détection, à son tour, elle va créer un courant qui alimentera une électrode aimant qui agira sur le bouton de déclenchement du disjoncteur.

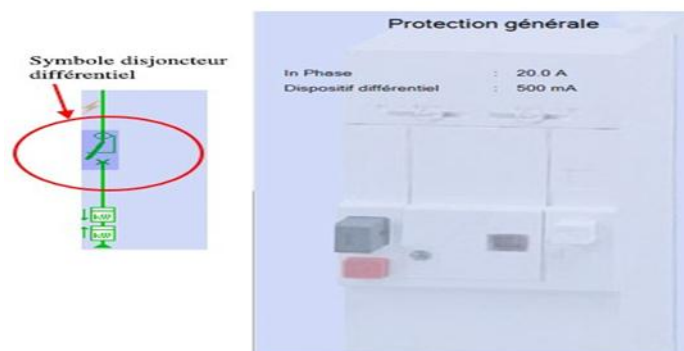


Figure I-29 Disjoncteur différentielle.



Figure I-30: Disjoncteur différentielle

I.5. Conversion photovoltaïque

I.5.2. Objectifs

A la fin de ce chapitre vous serez capable de : Expliquer l'effet photovoltaïque.

Définir les caractéristiques électriques de la cellule photovoltaïque [2].

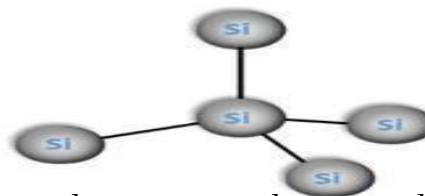
I.5.3. Définition

L'origine du mot photovoltaïque vient d'une part du terme qui signifie lumière et d'autre part du nom du célèbre physicien italien

Alessandro **Volta**, inventeur de la pile électrique, qui donna son nom au Volt (Unité de mesure de la tension électrique). L'effet photovoltaïque désigne la capacité qu'ont certains matériaux, tels que le silicium, à convertir l'énergie contenue dans le rayonnement solaire en électricité. Cet effet a été découvert par le physicien français Alexandre Edmond Becquerel en 1839[2].

I.5.4. Le Silicium (SI)

I.5.4.2 Définition



Les Semi-Conducteurs : Les matériaux semi-conducteurs sont des corps dont la résistivité est Intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants .Un semi-conducteur est un matériau pour lequel il existe une probabilité non nulle pour qu'un électron de la bande de valence passe dans la bande de conduction.

Il est caractérisé par la largeur de sa bande interdite (appelé « Gap ») [2].

I.5.5. Les différentes technologies photovoltaïques

Il existe de nombreuses familles et sous-familles de cellules qui diffèrent chacune selon la nature du semi-conducteur et du procédé de fabrication. Néanmoins, leurs propriétés électriques sont semblables d'une technologie à une autre.

Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont : le silicium mono ou poly-cristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou de sulfure de cadmium (CdS), de tellure de cadmium (CdTE) et des alliages de cuivre indium et sélénium (CIS),... [2].

I.5.6. Les cellules cristallines

Ces cellules, généralement en silicium, ne comprennent qu'une seule jonction p-n. La technique de fabrication de ces cellules, basée sur la production de "wafers" à partir d'un silicium très pure, reste très énergivore et coûteuse.

On distingue deux types de cellules cristallines :

I.5.6.2 Les cellules monocristallines

La fabrication des cellules monocristalline consiste à étirer des barreaux cylindriques à partir du silicium fondu dans un creuser et de scier ensuite ces barreaux en wafers (tranches de silicium) comme le montre la figure ci-dessous.

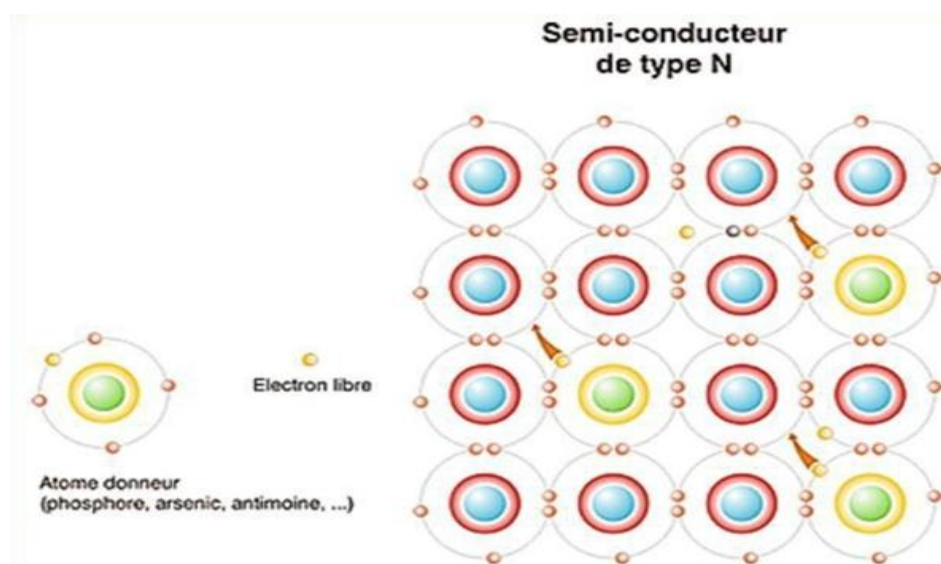


Figure I-31: La cellule monocristalline.

I.5.6.3 Les cellules poly cristallines

Le refroidissement du silicium en fusion est effectué dans des creusets parallélépipédiques à fond plat comme la montre la figure ci-dessous. Par cette technique, des cristaux orientés de manière irrégulière se forment. Cela donne l'aspect caractéristique de ces cellules bleutées présentant des motifs générés par les cristaux [2].

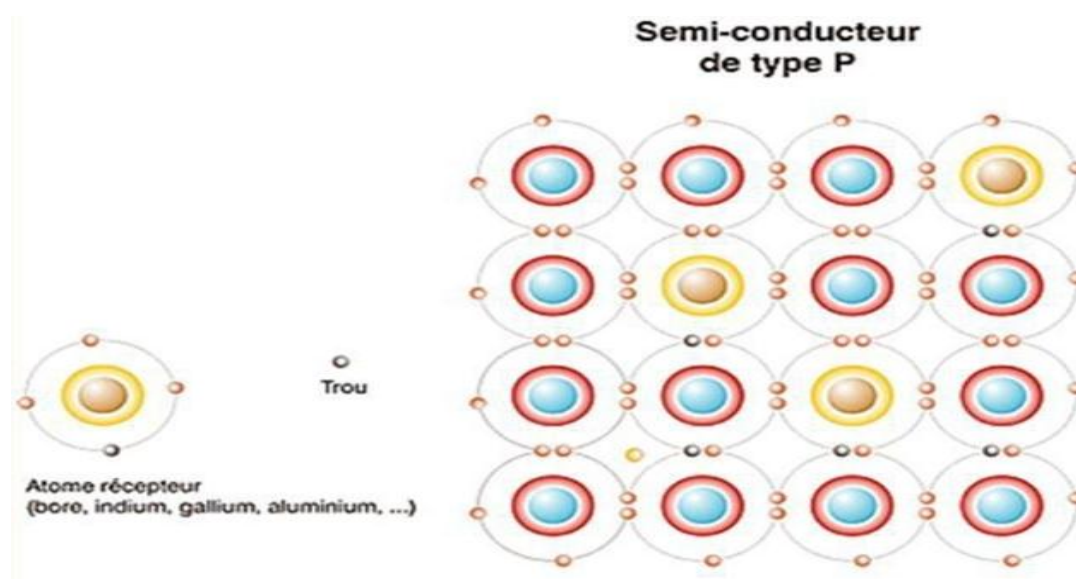


Figure I-32: La cellule poly cristalline

I.5.7. La Cellule photovoltaïque

I.5.7.2 Constitution

Une cellule photovoltaïque génère de l'électricité lorsqu'elle est exposée à la lumière. L'électricité produite est en fonction de l'intensité de l'éclairement. La cellule photovoltaïque produit un courant continu.

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont à base de silicium. Voici un exemple de cellule photovoltaïque : **la cellule en silicium cristallin.**

Les grilles d'électrodes et les bus conducteurs vont servir à collecter les électrons générés.

I.5.7.3 La caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque

La puissance électrique délivrée par une cellule photovoltaïque est le produit de la tension par le courant qu'elle génère. Ces deux grandeurs, courant et tension, dépendent à la fois des propriétés électriques de la cellule mais aussi de la charge électrique à ses bornes.

Les propriétés électriques de la cellule sont synthétisées dans un graphe qu'on appelle caractéristique courant-tension. Tout dipôle électrique est entièrement défini par sa caractéristique courant-tension, qui lui est propre [2].

I.6. Rayonnement solaire

I.6.2. Rayonnement solaire émis par le soleil

I.6.2.2 Le Soleil

Le soleil, est l'astre central de notre système solaire autour duquel tourne notre planète. C'est une étoile gazeuse composée de :

- ❖ 75 % d'hydrogène H₂.
- ❖ 23 % d'hélium He.
- ❖ 02 % d'autres (C, O₂, Fe, ...).

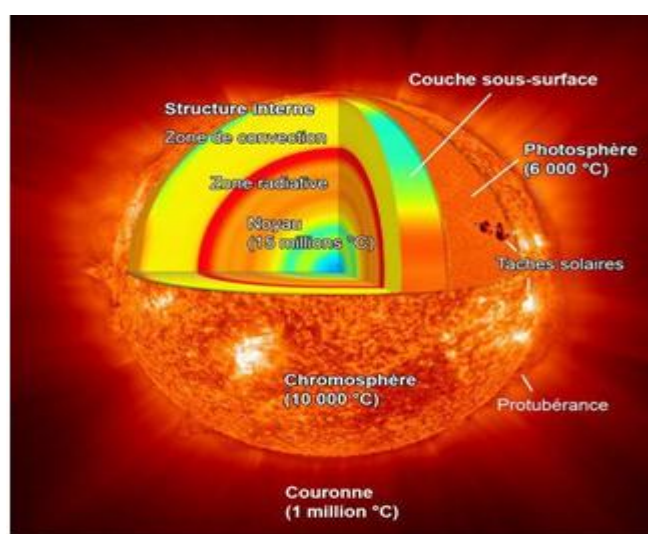


Figure I-33: Structure du Soleil

Les réactions thermiques nucléaires au soleil permettent à toute quantité d'énergie massive d'être envoyée à tout moment dans toutes les directions (environ 8 000 à 10 000 fois les besoins de la Terre), atteignant une puissance de $3,87 \cdot 10^{26}$ Watt [2].

I.6.3. Le Specter Solaire

Les théories actuelles présentent le rayonnement solaire comme une émission de particules. Ce flux de particules, appelées photons, atteint la terre avec différentes longueurs d'ondes aux quelles correspond une énergie spécifique.

La répartition énergétique des différentes longueurs d'ondes du rayonnement électromagnétique du Soleil est appelé spectre solaire.

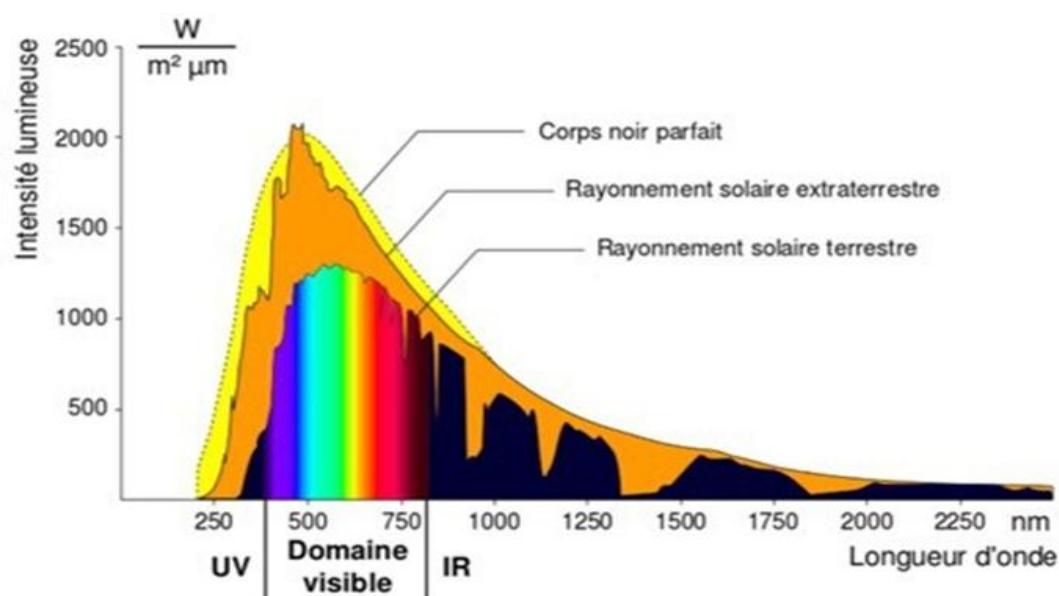


Figure I-34: Spectre solaire

D'après le spectre solaire, le soleil émet dans une large gamme de longueurs d'onde, allant des rayons gamma aux grandes ondes radioélectriques, en passant par les rayons X, le rayonnement ultraviolet, le rayonnement visible, le rayonnement infrarouge et le rayonnement hyperfréquences.

La plus grande partie de l'énergie solaire est cependant rayonnée dans les domaines, ultraviolet, visible, et infrarouge : 99.2% de l'énergie solaire, comme le démontre le tableau ci-après [2].

Tableau I2-: L'éclairement énergétique du rayonnement solaire hors atmosphère dans les divers domaines de longueurs d'ondes [2].

Région spectrale	Longueurs d'onde	Eclairement Energétique (W/m^2)	pourcentage (%)
Infrarouge	>0.70	659	50.8
Visible	0.40 à 0.70	559	40.9
UV A	0.32 à 0.40	86	6.3
UV B	0.28 à 0.32	21	1.5
UV C	<0.28	6	0.4

I.6.4. Propagation du rayonnement dans l'atmosphère

I.6.4.2 IV.3.1.Introduction

Après son voyage dans l'espace, le rayonnement solaire atteint l'atmosphère où :

- ❖ Une certaine quantité de ce rayonnement est absorbée par l'atmosphère les nuages et les particules en suspension dans l'atmosphère
- ❖ une autre partie est réfléchiée dans l'espace
- ❖ Une certaine quantité est absorbée par la surface de la terre [2].

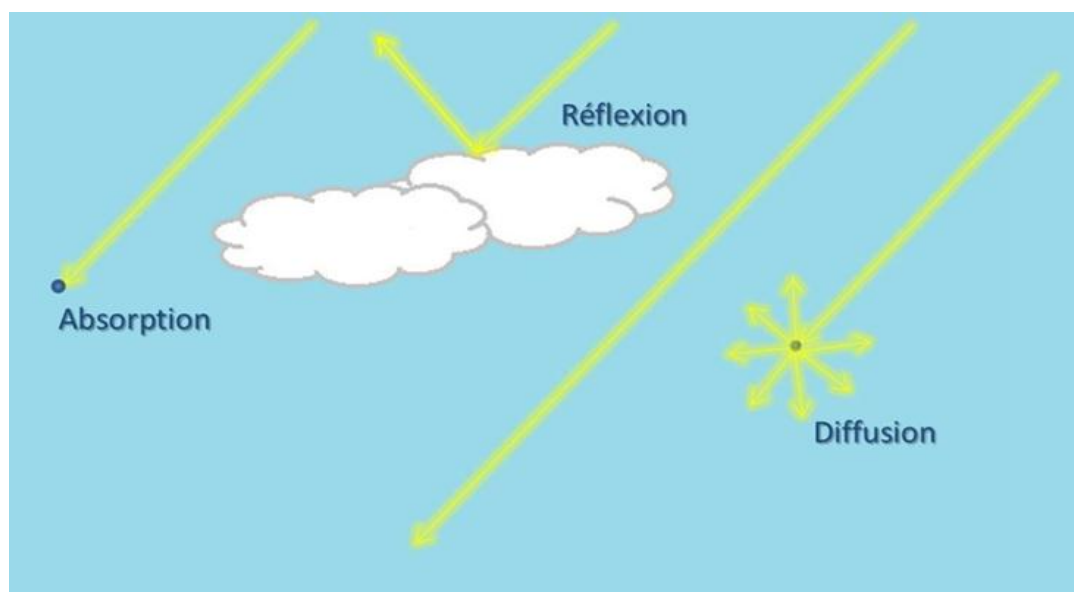


Figure I-35: *Propagation du rayonnement dans l'atmosphère*

I.6.5. Rayonnement solaire reçu au sol

I.6.5.2 Introduction

Le rayonnement solaire reçu sur une surface varie donc au cours du temps en fonction de la position du Soleil et de la couverture nuageuse. La puissance solaire maximale à la surface de la Terre est d'environ $1\,000\text{ W/m}^2$ pour une surface perpendiculaire aux rayons.



1. Puissance émise par le soleil : $64 \cdot 10^3 \text{ kW/m}^2$
2. Constante solaire : $1\,370 \text{ W/m}^2$
3. Rayonnement réfléchi.
4. Rayonnement absorbé et diffuse.
5. Rayonnement solaire à la surface de la Terre (Max : 1000 W/m^2) [2].

I.6.5.3 L'irradiation solaire incidente

L'angle que font les rayons du Soleil avec une surface détermine la densité énergétique que reçoit cette surface. Noté θ_z , il caractérise l'incidence avec laquelle le rayon solaire frappe un plan : c'est l'angle entre la normale au plan et le rayon solaire à l'instant considéré

L'angle que font les rayons du Soleil avec la normale à la surface (angle d'incidence) déterminera le pourcentage de lumière directe interceptée par la surface. Le tableau ci-dessous donne les pourcentages de lumière interceptée par une surface pour différents angles d'incidence [2].

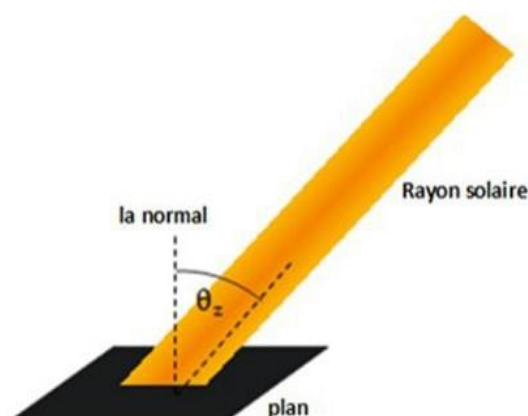


Figure I-36: Angle d'incidence

I.6.6. Composantes du rayonnement solaire

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

Le rayonnement direct, le plus puissant, qui provient directement du soleil sans subir d'obstacles sur sa trajectoire (nuage, immeubles...). C'est lui qui nous aveugle lorsque l'on cherche à regarder le soleil "droit dans les yeux" par temps découvert.

Le rayonnement diffus, provient des multiples diffractions et réflexions du rayonnement solaire direct par les nuages. C'est à lui que nous devons la "lumière du jour" qui nous permet d'y voir clair même quand le temps est couvert.

Le rayonnement dû à l'albédo, résulte de la réflexion du rayonnement solaire direct par le sol, qui est d'autant plus important que la surface est claire et réfléchissante (neige, étendue d'eau, ...). C'est lui qui peut nous faire attraper des coups de soleil à la montagne ou à la mer sans qu'on les sente venir [2].

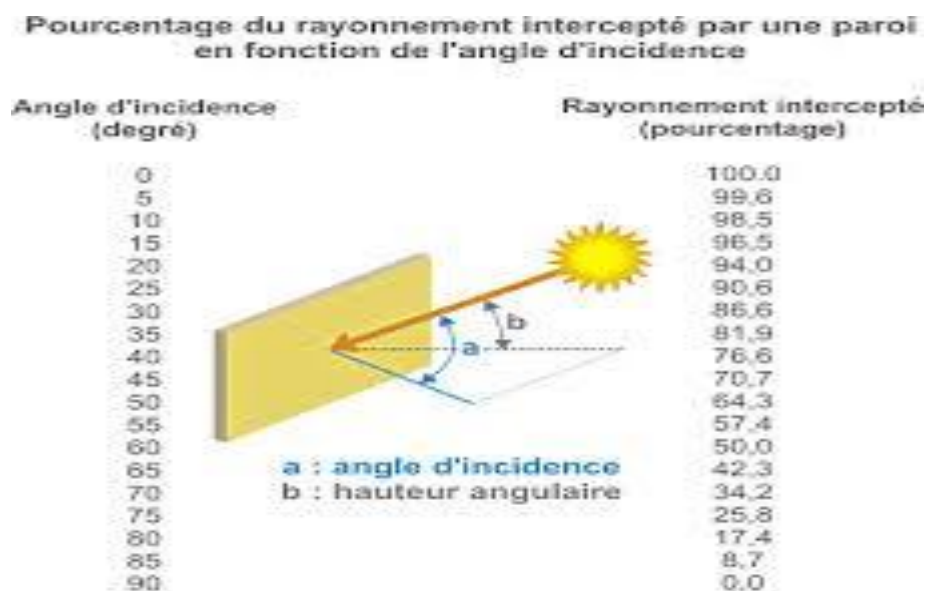


Figure I-37: Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi en fonction de l'angle d'incidence.

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le potentiel solaire, le principe de la conversion PV et les cellules monocristallines qui ont le meilleur rendement dans la condition réelle d'utilisation des systèmes photovoltaïque et leur secteur d'application.

En plus en a détaillé dans le principale, c'est les composante du système photovoltaïque.

CHAPITRE II :

Les Méthodes

De

la Maintenance

II. CHAPITRE II : LES METHODE DE LA MAINTENANCE

II.2. Maintenance

II.2.2. Introduction

La maintenance est devenue une nécessité dans les entreprises, elle consiste à conserver ou à remettre un équipement en état de bon fonctionnement. Dans ce sens, les entreprises font appel aux services de maintenance pour la bonne marche de l'exploitation de ses équipements. Ces services organisent les moyens humains et matériels pour accomplir leur fonction de maintenance. Aujourd'hui la maîtrise de la disponibilité des biens, des matériels et des équipements industriels, permet à l'industrie d'agir sur la régularité de la production, sur les coûts de fabrication, sur la compétitivité et sur le succès commercial. Pour vendre plus et mieux, il s'agit non seulement de proposer un meilleur mode de conduite de l'installation mais de garantir à l'exploitant un mode d'intervention rapide, une mise en place de détection et de diagnostic des défaillances, en un mot, il faut assurer une maintenance de qualité permettant d'atteindre la production optimale.

II.2.3. Objectifs de la 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 [4].

La figure II.1 représente les Objectifs de la maintenance



Figure II-1: Objectifs de la maintenance.

II.2.4. Les type de maintenance

Tableau II-1: Types de maintenance

Types de maintenance

Type de maintenance	Maintenance CORRECTIVE		Maintenance PREVENTIVE		
	Maintenance palliative	Maintenance Curative	Maintenance Systématique	Maintenance conditionnelle	Maintenance Prévisionnelle
Déclencheur	Défaillance	Défaillance	Date/échéance	Franchissement Limite ou seuil	Dérive, Tendance
Action de maintenance	Dépannage	Réparation	Replacements Systématique	Replacements Sous condition	Interventions Ciblées

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance au niveau de l'entreprise et doit s'opérer en accord avec sa direction. Ce choix est à la fois technique, social, environnemental et économique. Il doit répondre aux besoins des utilisateurs des équipements [4].

II.2.4.2 Maintenance corrective :

La maintenance corrective est le type de maintenance qui s'approche le plus à l'entretien traditionnel dans la mesure où, comme son nom l'indique, intervient sur le système après l'apparition d'une défaillance. On peut distinguer deux types de maintenance corrective : la maintenance curative et la maintenance palliative, voir tableau II.1 La figure II.2 représente la maintenance corrective [4].

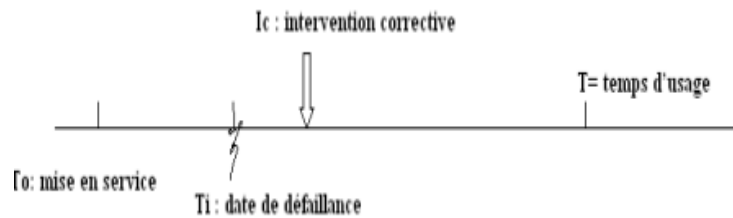


Figure II-2: Maintenance corrective

II.2.4.3 Maintenance préventive

C'est principalement le développement de ce type de maintenance qui a entraîné la mutation des services d'entretiens traditionnels. Le mot préventive sous-entend prévenir, l'objectif de ces formes de maintenance est de prévenir la panne avant qu'elle ne survienne. Il en résulte principalement une économie sur les pertes de production mais, aussi une diminution de la dégradation des équipements.

Il existe deux formes principales de la maintenance préventive. La maintenance préventive systématique et la maintenance préventive conditionnelle. On peut ajouter une autre, la maintenance préventive prévisionnelle.

Le but de la maintenance préventive est de :

- augmenter la durée de vie des matériels
- diminuer la probabilité des défaillances en service ;
- diminuer le temps d'arrêt en cas de révision ou de panne ;
- prévenir et prévoir les interventions de la maintenance corrective coûteuse ;
- permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions ;
- éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc...
- diminuer le budget de la maintenance.
- supprimer les causes d'accidents graves.

La figure II.3 représente l'intervention préventive [4].

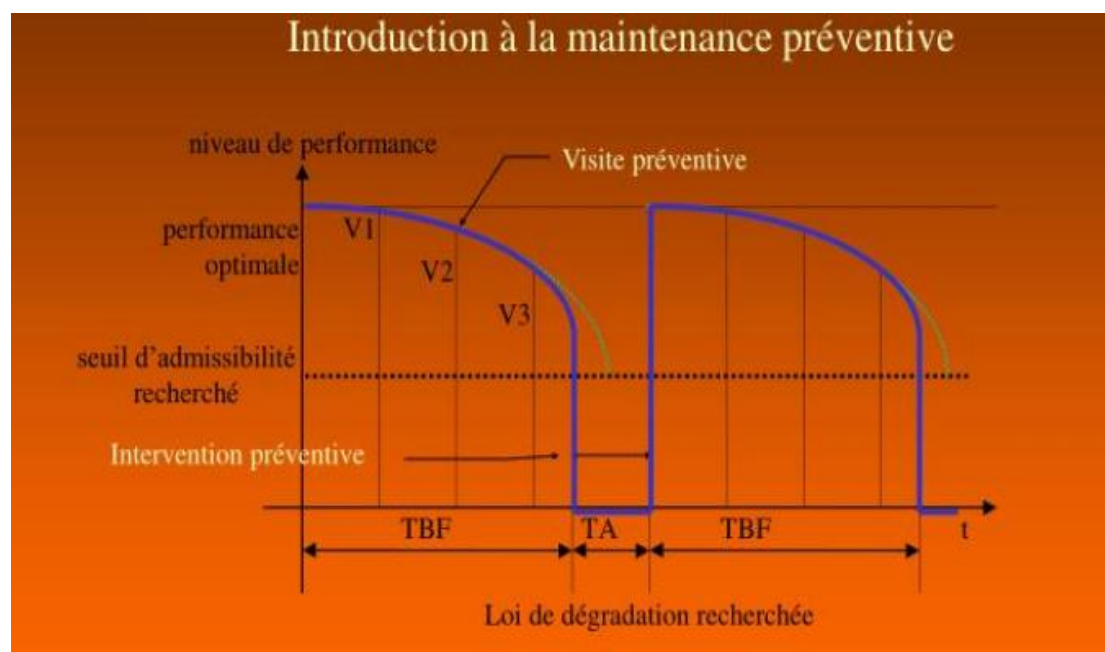


Figure II-3: Intervention préventive.

Exemple de répartition appliquée à la maintenance.

- ☒ 20 % des systèmes représentent 80 % des pannes.
- ☒ 20 % des interventions représentent 80 % des coûts de maintenance.
- ☒ 20 % des composants représentent 80 % de la valeur des stocks

II.2.5. Les niveaux de maintenance

- **1^{er} Niveau** : Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement.

Remarque : Ce type d'intervention peut être effectué par l'exploitant du bien, sur place, sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation. Le stock de pièces consommables nécessaires est très faible

- **2^{eme} Niveau** : Dépannages par échange standard des éléments, prévus à cet effet, et opérations mineures de maintenance préventive, telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement.

Remarque : Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification moyenne, sur place, avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, et à l'aide de ces mêmes instructions.

- **3^{eme} Niveau** : Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures, et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que réglage général ou réaligement des appareils de mesure.

Remarque : Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements.

- **4^{eme} Niveau** : Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance, et éventuellement la vérification des étalons de travail par les organismes spécialisés.

Remarque : Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé doté d'un outillage général.

- **5^{eme} Niveau** : Rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier central ou à une unité extérieure.

Remarque : Par définition, ce type de travail est donc effectué par le constructeur, ou par le reconstruteur, avec des moyens définis par le constructeur et donc proches de la fabrication.

II.3. La loi de PARETO (20/80) et la méthode ABC

II.3.2. Introduction

Un économiste italien, Vilfredo Pareto, en étudiant la répartition des impôts constata que 20 % des contribuables payaient 80 % de la recette de ces impôts. D'autres répartitions analogiques ont pu être constatées, ce qui a permis d'en tirer la loi des 20-80 ou la loi de Pareto. Cette loi peut s'appliquer à beaucoup de problèmes, c'est un outil efficace pour le choix et l'aide à la décision.

II.3.3. La méthode ABC

La méthode ABC revient à construire le diagramme de répartition de Pareto et de le séparer en trois zones A, B et C. Les éléments de la zone A sont considérés comme les plus importants, ceux de la zone B d'une moindre façon et ceux de la zone C sont ceux qui peuvent **faire** l'objet d'une simple maintenance corrective vu leur importance. On le nomme souvent 20-80 car il permet de représenter les 20% des éléments qui représentent 80% du critère d'intérêt (P.ex. : 20% des pièces représentent 80% du coût) [5].

II.3.3.2 La méthode ABC : Avantage :

La méthode ABC présente l'avantage d'affecter de manière plus précise les coûts aux produits sans procéder à une répartition des coûts indirects à l'aide d'une unité de mesure souvent arbitraire (par exemple, les heures machines). Une meilleure connaissance des processus permet de dégager les forces et faiblesses d'une organisation à la mise en place de cette méthode.

II.3.3.3 La méthode ABC : Inconvénient :

La méthode ABC présente aussi l'inconvénient d'exiger l'intervention longue de spécialistes extérieurs, une implication active du personnel ainsi que l'emploi de solutions informatiques coûteuses, pour être mise en œuvre [6].

II.3.3.4 Mise en application de la loi :

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets : - Diminuer les coûts de maintenance. - Améliorer la fiabilité des systèmes. - Justifier la mise en place d'une politique de maintenance.

II.3.4. 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.

II.3.5. Methods

L'étude suppose obligatoirement que l'on est :

- ☒ Un historique
- ☒ Des prévisions

Pour un secteur ou un système donné l'application de la loi de Pareto impose plusieurs étapes :

II.3.6. Définition de l'objectif de l'étude et de ses limites :

Ces éléments peuvent être :

- Des matériels.
- Des causes de pannes.
- Des natures de pannes...

II.3.6.2 Choisir le critère de classement.

Organiser le classement selon les critères de valeurs retenus (les coûts, les temps, les rebuts...).

II.3.6.3 Construire un graphique.

Ce graphe fera apparaître les constituants sur la situation étudié.

II.3.6.4 Déterminer les zones ABC.

Il s'agit de délimiter sur la courbe obtenue des zones à partir de l'allure de la courbe. En général la courbe possède deux cassures, ce qui permet de définir trois zones : La partie droite de la courbe OM détermine la zone A. La partie courbe MN détermine la zone B. La partie assimilée à une droite NP détermine la zone C

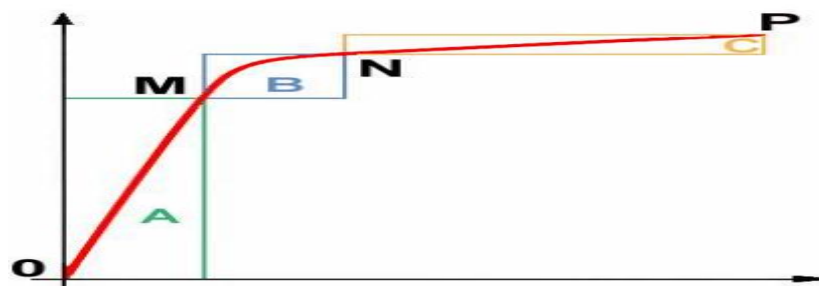


Figure II-4: La courbe détermine la zone A.B.C

Interprétation de la courbe. L'étude porte dans un premier temps sur les éléments constituant la Zone A en priorité. Si les décisions et modifications apportées aux éléments de la zone A ne donnent pas satisfaction, on continuera l'étude sur les premiers éléments de la zone B jusqu'à satisfaction. Les éléments appartenant à la zone C peuvent être négligés, car ils ont peu d'influence sur le critère étudié.

II.3.6.5 Cas particuliers de courbe

Il n'y a pas de priorité à dégager, tous les éléments ont la même valeur

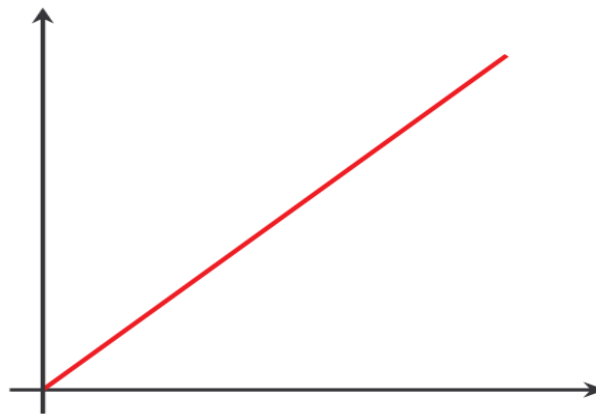


Figure II-5: La courbe détermine les éléments ont la même valeur.

C'est une courbe impossible, il y a une erreur de classement.

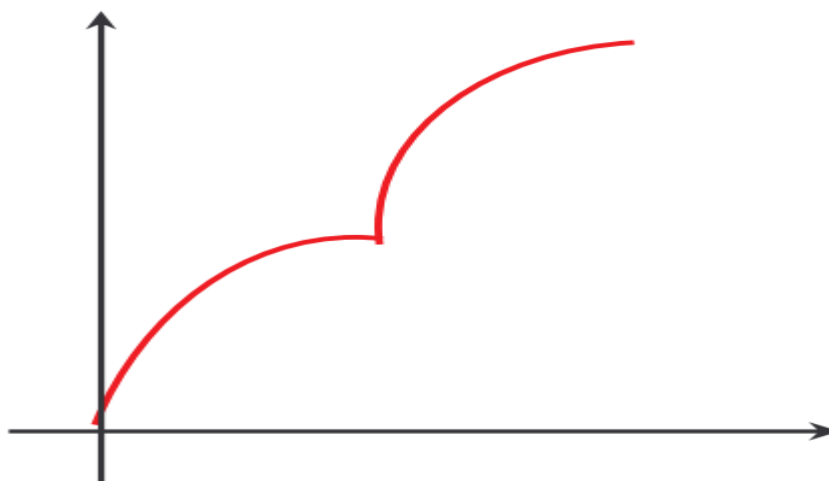


Figure II-6: une courbe impossible

II.3.7. Comment créer un diagramme de Pareto ?

1. Recueillir les données
2. Placer les valeurs dans un tableau

3. Trier les valeurs par ordre décroissant
4. Canceled les pourcentages cumulés
5. Etablir le graphique

II.3.7.2.B Recueillir les données

Vous pouvez utiliser les dispositifs de relevé usuels pour dénombrer les occurrences d'un phénomène.

Vous pouvez utiliser les bases de données de l'entreprise comme les bases de données client, une simple feuille de relevé en production, ou encore réaliser une enquête.

II.3.7.2.C Trier les valeurs par ordre décroissant

Une fois les données recueillies, il est possible de classer/trier les données par ordre décroissant. Dans l'exemple du restaurant vous obtiendrez le résultat ci-dessous.

Tableau II-2: La cause : "disposition des tables" se retrouve au sommet du tableau, suivi de la "qualité du service".

Critères d'appréciation	Nombre de “ _ ”
Disposition des tables	98
Qualité du service	95
Qualité du repas	45
Prix	36
Qualité des produits	25
Durée pour le service	15
Durée des couverts	12
Diversité des plats proposés	2
Total	328

II.3.7.2.D Calculer les pourcentages relatifs

Tableau II-3: le pourcentage relatif à chaque cause.

Critères d'appréciation	Nombre de “ _ “	Pourcentage
Disposition des tables	98	30%
Qualité du service	95	29 %
Qualité du repas	45	14%
Prix	36	11%
Qualité des produits	25	8%
Durée pour le service	15	5%
Durée des couverts	12	4%
Diversité des plats proposés	2	1%
Total	328	

En outre, il est possible de rajouter le pourcentage relatif à chaque cause. Ainsi, la "disposition des tables" représente 30% des causes d'insatisfaction. ($98/328=0.3$).

II.3.7.2.E Calculer les pourcentages cumulés

Tableau II-4: les pourcentages cumulés

Critères d'appréciation	Nombre de “ _ “	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Disposition des tables	98	30%	30%
Qualité du service	95	29 %	59%
Qualité du repas	45	14%	73%
Prix	36	11%	84%
Qualité des produits	25	8%	91%

Durée pour le service	15	5%	96%
Durée des couverts	12	4%	99%
Diversité des plats proposés	2	1%	100%
Total	328	/	/

Note : Vous pouvez consulter le dossier [tableau](#) pour en savoir plus.

II.3.7.2.F Etablir le graphique

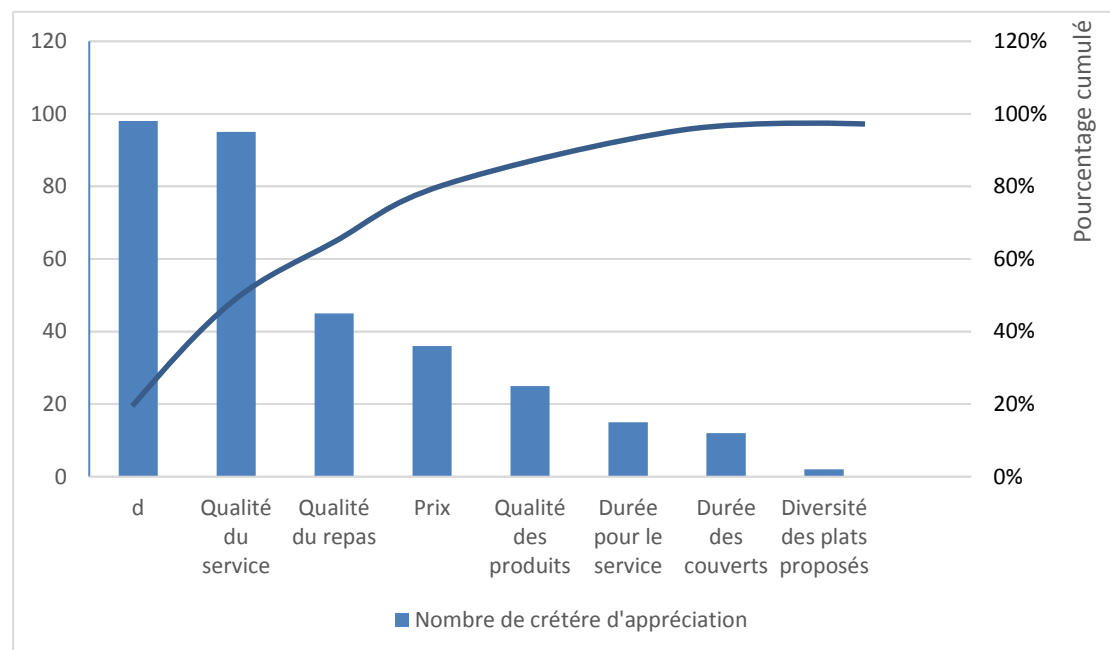


Figure II-7: Le diagramme de Pareto

- L'axe des abscisses représente les causes,
- l'axe des ordonnées représente les effets sur le problème

Les barres bleues représentent la fréquence en pourcentage du nombre de "-" pour chaque critère. La courbe rouge représente le pourcentage cumulé.

En travaillant sur la disposition des tables et la qualité du service, le restaurateur éliminera 59% des causes de mécontentement.

Remarque :

Vous observez ici que nous avons plutôt une proportion de (25/60) car ($2/8=25\%$) engendre **59%** des insatisfactions. En effet la règle des 20/80 n'est pas gravée dans le marbre.

Pour aller plus loin, le restaurateur pourra ensuite travailler sur la qualité des repas qui représente 14% des insatisfactions [8].

II.4. Methode AMDEC:**II.4.2. Introduction**

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) est une technique d'analyse prévisionnelle de la fiabilité, de la maintenabilité et de la sécurité des produits et des équipements.

Elle trouve son origine aux Etats-Unis dans les années 1950, sous le nom de FMECA (Failures, Modes, Effets and Criticité Analyse).Utilisée exclusivement aux USA et au Japon pour améliorer la fiabilité des produits de haute technicité (armement, avionique, spatial, ...), l'AMDEC fait son apparition en Europe dans les années 1970 : industries électroniques puis industries mécaniques sous l'impulsion des constructeurs automobiles.

Les retombées de l'AMDEC sur la maintenance des matériels étudiés sont importantes. En effet, le concept de maintenabilité est désormais pris en compte dès la conception du produit ou de l'équipement [9].

II.4.3. Definition

La méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité) permet une analyse préventive de la sûreté de fonctionnement des produits et des équipements.

Ce principe de la prévention repose sur le recensement systématique et l'évaluation des risques potentiels d'erreurs susceptibles de se produire à toutes les phases de la réalisation d'un produit. C'est une méthode précieuse qui permet à l'entreprise de valider, tout au long de la construction du produit, sa qualité et sa fiabilité :

- Elle identifie les modes de défaillance des composants, et évalue les effets sur l'ensemble des fonctions.
- Elle évalue l'impact ou la criticité des modes de défaillances sur la sûreté de fonctionnement.
- En phase de conception, elle est associée à l'analyse fonctionnelle, pour la recherche des modes de défaillances spécifiques à chaque fonction des composants.
- Dans le cas d'analyse sur des procédures ou chaînes de fabrication, elle permet de localiser les opérations pouvant conduire à élaborer un produit ne respectant pas le cahier des charges, ce qui permettra par la suite de limiter les rebuts.
- Elle est appliquée à un groupe de travail pluridisciplinaire, elle est recommandée pour la résolution de problèmes mineurs dont on veut identifier les causes et les effets [2].

AMDEC **Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité**



AMDEC

II.4.4. Avantages de la méthode AMDEC

La méthode AMDEC confronte les connaissances de tous les secteurs d'activité de l'organisation pour obtenir dans un ordre que nous avons cherché à rendre significatif les résultats suivants.

- ✚ La satisfaction du client est l'objectif majeur de l'AMDEC, un objectif contre lequel personne ne peut aujourd'hui s'élever. S'il n'y avait que ce seul argument en faveur de l'AMDEC, il devrait suffire à la rendre indispensable dans nos organisations.

- ✚ Le pilotage de l'amélioration continue par la gestion. L'élaboration et la gestion de ces plans seront, avec les mises à jour régulières de l'AMDEC, des moyens majeurs de pour l'amélioration continue.
- ✚ Contrairement à ce que certains prétendent, l'AMDEC vous aide à réduire les coûts d'obtention de la qualité, à condition de travailler aussi dans le cadre de l'AMDEC procédé, sur la réduction des rebuts et des retouches : c'est un des objectifs majeurs de la méthode.
- ✚ Un des objectifs majeurs de l'AMDEC se traduira par la mise en place des mesures préventives, voire par l'élaboration des plans d'actions pour l'élimination des causes des défaillances [4].

II.4.5. Types de l'AMDEC

Il existe globalement trois (03) types d'AMDEC suivant que le système analysé est :

- Le produit fabriqué.
- Le processus de fabrication du produit.
- Le moyen de production intervenant dans la production du produit.

La figure II.4 représente les différents types de l'AMDEC

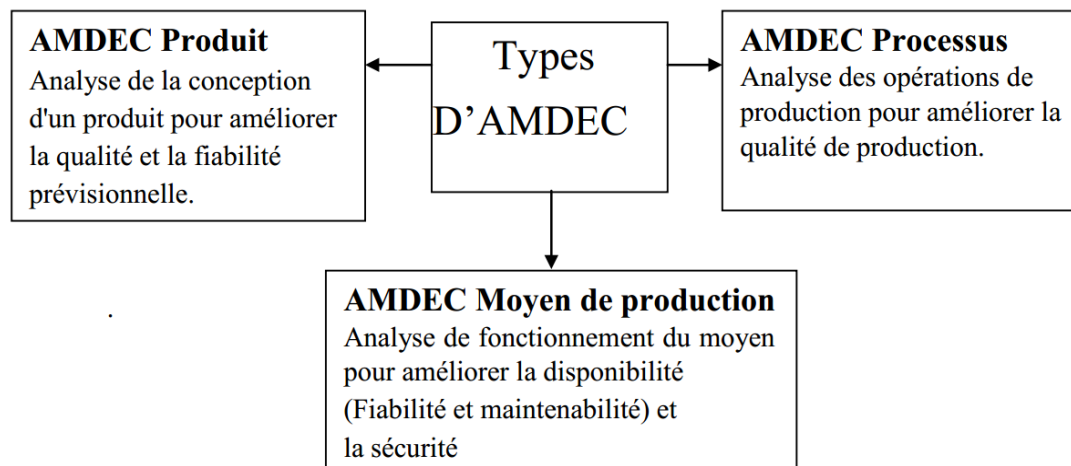


Figure II-8: *Different types de l'AMDEC [10]*

On peut effectuer :

- Une AMDEC Produit, pour vérifier le produit et 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 de production pour vérifier la fiabilité d'un équipement [4].

II.4.6. Exemple d'application du L'AMDEC

Pour commencer l'étude de l'analyse dysfonctionnelle, l'étude AMDEC a été réalisée. Elle permet, grâce à un brainstorming, de lister l'ensemble des modes de défaillance susceptibles de provoquer un dysfonctionnement ou une dégradation du système photovoltaïque.

Avant de commencer l'étude AMDEC, la grille de notation a été établie et est présentée dans le Tableau II.5.

Les résultats de l'étude AMDEC sont présentés dans le Tableau II.5.

Tableau II-5: Cotation pour l'étude AMDEC du système photovoltaïque

Cote	Echelle d'occurrence (O)	Echelle de gravité (G)	Echelle de non détection (D)
1	Défaillance peu probable	Aucune influence Le client ne s'en aperçoit pas	Détection certaine de la défaillance lors des contrôles
2	Défaillance très rare	Baisse de rendement - Le client peut le voir	Probabilité forte de détecter la défaillance lors des contrôles
3	Défaillance occasionnelle	Légère altération du système - Le client se plaint	Probabilité modérée de détecter la défaillance lors des contrôles
4	Défaillance répétitive	Arrêt du système - Le client se plaint	Probabilité faible de Détecter la défaillance lors des contrôles
5	Défaillance inévitable	Mise en danger de la machine et de l'opérateur	Impossible de détecter la défaillance lors des Contrôles

En prenant en compte la grille de cotation du Tableau II.3. Nous allons nous intéresser Plus particulièrement au mode de dégradation qui a la criticité la plus élevée. Ce mode est la perte de puissance d'un module photovoltaïque qui est principalement due à la

Décoloration de l'encapsulant. Cette décoloration est principalement due aux est de la température, de l'humidité et des radiations ultraviolettes sur le module photovoltaïque. [10]

II.5. Conclusion

L'AMDEC peut s'appliquer à tout système ou processus présentant un nombre significatif de défaillances potentielles et dont l'amélioration du fonctionnement procure un gain significatif. Elle est totalement appropriée au secteur industriel, mais peut également être transposée aux entreprises de services.

Cette méthode exige un travail souvent important et fastidieux au stade de sa réalisation.

Une des difficultés réside dans son efficience, le respect d'un équilibre entre le coût de l'analyse AMDEC et les gains attendus [12].

CHAPITRE III :

Application De la Maintenance

CHAPITRE III : APPLICATION DU MAINTENANCE

Introduction

Dans ce chapitre, qui est la partie pratique, qu'on a faite au cours du stage (**au mois de février 2020**) de la formation sur la maintenance des systèmes PV à l'école technique de **BLIDA (IFEG)**.

Nous allons appliquer les différents types de maintenance **corrective ; préventive** et la méthode (**ABC-loi de PARETO**) sur un système PV de **6KW** dans cette école, En suivant les étapes de maintenance, enfin nous provenons combien il est important de maintenir les rendements du système pendant une période spécifique.

Définition du système PV (6kw)

À la lumière de la tendance mondiale actuelle vers les énergies renouvelables, les entreprises productrices d'électricité ont surtout tendance à exploiter et à développer cette nouvelle tendance.

Là où l'on trouve en Algérie de nombreuses entreprises privées et publiques qui vont produire de l'électricité à l'énergie solaire, dont l'institution de l'école technique de Blida, affiliée à la société Sonal gaz, qui est financée en Algérie par l'électricité produit par le gaz, cherchant à se diriger dans ce domaine de la production d'énergie pour qu'elle mène des formations et exploite certaines de ses installations à l'énergie solaire.

Dans l'institut de BLIDA, il y a un système PV autonome qui marchait en décembre 2003, ce système est lié au pavions (23) ; alimente l'éclairage et quelque prise de faible puissance. Il est composé de **128 panneaux**.



Figure II-9: pavions (23).

C'est le même système sur lequel nous avons mené l'étude et l'avons maintenue, et nous soulignerons les choses les plus importantes que nous avons faites dans ce chapitre.



Figure II-10 : système PV (6kw)

Ce système est devisé par deux : système italien de 3 kW, et un système allemand de 3 kW et sont composés comme de suite :

Les composantes du système allemand :

- 64 Panneaux Photovoltaïques.
- 55 Batteries Stationnaires.
- Un Régulateur.
- Un Onduleur.
- Un Système De Protection.

Les composante du système italien :

- 64 Panneaux Photovoltaïques.
- 55 Batteries Stationnaires.
- Un Régulateur.
- Un Onduleur.
- Un Système De Protection.

II.6. Application de la méthode sur le système

II.6.2. Maintenance préventive

II.6.2.2 Recueillir les données

A partir de l'utilisation de la feuille de relevé ci-dessous (système allemand)

II.6.2.2.B Les fiches de suivi

Tableau II6-: Fiche de suivi (système allemand)

Les élément	Partie Mécanique		Partie électrique	
	Bon	Mauvais	Bon	Mauvais
La clôture		X		
Drainage d'eau		X		
L'élagage	X			
Désherbage	X			
Accès	X			
Etanchéité	X			
Onduleur	X		X	
Régulateur	X		X	
La structure		X		
Panneaux PV	X		X	
Chemin de câble				X
Boite de raccordement			X	
Mise à la terre			X	

Apartir de l'utilisation de la feuille de relevé ci-dessous (système italien) :

Tableau II7-: Fiche de suivi (système italien)

Les éléments	Partie Mécanique		Partie électrique	
	Bon	Mauvais	Bon	Mauvais
La clôture		X		
Drainage d'eau		X		
L'élagage	X			
Désherbage	X			
Accès	X			
Etanchéité	X			
Onduleur	X		X	
Régulateur	X		X	
La structure		X		
Panneaux PV	X		X	
Chemin de câble				X
Boite de raccordement			X	
Mise à la terre			X	

II.6.2.2.C Les Batteries :

Les deux tableaux ci-dessous montrent les valeurs de tension avant maintenance.

Tableau II-8: les valeurs de tension des Batteries (système allemand) et les valeurs de tension des Batteries (système italien).

système allemand		système italien	
Elément(N°)	Tension (v)	Elément(N°)	Tension (v)
01	2.03	01	2.02
02	2.03	02	2.01
03	2.03	03	2.01
04	2.04	04	2.00
05	2.01	05	1.51
06	2.01	06	1.99
07	2.01	07	1.98
08	2.01	08	1.98
09	2.00	09	1.95
10	2.02	10	1.98
11	2.02	11	1.73
12	2.01	12	1.97
13	0.00	13	1.97
14	2.01	14	1.98
15	2.01	15	1.98
16	2.02	16	1.97
17	2.02	17	1.98
18	2.02	18	1.99

19	2.01	19	1.97
20	2.01	20	1.97
21	2.00	21	1.96
22	2.00	22	1.97
23	2.01	23	1.97
24	1.99	24	1.97
25	2.01	25	1.96
26	2.01	26	1.98
27	2.01	27	1.98
28	2.00	28	1.98
29	2.02	29	1.97
30	2.02	30	2.00
31	2.02	31	1.97
32	2.02	32	1.96
33	2.02	33	1.97
34	2.01	34	1.96
35	2.01	35	1.96
36	2.02	36	1.95
37	2.00	37	1.97
38	2.00	38	1.96
39	2.02	39	1.95
40	2.01	40	1.96
41	2.01	41	1.96
42	2.02	42	1.97

43	2.01	43	1.96
44	2.01	44	0.56
45	2.02	45	1.97
46	2.01	46	1.96
47	2.03	47	1.96
48	2.02	48	1.96
49	2.02	49	1.95
50	2.02	50	1.95
51	2.03	51	1.98
52	2.02	52	1.95
53	2.02	53	1.92
54	2.02	54	1.99
55	2.02	55	1.95

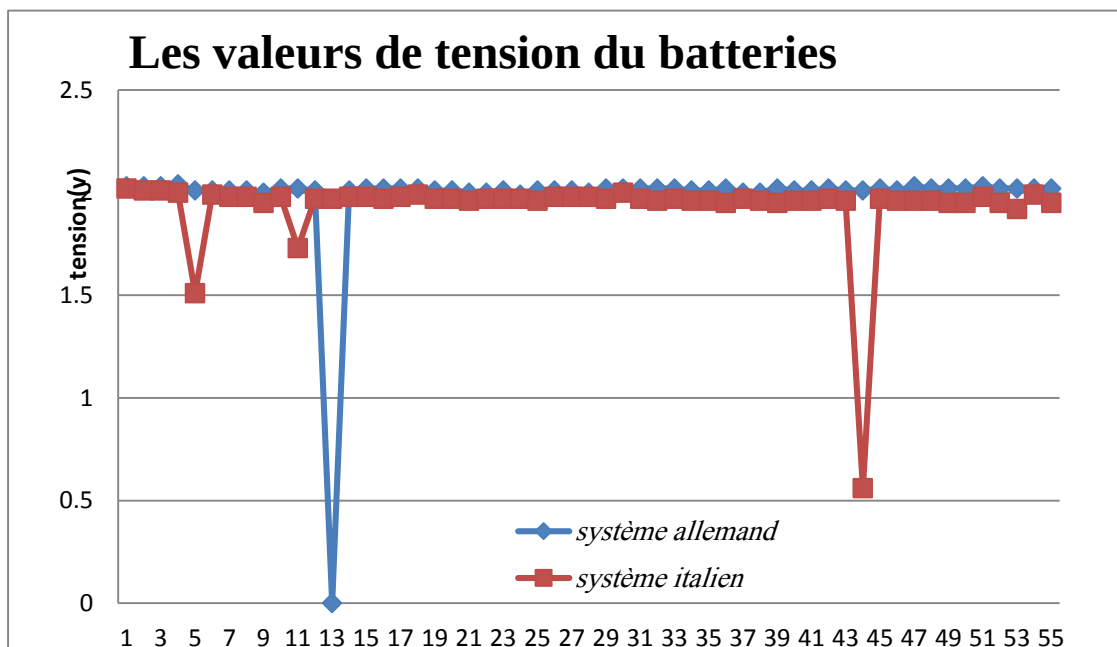


Figure II-11: Les valeurs de tension des batteries avant la maintenance

II.6.3. Maintenance corrective

Objectif : Analyse des éléments du système (par ordre d'importance en production) pour identifier les groupes prioritaires de maintenance.

II.6.3.2 Etape 1

Réaliser un tableau d'analyse Le tableau d'analyse doit comporter 5 colonnes. Lorsqu'il est complété, il faut fixer les limites des groupes A, B et C.

Remarque :

Les limites des groupes peuvent être données dans l'énoncé. Sinon, il faut reprendre 20% des éléments pour A, de 20 à 40% pour B, et le reste pour C.

1. Calcul de la colonne «Les composantes cumulées en pourcentage » :

$$\frac{\text{composantes cumulées} \times 100}{\text{Somme des composante}}$$

Exemple de la première ligne : $\frac{128 \times 100}{550}$ soit 23.27 %

2. Calcul de la colonne « Références cumulées en pourcentage » :

$$\frac{\text{Classement du composante} \times 100}{\text{Somme des composantes}}$$

Exemple de la première ligne : $\frac{1 \times 100}{14}$

Tableau II-9: d'analyse ABC

<i>Les composantes</i>	<i>Nombre de composante</i>	<i>Pourcentage %</i>	<i>Les composantes cumulées en pourcentage %</i>	<i>Références cumulées en pourcentage</i>	<i>Classement (ABC)</i>
Les panneaux	128	23.27	23.27	7.14%	A
régulateur	2	0.36	23.63	14.28%	A
Les câbles	260	47.27	70.90	21.42%	B
L'onduleur	2	0.36	71.26	28.57%	B

Batterie	110	20	91.26	35.71%	B
structure	16	2.90	94.16	42.85%	C
Fusible	10	1.81	95.97	50%	C
Sectionneur fusible	10	1.81	97.78	57.14%	C
Boite de raccordement	2	0.36	98.14	64.28%	C
Mise a la terre	2	0.36	98.50	71.42%	C
Disjoncteur	2	0.36	98.86	78.57%	C
Disjoncteur différentielle	2	0.36	99.22	85.71%	C
Chambre de batterie	2	0.36	99.58	92.85%	C
Chambre de (onduleur, régulateur, etc.)	2	0.36	100	100%	C
Totale	550		1162.53		

II.6.3.3 Etape 2 : Reporter les informations sur un graphique :

Il faut donc tracer un axe sur lequel on va reporter les informations calculées dans le tableau D'analyse pour les colonnes « composantes cumulées en pourcentage » (placées en ordonné y) et « Les composantes » (placées en abscisse x).

On obtient alors un ensemble de points qu'il faut relier pour obtenir une courbe ascendante.

Exemple pour le premier point : x = Les panneaux ; y = 23.27

Exemple pour le deuxième point : x = régulateur ; y = 23.63

Il ne reste plus qu'à indiquer sur le graphique les limites des groupes A, B et C.

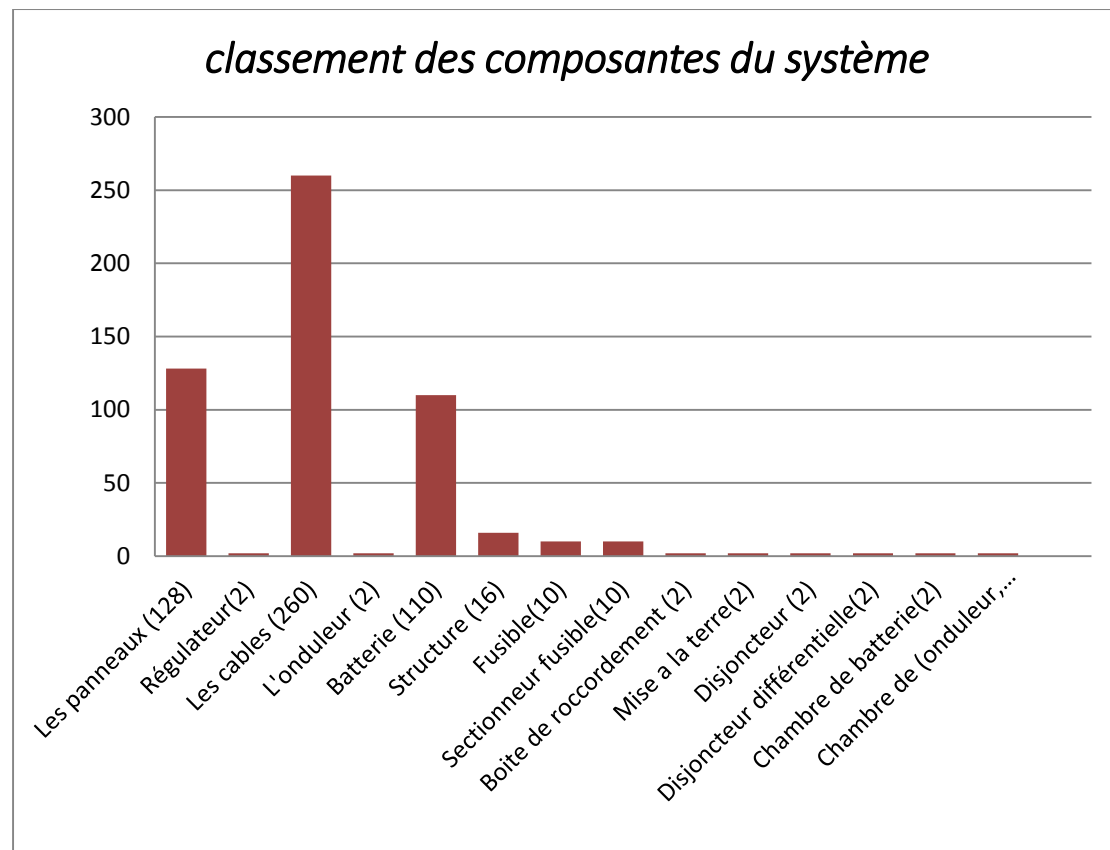


Figure II-12: classement des composantes du système

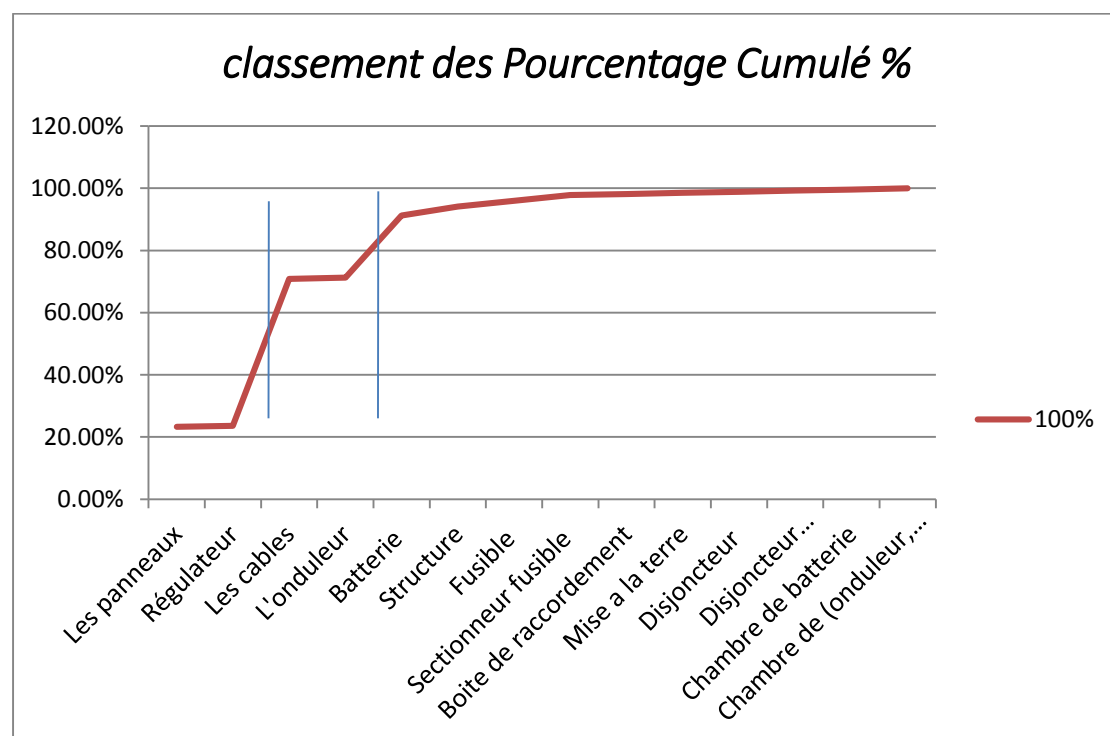


Figure II-13: classement des Pourcentage Cumulé

II.6.3.4 Étape 3 : calculer l'indice de Gini :

$$\gamma = \frac{(\sum \text{des composantes cumulées en pourcentage } \% \times \% \text{ d'un seul composante}) - 5000}{5000}$$

Dans un analyse : $\sum$ des composante cumulées en % = 1162.53 et % d'un seul composante = 7.14

Donc $\gamma = ((1162.53 \times 7.14) - 5000) / 5000$; soit $\gamma = 0.66$

L'indice est très nettement à 0.6. Le critère des composantes est pertinent, et les groupes A, B et C sont intéressants pour notre analyse.

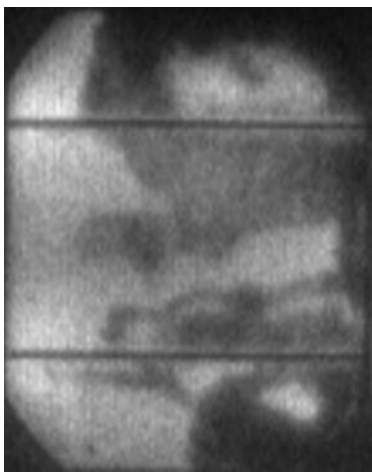
II.6.3.5 Étape 4 : Analyse et interprétation des courbes graphiques

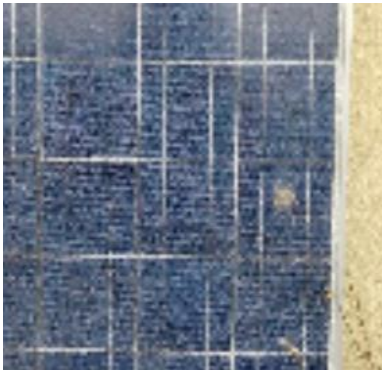
- 2 composantes sur les 14 représentent à eux seuls 80 % des productions. Il est donc important de surveiller leurs rendement afin d'éviter toute empanne.
- 3 composante se situent dans le groupe B, groupe intermédiaire.
- Ce sont peut-être des composantes dont le cycle de vie vieillit, entraînant en fléchissement des productions.
- Une relance système ou une modification de la composante est à envisager pour relancer les produire.
- Enfin 9 composantes ne génèrent que 7 % des productions.
- Il faut vérifier si la présence de ces produits dans la gamme offerte par le système est réellement nécessaire.
- Les composantes sont intactes et ne nécessitent pas de maintenance corrective.
- Il faut souligner que ces remarques ne sont basées que sur le critère des productions.
- Elles peuvent être de bons choix pour le système, mais aussi de mauvais car nous ne connaissons pas l'importance de ces composantes dans le chiffre d'affaires de système.
- Il est possible que les composantes (structure ,Fusible, Sectionneur fusible ,Boite de raccordement ,Mise à la terre ,Disjoncteur ,Disjoncteur différentielle Chambre de batterie Chambre de (onduleur ,régulateur ,.etc.)) , qui représente pourcentages de production faible dans les 550 composante,
- Donne une marge bénéficiaire beaucoup plus intéressante que les autres composantes,

- Ou qu'elle permet à système de fidéliser son meilleur client (produit rare que l'on ne peut acheter ailleurs...).
- Il faut donc rester prudent dans la conclusion si l'on manque d'informations.

II.6.3.6 Maintenances des panneaux

Tableau II-10: Contrôle visuel des panneaux [14]

Défaut	Photo	Description
Trace d'escargot		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.
Corrosions		La corrosion est susceptible de se trouver sous plusieurs formes à l'intérieur d'un panneau photovoltaïque : corrosion des soudures, des contacts électriques, du verre, de l'encapsulant... Elle est liée à la présence d'oxygène et d'eau à l'intérieur du panneau, dont l'origine peut être un problème d'étanchéité du module (par exemple à une déformation du cadre, ou coupure de film encapsulant arrière).

Poussière		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).
Délamination		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
Bris du verre de la face avant		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 pour conséquence une perte d'étanchéité (possibilité de corrosion, de détérioration des cellules et une probable diminution de la performance globale du module)

Connecteur brûlé		Si l'installation produit normalement mais que des éléments semblent fondus au niveau des connexions (onduleurs, panneaux PV, câbles), arrêtez l'installation photovoltaïque (disjoncteur général de l'installation) et contactez rapidement un installateur photovoltaïque pour diagnostiquer l'origine du problème et changer les pièces.
Encrassement des Panneaux		Indique la nécessité de nettoyer les panneaux.
Végétation		Il faut vérifier que la végétation ne fait pas d'ombre sur l'installation

II.6.3.6.B Mesure de la tension :

Tableau II-11: Mesure de la tension avant et après la maintenance

Mesure de la tension avant la maintenance		Mesure de la tension après la maintenance	
Open circuit voltage V_{OC}	Rated voltages V_{MPP}	Open circuit voltage V_{OC}	Rated voltages V_{MPP}
21.3 [V]	17 [V]	19.72 [V]	14 [V]



II.6.3.6.C Mesure de l'intensité :

Intensité court-circuit I_{CC} 3.17 [A]

Intensité maximum point power I_{MPP} 2.93 [A]

Observation:

Après la maintenance corrective des panneaux on a trouvé que deux panneaux parmi les 128 sont en dommages et leur état est totale ment altéré.

Dans ce cas-là il faut remplacer les deux panneaux ; car les cellules de ses deux derniers sont corrompues.

II.6.3.7 Maintenances des batteries :

Les batteries qui ont été utilisés dans les deux systèmes sont des batteries stationnaires de la marque « POWERBLOCS qui sont conçus pour des grandes installations elles permis d'effectuer jusqu'à 1500 cycles de charge-décharges à 80%, ce qui la rend idéal pour un usage solaire.



Figure II-14: Les batteries POWERBLOCS.

Cette marque à des caractéristiques :

- La densité (D) 1.24
- La température (T) 20 c
- La tension (V) 2.00 v
- L'intensité (I) 900Ah/100h

Pour leur maintien, qu'est ce qu'il faut contrôler ?

- Contrôler visuellement la propreté du local des batteries.
- Contrôler visuellement la différence de couleurs des batteries.
- Vérifier la présence de dépôt des sédiments dans les cuves des éléments.
- Vérifier les connexions des éléments.
- Vérifier les fissures des éléments.
- Vérifier les fuites d'électrolytes.

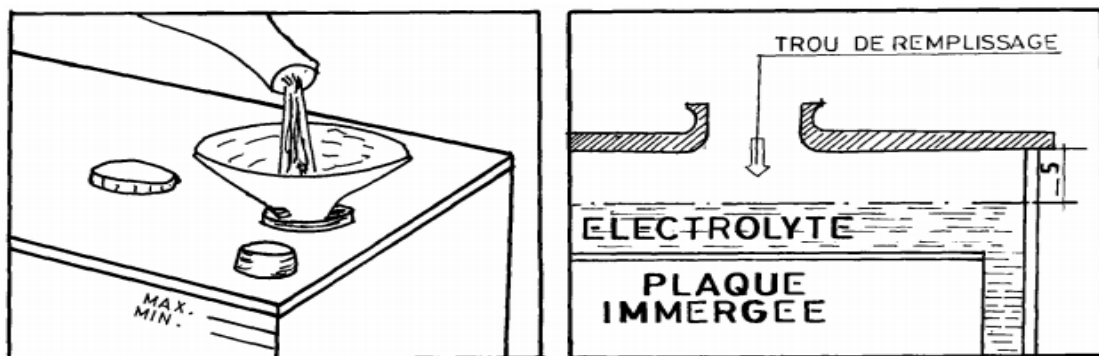


Figure II-15: Remplir électrolytes de batterie

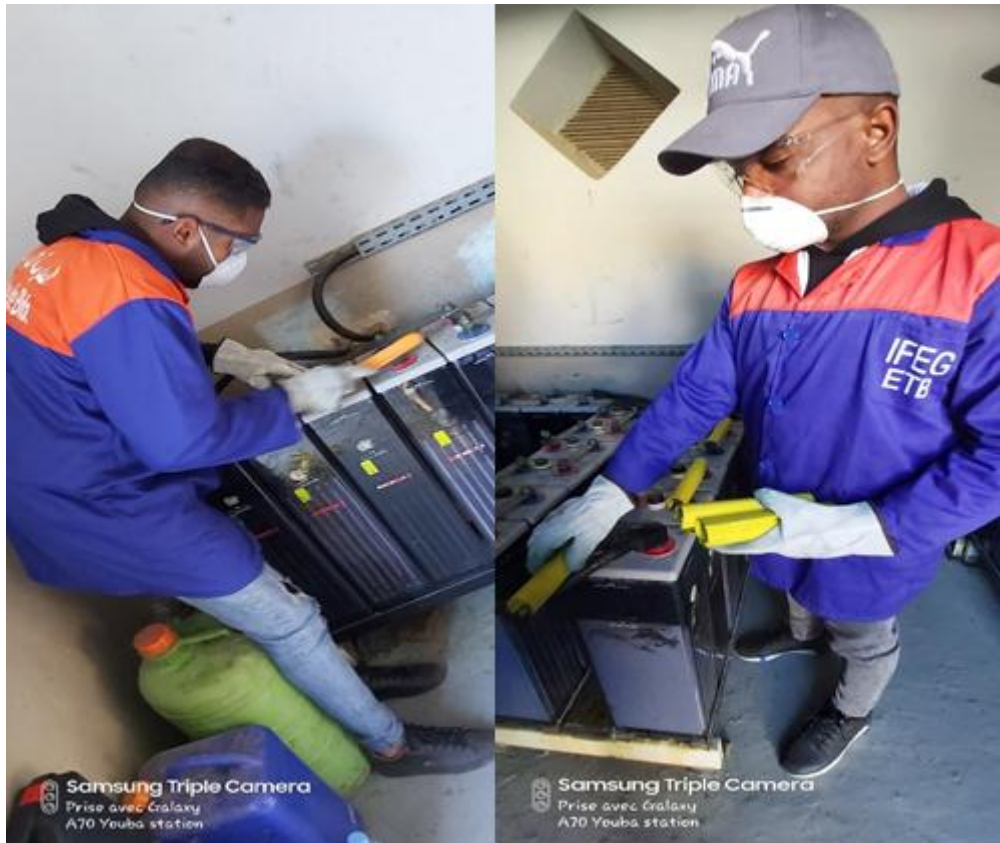


Figure II-16: Nettoyages des bornes

Les deux tableaux suivants illustrent les données de la mesure de tension après la maintenance pour les deux systèmes allemands italiens :

Tableau II-12: Maintenances des batteries allemand et des batteries italiennes.

Système allemand		Système italiennes	
Elément(N°)	Tension (v)	Elément(N°)	Tension (v)
01	2.03	01	2.02
02	2.03	02	2.01
03	2.03	03	2.01
04	2.04	04	2.00
05	2.01	05	1.99
06	2.02	06	2.00
07	2.01	07	1.98
08	2.01	08	1.98

09	2.02	09	2.00	36	2.02	36	1.96
10	2.02	10	1.98	37	2.00	37	1.97
11	2.02	11	1.98	38	2.00	38	1.96
12	2.01	12	1.98	39	2.02	39	2.00
13	2.02	13	1.97	40	2.01	40	1.99
14	2.01	14	1.98	41	2.01	41	1.97
15	2.01	15	2.00	42	2.02	42	1.97
16	2.02	16	1.97	43	2.02	43	1.99
17	2.02	17	1.98	44	2.01	44	2.00
18	2.02	18	1.99	45	2.03	45	1.97
19	2.01	19	1.97	46	2.01	46	1.96
20	2.01	20	2.00	47	2.02	47	1.98
21	2.01	21	1.99	48	2.02	48	1.96
22	2.00	22	1.97	49	2.02	49	1.95
23	2.01	23	1.97	50	2.02	50	1.95
24	1.99	24	1.97	51	2.03	51	1.98
25	2.01	25	1.96	52	2.02	52	1.95
26	2.01	26	1.98	53	2.02	53	1.92
27	2.02	27	2.00	54	2.02	54	2.00
28	2.00	28	2.01	55	2.02	55	1.95
29	2.02	29	2.00				
30	2.02	30	2.00				
31	2.02	31	1.99				
32	2.02	32	1.96				
33	2.02	33	1.97				
34	2.02	34	1.99				
35	2.02	35	1.69				

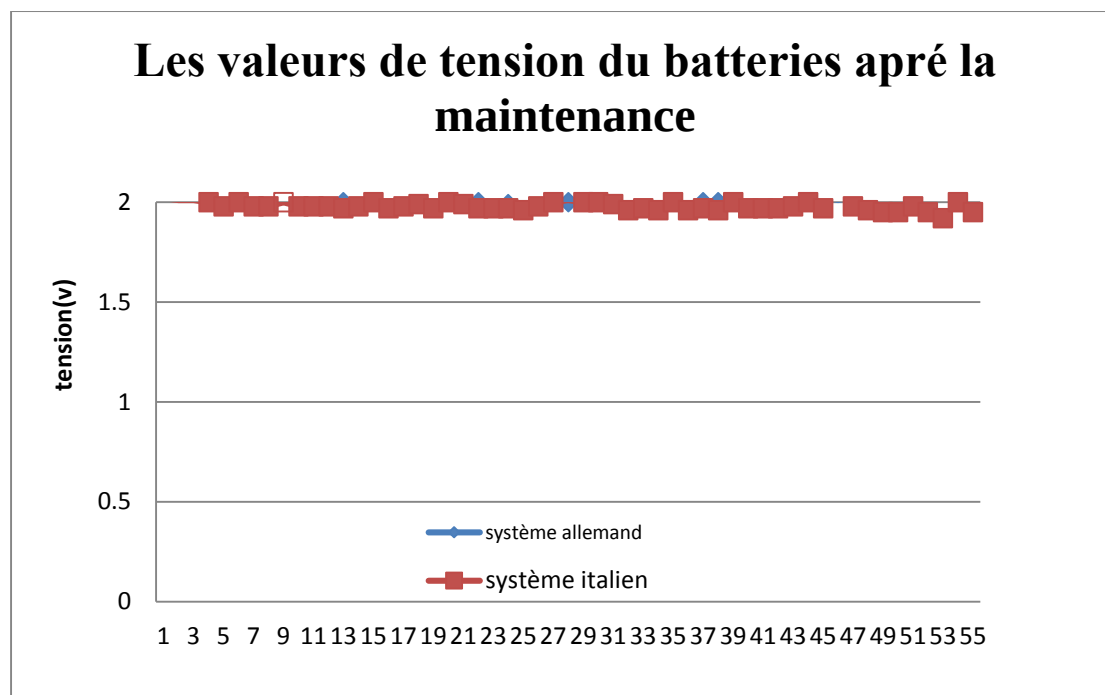


Figure II-17: Les valeurs de tension des batteries après la maintenance

II.6.3.7.B Observation :

Parmi les 110 batteries on a vu que :

- La batterie N13, dans le système allemand a affiché 0 V à partir de la pince multimètre ; donc il faut la remplacer.
- La batterie N 24 dans le même système a affiché 1.99 V donc il faut la remplir d'eau distillée.
- La batterie N44 dans le système italien a affiché 0.5 v donc il faut la remplacer.
- Les batteries N : 5 ,11et 55 il faut les maintenir que par un remplissage d'eau distillée.

Les différentes pannes des batteries :

- a) **Sulfatation** : Si votre batterie marine n'est pas entièrement rechargée rapidement après une décharge profonde, le sulfate de plomb va se cristalliser. Ses larges cristaux vont alors boucher les pores de la masse active et recouvrir la surface de la plaque, rendant peu à peu la charge impossible. Le résultat de la sulfatation est une perte permanente de capacité. La matière active sulfatée de la plaque positive est souvent légèrement colorée. Une caractéristique typique est une bande de sulfate sur un tiers de la hauteur des plaques (voir photo) .



Figure II-18: La substance soufrée active est placée sur une plaque

b) Corrosion des bornes :

La corrosion des parties métalliques d'une batterie résulte d'une réaction chimique entre les bornes et les connexions. Il existe trois sortes de corrosions :

1). La corrosion galvanique : La corrosion galvanique est due à la différence potentielle entre les métaux, qui entrent en contact les uns avec les autres, notamment la matière de la borne avec le connecteur. En général, la corrosion apparaît sous forme de cristaux de plomb blanc ou de zinc ou, si les connexions sont en aluminium, sous forme de sulfate d'aluminium. Les connecteurs en bronzes auront une corrosion faite de cristaux bleus. Très souvent, la corrosion fait apparaître une combinaison de cristaux blancs et bleus : blancs à cause du plomb dans le clip du connecteur et bleus à cause du conducteur dans le câble. Ce type de corrosion peut être évité en appliquant un spray ou de la vaseline sur les bornes. Si la corrosion a déjà commencé, il faudra d'abord nettoyer les bornes et les connecteurs de vos batteries marines. A vérifier pour éviter tout dommage : une surface plane et lisse permet une bonne conductivité électrique.

2). La corrosion électrique : Si la batterie contient trop d'électrolyte, parce qu'elle a été remplie au-delà du niveau maximal ou en condition de décharge, l'acide peut alors déborder et entrer en contact avec les bornes et les connecteurs, entraînant leur corrosion. Ce problème peut être évité en offrant l'entretien approprié à votre batterie marine.

Il faut également savoir que l'électrolyte peut s'échapper par la bague de la borne. Ce phénomène, qui arrive plus fréquemment chez les batteries marines à bornes latérales, s'appelle le suintement d'électrolyte.

3). La corrosion atmosphérique : Une autre cause de la corrosion des bornes est l'échappement de vapeur d'acide lorsque la batterie marine atteint son état de charge maximale. Ce type de corrosion peut être évité en appliquant du spray ou de la crème grasse, telle que la vaseline, sur les bornes. Si la corrosion a déjà commencé, il faudra d'abord nettoyer les bornes et les connecteurs. A vérifier pour éviter tout dommage : une surface plane et lisse permet une bonne conductivité électrique.



Figure II-19: *Électrodes de batterie en état corrodé*

c) . Fuite acide :

L'acide de batterie est très corrosif et peut occasionner de graves dégâts à son environnement.

Les batteries marines liquides devraient toujours être stockées en position droite, afin d'éviter une fuite d'acide par les orifices de remplissage, ou – dans le cas des batteries marine verrouillées – par le trou d'aération. Les batteries VRLA ne contiennent pas d'acide et peuvent donc être facilement stockées en position inclinée. Si la fuite se fait le long du couvercle de la batterie, et ce, sans signe de dégât extérieur, un défaut de fabrication a dû avoir lieu au moment de la soudure du couvercle et du bac. L'acide peut également fuir par le joint de la borne. Le terme professionnel utilisé pour ce phénomène est : suintement [15].



Figure II-20: *Fuite d'acide de batterie*

II.6.3.8 Maintenances des régulateurs :

Le régulateur de charge est un équipement qui nécessite peu d'entretien. On effectuera trimestriellement les opérations suivantes:

- Vérification de la propreté du régulateur de charge.
- Vérification de l'aération du régulateur de charge.
- Vérification des connexions aux bornes du régulateur.
- Observation du bon fonctionnement des différents indicateurs du régulateur de charge [2].

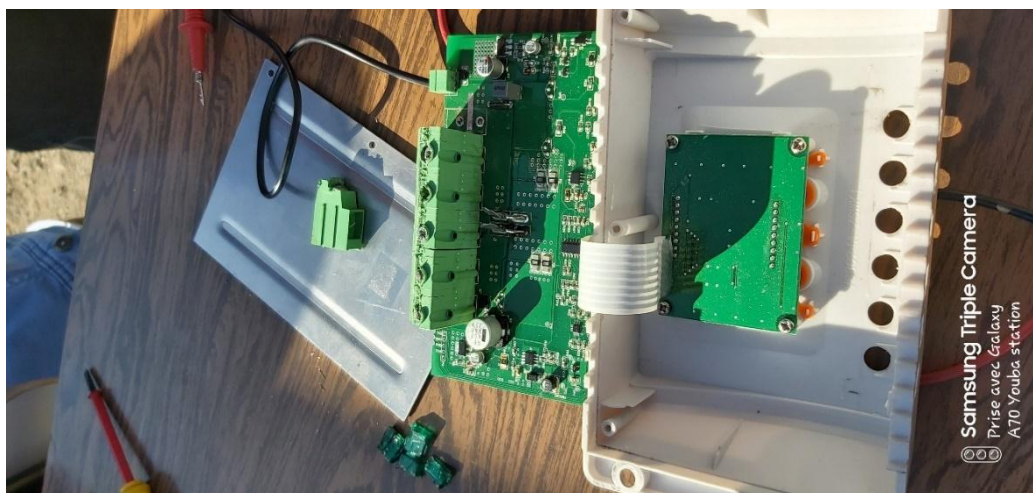


Figure II-21: *Un régulateur brûlé.*



Figure II-22: UN régulateur de system PV

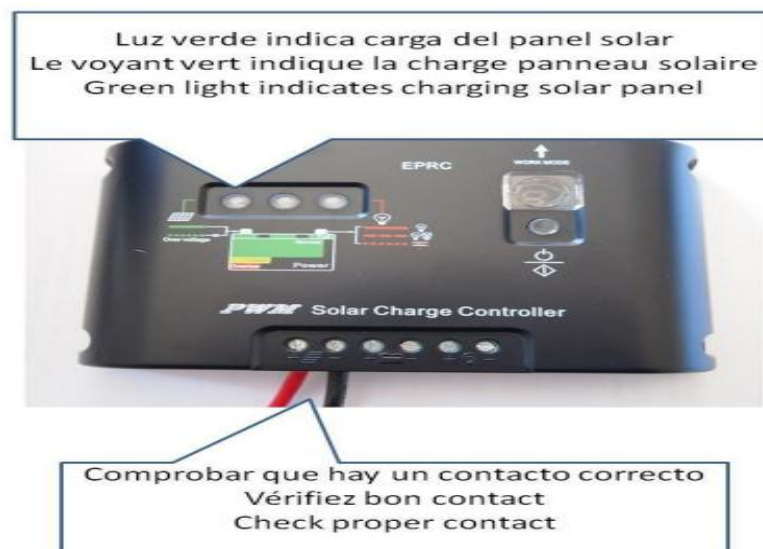
II.6.3.8.B Observation :

Après la vérification du régulateur on a constaté un mauvais serrage des câbles dans les deux systèmes.

1) Différents problèmes peuvent en être la cause :

Problème 1 :

- Mauvaise connexion des câbles du panneau solaire sur le régulateur au niveau du bornier à vis solution : Refaire les connexions et regarder si le voyant vert s'allume, si il s'allume le problème est résolu.



Problème 2 :

- Inversion de polarité (positive et négative) solution : Déposer les câbles et les remettre correctement, si le voyant vert du régulateur s'allume le problème est résolu.



Problème 3 :

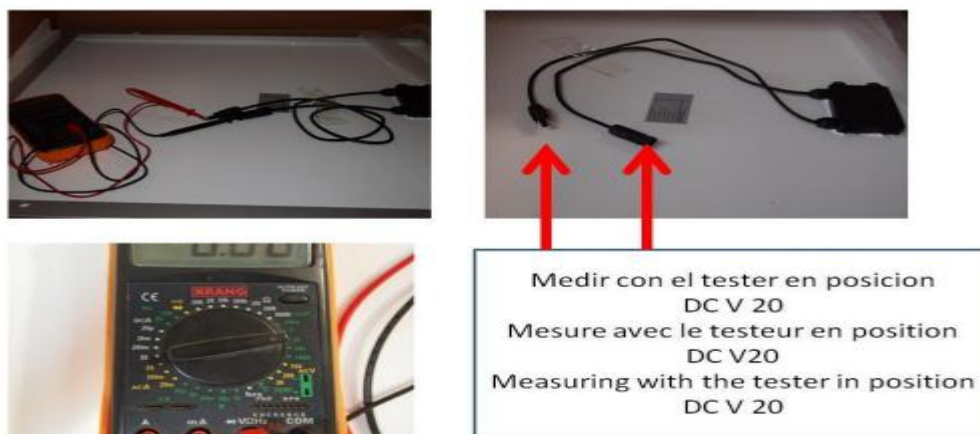
- Le voyant vert est éteint. Vérifier avec un testeur si le courant arrive bien au bornier à vis. (Le courant peut varier suivant la puissance du soleil). Si le courant est présent la SOLUTION est de changer le régulateur de charge.



- ✓ Si le courant n'arrive pas au régulateur le problème pourrait venir des fiches de jonctions du régulateur au panneau solaire. Retirez les fiches, les remettre et vérifier si le voyant vert s'allume.



- ✓ Si les connexions sont OK, mais que le voyant vert est éteint, nous devons directement vérifier le panneau solaire



- ✓ Si le courant arrive bien la solution est de change les fiches pour une connexion correcte.
- ✓ Si le courant n'arrive pas coté panneau solaire la solution est de demander au fournisseur de changer le panneau solaire [16].

II.6.3.9 Maintenances des onduleurs :

Comme le régulateur de charge, l'onduleur nécessite peu d'entretien. Les opérations de vérifications suivantes se feront trimestriellement:

- + Vérification de la propreté de l'onduleur : présence de poussière, présence d'insectes...etc.
- + Vérification de l'aération de l'onduleur.
- + Vérification des câbles électriques qui relient les modules au régulateur de charge, les batteries au régulateur de charge, les batteries à l'onduleur et l'onduleur aux récepteurs, à chaque visite d'entretien pour être sûr qu'ils soient en bon état.
- + Contrôle des connexions aux bornes des batteries.
- + Vérification du câble de bout en bout pour chercher les détériorations suivantes :
 - ✓ Coupures.
 - ✓ Isolant usé ou rongé dénudant l'âme des conducteurs.

Tout câble endommagé doit être remplacé. Si les câbles sont rongés par des animaux, il faut envisager de les protéger par une gaine fourreau [2].

II.6.3.9.B Changement/réparation des onduleurs

Le changement d'onduleur peut être décidé suite a une panne non réparable en fin de vie d'un onduleur mais aussi si un onduleur est défectueux et qu'il n'est plus rentable de le conserver. Avant le changement d'un onduleur qui fonctionne, même

partiellement, il est fondamental d'attendre que la totalité du matériel soit reçue avant de démanteler les onduleurs en fonctionnement. Lorsque l'installation est de nouveau fonctionnelle, le système de suivi doit être fonctionnel pour surveiller la production. Le changement de matériel peut entraîner des problèmes masqués par le matériel précédent et le nouveau matériel peut présenter des défauts de fabrication [14].



Figure II-23: onduleurs (SIEMENS)

Observation :

Le maintien a été fait par une reconnexion des bornes des batteries aux onduleurs dans le système italien, puisque les liens des connexions étaient mal faites.

II.6.3.9.C Un exemple d'autre problème

Dépannage du problème : Onduleur

Beaucoup de techniciens travaillent tous les jours avec des variateurs de vitesse. Nous sommes donc habitués à vérifier la puissance AC et DC. L'onduleur d'un système PV peut également tomber en panne et générer des problèmes. L'onduleur convertit le courant DC du système PV et courant AC pour l'utilisation dans le bâtiment. Si l'onduleur ne produit pas la bonne puissance, utilisez d'abord le voltmètre et l'ampèremètre DC de la pince multimètre 381 pour vérifier et enregistrer la tension d'entrée DC et le niveau de courant de fonctionnement de l'onduleur. Sur le côté AC, utilisez la pince multimètre 381 pour vérifier la tension de sortie et les niveaux de courants de l'onduleur. Comme mentionné précédemment, la plupart des systèmes sont

équipés d'un écran indiquant les performances de l'onduleur et du système. N'oubliez pas que la pince multimètre 381 fournit une mesure TRMS, vous pouvez utiliser la tension et le courant pour mesurer et enregistrer la puissance en kilowatts (kW). Si possible, utilisez l'écran de l'onduleur pour connaître les kilowatts-heures totaux actuels (kWh). Vous pouvez noter cette valeur et la comparer à celle enregistrée lors de la précédente inspection.

Si l'onduleur ne produit pas la bonne quantité d'électricité, il peut y avoir différents problèmes, qui sont tous facilement contrôlables avec la pince multimètre 281 :

- ☒ un fusible grille,
- ☒ un disjoncteur déclenché,
- ☒ Des câbles endommagés.

Utilisez également la pince multimètre 381 pour mesurer la sortie AC de l'onduleur, car la charge sur l'onduleur pourrait avoir une demande actuelle trop élevée. Vous avez alors le choix entre réduire les charges ou installer un onduleur plus important.

Hors tension, vérifiez et réparez les défauts de mise à la terre avant de redémarrer l'onduleur.

Rappelez-vous que l'onduleur peut être lié au fournisseur local. La sortie de courant AC de l'onduleur varie avec le niveau d'apport solaire sur le panneau. L'onduleur maintient la tension de sortie correcte et synchronise avec le fournisseur. Des problèmes de tension dus au fournisseur peuvent causer une panne de l'onduleur. Dans ce cas, contactez le fournisseur pour des réparations [17].

II.7. Conclusion

Dans la fin de cette partie pratique de ce mémoire, et après les études qu'on a faits sur ce système dans une période de 15 jours, après toutes les constatations des défauts, des altérations possible on trouve que la maintenance corrective et préventive, et une étape primordiale dans de production d'un système PV.

En conclusion, la maintenance d'un système photovoltaïque est une obligation, pour assurer une longévité du système.

Conclusion général

Conclusion générale

La performance et le rendement du dispositif photovoltaïque sont une condition préalable à la stabilité et aux systèmes de production.

Nous trouvons l'accent de l'école technique de BLIDA sur la maintenance de son appareils (le système photovoltaïque 6 KW) avers les cours de formation de la configurée et c'est ce que nous avons fait au cours de la session de formation pour prouver dans les résultats finaux l'importance de la maintenance dans la production.

La maintenance s'applique aux éléments du système représentés par (les panneaux photovoltaïques, l'onduleur, régulateurs, les batteries... etc.).

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 et de placer des notes sur les articles endommagés, par exemple la batterie N 13 et N44 dans le système.

Après avoir pris toutes les précautions et de fournir toutes les demandes en fonction de ce qui est dans le fiche de suivi, nous avons fait maintenance correctif et nous avons nettoyé les panneaux solaires de la poussière pour absorber les rayons de manière significative et a changé la batterie (13,44) Et ajouter de l'eau distillée à les batteries (5, 7,8...etc.). Et assurez-vous que la salle de la batterie est ventilée.

Nous avons fait le serrage de régulateur et changer les câbles du transformateur.

Certains des défauts du système solaire font fondre la production et c'est ce que nous avons fait en suivant la loi de PARETO 20/80 %.

Dans notre travaille on trouve que 20% de défauts provoquer une diminution de 80% de la production ,par exemple une malle connexion entre l'onduleur et les batteries se provoque une tension de 0V à partir le pince multi-maitre

A partir de notre travail (stage) en recommandé de :

- proposer de conception ou réaliser un mécanisme de maintenance automatique capable de maintenir le système PV qui permet de nettoyer de façon régulière la surface des panneaux solaires
- brancher les différents capteurs dans un réseau informatiser pour facilite la collection les donnees et évité la recueillir à partir de l'utilisation des feuilles pour meilleur application de méthodes de maintenance surtout méthode AMDEC.

- Système d'alarme qui permet d'analyse préventive de la sûreté de fonctionnement de systèmes PV et leur équipements et indique les pannes soudains

La maintenance est l'une des étapes les plus importantes pour la production et toutes les étapes dans le temps étudiées pour assurer un bon rendement.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1] A. BENMIR, L. AOMAR, L. KHETTACHE, M.L. LOUAZENE, "Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque", Mémoire de mastère", Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2012.
- [2] N.Souilamas, "rayonnement solaire et conversion photovoltaïque", *école technique de Blida –laboratoire e-learning*, 2017 :p. 4-36.
- [3] B.Abdelkader, B.Ali, R.Med Réda, "Etude et optomation d'un système photovoltaïque", Mémoire de mastère, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016.
- [4] H.Said, optimisation de la maintenance du parc d'exploitation au niveau industrielle (inter entreprise « GROUPE KHERBOUCHE »).mémoire de mastère, Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen, 2017.89.
- [5] .Jouhaneau, F. Villemin, D. Hajage, O.Beaujard," Etude de méthodes d'analyse des historiques de maintenance dans un environnement de forage pétrolier offshore", Mémoire d'un diplôme par l'état en informatique industrielle, Cnam –Paris Eneieur Dpe Informatique Industrielle, 2004
- [6] la méthode ABC : une variante du calcul des couts complets. L'expert-comptable, 2020.
<https://www.l-expert-comptable.com/a/51976-la-methode-abc-une-variante-du-calcul-des-couts-complets.html> .
- [7] METHODE ABC – Loi de Pareto. Mexico Documents ,2018.
<https://vdocuments.mx/methode-abc-loi-de-pareto-lpmei-ressource-gestion-de-maintena-bac.html>.
- [8] N.Délobert, le Pareto, comment progresser,2018,commentprogredder.com/outil-pareto.html.
- [9] A. Rahmouni, Etude AMDEC des machines photovoltaïques et plan de maintenance d'un compresseur, Projet de Fin d' Etudes, SOCONARJISS, 2012
- [10] R.LARONDE, D. BIGAUD, Fiabilité et durabilité d'un système complexe dédiée aux énergies renouvelables Application a un système photovoltaïque, université ANGERS, 2011,173.
- [11] B. Meryem, AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) appliquée à la STEP d'Ain El Houtz, mémoire de mastère, Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen, 2014,133.
- [12] N.OULAMI, configuration des installations solaires photovoltaïque, N.OULAMI, école technique de Blida –laboratoire e-learning, 2017 :p.3.14.
- [13] N.OULAMI, description et principe de fonctionnement des composantes de différents systèmes photovoltaïques, N.OULAMI, école technique de Blida – laboratoire e-learning, 2017 :p.4.64.

ملخص

في هذه المذكرة لدينا كهدف: دراسة صيانة نظام الكهروضوئي وذلك باستخدام نوعين للصيانة: الاول وقائي يعتمد على مراقبة النظام كاملا وبشكل دوري وتدوين كل ما يتطلبه من صيانة. اما النوع الثاني فيأتي لإتمام مابدانه في النوع الاول لتصحيح الاخطاء والاعطال في النظام بناءا على مجلد المتابعة من الصيانة الوقائية. قد تم اعتماد النوعين ومتابعة النظام خلال فترة الانتاج.

بفضل الصيانة تحصلنا على النتائج المرجوة من النظام ومردود مرتفع مقارنة بما سجلناه قبل الصيانة التصحيحية.

كلمات مفتاحية: نظام الكهروضوئي. صيانة وقائية. صيانة تصحيحية. بطاقة متابعة.

Résumé

Dans cette mémoire, nous avons comme objectif : étudier la maintenance du système photovoltaïque en utilisant deux types de maintenance : la première préventive dépend de la surveillance complète et périodique du système et de l'enregistrement de tout l'entretien dont il a besoin. Le deuxième type vient compléter ce que nous avons commencé dans le premier type pour corriger les erreurs et les dysfonctionnements dans le système basé sur le fiche de suivi de la maintenance préventive. .

Avec la maintenance, nous obtenons les résultats souhaités du système et le rendement est élevé par rapport à ce que nous avons enregistré avant la maintenance corrective.

Mots-clés : Système électrolytique. Entretien préventif. Entretien correctif. Fiche de suivi.

Abstract:

In this note, we have as a goal: study the maintenance of the PV system using two types of maintenance: the first preventive depends on monitoring the system completely and periodically and recording all the maintenance it requires. The second type comes to complete what we started in the first type to correct errors and malfunctions in the system based on the follow-up folder of preventive maintenance.

With maintenance, we get the desired results from the system and the return is high compared to what we recorded before corrective maintenance.

Keywords: Electrolytic system. Preventive maintenance. Corrective maintenance. A follow-up card