

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieure 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

Application des méthodes de Paréto et AMDEC de
maintenance sur l'installation de système solaire

Devant le jury composé de :

.....

Président

.....

Examineur

.....

Examineur

BOUSBIE Seif Salah Eddine

Encadreur

Présenté par :

LACHRAF Haithem

- REGUIGUE Bilal

2020-2021



Remerciement

*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 BOUSBIE SEIF SALAH 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





Table des matières

Sommaire

Remerciement

<i>Sommaire</i>	<i>i</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>iii</i>
<i>List de table</i>	<i>v</i>
<i>Nomenclature</i>	<i>v</i>
<i>Introduction générale</i>	<i>1</i>

CH1: Présentation d'une installation de systèmes solaire

I.1. Introduction.....	2
I.2. Systèmes PV autonomes	2
I.2.1. Système PV à couplage direct[2].....	3
I.2.2. Les systèmes avec stockage [3]	3
I.3. Systèmes PV connectés au réseau.....	3
I.3.1. Systèmes PV décentralisés connectés au réseau	3
I.3.2. Systèmes PV connectés au réseau central.....	4
I.4. Systèmes photovoltaïques hybrides[4]	4
I.5. Les composants d'un système photovoltaïque	5
I.5.1. Générateur photovoltaïque.....	6
I.5.2. Le régulateur	8
I.5.3. La batterie	9
I.5.4. L'onduleur.....	12
I.5.5. Les câbles électriques	14
I.5.6. Les récepteurs	14
I.6. Conclusion	14

Chapitre II : Présentation des méthodes de maintenance Pareto et AMDEC

II.1. Introduction	15
II.2. Définition de la maintenance	15
II.3. Types de maintenance	15
II.3.1. Maintenance préventive.....	16
II.3.2. Maintenance corrective.....	19
II.4. Outils méthode maintenance	19
II.4.1. Méthode de Pareto (« ABC » OU « 20/80 »)	19
II.4.2. Méthode AMDEC.....	21
II.4.3. La méthode 5M.....	25
II.5. Conclusion	27

Chapitre III : Influence des méthodes de maintenance sur le rendement

III.1. Introduction	28
III.2. Présentation de l'école primaire "Arabe Al-Tabasi", lieu d'investigation	28
III.3. Description du système étudié.....	29
III.4. Maintenance préventive	29
III.5. Maintenance corrective	30
III.5.1. Application de la méthode sur le système.....	30
III.5.2. Maintenances générateur photovoltaïque.....	32
III.5.3. Maintenances du régulateur	36
III.5.1. Maintenances de batterie	36
III.5.2. Maintenance les câble de system	39
<i>IV. Conclusion</i>	40
<i>Conclusion générale</i>	41
<i>Références bibliographiques</i>	vii

Liste des figure

Liste des figures

Figure I-1: système PV autonome simple[1]	2
Figure I-2: Systèmes PV décentralisés connectés au réseau.....	4
Figure I-3: Systèmes PV connectés au réseau central	4
Figure I-4: Systèmes photovoltaïques hybrides	5
Figure I-5 : Système photovoltaïque autonome[5]	5
Figure I-6: cellule amorphe	6
Figure I-7 Cellule Monocristalline	7
Figure I-8: cellules poly cristallines.....	7
Figure I-9: Régulateur MPPT[8].....	8
Figure I-10: Courbe du courant de charge et de la tension de charge en fonction du temps	9
Figure I-11: batterie solaire étanche au GEL	10
Figure I-12: Batterie étanche AGM[10]	10
Figure I-13: Batterie solaire Plomb-Carbone.....	11
Figure I-14: Composants de batterie solaire au lithium.....	11
Figure I-15: Onduleur centralisé	13
Figure I-16: Onduleurs String	13
Figure I-17: Onduleurs multi-chaînes (multi string).....	14
Figure II-1: les types de maintenance	16
Figure II-2: Courbe de PARETO[23]	20
Figure III-1: Emplacement de l'école primaire Al-Arabi Al-Tibsi sur la carte	28
Figure III-2: Interface élémentaire de l'arabe al-Tibsi.....	28
Figure III-3: les composants de système.....	29
Figure III-4: valeur de courant	30
Figure III-5: diagramme de Pareto	31
Figure III-6: fissures dans les cellules PV[29].....	32
Figure III-7: défaut de délaminage[29].....	33
Figure III-8: défaut de point chaud[29].....	33
Figure III-9: défaut d'augmentation de la résistance R_s . [29]	33
Figure III-10: défaut de revêtement anti-refl[29]	34

Figure III-11: valeur de tension	35
Figure III-12: Nettoyage des panneaux	35
Figure III-13: valeurs du courant des batteries après la maintenance	38
Figure III-14: Nettoyage détartrant	39
Figure III-15: fils électriques	40

Liste de table

List de table

Table II-1: Méthodes, outils et procédures directement liés à la maintenance	19
Table III-1: valur de courant don la batteries	29
Table III-2: d'analyse ABC	31
Table III-3: Mesure de la tension avant et après la maintenance	34
Table III-4: la classification des défauts selon leurs catégories[7]	36
Table III-5 : valur de courant don la batteries après la maintenance.....	38

Nomenclature

Nomenclature

TOR : Régulation tout ou rien

MLI: Modulation de Largeur d'Impulsion

MPPT: Maximum Power Point Tracking.

PWM : Pulse with Modulation

MTBF: La maintenance basée sur le temps fait

MBR : Maintenance basée sur les risques

MBC: Maintenance basée sur les conditions

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité

Introduction générale

Introduction générale

L'utilisation de l'énergie solaire connaît un développement rapide, on constate que les systèmes photovoltaïques se sont répandus partout dans le monde, notamment avec l'augmentation de la demande en énergie. La mondialisation a considérablement augmenté la capacité photovoltaïque installée au cours des dernières décennies. Comme on voit la diversité des formes de systèmes installés et une course vers le développement de panneaux et de divers composants des systèmes photovoltaïques, et ce dans le but d'augmenter l'efficacité de l'énergie produit pour répondre aux besoins énergétiques requis.

Il est devenu nécessaire d'entretenir les systèmes photovoltaïques pour une durée de vie plus longue, les opérations de maintenance appliquées aux systèmes photovoltaïques ont donc un rôle majeur pour atteindre un rendement élevé et pour une durée plus longue.

La maintenance de système solaire photovoltaïque est le problème rencontré par les producteurs d'électricité et de chaleurs à partir de l'énergie solaire cherchant à améliorer le rendement de ce système

L'objectif de ce travail est d'étudier l'Influence des quelques méthodes de maintenance (Paréto et AMDEC) sur le rendement d'un un système solaire photovoltaïque avec l'Analyse de la maintenance et les pannes que l'on peut éviter.

Le déroulement de cette mémoire se fera de la manière suivante :

- ↳ Introduction générale.
- ↳ le premier chapitre ; Présentation d'une installation de système solaire et leurs problèmes
- ↳ Le deuxième chapitre; Présentation des méthodes de maintenance Paréto et AMDEC
- ↳ Dans le troisième chapitre; Influence des méthodes de maintenance sur le rendement + (partie de stage des étudiantes 'formation').
- ↳ A la fin de cette mémoire nous terminerons une conclusion générale.

Chapitre I :
Présentation d'une installation
de système solaire

I. CH1: Présentation d'une installation de systèmes solaire

I.1. Introduction

Un système PV convertit la lumière du soleil en électricité. Un système PV contient différents composants, notamment des cellules, des connexions électriques, un montage mécanique et un moyen de convertir la sortie électrique. L'électricité produite peut être conservée dans un système autonome, stockée dans des batteries ou peut alimenter un plus grand réseau électrique. Il est intéressant d'inclure des équipements de climatisation électrique. Celui-ci garantit le fonctionnement du système PV dans des conditions optimales. Dans ce cas, nous utilisons un équipement spécial pour suivre la puissance maximale du tableau. Cet équipement est connu sous le nom de suivi du point de puissance maximale type de système solaire.

I.2. Systèmes PV autonomes

On distingue deux types

- Système PV à couplage direct
- Les systèmes avec stockage

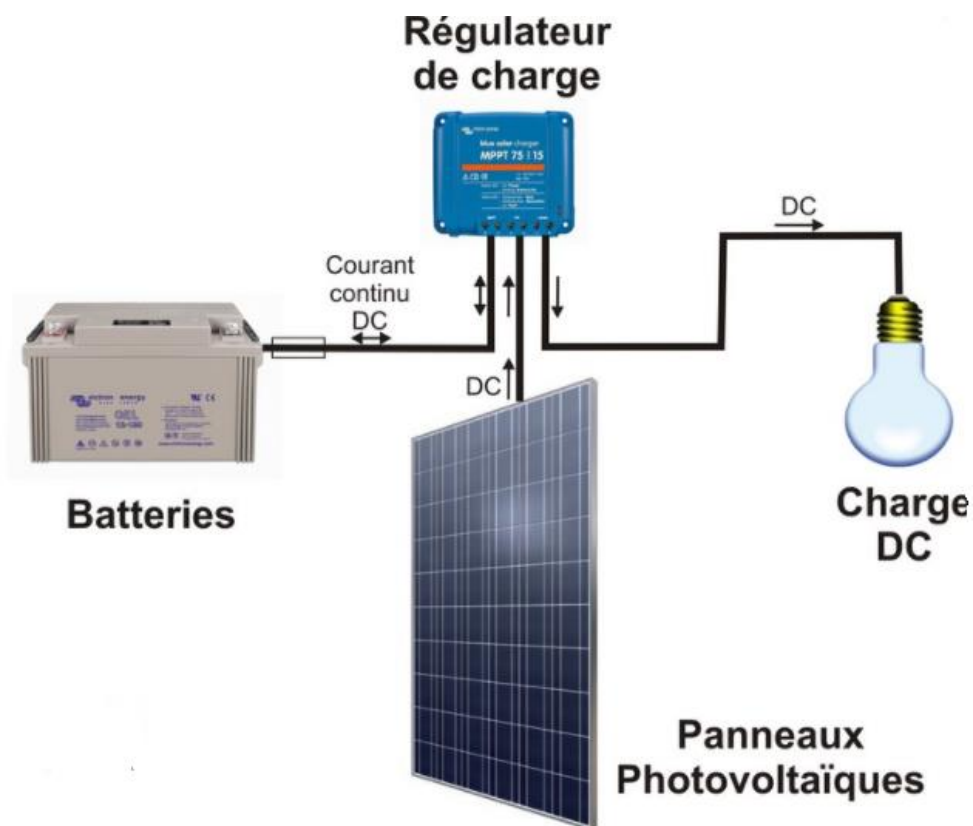


Figure I-1: système PV autonome simple[1]

I.2.1. Système PV à couplage direct[2]

Les systèmes photovoltaïques autonomes sont conçus pour fonctionner indépendamment du service public d'électricité réseau, et sont généralement conçus et dimensionnés pour alimenter certaines charges électriques CC et / ou CA. Le type le plus simple de système PV autonome est un système à couplage direct, où la sortie CC d'un module PV est directement connectée à une charge CC.

Dans les systèmes à couplage direct, la charge ne fonctionne que pendant les heures d'ensoleillement. Les applications courantes de ce système sont telles que les ventilateurs de ventilation, les pompes à eau et les petites pompes de circulation pour les systèmes de chauffage solaire de l'eau thermique.

I.2.2. Les systèmes avec stockage [3]

Les systèmes avec stockage sont des systèmes qui contiennent des moyens de stockage. Un système de stockage sert à alimenter les charges durant les périodes ayant un ensoleillement faible (Passage des nuages) ou une absence totale de l'ensoleillement (les nuits). Le système de stockage sert à emmagasiner l'énergie durant la présence de l'excès d'énergie photovoltaïque et de la restituer durant les autres périodes d'insuffisance d'énergie. Comme exemple, on peut citer l'alimentation des maisons en électricité dans des sites isolés.

I.3. Systèmes PV connectés au réseau

Les systèmes photovoltaïques connectés au réseau offrent la possibilité de générer de grandes quantités d'énergie de haute qualité à proximité du point de consommation, ce qui réduit les pertes de transport et de distribution. Ces systèmes fonctionnent en parallèle avec les réseaux électriques existants, permettant l'échange d'électricité vers et depuis le Les installations photovoltaïques connectées au réseau peuvent être subdivisées en deux systèmes:

- ✚ Systèmes PV décentralisés connectés au réseau.
- ✚ Systèmes PV connectés au réseau central.

I.3.1. Systèmes PV décentralisés connectés au réseau

Dans ces systèmes, le stockage d'énergie n'est pas nécessaire car le rayonnement solaire fournit L'énergie dans les maisons et s'il y a un surplus d'énergie, elle peut être injectée dans le réseau (Figure I -2) Dans ce cas, l'onduleur doit s'intégrer harmonieusement à la puissance (Tension et fréquence) fournies par le réseau. Pendant la nuit ou dans les moments où le PV est insuffisant, le réseau peut être Il est utilisé comme système de stockage et d'alimentation à domicile.

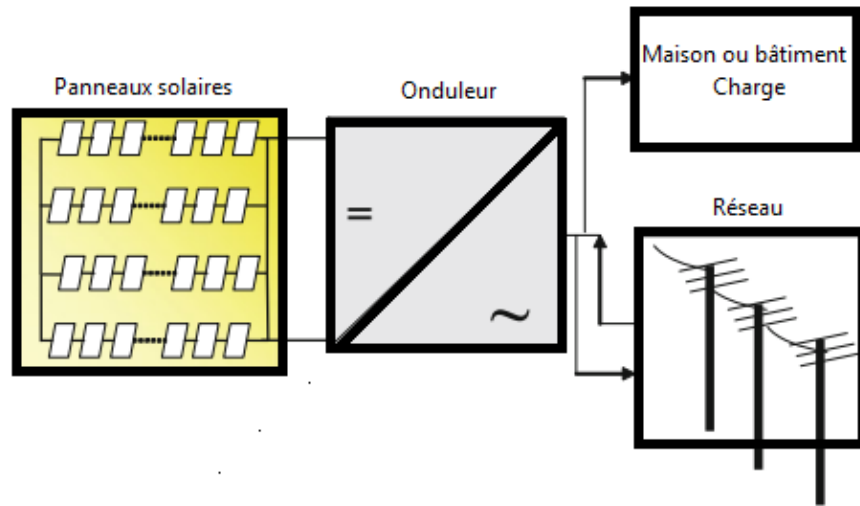


Figure I-2: Systèmes PV décentralisés connectés au réseau

I.3.2. Systèmes PV connectés au réseau central

C'est une centrale photovoltaïque centrale et elle est installée sur des systèmes allant jusqu'à la gamme MW. Avec ce système, nous pouvons obtenir un réseau de moyenne ou haute tension (Figure I -3)

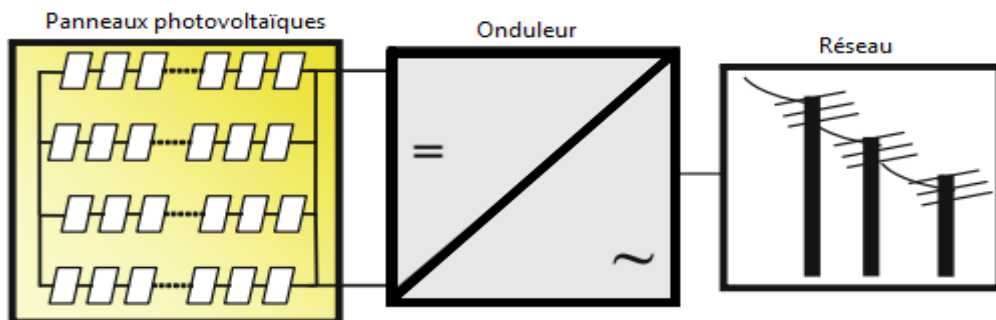


Figure I-3: Systèmes PV connectés au réseau central

I.4. Systèmes photovoltaïques hybrides[4]

Les systèmes hybrides, qui sont également indépendants des réseaux de distribution d'électricité, sont composés d'un générateur photovoltaïque combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène à combustible, ou aux deux à la fois. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée, lorsqu'il n'y a pas assez de lumière solaire à certains moments de l'année, ou si on désire diminuer son investissement dans les champs de modules photovoltaïques et les batteries d'accumulateurs.

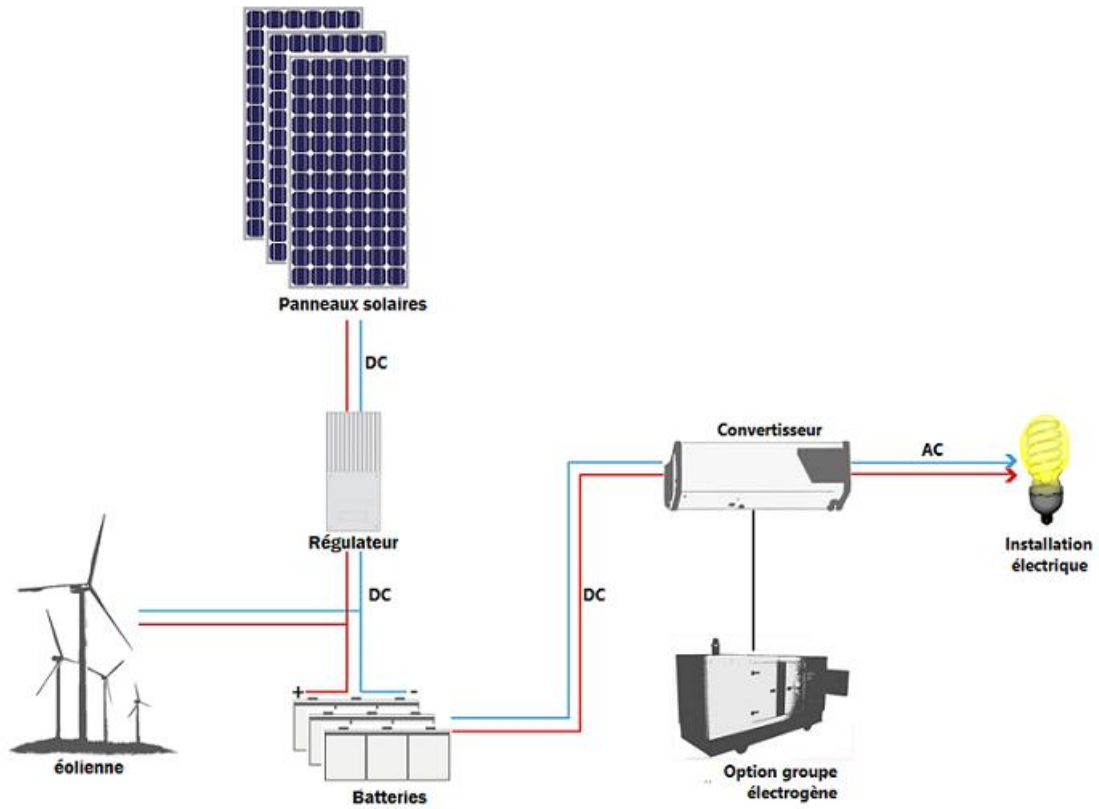


Figure I-4: Systèmes photovoltaïques hybrides

I.5. Les composants d'un système photovoltaïque

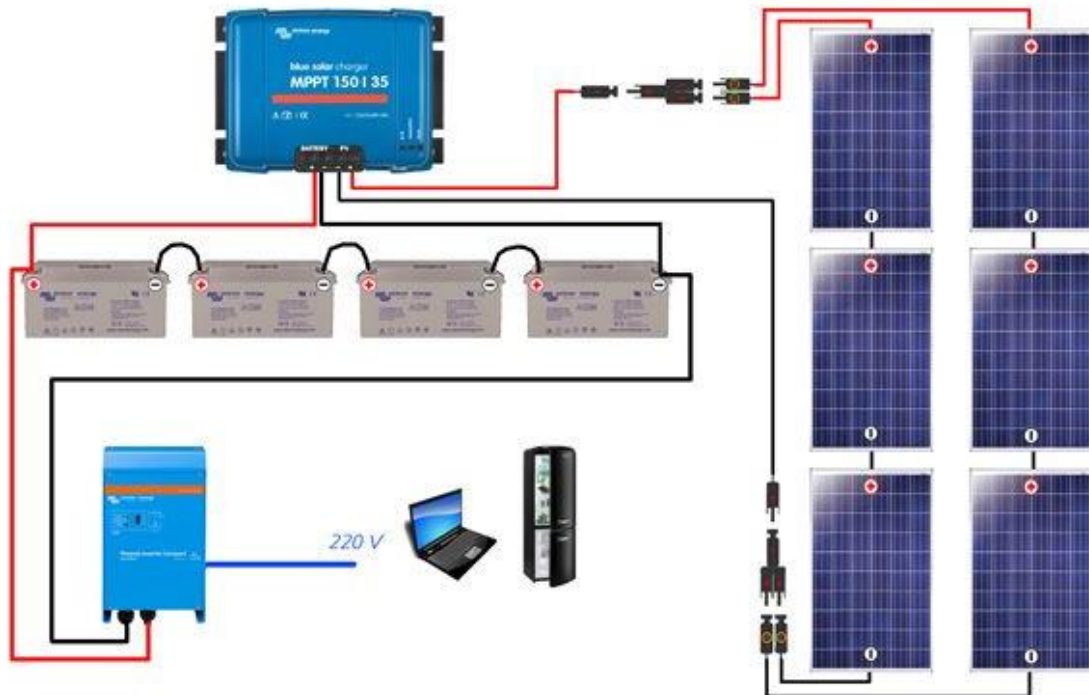


Figure I-5 :Système photovoltaïque autonome[5]

I.5.1. Générateur photovoltaïque

I.5.1.A Description et Principe de fonctionnement

Le panneau solaire est constitué d'un groupe de cellules solaires, également appelées cellules photovoltaïques. Ces cellules sont disposées en grands groupes appelés tableaux, où ces cellules convertissent l'énergie lumineuse directement en énergie électrique par effet photoélectrique. La grande majorité des cellules solaires sont fabriquées à partir de silicium - avec une efficacité accrue et un coût réduit car les matériaux vont des formes amorphes (amorphes) aux formes poly cristallines à silicium cristallin (monocristallin). Contrairement aux batteries ou aux piles à combustible, les cellules solaires n'utilisent pas de réactions chimiques ou nécessitent des carburants pour produire de l'énergie électrique, et contrairement aux générateurs électriques, elles n'ont pas de pièces mobiles.

I.5.1.B Les différents types de panneaux solaires photovoltaïques[6]

On distingue actuellement 3 principaux types de panneaux photovoltaïques, qui sont différenciés par le type de cellules qui les composent. Toutes les cellules sont produites à base de silicium, mais les méthodes de fabrication différentes leurs donnent des caractéristiques très différentes, notamment en termes de productivité.

a) Les Cellules Amorphes

Les cellules amorphes sont produites à partir d'un "gaz de silicium", qui est projeté sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites « solaires », car ce type de cellule est bon marché et la technologie est utilisable sur de nombreux supports, notamment des supports souples. Le problème c'est que son rendement est 2 à 3 fois plus faible que les cellules monocristallines.



Figure I-6: cellule amorphe

b) Les Cellules Monocristallines

Les cellules monocristallines sont issues d'un seul bloc de silicium fondu, elles sont donc très "pures". Elles offrent le meilleur rendement (entre 13 et 17%), mais sont aussi plus chères à la production, donc à la vente. Ces cellules sont en général octogonales et d'une couleur uniforme foncée (bleu marine ou gris).

Ces cellules sont les plus performantes, elles permettent donc de constituer des panneaux qui sont très performants : ceux qui produisent le plus d'énergie avec le moins de surface.



Figure I-7 Cellule Monocristalline

c) Les Cellules Poly cristallines

Les cellules poly cristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vues de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux. Elles ont un rendement de 11 à 15%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Elles sont en général de forme rectangulaire et sont couleur bleu nuit avec des reflets



Figure I-8: cellules poly cristallines

I.5.2. Le régulateur

I.5.2.A Description et Principe de fonctionnement[7]

Le régulateur de charge/décharge est associé à un générateur photovoltaïque, il a pour rôle, entre autres, de contrôler la charge de la batterie et de limiter sa décharge. Sa fonction est primordiale car elle a un impact direct sur la durée de vie de la batterie.

On trouve sur les installations plusieurs technologies de contrôleur de charge :

- Régulation tout ou rien (TOR) par coupure électromécanique. Ce type de régulateur n'est plus commercialisé et est amené à disparaître.
- Régulation MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) avec deux types de couplage sur la batterie.
- Couplage direct appelé régulateur "PWM" (Pulse with Modulation).
- Couplage par adaptateur d'impédance appelé régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Le régulateur de charge est composé d'un convertisseur DC/DC à découpage de haut rendement qui assure trois fonctions :

- ✚ Détection de la puissance maximale du champ photovoltaïque tant que la batterie n'est pas chargée.
- ✚ Conversion DC/DC.
- ✚ Régulation de la tension de sortie en fonction de la phase de charge (Bulk, Absorption et Floating).



Figure I-9: Régulateur MPPT[8]

Régulation PWM (Pulse Width Modulation)

Le régulateur est inséré entre le champ photovoltaïque et la batterie. Il est composé d'un interrupteur électronique fonctionnant en MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) et d'un dispositif anti-retour (diode).

L'ouverture et la fermeture de l'interrupteur électronique s'effectuent à une certaine fréquence, ce qui permet de réguler le courant de charge en fonction de l'état de charge avec précision.

Lorsque la tension batterie est inférieure à la tension de limitation du régulateur, l'interrupteur est fermé. La batterie se charge alors avec le courant correspondant à l'ensoleillement. On est en phase "Bulk".

Lorsque la tension batterie atteint un seuil de régulation prédéterminé, l'interrupteur s'ouvre et se ferme à une fréquence fixe pour maintenir un courant moyen injecté dans la batterie. La batterie est chargée, on est en phase "Floating".



Figure I-10: Courbe du courant de charge et de la tension de charge en fonction du temps

I.5.3. La batterie

La batterie répète de façon cyclique un processus d'accumulation d'énergie (charge) et fourniture d'énergie (décharge) en fonction de la présence ou de l'absence du soleil. Dans ce fonctionnement normal de la batterie on peut trouver deux pôles [9]:

- **Surcharge** : La batterie atteint sa pleine capacité de charge. Si elle continue à recevoir de l'énergie, l'eau de la dissolution commence à se décomposer, en produisant de l'oxygène et de l'hydrogène (processus de gazéification).
- **Sur décharge** : Il existe aussi une limite pour le processus de décharge, après lequel la batterie se détériore notamment.

C'est le régulateur qui doit prévenir l'entrée d'énergie au-dessus de la surcharge permise et aussi la consommation de plus d'énergie que celle prévue par la sur décharge.

I.5.3.A Technologie de batterie solaire[7]

a) Batterie solaire étanche au GEL

La batterie étanche à électrolyte gélifié (GEL) est le "haut de gamme" des batteries au plomb. Elle ne nécessite pas d'entretien et ses performances en cyclage sont très bonnes.



Figure I-11: batterie solaire étanche au GEL

b) Batterie solaire étanche AGM

La batterie étanche AGM est l'entrée de gamme. Son coût est avantageux mais sa durée de vie est plus courte. Elle supporte bien les pointes de courant liés à un démarrage moteur ou pompe.



Figure I-12: Batterie étanche AGM[10]

c) Batterie solaire Plomb-Carbone

La batterie étanche plomb-carbone est une nouvelle génération se situant entre la batterie plomb classique et celle au lithium. Grâce à son alliage plomb et carbone, elle est plus performante en cyclage partiel.

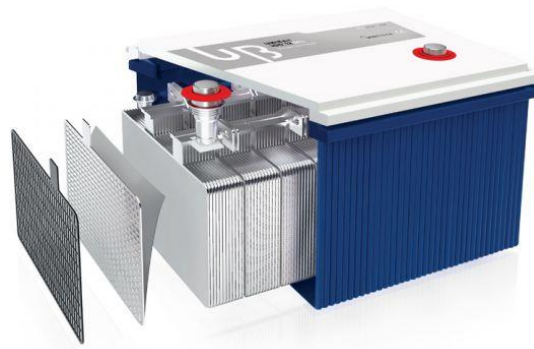


Figure I-13: Batterie solaire Plomb-Carbone

d) Batterie solaire OPzV / OPzS

La batterie stationnaire à plaque tubulaire est robuste et possède la plus grande durée de vie des batteries au plomb. L'OPzS est composée d'électrolyte liquide et nécessite un entretien régulier alors que l'OPzV est composée d'électrolyte gélifiée, elle est donc étanche et ne nécessite pas d'entretien.

e) Batterie solaire Lithium

La batterie au lithium est légère et peu encombrante. Sans entretien elle résiste bien aux décharges profondes et à la durée de vie la plus élevée.

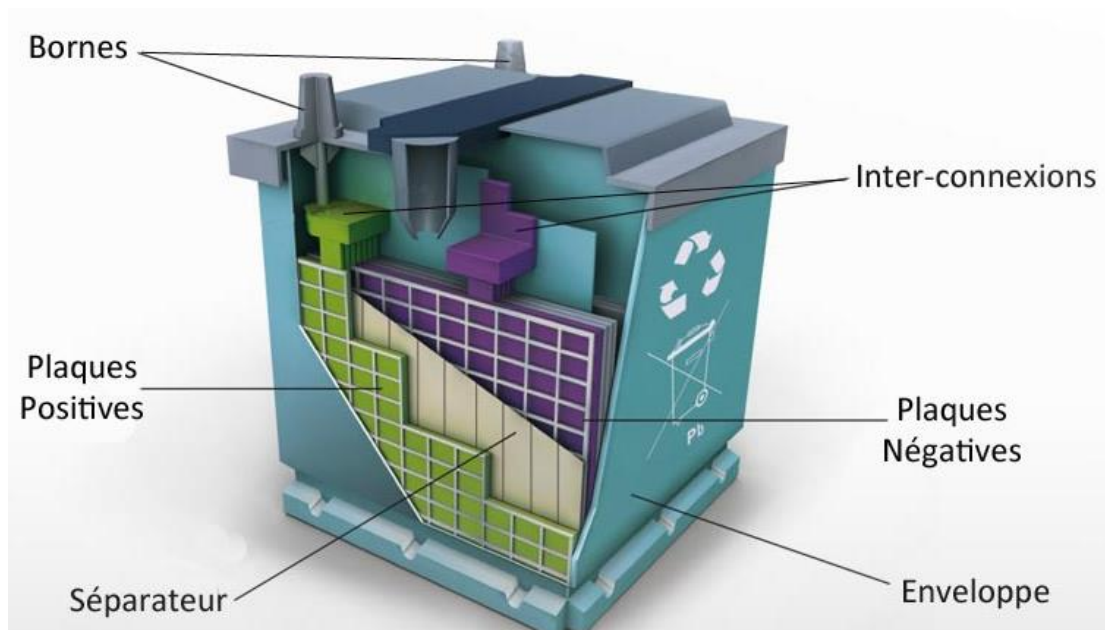


Figure I-14: Composants de batterie solaire au lithium

I.5.4. L'onduleur

I.5.4.A Description et Principe de fonctionnement

Des transformateurs photovoltaïques sont nécessaires pour connecter les panneaux photovoltaïques au réseau. Permet d'adapter le courant continu sortant du générateur PV à un courant alternatif injectable dans le réseau public. Mais il joue également un rôle dans l'efficacité du système PV. L'optimisation de la sortie d'usine comprend une sélection appropriée du type et de la taille du transformateur. Il a également des fonctions majeures dans l'utilisation de l'électricité dans le réseau public[11]:

- Conversion du courant continu produit par les modules PV en courant alternatif selon les normes du réseau
- Améliorez l'efficacité de la stabilisation en recherchant constamment le point de puissance le plus élevé par rapport au flux lumineux (MPP)
- Protection de l'installation et du réseau contre toutes anomalies dangereuses (écart de tension, fuite de courant, etc.). Les onduleurs disposent d'un système de coupure automatique appelé: ENS (selon la norme allemande DIN VDE 0126)
- Vérifier le fonctionnement général de l'installation et les signaux anormaux: transmission des données, indicateur de performance, affichage des messages d'erreur.

I.5.4.B Le type d'onduleurs

Le type d'onduleurs à utiliser est déterminé par les paramètres d'installation et de branchement des modules photovoltaïques: câblage série ou parallèle, différents degrés d'inclinaison entre les modules, contrainte d'installation, flux lumineux global et écart de puissance entre les modules.

a) Onduleur centralisé

Cet onduleur doit être installé sur l'ensemble du générateur. L'utilisation du boîtier de communication est indispensable entre la machine et le générateur. Ce type d'onduleur est idéal pour réaliser des agencements combinant des connexions série et parallèle. Permet de produire un flux lumineux identique pour tous les modules PV. Et parmi ces unités, il existe de faibles tolérances de puissance. Avec un onduleur central, il est possible d'atteindre une puissance de plusieurs mégawatts.

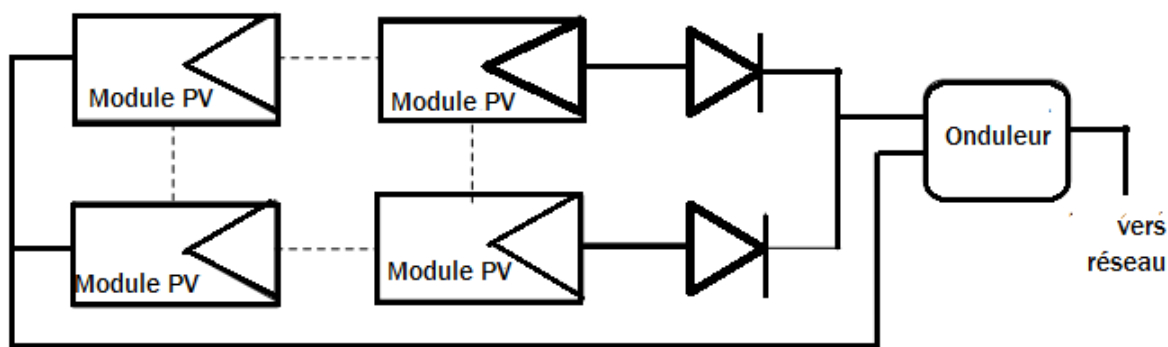


Figure I-15: Onduleur centralisé

b) Onduleur standard

Une conversion correcte du courant produit par l'installation d'une cellule photovoltaïque peut être effectuée à partir d'un onduleur standard. Avec cela, il est nécessaire d'établir une connexion directe des modules au réseau. Notez que l'onduleur peut être installé en usine sur les unités. Choisissez une telle solution si votre installation est faible. Vous n'aurez pas à faire de fils CC. Et si l'unité est ombrée, cela n'affectera pas le reste de l'installation.

c) Onduleur de série

On parle d'onduleur à chaîne lorsque les unités sont connectées en série ou en ligne. Une telle configuration permet de produire un flux lumineux différent entre les rangées reliées au réseau au moyen du réflecteur. La tolérance aux différentes intensités lumineuses entre les rangées est un point positif du réflecteur de chaîne. Il est bien adapté aux installations de forte puissance

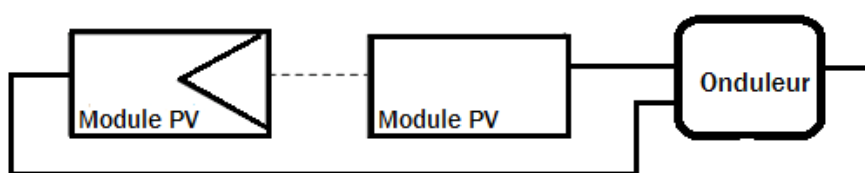


Figure I-16: Onduleurs String

d) Onduleurs multi-chaînes (multi string)[12]

Dans cette structure, comme le montre la Figure I -11, un convertisseur DC-DC est implémenté pour chaque chaîne pour le suivi MPP et la combinaison de puissance de chaîne différente à un Bus DC. L'onduleur multi-chaînes offre le suivi MPP optimal pour une seule chaîne des PV. Un grand étage de puissance fonctionne comme un onduleur demi-point connecté au réseau

sans transformateur. L'onduleur à plusieurs chaînes est utile lorsque des chaînes PV de différentes puissance, différentes orientations sont combinées.

La partie DC-DC peut être implémentée avec convertisseur de modulation de largeur d'impulsion (PWM) haute fréquence pour réduire la zone de mise en œuvre.

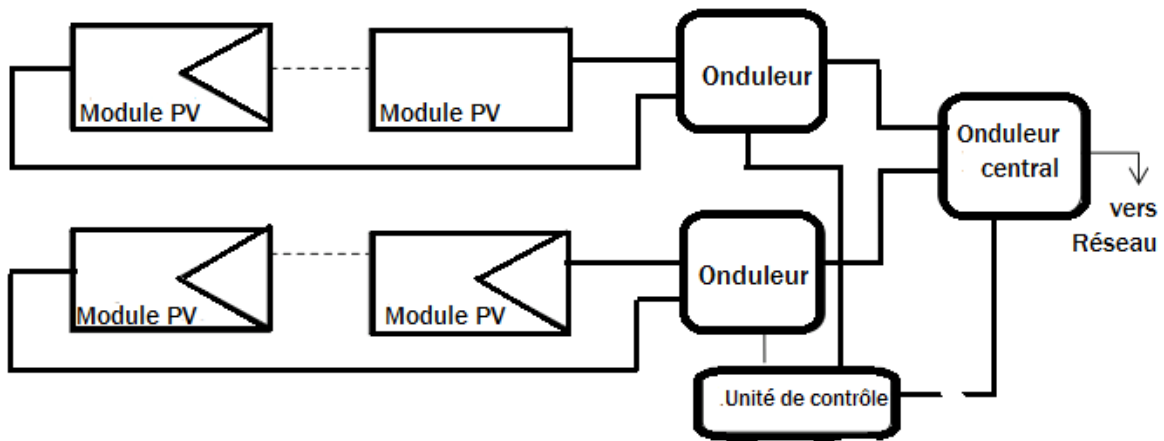


Figure I-17: Onduleurs multi-chaînes (multi string)

I.5.5. Les câbles électriques

Les câbles relient électriquement tous les éléments du système PV. Le câblage est un point critique de toute installation PV. Il est très important de bien dimensionner les conducteurs afin d'éviter la circulation d'un courant très fort dans les câbles, même pour de petites puissances dans le cas d'utilisation de faibles tensions. Le choix des câbles dont la gaine est adapté aux conditions d'utilisation est nécessaire.[13]

I.5.6. Les récepteurs

Les récepteurs ou charges (utilisations) font partie du système PV. Leurs tensions d'usage et leurs puissances déterminent les caractéristiques des éléments du système. Les récepteurs doivent être choisis avec soin. Lorsque cela est possible, il faut choisir les récepteurs de grand rendement. Après le choix des charges à alimenter par notre mini-centrale PV, nous relèverons leurs caractéristiques qui nous permettront de déterminer la puissance à installer[13].

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons traité les différents types de systèmes photovoltaïques ainsi que les composants les plus importants du système photoélectrique isolé car il est plus.

Chapitre II :
Présentation des Méthodes de
Maintenance
Pareto et AMDEC

II. Chapitre II : Présentation des méthodes de maintenance Pareto et AMDEC

II.1. Introduction

Le concept de maintenance ne se limite pas à la réparation ou au dépannage au moindre coût ou à la réparation du matériel le plus rapidement possible.

Ils ne sont pas non plus conçus pour maintenir le fonctionnement des installations à tout prix ou pour assurer une sécurité de fonctionnement élevée, à tout prix, pour atteindre une disponibilité maximale mais pas une rentabilité.

La maintenance commence par la conception de l'appareil. L'équipement doit être maintenable (concept de maintenance) et capable de produire avec facilité d'utilisation et avec la plus grande sécurité. Pendant toute la période de production, la maintenance surveille l'équipement, suit sa détérioration et sa mise à niveau en surveillant les performances tout en surveillant les coûts et la disponibilité.

En fin de vie d'une machine, la maintenance analyse d'abord, une diminution de ses performances correspond au potentiel de détérioration et de régénération[14].

Dans ce chapitre, nous aborderons les types de maintenance et les différentes méthodes analytiques utilisées

II.2. Définition de la maintenance

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise[15].

II.3. Types de maintenance

Il existe 9 types de maintenance répartis entre la maintenance préventive et la maintenance corrective la figure II- 1 montre les types de maintenance.

La maintenance préventive est effectuée avant toute panne et comprend des types de maintenance tels que: maintenance basée sur le temps, maintenance en cas de panne, maintenance basée sur les risques, maintenance basée sur l'état et maintenance prédictive.

La maintenance corrective est effectuée après un dysfonctionnement, soit sous forme de maintenance corrective différée, soit sous forme de maintenance d'urgence[16].

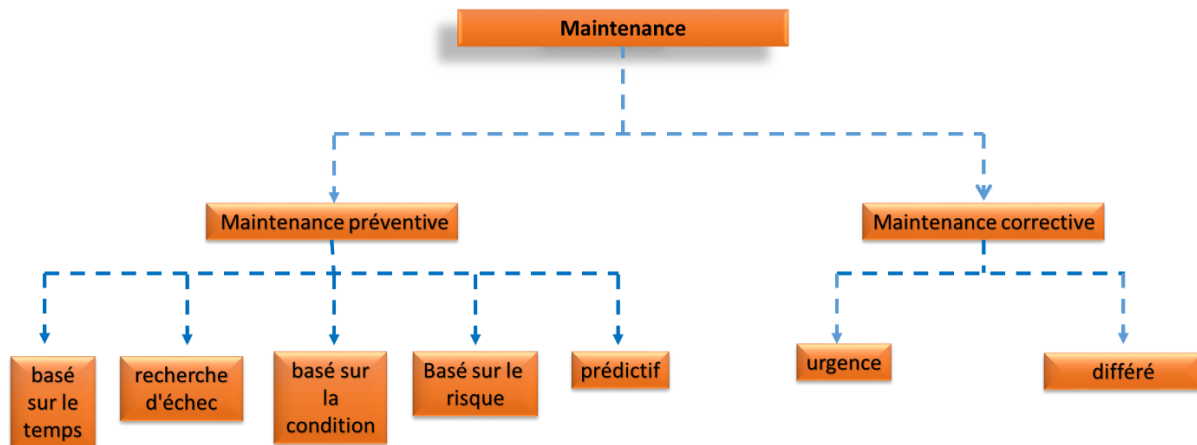


Figure II-1: les types de maintenance

II.3.1. Maintenance préventive

La maintenance préventive est effectuée avant qu'une panne ne survienne et se compose de types de maintenance tels que: maintenance basée sur le temps, maintenance de détection des pannes, maintenance basée sur les risques, maintenance conditionnelle et maintenance prédictive.

La maintenance préventive (ou maintenance préventive) est essentiellement un type de maintenance qui est effectuée à intervalles réguliers pendant que l'équipement fonctionne toujours dans le but de prévenir une défaillance ou de réduire la probabilité de défaillance.

La maintenance préventive peut être basée sur le temps, c'est-à-dire chaque semaine, chaque mois ou tous les trois mois. Mais la maintenance préventive peut aussi être basée sur l'utilisation. Outre l'approche par intervalles réguliers (maintenance basée sur le temps), il existe également d'autres types de maintenance qui entrent dans la catégorie de la maintenance préventive:

II.3.1.A La maintenance basée sur le temps

La maintenance basée sur le temps fait référence au remplacement ou au renouvellement d'un élément pour restaurer sa fiabilité à une heure, un intervalle ou une utilisation fixe, quel que soit son état[17].

Je limite l'utilisation de cette phrase car pour une raison quelconque, les gens sautent alors à la conclusion qu'un autre entretien n'est pas prévu. Alors qu'en fait, bien sûr, toute la maintenance doit être planifiée par le biais de notre calendrier hebdomadaire. La seule exception serait la maintenance d'urgence qui, en raison de sa nature même de nécessiter une attention immédiate, ne peut pas être planifiée.

Le but de la maintenance basée sur le temps est de vous protéger contre la défaillance des pièces d'usure connues qui ont un temps moyen entre les défaillances (MTBF) prévisible, c'est-à-dire que la maintenance basée sur le temps suppose que la défaillance est liée à l'âge et qu'une durée de vie claire peut être déterminée. Ou que cela ne vaut tout simplement pas la peine d'évaluer l'état et qu'un remplacement basé sur le temps est plus économique et toujours (raisonnablement) efficace.

La maintenance basée sur le temps ne peut jamais gérer efficacement les modes de défaillance non liés à l'âge et ne devrait donc constituer qu'une petite partie de votre programme de maintenance global car > 70% des modes de défaillance de votre usine ne sont pas liés à l'âge.

II.3.1.B Maintenance de détection des pannes

Recherche de pannes Les tâches de maintenance visent à détecter les pannes cachées généralement associées aux fonctions de protection. Pensez aux soupapes de sécurité de pression, aux émetteurs de déclenchement et autres.

Ce type d'équipement ne sera pas nécessaire pour fonctionner tant que quelque chose d'autre n'aura pas échoué. Cela signifie que dans des conditions de fonctionnement normales, vous ne saurez pas si cet équipement est toujours fonctionnel.

II.3.1.C La maintenance basée sur les risques (MBR)

La méthodologie de maintenance basée sur les risques fournit un outil pour la planification de la maintenance et la prise de décision afin de réduire la probabilité et les conséquences d'une défaillance de l'équipement. Le programme de maintenance qui en résulte réduit le risque du système et les coûts de maintenance. Un programme général de suivi de la GAR est mis en place. À partir des étapes suivantes[18]:

1. Définition des composants, des sous-systèmes et du système et de leurs relations: Le système est divisé en sous-systèmes et les composants de chaque sous-système et leurs relations sont définis; Dans les sections suivantes, nous modélisons la structure du système en utilisant un cas particulier de réseau dynamique bayésien.
2. Collecte des données de défaillance, modèle de défaillance et taux de défaillance: les informations sont codées dans le modèle de maintenance en fonction des probabilités conditionnelles.
3. Appréciation et évaluation des risques: En utilisant l'inférence probabiliste à l'exclusion de la tranche, une analyse des résultats est effectuée pour déterminer l'effet de l'occurrence de chaque scénario de défaillance et obtenir une mesure quantitative des

risques associés. Le risque est utilisé pour étudier les coûts de maintenance, y compris les coûts encourus suite à une panne.

4. Stratégie de maintenance optimale: En identifiant divers coûts de maintenance, le schéma de maintenance optimal peut être dérivé en appliquant la théorie de l'amélioration à l'échelle du montant de risque calculé à l'étape mentionnée ci-dessus.

II.3.1.D Maintenance basée sur les conditions (MBC)[19]

La maintenance conditionnelle (MBC) est une méthode utilisée pour réduire l'incertitude des activités de maintenance et est effectuée en fonction du besoin indiqué par l'état de l'équipement. CBM suppose que les paramètres pronostiques indicatifs existants peuvent être détectés et utilisés pour quantifier une éventuelle défaillance de l'équipement avant qu'elle ne se produise réellement. Les paramètres pronostiques fournissent l'indication des problèmes potentiels et des défauts naissants qui entraîneraient un écart de l'équipement ou du composant par rapport au niveau de performance acceptable. Lors de la maintenance, les problèmes courants des équipements sont le vieillissement et la détérioration. Ces conditions de l'équipement sont des indicateurs utiles de pannes possibles et de problèmes potentiels avant une panne catastrophique ou des dommages à l'équipement. La tendance à la détérioration des composants critiques peut également être identifiée grâce à une analyse de tendance des données sur l'état de l'équipement. Les décisions de maintenance dépendent beaucoup des anomalies mesurées réelles et des défauts naissants, et de la prévision de la tendance à la détérioration de l'équipement.

II.3.1.E La maintenance prévisionnelle

La maintenance prévisionnelle est, selon la norme NF EN 13306 X 60-319, une « maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ».

Son principe est le suivant : tout élément manifeste des signes, visibles ou non, de dégradation qui en annonce la défaillance. Le tout est de savoir reconnaître ces signes précurseurs. Des appareils permettent de mesurer cette dégradation, laquelle peut être une variation de température, de vibration, de pression, de dimension, de position, de bruit, etc. Ces dégradations peuvent donc être d'ordre physique, chimique, comportemental, électrique ou autre [20].

II.3.2. Maintenance corrective

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise[15], Il est divisé en deux types : Maintenance corrective différée et maintenance d'urgence

II.4. Outils méthode maintenance

Il est parfois difficile de se mettre d'accord sur le partage des méthodes et outils. Voici une proposition de classement des méthodes, outils et démarches pouvant être utilisés en maintenance ou ayant un lien direct avec la maintenance[21];

Table II-1: Méthodes, outils et procédures directement liés à la maintenance

Démarche de management	Méthodes	Outils
TPM (don't automaintenance)	PDCA (Roue de Deming)	5M ou arbre des causes d'Ishikawa ou arêtes de poisson
5S	MBF	QQOQCP
Kaizen	Kanban	Poka Yoke (détrompeur)
Lean	Ingénierie	Pareto ou analyse ABC
	Hoshin	5 pour quoi
	Benchmarking	AMDEC
		Brainstorming

II.4.1. Méthode de Pareto (« ABC » OU « 20/80 »)

II.4.1.A Définition

Le principe ou loi de Pareto (loi du 80-20, ou 20-80) est une théorie selon laquelle 20% des causes sont responsables de 80% des effets. Applicable à différents domaines et secteurs, celle-ci figure notamment parmi les méthodes de maintenance les plus connues dans le monde industriel. Que ce soit en BTS maintenance, en école d'ingénieur ou tout simplement au sein même des services méthodes maintenance des entreprises, l'analyse des pannes est directement associée aux diagrammes de Pareto, dont le but est d'établir une hiérarchie des causes d'une phénomène[22].

II.4.1.B L'objectif de diagramme de Pareto

L'objectif de la distribution de Pareto est de classer les interventions de maintenance en fonction de leur nombre, puis de les hiérarchiser selon leur priorité. Voici les quelques étapes nécessaires à la création d'un diagramme de Pareto :

- 1) Définir l'ensemble des interventions en fonction du type de panne
- 2) Triez ces groupes par ordre croissant
- 3) Calculez le nombre total d'interventions ou le temps mis en fonction du type de carte de Pareto que vous souhaitez analyser
- 4) Calculer le pourcentage pour chaque groupe: nombre d'intervention / total ou temps passé / total
- 5) Réalisation du dessin

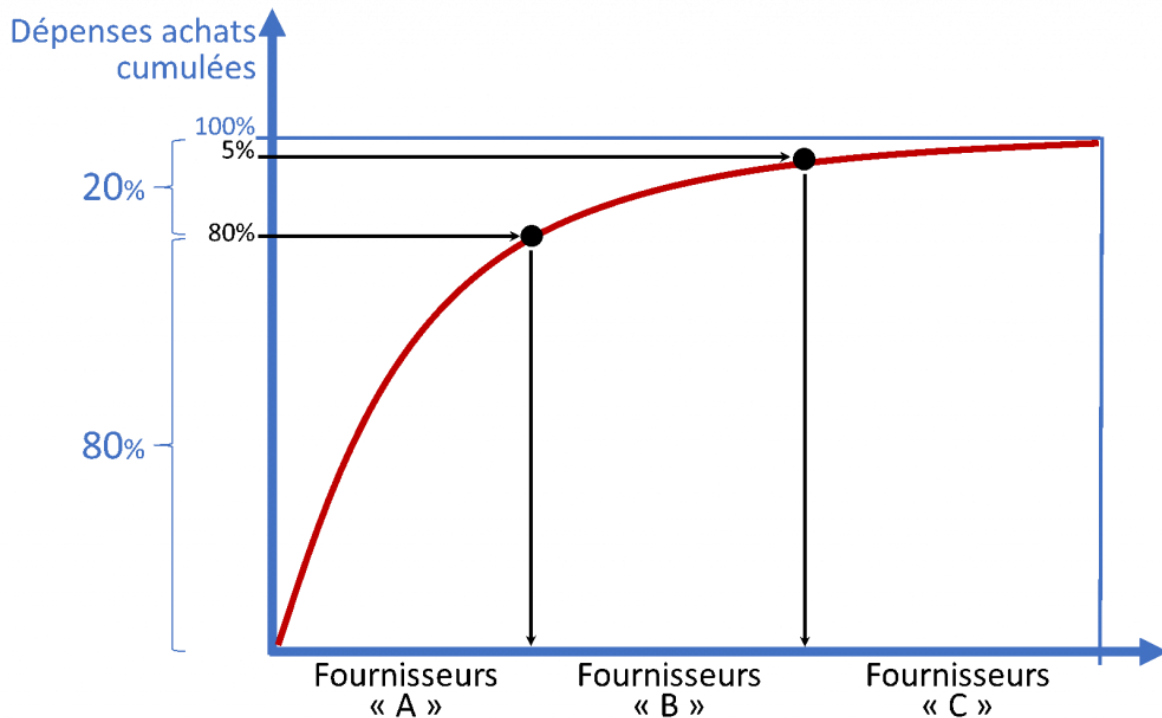


Figure II-2: Courbe de PARETO[23]

Il s'agit de déterminer les aires obtenues à partir de la forme de la courbe sur la courbe. à Généralement, la courbe comporte deux ruptures, ce qui permet de définir trois régions a, b et c.

- Région A: C'est la première partie de la courbe qui échoue le plus.
- Zone B: C'est la deuxième partie de la courbe qui définit modérément l'échec.
- Région C: C'est la troisième partie de la courbe avec le moins de défauts.

L'étude se concentre d'abord sur les éléments qui composent la zone A en priorité. Si les décisions et ajustements apportés aux éléments de la zone A ne sont pas satisfaisants, l'étude se poursuivra sur les premiers éléments de la zone B jusqu'à satisfaction. L'appartenance à la région C peut être négligée, car elle a peu d'influence sur le critère considéré

II.4.2. Méthode AMDEC

II.4.2.A Définition[14]

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.

II.4.2.B Types de l'AMDEC[24]

Il existe plusieurs types de la méthode d'analyse :

- L'AMDEC organisation

L'AMDEC s'applique aux différents niveaux du processus d'affaires, du premier niveau qui englobe le système de gestion, le système d'information, le système production, le système personnel, le système marketing et le système finance, jusqu'au dernier niveau comme l'organisation d'une tâche de travail.

- L'AMDEC-Produit

Elle est utilisée pour l'aide à la validation des études de définition d'un nouveau produit fabriqué par l'entreprise.

Elle est mise en œuvre pour évaluer les défauts potentiels du nouveau produit et leurs causes. Cette évaluation de tous les défauts possibles permettra d'y remédier, après hiérarchisation, par la mise en place d'actions correctives sur la conception et préventives sur l'industrialisation [7].

➤ L'AMDEC-Processus

Elle est utilisée pour étudier les défauts potentiels d'un produit nouveau ou non, engendrés par le processus de fabrication. S'il s'agit d'un nouveau procédé, l'AMDEC-Processus en permettra l'optimisation, en visant la suppression des causes de défaut pouvant agir négativement sur le produit. S'il s'agit d'un procédé existant, elle permettra l'amélioration.

➤ L'AMDEC moyen

Permet d'anticiper les risques liés au non-fonctionnement ou fonctionnement anormal d'un équipement, d'une machine.

➤ L'AMDEC service

S'applique pour vérifier que la valeur ajoutée réalisée dans le service correspond aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas de défaillance.

➤ L'AMDEC sécurité

S'applique pour assurer la sécurité des opérateurs dans les procédés où il existe des risques pour ceux-ci.

II.4.2.C Avantages de la méthode AMDEC[14]

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.

II.4.2.D Les étapes de la méthode AMDEC

Cette méthode s'inscrit dans une démarche en huit étapes selon le process ci-dessous.[25]

Etape 1 : Construire le groupe de travail

Cette première étape consiste à construire votre groupe de travail. Chaque membre du groupe doit être sensibilisé un minimum au préalable à la méthode AMDEC et doit venir d'horizons différents afin de mettre en commun les compétences de chacun et d'être dans une démarche constructive.

Etape 2 : Définir le périmètre de l'étude

En amont, il est nécessaire de connaître et de comprendre le produit, procédé ou processus traité pour définir le périmètre de votre étude et pouvoir l'analyser. Vous pouvez obtenir ces informations à l'aide d'une analyse fonctionnelle, dont les questions clés sont les suivantes :

- Quelle est la fonction d'usage ?
- Quelles sont les fonctionnalités attendues ?
- Quelles sont les contraintes ?
- Quelles sont les fonctions techniques ?

Vous pouvez utiliser les différents outils de l'analyse fonctionnelle : présentation du besoin (bête à cornes), expression fonctionnelle (pieuvre), hiérarchisation des fonctions, cahier des charges fonctionnel, etc.

Lors de cette phase, les objectifs et les limites de l'étude sont définis. Cette étape est indispensable pour démarrer une AMDEC. En ayant peu de connaissances de son sujet, vous risquez de vous éloigner de la cible et les résultats peuvent être erronés.

Etape 3 : Identifier les modes de défaillances

Une fois ce périmètre établi, vous pouvez identifier les modes de défaillances potentielles en vous posant la question « Qu'est-ce qui pourrait aller mal ? ». A partir de là, vous pouvez commencer à remplir votre grille d'analyse.

Le but de cette étape est de rechercher les défaillances premières et non les causes racines.

Etape 4 : Identifier les effets et les causes

Pour chaque mode de défaillance, identifiez les effets associés par la question « Quels sont les effets et les causes entraînés par ce mode de défaillance ? » Ne vous limitez pas, vous pouvez avoir une ou plusieurs causes et effets par mode de défaillance.

Etape 5 : Evaluer les défaillances

Cette étape quantitative permet d'attribuer à chaque défaillance potentielle un indice de criticité. La criticité est la résultante de la combinaison de trois facteurs :

- la gravité de la défaillance et de l'effet (G) : conséquence plus ou moins grave pour l'utilisateur ;
- la fréquence d'apparition de la défaillance, l'occurrence (O) ;
- la probabilité de non-détection (D) : la défaillance se produit et il y a risque de ne pas la détecter.

Vous devez définir une échelle pour chaque facteur. Vous retrouverez couramment une échelle allant de 1 à 4 ou de 1 à 10. 1 étant une gravité/occurrence/probabilité faible - 10 étant une gravité/occurrence/probabilité forte.

Pour vous aider à évaluer les défaillances, il est important de bien définir votre échelle et d'y inscrire des critères en face de chaque point.

A titre d'exemple, sur une échelle allant de 1 à 4, vous pouvez définir une fréquence d'apparition sur les critères suivants :

- 1 : Annuelle ou plus
- 2 : Trimestrielle
- 3. Mensuelle
- Hebdomadaire à quotidienne

Plus vous serez précis dans vos critères, plus il sera facile d'appliquer une notation en se rapprochant de la réalité.

Etape 6 : Hiérarchiser les défaillances

Après avoir fait ce calcul, vous pouvez classer les défaillances par ordre de priorité en définissant des seuils d'alerte afin d'organiser le traitement des données par ordre d'importance.

Voici un exemple de différents seuils d'alerte sur la base d'une cotation allant de 1 à 4 :

- 37 - 64 : criticité majeure
- 28 – 36 : criticité importante
- 10 – 27 : criticité mineure
- 1 – 9 : criticité faible

Ce résultat vous permet ainsi de traiter en priorité les défaillances ayant une criticité majeure, puis importante, et ainsi de suite.

✚ Etape 7 : Rechercher des solutions

Après avoir classé les différents modes de défaillance, deux solutions s'offrent à vous :

- supprimer la défaillance
- réduire la défaillance

Dans le deuxième cas, vous pouvez rechercher des solutions par actions correctives et/ou préventives dans le but d'obtenir une criticité plus faible de l'occurrence/la probabilité de non-détection/la gravité. Pour chaque action, un responsable doit être désigné.

✚ Etape 8 : Suivre les actions

L'objectif est de vérifier l'efficacité des solutions qui ont été entreprises et de réévaluer la criticité, afin de s'assurer que celle-ci a bien été réduite. Ce suivi est important, car il permet de déterminer l'efficacité et l'impact des actions qui ont été entreprises.

II.4.3. La méthode 5M

II.4.3.A Définition

Le diagramme de cause à effet ou diagramme d'Ishikawa ou encore méthode des 5M est une démarche qui permet d'identifier les causes possibles d'un problème ou un défaut (effet). Il convient ensuite d'agir sur ces causes pour corriger le défaut en mettant en place des actions correctives appropriées[26].

Créé par le professeur **Kaoru Ishikawa**, ce diagramme d'Ishikawa est une méthode utilisée juste après un brainstorming, en groupe de travail pluridisciplinaire, pour trier toutes les idées et les ranger. En premier lieu pensé dans une démarche de qualité, il est applicable à l'ensemble des métiers de l'entreprise, notamment à la gestion des risques et la gestion de projet[27].

II.4.3.B La règle des 5 M

Pour détecter de potentielles causes agissant directement ou indirectement sur le problème étudié, la règle des 5 M étudie :

- **Matière :**

Toutes causes liées aux éléments utilisés dans le processus de fabrication comme l'utilisation de matières premières périmées, des fournitures de mauvaise qualité ou des pièces avec des défauts.

- **Milieu :**

Les causes liées à l'environnement et au contexte de réalisation comme un marché volatile, une concurrence très rude ou une législation particulièrement contraignante.

- **Méthodes :**

Ya-t-il des problèmes dans la manière de travailler ? Ici on étudie de potentiels dysfonctionnements ou ralentissement dans les processus de travail et les modes opératoires, des erreurs dans les instructions ou mode d'emploi.

- **Matériel :**

Les équipements, machines, outils, logiciels, s'il y en a qui sont défectueux, obsolètes ou non adaptés.

- **Main d'œuvre :**

Les ressources humaines sont-elles en manque de compétences et de formation, ou mal informées sur la bonne exécution des tâches ?

Cette classification s'est étendue avec le temps et l'expérience, on parle désormais de 6 M, de 7 M, voire de 9 M :

- Mesure : quels indicateurs sont utilisés pour analyser les résultats ?,
- Management (méthodes d'encadrement),
- Moyens financiers (budget alloué),
- Moment (période),
- Mental (motivations),
- Maintenance (entretien, suivi).

II.4.3.C L'objectif de la méthode 5 M[27]

Cette méthode a pour objectif de déterminer les causes à l'origine d'un effet particulier. Sa représentation graphique visuelle permet de :

- prendre de la hauteur sur un phénomène.
- Communiquer.
- servir de support de discussion et de travail à un groupe de collaborateurs·trices.
- prendre des décisions plus facilement.
- repérer plus rapidement les leviers d'action à activer pour s'améliorer.

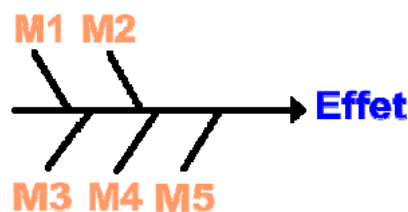
II.4.3.D Étapes de la méthode 5M[26]

✚ **Etape 1.** Placer une flèche horizontalement, pointée vers le problème identifié ou le but recherché.

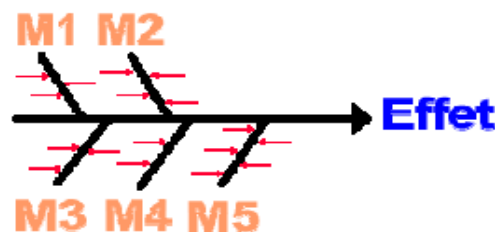
✚ **Etape 2.** Regrouper à l'aide de la méthode de « brainstorming » par exemple, les causes potentielles en familles, appelées communément les 5M :

↳ M1 - Matières : matières premières, pièces, ensembles, fournitures, identification, stockage, qualité, manutention

- ↪ M2 - Matériel : Recense les causes probables ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés. Machines, outils, équipements, capacité, âge, nombre, maintenance
 - ↪ M3 - Main d'œuvre : directe, indirecte, motivation, formation, absentéisme, expérience, problème de compétence, d'organisation, de management
 - ↪ M4 - Milieu : environnement physique, éclairage, bruit, aménagement, relations, température, climat, marché, législation
 - ↪ M5 - Méthodes : instructions, manuels, procédures, modes opératoires
- ✚ **Etape 3.** Tracer les flèches secondaires correspondant au nombre de familles de causes potentielles identifiées, et les raccorder à la flèche principale. Chaque flèche secondaire identifie une des familles de causes potentielles.



- ✚ **Etape 4.** Inscrire sur des minis flèches, les causes rattachées à chacune des familles. Il faut veiller à ce que toutes les causes potentielles apparaissent.



- ✚ **Etape 5.** Rechercher parmi les causes potentielles exposées, les causes réelles du problème identifié. Ce sera notamment la cause la plus probable qu'il restera à vérifier dans la réalité et à corriger.

II.5. Conclusion

Dans ce deuxième chapitre nous avons traité de la maintenance, où nous avons présenté sa définition et ses différents types, mentionné les types et méthodes analytiques utilisés dans le domaine de la maintenance, et détaillé à la fois la méthode Pareto et la Méthode AMDEC et la méthode 5M.

Chapitre III :
Influence des méthodes de
maintenance sur le rendement
(Partie de stage des étudiantes
'formation')

III. Chapitre III : Influence des méthodes de maintenance sur le rendement

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons effectuer un processus de maintenance pour les composants d'un système photovoltaïque intégré au réseau en utilisant la méthode ABC dans l'analyse

III.2. Présentation de l'école primaire "Arabe Al-Tabsi", lieu d'investigation

L'école élémentaire Al-Arabi Al-Tabsi est située au centre de la ville d'El Meghaïe. C'est l'une des plus grandes écoles primaires de la ville. Elle comprend 50 départements. Cette institution a été complétée par un système d'énergie solaire. En 2019 et ceci à la lumière de la mise en œuvre du programme gouvernemental pour la transition énergétique



Figure III-1: Emplacement de l'école primaire Al-Arabi Al-Tabsi sur la carte



Figure III-2: Interface élémentaire de l'arabe al-Tabsi

III.3. Description du système étudié

Le système étudié est un système photovoltaïque installé dans l'école primaire Arabe Al-Tabssi dans le circuit El Meghâier, Comme le système est intégré au réseau et se compose de:

- ✓ 64 Panneaux photovoltaïques 260 w poly cristallin.
- ✓ 4 Onduleur hybride 5KV_a 48V.
- ✓ 4 Régulateur MPPT80A
- ✓ 48 Batterie solaire GEL/OPZV 150

Comme les panneaux sont divisés en quatre groupes selon la division suivante:

- Le groupe 1 contient 12 panneaux.
- Le groupe 2 contient 17 panneaux.
- Le groupe 3 contient 17 panneaux.
- Le groupe 4 contient 18 panneaux.



Figure III-3: les composants de système

III.4. Maintenance préventive

La tension des batteries a été mesurée avant l'entretien voir tableau.

Table III-1: valeur de courant des batteries

N ^o de batterie	Intensité De Courant	N ^o de batterie	Intensité De Courant
1	1.4	13	1.1
2	2.6	14	1.6
3	4.1	15	2.1
4	3.4	16	2.1
5	3.5	17	1.6
6	4.2	18	0.9
7	5.5	19	0.7
8	2.6	20	0.1
9	1.2	21	0.4

10	00	22	0.3
11	0.7	23	0.4
12	1.1	24	0.1

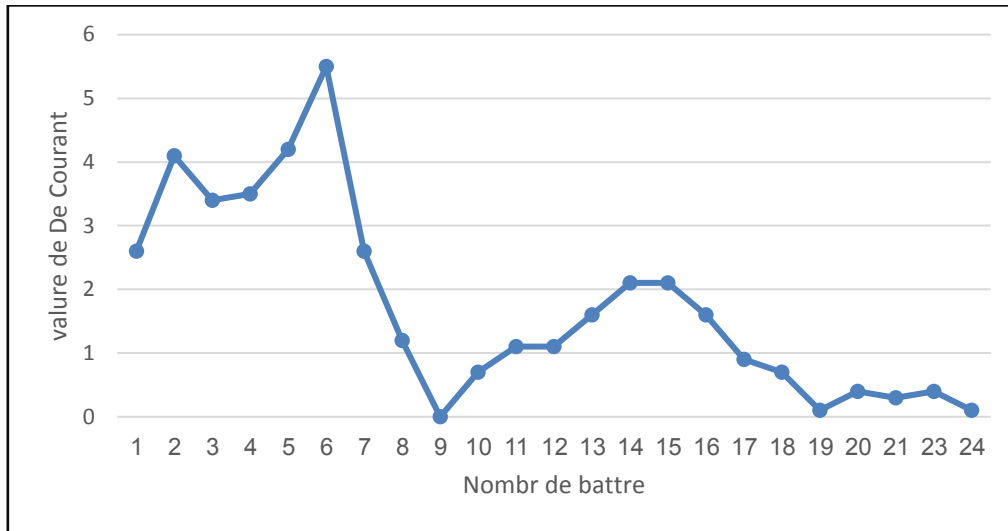


Figure III-4: *valeur de courrant*

La figure III-4 représente la courbe de la valeur actuelle de chaque batterie à la fin du boîtier de charge, où l'on constate une diminution de l'intensité du courant dans chacune des batteries 19.20.23.24. Le manque de courant dans la batterie 9 est dû au dépôt dans les électrodes des batteries mentionnées.

III.5. Maintenance corrective

III.5.1. Application de la méthode sur le système

Afin de déterminer les éléments qui doivent être maintenus afin de résoudre les problèmes du système ou d'éviter leur apparition, nous adopterons la méthode de Pareto en analysant et selon les étapes suivantes:

1^{er} Étape

↳ Calcul de la colonne «cumulées»:

$$cumulées2 = classement\ da\ la\ compson\ +\ cumule1$$

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

$$\frac{composantes\ cumulées * 100}{Somme\ des\ composante}$$

Table III-2: d'analyse ABC

	Composante	Classement de la composante	Cumulées	Cumulées En Pourcentage	ABC
1	Les câbles	110	110	39.57 %	A
2	Les panneaux	64	174	62.59 %	A
3	Batterie	48	222	79.86 %	B
4	structure	16	238	85.61%	B
5	Fusible	10	248	89.21%	B
6	Sectionneur fusible	10	258	92.81%	C
7	régulateur	4	262	94.24%	C
8	L'onduleur	4	266	95.68%	C
9	Boite de raccordement	4	270	97.12%	C
10	Mise a la terre	4	274	98.86%	C
11	Disjoncteur	4	278	100%	C
			total		

2^{eme} Etap

↳ Réalisation du dessin

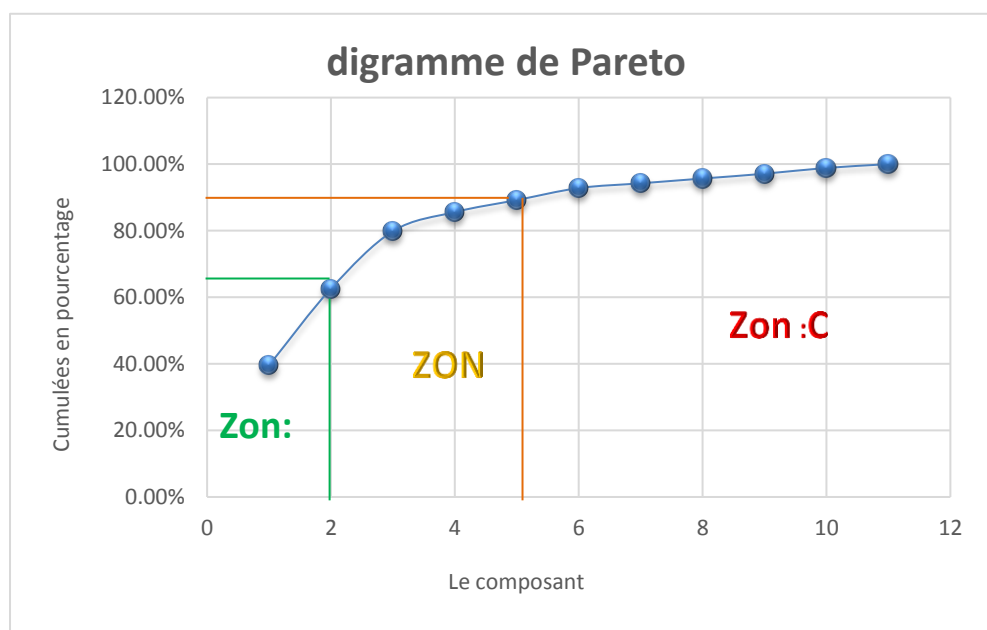


Figure III-5:diagramme de pareto

↳ Explication de la courbe

Sur le diagramme de Pareto, il y a trois zones, La première zone est A, qui représente 20% des composants, de 75% à 80% des solutions, et la deuxième zone est B, qui représente de 30% à 20% des composants qui fournissent 15% des solutions dans excès des solutions précédentes. La zone C représente 50% des ingrédients et apporte 5% des solutions restantes.

- ✚ Nous concluons donc que l'entretien des panneaux et du câble résout 80% des problèmes du système étudié
- ✚ Entretien des batteries et structure, Fusible résout 15% des problèmes.
- ✚ Maintenance des composants restants résout 5% des problèmes.

III.5.2. Maintenances générateur photovoltaïque

III.5.2.A Problèmes d'un Générateur photovoltaïque

- ✚ **Jaunissement et brunissement** ; Il se détache à la surface du panneau solaire car le matériau change de couleur du blanc au jaune, puis du jaune au brun. Provoquant un changement de la transmittance de la lumière incidente vers les cellules solaires et donc une diminution de l'énergie générée.
- ✚ **Bulle d'air**: Une bulle se produit à l'arrière du module PV, et est l'apparition d'un gonflement du polymère ou de la coque arrière.
- ✚ **Défaut d'ombrage** : On distingue deux types d'ombrage : l'ombrage total et l'ombrage partiel. L'ombrage total empêche tout le rayonnement d'atteindre les cellules photovoltaïques, par contre l'ombrage partiel empêche seulement le rayonnement d'atteindre une partie de la cellule photovoltaïque (une cheminée, un arbre, poussière, Neige,...).
- ✚ **Fissuration des cellules** : La fissure peut survenir à n'importe quel moment. Elle peut être causée au cours de processus de fabrication ou au cours de l'emballage et le transport par une mauvaise manipulation et vibration. Processus d'installation est autre cause de ce défaut[28]

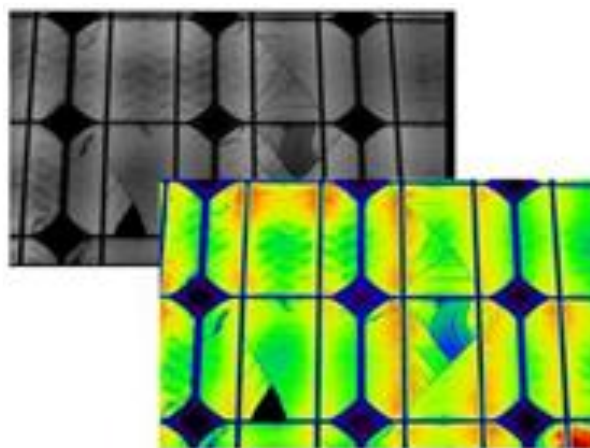


Figure III-6: fissures dans les cellules PV[29]

+ Délaminage



Figure III-7: défaut de délaminage[29]

+ Points chauds (Hot spots)

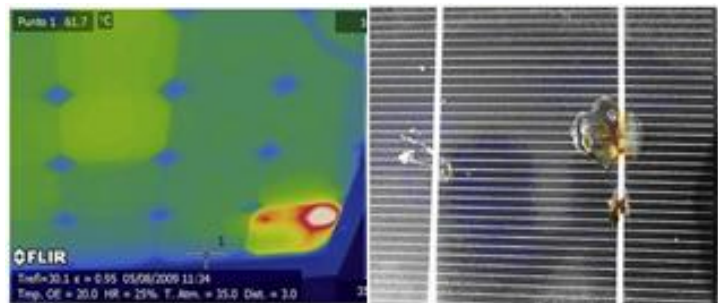


Figure III-8: défaut de point chaud[29]

+ L'augmentation de la résistance série (Rs):



Figure III-9: défaut d'augmentation de la résistance Rs.[29]

+ Défaut de revêtement anti-reflet (ARC)





Figure III-10: défaut de revêtement anti –refle[29]

III.5.2.B Mesure de la tension produite par les panneaux avant et après maintenance

Nous avons mesuré les tensions produites par les panneaux avant et après l'entretien des panneaux à partir de la poussière déposée sur eux. Les résultats sont enregistrés dans un tableau

Table III-3: Mesure de la tension avant et après la maintenance

Les panneaux	La tension avant la maintenance	La tension après la maintenance
Group 1	80 [V]	85[V]
Group2	94 [V]	96[V]
Group3	85[V]	92[V]
Group4	78[V]	85[V]

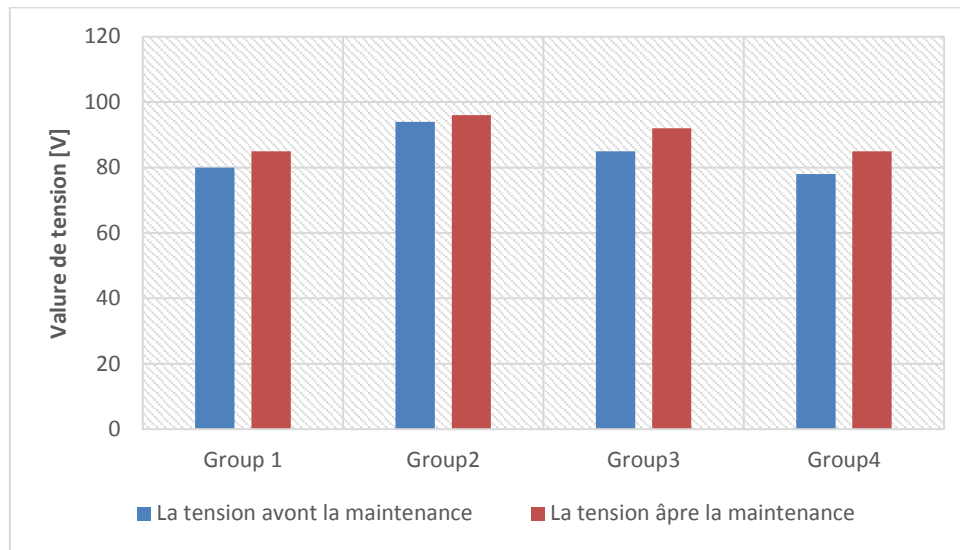


Figure III-11: *valure de tension*

La figure montre les colonnes graphiques des valeurs de tension pour chaque groupe de panneaux solaires avant et après le processus de maintenance, où nous remarquons une augmentation de la valeur de tension dans chaque groupe, et ces valeurs ont été mesurées sous une intensité de rayonnement égale



Figure III-12: *Nettoyage des panneaux*

L'entretien des panneaux s'est fait en les essuyant de la poussière et des fientes d'oiseaux précipitées par l'eau. Nous avons remarqué le début d'un processus de fonte pour certaines cellules qui souffraient d'ombrage dû aux fientes d'oiseaux.

III.5.3. Maintenances du régulateur

III.5.3.A Problème de Le régulateur

La table représente les défauts

Table III-4: la classification des défauts selon leurs catégories[7]

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

III.5.3.B Observation

Dans ce système étudié, il n'y a eu aucun dysfonctionnement du régulateur de charge, et ce parce que le système est toujours à jour

III.5.1. Maintenances de batterie

III.5.1.A Problèmes d'une batterie solaires

Les quatre principaux mécanismes de dégradation de la batterie solaire pendant les conditions de fonctionnement sont[30]:

➤ **Sulfatation;**

Le phénomène de sulfatation «soi-disant» irréversible est la présence de cristaux de sulfate de plomb non rechargeables dans des masses actives positives et négatives. Le sulfate de plomb est formé pendant la phase de décharge de la batterie. Lorsque la batterie reste à des états bas

de charge, un processus de recristallisation des cristaux de sulfate de plomb se produit et affecte leur caractéristiques: les cristaux de $PbSO_4$ au niveau des plaques positive et négative deviennent plus gros et sont moins connectés à la masse active; ils ne sont donc plus rechargeables. Cela conduit à une perte de capacité.

➤ **Corrosion;**

Lorsqu'une batterie plomb-acide est dans un état de haute tension (fin de charge ou surcharge), l'oxygène produit au niveau de la plaque positive conduit à la formation d'une couche d'oxyde à l'interface entre le collecteur de courant, ou grille, et la masse active (voir la figure). Une couche de corrosion similaire se forme lorsque la batterie est laissée dans des conditions de circuit ouvert pendant une longue période. La couche de corrosion est résistive ce qui affecte la collecte de courant par la grille.

Il y a de nombreuses conséquences telles que:

- Diminution des échanges électroniques (la couche forme une barrière à la diffusion ionique).
- Augmentation de la résistance interne.
- Diminution de l'acceptation de la charge.
- Diminution de la capacité de la batterie.
- Conséquences mécaniques.
- Les grilles deviennent minces et fragiles.

➤ **Stratification de l'électrolyte;**

La stratification de l'électrolyte est la présence d'un gradient vertical de la concentration d'acide sulfurique dû au fonctionnement de la batterie. L'acide sulfurique pur formé pendant la phase de charge a une densité plus élevée que l'électrolyte en vrac et a tendance à tomber dans la partie inférieure de la batterie. Ce phénomène est favorisé par les décharges profondes et se recharge, mais diminue pendant la surcharge car l'électrolyte est mélangé par des bulles d'oxygène et d'hydrogène.

La stratification dépend également des caractéristiques de la batterie telles que: l'alliage de la grille (les batteries à grilles plomb-antimoine sont moins sensibles à la stratification); la géométrie de la couche de corrosion des plaques (la stratification est favorisée avec la hauteur des plaques), et le niveau de compression de l'empilement de plaques (les séparateurs ralentissent la descente de l'acide vers le bas de la batterie).

La stratification de l'électrolyte entraîne une perte de capacité (bas partie de la batterie moins rechargée) et à la formation de cristaux de sulfate de plomb irréversibles.

➤ **Adoucissement de la masse active;**

Lorsqu'une batterie est soumise à des cycles successifs de charge / décharge, des variations de volume répétées de la masse active créent des changements dans sa morphologie comme une modification de la cohésion, de la distribution des oxydes de plomb (PbO₂) et de la taille des cristaux. Ces changements conduisent à un relâchement de la connexion entre les agrégats de dioxyde de plomb et à un ramollissement de la masse active.

La première conséquence est une perte de capacité provoquée par une moindre participation de cette masse active aux réactions électrochimiques. La situation extrême est obtenue lorsqu'il n'y a plus de connexion entre les agrégats et qu'ils tombent au fond du conteneur de batterie, Ce processus est appelé effusion.

III.5.1.B La mesure courant de batteries

Table III-5 : *valur de courant don la batteries après la maintenance*

N ⁰ de batterie	Intensité De Courant	N ⁰ de batterie	Intensité De Courant
1	1.4	13	1.1
2	2.6	14	1.6
3	4.1	15	2.1
4	3.4	16	2.1
5	3.5	17	1.6
6	4.2	18	1.6
7	5.5	19	1.7
8	2.6	20	2.3
9	1.2	21	2.2
10	3.5	22	2.1
11	0.7	23	1.1
12	1.1	24	1.4

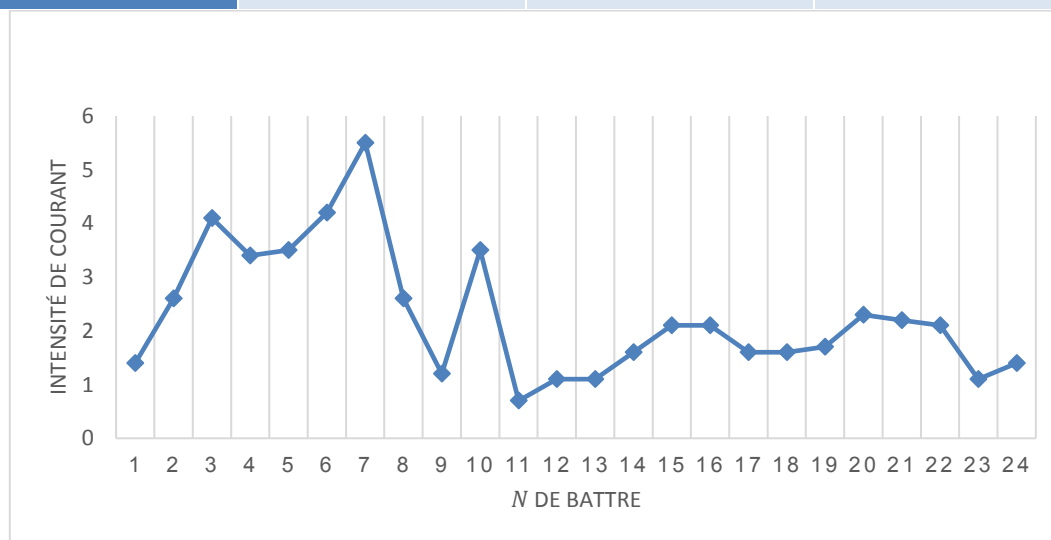


Figure III-13: *valeurs du courant des batteries après la maintenance*

La figure III -13 représente les valeurs du courant électrique des batteries après le processus de maintenance, où nous remarquons un changement dans le haut de la batterie 19;20;21; .23; 24 dans lequel l'intensité du pneu approche de zéro. Le processus de maintenance, où nous remarquons un changement dans le haut de la batterie 19.20.21.23.24 dans lequel l'intensité du pneu approche de zéro.



Figure III-14: *Nettoyage détartrant*

III.5.1.C Observation

La maintenance corrective de la batterie consistait à nettoyer les électrodes de la batterie qui présentaient des dépôts avec des brosses métalliques et le courant n'a pas été déconnecté pendant le processus de maintenance.

III.5.2. Maintenance les câble de system

Nous avons installé les fils et remplacé ceux endommagés pour chacun des disjoncteurs, batteries, panneaux et unité d'assemblage

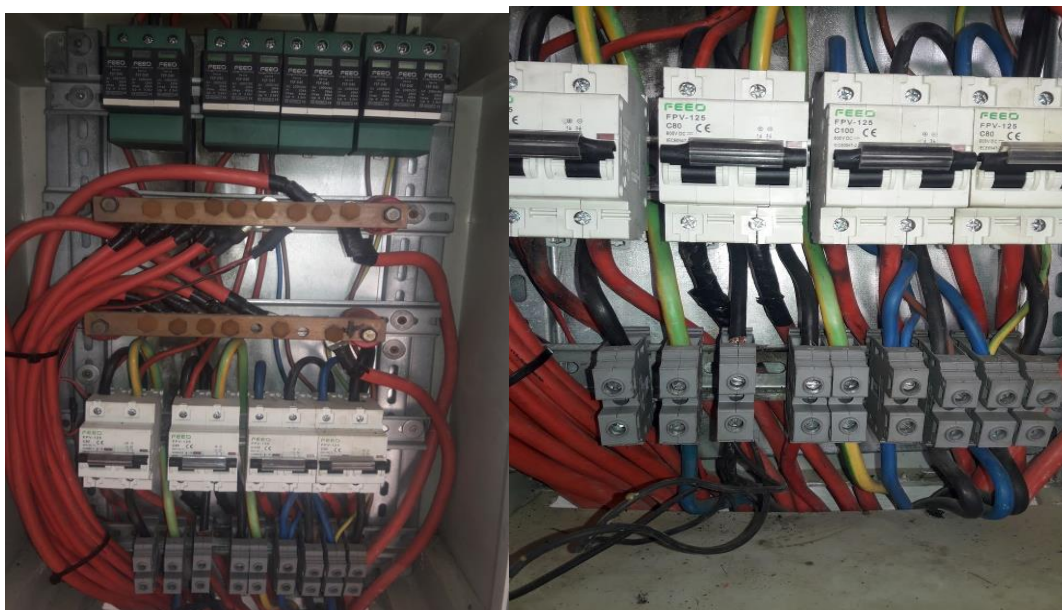




Figure III-15: *fils électriques*

IV. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons effectué une analyse de Pareto d'un système photovoltaïque et nous avons effectué le processus de maintenance de ce système sur la base des résultats analytiques obtenus.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les opérations de maintenance ont un intérêt critique dans l'évaluation de la faisabilité et l'analyse de la durée de vie d'un système PV. Dans cette étude, que nous avons menée sur un système intégré au réseau, qui a été installé dans l'école primaire d'Al-Arabie Al-Tibsi, où au début de cette note nous avons présenté les différents types de systèmes photovoltaïques et leur principe de fonctionnement et les composants les plus importants de chaque système photovoltaïque

.Nous avons également discuté au cours du deuxième chapitre de ce travail le concept de maintenance, ses types et les plus importants Les méthodes et techniques qui sont utilisées dans les opérations de maintenance, et nous avons fourni une explication détaillée de chaque des méthodes ABC et AMDEC et de la méthode 5M Puisque je suis le but de ce travail de clarifier l'impact des méthodes de maintenance sur la maintenance des systèmes photovoltaïques.

Nous avons choisi d'appliquer la méthode ABC dans la maintenance du système étudié, et les résultats analytiques de la méthode ABC disaient que:

La maintenance de 20% des composants résout 80% des problèmes du système, et de l'ensemble des batteries, les panneaux et les fils étaient dans les 20 % ; et lors de l'exécution de la procédure de maintenance sur eux, nous avons résolu 80 % des problèmes.

Problèmes pouvant perturber le système. Et à la fin on dit ça. Devrait prêter une attention particulière à Opérations préventives afin d'éliminer les causes de dysfonctionnements fréquents de Composants en général et batteries et panneaux photovoltaïques en particulier.

*Références
Bibliographique*

Références bibliographiques

- .1 Technologies Solaires. *PHOTOVOLTAÏQUE ET SITE ISOLES*. Décembre 2020; Available from: <http://www.lumensol.fr/lumensol-contact.html>.
- .2 Rekioua, D. and E. Matagne, *Optimization of photovoltaic power systems: modelization, simulation and control*. 2012: Springer Science & Business Media.
- .3 boubaker, A., *Systèmes de conversion de l'énergie Photovoltaïque*, in *Master Energies renouvelables*. 2020, univ-batna2.
- .4 Trésor, M.B. and I.B. Bonaventure, *ETUDE D'UN SYSTEME SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE: CAS DE L'INSTALLATION AU CHUK*.
- .5 Boitier, V. and C. Alonso, *Dimensionnement d'un système photovoltaïque*. 2005, Cetsis.
- .6 ecolodis-solaire. *Panneau solaire photovoltaïque*. 2007; Available from: <https://www.ecolodis-solaire.com/conseils/panneau-solaire-photovoltaïque-fonctionnement-et-description-les-differents-types-de-panneaux-solaires-photovoltaïques-1>.
- .7 SOLARIS. *Guide du solaire autonome 2021* [28.04.2021]; Available from: <https://www.solaris-store.com/content/44-principe-de-fonctionnement-d-un-regulateur-solaire>.
- .8wattunee
- dm. *Régulateur MPPT Victron SmartSolar 100/30 - 100/50 12/24V*. 2021; Available from: <https://www.wattunee.com/fr/regulateur-mppt/4183-regulateur-mppt-victron-smartsolar-10030-10050-1224v-0712971136229.html>.
- .9 SUNEDISON, F.I., <*Manual_de_forMacion_para_instalacion_y_M-1.pdf*>. 2021.
- .10 objetsolaire. *Batterie solaire 12V 35AH AGM*. 19.06.2021; Available from: <https://www.objetsolaire.com/catalogue/support-et-batterie/batterie-solaire-12v-35ah-agm.html>.
- .11 Guide, S. *Les onduleurs photovoltaïques*. 20 [2021-04-27 21] Available from: <https://www.solaire-guide.fr/onduleurs-photovoltaïques/>.
- .12 Ashok Kumar, L., S. Sumathi, and P. Surekha, *Solar PV and wind energ conversion systems: An introduction to theory, modeling with MATLAB/SIMULINK, and the role of soft computing techniques*. 2015, Springer.
- .13 Simon Tokanmè ALLOGANVINON, *Conception d'une mini-centrale photovoltaïque pour l'alimentation partielle de l'installation électrique du ministère du travail et de la fonction publique (MTFP) du Bénin*, in *GENIE ELECTRIQUE, ENERGETIQUE ET ENERGIES RENOUVELABLES*. 2012, Centre de Documentation et d'Information de 2iE.
- .14 SAID, H., *OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE DU PARC D'EXPLOITATION AU NIVEAU INDUSTRIEL (INTER ENTREPRISE «GROUPE KHERBOUCHE»)*. (AFNOR), I.A.F.d.N., *Fonction maintenance FD X 60-000*. mai 2002.
- .16 Erik Hupjé. *9 Types Of Maintenance How To Choose The Right Maintenance Strategy*. 2021; Available from: https://roadtoreliability.com/types-of-maintenance/#predictive_maintenance.
- .17 Moubray, J., *Reliability-centered maintenance*. 2001: Industrial Press Inc.
- .18 Xu, T., et al., *Risk-based predictive maintenance for safety-critical systems by using probabilistic inference*. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013. **2013**.
- .19 Yam, R., et al., *Intelligent predictive decision support system for condition-based maintenance*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2001. **17**(5): p. 383-391.

- .20 Contributeurs de Wikipédia. *Maintenance prévisionnelle*. 2020, mars ,9; Available from: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Maintenance prévisionnelle#Outils](https://fr.wikipedia.org/wiki/Maintenance_prévisionnelle#Outils).
- .21 INGEXPERT conseil expert en maintenance. *Théorie de la maintenance*. 2021.05.06; Available from: https://www.ingexpert.com/maintexpert/php_theorie_maintenance_methode_outil_d_emarche.php.
- .22 Daphné Mothes. *Pareto et GMAO : Vers une évolution de l'analyse maintenance*. 22 mars 2018; Available from: <https://www.mobility-work.com/fr/blog/gmao-vers-une-evolution-de-lanalyse-pareto>.
- .23 Philippe Petitm. *Mon Pareto ne fait pas 80-20, est-ce grave docteur ?* 17 novembre 2020; Available from: <https://www.management-commercial.fr/2020/11/17/mon-pareto-ne-fait-pas-80-20-est-ce-grave-docteur/>.
- .24 BOUKHERISSI, M., *AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) appliquée à la STEP d'Ain El Houtz*.
- .25 Clarisse GUIGON. *AMDEC : définition et mise en oeuvre*. 01/04/2021; Available from: <https://www.manager-go.com/management-de-la-qualite/amdec.htm>.
- .26 Le Groupe Logistique conseil *LE DIAGRAMME DE CAUSES A EFFET*. Documentation sur la gestion de la qualité, 2007.
- .27 Nathalie Pouillard. *Diagramme d'Ishikawa et les 5 M, pour une gestion de projet sans problème*. 12 mars 2021; Available from: <https://www.appvizer.fr/magazine/operations/gestion-de-projet/5-m-une-gestion-de-projet-sans-problemes#definition ;-qu'est-ce-que-la-règle-des-5 ;m ;>
- .28 Aouchiche, N., *Défauts liés aux systèmes photovoltaïques autonomes et techniques de diagnostic-Etat de l'art*. *Revue des Energies Renouvelables*, 2018. **21**(2): p. 247-265.
- .29 Riad K., *Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques*. 2015, thèse de Docteur en Sciences Université Ferhat Abbes-Setif-1. le 05 Mars.
- .30 Mohedano Martínez, J.B., *Batteries in PV systems*. 2011.

الملخص:

الهدف من هذا العمل إلى تطبيق طريقة باريتو ول أم دك لصيانة نظام كهروضوئي حيث كان النظام الشمسي المركب في ابتدائية العربي التبسي في دائرة المغير هو النموذج المستعمل خلال الدراسة وقد قدمنا ورقة نمذجة لصيانة النظام من خلال تفعيل طريقة ل أم دك

الكلمات المفتاحية:

باريتو . LAMDC . صيانة نظام كهروضوئي

Sommaire:

Le but de ce travail est d'appliquer la méthode de Pareto et LAMDC pour la maintenance d'un système photovoltaïque, où le système solaire installé dans l'école primaire d'Al-Arabi Al-Tibsi dans le circuit d'Al-Mughayer était le modèle utilisé lors de l'étude Nous avons présenté un papier modèle pour la maintenance du système en activant la méthode LAMDC

les mots clés:

Pareto. LAM DK Maintenance du système photovoltaïque Méthodes de maintenance