

Introduction

Dans ce chapitre on présentera l'application de la fonction maintenance dans un système photovoltaïque, quelques méthodes de détection des défauts et des interventions au niveau des composants du système photovoltaïque représenté dans le deuxième chapitre.

3. La maintenance

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

Produire ou assurer un service, exige des équipements, des installations ou machines de plus en plus sophistiquées et coûteuses. La mission de la maintenance vis-à-vis de ces investissements est en priorité :

- ✓ Assurer la disponibilité optimale de l'outil de production,
- ✓ Assurer les conditions opératoires optimales,
- ✓ Obtenir l'efficacité maximale des ressources allouées à la maintenance,
- ✓ Tenir des dossiers de maintenance complets et précis,
- ✓ Obtenir la meilleure durée de vie possible des équipements,
- ✓ Minimiser les stocks.

Le choix entre les stratégies de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de maintenance et doit s'opérer en accord avec les objectifs de la direction de l'entreprise. Pour choisir il faut connaître le fonctionnement, les caractéristiques et le comportement du matériel en exploitation, ainsi que les coûts liés à la maintenance. Généralement on peut distinguer différents types de maintenance (figure 3.1) [13]

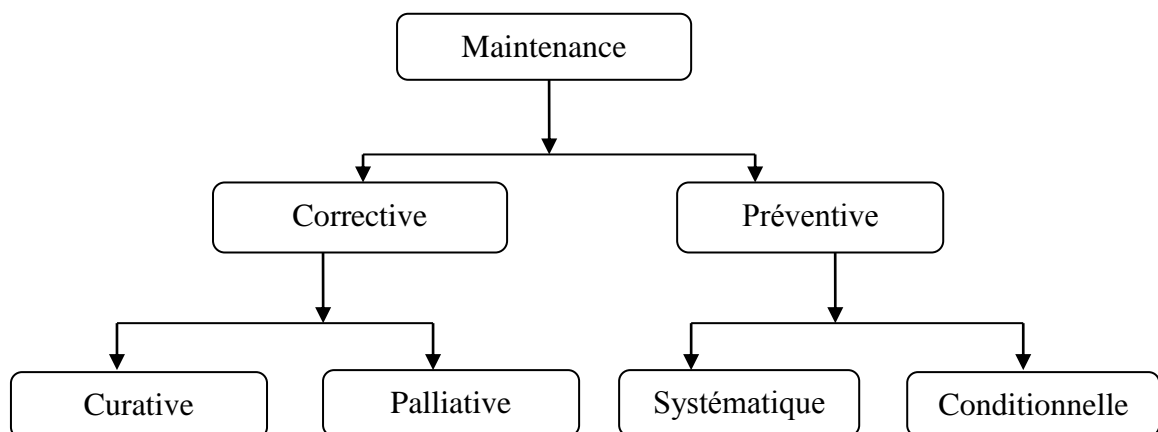


Figure 3.1: Les différents types de maintenance [13]

3.1. Maintenance corrective : qui consiste à intervenir sur un équipement une fois que celui-ci est défaillant. Elle se subdivise en :

3.1.1. Maintenance palliative : dépannage (donc provisoire) de l'équipement, permettant à celui-ci d'assurer tout ou partie d'une fonction requise ; elle doit toutefois être suivie d'une action curative dans les plus brefs délais.

3.1.2. Maintenance curative : réparation (donc durable) consistant en une remise en l'état initial [13].

3.2. Maintenance préventive : qui consiste à intervenir sur un équipement avant que celui-ci ne soit défaillant, afin de tenter de prévenir la panne. On interviendra de manière préventive soit pour des raisons de sûreté de fonctionnement (les conséquences d'une défaillance sont inacceptables), soit pour des raisons économiques (cela revient moins cher) ou parfois pratiques (l'équipement n'est disponible pour la maintenance qu'à certains moments précis). La maintenance préventive se subdivise à son tour en :

3.2.1. Maintenance systématique : désigne des opérations effectuées systématiquement, soit selon un calendrier (à périodicité temporelle fixe), soit selon une périodicité d'usage (heures de fonctionnement, nombre d'unités produites, nombre de mouvements effectués, etc.) ;

3.2.2. Maintenance conditionnelle : réalisée à la suite de relevés, de mesures, de contrôles révélateurs de l'état de dégradation de l'équipement.

3.3. Disponibilité et coûts

Le but d'une politique de maintenance est la recherche d'un optimum entre des objectifs opposés :

- ✓ La disponibilité maximale quel qu'en soit le coût.
- ✓ La meilleure disponibilité possible en respectant les limites budgétaires allouées.

Quand la fiabilité s'accroît, le nombre de défaillances décroît ce qui diminue le nombre des réparations, leur coût et le coût global des défaillances (figure 3.2) [13].

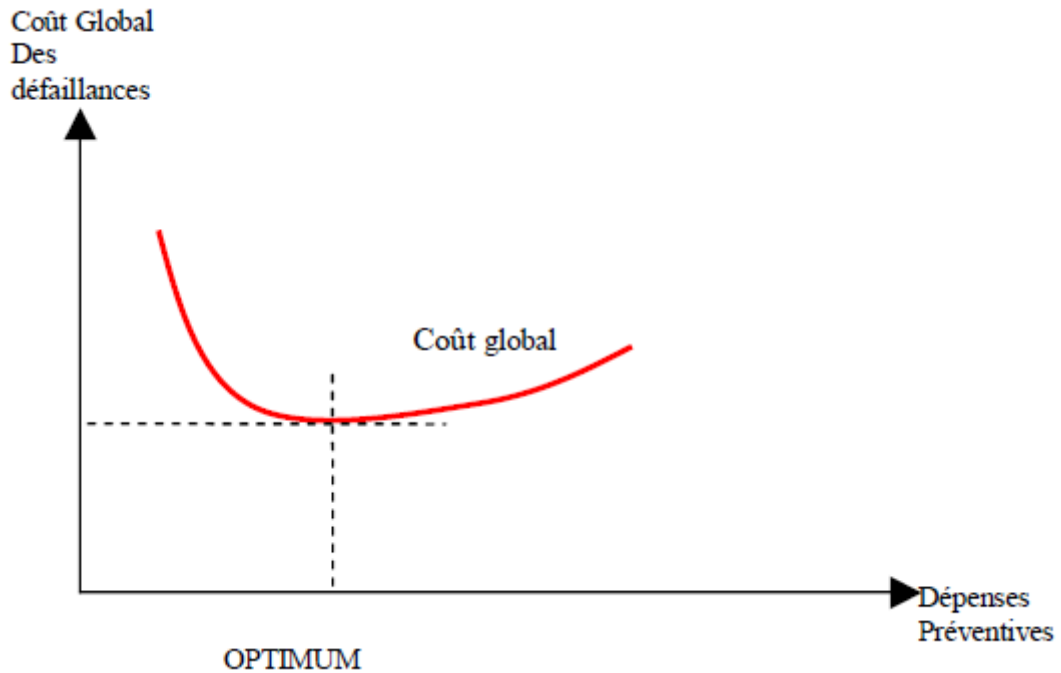


Figure 3.2 : Evolution des coûts des réparations [13]

3.4. Fiabilité

Selon la norme X 06-50, la fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps données, noté $R(t)$. Au temps 'zero' la probabilité de fonctionnement est 'un' (100%), au fur et à mesure que la durée de vie augment cette probabilité diminue (figure 3.3) [14].

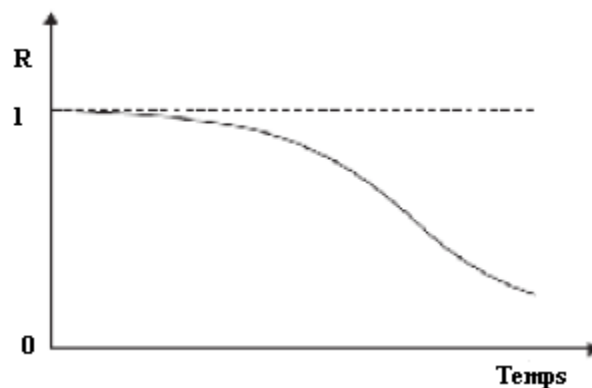


Figure 3.3 : Courbe de la fonction fiabilité $R(t)$

Cette grandeur R n'est pas très facile à calculer ni à manipuler à cause de ce temps et l'on se contente très souvent d'utiliser des indicateurs de la fiabilité.

1. MTBF : (Mean Time Between Failures) Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement entre deux défaillances.

Chapitre 3 : Maintenance d'un système photovoltaïque

2. MTTF : (Mean Time To Failure) moyenne des temps de bon fonctionnement avant la première défaillance

3. MTTR (Mean Time To Repair) la moyenne des temps de réparation

4. Disponibilité (D)

Le dernier critère (D) est très intéressant puisqu'il englobe les autres critères (MTBF et MTTR) :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

5. MUT : durée moyenne de fonctionnement après réparation (Mean Up Time).

6. MDT: durée moyenne d'indisponibilité (*Mean Down Time*). Cette durée comptabilise le temps de détection de la panne, le temps de réparation et la remise en service. [14]

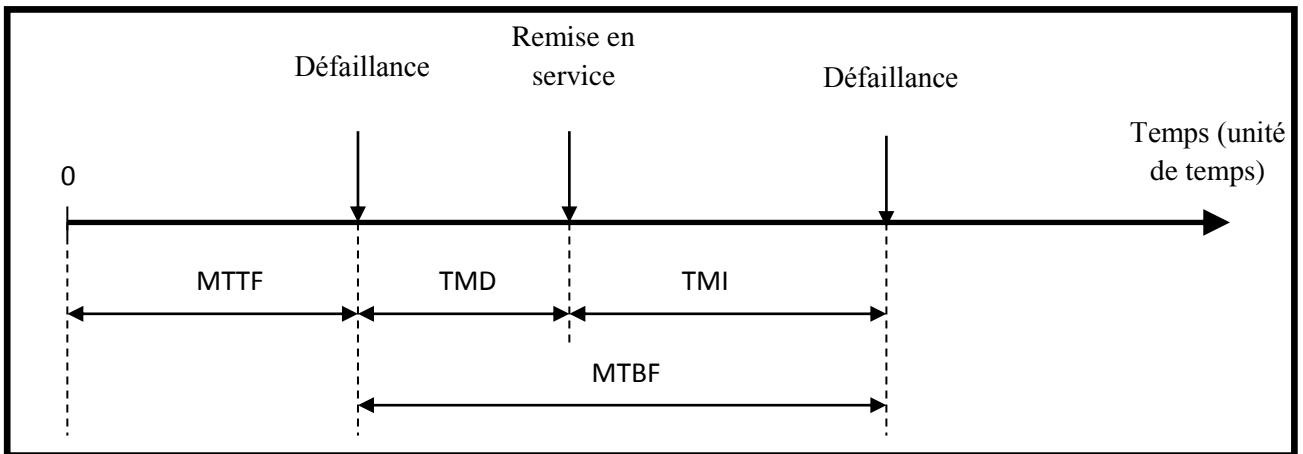


Figure 3.4 : Représentation de MTBF, MTTT, TMI et TMD

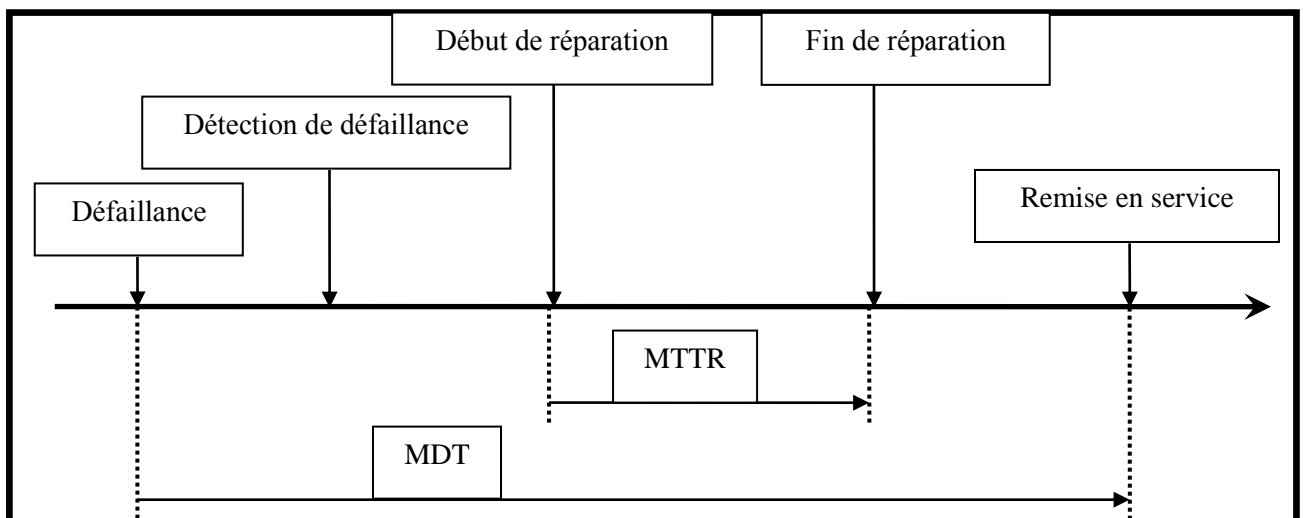


Figure 3.5 : Représentation de MDT et MTTR

3.5. Défaillances

3.5.1. Caractéristiques des défaillances

une défaillance est la cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise.

Après une défaillance, le bien est en panne, totale ou partielle.

Synonymes usuels non normalisés : « failure » (anglais), dysfonctionnement, dommages, dégâts, anomalies, avaries, incidents, défauts. On appelle dégradation une défaillance progressive.

Après défaillance, cette entité est donc en état de panne. La défaillance est donc le passage d'un état à un autre, par opposition à une panne qui est un état. Elle se caractérise par .

- ✓ Cause de défaillance : circonstances liées à la conception, à la fabrication, à l'installation, à l'utilisation et à la maintenance qui ont conduit à la défaillance.
- ✓ Mécanisme de défaillance : processus physiques, chimiques ou autres qui conduisent ou ont conduit à une défaillance.
- ✓ Mode de défaillance : effet par lequel une défaillance se manifeste.
- ✓ Panne : état d'un bien inapte à accomplir une fonction requise.
- ✓ Dégradation : évolution irréversible des caractéristiques d'un bien liée au temps ou à la durée d'utilisation [14]

3.5.2. Classification des défaillances

Les caractéristiques d'une défaillance doivent être correctement identifiées afin de prévoir et d'organiser l'intervention nécessaire pour la remise en état initial de l'entité : [14]

Tableau 3.1 : Classification des défaillances

En fonction	Caractéristiques
De la vitesse d'apparition	Progressive ou soudaine
De l'instant d'apparition	En fonctionnement, à l'arrêt, à la sollicitation
Du degré d'importance Partielle	complète, permanente, fugitive, intermittente, etc.
Des causes	Faiblesse, emploi inapproprié, fausse manœuvre, vieillissement, etc.
De son origine	Interne (intrinsèque) ou externe (extrinsèque) à l'entité
De ses conséquences	Critique, non critique, majeure, mineure
De leur caractère	Reproductible, non reproductible, systématique, etc.
De la vitesse d'apparition et du degré d'importance	Par dégradation ou catalectique

On fonction de leur origine, on distingue :

- ✓ **Défaillances de causes intrinsèques** : défaillances dues à une mauvaise conception du bien, à une fabrication non conforme du bien ou à une mauvaise installation du bien. Les défaillances par usure (liées à la durée de vie d'utilisation) et par vieillissement (liées au cours du temps) sont des défaillances intrinsèques.
- ✓ **Défaillance de causes extrinsèques** : défaillances de mauvais emploi, par fausses manœuvres, dues à la maintenance, conséquences d'une autre défaillance.

3.6. Phénomène de dégradation

3.6.1. Définition

C'est un affaiblissement graduel et continu (Petit Robert). Un matériel qui subit une dégradation voit ses performances diminuer progressivement, plus ou moins rapidement mais inexorablement. S'il n'y a pas d'intervention, ce processus irréversible peut se poursuivre jusqu'à la destruction complète.

Cependant, le caractère progressif des dégradations s'accompagne généralement de signes avant-coureurs qu'il faut pouvoir déceler.

Les processus de dégradation ont pour causes des phénomènes physiques et/ou chimiques et ils concernent essentiellement les parties mécaniques des systèmes. [14]

3.6.2 Causes de dégradation

Les dégradations sont la résultante de 4 paramètres :

- ✓ La matière utilisée pour les composants,
- ✓ Les procédés d'obtention des composants,
- ✓ La conception du système,
- ✓ Les conditions d'utilisation.

Une récapitulation des défaillances dans un système photovoltaïque (PV) sera présentée dans la suite de ce chapitre, ainsi que les interventions sur cet équipement avant (maintenance préventive) et après (maintenance corrective) défaillance.

3.7. Défaillance du générateur photovoltaïque

Au cours de son fonctionnement, une installation PV peut être éventuellement soumise à différents défauts et conditions de fonctionnement anormales. Les défauts et les anomalies apparus varient d'une installation à une autre en fonction de sa conception, installation, opération et maintenance [15].

Le Tableau suivant liste les défauts et leurs origines dans un générateur photovoltaïque.

Tableau 3.2 : les défauts de générateur photovoltaïque et ces origines

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

3.8. Méthodes de diagnostic d'un système photovoltaïque

Dans cette partie, nous montrons les méthodes de diagnostic existantes, même si l'intégralité des défauts retenus n'y est pas prise en compte

L'étude bibliographique de la méthode de diagnostic se focalise sur : des méthodes courantes industrialisées et les méthodes dans la littérature [15].

3.8.1. Méthodes de diagnostic courantes industrialisées

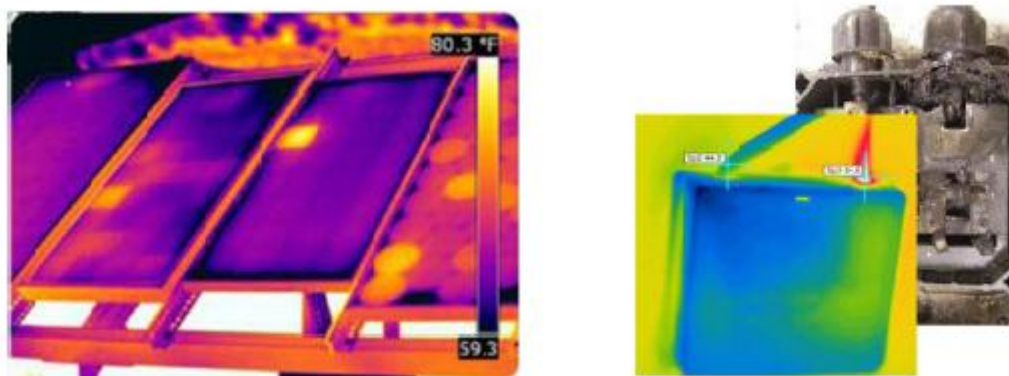
On peut distinguer deux catégories de méthodes de diagnostic courantes industrialisées : Des méthodes reposant sur l'analyse du courant et de la tension (que nous appellerons méthodes électriques) et des méthodes reposant sur l'analyse d'autres grandeurs que I et V (que nous appellerons méthodes non-électriques).

3.8.1.1. Méthodes non-électriques

Il existe plusieurs méthodes non-électriques, destructives ou non destructives, pour diagnostiquer le défaut au niveau de cellule PV.

Le défaut principal qui peut avoir lieu à ce niveau est la fissure de la cellule. On peut citer comme méthodes : les essais mécaniques de flexion, l'imagerie par photoluminescence et électroluminescence, tests de thermographie.

Au niveau du module PV, la méthode de l'imagerie d'infrarouge (caméra thermique) est largement appliquée. Cette méthode repose sur le fait que tous les matériaux émettent un rayonnement infrarouge sur une plage de longueur d'onde qui dépend de la température du matériau. En examinant la distribution de la température au niveau du module, des anomalies (Si elles ont lieu) peuvent être localisées, comme le montre la figure(3.6).



(a) cellule court-circuitée

(b) corrosion dans la boîte de jonction

Figure 3.6 : Quelques exemples de la localisation de défauts par la caméra thermique

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

3.8.1.2. Méthodes électriques

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

- ✓ Le courant débité par le générateur PV,
- ✓ La tension aux bornes du générateur PV,
- ✓ La résistance entre les bornes du générateur PV.

3.8.2. Méthodes dans la littérature

De nombreuses méthodes de diagnostic ont été proposées pour détecter et localiser les défauts dans un système PV. Nous résumons dans cette partie les différentes méthodes proposées.

3.8.2.1. Méthode de réflectométrie

La méthode de réflectométrie est une méthode de diagnostic qui consiste à envoyer un signal dans le système ou le milieu à diagnostiquer. Ce signal se propage selon la loi de propagation du milieu étudié et lorsqu'il rencontre une discontinuité, une partie de son énergie est renvoyée vers le point d'injection. L'analyse du signal réfléchi permet de déduire des informations sur le système ou le milieu considéré. Cette méthode a été également appliquée pour détecter le défaut dans un string photovoltaïque.

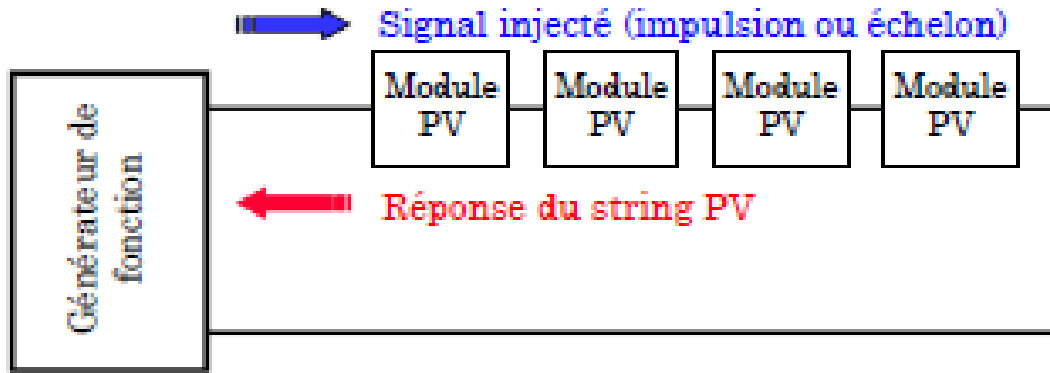


Figure 3.7 : Principe de la réflectométrie pour localiser le défaut dans un string PV

Un signal de type échelon ou impulsion est injecté dans le string PV qui consiste en une série de modules connectés par des câbles. Des études expérimentales ont confirmé la possibilité de localiser la position de défaut de type « circuit ouvert », « court-circuit » et « augmentation d'impédance » dans le string.

3.8.2.2. Analyse du point de fonctionnement

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

La comparaison relationnelle entre ces courants et entre ces tensions donne deux couples de valeur binaire (0 ou 1). Suivant la combinaison de ces deux couples, la nature des problèmes du champ PV peut être identifiée. Les quatre familles de problèmes sont les suivantes

- ✓ modules défectueux dans un string,
- ✓ string défectueux,
- ✓ famille de défauts non discriminables : ombrage, erreur de MPPT, vieillissement,
- ✓ fausses alarmes.

3.8.2.3. Analyse de la caractéristique statistique

Nous avons vu précédemment qu'un module photovoltaïque peut être décrit par sa caractéristique statique courant/tension (caractéristique I-V). La modification d'une telle caractéristique peut être espérée lorsque qu'il y a un changement de l'état du module PV provoqué par un changement de la condition de fonctionnement (ensoleillement et température) ou par une apparition d'un ou de défauts dans le champ. La figure suivante montre l'allure d'une caractéristique I-V d'un module PV en fonctionnement défaillant (ombrage sur des cellules) comparée avec celle en fonctionnement normal

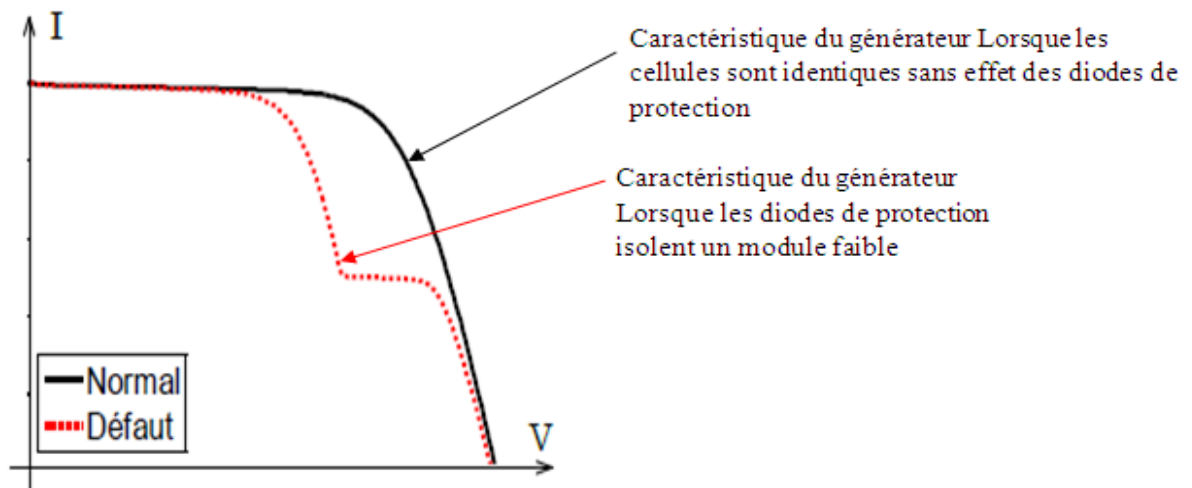


Figure 3.8: Allure d'une caractéristique I-V d'un générateur PV en fonctionnement défaillant

Les différentes méthodes de diagnostic d'un générateur photovoltaïque (couramment industrialisées ou non) avec leurs fonctionnalités sont résumées dans le tableau suivant.

Chapitre 3 : Maintenance d'un système photovoltaïque

Tableau 3.3 : Comparaison des différentes méthodes de détection de défauts dans générateur PV [15]

Méthodes	Défauts	Mesure
Méthodes nonélectriques	- Fissure de la cellule	Image
Imagerie infra rouge	- Courant de fuite - Augmentation de la résistance de la connectique - Echauffement anormal des cellules, des modules - Dysfonctionnement de la diode (bypass et anti-retour)	Image
Méthode de réflectométrie	- Circuit ouvert - Court-circuit - Augmentation de l'impédance de la connectique	Signal réfléchi
Analyse du point de fonctionnement	- Modules défectueux - Défauts non discriminables entre (ombrage, vieillissement, erreur de MPPT) - Fausses alarmes	I_{AC} , V_{AC} , G , T
Analyse de la caractéristique statistique	-Augmentation de la résistance série -Diminution de la résistance shunt -Ombrage -Mismatch	I-V

I_{AC} = Courant côté AC ; V_{AC} = Tension côté AC ; G = Ensoleillement ; T = Température

3.9. Mécanismes de dégradation des batteries

Les défaillances dans le deuxième élément important (batterie) d'un système PV, sont décrites par la suite :

3.9.1. Corrosion des électrodes

Les électrodes, surtout positives, sont sensibles à la corrosion. Le plomb de la grille se transforme en dioxyde de plomb PbO_2 . La vitesse de corrosion augmente avec la concentration en acide sulfurique, la température et quand la batterie vieillit.

La corrosion provoque un gonflement des électrodes positives car le dioxyde de plomb est 37% plus volumineux que le plomb. Ceci induit des contraintes mécaniques qui déforment les électrodes et fragilisent la liaison entre la grille et les matériaux actifs : la capacité de la batterie diminue alors car la résistance interne augmente.

Si la corrosion devient trop importante, les matériaux actifs tombent peu à peu au fond des accumulateurs, et l'ensemble des électrodes se désagrège. L'ensemble de ces débris peut alors créer des courts-circuits. Ainsi, dans certaines batteries, les séparateurs enveloppent les électrodes afin d'éviter l'accumulation de débris au fond des accumulateurs [16].

3.9.2. Sulfatation

Durant la décharge, des cristaux de sulfate de plomb ($PbSO_4$) se forment sur les électrodes positives et négatives. Si la batterie reste longtemps déchargée, ces cristaux de sulfate de plomb grossissent et coalescent. Ils peuvent alors déformer les électrodes et provoquer des courts-circuits en perforant les séparateurs.

Si la batterie reste déchargée trop longtemps, la transformation des matériaux actifs (Pb et PbO_2) en sulfate peut devenir irréversible, ce qui réduit la capacité effective de la batterie. De plus, les sulfates augmentent la résistance interne des batteries car ils ne sont pas de bons conducteurs électriques.

L'occurrence de la sulfatation dépend :

- du taux de décharge,
- du temps de maintien de la batterie sous un taux de décharge donné.

- du type de batterie plomb/acide, en particulier des alliages de plomb utilisés [16].

3.9.3. Stratification de l'électrolyte

La stratification de l'électrolyte est un problème propre aux batteries ouvertes (électrolyte liquide) ; la stratification est généralement provoquée par un état prolongé de sous charge ou par des surcharges qui ne sont pas assez fréquentes car la surcharge crée des bulles d'oxygène et d'hydrogène qui permettent d'agiter l'électrolyte.

Un des objectifs des charges d'égalisation est de lutter contre les effets néfastes de la stratification en créant ce bouillonnement gazeux qui agite l'électrolyte et uniformise sa concentration.

3.9.4. Risque à la surcharge et au dégazage

Quand la tension de charge excède une valeur qui dépend du type de batterie, la batterie est en surcharge : le dégazage devient trop important.

- Batterie VRLA :

Les batteries VRLA doivent absolument éviter le dégazage car l'eau de l'électrolyte est alors électrolysée : comme on ne peut pas rajouter de l'eau (la batterie VRLA est scellée), la batterie se dessèche peu à peu et la durée de vie est alors très faible.

Les performances des batteries VRLA sont très liées à la qualité de la régulation de la charge, qui devra prendre en compte l'ensemble des paramètres cités précédemment.

- Batteries « ouvertes »:

Pour les batteries ouvertes, le dégazage est nécessaire et bénéfique car il combat la stratification, mais il ne doit pas dépasser quelques minutes car:

- le dégazage provoque une élévation de température,
- les bulles descendent les matériaux actifs des grilles,
- le dégazage consomme de l'électricité,
- les dégagements gazeux consomment de l'eau, ce qui a pour effet d'augmenter la concentration de l'électrolyte en acide sulfurique (+ de corrosion) ainsi que d'augmenter les besoins en maintenance.

Chapitre 3 : Maintenance d'un système photovoltaïque

La production d'hydrogène induit des risques d'explosion. Les endroits où sont placées les batteries ouvertes doivent être ventilés car il y a risque d'explosion quand la concentration de l'air en hydrogène atteint 4% [16].

3.9.5. Effet de la température

- Influence de la température sur la durée de vie des batteries

La température a des effets importants sur la durée de vie des batteries au plomb. Quand la température augmente de 10°C, la vitesse des réactions électrochimiques double ; la durée de vie moyenne des batteries diminue d'un facteur 2 à chaque augmentation de 10°C car la corrosion est accélérée. Quand la température baisse, la durée de vie des batteries augmente, mais leur capacité diminue.

- Emballement thermique :

Si une batterie opère sous une température ambiante élevée alors qu'elle est en surcharge, la quantité de chaleur produit lors d'un dégazage intensif peut dépasser la quantité de chaleur qui s'échappe de la batterie. La température de la batterie s'élève alors, ce qui accélère encore la vitesse des réactions chimiques exothermiques ; c'est l'emballement thermique et la batterie sera perdue.

Pour éviter les problèmes de température, les batteries doivent être placées dans un bâtiment thermiquement isolé ou doivent être associées à des radiateurs thermiques.

3.10. Maintenance d'un système photovoltaïque

Les interventions sur ce type d'équipement peuvent être préventives ou correctives.

3.10.1. Maintenance préventive d'un système PV (panneaux PV et batteries de stockage)

3.10.1.1. Inspection visuelle des modules

Celle-ci est importante pour déceler :

- ✓ des modules brisés ou souillés,
- ✓ des dé-laminations éventuelles (altération de l'état de surface des cellules pouvant entraîner de la condensation à l'intérieur des modules),
- ✓ la présence de feuilles mortes ou autres déchets,

- ✓ l'état de fixation des modules par rapport à la structure, et pour vérifier aussi la croissance de la végétation (arbres alentours ou mousse sur les modules cadrés ...).

3.10.1.2. Nettoyage des modules

Le nettoyage des modules dépend beaucoup de l'environnement et l'inclinaison du système :

- ✓ On peut dire qu'un champ incliné à plus de 15° pourra être nettoyé par les intempéries s'il se situe dans un environnement n'étant pas particulièrement poussiéreux ou agressif. Dans ce cas le nettoyage n'a pas besoin d'être planifié et pourra avoir lieu uniquement si l'on constate un état de surface sale.
- ✓ Pour des surfaces moins inclinées, un nettoyage peut être prévu selon des périodicités de 2 à 4 ans pour des environnements peu pollués.
- ✓ Dans le cas de façades en brise-soleil, sur plusieurs niveaux, le nettoyage devra être plus fréquent (2 à 3 ans), puisque les rangées du bas subissent très peu les intempéries du fait de celles du haut les protégeant.
- ✓ Des conditions plus spécifiques nécessitent des nettoyages réguliers comme la présence d'oiseau en nombre important, la proximité de réseaux ferrés denses, d'industries émettrices de substances volatiles (peintures, boulangerie industrielle...) ou d'exploitations agricoles.

D'une manière générale, avant de déterminer une périodicité fixe, il est préférable d'observer le niveau de salissure des installations les deux premières années pour évaluer la fréquence et la nécessité des opérations de nettoyage.

3.10.1.3. Vérification et dépoussiérage des onduleurs

Cette action consiste à :

- ✓ Vérifier le fonctionnement des onduleurs (Led témoins, affichage sur les appareils...).
- ✓ Nettoyer si besoin les entrées d'air des onduleurs (ventilateurs) et/ou les dissipateurs de ces derniers pour faciliter leur refroidissement.
- ✓ Si ceux-ci sont dans un local poussiéreux, augmenter la fréquence d'intervention.
- ✓ Dans le même ordre, on s'assurera que les dispositifs de ventilation du local recevant les onduleurs sont propres.

3.10.1.4. Inspection des boîtiers DC

L'inspection consiste à :

- ✓ Vérifier le bon état des isolants et l'absence de dégâts causés par les animaux (rongeurs).
- ✓ Vérifier le serrage des connexions.
- ✓ Contrôler l'état des parafoudres (fenêtres d'état sur la protection).
- ✓ Contrôler l'état des fusibles.

3.10.1.5. Tests électriques

Les tests électriques consistent à :

- ✓ Manœuvrer les protections AC et contrôler le découplage de l'onduleur.
- ✓ Manœuvrer les protections DC.
- ✓ Vérifier la continuité des liaisons équipotentielles.
- ✓ Mesurer des tensions de branche DC.
- ✓ Tester les dispositifs d'arrêt d'urgence.
- ✓ Vérifier l'état de la signalétique sur les équipements électriques.
- ✓ Relever les index de comptage.
- ✓ Vérifier le fonctionnement des panneaux didactiques (données en adéquation avec la production) [17].

3.10.1.6. Batteries

Seuls très peu de détails doivent être respectés pour la maintenance préventive des batteries :

- ✓ Remplissez d'eau, à la fin de la charge.
- ✓ Maintenez la batterie propre et sec.
- ✓ Rechargez la batterie immédiatement après la décharge.
- ✓ Ne pas décharger une batterie exhaustive (plus de 80%).
- ✓ Ne pas surcharger la batterie (charge maximale facteur 1.2).
- ✓ Température de la batterie ne doit pas dépasser 55 C° [18].

3.10.2. Maintenance corrective (panneaux PV et batteries de stockage)

Dans le tableau suivant, nous allons présenter quelques défaillances dans le système photovoltaïque, leurs causes probables et les actions d'intervention pour corriger ces défauts.

Chapitre 3 : Maintenance d'un système photovoltaïque

Tableau 3.4 : Causes probables et remèdes des défaillances dans un système PV.

Elément	Défaillances	Causes	Actions
Module PV	Le module PV ne délivre pas d'énergie électrique	Points chauds	Changement de module
		Défaillance de la boîte de jonction	Changement de la boîte de jonction
		Vitrage cassée	Changement de module
		Défaillance de la diode by-pass du module	Changement de module
		Dé-lamination	Changement de module
	Le module PV délivre une puissance dégradée inférieure à la puissance maximale	Cellules cassées / micro cracks	aucune intervention
		Défaillance de la soudure des rubans	aucune intervention
		Interconnexions cassées	aucune intervention
		Décoloration de l'encapsulant	aucune intervention
		Corrosion	aucune intervention
Câble DC	L'énergie électrique n'est pas transmise à l'onduleur	Câble coupé	Changement de câble
		Fonte des câbles (UV, feu,...)	
	L'énergie électrique transmise à l'onduleur est inférieure à l'énergie fournie par les modules	Corrosion des connectiques	
Onduleur	L'onduleur ne délivre pas d'énergie électrique alternative	Défaillance de l'EEPROM	Changement de l'eprom
		Dysfonctionnement de communication interne	Changement d'onduleur
		Panne des relais de sortie	Changement des relais

Chapitre 3 : Maintenance d'un système photovoltaïque

		Tension continu du BUS trop élevé	Diminution de la tension
		Défaillance du MPPT	changement de régulateur
Câble AC	L'énergie électrique n'est pas transmise au réseau	Câble coupé	Changement des câbles
		Fonte des câbles (UV, feu,...)	
	L'énergie électrique transmise à l'onduleur est inférieure à l'énergie fournie par l'onduleur	Corrosion des connectiques	

Le tableau 3.5 discerne les causes probables et les actions d'intervention pour corriger défaillances dans les batteries de stockages [18].

Tableau 3.5 : Causes et actions d'intervention sur les défaillances des batteries de stockage.

Elément	défaillances	Causes	actions
Batteries	L'acide chauffe au remplissage d'une batterie neuve	- Mauvaise composition - Mauvais stockage - Stockage assez long dans un lieu humide	- Refroidir - Charger - Contrôler la densité de l'acide
	L'acide s'écoule par les trous de remplissage	- Trop plein de remplissage de la batterie	- Baisser le niveau de liquide de batterie
	Niveau d'acide trop bas	- Bac de batterie non étanche - Formation importante de gaz à cause d'une tension de charge trop élevée	- Remplacer la batterie - Contrôler le chargeur et réparer si nécessaire
	Niveau d'acide trop bas Mauvais comportement au démarrage	- Charge insuffisante - Court-circuit dans le circuit du courant - Défaut de consommation	- Baisser le niveau de l'acide et remplir avec de l'eau distillée. Répéter l'opération si besoin
	Bornes de batterie fondues	- Mauvaise connexion électrique - Mauvais câblage de la batterie	- Serrer les extrémités des câbles de la batterie ou les remplacer si nécessaire
	Un ou deux éléments dégazent	- Élément(s) défectueux	- Monter une nouvelle batterie

Chapitre 3 : Maintenance d'un système photovoltaïque

	fortement lors d'une charge importante		
	La batterie se décharge très vite	<ul style="list-style-type: none"> - Etat de charge trop faible - Court-circuit dans le circuit de courant - Auto- décharge élevée (par exemple : par salissure de l'électrolyte) - Sulfatation (stockage de la batterie déchargée) 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôler la charge - Remplacer la batterie
	Courte durée de vie	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise référence de batterie - Trop de décharges profondes répétées - Stockage trop long de la batterie déchargée 	<ul style="list-style-type: none"> - Définir la bonne référence de batterie pour l'utilisation préconisée - Penser à charger la batterie à l'aide d'un régulateur
	Consommation d'eau élevée	<ul style="list-style-type: none"> - Surcharge - Tension de charge trop élevée 	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier le chargeur (régulateur de tension).
	La batterie explose	<ul style="list-style-type: none"> - Etincelle après la charge de la batterie - Court-circuit - Branchement ou débranchement lors de la charge - Défaut interne (par exemple : interruption) et niveau d'électrolyte bas 	<ul style="list-style-type: none"> - Remplacer la batterie (attention au feu et aux étincelles) - Veiller à une aération suffisante

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons procédé à la présentation des notions fondamentales de la maintenance, et les méthodes d'analyse de la fiabilité d'un système complexe.

Nous avons discerné les défaillances dans un système photovoltaïque et plus particulièrement les défaillances dans les panneaux photovoltaïques et les batteries de stockage.

Nous avons mis en évidence leurs principales causes, les différentes méthodes pour détecter ces défaillances et apporter des solutions sous forme d'actions préventives et correctives pour y remédier.