

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED – NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Énergies Renouvelables

Option : Énergies Renouvelables en Électrotechnique

Intitulé :

SURVEILLANCE ET DIAGNOSTIC DU DEFAUT D'OMBRAJE PARTIEL DANS UNE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE

Présenté par :

- BENYOUCEF Mohammed
- KADDOURI Islam Eddine
- BENMAHI Abdessamad

Soutenu le :26/09/2022 devant le Jury :

M. BELHACHI Sofyane	MAB	Centre Universitaire Naâma	Président
M. KHESSAM Medjdoub	MCB	Centre Universitaire Naâma	Encadreur
M. SAADA Zakarya	Master	Centre Universitaire Naâma	Co-Encadreur
M. MEDJAJI Nacera	MAB	Centre Universitaire Naâma	Examineur
M. AMARA Zayneb	MAB	Centre Universitaire Naâma	Examineur

Naama – Algérie - 2022

Remerciements et dédicace

Nous remercions tout d'abord nos directeurs, Prs. Khassam et Saada, pour leur orientations et encouragement pour que nous ont aidé à avoir cette formation de Master. Nous remercions aussi tous les gens qui nous ont aidé à réaliser ce modeste travail.

Nous dédions ce modeste travail à tous les membres des familles Benyoucef, Kaddouri, Belmahi. A nos chers parents, frères et sœurs.

Table des Matières

Remerciements et dédicace	2
Acronymes Et Symboles	8
Introduction générale	10
Chapitre I: Etat de l'art sur le diagnostic	12
I.1 Introduction	13
I.2 Terminologies et concepts :.....	13
I.3 Différents types de défauts :.....	14
1.3.1.2 Les défauts capteurs :	15
1.3.2 Les différents types de défauts selon la dynamique :	16
1.3.2.2 Défaut graduel :	16
1.3.2.3 Défaut intermittent :	16
I.4 Considération générales sur les systèmes de diagnostics	16
1.4.1 Rapidité :	17
1.4.2 Isolabilité :	17
1.4.3 Robustesse :	17
1.4.4 Adaptabilité :	17
1.4.5 Identification de défauts multiples :	18
1.4.6 La sensibilité :	18
I.5 Les différentes étapes de diagnostic	19
1.5.1 La détection :	19
1.5.2 La localisation :	19
1.5.3 L'identification :	19
I.6 Principe de diagnostic de défaut :.....	20
1.6.1 Redondance physique (matérielle) :	20
1.6.2 Redondance analytique :	20
I.7 Génération et évaluation de résidus.....	21
1.7.1 Génération de résidus :	21
1.7.2 Evaluation des résidus :	21
I.8 Classification des méthodes de diagnostic	21
1.8.1 Méthodes sans modèles :.....	22
1.8.1.1 La reconnaissance des formes (RDF) :.....	22
1.8.1.2 les réseaux de neurones artificiels (RNA) :	23
1.8.1.2 Les systèmes d'inférences floue (SIF) :	24
1.8.2 méthode à base de modèles :	24

1.8.2.1	Espace de parité :	25
1.8.2.2	: Estimation d'état (observateur) :	27
1.8.2.3	: Observateurs à entrées inconnues(UIO)	28
1.9	Les systèmes tolérants aux défauts	29
I.10	Synthèse des méthodes de diagnostic	29
I.10.1	Méthodes de redondance matérielle	29
I.10.2	Méthodes à base de connaissance	30
I.11	Conclusion	30
Chapitre II: Défauts et méthodes de diagnostic des Photovoltaïques		31
I. introduction		32
II.1	Défauts des panneaux photovoltaïques :	32
II.4	Défaut Fissures dans les cellules :	34
II.5	Défaut d'ombrage :	35
II.6	Défaut délamination :	36
II.7	Points chauds (Hot spots) :	37
II.8	Défaut de diodes de bypass:	38
II.9	Défaut de diode anti-retour:	38
II.10	L'augmentation de la résistance série (R_s) :	39
II.11	La détérioration de la peinture antireflet :	40
III. Classification des défauts d'un générateur photovoltaïque :		41
IV. Méthodes de détection et de localisation de défauts dans un système photovoltaïque :		42
1.	Inspection visuelle :	42
2.	Mesure de la puissance aux conditions climatique à l'intérieure et à l'extérieure :	42
3.	Méthode de l'imagerie numérique infrarouge thermique :	43
4.	Méthode de réflectométrie :	43
5.	Méthodes basées sur des techniques d'intelligence artificielle IA:	44
a.	Les algorithmes génétiques (AG) :	45
b.	Machine à vecteur de support (SVM) :	45
c.	Logique floue (LF) :	45
d.	Réseaux de neurones artificiels (RNA) :	46
e.	Réseaux de neurones flous (neuro-floue) :	47
6.	Méthode d'analyse du point de fonctionnement :	47
7.	Électroluminescence (EL) et photoluminescence (PL) :	48
8.	Vibrations Ultrasoniques :	49
9.	Connexion CTCT des cellules photovoltaïque :	49
10.	Analyse de la caractéristique statique :	52
11.	Méthodes électriques :	53
V. Conclusion :		54

Chapitre III: Diagnostic des défauts d'ombrage et de Fusible	55
I. Introduction	56
II. Méthodes de détection et de localisation de défauts dans un système photovoltaïque :	56
III Résultats de simulation et discussions.....	60
Cas $I1=I2=I3=I4=I_{max}$:.....	61
Cas d'endommagement des fusibles :	62
Cas $I2=I3=I4=0$ et G1 ombrée :.....	62
Cas d'endommagement des fusibles G1 et G3 et ombrage sur G2 et G4 :.....	63
Cas $I2=I3=0$ et G1 et G4 ombrées:	63
Cas % d'ombrage par rapport à 8.43 A:	64
Cas I2 Ombrée à 75%:	64
Cas d'ombrage de G3 à 50% :	65
Cas d'ombrage de G4 à 25%	65
IV Conclusions.....	66
Conclusion Générale	68

Liste des figures

Figure I.1 : différent type de défauts agissant sur un système.5	15
Figure I.2 : types de défauts selon la dynamique	16
Figure I.3 : différentes étapes de diagnostic	19
Figure I.4 : Redondance physique et analytique.	20
Figure I.5 : les méthodes de diagnostic.	22
Figure I.6 : Principe de la reconnaissance des formes	23
Figure I.7 : Principe de la l'inférence floue	24
Figure I.8 : Principe des méthodes de diagnostic avec modèles	25
Figure I.9 . Principe de l'approche par estimation des paramètres.	26
Figure I.10 . Principe général d'un estimateur de sortie.	27
Figure I.11 : Génération des résidus par les UIO	28
Figure I.12 : Génération des résidus une banques d'UIO	28
Figure II.1 : Défaut de Jaunissement	33
Figure II.2 : Défaut de bulles d'air.	34
Figure II.3 : fissures dans les cellules PV.	35
Figure II.4 : Défaut d'ombrage partiel.	36
Figure II.5 : Dégradation du module photovoltaïque par délamination	37
Figure II.6 : défaut de point chaud.	37
Figure II.7 : Schéma bloc d'un groupe de cellules PV avec la diode de bypass défaillante	38
Figure II.8 : Schéma bloc d'un champ PV avec la diode anti-retour défaillante	39
Figure II.9 : Défaut d'augmentation de la résistance R_s .	39
Figure II.10 : Courbe défaut d'augmentation de la résistance R_s .	40
Figure II.11 : La détérioration de la peinture antireflet	40
Figure II.12 : Méthode de l'imagerie numérique infrarouge thermique	43
Figure II.13 : Principe de la réflectométrie pour localiser le défaut dans un string PV.	44
Figure II.14 : Schéma de principe utilisant les RNA[83].	47
Figure II.15 : Image par électroluminescence d'un module PV.	48
Figure II.16 : principe de la méthode de la connexion CTCT.	49
Figure II.17 : Organigramme de déroulement de logiciel	50
Figure II.18 : Allure de la caractéristique I -V d'un champ PV	52
Figure III.1 Datasheet Arduino Nano	59
Figure III.2 Datasheet LCD 2004A	60

Figure III.3 : Potentiomètre B50K	60
FigureIII.4 : Algorithme de diagnostic de défauts	60
FigureIII.5 : Les courants des groupes supérieurs à 6 A	62
FigureIII.6: $I_1=I_2=I_3=I_4=8,43(I_{max})$	62
FigureIII.7: Les courants des groupe égale à 0	63
FigureIII.8: I_1 Ombrée et $I_2=I_3=I_4=0$	63
Figure III.9: Les courants des groupes et le seuil de détection de défauts	64
FigureIII.10: $I_2=I_3=0$ et $I_1/4$ ombrée	64
FigureIII.11: Ombrage par rapport à 8,43	65
FigureIII.12: I_2 Ombrage de 75%	65
FigureIII.13: I_3 Ombrage 50%	66
FigureIII.14: I_4 Ombrage 25%	66

Liste des tableaux

Tableau II.1 : la classification des défauts selon leurs catégories	41
Tableau III.1 : Raccordement des Matériaux	59
Tableau III.2 : Pourcentage de l'ombrage à différents courants choisis	67

Acronymes Et Symboles

Acronymes et Symboles : Selon leur ordre d'apparition dans ce travail.

Acronyme et Symbole	Définition	Unité
<i>E_g</i>	Energie de gap	<i>eV</i>
<i>h</i>	Constante de Planck ($6,626.10^{-34}$)	<i>J.s</i>
<i>C</i>	Célérité de la lumière dans le vide (3.10^8)	<i>m/s</i>
<i>λ</i>	Longueur d'onde de la lumière	<i>μm</i>
<i>I_{sc}</i>	Courant de court-circuit	<i>A</i>
<i>V_{oc}</i>	Tension de circuit-ouverte	<i>V</i>
<i>I</i>	Courant	<i>A</i>
<i>V</i>	Tension	<i>V</i>
<i>V_t</i>	Tension thermique de la jonction	<i>J/C</i>
<i>K</i>	Constante de Boltzmann ($1,38.10^{-23}$)	<i>J/K</i>
<i>Q</i>	Charge de l'électron ($1,602.10^{-19}$)	<i>C</i>
<i>T</i>	Température absolue, température de la cellule PV	<i>K</i>
<i>I_s</i>	Courant de saturation de la diode	<i>A</i>
<i>I_{ph}</i>	Photo courant	<i>A</i>
<i>R_s</i>	Résistance série	<i>Ω</i>
<i>R_{sh}</i>	Résistance shunt	<i>Ω</i>
<i>P_{max}</i>	Point de puissance maximale	<i>W</i>
<i>I_{mp}</i>	Courant maximum au point <i>P_{max}</i>	<i>A</i>
<i>V_{mp}</i>	Tension maximale au point <i>P_{max}</i>	<i>V</i>
<i>FF</i>	Facteur de forme	
<i>PV</i>	Photovoltaïque	
<i>H</i>	Rendement énergétique	
<i>E</i>	L'éclairement	<i>W/m²</i>
<i>S</i>	Seuil de détection de défaut	<i>V</i>
<i>STC</i>	Conditions du Test Standard	
<i>I_d</i>	Courant traversant la diode	<i>A</i>
<i>A</i>	Facteur d'idéalité de la diode	
<i>I_{sh}</i>	Courant traversant la résistance shunt	<i>A</i>

<i>D</i>	Signale de défaut	
<i>P</i>	Puissance fournit par le module PV	<i>W</i>
<i>V_{th}</i>	Tension thermique totale	<i>J/C</i>
<i>N_{cs}</i>	Nombre des cellules connectées en série	
<i>N_p</i>	Nombre des cellules connectées en parallèle	
<i>N_{ssm}</i>	Nombre sous-modules connectés en série	
<i>N_{st}</i>	Nombre de strings branchés en parallèle	
<i>NP_p</i>	Nombre des panneaux connectés en parallèle	
<i>NP_s</i>	Nombre des panneaux connectés en série	
<i>PV</i>	Panneau photovoltaïque	
<i>GPV</i>	Générateur photovoltaïque	
<i>KV</i>	Coefficient : tension de circuit-ouvert / température	<i>V/°C, ou %/°C</i>
<i>KI</i>	Coefficient : courant de court-circuit / température	<i>A/°C, ou %/°C</i>
<i>G</i>	Insolation (radiation solaire) ou illumination	<i>W/m²</i>
<i>T_a</i>	Température ambiante	<i>°C</i>
<i>T_c</i>	Température de la cellule PV	<i>°C</i>
<i>B</i>	pourcentage d'ombrage de la cellule	<i>%</i>
<i>V_{br}</i>	la tension de rupture	<i>V</i>
<i>A</i>	facteur de correction	<i>W⁻¹</i>
<i>M</i>	exposant de rupture en avalanche	

Introduction générale

Le solaire est une énergie verte inépuisable et une source d'énergie alternative que l'humanité peut utiliser. L'énergie a augmenté dans divers domaines, des installations résidentielles et commerciales aux systèmes spatiaux, en raison de nombreux avantages, tels que l'absence de pollution. Ils ne sont pas encombrés, faciles à installer et nécessitent une courte période de temps de construction.

Dans les grandes installations, les centrales solaires PV peuvent comprendre des centaines de milliers de cellules photovoltaïques ou l'énergie solaire peut être stable et de qualité associée à l'état de fonctionnement de chaque cellule. Le défi pour ce type d'installation est de savoir comment surveiller l'énorme réseau de cellules solaires pour maintenir le fonctionnement normal de la centrale. Les générateurs sont généralement PV considérés comme fiables par rapport à d'autres systèmes, mais comme tout processus peut être un système PV sujet à de multiples défaillances conduisant à la défaillance du système, plusieurs études ont montré que la fiabilité des systèmes PV dépend fortement de l'équipement utilisé pour fabriquer les panneaux, de la chaleur, de l'humidité et du rayonnement solaire. Tout système peut présenter de nombreux défauts, qu'il s'agisse de formes de construction défectueuses ou de défauts physiques et électriques causés par les conditions climatiques. A ce titre, nous pouvons mentionner les défauts les plus récents d'un générateur PV r, à savoir l'absence d'ombrage partiel [1] [2] [3].

Le contenu du travail dans ce projet de fin d'étude dans le premier chapitre, nous avons présenté les principales méthodes de diagnostic que nous pouvons utiliser.

Le fonctionnement du générateur du système de télécommunications en cas de plusieurs défauts ou distorsions entraîne une faible performance ou un manque de disponibilité totale du système. Il est clair que toutes ces conséquences négatives entraîneront une baisse de la productivité et donc une réduction des coûts d'installation sans ajouter de coûts de maintenance aux systèmes qui réparent le système. Dans la littérature, il existe plusieurs algorithmes et méthodes pour détecter et suivre les défauts dans les systèmes industriels en général et dans les stations solaires. Les algorithmes sont conçus en fonction de l'étape de diagnostic souhaitée (découverte, identification et repérage). Leur application nécessite également des données adéquates sur l'état de la station.

Nous nous intéressons dans cette mémoire, à concevoir une approche complète de diagnostic qui réalise les trois étapes essentielles suivantes :

- La première étape consiste à détecter les dysfonctionnements - une décision bilatérale - soit le système fonctionne correctement, soit une panne se produit.
- La deuxième étape est : son rôle est de localiser et d'identifier les composants défectueux.
- La troisième option détermine la rapidité avec laquelle la défaillance se produit afin de déterminer le type de maintenance ou de correction à effectuer dans l'installation.

L'approche diagnostique proposée est basée d'une part sur l'utilisation d'un minimum de capteurs de tension et avec le moindre coût possible pour réaliser l'étape de détection et de localisation, et d'autre part sur la méthode d'analyse de la caractéristique $I(T)$ pour l'étape d'identification. Nous nous concentrons sur les défauts les plus fréquents, et qui ont quasiment la même signature (points d'inflexion) sur la caractéristique $I(T)$. Ces défauts sont l'ombrage partiel et l'augmentation de la force sérielle. Pour la validation des résultats théoriques, un système de laboratoire est conçu et construit. Ce système utilise un traceur de la caractéristique $I(T)$ basé sur un condensateur.

Pour mener à bien notre travail, nous l'avons organisé en trois chapitres selon le plan méthodologique suivant :

Le premier chapitre contient l'état de l'art sur le diagnostic des défauts. Dans le deuxième chapitre, nous passons d'abord en revue les différents défauts et méthodes de diagnostic des générateurs solaires. Nous suivons ensuite quelques méthodes pour déterminer les paramètres des cellules solaires. Avant de vérifier l'algorithme de détection des défauts proposé et la carte électronique faisant l'objet du chapitre, une étude bibliographique assez complète sera soumise aux méthodes de diagnostic et aux déficiences d'un dispositif générateur.

Chapitre I: Etat de l'art sur le diagnostic des systèmes industriels

I.1 Introduction

Le perfectionnement des performances de fonctionnement, de fiabilité et de sécurité et sûreté des systèmes ainsi que les enjeux économiques actuels qui sont la réduction des coûts de maintenance font tous partie de l'évolution de l'automatisation ces dernières années, or, cela implique l'accroissement de la complexité des systèmes industriels (i.e. : augmentation du nombre de composants et de leurs interactions).

L'objectif de ce chapitre est de donner un état de l'art sur les techniques et les méthodes utilisées dans le domaine de la surveillance et la supervision des systèmes industriels.

Pour cela, nous commençons tous d'abord par une introduction et un rappel de quelques définitions génériques utilisées dans le domaine de la surveillance, et par la suite nous abordons les différentes approches et méthodes de la détection et de la localisation des défaillances dans un processus industriel.

I.2 Terminologies et concepts :**Concepts et terminologies**

Avant d'entamer les chapitres suivants, il convient de définir les termes auxquels nous aurons souvent recours dans la suite

Supervision :

Représente la surveillance d'un système physique et la prise de décision pour maintenir son bon fonctionnement.

Une anomalie :

Est une particularité non conforme à la loi logique ou naturelle.

Résidu :

Est un signal indicateur d'anomalie basé sur la différence entre les valeurs mesurées et les valeurs attendues, sensiblement nul en fonctionnement normal et non nul en présence de défauts. Il reflète la cohérence des données vis-à-vis du modèle comportemental du système.

Seuil :

La valeur-limite de l'écart d'un résidu avec le zéro, s'il est dépassé, un défaut est déclaré comme remarqué.

Symptôme :

C'est un changement observable d'un comportement vis-à-vis de son comportement normal. Elle est un signe comportant une information de l'état réel du processus.

Un défaut :

Une déviation non autorisée et inattendue d'au moins une variable observée par rapport à sa valeur fixée dans les caractéristiques espérées de processus lui-même. Un défaut peut rester caché un certain temps avant de provoquer une défaillance.

Défaillance :

Est l'inaptitude d'un processus à accomplir sa fonction requise avec les performances attendues
Une défaillance implique l'apparition d'un défaut par contre un défaut n'implique pas nécessairement une défaillance puisque le défaut peut ne pas affecter le bon fonctionnement de système.

Panne :

Une interruption permanente de la capacité du système à accomplir sa fonction requise à la suite d'une défaillance.

Défaut → défaillance → panne

Dysfonctionnement :

Une irrégularité intermittente qui n'empêche pas le système de remplir sa fonction [1].

Erreur :

Est l'écart entre une valeur mesurée d'une variable et la vraie valeur spécifiée par un capteur, jugé théoriquement correcte.

Perturbation :

Une entrée non contrôlée (i.e. n'est pas une commande) et inconnue qui agit sur le système.

La robustesse :

Détermine l'aptitude du système à détecter les anomalies indépendamment des perturbations et des erreurs de modélisations [1].

I.3 Différents types de défauts :

Les défauts sont classés selon leur emplacement, leur modélisation, et leurs caractéristiques temporel.

Emplacement

La figure 1.1 nous montre les types de défauts selon leur emplacement

Défauts actionneurs

Les défauts actionneurs agissent au niveau de la partie opérative et détériorent le signal d'entrée du système ce qui introduit une défaillance totale ou partielle de l'actionneur qui agit sur le système.

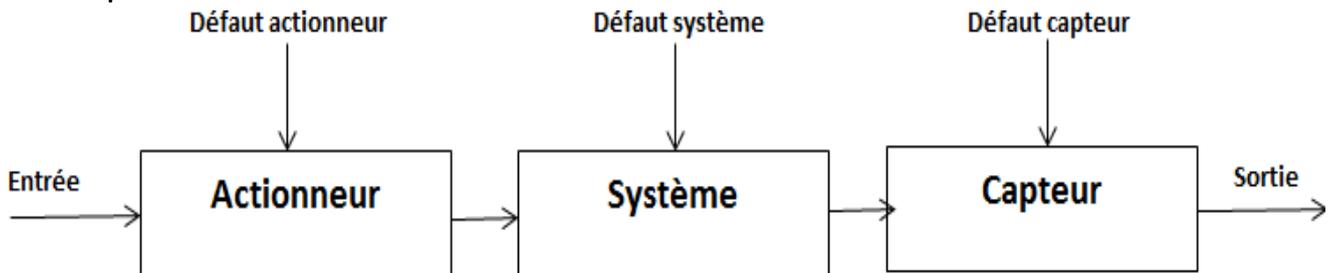


Figure I.1 : différent type de défauts agissant sur un système.

1.3.1.1 les défauts actionneurs :

Ce type de défaut est la cause d'une mauvaise image de l'état physique du système. Un défaut capteur partiel produit un signal avec plus ou moins d'adéquation avec la valeur vraie de la variable à mesurer. Un défaut capteur total produit une valeur qui n'est pas en rapport avec la grandeur à mesurer.

1.3.1.2 Les défauts capteurs :

Ce type de défaut provient du système lui-même. Néanmoins, un défaut composant résulte de la casse ou de l'altération d'un composant du système réduisant les capacités de celui-ci à effectuer une tâche.

1.3.1.3 les défauts composants ou systèmes :

Suivant la manière dont les défauts sont modélisés, ils sont classés en défauts additifs et en défauts multiplicatifs, comme le montre la figure I.1.

Un défaut est dit additif quand il est modélisé par l'ajout d'une variable, quant au défaut multiplicatif, il affecte un système à travers la multiplication de l'entrée E du système par un défaut [12].

1.3.2 Les différents types de défauts selon la dynamique :

En ce qui concerne le comportement temporel, on peut diviser les défauts en trois catégories: selon leurs formes (systématique ou aléatoire), selon l'étendue de défaut (local ou global) et selon leur évolution dans le temps.

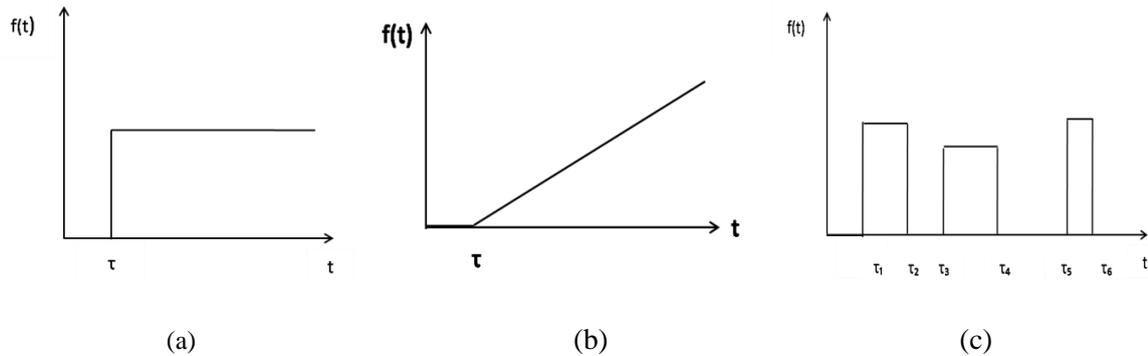


Figure I.2 : types de défauts selon la dynamique

1.3.2.1 Défaut abrupt :

Il est caractérisé par une discontinuité brutale de l'évolution temporelle d'une variable du procédé. Il provoque un écart dans l'évolution de la variable en question par rapport à l'évolution normale comme montré dans la figure I.2a.

1.3.2.2 Défaut graduel :

Un défaut graduel est présenté par la figure I.2.b, il conduit à une divergence lente et continue des variables concernées. C'est un défaut difficile à détecter.

1.3.2.3 Défaut intermittent :

Il représente une particularité des défauts précédents avec des départs et retours successifs aux valeurs normales figure I.2c. Il est souvent provoqué par des faux contacts.

1.4 Considération générales sur les systèmes de diagnostics

Les algorithmes de détection et de diagnostic de défauts établis à l'aide d'une méthode quelconque de surveillance sont généralement soumis à des critères d'évaluation strictes visant à vérifier leur efficacité et leur aptitude à détecter et à isoler simultanément les différents types de défauts. Nous résumons dans la suite les caractéristiques désirées d'un système de surveillance.

1.4.1 Rapidité :

Le système de surveillance doit réagir rapidement dans les situations de dysfonctionnement affectant le processus surveillé, et ce afin de permettre aux opérateurs d'entreprendre, le plus rapidement possible, des actions correctives appropriées. La rapidité à la détection de défauts est cependant souvent compromise avec l'exigence de performance requise en fonctionnement normal : trop rapide est le système de surveillance, élevée est sa sensibilité aux bruits de mesure. Un tel compromis aura pour conséquence d'augmenter la probabilité de fausses alarmes.

1.4.2 Isolabilité :

L'isolabilité est par définition l'aptitude du système de surveillance à distinguer les différents modes de dysfonctionnement du processus. Cette propriété est étroitement liée aux caractéristiques du processus surveillé et à la qualité du modèle utilisé pour la conception de l'algorithme de surveillance. Il existe en fait un sérieux compromis entre iso labilité et insensibilité aux incertitudes liées à la modélisation. Notons que pour le besoin de détection de défauts, la génération d'un seul résidu est suffisante, alors que pour isoler les défauts survenus, un ensemble de résidus doit être envisagé

1.4.3 Robustesse :

Il s'agit de vérifier l'aptitude du système de surveillance à détecter et à isoler les défauts affectant le processus surveillé dans un environnement entièrement incertain. Dans les méthodes de surveillance à base de modèles, cette exigence se traduit par la génération de résidus devant être insensibles aux incertitudes et, en même temps, sensibles aux défauts, donc robustes. Les incertitudes, dont les effets sont difficilement séparables de ceux des défauts, sont principalement dues aux variations paramétriques, aux non linéarités dans le processus, aux erreurs de modèle ou encore aux perturbations et aux bruits de mesure affectant le processus surveillé.

1.4.4 Adaptabilité :

En milieu industriel, les perturbations et le changement des conditions d'exploitation influent considérablement sur les paramètres et les points de fonctionnement du processus surveillé. Un système de surveillance efficace doit être en mesure de s'adapter au mieux à ces variations qui peuvent constituer une source inévitable de fausses alarmes. Parmi les orientations privilégiées

dans ce sens, citons, à titre d'exemple, la manipulation de modèles non linéaires ou de multi modèles pour la conception des algorithmes de surveillance. Malgré les difficultés de leur mise en œuvre, les méthodes de conception basées sur les observateurs adaptatifs peuvent être aussi envisagées.

1.4.5 Identification de défauts multiples :

L'aptitude d'un système de surveillance à identifier simultanément plusieurs défauts est une caractéristique importante mais généralement difficile à réaliser. En fait, les défauts peuvent interagir en pratique et, par conséquent, le système de surveillance devient incapable de traiter les effets combinés de ces défauts à partir de leurs formes individuelles. D'autre part, la considération des différentes combinaisons possibles de défauts lors de la conception de l'algorithme de surveillance n'est pas une tâche triviale, notamment pour les processus à grandes échelles. Le problème d'identification de défauts multiples est désormais ouvert et est souvent traité en tenant compte des spécifications propres à l'application appréhendée [9].

1.4.6 La sensibilité :

Les systèmes de surveillance intégrés dans les plans d'automatisation des processus industriels modernes impliquent souvent des solutions basées sur des algorithmes [6].

1.5 Les différentes étapes de diagnostic

Le terme diagnostic correspond à la caractérisation et la distinction du défaut, pour mieux faire le diagnostic sa revient à réaliser une suite d'étapes décrite ci-dessous :

1.5.1 La détection :

C'est l'opération qui permet de décider si le système est en fonctionnement normal ou non, elle permet de détecter la présence de défauts dans le système, et cela en générant un signal appelé résidu.

1.5.2 La localisation :

Consiste à déterminer le composant en défaut à partir des résidus générés

1.5.3 L'identification :

Cette étape est la dernière, elle consiste à analyser l'ampleur du défaut.[10].

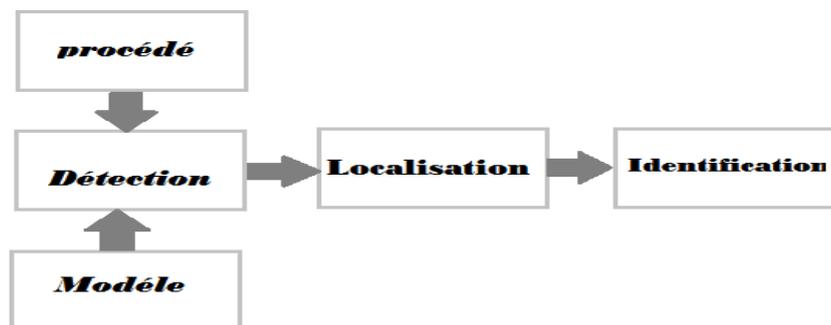


Figure I.3 : différentes étapes de diagnostic

1.6 Principe de diagnostic de défaut :

1.6.1 Redondance physique (matérielle) :

Le but de cette méthode consiste à doubler les instruments de mesure (capteurs, actionneurs, processeurs et logiciels) afin de valider les informations et de détecter les états de dégradation à partir des signaux mesurés. Malgré cette approche s'avère fiable et simple à implanter, mais, elle entraîne bien évidemment un surcoût important en instrumentation et augmente aussi la probabilité de pannes de capteurs, donc d'un besoin de maintenance supplémentaire.

1.6.2 Redondance analytique :

Cette redondance fait appel à des modèles analytiques qui représentent des relations de causalité et aux autres contraintes existantes entre les signaux présents dans le système. Les mesures obtenues des différents capteurs peuvent alors être reliées par ces modèles. Les modèles analytiques étant une représentation mathématique des lois d'évolution des variables physiques du système. Les procédés ainsi modélisés ne suivent pas toujours une telle représentation idéale ceci est dû à la présence d'incertitudes sur les paramètres du modèle, des modifications structurelles du système, des non-linéarités et finalement l'effet des perturbations et des bruits de mesure [14].

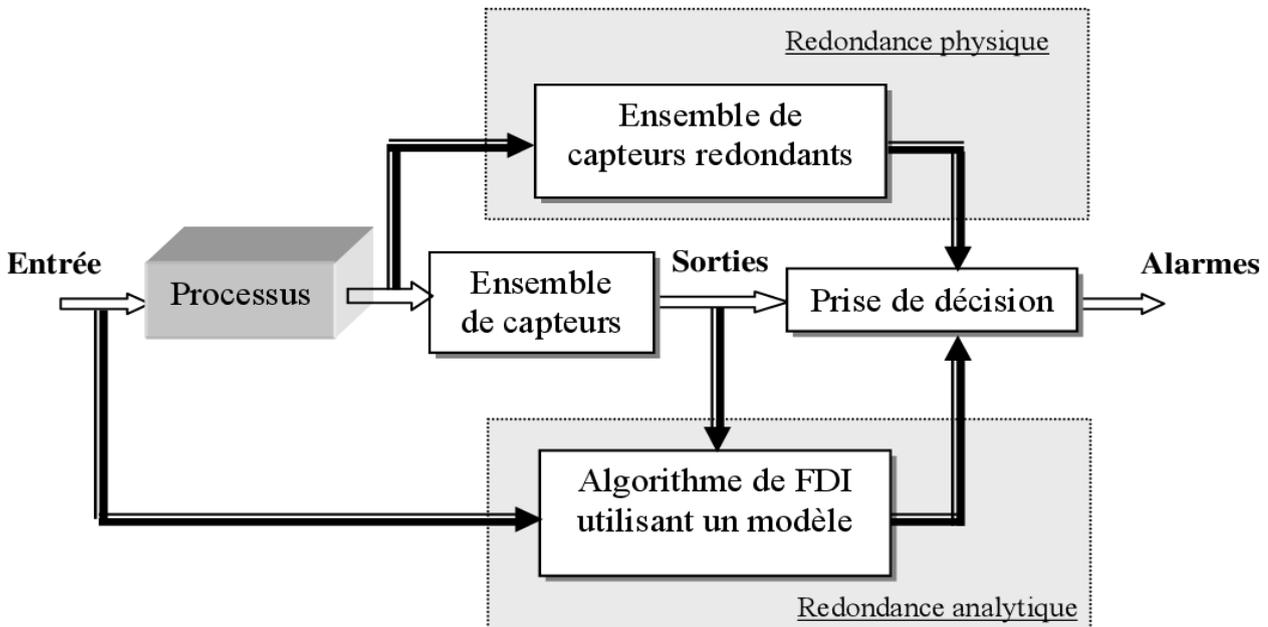


Figure I.4 : Redondance physique et analytique.

1.7 Génération et évaluation de résidus

Un indicateur de banque ou d'erreur est un signal électrique général qui reflète le manque de cohérence entre les informations disponibles et la théorie fournie par un modèle (le processus est censé être correctement décrit).

1.7.1 Génération de résidus :

Les restes générés à l'aide de l'approche de répétition analytique dépendent des relations nominales du système par l'utilisation de l'entrée U et de la sortie calculée Y . Les relations de fréquence évaluées peuvent être considérées comme la dynamique de la relation d'accès à la sortie. Si quelque chose ne va pas, cette relation n'est jamais réalisée et les restes ne sont pas nuls. Ces restes sont utilisés pour prendre les décisions appropriées. Elle est évaluée dans l'élément logique de la réalisation d'une erreur pour déterminer le moment où l'erreur apparaît et déterminer sa source [5].

1.7.2 Evaluation des résidus :

Il se combine avec la valeur proche de zéro s'il n'y a pas de défaut et se retrouve largement en valeur après l'apparition de l'erreur. Il est lié à la différence entre les sorties mesurées et leur appréciation [16].

1.8 Classification des méthodes de diagnostic

Les méthodes de diagnostic des défauts sont très variées, On les distingue à partir de leur type de connaissance utilisée pour vérifier la cohérence entre les observations réelles et de références [16]. Ces dernières se répartissent en deux classes : les méthodes avec modèle et les méthodes sans modèle. Dans cette partie, nous présentons une classification des principales méthodes de diagnostic rencontrées dans la littérature.

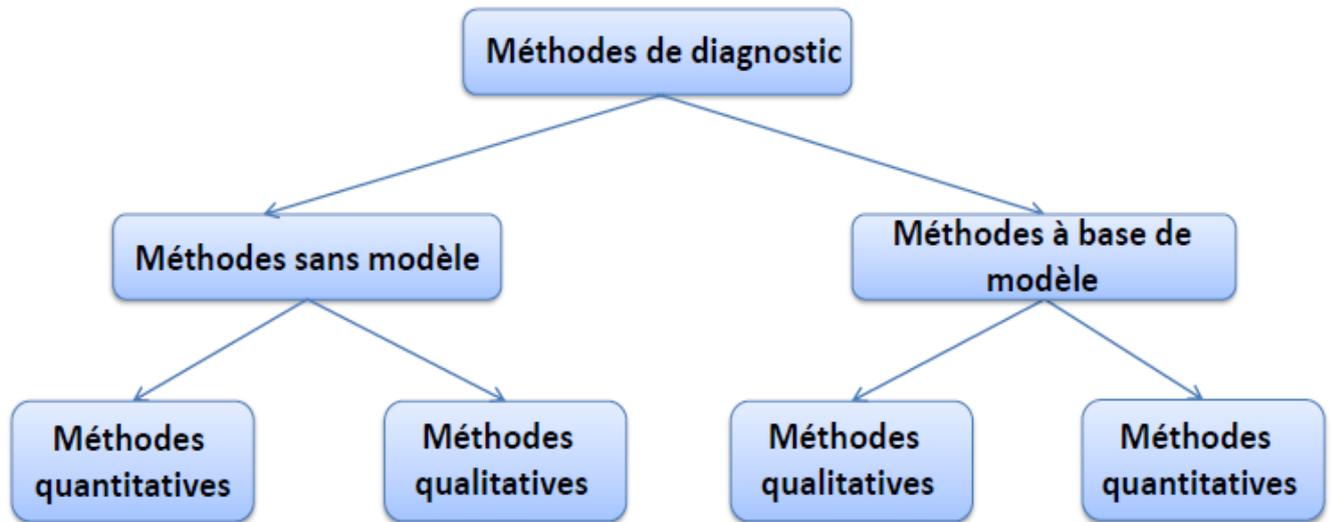


Figure I.5 : les méthodes de diagnostic.

1.8.1 Méthodes sans modèles :

Cette méthode suppose que les connaissances du processus se limitent à son observation passée et présente. Elle repose sur l'expertise humaine. L'historique de ce système constitue une base de données qui sert à l'extraction de descripteurs dans divers mode de fonctionnements du processus.

1.8.1.1 La reconnaissance des formes (RDF) :

Les méthodes de diagnostic qui utilisent la reconnaissance des formes ne sont pas nombreuses [18]. Elle s'intéresse au problème de reconnaissance de situations significatives d'un système dans un environnement complexe ou noyé dans le bruit. Le principe de la RDF repose sur la représentation numérique du $k^{\text{ème}}$ objet observé par le vecteur $xk = [xk1, \dots, xkq]^k$ $xk = [xk1, \dots, xkq]^k$ Appelé 'vecteur forme', où : xkj indique la $j^{\text{ème}}$ caractéristique associée à l'objet k : température, pression, débit, vitesse, fréquence de bruit sonore, etc. Et q la taille du vecteur forme [19].

Le transporteur de forme est dérivé de nombreuses mesures. Règles de prise de décision Permet d'organiser les commentaires décrits dans une direction pour les autres. Travaillez avec ou sans défaut et vous devriez être capable de classer ces catégories.

Tout mode de fonctionnement. Vous devez disposer d'une base de données pour construire Une classe est créée qui correspond au mode par défaut. Une autre façon est de calculer le porteur Fonctionne en simulant des images numériques. Dans le dernier paramètre, il faut le modèle comportemental exact pour des paramètres similaires à la réalité.[18]

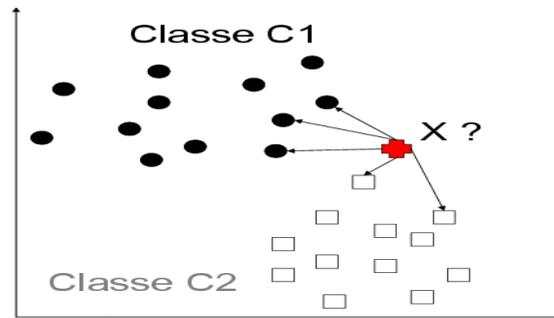


Figure I.6 : Principe de la reconnaissance des formes

1.8.1.2 les réseaux de neurones artificiels (RNA) :

C'est un modèle informatique et une conception innovante de vrais neurones humains. Une intelligence artificielle capable de prendre des décisions sur la vitesse d'évasion. A propos de la logique officielle. [1]

Cette approche est discutée dans de nombreux domaines tels que l'approche Comprendre et normaliser le langage naturel, la classification, le diagnostic, etc. Cette technique présente des caractéristiques intéressantes comme l'université l'éducation et l'autorégulation. Un réseau de neurones peut être considéré comme un seul réseau boîte noire. [20].

Diagnostic des défaillances du système des neurones doivent disposer d'un nombre suffisant d'exemples de bonnes performances et de défauts. Afin de les informer, le réseau est assemblé et comprend plusieurs étapes :

Choisir le type de réseau, le type de neurones, le nombre de canaux et les méthodes.

Pendant la phase d'apprentissage de la modification le gain de poids ou la force des connexions entre les neurones, Il est connecté au réseau interne avec des diagnostics compatibles à la caisse. Partir l'apprentissage d'Internet ne connaît pas seulement les exemples que vous avez appris mais aussi des modèles similaires qui sont une sorte de puissance par rapport Déformation du signal [9].

1.8.1.2 Les systèmes d'inférences floue (SIF) :

Les systèmes d'exposition terribles sont une application courante de la logique de l'atterrissage brutal. Ils appliquent des concepts sous forme de variables linguistiques ainsi que la logique d'inférence qui utilise des règles vagues [22].

L'infrastructure de base est l'infrastructure [12] :

- ✓ Un univers de discours qui contient les fonctions d'appartenance des variables d'entrée et de sortie à des classes. Ces fonctions peuvent avoir différentes formes, les plus usuelles étant les formes triangulaires, trapézoïdales et gaussiennes.
- ✓ Une base de connaissances qui regroupe les règles liant les variables d'entrée et de sortie sous la forme « SI...ALORS ».
- ✓ Un mécanisme de raisonnement qui base son fonctionnement sur la logique du modus ponens généralisé

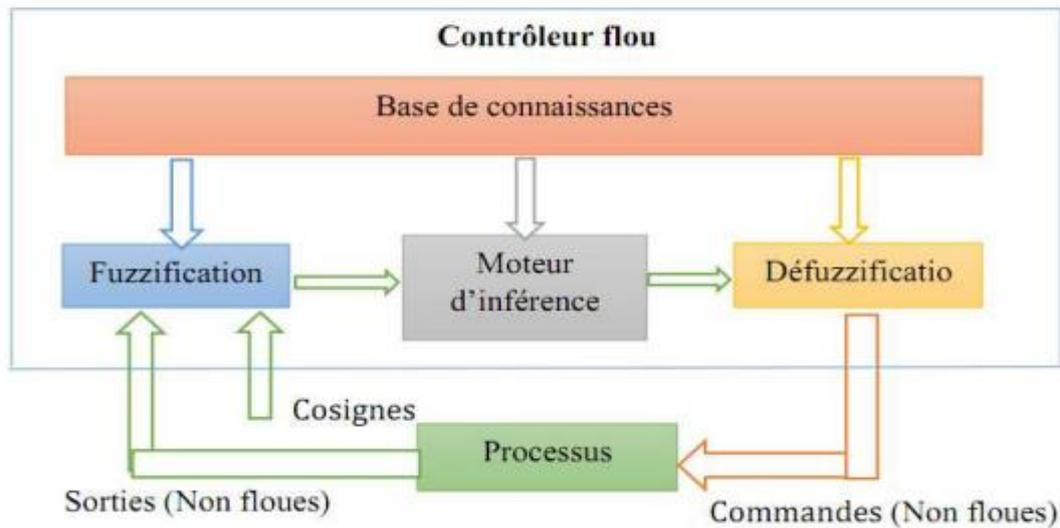


Figure I.7: Principe de la l'inférence floue

1.8.2 méthode à base de modèles :

L'approche diagnostique basée sur les modèles permet la surveillance et le contrôle sur Internet système. Cette application est l'utilisation d'un modèle d'ordinateur portable pour évaluer le son.

Le mandat révèle l'erreur à cet égard par rapport à la situation attendue en temps réel et l'état des rapports les mesures des capteurs. La condition (mauvaise conduite) est alors diagnostiquée comme étant le résultat de la mauvaise conduite.

C'est un système conforme à la procédure qui explique l'erreur.[23]. Trois grandes approches de la connaissance sont caractérisées : l'approche par appréciation les valeurs par défaut (sur la base d'un observateur) et la symétrie [16].

La figure suivante montre le principe des méthodes de diagnostic avec modèles.

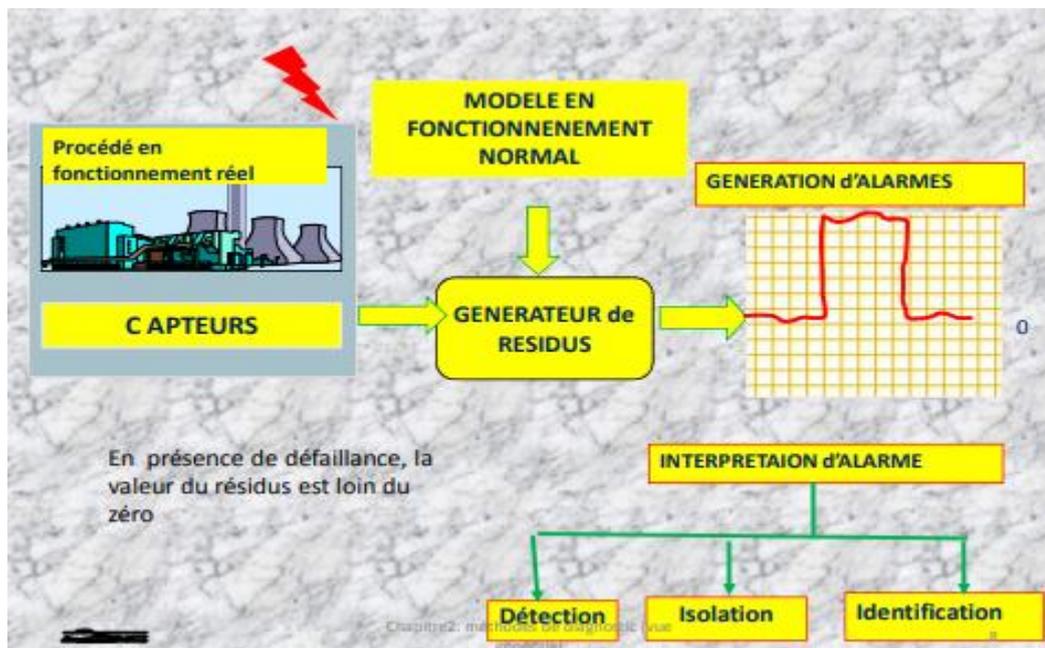


Figure I.8 : Principe des méthodes de diagnostic avec modèles.

1.8.2.1 Espace de parité :

Le terme « parité » a été emprunté au vocabulaire employé pour les systèmes logiques où la génération de bits de parité à partir d'une relation de redondance analytique, permet la détection d'erreur[12].

Une relation de redondance analytique (RRA) est une équation dans laquelle toutes les variables sont connues. Elle doit être sensible aux défauts et insensible aux perturbations [7].

La génération de telles relations permet d'engendrer des résidus en projetant les données mesurées dans un espace[6]. Elle est souvent définie comme l'orthogonale de la matrice d'observabilité, ce qui revient à éliminer l'influence de l'état sur le résidu. L'objet de cette méthode est d'explicitier son utilisation pour la détection et la localisation des défauts. Le

principe est d'analyser la consistance des mesures et détecter les défauts en cherchant à établir des relations de parité qui sont indépendantes des grandeurs inconnues mais qui restent sensibles aux défauts. Cette approche conduit à une réécriture des équations d'état et de mesure, dans laquelle seules des variables connues (commandes et sorties) sont autorisées à figurer. Le principe de l'espace de parité repose sur la représentation numérique du vecteur de parité $p(k)$ projection du vecteur des mesures $y(k)$. Qui est présenté dans le cas général par l'équation de mesure [12].

1.8.2.1 : Estimation paramétrique :

L'approche de l'estimation paramétrique considère que l'influence des défauts se reflète sur les paramètres qui gouvernent le comportement dynamique du système . Le principe de cette méthode consiste à estimer en continu des paramètres du procédé en utilisant les mesures d'entrées/sorties et en évaluant la distance qui les sépare des valeurs de référence de l'état normal du procédé. On entend par paramètre, certaines constantes physiques du système (masse, coefficient de viscosité,...) ou une agrégation de plusieurs paramètres physiques. L'estimation paramétrique possède l'avantage d'apporter de l'information sur l'importance des déviations. Toutefois, un des inconvénients majeurs de la méthode réside dans la nécessité d'avoir un système physique excité en permanence. Ceci pose donc des problèmes d'ordre pratique dans le cas de procédés dangereux, coûteux ou fonctionnant en mode stationnaire. De plus, les relations entre paramètres mathématiques et physiques ne sont pas toujours inversibles de façon unitaire, ce qui complique la tâche du diagnostic basé sur les résidus.

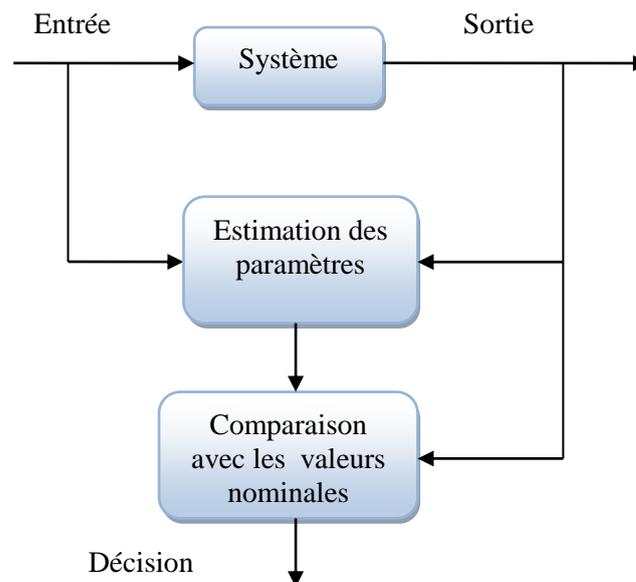


Figure I.9. Principe de l'approche par estimation des paramètres.

1.8.2.2 : Estimation d'état (observateur) :

Une approche similaire à l'estimation des paramètres consiste à évaluer la situation.

La génération de sédiments à l'aide de l'estimation de l'état consiste à comparer les fonctions de rendement.

Les sorties ont été estimées pour avoir les mêmes fonctions de sortie estimées.

Elle a été beaucoup développée car elle conduit à la conception de générateurs de résidus.

Flexibilité [12] - Plusieurs techniques de contrôle de diagnostic ont été appliquées en utilisant la méthode de diagnostics sensible

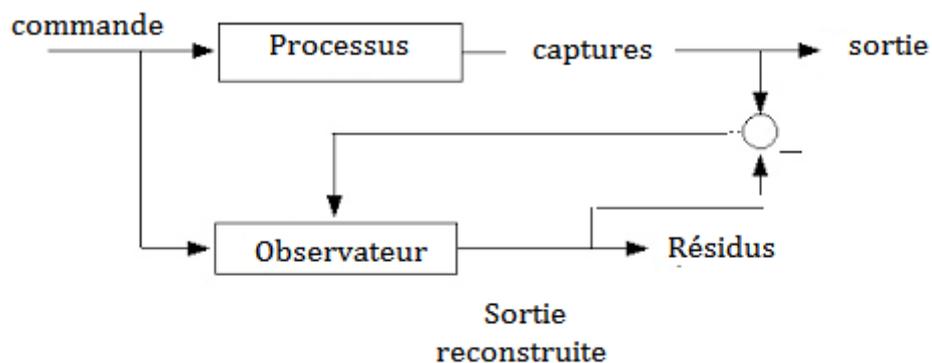


Figure I.10. Principe général d'un estimateur de sortie.

L'un des principaux moyens d'examiner l'état de tout système est de rechercher Numériquement les informations mesurées à l'aide de capteurs. L'expérience a montré que cette expérience a montré que La manière défectueuse de fournir des résultats erronés en raison de l'augmentation du bruit à cause des distorsions de mesure.

Pour remédier à ce problème, Kalman Bossi a mis au point une solution. Les dispositifs de synthèse et maintenant le candidat de Kalman connaît ses résultats.Ce candidat donne également de bons résultats pour les systèmes basés sur des systèmes. puisLoneberger a fondé la théorie de l'observateur, qui porte son nom comme "L'observateur".Pour Weinberger, l'idée est d'ajouter au modèle qui est programmé sous la forme d'une interface Sony automatisée.(Brunowski) correction à l'aide d'un capteur de mesure.

1.8.2.3 : Observateurs à entrées inconnues(UIO)

Les contrôleurs d'accès anonymes sont des contrôleurs d'erreurs.

Estimation jusqu'à zéro, même en période d'agitation. Ces observateurs.

Ils peuvent être utilisés pour détecter les défauts et leurs matériaux. L'étape de la découverte des vacances

Un observateur est nécessaire dans la figure 1-11.

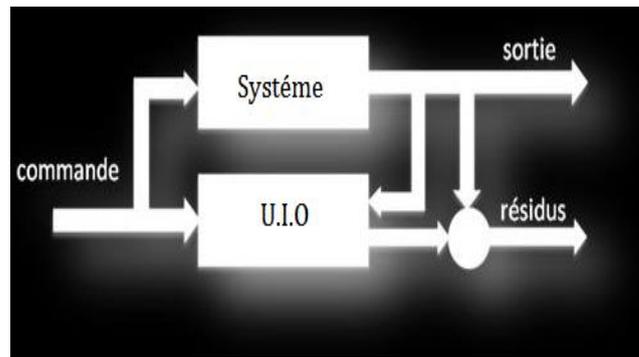


Figure I.11 : Génération des résidus par les UIO.

L'étape de localisation nécessite une banque d'observateurs figure I.12, cette dernière doit être conçue d'une certaine manière tel que chaque observateur soit sensible à un groupe de défauts et insensible aux autres.

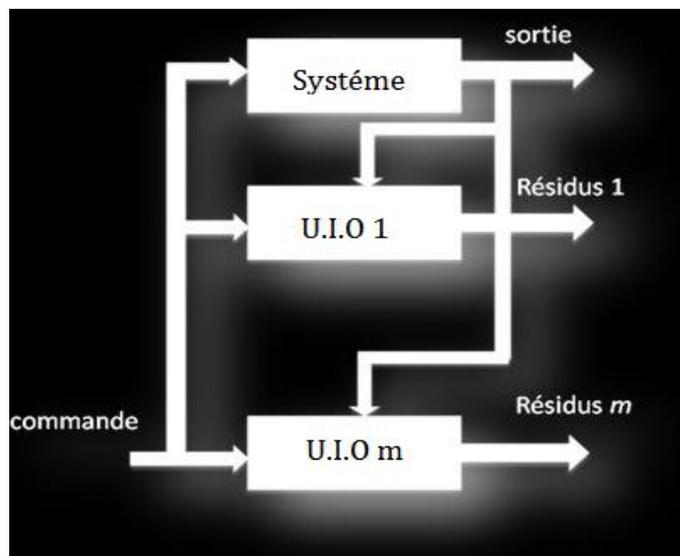


Figure I.12 : Génération des résidus une banques d'UIO.

1.9 Les systèmes tolérants aux défauts

Un système tolérant aux défauts maintient les objectifs nominaux en dépit de l'occurrence d'un défaut. Il permet de garantir la stabilité du système ou des performances dégradées en présence de défauts.

La tâche principale qui incombe à la commande tolérante aux défauts est de Synthétiser des lois de commande avec une structure pour de garantir la stabilité et les performances du système.

La commande tolérante aux défauts est généralement classée en deux approches Distinctes :

Une approche passive (PFTC) et une approche active (AFTC). L'idée principale Dans la première approche est de faire en sorte que le système en boucle fermée (BF) soit Robuste aux incertitudes et à quelques défauts spécifiques, par contre, l'AFTC est amenée à Réagir aux diverses défaillances du système en reconfigurant les lois de commande tout en Préservant la stabilité et les performances

1.10 Synthèse des méthodes de diagnostic

Ce paragraphe donne un aperçu des avantages et des inconvénients de chacune d'entre elles. Une méthode de diagnostic unique et les domaines d'application de chaque méthode PV.

1.10.1 Méthodes de redondance matérielle

Les méthodes de redondance matérielle reposent sur l'utilisation de plusieurs instruments et lorsqu'un écart existe entre les sorties de ces instruments, celui qui est défectueux peut-être facilement détecté., cette méthode est utilisée dans les systèmes photovoltaïques, particulièrement dans certains onduleurs, pour identifier le string le plus faible, l'inconvénient de cette méthode est qu'il n'est pas possible d'identifier la nature de défauts

Les méthodes de répétition analytique prédisent l'état du système surveillé en surveillant mesurer les entrées/sorties dans le système lui-même. Ces méthodes sont utilisées Le modèle utilisé est généralement un modèle de la situation telle qu'on la voit par la suite, un système PV La situation se présente sous la forme d'une situation très complexe ou même complexe.

Les méthodes de répétition analytique impossibles conviennent au diagnostic. Les systèmes tels que les appareils électriques, la turbine et d'autres systèmes pas à diagnostiquer les maladies Défauts du générateur photovoltaïque.

I.10.2 Méthodes à base de connaissance

Contrairement aux méthodes de diagnostics précédents, la méthode de classification et la méthode d'inférence sont bien adaptés au diagnostic des générateurs PV, ces deux dernières méthodes sont des méthodes appartiennent à la méthode à base de connaissance, et à l'exception de la méthode de traitement du signal qui repose sur l'extraction des symptômes à partir du signal mesuré tel que le filtrage, FFT, analyse de l'ondelette etc. car cette technique [19] d'extraction ne peut être appliquée que pour les signaux riches en fréquences telles que le courant, la tension dans les machines électriques, ce n'est pas le cas pour les PHOTOVOLTAÏQUE.

I.11 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un cas sur l'art de différentes manières diagnostic : Nous avons tous donné quelques définitions et la terminologie utilisée en ce domaine comprend trois méthodes de diagnostic contenues dans la littérature les principales étapes sont la découverte, le suivi et l'identification de la technologie de diagnostic s'applique aux systèmes de surveillance qui répondent au type d'affichage des systèmes sur les moniteurs (avec ou sans gabarits) et au type de défauts (absence de capteur, d'encre ou de panne) (commande).

Les informations recueillies dans un système industriel fournissent certaines informations, le manque de clarté dû au bruit et une autre source de méconnaissance est due aux erreurs qui se sont produites modélisation.

Une méthode de diagnostic conçue pour aider à prendre des décisions Dans ce dernier cas, il faut des théories qui pourraient inclure les défauts de Représentation de l'information et de la logique

Chapitre II: Défauts et méthodes de diagnostic des systèmes photovoltaïques.

I. introduction

A travers ce chapitre, nous essayons de mettre en relief l'intérêt du diagnostic à établir sur un système photovoltaïque P.V. en défaillance.

L'objectif à viser est d'arriver à assister le concepteur ou le réparateur à mieux cerner le problème de la défaillance affectant ce dispositif photovoltaïque.

Il s'agit en quelque sorte de fournir un service aux utilisateurs à travers un système de détection et localisation de défauts responsables de cette gêne. A cet effet, le développement d'un tel système de diagnostic repose sur un dictionnaire des défauts à détecter dont les principaux défauts souhaités à être diagnostiqué constituent l'objectif de notre travail.

Différentes méthodes de diagnostics furent présentées à partir d'une bibliographie et qui se distingue par leur capacité de détection et de localisation.

De même elles se distinguent toutes par les moyens théoriques que pratiques impliqués ainsi que les paramètres d'études considérés comme symptômes au diagnostic à savoir énergie, facteur de rendement etc.

II.1 Défauts des panneaux photovoltaïques :

Dans cette partie nous décrivons les différents défauts rencontrés d'un système pv . Ces défauts peuvent apparaître suite à un défaut de fabrication ou bien en raison des conditions climatiques et vieillissement qui affectent la puissance de sortie du module photovoltaïque.

Notre objectif est de présenter les principaux défauts ou de dégradations associées à un système photovoltaïque.

- ✓ **Défauts prolongés avec rendement nul** : défaillance des composants, système déconnecté (longue durée).
- ✓ **Défauts brefs avec rendement nul** : déconnexion temporaire de l'onduleur, système déconnecté (courte durée).
- ✓ **Défauts d'ombrage** : ombrage.
- ✓ **Défauts avec rendement non nul et pas d'ombrage** : erreur de MPPT, autres défauts.

II. 2. Défauts Jaunissement et brunissement :

Les panneaux solaires photovoltaïques sont composés d'une multitude de couches comparables à un mille feuilles Il y a en premier lieu, le verre de protection transparent (verre,

Pirexâ, teflon...) .Ensuite, une feuille transparente en général de l'EVA (Ethylène Vinyl Acétate) dont le rôle essentiel est d'assurer une isolation galvanique (électrique).

La cellule de silicium Une seconde feuille transparente d'EVA Sous l'effet des UV et de l'humidité l'EVA se décompose et crée de l'acide acétique – dit encore acide éthanoïque – qui diminue le pH du complexe EVA-PVF (polyvinyl fluoride) et augmente ainsi la corrosion.

Ces désordres se manifestent par le jaunissement des panneaux solaires (yellowing) qui restent à ce stade de nature principalement esthétiques.



Figure II.1 : Défaut de Jaunissement

II.3 Défaut Bulle d'air :

Les bulles sont principalement dues aux réactions chimiques qui émettent des gaz emprisonnés dans le module photovoltaïque. Ils forment un air chambre dans laquelle la température du gaz est inférieure à cellules adjacentes. Cependant, la chambre d'air aggrave la chaleur, la capacité de dissipation de la cellule voisine de sorte surchauffe et présente donc une température plus élevée que dans les cellules adjacentes.

De plus, lorsque des bulles apparaissent sur la face avant causés par les microfissures à la surface de cellule solaire, une réduction du rayonnement atteignant la cellule photovoltaïque se produit, créant ainsi un découplage de la lumière et augmenter la réflexion.

En outre, les bulles peuvent se briser, et peut endommager la surface d'étanchéité arrière qui provoque infiltration d'humidité. Sur la Figure II.1, trois cas peuvent être observés.

Un module contenant un grand nombre de bulles dans la face arrière. Elles apparaissent généralement dans le centre de la cellule Figure II.2. [38]

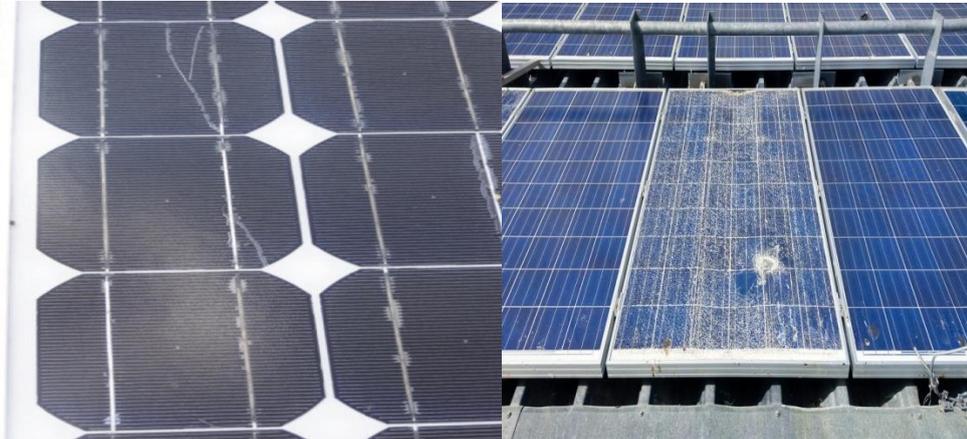


Figure II.2: Défaut de bulles d'air.

II.4 Défaut Fissures dans les cellules :

Les cellules solaires en silicium sont très fragiles.

Les fissures cellulaires sont des fissures dans le substrat de silicium des cellules photovoltaïques qui souvent ne peuvent pas être vues à l'œil humain ; Lors du processus de fabrication des modules solaires, un certain nombre de cellules solaires sont intégrées dans un module photovoltaïque.

Souvent, les modules les plus utilisés dans le marché photovoltaïque sont composés de 60 cellules solaires.

Le processus de la fabrication de module photovoltaïque présente un risque qui provoque les fissures dans les cellules solaires. Lors de la production de la cellule solaire, il existe trois sources différentes de fissures :

- Les fissures provenant du ruban d'interconnexion de cellules qui sont provoquées par la contrainte résiduelle induite par le processus de soudage. Ces fissures sont souvent situées aux extrémités du connecteur.
- La fissure dite croisée, provoquée par des aiguilles qui se pressent sur la plaquette de silicium pendant la production.

- Les fissures de bord de la cellule sont provoquées par le rebondissement de la cellule contre un objet dur.[29]



Figure II.3 : fissures dans les cellules photovoltaïque.

II.5 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,...).

L'ombrage partiel :

L'ombrage partiel est souvent inévitable en milieu urbain car dans certaines conditions, on ne peut pas garantir une irradiation homogène sur la totalité du générateur photovoltaïque (ombres partielles sur le générateur photovoltaïque, liées par exemple à des feuilles d'arbre tombées à l'automne, ombres d'infrastructures de bâtiments, des poussières sur l'ensemble des cellules..).

Il est considéré comme le défaut le plus couramment rencontré dans un générateur photovoltaïque, ce défaut minimise fortement la puissance de sortie et rend parfois la commande des convertisseurs inefficace, Car la puissance délivrée par le générateur peut présenter plusieurs

maximums. Cela peut se produire, en particulier, lorsque les diodes de protections (diodes by-pass) des cellules photovoltaïques se mettent en conduction.

Ainsi, lorsqu'une ou plusieurs cellules d'un générateur photovoltaïque sont éclairées différemment par rapport à ses proches voisines, un comportement dégradé apparaît pour le générateur photovoltaïque, les cellules recevant moins d'énergie doivent dissiper le surplus de courant délivré par celles qui sont les plus éclairées, créant ainsi des échauffements (hot spot) si le module n'est pas protégé de manière adéquate.[30]



Figure II.4 : Défaut d'ombrage partiel.

II.6 Défaut délamination :

La délamination est la défaillance d'adhérence entre la couche d'encapsulation et la cellule, ou entre la cellule et le verre du module photovoltaïque.

La perte d'adhérence se produit en raison d'une contamination comme le manque de nettoyage du verre, ou de facteurs environnementaux tels que la pénétration d'humidité à l'intérieur de la structure du module photovoltaïque. Par conséquent, la présence de l'humidité à l'intérieur du module provoque des dégradations sous l'effet des réactions chimiques telles que la corrosion.

D'autre part, ce phénomène affecte la trajectoire de la lumière incidente sur le module photovoltaïque, elle favorise la réflexion de la lumière, qui réduit le courant délivré par le module, induisant une diminution de la performance du système photovoltaïque.[29]



Figure II.5 : Dégradation du module photovoltaïque par délamination

II.7 Points chauds (Hot spots) :

Les points chauds sont des zones de température élevée qui n'affectent qu'une seule zone du panneau solaire et entraînent une diminution localisée de l'efficacité et, par conséquent, une puissance de sortie et une accélération de la dégradation des matériaux plus faibles dans la zone affectée.

Les panneaux solaires génèrent de l'énergie et des points chauds peuvent survenir lorsque, une partie de cette énergie se dissipe, au lieu d'être générée, dans une zone localisée, un peu comme si les cellules consommaient l'énergie au lieu de la produire. De plus, les points chauds sont généralement instables et s'intensifient généralement jusqu'à ce que la performance totale du panneau soit nulle [31]



Figure II.6 : défaut de point chaud.

II.8 Défaut de diodes de bypass:

Dans son bon état, la diode de bypass est passante quand la somme de la tension des cellules qu'elle protège est négative et elle est bloquée dans le cas contraire. Dans son état défectueux, ce rôle de protection n'est plus assuré.

Les défauts électriques associés à cette diode sont : diode court-circuitée, diode déconnectée et diode inversée. En plus de ces défauts électriques, cette diode pourrait être éventuellement claquée en cours de fonctionnement et se comporter comme une impédance d'une valeur quelconque. La Figure montre un schéma d'un groupe de cellules (groupe jème) dans lequel la diode de bypass est remplacée par un élément qui peut, à chaque fois, prendre un des états défectueux de la diode : court-circuit, circuit ouvert, impédance quelconque et diode inversée.

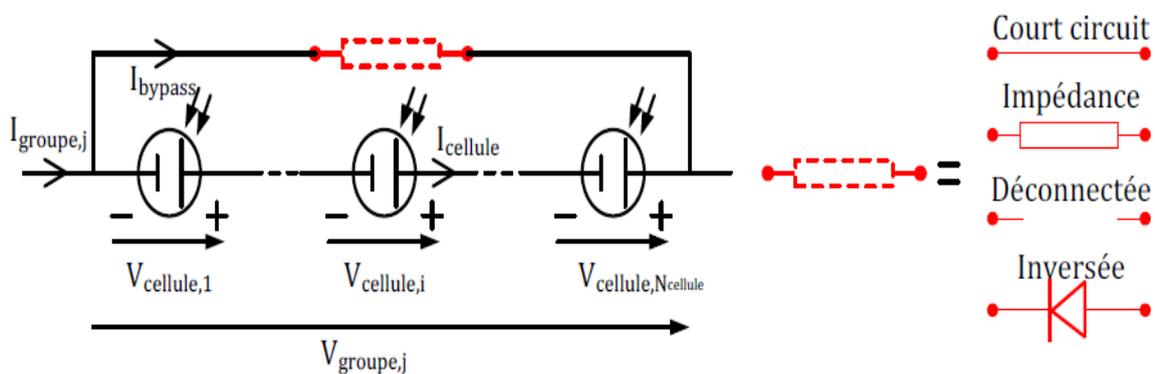


Figure II.7 : Schéma bloc d'un groupe de cellules photovoltaïques avec la diode de bypass défectueuse

II.9 Défaut de diode anti-retour:

De la même manière que pour la diode de bypass, 4 types de défauts peuvent être envisagés pour la diode anti-retour : court-circuit, impédance quelconque, circuit ouvert et inversée. La Figure montre un schéma d'un champ photovoltaïque dans lequel la diode anti-retour est remplacée par un élément qui peut, à chaque fois, représenter un des états défectueux de la diode.[32]

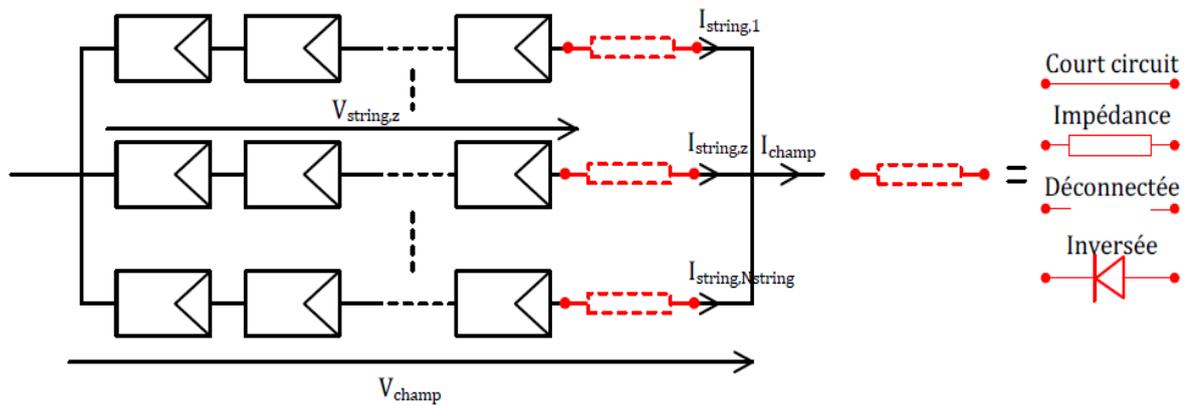


Figure II.8 : Schéma bloc d'un champ photovoltaïque avec la diode anti-retour défaillante

II.10 L'augmentation de la résistance série (R_s) :

La résistance en série est l'un des plus importants facteurs influençant les performances des cellules solaires. Généralement l'augmentation de la résistance série est causée généralement par la corrosion de la connectique entre deux modules photovoltaïque, une vis de connexion mal serrée, la corrosion de point de soudure entre cellules..., etc. En fonctionnement normal, cette résistance de connectique est quasi nulle.

La valeur de cette résistance peut être augmentée dans plusieurs cas anormaux.

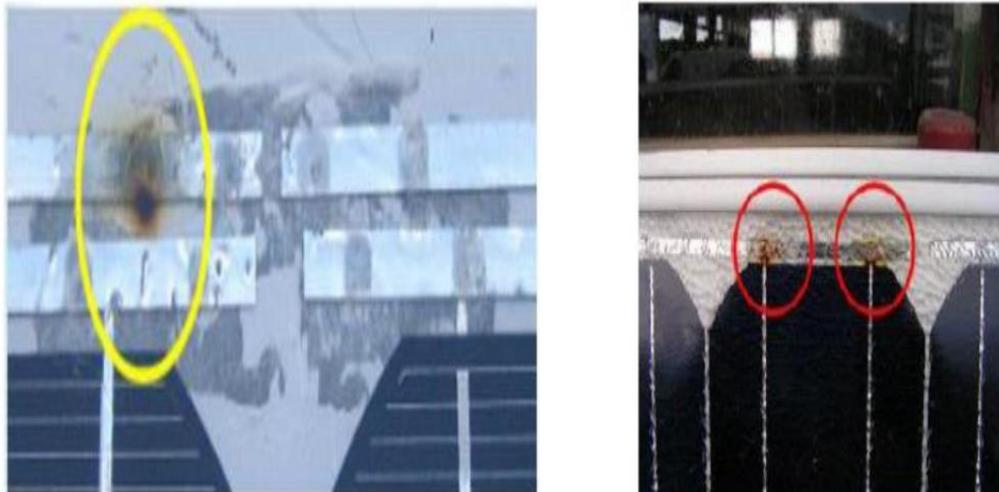


Figure II.9 : Défaut d'augmentation de la résistance R_s .

Une grande augmentation de cette dernière entraîne une perte en tension. Pour une limite donnée, la perte en tension peut être suffisamment grande pour rendre la tension du groupe négative et faire basculer la diode de by-pass en mode passant, ce qui donne des points d'inflexion dans la courbe $I(T)$.

La Figure suivant montre le changement provoqué par l'augmentation de la résistance série

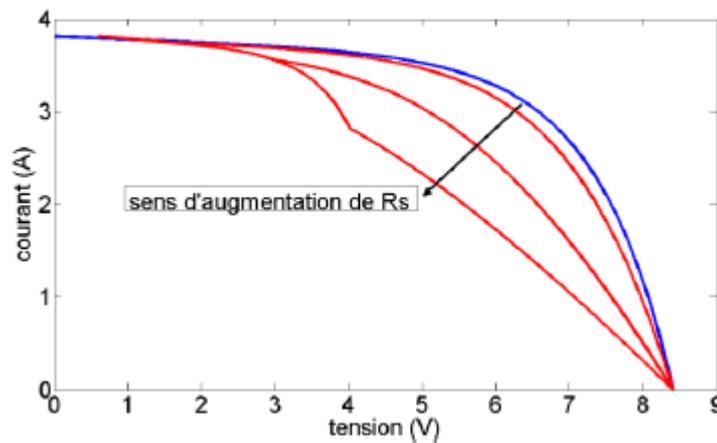


Figure II.10 : Courbe de défaut d'augmentation de la résistance R_s .

Dans cette figure, on voit que la perte en tension pour un courant donné est plus importante au fur et à mesure que la résistance série augmente.[38]

II.11 La détérioration de la peinture antireflet :

La peinture est utilisée pour réduire la réflexion des rayons lumineux afin d'absorber la plus grande quantité de photons. L'usure de la peinture engendre une augmentation de la réflexion des rayons lumineux et par conséquent diminuer l'absorption d'une plus petite quantité de photons, cela conduit directement à une diminution de la valeur du courant I_{ph} .[33]

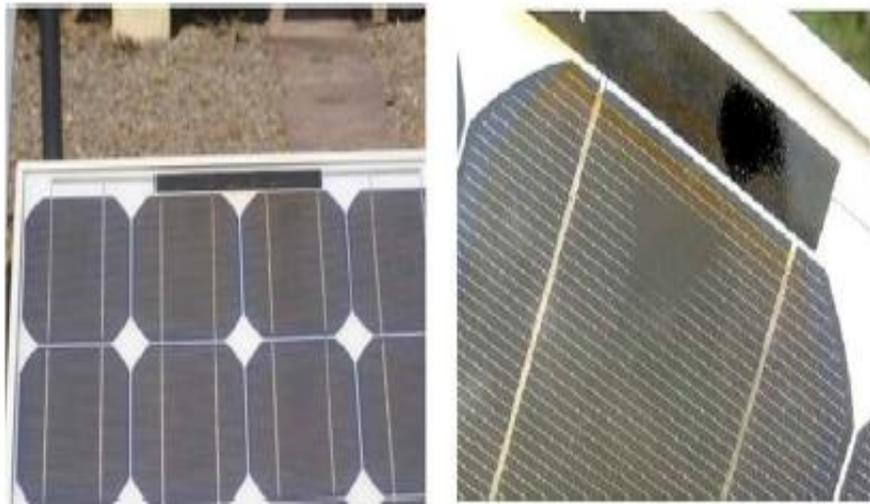


Figure II.11: La détérioration de la peinture antireflet

III. Classification des défauts d'un générateur photovoltaïque :

Nous avons cité précédemment quatre catégories de défauts : les défauts prolongés avec un rendement nul, les défauts brefs avec un rendement nuls, les défauts d'ombrage et les défauts sans d'ombrage avec un rendement non nul. dans cette partie on va présenter la classification des défauts selon leur catégorie[30]

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

Tableau II.1 : la classification des défauts selon leurs catégories

IV. Méthodes de détection et de localisation de défauts dans un système photovoltaïque :

1. Inspection visuelle :

L'inspection visuelle est la première technique de détection des dégradations d'un module photovoltaïque. Elle peut permettre de détecter à l'oeil nu certaines dégradations tels que la décoloration, la délamination, les bulles, les fissures dans les cellules et les points chauds. C'est généralement la première étape pour décider si un module photovoltaïque doit être soumis à d'autres types de tests. L'inspection visuelle doit être effectuée dans des conditions naturelles sous la lumière du soleil pour avoir une lumière intense de bonne qualité. Un éclairage d'au moins 1000 Lux est requis selon les conditions de test de la norme CEI 61215.

Les réflexions doivent être évitées, car ils peuvent conduire à une mauvaise image. L'inspection doit être effectuée à partir de différents angles afin d'identifier la zone où la dégradation pourrait apparaître et d'éviter les erreurs dues aux images réfléchies. Une seule photo prise depuis une seule position ne suffit pas car il pourrait contenir une image réfléchie et conduire à une fausse interprétation.

2. Mesure de la puissance aux conditions climatique à l'intérieure et à l'extérieure :

Le principal indicateur de la dégradation d'un module photovoltaïque est la diminution de la puissance produite. Cependant, la baisse de puissance n'est pas toujours détectée au sein d'un système PV constitué d'un ensemble de modules. Pour ce faire, un test de puissance doit être plutôt appliqué individuellement aux modules photovoltaïque suspects. Afin de détecter une chute de la puissance d'un module, une mesure de puissance dans les conditions standards de test (STC) doit être effectuée. Les conditions standards de test sont caractérisées par :

- Irradiance : 1000 W.m²,
- Température du module : 25 °C,
- Répartition spectrale du rayonnement : AM1.5.

Ce test peut être effectué dans un simulateur solaire (mesure intérieure) ou sous exposition au soleil (mesure extérieure).[33]

3. Méthode de l'imagerie numérique infrarouge thermique :

Les inspections visuelles et l'analyse de l'imagerie infrarouge et thermique pour la détection et la localisation des défauts sont classées comme des méthodes non électriques.

Ces méthodes n'exigent pas de données électriques mesurées du système photovoltaïque. Les méthodes visuelles et thermiques sont utilisées spécifiquement pour détecter la décoloration, le brunissement, les salissures, points chauds, rupture et délaminage des modules photovoltaïque . L'inspection visuelle des modules est long et ne convient pas aux systèmes photovoltaïque à grande échelle.

Les méthodes de détection des défauts thermiques et infrarouges dépendent généralement aux équipements (caméras thermiques ou infrarouges, drones, etc.) et Les vitesses de détection sont basées sur la fréquence de la surveillance des panneaux photovoltaïque.

Ces méthodes sont révélées efficaces, mais elles ne sont pas adaptées aux installations photovoltaïques de petite échelle.



Figure II.12: Méthode de l'imagerie numérique infrarouge thermique

4. Méthode de réflectométrie :

La réflectométrie fonctionne sur le même principe que celui d'un radar : une impulsion ou un signal est transmis dans le champ photovoltaïque à diagnostiquer. N'importe quelle discontinuité

(fissure, défaut, court-circuit, circuit ouvert) se comporte comme un obstacle à cette impulsion incidente et provoque une réflexion. Puis de mesurer les échos retournés.

Le retard et l'amplitude des échos sont utilisés pour obtenir des informations sur la localisation, la caractérisation et éventuellement la prédiction du défaut.

Elle a seulement besoin d'un point d'accès, qu'il demande une précision dans leur détermination. Néanmoins, elle est adaptée pour les réseaux de topologie complexes. Aussi, elle peut être intégrée dans les systèmes de contrôle. Cependant, la détection précoce de défauts d'un champ photovoltaïque nécessite un traitement de données puissant avec un échantillonnage très rapide, ce qui augmente la complexité et le coût du système de diagnostic.

Dans le but de détecter le défaut de type "circuit ouvert", "court-circuit" et "augmentation de l'impédance de la connectique", dans un string photovoltaïque.

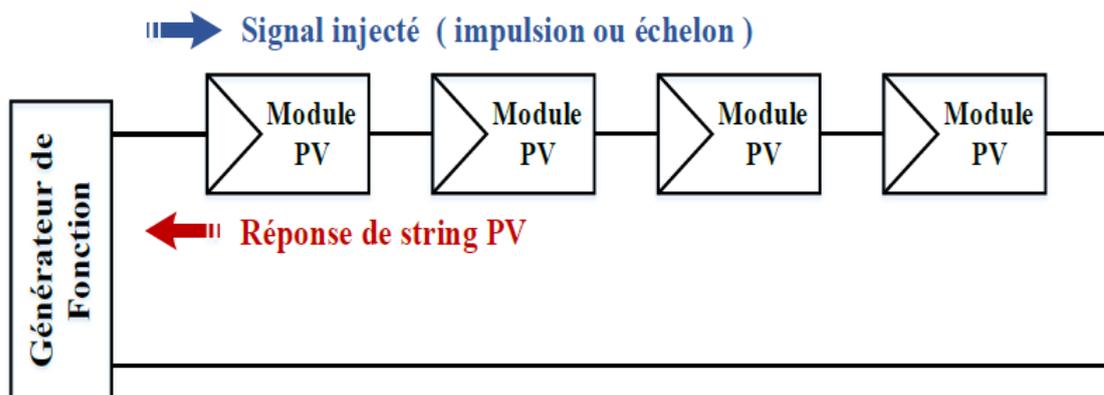


Figure II.13 : Principe de la réflectométrie pour localiser le défaut dans un string photovoltaïque.

5.Méthodes basées sur des techniques d'intelligence artificielle IA:

Le diagnostic des systèmes physiques complexes contenant plusieurs types de descriptions et d'éléments, et celles basées sur des modèles purement mathématiques ne peuvent pas offrir une méthodologie adéquate avec la précision requise, pour résoudre les problèmes qui se posent dans ce domaine. Par conséquent, les méthodes de l'IA ont été développées pour imiter le raisonnement humain dans la prise de la décision.

Elles ont pour objectif de simplifier et rendre la tâche du diagnostic plus simple et plus facile. Au cours de la dernière décennie, les techniques d'intelligence artificielle ont prouvé leur capacité de modélisation, de contrôle, de prédiction et de prévision dans le système photovoltaïque

a. Les algorithmes génétiques (AG) :

Les AGs sont des techniques d'optimisation stochastiques. Ils ont été introduits par Hollande en 1970. Ils sont basés sur les mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique :

- Un mécanisme de codage est utilisé pour représenter les variables du problème d'optimisation.
- Fonction de fitness
 - o ou fonction objective
- fournit le mécanisme d'évaluation de chaque chromosome et la formation de la population apte.
- Un croisement est utilisé pour combiner les chromosomes.
- Les chromosomes sont soumis à une mutation, pour garder l'espace de solution

Assez riche.

Les AGs sont révélés être un outil puissant pour l'optimisation. Ils ont été appliqués en coopération avec d'autres méthodes de l'IA pour le diagnostic des champs photovoltaïque dans

b. Machine à vecteur de support (SVM) :

La SVM est une méthode relativement nouvelle de l'apprentissage computationnelle. Elle est basée sur la théorie statistique de l'apprentissage présenté par V-N. Vapnik. Cette technique peut séparer les données de l'espace en deux classes. Elle est appelée également séparateurs à vaste marge destinée à résoudre des problèmes de diagnostic des champs photovoltaïque

En SVM, l'espace d'entrée d'origine est mappé dans un espace de grandes dimensions de produit scalaire, appelé espace d'apprentissage. Dans cet espace, l'hyperplan optimal est déterminé pour maximiser la capacité de généralisation du classifieur. Il est obtenu en exploitant la théorie d'optimisation, et le respect de l'éclairage fourni par la théorie de l'apprentissage statistique.

c. Logique floue (LF) :

La logique floue fournit un cadre systématique pour traiter la connaissance qualitative. Pour cela, la plupart des systèmes experts actuellement utilisent la logique floue à la place du traitement traditionnel pour cette raison il est devenu très utilisé maintenant.

L'un des avantages de la logique floue réside dans le fait que les règles dans la base de connaissances ne doivent pas être détaillées et exactes, comme avec les systèmes experts traditionnels. Avec la logique floue, les règles peuvent être généralisées pour couvrir un plus grand nombre de cas. Aussi, la logique floue fournit un moyen facile pour traiter les contradictions dans la base de connaissances.

Concernant le diagnostic des défauts, les systèmes flous sont utiles, parce que le diagnostic a souvent besoin d'un traitement basé sur la connaissance. Dans la pratique, il est très difficile d'obtenir des représentations adéquates au comportement complexe et hautement non linéaire des systèmes défectueux à l'aide de modèles quantitatifs. L'utilisation de modèles qualitatifs flous peut également prendre en compte les incertitudes associées à la description du système.

Les auteurs ont présenté un algorithme rentable basé sur FL pour détecter le DA (Défaut d'arc) dans un pvs. Selon les auteurs, de bons résultats peuvent être attendus lorsque le détecteur fonctionne avec le DC-AC et non comme un appareil autonome.

d. Réseaux de neurones artificiels (RNA) :

Il existe deux propriétés principales de RNAs qui les rendent intéressants pour le diagnostic des systèmes de production. Tout d'abord, ils sont capables de se rapprocher des fonctions non linéaires. Aussi, ils sont très bons pour les tâches de reconnaissance de formes, comme dans le diagnostic des champs photovoltaïques.

Les RNAs n'utilisent pas une description mathématique du système. Pour cela, un processus s'appelant l'apprentissage du réseau doit être pris pour mettre en œuvre les connaissances sur le champ photovoltaïque. Le principe d'apprentissage est d'alimenter le réseau à l'entrée, puis de régler les paramètres internes de façon que la sortie du réseau se rapproche de la sortie du système réel, à chaque cycle d'apprentissage. Le principal avantage des RNAs réside dans la non-utilisation de modèles mathématiques. De plus, ils sont applicables aux systèmes difficiles à modéliser.

Néanmoins, ils présentent quelques inconvénients :

- L'apprentissage du réseau nécessite un ensemble de données du fonctionnement du champ photovoltaïque, qui doit être pris à partir du processus réel ou leurs modèles.

- La sortie du réseau est définie que pour les situations pour lesquelles elle a été entraînée, et non pas pour tous les cas possibles. Pour les systèmes complexes, le nombre de neurones dans le réseau augmente et le temps de calcul devient énorme.

Malgré les inconvénients du RNA et la multiplicité des outils de classification, il reste le plus utilisé dans la littérature pour le traitement des problèmes nécessitent une grande précision.

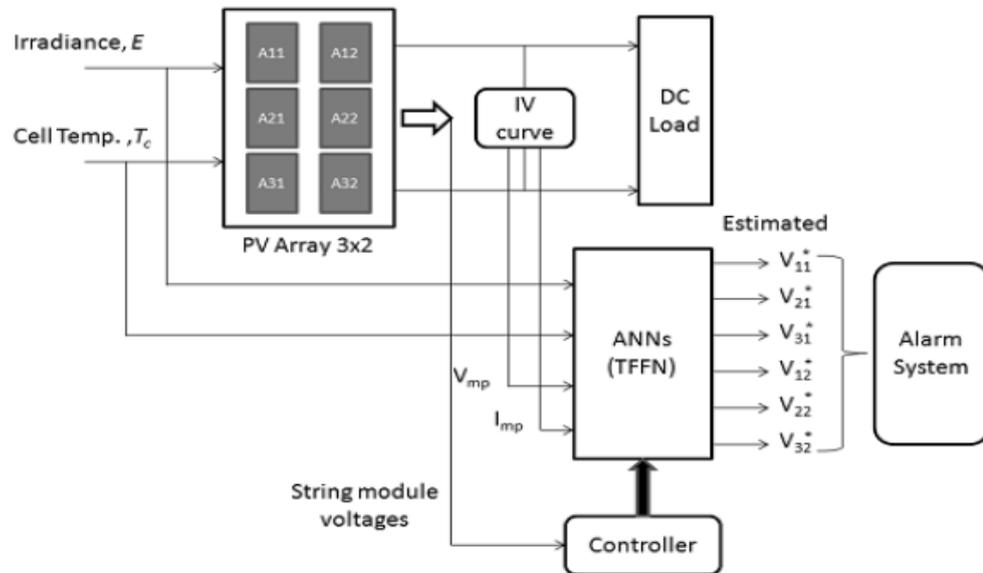


Figure II.14: Schéma de principe utilisant les RNA[83].

e. Réseaux de neurones flous (neuro-floue) :

Les valeurs numériques nettes obtenues à partir des réseaux de neurones peuvent être considérées comme un inconvénient du système de diagnostic. Car, l'information heuristique ou qualitative peut être nécessaire, et souvent les connaissances pour les systèmes de diagnostic sont disponibles uniquement sous forme qualitative.

La solution est de combiner les réseaux de neurones et la logique floue, pour créer des réseaux de neurones flous. Cette approche est utilisée pour le diagnostic des champs photovoltaïque. Elle montre sa promesse en intégrant la connaissance qualitative et quantitative, grâce à un système neuro-flou. Il est possible de combiner la capacité d'apprentissage des réseaux de neurones avec la représentation de la connaissance explicite de la logique floue.[34]

6. Méthode d'analyse du point de fonctionnement :

La comparaison de la puissance maximale mesurée à celle simulée peut apporter plus d'informations sur le comportement du générateur photovoltaïque. L'idée principale consiste à identifier le type de défaut présent sur une installation photovoltaïque et plus particulièrement sur le générateur photovoltaïque. Ces défauts sont regroupés en 4 familles :

- Modules défaillant dans un string
- Fausse alarme
- String défectueux
- Ombrage, vieillissement, erreur MPPT [35]

7. Électroluminescence (EL) et photoluminescence (PL) :

Dans la technique d'imagerie et Contrairement aux images obtenues par la détection IR le rayonnement dû à l'effet thermique, d'une image de luminescence est obtenue à partir des photons émis par la recombinaison de porteurs excités dans une cellule solaire .

L'excitation peut être réalisée au moyen d'un courant injecté, ce qui provoque un effet d'électroluminescence (EL). L'excitation peut également être obtenue à l'aide d'un rayonnement incident sur la cellule solaire, dans ce cas, la lumière est obtenu en raison d'un effet photoluminescence (PL).

L'image obtenue à l'aide de la technique EL ou PL est aussi une image infrarouge (comme dans le cas de la technique de la thermographie) qui peut être détectée par une IR- CCD. Dans ce cas, les défauts détectables sont différents de ceux détectés en utilisant des images thermographiques, et que la résolution des images est meilleure que celles obtenues par la technique de thermographie. La technique d'EL permet la détection des fissures dans des cellules ou des zones qui ne peuvent pas être atteintes par l'électricité de l'excitation. Ces zones apparaissent sombres dans les images.

Par ces méthodes, les défauts des cellules et des modules peuvent être détectés facilement et rapidement sans aucun outil de décision [30]

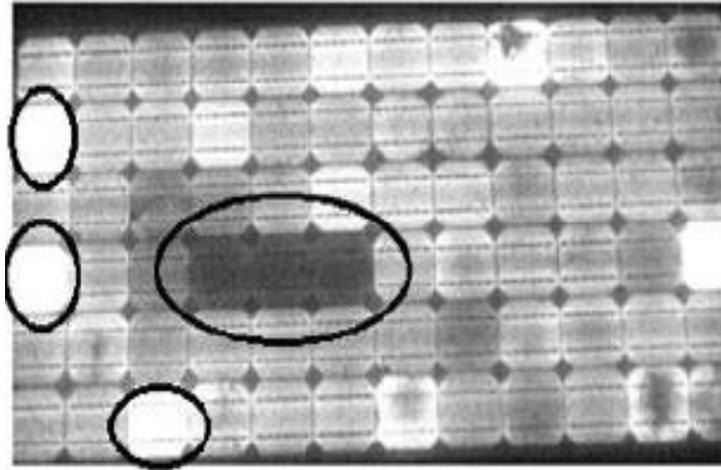


Figure II.15: Image par électroluminescence d'un module photovoltaïque avec des cellules dégradées.

8. Vibrations Ultrasoniques :

La technique des vibrations ultrasoniques par résonance a été développée pour la détection en ligne non destructive des fissures dans les plaquettes de silicium pleine grandeur et les cellules solaires. Cette méthodologie repose sur la déviation de la courbe de réponse en fréquence de résonance mesurée sur une plaquette présentant une fissure périphérique ou massive de longueur millimétrique et sur des plaquettes identiques non fissurées.

Trois critères de détection de fissures de la courbe de fréquence RUV ont été identifiés :

- décalage de la position du pic.
- augmentation de la bande passante.
- réduction de l'amplitude.[33]

9. Connexion CTCT des cellules photovoltaïque :

Pour la détermination et la localisation rapide et précise des cellules photovoltaïques bloquées ou ombrées, présente un nouveau type de connexion des Panneaux photovoltaïques appelée CTCT (complex-total-cross-tied array), comme illustré sur la Figure

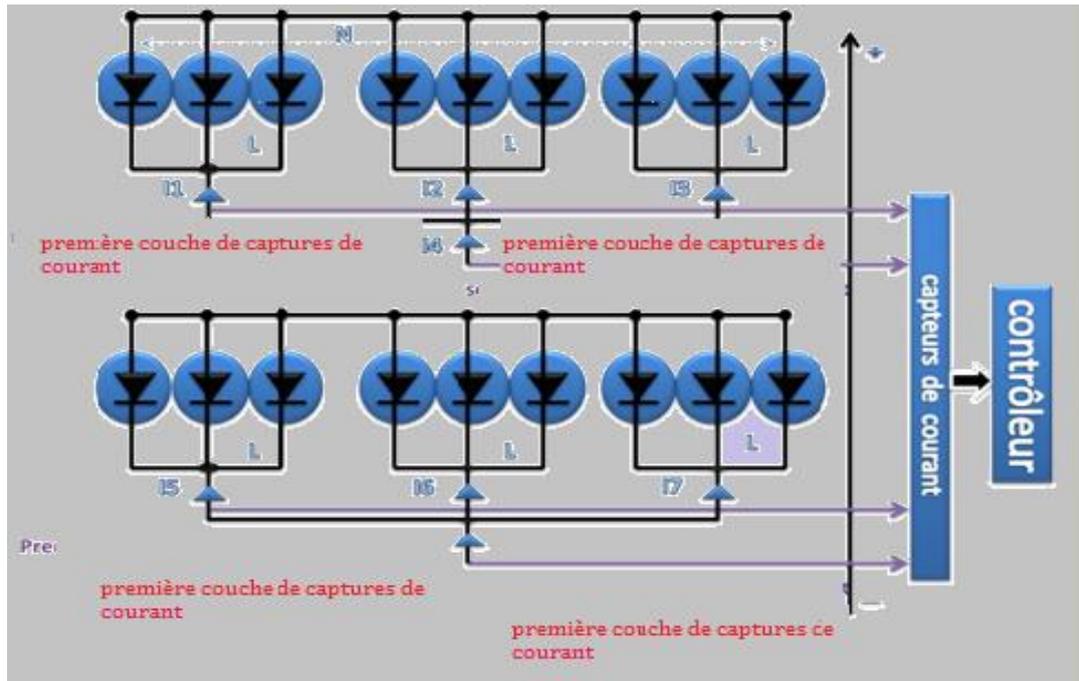
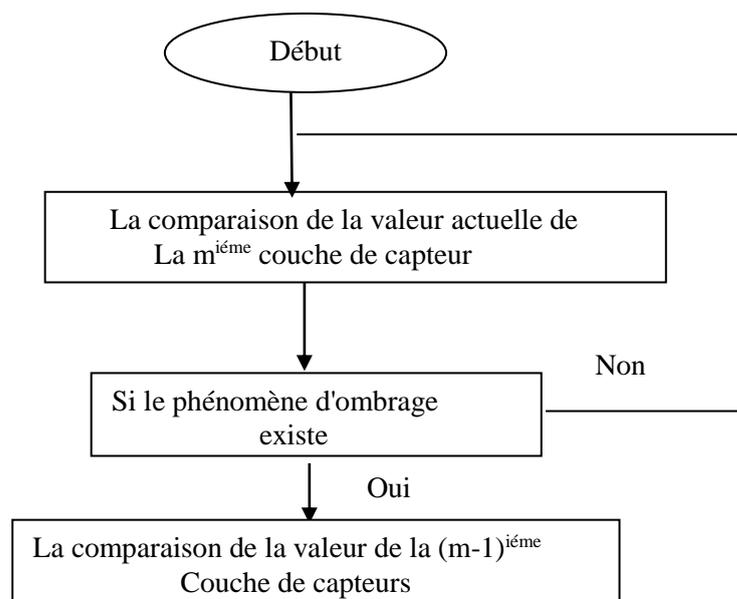


Figure II.16: principe de la méthode de la connexion CTCT.

Dans le CTCT, les cellules photovoltaïques sont connectées d'abord en parallèle et ensuite connecté en série. Des capteurs de courant sont ajoutés pour déterminer l'emplacement des cellules photovoltaïques ombrées. Qu'elles soient ombrées ou pas une décision peut être prise par la comparaison des courants des cellules photovoltaïques, entre deux groupes de cellules photovoltaïques connectés en parallèle, d'où M couches de capteurs de courant peuvent être mises en place, comme représenté sur la Figure II.16.

Quatre concepts liés sont présentés comme suit :

- " N : le nombre total de cellules photovoltaïques connectés en parallèle, avec $N > 1$.
- " Résolution L : le nombre total de groupes reliés en parallèle.
- " Couche m : le nombre de couches de détection, et m est en fonction de N et L.
- " X : le nombre total de capteurs de courant



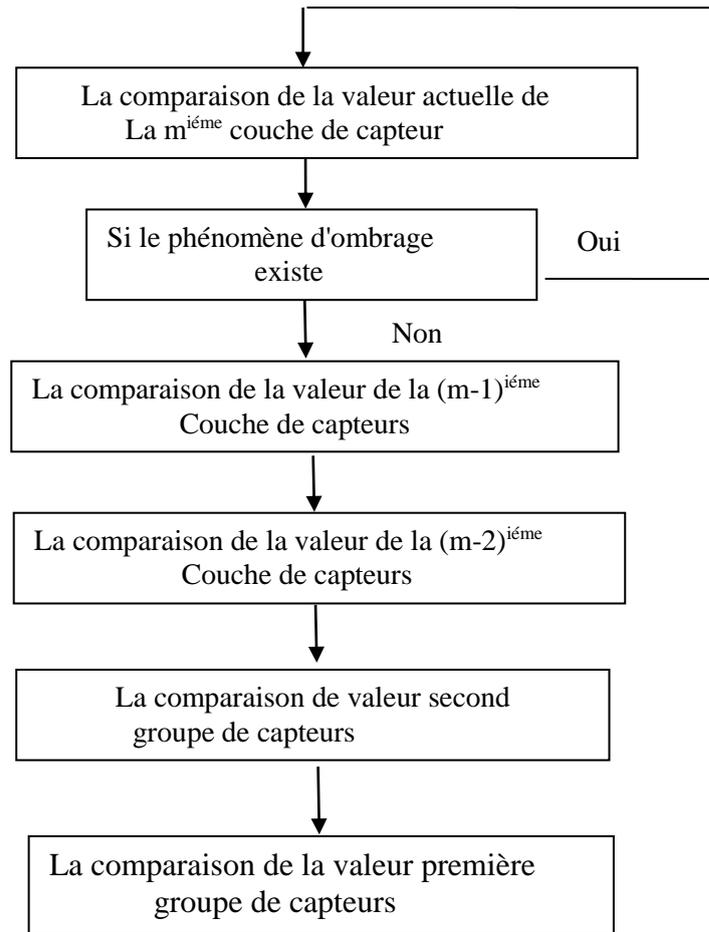


Figure II.17 : Organigramme de déroulement de logiciel

Le principe de cette méthode est donné comme suit. Par la mesure de la température ambiante et le rayonnement solaire, la valeur du courant produit par N cellules photovoltaïques dans le cas normal peut être calculé et nommé comme valeur théorique. D'abord une mesure de la valeur actuelle de la $m^{\text{ième}}$ couche de capteur est effectuée et est comparée avec la valeur théorique. Si la valeur mesurée et la valeur théorique sont égales, le phénomène de l'ombrage ne se manifeste pas. Cependant, si la valeur mesurée est inférieure à la valeur théorique, le phénomène d'ombrage peut-être présent.

Dans le cas de l'apparition d'ombre, la valeur courante de la $(m-1)^{\text{ème}}$ couche de capteurs peut nous aider à déterminer l'emplacement de la cellule photovoltaïque ombrée, ou affiner le domaine de la recherche. La mesure des valeurs de toutes les couches de capteurs et la comparaison de ces valeurs, permettent de déterminer l'emplacement de la cellule photovoltaïque ombrée. La résolution et l'organigramme du logiciel est représenté sur la figure II.17.

Par exemple on prend le générateur photovoltaïque avec deux lignes et neuf colonnes. Comme le montre la Figure, on a neuf cellules photovoltaïques connectées en parallèle pour créer un module. Deux modules sont connectés en série, de sorte que N égale à 9.

En mesurant la température ambiante et le rayonnement, nous pouvons obtenir la valeur du courant I produit par 9 cellules photovoltaïques dans le cas sans ombrage.

Tout d'abord, nous mesurons I_4 et I_8 dans la seconde couche, si I_4 , I_8 et I , sont égaux, le phénomène d'ombrage ne manifeste pas. Cependant, si I_4 ou I_8 est inférieur à I , le phénomène de l'ombre existe. Si seulement I_4 est inférieur à I , le phénomène d'ombre se produit simplement dans la première rangée de cellules. Puis nous mesurons I_1, I_2, I_3 dans la première couche puis nous comparons $I_1, I_2, I_3, (1/3).I$. Si au moins l'un des trois courants mesurés est inférieur à la valeur de $(1/3).I$. Si seulement I_1 est inférieur de $(1/3).I$, nous pouvons juger que le phénomène de l'ombrage ne se produit que dans les trois premières cellules photovoltaïques. De la même manière, si seulement I_2 est inférieur à $(1/3).I$, nous pouvons juger que le phénomène de l'ombre ne se produit que dans les trois cellules photovoltaïques de milieu. Et si I_3 est seulement inférieur à $(1/3).I$, nous pouvons juger que le phénomène de l'ombre ne se produit que dans les trois dernières cellules photovoltaïques.[30]

10. Analyse de la caractéristique statique :

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

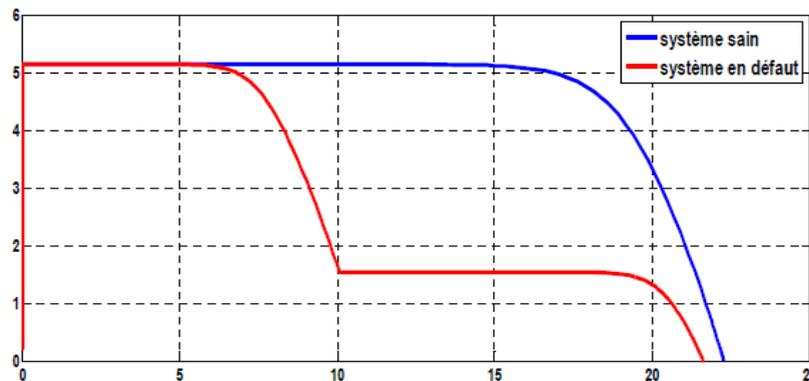


Figure II.18 : Allure de la caractéristique I -V d'un champ photovoltaïque en fonctionnement défaillant

En exploitant des informations de la caractéristique I-V du champ photovoltaïque (en défaut), la détection et la localisation de défauts peuvent être réalisées. Une telle analyse a été trouvée dans quelques études dans la littérature :

- " La dérivée du courant par rapport à la tension (dI/dV) tout au long de la caractéristique permet de détecter le défaut d'ombrage dans un string ou dans un champ.

- " L'extraction des paramètres (résistance série, température de fonctionnement au STC
- " Conditions de Test Standard, point de puissance maximale au STC) permet de détecter le défaut dans un module ou dans un string (augmentation de la résistance série entre cellules ou entre modules, vieillissement) .

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

11.Méthodes électriques :

Dans ces méthodes les grandeurs mesurées les plus courantes sont :

- " Le courant débité par le GPV.
- " La tension aux bornes du GPV.
- " La résistance d'isolement entre les bornes positive et négative du GPV.

Il est aussi possible d'ajouter les grandeurs complémentaires que sont la température ambiante du site et l'ensoleillement aux mesures électriques. Les mesures du côté AC sont plus importantes en nombre car directement liées à l'énergie qui sera vendue. Il est courant de relever:

- " Le courant AC.
- " La tension AC.
- " La fréquence.
- " L'impédance du réseau vue par l'onduleur.

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

- " La puissance instantanée DC
- " La puissance instantanée AC
- " L'énergie produite sur différentes périodes (suivant la capacité de stockage des données) côtés DC et AC.

On y ajoute souvent :

- " La durée de fonctionnement de l'onduleur
- " La date de mise en service
- " Le CO2 non rejeté dans l'atmosphère (économisé)

Les alertes de défaillance du système (principalement les défauts d'isolement).[37]

v. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les déferlants défauts d'un système (PV) On a montré que ces défauts peuvent être divisés en général aux défauts de fabrication, et aux défauts dus aux conditions climatiques et aux conditions d'exploitation. On a aussi constaté que la plupart des défauts dits électriques, sont dus aux conditions climatiques telles que l'augmentation de la résistance série.

Ensuite, nous avons donné quelques notions de base sur les méthodes de diagnostic des panneaux photovoltaïques. Ou Son rôle consiste à suivre le fonctionnement des photovoltaïque dans le but de détecter.

Dans le chapitre suivant, nous allons nous concentrer sur les méthodes de diagnostic automatiques, en respectant bien sûr les critères de coût, de simplicité et de facilité d'implémentation tout en essayant de réduire le temps de la détection et de localisation des défauts.

Chapitre III: Diagnostic des défauts d'ombrage et de fusible dans un système photovoltaïque avec Arduino

I. Introduction

Ce chapitre a pour objectif d'appliquer aux panneaux photovoltaïques une méthode de diagnostic complète qui doit réaliser les trois tâches principales :

- La détection, qui consiste à prendre une décision binaire, soit les systèmes fonctionnent correctement soit une panne est produite,
- La localisation, son rôle est de déterminer l'emplacement et les composants défectueux,
- L'identification, elle consiste à déterminer l'allure de la panne en vue de déterminer le type de maintenance ou de correction à réaliser sur l'installation.

Dans ce chapitre la première partie s'attache à concevoir une approche de diagnosticien se basant sur l'utilisation d'un minimum de capteurs et avec le moindre coût possible. On se concentre sur deux défauts les plus fréquents et qui ont presque la même signature sur la caractéristique de courant. Ces défauts sont l'ombrage partiel et l'endommagement des fusibles de la chaîne. La simulation nous a permis de valider notre approche et de prouver son efficacité.

La deuxième partie présente la conception d'un système expérimental de laboratoire permettant la validation des résultats théoriques. Ce système utilise un traceur automatique de la caractéristique courant de n'importe quel photovoltaïque. Les différentes topologies de ce traceur sont expliquées en détail. Les résultats pratiques obtenus par la création des défauts d'ombrage partiel et de l'endommagement des fusibles sur plusieurs types de connexion sont montrés l'efficacité du système conçu et de la méthode de diagnostic proposée.

II. Méthodes de détection et de localisation de défauts dans un système photovoltaïque :

Si nous voulons maximiser la production d'énergie pendant toute la vie du système photovoltaïque, nous devons être capables de reconnaître l'instant d'apparition d'un défaut ou une réduction de la puissance de sortie. Nous devons également savoir ce qui a causé la perte de la production dès que possible, et de trouver une solution rapide. Car le temps d'arrêt du système provoque en effet un dommage économique et une diminution de la production d'électricité [39].

Méthode d'identification des défauts

Dans cette partie on va exploiter le changement de la caractéristique $I(A)$ pour identifier le défaut d'ombrage partiel, et l'Endommagement des fusibles, ce changement peut être espéré lorsqu'il y a un changement de l'état du champ photovoltaïque provoqué par une variation des conditions climatiques (ensoleillement et température) ou par une apparition d'un ou des défauts dans le champ.

Raccordement des Matériaux :

ARDUINO NANO	LCD 2004 A	LED	PANAL
A5	SCL	/	/
A4	SDA	/	/
5 V	VOC	/	5V
GND	GND	/	GND
D2	/	Green	/
D3	/	Orange	/
D4	/	Red	/
A0	/	/	PANAL1
A1	/	/	PANAL2
A2	/	/	PANAL3
A3	/	/	PANAL4

Tableau III.1gr : Raccordement des Matériaux

Le tableau suivant représente le raccordement des matériaux de système proposé, chaque couleur de LED indique l'état du système défaut étudié (green : pas défaut / orange : défaut d'ombrage / red : endommagement de fusible).

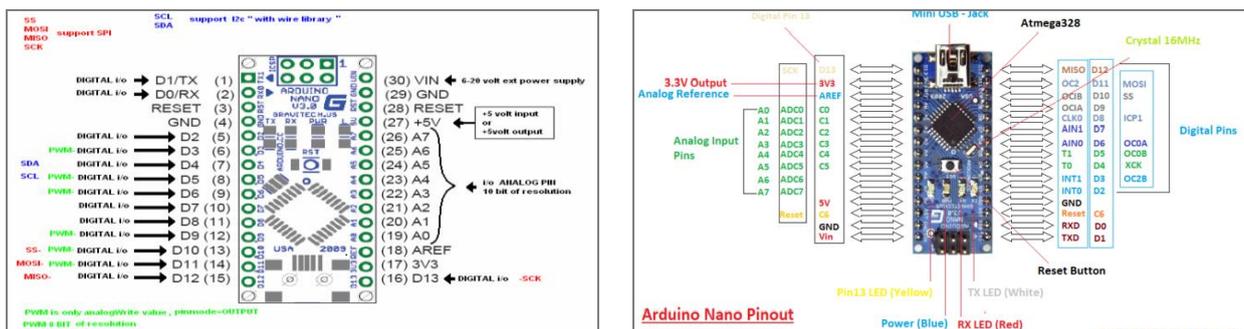


Figure III.1 Datasheet Arduino Nano

L'Arduino Nano dispose d'un certain nombre de fonctionnalités pour communiquer avec un ordinateur, un autre Arduino ou d'autres microcontrôleurs. Ils fournissent une communication série UART TTL (5V), qui est disponible sur les broches numériques 0 (RX) et 1 (TX). Un FTDI FT232RL sur la carte canalise cette communication série via USB et les pilotes FTDI fournissent un port com virtuel au logiciel sur l'ordinateur. Le logiciel Arduino comprend un moniteur série qui permet d'envoyer des données textuelles simples vers et depuis la carte Arduino. Les LED RX et TX sur la carte clignotent lorsque les données sont transmises via la puce FTDI et la connexion USB à l'ordinateur. . Le logiciel Arduino comprend une bibliothèque Wire pour simplifier l'utilisation du bus I2C.

Pour réaliser notre travail on a utilisé ARDUINO NANO qui a été exposé au figure III.1.



Figure III.2 Datasheet LCD 2004A



Figure III.3 : Potentiomètre B50K

Figure III.4 suivant montre l'organigramme de l'approche de diagnostic proposé, qui résume l'étape de détection, localisation et d'identification expliquée plus haut.

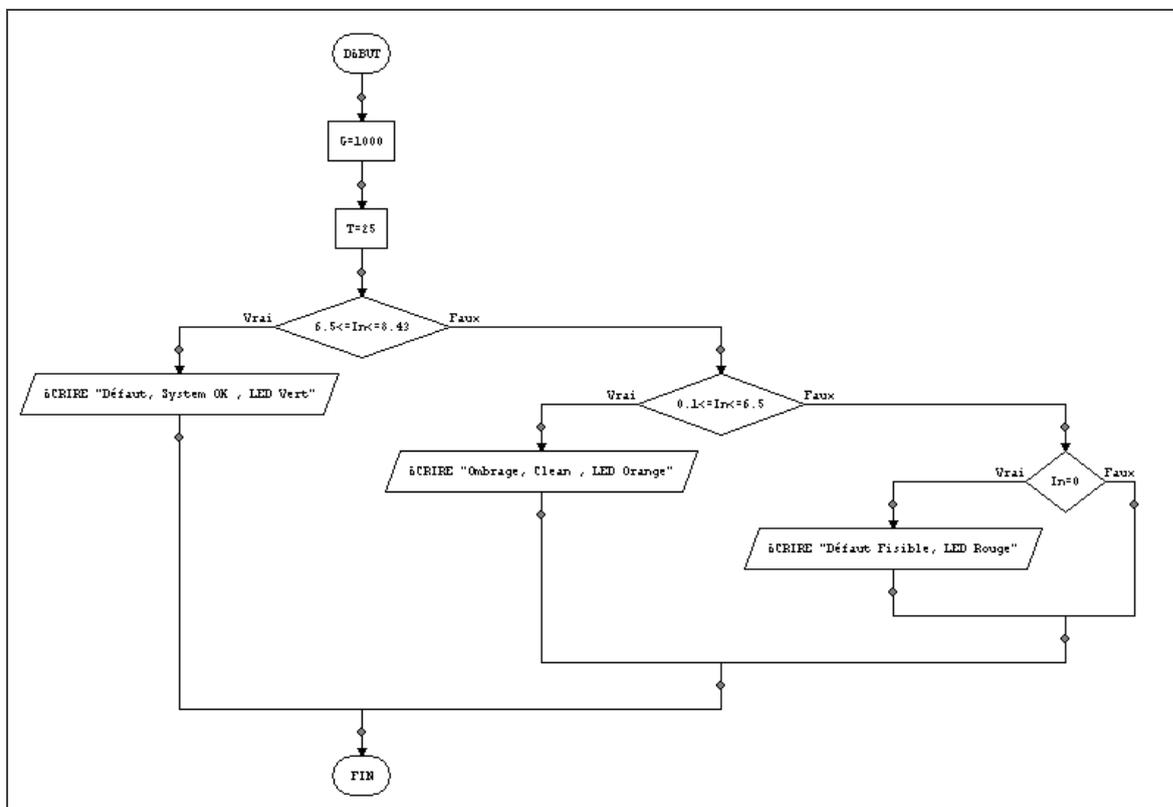


Figure III.4 : Algorithme de diagnostic de défauts

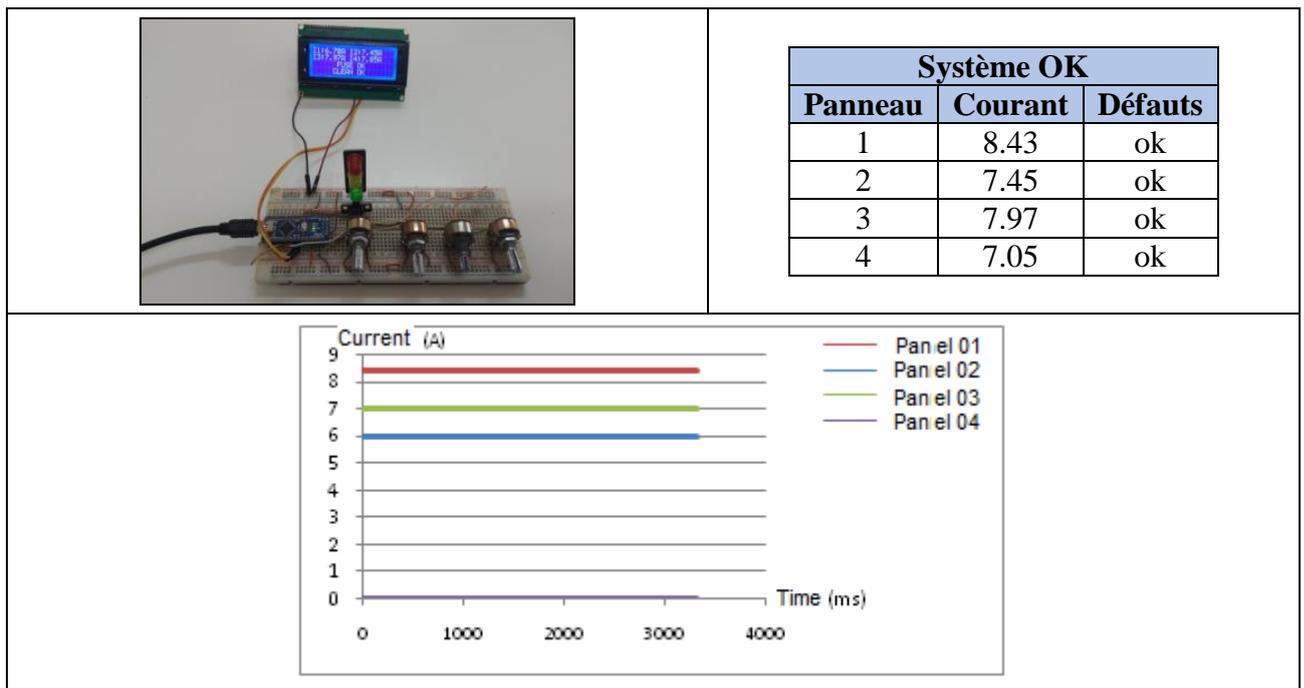
III Résultats de simulation et discussions

Pour la validation de la procédure de diagnostic proposée, nous avons installés quatre potentiomètre B50K connectés en parallèle qui représentent vingt-quatre panneaux photovoltaïques en séries, et chaque potentiomètre est considéré comme un groupe.

Pour la simulation nous avons considéré les défauts suivants :

- ✓ Un défaut d'ombrage de 75% sur le groupe G2.
Résultat : led orange est allumé
- ✓ Un défaut d'ombrage de 100% sur le groupe G1 et au même temps un autre de 50% sur le groupe G3.
Résultat : led orange est allumé
- ✓ Un défaut d'ombrage de 25% sur le groupe G4
Résultat : led orange est allumé

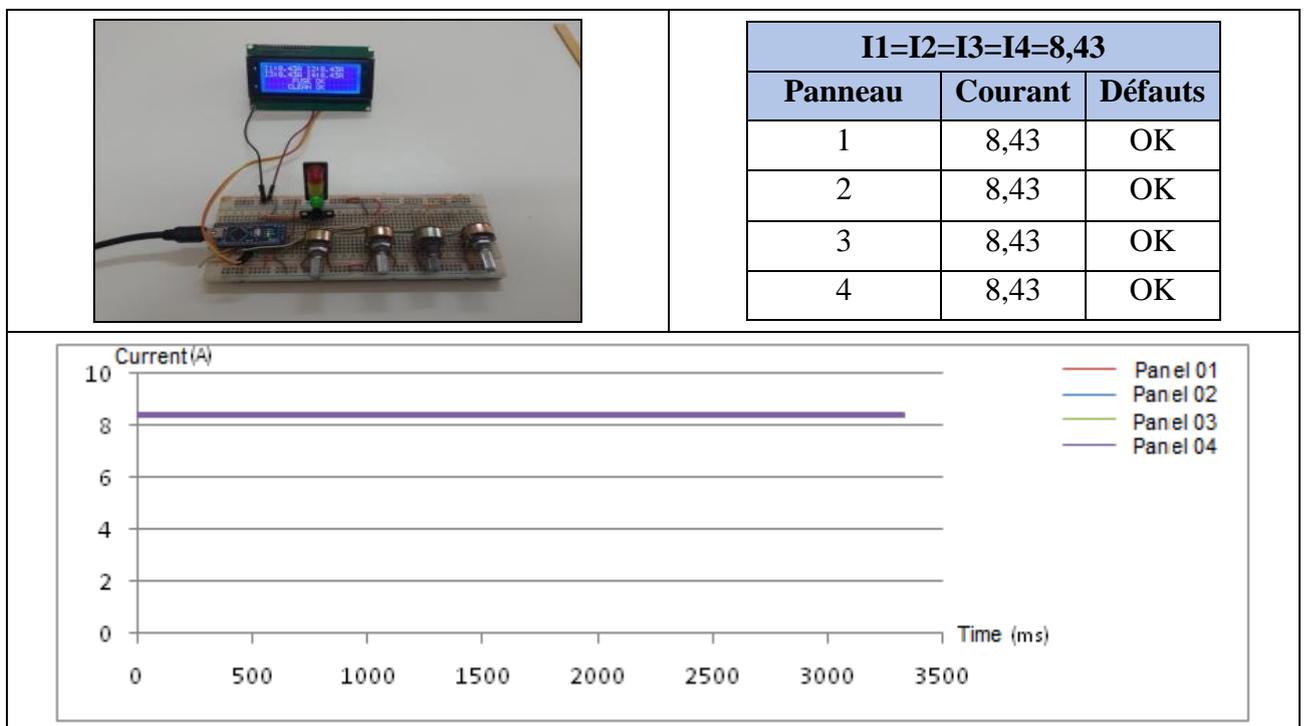
Cas non défaillant :



FigureIII.5 : Les courants des groupes superieur à 6 A

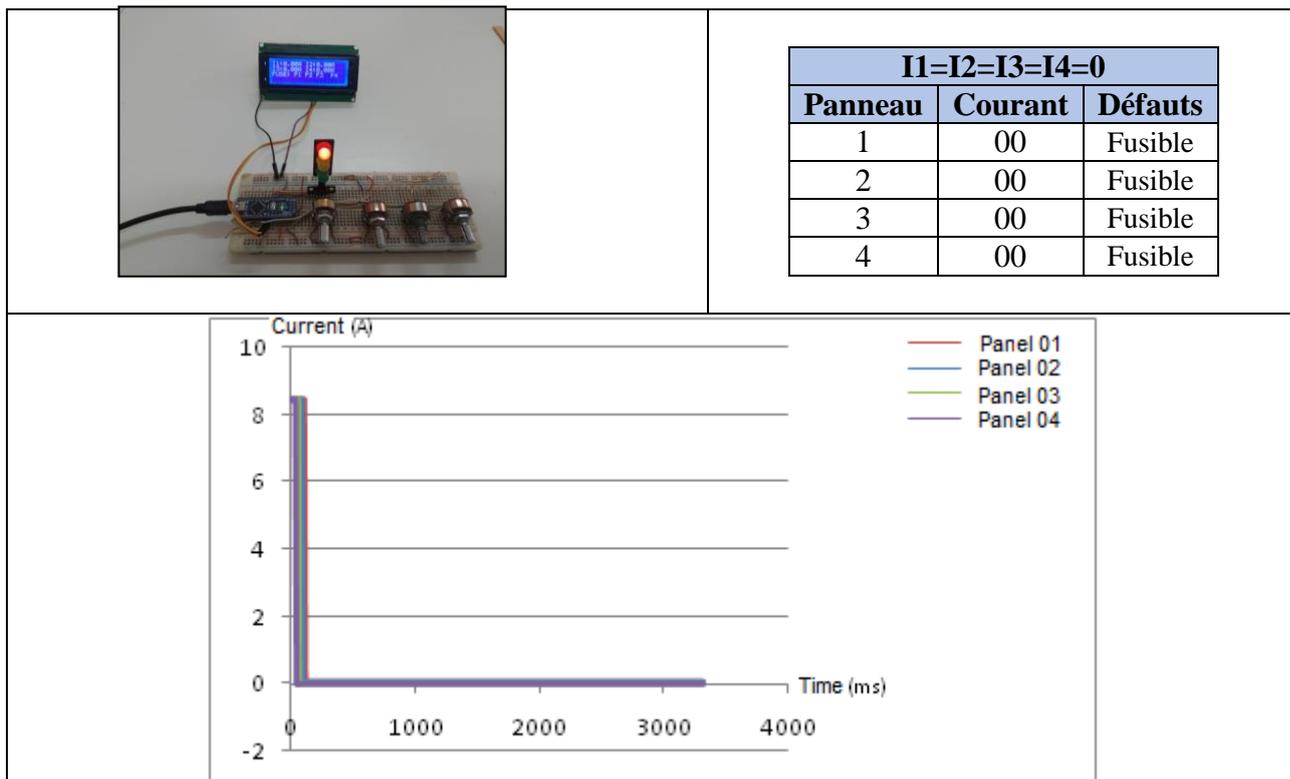
D'après la FigureIII.5 aucun défaut a été détectés

Cas $I_1=I_2=I_3=I_4=I_{max}$:



FigureIII.6: $I_1=I_2=I_3=I_4=8,43(I_{max})$

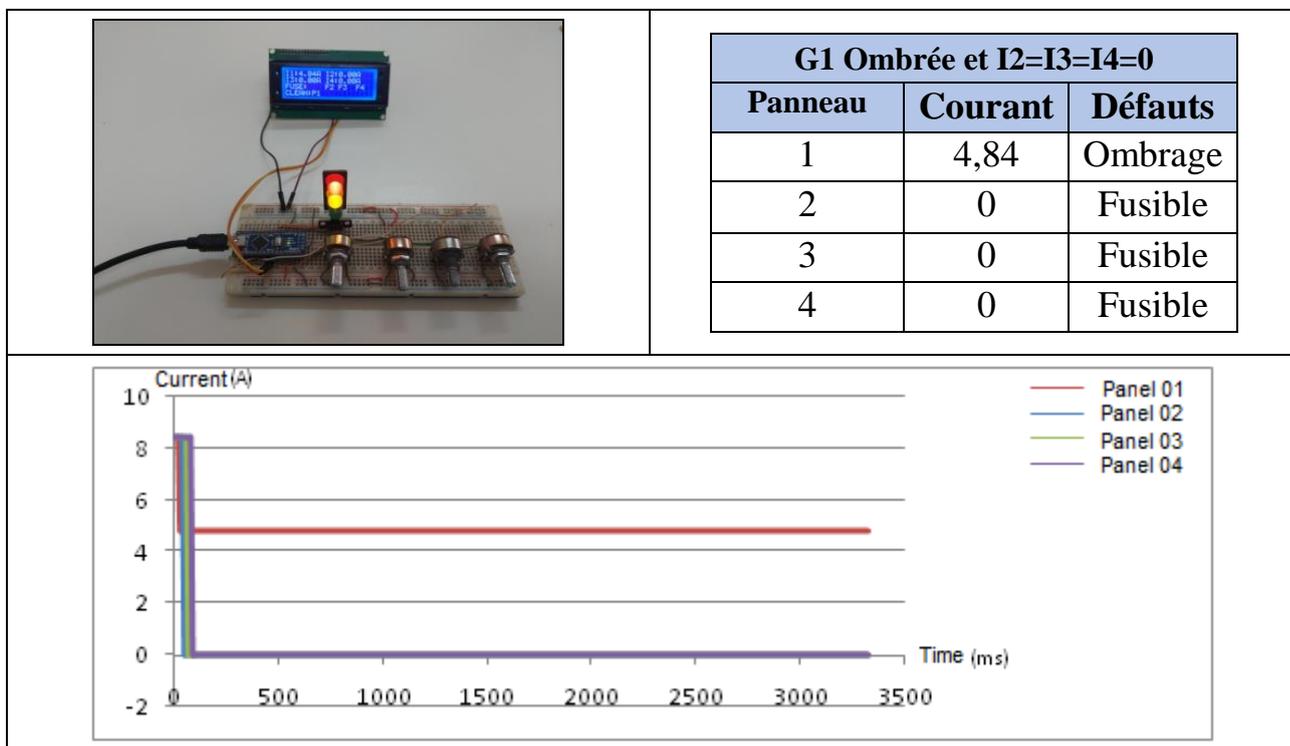
Cas d'endommagement des fusibles :



FigureIII.7 : Les courants des panneaux égale à 0

D'après la FigureIII.7 $I1=I2=I3=I4=0$ donc défaut détecté est un défaut de fusible (fusible endommagé)

Cas I2=I3=I4=0 et G1 ombrée :



FigureIII.8: G1Ombrée et I2=I3=I4=0

Cas d'endommagement des fusibles G1 et G3 et ombrage sur G2 et G4 :

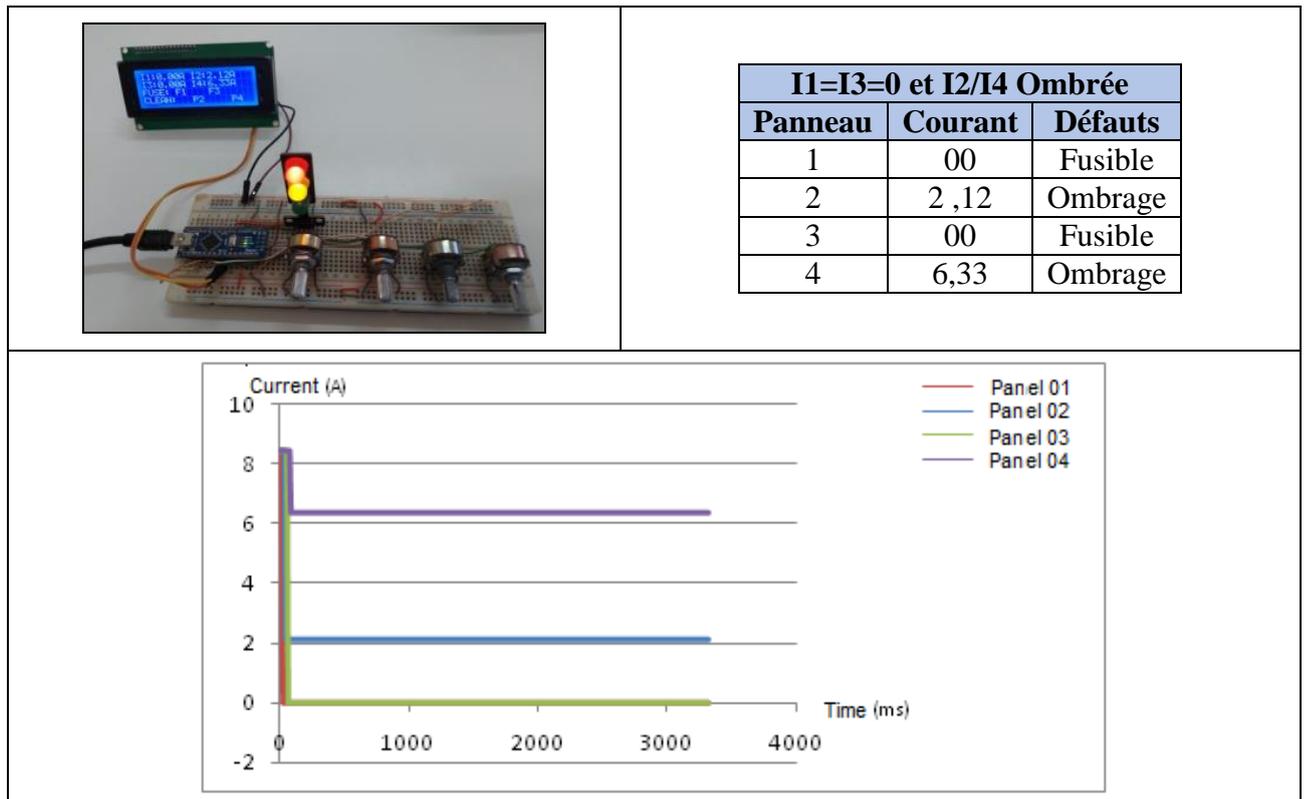


Figure III.9: Les courants des pannels et le seuil de détection de défauts

D'après la Figure III.7 Les groupe 1 et 3 détectent le défaut de fusible, tant que les groupes 2 et 4 ont la présence d'un défaut d'ombrage.

Cas I2=I3=0 et G1 et G4 ombrées:

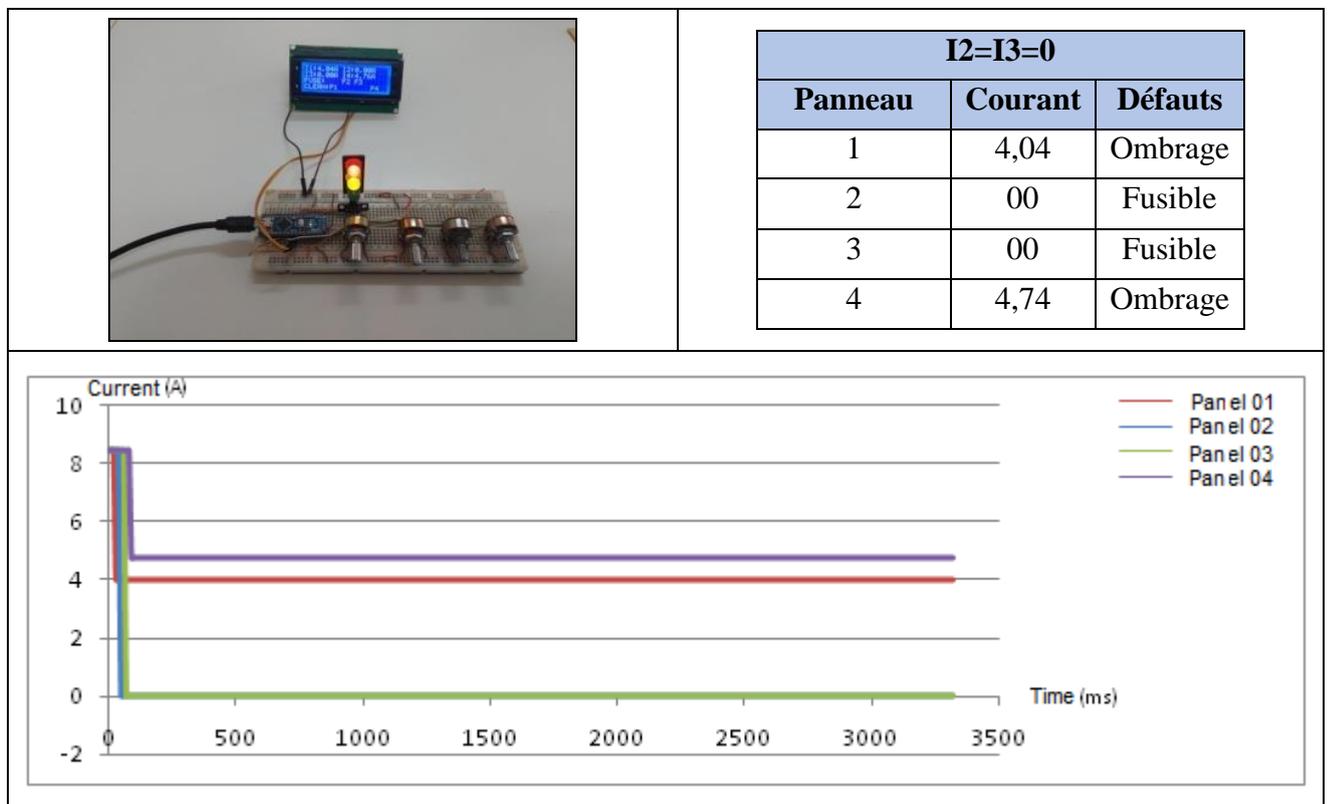
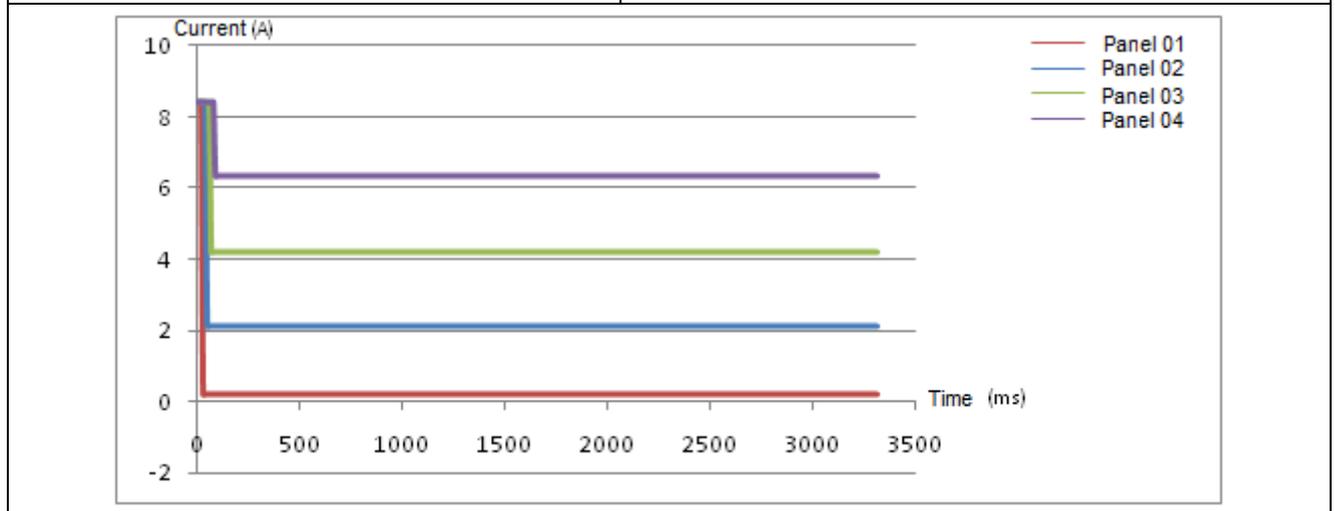
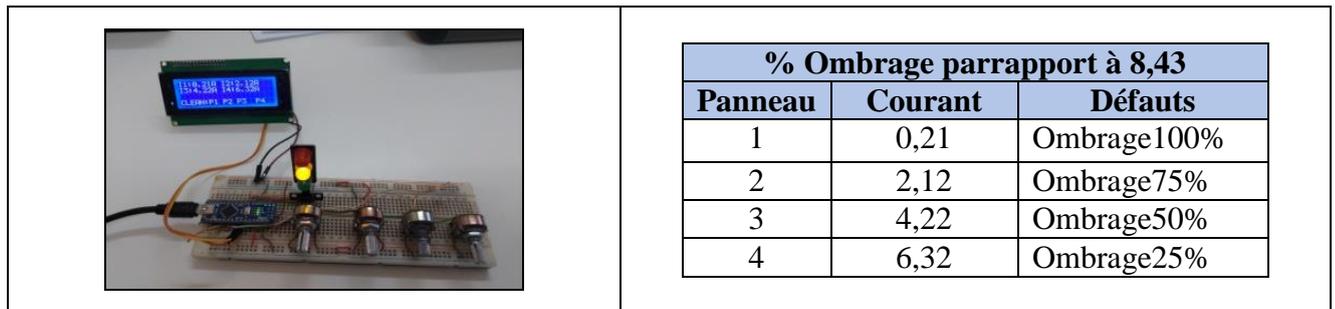


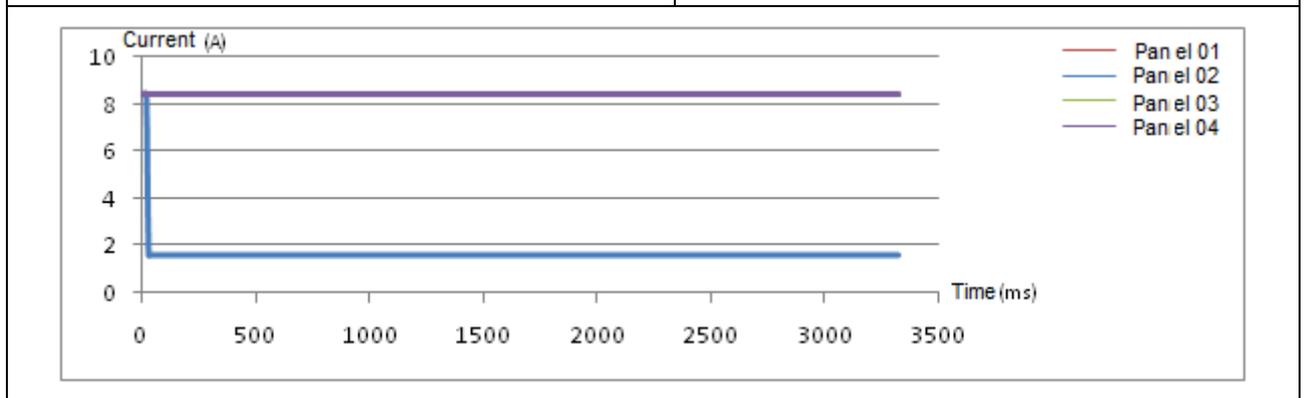
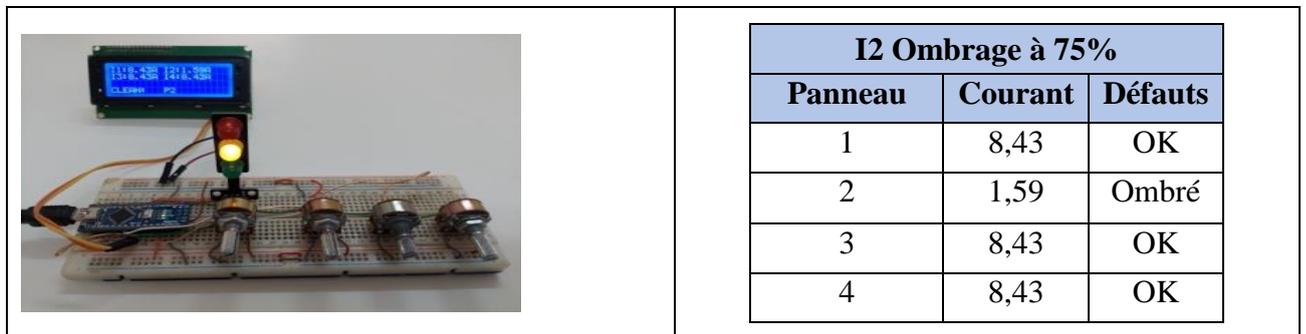
Figure III.10: I2=I3=0 et G1 et G4 ombrée

Cas % d'ombrage par rapport à 8.43 A:



FigureIII.11: Ombrage par rapport à 8,43

Cas I2 Ombrée à 75%:



FigureIII.12: I2 Ombrage de 75%

Cas d'ombrage de G3 à 50% :

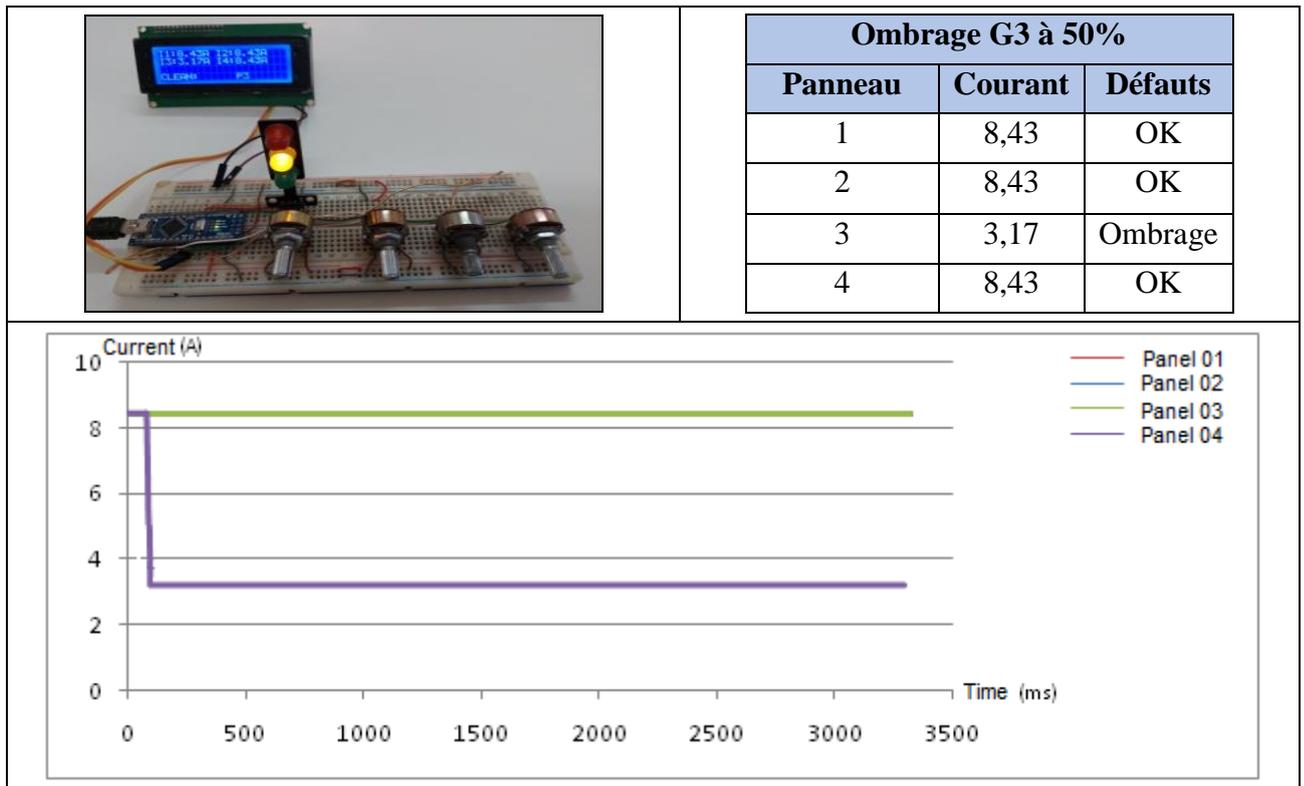


Figure III.13: G3 Ombrage 50%

Cas d'ombrage de G4 à 25%

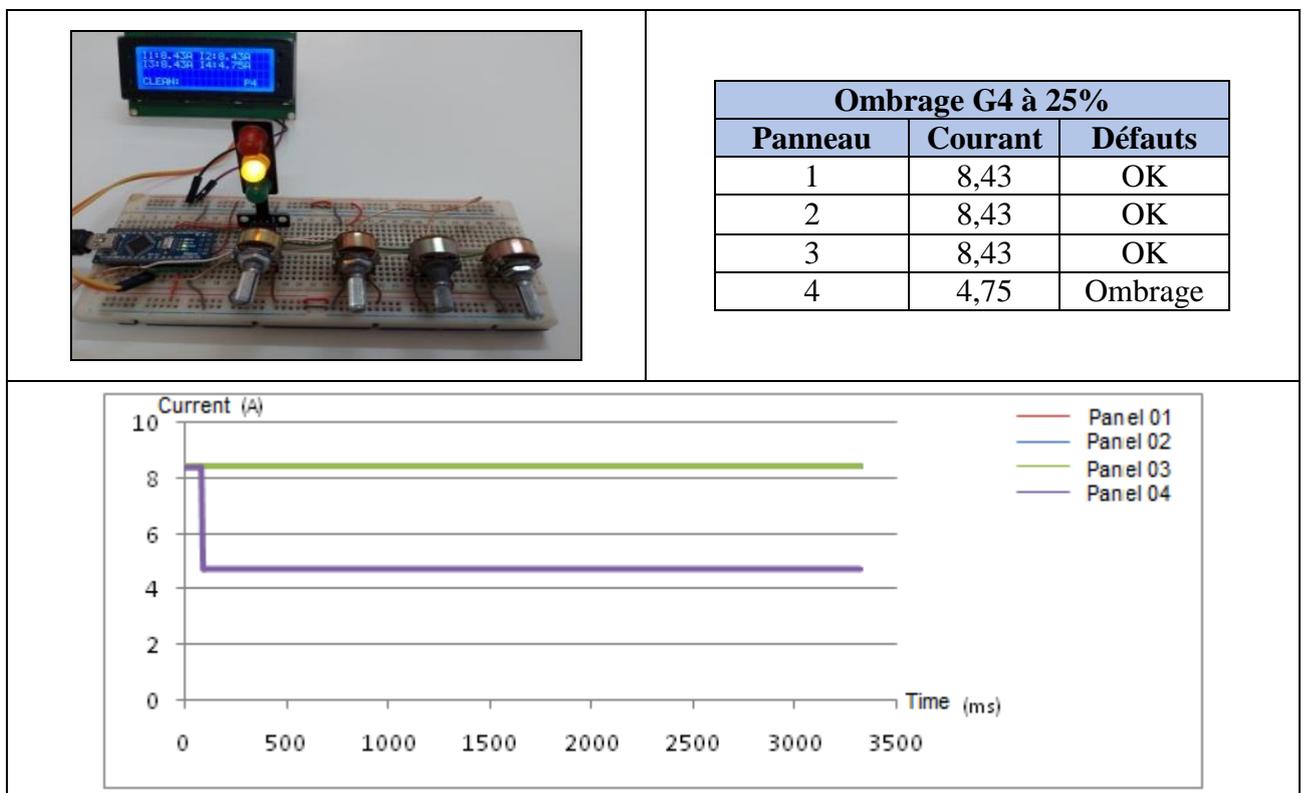


Figure III.14: G4 Ombrage 25%

% de l'ombrage	Courant 6.5A	Courant 8.43A	Courant 2A
100%	0.2	0.2	4.5
75%	1.59	2.10	5
50%	3.17	4.21	5.5
25%	4.75	6.32	6

Tableau III.2 : Pourcentage de l'ombrage à différents courants choisis

IV Conclusions

Dans ce chapitre une méthode automatique de détection et de localisation des défauts dans un générateur photovoltaïque connecté en série parallèle est présentée. Cette méthode combinant l'utilisation d'un minimum de capteurs de tension et les méthodes de test de point de fonctionnement ainsi que l'analyse de la caractéristique I(T). Dans un premier temps, des résultats de simulations sont présentés, ces simulations sont faites sur une branche de panneaux connectés en série afin de valider la méthode proposée.

Des tests de défauts d'ombrage partiel et l'Endommagement des Fusibles sur une branche de panneaux connectés en séries, et la comparaison des courants de chaque groupe à une courant de seuil à permis de détecter et de localiser les défauts, l'étape d'identification de défauts est réalisée par l'analyse de la caractéristique I(T). Toutes les commandes et les résultats sont réalisés à travers une interface graphique développée à l'aide du logiciel ARDUINO NANO. Les résultats de simulation et les tests pratiques obtenus ont montré l'efficacité de la méthode proposée et du modèle utilisé.

Conclusion Générale

Le travail présenté dans cette mémoire s'inscrit dans la continuité des travaux de l'équipe de conduite et de surveillance dans la centrale photovoltaïque raccordé au réseau pour la détection et la localisation des défauts.

Ce travail a été orienté vers le diagnostic des défauts d'ombrage et l'Endommagement des Fusibles au niveau des panneaux photovoltaïques. Une approche globale a été proposée en se basant essentiellement sur l'analyse de la caractéristique de courant. La motivation majeure de ce travail réside dans le fait que les défauts cités précédemment engendrent la même signature sur la caractéristique. La contribution apportée dans cette mémoire apparaît dans la capacité de séparer les deux signatures d'une part et de proposer tout un environnement matériel et logiciel, entièrement réalisé au laboratoire permettant de tracer la caractéristique de n'importe quel photovoltaïque de manière automatique et de fournir une aide à la décision du diagnostic des défauts précédents.

Dans le premier chapitre, nous avons rappelé les concepts généraux de la surveillance. Pour commencer nous avons présenté les terminologies et les définitions utilisées dans la surveillance des pannes puis, nous avons abordé les différentes approches et méthodes de la détection et de la localisation des défaillances dans un processus industriel.

Dans le second chapitre, de cette mémoire se divise en deux parties, la première partie présente les différents défauts affectant un des panneaux photovoltaïques que se soit les défauts dus aux conditions climatiques ou aux défauts de construction et d'utilisations, ainsi que l'effet de ces défauts sur les paramètres électriques et physiques. La deuxième partie

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Benyoucef CHAIBI et Charafeddine MERADJI (Génération d'algorithmes de diagnostic à l'aide d'observateurs à entrées inconnues) ÉCOLE SUPERIEUR EN SCIENCES APPLIQUEES DE TLEMCCEN , MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER, May 2016.
- [2] Bedoud Kholoud «Modélisation et diagnostic de défaillance d'une électrovanne pneumatique » mémoire de magister Université, de Badji Mokhtar 2010
- [3] R. Kadri, H. Andrei, J.-P. Gaubert, T. Ivanovici, G. Champenois, and P. Andrei, “Modeling of the photovoltaic cell circuit parameters for optimum connection model and real-time emulator with partial shadow conditions,” *Energy*, vol. 42, no. 1, pp. 57–67, Jun. 2012.
- [4] Benlaloui Idriss « commande, observation et diagnostic d'un système non-linéaire : application à la machine asynchrone en présence de défauts »Université de Batna 2 faculté de technologie département d'électrotechnique 2016
- [5] S. Roy Chowdhury and H. Saha, “Maximum power point tracking of partially shaded solar photovoltaic arrays,” in *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2010, vol. 94, no. 9, pp. 1441–1447.
- [6] M. Benkaci, “Surveillance des systèmes mécatronique d'automobile par des méthodes d'apprentissage.” Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2011.
- [7] [Mr HABBI HACENE(Identification et Surveillance de Processus Dynamiques Complexes par Logique Floue.Application à un échangeur de chaleur) THÈSE DE DOCTORAT UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA DE BOUMERDES le 3 juillet 2007]
- [8] M. Staroswiecki and G. Comtet-Varga, “Analytical redundancy relations for fault detection and isolation in algebraic dynamic systems,” *Automatica*, vol. 37, no. 5, pp. 687–699, 2001.
- [9] M. Rodrigues, D. Theilliol, M. Adam-Medina, and D. Sauter, “A fault detection and isolation scheme for industrial systems based on multiple operating models,” *Control Eng. Pract.*, vol. 16, no. 2, pp. 225–239, 2008.
- [10] H. Hacene, “Identification et surveillance de processus dynamiques complexes par logique floue. Application à un échangeur de chaleur.” *These Dr.* Université M'hamed Bougara de Boumerdès, 2007.

- [11] D. Berdjag, “Méthodes algébriques pour la décomposition de modèles comportementaux: Application à la détection et à la localisation de défaillances.” *These Dr.* Université des Sciences et Technologie de Lille-Lille I, 2007.
- [12] [SI HALI Myriam(Diagnostic de défauts à base d'observateurs à entrées inconnues : Application au système hydraulique.) Mémoire de Fin d'Etudes le 05 décembre 2019]
- [13] R. Fellouah, “Contribution au diagnostic de pannes pour les systèmes différentiellement plats.” *These Dr.* INSA de Toulouse, 2007.
- [14] A. O. Molina, “Méthodologie pour le placement des capteurs à base de méthodes de classification en vue du diagnostic.” *These Dr.* INSA de Toulouse, 2005.
- [15] V. Cocquempot, “Contribution à la surveillance des systèmes industriels complexes.” *These Dr.* Université des Sciences et Technologie de Lille-Lille I, 2004.
- [16] DJELLOUL Imene(Contribution au diagnostic et à l'optimisation des stratégies de maintenance des systèmes) Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen DOCTORAT 3ème Cycle le 26.5.2016
- [17] R. J. Patton, “Fault detection and diagnosis in aerospace systems using analytical redundancy,” *Comput. Control Eng. J.*, vol. 2, no. 3, pp. 127–136, 1991
- [18] R. Mrani Alaoui, “Conception d'un module de diagnostic à base de suites de bandes Temporelles en vue de la supervision des procédés énergétiques: application en ligne à un générateur de vapeur.” *These Dr.* Université des Sciences et Technologie de Lille-Lille I, 2004.
- [19] H. Derbel, “Diagnostic à base de modèles des systèmes temporisés et d'une sous- classe de systèmes dynamiques hybrides.” *These Dr.* Université Joseph-Fourier- Grenoble I, 2009.
- [20] G. Didier, “Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances,” *These Dr. l'université Henri Poincaré, Nancy-I*, 2004.
- [21] R. Bensaadi and H. Mouss, “Diagnostic de défaillances par Reconnaissance de Formes.” 3rd International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications March 27-31, 2005 – TUNISIA.
- [22] O. Ondel, “Diagnostic par reconnaissance des formes: Application à un ensemble convertisseur-machine asynchrone.” *These Dr.* Ecole Centrale de Lyon, 2006.

- [23] J.-P. Haton and M.-C. Haton, *L'intelligence artificielle*. Presses universitaires de France, 1989.
- [24] S. Guillaume and B. Charnomordic, "Systèmes d'inférence floue: collaboration expertise et données dans un environnement de modélisation intégrée à l'aide de FisPro," *Rev. d'intelligence Artif.*, vol. 1, p. 26, 2013.
- [25] M. bayoudh, "Active Diagnosis of Hybrid Systems Guided by Diagnosability Properties - Application to Autonomous Satellites" *Thèse Dr.* Toulouse, INPT, 2009.
- [26] S. Bachir, I. B. A. Bazine, T. Poinot, K. Jellassi, and J.-C. Trigeassou, "Estimation paramétrique pour le diagnostic des processus: Application à la bobine à noyau de fer," *J. Eur. des Systèmes Autom.*, vol. 42, no. 5, pp. 509–539, 2008.
- [27] R. E. Kalman and R. S. Bucy, "New results in linear filtering and prediction theory," *J. Fluids Eng.*, vol. 83, no. 1, pp. 95–108, 1961.
- [28] L. Bun, "Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV." *These Dr.* Université de Grenoble, 2011.
- [29] Hemza ARAR THÈSE Doctorat 3ème cycle (Etude de la fiabilité et du vieillissement des panneaux photovoltaïques) UNIVERSITÉ DES FRÈRES MENTOURI, CONSTANTINE 20/06/2019
- [30] KHENFER RIAD THEME DOCTORAT (Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques) UNIVERSITE FERHAT ABBES - SETIF1 2015
- [31] <https://www.voltimum.fr/news/panneaux-solaires-et-points-chauds-quelles>
- [32] Long BUN(Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV) THÈSE Doctorat université de Grenoble 04/11/2011
- [33] ROUABAH LAHCENE et ZITOUNI DJALLEL(Etude et détection de défauts dans un système photovoltaïque) MEMOIRE DE MASTER Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi –Bordj Bou Arreridj 2019/2020
- [34] <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01250271>
- [35] Aicha DJALAB(Diagnosis of faults in a renewable energy system based on artificial intelligence techniques: Application on a photovoltaic system) THESE DOCTORAT Ziane Achour University DE Djelfa 2020

- [36] DRIF Mahmoud (Etude d'identification et localisation des défauts d'un générateur photovoltaïque) MEMOIRE DE MASTER , UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA 2016
- [37] Mr. Belaout Abdesslam (Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension MEMOIRE DE MASTER UNIVERSITE – SETIF-1- U-S-1 (ALGERIE)
- [38] Benkara Mahammed Abdelmoutalib Mémoire Master (Détection et compensation de défaut dans un système photovoltaïque) Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi 2020/2021
- [39] M. H. Wang and H. C. Chen, “Application of extension theory to the fault diagnosis of power transformers,” in *Proc. 22nd Symp. on Electrical Power Engineering, Kaohsiung, Taiwan*, 2001, pp. 21–22.

Résumé :

Le travail présenté dans ce mémoire a pour objectif de présenter une méthode de diagnostic et de surveillance de panneaux photovoltaïques dans une mini-centrale, utilisant un algorithme pour la détection et la localisation de défaut d'ombrage partiel, avec l'analyse des courants de sortie de chaque groupe de ce système PV, avec l'utilisation d'Arduino-uno pour le traitement des données et à la fin pour avoir des courbes de surveillance des courants de notre système photovoltaïque proposé.

Mots clés : systèmes photovoltaïques, défaut d'ombrage partiel, système de surveillance et de diagnostic, localisation du défaut, courant de sortie, Arduino.

Summary :

The work presented in this thesis aims to present a method for diagnosing and monitoring photovoltaic panels in a mini-power plant, using an algorithm for the detection and localization of partial shading faults, with the analysis of the currents of output of each group of this PV system, with the use of Arduino-uno for data processing and at the end to have current monitoring curves of our proposed photovoltaic system. Keywords: photovoltaic systems, partial shading fault, monitoring and diagnostic system, fault location, output current, Arduino.