

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Automatique

Laboratoire de commande de processus industriels

Mémoire de Master en Automatique

Diagnostic des défauts des panneaux photovoltaïques en utilisant le modèle SANDIA : tests et validation

CHIBANE Lydia

Sous la direction de Mr M.CHAKIR

Présenté et soutenu publiquement le 29/06/2017

Composition du jury

Président	Mr M.TADJINE	professeur	ENP Alger
Examineur	Mr M.S.BOUCHERIT	professeur	ENP Alger
Promoteur	Mr M.CHAKIR	MCB	ENP Alger

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Automatique

Laboratoire de commande de processus industriels

Mémoire de Master en Automatique

Diagnostic des défauts des panneaux photovoltaïques en utilisant le modèle SANDIA : tests et validation

CHIBANE Lydia

Sous la direction de Mr M.CHAKIR

Présenté et soutenu publiquement le 29/06/2017

Composition du jury

Président	Mr M.S.BOUCHERIT	professeur	ENP Alger
Examineur	Mr M.TADJINE	professeur	ENP Alger
Promoteur	Mr M.CHAKIR	MCB	ENP Alger

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, qui m'ont
fourni un soutien et une confiance sans faille ; que dieu vous protège
et vous garde pour moi.*

A mes deux chers frères et mes belles sœurs que j'aime tant.

*A ma précieuse sœur les mots ne peuvent résumer mon amour à ton
égard et son mari.*

A ma grand-mère que dieu la garde pour nous.

A mes tantes, oncles, cousins et cousines.

*A tous mes amis avec qui j'ai partagé des moments de joie et de
bonheur.*

*Que toute personne m'ayant aidé, de près ou de loin, trouve ici
l'expression de ma reconnaissance.*

Remerciements

Je remercie en premier lieu ALLAH, pour m'avoir donné courage, volonté et patience afin d'accomplir ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à mon tuteur encadreur Mr CHAKIR professeur à l'école nationale polytechnique d'Alger pour avoir proposé le sujet et pour l'aide précieuse et le temps qu'il m'a consacré.

Je tiens à remercier le corps professorale de l'ENP d'Alger pour sa qualité s'enseignement et le corps administratif pour ses effort afin d'accomplir les trois années au sein de l'école.

Je remercie aussi tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce rapport.

Merci à toutes et à tous

ملخص

احتياجات سكان العالم للطاقة في ارتفاع مستمر. الطاقة المتجددة هي الحل الأمثل لإنتاج الطاقة بما في ذلك النظم الكهربائية الضوئية لتوليد الكهرباء من ضوء الشمس. ومع ذلك، يمكن أن تحدث أخطاء أثناء تشغيل الألواح الشمسية، لذلك نحتاج الى تشخيص.

بعد تطوير خوارزمية لكشف وتحديد الاعطال باستخدام نموذج SANDIA لتحليل التباين من نقطة التشغيل المثلى (MPP) على أساس درجة الحرارة والإشعاع الشمسي لضمان أداء هذا النظام التشخيصي ينبغي تحديد بعض المعايير لتقييم النظام و هذا هو الهدف من العمل.

الكلمات المفتاحية:

مولدات الضوئية، التشخيص SANDIA. MPP.

Abstract:

The energy needs of the world's population are rising steadily. Renewable energies are the solution for a significant production of energy especially photovoltaic systems for the production of electricity from sunlight. However, anomalies and defects may occur during operation of the solar panels, hence the need for a diagnosis. We developed a defect detection and localization algorithm using SANDIA model for the analysis of the variation of the optimum operating point (MPP) as a function of the temperature and solar illumination conditions.

After that, we need to confirm the method used for the diagnosis based on some criterion.

Key words: photovoltaic generators, diagnostics, MPP, SANDIA, validation.

Résumé:

Les besoin énergétiques de la population mondiale s'élèvent continuellement. Les énergies renouvelables sont la solution pour une production importante de l'énergie notamment les systèmes photovoltaïques pour la production d'électricité à partir de la lumière solaire. Or, des anomalies et défauts peuvent survenir au cours du fonctionnement des panneaux solaire, d'où la nécessité d'effectuer un diagnostic. On a développé une nouvelle approche pour la détection et localisation des défauts en utilisant le modèle SANDIA pour l'analyse de la variation du point de fonctionnement optimale (MPP) en fonction des conditions de température et d'éclairement solaire.

Pour s'assurer de la performance de ce système de diagnostic, il convient de définir certains critères pour l'évaluation de ce système qu'on va développer dans ce travail en vue de son affirmation ou infirmation.

Mots clés : générateurs photovoltaïques, diagnostic, MPP, SANDIA, Validation.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction:	9
1. Défauts dans un système photovoltaïque :	10
2. Approche de diagnostic :	11
2.1. Choix de l'approche de diagnostic :	11
2.1.1. Différentes approches théoriques de diagnostic :	11
2.1.2. Le diagnostic par la méthode de classification :	12
3. Elaboration de l'algorithme de DLD.....	13
3.1. Etape 1 : Simulation de différents scénarios de défauts :	13
3.2. Etape 2 : Modélisation des défauts :	15
3.3. Constitution de la base de connaissance :	17
3.3.1. Première approche :	17
3.3.2. Classification des défauts :	18
3.3.3. Approche statistique :	19
3.4. Etape 3 : développement de l'algorithme de DLD :	21
3.4.1. Choix d'un critère pour le déclenchement du diagnostic :	21
3.4.2. Approche pour la détection de la nature du défaut :	21
4. Test de l'algorithme :	23
5. Validation de l'algorithme de diagnostic :	26
5.1. Détectabilité :	26
5.2. Localisation :	28
5.3. Sensibilité :	28
5.4. Robustesse :	31
Conclusion.....	32
Bibliographie	33

Liste des figures

Figure 1. Schéma du générateur photovoltaïque choisi.	11
Figure 2. Différentes méthodes de diagnostic.....	11
Figure 3. Schéma global décrivant les étapes de construction de l'algorithme DLD	13
Figure 4. Courbes des variations des conditions météorologiques.....	14
Figure 5. Simulation des défauts et sauvegarde de données	15
Figure 6. Modélisation des défauts (identification des paramètres).....	16
Figure 7. Puissance maximale générée et estimée par le modèle SANDIA	17
Figure 8. Tension de circuit ouvert générée et estimée par le modèle SANDIA	17
Figure 9. Déroulement de l'algorithme de DLD	22
Figure 10. Évolution de la puissance maximale du défaut D1	25
Figure 11. Evolution de la puissance maximale du défaut D2	25
Figure 12. Évolution de la puissance maximale du défaut D3	26
Figure 13. Évolution de la puissance maximale du défaut D4	26
Figure 14. Courbes P-V d'une cellule ombragée	27
Figure 15. Courbes P-V d'un groupement de cellules affecté par l'ombrage.....	27
Figure 16. Courbes P-V d'un module avec différents cas de sévérité d'un défaut mismatch type Rs....	27
Figure 17. Influence du court-circuit de DBP sur les Courbes P-V du module étudié.....	28

liste des tableaux

Tableau 1. Principaux défauts et anomalies dans un GPV	10
Tableau 2. Définition de la sévérité des défauts	14
Tableau 3. Champs d'estimés d'un défaut byass (court-circuit)	17
Tableau 4. Base de connaissance	18
Tableau 5. Champ de paramètres estimés pour un défaut de type Mismatch série de faible sévérité ...	18
Tableau 6. Champ de paramètres estimés pour un défaut de type mismatch série de sévérité importante	19
Tableau 7. Table de CHAUVENET	20
Tableau 8. Champ d'estimés pour un défaut d'ombrage de faible sévérité	20
Tableau 9. Base de connaissance finale	21
Tableau 10. Coefficients des différents défauts pour le test de l'algorithme	23
Tableau 11. Les valeurs de Δ pour le défaut D1	23
Tableau 12. Les valeurs de Δ pour le défaut D2	24
Tableau 13. Les valeurs de Δ pour le défaut D3	24
Tableau 14. Les valeurs de Δ pour le défaut D4	24
Tableau 15. Validation de l'algorithme	31

Liste des abréviations

PV : Photovoltaïque.

PPV : Panneau Photovoltaïque.

GPV : Générateur Photovoltaïque.

MPP : Point de puissance maximale (Maximum Power Point en anglais)

BP: bypass.

DBP: diode bypass.

DLD: Détection et Localisation des Défauts.

Introduction:

Durant les dernières années, la croissance du besoin en énergie, ainsi que la pollution provenant de l'utilisation des énergies fossiles poussent le grand public à utiliser les énergies renouvelables. Dans ce contexte, l'énergie solaire photovoltaïque est l'une des plus importantes sources d'énergie renouvelable, qui présente un dénouement à nos problèmes de production d'énergie. De plus, cette énergie semble la plus prometteuse, non polluante et inépuisable.

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie de la lumière solaire en énergie électrique et ce en utilisant les panneaux solaires.

Comme tous les autres processus industriels, un système photovoltaïque peut être soumis, au cours de son fonctionnement, à différents défauts et anomalies conduisant à une baisse de la performance du système et voire à l'indisponibilité totale du système. Toutes ces conséquences défavorables vont évidemment réduire la productivité de l'installation, et donc réduire le profit de l'installation, sans compter le coût de maintenance pour remettre le système en état normal. [1]

Permettre de diagnostiquer finement et de faire de la détection et de localisation de défauts dans une installation PV réduit les coûts de maintenance et surtout augmente la productivité en augmentant le taux de disponibilité des installations en veillant à ce que leur rendement soit optimal. [1] Dans notre travail, on a élaboré une nouvelle approche de diagnostic des défaillances au sein d'un générateur photovoltaïque, on devrait s'assurer que cet algorithme soit le plus performant possible et que l'utilisation du modèle SANDIA et d'approche statistique satisfait les critères d'une bonne technique de diagnostic

Dans ce manuscrit, on rapporte les différentes étapes pour l'élaboration de l'algorithme ainsi que les différents critères à prendre en compte pour sa validation.

1. Défauts dans un système photovoltaïque :

Un système photovoltaïque peut être soumis, au cours de son fonctionnement, à différents défauts et anomalies qui peuvent faire baisser sa production en électricité ou même conduire à son dysfonctionnement. Les défauts du générateur photovoltaïque (GPV) sont énumérés dans le tableau 1.

Composant du champ	Nature des défauts	Dénomination des défauts
Cellule	Module arraché ou cassé Pylônes, cheminée, sable, neige etc. Echauffement des cellules Dégradation des interconnexions Fissure Corrosion des liaisons entre cellules Modules de performances différentes Détérioration des cellules Pénétration de l'humidité.	Défaut de mismatch et ombrage
Groupes de cellules	Destruction des diodes Absence de diodes Inversion de la polarité des diodes Diode mal connectée Diode court-circuitée	Défaut de diode bypass
Modules	Modules court-circuités Inversion de polarité du module Modules shuntés	Défaut de module
Strings	Rupture du circuit électrique Destruction de la liaison Corrosion des connexions Corrosion des contacts Court-circuit du circuit électrique Module déconnecté	Défaut de connectique
Champs	Destruction des diodes Absence de diodes Inversion de la polarité des diodes Diode mal connectée Diode court-circuitée	Défaut de diode anti retour

Tableau 1. Principaux défauts et anomalies dans un GPV

Notre étude sera faite sur un module de 72 cellules en série où chaque groupement de 18 cellules est connecté en antiparallèle avec une diode de protection appelée « diode

bypass » (voir figure 1) dont le rôle est d'éviter l'apparition de points chauds et la destruction de cellules mal-éclairées.

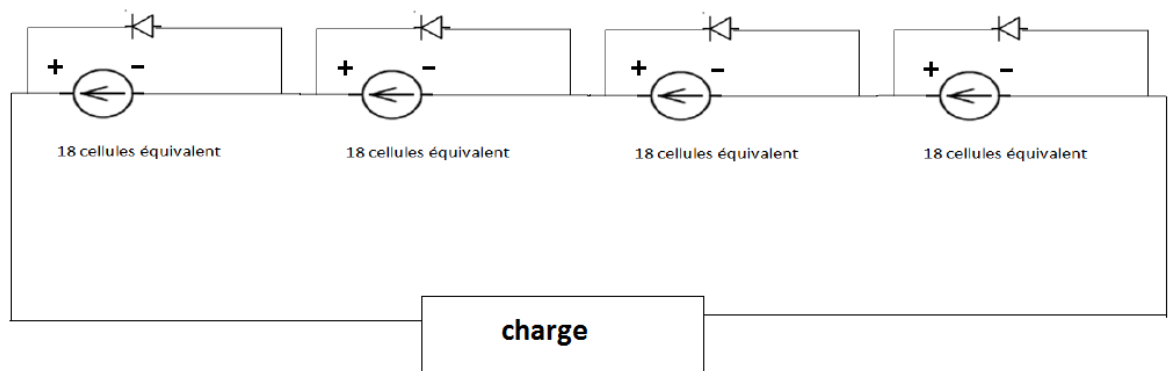


Figure 1. Schéma du générateur photovoltaïque choisi.

En utilisant ce module comme source de production d'électricité, notre étude sur les défauts se limitera aux deux premières catégories de défauts soit ceux au niveau de la cellule (défauts de mismatch et d'ombrage) et ceux du groupement de cellules (défauts de diode bypass)

2. Approche de diagnostic :

2.1. Choix de l'approche de diagnostic :

Afin d'identifier la cause la plus probable de la diminution de production d'énergie par le générateur PV, différentes méthodes de diagnostic sont couramment utilisées en industrie telle que la méthode d'imagerie infrarouge ou encore celles proposées dans littérature tel que l'analyse de l'énergie produite ou l'analyse de la caractéristique statique. On utilisera une approche de diagnostic pour la construction de l'algorithme de DLD

2.1.1. Différentes approches théoriques de diagnostic :

Les grandes familles de méthodes de diagnostic sont présentées dans la Figure 2

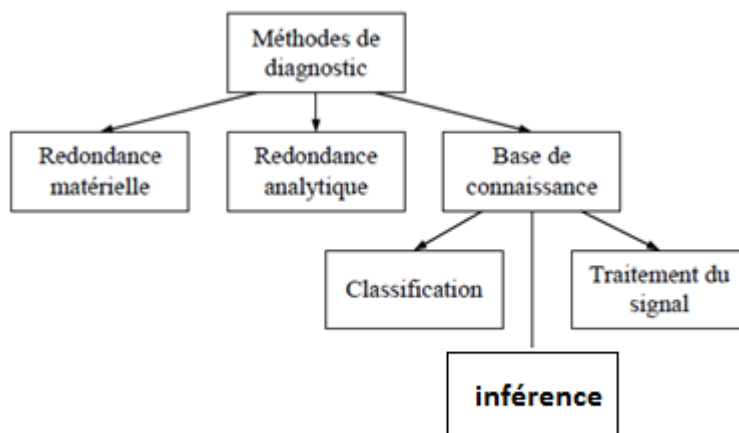


Figure 2. Différentes méthodes de diagnostic

La méthode de redondance matérielle consiste à utiliser plusieurs composants (capteurs, actionneurs, générateurs etc.) identiques pour exercer une même fonction. Lorsqu'un écart existe entre les sorties de ces composants, celui qui est défectueux peut être facilement identifié. Dans l'application photovoltaïque, cette méthode est utilisée, dans certains onduleurs, pour identifier le string le plus faible. Il n'est pourtant pas possible d'identifier la nature de défauts.

La méthode de redondance analytique consiste à déduire l'état du système (processus) surveillé à partir de mesures (grandeur entrées/sorties) sur le système lui-même. Cette méthode requiert un modèle, généralement de type modèle d'état, qui peut représenter le système surveillé. Or, comme nous l'avons déjà vu, le système PV est composé de différents composants de natures différentes. La construction du modèle d'état d'un tel système est compliquée et voire impossible à faire. La méthode de redondance analytique n'est donc pas appropriée pour le diagnostic de défauts d'un champ PV.

La méthode de diagnostic à base de connaissance peut être encore divisée en trois grandes familles : la méthode de traitement du signal, la méthode de classification et la méthode d'inférence. La méthode de traitement du signal repose sur l'extraction des symptômes à partir du signal mesuré. Les techniques d'extraction couramment utilisées sont la démodulation, filtrage, FFT, analyse de l'ondelette etc. Néanmoins, cette technique d'extraction ne peut être appliquée que pour les signaux qui se répètent dans le temps tels que le courant, la tension, la vibration, l'onde acoustique etc. Or, la caractéristique I-V sur laquelle nous voulons faire l'analyse est le signal du type instantané qu'il n'y a pas d'évolution dans le temps.

Il ne reste donc que deux méthodes à choisir entre la méthode de classification et la méthode d'inférence. Le choix d'une de ces méthodes dépend de la connaissance qu'on a sur la relation entre les défauts et les symptômes. Si aucune connaissance structurelle n'est acquise, la méthode de classification est sélectionnée. Dans le cas contraire, la méthode d'inférence est choisie. [1]

On utilise la méthode de classification.

2.1.2. Le diagnostic par la méthode de classification :

Le diagnostic de défaillance est essentiellement vu comme un problème de classification. Le but principal est de construire un bloc de correspondance tel qu'à partir d'un ensemble d'informations décrivant la situation courante du processus, il est possible d'obtenir les causes probables des situations anormales. Les observations déjà connues sont regroupées en classes, constituant des prototypes auxquels la nouvelle observation est comparée pour être identifiée. En d'autres termes, le diagnostic a pour mission d'identifier le mode de fonctionnement d'un système à partir d'observations sur celui-ci. [2]

La méthode de diagnostic à base de classification peut être décomposée en 4 étapes principales qui sont :

- Choix du critère pour le déclenchement de l'algorithme de diagnostic.
- Simulation de plusieurs défauts susceptibles de se produire au sein du panneau PV.
- Etablissement d'une base de connaissance des différents défauts.
- Choix d'une approche afin d'identifier chaque classe à son défaut. [3]

3. Elaboration de l'algorithme de DLD

Pour aboutir à l'algorithme de détection et localisation des défauts au sein d'un générateur PV en utilisant le modèle SANDIA, on doit passer par certaines étapes essentielles comme le montre le graphique suivant :

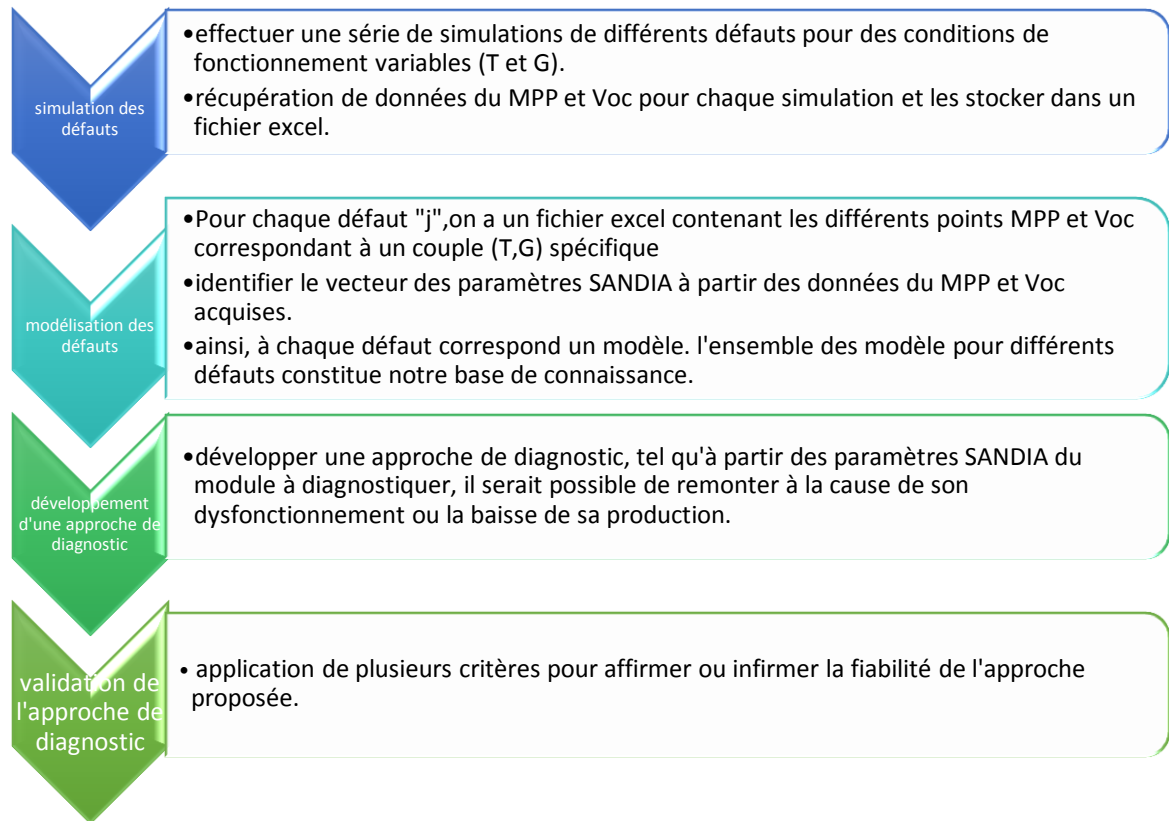


Figure 3. Schéma global décrivant les étapes de construction de l'algorithme DLD

3.1. Etape 1 : Simulation de différents scénarios de défauts :

La présence d'un défaut quelconque conduit à la diminution de la puissance produite par le module PV et donc changement du point de fonctionnement optimal (MPP) ; en plus de ça, on remarque d'autres symptômes sur les points critiques de la courbe I-V du GPV tel que le changement de la valeur de la tension de circuit ouvert.

Certes, différents facteurs peuvent faire évoluer ce défaut. On peut en envisager trois qui peuvent intervenir : la sévérité du défaut, la variation de la condition de fonctionnement et le type du système PV (module, string ou champ). Il est à rappeler qu'il y a cinq catégories de défauts. Ce sont les défauts de mismatch et d'ombrage, défauts de diode de bypass, défauts de module, défauts de connectique et défauts de diode anti-retour. [1]

a) Le type du système PV :

dans notre étude, le choix de travailler sur un module PV constitué de 72 cellules en série est due au fait que l'utilisation du package SimPowerSystem de SIMULINK/MATLAB nous mène dans plusieurs cas à des problèmes de boucles algébriques (algebraic loop problem) qu'on ne peut résoudre, ceci est probablement dû au fait que le courant de sortie est nécessaire pour être une entrée de l'équation de cette même grandeur dans le modèle de

BISHOP, des itérations peuvent être nécessaires pour résoudre ce problème qui, dans de nombreux cas, se terminent avec une rupture de simulation. Or, le fait de travailler sur un module limite l'étude aux deux premières catégories de défauts soit les défauts de Mismatch et d'ombrage et les défauts de diodes bypass.

b) Variation des conditions de fonctionnement :

Chaque défaut est simulé pour différentes conditions de fonctionnement. La Figure 4 représente les profils journaliers de température et d'éclairement solaire utilisés dans les simulations.

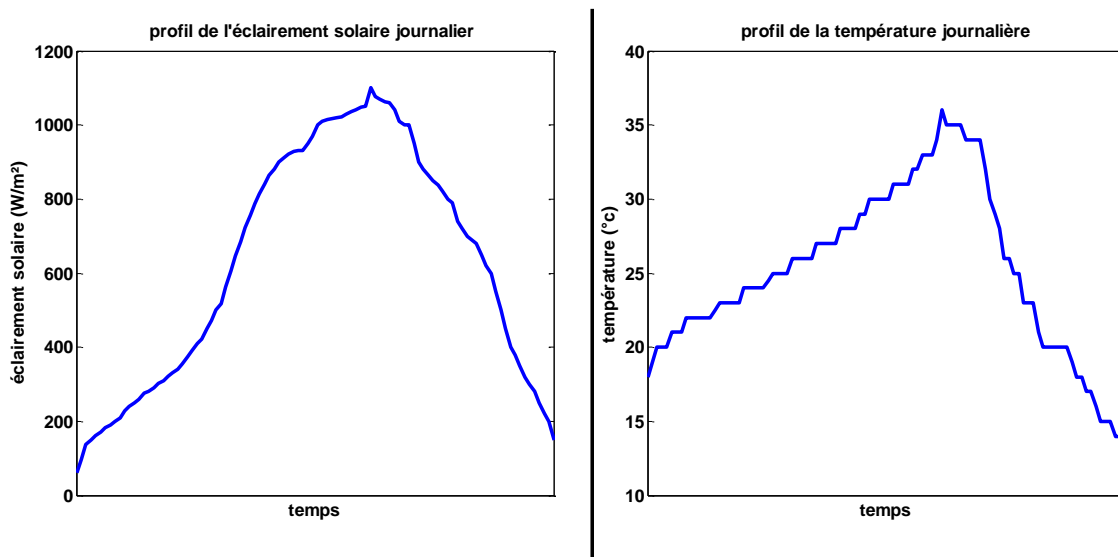


Figure 4. Courbes des variations des conditions météorologiques

c) Sévérité des défauts :

La sévérité de la plupart des défauts peut être définie par deux grandeurs : leur amplitude et le nombre de composants en défaut. A titre d'exemple, on dit qu'un défaut de mismatch de type « résistance série » s'aggrave quand la résistance d'une cellule augmente et il s'aggrave davantage quand il affecte plusieurs cellules. Cependant, la sévérité de certains défauts peut être quantifiée uniquement avec le nombre de composants en défaut. On peut citer comme exemple le cas du court-circuit de la diode de bypass.

Le Tableau (2) présente comment nous définissons la sévérité des défauts considérés dans la simulation. [1]

Catégorie Défaut	Défaut	Sévérité ↑
Défaut de Mismatch	Ombrage	$I_{ph}(A) \downarrow$
	Mismatch série	$R_s(\Omega) \uparrow$
Défaut de diode bypass	Diode bypass court-circuitée	X
	Diode bypass inversée	X
	Diode bypass claquée	$R_{dbp}(\Omega) \downarrow$

Tableau 2. Définition de la sévérité des défauts

Le symbole « x » associé à certains défauts représente le fait que la sévérité de ces défauts ne peut être quantifiée qu'avec le nombre de composants en défaut.

Pour cette première étape, on a d'abord relevé les données météo de température et d'éclairement (comme le montre la Figure (4)) pendant une journée.

Afin d'effectuer la simulation d'un scénario exhaustif de défauts, on traitera chaque défaut à part (ombrage, mismatch série, court-circuit de diode bypass, inversion de diode bypass et claquage de diode bypass). Premièrement, prenons un défaut « j », parmi les défauts précédents, auquel on associe plusieurs cas défaillants suivant sa sévérité.

Ainsi, pour chacun de ces cas, on réalise la simulation du modèle défaillant construit sous Simscape à base du modèle de BISHOP et ce pour les différentes conditions de fonctionnement et à chaque fois, on relève les valeurs de la puissance maximale, du courant et de la tension à ce point optimal et de la tension de circuit ouvert (P_{mpp} , I_{mpp} , V_{mpp} et V_{oc}) qui sont stockées dans un fichier Excel. La simulation de chaque cas et l'acquisition de données sont effectuées automatiquement en lançant un programme MATLAB conçu pour cette tâche.

Ceci est illustré dans le schéma suivant.

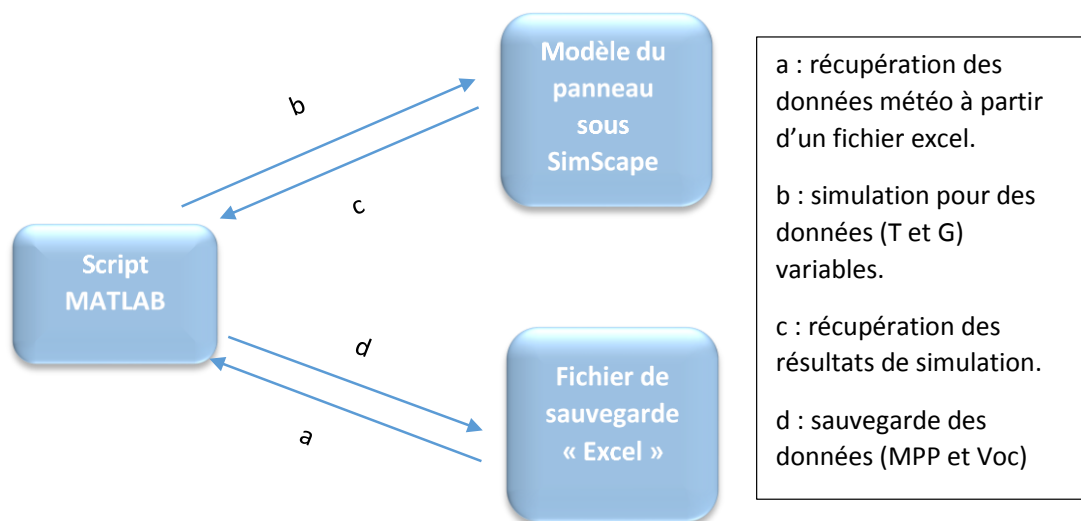


Figure 5. Simulation des défauts et sauvegarde de données

3.2. Etape 2 : Modélisation des défauts :

Après acquisition des données pour plusieurs scénarios de défauts, on passe à leurs modélisations.

Plusieurs modèles d'une cellule PV ont été proposés, dont le modèle électrique de BISHOP utilisé précédemment pour les simulations des différents défauts, ainsi que le modèle SANDIA qui a l'avantage de prendre en compte la variation des conditions météorologiques qui influent le rendement des panneaux solaires et permet aussi la représentation du fonctionnement sain et défaillant du PPV par un simple modèle paramétrique.

Sur ce, chaque défaut peut être modélisé par les équations suivantes, dont la première représente le courant de la puissance maximale et la deuxième celle de la tension de la puissance maximale tandis que la troisième c'est celle de la tension de circuit ouvert :

$$I_{mpp} = I_{mpp0} \cdot \{C_0 \cdot E_e + C_1 \cdot E_e^2\} \cdot \{1 + C_2(T_c - T_0)\} \quad (\text{Équation 1})$$

$$V_{mpp} = V_{mpp0} + C_3 \cdot N_s \delta(T_c) \cdot \ln(E_e) + C_4 \cdot N_s \cdot \{\delta(T_c) \cdot \ln(E_e)\}^2 + C_5 \cdot (T_c - T_0) \quad (\text{Équation 2})$$

$$V_{oc} = V_{oc0} + N_s \delta(T_c) \cdot \ln(E_e) + C_6(T_c - T_0) \quad (\text{Équation 3})$$

$$P_{mpp} = I_{mpp} \cdot V_{mpp} \quad (\text{Équation 4})$$

$$E_e = G/1000 \quad : \text{L'irradiation effective} \quad (\text{Équation 5})$$

$$\delta(T_c) = a \cdot k_b(T_c + 273.15)/q \quad : \text{Voltage thermique pour une cellule} \quad (\text{Équation 6})$$

Et :

- k_b : c'est la constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K).
- q : c'est la charge de l'électron ($1,602 \cdot 10^{-19}$ C).
- a : le facteur d'idéalité de la diode (de 1 à 2).
- T_c : la température de la cellule ($^{\circ}\text{C}$)
- T_0 : température de cellule sous conditions de test standards (25°C).
- les paramètres $I_{mpp0}, V_{oc0}, V_{mpp0}$ représentent respectivement les grandeurs courant du MPP, tension de circuit ouvert et la tension au MPP sous les conditions de test standards ($G=1000$ W/m² et $T_0=25$ °c).
- N_s : le nombre de cellules en série dans le module PV.
- $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$: Paramètres de SANDIA à définir par identification.

Le premier terme de ces équations représente les données acquises lors des simulations précédentes et le second terme comporte les données caractérisant le module ($I_{mpp0}, V_{oc0}, V_{mpp0}$ et N_s) ainsi que les valeurs des données météorologiques en plus des coefficients (C_i avec $i=0,1,2,\dots,6$) qu'on doit identifier et qui différencient un cas de fonctionnement du module d'un autre.

Ces coefficients sont estimés pour chaque défaut en utilisant la fonction « lsqnonlin » de MATLAB pour la résolution d'équations non linéaires numériquement.



Figure 6. Modélisation des défauts (identification des paramètres)

Par conséquent, pour chaque défaut introduit, il lui correspond sept paramètres estimés ($C_0, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ et C_6). Les deux figures (7) et (8) montrent les courbes des grandeurs (P_{mpp} et V_{oc}) générées par simulation du modèle de BISHOP dans la première étape et celles estimées par le modèle SANDIA.

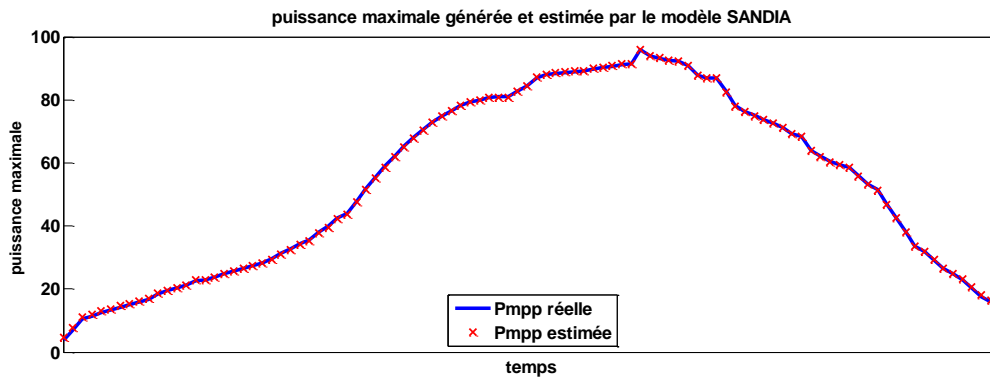


Figure 7. Puissance maximale générée et estimée par le modèle SANDIA

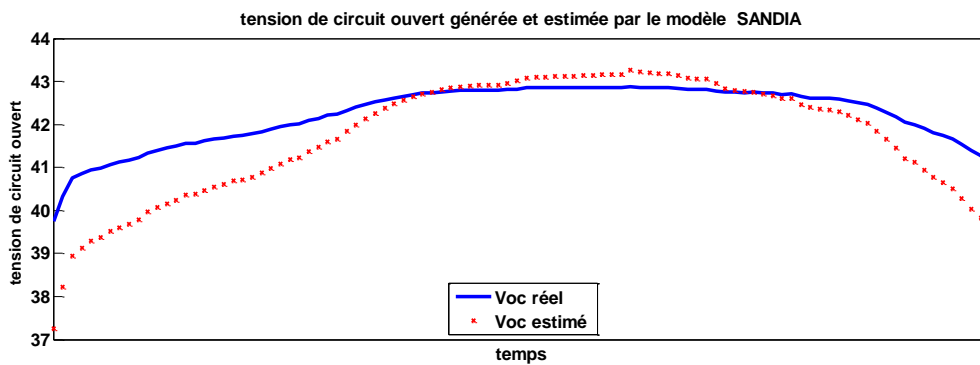


Figure 8. Tension de circuit ouvert générée et estimée par le modèle SANDIA

Ces deux courbes affirment l'efficacité de la modélisation du module PV par les paramètres SANDIA relatifs à la puissance maximale ainsi qu'à la tension de circuit ouvert.

Si on effectue plusieurs essais pour chaque défaut (la sévérité du défaut augmente d'un essai à un autre), on obtient un champ d'estimés.

Le tableau (3) montre un exemple d'un champ de paramètres estimés pour un défaut de court-circuit de diode bypass dans un panneau PV.

essais	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	0,97785573	0,05322716	-0,00048023	0,05895648	-3,16788809	-0,01229404	-0,00130242
2	0,97785573	0,05322716	-0,00048023	0,03930433	-2,11192526	-0,00819603	0,00362453
3	0,97785573	0,05322717	-0,00048023	0,01965239	-1,05595697	-0,00409801	0,00855148

Tableau 3. Champs d'estimés d'un défaut bypass (court-circuit)

Finalement on aura un champ de paramètres estimés stockés dans un fichier pour tous les types de défauts traités.

3.3. Constitution de la base de connaissance :

3.3.1. Première approche :

A chacun des défauts (ombrage, mismatch série, court-circuit de DBP, inversion de DBP, claquage de DBP) correspond un champ de paramètres estimés. Afin de caractériser

chaque défaut parmi les précédents par un seul vecteur de paramètres (C₀, C₁, C₂, C₃, C₄, C₅ et C₆), on se propose de calculer une moyenne (équation 7) afin de représenter l'échantillon de valeurs de chaque paramètre C_i:

$$C_{imoy} = \frac{\sum_{j=1}^N C_{i,j}}{N} \quad (\text{Équation 7})$$

N : nombre d'essais effectués pour chaque défaut selon la sévérité.

i : type du défaut.

Dès lors, la base de connaissance est construite à partir des C_{imoy}.

Ainsi, on aura la base suivante :

défaut d'ombrage	0,9475307	0,0947725	-0,00081836	0,15917319	-5,0920735	-0,01292825	-0,00622937
défaut mismatch serie	1,54183318	-0,48991182	-0,00067284	-2,02945591	-3,76821322	-0,00550374	-0,00625288
défaut de court-circuit de DBP	0,97785573	0,05322716	-0,00048023	0,0393044	-2,11192344	-0,00819603	0,00362453
défaut d'inversion de DBP	0,97685153	0,05102733	-0,00046544	0,13449972	-3,9337034	-0,01279065	-0,00155133
défaut de claquage de DBP	1,02428027	-0,04580896	0,00102958	3,87242164	18,0655811	-0,00346017	-0,04511619

Tableau 4. Base de connaissance

3.3.2. Classification des défauts :

Chaque défaut parmi les cinq à étudier est associé à un champ de paramètres estimés. Or, tenant compte de la sévérité des défauts, le nombre de défauts à détecter est plus grand que ceux présentés initialement ; par exemple, pour un seul défaut qui est l'ombrage on peut en générer deux défauts d'ombrage de sévérité plus ou moins importante.

Par conséquent, on aura sept défauts différents discriminable :

- Défaut d'ombrage partiel de sévérité faible.
- Défaut d'ombrage partiel de sévérité importante.
- Défaut Mismatch série de sévérité faible.
- Défaut Mismatch série de sévérité importante.
- Défaut de court-circuit de diode bypass.
- Défaut d'inversion de diode bypass.
- Défaut de claquage de diode bypass.

A chacun d'eux correspond une liste de paramètres. Dans les tableaux (5) et (6), un exemple de champs de paramètres des deux défauts Mismatch série classés selon leur sévérité.

essais	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	0,99425237	0,01303077	-0,00013054	-0,97157124	-11,9097683	-0,00873232	-0,00625288
2	1,00298132	0,01268948	-0,00023944	-1,57670592	-16,2710999	-0,01227042	-0,00625288
3	1,0089696	-0,01027361	-6,7067E-06	-2,27736841	-21,1671008	-0,00619511	-0,00625288
4	1,02474902	-0,01678699	-8,971E-05	-2,70520065	-23,9148274	-0,01124983	-0,00625288
5	1,04172817	-0,00733032	-0,00080505	-3,19954474	-26,5737744	-0,0092829	-0,00625289
6	1,00013562	0,00322911	0,00012675	-0,04937829	16,9577784	-0,0092233	-0,00625288
7	0,98565699	0,02450654	-2,5258E-05	-3,47251333	-17,907639	-0,01948735	-0,00625288
8	1,02557573	-0,00902828	-0,00014606	-1,38234961	7,75705761	-0,01011473	-0,00625288
9	1,22002421	0,08950894	-0,00595032	-3,79191897	-21,5906359	-0,0096574	-0,00625288
10	0,96653052	-0,09520507	0,00333051	-2,86385767	-2,52233208	0,00429764	-0,00625288
11	0,92276398	0,19273359	-0,00251061	0,00525924	38,396484	-0,00555491	-0,00625288
12	0,82083236	-0,11212246	0,00931866	-7,20343857	-49,8221786	0,00656255	-0,00625288
13	0,74396362	-0,09530309	0,00884716	-7,8811529	-57,885532	0,07038928	-0,00625288

Tableau 5. Champ de paramètres estimés pour un défaut de type Mismatch série de faible sévérité

essais	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	2,53216434	-1,41318771	-0,00270827	-0,07784209	28,2383362	-0,02111563	-0,00625288
2	1,34664063	-0,42067852	0,00448852	-1,43118434	30,7196621	-0,02795178	-0,00625288
3	2,72553832	-1,53152496	-0,0044923	0,00537181	26,3312072	-0,01383226	-0,00625288
4	3,4771467	-2,12113985	-0,00749807	1,24070752	30,7774743	-0,01229743	-0,00625288
5	2,62876522	-1,40630294	-0,00557069	-2,58821368	-25,0296788	-0,00190291	-0,00625288
6	3,82641164	-2,40513923	-0,0087226	1,66123946	23,8205162	-0,00695233	-0,00625288

Tableau 6. Champ de paramètres estimés pour un défaut de type mismatch série de sévérité importante

3.3.3. Approche statistique :

Chaque défaut est caractérisé par son vecteur de paramètres SANDIA qui est obtenu par le calcul de la moyenne des coefficients issus des différents essais effectués par rapport à la sévérité de ce dernier. Pour des résultats plus précis, corrects et significatifs, on utilisera une approche statistique pour le calcul de la moyenne qui est le critère de **CHAUVENET**.

a) Introduction au critère de CHAUVENET :

Lorsqu'on dispose de N échantillons dont on doit calculer la moyenne, on peut rencontrer une valeur qui semble s'éloigner des autres soit une mesure suspecte qui peut être due à une erreur survenu lors de la mesure. Si on a une influence externe ou erreur technique qui sont facilement identifiables, cette donnée peut être simplement éliminée. Le plus difficile est lorsqu'aucune explication ne peut être faite et c'est le cas le plus commun. Pour éviter des valeurs erronées pour solliciter les résultats, on utilise le critère statistique de CHAUVENET pour identifier les points pouvant être rejetés.

Il nous permet d'éliminer toute mesure dont la probabilité est inférieure à (1/2N). La justification de l'élimination de la mesure est donc au niveau de la faible probabilité qu'elle se produise. [4]

La déviation maximale de la donnée x_i par rapport à la moyenne \bar{x}_i est de :

$$\tau_{max} = \frac{|x_i - \bar{x}|_{max}}{S_x} = \frac{d_{max}}{S_x} \quad (\text{Équation 8})$$

Avec :

S_x : Écart type de l'échantillon.

Donc, toute mesure dont la distance $\frac{|x_i - \bar{x}|}{S_x}$ est supérieure à τ_{max} peut être éliminée sachant que les écarts maximaux acceptables pour différentes tailles d'échantillon ont été pré-calculés, le tableau (7).

N : nombre d'échantillons	τ_{max} : déviation maximale
3	1.383
4	1.534
6	1.732
8	1.863
9	1.915
13	2.070
14	2.100

Tableau 7. Table de CHAUVENET

Après différentes opérations, une nouvelle moyenne et un nouvel écart type sont calculés pour l'échantillon.

b) Test de normalité :

L'utilisation de la moyenne comme indicateur statistique et représentant de l'échantillon n'est possible que pour les distributions normales ; ajoutant à cela, le fait que le critère de CHAUVENET assume que la répartition des mesures soit gaussienne. Un test de normalité sur les grandeurs à manipuler (paramètres de SANDIA C_i) est indispensable.

Ce test est effectué en utilisant la fonction MATLAB « kstest » qui teste l'hypothèse nulle selon laquelle les données proviennent d'une distribution normale avec des valeurs spécifiques de la moyenne et de l'écart type ; ces paramètres sont utilisés pour centrer et étaler chaque élément du vecteur de données car, par défaut, les tests kstest pour une distribution normale standard.

La base de connaissance finale :

En premier lieu, le test de normalité est essentiel pour pouvoir utiliser la moyenne comme représentant des différents paramètres provenant de différents cas de sévérité pour le même défaut ; notamment pour l'utilisation du critère de CHAUVENET.

Le test de normalité est effectué pour chaque vecteur du même coefficient du champ d'estimés d'un défaut « x ». Par exemple, pour un défaut d'ombrage de faible sévérité, on a le champ d'estimés présenté dans le tableau (8)

essai	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	0,97273151	0,04940931	-0,00039152	0,005853	-5,2561974	-0,01197644	-0,00622937
2	0,97315836	0,04910234	-0,00037986	0,03380817	-4,80405505	-0,01251283	-0,00622937
3	0,97572901	0,04170988	-0,00021319	0,05971353	-4,57765358	-0,01437811	-0,00622937
4	0,97548154	0,0417156	-0,00022337	0,04881916	-4,71883438	-0,013987	-0,00622937
5	0,97012396	0,05400529	-0,00043092	0,03545124	-5,60895369	-0,01239364	-0,00622937
6	0,97177087	0,05515854	-0,00039264	0,14710001	-4,03053976	-0,01602806	-0,00622937
7	0,9683231	0,06403453	-0,00058562	0,16419534	-3,80469697	-0,01380316	-0,00622937
8	0,96273573	0,06904208	-0,00058533	0,17661913	-4,05183232	-0,01305759	-0,00622937
9	0,95714194	0,07363223	-0,00066171	0,11541405	-4,41419967	-0,00894766	-0,00622937

Tableau 8. Champ d'estimés pour un défaut d'ombrage de faible sévérité

Par conséquent, on aura sept vecteurs, chacun contenant le coefficient C_i de chaque cas de défaut, sur lesquels on effectue le test de normalité. Puis, on utilise le critère de CHAUVENET pour améliorer la valeur de la moyenne qui sera dépourvu de mesures suspectes.

Enfin, on obtient la base de connaissance constituant des différents paramètres de SANDIA relatifs à chaque défaut (voir tableau 9).

	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
modèle SAIN	0,9748601	0,03752602	-0,00169397	-0,03009496	-5,1044277	0,00218256	0,00413498
ombrage partiel de faible sévérité	0,97125676	0,05302219	-0,00040031	0,08394495	-4,60659539	-0,0135171	-0,00622937
ombrage partiel de sévérité importante	0,93039626	0,12469632	-0,00112222	0,27421061	-4,36485176	-0,01226194	-0,00622937
mismatch série de faible sévérité	0,98107595	-0,02110672	0,00134869	-2,50026485	-13,2000122	-0,00737921	-0,00625288
mismatch série de sévérité importante	3,14031525	-1,86774794	-0,00585531	0,70736918	27,2918835	-0,01354941	-0,00625288
court circuit de diode bypass	0,97785573	0,05322716	-0,00048023	0,0393044	-2,11192344	-0,00819603	0,00362453
inversion de diode bypass	0,97685153	0,05102733	-0,00046544	0,13449972	-3,9337034	-0,01279065	-0,00155133
claquage de diode bypass	1,09072232	-0,10809159	0,00073505	3,64487354	20,7981229	-0,00315681	-0,04062366

Tableau 9. Base de connaissance finale

3.4. Etape 3 : développement de l’algorithme de DLD :

3.4.1. Choix d’un critère pour le déclenchement du diagnostic :

La présence de défauts quelconque dans le panneau solaire implique la baisse de production d’électricité, et donc de puissance de fonctionnement du générateur ; si, en outre, le système effectue un suivi efficace du point de puissance maximum du générateur, alors la puissance de fonctionnement peut être considérée comme équivalente à la puissance maximale. Par conséquent, la présence d’un défaut est détectée en observant la baisse de la puissance maximale. Mais, pour discriminer la nature du défaut, cette approche ne suffit pas étant donné que deux défauts différents peuvent causer la même baisse en puissance.

3.4.2. Approche pour la détection de la nature du défaut :

L’algorithme de détection et localisation des défauts est résumé dans la figure (9)

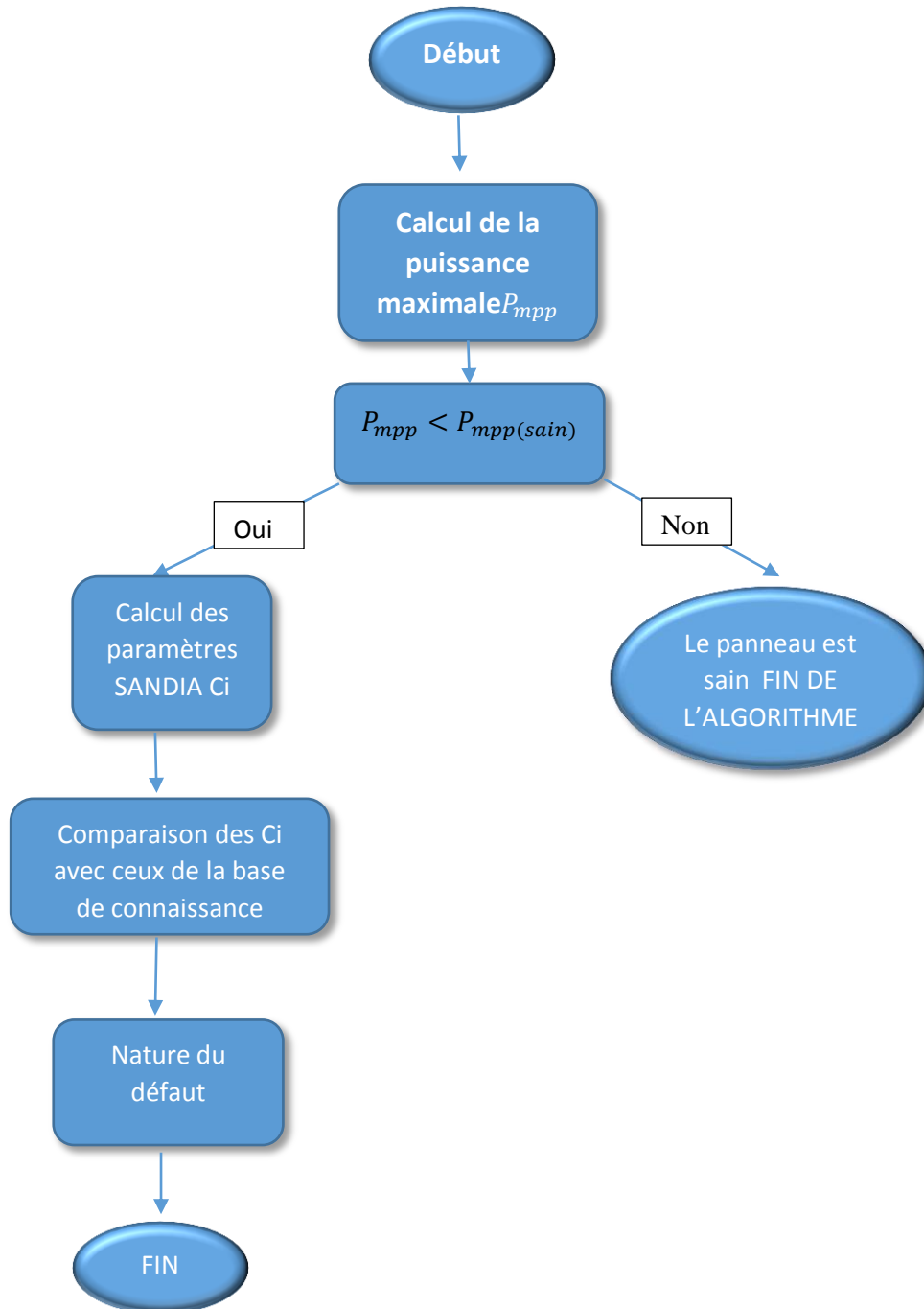


Figure 9. Déroulement de l'algorithme de DLD

En premier lieu, le panneau à diagnostiquer est soumis aux mêmes conditions de température et d'éclairement pour pouvoir calculer les coefficients C_i le caractérisant.

Dans l'étape précédente, on a construit une base de connaissance du mode défaille du panneau solaire à partir des différents paramètres de SANDIA.

Une comparaison entre les coefficients du panneau en essai et ceux de la table ci-dessous et faite par le calcul suivant :

$$\Delta_i^k = |C_{imoy}^k - C_i| \quad (\text{Équation 9})$$

k désigne un défaut parmi ceux de la base de données.

$i=0,1,2\dots 6$

Δ_i^k Différence entre les coefficients du panneau C_i et ceux pré-calculés pour chaque défaut « k » C_{imoy}^k

Cette comparaison sera effectuée pour seulement les six premiers paramètres correspondants au point de puissance maximale (tension et courant). La décision sur la nature du défaut se fait après le calcul de toutes les valeurs de Δ où l'on aura une matrice de valeurs où chaque colonne représente les différences relatives à un seul paramètre parmi les 6 pour tous les différents défauts et chaque ligne représente les différences relatives de tous les paramètres d'un même défaut ; on calcule le minimum de la matrice suivant les colonnes ainsi, le défaut qui génère le plus de valeurs minimale est considéré comme étant le plus probable de la défaillance.

Si plusieurs défauts ont la même probabilité suivant le calcul précédent, le coefficient caractérisant la tension de circuit ouvert sera pris en considération afin de trancher entre les cas et ce en prenant celui qui génère le Δ minimale.

4. Test de l'algorithme :

Afin de tester l'approche développée précédemment pour la détection et localisation des défauts, on prend des exemples de défauts pris parmi ceux simulés dans la première partie, dans le but de construire la base de connaissance, dont les paramètres de SANDIA sont connus, prenons quatre défauts différents (mismatch série, ombrage, court-circuit et claquage de diode bypass)

	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
défaut (D1)	2,72553832	-1,53152496	-0,0044923	0,00537181	26,3312072	-0,01383226	-0,00625288
défaut (D2)	0,97572901	0,04170988	-0,00021319	0,05971353	-4,57765358	-0,01437811	-0,00622937
défaut (D3)	0,97785573	0,05322716	-0,00048023	0,05895648	-3,16788809	-0,01229404	-0,00130242
défaut (D4)	0,99457899	0,02864452	-0,0012382	3,3496825	24,6501715	0,00756771	-0,06476221

Tableau 10. Coefficients des différents défauts pour le test de l'algorithme

On calcule pour chacun des défauts, les différentes valeurs de delta.

	$\Delta C0$	$\Delta C1$	$\Delta C2$	$\Delta C3$	$\Delta C4$	$\Delta C5$	$\Delta C6$
ombrage partiel de faible sévérité	1,75428156	1,58454715	0,004092	0,07857313	30,9378026	0,00031515	2,3513E-05
ombrage partiel de sévérité importante	1,79514206	1,65622128	0,00337009	0,26883879	30,696059	0,00157031	2,3513E-05
mismatch série de faible sévérité	1,74446237	1,51041824	0,00584099	2,50563667	39,5312195	0,00645305	7,0586E-11
mismatch série de sévérité importante	0,41477693	0,33622298	0,00136301	0,70199736	0,96067626	0,00028285	7,9594E-11
court circuit de diode bypass	1,74768259	1,58475212	0,00401207	0,03393259	28,4431307	0,00563623	0,00987741
inversion de diode bypass	1,74868679	1,58255229	0,00402686	0,12912791	30,2649106	0,0010416	0,00470155
claquage de diode bypass	1,634816	1,42343337	0,00522735	3,63950172	5,53308431	0,01067544	0,03437077

Tableau 11. Les valeurs de Δ pour le défaut D1

Diagnostic des défauts des PPV en utilisant le modèle SANDIA : tests & validation

	$\Delta C0$	$\Delta C1$	$\Delta C2$	$\Delta C3$	$\Delta C4$	$\Delta C5$	$\Delta C6$
ombrage partiel de faible sévérité	0,00447225	0,01131232	0,00018711	0,02423142	0,02894182	0,00086101	2,65144E-10
ombrage partiel de sévérité importante	0,04533275	0,08298645	0,00090902	0,21449708	0,21280182	0,00211616	1,67505E-10
mismatch série de faible sévérité	0,00534694	0,0628166	0,00156188	2,55997838	8,62235867	0,0069989	2,35129E-05
mismatch série de sévérité importante	2,16458624	1,90945781	0,00564212	0,64765565	31,8695371	0,0008287	2,35129E-05
court circuit de diode bypass	0,00212672	0,01151728	0,00026704	0,02040913	2,46573013	0,00618208	0,009853901
inversion de diode bypass	0,00112252	0,00931746	0,00025225	0,0747862	0,64395018	0,00158745	0,004678041
claquage de diode bypass	0,11499331	0,14980147	0,00094824	3,58516001	25,3757765	0,0112213	0,034394287

Tableau 12. Les valeurs de Δ pour le défaut D2

	$\Delta C0$	$\Delta C1$	$\Delta C2$	$\Delta C3$	$\Delta C4$	$\Delta C5$	$\Delta C6$
ombrage partiel de faible sévérité	0,00659897	0,00020497	7,9928E-05	0,02498846	1,4387073	0,00122306	0,00492695
ombrage partiel de sévérité importante	0,04745947	0,07146916	0,00064198	0,21525412	1,19696367	3,2097E-05	0,00492695
mismatch série de faible sévérité	0,00322022	0,07433388	0,00182892	2,55922134	10,0321242	0,00491483	0,00495046
mismatch série de sévérité importante	2,16245952	1,9209751	0,00537508	0,64841269	30,4597716	0,00125537	0,00495046
court circuit de diode bypass	1,651E-10	2,501E-09	6,1832E-11	0,01965208	1,05596465	0,00409801	0,00492695
inversion de diode bypass	0,0010042	0,00219983	1,4791E-05	0,07554324	0,76581531	0,00049661	0,00024891
claquage de diode bypass	0,11286659	0,16131875	0,00121528	3,58591706	23,966011	0,00913723	0,03932124

Tableau 13. Les valeurs de Δ pour le défaut D3

	$\Delta C0$	$\Delta C1$	$\Delta C2$	$\Delta C3$	$\Delta C4$	$\Delta C5$	$\Delta C6$
ombrage partiel de faible sévérité	0,02332223	0,02437767	0,00083789	3,26573755	29,2567669	0,02108481	0,05853283
ombrage partiel de sévérité importante	0,06418273	0,0960518	0,00011598	3,07547189	29,0150233	0,01982965	0,05853283
mismatch série de faible sévérité	0,01350304	0,04975124	0,00258689	5,84994735	37,8501838	0,01494691	0,05850932
mismatch série de sévérité importante	2,14573626	1,89639246	0,00461711	2,64231332	2,64171198	0,02111712	0,05850932
court circuit de diode bypass	0,01672326	0,02458264	0,00075797	3,3103781	26,762095	0,01576373	0,06838674
inversion de diode bypass	0,01772746	0,02238281	0,00077276	3,21518277	28,5838749	0,02035836	0,06321088
claquage de diode bypass	0,09614333	0,13673611	0,00197325	0,29519104	3,85204859	0,01072452	0,02413855

Tableau 14. Les valeurs de Δ pour le défaut D4

Résultats de test et prise de décision :

Défaut « D1 » :

Le défaut D1 est détectable et localisable en utilisant les six premiers paramètres de SANDIA relatifs au courant et tension au point de puissance maximale. Et ceci en ayant cinq paramètres sur six proches des paramètres caractérisant un défaut de type Mismatch série de sévérité importante.

La figure suivante montre l'évolution de la puissance maximale en début de journée pour différents défauts de la base de connaissance ainsi que celle du défaut D1 à localiser.

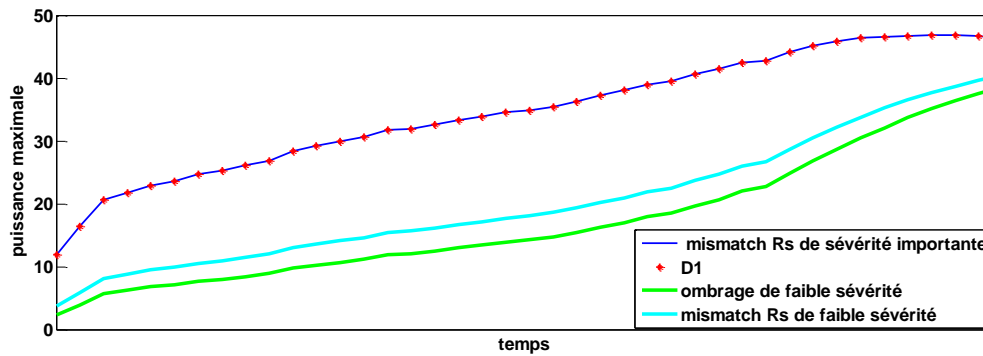


Figure 10. Évolution de la puissance maximale du défaut D1

La figure montre que l'évolution du MPP pour le défaut D1 est similaire à celui d'un défaut mismatch série de sévérité importante ce qui affirme le résultat de l'algorithme.

Défaut « D2 » :

Tandis que pour le défaut D2, en comparant les six paramètres SANDIA relatifs à la puissance maximale (tension et courant à ce point), pour décider de la nature du défaut, on a la même probabilité que la cause soit un défaut de type inversion de DBP ou de type ombrage partiel. Ceci est illustré à la figure (11) où les graphes correspondants à la puissance maximale des défauts : D2, ombrage de faible sévérité et l'inversion de DBP sont presque confondus.

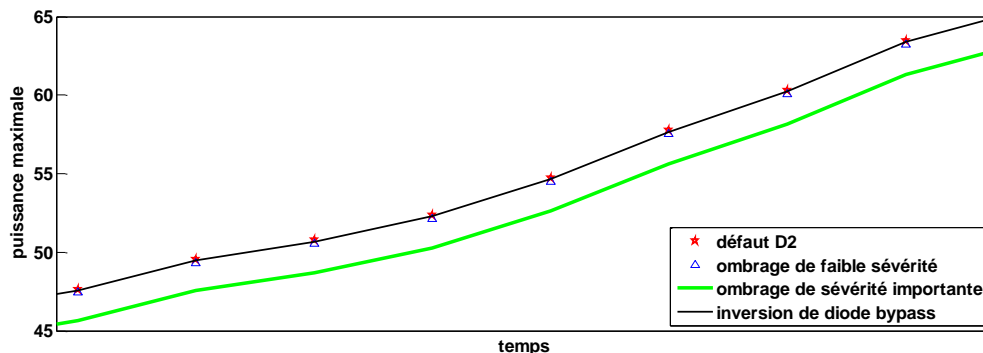


Figure 11. Evolution de la puissance maximale du défaut D2

Dans ce cas, on fait appel au septième paramètre relatif à Voc ainsi on conclue que la cause du dysfonctionnement est un défaut de type ombrage partiel de faible sévérité.

Défaut « D3 » :

Selon le tableau (13), le défaut D3 peut être détecté en n'utilisant que les six premiers paramètres de SANDIA et on conclue que D3 est résultat du court-circuit de DBP.

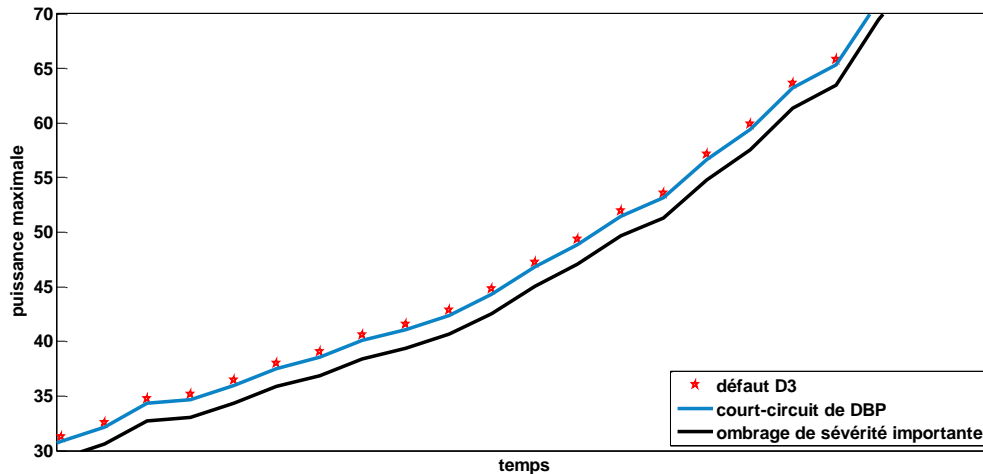


Figure 12. Évolution de la puissance maximale du défaut D3

Défaut « D4 » :

C'est un défaut de DBP claquée et ceci est illustré à la figure (13) qui montre l'évolution de la puissance maximale du défaut D4 et laquelle est similaire à celle du défaut de claquage de DBP.

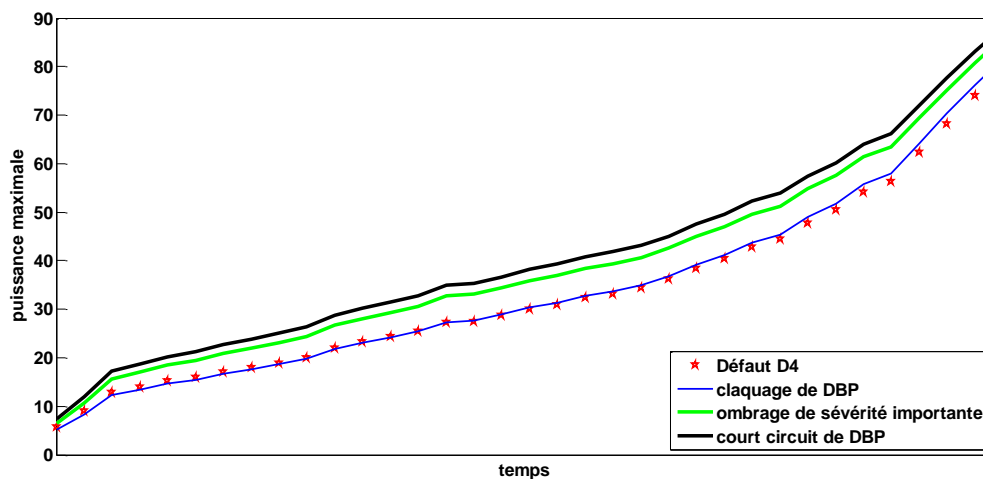


Figure 13. Évolution de la puissance maximale du défaut D4

5. Validation de l'algorithme de diagnostic :

Comment s'assurer que le système de diagnostic développé soit le plus performant possible ? Pour répondre à une telle question, il convient tout d'abord de définir en vertu de quels critères le système peut être évalué. D'une manière générale, nous pouvons regrouper les différents critères de performance du système de détection de la manière suivante : [5]

5.1. Détectabilité :

C'est l'aptitude du système de diagnostic à pouvoir déceler la présence d'une défaillance sur le système. Elle est fortement liée à la notion d'indicateurs de défauts

(symptômes) : le générateur de symptômes doit, d'une certaine manière, être sensible aux défauts que l'on souhaite détecter. [5]

Dans notre cas, un défaut est détecté lors de la baisse de puissance maximale qui est considéré comme un bon indicatif de présence de défaillance. Comme on peut le remarquer sur les figures suivantes, tout défaut de sévérité quelconque influe sur la courbe de puissance-tension d'un GPV en diminuant de la puissance produite ainsi de la puissance maximale.

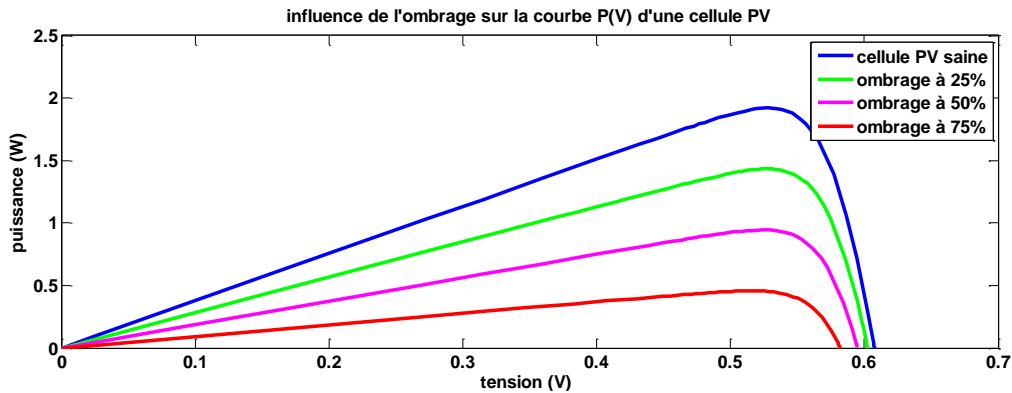


Figure 14. Courbes P-V d'une cellule ombragée

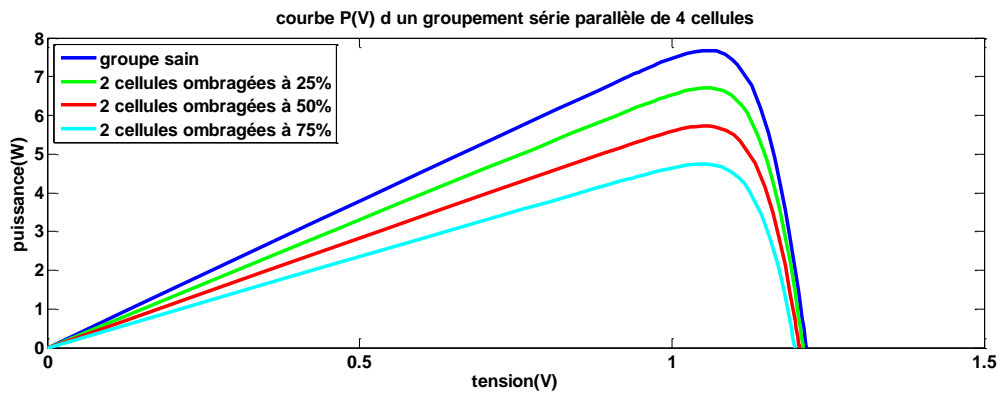


Figure 15. Courbes P-V d'un groupement de cellules affecté par l'ombrage

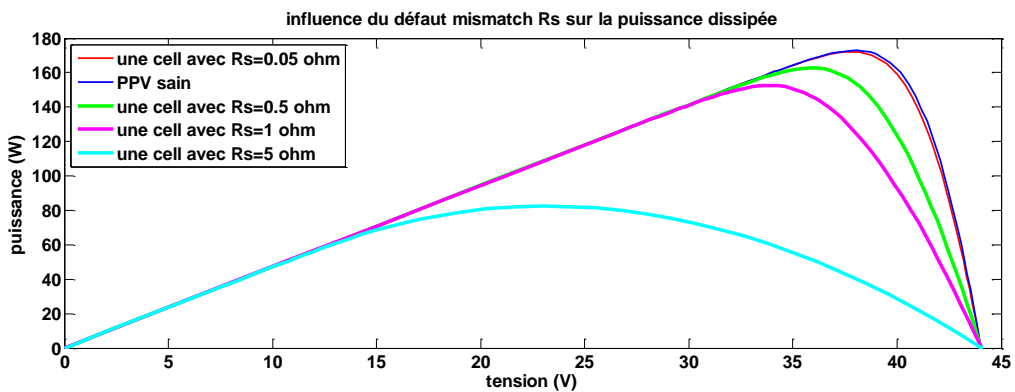


Figure 16. Courbes P-V d'un module avec différents cas de sévérité d'un défaut mismatch type R_s

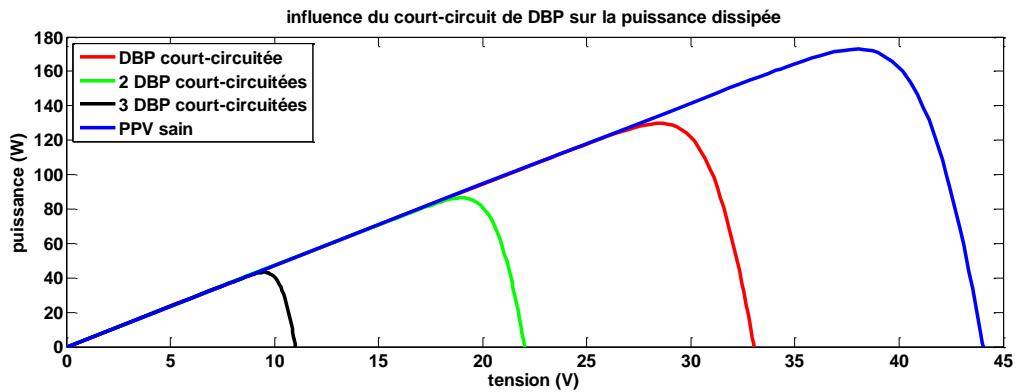


Figure 17. Influence du court-circuit de DBP sur les Courbes P-V du module étudié

A partir de ces graphes, on en déduit que tout défaut diminue de la puissance maximale du GPV. Cette diminution a été choisie comme critère pour détecter la présence d'une défaillance.

5.2. Localisation :

C'est la capacité du système de diagnostic à remonter directement à l'origine du défaut. [5] Pour remonter à la nature du défaut dans notre algorithme de DLD, on s'est basé sur la méthode de classification qui consiste à comparer le modèle du panneau à diagnostiquer à un bloc d'informations décrivant différentes situations de fonctionnement du PPV.

La possibilité de localiser les différents défauts a été validée en effectuant des tests sur les différents défauts simulés précédemment pour la construction de la base de données. Les résultats de ces tests figurent au tableau (14).

5.3. Sensibilité :

Elle caractérise l'aptitude du système à détecter des défauts d'une certaine amplitude. [5] Dans notre cas, la variation de l'amplitude de défauts est caractérisée par les différents cas de sévérités simulés au début. Cependant, l'algorithme détecte la nature du défaut sans pour autant détecter le degré de sévérité pour tous les défauts. On a pu détecter des défauts d'ombrage et mismatch série de sévérité plus ou moins importante sans apporter plus de précision.

Le tableau suivant illustre les différents cas de défauts, simulés précédemment pour la construction de la base de connaissance, auxquels on a appliqué l'approche de diagnostic élaboré. La première colonne est réservée au type de défaut, la deuxième colonne est divisée à son tour en sept colonnes, où chacune est réservée à un paramètre parmi les sept paramètres de SANDIA, et les lignes c'est pour chaque cas de sévérité de défaut ainsi dans chaque case on met le résultat de la comparaison des C_i . Par exemple : pour un défaut « j » dont les paramètres SANDIA sont connus, on calcule la différence entre ces paramètres et ceux de la base de connaissance et on note dans chaque case à quel type de défaut correspond la différence minimale pour le paramètre C_i , on aura comme notations :

- Om1 : signifie que le paramètre C_i du PPV à diagnostiquer est plus proche du paramètre C_i d'un défaut d'ombrage de faible sévérité.
- Om2 : le paramètre C_i du PPV à diagnostiquer est plus proche du paramètre C_i d'un défaut d'ombrage de sévérité importante.
- Rs1 : le paramètre C_i du PPV à diagnostiquer est plus proche du paramètre C_i d'un défaut mismatch série de faible sévérité.

- Rs2 : le paramètre Ci du PPV à diagnostiquer est plus proche du paramètre Ci d'un défaut mismatch série de sévérité importante.
- Bpcc : le paramètre Ci du PPV à diagnostiquer est plus proche du paramètre Ci d'un défaut de DBP court-circuitée.
- Bpinv : le paramètre Ci du PPV à diagnostiquer est plus proche du paramètre Ci d'un défaut de DBP inversée.
- Bpz : le paramètre Ci du PPV à diagnostiquer est plus proche du paramètre Ci d'un défaut de DBP claquée.

Le défaut	Comparaison des Ci						
	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Défaut d'ombrage de faible sévérité (Om1)	Om1	bpinv	Om1	Bpcc	Om1	Om2	X
	Om1	bpinv	Om1	Bpcc	Om1	Om2	X
	bpinv	bpinv	Om1	Bpcc	Om1	Rs2	Om1
	Bpinv	Bpinv	Om1	Bpcc	Om1	Rs2	Om1
	Om1	Bpcc	Om1	Bpcc	Om1	Om2	X
	Om1	Bpcc	Om1	Bpinv	Bpinv	Rs2	Om1
	Om1	Bpcc	Bpcc	Bpinv	Bpinv	Rs2	bpinv
	Om1	Bpcc	Bpcc	Bpcc	Bpinv	Bpinv	X
Défaut d'ombrage de sévérité importante (Om2)	Om2	Om2	Bpcc	Om2	Bpinv	Om2	X
	Om1	Bpcc	Bpcc	Bpinv	Bpinv	Bpcc	X
	Om2	Om2	Om2	Om2	Bpinv	Om2	X
	Om2	Om2	Om2	Om2	Om1	Bpcc	X
	Om2	Om2	Bpcc	Om2	Bpinv	Rs4	X
	Om2	Om2	Om2	Om2	Om2	Rs4	X
	Om2	Om2	Om2	Om2	Om1	Rs4	X
Défaut mismatch série de faible sévérité (Rs1)	Rs1	Rs1	Om1	Bpcc	Rs1	Bpcc	X
	Rs1	Rs1	Om1	Rs1	Rs1	Om2	X
	Rs1	Rs1	Om1	Rs1	Rs1	Rs1	X
	Rs1	Rs1	Om1	Rs1	Rs1	Om2	X
	Rs1	Rs1	Om1	Bpcc	Bpz	Bpcc	Rs1
	Rs1	Bpinv	Om1	Rs1	Rs1	Rs2	X
	Rs1	Rs1	Om1	Rs1	Bpcc	Bpcc	X
	Om1	Bpz	Rs1	Rs1	Bpcc	Bpz	Rs1
Om2	Bpz	Rs1	Rs1	Rs1	bpz	X	
Défaut mismatch série de sévérité importante (Rs2)	Rs2	Rs2	Om2	Bpcc	Rs2	Rs2	X
	Rs2	Rs2	Rs2	Bpcc	Rs2	Rs2	X
	Rs2	Rs2	Rs2	Rs2	Rs2	Om2	X
	Rs2	Rs2	Rs2	Rs2	Bpz	Rs1	X
Défaut de court-circuit de DBP (bpcc)	Bpcc	Bpcc	Bpcc	Bpcc	Bpinv	Om2	X
	Bpcc	Bpcc	Bpcc	Bpcc	Bpcc	Bpcc	X
	Bpcc	Bpcc	Bpcc	Bpcc	Bpcc	Bpz	X
Défaut d'inversion de DBP (bpinv)	Bpinv	Bpinv	Bpinv	Om1	Om2	Rs2	X
	Bpinv	Bpinv	Bpinv	Bpinv	Bpinv	Bpinv	X
	Bpinv	Om1	Bpcc	Bpinv	Bpinv	Om2	X
	Bpinv	Om1	Bpcc	Bpinv	Bpinv	Om2	X
Défaut de claquage de DBP (bpz)	Bpz	Bpz	Rs1	Bpz	Rs2	Bpz	X
	Om2	Om2	Om1	Rs2	Rs1	Bpz	X
	Rs1	Bpinv	Om1	Om2	Bpcc	Rs1	X
	Bpz	Bpz	Bpz	Bpz	Rs2	Bpz	X
	Bpz	Bpz	Rs1	Bpz	Rs2	Bpz	X
	Bpz	Rs1	Om2	Rs2	Bpz	Bpz	X
	Rs1	Bpinv	Om2	Om2	Bpcc	Rs1	Rs1
	Bpz	Bpz	Rs1	Bpz	Rs2	Om1	X
Rs1	Bpinv	Om2	Bpz	Rs2	Bpz	Bpz	

	Bpz	Bpz	Rs1	Rs2	Bpz	Bpcc	X
--	-----	-----	-----	-----	-----	------	---

Tableau 15. Validation de l'algorithme.

Pour effectuer le test, on a utilisé les six premiers paramètres relatifs au point de puissance maximale, et en cas d'obtention de résultats où deux défauts ou plus ont la même probabilité, le septième paramètre qui est relatif à la tension de circuit ouvert peut être utilisé pour trancher sur la nature du défaut responsable de la perte en puissance générée. Dans le tableau précédent lorsque l'intervention du coefficient « C6 » n'est pas nécessaire, on met le symbole « X » dans la case correspondante sinon on met le résultat qui va aider à la prise de décision.

Le nombre de défauts à simuler étaient limités à cause des problèmes de boucles algébriques du simulateur. Certes, tous ces défauts ont été pris en compte pour valider la méthode de diagnostic et sur les (45) défauts simulés seuls six n'ont pas été détectés. Dans certains cas, cette erreur de diagnostic est due au fait que deux défauts différents peuvent avoir les mêmes symptômes ; autrement dit, la présence d'un défaut « x » peut par exemple influencer le courant de court-circuit ou la tension de circuit ouvert de la même manière qu'un autre défaut « y » donc pour certains cas, ces grandeurs peuvent être confondues et donc les paramètres de SANDIA le seront également. Ajoutant à cela, la possibilité de présence d'erreur de calculs car ces coefficients sur lesquelles on se base dans l'algorithme sont issus de l'identification en utilisant une fonction matlab « lsqnonlin » qui consiste à trouver une solution numérique et non exact d'un système d'équations non linéaires.

A partir de ce tableau, on peut valider le critère de localisation et sensibilité puisqu'on a pu remonter à la nature des défauts pour tout cas de sévérité.

5.4. Robustesse :

Lors de la variation de la condition de fonctionnement, le système de diagnostic doit garantir sa performance en détectant les défauts selon l'exigence. Dans cet Algorithme, on a supposé des conditions de fonctionnement (Température et éclairage) d'une journée choisi aléatoirement. Cela veut dire que malgré les variations des conditions de fonctionnement durant toute la période d'essai, le système de diagnostic garantit sa performance en détectant les défauts selon leur nature. [3]

En pratique, d'autres critères sont à prendre en considération. En phase d'industrialisation, les contraintes ergonomiques et économiques sont essentielles. Les aspects temps réel sont par exemple prépondérants pour un système de diagnostic embarqué sur un système PV. La rapidité de détection peut être un facteur déterminant. De même, les coûts économiques vont conditionner la stratégie de diagnostic : le système nécessite-t-il des composants trop chers pour sa conception, le temps de développement est-il trop important ? Autant de points à vérifier afin de satisfaire le cahier des charges. [5]

Conclusion

Lors de ce travail, nous avons repris les différentes étapes effectuées pour le développement d'un algorithme pour le diagnostic des défauts dans un panneau solaire, qui consiste en leurs détections puis leurs localisations en définissant la nature du défaut. Cet algorithme repose sur la méthode de classification qui consiste à établir une base de connaissance sur le comportement défaillant du PPV, qui est constitué des paramètres estimés du modèles SANDIA. Le modèle SANDIA s'avère être le plus fiable pour effectuer le diagnostic car il rend compte des changements des conditions de fonctionnement.

Et enfin, on a rapporté les différents critères pour valider une méthode de diagnostic qu'on a appliqué pour notre algorithme de DLD afin de tester la fiabilité de l'approche qu'on a utilisé qui est la classification en utilisant le modèle SANDIA puis caractérisation de chaque cas de dysfonctionnement par des représentants statistiques qui est la moyenne. L'amélioration de la valeur de la moyenne par le critère de CHAUVENET pour représenter un défaut a été bénéfique du fait que ça a amélioré les résultats de tests lorsqu'on a effectué des essais au cours de notre travail.

Bibliographie

- [1] L. Bun, «détection et localisation des défauts pour un système PV,» Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2011.
- [2] T. KEMPOWSKY, «Surveillance de procedesà base de méthodes de classification : conception d'un outil d'aide pour la detection et le diagnostic des défaillances,» thèse de doctorat dans les systèmes industriels, institut national des sciences appliquées de TOULOUSE, 2004.
- [3] K. SAAOUI, «détection et localisation des défauts dans un panneau PV par le modèle SANDIA,» ingénieur d'état en automatique, ecole nationale polytechnique, Alger, 2015.
- [4] «data rejection of bad data- CHAUVENET's criterion-,» [En ligne]. Available: <http://www.ohio.edu/people/bayless/seniorlab/chauvenet.pdf>..
- [5] F. SLAMA, «modélisation d'un système multi-générateurs PV interconnectés au réseau électrique,» Magister en electrotechnique, Université Farhat Abbas, SETIF.
- [6] «Conso Neo,» [En ligne]. Available: <http://energies-renouvelables.consonéo.com/guide/entreprise-ecologique/les-differents-modeles-panneaux-photovoltaïques/1260/>.
- [7] M. BRESSAN, «développement d'un outil de supervision et de contrôle pour une installation solaire photovoltaïque,» Université de Perpignan Via Domitia, 2014.
- [8] «écohabitation,» [En ligne]. Available: <http://www.ecohabitation.com/guide/fiches/differents-types-installations-solaires-photovoltaïques>.
- [9] V. K. B. Reena Rathe, «comparative analysis to study the effects of partial shadinf on pv array withlt-spice and matlab-simulink environment,» *international journal of engineering research & technology (IJERT)*, vol. Vol 2, n° %1ISSN 2278-0181, 2013.
- [10] W. J. D.L.King, «photovoltaic array performance model,» SANDIA REPORT, SANDIA national laboratories, 2004.
- [11] T. KEMPOWSKY, «Surveillance de procedesà base de méthodes de classification : conception d'un outil d'aide pour la detection et le diagnostic des défaillances,» thèse de doctorat dans les systèmes industriels, institut national des sciences appliquées de TOULOUSE, 2004.