

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

N° :



DOMAINE : SCIENCES ET  
TECHNOLOGIE

FILIERE : ELECTRONIQUE

OPTION : INSTRUMENTATION

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

**Par:**

BENNACEUR Anouar

BOUDERBALA Imadeddine

**Intitulé**

**Étude et modélisation des défauts d'un  
générateur photovoltaïque**

**Soutenu devant le jury composé de :**

	Université de M'sila	Président
DRIF Mahmoud	Université de M'sila	Encadreur
	Université de Msila	Examineur

**Année universitaire : 2018 /2019**

# Remerciements

Nous remercions dieu le tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail.

Nous tenons plus particulièrement à remercier chaleureusement notre encadreur, Monsieur **DRIF Mahmoud** d'abord pour avoir proposé ce thème, ensuite pour avoir assumé la responsabilité de notre encadrement, enfin pour nous avoir orienté et nous avoir conseillé tout au long de la réalisation de ce travail ainsi que pour la confiance qu'il nous a accordée.

Nous remercions très chaleureusement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'être lecteurs et critiques de notre mémoire.

# **Dédicaces**

Je dédie ce modeste travail à :

**Mes parents**

**Mon frère**

**Tous mes sœurs**

**Mes collègues**

**Mon ami Nouh hafidi**

**Et à toute la famille**

# Sommaire

Tables de matières .....	3
Liste de Figures.....	6
Liste de tableaux .....	8
Introduction général .....	9
<b>Chapitre 1: Généralité sur les systèmes photovoltaïques</b> .....	<b>11</b>
1.1. Introduction .....	11
1.2. Énergie solaire .....	11
1.3. Générateur photovoltaïque GPV .....	12
1.3.1. Cellule solaire .....	12
1.3.2. Caractéristique électrique d'une cellule solaire .....	13
a) Photo-courant.....	14
b) Courant de saturation de la diode .....	15
1.3.3. Paramètres de performance d'une cellule .....	15
a) Tension de circuit ouvert .....	16
b) Courant de court-circuit.....	16
c) Puissance débitée .....	16
d) Facteur de forme .....	17
e) Rendement de conversion .....	17
1.3.4 Module Photovoltaïque.....	17
1.3.5 Système de protection.....	19
1.3.6. Modélisation D'un GPV .....	19
1.3.7. Caractéristique D'un Générateur PV .....	20
1.4. Champ Photovoltaïque.....	21
1.5. Les Principes de Conversion dans les Systèmes PV .....	22
1.6. Étage d'Adaptation entre un Générateur PV et une Charge .....	22
1.7. Conclusion .....	23
<b>Chapitre 2: Défauts de fonctionnement d'un GPV</b> .....	<b>24</b>
2.1. Introduction .....	24
2.2.1. Différent défauts de générateur PV .....	24
a) Générateur PV .....	25
b) Boite de jonction .....	25

c) Câblage et connecteur .....	25
d) Protection (diode by-pass et diode anti-retour) .....	25
2.2.2. Classification des défauts de générateur PV .....	25
2.3. Modélisation des différents défauts .....	27
2.3.1. Défaut de mis-match et d'ombrage.....	27
i) Définition .....	27
ii) Modélisation.....	27
2.3.2. Défaut de diodes de bypass.....	31
i) Définition.....	31
ii) Modélisation.....	32
2.3.3. Défaut de module.....	33
i) Définition.....	33
ii) Modélisation.....	33
2.3.4. Défaut de connectique .....	34
2.3.5. Défaut de diode anti-retour .....	35
i) Définition.....	35
ii) Modélisation.....	36
2.4. Symptômes des défauts de générateur PV.....	37
2.5. Conclusions .....	38
<b>Chapitre 3: Simulation de défauts d'un GPV et évaluation de pertes .....</b>	<b>39</b>
3.1. Introduction.....	39
3.2. Modèle mathématique du module PV en mode sain .....	40
3.3. Modèle mathématique du module PV en mode .....	42
3.4. Simulation et résultats.....	42
3.5. Défaut dû à l'ombrage partiel .....	44
3.5.1. Un module ombragé.....	44
3.5.2. Deux module Ombragée d'une même branche .....	45
3.5.3 Deux module Ombragée dans différente branche .....	45
3.5.4. Trois module Ombragé dans différente branche .....	46
3.5.5. Une branche Ombragé .....	46
3.5.6. Deux branche Ombragé .....	47
3.5.7. Récapitulatif.....	47
3.6. Défaut dû à la salissure et à la poussière .....	49
3.6.1. Une module.....	49
3.6.2. Deux module/branche .....	50

3.6.3. Deux module différente branche.....	50
3.6.4. Une branche .....	51
3.6.5. Récapitulatif.....	51
3.7. Défaut de Diode By-pass .....	52
3.7.1. Cas de Court-Circuit (CC) .....	53
3.7.2. Cas de polarisation inverse .....	54
3.7.3. Cas circuit ouvert .....	55
3.7.4. Récapitulatif.....	56
2.8. Conclusion .....	57
Conclusion général .....	58
Références et Bibliographies .....	59

## Liste des Figures

<b>Figure 1.1</b> : Composants d'un GPV.....	12
<b>Figure 1.2</b> : Modèle électrique simple d'une cellule solaire.....	13
<b>Figure 1.3</b> : la caractéristique I-V d'une cellule .....	16
<b>Figure 1.4</b> : Mise en série des cellules solaires en module PV .....	18
<b>Figure 1.5</b> : Caractéristique de l'association en série de cellules solaires .....	18
<b>Figure 1.6</b> : Mise en parallèle de cellules PV .....	18
<b>Figure.1.7</b> : Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour.....	19
<b>Figure.1.8</b> : Caractéristique P/V d'un GPV .....	20
<b>Figure.1.9</b> : Caractéristique I/V d'un GPV .....	21
<b>Figure .1.10</b> : Structure d'un champ PV .....	21
<b>Figure .1.11</b> : Etage d'adaptation entre un GPV et une charge.....	22
<b>Figure 2.1</b> : Caractéristiques I-V d'une cellule "bonne" et d'une autre "ombré" .....	28
<b>Figure 2.2</b> : Caractéristique d'un groupe de cellules protégé par la diode de bypass .....	29
<b>Figure 2.3</b> : Caractéristiques I-V d'un module "bonne" et d'un autre "ombré".....	30
<b>Figure 2.4</b> : Caractéristique I-V d'un module « mauvais » et « bon ».....	30
<b>Figure 2.5</b> : Caractéristique I-V d'un string « mauvais » et « bon ».....	31
<b>Figure 2.6</b> : Module de 36 cellules protégé par deux diodes de by-pass .....	31
<b>Figure 2.7</b> : Schéma bloc d'un module PV défaillant .....	33
<b>Figure 2.8</b> : Schéma bloc d'un string PV avec la résistance de connectique non nulle .	34
<b>Figure 2.9</b> : Caractéristiques I-V d'un string PV lors de défauts de connectique .....	35
<b>Figure 2.10</b> : diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion des autres strings .....	36

<b>Figure 2.11</b> : différents symptômes de la caractéristique I-V d'un GPV défaillant....	<b>37</b>
<b>Figure 3.1</b> : Synoptique du modèle d'un GPV .....	<b>40</b>
<b>Figure 3.2</b> : Schéma équivalent d'un module photovoltaïque .....	<b>41</b>
<b>Figure 3.3</b> : Schéma bloc en Matlab/Simulink d'un générateur PV .....	<b>43</b>
<b>Figure 3.4</b> : Caractéristiques I-V d'un champ PV avec différents degrés d'ombrage...	<b>44</b>
<b>Figure 3.5</b> : Caractéristiques I-V d'un champ PV Avec différents degré d'ombrage..	<b>45</b>
<b>Figure 3.6</b> : Caractéristiques I-V d'un champ PV Avec différents degré d'ombrage..	<b>45</b>
<b>Figure 3.7</b> : Caractéristiques I-V d'un champ PV Avec différents degré d'ombrage..	<b>46</b>
<b>Figure 3.8</b> : Caractéristiques I-V d'un champ PV Avec différents degré .....	<b>46</b>
<b>Figure 3.9</b> : Caractéristiques I-V d'un champ PV Avec différents degré .....	<b>47</b>
<b>Figure 3.10</b> : Caractéristique I-V de champ lors défaut de poussière (une module) .....	<b>49</b>
<b>Figure 3.11</b> : Caractéristique I-V de champ lors défaut de poussière (Deux module/branche) .....	<b>50</b>
<b>Figure 3.12</b> : caractéristique I-V de champ lors défaut de poussière (Deux module différente branche).....	<b>50</b>
<b>Figure 3.13</b> : Caractéristique I-V de champ lors défaut de poussière (Une branche)...	<b>51</b>
<b>Figure 3.14</b> : présenter les switch connecté avec diode DBP .....	<b>52</b>
<b>Figure 3.15</b> : Caractéristiques I-V d'un champ PV lors diode by-pass court-circuité...	<b>53</b>
<b>Figure 3.16</b> : Caractéristiques P-V d'un champ PV lors diode by-pass court-circuité..	<b>53</b>
<b>Figure 3.17</b> : Caractéristiques I-V d'un champ PV lors diode by pass polarisation inversé .....	<b>54</b>
<b>Figure 3.18</b> : Caractéristiques I-V d'un champ PV lors les différents défauts de diode by-pass.....	<b>55</b>
<b>Figure 3.19</b> : Caractéristiques I-V d'un champ PV lors diode by-pass circuit ouver ....	<b>56</b>

## Liste de Tableaux

<b>Tableau 2.1</b> : Classification des défauts .....	26
<b>Tableau 2.2</b> : Impact des différents défauts sur les paramètres de la cellule.....	27
<b>Tableau 3.1</b> : Les Caractéristiques électriques de champ utilisé dans la simulation ....	43
<b>Tableau 3.2</b> : Coefficients indicateurs de défauts. Cas d'étude : ombrage partiel .....	44
<b>Tableau 3.3</b> : Pertes dues à l'ombrage .....	48
<b>Tableau 3.4</b> : Coefficients indicateurs de défauts. Cas d'étude : salissure et poussière .....	49
<b>Tableau 3.5</b> : Pertes dues à la poussière .....	51
<b>Tableau 3.6</b> : Mode de fonctionnement de la diode de by-pass en fonction des états d'interrupteurs.....	52
<b>Tableau 3.7</b> : Pertes dues aux défauts de court-circuit de la diode de by-pass .....	54
<b>Tableau 3.8</b> : Pertes dues aux défauts de polarisation inverse de la diode de by-pass .	55
<b>Tableau 3.9</b> : Pertes dues aux défauts de circuit-ouvert de la diode de by-pass .....	56

# **Introduction générale**

# Introduction générale

En raison du développement de l'industrie, du transport et des moyens de communication, une croissance de la consommation mondiale de l'électricité a été observée pendant les dernières années. Cependant, la plupart de l'énergie électrique est produite par la combustion de ressources non renouvelables (charbon, pétrole, gaz, nucléaire) dont le délai d'épuisement est estimé à quelques années. De plus, ce type de production d'énergie est très polluant. Le développement des sources d'énergies renouvelables non polluantes est donc d'actualité.

Les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée qui regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et utile obtenue. La filière étudiée dans ce travail est l'énergie p photovoltaïque.

L'énergie photovoltaïque provient de la conversion directe de l'énergie solaire en électricité. Cette conversion se fait par le biais d'une cellule photovoltaïque dont le principe est basé sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. Ce dernier, a pour rôle de produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule.

L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque. La puissance maximale générée par le générateur photovoltaïque (GPV) est généralement obtenue lorsqu'il y a une bonne adaptation entre ce dernier et le récepteur associé. Cette adaptation est effectuée à l'aide de convertisseurs de puissance contrôlés, pour différents modes de fonctionnement.

Pour arriver aux objectifs de l'étude, nous avons structuré le mémoire en trois chapitres :

- Dans le premier chapitre nous avons présenté la description de la série de conversions pour un système photovoltaïque et les caractéristiques des cellules ,modules et générateur photovoltaïques

- Dans le deuxième chapitre nous examinerons les erreurs de la cellule et donc les défauts affectant le générateur photovoltaïque.
- Dans le troisième chapitre certains défauts ont été discutés par le programme de simulation Matlab/Simulink et de trouver des résultats qui distinguent différents défauts et la modélisation les uns des autres par la caractéristique (IV-PV).

Enfin, une conclusion et une présentation des perspectives sont présentées à la fin du manuscrit.

## Généralités sur les systèmes photovoltaïques

---

### 1.1. Introduction

L'augmentation du coût des énergies classiques d'une part, et la limitation de leurs ressources d'autre part, font que l'énergie photovoltaïque devient de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre. Actuellement, on assiste à un regain d'intérêt pour les installations utilisant l'énergie solaire.

### 1.2. Énergie solaire photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque (PV) est la transformation directe de la lumière en électricité. On utilise pour cela une cellule photovoltaïque. Le soleil est à l'origine de toutes les formes d'énergie présentes sur terre (à l'exception de l'énergie nucléaire). Le rayonnement solaire apporte à la terre de la chaleur et de la lumière. Cette énergie peut être captée de trois façons: en utilisant directement la chaleur (chauffage solaire direct, capteurs thermiques), en transformant la lumière en électricité (capteurs photovoltaïques) ou en transformant la chaleur en électricité (centrales électriques solaires).

### 1.3. Générateur photovoltaïque (GPV)

Les cellules solaires sont généralement associées en série et en parallèle, puis encapsulées sous verre pour obtenir un module photovoltaïque. Un générateur PV est constitué de modules interconnectés pour former une unité produisant une puissance continue élevée compatible avec le matériel électrique usuel (figure 1.1). Les modules PV sont habituellement branchés en série- parallèle pour augmenter la tension et l'intensité à la sortie du générateur. Les modules interconnectés sont montés sur des supports métalliques et inclinés suivant l'angle désiré en fonction du lieu, cet ensemble est souvent désigné par champ de modules [2].

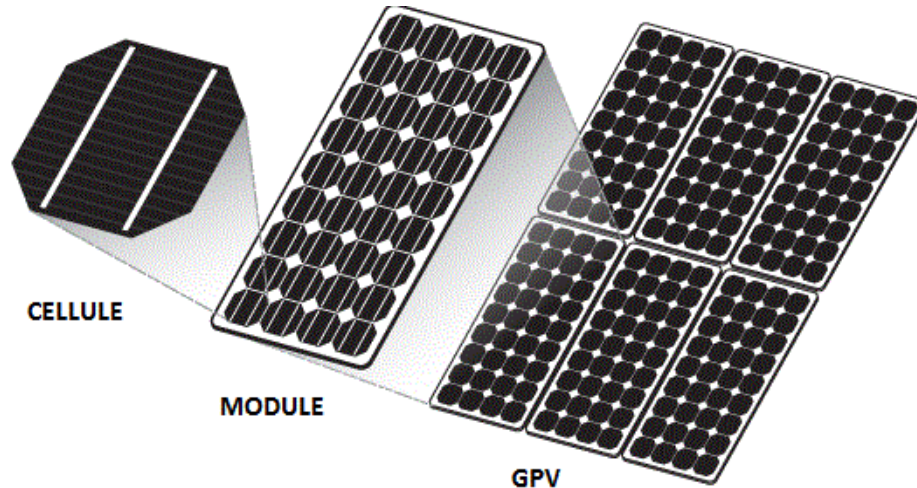


Figure 1.1 : Composants d'un GPV

#### 1.3.1 Cellule solaire

Il existe un grand nombre de technologies permettant la fabrication de cellules photovoltaïques, mais beaucoup sont encore en phase de recherche. Les cellules actuellement industrialisées en grande quantité sont produites à partir de silicium (environ 80% en 2010 pour le silicium cristallin « c-Si »). La technologie amorphe (a- Si) qui a été une des

## Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

technologies préférées a connu une baisse dans le marché actuel par rapport à la technologie couche mince. Par exemple, le marché de la technologie CdTe (Cadmium Telluride) a augmenté de 2% en 2005 à 13% en 2010. Une autre technologie de type couche mince comme CIGS (Copper Indium Gallium Selenide) et les autres technologies émergentes sont en voie de se développer.

### 1.3.2. Caractéristique électrique d'une cellule solaire

Nous pouvons citer à titre d'exemple, le modèle à une diode, qui est le plus utilisé de par sa simplicité d'élaboration, sa rapidité à simuler, ainsi que sa précision [3].

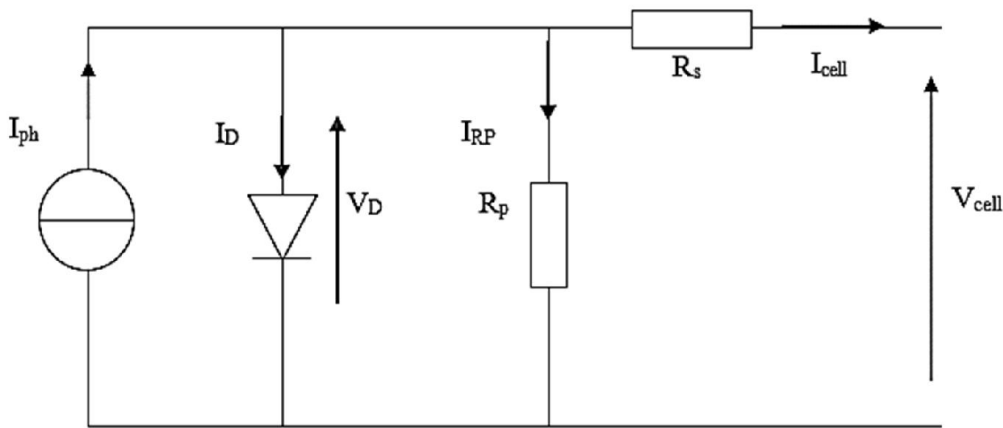


Figure 1.2 : Modèle électrique simple d'une cellule solaire.

Ce modèle contient une source de courant  $I_{ph}$  qui représente l'ensoleillement reçu par la cellule, et une diode en parallèle qui représente la jonction PN. La résistance série  $R_s$  tient compte des pertes ohmiques des matériaux, des métallisations et du contact semi-conducteur. La résistance parallèle  $R_{sh}$  représente le courant de fuite qui se situe entre le dessus et le dessous de la cellule.

## Chapitre1 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

L'équation du modèle à une diode de la cellule PV est le suivant :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{V + IR_s}{V_t}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1.1)$$

### a) Photo-courant

Le courant  $I_{ph}$  d'une cellule PV dépend de la température et de l'ensoleillement ainsi que du coefficient de température du court-circuit généralement donné dans les références constructeurs ( $\alpha$ ). le courant  $I_{ph}$  pour expression générale :

$$I_{ph} = [I_{ph,STC} + \alpha(T_c - T_{c,STC})] \frac{G}{G_{STC}} \quad (1.2)$$

Où :

$I_{ph,STC}$  : est le photo-courant aux STC (1000W/m<sup>2</sup>, AM1.5), en [ A].  $\alpha$  : est le coefficient de température du courant court-circuit en [A/°C]

$T_c$  : est la température cellule, en [°C]

$T_{c,STC}$  : est la température cellule aux STC, [ $T_{c,STC}=25^\circ\text{C}$ ]

$G$  : est l'éclairement reçu par la cellule solaire [W/m<sup>2</sup>]

$G_{STC}$  : est l'éclairement aux STC.

La température de la cellule peut être donnée en fonction de la température ambiante par l'expression suivante :

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{800} G \quad (1.3)$$

Où

$T_c$  : est température de la cellule en [°C]

$T_a$  : est la température ambiante en [°C]

NOCT : est la température normale de fonctionnement de la cellule (Normal Operating Cell Temperature).

## Chapitre1 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

### b) Courant de saturation de la diode

Le courant de saturation inverse de la diode qui représente la valeur asymptotique du courant  $I$  en polarisation inverse, dépend de la température et de largeur de bande d'énergie du matériau de la cellule solaire.

$$I_0 = I_{0,ref} \left( \frac{T_c}{T_{c,STC}} \right)^3 \exp \left[ \left( \frac{qE_g}{nT_{c,STC}} \right) \left( \frac{1}{T_{c,STC}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \quad (1.4)$$

Où :

$I_0$  : est le courant de saturation inverse à la température  $T_c$ .

$I_{0,ref}$  : courant de saturation inverse de référence.

$E_g$  : est l'énergie de la bande interdite. Pour le silicium, elle est égale à 1.12eV

La tension thermique  $V_t$  donnée par l'équation suivante :

$$V_t = \frac{nKT}{q} \quad (1.5)$$

Où :

$k$  : est le constant de Boltzmann

$n$  : est facteur d'idéalité de diode.

$q$  : est la charge d'électron.

### 1.3.3. Paramètres de performance d'une cellule solaire

La caractéristique  $I=f(V)$  d'une cellule solaire illuminée a la forme représentée dans la figure 1.3 dont la tension aux bornes de la charge est balayée de zéro à  $V_{oc}$ .

## Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

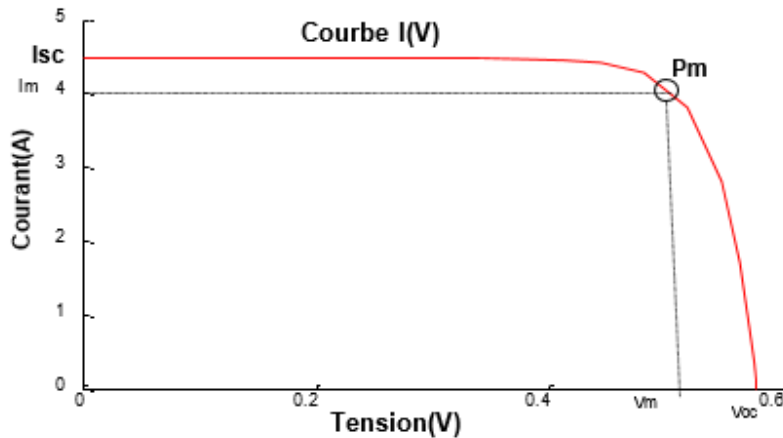


Figure 1.3 : la caractéristique I-V d'une cellule

Où :

$I_m$  : est le courant délivré par la cellule au point de puissance maximale  $P_m$ .

$V_m$  : est la tension aux bornes de la cellule au point de puissance maximale  $P_m$ .

### a) Tension de circuit ouvert

Elle représente la tension aux bornes de la cellule sous éclairage et sans circuit de charge ( $V=V_{oc}$ ,  $I=0$ ). Elle est donnée par l'expression suivante :

$$V_{oc} = nV_t \ln \left( \frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \quad (1.6)$$

### b) Courant de court-circuit

Il représente le courant délivré par la cellule quand la tension à ses bornes est nulle ( $V=0$ ). Il est donné par l'expression suivante :

$$I_s = \left[ I_{ph,STC} + \alpha(t_c - T_{c,STC}) \right] \frac{G}{G_{STC}} \quad (1.7)$$

### c) Puissance débitée

Elle est obtenue à partir de l'expression suivante :

$$P = I.V = \left[ I_{ph} - I_0 \left[ \exp \left( \frac{V+IR_s}{V_t} \right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \right] V \quad (1.8)$$

## Chapitre1 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Mathématiquement, on obtient le point de puissance maximale  $P_m$  en résolvant l'équation de la dérivée suivante :

$$\left. \frac{\partial P}{\partial V} \right|_{P=P_m} \quad (1.9)$$

### d) Facteur de forme

Le facteur de forme est donné par le rapport entre la puissance maximale est le produit ( $V_{oc} I_{sc}$ )

$$FF = \frac{P_m}{V_{Voc} I_{sc}} = \frac{I_m V_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad (1.10)$$

### e) Rendement de conversion

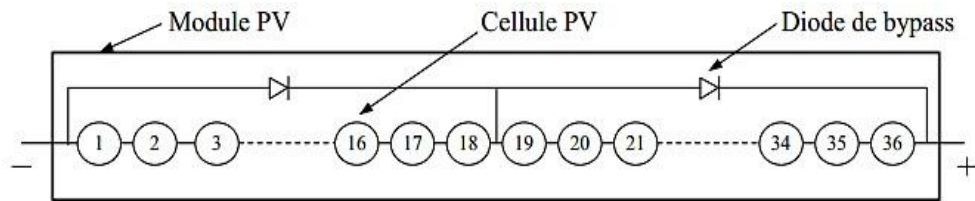
Le rendement  $\eta$  de la cellule solaire est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et l'éclairement incident  $P_{inc}$  sur la surface de la cellule  $S_c$ .

$$\eta = \frac{P_m}{P_{inc}} = \frac{V_m I_m}{P_{inc} S_c} \quad (1.11)$$

### 1.3.4. Module photovoltaïque

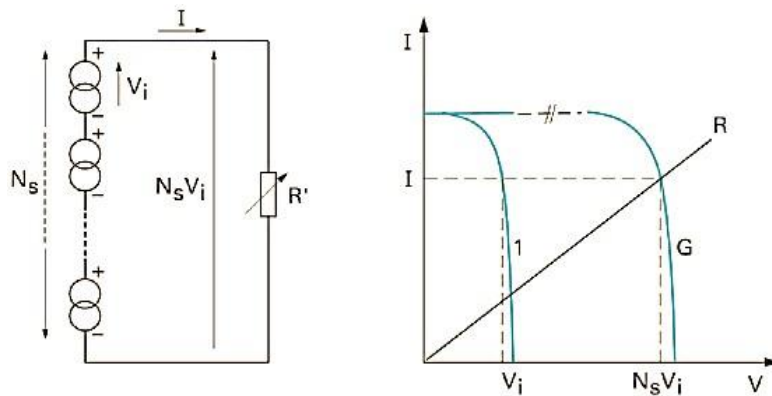
Les cellules solaires sont généralement connectées en série dans les modules couramment commercialisés. La mise en série des cellules solaires permet d'augmenter la puissance. Le courant reste identique tandis que la tension est multipliée par le nombre de cellules en série. Un module photovoltaïque «classique » contient 36 ou 72 cellules. La Figure 1.5 montre un module contenant 36 cellules interconnectées en série. [4].

## Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques



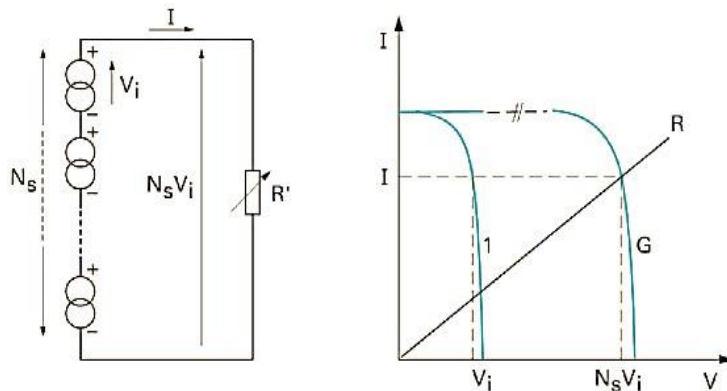
**Figure 1.4 :** Mise en série des cellules solaires en module PV

Et leur caractéristique est représentée sur la figure 1.5



**Figure 1.5 :** Caractéristique de l'association en série de cellules solaires.

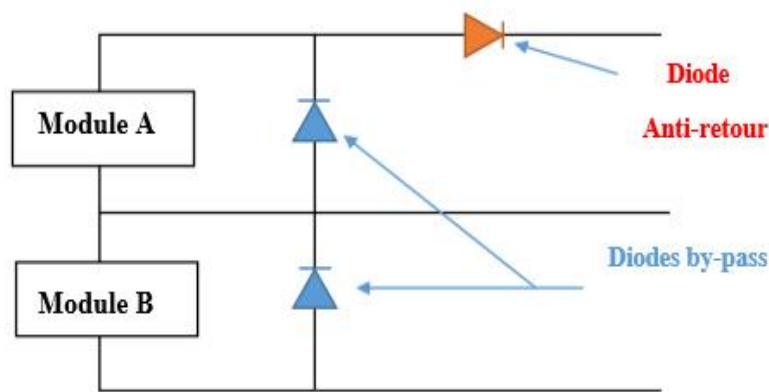
Si les cellules sont connectées en parallèles, elles sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante est obtenue par l'addition des courants comme la montre la figure ci-dessous.



**Figure 1.6 :** Mise en parallèle de cellules PV

### 1.3.5 Système de protection

Le groupement des cellules photovoltaïques présente un effet indésirable lorsque le module est partiellement à l'ombre ou lorsque les cellules ne sont pas éclairées équitablement (éclairage non homogène). donc pour résoudre ce problème et pour garantir une durée de vie importante d'une installation photovoltaïque destinée à produire de l'énergie électrique sur des années, des protections électriques doivent être ajoutées.



**Figure.1.7 :** Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour

- la diode anti-retour empêchant un courant négatif dans les PV. Ce phénomène peut apparaître lorsque plusieurs modules sont connectés en parallèle, ou bien quand une charge en connexion directe peut basculer du mode récepteur au mode générateur, par exemple une batterie durant la nuit.
- les diodes by-pass peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairage n'est pas homogène (effet d'ombrage) évitant ainsi l'apparition de points chauds et la destruction des cellules mal éclairées.

### 1.3.6. Modélisation d'un GPV

Nous avons vu que le modèle mathématique d'une cellule PV est donné par :

## Chapitre1 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

$$I_{cell} = I_{ph} - I_s(e^{(V_{cell} + R_s I_{cell})/V_{th}} - 1) \quad (1.12)$$

Cette expression ne peut être utilisée directement pour prédire le comportement du GPV, Car quelques paramètres,  $I_{ph}$  et  $I_s$  en particulier, ne peuvent être établies à partir des Informations habituellement disponibles. Ces dernières sont restreintes aux valeurs d' $I_{sc}$ ,  $V_{OC}$  et  $P_m$  qui sont toujours incluses dans le catalogue du fabricant.

Pour pallier à ce problème, des simplifications peuvent être faites en faisant les Suppositions suivantes, qui sont généralement valides pour les cellules au silicium [5] :

le photo-courant et le courant de court-circuit sont égaux pour toutes les conditions de fonctionnement.

### 1.3.7. Caractéristiques d'un Générateur PV

Les figures suivant présentent les Caractéristique d'un générateur PV pour un rayonnement constant de  $1000\text{W/m}^2$  et une température de  $25^\circ\text{C}$ .

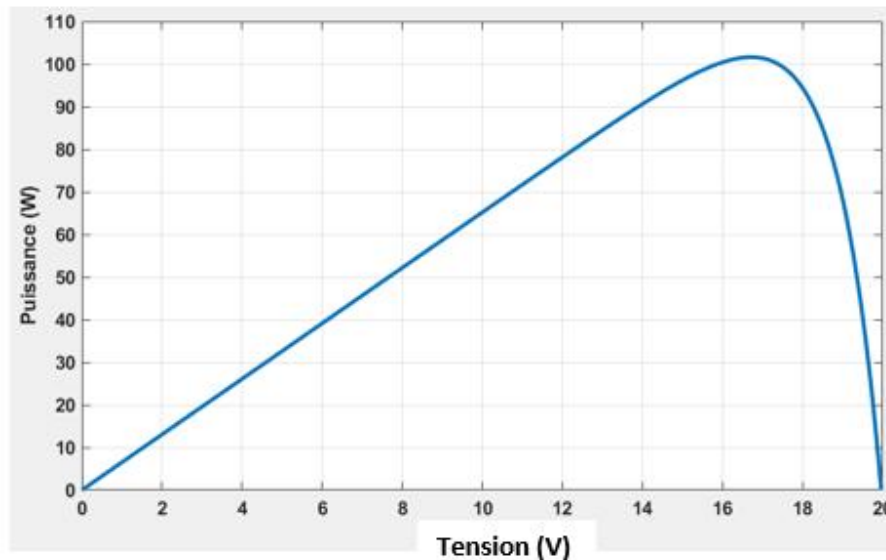


Figure.1.8 : Caractéristique P/V d'un GPV

## Chapitre1 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

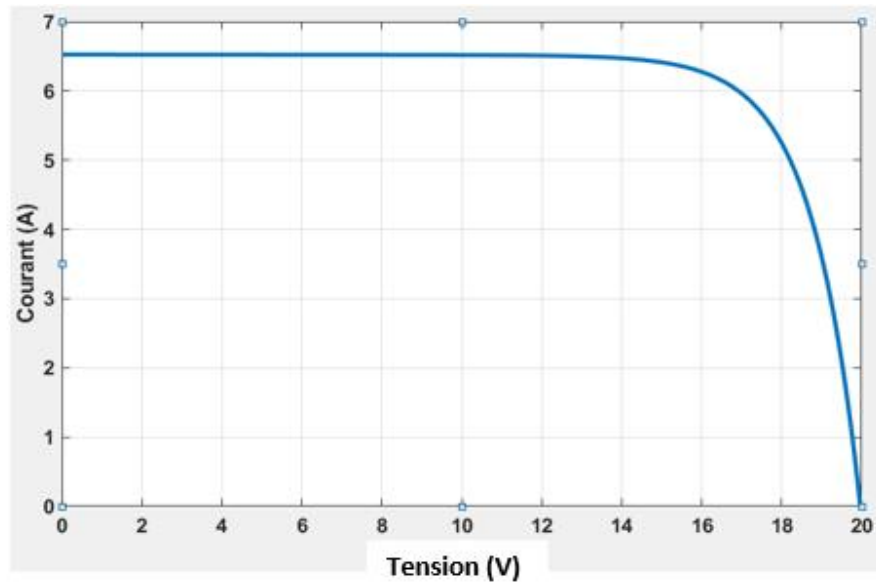


Figure.1.9 : Caractéristique I/V d'un GPV

### 1.4. Champ Photovoltaïque

Pour disposer d'une puissance installée de plusieurs centaines de kilowatts, voire de mégawatts, il est nécessaire d'assembler les modules photovoltaïques suivant une architecture connue sous le nom de configuration série/parallèle.

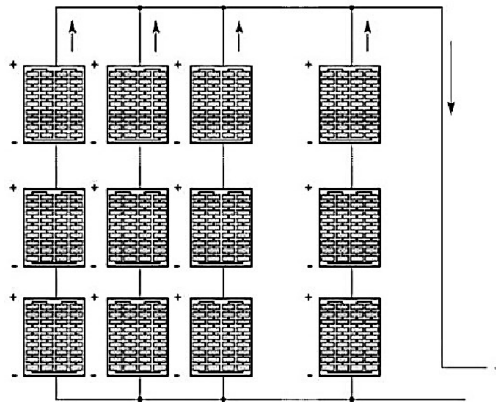


Figure 1.10 : Structure d'un champ PV

### 1.5. Principes de la conversion 'énergie dans le système PV

Le générateur PV est l'élément principal d'un système PV. Cependant, pour une application pratique, d'autres éléments sont nécessaires, par exemple pour le stockage de l'énergie, pour la régulation de la circulation du flux d'énergie ou pour l'alimentation du réseau alternatif. Ces composants supplémentaires représentent une part considérable du coût, provoquent la réduction du rendement et influencent considérablement le comportement et les performances de tout le système.

### 1.6. Étage d'adaptation entre un GPV et une Charge

Un GPV présente des caractéristiques  $I(V)$  non linéaires avec des points de puissance maximaux (PPM). Ces caractéristiques dépendent au niveau d'éclairément et de la température de la cellule. De plus, selon les caractéristiques de la charge sur laquelle le GPV débite, nous pouvons trouver un très fort écart entre la puissance potentielle du générateur et celle réellement transférée à la charge en mode connexion directe. Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV et de la transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le GPV et la charge comme décrit dans la figure 1.10 Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle,

Le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus Proche possible de  $P_{MAX}$  disponible [6].

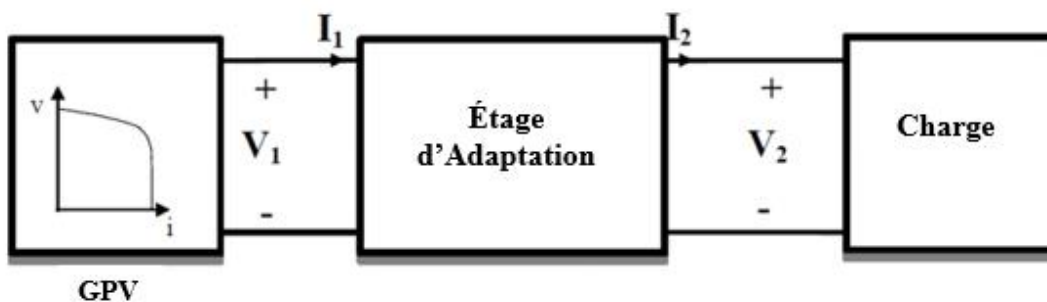


Figure.1.11 : Etage d'adaptation entre un GPV et une charge

## Chapitre1 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

L'adaptateur communément utilisé en PV est un convertisseur statique (convertisseur de puissance DC/DC).

### 1.7. Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté l'élément principal, responsable de la conversion du rayonnement solaire en énergie électrique et les autres éléments constituant une chaîne de conversion photovoltaïque. Nous avons également présenté les différents modèles et équations régissant un générateur photovoltaïque. Dans le chapitre suivant, nous allons donner les différents défauts qui peuvent avoir lieu au niveau d'un générateur photovoltaïque.

## Défauts de fonctionnement d'un générateur photovoltaïque

---

### 2.1. Introduction

Comme tout processus industriel, 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 son indisponibilité. Permettre de diagnostiquer finement et de faire de la détection et de localisation de défauts dans une installation photovoltaïque réduit les coûts de maintenance et surtout augmente la productivité. Dans ce travail, nous nous intéressons spécifiquement à la détection et la classification de défauts d'un générateur photovoltaïque (GPV). Pour atteindre ces objectifs, les chercheurs ont développé plusieurs techniques et méthodes pour l'étude et modélisation défaut des systèmes industriels GPV, et modélisée plusieurs défauts.

L'objectif de ce chapitre est de donner les différents défauts de fonctionnement avec son définition brièvement et développements de ses modélisations.

#### 2.2.1. Défauts de générateur PV

Après avoir identifié quelques défauts, on a relevé les erreurs entre les signaux de sortie : le courant, la tension et la puissance du système sain et celle du système avec défaut pour les utiliser dans la classification de ces défauts [8]:

### a) Générateur PV :

- Feuilles d'arbre, déjections, pollution, sable, neige etc.
- Détérioration des cellules, fissure, échauffement des cellules
- Pénétration de l'humidité, dégradation des interconnexions,
- Corrosion des liaisons entre les cellules
- Modules de performances différentes
- Module arraché ou cassé
- Modules court-circuités, modules inversés

### b) Boite de jonction :

- Rupture du circuit électrique
- Court-circuit du circuit électrique
- Destruction de la liaison
- Corrosion des connexions

### c) Câblage et connecteur :

- Circuit ouvert
- Court-circuit
- Mauvais câblage (module inversé)
- Corrosion des contacts
- Rupture du circuit électrique

### d) Protection (diode by-pass et diode anti-retour)

- Destruction des diodes
- Absence ou non fonctionnement de diodes
- Inversion de la polarité des diodes au montage

## 2.2.2. Classification des défauts de générateur PV

Il existe plusieurs classifications des défauts qui sont citées dans la littérature. Dans notre travail, nous avons opté pour la classification par niveau d'apparition de défaut et l'étape à laquelle ils interviennent et s'ils peuvent modifier le comportement du composant de cette étape (cellule, groupe de cellules, modules, strings, champ). [9] [8].

## Chapitre 2 : Défaits de fonctionnement d'un GPV

Composant du champ	Nature des défauts	Dénomination de défauts
<b>Cellules</b>	Module arraché ou cassé	<b>Défaut de mismatch et d'ombrage</b>
	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	
<b>Groupes de cellules</b>	Destruction des diodes	<b>Défaut de diode de bypass</b>
	Absence de diodes Inversion de la polarité des diodes Diode mal connectée  Diode court-circuitée	
<b>Modules</b>	Modules court-circuités Inversion de polarité du module Modules shuntés	<b>Défaut de module</b>
<b>Strings</b>	Rupture du circuit électrique	<b>Défaut de connectique</b>
	Destruction de la liaison  Corrosion des connexions Corrosion des contacts Court-circuit du circuit électrique Module déconnecté	
<b>Champ</b>	Destruction des diodes Absence de diodes Inversion de la polarité des diodes Diode mal connectée	<b>Défaut de diode anti retour</b>
	Diode court-circuitée	

**Tableau 2.1 : Classification des défauts**

### 2.3. Modélisation des différents défauts

#### 2.3.1. Défaut de mis-match et d'ombrage

##### i) Définition

Les défauts de mis-match et d'ombrage se sont des défauts fréquents aux systèmes PV, dans ce qui suit, on parle de ces défauts (les définir), leur modélisation, et la caractéristique IV résultante de ces deux défauts.

Le défaut de “**mis-match**” est le défaut causé par le groupement de cellules possédant une caractéristique I-V non identique. Tout changement dans l'un des paramètres de l'équation (2.1) conduira à la dissemblance de leur caractéristique. Le défaut d'ombrage est un cas particulier du défaut de mis-match car sa présence conduit à une réduction de l'ensoleillement reçu par des cellules. Le changement de ces paramètres provient de deux facteurs principaux.

Premièrement, des cellules pourraient posséder des propriétés physiques différentes suite à une tolérance dans la fabrication. Seule la tolérance de la puissance du module est donnée par les fabricants de la cellule ou du module. Elle peut varier entre +/-3% et +/-5% selon les fabricants.

Deuxièmement, des cellules PV peuvent être exposées à des conditions de fonctionnement différentes causées par les différents défauts. D'une manière qualitative, les paramètres de la cellule affectés par ces défauts peuvent être identifiés (voir Tableau 2.2).

Nature des défauts	Paramètres affectés
Module arraché ou cassé Ombrage : Feuilles d'arbre, déjections, sable, pollution, neige etc.	Variation de $I_{ph}$
Echauffement des cellules	Variation de $T$
Dégradation des interconnexions Fissure Corrosion des liaisons entre cellules	Variation de $R_s$
Modules de performances différentes Détérioration des cellules Pénétration de l'humidité	Variation de tous les paramètres des cellules

**Tableau 2.2 : IMPACT DES DIFFERENTS DEFAUTS SUR LES PARAMETRES DE LA CELLULE**

##### ii) Modélisation

Selon le Tableau 2.1, le défaut de mis-match et d'ombrage peut être modélisé par la variation des différents paramètres de la cellule. Du fait de la disparité des paramètres des cellules dans un champ. Lors de la mise en série des composants, la tension produite par chaque composant n'est plus égale pour un même courant. Et lors de la mise en

## Chapitre 2 : Défaits de fonctionnement d'un GPV

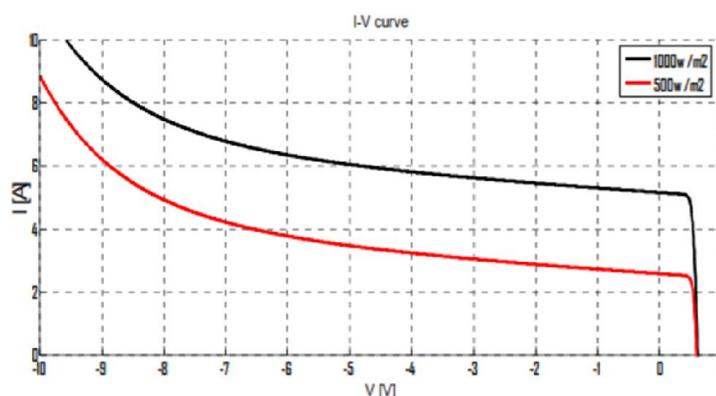
parallèle des composants, le courant fourni par chaque composant n'est plus identique pour une même tension.

- **Etape 1 : Détermination de la caractéristique de la cellule**

Pour déterminer la caractéristique I-V d'une cellule. On impose le courant sur une plage souhaitée et on cherche la tension correspondante. L'équation (2.1) donne la relation du courant et de la tension de la  $i^{\text{ème}}$  cellule d'un groupe.

$$I_{\text{cellule}} = I_{\text{imposé}}$$
$$I_{\text{cellule}} \xrightarrow{f(I_{\text{cellule}}, V_{\text{cellule},j})=0} I_{\text{cellule},i} \quad (2.1)$$

Dans le cas du mis-match, pour un courant donné, la tension produite par les cellules n'est pas forcément identique car leurs paramètres ne sont pas les mêmes. Cette fois-ci, nous supposons qu'une cellule est à 50% ombrée. La figure suivante montre l'allure d'une cellule « ombrée » et celle d'une cellule « bonne ».

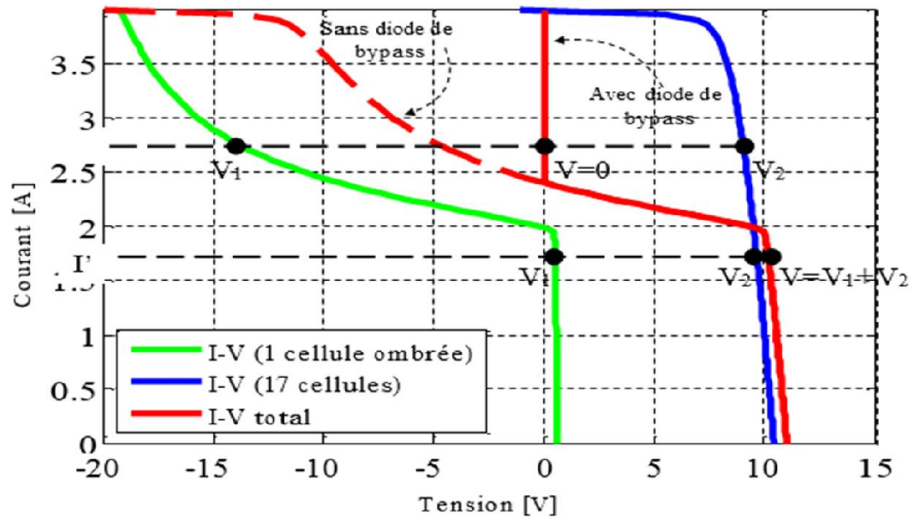


**Figure 2.1:** Caractéristiques I-V d'une cellule "bonne"(en noir) et d'une autre "ombrée"(en rouge).

- **Etape 2 : Détermination de la caractéristique du groupe**

Dans le cas d'un groupe de cellules, la somme de la tension de toutes les cellules dans le groupe peut être négative. Ceci provient du fait qu'une ou des cellules dans le groupe produisent une tension négative lorsqu'elles sont traversées par un courant supérieur à leur courant de court-circuit. C'est dans cette situation que la diode de bypass joue son rôle en devenant passante quand la somme totale de la tension des cellules devient négative et en dérivant ainsi le courant en excès pour la cellule ombrée (Voir Figure 2.3).

## Chapitre 2 : Défaits de fonctionnement d'un GPV



**Figure 2.2:** Caractéristique d'un groupe de cellules protégé par la diode de bypass

L'équation (2.2) donne la relation du courant et de la tension du ( $j^{\text{ème}}$  groupe) de cellules d'un module.

Continuons avec l'exemple précédent. La figure suivante montre l'allure d'un groupe de cellules dans lequel une cellule est ombrée et l'allure d'un groupe de cellules « bon ».

$$I_{\text{groupe},j} = I_{\text{cellule}} + I_{\text{bypass}}$$

$$V_{\text{groupe},j} = \sum_{I=1}^{N_{\text{cellule}}} V_{\text{cellule},j} \quad \text{si} \quad \sum_{I=1}^{N_{\text{cellule}}} V_{\text{cellule},j} \geq 0 \quad (2.2)$$

$$V_{\text{module},k} = 0 \quad \text{si} \quad \sum_{I=1}^{N_{\text{cellule}}} V_{\text{cellule},j} < 0$$

## Chapitre 2 : Défaits de fonctionnement d'un GPV

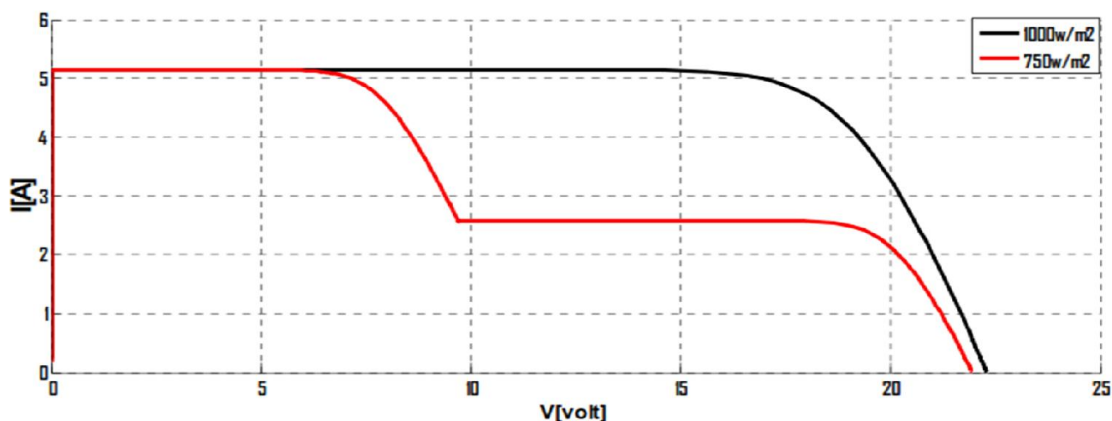


Figure 2.3 : Caractéristiques I-V d'un module "bonne" et d'un autre "ombré".

- **Etape 3 : Détermination de la caractéristique du module**

L'équation (2.3) donne la relation du courant et de la tension du  $k^{\text{ème}}$  module d'un string

$$I_{\text{module},k} = I_{\text{groupe}}$$

$$V_{\text{module},k} = \sum_{\text{string}}^{N_{\text{groupe}}} V_{\text{module},k} \quad (2.3)$$

L'allure d'un module qui contient un groupe de cellules « mauvais » est montrée dans la Figure 2.4a. Et l'allure du module « bon » est montrée dans la Figure 2.4b.

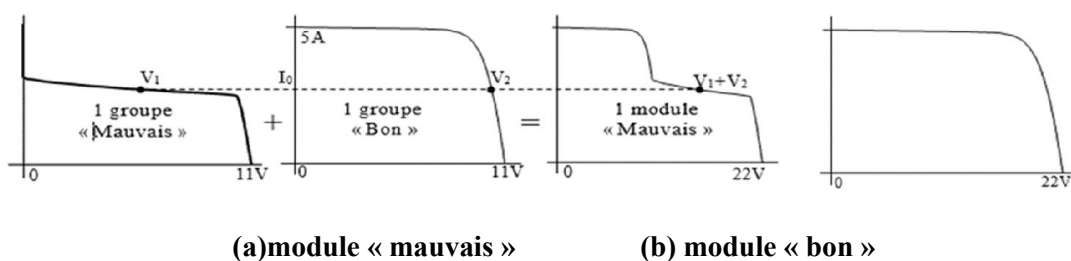


Figure 2.4: Caractéristique I-V d'un module « mauvais » et « bon »

- **Etape 4 : Détermination de la caractéristique du string**

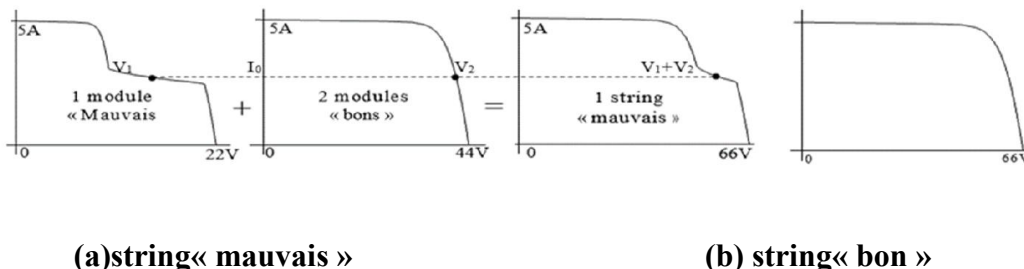
L'équation (II-4) donne la relation du courant et de la tension du  $z^{\text{ème}}$  string du champ.

## Chapitre 2 : Défaits de fonctionnement d'un GPV

$$I_{string} = I_{module}$$

$$V_{string,z} = \sum_{k=1}^{N_{string,k}} V_{module,k} \quad (2.4)$$

La formation de la caractéristique I-V d'un string contenant un mauvais module et deux Bons modules sont montrés dans la figure suivante.

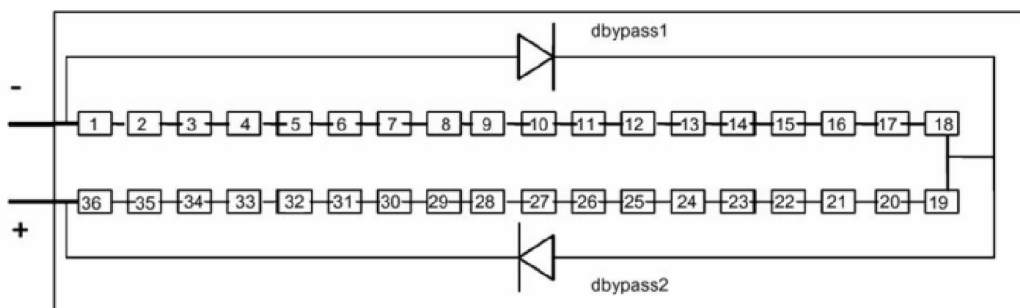


**Figure 2.5 :** Caractéristique I-V d'un string « mauvais » et « bon »

### 2.3.2. Défaut de diodes de bypass

#### i) Définition :

La diode de by-pass est connectée en antiparallèle avec un groupe de cellules pour protéger les cellules les plus faibles contre la polarisation inverse.



**Figure 2.6 :** Module de 36 cellules protégé par deux diodes de by-pass [10].

La plupart des modules PV commerciaux sont constitués par association de cellules solaire en série incluant une ou deux diodes de by-pass (Figure 2.6). L'une des configurations les plus populaires que nous pouvons trouver sur le marché des modules PV. Quelques modules PV sont offerts sans diodes de by-pass. Ceci peut être compris parce que dans des applications autonomes, où le rangé (le string) PV est constituée juste par association des modules PV en parallèle, chargeant une batterie de 12 ou 24 V, l'inclusion des diodes de bypass n'est pas du tout nécessaire.

## Chapitre 2 : Défaits de fonctionnement d'un GPV

D'autre part, dans de grands modules PV, ayant par exemple 72 cellules en série, quelques fabricants incluent six diodes de by-pass, une pour chaque 12 cellules.

La conception de rangée PV et la configuration des diodes de by-pass dans Les modules PV constituant la rangée, a un grand influence sur la probabilité et la sévérité de l'apparition de points chauds le long du string PV [10].

### ii) Modélisation

- **Cas « court-circuit »**

La tension du groupe de cellules s'annule. Le courant du groupe de cellules est égal à la somme du courant circulant dans les cellules et de celui circulant dans le chemin court-circuitant. Le courant circulant dans les cellules est égal au courant maximum produit par les cellules et le chemin court-circuitant porte le courant en excès :

$$\begin{aligned} V_{groupe,j} &= 0 \\ I_{groupe} &= I_{cellule} + I_{bypass} \end{aligned} \quad (2.5)$$

- **Cas « impédance Z quelconque »**

La tension du groupe est égale à la somme de la tension de toutes les cellules dans le groupe. Le courant du groupe est égal à la somme du courant circulant dans le string de cellules et de celui circulant dans l'impédance.

$$\begin{aligned} V_{groupe,i} &= \sum_{i=1}^{N_{cellule,i}} V_{cellule,i} \\ I_{groupe} &= I_{cellule} + V_{groupe,j} / Z \end{aligned} \quad (2.6)$$

- **Cas « circuit ouvert »**

La tension du groupe est égale à la somme de la tension des cellules du groupe. Le courant du groupe est égal au courant circulant dans le string de cellules.

$$\begin{aligned} V_{groupe,i} &= \sum_{i=1}^{N_{cellule,i}} V_{cellule,i} \\ I_{groupe} &= I_{cellule} \end{aligned} \quad (2.7)$$

- **Cas « inversion de la polarité »**

Contrairement à son fonctionnement normal, la diode conduit quand la somme de

## Chapitre 2 : Défaits de fonctionnement d'un GPV

la tension des cellules qu'elle protège est positive et se bloque dans le cas contraire.

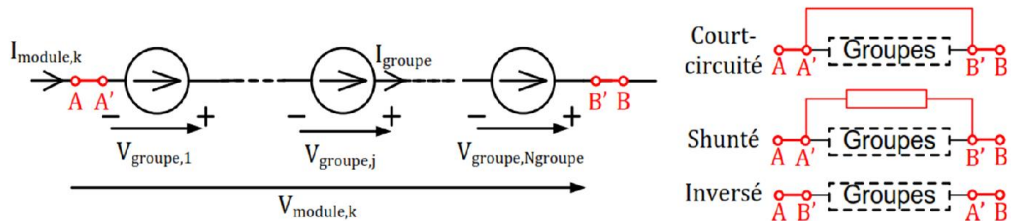
$$\begin{aligned}
 V_{groupe,i} &= \sum_{i=1}^{N_{cellule,i}} V_{cellule,i} \quad \text{si} \quad \sum_{i=1}^{N_{cellule,i}} V_{cellule,i} < 0 \\
 V_{groupe,i} &= 0 \quad \text{si} \quad \sum_{i=1}^{N_{cellule,i}} V_{cellule,i} > 0 \\
 I_{groupe,j} &= I_{cellule} + I_{bypass}
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

Le défaut de diode de bypass n'est pris en compte que dans l'étape de détermination de la caractéristique du groupe de cellules. La démarche de calcul des autres composants du champ PV présentée dans le paragraphe 2.3.2. Reste inchangée.

### 2.3.3. Défaut de module

#### i) Définition

Le défaut de module se réfère à tous les défauts électriques associés à la connexion d'un module dans un string PV. Selon le Tableau 2.2, ces défauts électriques sont : module court-circuit, module connecté en parallèle avec une impédance et inversion de la polarité du module. La Figure 2.6 montre le schéma d'un module avec l'élément qui représente, à chaque fois, un des états défaillants de la connexion du module.



**Figure 2.7 :** Schéma bloc d'un module PV défaillant

#### ii) Modélisation

- **Cas « module court-circuité »**

La tension du module s'annule. Le courant du module est égal à la somme du courant circulant dans les groupes de cellules et de celui circulant dans le chemin du court-circuit. Le courant dans le string est égal au courant maximum produit par les cellules et le chemin court-circuit porte le courant en excès.

$$\begin{aligned}
 I_{module} &= I_{shunt} + I_{groupe} \\
 V_{module,k} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

- **Cas « module connecté en parallèle avec une impédance »**

La tension du module est égale à la somme de la tension de tous les groupes dans le module. Le courant du module est égal à la somme du courant circulant dans les groupes de cellules et de celui circulant dans l'impédance.

$$V_{module,k} = \sum_{j=1}^{N_{groupe}} V_{groupe,j}$$

$$I_{module} = I_{groupe} + V_{module,k} / Z \quad (2.10)$$

- **Cas « inversion de la polarité d'un module »**

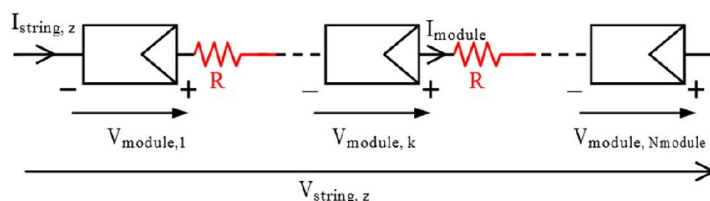
Si un module dans le string PV est inversé, il sera traversé par un courant contraire à celui du string. Dans cette situation, les cellules dans le module inversé sont forcées de fonctionner dans le quadrant IV de la Caractéristique I-V d'une cellule PV et se comportent comme un récepteur avec une tension positive et un courant négatif.

$$I_{module} = -I_{groupe}$$

$$V_{module,k} = \sum_{j=1}^{N_{groupe}} V_{groupe,j} \quad (2.11)$$

### 2.3.4 Défaut de connectique

Le défaut de connectique est lié au problème de l'augmentation de la résistance de connectique entre deux modules PV. En fonctionnement normal, cette résistance de connectique est quasi nulle. La valeur de cette résistance peut être augmentée dans plusieurs cas anormaux (corrosion de la connectique, vis mal serrée etc). Dans le cas extrême, une résistance infinie peut être utilisée pour représenter un module qui est déconnecté du string PV.



**Figure 2.8 :** Schéma bloc d'un string PV avec la résistance de connectique non nulle

## Chapitre 2 : Défaits de fonctionnement d'un GPV

Le défaut de connectique n'intervient que dans l'étape de détermination de la Caractéristique du string. La démarche de calcul des autres composants du champ PV présentée dans le paragraphe 2.3.4 reste inchangée. Les relations entre courant et tension du Z ème string PV sont montrées dans l'équation (2.12).

$$I_{string,z} = I_{module}$$
$$V_{string,z} = \sum_{j=1}^{N_{groupe}} V_{groupe,j} - R * I_{string,z} \quad (2.12)$$

Le comportement d'un string PV de 9 modules en série en fonction de différentes valeurs de la résistance de connectique est montré dans la Figure 2.8. Plus la résistance de connectique est importante, plus la tension du string chute pour un courant donné.

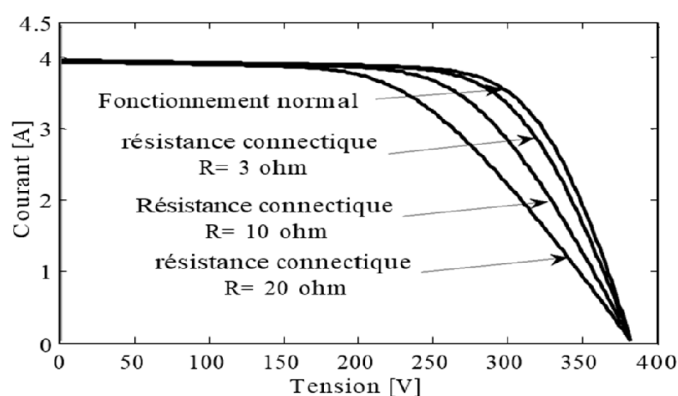
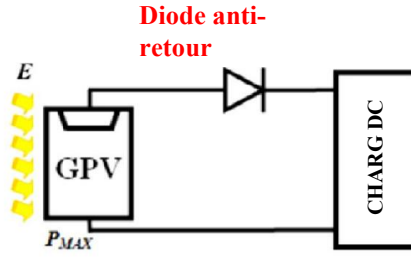


Figure 2.9 : Caractéristiques I-V d'un string PV lors de défauts de connectique

### 2.3.5 Défaut de diode anti-retour

#### i) Définition

La tension produite par chaque string peut être différente. Lors de la mise en parallèle de ces strings pour former un champ, le string avec la tension la plus faible peut absorber un courant inverse provenant des autres strings. Cela conduit donc à une baisse de production et les modules du string traversés par le courant inverse pourraient être également susceptibles de la défaillance. Pour éviter ces courants inverses, une diode anti-retour est placée au bout de chaque string (voir Figure 2.10).



**Figure 2.10 :** diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion des autres strings.

### ii) Modélisation

- Cas « court-circuit »

Le courant du string en question pourrait circuler dans les deux sens possibles. Le sens de ce courant dépend de la différence entre la tension du champ et celle qui peut être produite par le string. Dans le sens direct, le string fournit sa puissance produite à la charge. Par contre, dans le sens inverse, au lieu de fournir du courant à la charge, le string absorbe le courant produit par les autres strings.

$$V_{champ} = V_{imposé}$$

$$I'_{string,z} = \text{intropolation}(V_{champ}, I_{string,z}, V_{string,z}) \quad (2.13)$$

$$I_{champ} = \sum_{z=1}^{N_{string}} I'_{string,z}$$

- Cas « impédance Z quelconque »

Le même phénomène que celui du cas précédent apparaît. La seule différence repose sur la valeur de la chute en tension due à l'impédance de la diode défaillante.

$$V_{champ} = V_{imposé}$$

$$I'_{string,z} = \text{intropolation}(V_{champ}, I_{string,z}, V_{string,z} - Z * I_{string,z}) \quad (2.14)$$

$$I_{champ} = \sum_{z=1}^{N_{string}} I'_{string,z}$$

- Cas « circuit ouvert »

Dans ce cas, la totalité du courant produit par le string est perdu.

$$V_{champ} = V_{imposé}$$

$$I'_{string,z} = \text{intropolation}(V_{champ}, I_{string,z}, V_{string,z} - Z * I_{string,z}) \quad (2.15)$$

## Chapitre 2 : Défaits de fonctionnement d'un GPV

$$I_{champ} = \sum_{z=1}^{N_{string}} I'_{string,z} \quad \text{avec } I'_{string,z} = 0 \text{ si la diode déconnectée}$$

- Cas « inversée »

Dans ce cas, la diode anti-retour empêche le courant produit par le string qu'elle protège de circuler. Au contraire, si la tension du string est inférieure à celle des autres strings, elle permet au courant provenant des autres strings de circuler dans le string qu'elle protège.

$$V_{champ} = V_{imposé}$$

$$I'_{string,z} = \text{intropolation}(V_{champ}, I_{string,z}, V_{string,z}) \quad (2.16)$$

$$I_{champ} = \sum_{z=1}^{N_{string}} I'_{string,z} \quad \text{avec } I'_{string,z} = 0 \text{ si } V_{cstring,z} > V_{champ}$$

### 2.4. Symptômes des défauts de générateur PV

Les symptômes des défauts dans le générateur photovoltaïque diagnostiqués dans les pages précédentes sont illustrés à la (Figure 2.11).

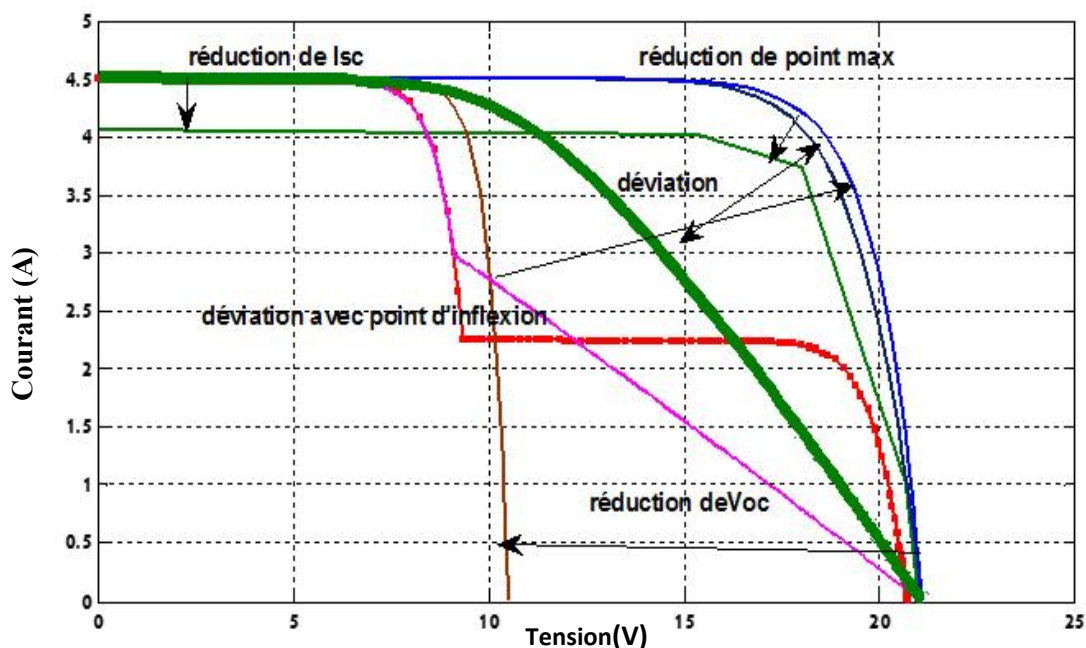


Figure 2.11 : Différents symptômes de la caractéristique I-V d'un GPV défaillant

### 2.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé et développé une démarche de modélisation pour les systèmes PV en défaut. L'intérêt réside dans l'obtention de la caractéristique I-V du système PV (cellule, module, string, champ) pour les différents défauts que nous avons considérés.

Suivant la hiérarchie des étapes de la modélisation proposée (cellule, groupe, module, string et champ) et les conséquences possibles que les défauts retenus dans le chapitre 1 peuvent y avoir lieu, ces défauts ont été restructurés et classifiés en cinq catégories pour la modélisation :

- Défaits de mis-match et d'ombrage
- Défaits de la diode de bypass
- Défaits de module
- Défaits de connectique
- Défaits de la diode anti-retour

Cette démarche de modélisation est validée par une série d'expérimentations. Il reste maintenant à utiliser les résultats de ces simulations pour développer une caractérisation du défaut à partir de la caractéristique I-V à des fins de diagnostic.

## Simulation de défauts d'un GPV et évaluation des pertes

---

### 3.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons le modèle mathématique décrivant le comportement d'un générateur PV en fonctionnement sain et en présence de défauts. Ensuite, nous présenterons l'étude de simulation et les résultats issus de cette étude.

Un des objectifs visés dans le cadre de ce mémoire est l'établissement d'un modèle universel permettant d'obtenir la caractéristique courant-tension du GPV (module, champ PV) en présence de n'importe quel défaut, à l'image de : ombrage, BPD...etc.

Ce modèle proposé se compose de 3 parties interdépendantes (figure 2.1) :

- Une entrée comporte les paramètres climatiques, la nature de défaut.
- Une entrée secondaire concerne la configuration du GPV.
- Et enfin une sortie donnant la caractéristique I-V du GPV.

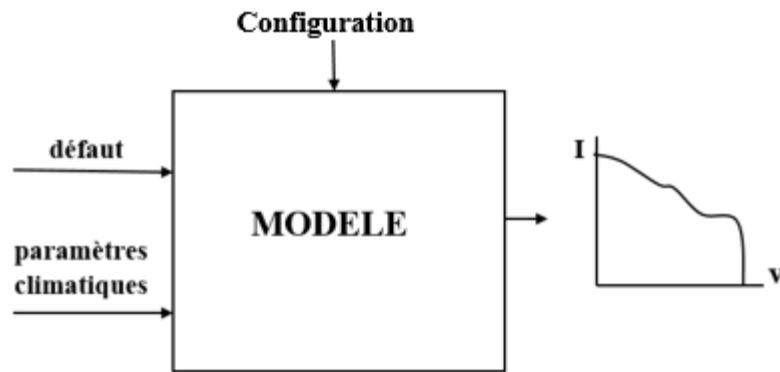
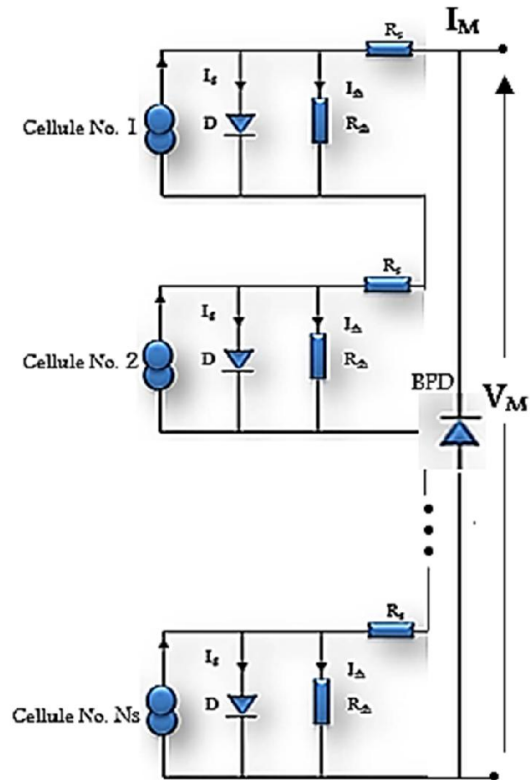


Figure 3.1 : Schéma synoptique du modèle d'un GPV

### 3.2. Modèle mathématique du module PV en mode sain (sans défauts)

Le modèle mathématique d'un module photovoltaïque utilisé dans cette étude de simulation celui d'une seule exponentielle ou une seule diode (SDM : Single Diode Model). Le circuit électrique équivalent est représenté sur la figure 3.2. Le courant  $I$  dans la sortie de la cellule est alors :

$$I_M = I_{ph} - I_{oM} \left[ \exp \left( \frac{V_M + I R_{sM}}{m v_t} \right) - 1 \right] - \frac{V_M + I_M R_{sM}}{R_{shM}} \quad (3.1)$$



**Figure 3.2.** Schéma équivalent d'un module photovoltaïque

Où :

$V_M$  et  $I_M$  sont respectivement la tension et le courant du module PV qui sont donnés en fonction de ceux d'une cellule, i.e. :  $V_M = N_s V$  et  $I_M = I$

$R_{sM}$  et  $R_{shM}$  sont respectivement la résistance série et la résistance parallèle du module (avec  $R_{sM} = N_s R_s$  ;  $R_{shM} = N_s R_{sh}$  )

Comme tout module photovoltaïque est muni au moins d'une diode de by-pass pour protéger le module contre le mismatch, l'ombrage, le hot-spot, etc., donc l'équation décrivant le comportement de la diode de by-pass est la suivante :

$$I_{BP} = I_{oBP} \left[ \exp \left( \frac{-V_{BP}}{m v_t} \right) - 1 \right] \quad (3.2)$$

$V_{BP}$  et  $I_{BP}$  sont respectivement la tension et le courant de la diode by-pass

$I_{oBP}$  est le courant de saturation inverse de la diode de by-pass

### 3.3. Modèle mathématique du module PV en mode défaillant (avec défauts)

Le modèle utilisé dans cette étude prend en considération les effets de cinq défauts différents. Il s'agit plus précisément des défauts suivants :

$$I_M = \alpha_{tr} (1 - \alpha_{omb}) I_{ph} - I_{oM} \left[ \exp \left( \frac{V_M + I_M (1 + \alpha_{m-rs}) R_{sM}}{m v_t} \right) - 1 \right] - \frac{V_M + I_M (1 + \alpha_{m-rs}) R_{sM}}{(1 - \alpha_{m-rsh}) R_{shM}} \quad (3.3)$$

$$V_{BP} = (R_{BP} I_{BP} + V_{oBP}) (\alpha_{BP} - 1)$$

Où :

$\alpha_{sh}$  : est le coefficient de degré d'ombrage ( $\alpha_{sh} = 1$  ; module totalement ombragé,  $\alpha_{sh} = 0$ ; module totalement illuminé),

$\alpha_{tr}$  : est le coefficient de transmission qui dépend de l'épaisseur de la poussière ou de salissure. Il varie de zéro (pour une couche épaisse) à 0.9 (pour une couche très légère) où son effet apparait également uniquement sur le courant photo-généré.

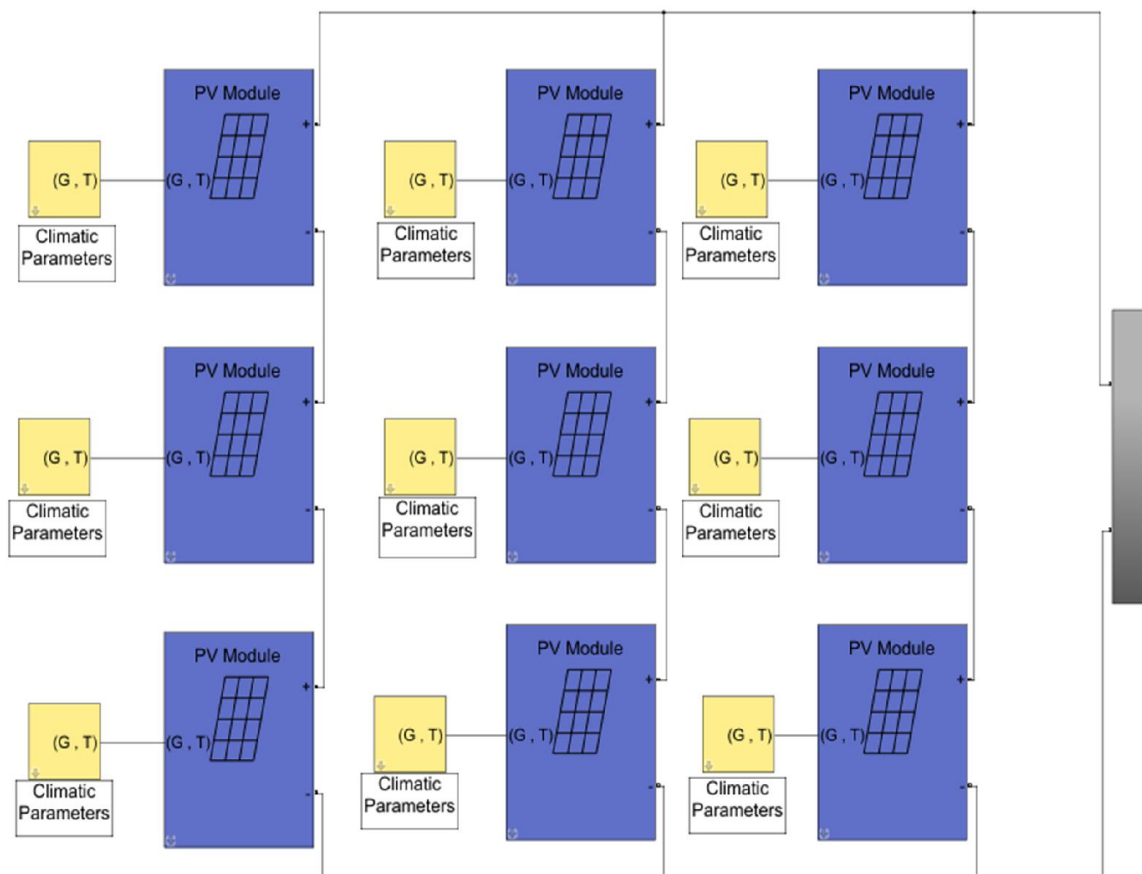
$\alpha_{m-rs}$  et  $\alpha_{m-rsh}$  sont respectivement les augmentations de la résistance série et la résistance parallèle.

$\alpha_{BP}$  est le coefficient de mode de fonctionnement de la diode de bypass. ( $\alpha_{BP} = 1$  ; la diode est en mode de court-circuit,  $\alpha_{BP} = 2$  ; la diode est en fonctionnement normal,  $\alpha_{BP} = 0$  ; la diode est en polarisation inverse).

### 3.4. Simulation et résultats

Dans cette étude, nous avons procédé à la simulation du comportement d'un générateur photovoltaïque d'une configuration de 3x3 (3 branches en parallèle de 3 modules PV chacune) sous différents défauts en utilisant le programme Matlab/Simulink (figure 3.3). Nous nous limités aux trois défauts suivants : défaut d'ombrage, défaut de salissure et poussière et défaut propre à la diode de bypass.

Le module photovoltaïque faisant l'objet de cette étude de simulation possède les caractéristiques regroupées dans le tableau 3.1.



**Figure 3.3 :** Schéma bloc en Matlab/Simulink d'un générateur PV composé de 9 modules (3x3)

Courant de court-circuit	Tension de circuit-ouvert	coefficient de correction de la tension	Coefficient de correction du courant	Nombre de cellules en série	Facteur de qualité
$I_{sc}$ (A)	$V_{oc}$ (V)	$k_v$ (V/K)	$k_i$ (A/K)	$N_s$	$a$
6.54	21.6	$-74e^{-7}$	$2.3e^{-3}$	36	1.3

**Tableau 3.1 :** Paramètres du module photovoltaïque utilisé dans cette étude, sous STC ( $1000W/m^2$ ,  $25^\circ C$ )

### 3.5. Défaut dû à l'ombrage partiel

Pour étudier l'effet du défaut dû à l'ombrage partiel sur le générateur, la variable de contrôle est le coefficient d'ombrage ( $\alpha_{omb} = 0 \div 1$ ). Quant aux autres coefficients, nous avons introduit les valeurs suivantes (tableau 3.2):

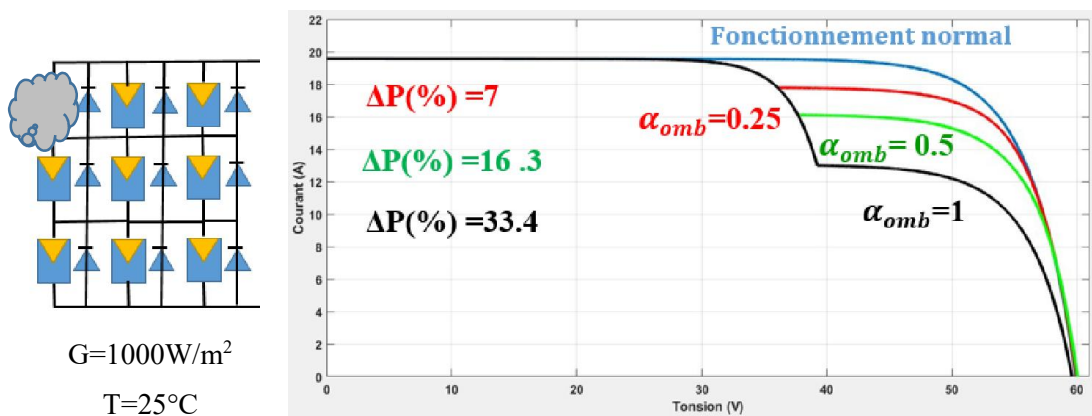
Coefficient d'ombrage	Coefficient de poussière et salissure	coefficient de diode de bypass
$\alpha_{omb}$	$\alpha_{tr}$	$\alpha_{BP}$
0 ÷ 1	1	1

**Tableau 3.2 :** Coefficients indicateurs de défauts. Cas d'étude : ombrage partiel

Dans ce cas d'étude, plusieurs scénarios ont été envisagés, à savoir :

#### 3.5.1. Un module ombragé

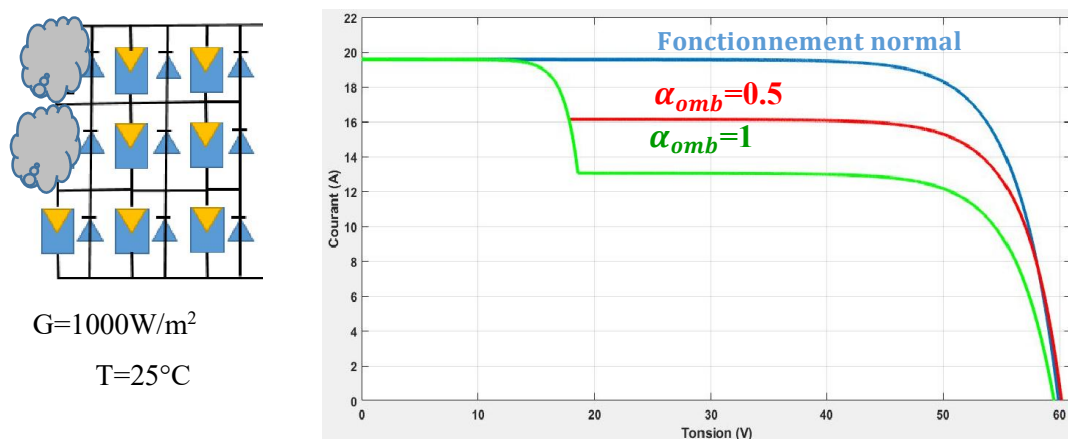
La figure 3.4 illustre les caractéristiques I-V d'un GPV dont un module est ombragé à différents degrés d'ombrage :  $\alpha_{omb}=0.25$ ,  $\alpha_{omb}=0.5$ ,  $\alpha_{omb}=1$ . Dans ce cas, les valeurs obtenues relatives aux pertes de puissance  $\Delta P(\%)$  sont les suivantes : **7%** ( $\alpha_{omb}=0.25$ ), **16.3%** ( $\alpha_{omb}=0.5$ ), **33.4%** ( $\alpha_{omb}=1$ ).



**Figure 3.4 :** Caractéristiques I-V d'un champ PV avec différents degrés d'ombrage : 25%, 50% et 100%

### 3.5.2. Deux modules d'une même branche ombragés

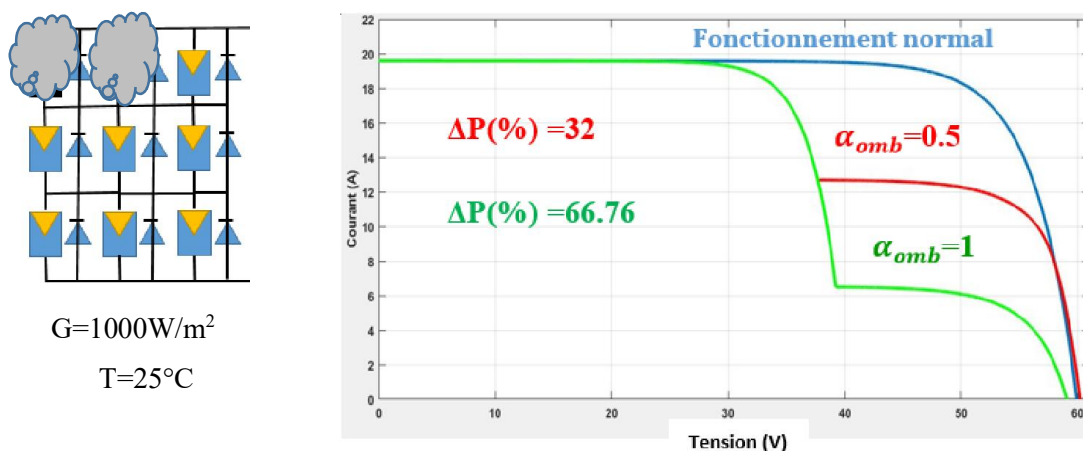
La figure 3.5 illustre les caractéristiques I-V d'un champ PV dont deux module d'une même branche sont ombragés à différents degrés d'ombrage :  $\alpha_{omb}=0.5$ ,  $\alpha_{omb}=1$ . Dans ce cas, les valeurs obtenues relatives aux pertes de puissance  $\Delta P(\%)$  sont les suivantes : **16.31%** ( $\alpha_{omb}=0.5$ ), **33.53%** ( $\alpha_{omb}=1$ ).



**Figure 3.5 :** Caractéristiques I-V d'un champ PV avec différents degré d'ombrage 50% et 100%

### 3.5.3. Deux modules de deux branches différentes sont ombragés

La figure 3.6 illustre les caractéristiques I-V d'un champ PV dont deux modules de branches différentes sont ombragés à différents degrés d'ombrage :  $\alpha_{omb}=0.5$ ,  $\alpha_{omb}=1$ . Dans ce cas, les valeurs obtenues relatives aux pertes de puissance  $\Delta P(\%)$  sont les suivantes : **32%** ( $\alpha_{omb}=0.5$ ), **66.76%** ( $\alpha_{omb}=1$ ).

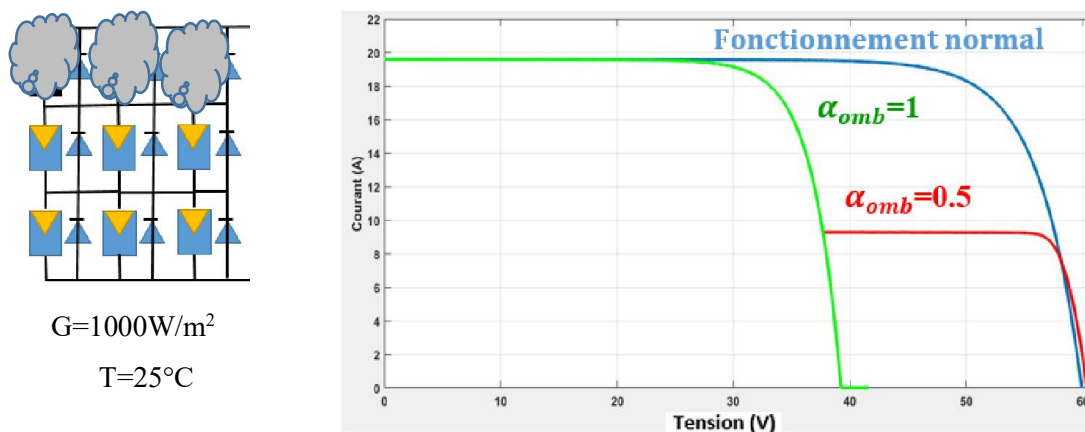


**Figure 3.6 :** Caractéristiques I-V d'un champ PV avec différents degré d'ombrage 50% et 100%

### 3.5.4. Trois modules ombragés

La figure 3.7 illustre les caractéristiques I-V d'un champ PV dont 3 modules de trois différentes sont ombragés à différents degrés d'ombrage :  $\alpha_{omb}=0.5$ ,  $\alpha_{omb}=1$ .

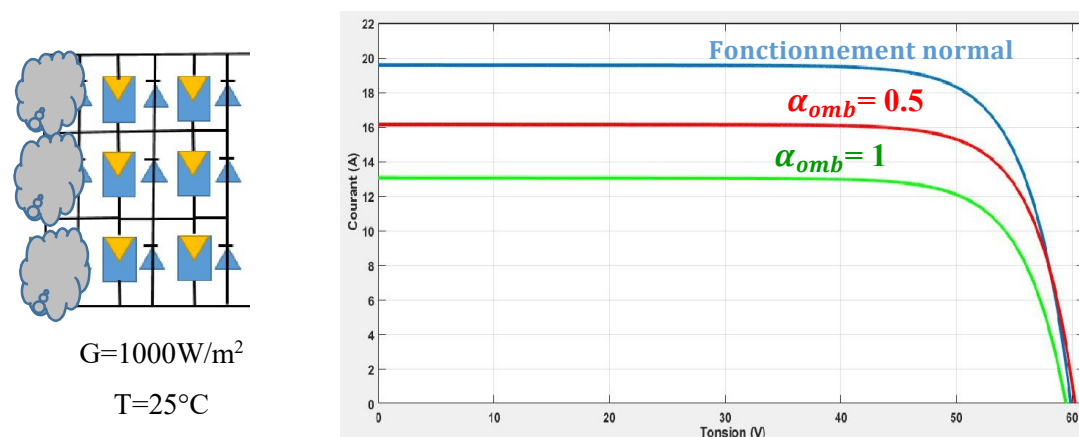
Dans ce cas, les valeurs obtenues relatives aux pertes de puissance  $\Delta P(\%)$  sont les suivantes : **43.9%** ( $\alpha_{omb}=0.5$ ), **34.72%** ( $\alpha_{omb}=1$ ).



**Figure 3.7 :** Caractéristiques I-V d'un champ PV avec différents degré d'ombrage 50% et 100%

### 3.5.5. Une branche ombragée

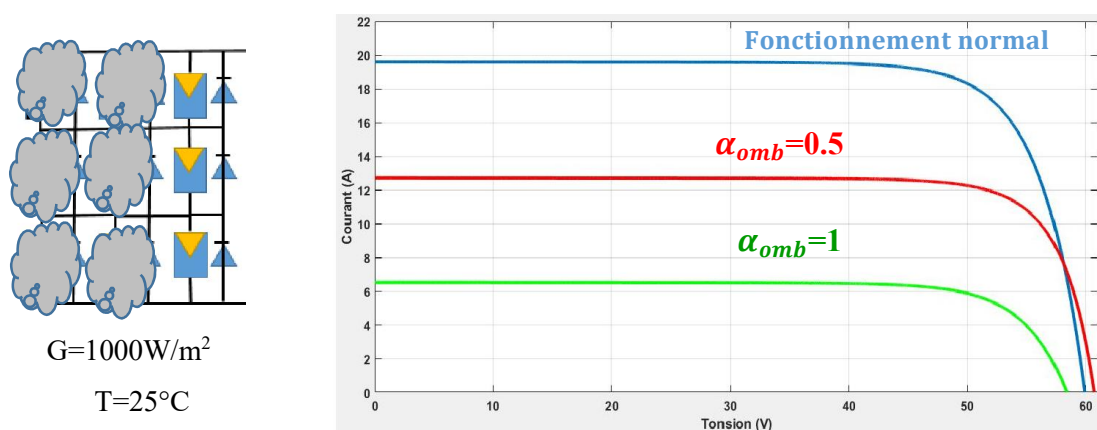
La figure 3.8 illustre les caractéristiques I-V d'un champ PV dont une branche est ombragé à différents degrés d'ombrage :  $\alpha_{omb}=0.5$ ,  $\alpha_{omb}=1$ . Dans ce cas, les valeurs obtenues relatives aux pertes de puissance  $\Delta P(\%)$  sont les suivantes : **16.35%** ( $\alpha_{omb}=0.5$ ), **33.96%** ( $\alpha_{omb}=1$ ).



**Figure 3.8 :** Caractéristiques I-V d'un champ PV avec différents degré d'ombrage 50% et 100%

### 3.5.6. Deux branches ombragées

La figure 3.9 illustre les caractéristiques I-V d'un champ PV dont 2 branche est ombragé à différents degrés d'ombrage :  $\alpha_{omb}=0.5$ ,  $\alpha_{omb}=1$ . Dans ce cas, les valeurs obtenues relatives aux pertes de puissance  $\Delta P(\%)$  sont les suivantes : **32.25%** ( $\alpha_{omb}=0.5$ ), **67.74%** ( $\alpha_{omb}=1$ ).



**Figure 3.9** : Caractéristiques I-V d'un champ PV avec différents degrés d'ombrage : 50% et 100%

### 3.5.7. Récapitulatif

Selon les résultats de simulation obtenus pour ce type de défaut on peut remarquer que :

- ✓  $I_{sc}$  est inchangé
- ✓  $V_{oc}$  diminue pour un nombre important de cellules ombrées
- ✓ Présence d'un point d'inflexion
- ✓ La perte de puissance est augmentée par rapport le degré d'ombrage

Par ailleurs, le tableau 3.3 regroupe tous les cas envisagés avec les pertes en puissance.

Cas	Partie ombragée	Degré d'ombrage	Paramètres électriques					Pertes
		$\alpha_{omb}$	$I_{sc}$ (A)	$V_{oc}$ (V)	$P_{mp}$ (W)	$V_{mp}$ (V)	$I_{mp}$ (A)	$\Delta P$ (%)
(A)	1 module	0.25	19.58	60	850.6	51	16.67	<b>6.99</b>
		0.5	19.58	60	765.6	50.71	15.09	<b>16.29</b>
		1	19.58	59.58	609.4	49.9	12.21	<b>33.36</b>
(B)	2 modules/ branche	0.5	19.57	60	765.4	51.02	15	<b>16.31</b>
		1	19.57	59.46	607.9	50.08	12.13	<b>33.53</b>
(C)	2 modules $\neq$ branches	0.5	19.58	60	621.9	52.18	11.98	<b>32</b>
		1	19.58	58.98	304	49.47	6.14	<b>66.76</b>
(D)	3 modules $\neq$ branches	0.5	19.57	60	513.3	56.05	9.15	<b>43.87</b>
		1	19.57	39.23	597	32.69	17	<b>34.72</b>
(E)	1 branche	0.5	16.14	60	765	50.66	15.1	<b>16.35</b>
		1	13.05	59.45	604	49.55	12.18	<b>33.96</b>
(F)	2 branches	0.5	12.71	60.67	619.6	51.94	11.92	<b>32.25</b>
		1	6.52	58.33	295	48.59	6.07	<b>67.74</b>

**Tableau 3.3 : Pertes due à l'ombrage**

### 3.6. Défaut dû à la salissure et à la poussière

La salissure et à la poussière sont considérées comme des phénomènes ayant un impact sur les modules PV, ces dernières peuvent être contrôlées par un facteur de transmission  $\alpha_{tr}$  lié à l'épaisseur de la couche générée par ce phénomène.

Ce coefficient affecte sur le courant photo-généré  $I_{ph}$ . Il varie de 0 à 0.9. Il prend la valeur de 0 et prend pour une couche épaisse et la valeur de 1 pour une couche très légère.

Pour étudier ce phénomène, nous avons introduit les coefficients suivants (tableau 3.4) :

Coefficient d'ombrage	Coefficient de poussière et salissure	Coefficient de diode de bypass
$\alpha_{omb}$	$\alpha_{tr}$	$\alpha_{BP}$
0	0.3 ÷ 1	1

Tableau 3.4 : Coefficients indicateurs de défauts. Cas d'étude : salissure et poussière

#### 3.6.1. Un module affecté

La figure 3.10 illustre les caractéristiques I-V d'un GPV dont un module sujette à la poussière à différents degrés de coefficient de la transmission :  $\alpha_{tr}=0.3$ ,  $\alpha_{tr}=0.8$ . Dans ce cas, les valeurs de pertes de puissance  $\Delta P(\%)$  sont les suivantes : 23.3% ( $\alpha_{tr}=0.3$ ), 5.14% ( $\alpha_{tr}=0.8$ )

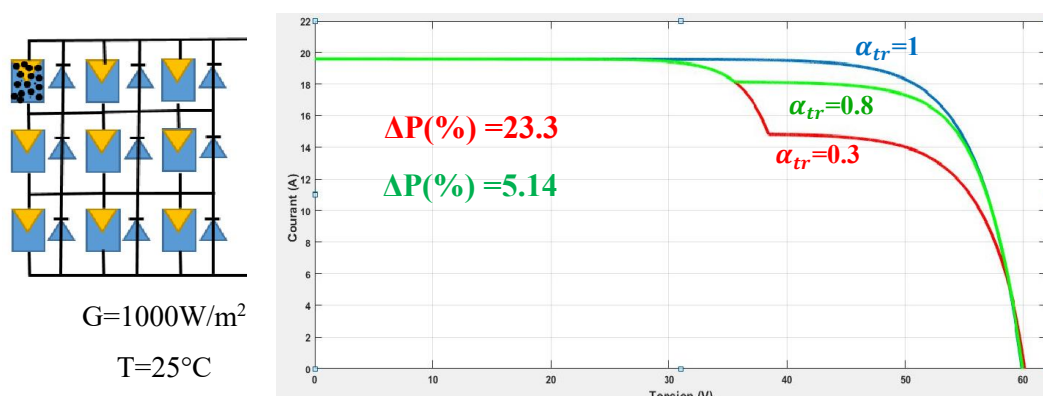


Figure 3.10 : Caractéristique I-V d'un GPV en présence de la poussière

### 3.6.2. Deux modules d'une même branche

Dans ce cas, deux modules d'une même branche sont recouvert de poussière avec un coefficient de transmission  $\alpha_{tr}=0.5$ . Les caractéristiques I-V du GPV dans ce cas sont illustrées en figure 3.11 et la valeur de la perte de puissance  $\Delta P(\%)$  obtenue est de **16.3%** ( $\alpha_{tr}=0.5$ ).

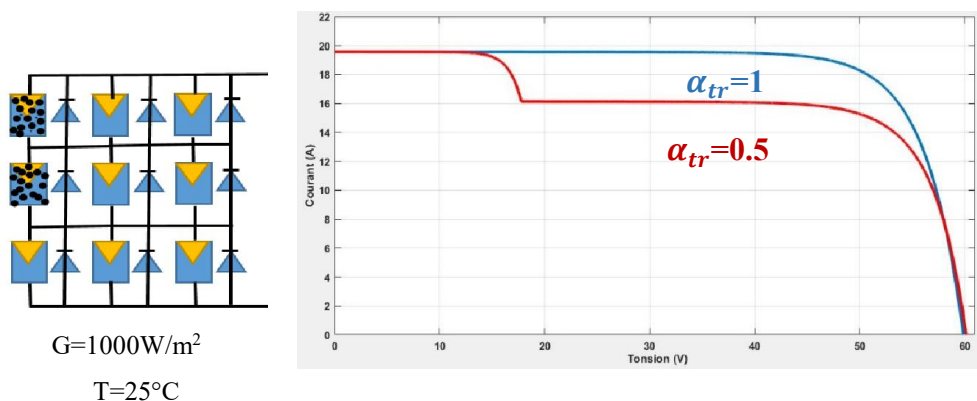


Figure 3.11 : Caractéristique I-V d'un GPV en présence de la poussière avec  $\alpha_{tr}=0.5$

### 3.6.3. Deux modules de branches différentes

Dans ce cas, deux modules de deux branches différentes sont recouvert de poussière avec un coefficient de transmission  $\alpha_{tr}=0.5$ . Les caractéristiques I-V du GPV dans ce cas sont illustrées en figure 3.12 et la valeur de la perte de puissance  $\Delta P(\%)$  obtenue est de **32%** ( $\alpha_{tr}=0.5$ ).

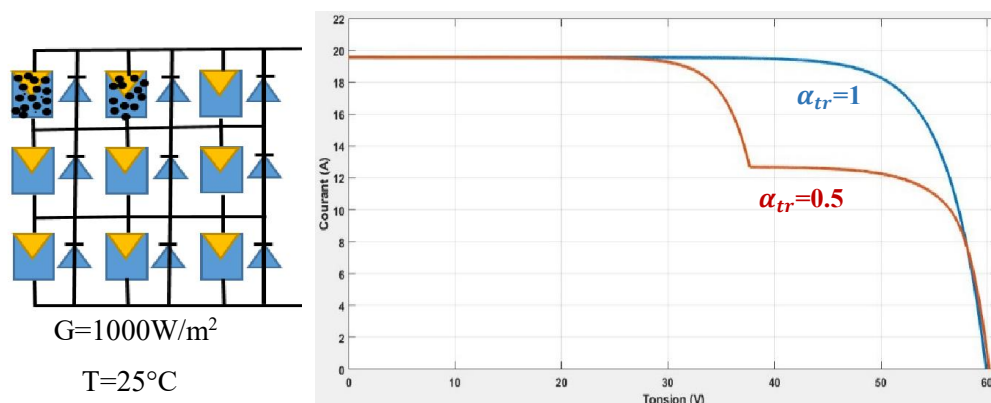


Figure 3.12 : Caractéristique I-V d'un GPV en présence de la poussière avec  $\alpha_{tr}=0.5$

### 3.6.4. Une branche

Dans ce cas, une branche de module est recouverte de la poussière dont les coefficients de transmission sont :  $\alpha_{tr}=0.3$  et  $\alpha_{tr}=0.8$ . Les caractéristiques I-V du GPV dans ce cas sont illustrées en figure 3.13 et les valeurs des pertes de puissance  $\Delta P(\%)$  obtenues sont : 23.4% ( $\alpha_{tr}=0.3$ ) et 6.12% ( $\alpha_{tr}=0.8$ ) :

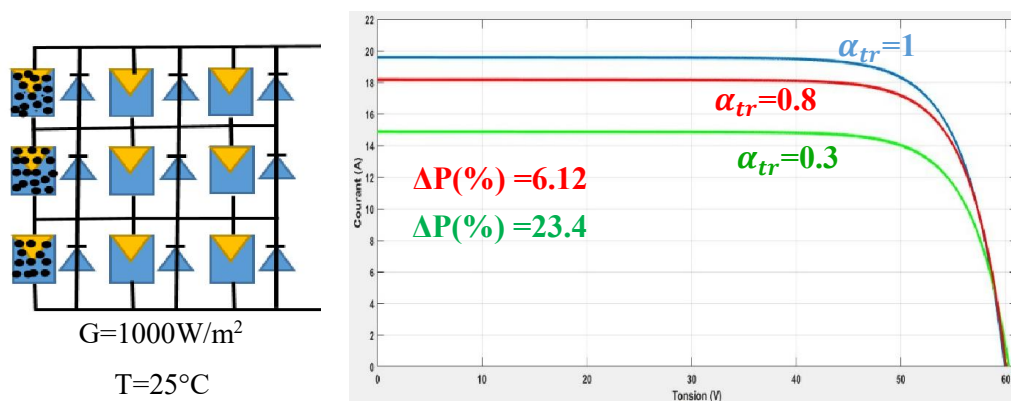


Figure 3.13 : Caractéristique I-V d'un GPV en présence de la poussière avec  $\alpha_{tr}=0.5$  et  $\alpha_{tr}=0.8$

### 3.6.5. Récapitulatif

Selon les résultats de simulation obtenus pour ce type de défaut, les remarques soulevées peuvent se résumer dans les points suivants :

- ✓ Réduction du courant de court-circuit,  $I_{sc}$
- ✓  $V_{oc}$  diminue pour un coefficient de transmission très faible,
- ✓ La perte de puissance augmente pour des valeurs faibles du coefficient de transmission.

Par ailleurs, les différents résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Perte due à la poussière	Coefficient de transmission	Paramètres électriques					Pertes
	$\alpha_{tr}$	$I_{sc}(A)$	$V_{oc}(V)$	$P_{mp}(W)$	$V_{mp}(V)$	$I_{mp}(A)$	$\Delta P\%$
1 module	0.3	19.58	60	700.8	50.41	13.9	23.3
	0.8	19.58	60	867.5	50.89	17.04	5.14
2 modules /branche	0.5	19.58	60	765.4	50.66	15.1	16.3
2 modules de $\neq$ branches	0.5	19.58	60	621.9	52.16	11.92	32
1branche	0.3	18	59	700.6	50.35	13.9	23.4
	0.8	15.2	59	858.6	50.45	17.01	6.12

Tableau 3.5: Pertes dues à la poussière

### 3.7. Défaut de diode by-pass

Les défauts étudiés par rapport à la diode de by-pass concernent : **Le court-circuit, le circuit-ouvert et l'inversion de polarité** qui correspondent y respectivement aux coefficients suivants :  $\alpha_{BP} = 2$  ,  $\alpha_{BP} = 1$  et  $\alpha_{BP} = 0$  .

Néanmoins, comme il s'agit du programme Matlab/Simulink pour modéliser ces trois défauts de la diode de by-pass, nous implanter le circuit d'interrupteurs de la figure 3.14 qui peut faire apparaître ces défauts en fonctions des états d'interrupteurs S1, S2 S3 et S4 selon le tableau 3.4.

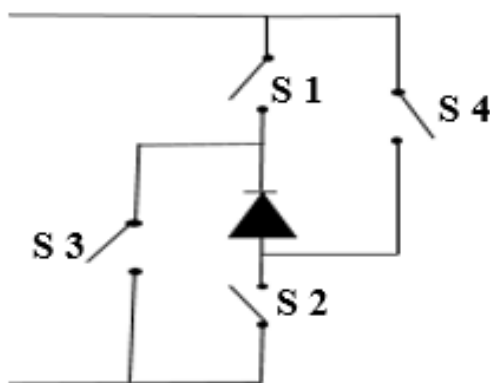


Figure 3.14 : Modes de fonctionnement de la diode de by-pass

	Fonctionnement normal	Court-Circuit		Polarité inverse	Circuit-ouvert
S1	1	1	0	0	0
S2	0	1	0	1	0
S3	0	0	1	1	0
S4	1	0	1	0	0

Tableau 3.6 : Mode de fonctionnement de la diode de by-pass en fonction des états d'interrupteurs

### 3.7.1. Cas de court-circuit

Les figures 3.15 et 3.16 présentent les caractéristiques I-V et P-V d'un GPV de scénarios différents du défaut de court-circuit de la diode de by-pass : - Défaut d'une seule diode, - Défaut de deux diodes de modules de différentes branches, - Défauts de diodes de deux module de même branche.

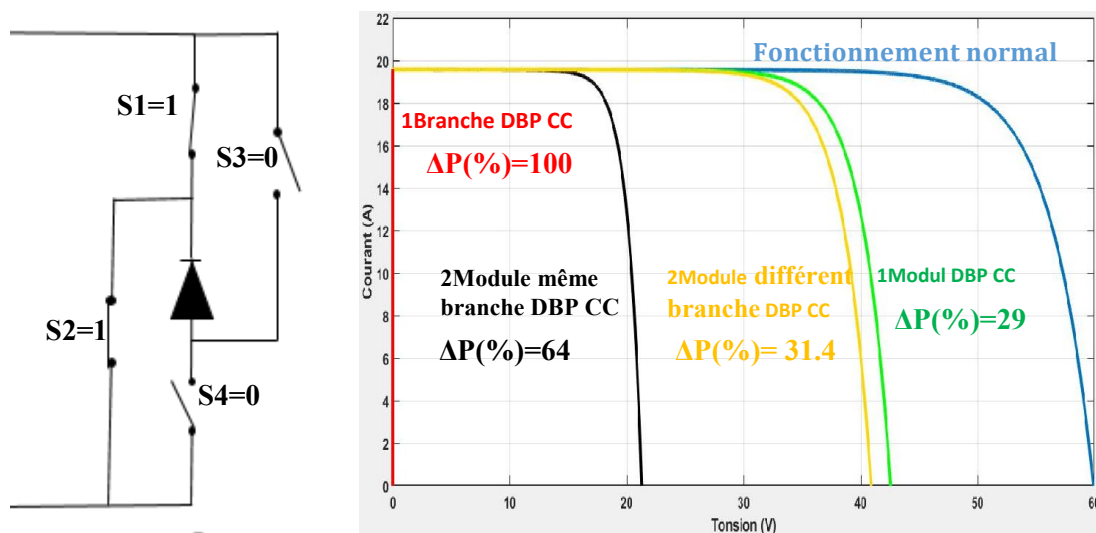


Figure 3.15 : Caractéristiques I-V d'un GPV lorsque des diodes de by-pass sont en court-circuit

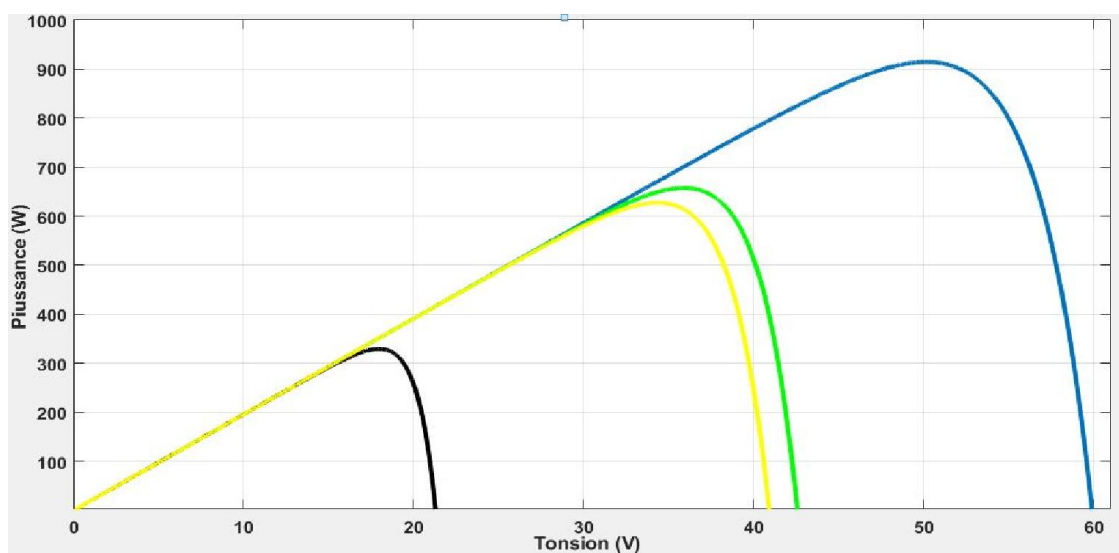


Figure 3.16 : Caractéristiques P-V d'un GPV lorsque des diodes de by-pass sont en court-circuit

Les différents résultats obtenus dans ce cas sont regroupés dans le tableau 3.5.

Défaut de diode By-pass	Paramètres électriques					Pertes
	$I_{sc}(A)$	$V_{oc}(V)$	$P_{mp}(W)$	$V_{mp}(V)$	$I_{mp}(A)$	$\Delta P\%$
Fonctionnement normal	19.58	60	914.6	50	18.3	0
1 module	19.58	42.54	657.6	35.76	18.4	29
2 modules/branche	19.58	21.3	329.2	17.92	18.4	64
2 module de $\neq$ branches	19.58	41	627.4	34.2	18.34	31.4
1 branche	19.58	0	0	0	0	100

Tableau 3.7 : Pertes dues aux défauts de court-circuit de la diode de by-pass

### 3.7.2. Cas de polarisation inverse

Les figures 3.17 et 3.18 présentent les caractéristiques I-V et P-V d'un GPV de scénarios différents du défaut de polarisation inverse de la diode de by-pass : - Défaut d'une seule diode, - Défaut de deux diodes de modules de différentes branches, - Défauts de diodes de deux module de même branche.

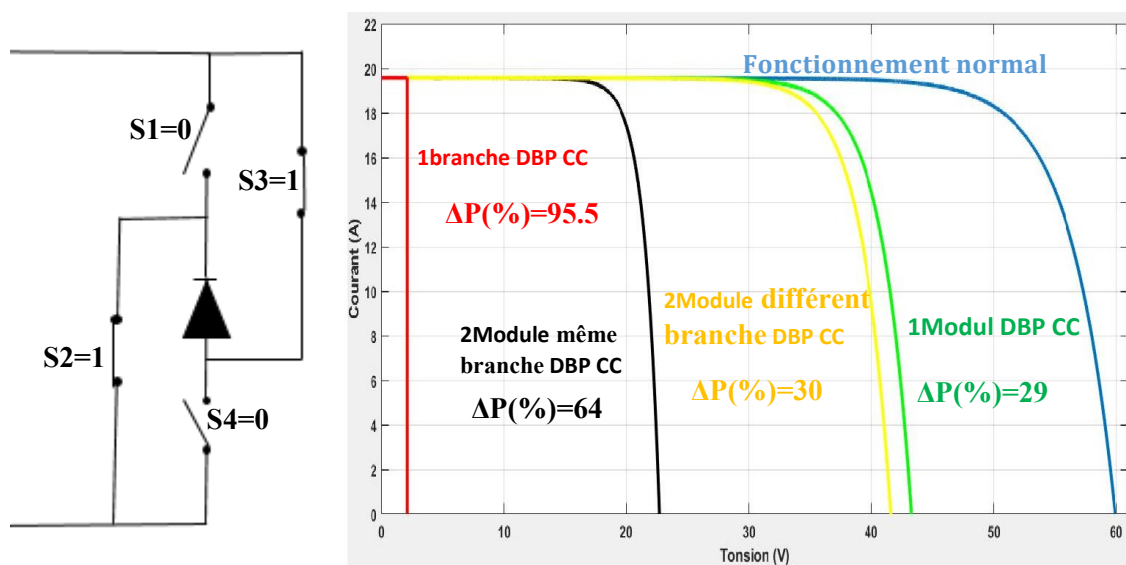
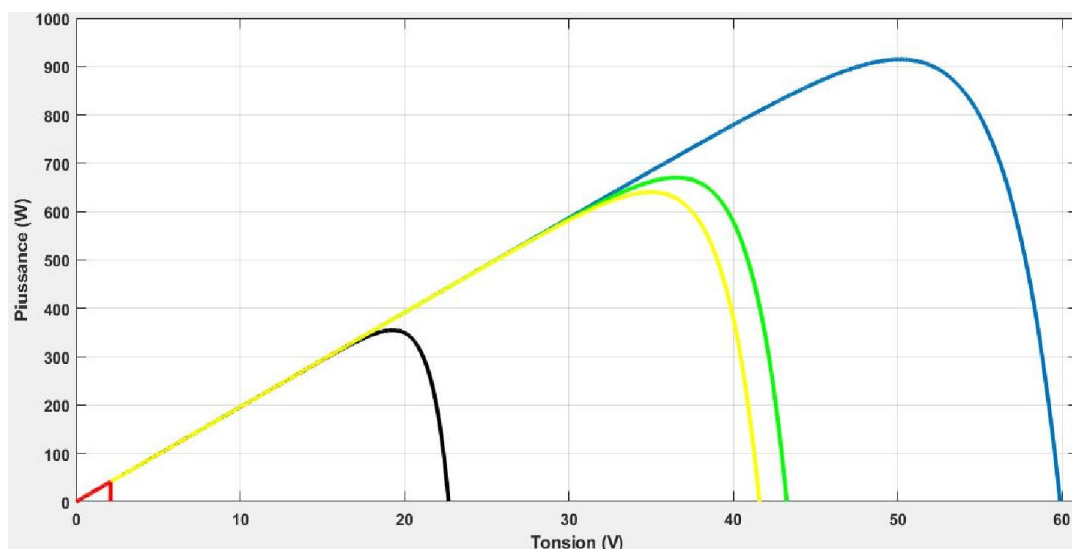


Figure 3.17 : Caractéristiques I-V d'un GPV lorsque des diodes de by-pass sont en polarisation inverse



**Figure 3.18 :** Caractéristiques P-V d'un GPV lorsque des diodes de by-pass sont en polarisation inverse

Les différents résultats obtenus dans ce cas sont regroupés dans le tableau 3.6.

Défaut de polarisations inverse	Paramètres électriques					Pertes
	$I_{sc}$ (A)	$V_{oc}$ (V)	$P_{mp}$ (W)	$V_{mp}$ (V)	$I_{mp}$ (A)	$\Delta P\%$
Fonctionnement normal	19.58	60	914.6	50	18.3	0
1 module	19.58	43.25	670.2	36.35	18.43	29
2 modules/branche	19.58	22.57	355	19.2	18.48	64
2 modules de $\neq$ branches	19.58	41.58	640	35	18.3	30
1 branche	19.58	2.1	41.1	2.1	19.57	95.5

**Tableau 3.8:** Pertes dues aux défauts de polarisation inverse de la diode de by-pass

### 3.7.3. Cas du circuit-ouvert

La figure 3.19 présente les caractéristiques I-V d'un GPV de scénarios différents du défaut du circuit-ouvert de la diode de by-pass : - Défaut d'une seule diode, - Défaut de deux diodes de modules de différentes branches, - Défauts de diodes de deux module de même branche.

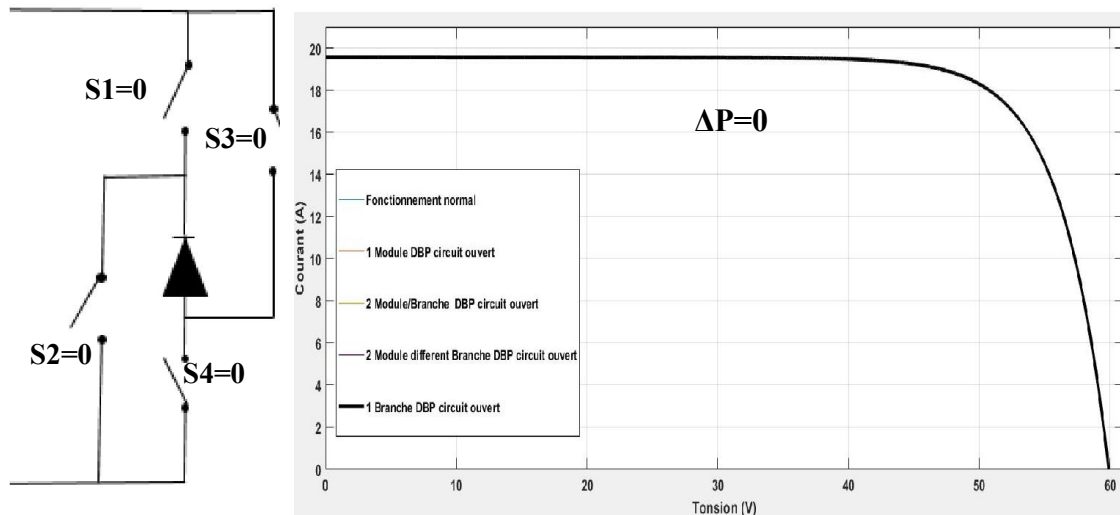


Figure 3.19 : Caractéristiques I-V d'un GPV lorsque des diodes de by-pass sont en circuit-ouvert

Les différents résultats obtenus dans ce cas sont regroupés dans le tableau 3.7.

Défaut de circuit ouvert	Paramètres électriques					Pertes
	$I_{sc}$ (A)	$V_{oc}$ (V)	$P_{mp}$ (W)	$V_{mp}$ (V)	$I_{mp}$ (A)	
Fonctionnement normal	19.58	60	914.6	50	18.3	0
1 module	19.58	60	914.6	50	18.3	0
2 modules/branche	19.58	60	914.6	50	18.3	0
2 modules de $\neq$ branches	19.58	60	914.6	50	18.3	0
1 branche	19.58	60	914.6	50	18.3	0

Tableau 3.9: Pertes dues aux défauts de circuit-ouvert de la diode de by-pass

### 3.7.4. Récapitulatif

Au vu des résultats obtenus dans le cas du défaut de diode de by-pass, les remarques soulevées peuvent se résumer dans les points suivants :

#### Cas du court-circuit :

- Le courant de court-circuit  $I_{sc}$  reste inchangé
- La tension de circuit ouvert  $V_{oc}$  diminue en fonction du nombre de diodes court-circuitées.
- Plus le nombre de diodes court-circuitées est élevé plus est la perte

### Cas d'inversion de polarité

- Le courant de court-circuit  $I_{sc}$  diminue
- La tension de circuit ouvert  $V_{oc}$  diminue en fonction du nombre de diodes inversées

### Cas du circuit-ouvert

- La perte de puissance est nulle tant qu'il n'y a pas d'ombrage partiel

## 3.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons modélisé certains défauts au niveau des GPV via le programme de simulation (**Matlab/Simulink**) et obtenu des résultats qui nous permettent de distinguer les différents défauts. De plus, nous réalisons une étude de simulation de trois défauts, à savoir : l'ombrage, la salissure et la poussière, et la diode by-pass.

## **Conclusion général**

# Conclusion général

Dans le cadre du travail de mémoire, nous nous sommes principalement concentrés sur la modélisation et l'étude des défauts au niveau du générateur PV par l'analyse de la caractéristique courant-tension (I-V) et l'identification des symptômes provoquant de mauvaises performances. Sur cette base, il a été développé un algorithme pour détecter les défauts dans le générateur PV afin d'améliorer les performances et de réduire l'occurrence de défaut.

D'abord, pour un diagnostic dans le domaine photovoltaïque, une brève étude bibliographique sur les différentes approches théoriques des différentes méthodes utilisées dans le diagnostic des défauts qui peuvent avoir lieu au niveau d'un GPV.

Ensuite la modification de caractéristique I-V qui consiste à une relation causale entre les principaux défauts considérés et la caractéristique résultante, l'extraction de cette relation que nous avons donné sous forme matrice de symptômes. Le développement un algorithme de détection et de localisation de défauts en reposant sur cette matrice proposée.

Les caractéristiques de Matlab/Simulink permettent d'analyser de nombreux problèmes et défaillances dans le domaine de la photovoltaïque, propriétés qui nous ont permis de détecter les défauts identifiés dans la partie théorique.

Enfin, pour améliorer ce travail, nous préconisons ce qui suit :

- ❖ Elargir l'aptitude de diagnostic de défauts pour améliorer la performance du générateur photovoltaïque.

# Références et Bibliographies

- [1] Dossier thermique –Courier ES n°03 , « effet photovoltaïque et fonctionnement des installations solaires isolées » ,Janvier 2000
- [2] Corinne ALONSO, ‘‘Contribution à l’optimisation, la gestion et le traitement de l’énergie ’’, Mémoire pour l’habilitation à diriger les recherches, *UNIVERSITÉ PAULSA BATIER – TOULOUSE III*
- [3] J. A.Gow and C. D. Manning, "Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies," IEE. Proc.-Electr. Power Appl., vol. 146, 2009
- [4] T.Ikegami, T. Maezono, F. Nakanishi, "Estimation of equivalent circuit parameters of PV module and its application to optimal operation of PV system", *Solar Energy Materials & Solar Cells* 67(2001), Page(s): 389-395
- [5] A.Ould Mohamed Yahya, A. Ould Mahmoud Et I. Youm « étude et modélisation d’un générateur photovoltaïque » revue des énergies renouvelables vol.11 n°3 sénégal, 2008
- [6] Alain Bilbao « réalisation de commandes mppt numériques » diplôme ingénieur technique industriel, septembre 2006
- [7] R.Khezzar et al. « Comparaison entre les différents modèles électriques et détermination des paramètres de la caractéristique I-V d’un module photovoltaïque ». *Revue des Energies Renouvelables* Vol.13 N° 3,pp 379-388,2010
- [8] L. Bun, « Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV », thèse de doctorat, université de Grenoble, France, 2011.

[9] S. K. Firth, K. J. Lomas, and S. J. Rees, "A simple model of PV system performance and its use in faultdetection," Sol. Energy, vol.84, no.4, pp.624–635,2010.

[10] snitch, <http://www.docplayer.fr>

## Résumé

Le but de ce travail est de développer un modèle mathématique universel qui fournisse toutes les informations sur les défauts les plus courants au niveau du générateur PV afin de pouvoir les réduire à l'avenir. Nous avons développé sur cette base le schéma de bloc proposé dans un environnement Matlab/Simulink permettant de diagnostiquer les symptômes résultats de défauts dans le générateur photovoltaïque. Grâce aux résultats obtenus, nous avons appris la validité de ce modèle et notre besoin d'étudier plus tard les performances des générateurs photovoltaïques pour la maintenance.

Mots clés : Modèle mathématique, Défauts, diagnostic, symptômes, Matlab/Simulink

## Abstract

The work of present note aims at the development of a universal mathematical model gift that provides all the most common information on the photovoltaic generator, to do this we have developed a block diagram of the model proposed in the Matlab/Simulink that allows the diagnosis of errors in the photovoltaic generator, and through the results that we have generally identified this product and the need for the performance of the photovoltaic generators to improve performance and maintenance later.

Key words: mathematical model, Faults, diagnostic, Matlab/Simulink

## ملخص

يهدف العمل المقدم في هذه المذكرة الى تطوير نموذج رياضي شامل يقدم جميع المعلومات الخاصة بالاعطاء الاكثر شيوعا التي تحدث على مستوى مولد الكهروضوئية؛ وعلى هذا الاساس قمنا بتطوير مخطط بمساعدة برنامج **Matlab/Simulink** يسمح بتشخيص الاعراض الناتجة عن الاعطاء في مولد الكهروضوئية؛ ومن خلال النتائج المتحصل عليها تعرفنا على صحة هذا النموذج وحاجتنا اليه لدراسة اداء المولدات الكهروضوئية من اجل تحسين الاداء و صيانتها لاحقا.

كلمات مفتاحية : نموذج رياضي - خطأ - اعراض - تشخيص - Matlab/Simulink