



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE: Technologie

DEPARTEMENT : Electrotechnique

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

Talbi Abdallah

Neggaz Djamel

DOMAINE : Science et technique

FILIERE : Electrotechnique

OPTION : Energies renouvelables en electrotechnique

Thème

**Détection et localisation des défauts des convertisseurs liés
aux systèmes photovoltaïques**

Jury de soutenance:

Nom et Prénom	Grade	qualité
CHETTIH Saliha	Pr	Présidente
KOUZI Katia	Pr	Examinatrice
BIRANE Mouhoub	MCA	Rapporteur
CHEKNANE Ali	Pr	Co-rapporteur

Promotion : Septembre - 2022

Remerciements

Nos remerciements vont d'abord à Allah, le tout puissant, pour nous avoir donné la volonté et le courage pour accomplir nos études. Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre profonde gratitude à nos encadreurs Mr. Birane Mouhoub, et Mr. Ali Cheknane de nous avoir encadrés durant la période de préparation de notre mémoire de fin d'étude. Ainsi nous exprimons notre reconnaissance à tous les membres de jury d'avoir accepté de lire ce mémoire Mme. Chettih Saliha, Mme kouzi Katia. Finalement, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à :

Nos parents

Nos frères

Toutes nos sœurs.

Nos collègues

Et à toutes nos familles

Et à tous ceux et celles qui nous ont soutenu.

Talbi Abdallah

Dédicace

Avec mes sentiments les plus profonds je dédie ce travail

À mes très chers parents

À Ma chère sœur

Et

Mes chers frères

Que dieu vous bénisse et vous prête une vie pleine de santé, de succès et de bonheur. Que la vie ne puisse jamais nous séparer.

À tous les amis

Djamel Neggaz

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

Liste de Figure

Liste de Tableau

Liste des symboles et abréviations

Introduction Générale 1

Chapitre I : Généralités sur les systèmes Photovoltaïques

I.1	Introduction	4
I.2	Historique	4
I.3	Production électrique mondiale par les modules photovoltaïque	4
I.4	Développement des systèmes photovoltaïques en Algérie	5
I.5	Effet photovoltaïque et technologies des cellules photovoltaïques	6
I.6	Cellule photovoltaïque	6
I.6.1	Type des cellules photovoltaïques	7
I.6.2	Caractéristique électrique d'une cellule PV	9
I.7	Le module photovoltaïque	11
I.7.1	Système de protection	12
I.8	Système photovoltaïque	15
I.8.1	Éléments d'un système photovoltaïque	16
I.8.2	Les différents types de systèmes photovoltaïques	16
I.9	Conclusion	18

Chapitre II : Les convertisseurs statiques

II.1	Introduction	20
II.2	Convertisseurs électriques	20
II.3	Les interrupteurs	20

II.4	Les convertisseurs DC-DC (hacheurs)	21
II.4.1	Définition	21
II.4.2	Le type de hacheurs	21
II.4.3	Optimisation via la commande MPPT	26
II.4.4	Choix de l'Algorithme	27
II.5	Convertisseur DC/AC (Onduleur)	28
II.5.1	Définition des onduleurs	28
II.5.2	Technologies des onduleurs	29
II.5.3	Structure de l'onduleur	29
II.5.4	Classement des onduleurs	29
II.6	Commande MLI ou (PWM)	34
II.7	Conclusion	34

Chapitre III : Diagnostic des défauts d'un système PV

III.1	Introduction	36
III.2	La définition et objectif du diagnostic	36
III.2.1	Définition	36
III.2.2	Objectif du diagnostic	36
III.3	Définition du défaut	37
III.4	Différents types de défauts	37
III.4.1	Défaut de mismatch :	37
III.4.2	Défaut d'ombrage	37
III.4.3	Défaut de circuit ouvert	39
III.4.4	Défaut de court-circuit	39
III.4.5	Défaut de mise à la terre	39
III.4.6	Défaut de ligne à ligne	39
III.5	Défaut de diode by-pass	39
III.5.1	Diode by-pass court-circuit	40
III.5.2	Diode by-pass déconnectée	41
III.5.3	Diode by-pass inverse	42
III.6	Défauts de la diode anti-retour	43
III.6.1	Défaut de court-circuit	44

III.6.2	Effet de la diode anti-retour en court-circuit sur la caractéristique I-V du champ en cas de mismatch	44
III.6.3	Défaut de circuit-ouvert	46
III.7	Défaut des convertisseurs DC-DC et DC-AC	47
III.7.1	Configuration du system PV	48
III.7.2	Reconfiguration des défauts Hacheur	50
III.7.3	Les défauts d'onduleur	50
III.8	Méthodologie de détection de défauts au niveau de l'onduleur	52
III.9	Choix des types de défauts étudiés	53
III.10	Principes de l'etude des regimes de defauts	54
III.11	Conclusion :	54

Chapitre IV Simulation et évaluation des résultats

IV.1	Introduction	56
IV.2	Simulation du générateur photovoltaïque	56
IV.2.1	Schéma de simulation	56
IV.2.2	Résultat de simulation	56
IV.3	Simulation hacheur	57
IV.3.1	Schéma de simulation	57
IV.3.2	Résultat de simulation	58
IV.4	Simulation de l'onduleur	58
IV.4.1	Schéma de simulation	58
IV.4.2	Résultat de simulation	59
IV.5	Simulation du system photovoltaïque	59
IV.5.1	Schéma de simulation	59
IV.5.2	Résultat de simulation	60
IV.6	Simulation défaut du générateur photovoltaïque	61
IV.6.1	Schéma de simulation	61
IV.6.2	Résultat de simulation	61
IV.7	Défaut circuit-ouvert dans le hacheur	62
IV.7.1	Schéma de simulation	62

IV.7.2	Résultat de simulation	62
IV.8	Défaut court-circuit dans l'hacheur	63
IV.8.1	Résultat de simulation	63
IV.9	Défaut circuit-ouvert et l'irradiation dans le hacheur	64
IV.9.1	Résultat de simulation	64
IV.10	Défaut circuit-ouvert dans l'onduleur	65
IV.10.1	Résultat de simulation	65
IV.11	Défaut court-circuit dans l'onduleur	66
IV.11.1	Résultat de simulation	66
IV.12	Conclusion	66
	Conclusion Générale	68
	Bibliographie	
	Résumé	

Liste des figures

Chapitre I		
Figure I-1	Capacité solaire photovoltaïque mondiale et ajouts annuels, 2010-2020	5
Figure I-2	Effet photovoltaïque	6
Figure I-3	Cellule photovoltaïque	7
Figure I-4	Silicium monocristallin	8
Figure I-5	Siliciums poly-cristallins	8
Figure I-6	siliciums amorphes	9
Figure I-7	Caractéristique électrique I-V d'une cellule PV	10
Figure I-8	Cellule, module et panneau photovoltaïques	12
Figure I-9	Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour	13
Figure I-10	Système photovoltaïque, protection par la mise en place d'une diode d'anti-retour	14
Figure I-11	Système photovoltaïque en présence d'une ombre, protection par la mise en place d'une diode de by-pass	15
Figure I-12	Schéma fonctionnel d'un système photovoltaïque	15
Figure I-13	Installation photovoltaïque autonome	16
Figure I-14	Installation photovoltaïque couplés au réseau	17
Figure I-15	Système Hybride Photovoltaïque – Eolien	18
Chapitre II		
Figure II-1	Symbole d'un convertisseur DC-DC	21
Figure II-2	Schéma électrique d'un hacheur Buck	22
Figure II-3	chronogrammes de courant et tension d'un hacheur Buck	23
Figure II-4	Schéma électrique d'un hacheur Boost	23
Figure II-5	Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur Boost	24
Figure II-6	Schéma électrique d'un hacheur Buck-Boost	25
Figure II-7	chronogrammes de courant et tension d'un hacheur Buck-Boost	25
Figure II-8	Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque avec hacheur	26
Figure II-9	La caractéristique P-V et la trajectoire de PPM	27
Figure II-10	La caractéristique I-V et la trajectoire de PPM	27
Figure II-11	Schéma de principe de la conversion Continue-Alternative (DC-AC)	29

Figure II-12	Symbole de convertisseur DC-AC monophasé et triphasé	30
Figure II-13	Onduleur monophasé en demi-pont avec R	30
Figure II-14	Onduleur monophasé en demi-pont avec RL	31
Figure II-15	Onduleur monophasé en pont avec RL	31
Figure II-16	Onduleur triphasé de tension à deux niveaux	32
Figure II-17	Topologie de l'onduleur triphasé à trois niveaux à structure série	33

Chapitre III

Figure III-1	Défaut d'ombrage	38
Figure III-2	Schéma d'un groupe de cellules PV avec diode by-pass court-circuitée	40
Figure III-3	Caractéristique I-V d'un module lors diode by-pass C.C	40
Figure III-4	Caractéristique I-V d'un champ lors diode by-pass C.C	41
Figure III-5	Schéma d'un groupe de cellules PV avec diode by-pass déconnectée	41
Figure III-6	Caractéristique I-V avec diode by-pass déconnectée	42
Figure III-7	Caractéristique I-V avec diode by-pass inversée	43
Figure III-8	Différentes situations de la diode anti-retour	43
Figure III-9	Influence du court-circuit d'une diode anti-retour sur les caractéristiques I-V & P-V du champ PV	44
Figure III-10	Effet de la diode anti-retour en court-circuit sur la caractéristique I-V du champ PV sous mismatch	45
Figure III-11	Influence de la diode anti-retour en circuit-ouvert sur les caractéristiques I-V & P-V du champ PV	47
Figure III-12	Structure des convertisseurs statiques d'un système PV connecté au réseau	48
Figure III-13	Représentation électrique d'un dysfonctionnement, circuit-ouvert	49
Figure III-14	Représentation électrique d'un dysfonctionnement, court-circuit	49
Figure III-15	régime de plateau d'un IGBT	51
Figure III-16	allure schématique du courant de court-circuit d'un IGBT	52

Chapitre IV

Figure IV-1	Schéma de simulation de champ photovoltaïque	56
Figure IV-2	Caractéristique I-V d'une cellule PV est P-V d'une cellule PV	56
Figure IV-3	Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) du	57

	module en fonction de la température	
Figure IV-4	Schéma de simulation d'un hacheur boost	57
Figure IV-5	inducteur est courant de charge plus la tension de sortie de convertisseur Boost68	58
Figure IV-6	Schéma électrique d'un onduleur DC-AC à base IGBT	58
Figure IV-7	Un graphique représentant les changements d'intensité de courant, différence de potentiel en fonction du temps, dans l'onduleur	59
Figure IV-8	Schéma électrique global PV	59
Figure IV-9	Courbes de résultats de simulation PV en mode normal	60
Figure IV-10	Schéma de simulation de champ photovoltaïque	61
Figure IV-11	Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) du module en fonction de là l'irradiation	61
Figure IV-12	Schéma électrique global PV	62
Figure IV-13	compensation du défaut de type circuit-ouvert du convertisseur	62
Figure IV-14	compensation du défaut de type court-circuit du convertisseur DC-DC	63
Figure IV-15	compensation du défaut de type circuit-ouvert et l'irradiation du convertisseur DC-DC	64
Figure IV-16	compensation du défaut de type circuit-ouvert du convertisseur DC-AC	65
Figure IV-17	compensation du défaut de type court-circuit du convertisseur DC-AC	66

Listes des Tableaux

Tableau II.1	Tableau comparatif entre les commandes MPPT	28
---------------------	--	-----------

Liste des symboles et abréviations

PV : Panneaux photovoltaïques

DC/DC : Hacheur Courant Continu/Courant Continu

DC/AC : Onduleur Courant Continu / courant alternatif

MPPT : Poursuite du Point de Puissance Maximale, 'Maximum Power Point Tracking'

MLI : Modulation de largeur d'impulsion

DC : Courant Continu

AC : Courant Alternatif

PWM : Pulse Width Modulation ou Modulation de Largeur d'Impulsions MLI

V_{co}: Open circuit voltage (V)

V_{oc} : La tension de circuit ouvert (V)

I_{sc} : Le courant de court-circuit (A)

V_{MMP} : Tension au point de puissance maximale

I_{MMP} : Courant au point de puissance maximale, appelé aussi courant optimum

P : Puissance (W)

U : Tension (V)

I : Courant (A)

P_m : La puissance maximale (W)

U_m : Tension maximale (V)

I_m : Courant maximale (A)

FF : Facteur de forme

T : Température (°C)

F : Fréquence (Hz)

P_n : Puissance nominal (W)

P&O : Perturbation et Observation

MPP : Le point de puissance maximale

IGBT: Insulated gate bipolar transistor

G: l'irradiation solaire (Kwh/m²)

MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

K : Interrupteur

Inc-Cond : Incrémentale Conductance

V₀ : Tension a la sortie du convertisseur (V)

I₀ : Courant à la sortie du convertisseur (A)

α: Rapport cyclique

η_{mpp}: Rendement du convertisseur au point de puissance maximale

V_{opt} : Tension optimale de la cellule (V)

V_i : Tension a la entrée du convertisseur (V)

D : Diode

C.C : Court-circuit

C.O : Circuit-ouvert

PPM : Point de fonctionnement optimale.

GTO: Gate turn-off thyristor

GPV: Générateur photovoltaïque

V_{dc} : Tension DC de sortie du générateur PV (V)

P_{mmp} : Puissance au point de puissance maximale (W)

P_{in} : La puissance lumineuse (W)

P_{load} : Puissance de charge (W)

P_{pv} : Puissance débitée par la source solaire photovoltaïque (W)

V_{pv} : Tension de sortie d'un panneau photovoltaïque (V)

AFNOR : Association française de normalisation

CEI : Commission électrotechnique internationale

Introduction générale

Introduction générale

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 grandes quantités en tout point du globe terrestre.

La conversion photovoltaïque est l'un des modes les plus intéressants de l'utilisation de l'énergie solaire. Elle permet d'obtenir de l'électricité de façon directe et autonome à l'aide d'un matériel fiable avec une durée de vie relativement, en admettant une maintenance réduite. Le but d'un système photovoltaïque (PV) est d'utiliser la conversion directe de l'énergie solaire par effet photovoltaïque pour subvenir aux besoins en énergie électrique.

A travers des systèmes de production basés sur un ensemble de module photovoltaïque, et une chaîne de conversion de l'électronique de puissance, l'énergie solaire est convertie selon les besoins du site où ces systèmes sont installés, ou injectée dans le réseau de distribution électrique. L'utilisation persistante de ces modules en pleine nature engendre des problèmes de fonctionnement qui nécessitent un diagnostic adéquat. Pour ce faire, des outils sont développés pour permettre d'extraire les caractéristiques électriques des modules PV et de détecter les problèmes techniques qui s'y apparentent.

Notre objectif dans ce mémoire est de détecter et localiser les défauts de convertisseurs statiques liés aux systèmes photovoltaïques. Pour mener à bien notre travail, nous l'avons organisé en quatre chapitres selon le plan méthodologique suivant :

Dans le premier chapitre, on présente des généralités sur les systèmes photovoltaïques. On présente le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule PV et ses paramètres.

Le deuxième chapitre sera consacré pour l'étude de convertisseur DC-DC, utilisés dans les systèmes photovoltaïques. On décrit la commande MPPT des convertisseurs DC-DC. On étudiera les convertisseurs DC-AC, leurs modélisations et leurs principes de fonctionnement. Ainsi on présentera les stratégies de commande de l'onduleur précisément la MLI.

Le troisième chapitre est un aperçu sur les défauts des systèmes photovoltaïques, on concentre sur les défauts de convertisseurs (DC/DC, DC/AC).

Le quatrième et le dernier chapitre on présentera les résultats de simulation d'un système photovoltaïque. Ce système comprend un générateur photovoltaïque, un

Introduction générale

convertisseur DC/DC, une commande MPPT et un convertisseur DC/AC avec la commande MLI, et la charge. Ainsi un changement des valeurs du convertisseur DC/DC pour étudier les défauts sur le convertisseur DC/DC.

Enfin, on conclura notre travail par une conclusion général.

Chapitre I :

Généralités sur les systèmes

Photovoltaïques

I.1. Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, elle pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. L'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète. Pour faire face répondre à la croissance constante des besoins mondiaux en énergie, nourrie par la hausse des revenus et la croissance démographique des économies émergentes, offrir aux populations les plus pauvres l'accès à l'énergie, et permettre d'atteindre les objectifs de la communauté internationale en matière de changement climatique. , il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque [1]. Dans ce chapitre, nous allons parler sur les systèmes photovoltaïques en général.

I.2. Historique

- 1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet Photovoltaïque.
- 1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur L'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.
- 1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule Photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des Solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.
- 1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites Alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
- 1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à L'université de Delaware.
- 1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie [2].

I.3. Production électrique mondiale par les modules photovoltaïque :

Le solaire photovoltaïque joue un rôle important dans la production d'électricité dans un nombre croissant de pays. Quinze pays disposaient d'une capacité suffisante pour satisfaire au moins 5 % de leur demande d'électricité grâce au solaire photovoltaïque. L'énergie solaire

photovoltaïque représentait environ 11,2 % de la production annuelle au Honduras et des parts notables en Allemagne, en Grèce, en Australie, au Chili, en Italie et au Japon, entre autres.

Il reste encore des défis à relever pour que le solaire photovoltaïque devienne une source d'électricité majeure dans le monde, notamment l'instabilité des politiques et des réglementations dans de nombreux pays, le manque de fiabilité ou l'insuffisance des infrastructures de réseau, ainsi que les problèmes financiers et de bancabilité. À mesure que le niveau de pénétration augmente, la variabilité de l'énergie solaire photovoltaïque a un effet croissant sur les systèmes électriques, ce qui souligne l'importance d'intégrer efficacement l'énergie solaire dans des conditions techniques et de marché variables, de manière équitable et durable. La compétitivité des coûts de l'énergie solaire photovoltaïque est de plus en plus un facteur d'investissement, mais elle est généralement insuffisante à elle seule. Dans la plupart des pays, il est encore nécessaire de mettre en place des cadres réglementaires et des politiques adéquats régissant les connexions au réseau afin de surmonter les obstacles liés aux coûts ou aux investissements sur certains marchés et de garantir des conditions de concurrence équitables. (Figure I-1) [3].

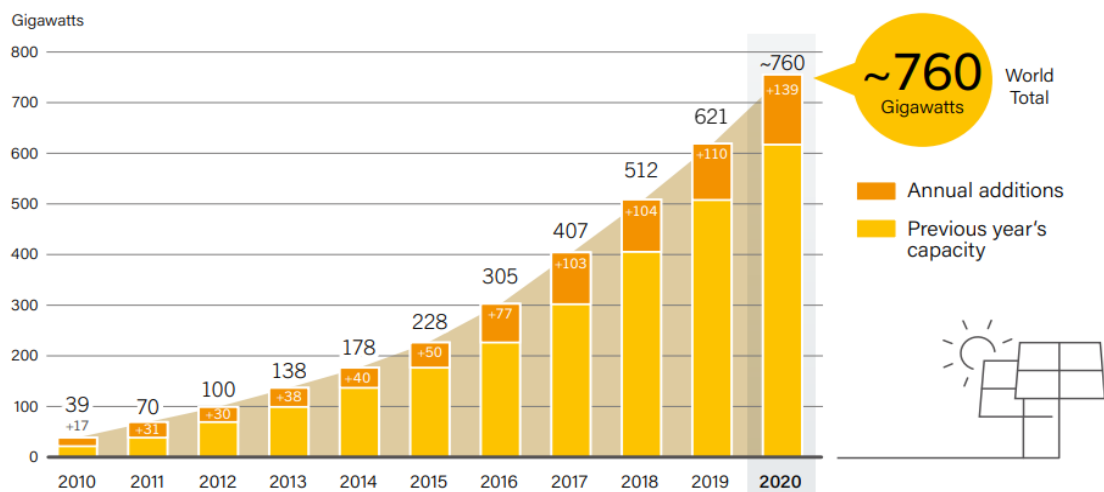


Figure I-1 Capacité solaire photovoltaïque mondiale et ajouts annuels, 2010-2020

I.4. Développement des systèmes photovoltaïques en Algérie :

L'énergie solaire PV a pris la part de lion dans ce programme. Cette logique est expliquée par l'immense en énergie solaire que dispose l'Algérie, qui couvre la majeure partie de la surface de pays. En plus, la technologie photovoltaïque (PV) est la technologie la plus dominante au niveau mondial. Pour cela, l'énergie solaire photovoltaïque prendra une part

importante dans le mix énergétique de l'Algérie à moyen et à long terme. Ça se voit dans la stratégie nationale de développement des énergies renouvelables qui a donné beaucoup d'importance à l'énergie solaire PV par rapport aux autres types d'énergies renouvelables, en terme de recherches, projets, investissements, ... etc [4].

I.5. Effet photovoltaïque et technologies des cellules photovoltaïques :

L'effet photovoltaïque est la conversion d'une énergie lumineuse, en l'occurrence des Photons, en énergie électrique grâce à des matériaux semi-conducteurs. Un semi-conducteur Est un matériau isolant dans lequel un électron de la bande de valence est capable de franchir Une barrière énergétique appelé gap sous l'effet d'un apport d'énergie. Dans ce cas précis, le Matériau devient conducteur.

Pour être dans une telle situation, il faut que l'énergie des photons soit au moins égale Au gap du matériau. Les matériaux à faible gap sont privilégiés pour exploiter au maximum le Spectre solaire. On peut citer le Germanium, le Silicium ou l'Arséniure de Gallium qui ont un Gap respectif de 0.72, 1.12 et 1.42eV .En fonction de leur énergie, les photons Vont pénétrer plus ou moins profondément dans le matériau. (Voir figure I-2) [5].

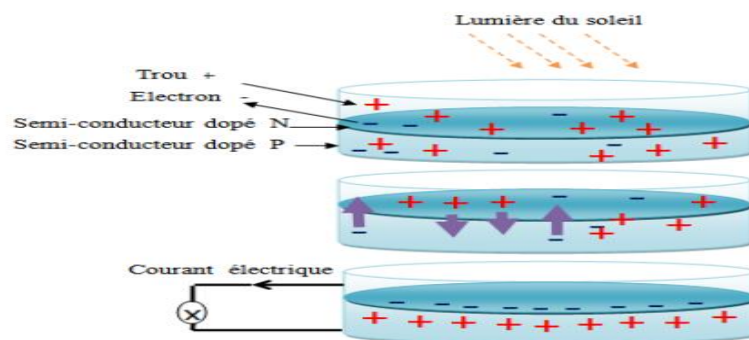


Figure I-2 Effet photovoltaïque

I.6. Cellule photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque représente la plus petite unité dans un système photovoltaïque. Lorsque la cellule est éclairée par le rayonnement solaire, le déséquilibre des charges électriques dans les couches P et N provoque leur mouvement à travers la jonction ce qui crée un champ électrique dont l'intensité appelé photo-courant est proportionnel à l'éclairement reçu sur la surface de la cellule. Outre ces avantages, le choix d'une technologie

repose aussi sur la fiabilité et la tenue des cellules PV selon l'environnement dans lequel elles sont implantées. (Voir figure I-3) [6].

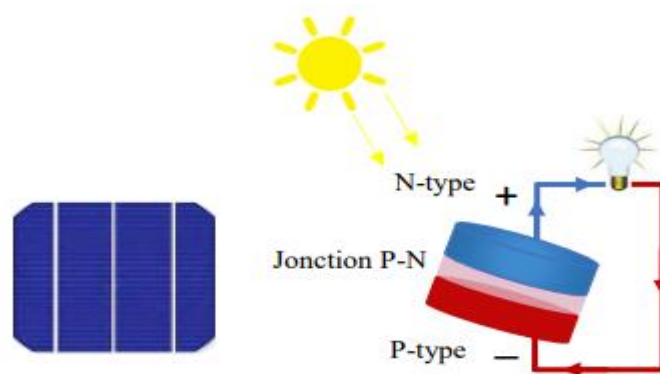


Figure I-3 Cellule photovoltaïque

I.6.1. Type des cellules photovoltaïques :

Pour transformé les rayonnements solaire, Il faut bien choisir le type de cellules photovoltaïques dans son panneau solaire. Par ailleurs, le choix des cellules se pose également sur la durabilité et le prix des cellules. Le choix peut par ailleurs varier en fonction de rayonnement solaire du projet, de sa situation géographique [7].

Il existe 3 grandes familles de cellules cristallines :

- Le monocristallin.
- Le poly-cristallin.
- Le Silicium amorphe.

I.6.1.1. Le Silicium monocristallin (mono c-Si) :

La technologie mono cristalline est coûteuse car elle nécessite des barres de silicium pur. Son rendement est le plus élevé (14 à 16%). Ce qui a l'avantage de réduire la taille des modules pour une même puissance, chose utile lorsqu'un gain de place est nécessaire. (Voir figure I-4) [8].



Figure I-4 Silicium monocristallin

I.6.1.2. Le silicium poly-cristallin (poly c-Si) :

Le silicium poly cristallin sont très proches des modules monocristallins. La même théorie s'applique ; la principale différence est le procédé de fabrication. Les cellules Poly-SI sont fabriquées avec du SI fondu pur dans un moule de section carrée ; le refroidissement est une étape essentielle parce qu'il détermine la grosseur du grain et la distribution des impuretés. Les lingots obtenus sont coupés dans les barres avec une section transversale de 15.6 cm x 15.6 cm ; finalement ils sont sciés pour obtenir les disques minces. Ce procédé de fabrication donne une structure cristalline multi-grain. Comparé au SI monocristallin, la structure est moins idéale avec pour résultat une perte d'efficacité (environ de 1% comparé à du mono-SI) (Voir figure I-5) [9].

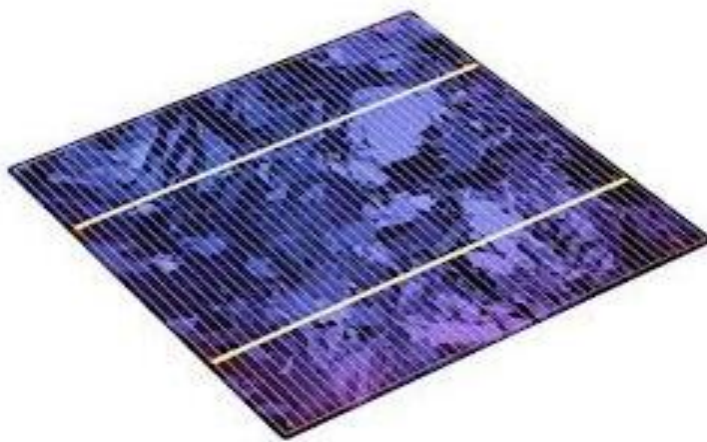


Figure I-5 Siliciums poly-cristallins

I.6.1.3. Le silicium amorphe (a-Si):

Le silicium amorphe (a-Si) est la forme non cristalline du silicium. Des panneaux de silicium amorphe sont fabriqués en utilisant le procédé de dépôt de vapeur pour créer une couche mince de matériau de silicium d'environ $1\ \mu\text{m}$ d'épaisseur déposé sur un matériau de substrat tel que le verre ou le métal. Le principal avantage ici est la possibilité de déposer le silicium amorphe aux températures très basses. La forme de base consiste en ordre unique de p-i-n

Les couches de p-i-n sont employées afin de créer un champ électrique qui aide à déménager les transporteurs ; en fait le silicium amorphe a une mobilité très faible d'environ $1\ \text{cm}^2/\text{Vs}$ comparé à la mobilité de plus de $1000\ \text{cm}^2/\text{Vs}$ en silicium monocristallin. (Voir figure I-6) [10].



Figure I-6 siliciums amorphes

I.6.2. Caractéristique électrique d'une cellule PV :

En fonctionnement nominal, les cellules PV sont utilisées pour produire de l'énergie avec une tension de circuit ouvert (V_{co}) et de courant de court-circuit (I_{cc}) qui correspond au courant quand la cellule est court-circuitée, il est proportionnel à la surface de la cellule et dépend de l'intensité de lumière absorbée par la cellule. La tension de circuit ouvert (V_{co}) est la tension aux bornes de la cellule quand il n'y a pas de courant. (Voir figure I-7) [11].

- Le point A où la tension est égale à zéro et le courant est maximum (courant de court-circuit I_{cc}).

- Le point B c'est le point de fonctionnement optimal auquel la cellule fournit sa puissance maximale.
- Le point C où le courant est égal à zéro et la tension est maximale (tension de circuit ouvert, V_{co}).

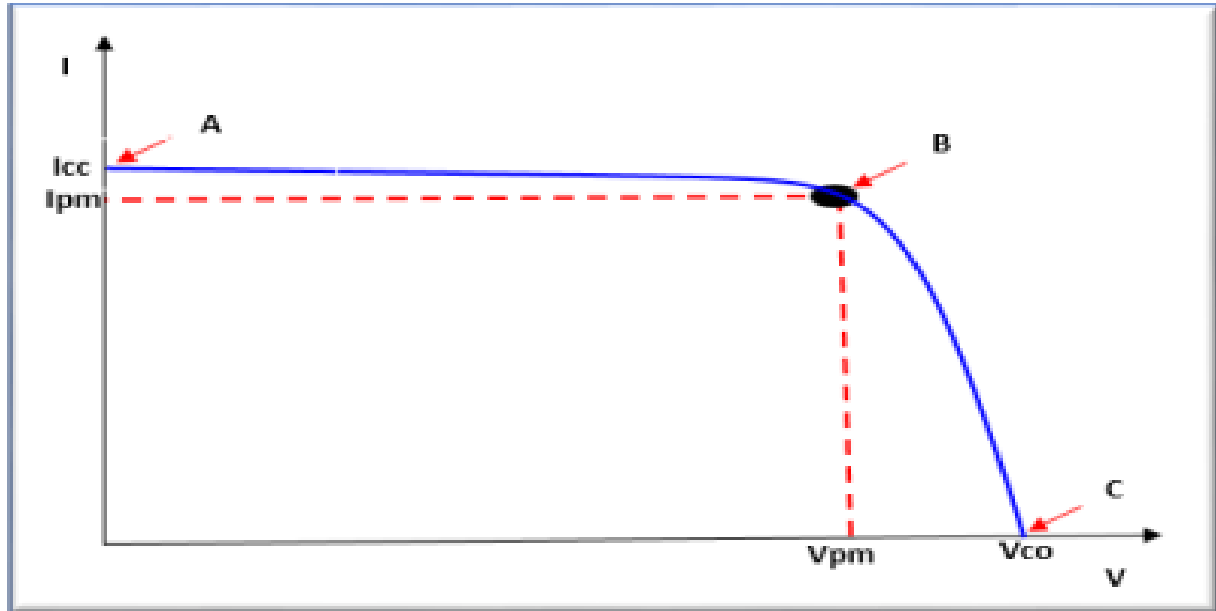


Figure I-7 Caractéristique électrique I-V d'une cellule PV

Où :

I_{pm} : est le courant délivré par la cellule au point de puissance maximale P_m .

V_{pm} : est la tension aux bornes de la cellule au point de puissance maximale P_m

I.6.2.1. Courants de court-circuit (I_{cc}) :

Il s'agit du courant qui traverse la cellule photovoltaïque lorsque celle-ci est en court-circuit, c'est-à-dire lorsque le pôle + est relié au pôle - (la tension à ses bornes est alors nulle). Dans ce cas, la puissance fournie par la cellule ($P = U \times I$) est nulle [12].

I.6.2.2. Tension de circuit ouvert (V_{oc}) :

Il s'agit de la tension aux bornes de la cellule lorsque celle-ci est en circuit ouvert, c'est-à-dire lorsque le pôle + et le pôle - sont isolés électriquement de tout autre circuit électrique (le courant la traversant est alors nul). Dans ce cas, la puissance fournie par la cellule ($P=U \times I$) est nulle [12].

I.6.2.3. Point de puissance maximale :

L'utilisation optimale d'une photopile consiste à alimenter une charge sous la tension maximale et à un courant maximal.

En effet, suivant la formule $P = UI$, pour que la puissance soit maximale : il faut être dans les conditions où le produit UI est maximal : c'est le point de charge idéal de la photopile, ou point de puissance maximale P_m . On a coutume d'appeler U_m et I_m la tension et le courant correspondant à ce point [13].

$$P_{mpp} = U_{mpp} \times I_{mpp} \quad (I.1)$$

I.6.2.4. Facteur de forme FF :

Un paramètre important souvent utilisé à partir de la caractéristique $I(V)$ pour qualifier la qualité d'une cellule ou d'un générateur PV : c'est le facteur de remplissage ou « fill factor (FF) ». C'est le rapport entre la puissance maximale que peut fournir une cellule et la puissance qu'il est théoriquement possible d'obtenir (puissance optimale) [14].

$$FF = \frac{P_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (I.2)$$

I.6.2.5. Rendement de la conversion (η) :

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule P_{max} et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{FF \times V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \quad (I.3)$$

Avec P_{in} est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale des photopiles. Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

I.7. Le module photovoltaïque :

Typiquement une cellule photovoltaïque produit moins de 2 watts sous approximativement 0,5 Volt. Alors Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (Figure I-8). Une association série de plusieurs cellules

donne un module et une association série et/ou parallèle de plusieurs modules permet de réaliser un panneau photovoltaïque.

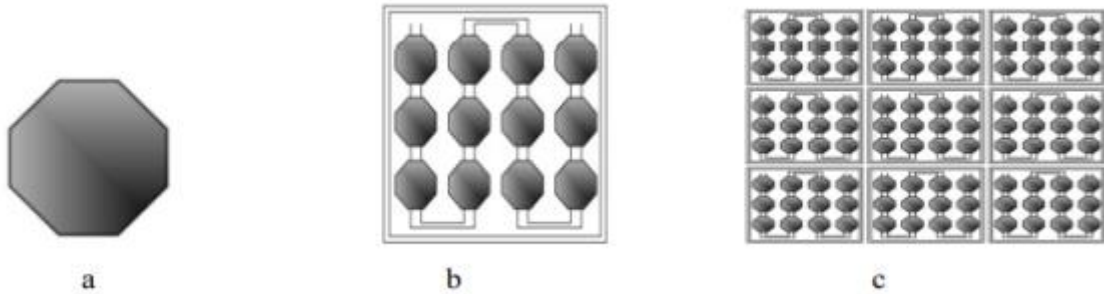


Figure I-8 Cellule, module et panneau photovoltaïques

Un module photovoltaïque se compose généralement d'un circuit de 36 cellules en série, protégées d'humidité par un capsulage de verre et de plastique. L'ensemble est ensuite muni d'un cadre et d'une boîte de jonction électrique. Le passage d'un module à un panneau se fait par l'ajout de diodes de protection, une en série pour éviter les courants inverses et une en parallèle, dite diode by-pass, qui n'intervient qu'en cas de déséquilibre d'un ensemble de cellules pour limiter la tension inverse aux bornes de cet ensemble et minimiser la perte de production associée. Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. La puissance crête, obtenue sous un éclairage maximal sera proportionnelle à la surface du module. La rigidité de la face avant (vitre) et l'étanchéité sous vide offerte par la face arrière soudée sous vide confèrent à l'ensemble sa durabilité [15].

I.7.1. Système de protection :

Comme pour les autres centrales électriques, il existe plusieurs sortes de protection pour une installation photovoltaïque : protection des intervenants, protection contre la foudre, protection du générateur PV. Du fait que notre travail de thèse porte uniquement sur des défauts conduisant à une baisse de production, nous ne nous intéressons donc qu'aux composants servant à la protection du générateur PV [16].

Pour cela, deux types de protections sont classiquement utilisées dans les installations actuelles :

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. (Figure I-9) [17].

* Les diodes by-pass peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairement n'est pas homogène (effet d'ombrage) évitant ainsi l'apparition de points chauds et la destruction des cellules mal éclairées. (Figure I-9) [17].

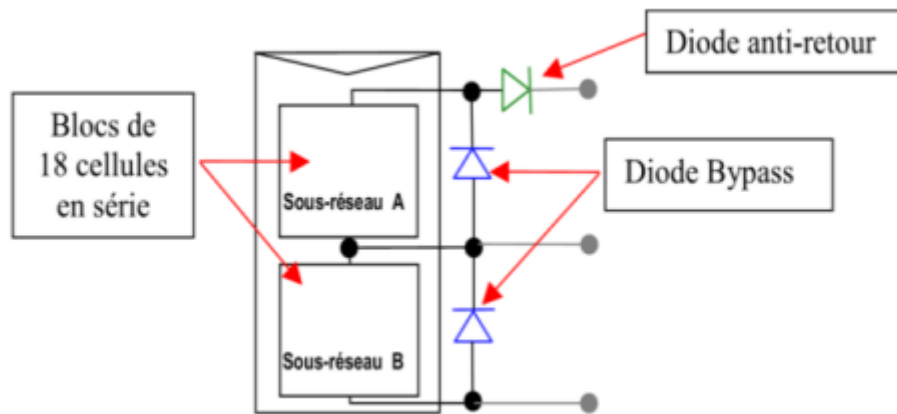


Figure I-9 Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour

I.7.1.1. Diode anti-retour :

Pour empêcher le retour du courant électrique vers le module PV pendant l'obscurité (éviter la décharge des accumulateurs à travers les panneaux photovoltaïques), des diodes anti-retour sont placées entre le module et les batteries. Ce phénomène a également été remarqué dans les installations photovoltaïques ayant plusieurs strings en parallèle mais cette fois le courant circule dans les strings ayant une tension supérieure au string ayant une tension inférieure. Il se produit entre les strings du champ photovoltaïque, en raison de : l'inégalité des modules, ou l'ombrage ou à cause des défauts d'un string. Pour éviter ces courants inverses dans le champ PV, des diodes anti-retour sont placées en tête de chaque string en série pour isoler temporairement ou définitivement le string en défaut des autres strings, comme est représenté sur la (Figure I-10) [18].

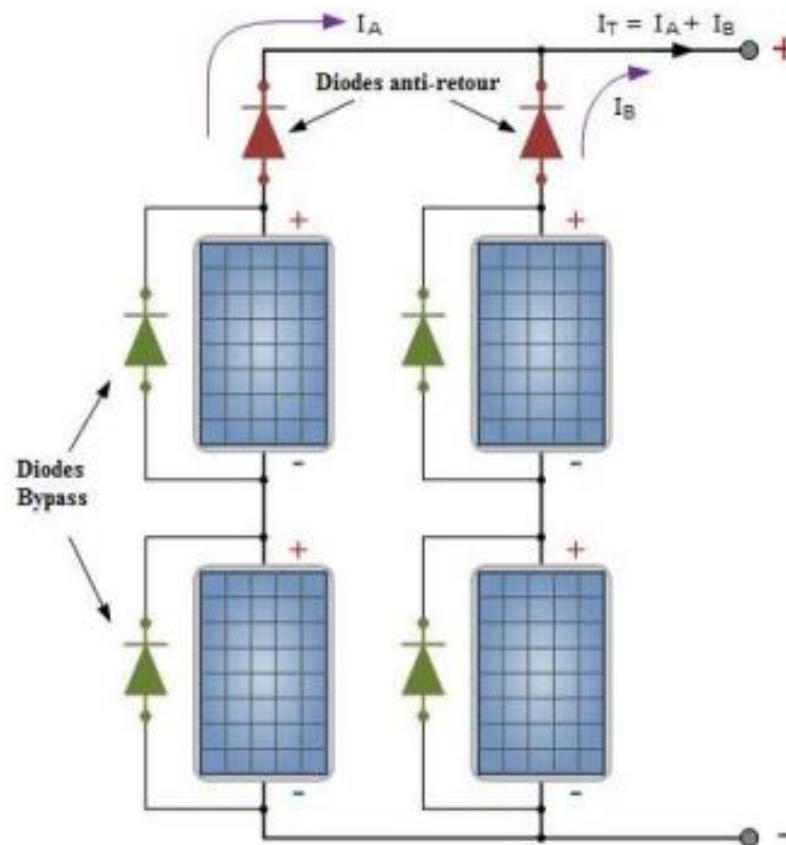


Figure I-10 Système photovoltaïque, protection par la mise en place d'une diode d'anti-retour

I.7.1.2. Diodes de by-pass :

Les diodes by-pass, connues en électronique sous le nom de diodes de roue libre, sont connectées en parallèle avec des cellules ou des panneaux solaires individuels pour fournir un chemin de courant autour d'eux en cas de défaillance d'une cellule ou d'un panneau ou d'un circuit ouvert. De cellules ou de panneaux connectés pour continuer à fournir de l'énergie à une tension réduite au lieu de n'avoir aucune alimentation du tout. Le courant à travers une rangée de cellules solaires est limité par la résistance ou la condition de polarisation de la cellule avec la « résistance la plus élevée ». Lorsqu'une cellule est ombragée, sa résistance au passage du courant augmente. L'augmentation de la résistance d'une seule cellule limite le courant total que le panneau solaire peut fournir au groupe de batteries. Pour éviter cette éventuelle inefficacité, une diode de dérivation est nécessaire. Dans des conditions de fonctionnement normales, la diode de dérivation est polarisée en inverse et essentiellement "invisible" pour l'ensemble du système (Figure I-11) [19].

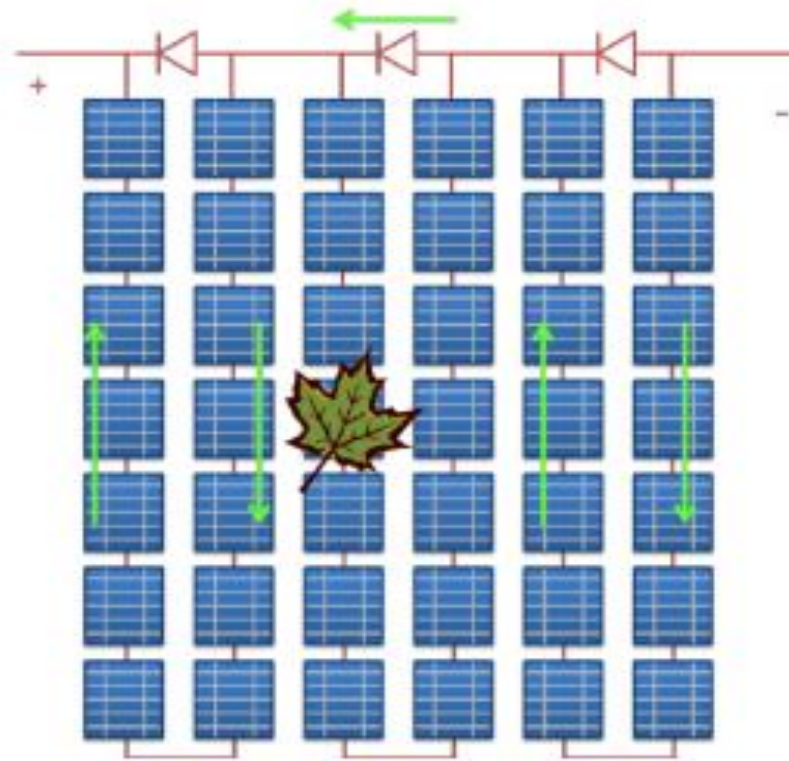


Figure I-11 Système photovoltaïque en présence d'une ombre, protection par la mise en place d'une diode de by-pass

I.8. Système photovoltaïque :

Un système photovoltaïque comporte plusieurs parties, il se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs (charge, injection dans le réseau). Cet ensemble, appelé aussi "Balance of System" ou BOS, comprend tous les équipements entre le champ de modules et la charge finale. (Figure I-12)

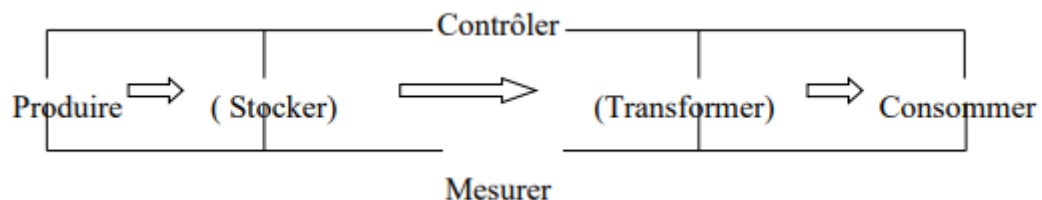


Figure I-12 Schéma fonctionnel d'un système photovoltaïque

I.8.1. Éléments d'un système photovoltaïque :

- Les composants d'un système photovoltaïque dépendent de l'application considérée : habitation isolée ou à proximité d'un réseau, utilisation de batterie ou « au fil du soleil », convertisseurs de puissance. Il existe plusieurs composants d'un système photovoltaïque :
- Les cellules solaires ou panneau solaires qui forment le champ photovoltaïque
- Les régulateurs de charge qui ont pour rôle de transférer le maximum de charge aux batteries.
- Les convertisseurs, soit des convertisseurs DC/DC ou bien DC/AC.
- Les batteries de stockage comme leurs noms l'indiquent, ont pour rôle de stocker l'énergie afin de l'utiliser ultérieurement.
- Autres composants.

I.8.2. Les différents types de systèmes photovoltaïques :

I.8.2.1. Les systèmes photovoltaïques autonomes :

Les systèmes photovoltaïques autonomes ou isolés sont spécialement conçus avec des générateurs PV et ou des batteries de stockage pour les charges DC (courant continu) et ou AC (courant alternatif) isolées du réseau [20]. Il s'agit par exemple des habitations isolées, relais hertzien, pompage, balisage en mer, électrification rurale des pays sous-développés. Dans un tel système, les charges DC sont directement alimentées par le GPV et les batteries tandis que les Charges AC sont connectées à un convertisseur DC/AC. (Figure I-13)

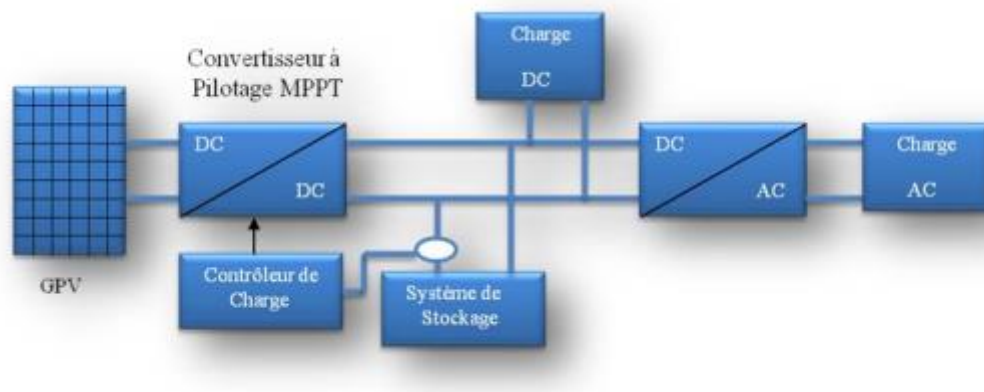


Figure I-13 Installation photovoltaïque autonome

I.8.2.2. Les Systèmes couplés au réseau :

Les systèmes connectés au réseau (figure I-14) ou « grid connected » proposées dans cette étude, c'est-à-dire le système relié en parallèle au réseau électrique public, et conçu pour injecter dans le réseau l'énergie électrique produite par les champs PV. Dans Les systèmes reliés au réseau, les consommateurs standards de puissance sont connectés au générateur via un onduleur (convertisseur DC-AC). La tâche de l'onduleur est de transformer le courant continu sortant des panneaux en courant alternatif [21].

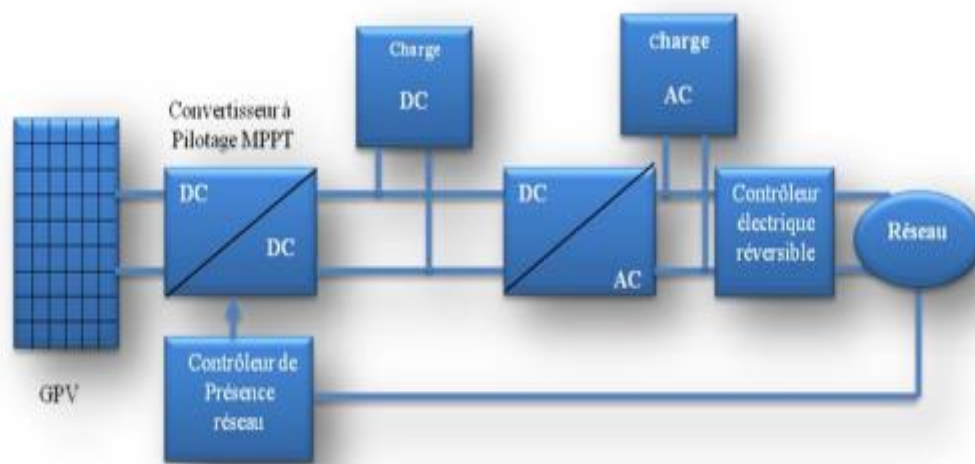


Figure I-14 Installation photovoltaïque couplée au réseau

I.8.2.3. Systèmes hybrides (PV /E) :

Le système couplé PV-E a été simulé en utilisant des données synthétiques de l'irradiation solaire et de la vitesse du vent collectées du 1er janvier 1985 au 31 décembre 1995.

L'intérêt d'un tel couplage est d'avoir plus d'énergie, mais, comme pour tout système solaire, le risque demeure d'avoir trop d'énergie à certains moments et pas assez à d'autres (absence de vent par ciel couvert, par exemple). Il s'agit donc, par l'intermédiaire d'un système de stockage, d'emmagasiner l'excès énergétique lorsqu'il existe et de le restituer lors des périodes de manque d'apport [22, 23].

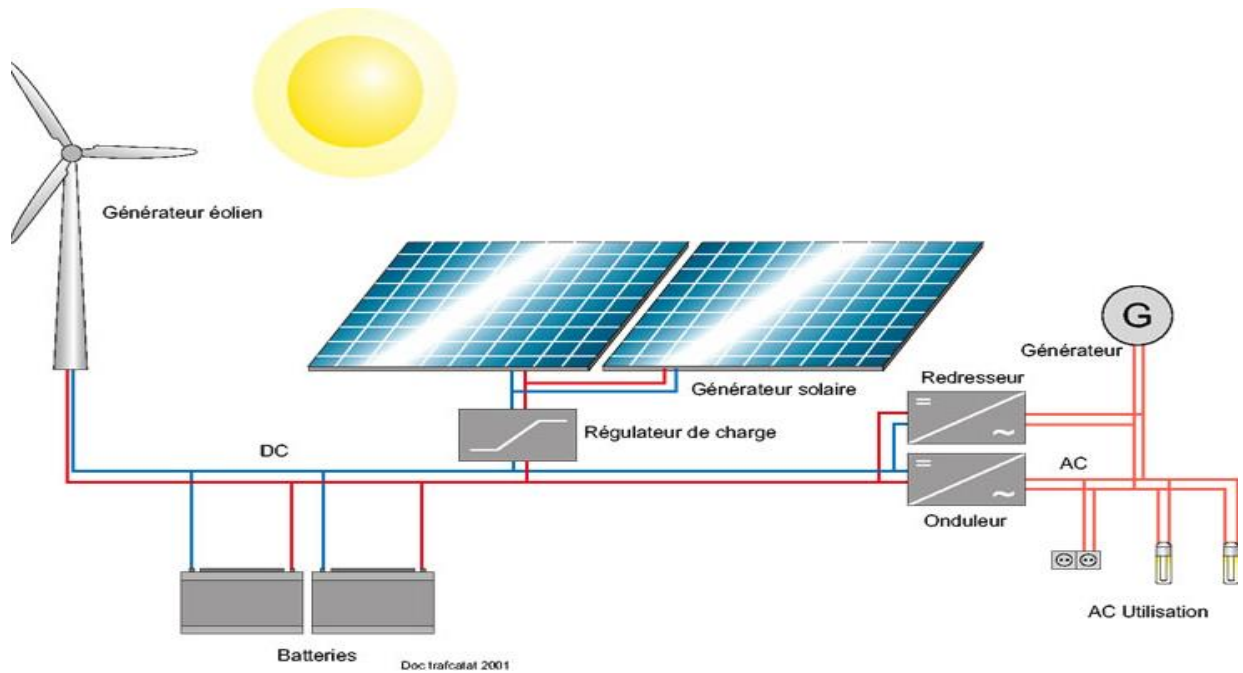


Figure I-15 Système Hybride Photovoltaïque - Eolien

Pour faire cette analyse, nous définissons un système de conversion complètement intégré qui combine les deux sortes d'énergies. Ce système contient la conversion d'énergie solaire et éolienne, qui est ensuite relié au stockage et à la demande comme le schématise la (Figure I-15) [24].

I.9. Conclusion :

Dans ce premier chapitre nous avons exposé des généralités sur les systèmes de production de l'énergie électrique qui se repose sur l'effet photovoltaïque, dans ce cadre des statistiques sur la production mondiale en été présenté au premier lieu. Puis le principe de la conversion, types des cellules, et les caractéristiques du module PV ainsi que les différents types du système photovoltaïque ont été bien détaillé.

Chapitre II :

Les convertisseurs statiques

II.1. Introduction :

On a vu dans le chapitre précédent que la puissance maximale générée par un module solaire dépend fortement de l'intensité des radiations solaire ainsi que de la température.

Pour avoir une puissance maximale le module solaire doit génère une certaine tension et courant de fonctionnement. Pour que le module fourni sa puissance maximale disponible il faut une adaptation permanente de la charge avec le générateur photovoltaïque. Cette adaptation pourra être réalisée par l'insertion d'un convertisseur DC-DC contrôlé par un mécanisme de poursuite «Maximum Power Point Tracking» (MPPT).

Certain dispositif utilise l'énergie alternative pour les alimenté par un générateur photovoltaïque il faut utiliser un convertisseur DC-AC, il y a plusieurs commande des et le but de ces commande c'est d'avoir un signale sinusoïdale.

Dans ce chapitre on va étudier quelque type des convertisseurs DC-DC et DC-AC, utilisés dans les systèmes photovoltaïques. Ainsi, on décrive la commande MPPT des convertisseurs DC-DC et la commande MLI des convertisseurs DC-AC.

II.2. Convertisseurs électriques :

Les convertisseurs sont des appareils servent à transformer la tension électrique pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant en une tension continue différente ou une tension alternative.

L'étude du convertisseur est intéressante dans la mesure où il est utilisé dans la plupart des nouveaux types de sources de production d'énergie dispersée connectée au réseau (éolienne, photovoltaïque, plie à combustible....) [25].

II.3. Les Interrupteurs :

Ces interrupteurs sont réalisés par un ou plusieurs composants électroniques a semi-conducteur. On a vu qu'en électronique de puissance, on met en œuvre des convertisseurs utilisant des interrupteurs électroniques fonctionnant soit à l'état passant (fermé), soit à l'état bloqué (ouvert). Le passage d'un état à l'autre, appelé commutation, s'effectue périodiquement. On note T cette période [26].

Selon le composant utilisé, la fréquence de découpage f à laquelle est soumis le composant change. En général, on cherche à utiliser la fréquence la plus élevée possible. Cependant, plus la puissance nominale P_n d'un convertisseur est élevée, plus cette fréquence est faible [26].

II.4. Les convertisseurs DC-DC (hacheurs) :

II.4.1. Définition :

Les hacheurs sont des convertisseurs du type continu-continu permettant de contrôler la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé. Le hacheur se compose de condensateurs, d'inductance et de commutateurs. Dans le cas idéal, tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance active, c'est la raison pour laquelle on a de bons rendements dans les hacheurs. La technique du découpage, apparue environ dans les années soixante, a apporté une solution au problème du mauvais rendement et de l'encombrement des alimentations séries. Dans une alimentation à découpage (Figure II-1), la tension d'entrée est "hachée" à une fréquence donnée par un transistor alternativement passant et bloqué.

Il en résulte une onde carrée de tension qu'il suffit de lisser pour obtenir finalement une tension continue.

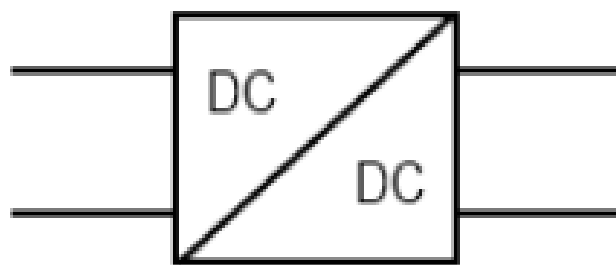


Figure II-1 Symbole d'un convertisseur DC-DC

II.4.2. Le type de hachures :

Les trois configurations de base sont :

- Convertisseur dévolteur (ou Buck)
- Convertisseur survolteur (ou boost)

- Convertisseur dévolteur- survolteur (Buck-boost)

II.4.2.1. Hacheur Buck :

C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type tension continue et la charge de sortie continue de type source de courant. L'interrupteur K peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage) [27].

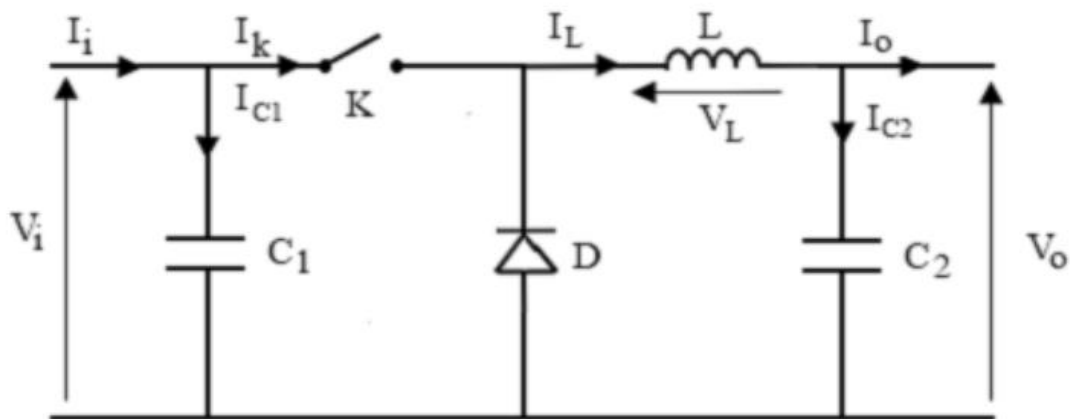


Figure II-2 Schéma électrique d'un hacheur Buck

- Fonctionnement :

Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée, αT_e la tension appliquée aux bornes de la diode est V_i l'interrupteur est commandé à la fréquence de découpage $f_e = 1/T_e$ La source V_i fournit de l'énergie à la charge et à l'inductance. Pendant le temps $T_e \in [\alpha T_e ; T_e]$ l'interrupteur s'ouvre et l'énergie emmagasinée dans l'inductance commande la circulation du courant dans la diode de roue libre D. La tension à ses bornes est donc nulle [28].

Les chronogrammes (tracés dans le cas idéal) de la figure (fig3) sont tracés dans le cas d'une conduction continue, c'est-à-dire que le courant ne repasse jamais par zéro. Pour calculer la relation entre la tension d'entrée et celle de sortie, on exprime que la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle [28].

$$V_o = \alpha \times V_i \quad (\text{II.1})$$

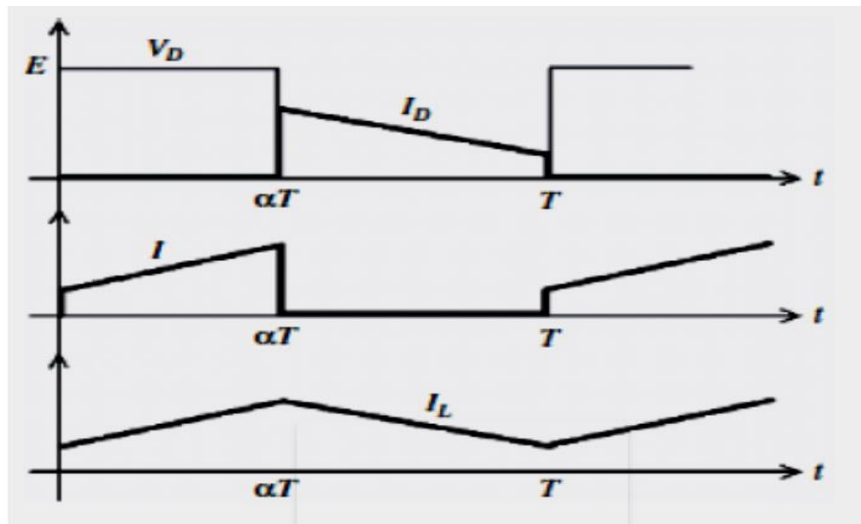


Figure II-3 chronogrammes de courant et tension d'un hacheur Buck

II.4.2.2. Hacheur Boost :

C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type courant continu (inductance en série avec une source de tension) et la charge de sortie est de type tension continue (condensateur en parallèle avec la charge résistive). L'interrupteur K peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage).

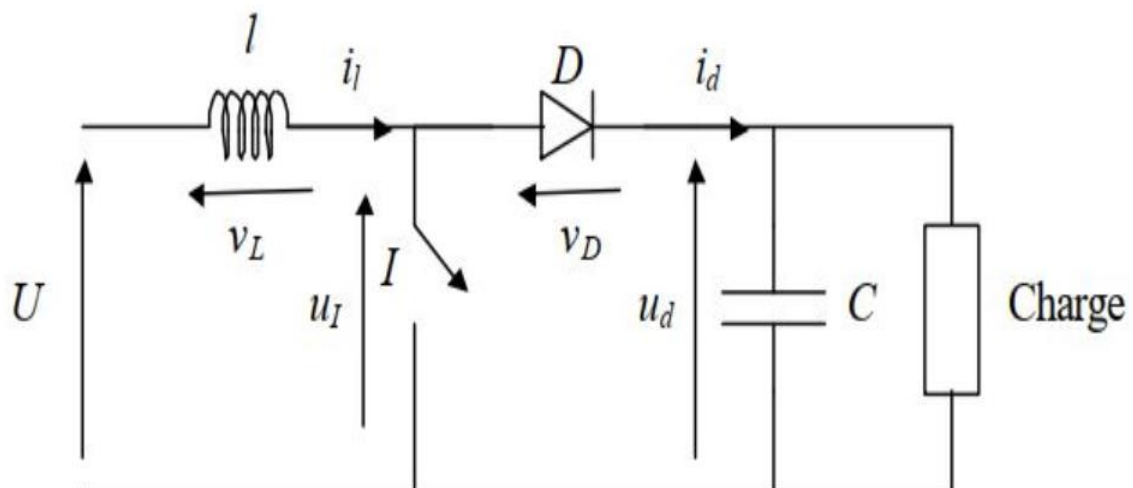


Figure II-4 Schéma électrique d'un hacheur Boost

- **Fonctionnement :**

Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée, αT le courant dans l'inductance croît linéairement. La tension aux bornes de K est nulle. Pendant le temps $T \in [\alpha T ; T]$ l'interrupteur s'ouvre et l'énergie emmagasinée dans l'inductance commande la circulation du courant dans la diode de roue libre D. On a alors $V_s = V_K$. En écrivant que la tension aux bornes de l'inductance est nulle, on arrive à [29] :

$$V_i = (1 - \alpha)V_o \quad (\text{II.2})$$

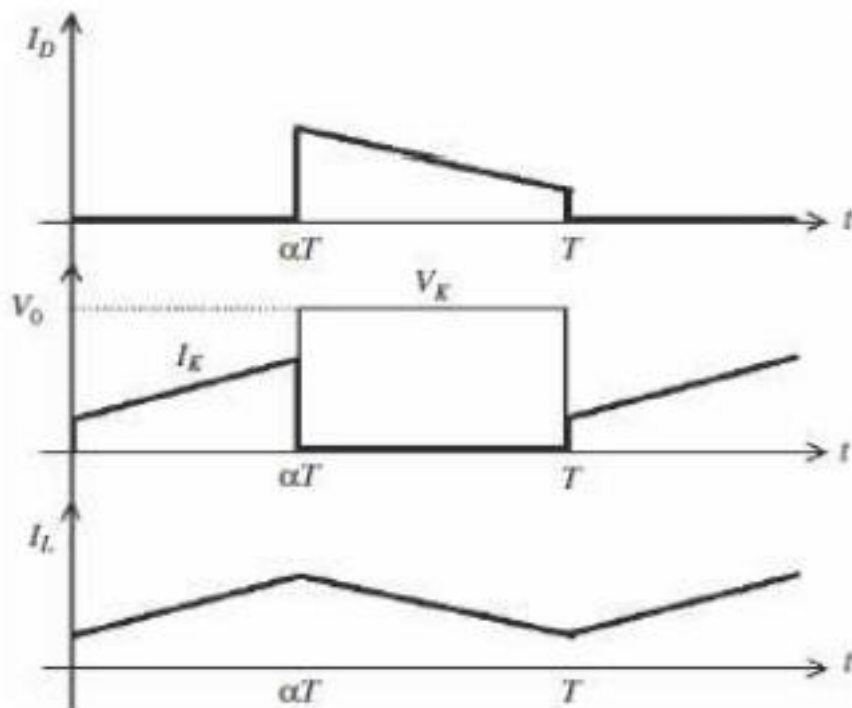


Figure II-5 Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur Boost

II.4.2.3. Hacheur Buck-Boost :

Le convertisseur dévolteur-survolteur combine les propriétés des deux convertisseurs précédents, il est utilisé comme un transformateur idéal de n'importe quelle tension d'entrée pour n'importe quelle tension de sortie désirée ; son schéma de base est illustré par la Figure II-6 [30].

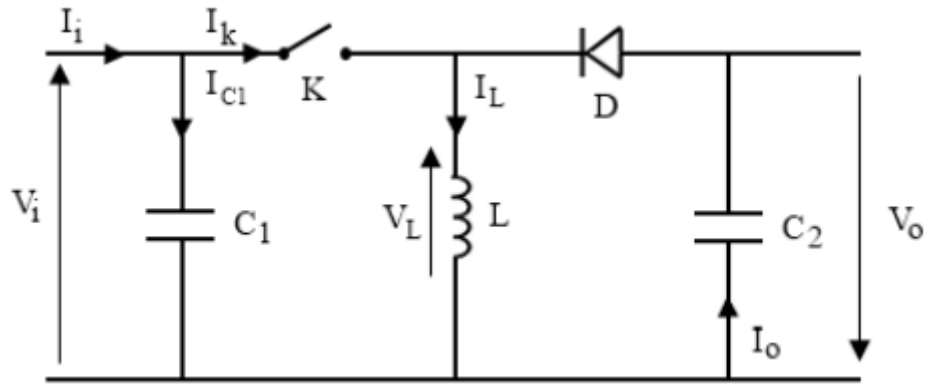


Figure II-6 Schéma électrique d'un hacheur Buck-Boost

- Fonctionnement :

Cette structure de convertisseur permet d'obtenir des tensions négatives à partir de tension positive. Le schéma de principe est présenté figure (Figure II-7). Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée αT_e , le courant augmente linéairement. La tension est égale à V_i . À l'ouverture de K, la diode prend le relais et la tension V_L est égale à $-V_0$. Par définition la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle. Il en résulte que [31] :

$$V_i \times \alpha T_e = V_o(1 - \alpha)T \quad (\text{II.3})$$

Quand le rapport cyclique $\alpha > 0.5$ le hacheur buck-boost fonction comme un hacheur boost et si le rapport cyclique $\alpha < 0.5$ le hacheur buck-boost fonction comme un hacheur buck.

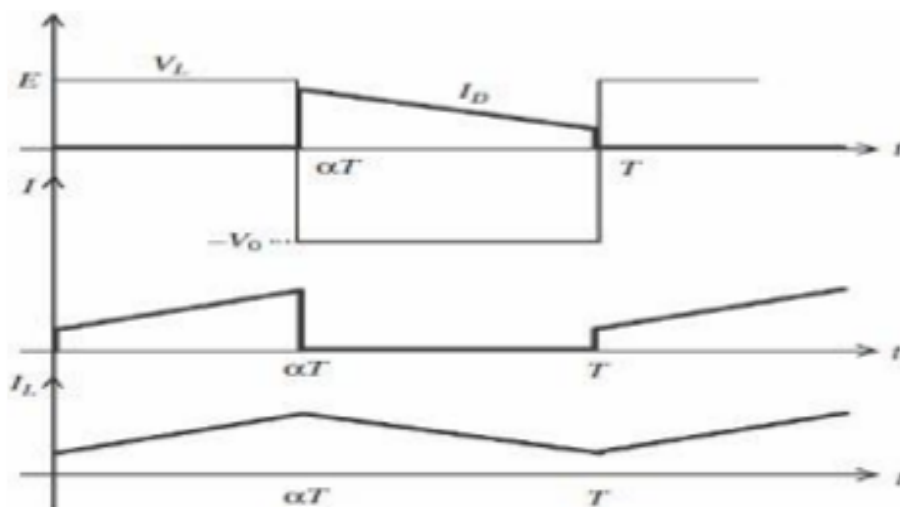


Figure II-7 chronogrammes de courant et tension d'un hacheur Buck-Boost

II.4.3. Optimisation via la commande MPPT :

La commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) est une commande essentielle pour un fonctionnement optimal du système photovoltaïque. Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique α en l'amenant à la valeur optimale de manière à maximiser la puissance délivrée par le module PV. La chaîne de puissance ou un générateur photovoltaïque alimente une charge continue en une adaptation avec un convertisseur statique de type hacheur élévateur commandé par une MPPT peut être représentée comme l'indique la figure II-8

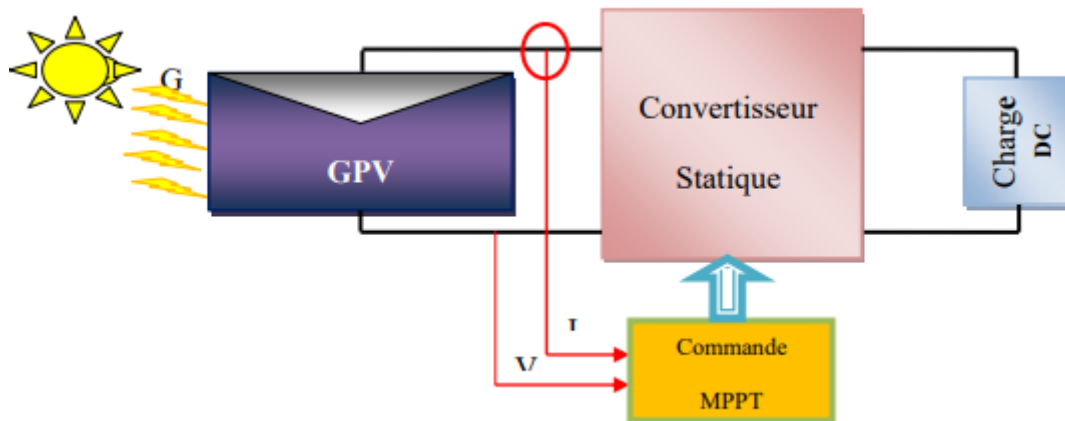


Figure II-8 Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque avec hacheur

- Principe de fonctionnement de MPPT :

Un MPPT, de l'anglais « Maximum Power Point Tracking » est un principe permettant de suivre, comme son nom l'indique, le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire. En conséquence, pour un même éclairement, la puissance délivrée sera différente selon la charge. Un contrôleur MPPT permet donc de piloter le convertisseur statique reliant la charge (une batterie par exemple) et le module photovoltaïque de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge chaque instant. Les figures (II.9, II.10) représentent la trajectoire du point de puissance maximale produite par le générateur [32].

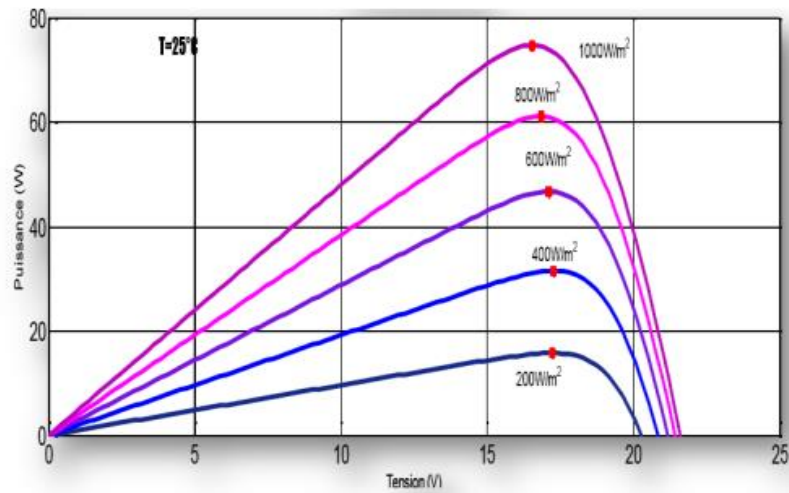


Figure II-9 La caractéristique P-V et la trajectoire de PPM.

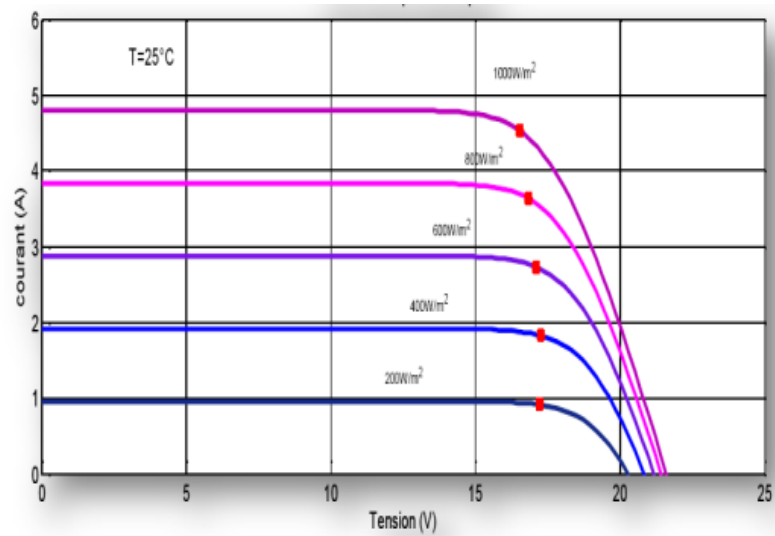


Figure II-10 La caractéristique I-V et la trajectoire de PPM.

II.4.4. Choix de l'Algorithme

Le Tableau II.1 montre la comparaison entre les différentes techniques MPPT. L'analyse de ces différentes méthodes de recherche montre que les performances d'une commande MPPT ne se résument pas à un seul paramètre η_{MPPT} qui est défini comme le rendement du MPPT.

Tableau II.1 Tableau comparatif entre les commandes MPPT

MPPT	Rendement η_{MPPT}	Avantages	Inconvénients
P&O	81.5%-96.5%	-Une structure simple. - Implémentation facile. -Peu de paramètres de mesure.	- Présente des oscillations autour du MPP. -Perte occasionnelle de la recherche du MPP lors du changement rapide des conditions climatiques
IncCond	89.9%-98.2%	- Il n'y a pas de pertes par rapport au MPP. -Ne présente pas de risques de divergence par rapport au MPP.	-Le temps d'exécution de l'algorithme est plus long car il est plus complexe.

D'autres critères tels que le temps de réponse et son aptitude à fonctionner sur une large gamme de puissance, sont importants pour évaluer les qualités de ce type de commande. Les divers essais extraits de la littérature selon [33] montrent que ce type de commande peut être performant dans certaines conditions mais ne permettent pas de dire que tel mode de recherche est plus performant qu'un autre, en revanche, ils donnent une estimation d'un rendement qui peut être élevé.

II.5. Convertisseur DC/AC (Onduleur) :

II.5.1. Définition des onduleurs :

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion d'énergie électrique de la forme continue (DC) à la forme alternative (AC). En fait, cette conversion d'énergie est satisfaite au moyen

D'un dispositif de commande (semi-conducteurs). Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace, en utilisant ainsi une séquence adéquate de commande. Figure II-11 représente schéma de Principe de l'onduleur [34].

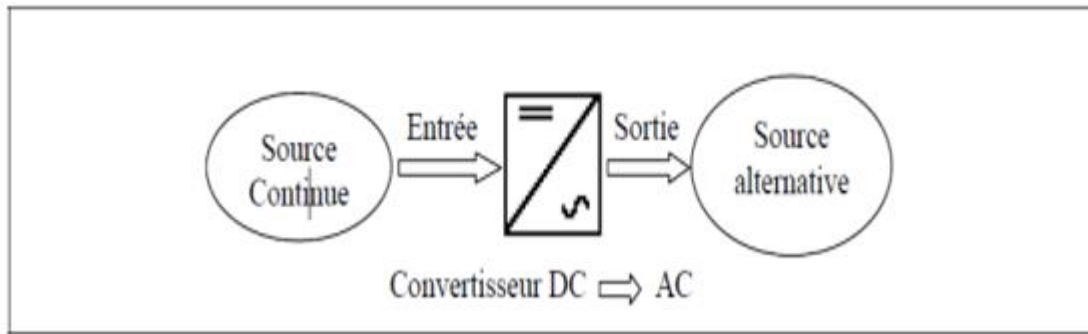


Figure II-11 Schéma de principe de la conversion Continue-Alternative (DC-AC)

II.5.2. Technologies des onduleurs :

Pour les onduleurs utilisés dans les applications PV, on distingue différents topologies, selon l'importance de l'installation, le rendement et la puissance

II.5.3. Structure de l'onduleur :

Un onduleur est un convertisseur de puissance destiné à convertir une tension continue en une tension alternative par un jeu de commutations. Ces jeux de commutation concernent la commande des interrupteurs de l'onduleur [35].

L'onduleur est constitué de trois bras dont chaque bras est composé de deux composants électroniques de puissance reliés en série. Ces Composants peuvent être des transistors IGBT ou des MOSFET. Chaque composant est mis en parallèle avec une diode qui permet d'écouler l'énergie emmagasinée dans la machine au moment de l'arrêt ou pendant le freinage et c'est ainsi qu'elle le protège [36].

II.5.4. Classement des onduleurs :

Les onduleurs peuvent être classés en deux groupes :

Les onduleurs monophasés:

- En demi-pont (à deux interrupteurs).
- En pont (à quatre interrupteurs).

Les onduleurs triphasés:

- A deux niveaux.
- A multi-niveau (par exemple à trois niveaux).

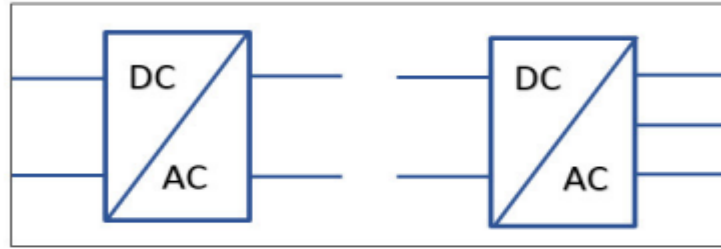


Figure II-12 Symbole de convertisseur DC-AC monophasé et triphasé

II.5.4.1. Les onduleurs monophasés :

II.5.4.1.1. Les onduleurs monophasés en demi-pont (à deux interrupteurs) :

- Avec une charge résistive « R » :

Chaque interrupteur est formé d'un transistor et une diode en antiparallèle comme le montre la figure (II-13). Ce type d'onduleur nécessite une source continue à 3 fils. On peut considérer que le circuit de l'onduleur est constitué de deux hacheurs monophasés. Quand seulement le transistor Q_1 conduit le courant pour un temps allant de $[0 \div T/2]$, la tension instantanée aux bornes de la charge est $+U_s/2$. Si le transistor Q_2 conduit le courant pour un temps allant de $[T/2 \div T]$ la tension sera $-U_s/2$. Le circuit logique est fait de telle manière que Q_1 et Q_2 ne sont jamais conducteurs en même temps [37].

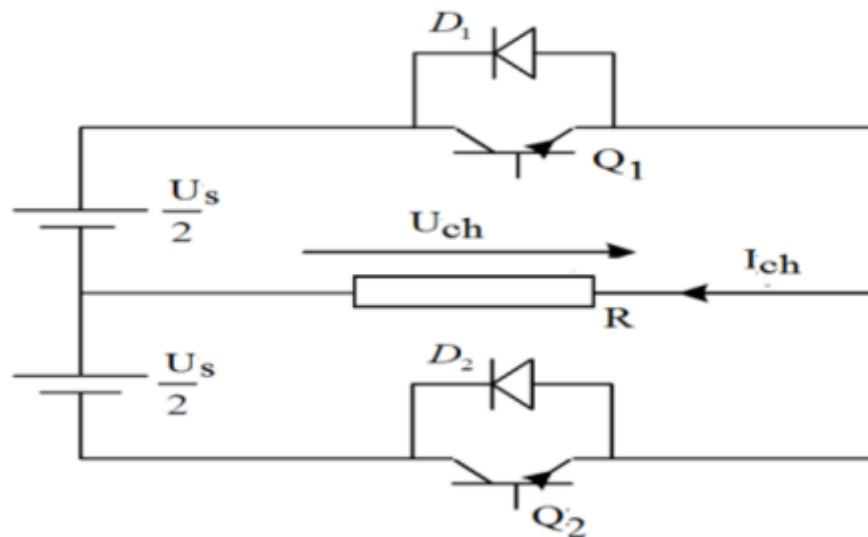


Figure II-13 Onduleur monophasé en demi-pont avec R

- Avec une charge résistive inductive « RL » :

Pour une charge inductive (ou résistive inductive), le courant de charge ne peut pas changer immédiatement avec la tension de sortie, donc il y a un angle de déphasage entre le courant et la tension φ [37].

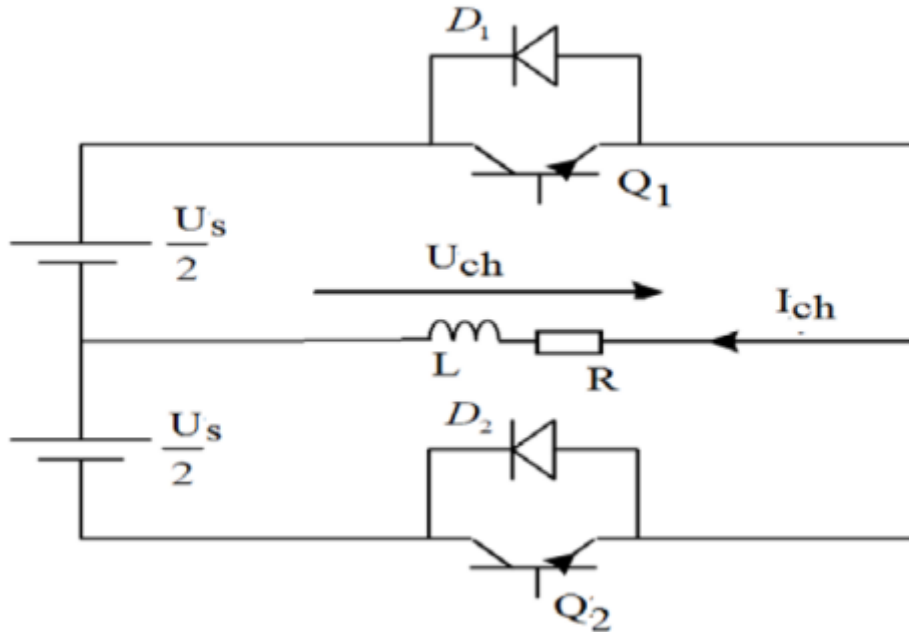


Figure II-14 Onduleur monophasé en demi-pont avec RL

II.5.4.1.2. Les onduleurs monophasés en pont (à quatre interrupteurs) :

Il est composé de 4 interrupteurs montés en pont de GREATZ. Chaque interrupteur est formé d'un composant commandable (transistor) et une diode en antiparallèle. La topologie de ce convertisseur est montrée sur la figure (II-15) [37].

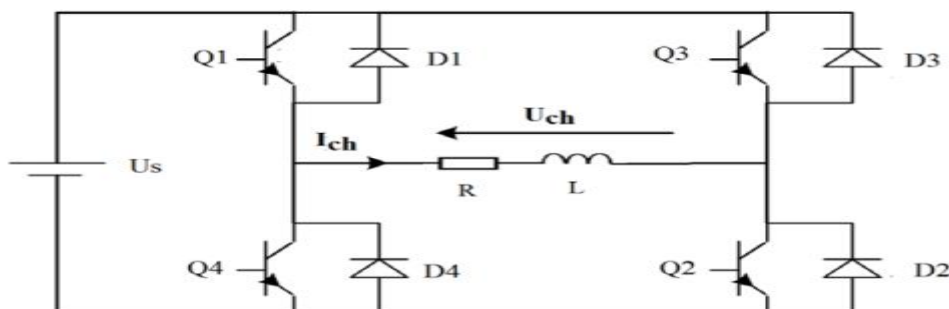


Figure II-15 Onduleur monophasé en pont avec RL

II.5.4.2. Les onduleurs triphasés :

Un onduleur triphasé est constitué de trois cellules de commutation dont les commandes décalées entre elles d'un tiers de période permettent de reconstituer un système triphasé de tensions et de courants

II.5.4.2.1. Les onduleurs triphasés à deux niveaux :

II.5.4.2.1.1. Structure topologique de l'onduleur à deux niveaux :

La figure (II-16) représente la structure topologique de l'onduleur triphasé de tension à deux niveaux. Il est placé entre une source de tension continue supposée parfaite, de tension U_C constante, et une source de courant alternatif triphasé supposée elle aussi parfaite, donc les courants des phases i_1 , i_2 et i_3 forment un système triphasé sinusoïdal équilibré [38].

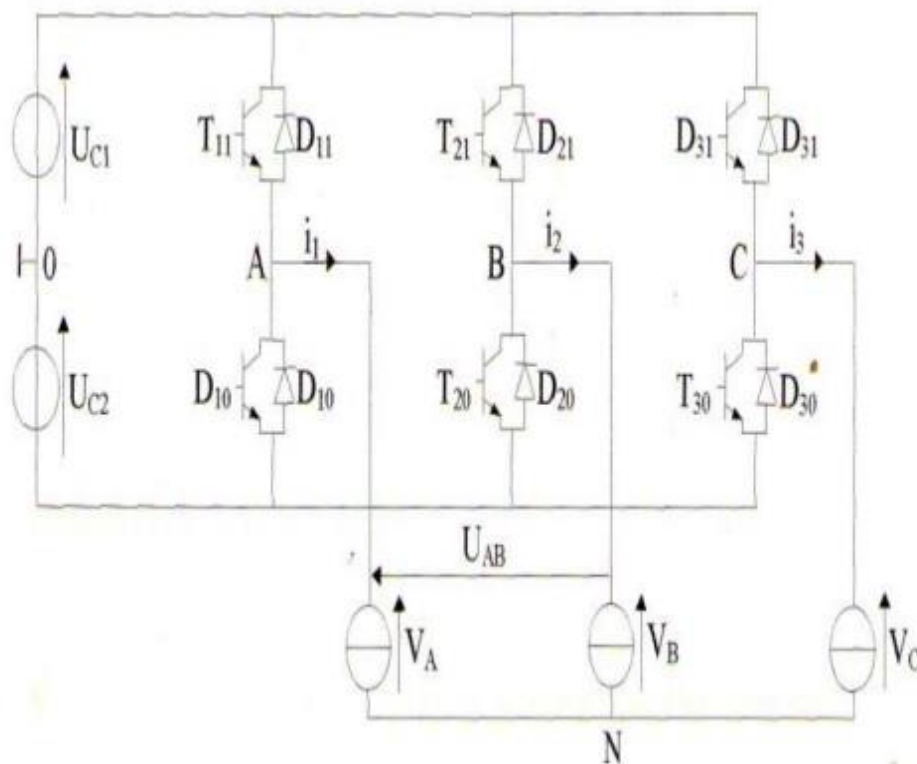


Figure II-16 Onduleur triphasé de tension à deux niveaux

L'onduleur triphasé est l'assemblage de trois demi ponts monophasés chacun est formé de deux "interrupteurs" en série, (T_{11} , T_{10}), (T_{21} , T_{20}) et (T_{31} , T_{30}). Les interrupteurs d'un même demi-pont doivent être complémentaires pour que la source de tension U_C ne soit jamais en court-circuit, pour que les circuits des courants i_1 , i_2 et i_3 ne soient jamais ouverts.

II.5.4.2.1.2. Structure de l'onduleur à trois niveaux :

L'onduleur triphasé à trois niveaux qu'on va étudier, comporte deux sources de tension continue et trois bras symétriques. Chaque bras est constitué de quatre paires (diode - Transistor), représentant chacune un interrupteur bidirectionnel et deux diodes médianes, DD_{k0} et DD_{k1} , permettant d'avoir le niveau zéro de la tension de sortie de l'onduleur. Cette structure impose l'utilisation des interrupteurs commandables à l'amorçage et au blocage. Cette structure utilise deux tensions d'entrée : U_{c1} et U_{c2} . Elle consiste à créer un point milieu sur l'étage de tension continue de valeur E ($U_{c1} + U_{c2} = E$), permettant de générer des créneaux d'amplitude $-E/2$, 0 , $+E/2$ dont la combinaison permet d'avoir une onde plus proche de la sinusoïde qu'avec la structure classique d'onduleur à deux niveaux. Pour une tension d'entrée E , les interrupteurs d'un onduleur à trois niveaux supportent la moitié de la tension supportée par ceux d'un onduleur à deux niveaux [39]. La figure suivante figure (II-17) présente la structure d'un onduleur triphasé à trois niveaux.

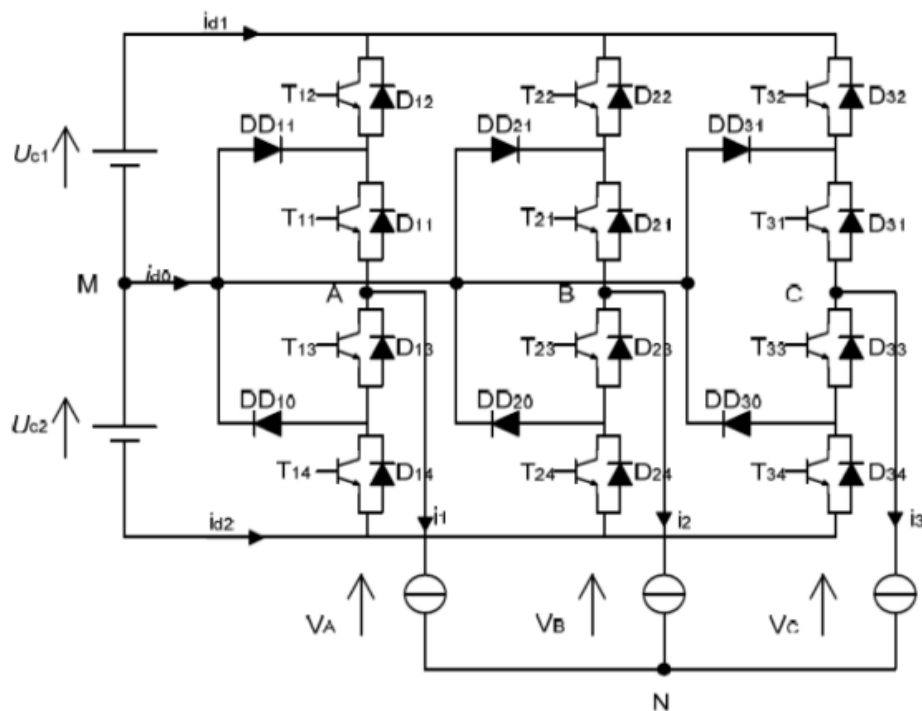


Figure II-17 Topologie de l'onduleur triphasé à trois niveaux à structure série

- Principe de fonctionnement :

Il existe plusieurs types de commande d'onduleur comme (commande symétrique (adjacente), Décalée (disjointe), MLI...). Les différentes commandes ont le but d'obtenir

l'allure sinusoïdale ou niveau de la sortie .et pour chaque commande le principe de fonctionnement se change.

II.6. Commande MLI ou (PWM) :

L'utilisation de la modulation de largeur d'impulsion (MLI) ou Pulse Width Modulation (PWM) permet d'éliminer les premiers rangs d'harmoniques de courant afin d'améliorer le facteur de puissance. Cependant, cette technique ne résout pas totalement le problème des harmoniques de courant [40].

Il s'agit d'une technique de création de signaux qui permet de contrôler de l'analogique avec des sorties numériques. La commande en PWM consiste en une succession rapide d'impulsion électrique.

Le PWM est un signal tout ou rien (carré), le niveau bas correspond généralement à 0 Volt. La période est notée T , la durée de l'impulsion (pour laquelle la tension est celle de l'état haut) est appelée t_h , avec le rapport cyclique $\alpha = t_h/T$.

Le principe général est qu'en appliquant une succession d'états discrets pendant des durées bien choisies, on peut obtenir en moyenne sur une certaine durée n'importe quelle valeur intermédiaire.

II.7. Conclusion :

Les convertisseurs statiques dans les systèmes photovoltaïques ont un rôle fondamental permettant l'adaptation de l'énergie électrique aux différentes applications. Dans ce chapitre nous avons étudié deux types de convertisseurs statiques, qui sont très utilisés dans la chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque.

Dans le chapitre qui suit, nous allons présenter les différents défauts et les méthodes de diagnostic dans les systèmes photovoltaïques.

Chapitre III :

Diagnostic des défauts d'un système PV

III.1. Introduction :

Le système photovoltaïque ne fonctionnera pas toujours à leur maximum d'efficacité, il peut être soumis au cours de son fonctionnement, à différents défauts et anomalies conduisant à une baisse de la performance du système.

Donc la surveillance et le diagnostic de défauts éventuels dans les systèmes photovoltaïques est de nos jours une priorité majeure pour les industriels en particulier.

Pour mieux situer notre travail, il a été nécessaire de rechercher quelles sont les méthodes utilisées pour diagnostiquer et détecter une anomalie dans un système photovoltaïque.

Dans ce chapitre nous allons diviser notre travail en deux parties : Dans la première partie, nous avons décrit les défauts.

Dans la deuxième partie Détection des défauts dans les convertisseurs statiques (DC/DC et DC/AC)

III.2. Définition et objectif du diagnostic :

III.2.1. Définition :

La définition du diagnostic selon la norme AFNOR et CEI stipule que : « Le diagnostic est l'identification de la cause probable de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test » [41]. Cette définition résume les deux tâches essentielles du diagnostic : - Observer les symptômes de la défaillance ; - Identifier la cause de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur les observations

III.2.2. Objectif du diagnostic :

L'objectif d'un système de diagnostic est de prévoir l'apparition d'un défaut le plus rapidement possible et le plus précisément possible. Pour pouvoir expliquer ce principe avec plus de précision [42]

III.3. Définition du défaut :

Un défaut est tout ce qui, dans un module PV, n'est pas ce qu'on attend de lui. Un défaut peut impliquer une défaillance du module PV. Un défaut est un terme beaucoup plus large qu'un échec. Un défaut n'entraîne pas nécessairement une perte de sécurité ou de puissance pour un module PV, mais spécifie une partie d'un module PV qui est différente d'un module PV parfait [43].

III.4. Différents types de défauts :

Généralement les générateurs PV sont considérés fiables par rapport aux autres systèmes, mais comme tous procédés, un système PV peut être exposé à plusieurs pannes provoquant le dysfonctionnement de ce dernier, plusieurs études ont constaté que la fiabilité des systèmes PV est fortement dépendante du matériel utilisé pour la construction des panneaux PV, de la température, de l'humidité et du rayonnement solaire. Un système PV peut avoir plusieurs défauts que ce soit les défauts de types construction, ou les défauts matériels et électriques causés par les conditions climatiques. A ce titre, nous pouvons citer le défaut le plus couramment rencontré dans un générateur PV [44].

III.4.1. Défaut de mismatch :

Estimé à être responsable d'une perte de 10% de la puissance totale générée [45]. Un mismatch est déterminé par une dispersion des paramètres électriques des cellules PVs connectées ensemble dans un GPV due à une hétérogénéité de leurs propriétés électriques. Il est souvent causé soit par la variation des propriétés internes des cellules ou par la variation de l'intensité d'éclairement solaire incident sur la surface des cellules. Ce défaut est défini comme l'un des défauts majeurs causant une perte de puissance notamment pour une configuration série-parallèle [46].

III.4.2. Défaut d'ombrage :

On distingue deux types d'ombrage : l'ombrage total et l'ombrage partiel. L'ombrage total empêche tout le rayonnement d'atteindre les cellules photovoltaïques, par contre l'ombrage partiel empêche seulement le rayonnement d'atteindre une partie de la cellule photovoltaïque (une cheminée, un arbre, poussière, Neige,...) [47].

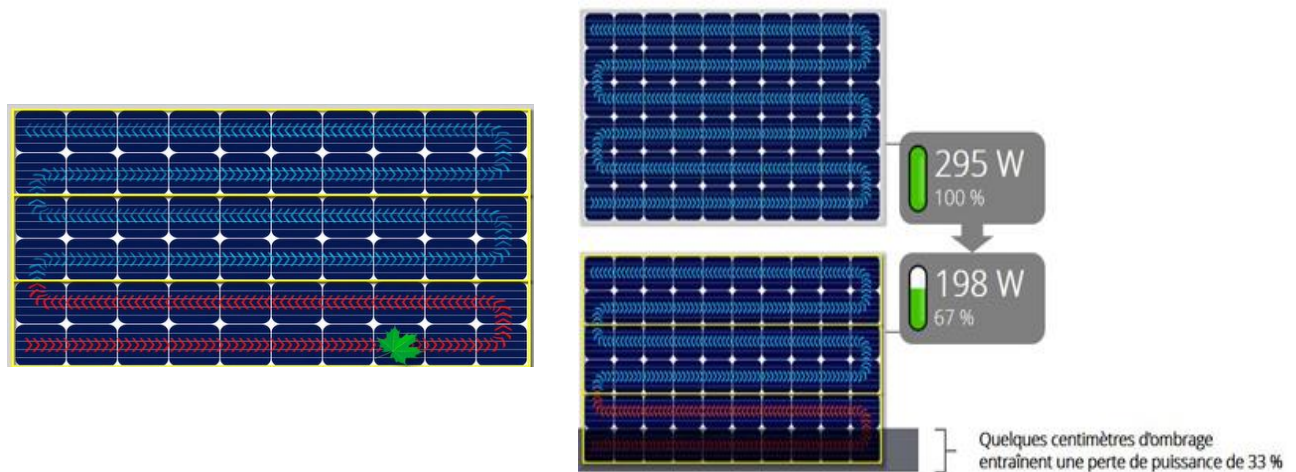


Figure III-1 Défaut d'ombrage

III.4.2.1. Les différents types d'ombrages :

- **Ombrage temporaire** : L'ombrage temporaire résulte de nuages, de déjections d'oiseaux, de poussières ou de feuilles mortes.
- **Ombrage proche** : Les ombres causées par les obstacles proches sont directes. Les cheminées, supports d'éclairage, antennes paraboliques, saillies de toit et de façade, structures de bâtiment décalées, superstructures de toit, pour ne citer que quelques exemples.
- **Ombrage lointain** : L'ombrage lointain provient de l'environnement du bâtiment. Des montagnes, des arbres, des câbles passant au-dessus des bâtiments, des bâtiments voisins ou des bâtiments distants pourraient également être source d'ombre.
- **Auto-ombrage** : Avec les systèmes de montage en tables, une rangée de modules peut entraîner un ombrage sur la rangée voisine. Dans ce cas de figure, il est nécessaire d'optimiser l'inclinaison et l'espacement entre les rangées de modules.
- **Ombrage direct** : L'ombrage direct peut entraîner de grandes pertes d'énergie, car la proximité de l'objet provoquant l'ombre empêche le panneau solaire photovoltaïque de capter la lumière.

III.4.3. Défaut de circuit ouvert :

Les défauts de circuit ouvert font référence aux défauts de déconnexion dans les sous-systèmes PV. Cela inclut la déconnexion des cellules d'un module, des modules d'une chaîne ou des chaînes d'un réseau PV [48].

III.4.4. Défaut de court-circuit :

Tout comme les défauts de circuit ouvert, les défauts de court-circuit peuvent se produire dans différents sous-systèmes de l'installation photovoltaïque. Les modules court-circuités dans une chaîne entraînent une chute importante de la tension du réseau, tandis que le courant du réseau augmente légèrement [49].

III.4.5. Défaut de mise à la terre :

Les défauts de terre sont considérés comme les défauts les plus courants dans les systèmes PV. Le défaut fait référence au court-circuit électrique accidentel entre un conducteur électrique et la terre [50]. Ce défaut est principalement causé par un défaut d'isolation des câbles.

III.4.6. Défaut de ligne à ligne :

Un défaut ligne à ligne désigne un défaut de court-circuit entre les conducteurs du PV système. Les défauts de ligne à ligne peuvent être causés par un défaut d'isolation des câbles et dommages mécaniques [51].

III.5. Défaut de diode by-pass :

Dans son bon état, la diode de by-pass est passante quand la somme de la tension des cellules qu'elle protège est négative et elle est bloquée dans le cas contraire. Dans son état défaillant, ce rôle de protection n'est plus assuré, les défauts électriques associés à cette diode sont : diode court-circuitée, diode déconnectée et diode inversée. En plus de ces défauts électriques, cette diode pourrait être éventuellement claquée en cours de fonctionnement et se comporter comme une impédance d'une valeur quelconque.

Montre un schéma d'un groupe de cellules dans lequel la diode de by-pass est remplacée par un élément qui peut, à chaque fois, prendre un des états défaillants de la diode : court-circuit, circuit ouvert, et diode inversée. [52]

III.5.1. Diode by-pass court-circuit :

La tension et le courant d'un groupe de cellules associées à une diode by-pass court-circuitée (Figure III-2) sont donnés par les équations suivante

$$V_{\text{groupe}} = 0 \quad (\text{III.1})$$

$$I_{\text{groupe}} = I_{\text{cellule}} + I_{\text{diode by pass}} \quad (\text{III.2})$$

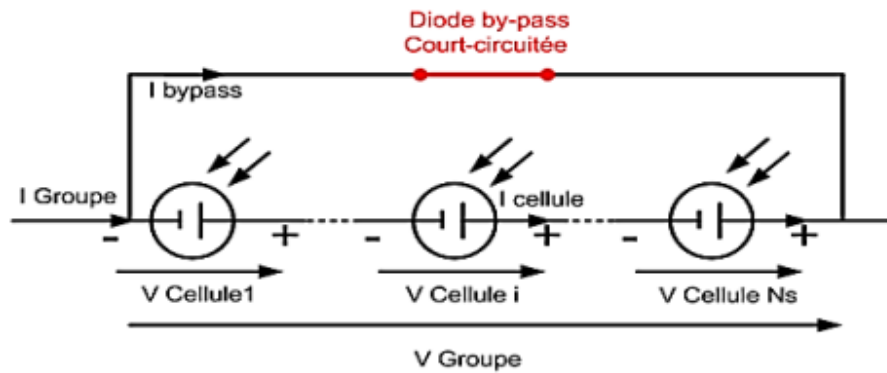


Figure III-2 Schéma d'un groupe de cellules PV avec diode by-pass court-circuitée

Les Figure III-3 et III-4 montrent quelques résultats d'un module lors défauts de diode de by-pass.

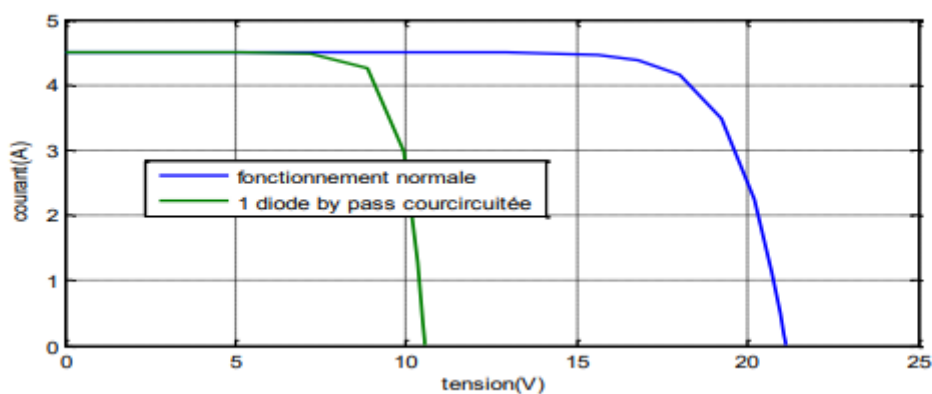


Figure III-3 Caractéristique I-V d'un module lors diode by-pass C.C

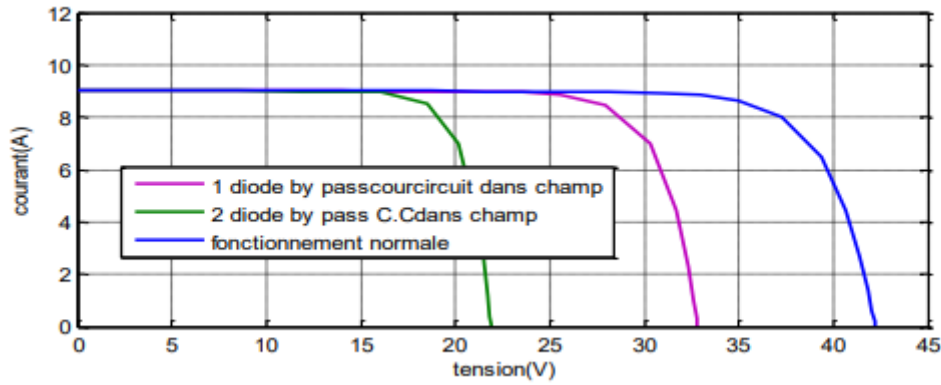


Figure III-4 Caractéristique I-V d'un champ lors diode by-pass C.C

Dans ce cas, un quart de la tension produite est perdue dans le module car il y a 2 diodes de by-pass dans un module. On peut remarquer que:

- Le courant de court-circuit est inchangé
- La tension de circuit ouvert diminue en fonction du nombre de diodes court-Circuit
- Diminution de la tension de circuit ouvert est facile à déterminer

III.5.2. Diode by-pass déconnectée :

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.

$$V_{\text{groupe}} = \sum V_{\text{cellules}} \quad (\text{III.3})$$

$$I_{\text{groupe}} = I_{\text{cellule}} \quad (\text{III.4})$$

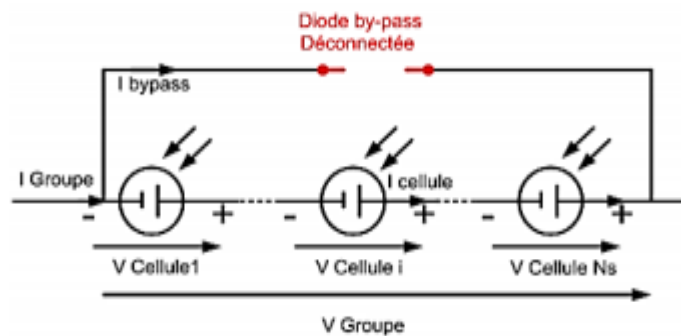


Figure III-5 Schéma d'un groupe de cellules PV avec diode by-pass déconnectée

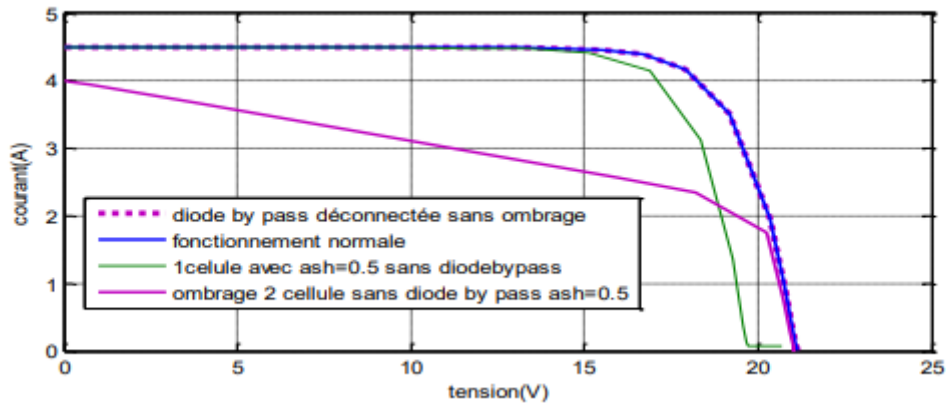


Figure III-6 Caractéristique I-V avec diode by-pass déconnectée

La Figure III-6 montre le comportement d'un module PV quand une diode by-pass est déconnectée. Lorsque le module est totalement éclairé (sans ombrage), aucune perte de tension ou de courant n'est apparue dans le module. Mais avec un ombrage, la perte en tension augmente en fonction de la croissance de l'amplitude de l'ombrage. Selon les résultats de simulation obtenus pour ce type de défaut on peut remarquer que :

- La tension de circuit ouvert est inchangée
- Le courant de court-circuit et le facteur de forme diminue fortement en fonction du nombre de cellules ombrées
- Déviation de pente par rapport à celle de la courbe normale

III.5.3. Diode by-pass inversée:

Le comportement d'un module PV quand une diode by-pass est inversée. Lorsque le module est totalement éclairé (sans ombrage), la diode by-pass est passante (la tension aux bornes du groupe de cellules est positive) dans cette situation, le quart de la tension du module est perdu. Dans le cas contraire (avec ombrage) la diode by-pass est bloquée, le module se comporte comme dans le cas où la diode by-pass est déconnectée. Selon les résultats de simulation obtenus pour ce type de défaut on peut remarquer que :

- La tension de circuit ouvert diminue en fonction du nombre de diodes inversées
- Le courant de court-circuit et le facteur de forme diminue fortement en fonction du nombre de cellules ombrées.

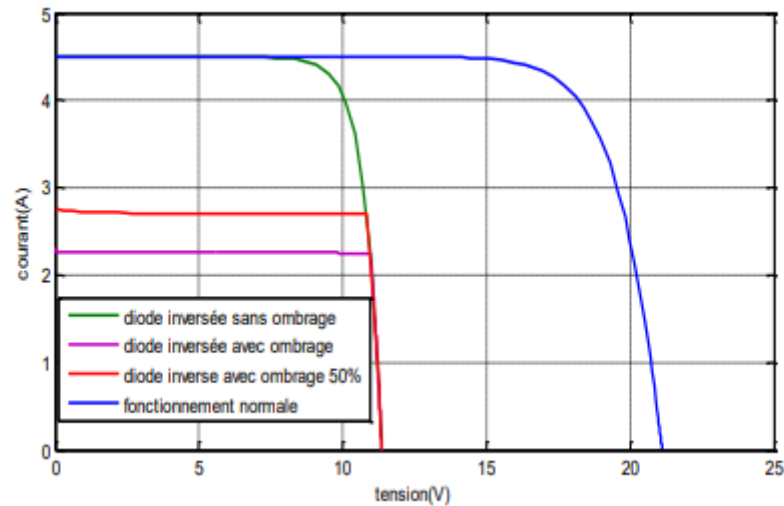


Figure III-7 Caractéristique I-V avec diode by-pass inversée

III.6. Défauts de la diode anti-retour :

La diode anti-retour a pour avantage de protéger le string PV contre le courant inverse. Le courant du string peut circuler dans les deux sens possible. Le sens du courant dépend de la différence de la tension du string et celle du champ PV (imposée). Dans le sens direct, le string fournit le courant à la charge. Par contre, dans le sens inverse le string absorbe le courant produit par les autres strings du champ. La Figure III-8, schématise les différentes situations de la diode anti-retour [53], comme le cas de diode by-pass en court-circuit et en circuit-ouvert

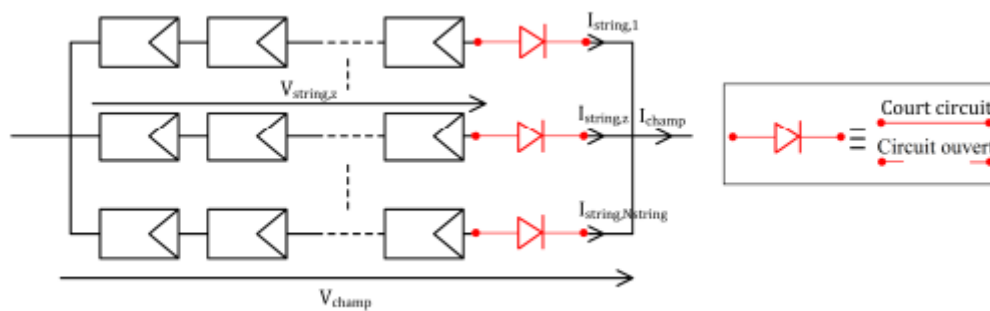


Figure III-8 Différentes situations de la diode anti-retour

III.6.1. Défaut de court-circuit :

Ce défaut n'a pas d'influence sur la caractéristique I-V du string, ni du champ PV, tant qu'il n'y a pas de mismatch. Les relations courant-tension du champ PV sont données par l'équation suivante [53] :

$$I_{\text{champ}} = N_{\text{string}} \times I_{\text{cellule}} \quad (\text{III.5})$$

$$V_{\text{champ}} = V_{\text{impose}} \quad (\text{III.6})$$

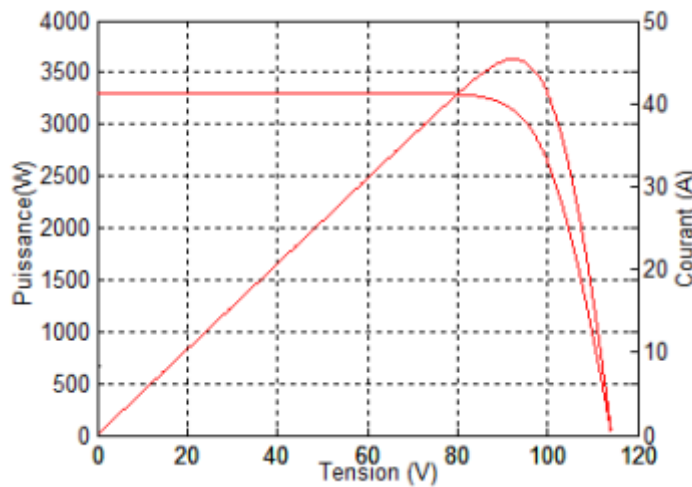


Figure III-9 Influence du court-circuit d'une diode anti-retour sur les caractéristiques I-V & P-V du champ PV

Défaut n'a pas d'influence sur la caractéristique I-V du champ tant que le string connecté à la diode anti-retour est en fonctionnement sain (sans mismatch).

III.6.2. Effet de la diode anti-retour en court-circuit sur la caractéristique I-V du champ en cas de mismatch :

Comme nous l'avons défini auparavant, la diode anti-retour se trouve au bout de chaque string. Lors de la mise en parallèle des strings, la contrainte d'égalité de la tension à leurs bornes s'applique. Dans cette situation, la diode anti-retour joue son rôle de protection, elle protège le string contre le courant inverse circulant dans le string. Pour une tension du champ imposée (tension de fonctionnement du champ PV), le courant débité par chaque string constituant le champ n'est pas forcément le même. Ceci est dû au défaut de mismatch

(caractéristiques I-V non identiques) qui se présente sur l'un des strings. Le string avec une tension plus faible que la tension du champ imposée devient forcément récepteur au lieu d'être générateur car la tension appliquée à ses bornes est supérieure à sa tension de circuit-ouvert (tension du string). Afin de visualiser l'effet de la diode anti-retour court-circuitée sur les caractéristiques I-V, on a procédé à la mise en parallèle de quatre strings de caractéristiques I-V identiques et un string de caractéristique I-V différente. La Figure III-10 illustre clairement cette démarche. Les relations régissant la caractéristique I-V du champ sont données par les équations suivantes [53] :

$$V_{\text{champ}} = V_{\text{imposéé}} \quad (\text{III.7})$$

$$I_{\text{champ}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{string}}} I_{\text{string},i} \quad (\text{III.8})$$

Avec :

$$I_{\text{string},i} = \text{interpolation}(V_{\text{champ}}, V_{\text{string},i}, I_{\text{string},i}) \quad (\text{III.9})$$

- Si la diode anti-retour est saine

$$I_{\text{string},i} = 0 \quad \text{Si} \quad V_{\text{string}} > V_{\text{string}_{\text{circuit-ouvert}}} \quad (\text{III.10})$$

- Si la diode anti-retour est court-circuitée

$$I_{\text{string},i} < 0 \quad \text{Si} \quad V_{\text{string}} > V_{\text{string}_{\text{circuit-ouvert}}} \quad (\text{III.11})$$

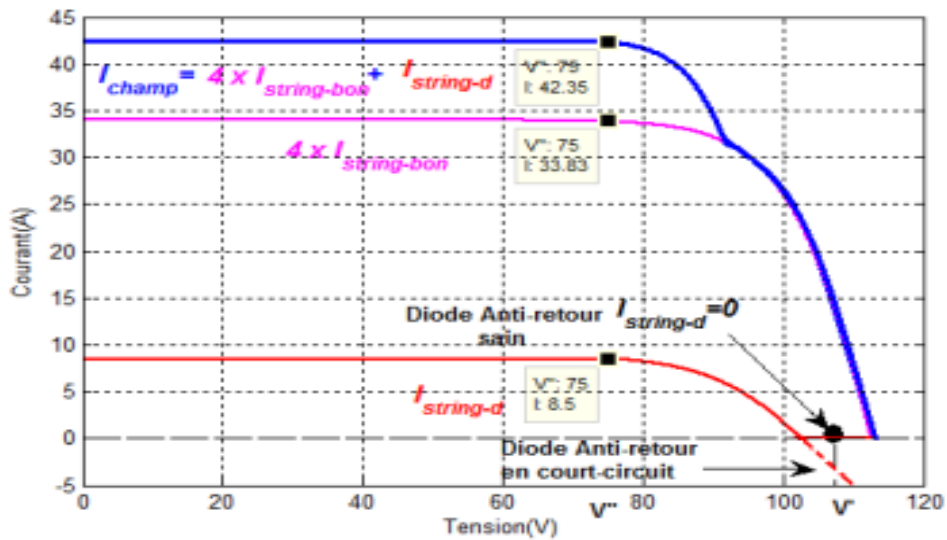


Figure III-10 Effet de la diode anti-retour en court-circuit sur la caractéristique I-V du champ PV sous mismatch

Figure III-10, montre que : pour une diode anti-retour saine, si la tension du champ est supérieure à la tension de circuit-ouvert du string, la diode anti-retour devient bloquée, ce qui empêche le courant débite par les quatre bons strings de circuler dans le string défectueux (string avec une tension faible). Mais si la diode anti-retour est court-circuitée, le string défectueux devient récepteur donc, dissipateur au lieu de générateur. Ce qui va diminuer nettement la puissance délivrée par le champ PV car le courant total du champ a diminué (courbe discontinue).

III.6.3. Défaut de circuit-ouvert :

Dans ce cas, la totalité du courant produit par le string est nulle puisqu'il s'agit d'une déconnexion de la diode anti-retour. Les relations courant-tension sont données par les équations suivantes [53] [54] :

$$V_{\text{string}} = V_{\text{modules}} \times N_{\text{groupes}} \times N_{\text{cellules}} \times V_{\text{cellules}_{\text{circuit-ouvert}}} \quad (\text{III.12})$$

$$I_{\text{string}} = 0 \quad (\text{III.13})$$

- Si le champ contenant au moins un string non défectueux alors :

$$V_{\text{champ}} = V_{\text{impose}} \quad (\text{III.14})$$

$$I_{\text{champ}} = \sum_{n_s}^{N_{\text{string}}} I_{\text{string}, n} \quad (\text{III.15})$$

Avec :

$$I_{\text{string}, n} = \text{Interpolation}(V_{\text{champ}}, I_{\text{string}, n}, V_{\text{string}, n}) \quad (\text{III.16})$$

La Figure III-11, présente la caractéristique I-V et P-V du champ photovoltaïque contenant une diode anti-retour en circuit-ouvert. La figure montre que ce défaut peut interrompre la circulation du courant via le string défectueux mais sa tension passe à son maximum. Aussi, il n'a pas d'influence sur la tension du champ qui contient au moins un string non défectueux par contre, son courant est proportionnellement inversé au nombre de diode anti-retour en circuit-ouvert (par conséquent diminution de la puissance).

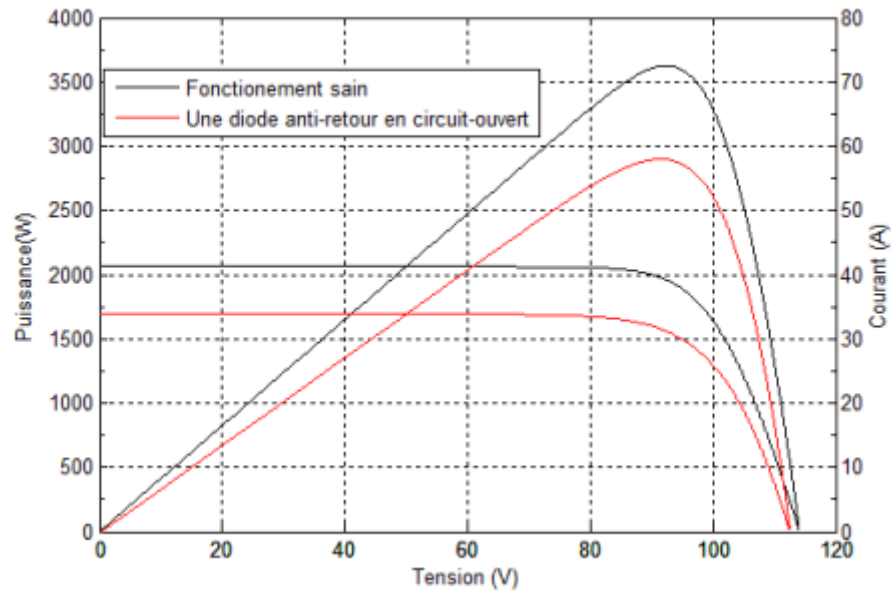


Figure III-11 Influence de la diode anti-retour en circuit-ouvert sur les caractéristiques I-V & P-V du champ PV

III.7. Défaut des convertisseurs DC-DC et DC-AC :

L'onduleur est un composant coûteux et complexe dans un système photovoltaïque. Les défauts qui sont majoritairement provoqués sur un onduleur sont :

- Non activité des onduleurs

L'irradiation insuffisante de l'éclairement (début ou la fin de la journée, neige, nuage) empêche le démarrage de l'onduleur, l'onduleur reste alors en attente de conditions extérieures favorables pour commencer à transformer de l'électricité solaire.

- Echauffement de l'onduleur

Dans des conditions de température élevée, par exemple l'onduleur installé dans un endroit non ventilé, son rendement diminuera, et sa durée de vie risque également de diminuer.

- Défauts des composants constituant le convertisseur DC-DC et DC-AC

On trouve la déconnexion des inductances et des capacités, le court-circuit et le circuit ouvert des diodes et des interrupteurs, et ceci conduit à une mauvaise extraction du PPM, et à la diminution de rendement de l'onduleur ou l'arrêt de l'onduleur complètement [55].

III.7.1. Configuration du system PV :

Notre système se constitue d'une DC source générée par un générateur photovoltaïque, et d'un Hacheur élévateur (Boost-inverter) pour but d'augmenté la tension de sortie du générateur PV et Satisfaire les conditions de sorties (Charge et raccordement vers le réseau).

Cette DC énergie doit être convertie en alternative (DC-AC) pour l'adapter au consommateur. Et Pour ce faire nous avons utilisé un onduleur à deux niveaux (c'est-à-dire un onduleur à 3 bras et Pour chaque bras deux IGBT).

Nous avons aussi choisis une charge d'ordre général pour représenter le consommateur et une Charge résistive-inductive pour représenter le réseau électrique.

Notre travail de recherche se concentre sur les deux convertisseurs statiques DC/DC et DC/AC Comme présentés dans la Figure III-12.

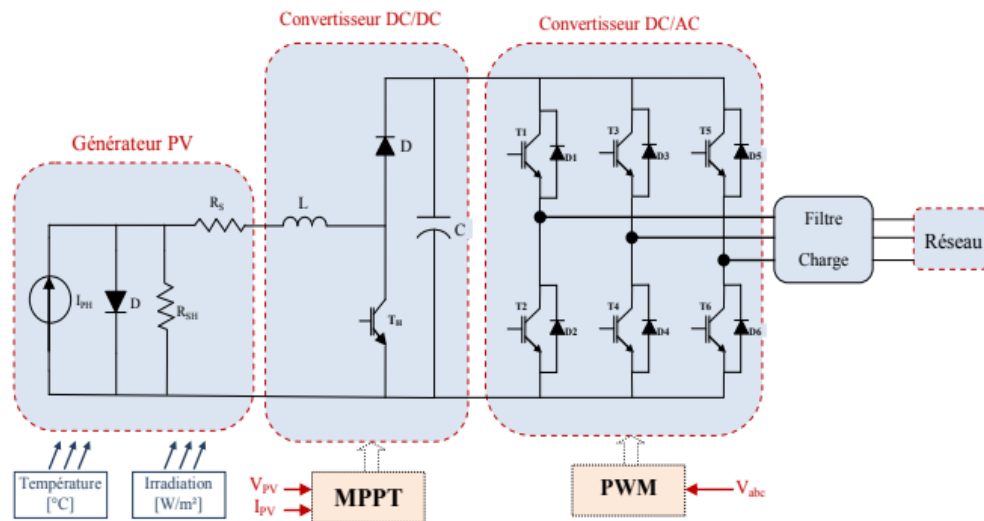


Figure III-12 Structure des convertisseurs statiques d'un système PV connecté au réseau.

- Pour faire la modélisation et la simulation de notre système PV, et ensuite le diagnostic de certains.
- Défauts considérés comme fréquents et importants à détecter et à localiser dans les convertisseurs

III.7.1.1. Hypothèse de défaut en circuit-ouvert (C.O) :

Lorsqu'un défaut de type circuit-ouvert est apparus dans un IGBT, il correspond à la défaillance en Circuit ouvert de l'IGBT pendant que la diode en antiparallèle reste saine et

continue à conduire le Courant. La réalisation physique d'un défaut circuit-ouvert ce fait par remplacer l'IGBT avec un switch à l'état ouvert, comme illustré dans la Figure III-13. En effet un IGBT peut être détecté en défaut de circuit ouvert lorsque la commande du l'IGBT est à L'état ouvert ($S=0$)

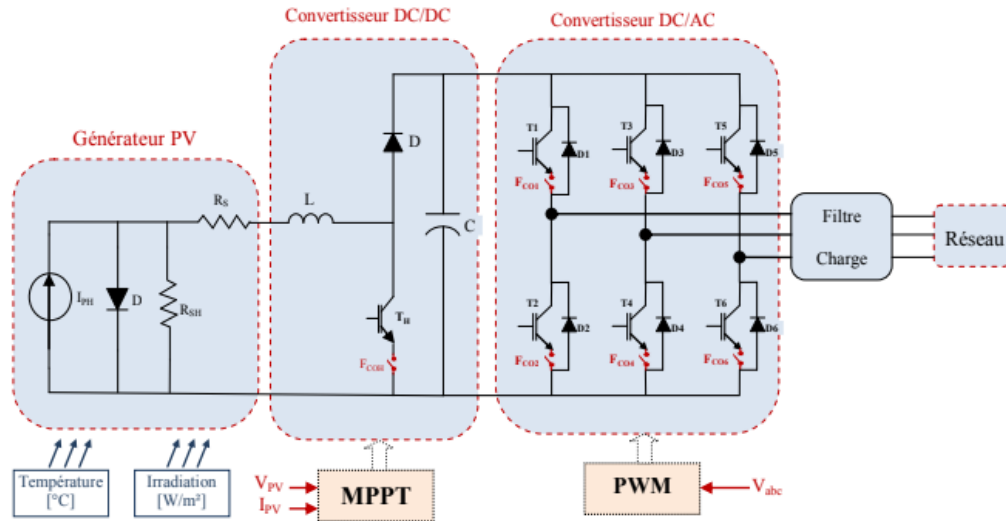


Figure III-13 Représentation électrique d'un dysfonctionnement, circuit-ouvert.

III.7.1.2. Hypothèse de défaut en court-circuit (C.C) :

Le défaut de court-circuit correspond à la défaillance en C-C d'un interrupteur (IGBT) dans l'un des Convertisseurs statiques (ou plus dans le cas de l'onduleur). L'hypothèse d'avoir ce type de défaut est illustré dans la Figure III-14. Et la réalisation physique d'un défaut court-circuit ce fait par remplacer l'interrupteur par un câble électrique ou un switch à l'état fermé, en parallèle avec l'IGBT, et qui permet de reproduire cette défaillance.

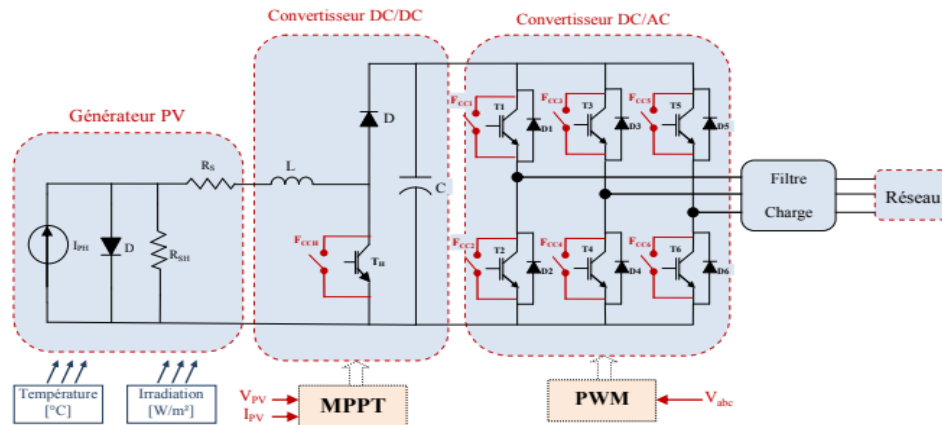


Figure III-14 Représentation électrique d'un dysfonctionnement, court-circuit.

III.7.2. Reconfiguration des défauts Hacheur :

La reconfiguration de notre système (Hacheur) nous permet une continuité de productivité de notre installation photovoltaïque en cas de présence d'un défaut (court-circuit et circuit-ouvert dans hacheur). Et l'amélioré en réduisant le taux d'indisponibilité, et cela on faisant fonctionner le système à une performance optimal. Il est donc important de modifier la structure de conversion (hacheur dans notre cas).

La reconfiguration de notre système est basée sur une redondance physique pour l'IGBT du convertisseur DC-DC. Cette solution est couteuse, mais efficace pour garantir la continuité de fonctionnement de notre système.

III.7.3. Les défauts d'onduleur :**III.7.3.1. Les défauts de la commande :**

Sont inclus dans la commande les capteurs et leur traitement ainsi que les boucles de contrôle en amont des drivers de l'onduleur. Les défauts de commande de l'onduleur étant étudiés dans le paragraphe suivant et considérés comme défauts de l'onduleur, les seuls défauts sont, au sens strict, les défauts des capteurs utilisés par la commande : offset, erreur de gain ou déconnexion.

Ils entraînent une dégradation des performances de la commande et l'apparition d'oscillations d'amplitude plus ou moins importante suivant le point de fonctionnement et le type du défaut [56].

III.7.3.2. Les défauts de l'onduleur :

Les défauts de l'onduleur consistent essentiellement dans le fonctionnement défectueux des composants de puissance et de la commande des semi-conducteurs [57].

III.7.3.2.1. Les défauts des semi-conducteurs de puissance

Les onduleurs de tension utilisés par la traction ferroviaire utilisent essentiellement les thyristors GTO et, depuis peu, les IGBT. La mise en défaut brutale du composant peut avoir plusieurs origines. Cependant, c'est essentiellement un phénomène thermique qui est la cause directe des destructions de composant, la température du silicium atteignant une valeur critique qui lui fait perdre ses capacités de semi-conducteur [58] - [59].

Les défauts de GTO se produisent :

- à l'ouverture : remise en conduction du fait d'un taux de montée de la tension directe trop important [58] - [60] ou échauffements localisés provoqués par la focalisation des lignes de courant [61].
- à la fermeture : si le taux de montée du courant est trop important et la gâchette et la cathode ne sont pas suffisamment interdigitées, il y a amorçage de seulement une partie de la cathode et donc un échauffement localisé se produit [58].
- pendant la conduction : si un surcourant circule pendant une durée ne respectant pas les critères de surcharge, il y a destruction thermique.
- pendant l'état bloqué : suite à une surtension, le composant est détruit par effet d'avalanche. Une circonstance aggravante est alors la température élevée du GTO.

Tous ces fonctionnements conduisent à une fusion du silicium : le thyristor GTO se comporte alors comme un interrupteur fermé idéal.

Les destructions de l'IGBT sont essentiellement dues à des surintensités, des surtensions ou des forts gradients de tension. Les mécanismes de destruction sont principalement la mauvaise dissipation des pertes et l'effet thyristor (dit "latching") qui consiste en l'amorçage incontrôlé du thyristor parasite inscrit dans la structure de l'IGBT [59] - [58] - [62]. A la différence du thyristor GTO, la destruction de l'IGBT en court-circuit est précédée par un régime de plateau durant lequel le courant est limité à une valeur fonction de la tension de gâchette, de la température et de la technologie [62] - [63]. Ce régime de plateau peut être figuré par la caractéristique idéale d'un IGBT présentée à la Figure III-15

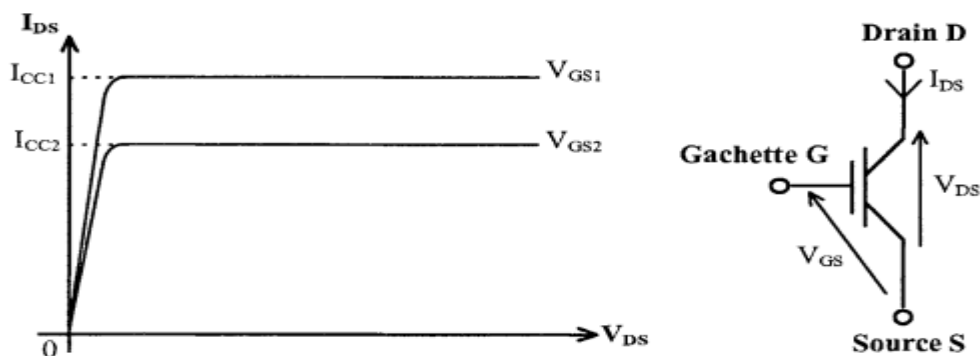


Figure III-15 régime de plateau d'un IGBT

La température tendant à diminuer la valeur du courant de plateau, l'allure du courant dans l'IGBT sera telle que celle représentée à la Figure III-16

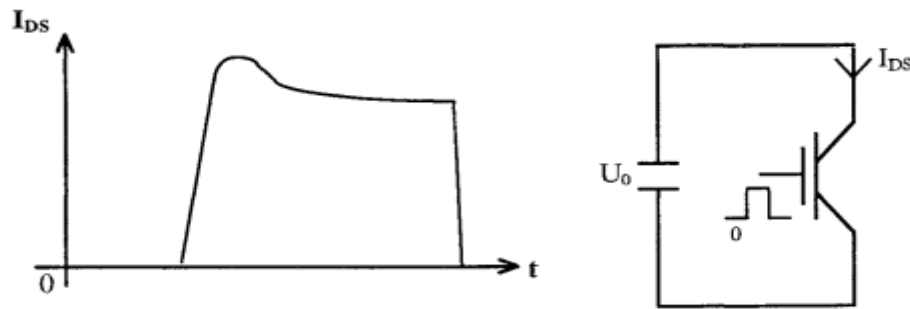


Figure III-16 allure schématique du courant de court-circuit d'un IGBT

L'IGBT ne pourra donc pas être assimilé à un court-circuit idéal (c'est à dire un fil). Un modèle spécifique devra être utilisé.

III.7.3.3. Les défauts de la commande de l'onduleur :

Si la logique de commande en amont des pilotes des interrupteurs de puissance est bonne, les fonctionnements anormaux de la commande de l'onduleur sont essentiellement dus à [64] - [65] - [66] :

- la rupture de la connexion entre le pilote et l'interrupteur qui est alors maintenu dans l'état précédant la rupture,
- l'inhibition du pilote suite à la détection d'un court-circuit (par surveillance de la tension de saturation par exemple) ou à une tension d'alimentation du pilote insuffisante. En supposant l'interrupteur sain, cette inhibition entraîne une ouverture du semi-conducteur qui se comporte alors comme un interrupteur ouvert parfait (aux courants de fuite près).

Les défauts de commande de l'onduleur auront des conséquences importantes sur le fonctionnement de l'association car ils modifient de manière fondamentale les conditions d'alimentation de la GPV

III.8. Méthodologie de détection de défauts au niveau de l'onduleur :

De nombreuses défaillances au niveau de l'onduleur peuvent se produire comme des problèmes de court-circuit, de circuit-ouvert, de tension de réseau ou bien des problèmes de puissance. Généralement, dès qu'un de ces problèmes est détecté, cela peut venir d'une

mesure du bus alternatif défaillante, nous effectuons la mesure de puissance du bus continu et la mesure de puissance du bus alternatif. En évaluant le rendement de l'onduleur, si celui-ci est inférieur à 80 %, plusieurs analyses et identifications de défauts sont possibles :

- Un problème de puissance active est identifié si la mesure du courant alternatif et la mesure de la tension alternative sont nulles ;
- Un problème de circuit ouvert est identifié si la mesure du courant alternatif est nulle et la mesure de la tension non-nulle ;
- Un problème de court-circuit est identifié si la mesure de la tension alternative est nulle et la mesure du courant alternatif non-nulle ;
- Un problème de haute ou de basse tension apparaît si la tension alternative dépasse la tolérance autorisée ($230 \text{ V} \pm 10\%$) ;
- Si aucun défaut ne correspond aux identifications précédentes, une anomalie est quand même signalée à l'utilisateur.

III.9. Choix des types de défauts étudiés :

Parmi le grand nombre des défauts présentés, un choix a été fait d'après les critères suivants :

1. Fréquence d'apparition du défaut.
2. Importance des conséquences du point de vue de la sécurité et des dommages causés.
3. Représentativité du défaut vis à vis de l'ensemble des fonctionnements défectueux possibles.
4. Intérêt des défauts pour la mise au point des modèles.

En définitive, les défauts sélectionnés ont été :

1. Les défauts de court-circuit des interrupteurs de l'onduleur de tension du fait de leur fréquence d'apparition non nulle et de leurs conséquences sur la transmission mécanique.
2. Le court-circuit triphasé de la machine qui est une conséquence possible (et probable) des défauts de l'onduleur.
3. Le défaut de fermeture des interrupteurs de l'onduleur (qui se comportent alors comme des circuits ouverts) C'est un défaut souvent présenté dans la littérature qui ne conduit pas à des

niveaux de contraintes élevés pour la chaîne de traction. Cependant, ses conséquences sont si remarquables (perte d'une alternance du courant de la phase défectueuse) qu'il peut être utile pour une première validation des modèles.

Les modes de fonctionnement défectueux étudiés seront alors le résultat de l'apparition d'un ou plusieurs de ces défauts.

III.10. Principes de l'étude des régimes de défauts :

L'objectif premier de l'étude des régimes de défaut est d'assurer à terme sa sûreté de fonctionnement. Cet objectif est atteint lorsque sont connus les éléments du dimensionnement du système qui assurent sa fiabilité dans une plage de fonctionnement donnée (ou tout au moins l'absence de conséquences irrémediables lors d'une mise en défaut), et des stratégies de diagnostic qui permettent d'accroître la disponibilité par la possibilité d'une maintenance plus rapide ou de modes dégradés de fonctionnement.

L'élaboration d'un cahier des charges Respectueux de la sûreté de fonctionnement ne pourra se faire sans la connaissance a priori du système défectueux et donc, sans un modèle d'étude. D'autre part, les méthodes de diagnostic, Qu'elles soient basées sur la modélisation ou la connaissance du système, ont aussi le plus souvent recours à des modèles plus ou moins complexes des procédés.

Les propos de cette partie concernent donc essentiellement les modèles d'étude des associations onduleur et les méthodes d'analyse des fonctionnements défectueux sur la base de ces modèles. Les approches Proposées seront classiques et donneront lieu finalement à une discussion sur leur nécessaire dépassement vers des modèles et méthodes plus aptes à l'étude des régimes de défauts.

III.11. Conclusion :

Dans ce chapitre on a vu la majorité des défauts et anomalies qui peuvent apparaître dans une installation photovoltaïque, et les méthodes de diagnostic servant à la localisation et la détection de ses défauts. Ainsi on a présenté spécifiquement les deux défauts (Court-Circuit et Circuit-Ouvert) dans les convertisseurs statiques (DC/DC et DC/AC).

Chapitre IV :

Simulation et évaluation des résultats

IV.1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats obtenus, à l'aide de logiciel Matlab. En utilisant la bibliothèque d'outils Simulink, nous pouvons simuler notre environnement. Cela crée une erreur consistant à modifier l'irradiation et à lui donner des valeurs différentes et on note le résultat. En plus de créer des erreurs comme un court-circuit et un circuit ouvert sur le convertisseur DC-DC et le convertisseur DC-AC, on note la différence dans la sortie de simulation, en particulier la valeur de puissance, la différence de tension et l'intensité du courant.

IV.2. Simulation du générateur photovoltaïque :

IV.2.1. Schéma de simulation:

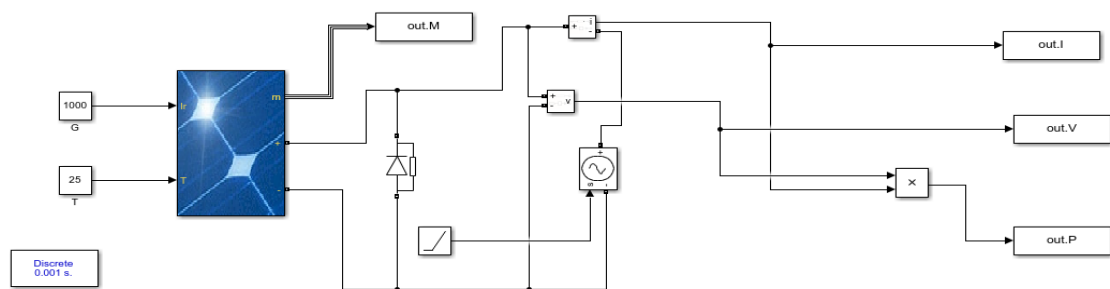


Figure IV-1 Schéma de simulation de champ photovoltaïque

IV.2.2. Résultat de simulation:

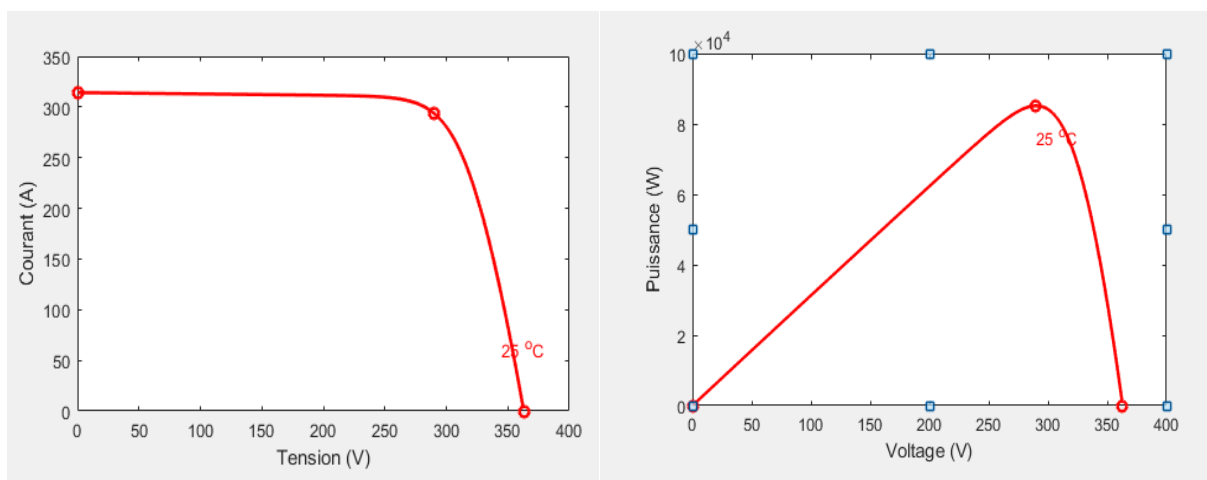


Figure IV-2 Caractéristique I-V d'une cellule PV est P-V d'une cellule PV

La figure ci-dessous représente la courbe $I = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température. La puissance délivrée par la cellule a pour expression $P = V.I$. Pour chaque point, on peut calculer la puissance P et tracer la courbe $P = f(V)$.

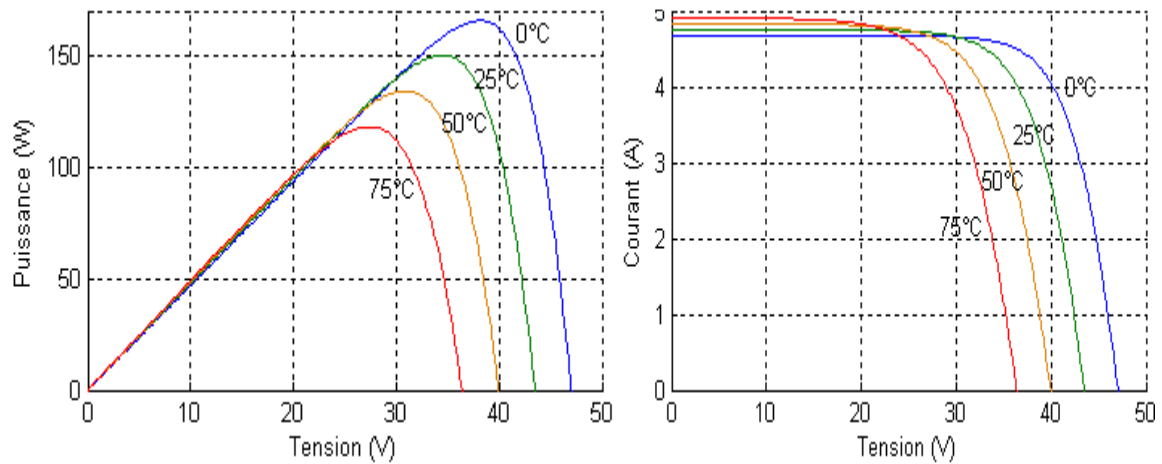


Figure IV-3 Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) du module en fonction de la température

Quand la température diminue, la tension à vide augmente, mais le courant de court-circuit diminue dans des proportions moindres (Figure. 3). La diminution du courant de saturation est la principale cause de la chute de courant à basse température.

IV.3. Simulation hacheur :

IV.3.1. Schéma de simulation :

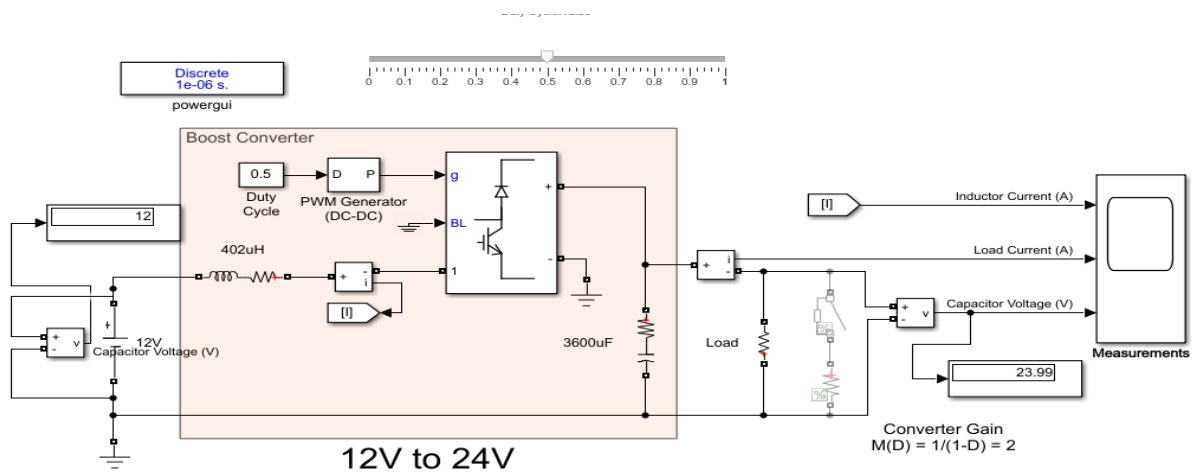


Figure IV-4 Schéma de simulation d'un hacheur boost

IV.3.2. Résultat de simulation:

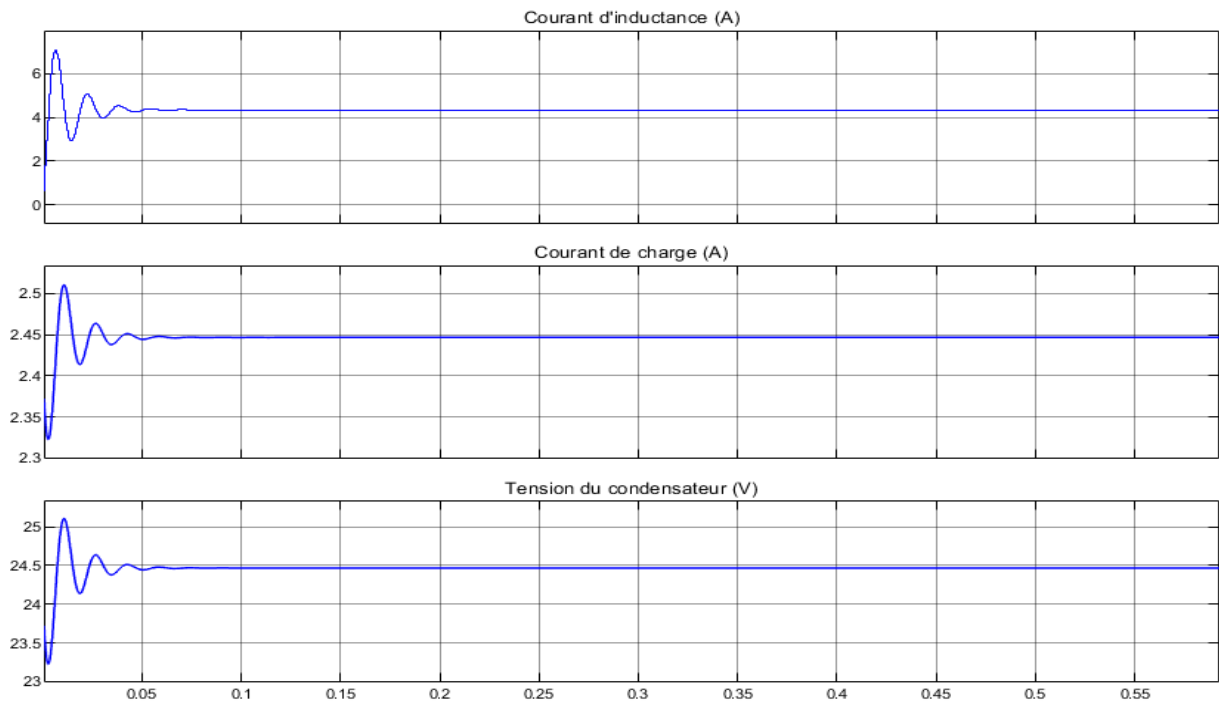


Figure IV-5 Inducteur est courant de charge plus la tension de sortie de convertisseur Boost

Le résultat montre une perturbation dans le régime transitoire puis il se stabilise dans le régime permanent. $V=24\text{V}$, courant d'inductance $=4\text{A}$, courant de charge $=2.4\text{A}$

IV.4. Simulation de l'onduleur :

IV.4.1. Schéma de simulation :

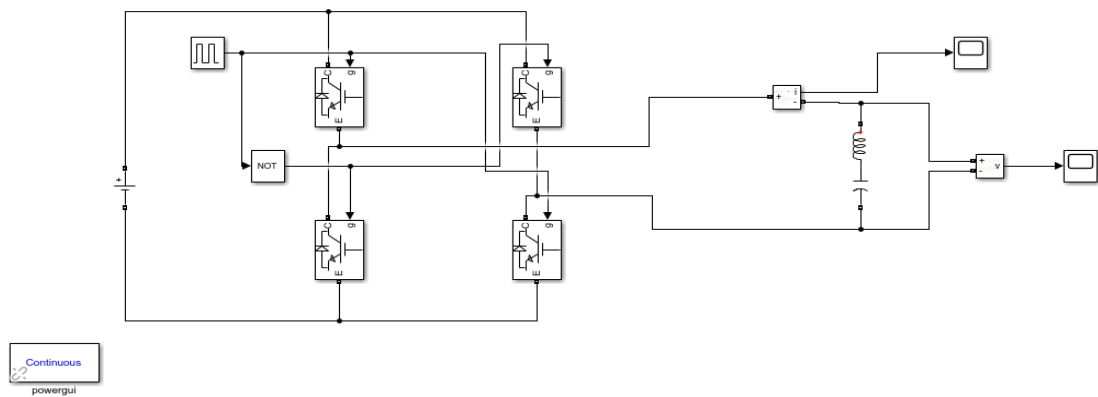


Figure IV-6 Schéma électrique d'un onduleur DC-AC à base IGBT

IV.4.2. Résultat de simulation:

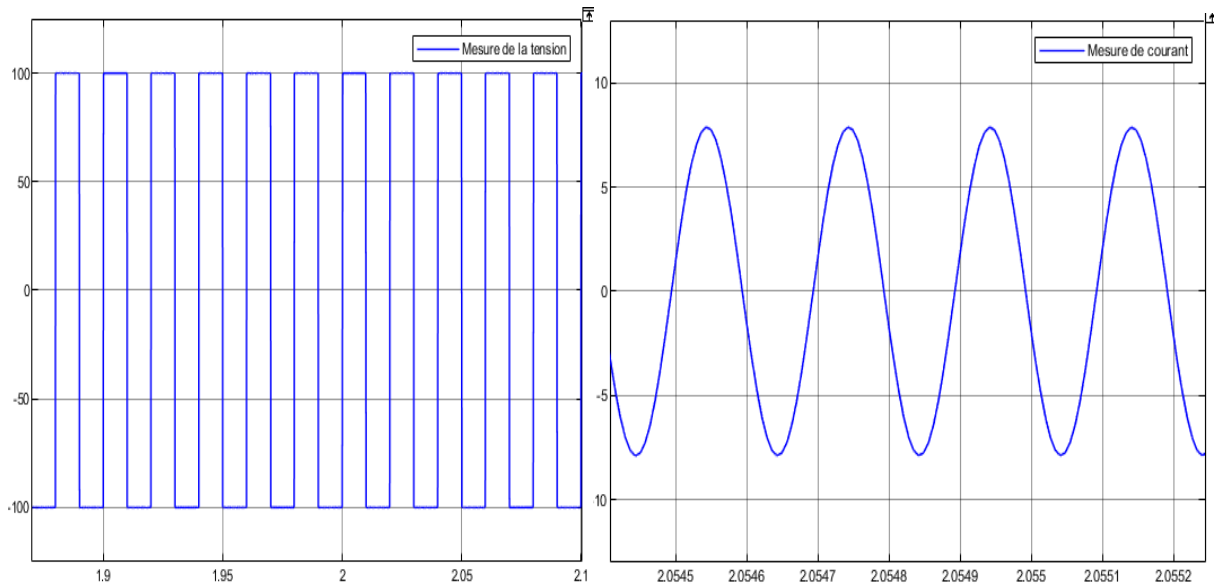


Figure IV-7 Un graphique représentant les changements d'intensité de courant, différence de potentiel en fonction du temps, dans l'onduleur.

- Le graphe à gauche représente la tension de l'onduleur $u(t)$ passant du positif au négatif (rectangle). La valeur maximale est $V_{ond} = 100V$.
- l'autre graphe représente le courant de l'onduleur $i(t)$. Le courant peut être positif lorsque la tension est à la fois positive et négative de sorte qu'elle prend la forme d'une sinusoïde.

IV.5. Simulation du system photovoltaïque :

IV.5.1. Schéma de simulation:

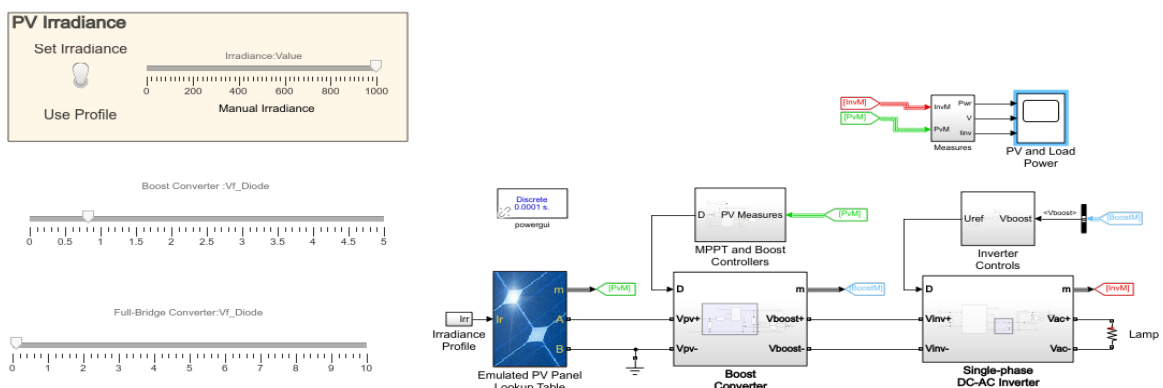


Figure IV-8 Schéma électrique global PV

IV.5.2. Résultat de simulation:

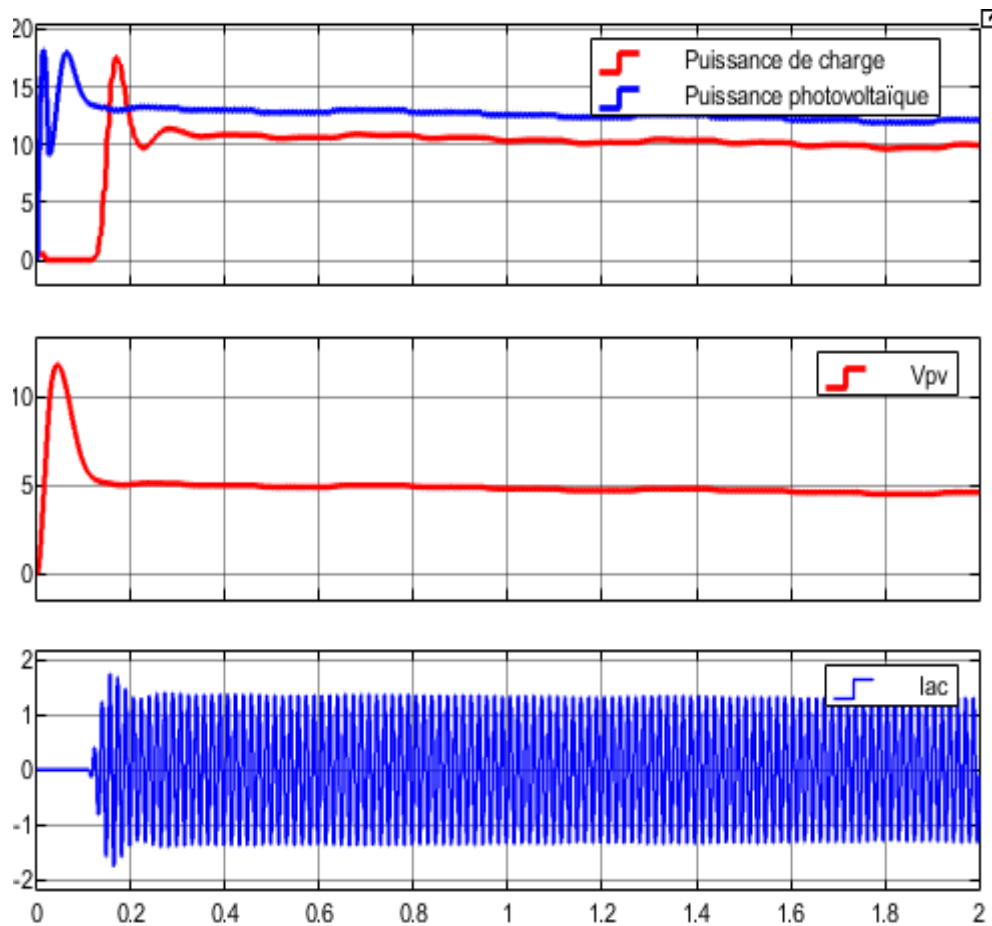


Figure IV-9 Courbes de résultats de simulation PV en mode normal

En mode normal avant d'ajouter des défauts :

Dans la première courbe, on remarque dans la courbe de P_{pv} qui part de 0 pour monter jusqu'à la valeur 18W, puis descend à 10W, puis remonte pour s'établir à 13 W, et la courbe de P_{load} entre le temps 0s et 0,1s est nulle , puis monte à la valeur 18 puis redescend et se stabilise à 10 W

Dans la courbe de V_{pv} , on remarque que la valeur de la tension monte de 0 à 12 volts en 0,1 seconde puis redescend à 5 volts et y reste constante La courbe du courant entre l'instant 0s et 0,15s est nulle puis change selon une fonction sinusoïdale.

IV.6. Simulation défaut du générateur photovoltaïque :

IV.6.1. Schéma de simulation:

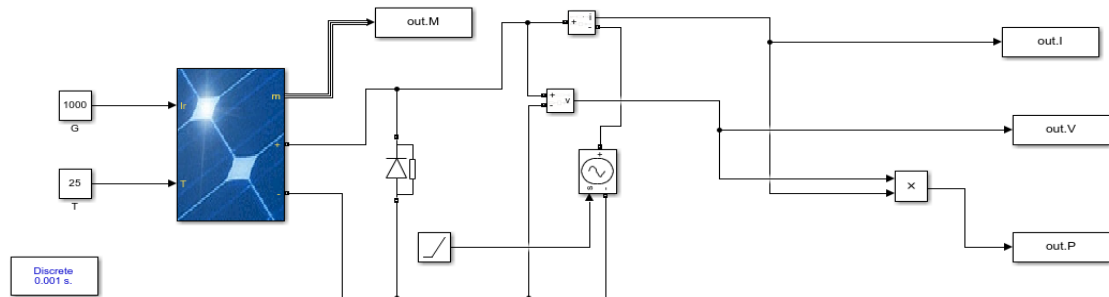


Figure IV-10 Schéma de simulation de champ photovoltaïque

IV.6.2. Résultat de simulation:

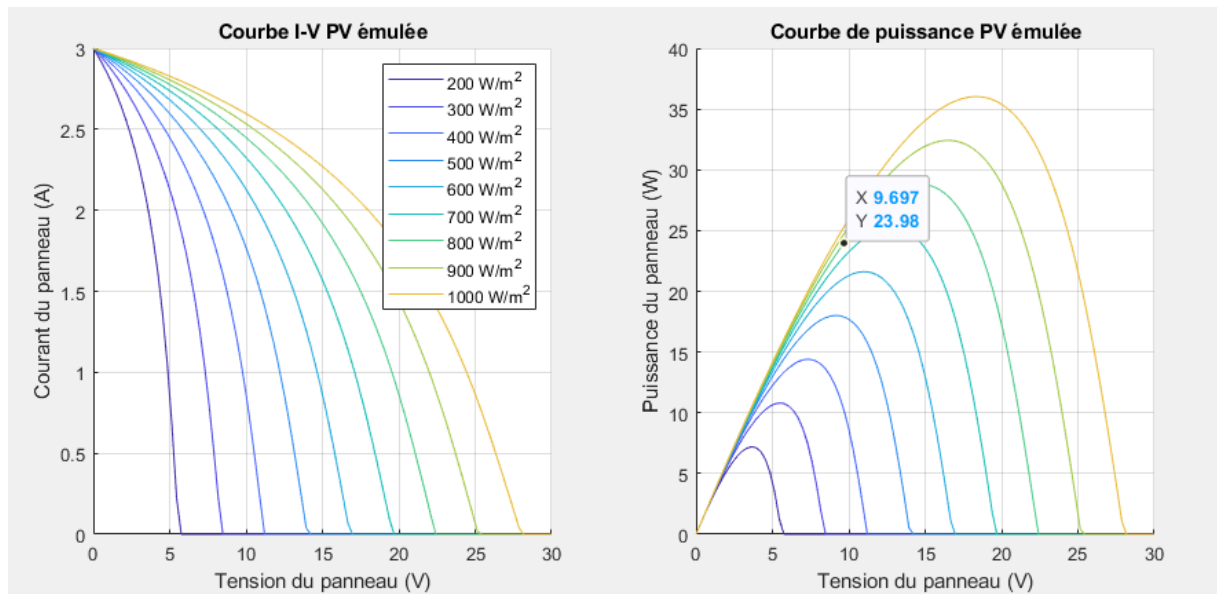


Figure IV-11 Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) du module en fonction de l'irradiation

La tension varie directement avec le rayonnement lumineux (la relation est proportionnelle), le courant reste relativement constant. On remarque dans la figure que la tension optimale est très sensible à l'éclairement, par contre le courant optimal varie très peu avec l'éclairement.

IV.7. Défaut circuit-ouvert dans le hacheur :

$$V_{IGBT} = 5V$$

(IV.1)

IV.7.1. Schéma de simulation :

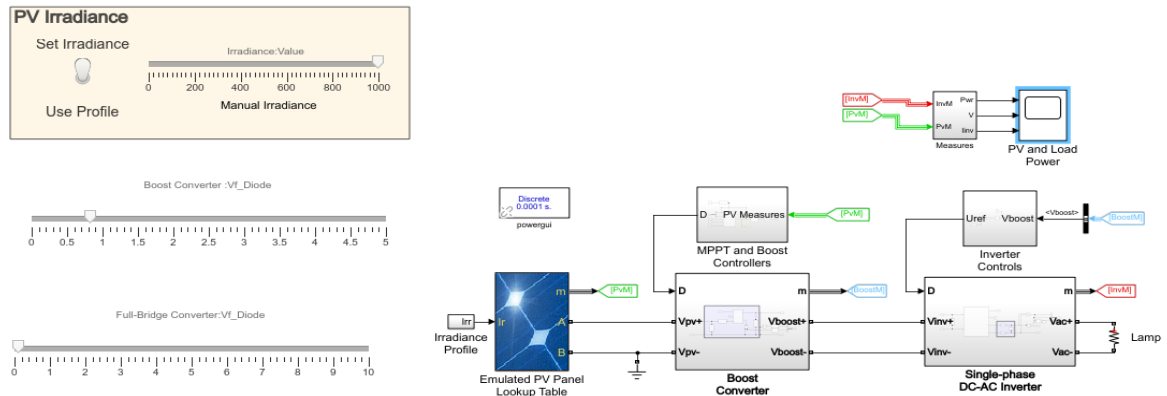


Figure IV-12 Schéma électrique global PV

IV.7.2. Résultat de simulation:

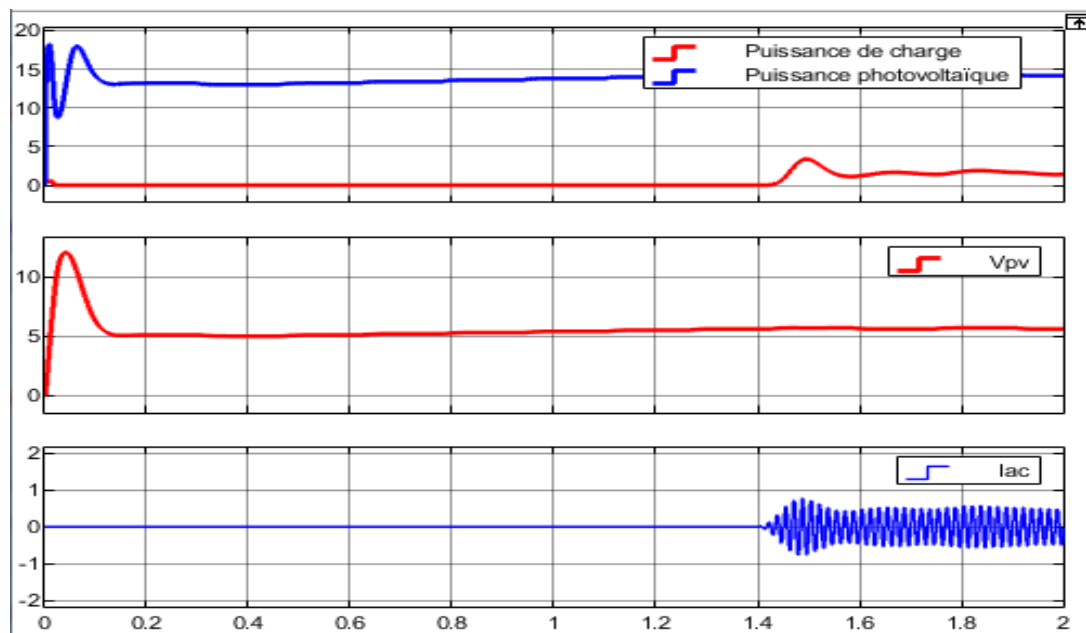


Figure IV-13 Compensation du défaut de type circuit-ouvert du convertisseur

DC-DC

-En circuit ouvert, on remarque un changement de la valeur de P_{pv} , qui part de 0 watt et monte à 18 watts, puis redescend à la valeur de 9w et remonte à 18 watts, puis redescend à la

valeur de 13 w et s'y installe. Quant à la valeur de Pload, est constaté son absence entre 0 seconde et 1,4 s, puis elle monte à une valeur de 4 w et s'installe à environ 2 w.

- Dans la deuxième courbe de V_{pv} , on remarque une évolution de sa valeur, partant de 0 volt pour atteindre 12 volts, puis elle descend à 5 volts et s'y fixe.
- Dans la troisième courbe d' i_{ac} on observe entre 0 et 1,4 nul puis on prend une fonction sinusoïdale.

IV.8. Défaut court-circuit dans l'hacheur :

$$V_{IGBT} = 0V$$

(IV.2)

IV.8.1. Résultat de simulation :

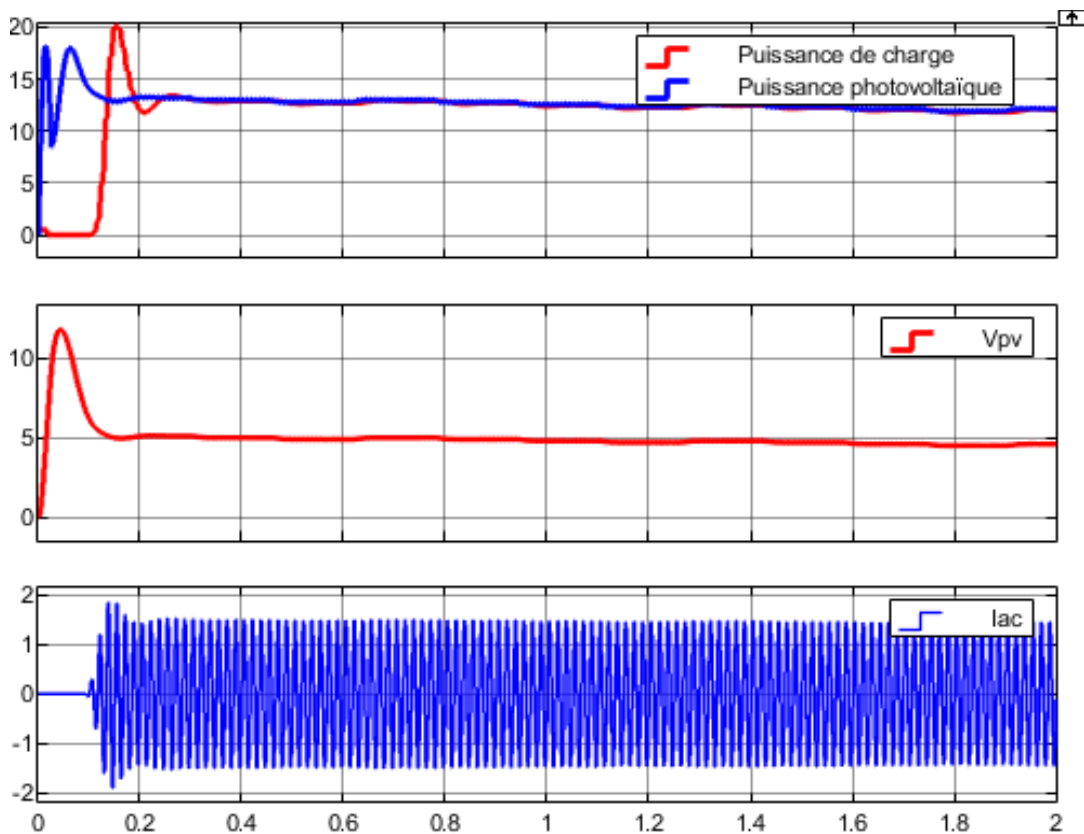


Figure IV-14 Compensation du défaut de type court-circuit du convertisseur DC-DC

- En cas de court-circuit, on constate dans la première courbe un décalage de la valeur de puissance de PV, puis elle se stabilise à la valeur $P_{pv} = 13$ w. Quant à la valeur de Pload, elle est nulle entre 0 et 0,1 seconde, puis il monte à la valeur 20W, puis il redescend pour se fixer à la valeur 13 watts.

- Dans la deuxième courbe, on remarque que la valeur de V_{pv} augmente de 0 à 12 puis diminue pour stabiliser à 5 volts.
- Dans la troisième courbe, entre les instants 0s et 0,1s, il n'y a pas de courant, puis sa valeur change selon la fonction sinusoïdale.

IV.9. Défaut circuit-ouvert et l'irradiation dans le hacheur :

$$V_{IGBT} = 5V, I_{rr} = 400W/m^2$$

(IV.3)

IV.9.1. Résultat de simulation:

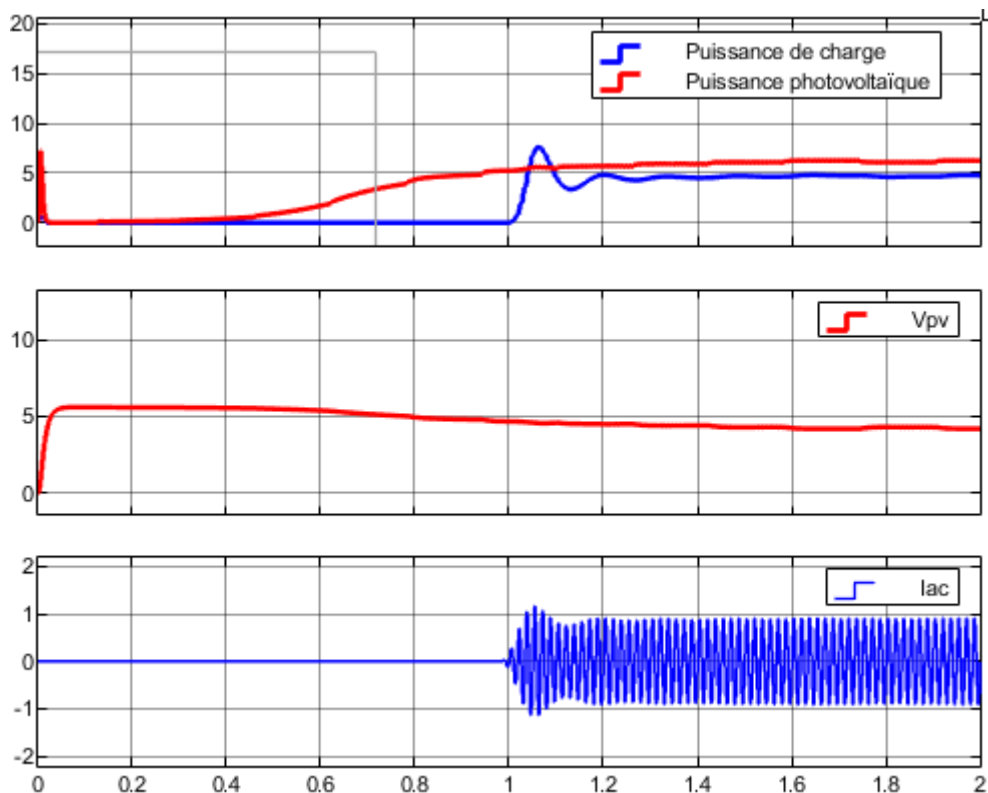


Figure IV-15 Compensation du défaut de type circuit-ouvert et l'irradiation du convertisseur DC-DC

- Dans le défaut court-circuit et l'irradiation on voit une évolution de la valeur P_{pv} jusqu'à 5W, sa valeur est absente entre le temps 0 et 0.4, puis sa valeur monte à 6W, la valeur de P_{load} n'est pas présente entre 0 et 0.9 secondes, puis elle monte à 10W et diminue à 6W et s'y stabilise.
- Dans la deuxième courbe, la valeur de la tension augmente de 0 à 6 V puis diminue légèrement pour atteindre 4.5 V.

- Dans la troisième courbe de l'intensité du courant I_{ac} entre 0 et 0,9 s il est nul et prend alors une fonction sinusoïdale.

IV.10. Défaut circuit-ouvert dans l'onduleur :

$$V_{IGBT} = 10V$$

(IV.4)

IV.10.1. Résultat de simulation :

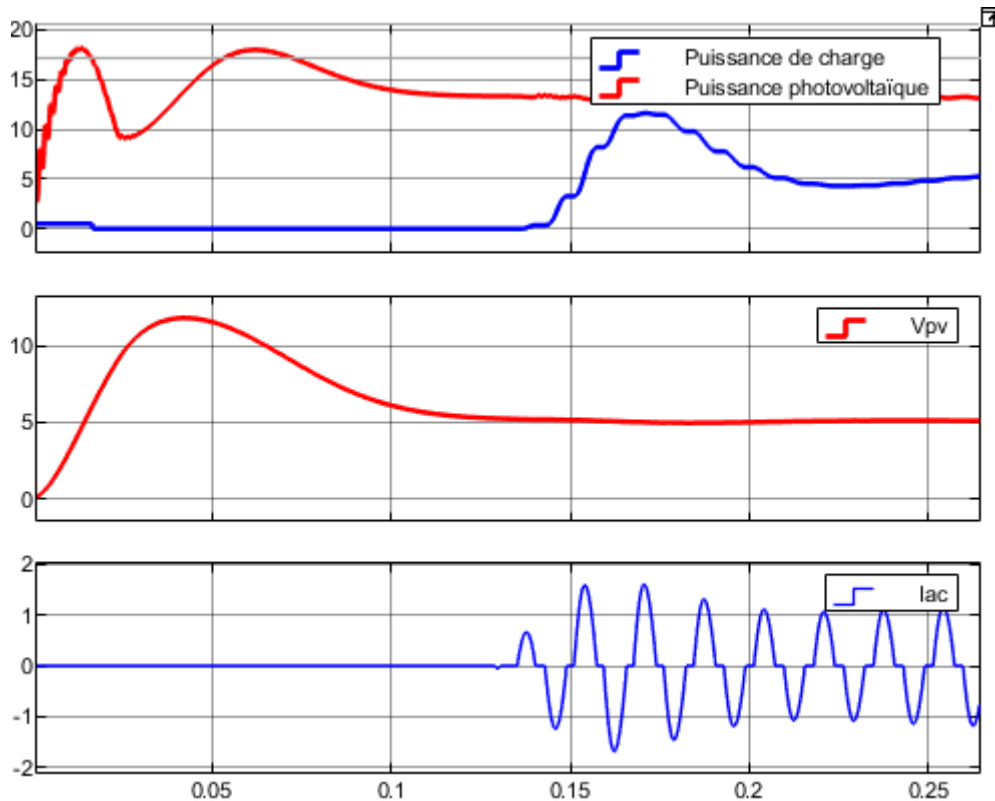


Figure IV-16 Compensation du défaut de type circuit-ouvert du convertisseur DC-AC

- En circuit ouvert, on remarque un changement de la valeur de P_{pv} , qui part de 0 watt et monte à 18 watts, puis redescend à la valeur de 9 w et remonte à 18 watts, puis redescend à la valeur de 13 w. Quant à la courbe P_{load} , on remarque l'absence de P_{load} entre 0 et 0,15 seconde, puis elle monte à 12 watts, puis elle redescend à une valeur égale à 5 watts pour s'y installer.
- Dans la deuxième courbe des baies, on remarque que la valeur de la tension V_{pv} monte de 0 à 12 volts, puis elle redescend à 5 volts et s'y stabilise.
- Dans la troisième courbe liée à l'intensité du courant, on remarque qu'entre 0 et 0,14 seconde il n'y a pas de courant, puis il passe à une fonction sinusoïdale, constatant l'absence de tension entre les ondes négatives et positives avec un temps estimé à 0,005 seconde.

IV.11. Défaut court-circuit dans l'onduleur :

$$V_{IGBT} = 0V$$

(IV.5)

IV.11.1. Résultat de simulation :

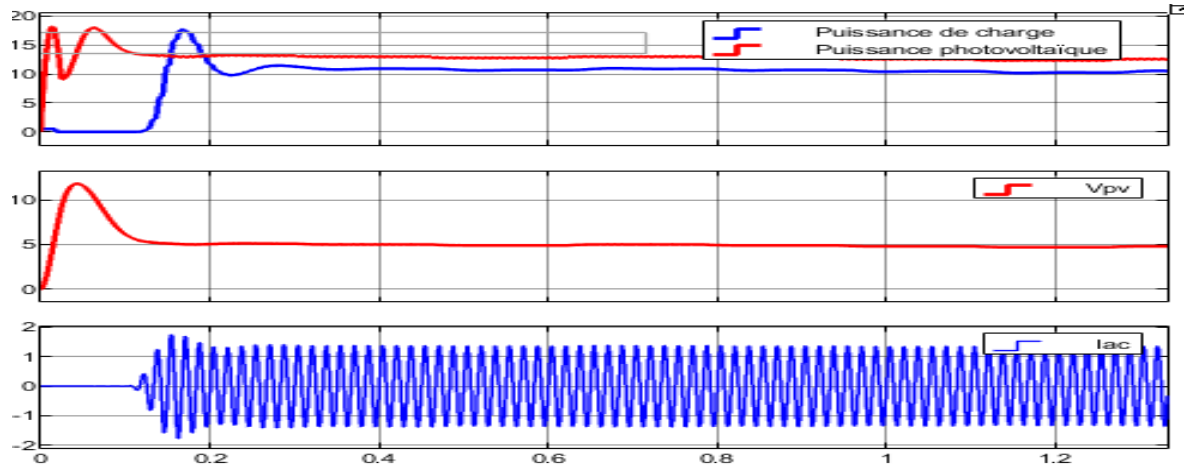


Figure IV-17 Compensation du défaut de type court-circuit du convertisseur DC-AC

- Dans le cas d'un court-circuit, on remarque dans la première courbe une variation de la valeur de PV, puis elle se stabilise à la valeur $P_{pv} = 13 \text{ w}$, Quant à la valeur de Pload entre l'instant 0 et 0.15s, elle est nulle, puis elle évolue pour monter à environ 16 volts puis décroît pour s'établir à 10 volts.
- Dans la deuxième courbe, on remarque la montée de la valeur de V_{pv} de 0V à 12V, puis elle diminue pour se stabiliser à 5 volts.
- Dans la troisième figure, entre les instants 0s et 0.15s, il n'y a pas de courant, puis sa valeur change selon une fonction sinusoïdale.

IV.12. Conclusion :

Le travail dans ce chapitre avait pour objectif la détection et le diagnostic des défauts dans les convertisseurs DC/AC et DC/DC, les différents états de commutations des interrupteurs ont été exploités dans l'objectif d'étudier l'impact de la présence d'un défaut sur les performances du convertisseur statique. Dans notre étude deux types de défauts ont été considérés : le défaut circuit-ouvert et le défaut court-circuit, pour cela nous avons créé des scénarios de défauts interrupteurs afin d'analyser les conséquences.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le développement d'une méthode pour la détection et la localisation de défauts dans un système photovoltaïque, soit raccordé au réseau électrique ou non, permet de réduire les coûts de maintenance et surtout augmente sa productivité. Tout au long de ce travail, nous avons présenté une méthode simple et efficace pour la détection et la localisation des deux défauts majeurs et fréquents dans un système photovoltaïque, c'est-à-dire le défaut circuit-ouvert et le défaut court-circuit des interrupteurs électroniques (IGBTs) dans les deux convertisseurs statiques, Hacheur (DC-DC) et Onduleur (DC-AC).

Ainsi, la méthode est basée sur l'évaluation des indicateurs des courants pour l'onduleur et de la tension du bus continu pour le Hacheur et la définition de certains seuils pour les deux grandeurs (courant et tension) qui peuvent aider à identifier et localiser les défauts dans la chaîne de conversion du système photovoltaïque.

La méthode de détection et de localisation des défauts définie dans notre travail, présente beaucoup d'avantages si on la compare avec les autres techniques existantes. Tout d'abord, elle est très simple et ne demande pas trop de calculs. Elle permet de détecter les deux types de défauts (circuit-ouvert et court-circuit) est cela grâce aux seuils choisis.

La méthode proposée a été validée numériquement sous logiciel Matlab/Simulink, et les résultats obtenus ont montrés son efficacité. Pour permettre d'assurer la continuité de service en cas de panne dans le système de conversion PV, notamment en cas de défauts de circuit-ouvert ou court-circuit dans les interrupteurs électroniques (IGBTs) du convertisseur statique DC-DC, mais très efficace pour garantir la continuité de fonctionnement des systèmes photovoltaïques. Les travaux futurs de cette méthode sont destinés à améliorer plus ses performances, et augmenter d'avantage le taux de détection, et également réduire d'avantage l'erreur de détection.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] I. M. Abdelmoumene and K. M. Abderrahmane, “Poursuite du point de puissance Maximale d’un système photovoltaïque,” Mémoire de Master, 2016.
- [2] Production d’énergie électrique : Energie Solaire Photovoltaïque, Revue Energie solaire
- [3] REPORT CITATION REN21. 2021. Renewables 2021 Global Status Report (Paris : REN21 Secretariat). ISBN 978-3-948393-03-8
- [4] Annales de l’université de Béchar des Sciences Economiques Vol : 07, N°1 ISSN 2676-1513
- [5] Frederic Jay. Nouveaux substrats de silicium cristallin destinés aux cellules photovoltaïque à haut rendement : cas du silicium mono-like et du dopage aux donneurs thermiques liés à l’oxygène pour les cellules à hétérojonction de silicium. Génie des procédés. Université Grenoble Alpes, 2016.
- [6] Siwar Fadhel. Efficacité énergétique et surveillance d’un microgrid à courant continu alimenté par des panneaux photovoltaïques. Energie électrique. Université Paris-Saclay ; Ecole Nationale d’Ingénieurs de Sousse (Tunisie), 2020.
- [7] Energie Online (energy-online.fr)
- [8] <http://www.foad.uadb.edu.sn/mod/book/view.php?id=2448&chapterid=1520>
- [9] Electricity from Sunlight: “An Introduction to Photovoltaics” (Hardcover), Paul A. Lynn, John Wiley & Sons, 2010
- [10] N Wyrsh, M Goerlitzer, N Beck, J Meier, A Shah, “Transport Properties of Compensated $\mu\text{c-Si: H}$ ”, MRS Symp., 1996 - infoscience.epfl.ch
- [11] T. Boutaba. Contribution à la modélisation et à la commande d’un système de génération hybride Solaire-Eolien. Thèse de Doctorat, Université abbès laghrour -khenchela-, 2018.
- [12] Abdelkarim Ghezel, aspects techniques des projets solaires pv raccordés au réseau. Formation sur les études de faisabilité technico- économique des projets photovoltaïques raccordées au réseau.

Bibliographie

- [13] Zrinski, Yvonne Booth « Planning and Installing Photovoltaic Systems », A guide for installers, architects and engineer, second edition, 2008.
- [14] M. MUSTAPHA BELARBI, « Contribution à l'étude d'un générateur solaire pour site autonome », Thèse de Doctorat, UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN, 2015.
- [15] P. Rodrigo, E. F. Fernández, F. Almonacid, and P. J. Pérez-Higueras, "Models for the electrical characterization of high concentration photovoltaic cells and modules: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 26, pp. 752–760, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.06.019.
- [16] Long Bun. Détection et localisation de défauts pour un système PV. Autre. Université de Grenoble, 2011.
- [17] Anouar, B. E. N. N. A. C. E. U. R., & Imadeddine, B. O. U. D. E. R. B. A. L. A. (2019). Étude et modélisation des défauts d'un générateur photovoltaïque (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
- [18] Abouda, S. (2015). Contribution à la commande des systèmes photovoltaïques : application aux systèmes de pompes (Doctoral dissertation, Reims).
- [19] KHENFER Amar" Thème Etude et conception d'une architecture en vue de la détection de défauts dans une installation photovoltaïque "Magister en Automatique de UNIVERSITE SETIF 1 09/12/2014
- [20] J. H. Lucio, R. Valdés, and L. R. Rodri, "Loss-of-load probability model for standalone photovoltaic systems in Europe," *Sol. Energy*, vol. 86, no. 9, pp. 2515–2535, 2012.
- [21] B N Yannick, "Modélisation des injections de puissance d'un système PV sur un réseau public, " Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'environnement,
- [22] H.G. Beyer and C. Langer, "A Method for the Identification of Configurations of PV/Wind Hybrid Systems for the Reliable Supply of Small Loads", *Solar Energy*, Vol. 57, pp. 381-391, 1996.
- [23] M. Egido and E. Lorenzo, "The Sizing of Stand-Alone PV-Systems: A Review and a Proposed New Method", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 26, pp. 51-69, 1992.

Bibliographie

- [24] C. Protopogeropoulos, B.J. Brinkworth and R.H. Marshall, "Sizing and Techno-Economical Optimization for Hybrid Solar Photovoltaic/Wind Power Systems with Battery Storage", Int. J. Energy Res., Vol. 21, pp. 465-479, 1997.
- [25] Benseddik Othmane, Djaloud Fathi, "Etude et optimisation du fonctionnement d' système photovoltaïque», Mémoire de Master, Université de ouargla, 27/06/2012
- [26] Michel Pinard, " convertisseurs et électronique de puissance", Dunod, 2007
- [27] Lequeu Thierry, "Cours d'électronique de puissance", IUT GEII 2ième année, Option EEP, 2004/2005.
- [28] Bogdan Grabowski, Christian Ripoll, " Aide-mémoire Électronique", Dunod, 5e édition, 2008
- [29] Lequeu Thierry, "Cours d'électronique de puissance", IUT GEII 2ième année, Option EEP, 2004/2005.
- [30] N. Abouchabana, « Etude d'une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT » Mémoire de Magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2009
- [31] Bogdan Grabowski, Christian Ripoll, " Aide-mémoire Électronique", Dunod, 5e édition, 2008
- [32] s. a. TADJER, « etude d'un système de compensation d'harmonique en utilisant un générateur photovoltaïque », mémoire de magister, université mouhamed bougaraboumerdes, algérie, 2008.
- [33] c. CABAL, « optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédiée à la conversion photovoltaïque », thèse de doctorat, université paul sabatier, toulouse iii, france, 2008.
- [34] REBAOUI Brahim « Etude du déséquilibre de l'alimentation d'un onduleur multi niveaux » magister Mohamed Boudiaf Oran 2014
- [35] HIBA EL TILLA," Commande Vectorielle du Moteur Asynchrone en Utilisation la Carte DSPACE", Projet de Fin d'Etude En Génie Électrique, Université de Libanaise, 2012.
- [36] BOUKHALIFA HADJA, "Commande Directe du Couple (DTC) d'un Moteur Asynchrone", Master Académique, Université d'Ourgla 2015
- [37] ZAAMOUCHE FARES « COURS ELECTRONIQUE DE PUISSANCE, Polycopié Pédagogique » Département d'électromécanique, Institut des mines, UNIVERSITE LAARBI TEBESSI DE TEBESSA 2019/2020.
- [38] ZAAMOUCHE FARES « Amélioration des tensions de sortie des onduleurs par l'utilisation des nouvelles topologies et techniques de commande », Thèse de Doctorat, Département

Bibliographie

D'Electromécanique, Faculté des Sciences de l'ingénieur, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, Janvier 2018.

[39] Umbb-fhc-iem/07 Année 2012, ONDULEUR A TROIS NIVEAUX A STRUCTURE NPC

[40] Y. Belkhier, M. Ait mahdi « Modélisation et Simulation d'un Système Photovoltaïque », Mémoire de Master, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, 2017.

[41] Benkaci. M, "Surveillance des systèmes mécatronique d'automobile par des méthodes d'apprentissage." Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2011.

[42] khenfer Riad « Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques » thèse de Docteur en Sciences Université Ferhat Abbes - Setif-1.le 05 Mars 2015.

[43] Fateh, Hassani, and Noura Mohamed Islam. "Détection des pannes photovoltaïques par les réseaux de neurones probabiliste." (2018).

[44] M. Staroswiecki and G. Comtet-Varga, "Analytical redundancy relations for fault detection and isolation in algebraic dynamic systems," *Automatica*, vol. 37, no. 5, pp. 687–699, 2001. [9] M. Rodrigues, D. Theilliol, M. Adam-Medina, and D. Sauter, "A fault detection and isolation scheme for industrial systems based on multiple operating models," *Control Eng. Pract.*, vol. 16, no. 2, pp.

[45] A. Chouder, S. Silvestre, "Analysis model of mismatch losses in PV systems," *Journal of Solar Energy Engineering*, vol.131, pp 1–5, 2009.

[46] A. Orioli, A. Di Gangi, "Load mismatch of grid-connected photovoltaic systems: Review of the effects and analysis in an urban context," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.21, 13–28, 2013.

[47] R. Khenfer, "Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques," p. 126, 2015.

[48] O. Breitenstein, J. Bauer, K. Bothe, W. Kwapil, D. Lausch, U. Rau, « Understanding junction breakdown in multicrystalline solar cells. *Journal of Applied Physics*». Vol 109, pp.5, 2011.

[49] T. Pei,X. Hao, « A Fault Detection Method for Photovoltaic Systems Based on Voltage and Current Observation and Evaluation». *Energies*. Vol 12, pp. 1712, 2019.

[50] D. W. Peter, « Fault Detection and Performance Visualisation for a Grid-Connected Photovoltaic Power Plant Using Sensor Data», Master of Engineering Thesis, Stellenbosch University, 2019.

Bibliographie

- [51] A. Mellit, G. M. Tina, A. Kalogirou, « Fault detection and diagnosis methods for photovoltaic systems A review ». Renewable Sustainable Energy Reviews. Vol 91, pp. 1-17, 2018.
- [52] A. Mermoud and T. Lejeune, "Partial Shading on PV Array: Bypass Diode Benefits Analysis," in 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 5 Valencia, 2010.
- [53] L. Bun. "Détection et localisation de défauts dans un système photovoltaïque". Thèse de Doctorat. Université de Grenoble, 2011.
- [54] W. Rezgui. "Electrical Faults Modeling of the Photovoltaic Generator", Revue "Proceedings of the 3rd International Symposium On Environment Friendly Energies And Applications (EFEA)", Paris, novembre 2014.
- [55] WAFIA. Chine, « contribution au diagnostic des défauts dans les systèmes photovoltaïque », thèse doctorat, université Med Seddik Ben Yahia-Jijel, 2014.
- [56] [PHA-97] [PLA-97] [PLU-77] BIBLIOGRAPHIE R. Peugeot, S. Courtine, IP. Rognon, "Fault detection and isolation on a PWM inverter by knowledge -based model", IEEE IAS'97 Conference Proc., New Orleans (USA), October 5-9, 1997
- [57] O.V. Thorsen, M. Dalva, "A survey of the reliability with an analysis of faults on variable frequency drives in industry", EPE'95 Conference Proc., Sevilla (Spain), Vol. 1, 1995, pp. 921-937.
- [58] S. Januszewski, R. Kociszewska-Szczerbik, H. Swiatek, G. Swiatek, "Causes and Mechanisms of Semiconductor Device Failures in Power Converter Service Conditions", EPE'95 Conference Proc. , Sevilla (Spain), Vol. 1, 1995, pp. 625-630.
- [59] R. S. Chokhawala, J. Catt, L. Kiraly, "A discussion on IGBT short circuit behavior and fault protection schemes", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 31, No. 2, March/April 1995, pp. 256-263.
- [60] R.V. Honorat, Thyristors - Triacs - GTO, Editions Radio, Paris, 1987
- [61] P. Leturcq, Z. Khatir, J. Gaubert, "Simulation des thyristors Gate-Turn-Off", Recherche Transport Sécurité, No. 22, Juin 1989, pp. 17-23.
- [62] J. Arnoult, P. Merle, Dispositifs de l'électronique de puissance, Hennès, Paris, 1992
- [63] S. Duong, S. Raël, C. Schaeffer, J.F. De Palma, "Short circuit behavior for PT and NPT IGBT devices - Protection against explosion of the cases by fuses", EPE'95 Conference Proc., Sevilla (Spain), Vol. 1, 1995, pp. 249-254.

Bibliographie

- [64] D. Kastha and B.K. Bose, "Investigation of fault modes of voltage-fed inverter system for induction motor drive", IEEE/IAS'92 Conference Proc. Houston (USA) October 1992, vol. 1, pp. 858-866.
- [65] P. Chrzan, R. Szczesny, "Fault diagnosis of voltage-fed inverter for induction motor drive", IEEE/ISIE'96 Conference Proc., Warsaw (Poland), 17-20 June 1996, Vol. 2, pp. 1011-1016.
- [66] R. Szczesny, P. Chrzan, K. Iwan, "Modelling and simulation of electrical drives at normal and fault conditions", EPE'95 Conference Proc. , Sevilla (Spain), 1995, Vol. 3, pp. 580-585

ملخص

مثل أي عملية صناعية، يمكن أن يتعرض المحول الساكن للتركيب الكهروضوئي، أثناء تشغيله، لأعطال وشذوذ مختلفة تؤدي إلى انخفاض في أداء المعدات وحتى إلى عدم توفرها. يؤدي السماح بالتشخيص الدقيق والكشف عن الأعطال وتحديد موقعها في المحول الكهروضوئي إلى تقليل تكاليف الصيانة وفوق كل ذلك زيادة الإنتاجية. في هذا العمل، نحن مهتمون بشكل خاص باكتشاف وتوطين الأعطال في المحول الكهروضوئي. الهدف من هذا العمل هو ضمان استمرارية التشغيل مع وجود عطل داخل المحول الكهروضوئي أو بدونه، ولإجراء هذه الدراسة تم دراسة نوعين من أعطال المفاتيح، أعطال الدائرة المفتوحة وأعطال الدائرة القصيرة

. الكلمات المفتاحية: مولد الكهروضوئي، المحولات محول مستمر مستمر، الأعطال، المحاكاة ، التصميم.

Résumé

Comme tout processus industriel, le convertisseur statique d'une installation photovoltaïque peut être soumis, au cours de son fonctionnement, à différents défauts et anomalies conduisant à une baisse de la performance de l'appareillage et voire à son indisponibilité. Permettre de diagnostiquer finement et de faire la détection et la localisation de défauts dans un convertisseur PV réduit les coûts de maintenance et surtout augmente la productivité. Dans ce travail, nous nous intéressons spécifiquement à la détection et la localisation de défauts dans le convertisseur Photovoltaïque. L'objectif de ce travail, est d'assurer une continuité de fonctionnement avec ou sans la présence d'un défaut au sein de convertisseur photovoltaïque, Pour mener cette étude Deux types de défauts interrupteurs ont été considérés, les défauts circuit-ouvert et les défauts court-circuit.

Mot clés : PV, Convertisseur DC-DC, Défauts, Modélisation,Simulation.

Summary

Like any industrial process, the static converter of a photovoltaic installation can be subjected, during its operation, to various faults and anomalies leading to a drop in the performance of the equipment and even to its unavailability. Allowing fine diagnosis and detection of faults in a PV converter reduces maintenance costs and above all increases productivity. In this work, we are specifically interested in the detection and localization of faults in the photovoltaic converter. The objective is to ensure continuity of operation with or without the presence of a fault within a photovoltaic converter. To carry out this study Two types of switch faults were considered, open circuits faults and short circuit faults.

Keywords : PV,DC/DCconverter,Faults,Modeling,Simulation