

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



Mémoire de Fin d'Études

Présenté à

L'Université d'Echahid Mohamed Lakhdar Ammara d'El Oued

Faculté de la Technologie

Département de Génie Electrique

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En Machines Electriques

Présenté par

KIATI Yacine

BOUTA Souhieb

KORICHI Mohammed Laid

Thème

**Contribution au diagnostic des défauts dans les
systèmes photovoltaïques.**

Soutenu le 13/06/2022. Devant le jury composé de :

Dr. HALEM Noura

Dr. BESSOUS Nouredine

Dr. TOUIL Slimane

Maitre de conférences A Président

Maitre de conférences A Rapporteur

Maitre de conférences B Examinateur

Année Universitaire 2021/2022

﴿شكر و تقدير﴾

الحمد لله الذي أنار لنا درب العلم والمعرفة وأعاننا على أداء هذا

الواجب ووفقنا إلى انجاز هذا العمل

نتوجه بجزيل الشكر والامتنان إلى كل من ساعدنا من قريب أو من

بعيد على انجاز هذا العمل وفي تذليل ما وجهناه من صعوبات، ونخص

بالذكر الأستاذ المشرف الدكتور نور الدين بسوس الذي لم ييخل علينا بتوجيهاته

ونصائحه القيمة التي كانت عوناً لنا في إتمام هذا البحث .

كما نتقدم بخالص شكرنا للجنة الموقرة على مراجعتها و تقييمها لهذا العمل المتواضع

شاكرين بهذه المناسبة أساتذة كلية التكنولوجيا و خاصة أساتذة قسم الهندسة

الكهربائية.

﴿ إهداء ﴾

الحمد لله الذي وفقنا لهذا ولم نكن لنصل إليه لو لا فضل الله علينا أما بعد
نهدي هذا العمل المتواضع إلى أمهاتنا وآبائنا الأعزاء حفظهم الله لنا
اللذين سهرنا وتعبوا على تعليمنا في إتمام هذا العمل والشكر لكل من ساهم من
قريب أو من بعيد،
وإلى كل أفراد أسرنا ، ساندنا في الدنيا ولا نحصي لهم فضل.
وإلى كل أقاربنا وأصدقائنا وأحبابنا من دون استثناء
وإلى أساتذتنا الكرام و كل رفقاء الدراسة
و في الأخير نرجو من الله تعالى أن يجعل عملنا هذا نفعا يستفيد منه جميع
الطلبة المتربصين المقبلين على التخرج في المستقبل .

Résumé

Résumé

Le panneau solaire ou la cellule solaire est l'un des éléments les plus importants du système solaire qui produit l'énergie électrique avec un rendement élevé compatible avec les charges électriques, mais tout défaut de cette cellule peut causer une diminution du rendement. Notre objectif s'inscrit dans la contribution au diagnostic des défauts dans les systèmes photovoltaïques. nous avons présenté des généralités sur les systèmes photovoltaïques. La modélisation du système PV consiste à la mise en équations des différentes parties les constituant : la source primaire (température et ensoleillement), les convertisseurs statiques : le hacheur (Buck), permettant la commande en tension du panneau photovoltaïque. Il s'agit donc d'optimiser à chaque instant à son point optimal de fonctionnement grâce à un système de poursuite de type MPPT. Ce travail a présenté un état de l'art sur le système PV et les différents défauts et techniques proposées. Comme nous avons fait la simulation du système PV pour le préparer à un défaut de la mise à la terre. Une analyse du défaut de la mise à la terre d'un système PV a été bien étudiée en suivant l'évolution du système sous défaut.

Mots clés : PV, MPPT, mise à la terre.

Abstract

The solar panel or the solar cell is one of the most important elements of the solar system that produces electrical energy with a high efficiency compatible with the electrical loads, but any defect in this cell can cause a decrease in efficiency. Our objective is to contribute to the diagnosis of faults in photovoltaic systems. We have presented general information on photovoltaic systems. The modeling of the PV system consists in putting into equations the different parts constituting them: the primary source (temperature and sunshine), the static converters: the chopper (Buck), allowing the voltage control of the photovoltaic panel. It is therefore a question of optimizing each instant at its optimal point of operation thanks to MPPT type tracking system. This work presented a state of the art on the PV system and the various defects and proposed techniques. As we did the simulation of the PV system to prepare it for a ground fault. An analysis of the ground fault of a PV system has been well studied by following the evolution of the system under fault.

Key words: PV, MPPT, ground fault.

ملخص

تعتبر اللوحة الشمسية أو الخلية الشمسية من أهم عناصر النظام الشمسي التي تنتج طاقة كهربائية بكفاءة عالية متوافقة مع الأحمال الكهربائية ، ولكن أي خلل في هذه الخلية يمكن أن يتسبب في انخفاض الكفاءة. هدفنا هو المساهمة في تشخيص الأعطال في الأنظمة معلومات عامة عن الأنظمة الكهروضوئية. كما وضعنا نمذجة النظام الكهروضوئية. لقد قدمنا الكهروضوئي من خلال معادلات الأجزاء المختلفة المكونة لها: المصدر الأساسي (درجة الحرارة وضوء الشمس) ، المحولات الثابتة: محول خافض التوتر، مما يسمح بالتحكم في الجهد MPPT للوحة الكهروضوئية. لذلك فهي مسألة تحسين كل لحظة في نقطة التشغيل المثلى. قدم هذا العمل حوصلة عامة على النظام الكهروضوئي والعيوب وكذا بفضل نظام تتبع نوع المختلفة التقنيات المقترحة. كما أجزنا محاكاة النظام الكهروضوئي لإعدادة لخلل أرضي. وتمت دراسة تحليل الخلل الأرضي للنظام الكهروضوئي جيداً من خلال متابعة تطور النظام تحت الخطأ.

الكلمات المفتاحية: الكهروضوئي، MPPT، الخلل الأرضي.

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

TabII.1.	Caractéristiques électriques du module PV Shell SP75 en condition de test Standard	26
-----------------	--	-----------

Liste des Figures

Liste des figures

Figure I.1 : Excitation des électrons de valence par les photons et la jonction (P-N)	5
Figure I.2 : Coupe en 3 dimensions d'une cellule PV typique.....	6
Figure I.3 : Trois mécanismes de transformation de l'énergie solaire en une énergie électrique.....	7
Figure I.4 : Schéma descriptif d'un système photovoltaïque.....	9
Figure I.5 : Composants d'un GPV	10
Figure I.6 : Système PV raccordée au réseau	11
Figure I.7 : Quelques exemples de la localisation de défauts par la caméra.....	13
Figure I.8 : Principe de la réflectométrie pour localiser le défaut dans un string PV.....	14
Figure I.9 : (a) ombrage des panneaux par un cheminé de la maison, (b) fonctionnement de la cellule dans le 3 ^{ème} quadrant de la caractéristique I-V, à cause de l'ombre.....	16
Figure I.10 : système photovoltaïque en: (a) fonctionnement normale, (b) présence d'une ombre: échauffement de la cellule, (c) protection par la mise en place d'une diode de bypass.....	17
Figure I.11 : Module de 36 cellules protégé par deux diodes de by-pass.....	18
Figure I.12 : diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion des autres strings.....	19
Figure (II.1) : Système photovoltaïque	23
Figure (II.2) : Circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	23
Figure (II.3) : schéma Bloc du module solaire dans SIMULINK.....	26
Figure (II.4) : Résultats de simulation des caractéristiques (Courant –Tension) du module PV Shell SP75.....	27
Figure (II.5) : Résultats de simulation des caractéristiques (puissance –tension) du GPV...	27
Figure (II.6) : Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents éclairement et une température T=25°C.....	28

Figure (II.7) : Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension Pour différents Eclairéments et une température $T=25^{\circ}\text{C}$.....	28
Figure (II.8) : Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différentes températures et un éclairément $E=1000\text{ W/m}^2$.....	29
Figure (II.9) : Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension.....	29
Figure (II.10) : Schéma block d'un convertisseur buck.....	30
Figure (II.11) : Résultats de simulation de la tension de sortie.....	30
Figure (II.12) : Résultats de simulation de la courant de sortie.....	31
Figure (II.13) : Block des 08 modules en SIMULINK.....	32
Figure (II.14) : Résultats de simulation de la courbe $P(V)$ des 08 modules.....	32
Figure (II.15) : Organigramme de l'algorithme Perturbation et Observation (P&O)	34
Figure (II.16) : Bloc de MPPT en SIMULINK.....	34
Figure (II.17) : Résultats de simulation du Courant pour PV.....	35
Figure (II.18) : Résultats de simulation de la tension pour un PV.....	35
Figure (II.19) : Résultats de simulation du Courant pour PV.....	36
Figure (II.20) : Résultats de simulation de la tension pour un PV.....	36
Figure (III.1) : Bloc de MPPT en SIMULINK avec défaut.....	41
Figure (III.2) : Résultats de simulation de la courant de charge pour déferant valeur de résistance (A-B-C-D-E)	43
Figure (III.3) : Résultats de simulation de la tension de charge pour déferant valeur de résistance (A-B-C-D-E)	44

Sommaire

	Introduction générale.....	2
	CHAPITRE I : Etat de l'Art sur le système photovoltaïque	
I.1	Introduction	4
I.2	Effet photovoltaïque.....	5
I.3	Principe générale de fonctionnement du système photovoltaïque.....	6
I.3.1	Principe.....	6
I.3.2	Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	7
I.3.2.1	Lumière-matière	7
I.3.2.2	Transfert d'énergie des photons aux électrons	8
I.3.2.3	Collecte des charges électriques	8
I.4	Défauts dans le système photovoltaïque	8
I.4.1	Description d'un système photovoltaïque	9
I.4.1.1	Générateur PV (GPV)	9
I.4.1.2	Convertisseur	10
I.4.1.3	Système de protection	10
I.4.2	Défauts fréquents	11
I.5	Méthodes de diagnostic d'une installation PV	12
I.5.1	Méthodes de diagnostic courantes (industrialisé)	12
I.5.1.1	Méthodes non-électriques	12
I.5.1.2	Méthodes électriques.....	13
I.5.2	Méthodes de diagnostic proposées dans la littérature.....	13
I.5.2.1	Méthode de réflectométrie.....	14
I.5.2.2	Analyse de la puissance et de l'énergie produite.....	14
I.6	Protection d'un générateur photovoltaïque.....	15
I.6.1	Protection d'un générateur photovoltaïque contre les chocs électriques.	15

I.6.1.1	Protection contre les contacts directs.....	15
I.6.1.2	Protection contre les contacts indirects.....	15
I.6.2	Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surtensions.....	15
I.6.3	Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités.....	16
I.6.3.1	Ombrage d'un générateur.....	16
I.6.3.2	Nécessité de protection contre les courants inverses.....	17
I.6.3.3	Diode de by-pass.....	18
I.6.3.4	Diode anti-retour.....	18
I.7	Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	19
I.8	Conclusion.....	20

CHAPITRE II : Modélisation et simulation d'un system photovoltaïque

II.1	Introduction.....	22
II.2	Le générateur photovoltaïque « GPV »	23
II.2.1	Modélisation du système photovoltaïque	23
II.2.2	Caractérisation du module PV.....	25
II.2.3	Simulation du module PV	26
II.3	Simulation des hacheurs	30
II.3.1	Simulation d'hacheur buck	30
II.3.2	Mise en œuvre de la commande de poursuite MPPT	31
II.3.3	Principes du MPPT	31
II.4	Structure et simulation de la commande MPPT numérique « P&O»	33
II.4.1	Structure de la commande « perturbation et observation »	33
II.4.2	Simulation de la méthode MPPT	34
II.4	Résultats de simulation	35
II.5	Conclusion	37

CHAPITRE III : Etude des effets de Mise à la terre sur le système PV

III.1	Introduction	39
III.2	Définition du défaut de mise à la terre	40
III.3	Causes de défaut de mise à la terre	40
III.4	Simulation d'un système PV sous un DMT	41
III.5	Conclusion	46
	Conclusion Générale.....	48

Introduction Générale

Introduction Générale

Au cours des dix dernières années, le marché du photovoltaïque a connu une croissance très remarquable grâce aux différents facteurs stimulants : réduction des coûts de production et politiques de soutien. Ces facteurs stimulants rendent le retour sur investissement d'une installation photovoltaïque de plus en plus intéressant. Or, un système photovoltaïque peut être soumis, au cours de son fonctionnement, à différents défauts et anomalies conduisant à une baisse de la performance du système et voire à l'indisponibilité totale du système. Toutes ces conséquences défavorables vont évidemment réduire la productivité de l'installation, et donc réduire le profit de l'installation, sans compter le coût de maintenance pour remettre le système en état normal.

Afin de maximiser l'efficacité de la conversion PV et réduire les coûts de maintenance, de nombreuses solutions ont été proposées dans les travaux dans le même contexte. Le diagnostic figure parmi les solutions intéressantes en vue de faire fonctionner des panneaux PV à leur puissance optimale et de concurrencer les sources d'énergie fossile pour des raisons économiques [BAC20].

Mais au rythme de la consommation actuelle des ressources énergétiques, les gisements d'énergies fossiles et nucléaires [AKA10] vont d'une manière aigue à la raréfaction à cause de l'exploitation agressive de ces derniers. En plus, la production électrique représente 40% des émissions mondiale de CO₂ [SOL10], la situation est d'autant plus alarmante que la demande énergétique va en grandissant [AKA10]. Vu la situation actuelle, une alternative énergétique nouvelle, renouvelable et propre s'avère incontournable.

Ce travail s'inscrit dans la contribution au diagnostic des systèmes PVs. Le mémoire est agencé comme suit :

- Le premier chapitre sera consacré à un état de l'art sur le système PV et les différents défauts et techniques proposées.
- Le deuxième chapitre va simuler le système PV pour y compris le défaut à analyser.
- Dans le chapitre trois, une analyse du défaut de ligne d'un système PV mise à la terre en étudiant l'évolution du système sous ce défaut.
- Nous avons terminé ce travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I

**Etat de l'Art sur
le système photovoltaïque**

I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous précisons tout d'abord le contexte et l'objectif de notre étude. Nous discutons de toutes les problématiques liées à la productivité d'une installation photovoltaïque et comment ces problématiques nécessitent une étude de détection et de localisation de défauts. Dans la seconde partie, les différents composants d'un système photovoltaïque ont bien décrit. Les défauts associés à ces composants sont également identifiés. La dernière partie de ce chapitre présente les différentes méthodes de diagnostic, industrialisées ou non, proposées pour détecter et/ou localiser des défauts dans un système photovoltaïque. [LON06].

I.2 Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque dont le terme souvent abrégé par les lettres P et V est un phénomène physique propres à certains matériaux communément appelés les semiconducteurs (souvent le silicium). Il est composé à partir de 3 étapes qui se résument en l'absorption de lumière par le matériau de la cellule PV. Le transfert d'énergie des photons vers les charges électriques et finalement la collecte de charge.

La puissance du champ photovoltaïque est directement proportionnelle aux nombres de cellules employées dans une installation. Seulement, une exposition au rayonnement homogène de l'ensemble de la surface est exigée pour une meilleure rentabilité. Pailleurs, l'obtention de puissance maximale peut être assurée par observation des 3 critères : l'orientation, l'inclinaison et la température. Cette dernière doit être maintenue à un niveau minimal au sein du dispositif par une ventilation importante [ABD14].

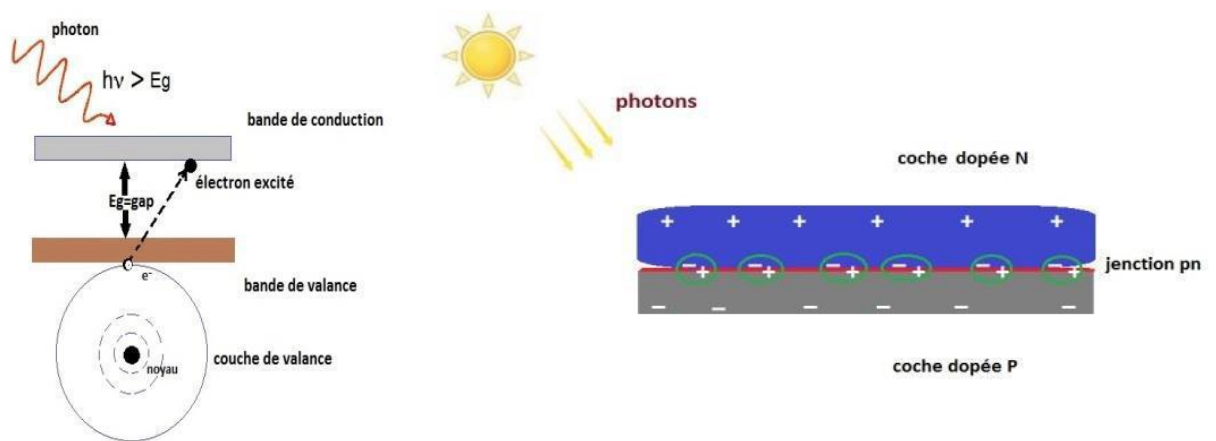


Figure (I.1) : Excitation des électrons de valence par les photons et la jonction (P-N) [SYL11].

I.3 Principe générale de fonctionnement système photovoltaïque

I.3.1 Principe

La formation d'une jonction réalisée par le dopage du silicium représente le principe de base de la cellule solaire. La création d'une barrière de potentiel dans le semi-conducteur permet de séparer les électrons et les trous qui sont générés par l'absorption de la lumière dans le matériau. Lors de la formation de la jonction, les électrons diffusent vers la zone p et les trous vers la zone n (alignement du niveau de Fermi), afin de tendre vers un équilibre thermodynamique. Le dipôle, créé aux bords de la jonction, entraîne la formation d'un champ électrique qui s'oppose à l'équilibre à tout déplacement de charges. La polarisation de la jonction en direct permet alors de diminuer la hauteur de la barrière de potentiel et donc l'intensité de champ électrique permettant le passage de porteurs de charges. A l'opposé, une polarisation inverse augmentera la hauteur de la barrière [ABD14].

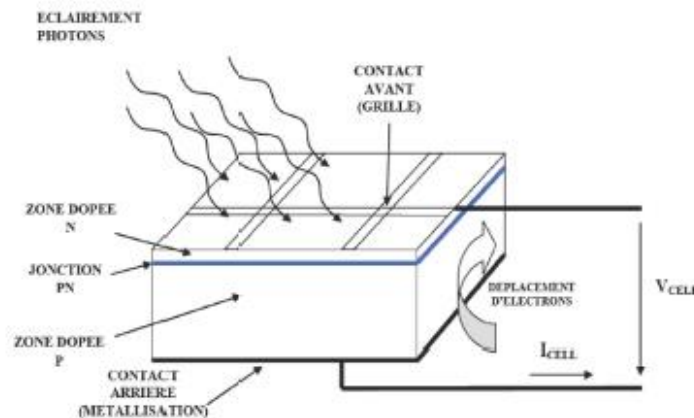


Figure (I.2): Coupe en 3 dimensions d'une cellule PV typique [PAS06].

I.3.2 Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Une cellule PV est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation basée sur les trois mécanismes suivants (Figure I-3):

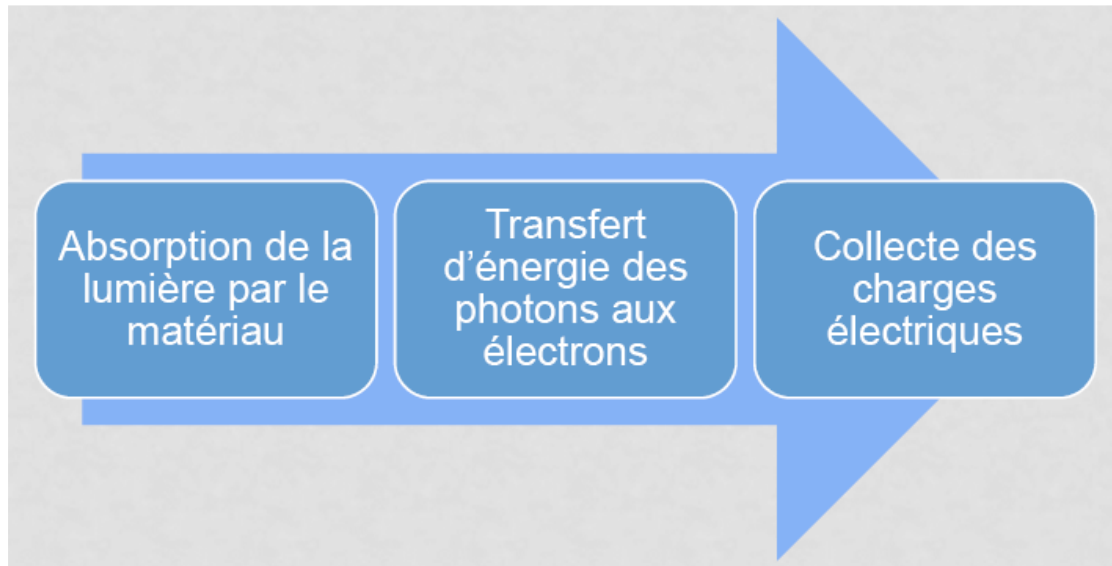


Figure (I.3): Trois mécanismes de transformation de l'énergie solaire en une énergie électrique [DEL12] .

I.3.2.1 Lumière-matière

Le rayonnement solaire est constitué de photons transportant chacun à une énergie qui répond elle-même à la relation suivante :

$$E_{ph} = h \cdot c / \lambda \quad (I-1)$$

Où E_{ph} représente la quantité d'énergie, λ la longueur d'onde, h la constante de Planck et c la vitesse de la lumière [SAH12].

Les photons incidents sont absorbés par le silicium en fonction de leur longueur d'onde. Les photons de basse longueur d'onde sont donc plus énergétiques (Ultra-violet) seront absorbés dans les premiers micromètres de la cellule tandis que les photons de plus grande longueur d'onde (Infra-rouge) peuvent atteindre la face arrière et être réfléchis par cette dernière.

La largeur de la bande interdite E_g est un paramètre important car il détermine le seuil d'absorption. En effet, le photon interagit avec l'électron uniquement s'il peut fournir une énergie supérieure à la bande interdite E_g [VES05] .

I.3.2.2 Transfert d'énergie des photons aux électrons

Les photons incidents apportent l'intégralité de leur énergie pour donner naissance à des paires électrons-trous, appelés plus couramment porteurs photo-générés. Les porteurs minoritaires, les électrons dans un matériau dopé p, les trous dans un matériau dopé n, diffusent sous l'effet de gradients de concentration vers l'interface. Ils sont ensuite entraînés par le champ électrique et atteignent la région dans laquelle ils sont majoritaires pour participer au photo-courant [ABD14].

I.3.2.3 Collecte des charges électriques

Une cellule PV (figure I-2) est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction P-N avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction P-N de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P).

Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. A travers une charge continue, on peut en plus récolter des porteurs. La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (VOC). Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit (ICC) et dépend fortement du niveau d'éclairement [PAS06].

I.4 Défauts dans le système photovoltaïque

Un défaut est défini comme un état anormal ou une anomalie au niveau du composant D'équipement ou du sous équipement. Il peut conduire à une défaillance du système [REZ15].

Au cours de son fonctionnement, une installation PV peut être éventuellement soumise à différents défauts et conditions de fonctionnement anormales. Les défauts et les

anomalies apparus varient d'une installation à une autre en fonction de sa conception, installation, opération et maintenance [LON06].

I.4.1 Description d'un système photovoltaïque

En générale un système photovoltaïque comporte 3 majeures parties, qui sont représenté ci-dessous dans figure (I.4).

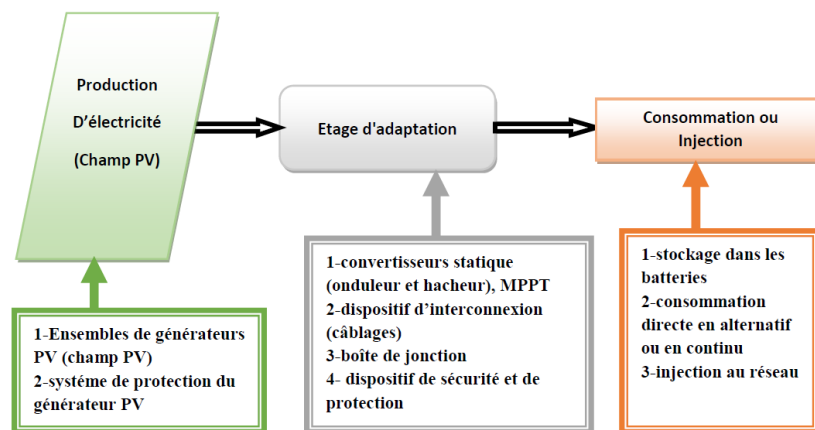


Figure (I.4) : Schéma descriptif d'un système photovoltaïque [LYN18].

I.4.1.1 Générateur PV (GPV)

Les solaires sont généralement associées en série et en parallèle, puis cellules encapsulées sous verre pour obtenir un module photovoltaïque. Un générateur PV est constitué de modules interconnectés pour former une unité produisant une puissance continue élevée compatible avec le matériel électrique usuel (figure I-5). Les modules PV sont habituellement branchés en série-parallèle pour augmenter la tension et l'intensité à la sortie du générateur. Les modules interconnectés sont montés sur des supports métalliques et inclinés suivant l'angle désiré en fonction du lieu, cet ensemble est souvent désigné par champ de modules [BAC20].

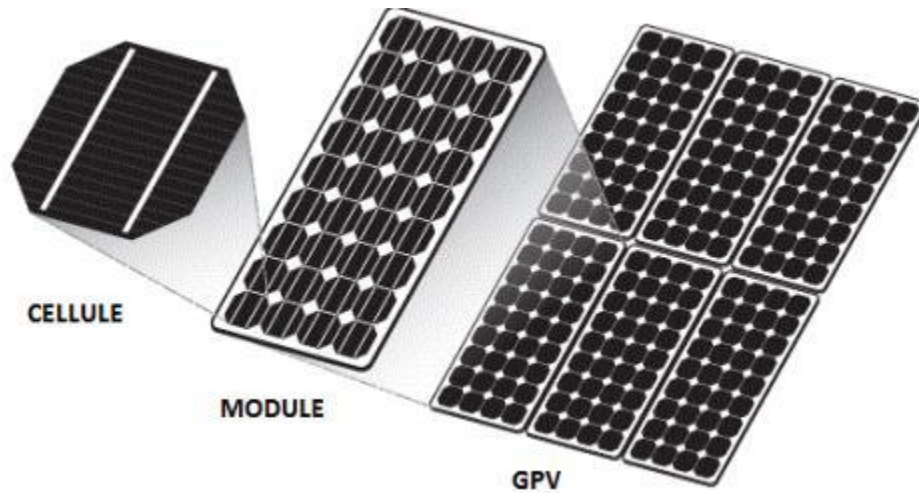


Figure (I.5) : Composants d'un GPV [BAC20].

I.4.1.2 Convertisseur

Les convertisseurs sont des appareils servent à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries 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 (éolienne, photovoltaïque, pile à combustible...). En générale on trouve deux sortes de convertisseurs dans une installation PV, l'hacheur et l'onduleur [OTH12] qui ont pour rôle d'extraire la puissance maximale du générateur PV et la convertir en puissance alternative avant de la consommer [LON06].

I.4.1.3 Système de protection

Le champ photovoltaïque est couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un convertisseur continu/alternatif (DC/AC). Etant donné que l'énergie est normalement emmagasinée dans le réseau même, les accumulateurs ne sont pas nécessaires à moins que vous ne vouliez une forme autonome d'énergie pendant les pannes d'électricité. L'énergie produite est consommée sur place le surplus étant injecté dans le réseau, qui alimente les maisons de nuit ou pendant les jours sans soleil [SOL10].

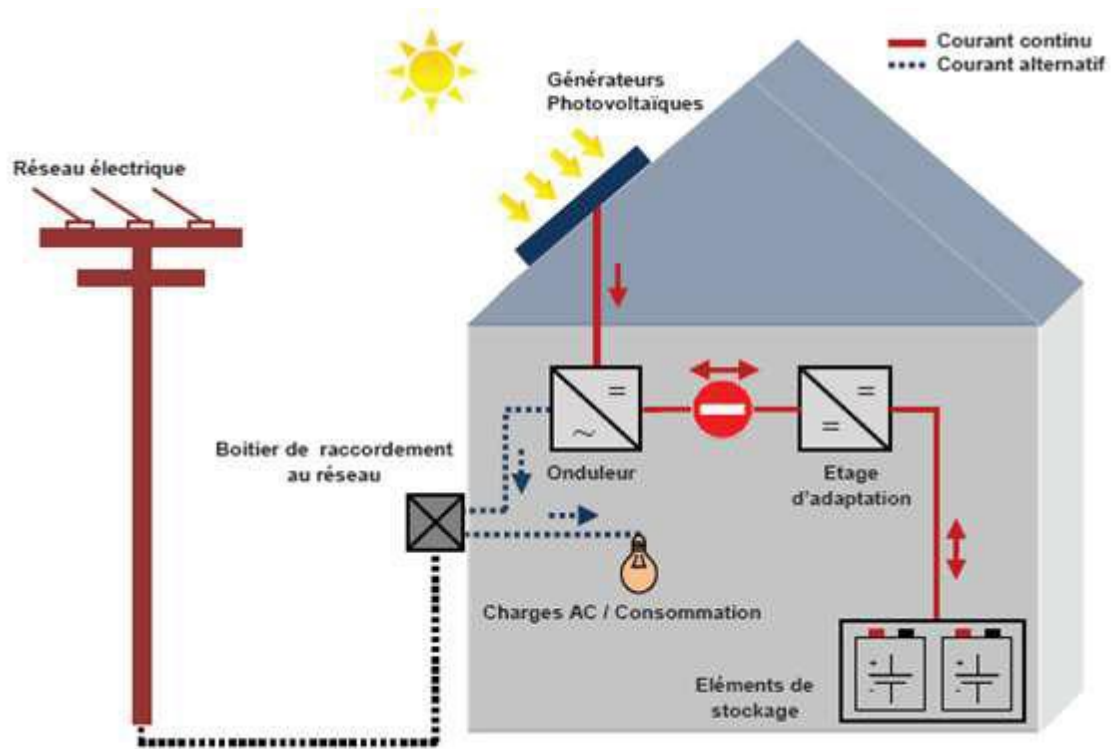


Figure (I.6) : Système PV raccordée au réseau [REY11].

I.4.2 Défaits fréquents

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 [MKH15]. A ce titre, nous pouvons citer les défauts affectant un champ PV et leurs conséquences sur la productivité de ce dernier. Les défauts collectés ont été classifiés selon la fonction des différents composants constituant l'installation PV. Six groupes de défauts ont été formés :

- Défauts dans l'onduleur.
- Défauts dans la boîte de jonction.
- Défauts dans le système de câblage.
- Défauts dans le générateur PV.
- Défauts dans le système de protection.
- Défauts dans le système d'acquisition [LYN18].

I.5 Méthodes de diagnostic d'une installation PV

Le Contrôle de performances régulières sur le fonctionnement des systèmes PV connectés au réseau sont nécessaires pour assurer une production d'énergie fiable et optimale. L'objectif est la détection précoce de défaut dans les systèmes PV et changer les conditions de fonctionnement pour empêcher les pertes d'énergie et financières subséquentes pour l'opérateur. Ainsi, un system simple et sûr à manipuler à long terme pour vérifier les performances et l'état du système PV est nécessaire pour garantir la sécurité de ce dernier et réduire les pertes. Le but des systèmes de diagnostics est non seulement la détection des dysfonctionnements, mais aussi la mise à disposition des informations sur la source de défaillance la plus probable [SAB13].

I.5.1 Méthodes de diagnostic courantes (industrialisé)

On peut distinguer deux catégories de méthodes de diagnostic courantes : des méthodes reposant sur l'analyse du courant et de la tension (que nous appellerons méthodes électriques) et des méthodes reposant sur l'analyse d'autres grandeurs que I et V (que nous appellerons méthodes non-électriques) [SAB13].

I.5.1.1 Méthodes non-électriques

Il existe plusieurs méthodes non-électriques, destructives ou non destructives, pour diagnostiquer le défaut au niveau de cellule PV. Le défaut principal qui peut avoir lieu à ce niveau est la fissure de la cellule. On peut citer comme méthodes : les essais mécaniques de flexion, l'imagerie par photoluminescence et électroluminescence, tests de thermographie. Au niveau du module PV, la méthode de l'imagerie à infrarouge (caméra thermique) est largement appliquée. Cette méthode repose sur le fait que tous les matériaux émettent un rayonnement infrarouge sur une plage de longueur d'onde qui dépend de la température du matériau. En examinant la distribution de la température au niveau du module, des anomalies (si elles ont lieu) peuvent être localisées (Voir la Figure I.6) [BUN11].

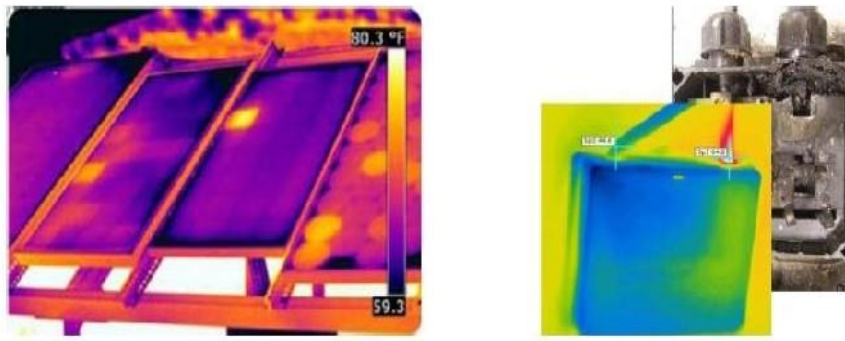


Figure (I.7) : Quelques exemples de la localisation de défauts par la caméra thermique [SAB13].

I.5.1.2 Méthodes électriques

Les systèmes de monitoring actuels d'un GPV sont essentiellement intégrés aux onduleurs.

Dans ce cadre, les données mesurées sont souvent les mêmes d'un système à l'autre. Les grandeurs mesurées les plus courantes sont:

- Le courant et la tension coté DC du champ PV.
- Le courant et la tension coté AC du champ PV.

Il est aussi possible d'ajouter les grandeurs complémentaires que sont la température ambiante du site et l'ensoleillement aux mesures électriques. Ces données nécessitent un capteur spécifique. Les informations peuvent être traitées localement ou à distance, sur une ou plusieurs installations [SAB13].

I.5.2 Méthodes de diagnostic proposées dans la littérature

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

I.5.2.1 Méthode de réflectométrie

La méthode de réflectométrie est une méthode de diagnostic qui consiste à envoyer un signal dans le système ou le milieu à diagnostiqué. Ce signal se propage selon la loi de propagation du milieu étudié et lorsqu'il rencontre une discontinuité, une partie de son énergie est renvoyée vers le point d'injection. L'analyse du signal réfléchi permet de déduire des informations sur le système ou le milieu considéré [BUN11] .

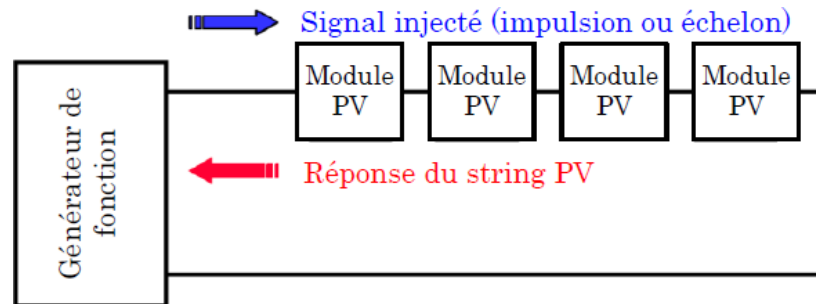


Figure (I.8): Principe de la réflectométrie pour localiser le défaut dans un string PV[BAC20].

I.5.2.2 Analyse de la puissance et de l'énergie produite

La puissance ou l'énergie mesurée est comparée à celle attendue et lorsqu'une déviation importante a lieu, on considère qu'il y a un défaut. L'analyse mentionnée consiste à générer des attributs supplémentaires de la chute de la puissance ou de l'énergie produite telles que : la durée, l'amplitude, la fréquence et les instants de la chute. Ces mêmes attributs sont également prédéterminés pour les différents défauts considérés. Lors de leur comparaison, le défaut dont la valeur des attributs considérés est la plus proche de celle déduite des grandeurs mesurées est considéré comme le défaut responsable de la chute [ABD14] .

I.6 Protection d'un générateur photovoltaïque

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 [BUN11].

I.6.1 Protection d'un générateur photovoltaïque contre les chocs électriques

Ce type de protection inclue la protection contre les contacts directs, la protection contre les contacts indirects, comme il est expliqué dans les deux paragraphes suivants :

I.6.1.1 Protection contre les contacts directs

Les matériels PV partie courant continu doivent toujours être considérés comme sous tension et disposer de protection par isolation des parties actives ou par enveloppe [CAH10] .

I.6.1.2 Protection contre les contacts indirects

Les modes de protection doivent intégrer les dispositions mises en oeuvre côté dc. et ac. ainsi que la présence ou non d'une séparation galvanique par transformateur entre les parties dc. et ac [CAH10].

I.6.2 Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surtensions

Les surtensions sont présentes de plusieurs manières dans une installation PV. Elles peuvent être;

- 1 .transmises par le réseau de distribution et être d'origine atmosphérique (foudre) et/ou dues à des manœuvres.
- 2 .générées par des coups de foudre à proximité des bâtiments et des installations PV, ou sur les paratonnerres des bâtiments,
- 3 .générées par les variations de champ électrique dues à la foudre.

En règle générale, un système de protection contre la foudre destiné à un générateur PV se compose des éléments suivants :

- 1- Système extérieur de Protection contre la Foudre (SPF);
- 2- Installation de mise à la terre et équilibrage de potentiel;
- 3- Blindage magnétique et câblage;
- 4- Protection SPD (Surge Protection Device) coordonnée [BIR10].

I.6.3 Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités

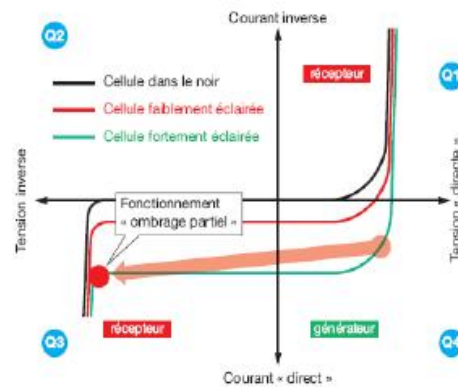
Le générateur PV comme toutes autre générateur d'énergie électrique doit être protégé contre les surintensités, et autres types de problèmes.

I.6.3.1 Ombrage d'un générateur

L'ombrage partiel d'une cellule va forcer cette dernière à travailler dans le quadrant Q3 (voir figure I-9), c'est-à-dire d'inverser la polarité de la tension de l'élément et de l'élever au seuil tension inverse de la jonction ($U_C \approx -15 \text{ V}$ à -25 V). La puissance absorbée par les cellules à l'ombre dépasse très nettement la puissance normalement dissipée et provoque des points chauds. Les points chauds peuvent endommager définitivement le module PV. Une protection contre les surintensités est sans effet, car l'augmentation de la puissance à dissiper est liée à l'apparition d'une tension inverse dans la cellule affectée et non à une augmentation significative du courant I_{sc} [ABD14].



(a)



(b)

Figure (I.9): (a) ombrage des panneaux par un cheminé de la maison, (b) fonctionnement de la cellule dans le 3^{ème} quadrant de la caractéristique I-V, à cause de l'ombre[ABD14].

Une diode By-pass va, en permettant au courant des autres éléments en série de contourner la cellule **ombrée** (voir Figure I-10) :

- 1 .éviter la surtension inverse ainsi que les points chauds liés à cet ombrage,
- 2 .laisser les autres cellules non ombragées de la chaîne générer leur courant normal, à la place du courant sensiblement égal au courant réduit fourni par la cellule ombragée..

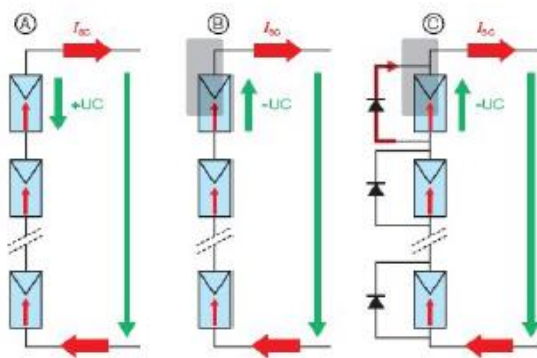


Figure (I.10) : système photovoltaïque en: (a) fonctionnement normale, (b) présence d'une ombre: échauffement de la cellule, (c) protection par la mise en place d'une diode de bypass[ABD14].

I.6.3.2 Nécessité de protection contre les courants inverses

Le dimensionnement des câbles de chaînes dépend fortement des chutes de tension les notions de courants admissibles pour la protection des canalisations contre les surcharges sont généralement automatiquement satisfaites et ne nécessitent pas la mise en place de protection pour assurer cette fonction. Le principal critère de sélection des fusibles est la valeur d'IRM (courant inverse maximum PV) que le module peut supporter temporairement jusqu'à ce que le fusible de protection choisi interrompe le courant de défaut généré suite à un défaut. Du fait que notre travail 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 [BUN11].

I.6.3.3 Diode de by-pass

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

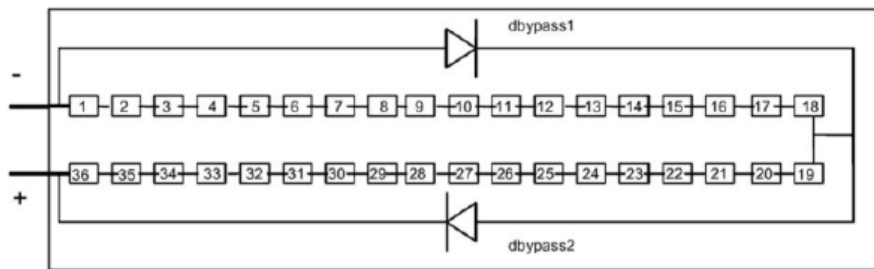


Figure (I.11) : Module de 36 cellules protégé par deux diodes de by-pass [SIL09] .

La plupart des modules PV commerciaux sont constitués par association de cellules solaire en série incluant une ou deux diodes de by-pass (figure I-11). L'une des configurations les plus populaires que nous pouvons trouver sur le marché des modules PV. Quelques modules PV sont offerts sans diodes de by-pass. Ceci peut être compris parce que dans des applications autonomes, où le rangé (le string) PV est constituée juste par association des modules PV en parallèle, chargeant une batterie de 12 ou 24 V, l'inclusion des diodes de by-pass n'est pas du tout nécessaire. D'autre part, dans de grands modules PV, ayant par exemple 72 cellules en série, quelques fabricants incluent six diodes de by-pass, une pour chaque 12 cellules.

La conception de rangée PV et la configuration des diodes de by modules PV constituant la rangée, a un grand influence l'apparition de points chauds le long du string PV [SIL09].

I.6.3.4 Diode anti-retour

La tension produite par chaque string peut être différente. Lors de la mise en parallèle de ces strings pour former un champ, le courant inverse provenant des autres strings. Cela conduit donc à une baisse de production et les modules du string traversés par le courant

inverse pourraient être également susceptibles de la défaillance. Pour éviter ces courants inverses, une diode anti chaque string (voir Figure I-12).

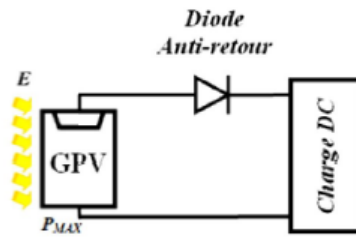


Figure (I.12) : diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion des autres strings [ABD14].

I.7 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque présente des avantages énormes tels que:

- Gratuité de cette ressource et énormité de son potentiel réparti sur le globe terrestre.
- Propreté durant son utilisation.
- Grande fiabilité.
- Peu d'entretien.
- Grande souplesse de production (variant de milliwatts aux mégawatts).
- Utilisation autonome et décentralisée.

Malgré ces avantages intéressants, il y a aussi des inconvénients tels que :

- Source diffuse du rayonnement solaire qui nécessite de grandes surfaces.
- Technologie coûteuse.
- Facteur de charge faible.
- Stockage difficile.
- Difficulté à recycler les composants du système.
- Investissement élevé dépendant des décisions politiques [MEK17].

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini le système photovoltaïque, comme nous avons abordé le principe de fonctionnement et les différents défauts qui peuvent affecter le système photovoltaïque. En plus, on a indiqué aux méthodes de diagnostic des défauts dans les systèmes PVs.

CHAPITRE II

Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque

La modélisation est un moyen destiné à représenter par une forme mathématique une fonction ou un processus technologique. Dans ce cadre, nous présenterons, la modélisation du système photovoltaïque-, en proposant l'élaboration des modèles mathématiques pour le système de production, afin de renforcer la maîtrise de leur exploitation, surtout du point de vue puissances de production en fonction des conditions météorologiques données ou estimées. Dans ce chapitre, on va montrer le fonctionnement d'une source PV. Le but de la modélisation et la simulation est d'aider à comprendre les critères de conception et de dimensionnement des systèmes PV. Sous l'environnement MATLAB/Simulink, on va présenter nos résultats [TOU15].

II.2 Le générateur photovoltaïque « GPV »

Le système photovoltaïque est contrôlé par la commande MPPT, il est présenté à la Figure (II.1).

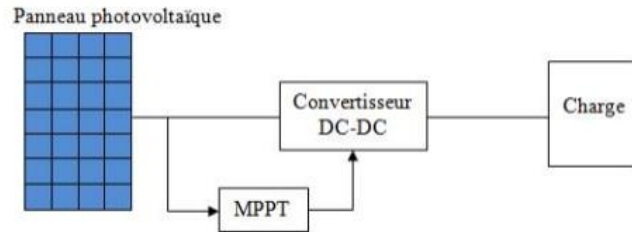


Figure (II.1) : Système photovoltaïque [FAT14].

II.2.1 Modélisation du système photovoltaïque

Le module fait intervenir un générateur de courant pour la modélisation d'une diode pour les phénomènes de polarisation de la cellule, une résistance série R_s représentant les diverses résistances de contacts et de connexions et une résistance parallèle R_p caractérisant les divers courants de fuites dus à la diode et aux effets de bords de la jonction. Le générateur photovoltaïque est représenté par un modèle standard à une seule diode, établi par Shockley pour une seule cellule PV, et généralisé à un module PV en le considérant comme un ensemble de cellules identiques branchées en série-parallèle.

On présente le schéma du circuit électrique par la figure (II.2) :

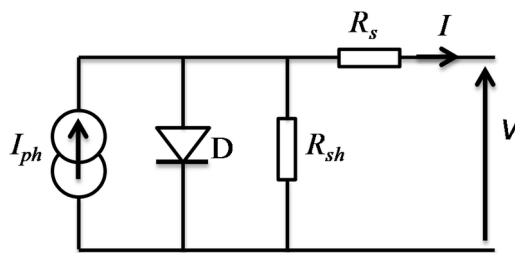


Figure (II.2) : Circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque [web site 1].

Dans ce cas, on a choisi un modèle simple ne nécessitant que les paramètres donnés par le fabricant, la caractéristique I-V de ce modèle est donnée par L'equation (II.1):

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{q(V_{pv} + (I_{pv} R_s))}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{V_{pv} + (I_{pv} R_s)}{R_p} \quad (II.1)$$

Où V_{pv} , I_{pv} sont la tension (V) et le courant (A) de sortie du panneau, I_{ph} est la photo courant en ampère, I_{sat} Courant dans la diode en ampère, R_s est la résistance série en ohm, R_h est la résistance shunt en ohm, q est la charge de l'électron

$q=1.602.10^{-19}$ coulomb, k est la constante de Boltzmann $k=1.381.10^{-23}$ J/K, n est le facteur de qualité de la diode, normalement compris entre 1 et 2.

Si l'on suppose que la résistance parallèle (shunte) est infinie ($R = \infty$), l'équation

(II.1) devienne :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{sat} \left(\exp \left(\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{nVT} \right) - 1 \right) \quad (II.2)$$

Où I_{pv} le courant fourni par la cellule PV et V_{pv} est la tension au bornes de la cellule PV. On peut calculer la résistance série dans le point V_{co} :

$$dI_{pv} = 0 - I_{sat} \left(\exp \left(\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{nKT} \right) \right) \left(\frac{dV_{pv} + R_s dI_{pv}}{nKT} \right) \quad (II.3)$$

La résistance série influe largement sur la pente de la courbe des caractéristique (I-V) au voisinage de V_{co} .

Elle peut être calculée par la formule suivante :

$$R_s = - \frac{dV_{pv}}{dI_{pv}} - \frac{nVT}{I_{sat} \left(\exp \left(\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{nVT} \right) \right)} \quad (II.4)$$

L'équation de la caractéristique $I=f(V)$ (II.1) non linéaire est résolue par des

méthodes d'itération simple. Généralement la méthode de Newton-Raphson est choisie pour la convergence rapide de la réponse. La méthode de Newton-Raphson est décrite comme suit:

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(X_n)} \quad (II.5)$$

Où $f'(X_n)$ est la dérivée de la fonction $f(X_n)$, X_n est la présente itération et X_{n+1} est l'itération suivante. La réécriture de l'équation (II.5) donne la fonction suivante :

$$f(I_{pv}) = I_{cc} - I_{pv} - I_{sat} \left(\exp \left(\frac{V_{pv} + R_{ser} \cdot I_{pv}}{nVT} \right) - 1 \right) = 0 \quad (II.6)$$

En remplaçant dans l'équation (II.5), on calcule le courant (I) par les itérations :

$$I_{n+1} = I_n - \frac{I_{cc} - I_{sat} \left(\exp \left(\frac{V_{pv} + R_{ser} \cdot I_n}{nVT} \right) - 1 \right) - I_n}{-1 - I_{sat} \left(\frac{R_{ser}}{nVT} \exp \left(\frac{V_{pv} + R_{ser} \cdot I_n}{nVT} \right) \right)} \quad (II.7)$$

Les équations précédentes ne sont valables que pour un mode de fonctionnement optimal. Pour généraliser notre calcul pour différents éclairagements et températures, nous utilisons le modèle qui déplace la courbe de référence à de nouveaux emplacements [BEN12] .

II.2.2 Caractérisation du module PV

Dans ce travail, nous avons simulé le module photovoltaïque Shell SP75 qui comporte 36 cellules solaires de silicium monocristallin de 125.125mm connectées en série. Le module PV **Shell SP75** peut produire une puissance maximale de 75 watts à 17 volts. Ceci nous a permis de déterminer la puissance en fonction de la tension et le courant en fonction de la tension du module étudié pour un éclairagement de 1000 W/m². Les caractéristiques électriques du module Photovoltaïque **Shell SP75** en conditions de test standards sont représentées sur le tableau (II.1).

Tab (II.1) : Caractéristiques électriques du module PV Shell SP75 en condition de test Standard [MEF11].

Grandeurs	Valeur
-Eclairement standard, E.	1000 W/m ²
-Température standard, T.	25° C
-Puissance crête maximale, Pm.	75 W
-Tension optimale, Vopt.	17 V
-Courant optimale, Iopt.	4.4 A
-Tension de circuit ouvert, Vco.	21.7 V
- Courant de court-circuit, Icc	4.8 A

II.2.3 Simulation du module PV

Sur la base du modèle mathématique de la cellule solaire développé, on obtient le bloc schématique de SIMULINK est montré surla Figure (II.3).

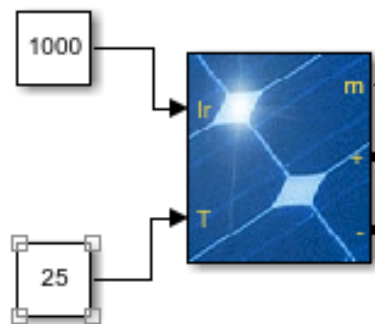


Figure (II.3) : schéma Bloc du module solaire dans SIMULINK.

Caractéristique ($I_{pv} = f(V_{pv})$) : À température et éclairement constants, et particulièrement aux conditions standards (STC) ($E = 1000 \text{ w/m}^2$ $T = 25^\circ\text{C}$).La caractéristique ($I_{pv} = f(V_{pv})$) .

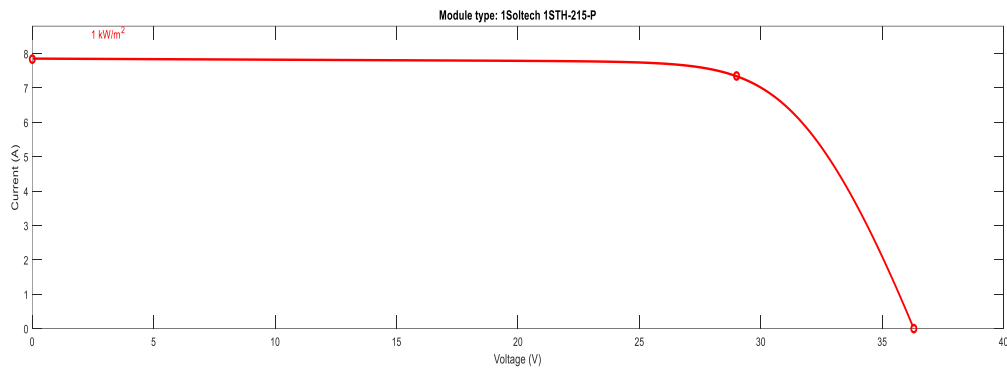


Figure (II.4) : Résultats de simulation des caractéristiques (Courant –Tension) du module PV Shell SP75.

Caractéristique ($P_{pv} = f(V_{pv})$) : À température et éclairement constants, et particulièrement aux conditions standards (STC) ($E = 1000 \text{ w/m}^2$. $T = 25^\circ\text{C}$).

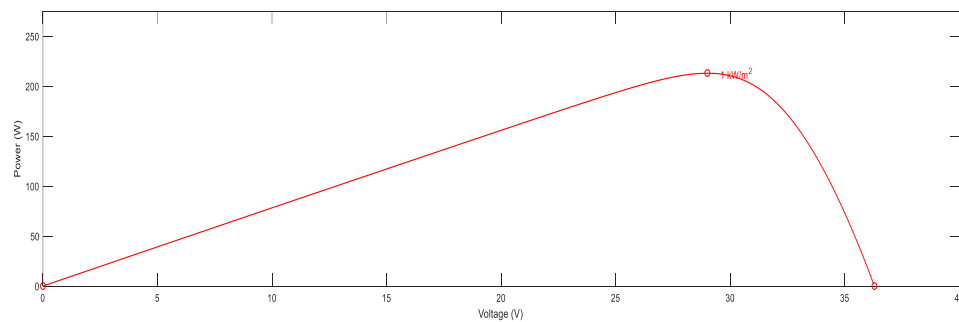


Figure (II.5) : Résultats de simulation des caractéristiques (puissance –tension) du GPV.

Pour visualiser l'influence de l'éclairement, on fixe la température ambiante ($T = 25^\circ\text{C}$) et on fait varier l'éclairement dans une gamme suffisante.

D'après la figure (II.6), on remarque une forte diminution du courant de court-circuit par rapport à l'éclairement (E) et une faible diminution de la tension du circuit ouvert. C'est qui prouve que le courant de court-circuit de la cellule dépend à l'éclairement, par contre la tension de circuit ouvert subit une légère augmentation quand l'éclairement varie de 200 W/m^2 à 1000 W/m^2 .

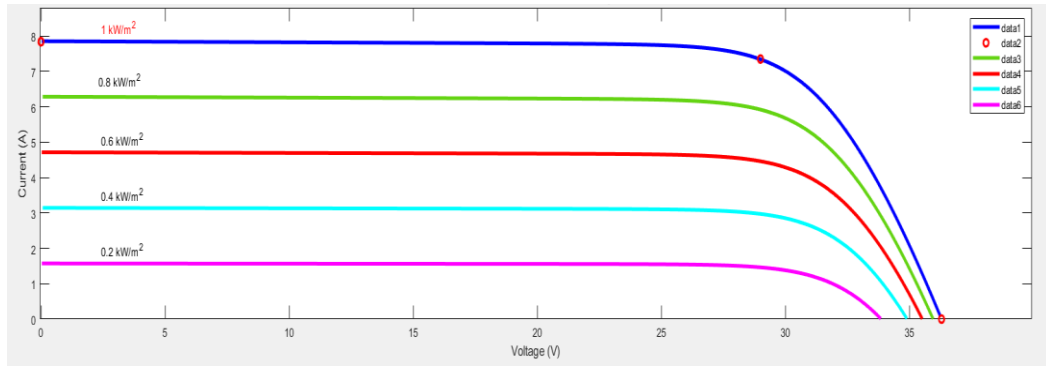


Figure (II.6) : Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension
Pour différents éclairements et une température $T=25^{\circ}\text{C}$.

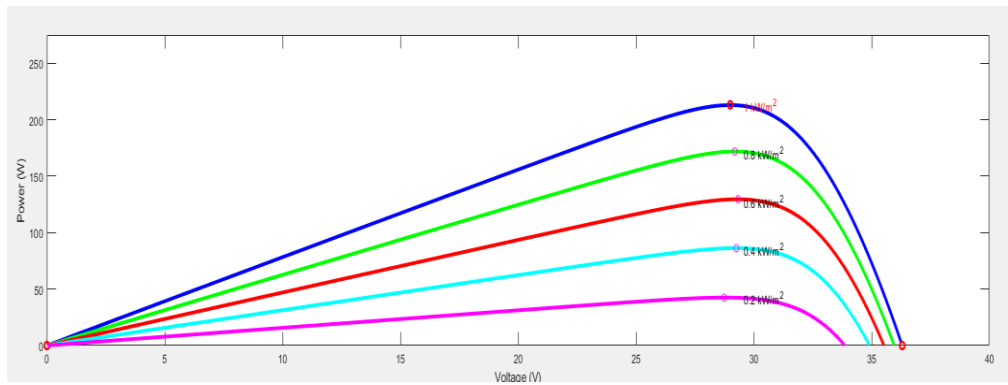


Figure (II.7) : Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension
Pour différents Eclairements et une température $T=25^{\circ}\text{C}$.

On remarque aussi sur la figure (II.6) et (II.7) que l'éclairement influe proportionnellement sur la puissance et la tension du circuit ouvert du GPV.

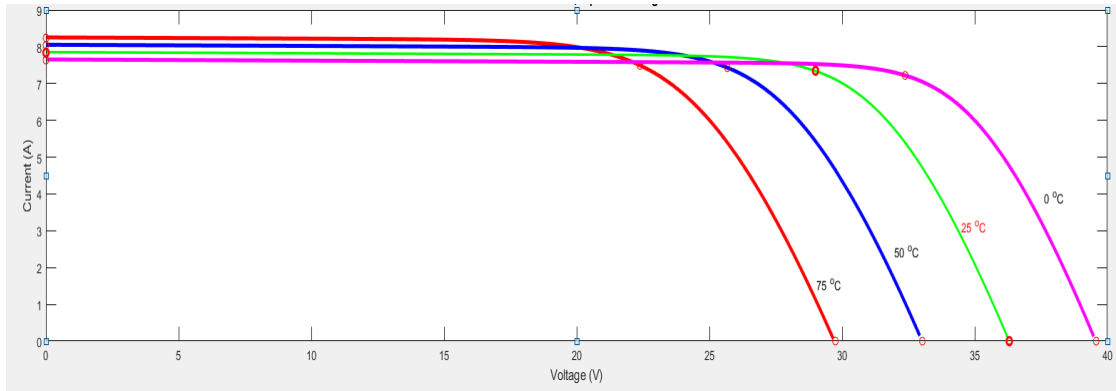


Figure (II.8) : Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension

Pour différentes températures et un éclairement $E=1000 \text{ W/m}^2$.

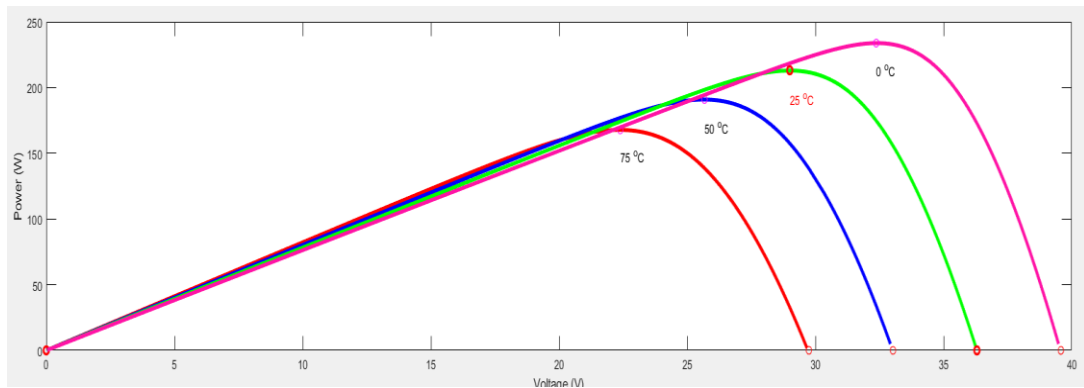


Figure (II.9) : Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension.

On constate d'après la figure (II.8) et (II.9) que l'effet de l'augmentation de la température fait diminuer la tension du circuit ouvert du GPV, contrairement au courant de court-circuit qui reste constant.

Pour différentes températures et éclairement $E=1000 \text{ W/m}^2$, la figure (II.9) représente l'effet de l'augmentation de la température sur la caractéristique $P_{pv} = f(V_{pv})$ fait diminuer la puissance et la tension du circuit ouvert du GPV. Le modèle choisi a donné des résultats concordant avec ceux obtenus la littérature et reflète bien le comportement physique d'une cellule (PV) vis-à-vis des variations de la température et de l'éclairement, ce qui valide le modèle utilisé.

II.3 Simulation des hacheurs

II.3.1 Simulation d'hacheur buck

Pour suivre et comprendre le rôle des convertisseurs buck nous avons utilisé logiciel Matlab pour la simulation et nous prenons ($E=24V$, $L=1H$, $R=30\Omega$, $\alpha=0.5$).

La figure (II.10) représente le schéma block d'un convertisseur Buck.

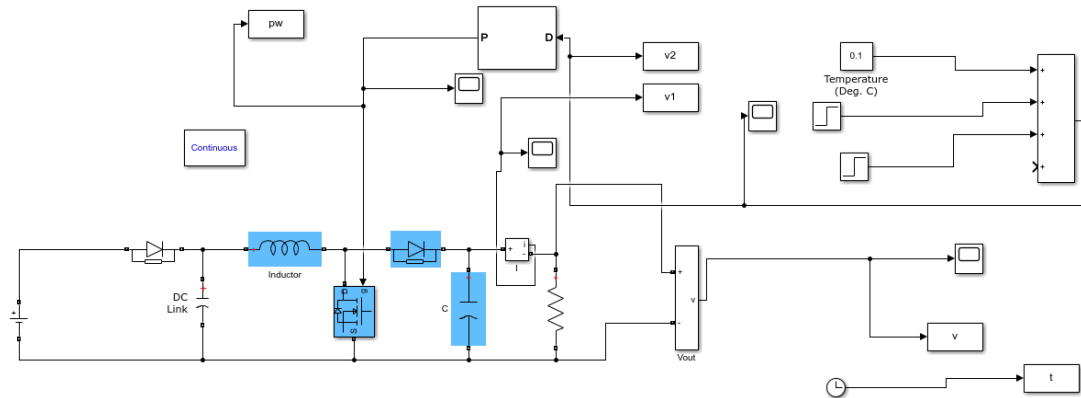


Figure (II.10) : Schéma block d'un convertisseur buck.

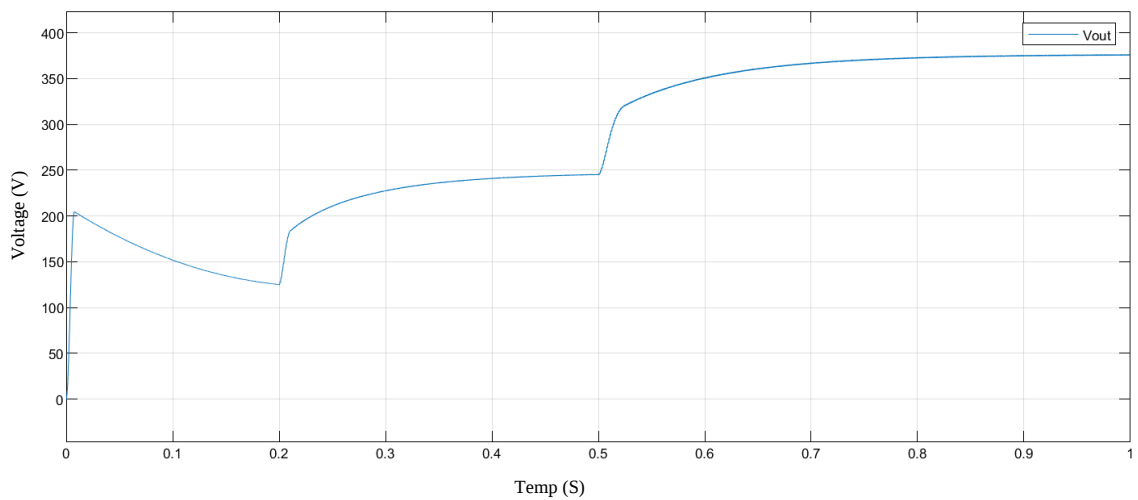


Figure (II.11) : Résultats de simulation de la tension de sortie.

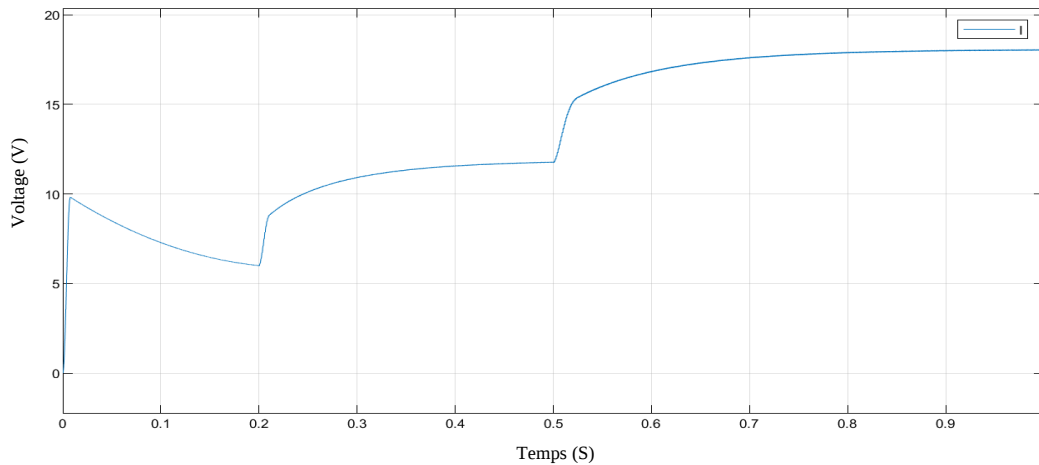


Figure (II.12) : Résultats de simulation de la courant de sortie.

Les résultats ci-dessus montrent clairement l'évolution du courant et de la tension de sortie en fonction de temp.

II.3.2 Mise en œuvre de la commande de poursuite MPPT

Pour avoir la meilleure connexion entre le «GPV» une source non linéaire et une charge pour produire la meilleure puissance, le Maximum Power Point Tracking (MPPT) est développé. Il forcera le générateur à travailler à son Maximum Power Point (MPP), induisant une amélioration globale du rendement du système .Le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection de sa caractéristique électrique I-V avec celle de la charge. Ce point de fonctionnement varie car les conditions de travail varient ou/et la charge varie à tout moment. C'est pourquoi, souvent, on n'opère pas au MPP, et la puissance fournie à la charge est inférieure à la puissance maximale [MEF11].

II.3.3 principes du MPPT

Un MPPT « 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 et le panneau photovoltaïque de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge chaque instant.

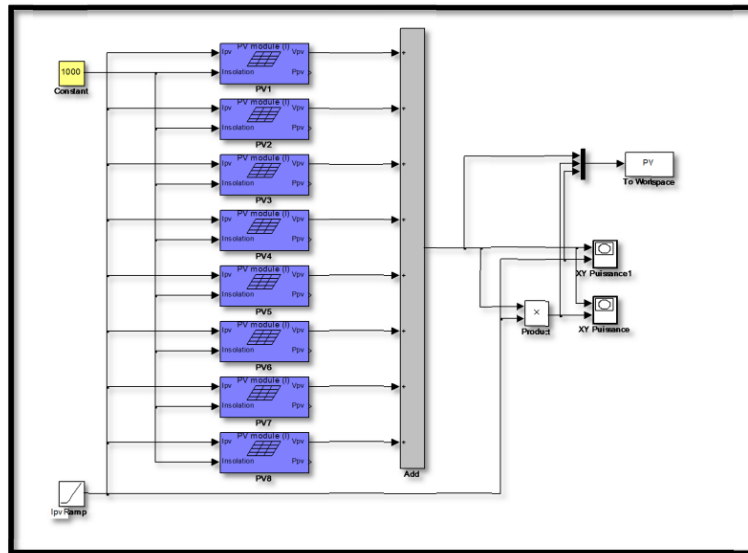


Figure (II.13) : Block des 08 modules en SIMULINK.

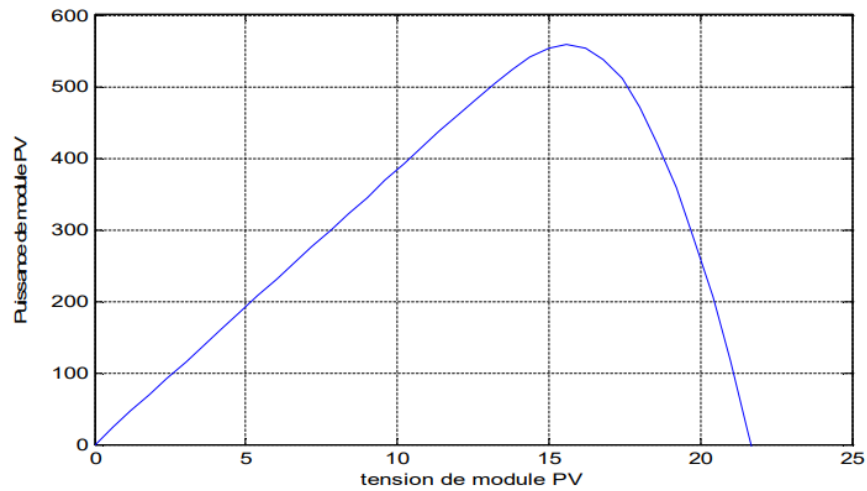


Figure (II.14) : Résultats de simulation de la courbe P(V) des 08 modules.

Comme son nom l'indique, la méthode P&O fonctionne avec la perturbation de la tension V_{pv} et l'observation de l'impact de ce changement sur la puissance de sortie du générateur PV.

II.4 Structure et simulation de la commande MPPT numérique-P&O-

II.4.1 Structure de la commande « perturbation et observation »

La méthode de perturbation et d'observation «P/O» est une approche largement répandue dans la recherche du MPPT parce qu'elle est simple et exige seulement des mesures de tension et du courant du panneau photovoltaïque V_{ref} et I_{ref} respectivement. Elle peut déduire le point de puissance maximale même lors des variations de l'éclairement et la température.

C'est l'algorithme de poursuite du point de puissance maximale (MPPT) le plus utilisé, et comme son nom l'indique il est basé sur la perturbation du système par l'augmentation ou la diminution de V_{ref} ou en agissant directement sur le rapport cyclique du convertisseur DC-DC, puis l'observation de l'effet sur la puissance de sortie en vue d'une éventuelle correction de ce rapport cyclique [BEN12] .

L'avantage de cette méthode c'est qu'elle a la particularité d'avoir une structure de régulation simple, et peu de paramètre de mesure. Elle peut déduire le point de puissance maximale même lors des variations de l'éclairement et la température, pour toutes ces raisons, la méthode P&O est devenue une approche largement répandue dans la recherche du MPPT [CAB08].

La figure (II.15) montre l'organigramme de l'algorithme de P&O tel qu'il doit être implémenté dans le microprocesseur de contrôle

Le modèle Simulink est donné par la figure (II.16).

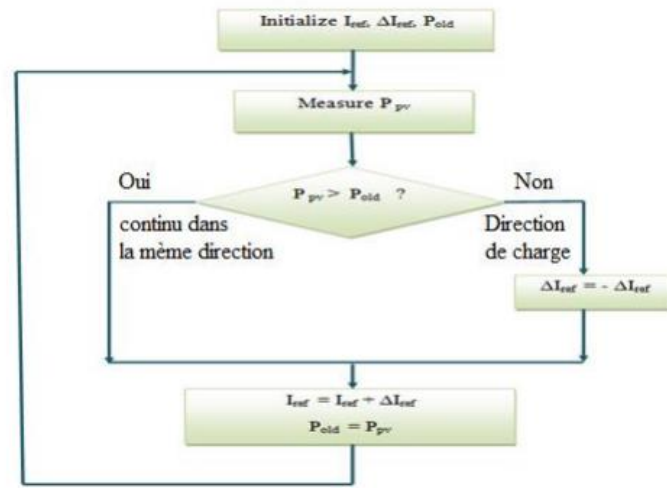


Figure (II.15) : Organigramme de l'algorithme Perturbation et Observation (P&O).

Comme son nom l'indique, la méthode P&O fonctionne avec la perturbation de la tension V_{pv} et l'observation de l'impact de ce changement sur la puissance de sortie du générateur PV.

II.4.2 Simulation de la méthode MPPT

La Figure (II.16) illustre le bloc schématique de SIMULINK du générateur photovoltaïque et avec le cheminement de la commande de poursuite MPPT.

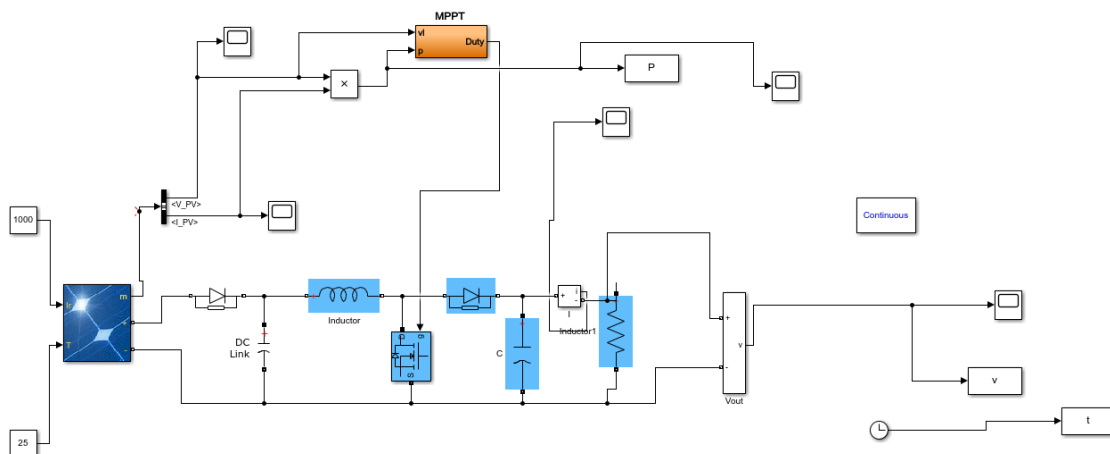


Figure (II.16) : Bloc de MPPT en SIMULINK.

II.4.3 Résultats de simulation

Nous présentons maintenant en revue les résultats de tension et du courant pour un système photovoltaïque sans MPPT

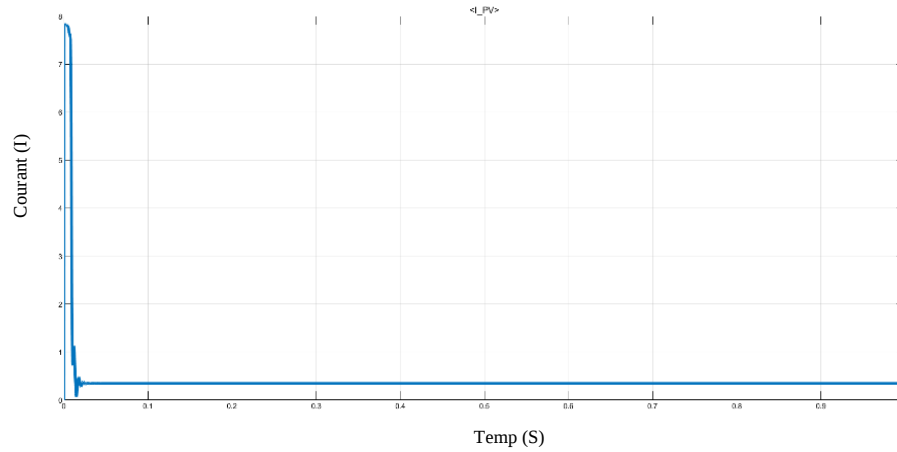


Figure (II.17) : Résultats de simulation du Courant pour PV.

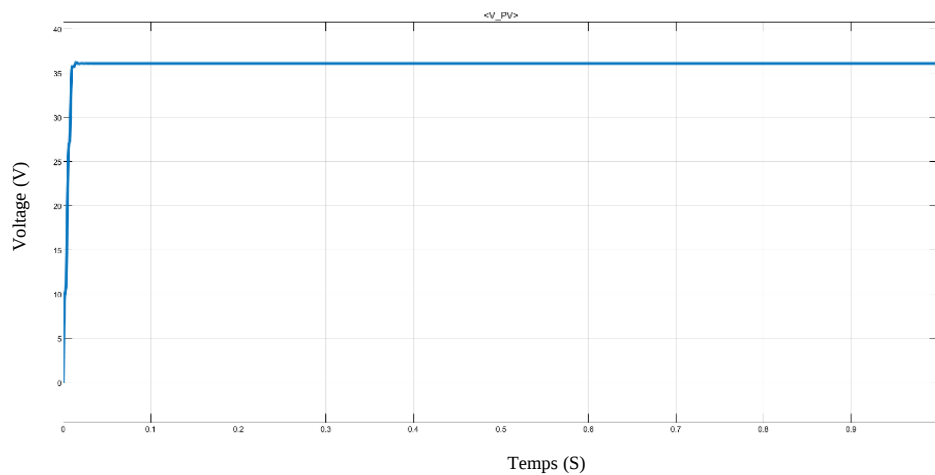


Figure (II.18) : Résultats de simulation de la tension pour un PV.

Afin de vérifier les résultats d'un PV sans et avec MPPT. En appliquant dans cette partie le MPPT. On voit d'après les figures (II.19) et (II.20) que MPPT a un effet positif sur le système photovoltaïque.

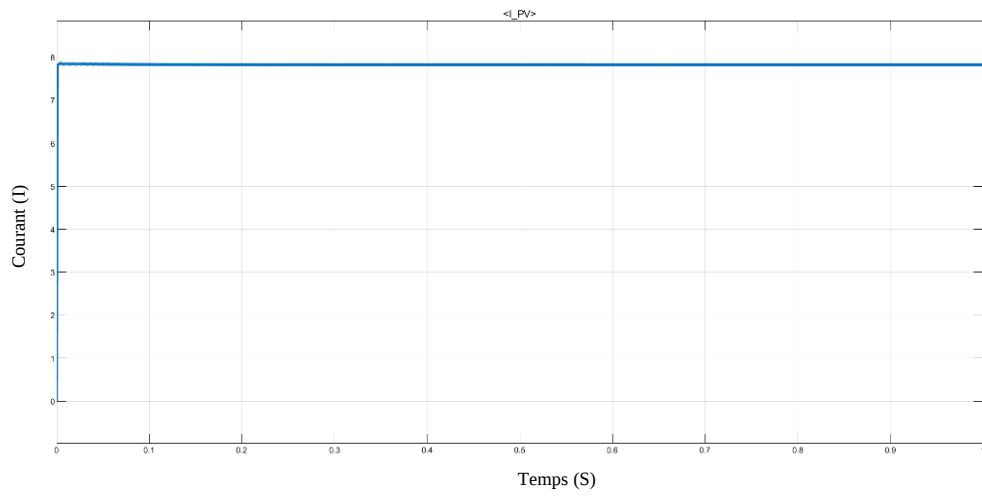


Figure (II.19) : Résultats de simulation du Courant pour PV.

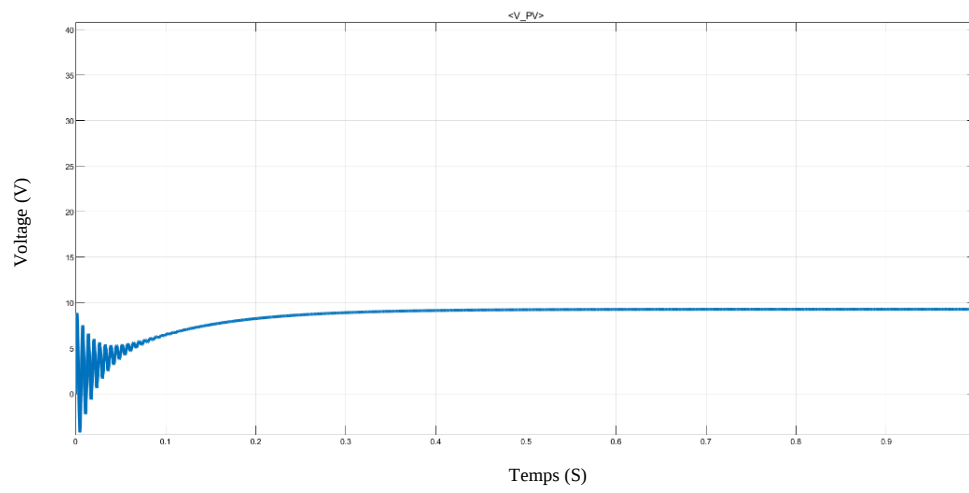


Figure (II.20) : Résultats de simulation de la tension pour un PV.

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons modélisé l'ensemble de la chaîne de conversion sous MATLAB et l'algorithme de recherche du point de puissance maximale (MPPT) qui a été simulé attentivement. Il est forcé le générateur GPV à travailler à son point de puissance maximale (MPP), induisant une amélioration globale du rendement du système de conversion électrique.

CHAPITRE III

**Etude de défaut mise à la terre sur
le système PV**

III.1 Introduction

Le défaut de mise à la terre (DMT) est le type du défaut le plus courant dans les systèmes PV, comme la moitié de ce défaut ne sont pas détectés. Un défaut de DMT est la condition indésirable du courant circulant à travers le conducteur de mise à la terre de l'équipement dans les circuits transportant l'alimentation. Les DMTs peuvent entraîner des problèmes de sécurité importants, tels que des défauts d'arc électrique. En plus d'un danger pour la sécurité, les défauts à la terre créent un risque d'incendie.

III.2 Définition du défaut de mise à la terre

Un défaut à la terre dans les panneaux photovoltaïques (PV) est un problème électrique accidentel impliquant la terre et un ou plusieurs conducteurs porteurs de courant normalement désignés. Les défauts à la terre dans les générateurs photovoltaïques suscitent souvent des inquiétudes en matière de sécurité car ils peuvent générer des arcs électriques au point de défaut sur le chemin du défaut à la terre. Si le défaut n'est pas éliminé correctement, les arcs électriques pourraient perdurer et provoquer un risque d'incendie [web site 2].

III.3 Causes de défaut de mise à la terre

Le défaut de mise à la terre est le défaut le plus courant dans le système PV et peut être causé par les raisons suivantes :

- Défaut d'isolation des câbles, c'est-à-dire une isolation du câble provoque un défaut à la terre ;
- Court-circuit accidentel entre le conducteur normal et la terre, c'est-à-dire un câble dans une boîte de jonction PV en contact accidentel avec un conducteur mis à la terre ;
- Défauts à la terre dans les modules PV, c'est-à-dire un court-circuit entre une cellule solaire et les cadres de module mis à la terre en raison d'une encapsulation détériorée, de dommages causés par un impact ou de la corrosion de l'eau dans le module PV [web site2].

III.4 Simulation d'un système PV sous un DMT

Dans cette partie et afin de simuler le DMT sans le PV, on a considéré une mise à la terre à travers une faible valeur de résistance. La valeur de cette résistance et l'inductance (RL).

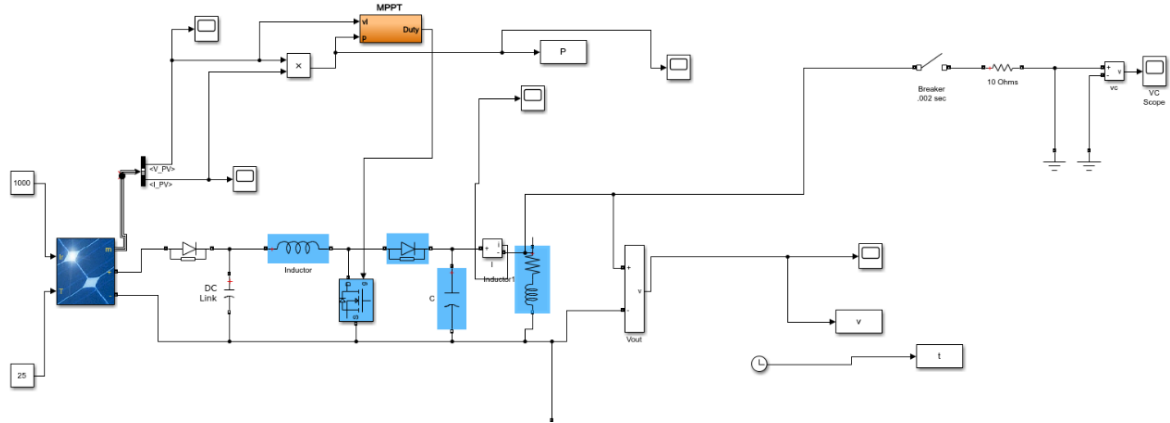
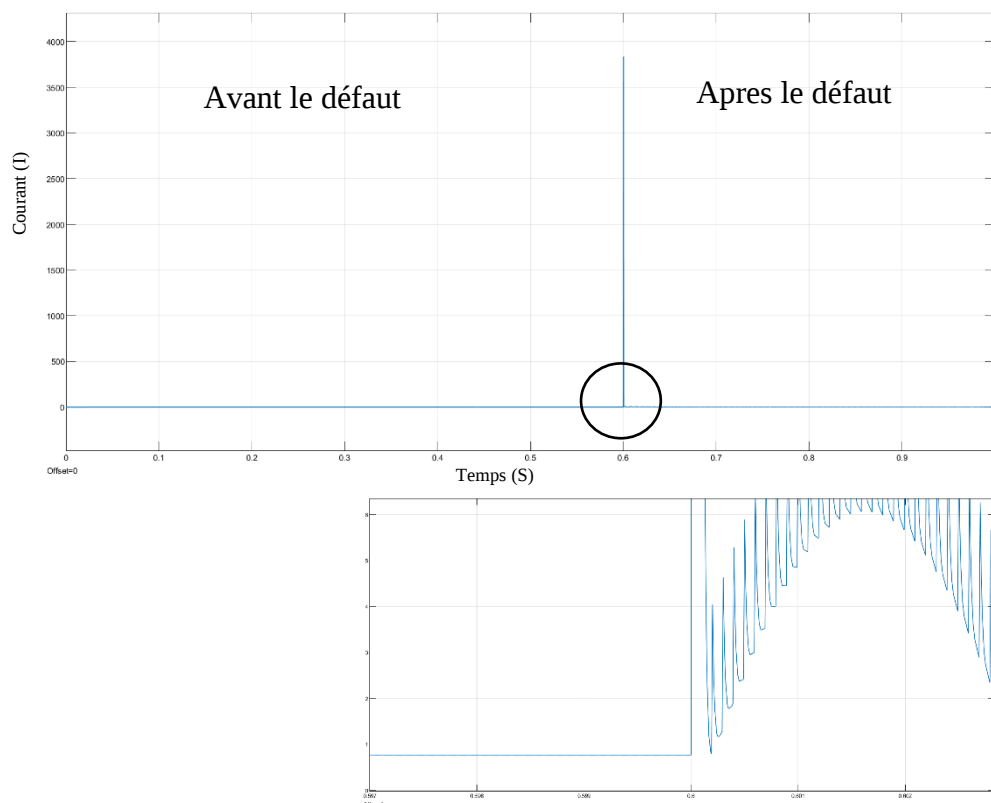


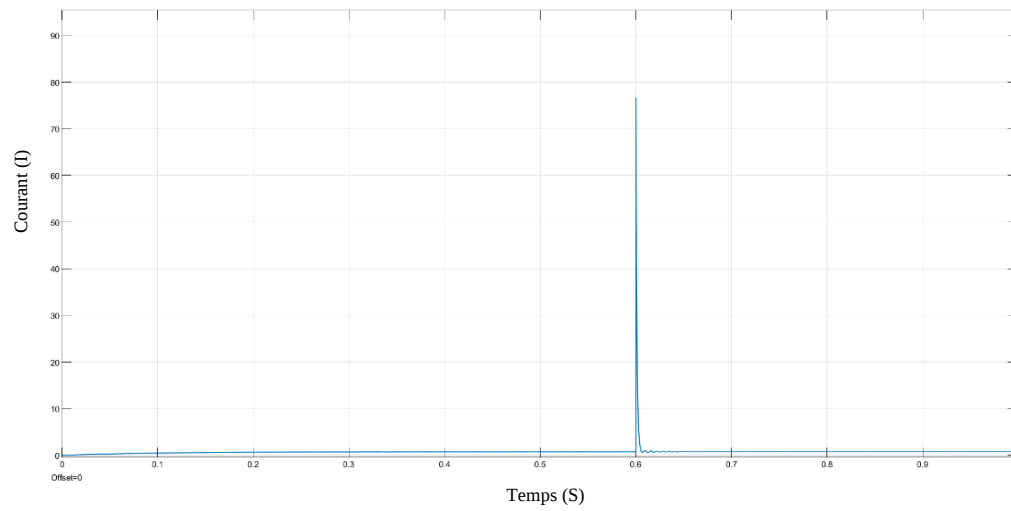
Figure (III.1) : Bloc de MPPT en SIMULINK avec défaut.

Les valeurs de cette résistance sont ($R = 0.01 / R = 1 / R = 3 / R = 6 / R = 10$), et les résultats étaient les suivants :

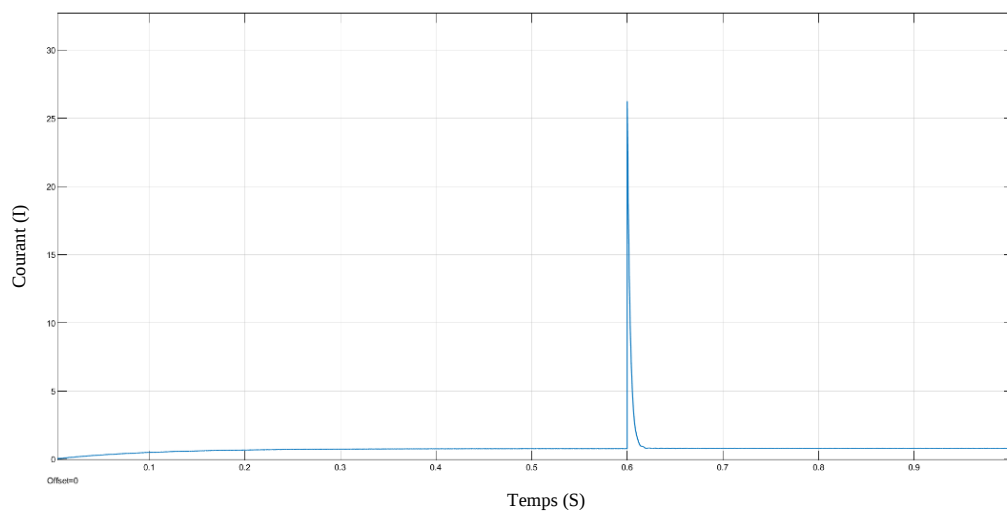
A : pour $R=0.01$



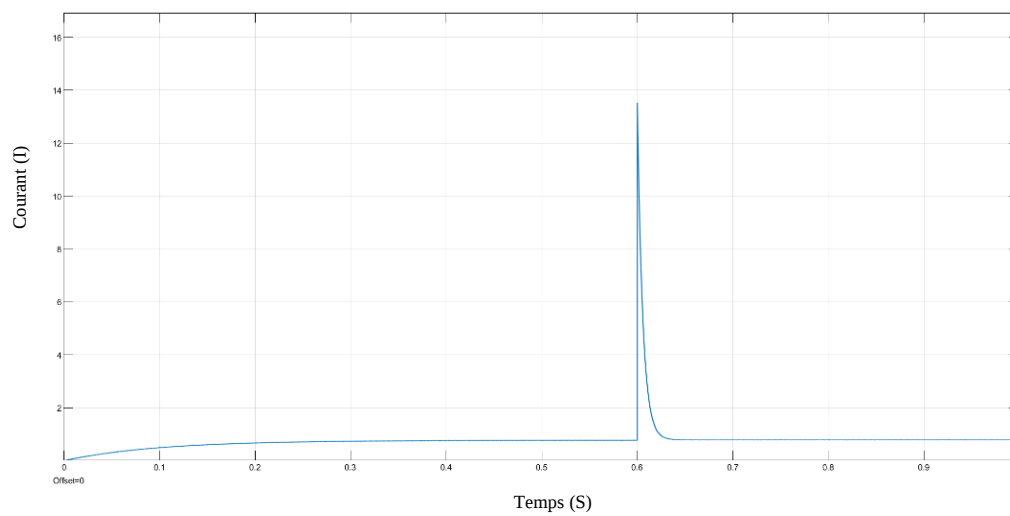
B : pour $R=1$



C : pour $R=3$



D : pour $R=6$



E : pour $R=10$

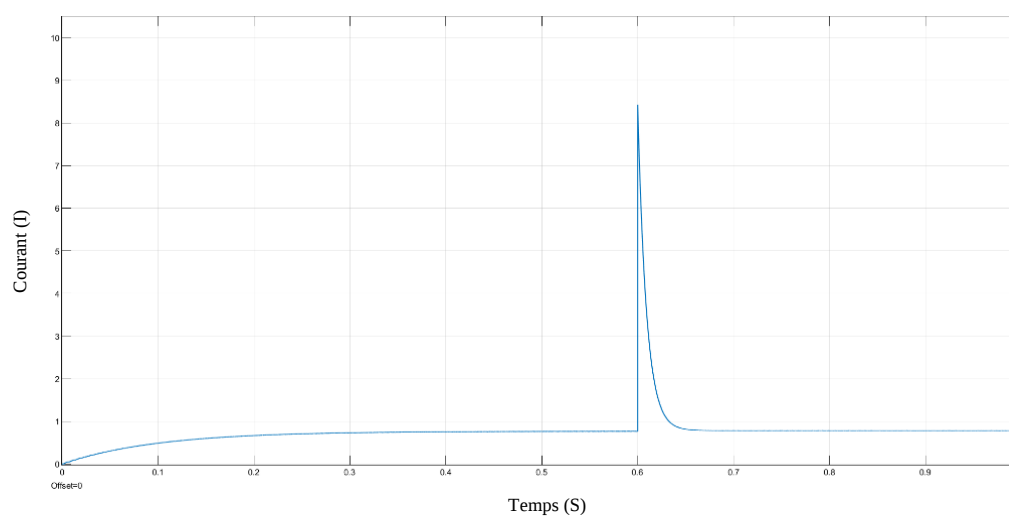
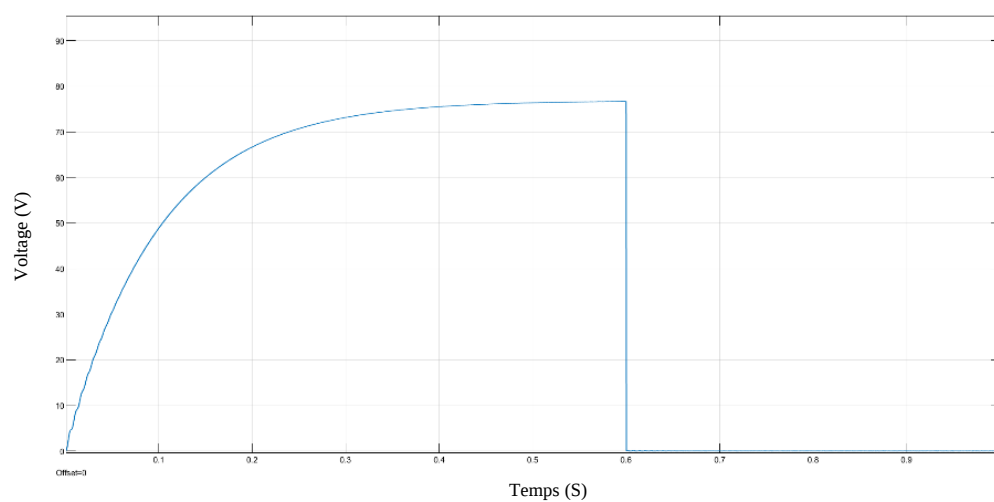


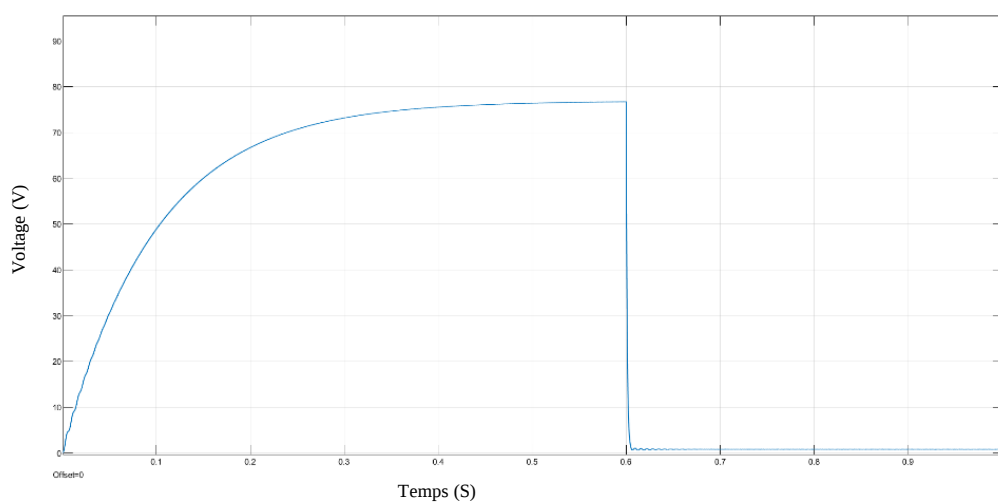
Figure (III.2) : Résultats de simulation de la courant de charge pour déférant valeur de résistance (A-B-C-D-E).

Résultats de simulation de la tension :

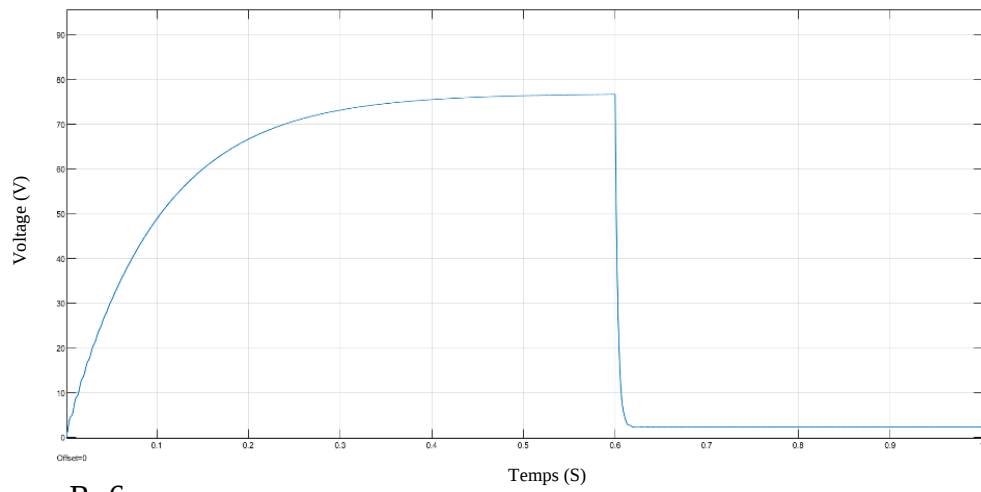
A : pour $R=0.1$



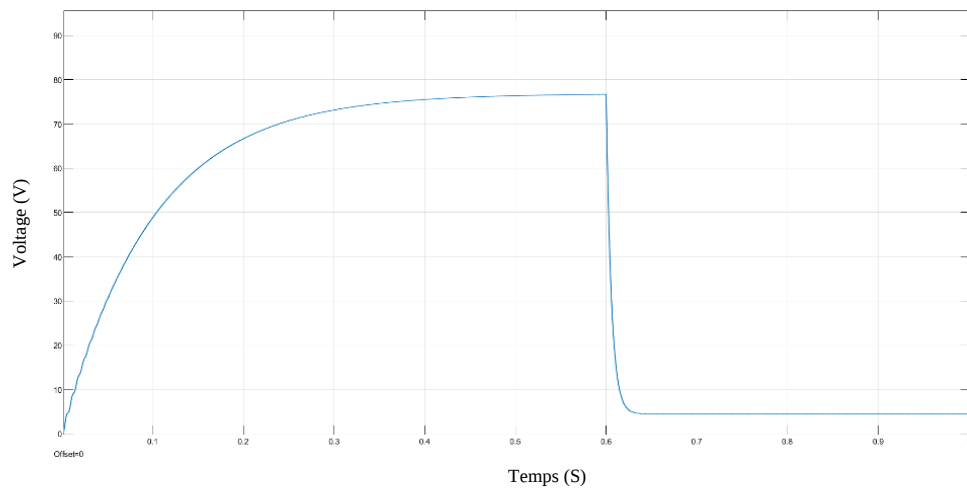
B : pour $R=1$



C : pour $R=3$



D : pour $R=6$



E : pour $R=10$

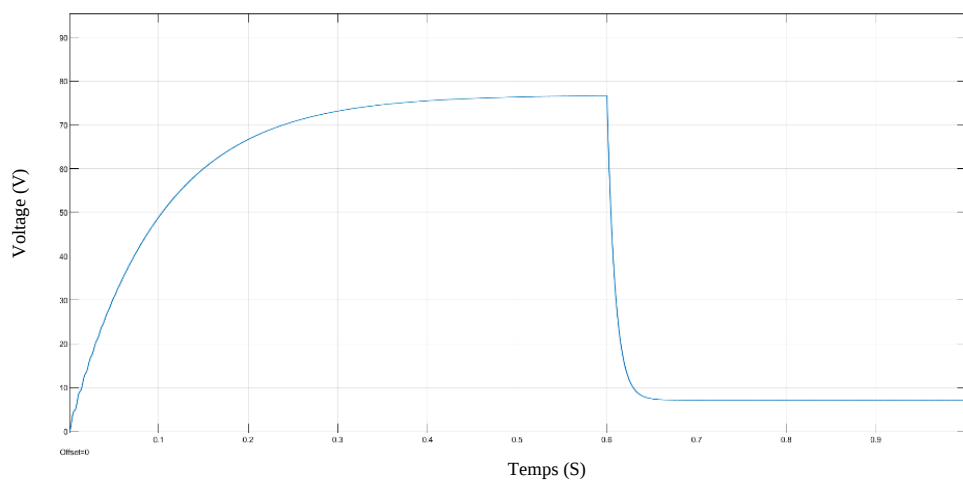


Figure (III.3) : Résultats de simulation de la tension de charge pour déférant valeur de résistance (A-B-C-D-E).

Discussion :

D'après les figures ci-dessus, on voit un changement au niveau du courant et de la tension de sortie du panneau solaire. L'évolution du courant et de la tension ont relation avec la résistance de la mise à la terre. Les points importants dans cette partie peuvent résumer comme suit :

- De 0 à 0.6 s, il n'y a pas de changement car l'interrupteur est ouvert.
- Après l'instant 0.6s, on remarque dans le courant un ajustement dû à un dysfonctionnement et/ou la fermeture d'interrupteur pour avoir un défaut de la mise à la terre.
- On voit qu'il y a une chute de tension et une valeur du courant a été perdue.
- Nous avons remarqué que plus la valeur de la résistance n'est faible, plus la valeur de la tension vers zéro n'est élevée.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé la définition du défaut de mise à la terre et ainsi les causes de son apparition. Cette partie a étudié l'effet sur le système photovoltaïque en simulant l'évolution du courant de charge. Les résultats montrent l'influence du défaut sur la grandeur électrique.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

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

Dans ce travail nous avons présenté un état de l'art sur le système PV et les différents défauts et techniques proposées. Comme nous avons fait la simulation du système PV pour le préparer à un défaut de la mise à la terre. Une analyse du défaut de ligne d'un système PV mise à la terre a été bien étudiée en suivant l'évolution du système sous ce défaut.

Ce mémoire s'est principalement intéressé au diagnostic des défauts d'un système photovoltaïque. Le travail consiste à faire un diagnostic capable de discriminer le défaut sélectionné dans le système PV. Les résultats montrent clairement l'évolution du système PV en présence du défaut.

Finalement on va établir une étude comparative entre les différents défauts appliqués sur le système photovoltaïque dans la pratique et les défauts réalisés.

Bibliographies

[BAC20] : Bacha Marah , «Diagnostic d'un panneau photovoltaïque», Mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra, Algérie,2019.

[AKA10] : Akassewa Tchapo Singo, «Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome », thèse doctorat, Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, France, 2010.

[SOL10] : Soltane Belakehal, «Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », thèse doctorat, université de Constantine , Algérie,2010.

[LON06] : Long BUN , «Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV», thèse doctorat de l'université de grenoble, France, 2006.

[ABD14] : Belaout Abdesslam , «Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension », Mémoire de master, université – setif-1- , Algérie, 2014.

[SYL11] : Sylvain et Brigand, « Installation solaire photovoltaïque », Mémoire de master de l'université de grenoble, France, 2011.

[PAS06] : A. Cid Pastor, "conception et réalisation de modules photovoltaïques électrique", thés de doctorat, institut national des sciences appliquées, Toulouse, 2006.

[SAH12] : S. Abdeslem, «Filtrage actif et contrôle de puissances: application aux systèmes photovoltaïques interconnectés au réseau», mémoire de magistère, université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie, 2012.

[VES05] : Y. Veschetti, «modélisation, caractérisation et réalisation de nouvelles structures Photovoltaïques sur substrat de silicium mince», thèse de doctorat, université Luis Pasteur, Strasbourg 1 , France, 2005.

[REZ15] : Wail Rezgui, « Système intégré pour la supervision et le diagnostic des défauts dansles systèmes de production d'énergies : les installations photovoltaïques », thèse doctorat, université Hadj Lakhdar –Batna ,Algérie, 2015.

[LYN18] : Hocine Lynda , «Contribution à l'étude d'un système photovoltaïque », Mémoire de master, Université Colonel Akli Mohand-Oulhadj Bouira ,Algérie, 2018.

[OTH12] : Othmane Benseddik, Fathi Djaloud, « Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque », mémoire de master, université Kasdi Marbah- Ouargala, Algérie, 2012.

[REY11] : Reynaud Jean-François, « Recherches d'optimums d'énergies pour charge/décharge d'une batterie à technologie avancée dédiée à des applications photovoltaïques », thèse doctorat, L'université de Toulouse , France, 2011.

[MKH15] : RIAD Mkhnenfer, « Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques », thèse de doctorat, université Ferhat Abbas - Sétif 1 UFAS, Algérie, 2015.

[SAB13] : Sabri Nassim , «Contribution au Détection et Diagnostic des défauts dans les systèmes photovoltaïques par l'intelligence artificielle », Mémoire de master Université Saad Dahlab de blida ,Algérie, 2013.

[BUN11] : Bun, «L.Détection et localisation de défauts dans un système photovoltaïque», Doctoral dissertation, Université de Grenoble, France, 2011.

[BER09] : c.bernard, c.sebrao-oliveira, b.laval et c.vaudouer « Panneau photovoltaïque et algorithme MPPT à base de logique floue », Rapport rédigé dans le cadre l'UV BA04-Energie renouvelable, Université de technologie Compiègne, France, 2009.

[website1]:https://www.researchgate.net/figure/Schema-du-circuit-electrique-equivalent-dune-cellule-solaire_fig2_326260490

[BEN12] : W.Bensaci, « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT », Mémoire de Master Université Kasdi Merbah-Ouargla , Algérie, 2012.

[MEF11] : A.Meflah '' Modélisation et commande d'une chaine de pompage photovoltaïque Mémoire de Magister universite abou bekr belkaid – Tlemcen , Algérie, 2011.

[FAT14] : hananou fatiha , «Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque», Mémoire master académique université kasdi merbah Ouargla, Algérie, 2014.

[CAB08] : C.Cabal , « Optimation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque », Mémoire de doctorat Université Toulouse III-Paul Sabatier , France 2008.

[BIR10] : J. Birkel, P. Zahlmann ,« protection contre des installations photovoltaïques : Exigences, procédures de test et applications pratiques », Mémoire de doctorat l'artisan électricien électronique n°439 2010.

[SIL09] : S. Silvestre, A. Boronat, A. Chouder,« Study of bypass diodes configuration on PV modules», Applied Energy 86 (2009) 1632-1640.

[website2]:https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.sciencedirect.com/science/article/am/pii/S0038092X16304819&ved=2ahUKEwi9uaLFx5v4AhUDi_0HHcuDA18QFnoECCEQAQ&usg=AOvVaw3JApeDfIvuFMj0s1friC_d