

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'Electronique

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Electronique

Spécialité: Electronique des Systèmes Embarqués

Présenté par :

- Benterki Ghada
- Mekidech Akram

Thème:

**Commande MPPT appliquée à un système PV connecté à un réseau
électrique triphasé**

Évalué le : 28/06/2022

Devant le Jury composé de :

Nom & Prénom	Grade	Qualité	Etablissement
TALBI Mohamed Lamine	MCA	Président	Univ-BBA
SARRA Mustapha	Prof.	Encadreur	Univ-BBA
ZAIDI Elyazid	Dr.	Co-Encadreur	Univ-BBA
HAMADECHE Fouzia	MAA	Examineur	Univ-BBA

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Allah le Tout Puissant qui m'a donné la volonté le courage et la patience pour terminer ce travail.

*Je tiens particulièrement à remercier vivement mon encadreur Professeur : **SARRA Mustapha** d'avoir accepté d'encadrer et diriger ce travail.*

*Je remercie également Co-encadreur **ZAIDI Elyazid** qui m'a aidé et m'a aidé sans relâche.*

Je le remercie pour son aide, pour ses précieux conseils, ainsi que pour son assistance et sa et ses orientations.

Je tiens à remercier également tous les membres de jury qui ont voulu examiner ce travail.

Et enfin, Ma profonde gratitude s'adresse aussi à l'ensemble des Enseignants qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.

➤ *Benterki Ghada*

➤ *Mekidech Akram*

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à ceux que sont
Les plus chers à mes très chers parents
Ma profonde gratitude et mon incontestable
reconnaissance, pour tous les sacrifices que vous me
contentés, toute la confiance que vous m'accordez et tout
l'amour dont vous m'entourez.*

A Mon frère MOUADH

A mes sœurs MAROUA, DJOUMANA et MERIEM

Pour leurs soutiens et leurs amours.

A toute ma famille Benterki et Makhoukh

A mes amis tous mes collègues d'étude.

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour
que ce projet soit possible, je vous dis merci.*

*Toute la promotion de 2ème année **Master Electronique
des Systèmes Embarqués** promotion 2021- 2022.*

 BENTERKI Ghada

Dédicaces

A ma très chère mère

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier
comme il se doit. Ton affection me*

*Couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a
toujours été ma source de force pour*

Affronter les différents obstacles.

Mon très cher père

*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et
m'encourager. Que ce travail traduit ma*

Gratitude et mon affection.

A mes très chers frères ANNIS et NIDHAL

*Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout
réussite*

*A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour
et de la vivacité.*

*A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je
souhaite plus de succès.*

 MEKIDECH Akram

RESUME :

L'énergie solaire, dont les avantages et les inconvénients sont maintenant connus, mais toujours très prometteur malgré le coût élevé. Cette réalité nécessite des études spécifiques pour assurer la qualité des réseaux électriques tout en assurant la fiabilité et la rentabilité des nouvelles technologies dans un contexte en constante évolution.

Dans cette étude nous discutons le principe de fonctionnement du panneau photovoltaïque actuel, des caractéristiques de modélisation, de l'efficacité ainsi qu'une brève description des systèmes photovoltaïques connectés aux réseaux électriques. Puis une brève présentation de certains convertisseurs DC-DC et AC-DC, puisque c'est le meilleur moyen d'atteindre le point de puissance maximum avec différentes catégories de contrôle MPPT.

Mots clé : Photovoltaïques, MPPT, convertisseurs DC-DC et AC-DC,

ABSTRACT:

The growing global energy demand and the polluting nature of fossil fuels have increased the interest in developing renewable energies. Among them, solar energy, the advantages and disadvantages of which are now known, but which is still very promising despite a high cost. Projects for the production of photovoltaic electricity from the scale of individuals (a few watts to a few kilo Watts) to power plants of several tens of megawatts are finalised or in progress worldwide. This reality calls for specific studies to ensure the quality electricity networks while technologically guaranteeing the reliability and profitability of new installations in a constantly changing context.

The study presented above deals with the definition of photovoltaic solar energy, the operating principle of a current PV panel, its modeling characteristics, its efficiency and the high efficiency of new panels. It also describes the different PV systems. A brief description of the connected PV systems and their different devices is presented. After a brief presentation of some of the DC-DC and MPPT_P&O and AC-DC converters, our study focused on the boost-type converters are thus represented by models developed for a simulation of the behavior of the entire network.

Keywords: Photovoltaics, MPPT, DC-DC and AC-DC converters.

ملخص :

في الوقت الراهن، أدى تزايد الطلب العالمي على الطاقة الكهربائية والطبيعة الملوثة للوقود الأحفوري إلى زيادة الاهتمام بتطوير الطاقة المتجددة. من بينها الطاقة الشمسية، التي أصبحت مزاياها وعيوبها معروفة الآن، لكنها لا تزال واعدة للغاية على الرغم من التكلفة المرتفعة. تم تنفيذ مشاريع إنتاج الكهرباء الكهروضوئية على نطاق بشري (من بضع واط إلى بضعة كيلوغرامات من الواط) لمحطات توليد الطاقة بعدة عشرات من الميغاواط أو يتم تنفيذها في جميع أنحاء العالم. يتطلب هذا الواقع دراسات محددة لضمان جودة شبكات الكهرباء مع ضمان موثوقية وربحية الشركات الجديدة من حيث التكنولوجيا في سياق متغير باستمرار.

قدمنا من خلال هذه الدراسة تعريف شامل حول الطاقة الشمسية الكهروضوئية، ومبدأ التشغيل للوحة الكهروضوئية الحالية، وخصائص النمذجة، وكفاءة الألواح الجديدة وكفاءتها العالية. كما يصف أنظمة كهروضوئية مختلفة. ويقدم وصف موجز للأنظمة الكهروضوئية المتصلة ومختلف أجهزتها. بعد نظرة عامة موجزة على بعض محولات DC-DC و AC-DC المحسنة، لأن هذه هي أفضل طريقة للوصول إلى أقصى نقطة طاقة مع فئات تحكم MPPT مختلفة، ركزنا بشكل أساسي على التحكم المطبق على نظام الشبكة الكهروضوئية المتصل.

كلمات مفتاحية: الكهروضوئية، MPPT، على بعض محولات DC-DC و AC-DC .

Sommaire

Remercîments

dédicace

Résumés

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Chapitre I : Description générale sur les systèmes photovoltaïque

I.1. Introduction.....	15
I.2.Énergie solaire	15
I.3.L'énergie solaire photovoltaïque.....	16
I.3.1.Définition.....	16
I.3.3. Les différents types des systèmes photovoltaïques	17
I.3.3.1. Système photovoltaïque connecté au réseau.....	17
I.3.3.2. Système Hybrides.....	18
I.3.3.3. Système photovoltaïque autonome.....	18
I.3.4. Le principe de conversion photovoltaïque	19
I.5. Cellule solaire	20
I.5.1. Définition.....	20
I.5.2. Technologie des cellules photovoltaïques	21
I.5.3. Influence de G et T sur le rendement d'une cellule solaire	23
I.5.3.1. Influence de l'ensoleillement (G).....	23
I.5.3.2. Influence de la température.....	24
I.6. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïques.....	26
I.7. Conclusion.....	27

Chapitre II : Commande MPPT du système

II.1. Introduction.....	28
II.2. Hacheur DC/DC.....	28
II.2.1. Notions sur les Hacheurs DC-DC	28
II.2.2. Description.....	29
II.2.3.Les types des Hacheurs DC-DC	29

II.2.3.1. Hacheur Abaisseur (Buck).....	30
II.2.3.2. Hacheur Abaisseur-Élévateur (Buck-Boost).....	31
II.2.3.3. Hacheur Élévateur (Boost).....	32
II.3. Onduleur de tension DC/AC	35
II.3.1. Types des onduleurs	35
II.3.1.1. Onduleur monophasée de tension.....	35
II.3.1. 2. Onduleur triphasé de tension.....	35
II.3.2. Stratégie de commande de l'onduleur coté réseau	37
II.3.3. Objectif de la commande de l'onduleur.....	37
II.3.3. 1. Contrôle basé sur MLI-ST (modulation de largeur d'impulsion Sinus triangle).....	37
II.4. Commande MPPT.....	38
II.4.1. Définition	38
II.4.2. Convertisseur pour la suite du PPT	39
II.4.3. Les différentes type de commande MPPT.....	39
II.4.3.1. Méthode de Perturbation et Observation (P&O)	40
II.4.3.2. Principe de méthode P&O	40
II.4.3.3. Organigramme de méthode P&O.....	41
II.5. Description du système PV connecté au réseau.....	41
II.5.1. Caractéristiques du réseau.....	42
II.5.2 Matériels utilisés dans les réseaux électriques	43
II.5.3. Niveaux de tensions des réseaux	44
II.5.4. Les postes électriques.....	44
II.5.5. Les lignes électriques.....	44
II.5.6. Classements des centrales photovoltaïques connectées au réseau	45
II.5.7. Description du système PV connecté au réseau.....	45
II.6. Conclusion.....	46

Chapitre III : Résultats de simulation du système

III.1 Schéma de commande du système.....	47
III.2 Simulation du module photovoltaïque	48
III.2.2 Résultats de simulation du module photovoltaïque	50
III.3 Commande MPPT de type P&O du système GPV.....	51
III.3.1 Montage de simulation de la commande MPPT de type P&O.....	51
III.3.2 Résultats de simulation de la commande MPPT-P&O.....	52

III.4 Simulation de Hacheur DC/DC (Boost).....	53
III.4.1 Montage de simulation de Hacheur DC/DC (Boost).....	53
III.4.2 Résultats de la simulation de Hacheur DC/DC (Boost)	53
III.5 Simulation de l'onduleur de tension triphasée a deux niveaux.....	55
III.5.1 Montage de simulation de l'onduleur de tension triphasée (son filtre).....	55
III.5.2 Résultats de la simulation de l'onduleur de tension triphasée (son filtre)	57
III.5.3 Montage de simulation de l'onduleur de tension triphasée (avec le filtre RC)	59
III.5.4 Résultats de simulation de l'onduleur de tension triphasée (avec le filtre RC).....	60
III.6 Simulation de l'interconnexion avec le réseau.....	61
III.7 Conclusion.....	61

Liste des figures

Chapitre I: Description générale sur les systèmes photovoltaïques

Figure I.1: Système photovoltaïque.....	17
Figure I.2: Installation photovoltaïque raccordée au réseau.....	19
Figure I.3: Schéma synoptique du système Hybride	19
Figure I.4 Système photovoltaïque autonome.....	20
Figure I.5 Constitution d'une cellule solaire de silicium.....	21
Figure I.6 Schéma équivalent schéma équivalent d'une cellule solaire une diode.	22
Figure I.7 Schéma équivalent d'une cellule solaire à deux diodes.	22
Figure I.8 Silicium monocristallin.	23
Figure I.9 Silicium poly cristalline.	23
Figure I.10 Silicium amorphe.	24
Figure I.11 Courbes I_V d'un panneau à divers en soleillement à $T=25^{\circ}\text{C}$	24
Figure I.12 Courbes P_V d'un panneau à divers en soleillement à $T=25^{\circ}\text{C}$	25
Figure I.13 Courbe $I - V$ d'un GPV pour les différentes températures à $G=1000\text{W}/\text{m}^2$	26
Figure I.14 courbe $P - V$ d'un GPV pour les différentes températures à $G=1000\text{W}/\text{m}^2$	26

Chapitre II : Commande MPPT du système

Figure II.1. Symbole d'un Hacheur.	30
Figure II.2. Schéma de principe du Hacheur Buck (dévolteur).....	31
Figure II.3. Caractéristiques de la tension et des courants du transistor ainsi que l'inductance d'un Hacheur Buck.....	32
Figure II.6. Circuit électrique du Hacheur Elévateur (Boost).....	34
Figure II.7. Caractéristique de la tension et du courant du Hacheur Survolteur.....	34
Figure II.8. Circuit équivalent d'un Onduleur de Triphasé triphasée.....	37
Figure II.9. Schéma équivalent d'un onduleur avec filtre L.....	38
Figure II.10. Tension à la sortie d'un onduleur non filtrée et filtrée [20].....	38
Figure II.12. Schéma synoptique du système PV par une commande MPPT.	40
Figure II.13. Caractéristique de fonctionnement de la méthode P&O [23].	41
Figure II.14. Organigramme de la méthode P&O.....	42
Figure II.15. Structure générale d'un système PV connecté au réseau.	43

Figure II.16. Modèle du réseau électrique.	44
Figure II.17. Schéma de la commande linéarisant appliquée au système PV connecté au réseau.....	47

Chapitre III : Résultats de simulation du système

Figure III.1 Schéma du système sous Matlab/Simulink.	48
Figure III.2 Le schéma de block du module PV sous Matlab/Simulink.....	49
Figure III.4 Signal Builder (PV/ Irradiance (W/m ²)/Temperature (deg.C).....	50
Figure III.3 Caractéristique I-V et P-V d'un module PV pour différentes valeurs de l'éclairement	50
Figure III.5 Allure du courant du générateur photovoltaïque (GPV).....	51
Figure III.6 Allure de la tension du GPV.....	52
Figure III.7 Allure de la puissance du GPV.....	52
Figure III.8 Schéma de bloc de la commande MPPT de type P&O.....	53
Figure III.9 le signal de la commande MPPT de type P&O	53
Figure III.10 zoom sur allure de la commande MPPT-P&O.	54
Figure III.11 Schéma de simulation de Hacheur Boost.	54
Figure III.12 Tension à l'entrer de l'Hacheur Boost.....	55
Figure III.13 Tension à la sortie du système (panneau PV +BOOST) avec une MPPT P&O.....	55
Figure III.14 Courant à l'entrée de le Hacheur Boost.	55
Figure III.16 les 3 signaux de l'onde sinusoïdale	57
Figure III.17 le signale de séquence de répétition.....	57
Figure III.18 Schéma de la commande de l'onduleur de tension triphasée.....	58
Figure III. 19 Allure des courants des phases de l'onduleur de tension triphasé.....	58
Figure III. 20 Zoom sur les courants des phases de l'onduleur de tension triphasée.	59
Figure III.21 Allure de tension aux bornes de l'onduleur de tension triphasée.....	59
Figure III. 22 Zoom sur allure de tension aux bornes de l'onduler de tension triphasée.....	60
Figure III. 23 Schéma de simulation de l'onduleur avec filtrage.....	61
Figure III. 24 Résultats de la simulation de l'onduleur avec filtrage.....	61
Figure III. 25 zoom de résultats de la simulation de l'onduleur avec filtrage	61
Figure III. 26 Schéma de simulation de réseau.....	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1. Fonctionnement et les rapports de transformation des convertisseurs DC/DC.....	33
Tableau III.1 Caractéristiques électriques du module photovoltaïque dans les conditions standards de test (CST).....	52

Nomenclature

PV : Photovoltaïque.

GPV : Générateur Photovoltaïque

MPPT: Maximum Power Point Tracking.

DC/DC : Courant continu / Courant continu.

MPP : Point de la puissance maximale.

P&O : Perturbation et Observation.

PI : Proportionnel-Intégrale.

MLI-ST: Modulation de largeur d'impulsion Sinus tri

DC/AC : Courant continu / Courant alternatif

I_{pv} : Courant photovoltaïque (A).

P_{pv} : Puissance photovoltaïque.

V_{pv} : Tension photovoltaïque

AC : Alternatif Current (Courant Alternatif (CA)).

Introduction générale

Ces dernières années, la consommation mondiale en énergie électrique a augmenté considérablement. En effet, les prévisions des besoins en énergie électrique pour les années à venir ne font que confirmer, voir amplifier cette tendance, notamment compte tenu de l'évolution démographique et du développement de certaines zones géographiques. De plus, les gisements de ressources énergétiques traditionnelles, d'origines principalement fossiles, ne peuvent être exploités que pour quelques décennies, ce qui laisse présager d'une situation de pénurie énergétique au niveau mondial de façon imminente. [1]

De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie électrique est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures. En outre les déchets des centrales nucléaires posent d'autres problèmes en termes de pollution des déchets radioactifs, du démantèlement prochain des vieilles centrales et du risque industriel. Aujourd'hui, les énergies renouvelables deviennent progressivement des énergies à part entière, rivalisant avec des énergies fossiles du point de vue coût et performance de production. Cependant, leurs systèmes de conversion en électricité sont encore des systèmes trop chers, et présentent quelques déficiences importantes en rendement et en fiabilité, mais pour cela, bien qu'il existe énormément de travaux de recherches prouvant la fiabilité de ces sources comme l'énergie photovoltaïque (PV), et l'énergie éolienne. [2]

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie électrique est effectuée par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque, qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules (PV) en série/ parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV).

Le contexte général de ce travail est basé sur la production d'énergie électrique à l'aide d'un système photovoltaïque (PV). Ce système est constitué d'une source d'énergie renouvelable inépuisable et relativement plus acceptable pour notre environnement. De plus, l'évolution des coûts à long terme, à la hausse pour les énergies non renouvelables et à la baisse pour le photovoltaïque, en fera un partenaire concurrentiel pour alimenter les réseaux dans quelques années. [3]

Dans ce mémoire, nous avons étudié le problème de recherche du point de la puissance maximale (MPPT) et le réglage de la puissance réactive dans un système photovoltaïque connecté au réseau. Nous avons utilisé la technique de commande MPPT appliquée à un système PV connecté à un réseau électrique triphasé.

La structure de ce mémoire est comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présenterons le principe de fonctionnement, la modélisation mathématique et les caractéristiques d'un panneau photovoltaïque. Ensuite, nous allons donner les différents types des systèmes photovoltaïques. Finalement, les performances de ce system seront justifiées par des résultats obtenus par simulation sous *Matlab/Simulink*.

Le deuxième chapitre est consacré en premier lieux à la synthèse des systèmes de conversion d'énergie électrique DC/DC via un étage d'adaptation avec la commande MPPT de type perturbation et observation (P&O). Ce système de conversion d'énergie électrique DC/AC pour alimenter les charges. En deuxième lieu, nous présentons les onduleurs de tension à deux niveaux et une généralité sur les systèmes photovoltaïques connectés au réseau électrique.

Le troisième chapitre est dédié à la présentation des différentes résultats de simulation du système étude sous environnement *Matlab/Simulink*.

Enfin, nous terminons ce travail par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I : Description générale des systèmes photovoltaïques

I.1. Introduction

Le système photovoltaïque (PV) est un ensemble d'éléments qui sert à la production d'électricité à partir du rayonnement solaire [1]. Un générateur photovoltaïque (GPV) alimente une charge continue ou alternative via une interface d'électronique de puissance. Il est capable de fournir une puissance allant d'un milliwatt à quelques mégawatts. De plus, le composant de base de ce système s'appelle : cellule PV ou photopile. Il produit de l'énergie électrique à chaque fois qu'il reçoit de l'éclairement.

Dans ce chapitre, nous avons étudiés les caractéristiques générales d'un système PV. Ensuite, nous présentons des résultats de simulation d'un panneau sous *Matlab/Simulink* pour le cas des conditions météorologiques standards et pour le cas des variations de la température et de l'éclairement [2].

I.2.Énergie solaire

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (kWc/m²) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés:

➤ L'énergie solaire thermique

Consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux solaires. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.

➤ L'énergie solaire photovoltaïque

Consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays où les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles telles que les hydrocarbures ou le charbon [3].

I.3.L'énergie solaire photovoltaïque

I.3.1. Définition

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium recouvert d'une mince couche métallique [4][5]. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure, c'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et libèrent un courant électrique continu. L'électricité produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stockée en batteries (énergie électrique décentralisée) ou en électricité injectée dans le réseau [6].

Un générateur solaire photovoltaïque est composé de modules photovoltaïques eux même composés de cellules photovoltaïques connectées entre elles (Figure I.1) [7].

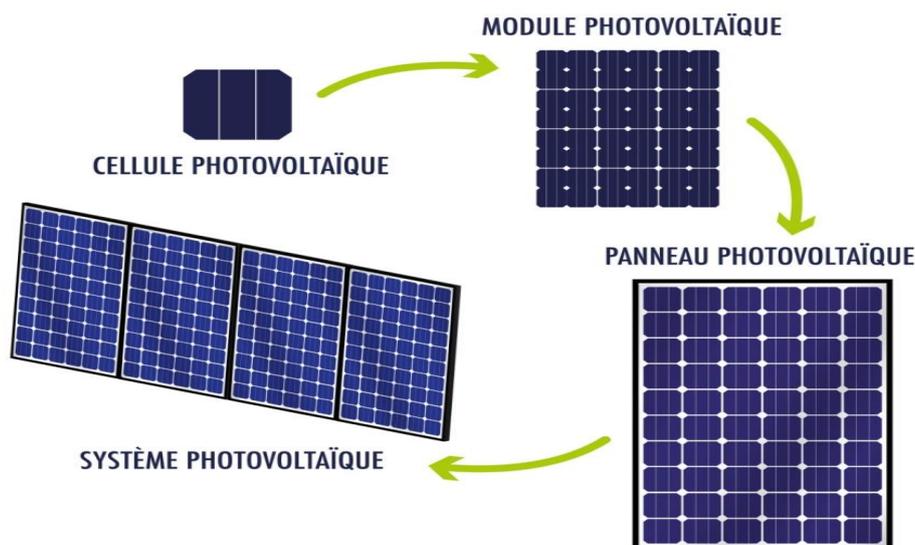


Figure I.1: Système photovoltaïque [7].

I.3.2. Paramètres d'un module PV

Les modules sont généralement des parallélépipèdes rectangles rigides minces (quelques centimètres d'épaisseur), dont les paramètres suivants [8]:

- **La puissance crête (P_c)** : Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m²).
- **La caractéristique $I = f(V)$** : Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- **Tension de circuit-ouvert (V_{co})** : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement "plein soleil".
- **Courant de court-circuit (I_{cc})** : La plus grande valeur de courant générée par la cellule sous les conditions de court-circuit où $V = 0$. (Pratiquement $I_{cc} = I_{ph}$).
- **La puissance maximale (P_{max})** : Puissance électrique maximale que peut fournir le module, qui est associé à une tension maximale V_{max} et à une intensité maximale I_{max}

$$P_{max} = I_{max} \times V_{max} \quad (I.1)$$

- **Rendement η** : Rapport de la puissance électrique maximale P_{max} à la puissance de radiation incidente P_{inc}

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} \quad (I.2)$$

Avec :

P_{inc} : Egale 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.

- **Facteur de forme FF**: Rapport de la puissance maximale qui peut être délivré à la charge sur le produit de (I_{cc}, V_{co})

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} \times V_{co}} \quad (I.3)$$

I.3.3. Les différents types des systèmes photovoltaïques

I.3.3.1. Système photovoltaïque connecté au réseau

Le générateur photovoltaïque connecté au réseau est l'application la plus envisagée en zone urbaine avec l'installation de module sur les toits et les façades de

bâtiments [5]. L'intégration d'élément photovoltaïque dans les structures de bâtiment a de nombreux atouts. En étant connecté au réseau, ces systèmes permettent d'éviter des problèmes de stockage et de transport de l'électricité.

L'excès de production après transformation en alternatif à l'aide d'un onduleur, est injecté dans le réseau. En période de non production (la nuit), l'électricité est prélevée sur le réseau. Le compteur tourne alors dans les deux sens.

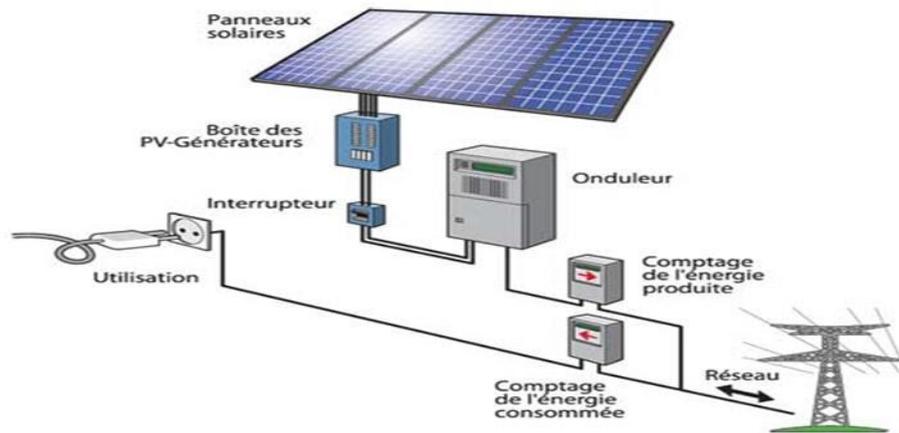


Figure I.2: Installation photovoltaïque raccordée au réseau.

I.3.3.2. Système Hybrides

Les systèmes Hybride est la combinaison de deux ou plusieurs sources d'énergies renouvelables (GPV-Batterie). On prend comme exemple l'énergie photovoltaïque et l'énergie éolienne, ce qui permet d'optimiser au maximum les systèmes de production d'électricité, aussi bien du point de vue technique et le gain économique [6].

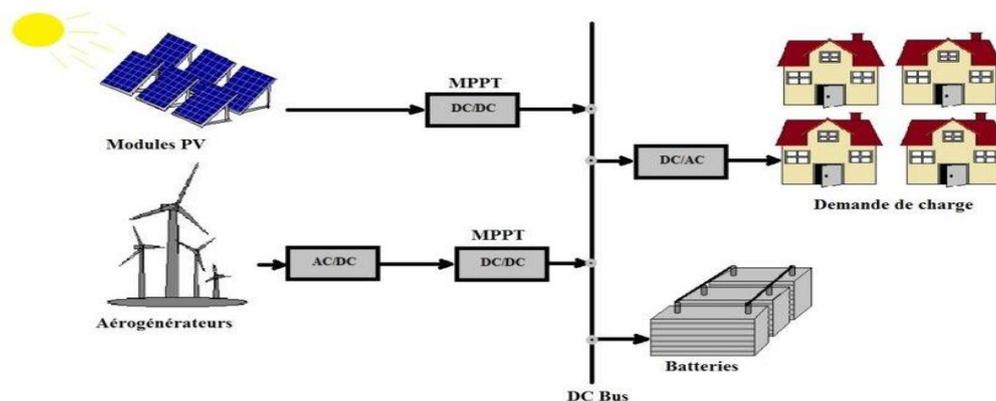


Figure I.3: Schéma synoptique du système Hybride [7].

I.3.3.3. Système photovoltaïque autonome

Une installation photovoltaïque (PV) est dite autonome ou isolée quand elle n'est pas reliée à un réseau électrique de distribution d'énergie. Le système PV autonome permet de fournir des courants et des tensions électriques à des endroits où il n'y a pas de réseau. Donc l'énergie produite est utilisée immédiatement (pompage, l'éclairage, etc....) ou stockée dans des batteries pour une utilisation différée. Pour ces applications il n'est pas toujours possible de mettre en place un réseau d'alimentation traditionnel, soit à cause de contraintes techniques, soit pour des raisons économiques. Les performances des systèmes autonomes dépendent de l'état et de la qualité des batteries, c'est l'élément de base dans ces types des systèmes [8].

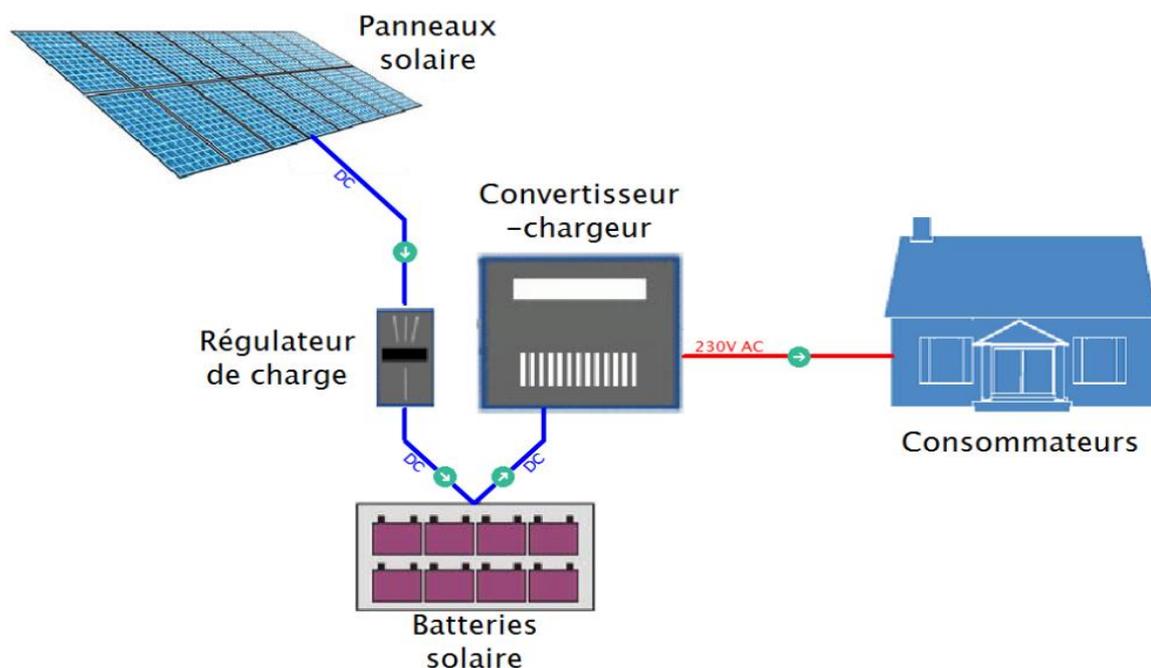


Figure I.4 Système photovoltaïque autonome.

I.3.4. Le principe de conversion photovoltaïque

Grâce à la génération et au transport des charges électriques positives et négatives dans un conducteur semi-matériel sous l'influence de la lumière, l'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet la conversion directe de l'énergie électrique lumineuse des rayons solaires en électricité. Le type dopé n et le

type dopé p sont les noms des deux composants de ce matériau, dont l'un a un excès d'électrons et l'autre une pénurie d'électrons.

Les électrons supplémentaires dans la matière n diffusent dans la matière p quand elle entre en contact avec la seconde. Les zones dopées initiales n et p passent d'une charge négative à une charge positive. En créant un champ électrique entre eux, les électrons sont poussés dans la zone n tandis que les trous sont poussés vers la zone p . Il a développé une jonction appelée ($p-n$). Une diode est créée en incluant les contacts métalliques dans les zones n et p . De plus, lorsque la jonction est illuminée, les photons ayant des énergies égales ou supérieures à la largeur de la bande interdite transfèrent leur énergie aux atomes. Chacun de ces photons fait cela en passant un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et en laissant un trou qui peut se déplacer, créant une paire d'électrons et un trou. La Figure I.5 montre ce qui se passe lorsqu'une charge est appliquée aux bornes de la cellule : les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, créant une différence potentielle qui provoque l'écoulement d'un courant électrique.

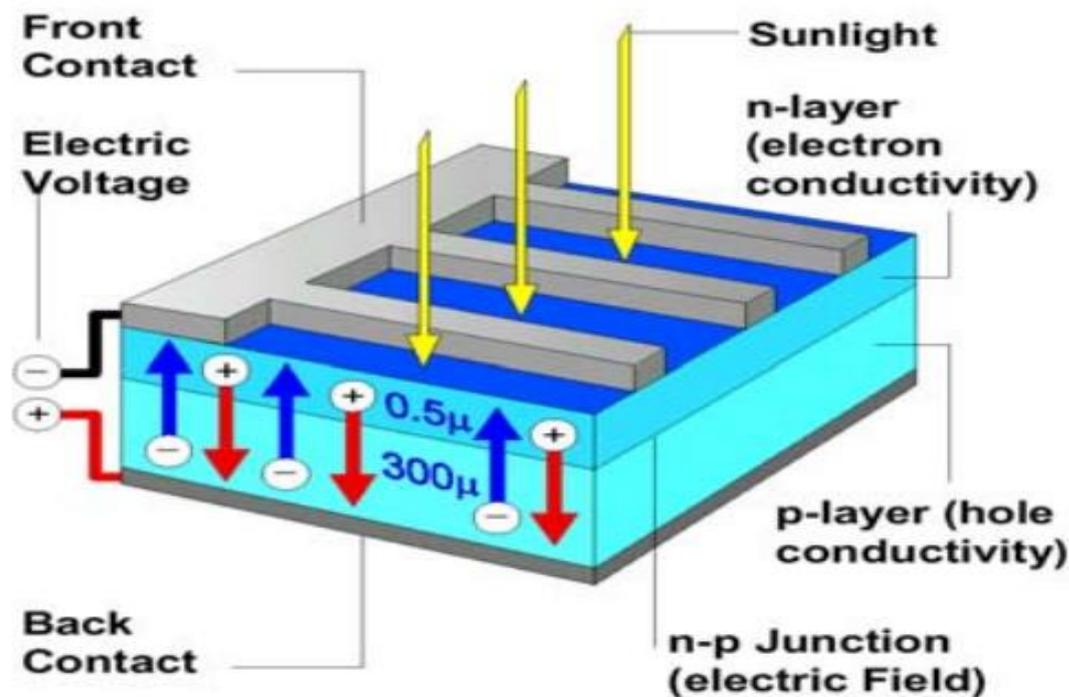


Figure I.5 Constitution d'une cellule solaire de silicium.

I.5. Cellule solaire

I.5.1. Définition

La cellule solaire est un composant optoélectronique qui basée sur le type d'installation (série ou parallèle) pour produisant l'énergie électrique. Elle fonctionne sur le principe de l'effet photoélectrique. Plusieurs cellules sont reliées entre elles sur un module solaire photovoltaïque, plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire. Cette installation produit de l'électricité qui peut être consommée sur place ou alimenter un réseau de distribution. Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium (*Si*) et plus rarement d'autre semi-conducteur : séléniure de cuivre et d'indium ($(Se)_2ouCuInGa(Se)_2$), tellurure de cadmium (*CdTe*), etc.

Les Figures I.6 et I.7 représentent le schéma équivalent d'une cellule solaire à une seule diode et deux diodes respectivement.

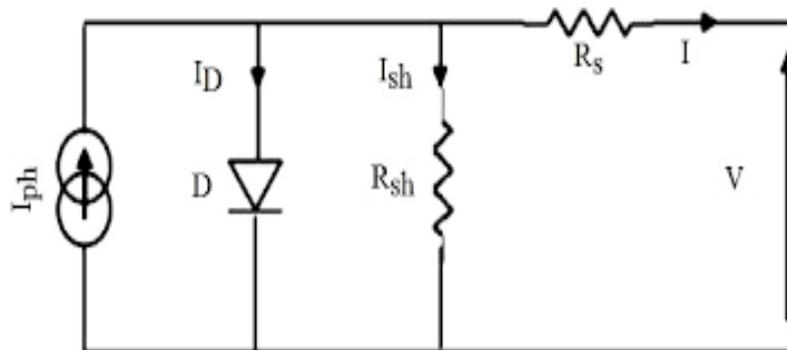


Figure I.6 Schéma équivalent schéma équivalent d'une cellule solaire une diode.

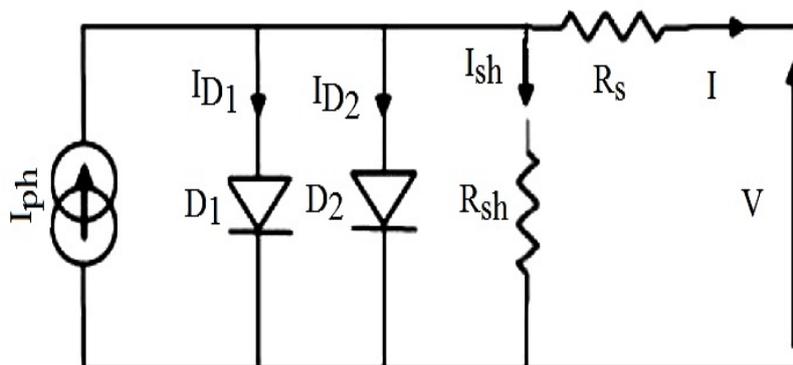


Figure I.7 Schéma équivalent d'une cellule solaire à deux diodes.

I.5.2. Technologie des cellules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïque. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui est propre [11]. Cependant quel que soit le type, le rendement reste assez faible entre : 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. Les cellules les plus utilisées:

A. Silicium monocristallin

Les cellules monocristallines sont des photopiles élaborées à partir de silicium cristallisé en un cristal unique. Leur rendement est de 10 à 16 %, mais leur fabrication est complexe et consommatrice d'énergie.



Figure I.8 Silicium monocristallin.

B. Silicium poly cristalline

Les cellules poly cristallines sont fabriquées à partir d'un bloc de silicium cristallisé sous forme de cristaux multiples. Leur rendement moyen est de 11 à 13 %, et leur coût de production est un peu moins élevé que celui des cellules monocristallines.



Figure I.9 Silicium poly cristalline.

C. Silicium amorphe

Les cellules amorphes se composent de couches de silicium très minces appliquées sur un support en verre, en plastique souple ou en métal. A l'origine, leur rendement était plus faible (6 à 10%), mais la technologie évolue rapidement, ils fonctionnent avec un éclairage faible ou diffus (même par temps couvert, y compris sous éclairage artificiel de 2 à 3000 lux)



Figure I.10 Silicium amorphe.

I.5.3. Influence de G et T sur le rendement d'une cellule solaire

On peut remarquer que la caractéristique $I - V$ d'un panneau photovoltaïque dépend fortement de la température (T) et de l'ensoleillement (G) [12].

I.5.3.1. Influence de l'ensoleillement (G)

Une baisse de l'ensoleillement provoque une diminution de la création de paires électron-trou avec un courant changé à l'obscurité. En effet, le courant du panneau solaire étant égal à la soustraction de la photo courant et du courant de diode à l'obscurité, il y'a une baisse du courant solaire proportionnelle à la variation de l'ensoleillement accompagnée d'une très légère diminution de la tension V_{co} et donc un décalage du point P_{max} du panneau solaire vers les puissances inférieures.

Les Figures I.11 et I.12 représentent les caractéristiques des grandeurs électriques $I - V$ et $P - V$, respectivement d'un générateur photovoltaïque pour une température constante ($T=25^{\circ}\text{C}$) et un ensoleillement variable.

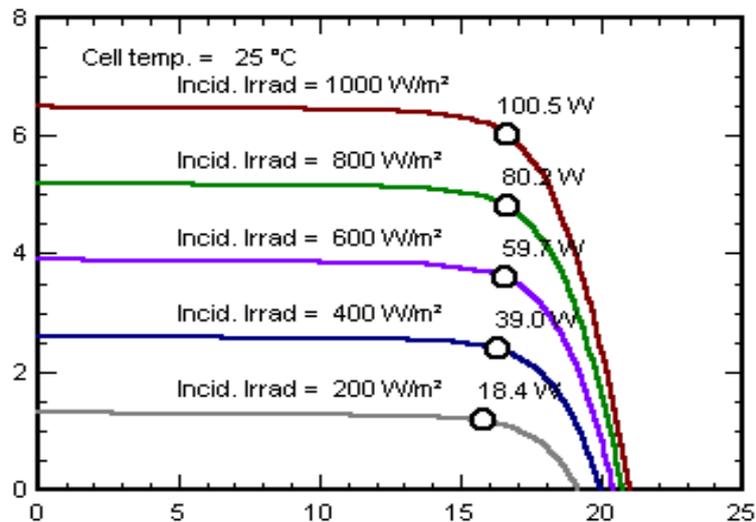


Figure I.11 Courbes I_V d'un panneau à divers en soleillement à $T=25^\circ\text{C}$.

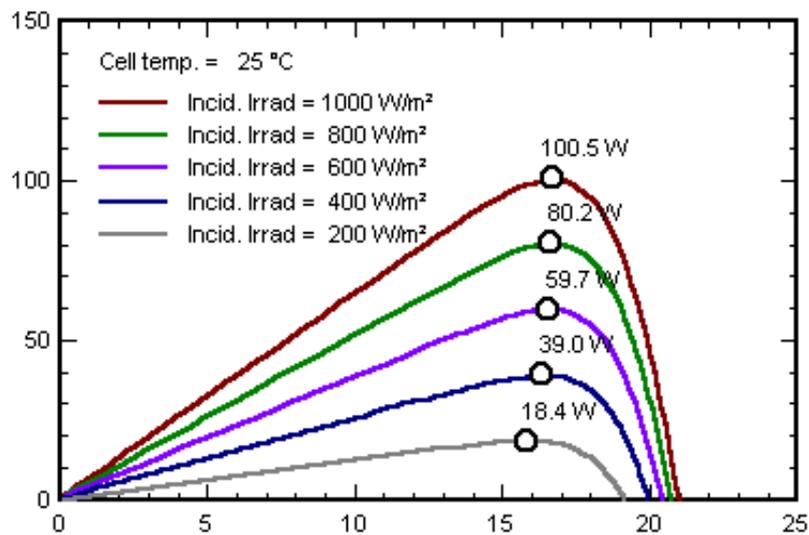


Figure I.12 Courbes P_V d'un panneau à divers en soleillement à $T=25^\circ\text{C}$.

Il est clair que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, mais reste quasiment identique même à faible éclairement.

La dépendance du courant I_{cc} de l'éclairement G peut être formulée par l'expression suivante :

$$I_{cc} = I^*_{cc} \left(\frac{G}{G^*} \right) + Ki(T - T^*) \quad (I.4)$$

Avec :

I^*_{cc} : Courant de court-circuit dans les conditions CST ($G^* = 1000 \frac{W}{m^2}$; $T = 25^\circ C$)

Ki : Coefficient de température du courant de court-circuit ($A/^\circ C$).

I.5.3.2. Influence de la température

On s'aperçoit que le courant délivré par chaque cellule dépend de la température interne de la jonction PN qui constitue la cellule PV.

Si on considère le réchauffement d'un module PV de 25°C à 50°C et si l'on considère en première approximation que la température face arrière de chaque cellule est proche de la température de la jonction PN, alors on peut considérer l'influence de la température.

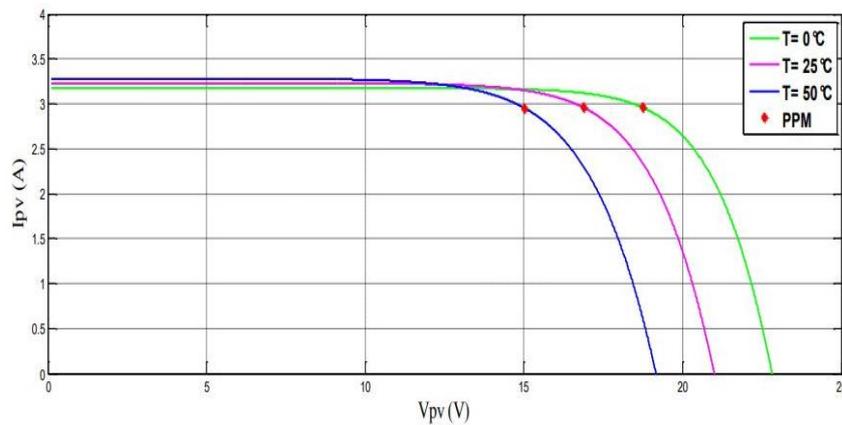


Figure I.13 Courbe $I - V$ d'un GPV pour les différentes températures à $G=1000W/m^2$.

On s'aperçoit que la tension de circuit ouvert décroît en fonction d'une augmentation de la température. Par conséquent, on perd de la puissance disponible aux bornes du module PV.

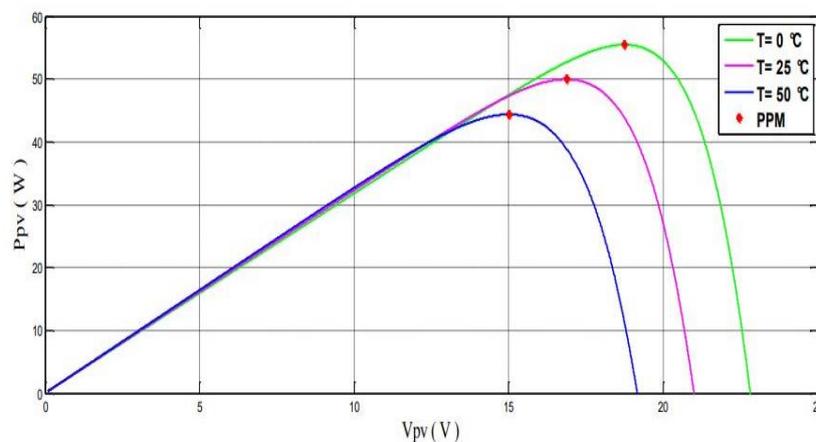


Figure I.14 courbe $P - V$ d'un GPV pour les différentes températures à $G=1000W/m^2$.

Les Figure I.13 et I.14 présentent les réponses $I - V$ et $P - V$ pour les différentes valeurs de la température (T) avec le fonctionnement du module photovoltaïque à une irradiation constante (G).

On remarque que la température à une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert diminution assez fortement lorsque la température augmente. On en déduit donc que le panneau peut fournir une tension correcte, même à faible éclairage, par conséquent la puissance extractible diminue.

La tension à vide d'un module PV en fonction de la température et de l'éclairement est donnée par la relation suivante:

$$V_{\infty} = V_{\infty}^* + K_v (T - T^*) - (I_{cc} - I_{cc}^*) R_s \quad (1.5)$$

Avec :

V_{∞}^* : Tension du circuit ouvert dans les conditions *CST*.

K_v : Coefficient de température de tension de circuit-ouvert ($V/^{\circ}C$).

I.6. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïques

L'énergie solaire apportée par des panneaux photovoltaïques a plusieurs avantages, néanmoins elle présente aussi quelques inconvénients, ils seront présentés ci-dessous [13] :

- **Avantage :**

- ✚ Energie du soleil est la source la plus renouvelable parmi toutes les autres.
- ✚ Energie photovoltaïque sur les sites isolés est donnée une solution pratique pour obtenir de l'électricité à moindre coût ;
- ✚ Revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voir de générer des revenus ;
- ✚ Energie photovoltaïque est totalement modulable et peut donc répondre à un large éventail de besoins. La taille des installations peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de la charge ;

- ✚ Energie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.

- **Inconvénient :**

- ✚ Coût d'investissement des panneaux photovoltaïques qui reviennent cher ;

- ✚ Fabrication des panneaux photovoltaïques relève de la haute technologie, demandant énormément de recherche, de développement et donc des investissements coûteux.

- ✚ Rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles ;

- ✚ Dans le cas d'une installation photovoltaïque autonome qui ne revend pas son surplus d'électricité au réseau, il faut inclure des batteries dont le coût reste très élevé ;

- ✚ Niveau de production d'électricité n'est pas stable et pas prévisible mais dépend du niveau d'ensoleillement. De plus, il n'y a aucune production d'électricité le soir et la nuit ;

- ✚ Durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. De plus, le rendement des cellules photovoltaïques diminue avec le temps.

I.7. Conclusion

Les systèmes photovoltaïques peuvent être utilisés comme sources principales. Ces sources permettent de fournir de l'énergie électrique sans aucune pollution localisée, mais leurs coûts sont élevés par rapport aux sources d'énergie conventionnelles. Les générateurs photovoltaïques présentent l'avantage de produire de l'énergie électrique à partir d'une ressource naturelle gratuite (soleil). Afin de démontrer les caractéristiques de courant-tension de la cellule PV et de la puissance-tension P-V, ainsi que l'impact de la température et de l'éclairage sur ces courbes, nous avons d'abord montré la production PV. Ces idées seront cruciales dans les autres parties de notre étude.

Dans le chapitre suivant nous avons étudié et analysé des techniques de commande pour mesurer le flux d'énergie du système de conversion.

Chapitre II : Commande MPPT du système

II.1. Introduction

Un GPV peut fonctionner dans une large gamme du courant et de tension de sortie mais il ne peut délivrer une puissance maximale que pour des valeurs particulières du courant et de la tension. En effet, les caractéristiques I-V du générateur dépendent de l'éclairement (G) solaire et de la température (T). Ces variations des paramètres (G et T) climatiques entraînent la fluctuation du point de la puissance maximale (PPM). A cause de cette fluctuation, on intercale souvent entre le générateur et le récepteur un ou plusieurs convertisseurs statiques commandés permettant de poursuivre le point de la puissance maximale.

Les techniques MPPT (Maximum Power Point Tracking) sont utilisées dans les systèmes photovoltaïques pour maximiser la puissance délivrée par le panneau photovoltaïque en poursuivant continuellement le point de puissance maximale, ce qui n'est pas évident à atteindre. En effet, ce problème de poursuite fait jusqu'à nos jours l'objet de plusieurs recherches. Aussi, plusieurs méthodes ont été élaborées et utilisées.

Dans ce chapitre, nous avons présentons plusieurs méthodes de commande MPPT basées sur la recherche du point de la puissance maximale. Notre travail est basé sur la évolution de la méthode perturbation et observation (P&O). Cette commande utilise directement la tension et le courant du panneau photovoltaïque pour chercher le point de fonctionnement correspondant à la puissance maximale.

II.2. Hacheur DC/DC

II.2.1. Notions sur les Hacheurs DC-DC

La conversion d'énergies électrique à basé d'un hacheur particulier est conçu pour régler l'impédance apparente de la charge à l'impédance maximale du point de puissance du champ PV.

Un hacheur est composé de deux (2) condensateurs à l'entrée C1 et à la sortie C2, une inductance et un interrupteur qui s'ouvre et se ferme, tels que des thyristors GTO, des transistors bipolaires ou des interrupteurs de champ à grille isolée. Tous

ces composants ne devraient nécessiter aucune alimentation dans la situation idéale ; c'est pourquoi il fonctionne bien [14].

II.2.2. Description

Le but de la conversion DC/DC est d'assurer l'adaptation d'énergie entre une source de tension continue à l'entrée et une source de courant continu à la sortie. Dans le présent travail l'intérêt sera porté sur les convertisseurs de types continus appelés "Hacheurs", qu'ils soient abaisseurs, éleveurs ou bien dévolteurs/survolteurs, qui correspondent aux applications moyennes et forte puissance. La représentation symbolique la plus couramment utilisée est donnée par la figure suivante :

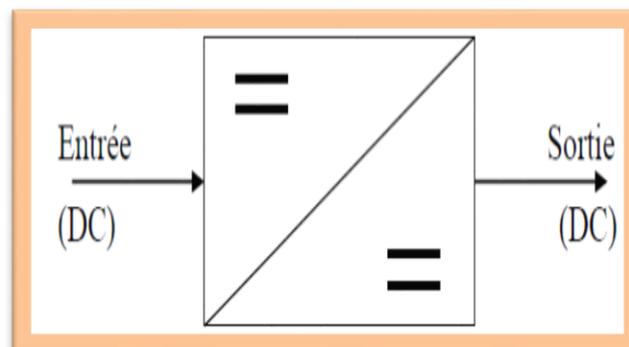


Figure II.1. Symbole d'un Hacheur.

Les Hacheurs sont les convertisseurs statiques continu-continu permettant de donner une source d'énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) à partir d'une source continue fixe. Ils sont généralement utilisés dans les systèmes photovoltaïques comme interface d'adaptation entre le générateur photovoltaïque et l'alimentation d'une charge continue et pour le stockage d'énergie dans des batteries. Ils permettent aussi de commander la poursuite du point de puissance maximale d'un système PV en suivant des stratégies de contrôle spécifiques. La conversion d'énergie se fait par commutation [1].

II.2.3. Les types de Hacheurs

Les hacheurs DC-DC sont utilisés dans les systèmes d'énergie solaire pour adapter la source continue à amplitude variable (panneau PV) à la charge qui demande en général une tension DC constante. Les trois configurations de base sont :

- ✚ Hacheur Abaisseur (Buck) ;
- ✚ Hacheur Elévateur (Boost) ;
- ✚ Hacheur Abaisseur-Elévateur (Buck-Boost).

Parmi les types de convertisseurs *DC-DC*, nous pouvons citer le *PUSH PULL*, le *FLYBACK*, *SEPIC* et le *CUK*. Le tableau suivant donne une idée sur le rapport de transformation de chaque type de convertisseurs en fonction du rapport cyclique (*d*).

Tableau II.1. Fonctionnement et les rapports de transformation des convertisseurs.

<i>Topologie du convertisseur</i>	<i>Rapport de transformation en fonction de D</i>	<i>Fonction</i>
<i>Buck</i>	D	Abaisseur
<i>Boost</i>	$\frac{1}{1-D}$	Elévateur
<i>Buck-Boost</i>	$\frac{-D}{1-D}$	Abaisseur
<i>Sepie</i>	$\frac{-D}{1-D}$	Abaisseur
<i>Cuk</i>	$\frac{-D}{1-D}$	Abaisseur
<i>FLY BACK</i>	$K \frac{D}{1-D}$	Abaisseur
<i>PUSH PULL</i>	KD	Abaisseur

II.2.3.1. Hacheur Abaisseur (Buck)

Un Hacheur Abaisseur, ou hacheur série est présenté par la Figure II.2, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur.

Un Hacheur Buck bien conçu possède un fort rendement et offre la possibilité de réguler la tension de sortie.

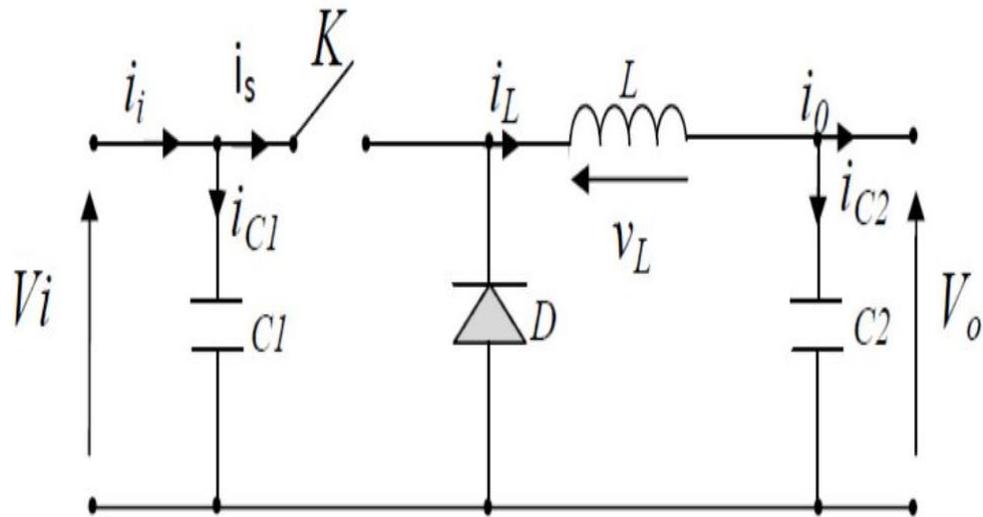


Figure II.2. Schéma de principe du Hacheur Buck (dévolteur).

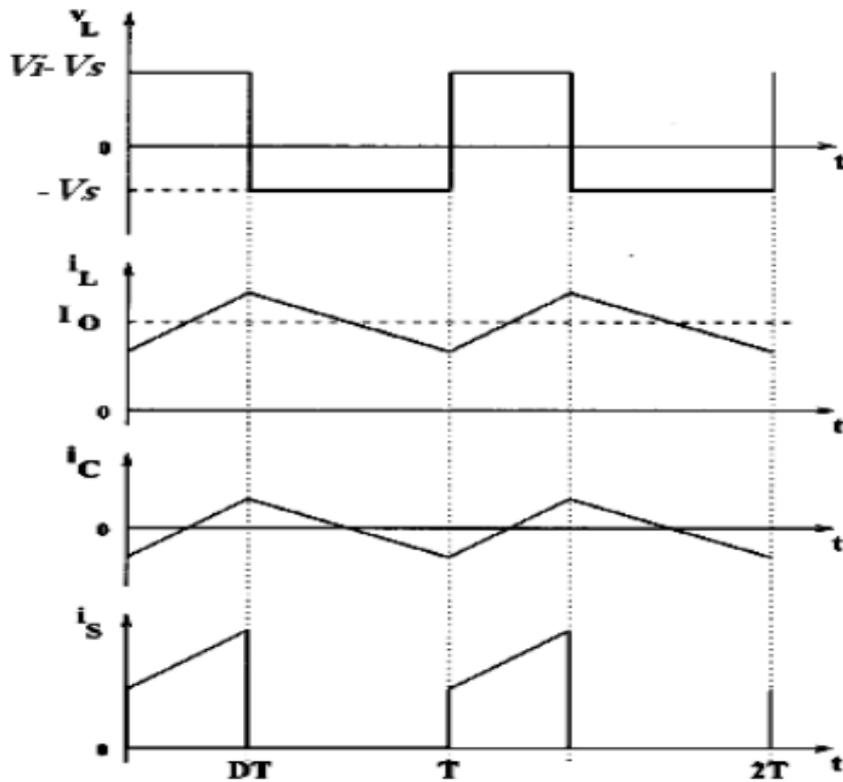


Figure II.3. Caractéristiques de la tension et des courants du transistor ainsi que l'inductance d'un Hacheur Buck [15].

De ce fait, on peut en déduire que la tension de sortie aux bornes de la charge est proportionnelle au rapport cyclique :

$$V_2 = \alpha \cdot V_1 \quad (\text{II-1})$$

II.2.3.2. Hacheur Abaisseur-Elévateur (Buck-Boost)

Le circuit électrique de base du Hacheur Dévolteur-Survolteur, et les caractéristiques du courant et de la tension de charge [15].

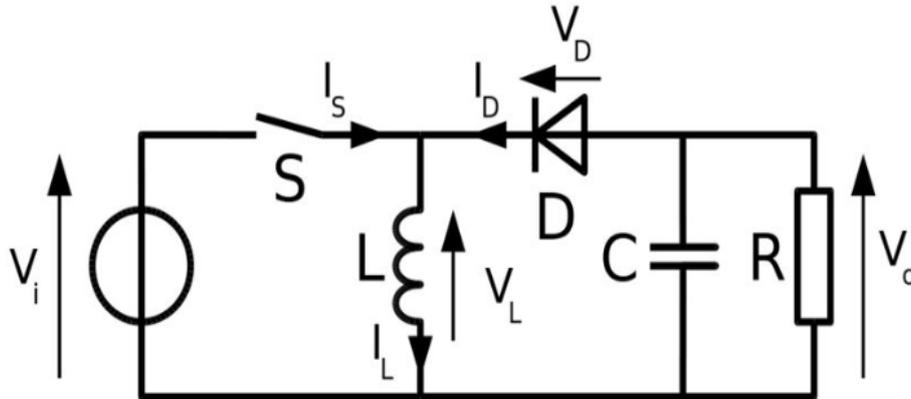


Figure II.4. Schéma de principe du Hacheur Dévolteur-Survolteur.

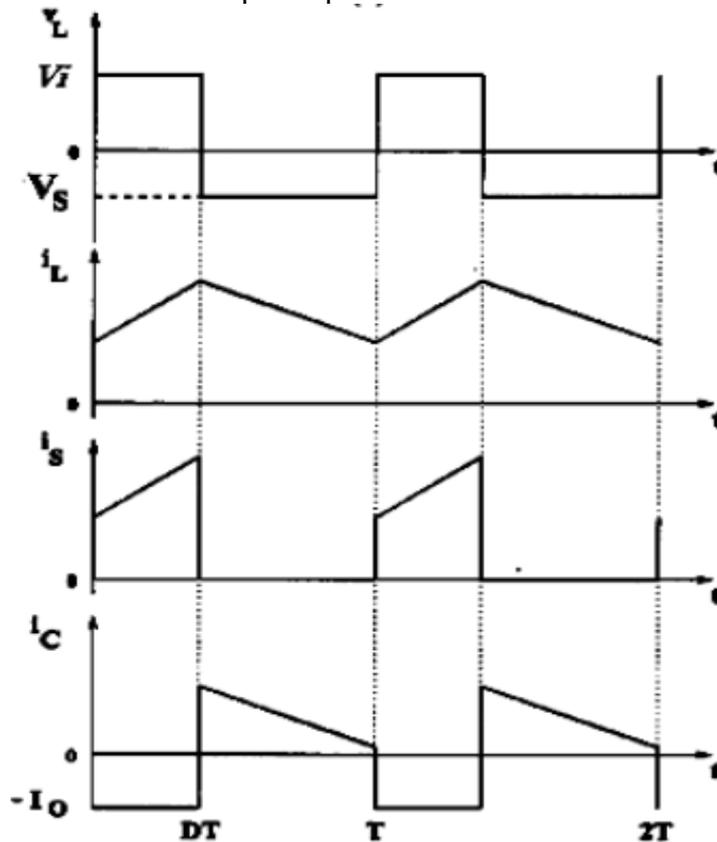


Figure II.5. Les caractéristiques de tension et de courant de la charge, ainsi que le circuit électrique de base du hacheur abaisseur-élévateur [15].

La Figure II.4 représente la deuxième topologie fondamentale du convertisseur. Selon le mode de commutation, la tension peut être augmentée ou

diminuée dans cet appareil. De plus, la tension de sortie, en revanche, a le signe opposé à la tension d'entrée.

Lorsque le transistor est activé, le courant dans l'inductance augmente et l'énergie est stockée. Si l'interrupteur est éteint, le courant dans l'inducteur est inversé et l'énergie stockée est transférée à la charge via la diode. Dans ce scénario, la tension aux bornes de la charge est fournie par l'équation ci-dessous, qui décrit le processus en conduction continue.

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

II.2.3.3. Hacheur Élévateur (Boost)

Le Hacheur Élévateur de tension est le nom donné au convertisseur de type Élévateur. Le circuit électrique du Boost est représenté sur la Figure II.6. Le transistor (**S**) est fermé pour la première fois (**T**) et le courant dans l'inductance s'accumule progressivement, stockant de l'énergie jusqu'à la fin de la première période. Le transistor (**S**) s'ouvre alors, et l'inductance (**L**), qui s'oppose à la diminution du courant (**I**) L , fournit une tension qui s'ajoute à la tension de source et est délivrée à la charge (**R**) via la diode (**D**) [16].

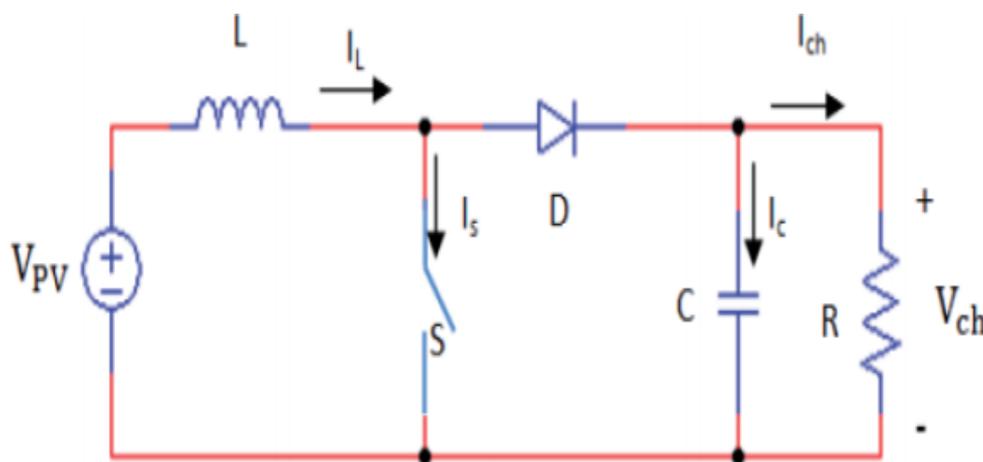


Figure II.6. Circuit électrique du Hacheur Elévateur (Boost).

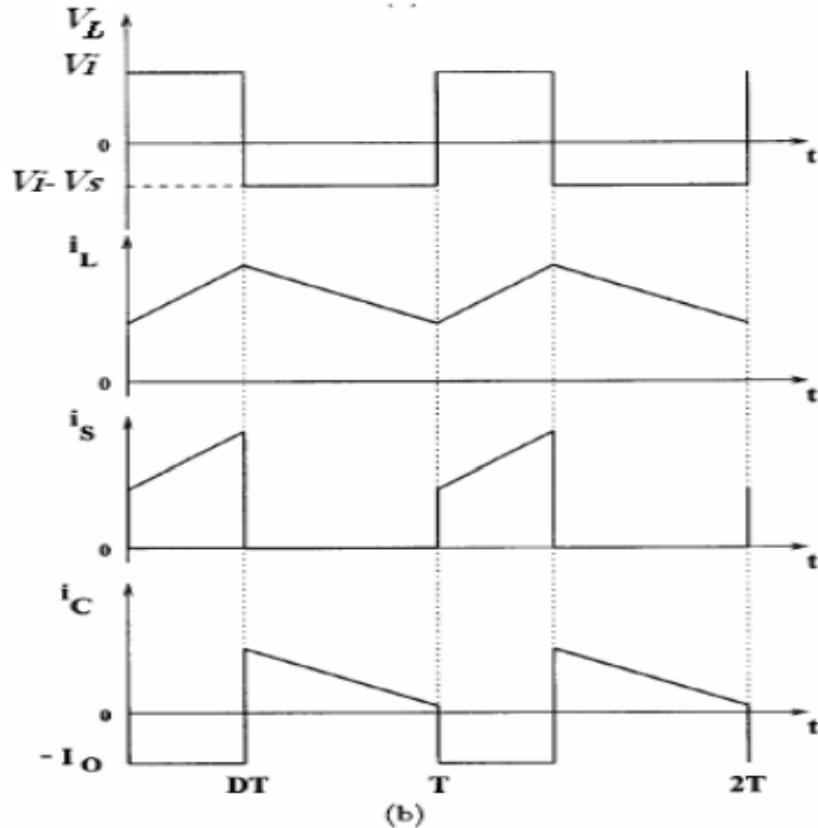


Figure II.7. Caractéristique de la tension et du courant du Hacheur Survolteur [17].

Dans le cas d'une conduction continue, la tension et le courant de la charge du convertisseur Boost sont donnés par [17] :

$$V_s = \frac{1}{1-\alpha} \times V_i \quad (\text{II.3})$$

$$I_0 = (1 - \alpha) \times i_L \quad (\text{II.4})$$

Lorsque l'interrupteur du transistor (S) est en position (*on*), le courant dans l'inductance du hacheur augmente linéairement et la diode (D) est bloquée (*off*).

Même si la diode (D) est conductrice, l'énergie stockée par l'inductance est gaspillée dans le circuit (RC) lorsque (S) passe à l'état (*off*). La **Figure II.7** représenté les caractéristiques de tension et de courant de charge du Hacheur Boost en situation de conduction continue.

Nous reconnaissons que le Hacheur Boost a suscité de nombreuses discussions et qu'il est le convertisseur DC/DC le plus souvent mentionné dans la

littérature. En réalité, si l'on considère les propriétés de plusieurs convertisseurs DC/DC, le Boost, de par sa simplicité, arrive en tête.

La plupart des convertisseurs DC/DC solaires utilisent cette forme en raison de son faible coût et de sa grande efficacité. En effet, lorsque la puissance générée par le générateur photovoltaïque est plus élevée, il est indispensable d'y prêter attention. Ce type de hacheur pour augmenter la tension d'entrée de l'onduleur S se ferme et la diode est polarisée en inverse sur $t \in [0, D.Ts]$. Comme illustré à la Figure II.7 L prend le contrôle, et le courant délivré par la source augmente progressivement. Pendant cette période, nous avons [18] :

$$\begin{cases} i_{c1}(t) = C_1 \frac{dV_L(t)}{dt} = i(t) - i_L(t), \\ i_{c2}(t) = C_2 \frac{dV_0(t)}{dt} = -i_0(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_s(t) \end{cases} \quad (\text{II.5})$$

Pour $t \in [DTs, Ts]$, S est ouvert et L décharge la tension stockée, qui est combinée à la tension source pour alimenter la charge. Considérez les équations suivantes :

$$\begin{cases} i_{c1}(t) = C_1 \frac{dV_s(t)}{dt} = i(t) - i_L(t), \\ i_{c2}(t) = C_2 \frac{dV_0(t)}{dt} = i_L(t) - i_0(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_s(t) - V_0(t) \end{cases} \quad (\text{II.6})$$

A partir des équations (II.6) et (II.7), on peut écrire l'équation suivante :

$$(V_s)DTs = (V_0 - V_s) * (1 - D) * Ts \quad (\text{II.7})$$

II.3. Onduleur de tension DC/AC

Les onduleurs sont des dispositifs qui convertissent la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries en une tension que les récepteurs peuvent comprendre diverses tensions continues ou alternatives. En effet, l'étude de l'onduleur est fascinante car il est largement utilisé sources de production d'énergie dispersées connectées au réseau de nouvelles sortes (Éoliennes, panneaux solaires, piles à combustible, etc.)

La puissance nominale des onduleurs connectés au réseau varie de 100W à plusieurs centaines de kW. Ils fonctionnent généralement à 230V jusqu'à 5kW, Ils doivent être triphasés s'ils sont au-dessus du monophasé (basse ou moyenne tension).

Parce qu'ils sont directement connectés au générateur photovoltaïque, leur tension et leur courant d'entrée sont très variables en fonction de la quantité de lumière solaire et de la température ambiante. La recherche du point de la puissance maximum (PPT) pour "Maximum Power Point Tracking", c'est-à-dire l'adaptation constante de l'impédance d'entrée afin d'optimiser le produit $P = U.I$ sur la caractéristique du champ PV, est l'une des fonctions les plus importantes de l'onduleur réseau. L'onduleur doit alors générer une (ou trois) tensions sinusoïdales pour correspondre aux spécifications.

II.3.1. Types des onduleurs

Les types des onduleurs sont donc utilisés pour assurer une telle conversion d'énergie électrique [19]:

- ✚ Onduleur Monophasé ;
- ✚ Onduleur Triphasé ;
- ✚ Onduleur multi-niveaux ;
- ✚ Onduleur matricielle.

II.3.1.1. Onduleur monophasée de tension

Ce type d'onduleur, qui délivre un courant alternatif monophasé, est couramment utilisé partie destinée aux sources d'alimentation de secours Il existe deux types d'onduleurs monophasés à distinguer sur la base de la topologie [19].

- Onduleur avec demi-pont monophasé ;
- Onduleur à pont monophasé (pont en H).

II.3.1. 2. Onduleur triphasé de tension

Les onduleurs de ce type sont généralement utilisés dans les applications à haute puissance [19]. De plus, la structure d'un tel onduleur triphasé est composée de trois bras monophasés en demi-pont (ou pont) connectés en parallèle pour produire

trois tensions de sortie déphasées distantes de 120 degrés. La Figure II.8 montre le circuit de puissance d'un onduleur triphasé à deux niveaux.

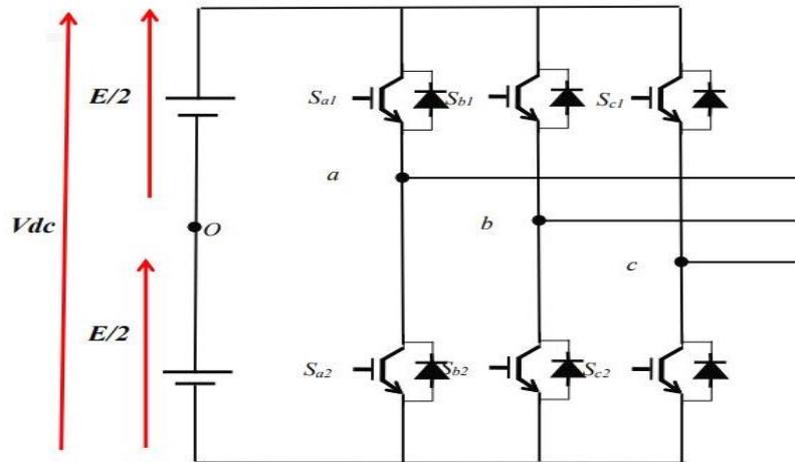


Figure II.8. Circuit équivalent d'un Onduleur de Triphasé triphasée.

Un système de tensions sous forme de créneaux modulés en largeur d'impulsion (MLI ou PWM) est imposé en sortie de l'onduleur de tension. Ces emplacements n'interfèrent pas avec l'alimentation d'un moteur, mais ils sont incompatibles avec les tensions sinusoïdales du réseau.

On ajoute alors une inductance entre chaque sortie de l'onduleur et chaque phase du réseau (onduleur monophasé ou triphasé) pour faire office de filtre et permettre à l'onduleur d'envoyer des courants quasi-sinusoïdaux sur le réseau.

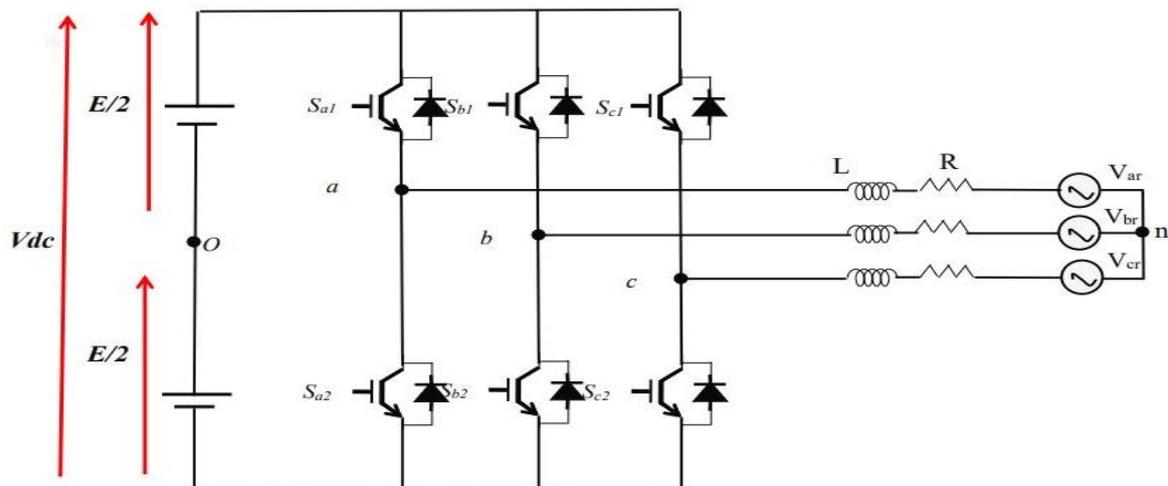


Figure II.9. Schéma équivalent d'un onduleur avec filtre L.

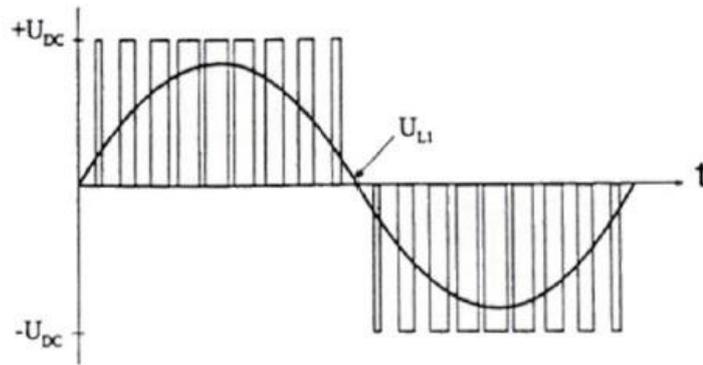


Figure II.10. Tension à la sortie d'un onduleur non filtrée et filtrée [20].

II.3.2. Stratégie de commande de l'onduleur coté réseau

La structure du système de contrôle de l'onduleur peut être divisée en deux sous-systèmes, chacun avec sa propre dynamique : le système rapide, qui est lié aux courants, et le système lent, qui est lié à la tension continue. Par conséquent, il est possible de synthétiser deux régulateurs pour les courants de boucle et la boucle de tension continue externe. Les performances de la boucle de courant sont critiques pour les performances globales du système, c'est pourquoi une commande avec une réponse rapide et un bon comportement à l'état stationnaire est requis. L'utilisation de commandes conventionnelles, en particulier les contrôleurs proportionnels-intégraux, semble être suffisante pour que la modification de la tension continue fournisse des performances satisfaisantes.

II.3.3. Objectif de la commande de l'onduleur

La commande pour le but de contrôler la séquence d'ouverture et de fermeture des interrupteurs de semi-conducteur (IGBT), afin que la tension de sortie de l'onduleur soit la plus proche de la tension de référence. Il est possible d'employer une approche de contrôle existante de la littérature :

- ✚ Contrôle basé sur l'hystérésis ;
- ✚ Contrôle basé sur MLI-ST (modulation de largeur d'impulsion Sinus triangle).
- ✚ Commande base sur modulation de largeur d'impulsion vectorielle (MLI-V)

II.3.3. 1. Contrôle basé sur MLI-ST (modulation de largeur d'impulsion Sinus triangle)

Ce type de modulation est souvent utilisé pour générer une tension triphasée à fréquence et amplitude variables. Il existe 3 manières de gérer la commutation des thyristors ou des transistors de puissance :

- MLI à commande par sinusoïde ;
- MLI synchrone pour limiter les harmoniques ;
- MLI asynchrone pour améliorer la réaction du moteur à toute modification rapide de la commande du variateur de fréquence.

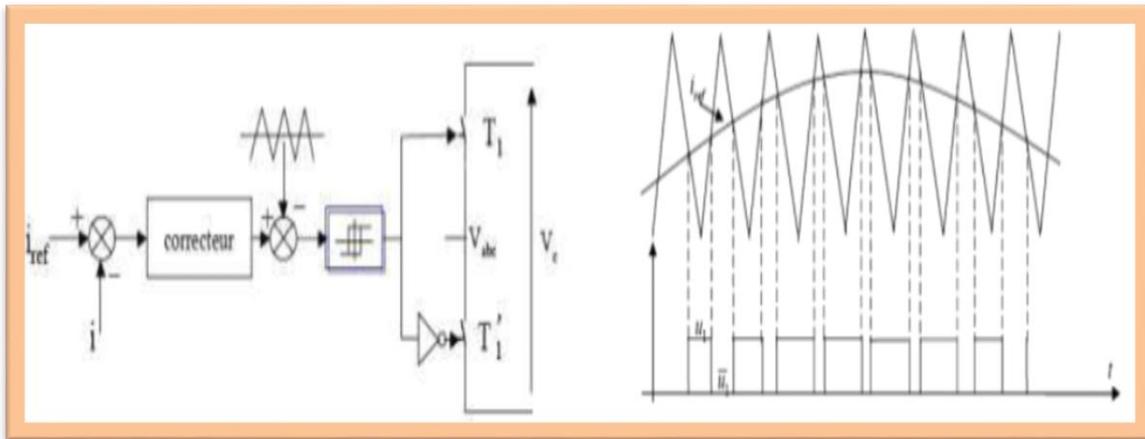


Figure II.11. Commande des interrupteurs et contrôle de courant par MLI-ST [20].

Le principe de commande de l'onduleur réside dans l'utilisation d'un comparateur de tensions. Ce comparateur superpose à trois tensions sinusoïdales de référence une tension de forme triangulaire (porteuse). La fréquence des trois sinusoïdes de référence correspond à celle des tensions souhaitées à la sortie de l'onduleur. Les intersections entre les sinusoïdes et l'onde triangulaire détermine l'allumage ou l'extinction des thyristors (ou des transistors de puissance) selon le cas.

La méthode basée sur la MLI met en œuvre d'abord un régulateur qui, à partir de l'écart entre le courant et sa référence, détermine la tension de référence de l'onduleur (modulatrice). Cette dernière est ensuite comparée avec un signal en dent de scie à fréquence élevée (porteuse). La sortie du comparateur fournit l'ordre de

commande des interrupteurs. Le schéma de principe de cette méthode est donné sur la Figure II.11.

II.4. Commande MPPT

II.4.1. Définition

La commande MPPT est une méthode permet au générateur PV de travailler à sa puissance maximale quel que soit les conditions météorologiques d'irradiations et de température. Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique a d'un convertisseur DC-DC à la valeur adéquate de manière à maximiser continuellement la puissance à la sortie du panneau PV. Les hacheurs sont utilisé comme interface de puissance à contrôler par le régulateur MPPT, afin d'adapter la tension de sortie du hacheur à la tension requise par la charge. A partir de cette règle et selon le type de contrôleur, on peut raisonner sur plusieurs et différentes méthodes, afin d'extraire le maximum de puissance d'un panneau solaire [21].

Le rendement du point de fonctionnement η_{MPPT} , permet de mesurer l'efficacité de la commande qui a en charge le contrôle du convertisseur de puissance.

$$\eta_{MPPT} = P_{pv.mpp} \quad (II.9)$$

Les performances d'une commande MPPT ne se résument pas à ce seul paramètre (η_{MPPT}). D'autres critères utiliser pour évaluer la qualité de ce type de commande tels que les capteurs nécessaires, la complexité, le coût, la portée de l'efficacité, la vitesse de convergence, le suivi correct lors de changement l'irradiation et/ou le changement de température et le matériel nécessaire pour la mise en œuvre [21].

II.4.2. Convertisseur pour la suite du PPT

Cette adaptation s'effectue en recherchant automatiquement le PPM du panneau PV et une surveillance continue de la puissance maximale est assurée par l'insertion d'un quadripôle qui est un convertisseur d'énergie DC-DC entre la source PV et la charge et avec la gestion rigoureuse de la charge de cette dernière le rapport cyclique. Ce type de convertisseur est conçu pour faire correspondre l'impédance

apparente de la charge à l'impédance du champ PV au PPM à un moment donné MPPT est un terme utilisé pour décrire ce type d'adaptabilité du système (suivi du point de puissance maximale). Son efficacité varie entre 90% et 95% ; la figure II.12 représente le schéma synoptique du ce système PV.

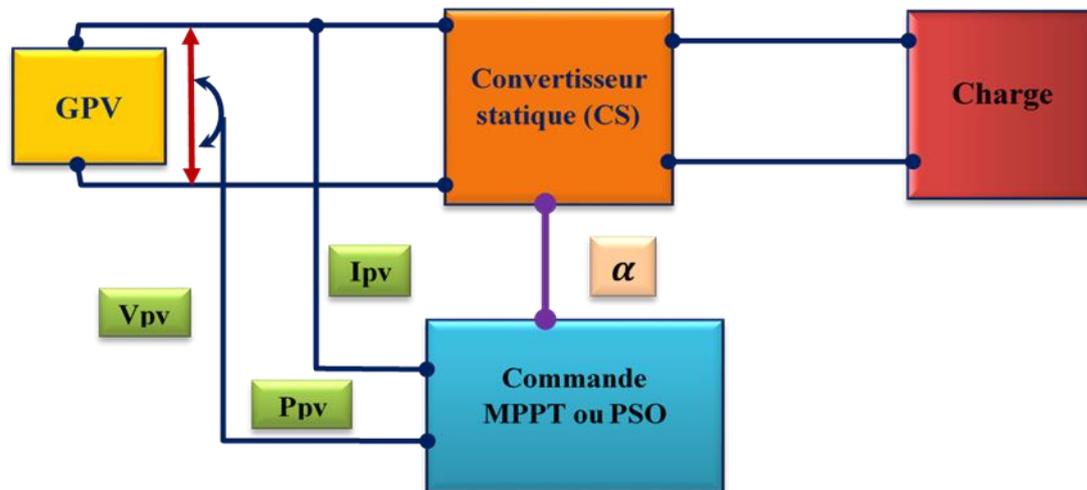


Figure II.12. Schéma synoptique du système PV par une commande MPPT.

II.4.3. Les différentes type de commande MPPT

Il existe plusieurs types de commande MPPT, tel que [22] :

- Perturbation et observation (P&O) ;
- Méthode incrémentation de la conductance ;
- Méthode de capacité parasite.

Chacune de ces techniques de commande à ces propres avantages et inconvénients du point de vue simplicité, efficacité et robustesse.

Dans notre travail, on se limite à la méthode de Perturbation et Observation (P&O), qui est très simple d'implantations et le rendement élevé.

II.4.3.1. Méthode de Perturbation et Observation (P&O)

Parce qu'elle est simple et ne nécessite que des mesures de la tension et du courant du panneau photovoltaïque V_{pv} et I_{pv} , la méthode P&O est une approche largement acceptée dans la recherche MPPT. Il peut localiser le point de puissance maximum même lors de variations d'éclairement et de température.

La méthode P&O est consisté à perturber la tension et à observer l'influence de ce changement sur la puissance de sortie du panneau solaire chaque instant.

II.4.3.2. Principe de méthode P&O

L'idée de base des instructions MPPT de type P&O est de perturber la tension V_{pv} de faible amplitude autour de sa valeur initiale puis d'examiner le comportement de la variation de puissance P_{vp} qui en résulte, comme le montre la Figure II.14.

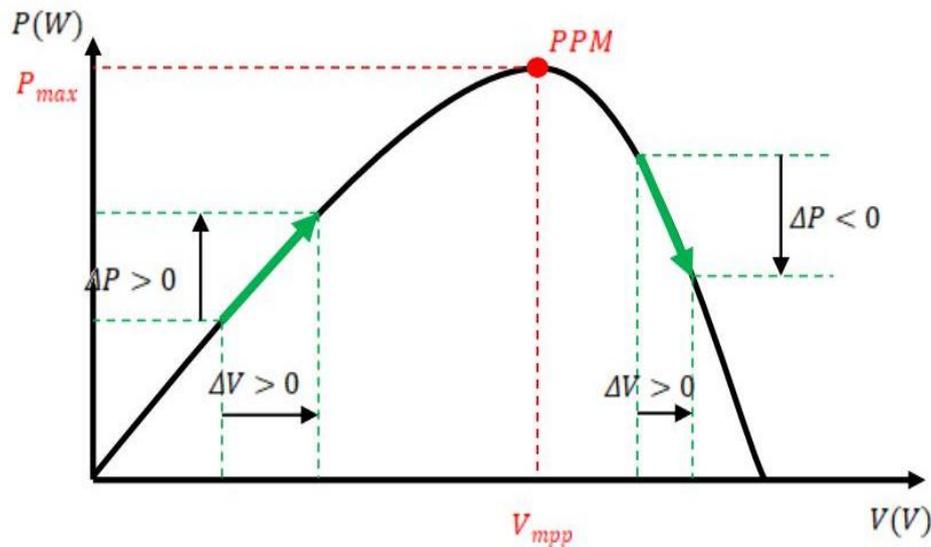


Figure II.14. Caractéristique de fonctionnement de la méthode P&O [23].

- A. Si $\Delta P > 0$, la perturbation de tension déplace le point de fonctionnement plus près du PPM, et nous continuons à perturber la tension de la même manière. Le point opérationnel sera ainsi déplacé jusqu'à ce que le PPM soit atteinte ;
- B. Si $\Delta P < 0$, indique que le point de fonctionnement s'éloigne du PPM, on perturbe la tension avec un signe algébrique opposé au signe précédent pour déplacer le point de fonctionnement jusqu'à ce qu'il atteigne le PPM.

II.4.3.3. Organigramme de méthode P&O

L'organigramme de la méthode P&O est illustré sur la Figure II.14. La tension V et le courant I sont mesurés dans ce diagramme pour calculer la puissance de sortie actuelle $P(k)$ de la rangée. Cette valeur $P(k)$ est comparée à la valeur de la mesure précédente $P(k-1)$. La perturbation a augmenté dans le même sens que la puissance de sortie a augmenté. La perturbation de tension de la sortie sera inversée dans le sens inverse du dernier cycle si la puissance a chuté depuis la dernière mesure.

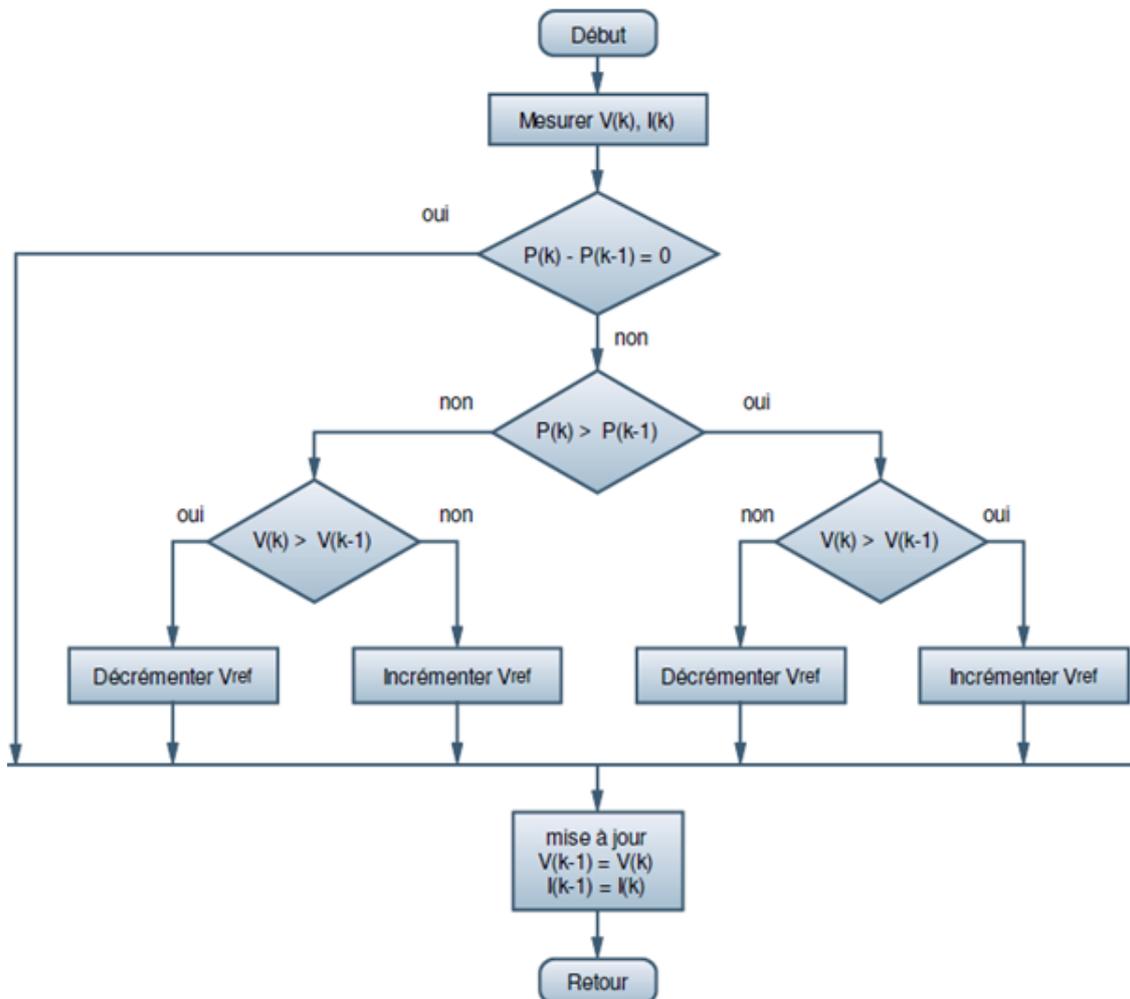


Figure II.14. Organigramme de la méthode P&O.

II.5. Description du système PV connecté au réseau

La Figure II.15 illustre la disposition générale du système PV connecté au réseau en cours de discussion. Les panneaux solaires convertissent la lumière du soleil en électricité, qui est ensuite envoyée dans le réseau via un convertisseur élévateur et un onduleur triphasé à deux niveaux. Par conséquent, la puissance maximale est le convertisseur élévateur peut raisonnablement suivre la sortie du générateur PV et l'envoyer au réseau. Via l'onduleur La tension du bus CC et le transfert de puissance sont régulés par un onduleur côté réseau. la liaison entre le bus DC et le réseau.

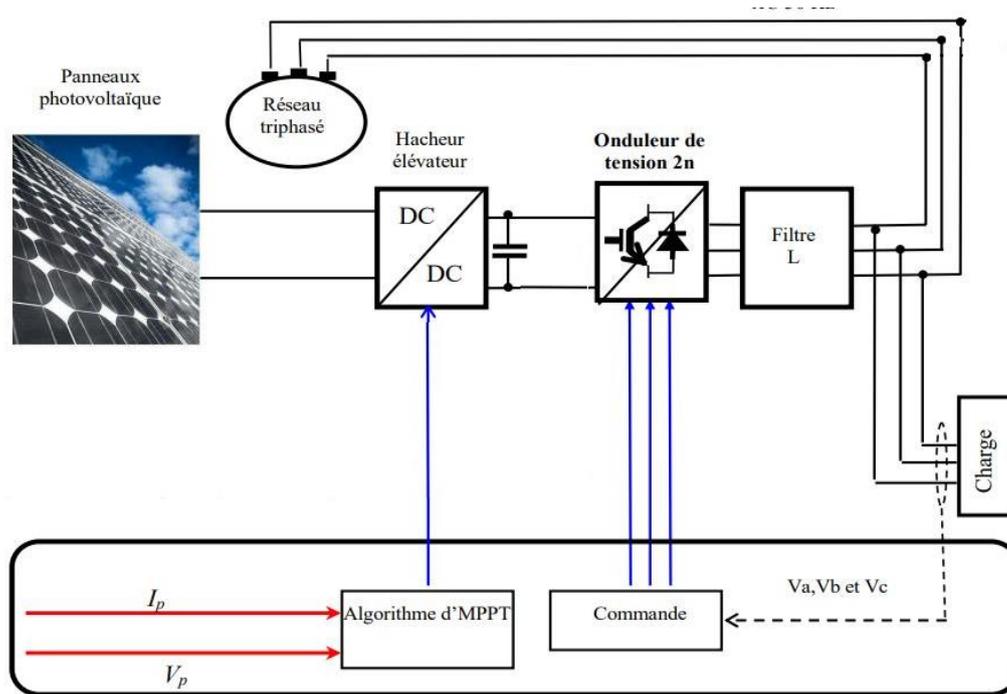


Figure II.15. Structure générale d'un système PV connecté au réseau.

II.5.1. Caractéristiques du réseau

Tout réseau de distribution avec des caractéristiques $230V/380V-50Hz$ doit être connecté à notre onduleur de réseau [24]. De ce fait, il peut être connecté au réseau depuis n'importe quel endroit de l'installation, aussi bien sur une prise qu'à la porte. Le réseau triphasé sera composé de trois grandeurs sinusoïdales (tensions) de même fréquence qui sont déphasées de 120 degrés les unes par rapport aux autres et ont la même valeur efficace que n'importe quel système triphasé équilibré. On pourra donc écrire :

$$\begin{cases} V_a = V_m \sin(\omega \cdot t) \\ V_b = V_m \sin\left(\omega \cdot t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ V_c = V_m \sin\left(\omega \cdot t - \frac{4\pi}{3}\right) \end{cases} \quad (\text{II.10})$$

Avec les tensions composées :

$$\begin{cases} \vec{U}^{AB} = \vec{V}^a - \vec{V}^b \\ \vec{U}^{BC} = \vec{V}^b - \vec{V}^c \\ \vec{U}^{CA} = \vec{V}^c - \vec{V}^a \end{cases} \quad (\text{II.11})$$

Avec :

$$U_m = \sqrt{3} \cdot V_m \text{ et } V_m = \sqrt{2} \cdot V_{eff} \quad (\text{II.12})$$

Il peut être conçu comme une source de tension série avec une inductance L et une résistance R vue d'un point du réseau, nous utiliserons donc ce modèle :

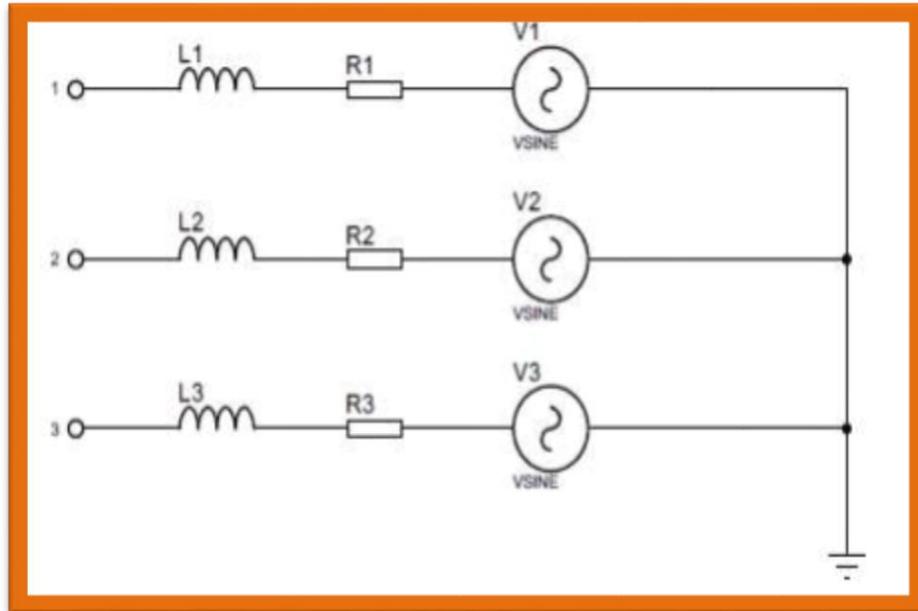


Figure II.14. Modèle du réseau électrique.

Il s'agit d'une procédure délicate, et le système doit être capable de maintenir la même vue d'amplitude, de fréquence et de phase de la charge à tout moment. Et, selon le sens du flux de puissance, un déphasage approprié entre la tension du réseau et la tension du système (onduleur) doit être observé à partir du point de connexion. Un contrôleur basé sur les transformations de Park et une boucle à verrouillage de phase peut être utilisé pour la connectivité ainsi que la régulation de la tension du bus continu de la tension de référence MLI-ST dans la marque $d-q$ sont déterminées par les sorties des régulateurs. Nous obtenons les références du signal de commande MLI-ST des commutateurs de l'onduleur en utilisant la transformation Park Inverse.

II.5.2 Matériels utilisés dans les réseaux électriques

➤ Les lignes électriques

Les lignes électriques assurent la fonction « transport de l'énergie » sur les longues distances. Elles sont constituées de 3 phases, et chaque phase peut être constituée d'un faisceau de plusieurs conducteurs (de 1 à 4) espacés de quelques centimètres afin de limiter l'effet couronne qui entraîne des pertes en lignes,

différentes des pertes Joule. L'ensemble de ces 3 phases électriques constitue un terne.

➤ Les pylônes

Supports des câbles aériens par lesquels transitent le courant électrique, les pylônes sont le plus souvent constitués de cornières métalliques. Ils peuvent également être tubulaires en métal ou en béton. Leur rôle est de maintenir les câbles électriques écartés entre eux et à une certaine distance du sol et des obstacles rencontrés afin d'assurer la sécurité des personnes et des installations situées au voisinage de la ligne.

➤ Les isolateurs

Les isolateurs assurent l'isolement électrique entre les câbles conducteurs et les supports. Sur le réseau de transport, les isolateurs sont utilisés en chaîne, dont la longueur augmente avec le niveau de tension, il faut compter environ 6 isolateurs en 63 kV, 9 en 90 kV, 12 en 220 kV et 19 en 420 kV. La chaîne d'isolateurs joue également un rôle mécanique : elle doit être capable de résister aux efforts dus aux conducteurs, qui subissent les effets du vent, la neige...etc.

II.5.3. Niveaux de tensions des réseaux

D'une façon générale, la plupart des pays mettent en œuvre [1]: :

- ✚ Réseau de transport THT 220 800 KV ;
- ✚ Réseau de répartition HTB 60170 KV ;
- ✚ Réseau de distribution HTA 1 50 KV ;
- ✚ Réseau de livraison de l'abonné BTA 400/230 V.

Cette hiérarchie c'est-à-dire, les niveaux de tensions utilisés varient considérablement d'un pays à l'autre en fonction des paramètres liés à l'histoire électrotechnique du pays, ses ressources énergétiques, sa surface et finalement des critères technico-économiques.

II.5.4. Les postes électriques

Il existe plusieurs types de postes électriques [1] :

- ✚ Postes de sortie de centrale ;

- ✚ Postes d'interconnexion ;
- ✚ Postes éleveurs ;
- ✚ Postes de distribution

II.5.5. Les lignes électriques

Nous distinguons quatre types de lignes [1]:

- ✚ Ligne de distribution à basse tension ;
- ✚ Ligne de distribution à moyenne tension ;
- ✚ Ligne de transport à haute tension ;
- ✚ Ligne de transport à très haute tension.

II.5.6. Classements des centrales photovoltaïques connectées au réseau

Selon leurs tailles les CPCr peuvent être classifiés de la façon suivante [1]:

- ✚ Centrales de petite taille ($P_w = 1$ à 10KW) ;
- ✚ Centrales de taille moyenne ($P_w = 10$ à 100KW) ;
- ✚ Centrales de grandes tailles ($P_w \geq 500\text{KW}$) [22].

II.5.7. Description du système PV connecté au réseau

Le schéma général du système PV connecté au réseau à l'étude est illustré à la Figure II.13. Les modules PV convertissent le rayonnement solaire en énergie électrique, alimentant le réseau via un convertisseur Boost et un onduleur triphasé à deux niveaux. Par conséquent, la puissance maximale du générateur PV peut être raisonnablement suivie par le convertisseur éleveur et envoyée au réseau via l'onduleur. L'onduleur côté réseau régule la tension du bus continu et le transfert de puissance entre le bus continu et le réseau.

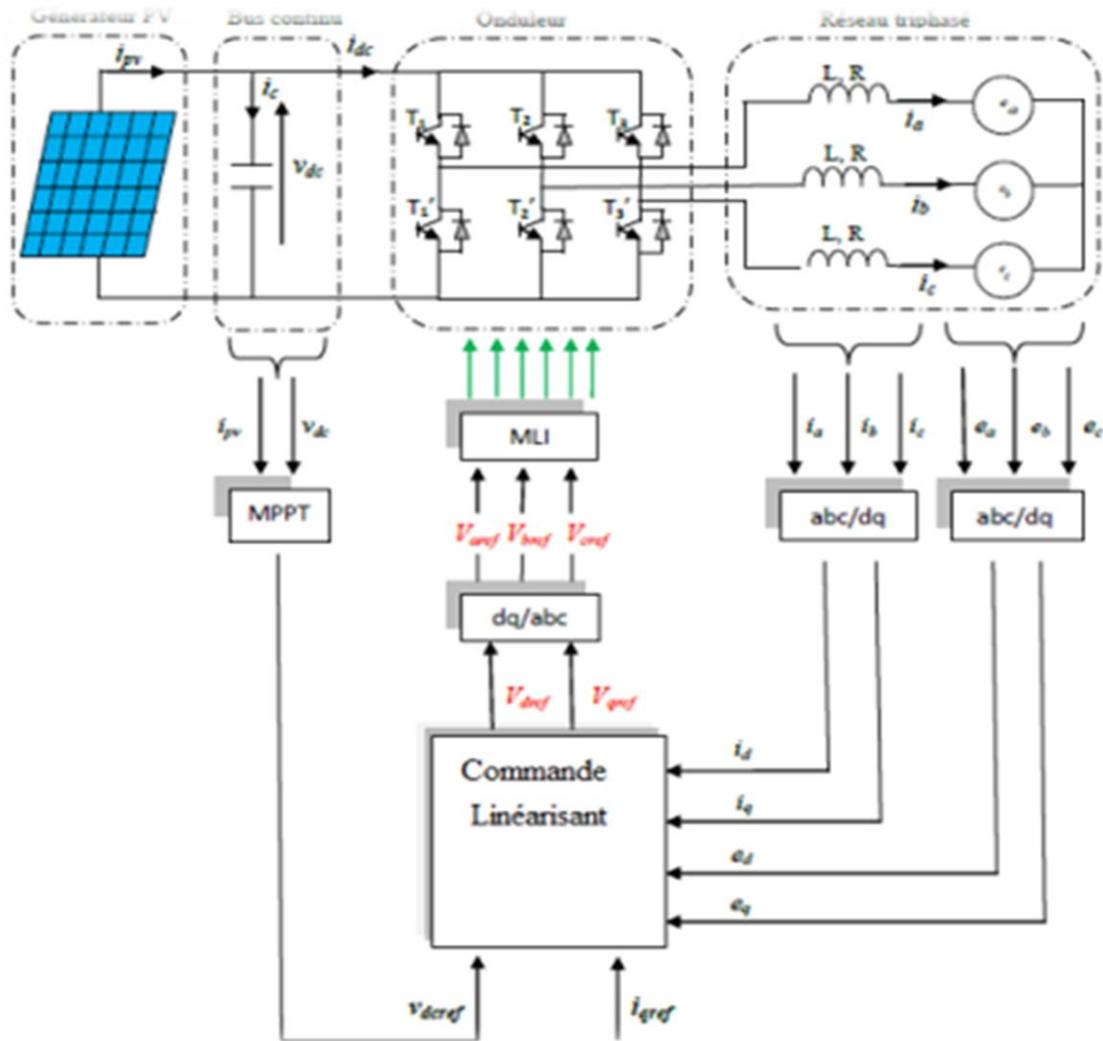


Figure II.13. Schéma de la commande linéarisant appliquée au système PV connecté au réseau.

II.6. Conclusion

Ce chapitre est consacré à la structure d'onduleur intégré dans une chaîne d'alimentation à base de générateur photovoltaïque raccordée au réseau de distribution, il s'agit de l'onduleur classique à deux niveaux. La technique de commande a été testée dans le cas du fonctionnement avec l'injection au réseau électrique.

La modélisation mathématique et la simulation du système générateur photovoltaïque-onduleur deux niveaux statique sont présentés dans le chapitre suivant.

Chapitre III : Résultats de simulation du système

III.1 Schéma de commande du système

Le système étudié dans le cadre de ce travail est une centrale photovoltaïque de 100Wc raccordée par l'intermédiaire d'un système de conversion DC/DC afin de suivre la puissance maximale MPPT de type P&O du générateur photovoltaïque. Dont le bus continu est connecté au réseau électrique par un onduleur de tension triphasée à deux niveaux. La structure de base d'un GPV connecté au réseau électrique est représentée dans la figure III.1:

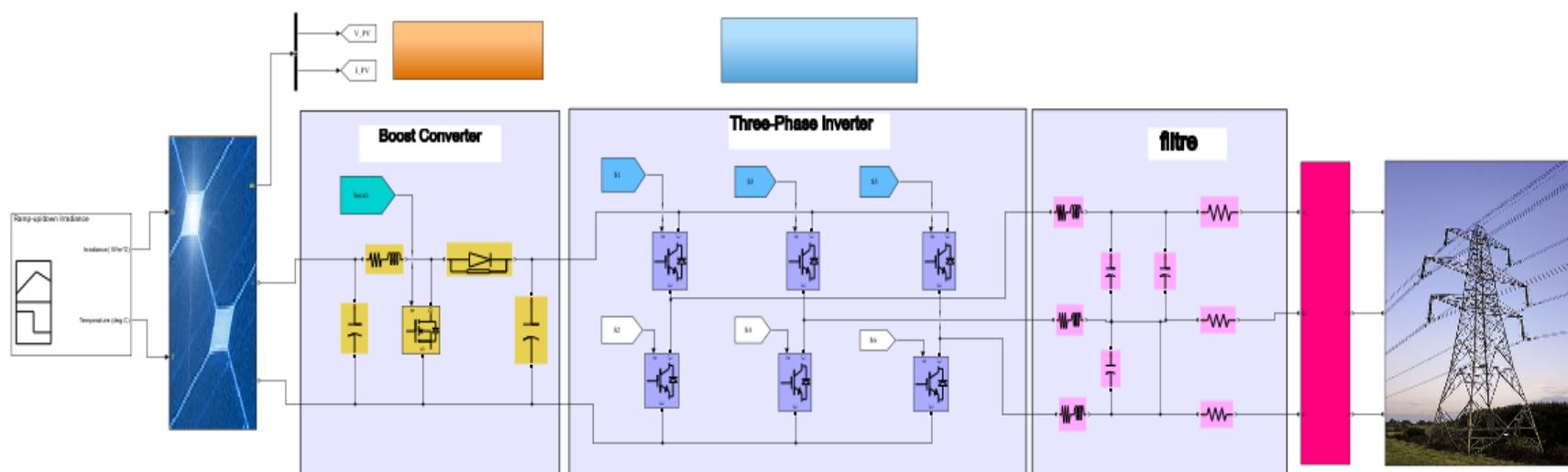


Figure III.1 Schéma du système sous Matlab/Simulink.

III.2 Simulation du module photovoltaïque

Dans cette étude, nous avons reproduit le module solaire 1Soltech 1STH-215-P, qui est composé de 10 cellules monocristallines connectées en série. Il peut produire 200 W de puissance et 73,5 A de courant à une tension idéale de 290 V dans des conditions d'essai standard (CST : lumière de 1000W/m² et température T = 25°C). La figure III.2 présente le block du module photovoltaïque 1Soltech 1STH-215-P: Le tableau III 1 énumère les caractéristiques électriques de ce module PV.

Tableau III.1 Caractéristiques électriques du module photovoltaïque dans les conditions standards de test (CST)

<i>Puissance maximale</i>	2.132 × 10⁴W
<i>Tension à puissance maximale ou tension optimale</i>	290 V
<i>Courant à puissance maximale ou courant optimal</i>	73.5 A
<i>Courant de court- circuit</i>	7.84A
<i>Tension à circuit ouvert</i>	36.3 V
<i>Nombre des cellules en séries</i>	10

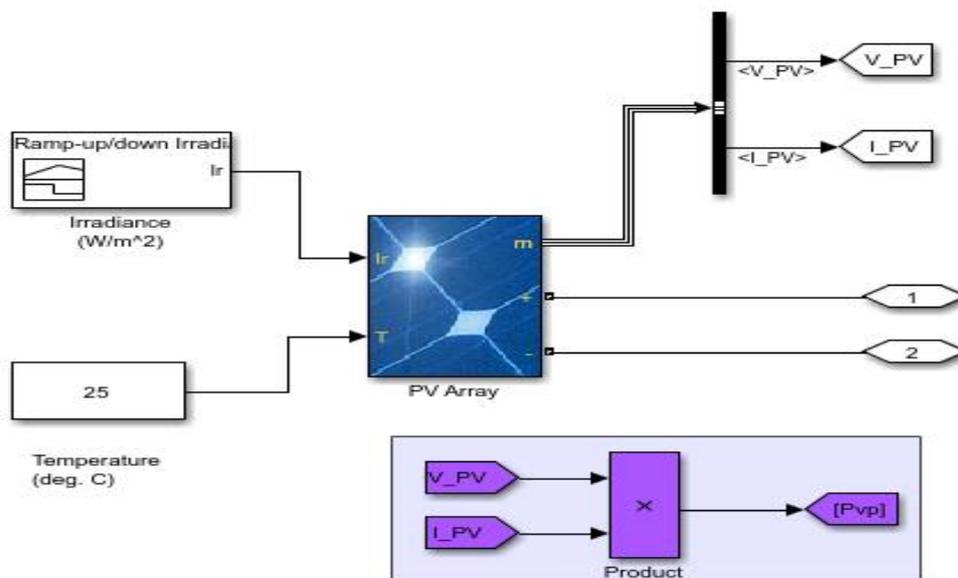


Figure III.2 Le schéma block du module PV sous Matlab/Simulink

Dans la figure III.3, nous représentons les résultats concernant les caractéristiques I(V) et P(V) du panneau à 25° obtenues pour diverses valeurs de l'éclairement.

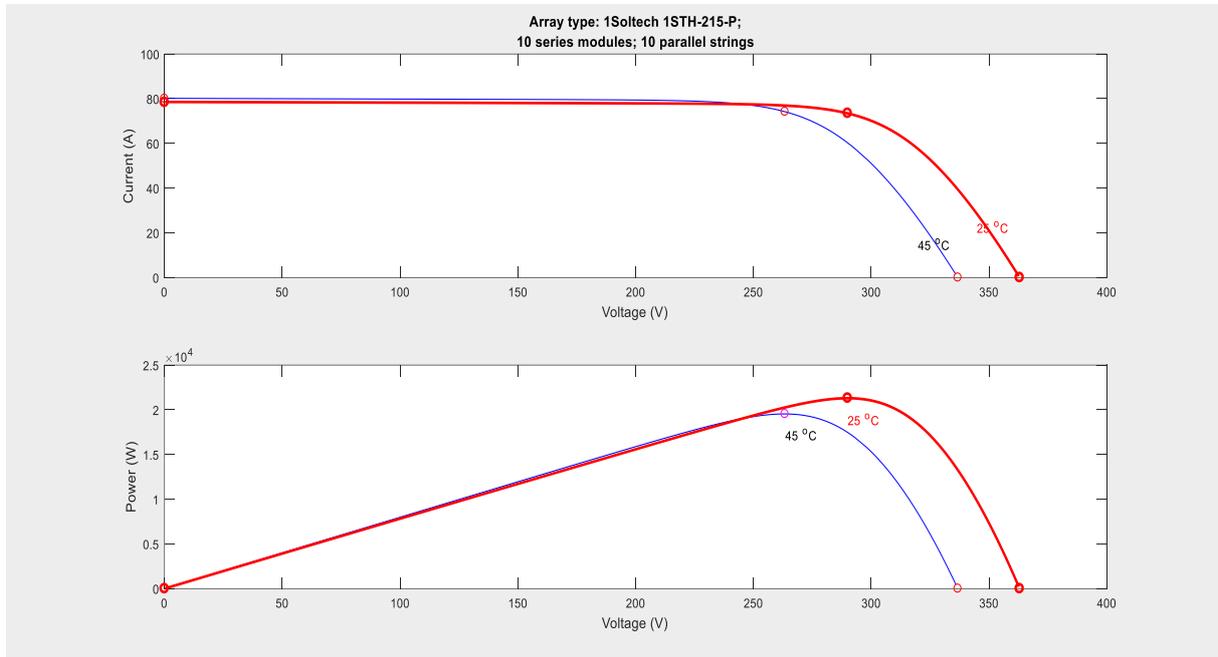


Figure III.3 Caractéristique I-V et P-V d'un module PV pour différentes valeurs de l'éclairement

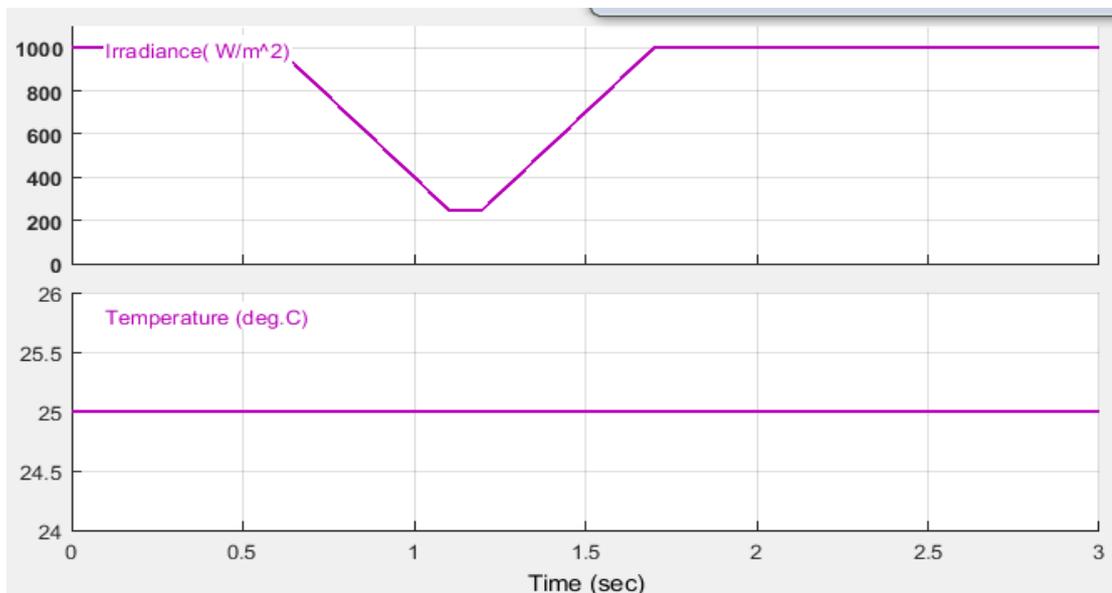


Figure III.4 Signal Builder (PV/ Irradiance (W/m²)/Temperature (deg.C)

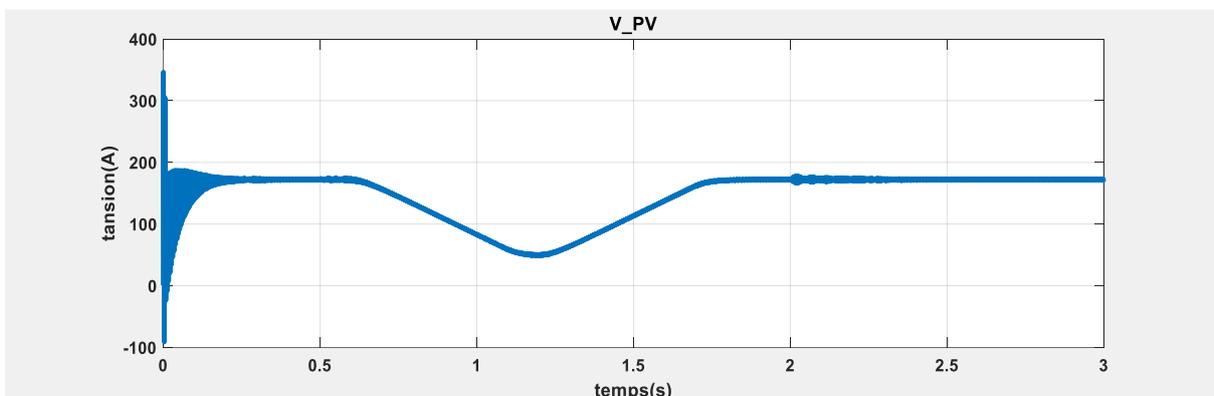
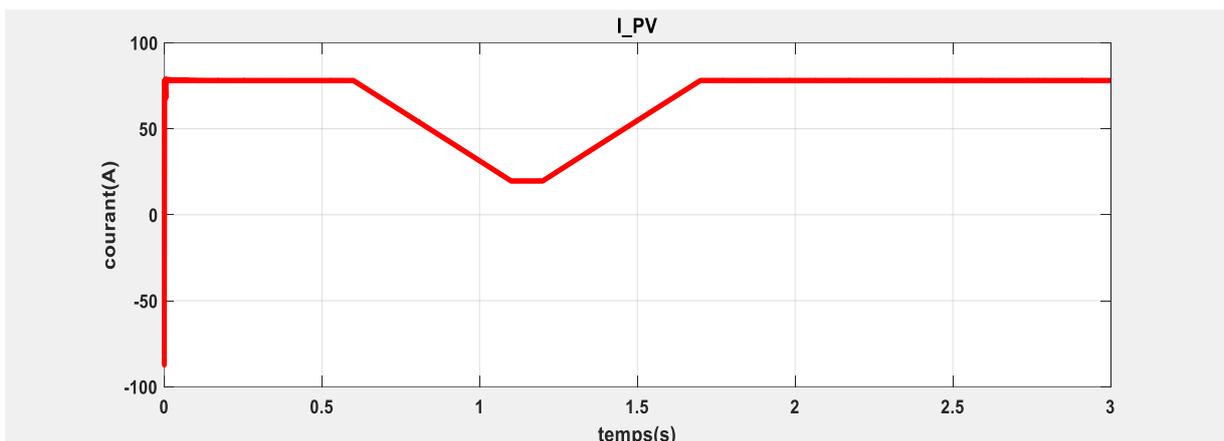
Le comportement des cellules PV est fortement influencé par la température. Le comportement du module sous un éclairage fixe de 1000W/m² et à des températures

allant de 25 °C à 45 °C est illustré à la figure III.3. Nous observons que si la tension en circuit ouvert diminue à mesure que la température augmente, le courant ne le fait pas. La puissance maximale qui peut être utilisée est réduite en conséquence.

La figure III.4 présente les signaux d'irradiance et de température du système PV ; la température est constante (25°C) et l'irradiance est fixé à 1000W/m² pendant une certaine période, puis elle diminue à environ 250W/m², puis remonte à nouveau à 1000W/m².

III.2.2 Résultats de simulation du module photovoltaïque

Les résultats fournissent des chiffres qui sont relativement proches des valeurs nominales des panels à partir des simulations.



La valeur nominale du panneau pour une lumière de 1 000 W/m² et une température de 25 °C est d'environ $1,3 \times 10^4$ W.

En outre, nous maintenons l'opération près de la puissance nominale malgré les changements dans ces deux variables.

Les résultats de simulation de l'évolution de la tension, du courant et de la puissance de sortie du panneau solaire obtenus avec l'algorithme de la méthode P&O améliorée sont présentés dans les figures (III.6, III.7 et III.8). Nous pouvons voir que la puissance du panneau photovoltaïque change avec l'éclairage fidèlement, rapidement, régulièrement, et avec juste des fluctuations mineures près des points de puissance optimaux. Ces résultats démontrent l'efficacité la commande MPPT P & O.

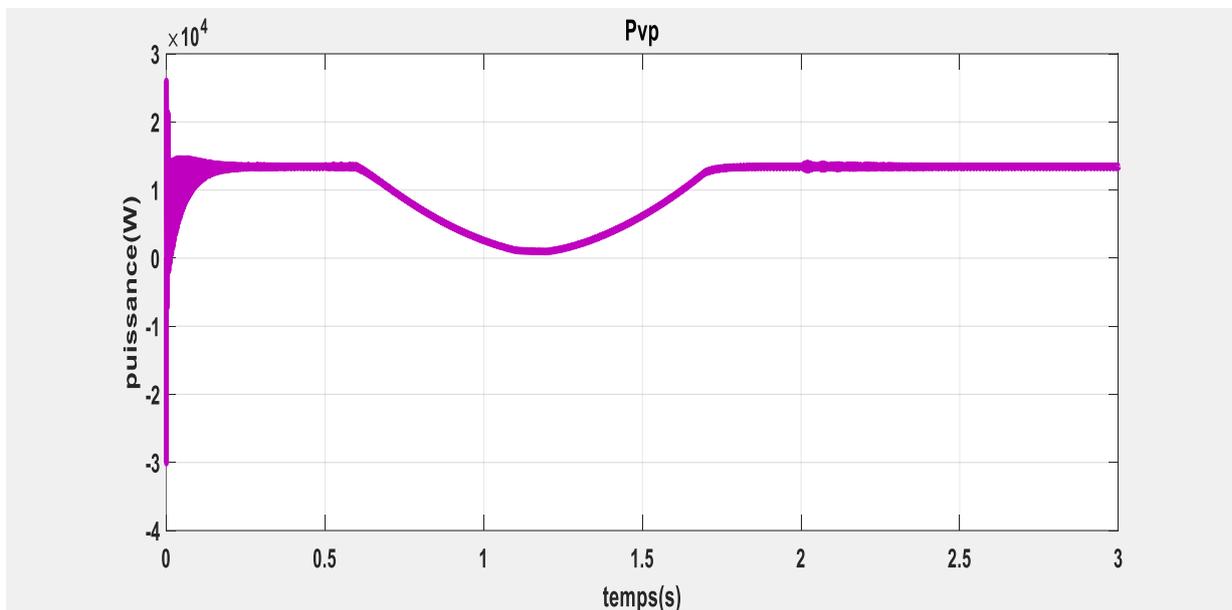


Figure III.7 Allure de la puissance du GPV.

III.3 Commande MPPT de type P&O du système GPV

III.3.1 Montage de simulation de la commande MPPT de type P&O

Nous avons simulé la commande MPPT de type P&O à partir de l'organigramme qui présenté dans le chapitre précédent.

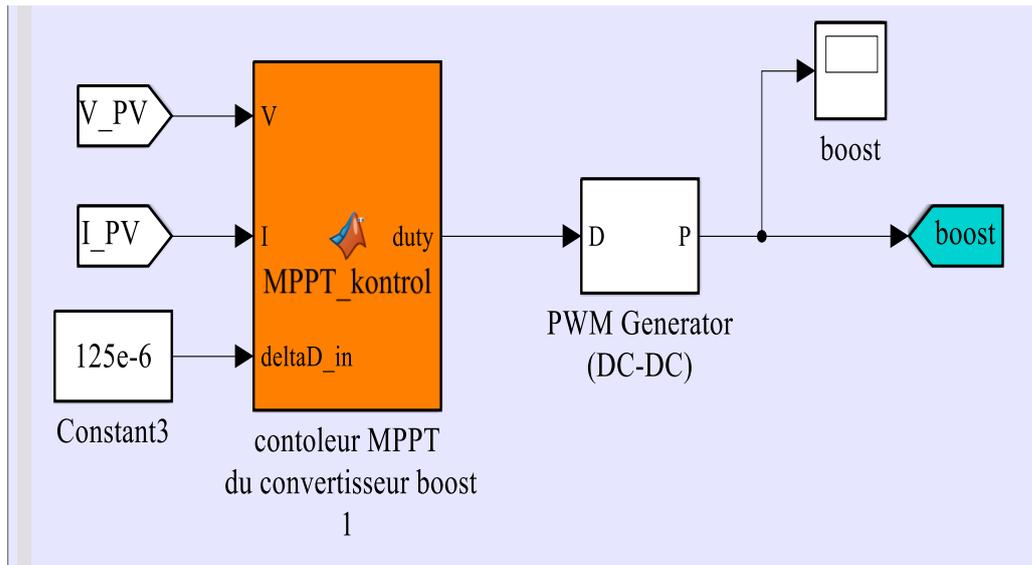


Figure III.8 Schéma de bloc de la commande MPPT de type P&O

III.3.2 Résultats de simulation de la commande MPPT-P&O

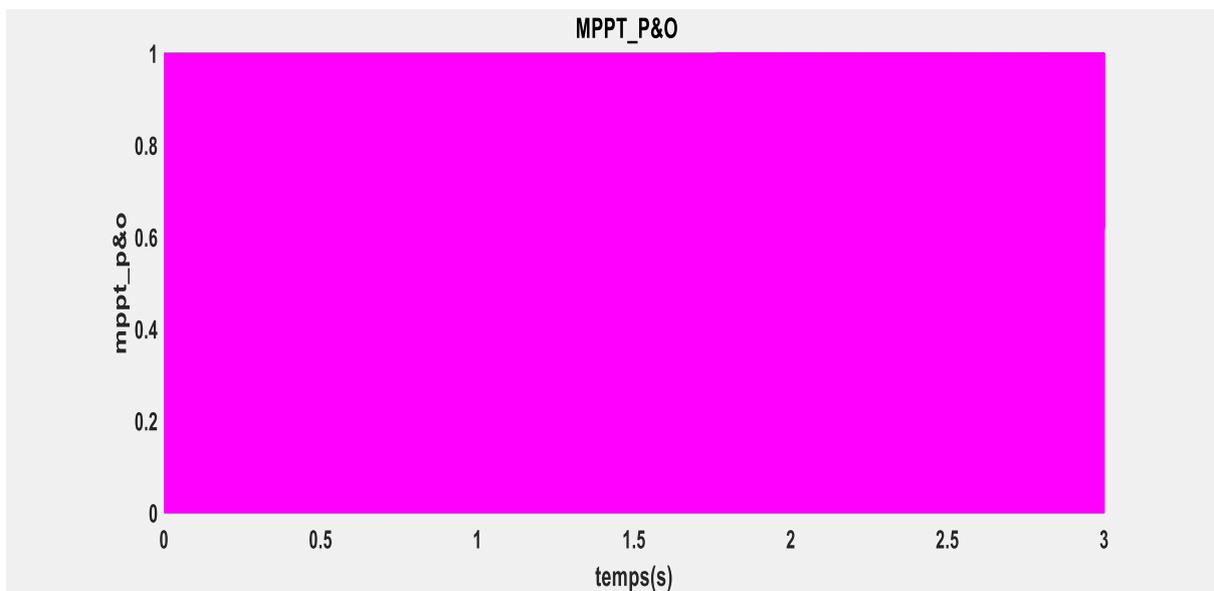


Figure III.9 le signal de la commande MPPT de type P&O

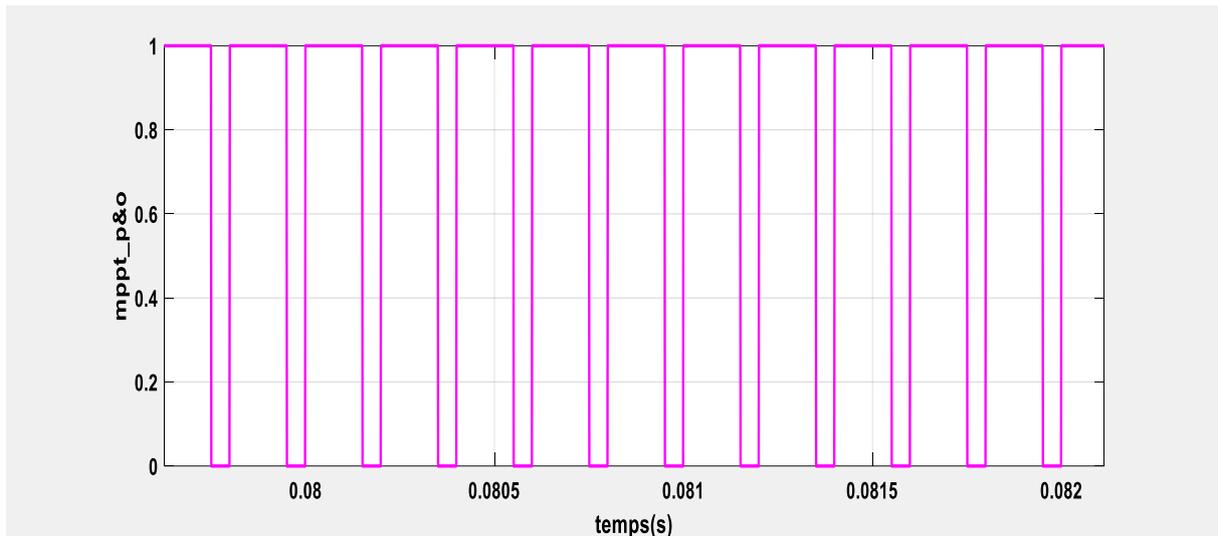


Figure III.10 zoom sur allure de la commande MPPT-P&O.

Le signal MPPT P&O passe de 0 à 1 a mesure qu'il augmente a 1 et diminue a zéro

III.4 Simulation de Hacheur DC/DC (Boost)

III.4.1 Montage de simulation de Hacheur DC/DC (Boost)

Le hacheur utilisé dans cette étude est celui élévateur (figure III.11). Sous sa forme de base, il est constitué de composants clés qui sont RL ($L = 5\text{mH}$; $R = 0.005\ \text{Ohms}$), le commutateur (MOSFET), la diode (D) et le condensateur ($C = 1200\text{e-6F}$).

Parmi les techniques de commande à MPPT du hacheur (Boost) décrites au chapitre II, nous avons choisi la méthode de perturbe & observe. Le schéma de simulation est donné par la Figure (III.11)

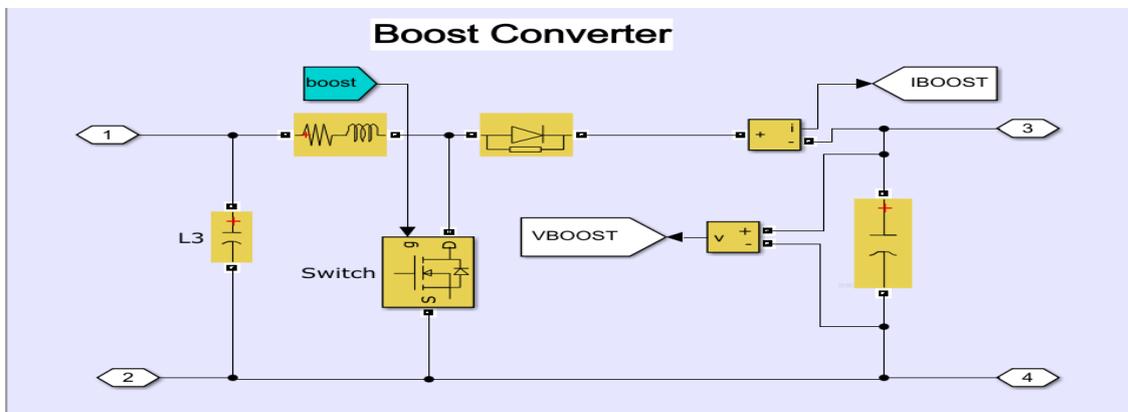


Figure III.11 Schéma de simulation de Hacheur Boost.

III.4.2 Résultats de la simulation de Hacheur DC/DC (Boost)

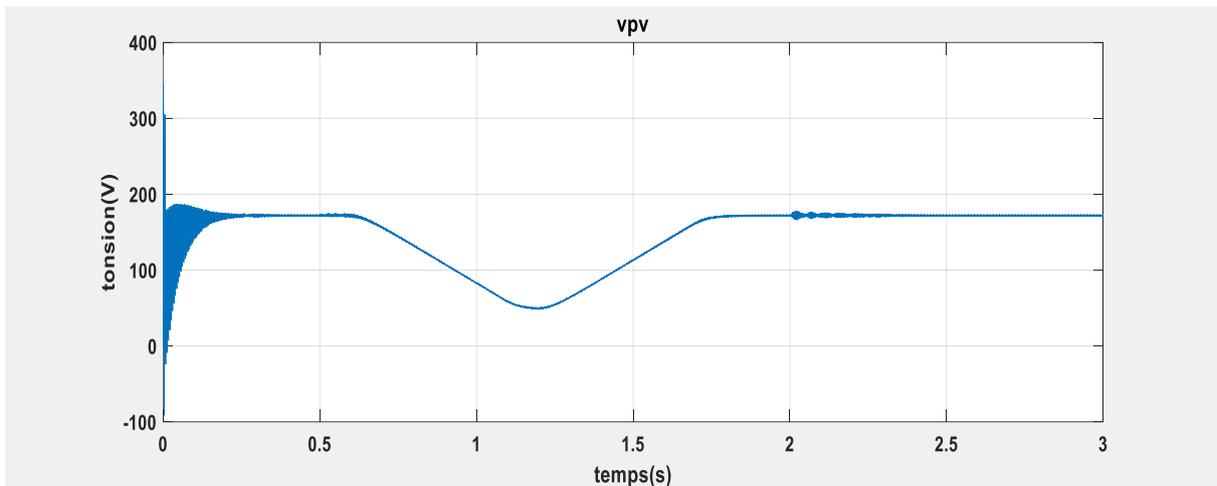


Figure III.12 Tension à l'entrée de l'Hacheur Boost

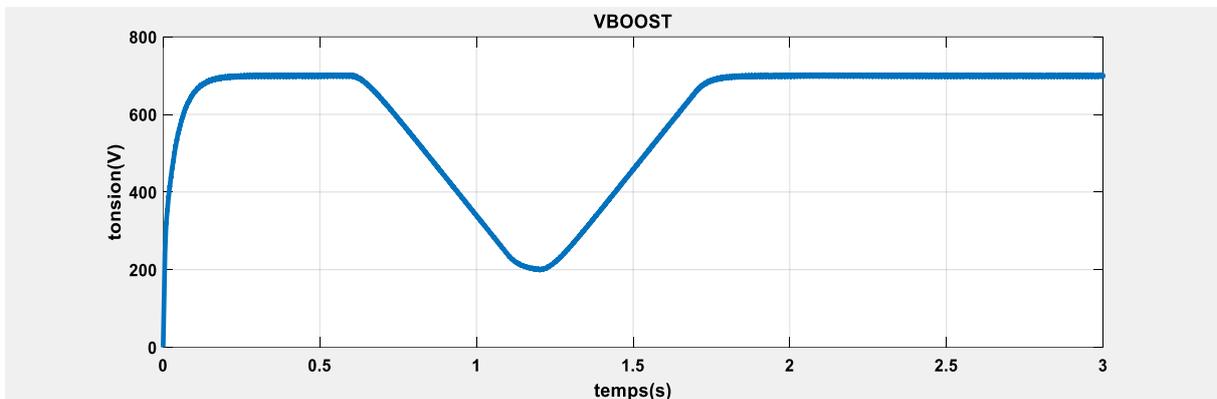


Figure III.13 Tension à la sortie du système (panneau PV +BOOST) avec une MPPT P&O

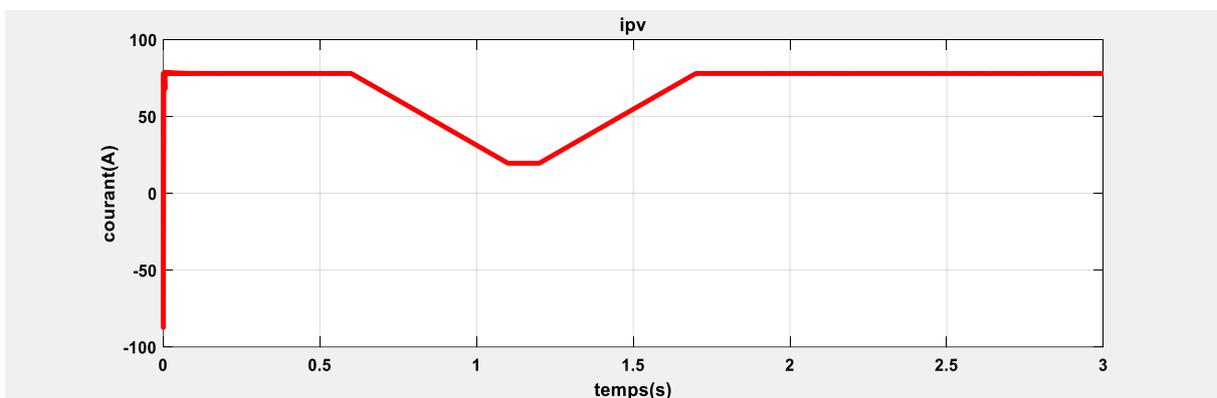


Figure III.14 Courant à l'entrée du Hacheur Boost.

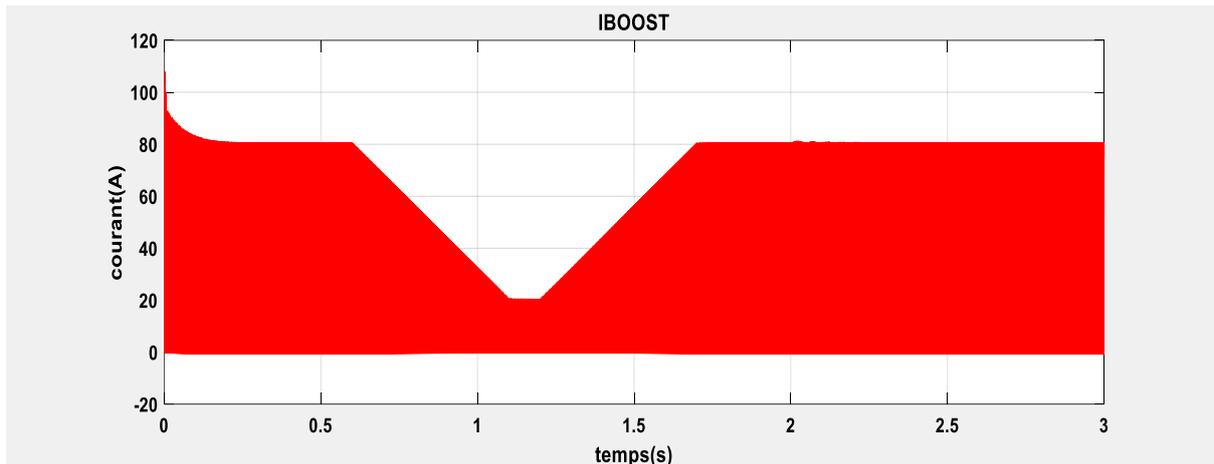


Figure III.15 courant à la sortie du système (panneau PV +BOOST) avec une MPPT P&O

Comme on peut le voir dans le diagramme d'accompagnement, l'un a une tension de 170 volts à l'entrée tandis que l'autre a une haute tension d'environ 700 volts à la sortie, ou presque le double de la tension d'entrée. Étant donné qu'un ratio cyclique + 50 % a été utilisé, ces constatations étaient attendues.

III.5 Simulation de l'onduleur de tension triphasée

On va choisir dans ce travail l'onduleur triphasé commandé par MLI.

III.5.1 Montage de simulation de l'onduleur de tension triphasée (sans filtre)

Ci-après le schéma de simulation de l'onduleur de tension triphasée sans filtre alimentant une charge RL :

La MLI Sinus-Triangle (MLI-ST) est réalisée par comparaison de la tension de la référence basse fréquence à une onde porteuse haute fréquence de forme triangulaire. Les instants de commutation sont déterminés par les points d'intersections entre la porteuse et la référence. La simulation de commande MLI (sinus-triangle) réalisé sous Matlab et présenté sur les figure III.16 et Figure III.17

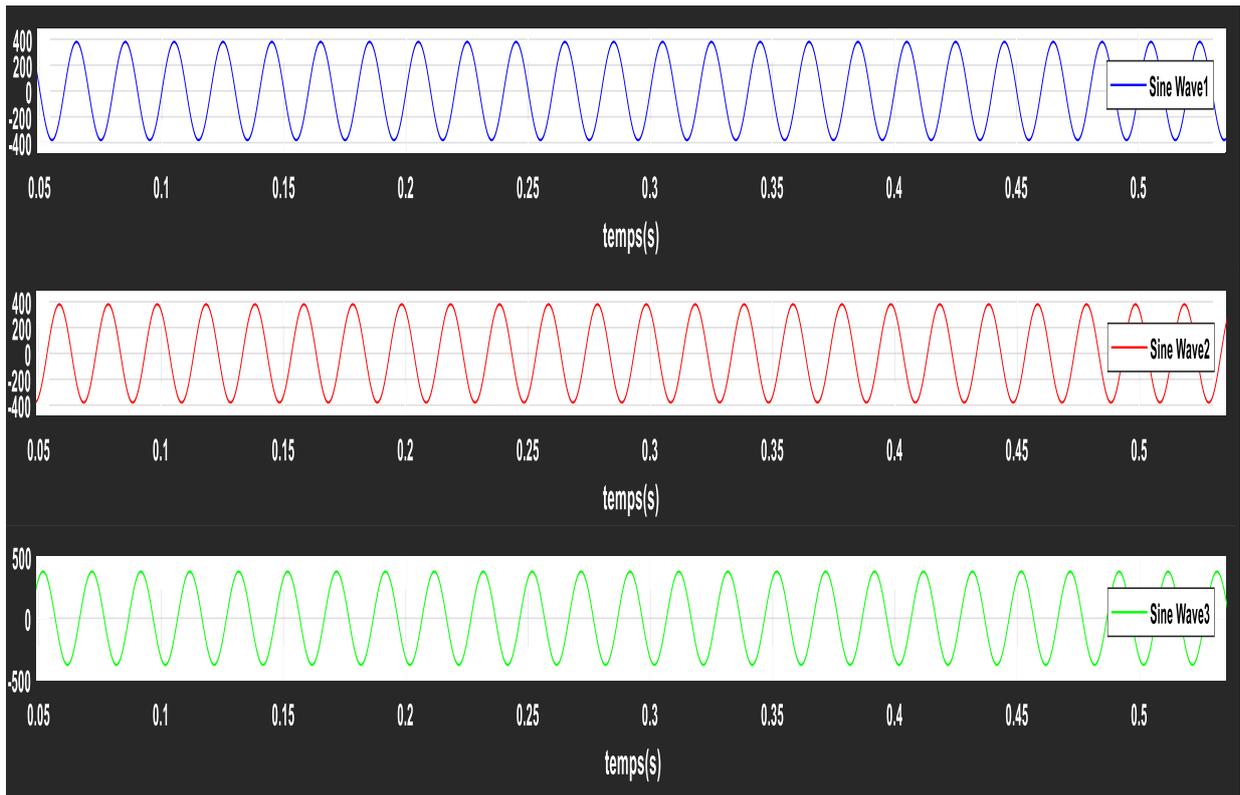


Figure III.16 les 3 signaux de l'onde sinusoïdale

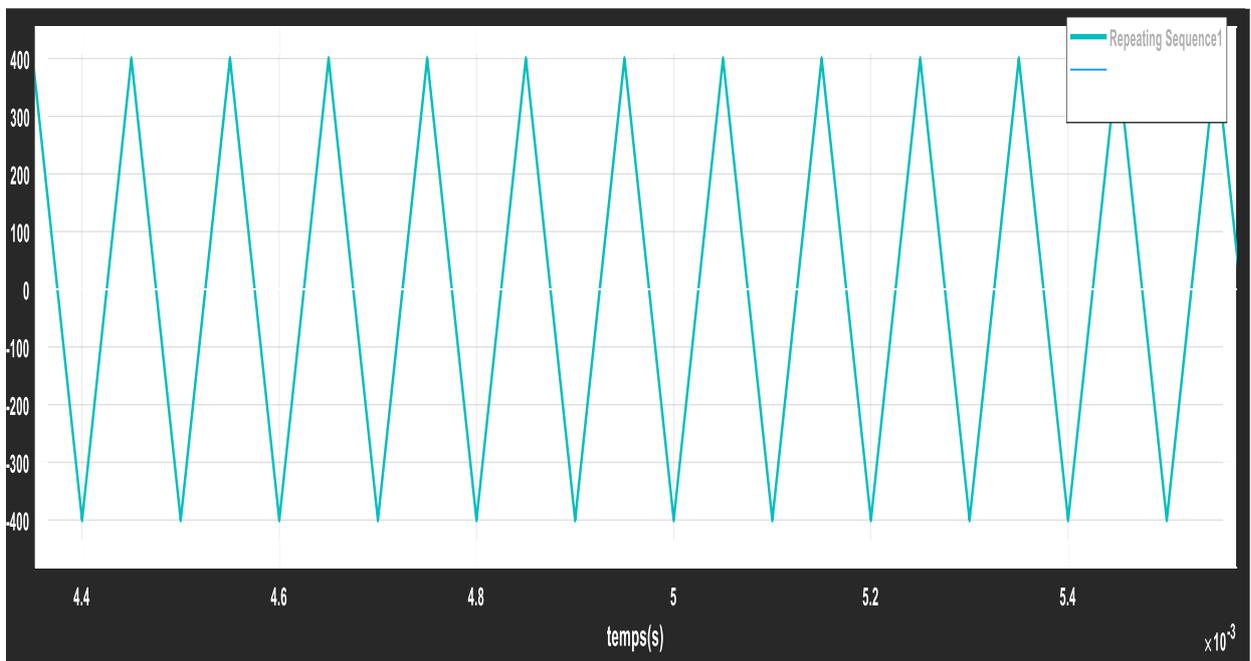


Figure III.17 le signal de séquence de répétition

La fréquence de commutation des interrupteurs est fixée par la porteuse. En triphasé, les trois références sinusoïdales sont déphasées de $2\pi/3$ à la même fréquence f .

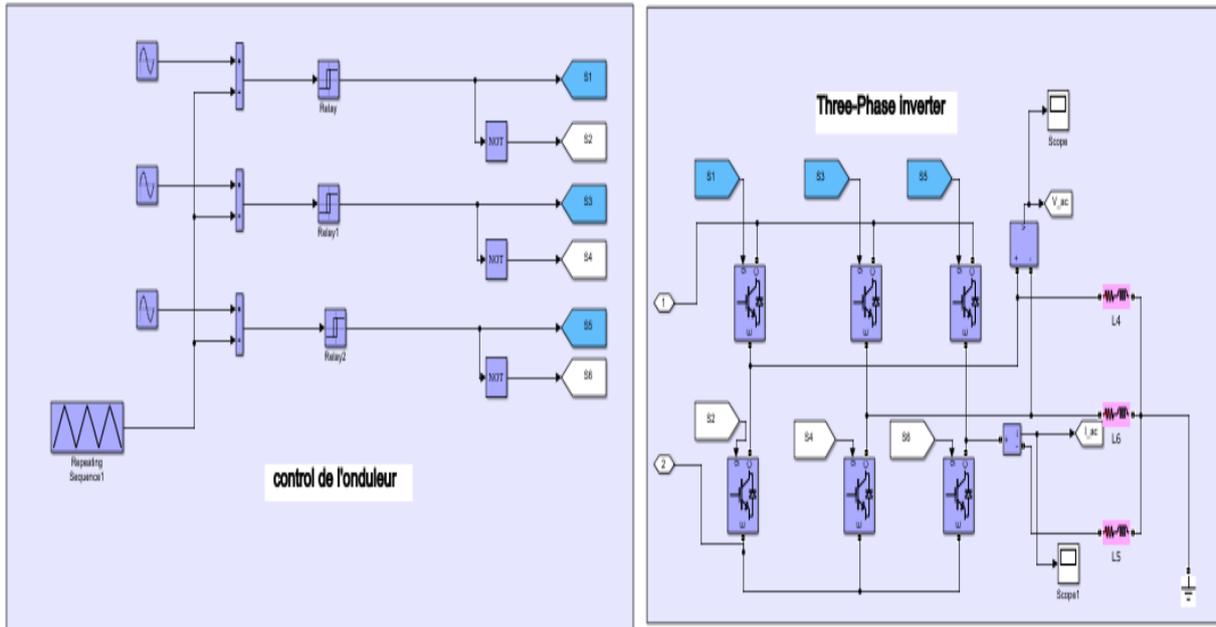


Figure III.18 Schéma de la commande de l'onduleur de tension triphasée.

III.5.2 Résultats de la simulation de l'onduleur de tension triphasée (son filtre)

La figure III. 19 présente des signaux de la tension de sortie (V_{ac}) avant le filtre RC et des courants (I_{ac1} , I_{ac2} et I_{ac3}) obtenus à la sortie de l'onduleur de tension triphasé.

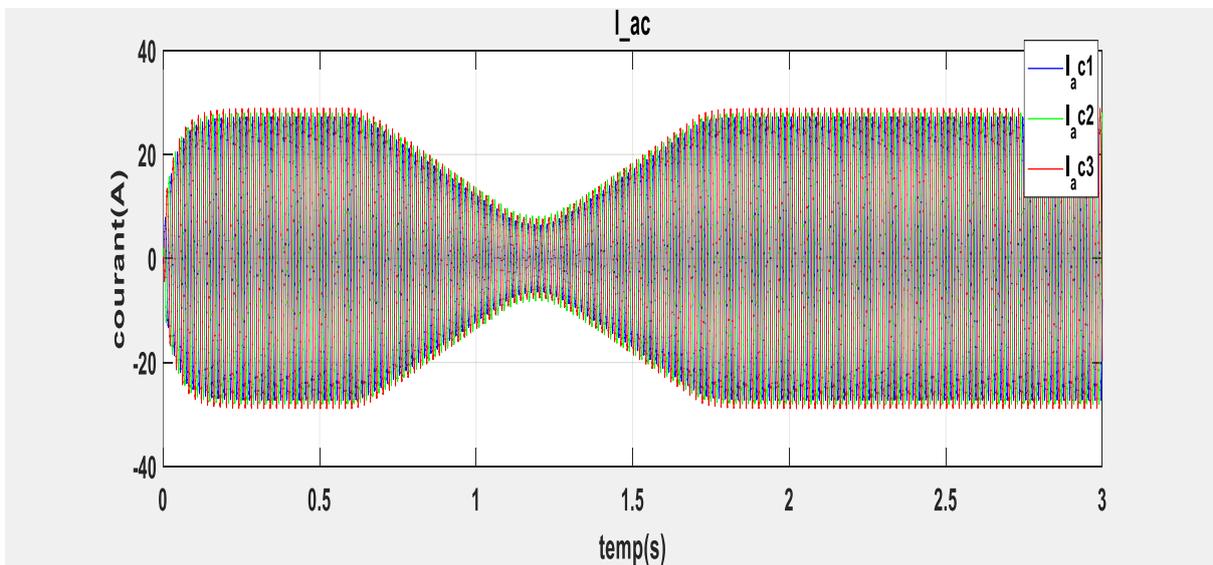


Figure III. 19 Allure des courants des phases de l'onduleur de tension triphasé.

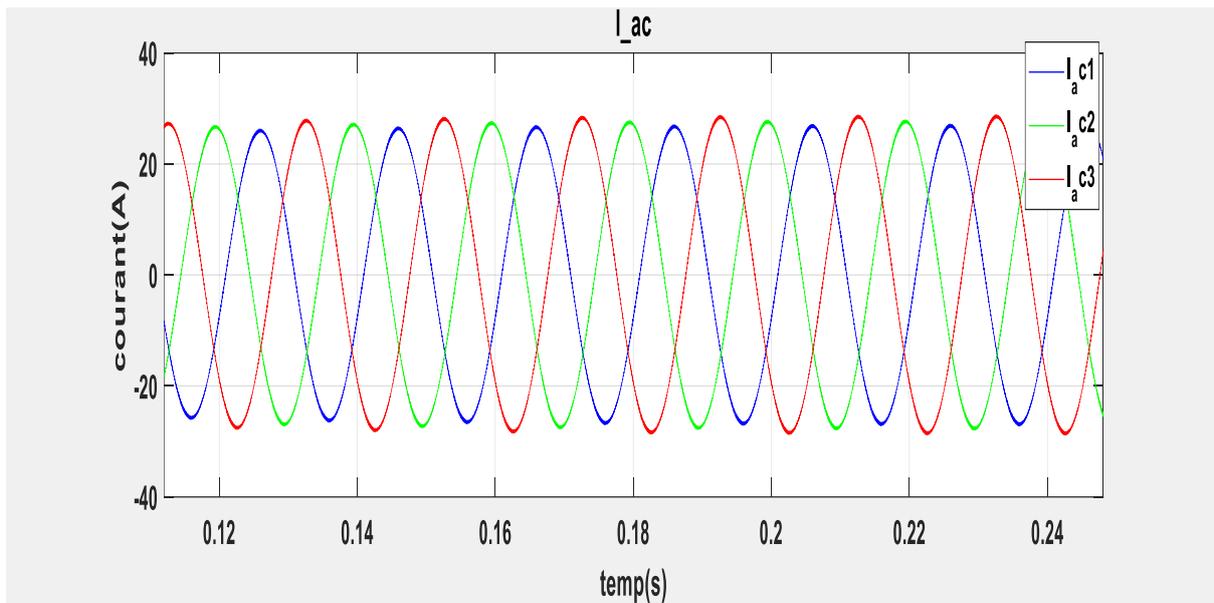


Figure III. 20 Zoom sur les courants des phases de l'onduleur de tension triphasée.

Résultats de la simulation pour la tension aux bornes de la charge :

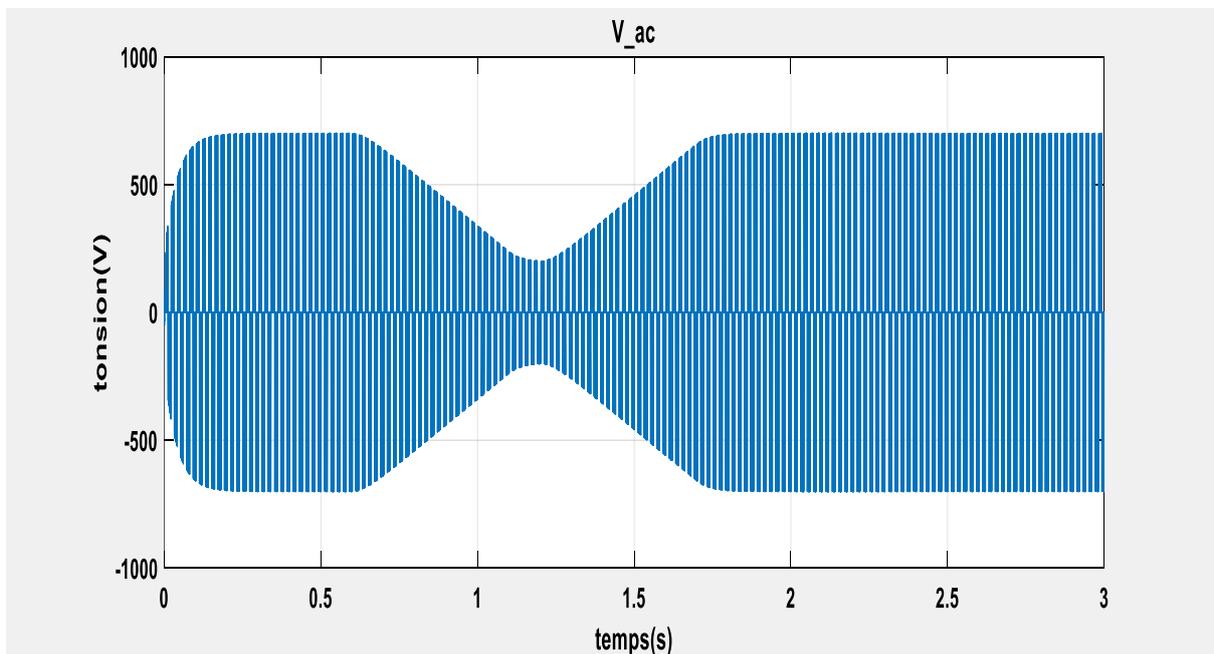


Figure III.21 Allure de tension aux bornes de l'onduleur de tension triphasée.

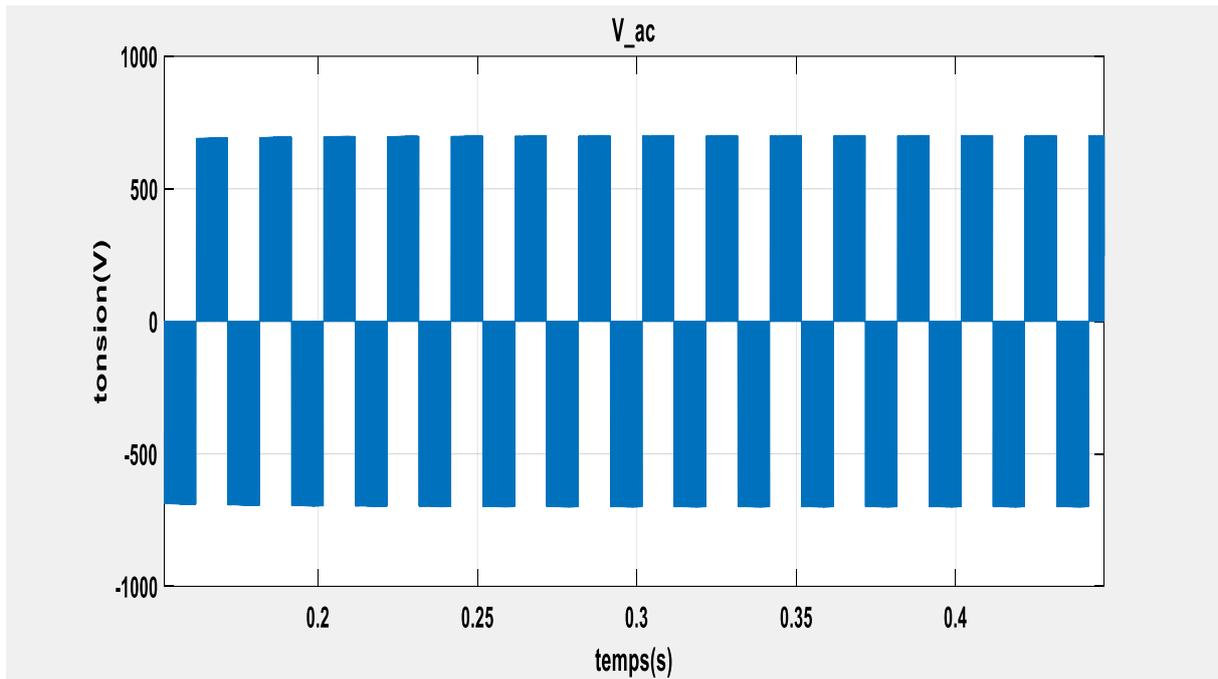


Figure III. 22 Zoom sur allure de tension aux bornes de l'onduleur de tension triphasée.

Ce signal contient trop d'harmoniques dus à la haute fréquence de la commande MLI, pour les réduire il faut utiliser un filtre « PASSE-BAS ».

III.5.3 Montage de simulation de l'onduleur de tension triphasée (avec le filtre RC)

On a conçu un filtre passif du 3 ordre, du type RC en T ($R=$, qui nous permettra de ohms , $C=1200 \times 10^{-6} \mu\text{F}$) réduire considérablement les harmoniques. Le

schéma de simulation avec filtre est repris ci-après :

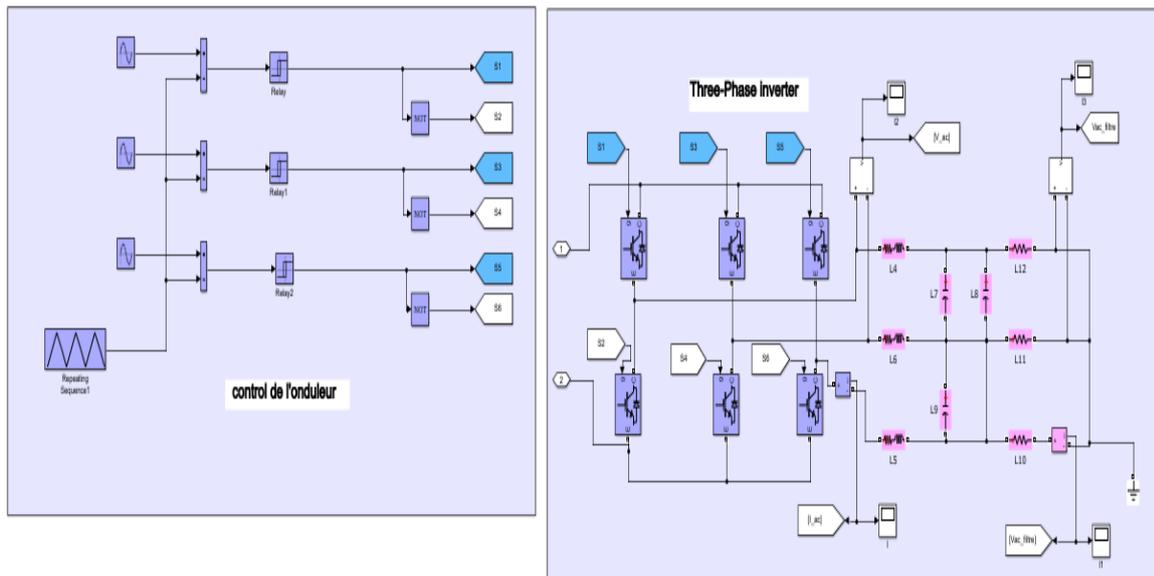


Figure III. 23 Schéma de simulation de l'onduleur avec filtrage.

III.5.4 Résultats de simulation de l'onduleur de tension triphasée (avec le filtre RC)

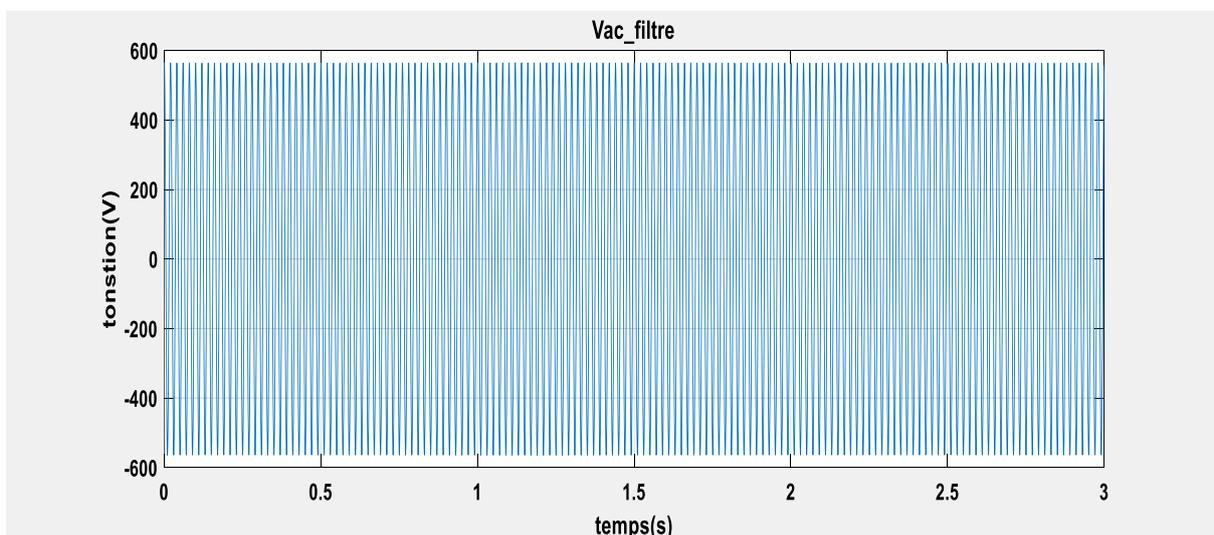


Figure III. 24 Résultats de la simulation de l'onduleur avec filtrage

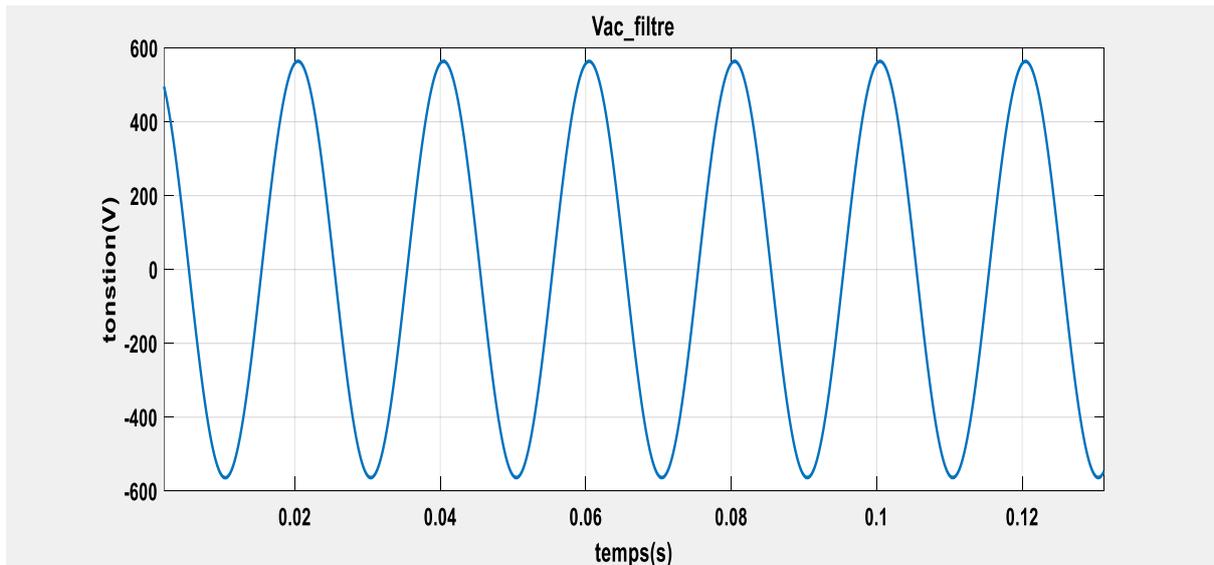


Figure III. 25 zoom de résultats de la simulation de l'onduleur avec filtrage .

On voit qu'en effet le filtre supprime les harmoniques et on obtient ainsi des tensions d'amplitude environ 600V crête à crête, et de fréquence 50HZ et On remarque que les courbes de courants et tension sont des courbes sinusoïdale.

III.6 Simulation de l'interconnexion avec le réseau

Le réseau est ici représenté par une source triphasé. On va utiliser un réseau moyenne tension de 20kV avec une fréquence de 50Hz raccordé à un transformateur (380V I20kV).

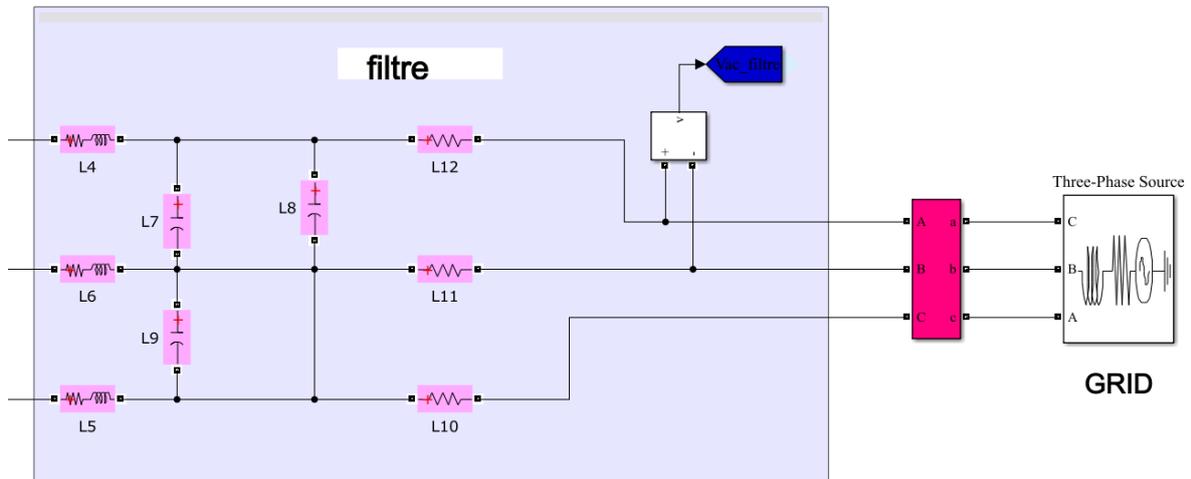


Figure III. 26 Schéma de simulation de réseau.

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons simulé toutes les étapes du système Photovoltaïque connecté au réseau électrique, tel que le générateur photovoltaïque, Hacheur commandé pour la recherche du point de puissance maximale par la méthode P&O et l'onduleur commandé par MLI-ST et en fin le réseau électrique.

Conclusion générale

On pense que l'énergie photovoltaïque est l'une des sources d'énergie renouvelable les plus importantes pour produire de l'énergie. Cependant, les facteurs environnementaux dominent la quantité d'énergie photovoltaïque produite. La conception d'un système photovoltaïque à haute performance capable de gérer les changements atmosphériques est nécessaire pour maximiser cette production.

D'autres applications de l'électronique de puissance et des systèmes énergétiques peuvent utiliser les topologies et les diagrammes de contrôle décrits dans cette thèse. La modélisation d'une chaîne solaire composée d'un générateur, d'un convertisseur AC ou d'un boost DC, d'une charge DC (résistance) et d'une commande pour piloter le convertisseur via la commande traditionnelle P&O MPPT a été explorée dans cette étude.

Dans ce contexte, nous avons présenté les systèmes d'énergie renouvelable en mettant l'accent sur les systèmes photovoltaïques connectés au réseau. Ce système est simulé dans l'environnement Matlab/Simulink et se compose principalement d'un générateur photovoltaïque (GPV) et d'un DC-converter DC Boost, d'un onduleur contrôlé par MLI, et du réseau électrique. Nous avons pris en compte l'influence de la variation des conditions climatiques (éclairage) sur le MPP où la puissance de fonctionnement du système est déterminée.

La commande MPPT classique (P&O) permet la meilleure connexion entre le générateur photovoltaïque (GPV) et la charge et elle permet de faire fonctionner toujours au point de puissance maximale.

Références bibliographiques

- [1] M. Bouzegane, F. Gaouaoui, « Alimentation d'un moteur à courant continu par une source photovoltaïque », Mémoire de Master, Université de Tizi-Ouzou, 2018.
- [2] S. Hammadou S. Rezzak « Commande linéarisante appliquée aux Systèmes PV connecté au réseau », Mémoire de Master, Université de Jijel, 2020
- [3] Belakehal Soltane, "Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Énergies Renouvelables," Thèse de Doctorat, université de Constantine, 10/06/2020
- [4] Boudehouche mohamed djallal ouennoughi mokhtar « gestion d'un système photovoltaïque avec stockage » thèse de master université Abderrahmane mira de Bejaïa 16-06-2016
- [5] A. Belhoucine et S. Zaidi. « Etude et dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque autonome ». Mémoire de master II Université de Bejaia 2012
- [6] A. Hannoun, D. Boudali, « Modélisation et Simulation d'un Système Photovoltaïque Alimentant d'une Charge Triphasée », Mémoire de Master, Université de Saida, 2016.
- [7] Fatiha ghaleb, Kamel Eddine bendjbar & Souad haouari « Lumière et Cellule Solaire » Université d'Oran des Sciences et de la Technologie
- [8] Notes de cours, Azoui, Master Energies Renouvelables 2019/2020
- [9] Bouzid Allah El Moubarak. , » mémoire d'ingénieur d'état », université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2008
- [10] Sofiane fellouach Siham mesbahi ; Thème « étude d'un système photovoltaïque connecté au réseau » ; Mémoire de master ; université mouloud de mammeri de tizi-ouzu
- [11] Selma Hammadou ; Souad Rezzak ; Thème « Commande linéarisante appliquée aux Systèmes PV connecté au réseau » Mémoire de Master ; Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique Université de Jijel 1

- [15].T.Markvart et L.Castaber, «Photovoltaics Fundamentals and applications». Preface Guide to Usage of the Handbook by Professional Groups
- [16] Singo. < Système D'alimentation Photovoltaïque Avec Stockage Hybride Pour L'habitat Energétiquement Autonome>. Thèse Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy- I France; 3 Février 2010.
- [17].J. David Irwin, mohamed h.rashid «Power electronics Handbook». University of West Florida Joint Program and Computer Engineering, Copyright # 2001 by academic press.
- [18] Nedjma Aouchiche. "Conception d'une commande MPPT optimale à base d'intelligence artificielle d'un système photovoltaïque" Université Bourgogne Franche-Comté, 2020. France.
- [19] m. benssidik Othmane. « Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque ». Mémoire de Master. Université kasdi merbah ouargla 2012.
- [20] bemana ngueuele Yannick « Modélisation des injections de puissance d'un système PV sur un réseau public » Mémoire de Master, Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement ; 2012
- [21] kharef Fatima Zohra Commande MPPT pour les panneaux photovoltaïques en ombrage MASTER Université Ahmed Draïa-Adrar 2020-2021
- [22] Aboub Hania , » Commande d'un onduleur neuf niveaux, destiné aux fortes puissances PV » , diplôme de magister en électrotechnique , Université Hadj Lakhdar - Batna , 28/06/2014
- [23] Ch. ghabara , H. jouini , m. mahbib , a. mami , "Stratégie d'optimisation floue du point d'extraction de la puissance maximale (MPPT) pour les petites éoliennes connectées à des sites isolés" , Université de Tunis El Manar, Faculté des sciences de Tunis, Campus Universitaire 2092 - El Manar Tunis, Tunisie.