

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE
N° :



DOMAINE : Génie électrique
FILIERE : Electrotechnique
OPTION : Energie Renouvelable

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Intitulé

**Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation
électronique dans une chaîne de conversion d'énergie
photovoltaïque**

Proposé et dirigé par :

Dr. BOUDJELLAL Bilal

Présenté par :

Said Leghighane

Yakoub Ben Hamimid

Soutenu devant le jury composé de :

CHOUCHOU Abdelmadjid	Université Mohamed Boudiaf de M'Sila	Président
BOUDJELLAL Bilal	Université Mohamed Boudiaf de M'Sila	Rapporteur
BENYETTOU Loutfi	Université Mohamed Boudiaf de M'Sila	Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2021/ 2022

Dédicaces

Je dédie mon travail

*À mes parents, mes frères, ma sœur ainsi que
A tous les enseignants et les collègues de notre promotion*

Saïd et yakoub

Remerciements

Avant tout, nous remercions le bon dieu tout puissant qui nous donne de la foi, du courage et de patience afin d'accomplir ce modeste travail. Nous remercions le docteur BOUDJELLAL Bilal, nos promoteurs pour ses conseils et suggestions avisés qui nous ont aidés à mener à bien ce travail et d'avoir apporté à ce mémoire ses remarques et conseils.

Résumé

Le présent travail consiste en une étude de simulation d'un générateur photovoltaïque, cette étude est basée sur l'optimisation topologique lorsque le champ photovoltaïque est soumis à un ombrage partiel. Pour cela, plusieurs scénarios de l'ombrage sont discutés et traités et toutes les reconfigurations possibles de générateur photovoltaïque sont étudiées pour trouver la reconfiguration qui réduise la perte de discordance dans des conditions partiellement ombrées le maximum.

Le but de cette mémoire est de contribuer à l'optimisation d'une chaîne de conversion PV. Commande MPPT Simulations ont été étudiées à savoir la maximisation de puissance MPPT par les techniques 'perturbe et observe' (P&O) pour assurer la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur photovoltaïque à l'aide du convertisseur boost classique, nous l'avons remplacé par un boost DC-DC trois niveaux. Les résultats de la simulation obtenue sont très encourageants.

Mots clés : Système photovoltaïque, Convertisseur boost, boost trois niveaux, Commande MPPT, P&O.

Table des matières

Table des matières.....	i
Liste des Figures.....	iv
Liste des Tableaux.....	vi
Glossaire.....	vii
Nomenclature	viii
Introduction générale	2
Chapitre I. Etat de l'art sur l'énergie solaire photovoltaïque	5
I.1 Introduction.....	5
I.2 Énergie Renouvelable	5
I.2.1 L'énergie solaire	5
I.2.1.1 L'énergie passive.....	6
I.2.1.2 L'énergie solaire thermique	6
I.2.1.3 L'énergie thermodynamique.....	6
I.2.1.4 L'énergie photovoltaïque	6
I.3 Rayonnement solaire.....	6
I.3.1 Le spectre de rayonnement solaire.....	7
I.3.2 Différents types de rayonnement	8
I.3.2.1 Rayonnement direct RD	8
I.3.2.2 Rayonnement diffus Rd.....	8
I.3.2.3 Rayonnement solaire réfléchi.....	8
I.3.2.4 Le rayonnement global RG	8
I.3.3 Orientation et inclinaison	9
I.4 Gisement solaire en Algérie.....	9
I.5 La cellule photovoltaïque.....	11
I.5.1 Définition de la cellule photovoltaïque	11
I.5.2 Principe de fonctionnement	11
I.5.3 Caractéristiques de la cellule photovoltaïque.....	12
I.5.4 Les types des cellules photovoltaïques	12
I.5.5 Influence de l'éclairement et de la température sur le rendement des cellules	13
I.5.5.1 Influence de l'Eclairement Solaire	13
I.5.5.2 Influence De La Température	14
I.6 Association en série et en parallèle d'une cellule PV.....	15
I.6.1 Association en série	15
I.6.2 Association en parallèle	15
I.7 Générateur photovoltaïque.....	16
I.7.1 Caractéristiques d'un module photovoltaïque.....	17
I.7.1.1 Caractéristiques des panneaux solaires utilisés	17
I.7.1.2 Protection des modules photovoltaïques	18
I.7.1.1 Protection externe.....	18
I.7.1.2 Protection interne	18
I.8 Convertisseurs d'énergie.....	19

I.8.1	Convertisseurs DC/DC (hacheurs) :.....	19
I.8.2	Convertisseurs DC/AC (onduleur) :.....	19
I.9	Mode de fonctionnement d'un système photovoltaïque.....	19
I.9.1	Mode autonome.....	19
I.9.2	Mode connecté au réseau	21
I.9.3	Mode hybride	21
I.10	Avantages et inconvénients d'une installation photovoltaïque.....	22
I.10.1	Avantages.....	22
I.10.2	Inconvénients	23
I.11	Conclusion	23
Chapitre II. Modalisations et commande d'un système photovoltaïque.....		25
II.1	Introduction.....	25
II.2	Connexion direct générateur photovoltaïque-charge	25
II.2.1	Définition et étude de l'étage d'adaptation entre un générateur et une charge	27
II.2.2	Modélisation du générateur photovoltaïque.....	28
II.2.2.1	Cellule photovoltaïque idéale.....	28
II.2.2.2	Cas d'une cellule réelle :	29
II.2.2.3	Cas d'un générateur photovoltaïque :	30
II.3	Convertisseur DC-DC	31
II.3.1	Définition d'un hacheur.....	31
II.3.2	Types des convertisseurs DC-DC	31
II.3.3	Gain en tension des convertisseurs	33
II.3.4	Classification générale des convertisseurs DC-DC.....	33
II.4	Le conversion Boost (Hacheur survolteur)	35
II.4.1	Boost classique.....	36
II.4.2	Boost entrelacé.....	36
II.4.3	Boost à trois niveaux de tension	36
II.4.4	Boost en cascade	37
II.4.5	Convertisseur Boost classique	37
II.4.5.1	Fonctionnement du hacheur boost.....	37
II.4.5.2	Conduction continue :	39
II.4.5.3	Formes d'ondes des principaux signaux	41
II.4.5.4	Nature du hacheur Boost	43
II.4.5.5	Condition de conduction continue.....	43
II.4.5.6	Rapport de conversion	44
II.4.6	Dimensionnement des composants de le hacheur Boost.....	44
II.4.6.1	L'inductance d'entrée	44
II.4.6.2	Calcul de la capacité du condensateur de sortie.....	45
II.4.6.3	Calcul de la capacité du condensateur d'entrée	45
II.4.7	Commande MLI du hacheur	46
II.5	Fonctionnement d'un générateur PV à sa puissance Maximale	46
II.5.1	Principe	46
II.5.2	Constitution d'une MPPT	47
II.5.3	Unité de contrôle.....	47
II.6	Les commandes MPPT.....	47
II.7	Classification Des commandes MPPT	47
II.7.1	Classification Des commandes MPPT Selon Le Type de Recherche	47
II.7.1.1	MPPT Indirecte	47
II.7.1.2	MPPT Directe.....	48
II.8	Les Algorithmes MPPT.....	49
II.9	Résultat de simulation	52

II.11 Conclusion.....	58
Chapitre III. Optimisation énergétique de système photovoltaïque	60
III.1 Introduction.....	60
III.2 Convertisseur Boost à trois niveau	60
III.2.1 Réalisation de convertisseur du hacheur Boost à trois niveaux (topologies Boost).....	61
III.2.1.1 Architecture-Mode de fonctionnement	62
III.2.2 Les avantages du convertisseur à trois niveaux	66
III.3 Résultat de simulation.....	67
III.4 Conclusion	72
Conclusion générale.....	74
Références bibliographiques	77

Liste des Figures

Figure I.1– Irradiation ou spectre solaire à la surface de l’atmosphère terrestre [5].	8
Figure I.2– composants du rayonnement solaire.	9
Figure I.3– Le potentiel solaire en Algérie.	10
Figure I.4– Principe de fonctionnement d’une cellule PV. [12].	11
Figure I.5– Caractéristiques courant, tension et puissance d’une cellule photovoltaïque	12
Figure I.6– Les différents types de la cellule photovoltaïque	13
Figure I.7– Influence de l’éclairement G sur le rendement des cellules, $T = 25$ _C.	13
Figure I.8– Influence de la température T sur le rendement des cellules.	14
Figure I.9– Cellules connectée en série avec leur caractéristique courant tension	15
Figure I.10– Cellules connectée en parallèle avec leur caractéristique courant/tension.	15
Figure I.11– composant d’un GPV	16
Figure I.12– générateur photovoltaïque	16
Figure I.13– La caractéristique puissance-tension d’un module photovoltaïque	17
Figure I.14– Schéma d’un système photovoltaïque en mode autonome [21].	20
Figure I.15– Schéma d’un système photovoltaïque en mode autonome (centrales).	20
Figure I.16– Exemple de la structure d’un système PV raccordés au réseau.	21
Figure I.17– Exemple d’un système PV hybride.	22
Figure II.1– Connexion direct de GPV charge par le biais d’une diode anti- retour.	25
Figure II.2– Point fonctionnement d’une GPV en fonction de la charge en connexion direct.	26
Figure II.3– Etage d’adaptation jouant le rôle d’interface de puissance entre un GPV et une charge.	27
Figure II.4– Modèle de cellule photovoltaïque idéal.[21].	28
Figure II.5– Circuit électrique du modèle d’une cellule photovoltaïque	29
Figure II.6– Circuit équivalent du modèle d’un générateur photovoltaïque.	30
Figure II.7– Convertisseur DC/DC	31
Figure II.8– Classification générale des convertisseurs DC-DC	33
Figure II.9– Différentes topologies du convertisseur Boost.	36
Figure II.10– schéma de principe d’un hacheur Boost.	37
Figure II.11– Signal de commande de l’interrupteur Tr .	38
Figure II.12– Schéma équivalent du hacheur Boost durant la phase active.	39
Figure II.13– Schéma équivalent du hacheur Boost durant la phase de rouelibre.	40
Figure II.14– Allures des tensions et courants en mode conduction continue [47].	42
Figure II.15– Chaîne typique de convers ion d’énergie photovoltaïque.	46
Figure II.16– Recherche du PPM par la méthode (P&O).	49
Figure II.17– Algorithme de MPPT à base de la méthode P&O	50
Figure II.18– Divergence de la méthode de P&O.	51
Figure II.19– Schéma bloc du système photovoltaïque dans SIMULINK/ MATLAB.	52
Figure II.20– Modèle SIMULINK de l’algorithme MPPT	53

Figure II.21– Variation de l’irradiation solaire en fonction du temps.	53
Figure II.22– Evolution du courant du GPV.	53
Figure II.23– Evolution de la tension du GPV	54
Figure II.24– Evolution de la puissance du GPV	54
Figure II.25– Evolution du courant aux bornes l’inductance.	55
Figure II.26– Rapport cyclique de convertisseur boost	56
Figure II.27– Evolution du courant de la charge.	56
Figure II.28– Evolution de la tension de la charge.	57
Figure II.29– Evolution de la puissance de la charge	57
Figure III.1– Schéma de principe d'un Boost à trois niveaux.	61
Figure III.2– Structureduconvertisseuràl’état1.	63
Figure III.3– Structureduconvertisseuràl’état2.	63
Figure III.4– Structureduconvertisseuràl’état3.	64
Figure III.5– Structureduconvertisseuràl’état4.	65
Figure III.6– Représente le schéma bloc du système.	67
Figure III.7– La commande de le hacheur boost trois niveaux avec MPPT	67
Figure III.8– Evolution du courant du GPV.	68
Figure III.9– Evolution de la tension du GPV	68
Figure III.10– Evolution du courant aux bornes l’inductance.	69
Figure III.11– Rapport cyclique de convertisseur boost.	69
Figure III.12– Evolution du courant de la charge.	70
Figure III.13– Evolution de la tension de la charge.	70
Figure III.14– Evolution de la puissance de la charge	71
Figure III.15– Evolution de la tension des condensateurs c1	71
Figure III.16– Evolution de la tension des condensateurs c2	71

Liste des Tableaux

Tableau I.1– Taux d’ensoleillement pour quelques régions de l’Algérie. [10]	10
Tableau I.2 – Caractéristiques des panneaux solaires utilisés.	18
Tableau II.1 – Rapports de transformation des principaux convertisseurs DC-DC.	32
Tableau II.2 – Gain en tension des convertisseurs.....	33
Tableau II.3 – Caractéristiques de chaque type de convertisseurs DC-DC.	34
Tableau II.4 – Paramètres du système photovoltaïque étudié.....	52
Tableau III.1 –Paramètres du système photovoltaïque étudié.	62
Tableau III.2 –Caractéristiques de la tension et du courant dans un convertisseur DC- DC Boost à trois niveaux.....	66

Glossaire

IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor.
MCC	Mode de Conduction continue.
MLI	Modulation de Largeur d'Impulsion.
MPPT	Maximum Power Point Tracking.
PV	Photovoltaïque.
GPV	Générateur Photovoltaïque.
FF	Facteur de forme.
P&O	Perturbation et observation.
MPP	Pointe de puissance maximale.
PWM	Pulse Width Modulation (Modulation à Largeur d'Impulsion).

Nomenclature

Indice	Description	Unité
C_{dc}	Condensateur de sortie du convertisseur boost	F
C_{pv}	Condensateur d'entier du convertisseur boost	F
f_s	Fréquence de système PV	Hz
i_{cell}	Le Courant fournie par la cellule photovoltaïque	A
i_{ph}	Courant photonique, du modèle d'une cellule photovoltaïque	A
i_{pv}	Courant du système photovoltaïque	A
I_{sat}	Le courant de saturation	A
I_{rr}	Le courant de saturation de la diode	A
I_{sc}	Le courant de court-circuit	A
V_{oc}	La tension de circuit-ouvert	V
V_{cell}	La tension aux bornes de la cellule	V
G	Ensoleillement	W/m^2
Q	Charge de l'électron	C
A	Coefficient de température de courant photonique	-
K	Constant de Boltzmann	J/K
E_g	L'énergie du band gap	-
N	Facteur d'idéalité de la jonction	-
N_s	Nombre de cellules connectées en série	-
N_p	Nombre de cellules connectées en parallèle	-
L_{Gpv}	Inductance du convertisseur du système photovoltaïque	H
P_{pv}	Puissance débitée par la source solaire photovoltaïque	W

Introduction générale

Introduction générale

Dans le cadre de développement durable, face au double enjeu planétaire posé par l'épuisement prochain des ressources énergétiques fossiles et les problèmes posés vis-à-vis du respect de l'environnement, de fortes incitations poussent au développement des Énergies renouvelables.

Aujourd'hui plus de 85% de l'énergie produite est obtenue à partir des matières fossiles telles que le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou l'énergie nucléaire. [2] Cependant ces formes de production engendrent une forte pollution environnementale par rejet des gaz à effet de serre qui provoque un changement climatique irréversible ou dans le cas du nucléaire une pollution par radiations de longue durée qui pose le problème aujourd'hui non résolu, du stockage des déchets radioactifs.

La nécessité de la diversification énergétique, de la sécurisation des approvisionnements et de la protection de l'environnement est devenue une urgence mondiale. Cette situation a conduit à la recherche d'autres ressources d'énergies de remplacement. Parmi les énergies renouvelables qui connaissent jour après jour des développements considérables, il y a l'énergie solaire photovoltaïque qui représente une solution de remplacement par excellence. Pour cela Le rôle de ce système est de la production d'électricité sans interruption dans les régions isolées n'est pas seulement d'apporter « une puissance énergétique », mais un outil de développement social et économique des sites isolés.

Il existe plusieurs méthodes qui ont été largement mises en œuvre pour suivre la technique MPPT. Les méthodes les plus courantes sont : « Perturber et observer » (P&O), « l'incrémentation de la conductance » (CI). Le but de ce travail est l'étude d'un système d'énergie photovoltaïque autonome. Notre mémoire est structurée en trois chapitres en plus de l'introduction générale, la conclusion générale et perspective. [1] Dans le premier chapitre, nous allons présenter une synthèse de l'état de l'art actuel sur l'énergie photovoltaïque. Ainsi que les différentes technologies des cellules solaires. A la fin de ce chapitre, on mettra en valeur les avantages et les inconvénients de ce système. Le second chapitre sera consacré à la modélisation et la simulation du système photovoltaïque, qui a pour but d'étudier théoriquement le comportement de certains paramètres. La modélisation de chaque composant du système photovoltaïque complet sera élaborée à partir des modèles de la littérature (champ PV, convertisseurs) ; cette modélisation est une étape essentielle permet d'introduire un certain nombre de modèles puis évaluer la caractéristique de chaque élément de l'installation ainsi les paramètres constituants. Le dernier chapitre est consacré à la

simulation et l'optimisation de système photovoltaïque par la méthode de MPPT Nous terminerons ce modeste travail par une conclusion générale qui résume notre étude.

**Chapitre I. Etat de l'art sur l'énergie solaire
photovoltaïque**

Chapitre I. Etat de l'art sur l'énergie solaire photovoltaïque

I.1 Introduction

Les considérations environnementales fument une partie de plus en plus importante dans la réflexion sur l'avenir énergétique de la planète. Même si les sources fossiles et nucléaires sont toujours les fournisseurs d'énergie par excellence, vu l'augmentation du prix du pétrole et le réchauffement climatique, les sources alternatives bénéficient d'un recouvrement d'attention. Depuis longtemps, le stockage et l'utilisation de l'énergie solaire font l'objet de nombreuses études. Des dispositifs commerciaux ont vu le jour. Les systèmes photovoltaïques permettent d'exploiter l'énergie du soleil à diverses fins, ils sont très fiables et constituent une source non polluante d'électricité qui peut convenir à toutes les gammes d'applications.

I.2 Énergie Renouvelable

Le terme Énergie Renouvelable exprime l'énergie qui résulte de processus naturels, sans intervention humaine, et qui est renouvelée en permanence. Il en existe plusieurs types dans la nature, tels que la lumière du soleil, la géothermie, le vent, les vagues de la mer, l'énergie de l'eau courante ou des chutes de pente, en plus de l'énergie de la biomasse sous ses différentes formes. L'un des avantages les plus importants de l'énergie renouvelable est qu'elle est imperméable et gratuite, en plus d'être une énergie propre. Quant au concept d'énergie alternative, il exprime toute source d'énergie pouvant être utilisée comme alternative aux combustibles fossiles, et il s'agit souvent de sources d'énergie non conventionnelles qui n'affectent pas autant la nature que la combustion de combustibles fossiles.

I.2.1 L'énergie solaire

L'énergie solaire représente une alternative aux énergies fossiles habituelles. Disponible en grande quantité à notre échelle et répartie sur toute la surface de la terre, elle permet de récupérer jusqu'à 1000W/m² dans les zones tempérées. Que l'on soit en milieu urbain ou au contraire, en site isolé, cette énergie peut être récupérée et utilisée sous forme thermique ou électrique, il existe différents types d'énergies solaires. [2].

I.2.1.1 L'énergie passive

La plus ancienne et certainement la plus importante, Ce type d'énergie va être utilisé Pour le chauffage, l'éclairage naturel et la climatisation des locaux.

I.2.1.2 L'énergie solaire thermique

Cette énergie est la transformation des rayons du soleil en énergie thermique (chaleur).

Cette énergie peut être utilisée directement soit pour le chauffage ou pour obtenir de L'eau chaude.

Le principe général est de concentrer les rayons solaires en un seul Endroit.

I.2.1.3 L'énergie thermodynamique

Cette énergie est l'un des modes de valorisation du rayonnement solaire direct.

Cette Technologie consiste à concentrer le rayonnement solaire à l'aide de collecteur Pour Chauffer un fluide à haute température qui va produire de la vapeur à haute pression Qui est ensuite turbinée.

I.2.1.4 L'énergie photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque Désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux photovoltaïques. Elle résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur d'un photon en électron. Dans notre travail, en est intéressés particulièrement par l'énergie solaire photovoltaïque.

I.3 Rayonnement solaire

Malgré la distance considérable qui sépare le soleil de la terre 150.10 km, la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie importante 180.10 GW. Le rayonnement solaire est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil.

Il est composé de toute la gamme des rayonnements, de l'ultraviolet lointain comme les rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière visible. Le rayonnement solaire contient aussi des rayons cosmiques de particules animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevées. Une partie de ce rayonnement est filtrée par la couche d'ozone avant d'atteindre la troposphère. Via la photosynthèse il est nécessaire à la plupart des espèces qui vivent sur la Terre. [3]

Le rayonnement solaire se décompose approximativement comme suit :

- 5% dans la bande des ultraviolets ($< 0.04 \mu\text{m}$)
- 40% dans la bande visible ($0.4 \text{ à } 0.8 \mu\text{m}$)
- 55% dans la bande des infrarouges ($> 0.8 \mu\text{m}$)

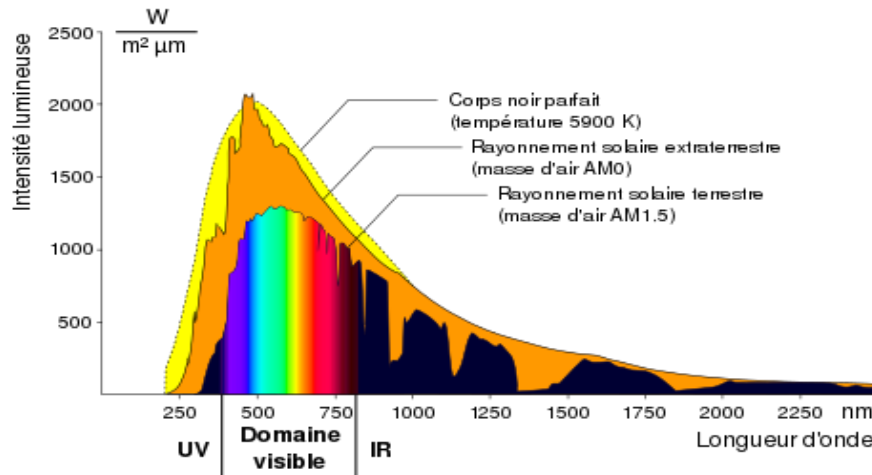
I.3.1 Le spectre de rayonnement solaire

La lumière solaire est composée de toutes sortes de rayonnements, de couleurs différentes, caractérisées par différentes longueurs d'onde. Des photons; grains de lumière composent ce rayonnement électromagnétique. En 1924, Louis de Broglie a confirmé la nature à la fois corpusculaire et ondulatoire de la lumière : présence de corpuscules (photons) et propagation d'ondes avec une fréquence de vibration et une longueur d'onde. Le rayonnement émis par le soleil correspond à celui du corps noir à la température de 6000°C .

L'intensité du rayonnement au-dessus de l'atmosphère est de 1.35 kW/m^2 , avec un spectre centré au voisinage de $\lambda=0.48 \mu\text{m}$. A la surface du sol, la densité de puissance n'est plus que de 0.9 kW/m^2 en raison de l'absorption essentiellement par l'ozone, l'eau et le gaz carbonique.

En outre, le spectre n'est plus continu mais présente des bandes d'absorption. Pour mesurer l'effet de l'atmosphère on utilise l'air masse, défini par $AM=1/\cos \alpha$ ou α représente l'angle

que fait la direction du soleil avec la verticale. AM0 est utilisé pour préciser les conditions au-dessus de l'atmosphère. AM 1.5 étant celui atteignant le sol par temps clair (surface d'un mètre carré faisant un angle de 48° avec l'équateur). De plus, on distingue les spectres AM1.5D et AM1.5G qui correspondent respectivement au flux direct et au flux global (direct et diffus).[4]



I.3.2 Différents types de rayonnement

I.3.2.1 Rayonnement direct RD

Le rayonnement direct est reçu directement du soleil, sans diffusés par l'atmosphère ce rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres et peut par des modules.

I.3.2.2 Rayonnement diffus Rd

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable ...).

I.3.2.3 Rayonnement solaire réfléchi

L'albédo est la partie réfléchi par le sol. Il dépend de l'environnement du site. Il faudra en tenir compte pour évaluer le rayonnement sur le plan incliné.

I.3.2.4 Le rayonnement global RG

Le rayonnement global désigne l'intensité globale de flux solaire sur une surface réceptrice [2].

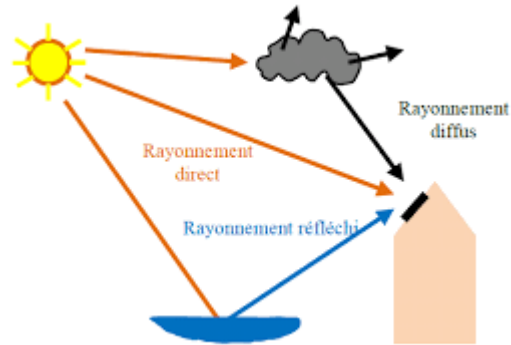


Figure I.2– composants du rayonnement solaire.

I.3.3 Orientation et inclinaison

L'orientation du système photovoltaïque détermine le rayonnement absorbé par cette surface et donc la production d'énergie. L'orientation indique tout simplement vers quel point cardinal un panneau est exposé : il peut faire face au Sud, au Nord, à l'Est, à l'Ouest... tout comme la façade d'une maison. L'inclinaison, quant à elle, est l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal.

Quand on a le choix, l'orientation idéale d'un capteur solaire obéit à une règle très simple à retenir : vers l'Equateur, ce qui donne : [8]

- Orientation vers le Sud dans l'hémisphère nord,
- Orientation vers le Nord dans l'hémisphère sud.

En ce qui concerne l'inclinaison, c'est un peu plus compliqué. Prenons d'abord le cas d'une application autonome qui consomme une énergie quasi constante tout au long l'année. L'hiver étant la période la moins ensoleillée, c'est à cette période qu'il faut optimiser la production.

I.4 Gisement solaire en Algérie

L'Algérie dispose d'un gisement solaire important compte tenu des valeurs de la durée d'insolation enregistrées sur la quasi-totalité du territoire national dépassant les 2000 heures annuellement et pouvant atteindre même les 3900 heures sur les hauts plateaux et le Sahara. La connaissance de ce gisement est d'un intérêt majeur pour concevoir et dimensionner les systèmes énergétiques solaires. Ainsi, un bon dimensionnement n'est possible que si les mesures sont disponibles d'une manière continue dans l'espace et dans le temps. La meilleure manière pour cela est de disposer d'une série de mesures continues du rayonnement solaire arrivant au sol issues des différentes stations météorologiques. Compte tenu de l'étendue du

territoire Algérien qui est d'environ 2 millions et demi de km² et de sa position géographique, la densité de son réseau est très insuffisante pour une bonne prise en charge de la mesure du rayonnement solaire. Pour pallier aux insuffisances de ce réseau, nous avons recours à des méthodes d'estimation en exploitant les images satellitaires collectées par les satellites géostationnaires [9].

Tableau I.1– Taux d'ensoleillement pour quelques régions de l'Algérie. [10]

province	Temperature max Ø jour	Heures d'ensoleillement
El Bayadh	21,3 °C	2.993 h
El Oued	29,3 °C	3.322 h
El Tarf	24,8 °C	2.738 h
Ghardaïa	27,4 °C	3.358 h

Le volet de l'énergie solaire le plus utilisé dans notre pays est le solaire photovoltaïque, les autres volets solaire, thermique et thermodynamique, restent toujours au stade expérimental. Toutefois, la complexité des procédés de fabrication des modules photovoltaïques et les rendements de production faibles entraînent des coûts très élevés, ce qui freine son développement

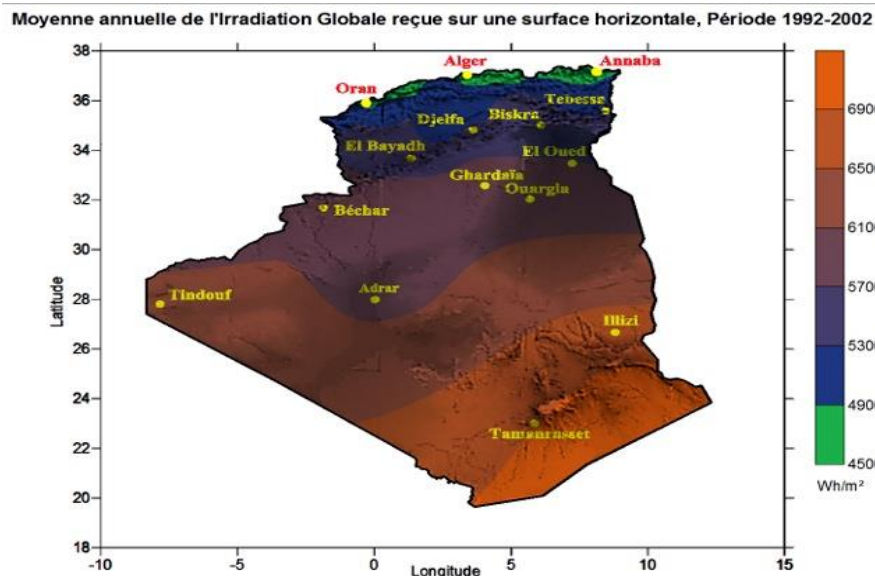


Figure I.3– Le potentiel solaire en Algérie.

I.5 La cellule photovoltaïque

I.5.1 Définition de la cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est le composant électronique semi-conducteur qui, lorsqu'il est assemblé en batterie, compose un panneau solaire photovoltaïque. Dans la cellule photovoltaïque l'absorption des photons libère des électrons chargés négativement et des "trous" chargés positivement. Ces charges électriques sont séparées par un champ électrique interne et collectées par une grille à l'avant et un contact à l'arrière, produisant un courant électrique. La cellule photovoltaïque est un générateur électrique élémentaire qui transforme directement l'énergie solaire en énergie électrique. [11]

I.5.2 Principe de fonctionnement

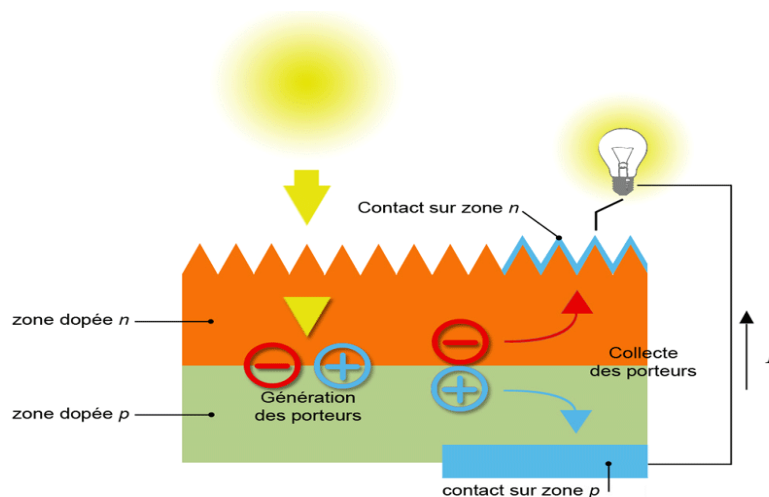


Figure I.4– Principe de fonctionnement d'une cellule PV. [12]

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type N et dopée de type P. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans le matériau P. La zone initialement dopée N devient chargée positivement, et la zone initialement dopée P chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone P. Une jonction PN a été formée. [13]

I.5.3 Caractéristiques de la cellule photovoltaïque

Sous un éclairage donné, toute cellule photovoltaïque est caractérisée par une courbe courant-tension (I-V) représentant l'ensemble des configurations électriques que peut prendre la cellule. Trois grandeurs physiques définissent cette courbe:

- Sa tension à vide : V_{co} . Cette valeur représenterait la tension générée par une cellule éclairée non raccordée.

- Son courant court-circuit: I_{cc} . Cette valeur représenterait le courant généré par une cellule éclairée raccordée à elle-même.

- Son point de puissance maximal : MPP (en anglais : maximal power point) obtenu pour une tension et un courant optimaux : V_{opt} , I_{opt} (parfois appelés aussi V_{mpp} , I_{mpp}). [12] On obtient les caractéristiques semblables à celles représentées en figure (I-5).

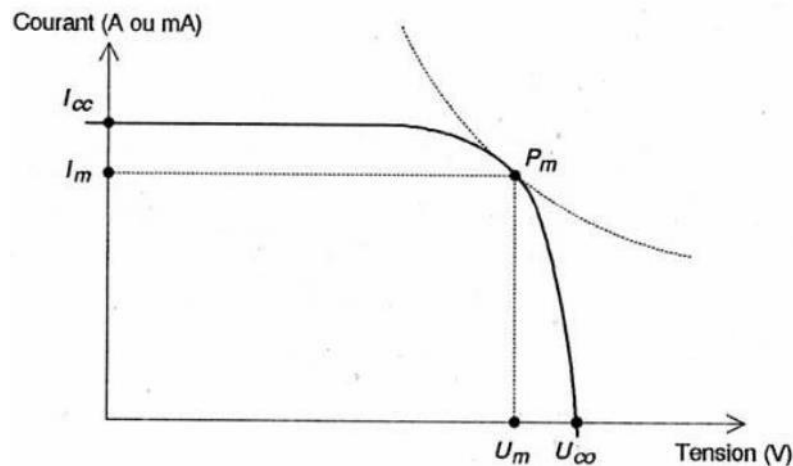


Figure I.5– Caractéristiques courant, tension et puissance d'une cellule photovoltaïque .

I.5.4 Les types des cellules photovoltaïques

Il existe trois types principaux de cellules:

1^{er}: Cellules monocristalline (Figure I.6-A) Ce sont celles qui ont le meilleur rendement (14 à 20%) mais aussi celle qui ont le coût le plus élevé. du fait d'une fabrication compliquée 30ans)

2^{ème}: Cellules poly-cristallines (Figure I.6-B) (multi-cristallin leur conception étant plus simple et faible coût de fabrication moins important cependant leur efficacité (rendement 11 à 15%) est plus faible , et longue durée de vie (30 ans)

3^{ème}: Cellules amorphes (Figure I.6-C) Sont constituées par des couches très minces de silicium et ont un coût peu élevé Elles ont un faible rendement (5 à 9%) et une durée de vie (20 ans)

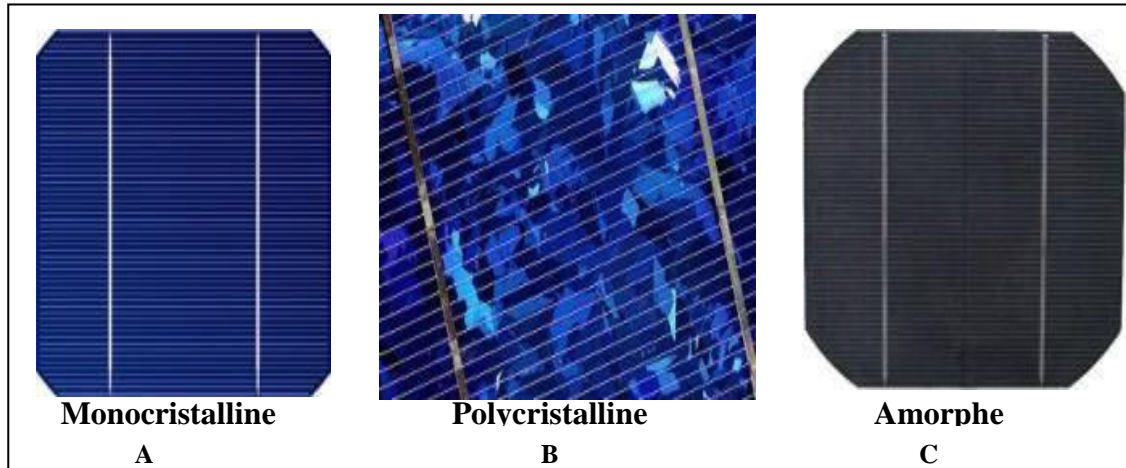


Figure I.6– Les différents types de la cellule photovoltaïque

I.5.5 Influence de l'éclairement et de la température sur le rendement des cellules

I.5.5.1 Influence de l'Eclairement Solaire

L'énergie électrique produite par une cellule photovoltaïque dépend de l'éclairement Qu'elle reçoit sur sa surface. La figure I.7 représente la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque avec une température constante.

On remarque que la valeur de courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement [13]. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairement.

L'irradiation standard, internationalement acceptée, pour mesurer la réponse des panneaux photovoltaïque est une intensité rayonnante 1000 w/m^2 et une température de $25 \text{ }^\circ\text{C}$

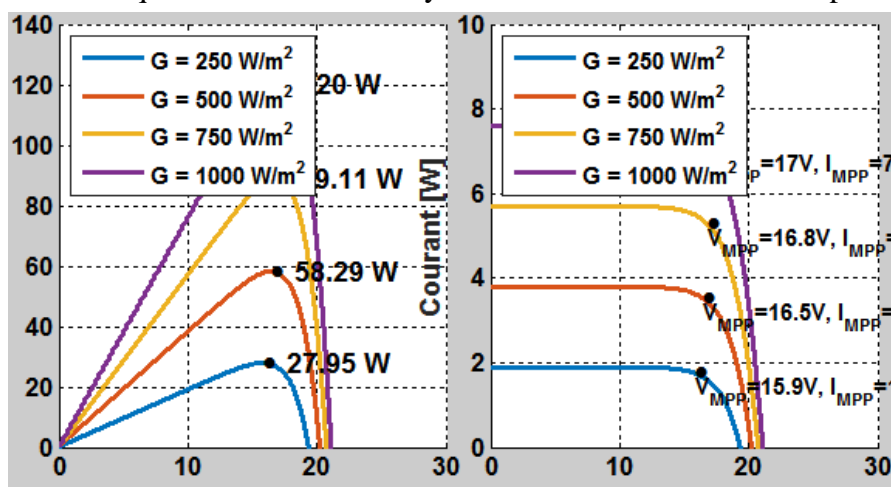


Figure I.7– Influence de l'éclairement G sur le rendement des cellules, $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

I.5.5.2 Influence De La Température

La température est un paramètre important puisque les modules sont exposés au Rayonnement solaire.

Les courbes suivantes représentent l'évolution du courant et de la tension en fonction de la température de la cellule durant le même éclairage.

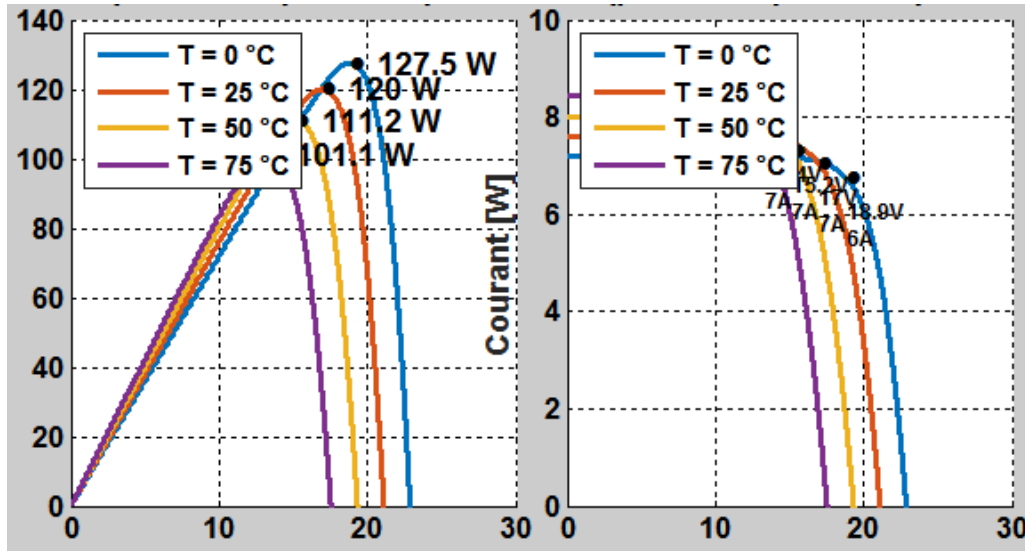


Figure I.8– Influence de la température T sur le rendement des cellules.

On remarque qu'une élévation de la température de jonction des modules solaires Provoque une diminution de la tension et une augmentation du courant.

Dans le cas de cellules au silicium, le courant augmente d'environ $0.025 \text{ mA/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$; Alors que la tension diminue de $2.2 \text{ mV/}^\circ\text{C}$. Plus la température augmente et moins le module est performant.

La puissance électrique produite par un panneau photovoltaïque dépend fortement de L'ensoleillement et à un degré moins important de la température des cellules. Ces deux Variables influençant le comportement du système présentent des fluctuations quotidiennes et Saisonnières. Pour ces raisons, le panneau photovoltaïque ne peut fournir une puissance Maximale que pour une tension particulière et un courant bien déterminé ; ce fonctionnement à puissance maximale dépend de la charge à ses bornes. À cet effet et en fonction du type de cette charge, un dispositif de contrôle devra être intégré dans le circuit de commande du

convertisseur (hacheur ou onduleur). Ce dernier doit être capable de faire fonctionner le panneau photovoltaïque à sa puissance maximale [14].

I.6 Association en série et en parallèle d'une cellule PV

Les modules (généralement présentés sous forme de panneaux) sont constitués d'un certain nombre de cellules élémentaires placées en série afin de rendre la tension à la sortie utilisable. Ces modules sont ensuite associés en réseau (série-parallèle) de façon à obtenir les tensions/courants désirés.

I.6.1 Association en série

Par association en série (appelée "String"), les cellules sont traversées par le même courant et la tension résultante correspond à la somme des tensions générées par chacune des cellules.

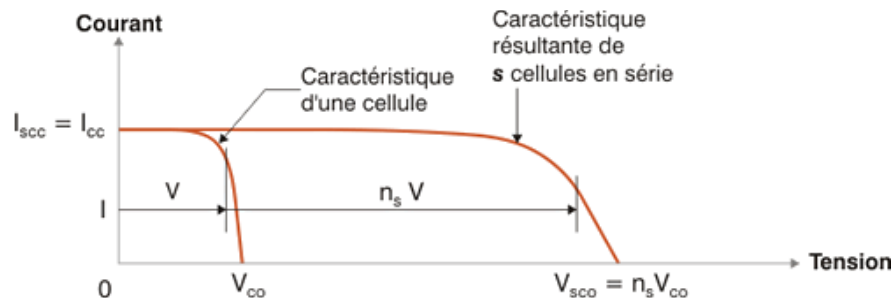


Figure I.9– Cellules connectée en série avec leur caractéristique courant tension

I.6.2 Association en parallèle

Par association en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et le courant résultant correspond à la somme des courants générés par chacune des cellules.

Les caractéristiques globales d'une installation se déduisent donc d'une combinaison des caractéristiques des constituants des $n_s \cdot n_p$.

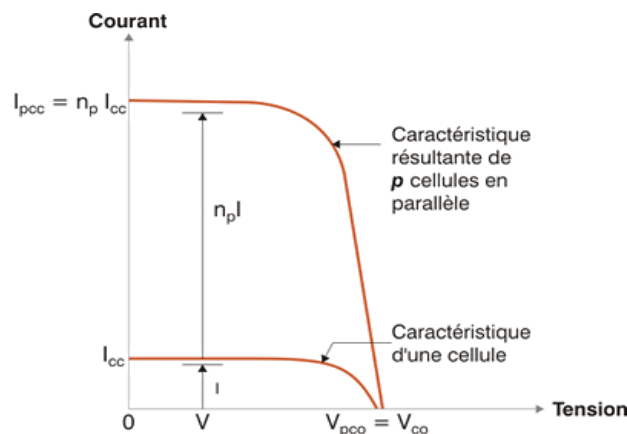


Figure I.10– Cellules connectée en parallèle avec leur caractéristique courant/tension

Plusieurs cellule donnée un panneau solaire(ou module photovoltaïque Plusieurs modules qui sont regroupés dans une central solaire photovoltaïque

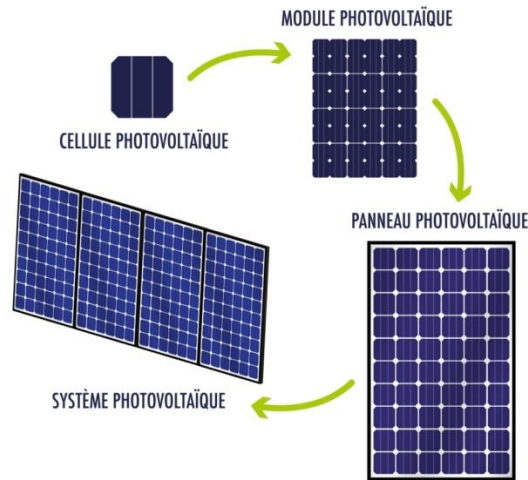


Figure I.11– composant d'un GPV

I.7 Générateur photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque est un ensemble de panneaux associés en série ou en parallèle ou bien en série et en parallèle pour assurer la production et la gestion de l'électricité du moment où elles sont exposées au rayonnement solaire Pour produire davantage de puissance, plusieurs cellules doivent être assemblées afin de créer des modules photovoltaïques (générateur d'énergie). Ainsi, la connexion en série de cellules identiques permet d'augmenter la tension de l'ensemble, tandis que la mise en parallèle permet d'accroître le courant. Le câblage série/parallèle est possible et souvent utilisé pour obtenir globalement un générateur PV aux caractéristiques souhaitées afin d'adapter théoriquement la production d'énergie photovoltaïque à la demande. [15]



Figure I.12– générateur photovoltaïque

I.7.1 Caractéristiques d'un module photovoltaïque

Les données essentielles permettent de déterminer la caractéristique d'un module photovoltaïque :

- Puissance nominale : 20 W
- Tension nominale : 12 V
- Tension à puissance maximum : 18 V
- Courant à puissance maximum : 1,11 A
- Puissance nominale : 20 W
- Tension en circuit ouvert : 22,3 V
- Courant de court-circuit : 1,13 A
- Durée de vie supérieure à 25 ans
- Puissance de sortie garantie de 90% dans les 10 ans, 80% au delà

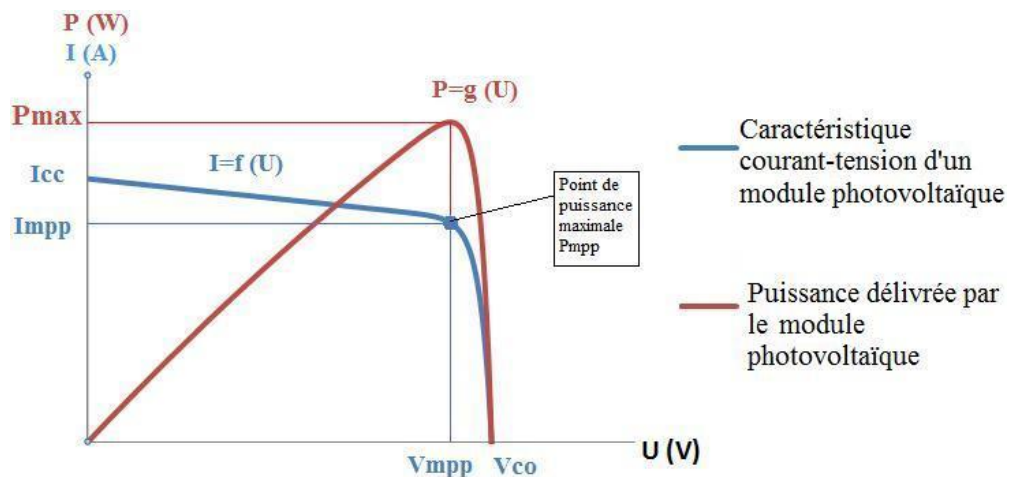


Figure I.13– La caractéristique puissance-tension d'un module photovoltaïque

I.7.1.1 Caractéristiques des panneaux solaires utilisés

Le panneau BP MSX-60W a les caractéristiques électriques et mécaniques présentés dans les tableaux suivants (Tableau I.2).

Tableau I.2 – Caractéristiques des panneaux solaires utilisés.

Maximum power P_{max}	60W
Voltage at P_{max} V_{mp}	17.1 V
Curent at P_{max} I_{mp}	3.5 A
Minimum P_{max}	58W
Short circuit curent I_{sc}	3.8 A
Open circuit voltage V_{oc}	21.1 V

I.7.1 Protection des modules photovoltaïques

Toutes les installations électriques ont besoin d'une protection et compris les générateurs photovoltaïques dans en distingue deux types de protection [17].

I.7.1.1 Protection externe

La protection externe a pour but d'intercepter les coups de foudre (via un dispositif de capture, ...) et d'écouler les courants de foudre jusqu'à la terre. Si une telle protection est nécessaire, le respect d'une distance minimale de séparation entre le système de protection (dispositif de capture et conducteurs du courant de foudre) et les panneaux photovoltaïque est à recommander chaque fois que cela est possible (la protection est alors dite isolée) et ce, afin qu'aucune décharge ne se produise entre ces deux éléments. Si cette distance ne peut être respectée (en cas de protection non isolée), il y a lieu de connecter les panneaux photovoltaïques à l'installation de protection contre la foudre et de prévoir une protection interne renforcée.

I.7.1.2 Protection interne

Les surtensions et les effets des champs électromagnétiques sont les principales causes d'endommagement des équipements électriques et électroniques. Leurs origines sont multiples : coup de foudre direct sur une structure, coup de foudre indirect à quelques kilomètres, sur un bâtiment voisin ou sur des conducteurs d'alimentation électrique aériens, manœuvres de commutation sur le réseau électrique, ... Ces sur tensions peuvent endommager l'installation photovoltaïque (onduleur, panneaux, ...) ainsi que l'installation électrique.

I.8 Convertisseurs d'énergie

Les convertisseurs sont les appareils qui servent à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant soit à une tension continue différente, soit à une tension alternative. [18]

I.8.1 Convertisseurs DC/DC (hacheurs) :

Le hacheur, ou convertisseur continu - continu, est un dispositif de l'électronique de puissance mettant en œuvre un ou plusieurs interrupteurs électroniques commandés, ce qui permet de modifier la valeur de la tension (moyenne) d'une source de tension continue avec un rendement élevé. [19]

I.8.2 Convertisseurs DC/AC (onduleur) :

Les fonctions de l'onduleur sont de convertir l'électricité produite avec un maximum d'efficacité et en toute sécurité en convertissant le courant continu de l'énergie photovoltaïque issue d'un panneau solaire en courant alternatif.

I.9 Mode de fonctionnement d'un système photovoltaïque

On distingue trois modes d'exploitation d'un système PV : autonome, connecté au réseau et hybride.

I.9.1 Mode autonome

En mode autonome, le générateur photovoltaïque représente la seule source d'énergie électrique pour alimenter des récepteurs. Ce mode est adopté lorsque le réseau n'est pas disponible ou lorsque le fonctionnement des récepteurs dépend uniquement du fil de soleil (pompage, éclairage, climatisation, chauffage, etc.). La figure suivante explique ce mode[20].

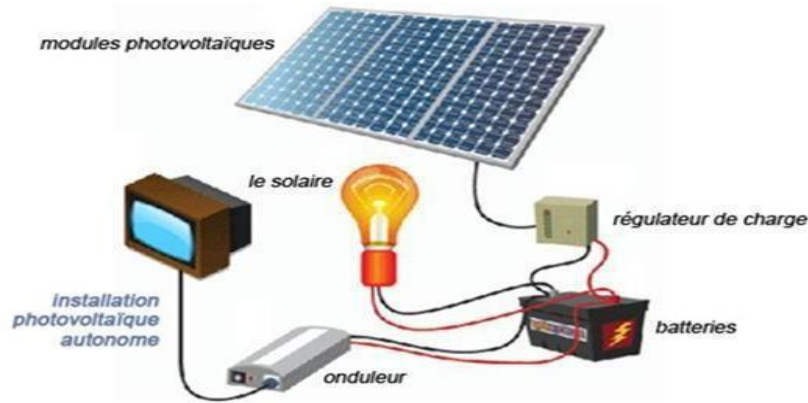


Figure I.14– Schéma d'un système photovoltaïque en mode autonome [21].

a) Pompage de l'eau

Dans ce cas d'application, le fonctionnement se fait généralement au fil du soleil. Ainsi, le module PV alimente directement une pompe à travers un onduleur ; et ce tant que la puissance de sortie du module est capable de faire fonctionner la pompe.

Ce mode est plus efficace lorsqu'un stockage de l'eau est toujours possible. Un système de pompage d'eau peut être représenté par la figure I.15.

b) Centrales photovoltaïques

Une centrale photovoltaïque est un ensemble de modules photovoltaïques connectés en séries ou en parallèles en vue de délivrer une puissance élevée.

Ce type de centrales est généralement utilisé pour l'électrification des régions éloignées du réseau et avec le minimum de coût. L'énergie offerte par les modules photovoltaïques passe par un étage hacheur et MPPT pour tirer le maximum d'énergie, un filtre et un onduleur ce qui garantit une énergie délivrée en continue et en alternatif. La figure suivante donne le Principe de ces centrales.



Figure I.15– Schéma d'un système photovoltaïque en mode autonome (centrales).

I.9.2 Mode connecté au réseau

Dans ce mode, le module PV est connecté au réseau électrique. Le système photovoltaïque est muni de convertisseurs de puissance pour adapter l'énergie produite

par les modules PV. Ces convertisseurs sont composés d'un hacheur muni d'un MPPT, d'un filtre, d'un onduleur et d'une électronique appropriée pour assurer l'adaptation en amplitude et en fréquence avec le réseau (accrochage au réseau) comme le montre la figure suivante.

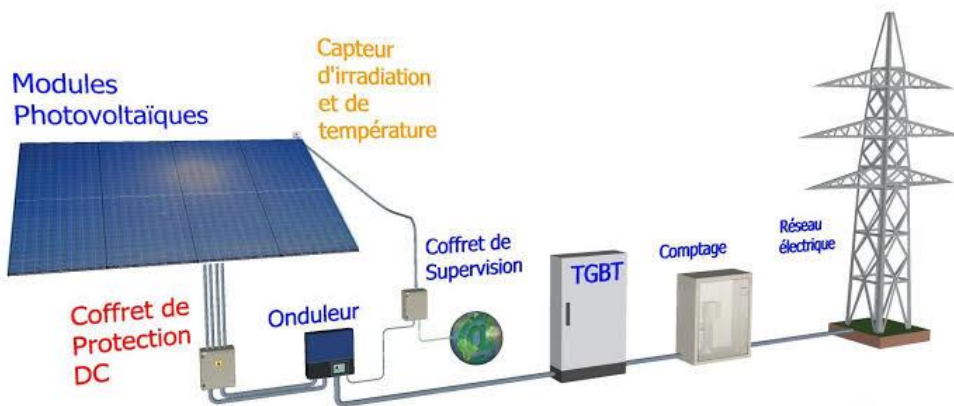


Figure I.16– Exemple de la structure d'un système PV raccordés au réseau.

I.9.3 Mode hybride

Un système d'énergie hybride comporte plus qu'une source d'électricité tel que les modules photovoltaïques, les piles à combustibles, les générateurs éoliens, les batteries de stockage, les groupes électrogènes...etc. Ce type d'installation est utilisé pour l'électrification des régions loin du réseau.

Il existe plusieurs configurations de ces systèmes :

- PV/thermique
- PV/batterie
- PV/piles à combustibles
- PV/éolienne/batterie
- PV/éolienne
- PV/groupe électrogène.

Le choix se base essentiellement selon les caractéristiques météorologiques du site d'implantation. Les systèmes hybrides connectés au réseau ont pour but de renforcer la source principale d'électricité alimentant le réseau. Ils sont généralement à base de sources d'énergie renouvelables tel que : les modules photovoltaïques, les éoliennes, les piles à combustibles, les batteries de stockage, les groupes électrogènes (figure ci-dessous) [20].

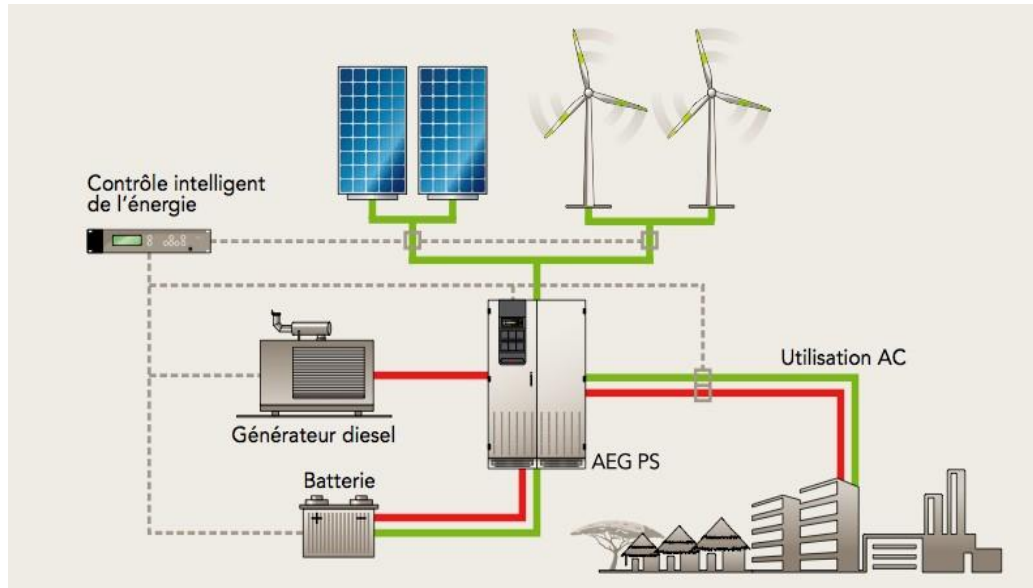


Figure I.17– Exemple d'un système PV hybride.

I.10 Avantages et inconvénients d'une installation photovoltaïque

I.10.1 Avantages

D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.

Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.

Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.

La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions. [22]

I.10.2 Inconvénients

La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.

Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % (soit entre 10 et 15 MW/km² pour le BENELUX) avec une limite théorique Pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.

Tributaire des conditions météorologiques.

Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est Nécessaire, le coût du générateur est accru.

Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux Problèmes. Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le Fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur

I.11 Conclusion

Le contenu de ce chapitre a été consacré aux notions de base du développement de l'énergie solaire. On a mis en évidence le principe de fonctionnement de cette technologie, présenter ces composants et nous avons aussi cité les avantages et inconvénients de ce système

Dans le chapitre suivants nous sommes intéressé de détaillé le système de conversion photovoltaïque autonome car cette méthode permet d'exploiter l'énergie du soleil divers fins, et aussi de détailler et d'identifier la majorité des parties constituantes de ce type d'installation tout en expliquant vaguement son processus de production. Nous allons entamer a présent, la modélisation des éléments principaux dans une installation photovoltaïque

Chapitre II. Modalisations et commande d'un système photovoltaïque

Chapitre II. Modalisations et commande d'un système photovoltaïque

II.1 Introduction

Dans le but de la modélisation et la simulation d'une commande MPPT, la première étape passera par la modélisation d'un générateur photovoltaïque. Les outils disponibles aujourd'hui sur le marché sont nombreux. Depuis la simulation d'électronique de puissance, pour la modélisation du convertisseur DC/DC et du GPV, à la simulation de la commande pour décrire la MPPT, le logiciel doit permettre de simuler l'ensemble de la chaîne de conversion photovoltaïque. En utilisant Matlab/Simulink pour modéliser la commande, qui permet de décrire un système complet.

II.2 Connexion direct générateur photovoltaïque-charge

Dans le cas d'une connexion directe qui est finalement aujourd'hui l'utilisation terrestre la plus répandue de l'énergie solaire, le point de fonctionnement du GPV dépend de l'impédance de la charge à laquelle il est connecté. Actuellement, ce type d'application peut se résumer à un champ photovoltaïque ayant une tension VOPT fixée par la tension nominale de l'application. Ce choix est principalement lié à la simplicité, la fiabilité et le faible coût de l'opération (figure II.1). La présence de la diode anti retour est indispensable pour empêcher la circulation d'un courant négatif vers le module PV.

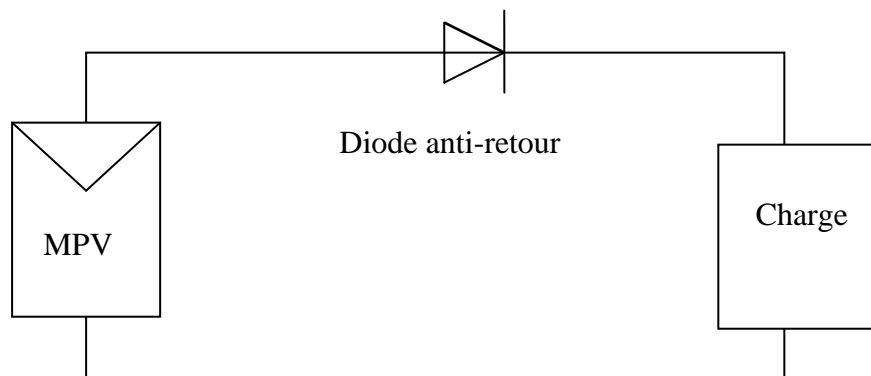


Figure II.1– Connexion direct de GPV charge par le biais d'une diode anti- retour.

Cependant, cette configuration n'offre aucun type de limitation et/ou de réglage de la tension de la charge. Ce qui la restreint à des applications nécessitant une tension fixe ou faiblement variable. Par exemple, le cas de batteries de stockage dans les systèmes isolés. Cependant, un examen plus approfondi de ces applications montre que même dans ce cas, le transfert d'énergie électrique disponible aux bornes du GPV vers la charge dépend fortement de l'état de la batterie ayant une tension à ses bornes variant d'un pourcentage non négligeable. Plus généralement, la puissance extraite d'un GPV connectée directement à une application est souvent très éloignée du maximum de puissance que peut délivrer le GPV, comme l'illustre la figure. II.2

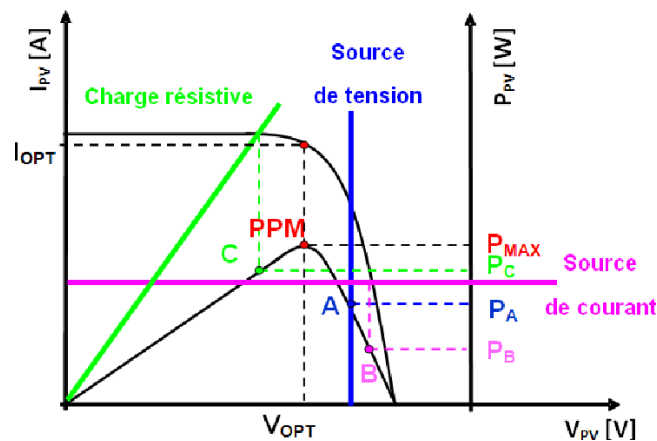


Figure II.2– Point fonctionnement d'une GPV en fonction de la charge en connexion direct.

Comme le schématise la figure II.2, un GPV peut être connecté directement à trois types de charges :

- une charge de type source de tension continue,
- une charge de type source de courant continu,
- une charge purement résistive.

Trois points de fonctionnement A, B, C respectifs peuvent être identifiés fournissant une puissance P_A , P_B et P_C . Ces cas de figures montrent que le GPV est mal exploité et ne fournit pas la puissance maximale potentielle, la différence étant perdue sous forme de chaleur dissipée dans le générateur.

D'autre part, certains types de charges ont besoin de tensions et courants alternatifs. La connexion directe n'est alors pas possible car le GPV fournit un courant continu.

A travers ces exemples, on peut montrer rapidement les limites de la connexion directe autant sur les pertes de production qu'elle entraîne que sur les limites des applications compatibles (DC). Des recherches sur des solutions novatrices optimisant mieux la production d'énergie PV sont d'actualité et même nécessaires pour amener l'énergie PV à un degré de fiabilité comparable à une source d'énergie traditionnelle

II.2.1 Définition et étude de l'étage d'adaptation entre un générateur et une charge

Il est connu qu'un GPV présente des caractéristiques I-V non linéaires avec des MPP. Ces caractéristiques dépendent entre autres du niveau d'éclairement et de la température des cellules.

De plus, selon les caractéristiques de la charge sur laquelle le GPV débite, nous pouvons trouver un très fort écart entre la puissance potentielle du générateur et celle réellement transférée à la charge en mode connexion directe.

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV et de la transférer à la charge, la technique la plus usuelle consiste à utiliser un étage d'adaptation entre le GPV et la charge (figure (II.3)).

Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de P_{max} disponible [23].

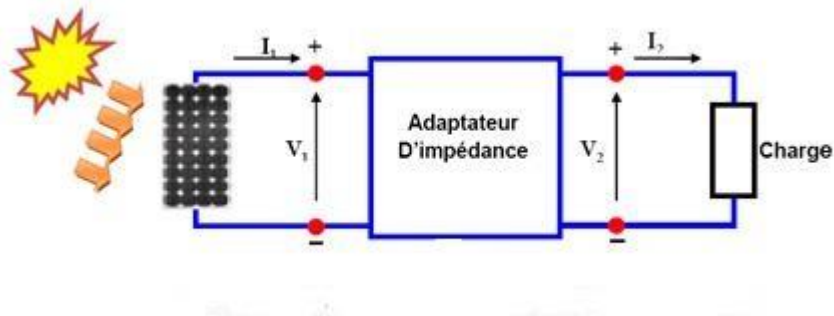


Figure II.3– Etage d'adaptation jouant le rôle d'interface de puissance entre un GPV et une charge.

Ce dernier par le biais d'une commande spécifique est alors susceptible de permettre au générateur de délivrer sa puissance maximale notée P_{max} ($P_{IVmax} = V_{opt} \cdot I_{opt}$, où V_{opt} et I_{opt} représentent respectivement la tension et le courants optimaux du générateur photovoltaïque pour une courbe I-V donnée) tout en assurant que la tension ou bien le courant de la charge correspond bien aux caractéristiques de cette dernière.

Pour que le GPV fonctionne le plus souvent possible dans son régime optimal, la solution communément adoptée est alors d'introduire un convertisseur statique qui joue le rôle d'adaptateur source-charge.

II.2.2 Modélisation du générateur photovoltaïque

II.2.2.1 Cellule photovoltaïque idéale

Une cellule photovoltaïque idéale peut être décrite comme une source idéale de courant qui produit un courant I_{ph} proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode (figure II.4). [24]

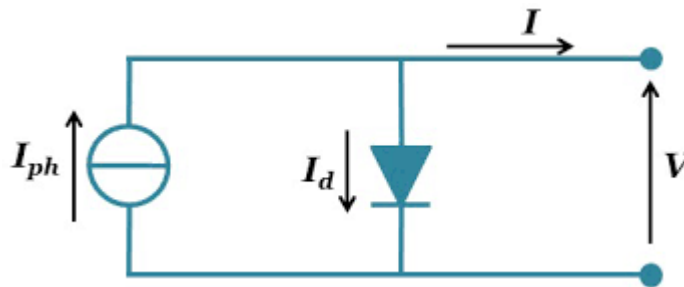


Figure II.4– Modèle de cellule photovoltaïque idéal.[21].

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (II.1)$$

Où:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{q \cdot V_{pv}}{A \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (II.2)$$

I_{ph} : Le courant photonique, il dépend de la température et de l'ensoleillement, et peut se mettre sous la forme suivante :

$$I_{ph} = \left[I_{cc} + K_i (T - T_{ref}) \right] \times \frac{E}{1000} \quad (II.3)$$

Où :

I_{ph} est calculé dans les conditions nominales (25°C et 1000 w/m²) ;

T_{ref} : Température de référence (25 °C) ;

I_{cc} : courant de court-circuit ;

K_i : est le rapport entre le courant de court-circuit et le coefficient de température (0.0017/K);

I_s : est le courant de saturation de la diode est donné comme suit:

$$I_s = I_{rs} \times \left[\frac{T}{T_{ref}} \right]^3 \exp \left[\frac{q \cdot E_g}{A \cdot k} \times \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (II.4)$$

II.2.2.2 Cas d'une cellule réelle :

Une cellule solaire est représentée dans la littérature par plusieurs modules, chacun d'eux est régi par une expression mathématique entre le courant et la tension en fonction des paramètres technologiques de la cellule

Présente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque sous éclairage. Il correspond à un générateur de courant I_{ph} monté en parallèle avec une diode. Deux résistances parasites sont introduites dans ce schéma (Figure II.5).

Ces résistances ont une certaine influence sur la caractéristique $I=f(V)$ de la cellule.

_ La résistance montée en série (R_s) représente la résistance de contacte et de connexion

_ La résistance shunt (R_p) montée en parallèle représente le courant de fuite;

Une diode en parallèle qui modélise la jonction PN.

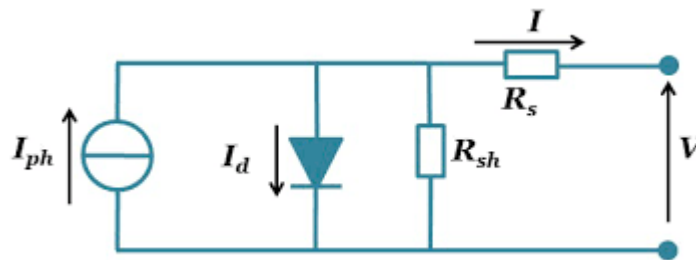


Figure II.5– Circuit électrique du modèle d'une cellule photovoltaïque

Par l'application de la loi de noud trouvé :

$$I_{cell} = I_{ph_cell} - I_{d_cell} - I_{RP_cell} \quad (II.5)$$

Avec :

$$I_{d_Cell} = I_0 \cdot \left[e^{\frac{V_{Cell} + R_{S_Cell} \cdot I_{Cell}}{\frac{nkT}{q}}} - 1 \right] \quad (II.6)$$

Ou:

I_0 est le courant de saturation inverse de la diode dcell. Donc le courant de la cellule est donné par l'équation suivante :

$$I_{cell} = I_{ph-cell} - \left[e^{\frac{V_{Cell} + R_{S_Cell} \cdot I_{Cell}}{\frac{nkT}{q}}} - 1 \right] - \frac{V_{Cell} + R_{S_Cell} \cdot I_{Cell}}{R_{P_Cell}} \quad (II.7)$$

Où :

- I_{cell} : Le courant fourni par la cellule
- $I_{(ph-cell)}$:le photon courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température(ou bien courant de court-circuit) (A);
- q : La charge d'électron ($q=1.6 \times 10^{-19}$ C);
- K :la constant de Boltzmann ($1.381 \cdot 10^{-23}$ jk);
- T :La température effective de la cellule en kelvin (°K);
- n : Les coefficients d'idéalité de la jonction PN.

II.2.2.3 Cas d'un générateur photovoltaïque :

Le modèle d'un générateur photovoltaïque (GPV) peut être représenté par le circuit équivalent de la Figure II.6.

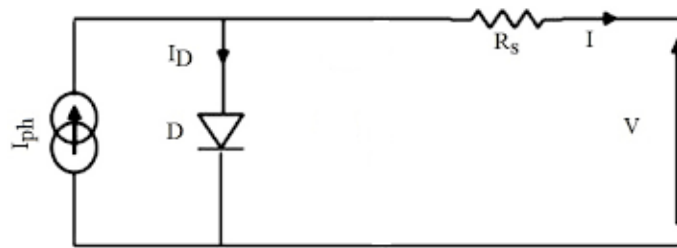


Figure II.6– Circuit équivalent du modèle d'un générateur photovoltaïque

Si on admet que le générateur photovoltaïque contient M_s modules en série et M_p modules en parallèle, et chaque module contient N_s cellules en série et N_p cellules en parallèle, alors le modèle mathématique peut être développé de la même manière que le module photovoltaïque.

En effet, le courant délivré par le générateur photovoltaïque est donné par :

$$I_{Gpv} = I_{ph_Gpv} - I_{d_Gpv} \quad (II.8)$$

Les relations entre les grandeurs du générateur et celles du module sont :

$$I_{ph_Gpv} = I_{ph_Module} M_p \quad (II.9)$$

$$I_{d_Gpv} = I_{d_Module} M_p \quad (II.10)$$

L'expression du courant débité par l'association de plusieurs cellules photovoltaïques en série/parallèle est définie par l'équation suivante :

$$I_{Gpv} = N_p \cdot \left[I_{Gpv} - I_{sat} \cdot \left[e^{\frac{qF}{nkT}} - 1 \right] - \frac{F}{R_p} \right], \text{ avec : } F = \frac{V_{Gpv}}{N_s} + \frac{R_s I_{Gpv}}{N_p} \quad (II.11)$$

II.3 Convertisseur DC-DC

II.3.1 Définition d'un hacheur

Un Convertisseur DC-DC est un dispositif électrique qui permet de transformer une tension continue de valeur fixe en une tension continue réglable (Figure II.7). Il est constitué d'un interrupteur qui peut être un transistor (pour des faibles puissances) ou un thyristor (pour grande puissance). [25]

Un hacheur est un abaisseur de tension lorsque l'interrupteur est placé en série avec la charge. Il est élévateur de tension lorsque l'interrupteur est placé en parallèle avec la charge.

Le branchement série est le plus simple et le plus utilisé. Selon le procédé de hachage(découpage), on peut faire varier la valeur moyenne de la tension de sortie de 3 manières :

- 1- Hacheur à fréquence fixe et largeur d'impulsion variable.
- 2- Hacheur à fréquence variable et à largeur d'impulsion fixe.
- 3- Hacheur à fréquence et à temps de conduction variable.

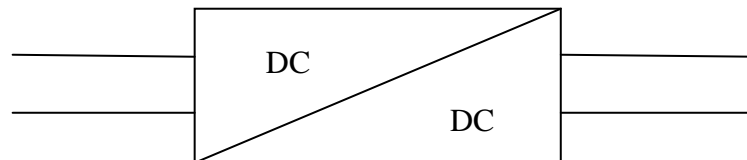


Figure II.7–Convertisseur DC/DC

II.3.2 Types des convertisseurs DC-DC

Il y a un plusieurs topologies des convertisseurs DC-DC. Elles sont classées par catégorie selon que la topologie isolée ou non isolée. Les topologies isolées emploient un transformateur d'isolement fonctionnant à haute fréquence. Elles sont très employées souvent dans les alimentations à découpage. Les topologies les plus connues dans la majorité des applications sont le flyback, en demi-point et en pont complet. Dans les applications photovoltaïques (PV), les systèmes de couplage avec le réseau électrique emploient souvent ces types de topologies quand l'isolement électrique est préféré pour des raisons de sûreté [26].

Les topologies non isolées ne comportent pas de transformateurs d'isolement. Elles sont généralement utilisées dans l'entraînement des moteurs à courant continu . Ces topologies sont encore classées en trois catégories :

- Abaisseurs (Buck);
- Elévateurs (Boost);
- Elévateurs - Abaisseurs (Buck-Boost).

La topologie Buck est employée pour les faibles tensions. Dans les applications PV, le convertisseur Buck est habituellement employé come chargeur de batteries et dans des systèmes de pompage de l'eau.

La topologie Boost est employée pour augmenter la tension. Les systèmes de production de l'énergie emploient un convertisseur Boost pour augmenter la tension de sortie au niveau de service avant l'étage de l'onduleur. Puis, il y a des topologies capables d'augmenter et de diminuer la tension tel que le Buck-Boost, le Cuk, et le sepic. Les convertisseurs DC-DC peuvent être vu comme des transformateurs DC-DC.

Le tableau II.1 résume les principaux rapports de transformation en fonction du rapport cyclique pour les différentes structures de convertisseurs statiques avec et sans isolement galvanique. Où α désigne le rapport cyclique du convertisseur et K le rapport de transformation du transformateur d'isolement [27].

Tableau II.1 – Rapports de transformation des principaux convertisseurs DC-DC.

Convertisseurs	Rapport de transformation	Isolement galvanique
Buck	α	Non
Boost	$\frac{a}{1-a}$	Non
Buck-Boost	$\frac{-a}{1-a}$	Non
Cuck	$\frac{a}{1-a}$	Non
Sepic	$\frac{a}{1-a}$	Non
Flyback	$k - \frac{a}{1-a}$	Oui
Push-pull	$k-a$	Oui
Foword	$k-a$	Oui

II.3.3 Gain en tension des convertisseurs

Le Tableau II.2 résume les principaux rapports de transformation en fonction du rapport cyclique pour les différentes structures de convertisseurs statiques, où D désigne le rapport cyclique du convertisseur [28].

Tableau II.2 – Gain en tension des convertisseurs.

CONVERTISSEUR	Gain en tension	Courant de source
Boost	$\frac{1}{1 - a}$	Continu
Buck	a	Discontinu
Buck-Boost	$\frac{a}{1 - a}$	Discontinu

II.3.4 Classification générale des convertisseurs DC-DC

Nous pouvons classer d'une manière générale les structures des convertisseurs d'électronique de puissance DC-DC en différents groupes comme illustre la Figure II.8. Les principales caractéristiques décrivant chaque groupe sont présentées au Tableau II.3.

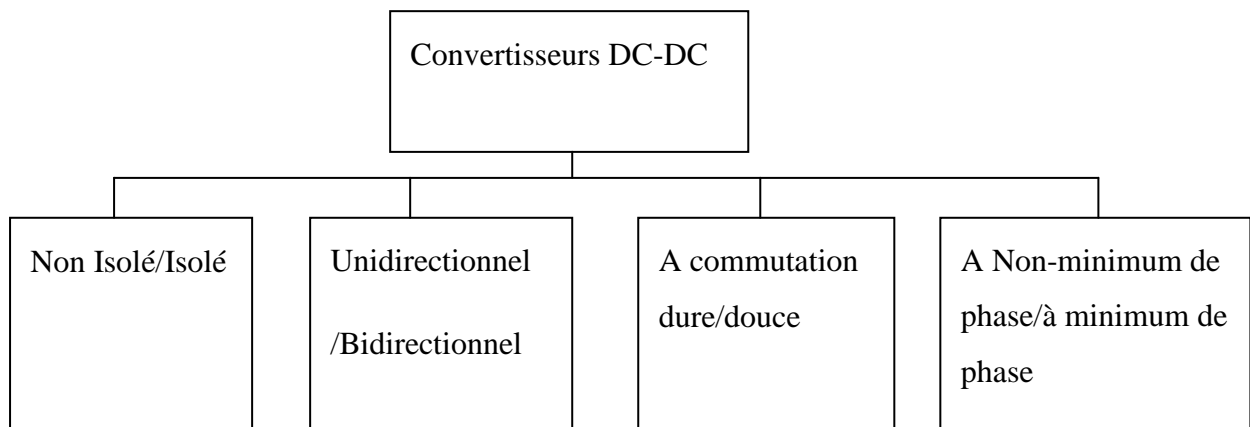
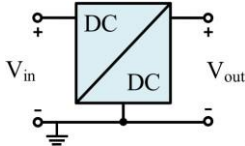
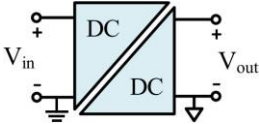
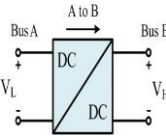
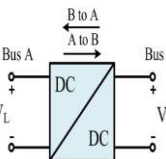
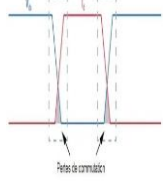
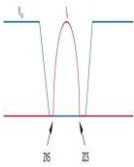
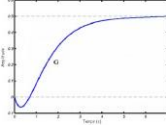
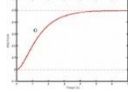


Figure II.8– Classification générale des convertisseurs DC-DC

Tableau II.3 – Caractéristiques de chaque type de convertisseurs DC-DC.

Type de convertisseur DC-DC	Caractéristiques
<p>Non isolé</p> <p>[29][30]</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Connexion électrique entre l'entrée et la sortie. - Structures souvent simples à faible poids et à faible coût de fabrication. - Approprié pour les puissances faibles et moyennes.
<p>Isolé</p>  <p>[31][32]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les bruits et les problèmes d'interférence électromagnétique(EMI) sont réduits. - Approprié pour la puissance élevée. - Conforme à la plupart des normes de réseau de distribution. - Besoin d'une conception précise de la partie magnétique pour un gain de tension élevée.
<p>Unidirectionnel</p>  <p>[33][34]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Le courant ne circule que dans un seul sens. - Commande et contrôle simples. - Moins complexe et moins coûteux que le bidirectionnel
<p>Bidirectionnel</p>  <p>[35][36]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Le courant circule dans les deux sens : direct et inverse. - Adapté aux applications industrielles de freinage régénératif. - Exige des dispositifs de commande des transistors assez complexes.
<p>A commutation dure</p>  <p>[37][38]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Des pertes de commutation importantes - EMI élevées dû aux hauts dv/dt et di / dt à la transition de commutation. - Fréquence de commutation limitée. - Densité de puissance faible. - Faible efficacité. <p>Structure simple et moins coûteuse.</p>

<p>A commutation douce</p>  <p>[39][40]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Perte de commutation réduite (proche de zéro). - Conception de circuit est assez complexe - Fréquence de commutation élevée. - Densité de puissance améliorée. - Haute efficacité.
<p>A Non-minimum de phase</p>  <p>[29][39]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Réponse dynamique lente. - Marge de stabilité faible. - Le contrôle est plus difficile.
<p>A minimum de phase</p>  <p>[41][42]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Réponse dynamique rapide. - Marge des stabilité grande. - Le contrôle est plus facile.

Dans ce chapitre, on s'intéresse particulièrement au convertisseur statique continu-continu de type Boost, connu par son caractère élévateur de tension.

II.4 Le conversion Boost (Hacheur survolteur)

Le hacheur parallèle est un convertisseur statique permettant de convertir une tension continue constante a une autre tension continue réglable de valeur moyenne plus grande. Il est constitué d'un interrupteur en parallèle avec le générateur, d'une diode, d'une inductance pour lissage de courant et d'un condensateur pour le filtrage de la tension [43]

Dans la littérature, le hacheur Boost lui-même est divisé en quatre structures principales, comme le montre la Figure II.9. En fait, lorsque le courant d'entrée est plus important (il peut s'agir d'un boîtier source composé de plusieurs panneaux parallèles ou parallèles, on peut le faire entrer). Source de pile à combustible) divise le courant d'entrée en connectant deux batteries de base ou plus en parallèle (Figure II.9-b). Ceci permet de réduire la limite de courant des interrupteurs (transistors et diodes) constituant la structure du convertisseur. Il est également possible de réduire la contrainte de traction en plaçant deux ou plusieurs unités de base en série (figure II.9-c).

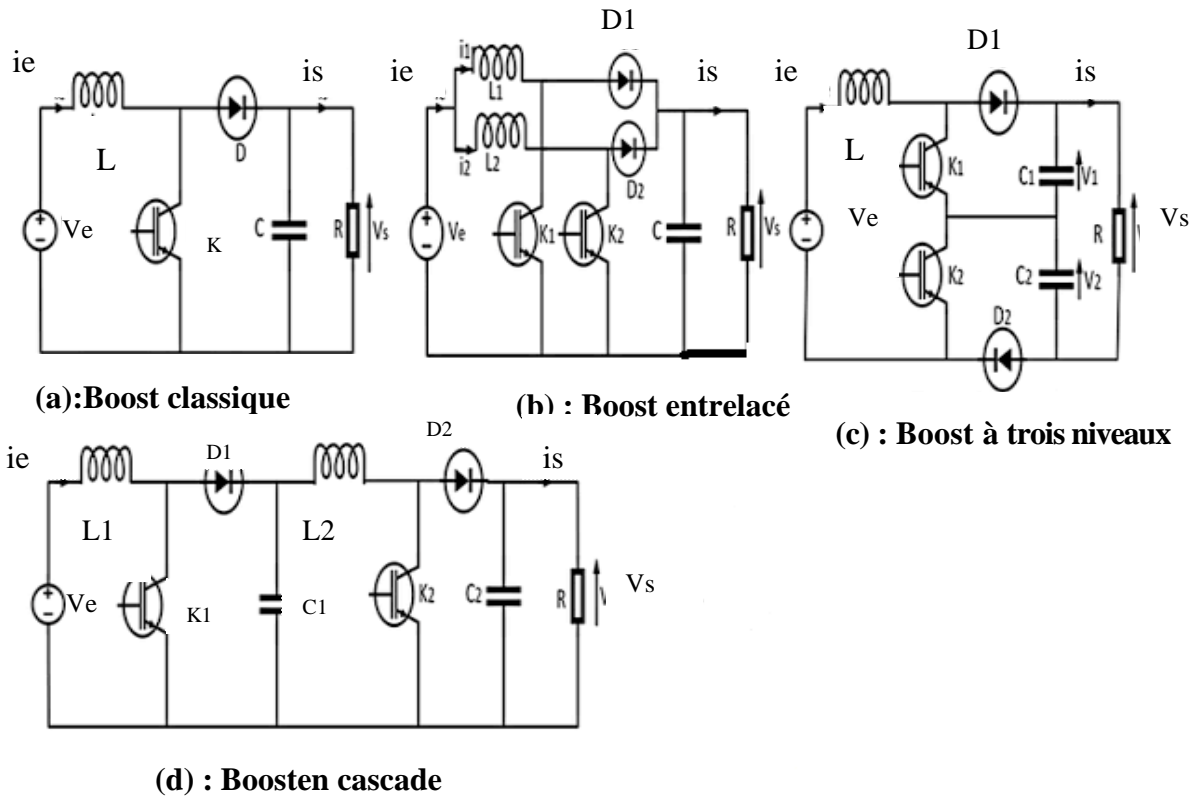


Figure II.9– Différentes topologies du convertisseur Boost.

II.4.1 Boost classique

La première topologie est un convertisseur élévateur de tension « Boost », la tension de sortie est supérieure à sa tension d'entrée. Le convertisseur élévateur conventionnel est largement employé dans la correction du facteur de puissance (PFC) en raison de sa simple structure. La figure II.9-a ci-dessous, montre le convertisseur élévateur avec son taux de conversion

II.4.2 Boost entrelacé

L'entrelacement permet de résoudre le problème lié au fort courant des convertisseurs basse tension. Il consiste en la mise en parallèle de cellules « BOOST » dont les commandes sont régulièrement décalées entre elles. Ainsi, ce principe permet, outre la réduction du courant dans chaque branche, d'augmenter la fréquence apparente en entrée et en sortie [44].

II.4.3 Boost à trois niveaux de tension

Ce montage est la combinaison de deux « BOOST » ayant les points milieux des transistors et des condensateurs de filtrage, reliés à la sortie (figure II.9) . Les commandes des transistors étant décalées de $T/2$ [45]. Ce convertisseur est capable de diminuer par deux la contrainte en

tension sur les semi-conducteurs par rapport à la tension de sortie V_s , et est imposée par la tension des condensateurs de sortie C_1 et C_2 . C'est l'une des caractéristiques les plus intéressantes de cette structure par rapport au « BOOST » entrelacé.

II.4.4 Boost en cascade

Le gain en tension du convertisseur « BOOST » peut être augmenté pour satisfaire la condition de haut gain en tension en utilisant une structure en cascade. Le convertisseur « BOOST » en cascade est représenté sur la figure II.9 .

D'où n est le nombre de « BOOST » connectés en série (nombre d'étages). Les contraintes de tension du premier étage sont faibles, donc il peut fonctionner avec une fréquence de découpage élevée afin d'améliorer la densité de puissance. Le second étage peut travailler avec une fréquence de découpage faible pour réduire les pertes de commutation[46].

II.4.5 Convertisseur Boost classique

Le convertisseur survolteur est le plus populaire des convertisseurs pour les régulateurs de correction du facteur de puissance, il est caractérisé par le fait que de la tension de sortie est supérieure à la tension d'entrée.

Les hacheurs présentent une partie essentielle dans le dispositif de commande d'un champ photovoltaïque. Ils permettent de délivrer une tension continue variable à partir d'une source de tension continue constante. Dans cette partie, nous allons à présent étudier le montage le plus couramment étudié pour élever une tension continue. Il s'agit du montage Boost bien connu sous le nom d'élévateur de tension abaisseur de courant.

II.4.5.1 Fonctionnement du hacheur boost

Dans ce qui suit nous allons étudier le hacheur Boost. Présentation de la structure:

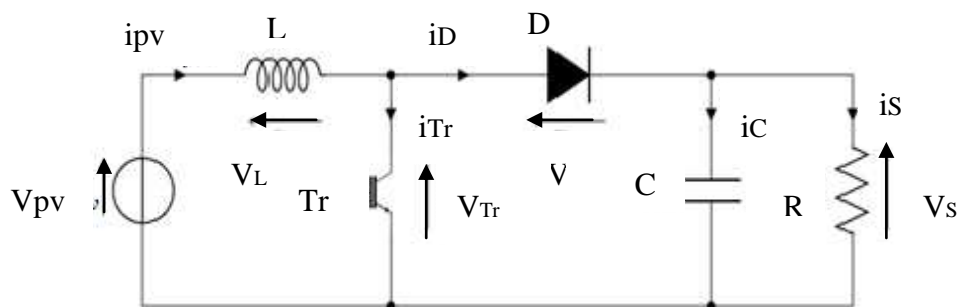


Figure II.10– schéma de principe d'un hacheur Boost.

Le schéma de principe d'un hacheur Boost est donné par la figure ci-dessus. Cette structure est composée principalement d'une inductance L et de deux interrupteurs T et D . Selon l'état de ces deux interrupteurs, on peut distinguer deux phases de fonctionnement :

-La phase active : lorsque l'interrupteur T est fermé et l'interrupteur D est ouvert. Durant cette séquence, le courant traversant l'inductance L va augmenter linéairement et une énergie W_L est stockée dans L. Le condensateur. Fournit de l'énergie à la charge R.

-La phase de roue libre : lorsque l'interrupteur T est ouvert, l'interrupteur D est fermé. Durant cette séquence, l'énergie emmagasinée dans l'inductance L est restituée au condensateur et à la charge R. Lors de cette phase, le fait que l'inductance L soit en série avec la source de tension d'entrée permet d'obtenir un montage survolteur.

La figure (II.11) présente l'allure du signal de commande appliqué à l'interrupteur T . C'est un signal rectangulaire de fréquence f dont la durée est à l'état haut (durée de conduction de l'interrupteur T , notée T_{ON}) est ajustée par le paramètre α . Ce paramètre, appelé rapport cyclique, est défini comme étant le rapport entre la durée de conduction de l'interrupteur T et la période de découpage T de celui-ci[47] :

$$\alpha = \frac{T_{ON}}{T} \text{ On a: } T = T_{ON} + T_{OFF}$$

Où T_{OFF} correspond à la durée de blocage de l'interrupteur T .

La durée de conduction T_{ON} est comprise entre 0 et T donc, le rapport cyclique est compris entre 0 et 1. On peut exprimer la durée de conduction et de blocage de l'interrupteur

T en fonction de α et [47]:

- Durée de conduction : $T_{ON} = \alpha.T$
- Durée de blocage : $T_{OFF} = (1-\alpha)T$

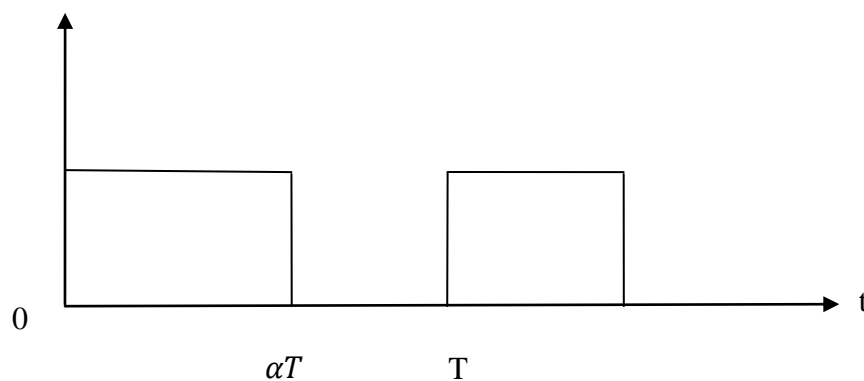


Figure II.11– Signal de commande de l'interrupteur T_r .

Dans l'étude qui suit, nous ferons les hypothèses suivantes :

- La tension d'alimentation V_{PV} est continue et constante.
- La valeur du condensateur C est suffisamment grande afin de pouvoir considérer la tension de sortie V_S comme continue.
- Les composants sont idéaux.

On peut distinguer deux régimes de conduction :

- La conduction continue qui correspond au cas où le courant i_L traversant l'inductance ne s'annule jamais.
- La conduction discontinue qui correspond au cas où le courant i_L traversant l'inductance s'annule avant la prochaine phase active.

Dans la suite on explique le comportement de la structure en fonction de ces deux régimes de conduction. L'objectif principal est de déterminer les relations reliant les grandeurs électriques d'entrée et de sortie du convertisseur ainsi que les formules permettant de dimensionner les différents composants [47].

II.4.5.2 Conduction continue :

- **Séquence 1** : Phase active, $0 < t < \alpha T$

À l'instant $t=0$, on ferme l'interrupteur T_r pendant une durée αT . La tension aux bornes de la diode D est égale à $V_D = V_{Tr} - V_S$. Comme l'interrupteur T_r est fermé, on a

$V_{Tr} = 0$, Ce qui implique $V_D = -V_S$. La diode est donc bloquée puisque $V_S > 0$. Dans ces conditions, On obtient alors le schéma équivalent de la figure ci-dessous [46]:

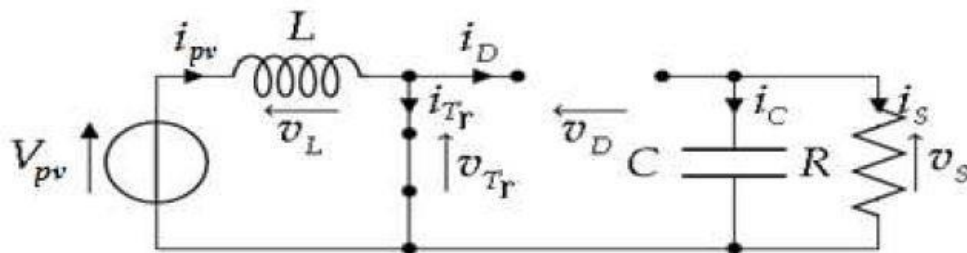


Figure II.12– Schéma équivalent du hacheur Boost durant la phase active.

La tension aux bornes de l'inductance est alors :

$$V_L = V_{pv} - V_s = L \frac{di_L}{dt} > 0 \quad (\text{II.12})$$

En résolvant cette équation différentielle, on obtient l'expression suivante qui exprime l'évolution du courant traversant l'inductance :

$$i_L = \frac{V_{pv}}{L} \cdot t + I_{L \min} \quad (\text{II.13})$$

•**Séquence2** : Phase déroulable ; $t < T$

À l'instant $t = \alpha T$, on ouvre l'interrupteur T_r pendant une durée $(1 - \alpha)$. Pour assurer la continuité du courant, la diode D entre en conduction. On obtient alors :

Le schéma équivalent de la figure ci-dessous :

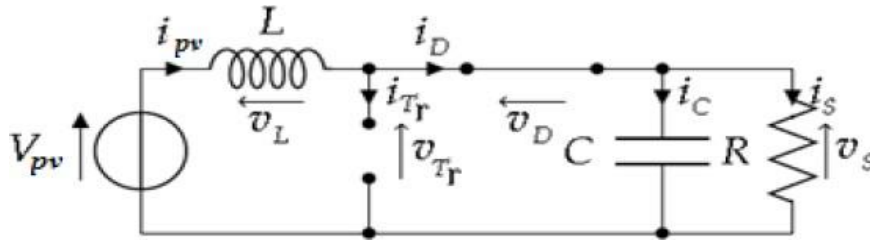


Figure II.13– Schéma équivalent du hacheur Boost durant la phase de roulibre.

La tension aux bornes de l'inductance est alors :

$$V_L = V_{PV} - V_S = L \cdot \frac{di_L}{dt} < 0 \quad (\text{II.14})$$

En résolvant cette équation différentielle, on obtient la formule suivante qui exprime l'évolution du courant traversant l'inductance :

$$I_L = \frac{V_{PV} - V_S}{L} (t - \alpha T) + i_{L_max} \quad (\text{II.15})$$

Expression de V_s et I_s :

Par définition :

$$\langle V_L \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T V_L \cdot dt = \frac{1}{T} \left(\int_0^{\alpha T} V_{pv} \cdot dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T (V_{pv} - V_s) dt \right) \quad (\text{II.16})$$

Comme la tension moyenne aux bornes d'une inductance en régime permanent est nulle, on peut écrire :

$$\langle \langle V_{PV} \rangle \rangle = \alpha \cdot V_{PV} + (V_{PV} - V_S)(1 - \alpha) = 0 \quad (\text{II.17})$$

En finalement, on obtient la relation suivant :

$$V_S = \langle \langle V_S(t) \rangle \rangle = \frac{V_{PV}}{1 - \alpha} \quad (\text{II.18})$$

Le rapport cyclique α est compris entre 0 et 1 donc la tension de sortie V_S est nécessairement supérieure à la tension d'entrée (montage survolteur).

Si on suppose que le courant d'entrée est parfaitement continu, on peut écrire :

$$I_S = \langle i_s(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T I_{PV} \cdot dt \quad (\text{II.19})$$

Ce qui conduit à :

$$I_S = (1 - \alpha) I_{PV} \quad (\text{II.20})$$

Cette expression montre bien que le hacheur Boost est un abaisseur de courant. Au regard de ces différentes expressions, on peut remarquer que le rapport cyclique α permet de régler la tension moyenne de sortie (respectivement le courant moyen de sortie) pour une tension moyenne d'entrée donnée (respectivement un courant moyen d'entrée). Il est donc possible de régler le transfert moyen de puissance entre l'entrée et la sortie de la structure à partir du rapport cyclique α [47].

Le transfert moyen de puissance est :

$$P = \langle p \rangle = (1 - \alpha) I_S I_{PV} \quad (\text{II.21})$$

II.4.5.3 Formes d'ondes des principaux signaux

Les formes d'ondes des principaux signaux sont données à la figure (II.14). A partir de ces formes d'ondes, on peut exprimer les valeurs moyennes et efficaces des courants qui traversent la diode D et l'interrupteur Tr. Nous pouvons également en déduire les contraintes maximales en tension et courant sur les interrupteurs. Ces relations seront utilisées lors du dimensionnement des différents composants de la structure.

Courant moyen traversant la diode D :

$$I_D = \langle i_D \rangle = I_S \quad (\text{II.22})$$

Courant efficace traversant la diode D:

$$I_{D_{\text{eff}}} = \sqrt{\left(\left(\frac{I_S}{1 - a} \right)^2 + \frac{\Delta I_L^2}{12} \right)} \quad (\text{II.23})$$

Courant moyen traversant l'interrupteur Tr :

$$I_{Tr_{\text{eff}}} = \langle i_{Tr}(t) \rangle = \frac{I_S}{1 - a} = I_{PV} \quad (\text{II.24})$$

Courant efficace traversant l'interrupteur T:

$$I_{Tr_{\text{eff}}} = \sqrt{\left(\left(\frac{I_S}{1 - a} \right)^2 + \frac{\Delta I_L^2}{12} \right)} \cdot a \quad (\text{II.25})$$

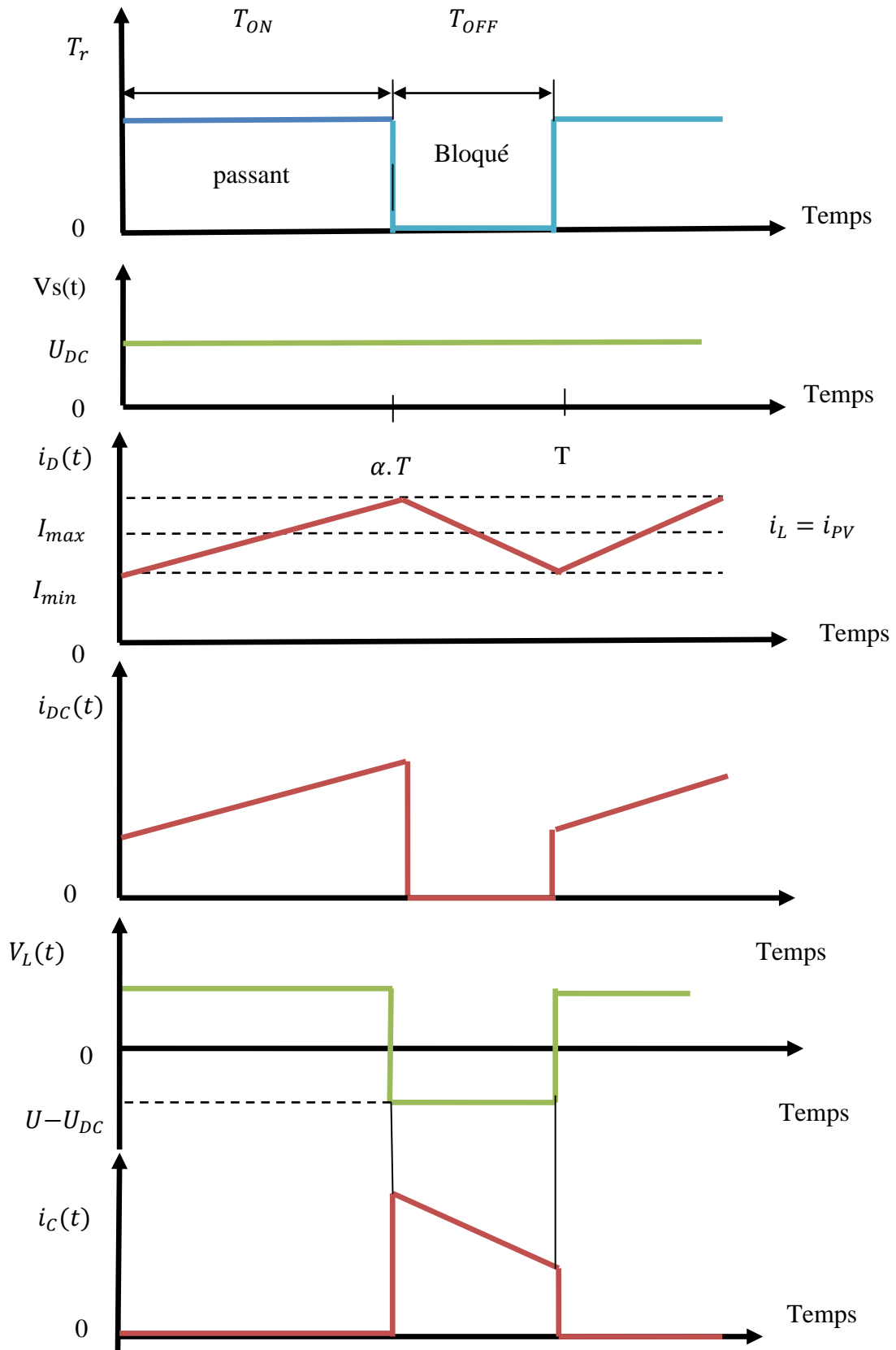


Figure II.14– Allures des tensions et courants en mode conduction continue [47].

II.4.5.4 Nature du hacheur Boost

Par définition de la valeur moyenne :

$$V_L = \int_0^T V_L(t) dt = \frac{1}{T} \left[\int_0^{\alpha T} V_{Gpv} + \int_{\alpha T}^T (V_{Gpv} - V_{dc}) dt \right] \quad (\text{II.26})$$

Comme la tension moyenne aux bornes d'une inductance est nulle, on peut écrire :

$$V_L = DV_{Gpv} + (1 - D)(V_{Gpv} - V_{dc}) = 0 \quad (\text{II.27})$$

Finalement, on obtient la relation suivante :

$$V_{dc} = \frac{V_{GBV}}{1 - D} \quad (\text{II.28})$$

Le rapport cyclique α est compris entre 0 et 1 donc la tension de sortie V_{dc} est nécessairement supérieure à la tension d'entrée V_{Gpv} .

Si on néglige les pertes de commutation des interrupteurs, on peut écrire :

$$V_{GBV} = P_{dc} = i_{Gpv} P_{Gpv} = i_{dc} P_{dc} \quad (\text{II.29})$$

$$i_{dc} = (1 - D)i_{Gpv} \quad (\text{II.30})$$

Cette expression montre que le hacheur Boost est abaisseur en courant.

II.4.5.5 Condition de conduction continue

A la limite de conduction continue le courant de bobine s'annule à l'instant αT , donc sa valeur est nulle ($i_{Lmin} = 0$) et sa valeur moyenne est la moitié de sa valeur maximale ($i_{Lmoy} = \frac{i_{Lmax}}{2}$).

De l'équation (II.31), on trouve :

$$i_{Lmax} = \frac{DV_{Gpv}}{2Lf_s} = \frac{D(1 - D)V_{Gpv}}{2Lf_s} \quad (\text{II.31})$$

En résolvant $\frac{\partial i_{Lmoy}}{\partial \alpha}$, on trouve que le courant moyen dans la bobine i_{Lmoy} est maximale Pour $D=0,5$

La valeur maximale de l'inductance L , qui assure la conduction continue, obéit à l'équation suivante :

$$i_{L\min} = \frac{V_{\text{GPV}}}{8i_{L\text{moy}}f_s} \quad (\text{II.32})$$

L'ondulation de courant ΔI_L vérifie la loi d'ohm aux bornes de L pendant le temps T_{ON} ce qui revient à écrire:

$$V_L T_{\text{ON}} = L \times \Delta I_L \quad (\text{II.33})$$

Soit donc :

$$\Delta I_L = \frac{V_{\text{GPV}} D}{L f_s} \quad (\text{II.34})$$

A partir de la Figure II.14 on peut calculer l'ondulation de la tension comme suit :

$$\Delta I_L = \frac{I_{\text{GPV}} D (1 - D)}{C_{dc} f_s} \quad (\text{II.35})$$

II.4.5.6 Rapport de conversion

A partir de l'équation (II.17), on peut déduire le rapport de conversion du hacheur idéal comme suit :

$$\gamma_C = \frac{V_{\text{dc}}}{V_{\text{GPV}}} = \frac{1}{1 - D} \quad (\text{II.36})$$

II.4.6 Dimensionnement des composants de le hacheur Boost

D'un la Figure II.10 le convertisseur Boost est alimenté par la tension du générateur photovoltaïque. Cette tension est égale la tension d'un module au point de puissance maximale multipliée par le nombre des modules en série M_s .

II.4.6.1 L'inductance d'entrée

On peut calculer la valeur de l'inductance pour une ondulation donnée pour le courant dans la bobine :

$$L_{\text{GPV}} = \frac{DV_{\text{GPV}}}{\Delta I_{L_{\text{GPV}}} f_s} \quad (\text{II.37})$$

Avec :

- L_{GPV} : L'inductance du générateur photovoltaïque;
- V_{GPV} : La tension du GPV;
- $\Delta I_{L_{Gpv}}$: La fréquence du système PV;
- f_s : La fréquence du système PV;
- D : Rapport cyclique.

II.4.6.2 Calcul de la capacité du condensateur de sortie

On peut calcul la valeur de la capacité C_{dc} pour une ondulation imposée à la tension aux bornes du condensateur de sortie, tel que :

$$C_{dc} = \frac{i_{Gpv_moy} D(1 - D)}{\Delta V_S f_S} \quad (II.38)$$

Avec :

- I_{Gpv_moy} : Le courant moyen du GPV;
- ΔV_{dc} : L'ondulation de tension de la sortie;
- C_{dc} : Condensateur de sortie du hacheur DC-DC.

II.4.6.3 Calcul de la capacité du condensateur d'entrée

La valeur de la capacité du condensateur d'entrée est donnée par :

$$C_{Gbv} = \frac{D i_{Gbv_moy}}{\Delta V_{Gbv} f_S} \quad (II.39)$$

Avec :

- ΔV_{Gpv} : L'ondulation de tension du GPV ;
- C_{Gpv} : Condensateur de entrée du hacheur DC-DC.

L'ondulation du courant est maximale pour $D=0.5$. Avec $V_{Gpv} = 17.1$, $i_{Gpv} = 3,5$ AA et en imposant une ondulation $\Delta i_{L_{Gpv}} = .1\% i_{Gpv}$ En choisissant ΔV_{dc} et $\Delta V_{Gpv} = 5\% V_{Gpv} \cdot V_{dc} = (1 - D)V_{Gpv}$ La fréquence $f_s = 20$ kHz. Pour $M_s = 1$, et Par l'application numérique on trouve:

La valeur de l'inductance de GPV, $L_{Gpv} = 4 \times 10^{-3} H$.

La valeur de la capacité du condensateur de sortie $C_{Gpv} = 20 \times 10^{-6} F$.

La valeur de la capacité du condensateur d'entrée est $C_{dc} = 47 \times 10^{-6} F$.

II.4.7 Commande MLI du hacheur

Le principe de base de la modulation de largeur d'impulsion est fondé sur le découpage d'une pleine onde rectangulaire.

Ainsi la tension de sortie est formée par une succession de créneaux d'amplitude égale à la tension continue d'alimentation et de largeur variable.

La technique la plus répandue pour la production d'un signal MLI ou encore PWM (Pulse Width Modulation) est de comparer un signal triangulaire appelé porteuse de haute fréquence à un signal de référence appelé modulatrice et qui constitue l'image du signal recueilli à la sortie du hacheur [48].

Pour la réalisation électronique de la fonction MLI, on utilise un comparateur qui est constituée par l'AOP où V_2 est une tension constante et réglable. La tension de sortie V_3 vient piloter un opto-coupleur dont la sortie commande le transistor de puissance MOSFET

II.5 Fonctionnement d'un générateur PV à sa puissance Maximale

II.5.1 Principe

La chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque est donnée le plus souvent par la Figure II.13 ci-après. En plus du GPV et la charge, elle intègre un étage d'adaptation qui est le convertisseur statique (CS) et un étage de commande MPPT pour la génération du rapport cyclique au composant commandable du (CS) pour l'extraction du maximum de puissance du GPV vers la charge [49].

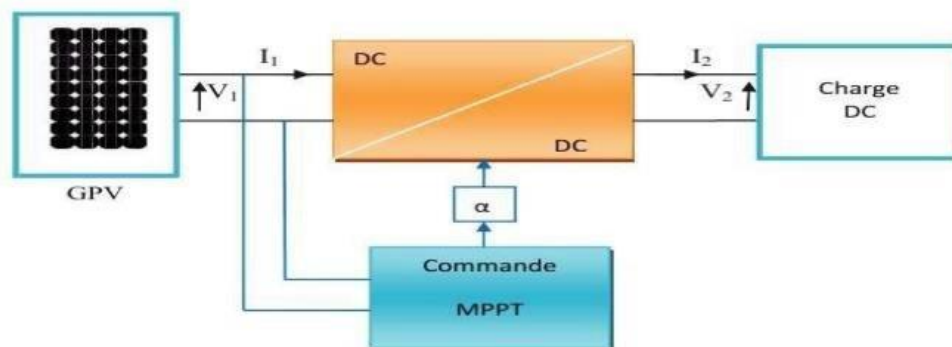


Figure II.15– Chaîne typique de conversion d'énergie photovoltaïque.

II.5.2 Constitution d'une MPPT

La MPPT comprend 2 éléments fondamentaux :

- Convertisseur DC-DC.
- Unité de contrôle.

Pour le convertisseur DC-DC on a utilisé le convertisseur boost.

II.5.3 Unité de contrôle

L'unité de commande est conçue pour vérifier si l'entrée est effectivement sur le point de puissance maximum par la lecture courant/tension du convertisseur ou du module photovoltaïque, et ajuster le rapport cyclique du convertisseur [50].

II.6 Les commandes MPPT

Diverses publications sur les commandes assurant un fonctionnement de type commande MPPT apparaissent régulièrement dans la littérature depuis 1968, date de publication de la première loi de commande de ce genre, adaptée à une source d'énergie renouvelable de type photovoltaïque [51].

Il existe de nombreuses méthodes et techniques de commande MPPT disponibles dans la littérature dont on cite : Constant Voltage Méthode, Short-Curent Pulse Méthode, Open

Voltage Méthode, Température Méthodes et leurs combinaisons mais les techniques les plus couramment utilisées sont Hill Climbing méthode, Perturb and Observe (P&O) méthode et l'incrément de conductance (IncCon).

II.7 Classification Des commandes MPPT

II.7.1 Classification Des commandes MPPT Selon Le Type de Recherche

II.7.1.1 MPPT Indirecte

Ce type de commandes MPPT utilise le lien existant entre les variables mesurées (I_{cc} ou V_{oc}), qui peuvent être facilement déterminées, et la position approximative du MPP. Il compte aussi les commandes se basant sur une estimation du point de fonctionnement du GPV réalisée à partir d'un modèle paramétrique défini au préalable. Il existe aussi des

commandes qui établissent une poursuite de la tension optimale en prenant en compte uniquement les variations de la température des cellules donnée par un capteur [52]. Ces commandes ont l'avantage d'être simples à réaliser. Elles sont plutôt destinées à des systèmes peu coûteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où il y a peu de changements climatiques.

II.7.1.2 MPPT Directe

Ce type de commande MPPT détermine le point de fonctionnement optimal (MPP) à partir des courants, tensions ou puissances mesurés dans le système. Il peut donc réagir à des changements imprévisibles du fonctionnement du GPV. Généralement, ces procédures sont basées sur un algorithme de recherche, avec lequel le maximum de la courbe de puissance est déterminé sans interruption du fonctionnement. Pour cela, la tension du point de fonctionnement est incrémentée dans des intervalles réguliers. Si la puissance de sortie est plus grande, alors la direction de recherche est maintenue pour l'étape suivante, sinon elle sera inversée. Le point de fonctionnement réel oscille alors autour du MPP. Ce principe de base peut être préservé par d'autres algorithmes contre des erreurs d'interprétation. Ces erreurs peuvent survenir, par exemple, à cause d'une mauvaise direction de recherche, résultant d'une hausse de puissance qui est due à une augmentation rapide du niveau de rayonnement. La détermination de la valeur de la puissance du générateur PV, indispensable pour la recherche du MPP, nécessite la mesure de la tension et du courant du générateur, ainsi que la multiplication de ces deux variables. D'autres algorithmes se basent sur l'introduction de variations sinusoïdales en petit signal sur la fréquence de découpage du convertisseur pour comparer la composante alternative et la composante continue de la tension du GPV et pour ainsi placer le point de fonctionnement du GPV le plus près possible du MPP. L'avantage de ce type de commandes est leurs précisions et leur rapidité de réaction.

II.7.2 Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée

a) Commande MPPT fonctionnant à la partir des paramètres d'entrée du CS

Ce type de commandes MPPT effectue une recherche du MPP selon l'évolution de la puissance fournie par le GPV. La commande nécessite alors la mesure du courant et de la tension en entrée du convertisseur [50]. D'autres types de commandes MPPT sont basées sur la régulation du courant du GPV. Supposant que ce dernier soit une image proportionnelle à la puissance. Ceci permet de s'approcher le plus proche possible du courant optimal I_{opt} . Ce type de commande ayant besoin d'un seul capteur est plus facile à mettre en œuvre et a un coût bas

b) Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur

Dans la littérature, il existe également des algorithmes basés sur les paramètres de sortie des CS. Par exemple Les commandes MPPT basées sur la maximisation du courant de sortie qui sont principalement utilisées quand la charge est une batterie.

Dans tous les systèmes utilisant les paramètres de sortie, une approximation de P_{max} est faite à travers le rendement du convertisseur. En somme, plus l'étage de conversion est bon, plus cette approximation est valable. Par contre, en général, tous les systèmes avec un seul capteur sont par essence, non précis. La plupart de ces systèmes ont été conçus à l'origine pour le spatial.

II.8 Les Algorithmes MPPT

Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du GPV. Une synthèse des principaux modes de recherche du PPM existants dans ce chapitre nous a permis de bien identifier l'existant et les points qu'il restait à améliorer. Ceci a constitué la base théorique pour nos travaux concernant les simulations dans le chapitre suivant [53]

II.8.1 Perturbation Et Observation

La méthode de perturbation et d'observation est généralement la plus utilisée en raison de sa simplicité et sa facilité de réalisation. Cette méthode repose sur la perturbation (une augmentation ou une diminution) avec une constante (C) de la tension des panneaux V_{pv} , puis la puissance est comparée à celle obtenue avant perturbation. Précisément, si la puissance aux bornes des panneaux est augmentée à cause de la perturbation, la perturbation suivante est faite dans la même direction. Réciproquement, si la puissance diminue, la nouvelle perturbation est réalisée dans le sens opposé [54].

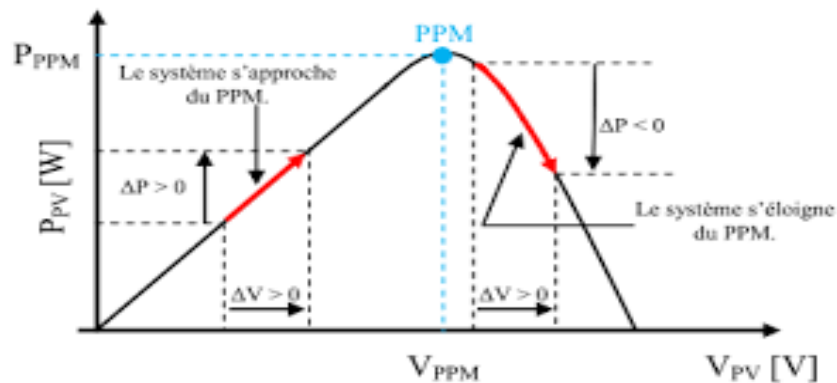


Figure II.16– Recherche du PPM par la méthode (P&O).

Un organigramme de fonctionnement de cette méthode est montré dans la figure suivante :

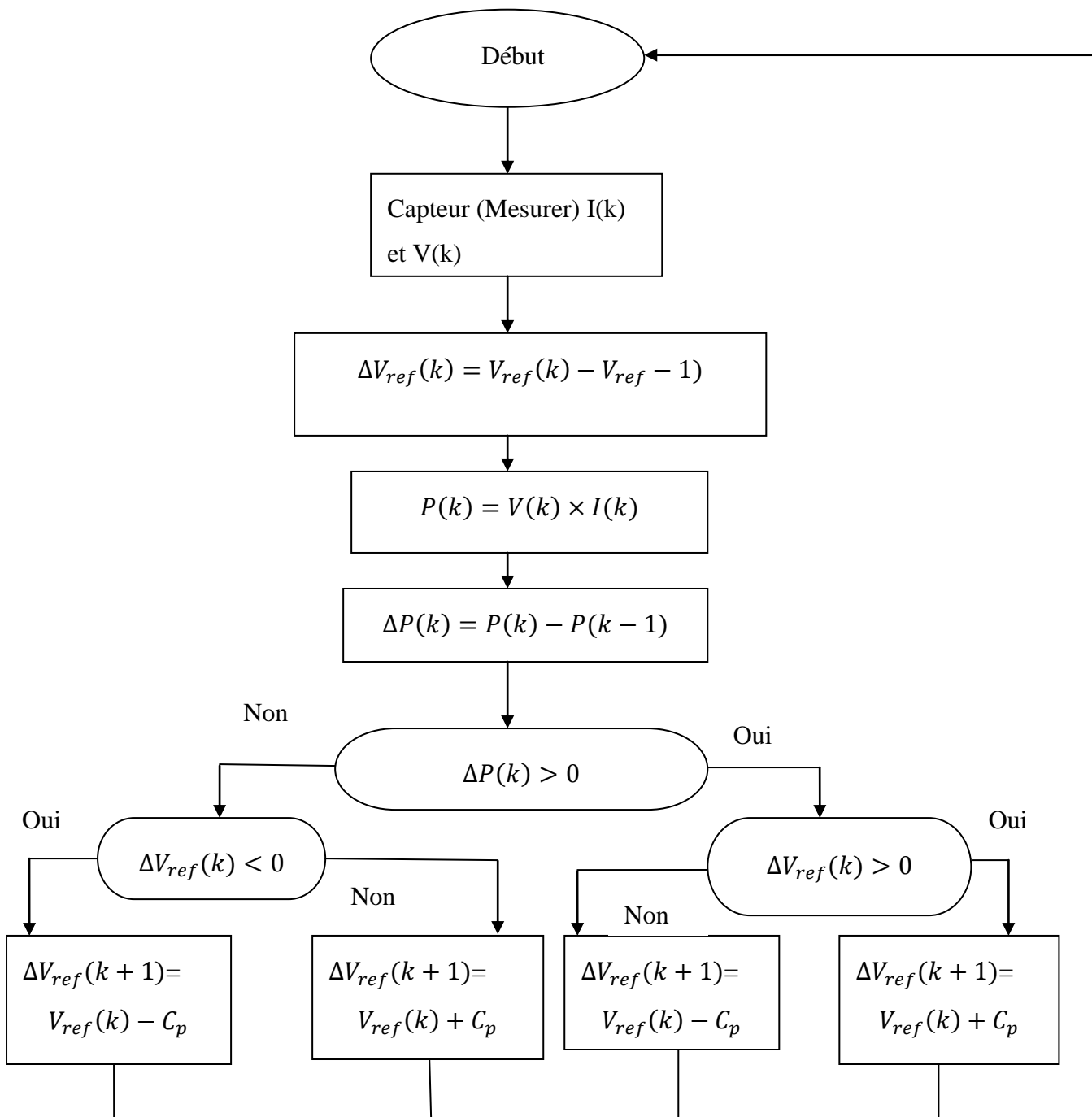


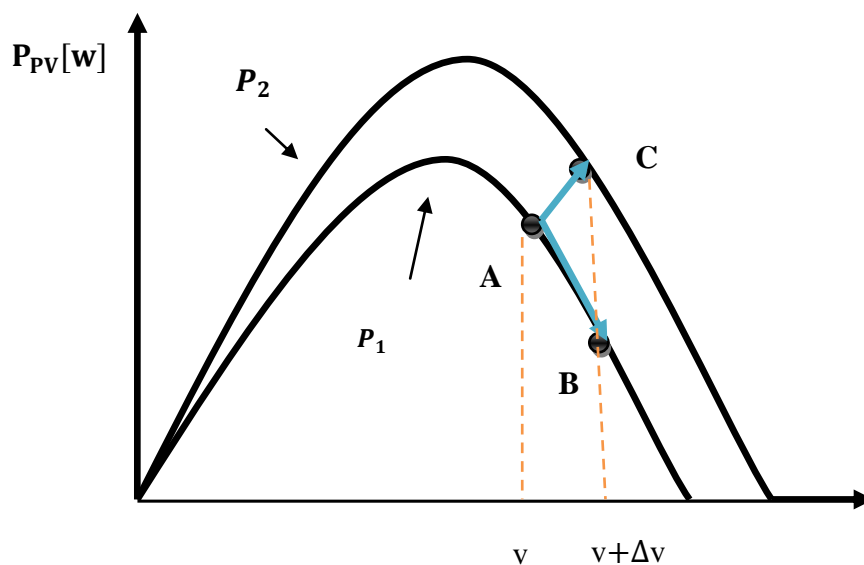
Figure II.17– Algorithme de MPPT à base de la méthode P&O

La méthode P&O est largement utilisée de par sa facilité d'implémentation, cependant elle présente quelques problèmes liés aux oscillations autour du PPM qu'elle engendre en régime établi car la procédure de recherche du PPM doit être répétée périodiquement, obligeant le système à osciller en permanence autour du PPM, une fois ce dernier atteint. Ces oscillations dépendent de la largeur du pas de la perturbation [53] :

Si la largeur du pas est grande, l'algorithme du MPPT répondra rapidement aux changements soudains des conditions de fonctionnement, mais les pertes seront accrues dans les conditions stables ou lentement changeantes.

Si la largeur du pas est très petite, les pertes dans les conditions stables ou lentement changeantes seront réduites, mais le système ne pourra plus suivre les changements rapides de la température ou de l'insolation.

Il faut donc trouver un compromis entre précision et rapidité. Ce qui rend cette commande difficile à optimiser. Un autre inconvénient de la méthode P&O lors d'un changement rapide des conditions atmosphériques. La Figure II.12. Commencé par un point de fonctionnement A, si les conditions climatiques restent constantes, une perturbation ΔV dans la tension V amènera le point de fonctionnement au point B, et le sens de la perturbation sera inversé à cause de la diminution de la puissance. Par contre, si par exemple l'éclaircissement augmente et déplace la courbe de puissance de P_1 à P_2 , sur un cycle du MPPT, le point de fonctionnement sera déplacé de A vers C. Cela représente une augmentation de la puissance, l'algorithme précédent réagit comme si cette augmentation est produite par l'effet de perturbation précédente, alors il continue dans la même direction qui est une mauvaise direction, ce qu'il éloigne du vrai point de puissance maximale. Ce processus continu jusqu'à la stabilité de l'ensoleillement où il revient au vrai point de puissance maximale. Ceci cause un retard de réponse lors des changements soudains des conditions de fonctionnement et des pertes de puissance [55].



II.8.1.1. Les avantages et les inconvénients de P&O

II.8.1.1.1. Avantage

- Parlant de la méthode P&O, parmi les avantages que l'on peut citer c'est la structure de régulation simple ainsi que le nombre des paramètres mesurés réduit.
- Les rendements de MPPT de la conductance par incrémentation et de l'algorithme P&O sont essentiellement identiques [56].
- Structure de régulation simple
- Nombre des paramètres mesurés réduit

II.8.1.1.2. Inconvénients

- Dépassement du point maximum optimal en cas de changement rapide des conditions atmosphériques [57].

II.9 Résultat de simulation

Les paramètres électriques du système étudié sont consignés dans le Tableau II.4.

Tableau II.4 – Paramètres du système photovoltaïque étudié.

<i>Paramètre</i>	<i>Valeur</i>
<i>Paramètres du GPV</i>	$M_s = 1, M_p = 2, V_{Gpv} = 21.1 \text{ V}$
<i>Paramètres du convertisseur boost</i>	$f_s = 20 \text{ kHz}, C_{Gpv} = 2.119 \times 10^{-6} \text{ F}$ $C_{dc} = 2.119 \times 10^{-6} \text{ F}, L_{Gpv} = 9.43 \times 10^{-3} \text{ H}$
<i>La charge</i>	$R = 20 \Omega$

La figure II.19 représente le schéma bloc du système photovoltaïque étudié.

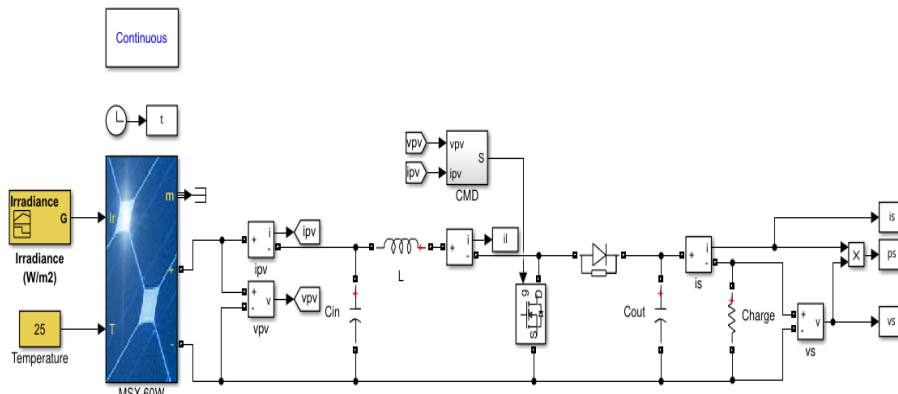


Figure II.19– Schéma bloc du système photovoltaïque dans SIMULINK/ MATLAB.

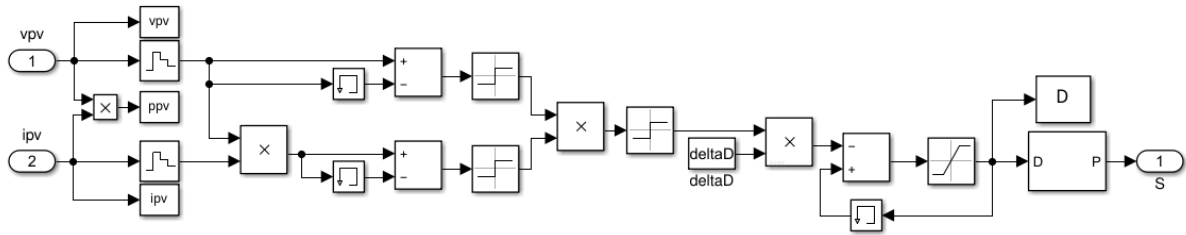


Figure II.20– Modèle SIMULINK de l'algorithme MPPT

La température à une valeur constante ($T=25^{\circ}\text{C}$) et la quantité de lumière solaire change rapidement.

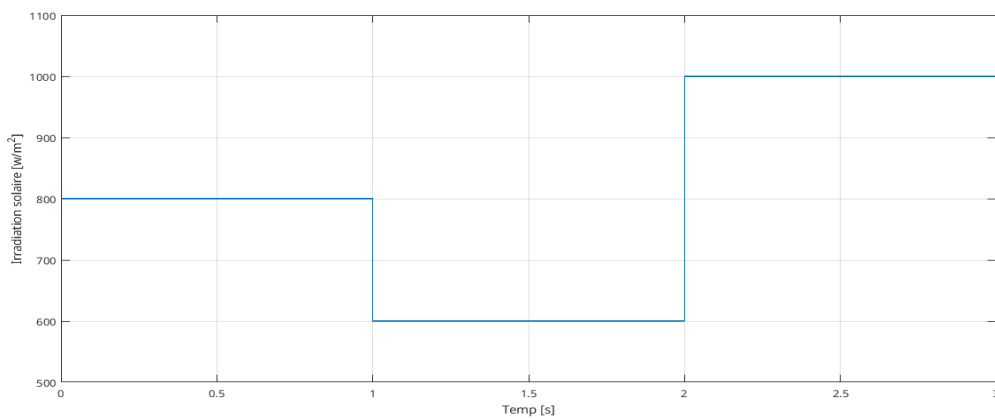


Figure II.21– Variation de l'irradiation solaire en fonction du temps.

Cette la Figure de l'irradiation solaire en fonction du temps montre la section transversal de la lumière solaire pris en compte. Il faut romarque que dune durée de 3 secondes, la courbe comprende des changement rapidement de signale carée entre 600 W/m 2 et 1000 W/m.

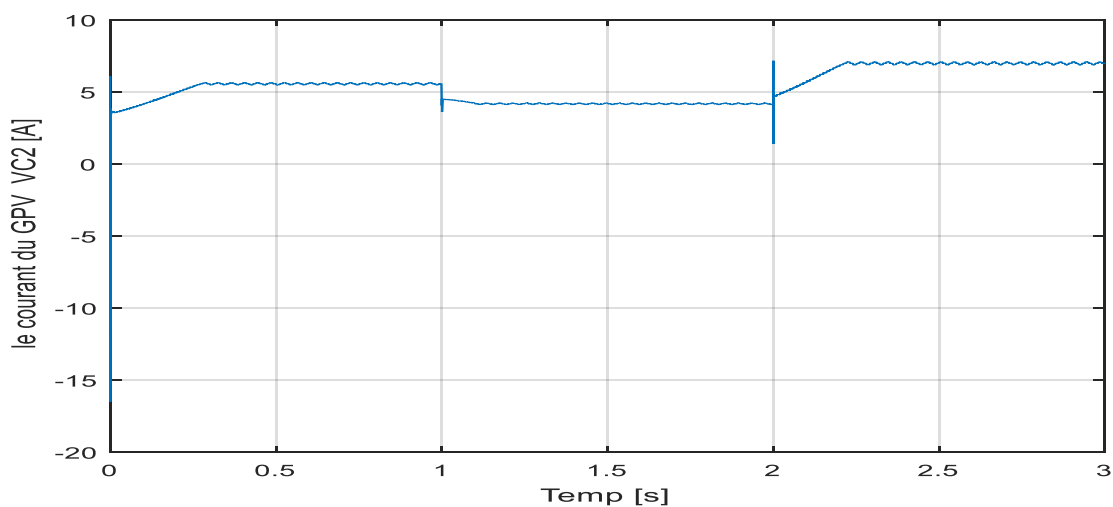


Figure II.22– Evolution du courant du GPV.

Nous trouvons que la valeur d'ondulation est $\Delta I = 0.24A$

On remarque que le courbe de courant GPV change par rapport le temps chaque seconde on changé

1^{er} seconde au débute le courant augmenter et après fixe à 0.5 A le type de la partie constante et sinusoïdale

2^{eme} seconde peu diminué et après fixe à 0.4 A

3^{eme} seconde au débute le courant augmenter et après fixe à 0.8 A

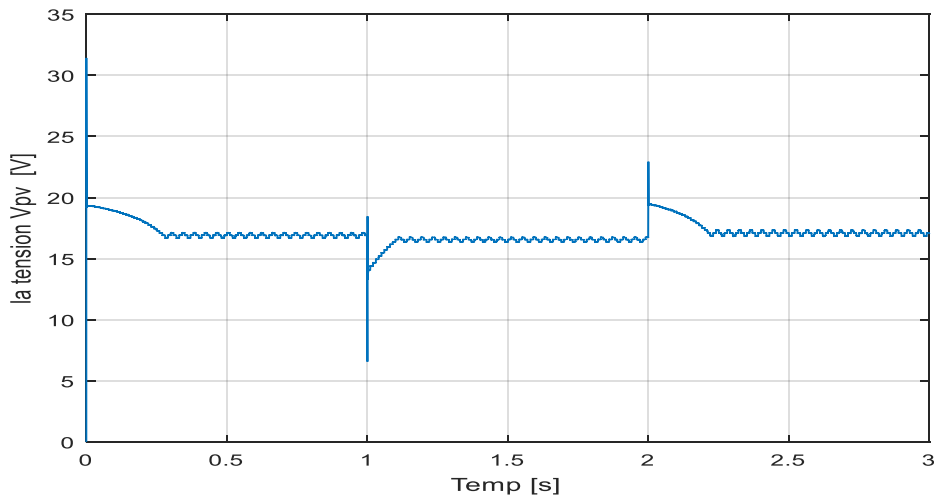


Figure II.23– Evolution de la tension du GPV

On remarque que le courbe de la tension GPV change par rapport le temps chaque seconde ont changé

1^{er} seconde au débute la tension diminué jusque à 18 V et après la tension sinusoïdale

2^{eme} seconde la tension augmenter et après fixe à 17 V

3^{eme} seconde au débute la tension augmenter et après fixe à 18V

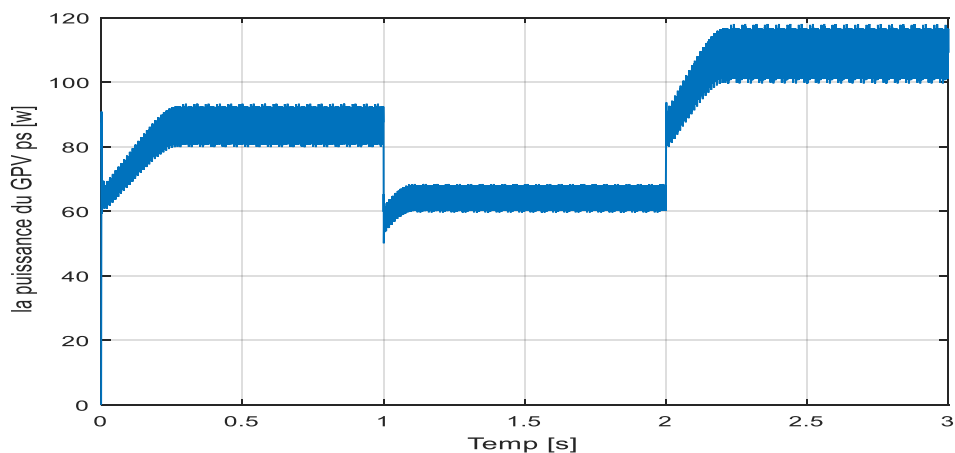


Figure II.24– Evolution de la puissance du GPV

On remarque que le courbe de puissance GPV change par rapport le temps chaque seconde ont changé entre 50 W et 120 W

1^{er} seconde au débute la puissance augmenter et après fixe comme un signal spectral entre 80W et 90W

2^{eme} au débute la puissance augmenter et après fixe comme un signal spectral entre 60W et 70W

3^{eme} au débute la puissance augmenter et après fixe comme un signal spectral entre 100W et 120W

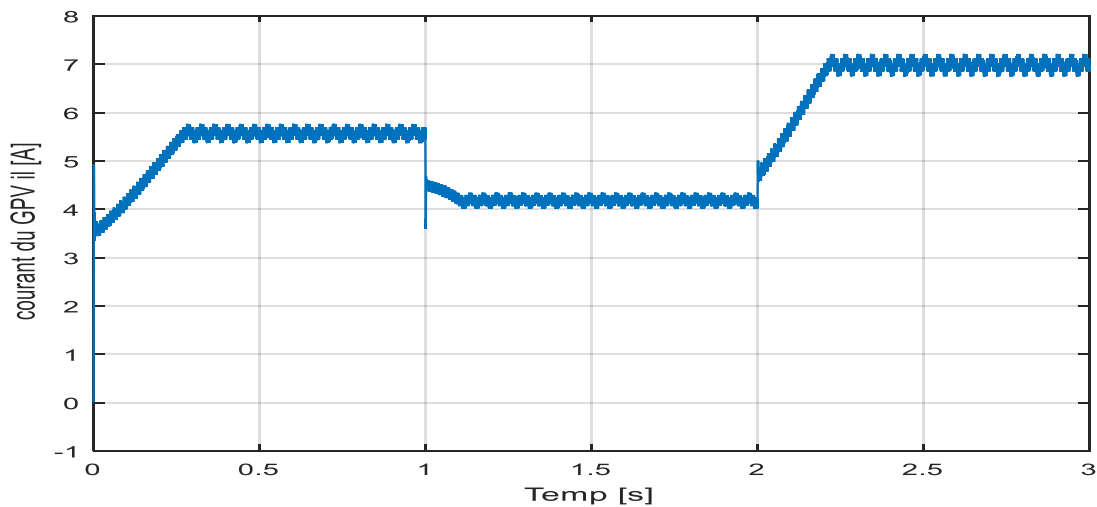


Figure II.25– Evolution du courant aux bornes l'inductance.

On remarque que le courbe courant aux bornes l'inductance change par rapport le temps chaque seconde on changé comme signale carrée

1^{er} seconde au débute la puissance augmenter et après fixe comme un signal spectral sinusoïdale entre 5.3A et 5.4A

2^{eme} au débute la puissance diminué et après fixe comme un signal spectral sinusoïdale entre 4A et 4.2A

3^{eme} au début la puissance diminué et après fixe comme un signal spectrale sinusoïdale enter 4A et 4.2A

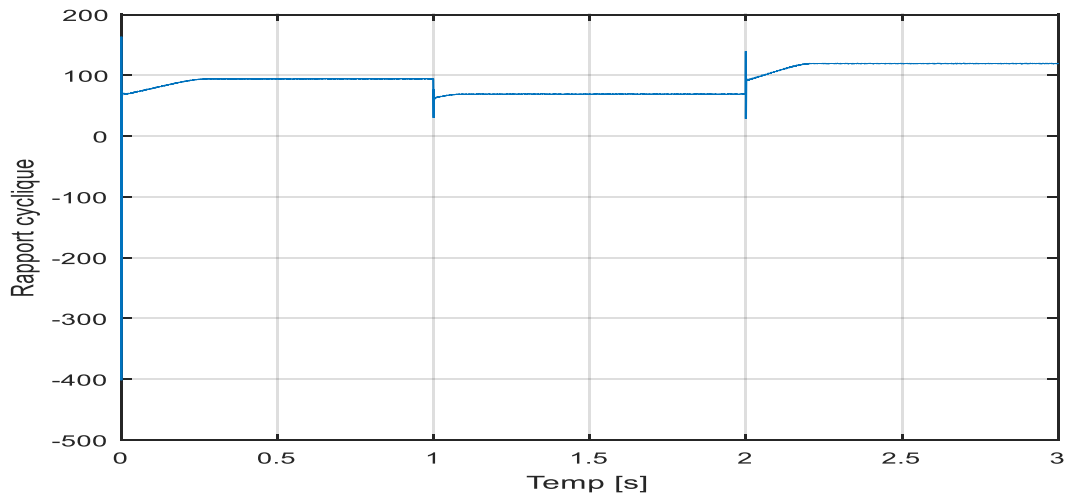


Figure II.26– Rapport cyclique de convertisseur boost

On remarque que le courbe Rapport cyclique de convertisseur boost change par rapport le temps on un signal carré changé chaque 4 seconde après le zoom de signale spectral sinusoidale carré

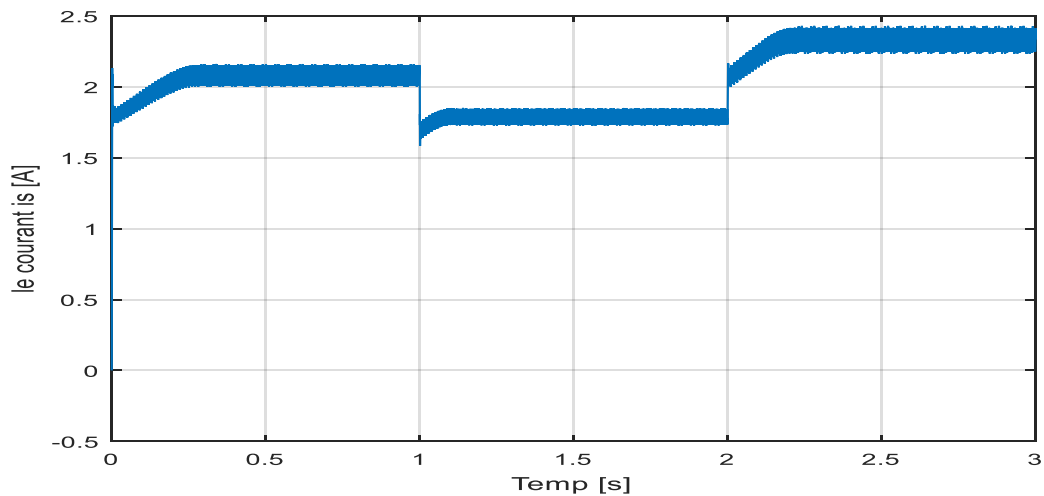


Figure II.27– Evolution du courant de la charge.

On remarque que le courbe du courant de la charge par rapport le temps comme un signal carré changé chaque seconde après le zoom de signale spectral sinusoidale carré

1er seconde au débute le courant augmenter et âpres fixe comme un signal spectral 2.1A

2eme seconde au débute le courant augmenter et âpres fixe comme un signal spectral 1.7A

3eme seconde au débute le courant augmenter et âpres fixe comme un signal spectral 2.4A

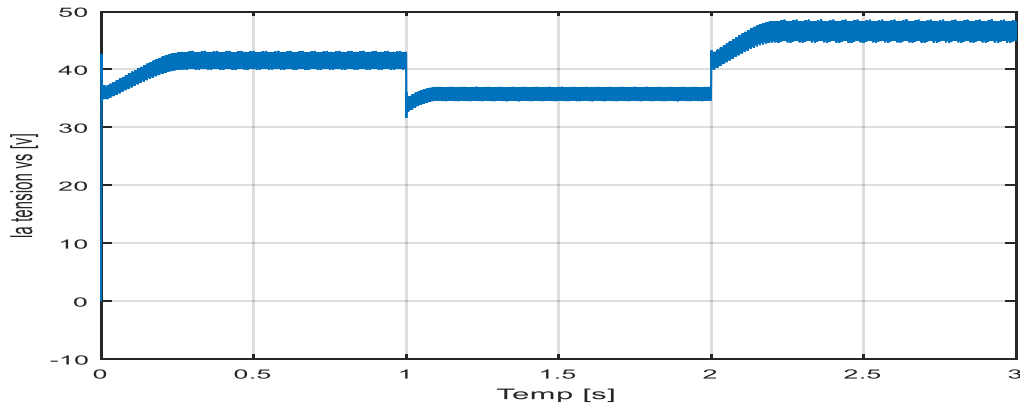


Figure II.28– Evolution de la tension de la charge.

On remarque que le courbe la tension de la charge par rapport le temps comme un signal carré changé chaque seconde après le zoom de signale spectral sinusoidale carré

Ce le même signale de courant de la charge mais vairée entre le 35 V et le 50V

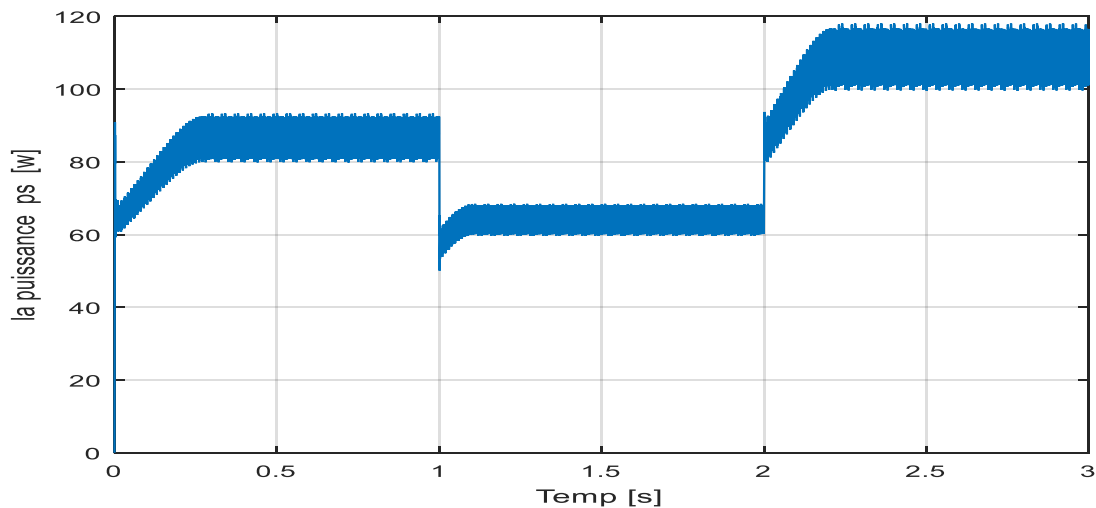


Figure II.29– Evolution de la puissance de la charge

On remarque que le courbe de puissance de la charge par rapport le temps comme un signal carré changé chaque seconde après le zoom de signale spectral entre 50 - 120w

1er seconde au débute de puissance augmenter et après fixe comme un signal spectral entre 80 - 90W

2eme seconde au débute de puissance augmenter et après fixe comme un signal spectral entre 60 -70W

3eme seconde au débute de puissance augmenter et après fixe comme un signal spectral entre 100 -120A

II.11 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu général sur les convertisseurs DC-DC nommés « hacheurs », leurs domaines d'utilisation, leurs différents types ainsi que leurs éléments constitutifs. Nous nous sommes intéressés à l'hacheur Boost en particulier où nous avons présenté un fonctionnement détaillé de ce dernier ainsi que les différentes commandes appropriées. Le chapitre suivant s'intéressera à la partie simulation de l'hacheur boost sous matlab\simulink.

Chapitre III. Optimisation énergétique de système photovoltaïque

Chapitre III. Optimisation énergétique de système photovoltaïque

III.1 Introduction

Ces dernières années, une attention particulière a été portée sur les micro-réseaux à bus DC qui offrent plusieurs avantages tels que la grande capacité en puissance, une meilleure performance et une flexibilité de connexion de charges.

Dans un premier temps, nous avons procédé à une étude bibliographique et un état de l'art sur les convertisseurs DC-DC et les différents techniques d'élévation existante dans la littérature. La volonté directrice des publications rencontrées est de faire progresser les convertisseurs DC-DC pour les diverses applications. Nous avons donc essayé de faire ressortir de cette étude le convertisseur le plus approprié à utiliser dans les micro-réseaux PV à bus DC, et qui est le convertisseur Boost à topologie multi-niveaux. Cette topologie a fait le sujet de nombreuses réflexions et ressort le plus fréquemment dans la littérature pour une conversion DC-DC à fort rapport d'élévation.

Pour la suite de l'étude, nous allons nous intéresser au convertisseur Boost trois niveaux. Nous introduirons, la topologie trois niveaux, son dimensionnement ainsi que ses modes de fonctionnement. Après une longue étude et divers essais expérimentaux, nous avons pu réaliser un prototype optimal de ce convertisseur. Les idées et les solutions intéressantes permettant d'apporter des améliorations importantes. Les résultats validant le bon fonctionnement de ce convertisseur seront également présentés.

III.2 Convertisseur Boost à trois niveau

Le Boost à trois niveaux utilise deux interrupteurs et deux diodes mais une seule inductance (figure II.1). Comme on le verra ultérieurement, l'intérêt de ce montage est dans un premier temps de diviser par deux les contraintes en tension des interrupteurs. Les deux interrupteurs sont commandés avec le même rapport cyclique mais leurs commandes sont décalées entre elles d'une demi-période [1-14, 1-15, 1-16].

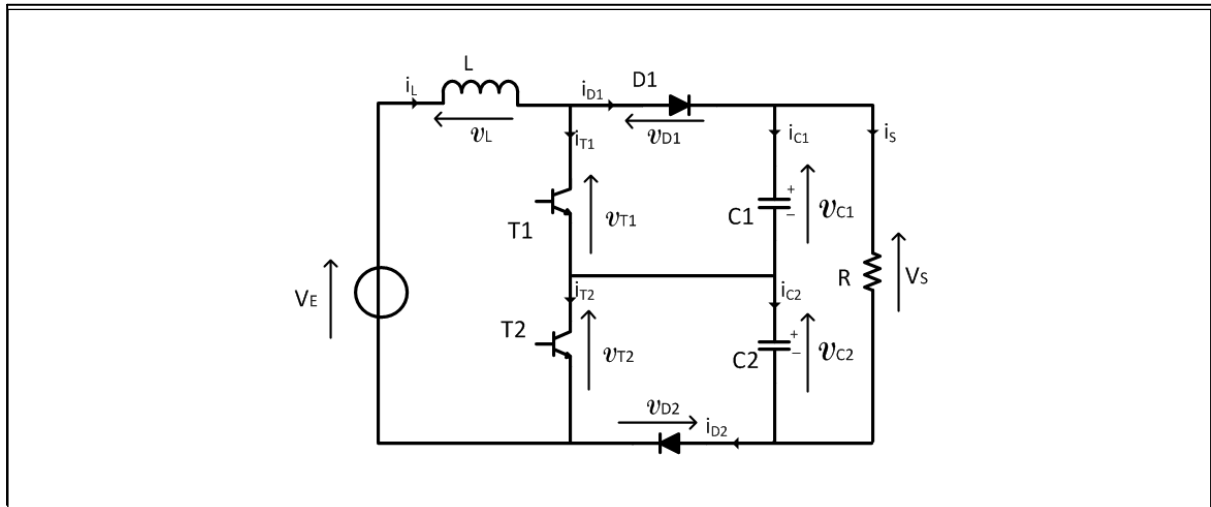


Figure III.1– Schéma de principe d'un Boost à trois niveaux.

III.2.1 Réalisation de convertisseur du hacheur Boost à trois niveaux (topologies Boost)

Le hacheur à 3 niveaux du système comme tout autre convertisseur statique convertit de l'énergie électrique sous différentes formes par connexion et déconnexion de circuits électriques comportant des générateurs et des récepteurs. Stratégie de commande et réglage du bus continu dédiée aux systèmes de production d'énergie éolienne et solaire.

La fonction « interrupteur » des semi-conducteurs d'un côté et la nature continue ou discontinue des grandeurs échangées de l'autre, donnent naissance à une modélisation mathématique caractérisée par deux parties :

- Une « Partie Commande » qui met en évidence les conditions d'ouverture et des fermetures des semi-conducteurs,
- Une « Partie Opérative » qui se décompose elle-même en une Partie Opérative Discontinue qui décrit l'effet des connexions sur la conversion des grandeurs électriques (grandeurs modulées) par des modèles matriciels. Ensuite, une Partie Opérative Continue établit à partir des équations différentielles l'évolution temporelle des grandeurs électriques continues qui ont été converties.[58]

III.2.1.1 Architecture-Mode de fonctionnement

Le schéma du convertisseur Boost trois niveaux (CBTN) représenté à la figure III.1

Cette structure est composée :

- Deux interrupteurs T_1, T_2 et deux diodes D_1, D_2
- L'inductance L , condensateurs C_1, C_2
- La résistance de charge R
- La tension d'entrée V_E
- La tension de sortie V_S
- La fréquence de commutation du convertisseur est notée « f ». La période de Commutation : T

Ici, par simplicité, nous utilisons une charge résistive pour étudier le fonctionnement du CBTN.

Selon l'état de ces deux interrupteurs qui peuvent conduire ou bloquer en même temps, on peut définir quatre séquences de fonctionnement sur chaque période de fonctionnement du convertisseur.

Tableau III.1 – Paramètres du système photovoltaïque étudié.

	Interrupteur de puissance 1 (T_1)	Interrupteur de puissance 2 (T_2)
État1	ON (Fermé)	ON (Fermé)
État2	ON (Fermé)	OFF (Ouvert)
État3	OFF (Ouvert)	ON (Fermé)
État4	OFF (Ouvert)	OFF (Ouvert)

État 1: T_1 ON, T_2 ON

À l'instant $t=0$, on ferme l'interrupteur T_1 et l'interrupteur T_2 . Les tensions aux bornes de la diode D_1 et D_2 sont égales à :

$$\begin{cases} V_{D_1} = V_{T_1} - V_{C_1} \\ V_{D_2} = V_{T_2} - V_{C_2} \end{cases} \quad (\text{III.1})$$

Comme les interrupteurs T_1 et T_2 sont fermés, on a : $V_{T_1} = V_{T_2} = 0$, ce qui implique :

$$\begin{cases} V_{D_1} = V_{C_1} < 0 \\ V_{D_2} = -V_{C_2} < 0 \end{cases} \quad (\text{III.2})$$

Les diode D_1 et D_2 sont bloqués. Dans ces conditions, on obtient alors le schéma équivalent de la Figure III.2 :

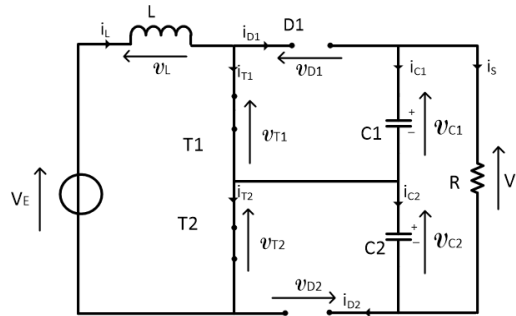


Figure III.2– Structureduconvertisseuràl'état1.

Il n'y a pas de transfert d'énergie entre la source et la charge. L'inductance est connectée en série avec la source basse tension et emmagasine l'énergie. La tension aux bornes de l'inductance L est alors :

$$V_L = V_E = L \frac{di_L}{dt} > 0 \text{ alors } \frac{di_L}{dt} = \frac{V_E}{L} \quad (\text{III.3})$$

Les condensateurs fournissent de l'énergie à la charge.

$$i_{C_1} = C_1 \frac{dv_{C_1}}{dt} = \frac{-V_S}{R} \text{ alors } \frac{dv_{C_1}}{dt} = \frac{-V_S}{RC_1} \quad (\text{III.4})$$

$$i_{C_2} = C_2 \frac{dv_{C_2}}{dt} = \frac{-V_S}{R} \text{ alors } \frac{dv_{C_2}}{dt} = \frac{-V_S}{RC_2} \quad (\text{III.5})$$

État 2 : T1 ON T2 OFF

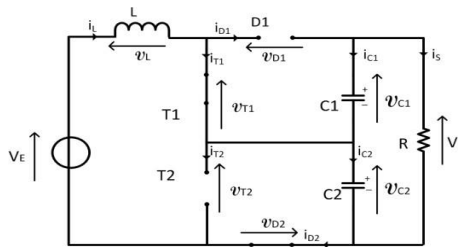


Figure III.3– Structureduconvertisseuràl'état2.

Les tensions aux bornes de la diode D_1 et D_2 sont égales à :

$$\begin{cases} V_{D_1} = V_{T_1} - V_{C_1} \\ V_{D_2} = V_{T_2} - V_{C_2} \end{cases} \quad (\text{III.6})$$

On a : $V_{T_1} = 0 \rightarrow V_{D_1} = -V_{C_1} < 0$ alors la diode D_1 est bloquée. La source basse tension et la charge sont connectées de manière directe. Il y a une restitution de l'énergie emmagasinée dans l'inductance vers la charge. Le condensateur C_2 se charge, le condensateur C_1 se décharge.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_E - V_{C_2}}{L} \quad (\text{III.7})$$

$$i_{C_1} = C_1 \frac{dv_{C_1}}{dt} = \frac{-V_S}{R} \text{ alors } \frac{dv_{C_1}}{dt} = \frac{-V_S}{RC_1} \quad (\text{III.8})$$

$$i_{C_2} = C_2 \frac{dv_{C_2}}{dt} = \frac{-V_S}{R} \text{ alors } \frac{dv_{C_2}}{dt} = \frac{i_L R - V_S}{RC_2} \quad (\text{III.9})$$

État 3 : T1 OFF, T2 ON.

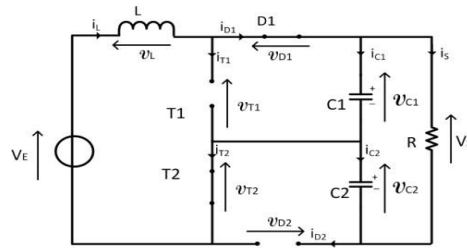


Figure III.4– Structure du convertisseur à l'état 3.

L'interrupteur T_2 et la diode D_1 sont passants. Les tensions aux bornes de la diode D_1 et D_2 sont égales à :

$$\begin{cases} V_{D_1} = V_{T_1} - V_{C_1} \\ V_{D_2} = V_{T_2} - V_{C_2} \end{cases} \quad (\text{III.10})$$

On a : $V_{T_2} = 0 \rightarrow V_{D_2} = -V_{C_2} < 0$. La source basse tension et la charge sont aussi connectées de manière directe. Il y a une restitution de l'énergie emmagasinée dans l'inductance vers la charge. Cependant, Le condensateur C_1 se charge, le condensateur C_2 se décharge.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_E - V_{C_1}}{L} \quad (\text{III.11})$$

$$\frac{dV_{C_1}}{dt} = \frac{i_L R - V_S}{RC_2} \quad (\text{III.12})$$

$$\frac{dV_{C_2}}{dt} = \frac{-V_S}{RC_2} \quad (\text{III.13})$$

État 4: T1 OFF, T2 OFF.

Les interrupteurs T₁ et T₂ sont ouverts et les diodes D₁ et D₂ sont fermées.

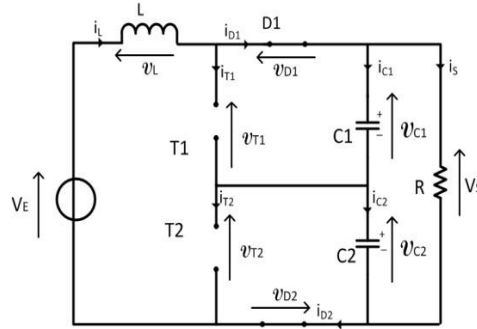


Figure III.5– Structure du convertisseur à l'état 4.

$$i_{C_1} = i_{C_2} = i_L - i_S \quad (\text{III.14})$$

$$\frac{dV_{C_1}}{dt} = \frac{i_L R - V_S}{RC_1} \quad (\text{III.15})$$

$$\frac{dV_{C_2}}{dt} = \frac{-V_S}{RC_2} \quad (\text{III.16})$$

Le Tableau III-2 ci-dessous permet d'afficher la table caractéristique de la tension et du courant dans un convertisseur DC-DC Boost à trois niveaux.

Dans notre travail, nous supposons que les condensateurs C1 et C2 ont les mêmes valeurs. Le CBTN travaille dans deux régions qui dépendent de la tension d'entrée, soit inférieure ou supérieure à la moitié de la tension de sortie. Dans la région 1, les deux rapports cycliques α_1 et α_2 sont inférieurs à 0,5. Dans la région 2, les deux rapports cycliques sont supérieurs ou égaux à 0,5.

Le CBTN a aussi deux types de fonctionnement : symétriques et asymétriques. En mode de fonctionnement symétrique, les rapports cycliques sont égaux mais leurs commandes sont décalées entre elles d'une demi-période. La tension du point milieu est égale à $\frac{V_S}{2}$. En revanche, en mode de fonctionnement asymétrique, les rapports cycliques α_1 et α_2 sont contrôlés indépendamment pour que la tension aux bornes des condensateurs soit égale à $\frac{V_S}{2}$.

Dans notre étude, le CBTN travaille en mode symétrique.

Tableau III.2 –Caractéristiques de la tension et du courant dans un convertisseur DC- DC Boost à trois niveaux

	État1	État1	État1	État1
Tension dans un CBTN	$V_{T_1} = 0$	$V_{T_1} = 0$	$V_{T_1} = V_{C_1} = \frac{V_S}{2}$	$V_{T_1} = V_{C_1} = \frac{V_S}{2}$
	$V_{T_2} = 0$	$V_{T_2} = V_{C_2} = \frac{V_S}{2}$	$V_{T_2} = 0$	$V_{T_2} = V_{C_2} = \frac{V_S}{2}$
	$V_{D_1} = -V_{C_1}$ $V_{D_2} = -V_{C_2}$	$V_{D_1} = -V_{C_1}$ $V_{D_2} = 0$	$V_{D_1} = 0$ $V_{D_2} = -V_{C_2}$	$V_{D_1} = 0$ $V_{D_2} = 0$
Courant dans un CBTN	$i_{T_1} = i_L$ $i_{T_2} = i_L$	$i_{T_1} = i_L$ $i_{T_2} = 0$	$i_{T_1} = 0$ $i_{T_2} = i_L$	$i_{T_1} = 0$ $i_{T_2} = 0$
	$i_{D_1} = 0$ $i_{D_2} = 0$	$i_{D_1} = 0$ $i_{D_2} = i_{C_2} + i_S$	$i_{D_1} = i_{D_1} + i_S$ $i_{D_2} = 0$	$i_{D_1} = i_L$ $i_{D_2} = i_L$
	$i_{C_1} = -I_S$ $i_{C_2} = -I_S$	$i_{C_1} = -I_S$ $i_{C_2} = i_L - I_S$	$i_{C_1} = i_L - I_S$ $i_{C_2} = -I_S$	$i_{C_1} = i_L - I_S$ $i_{C_2} = i_L - I_S$

III.2.2 Les avantages du convertisseur à trois niveaux

Les convertisseur boost à trois niveaux ont un avantage significatif par rapport au convertisseur boost conventionnel. La taille de l'inducteur est réduit et la tension nominale du commutateur correspond à la moitié de la tension de sortie dans les convertisseur DC-DC à trois niveaux. Cependant, l'équilibrage de tension aux bornes des condensateurs du bus CC est nécessaire en raison des non-conformités des composants. Ceci est réalisable en détectant les tensions à traverse eux avec une rétroaction corrective via des contrôleurs [59].

La détection de courant de l'inducteur en distribuant les mesures de tension sont réalisables pour équilibrer les tensions à traverse les condensateurs du bus CC [60].

III.3 Résultat de simulation

La Figure III.6 représente le modèle de simulation de de système PV utilisé hacheur boost trois niveaux. Nous avons utilisé les mêmes paramètres et le même profil de l'ensoleillement utilisé dans la simulation du hacheur boost.

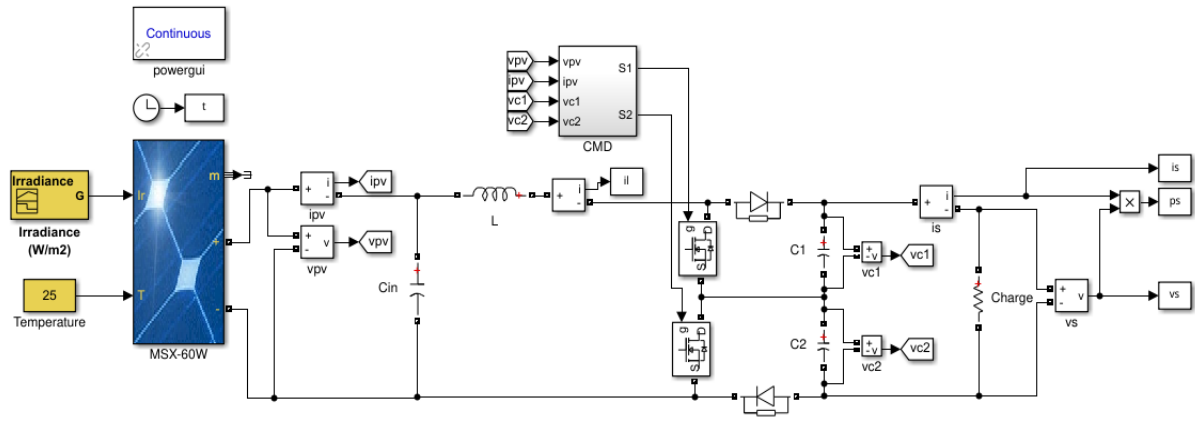


Figure III.6– Représente le schéma bloc du système

La Figure III.7 représente la commande de le hacheur boost trois niveaux.

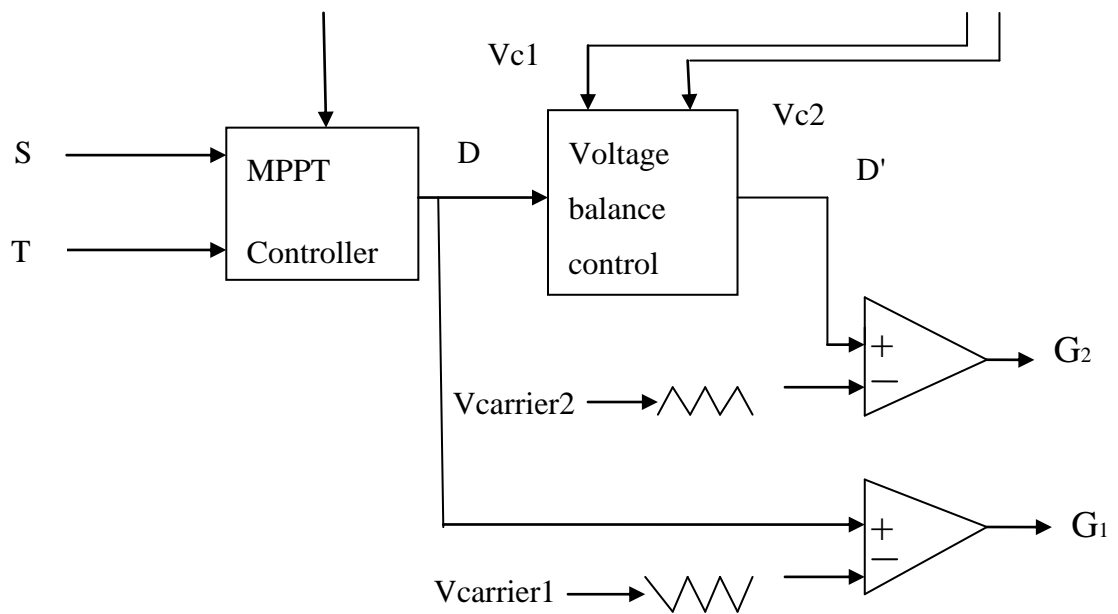


Figure III.7– La commande de le hacheur boost trois niveaux avec MPPT

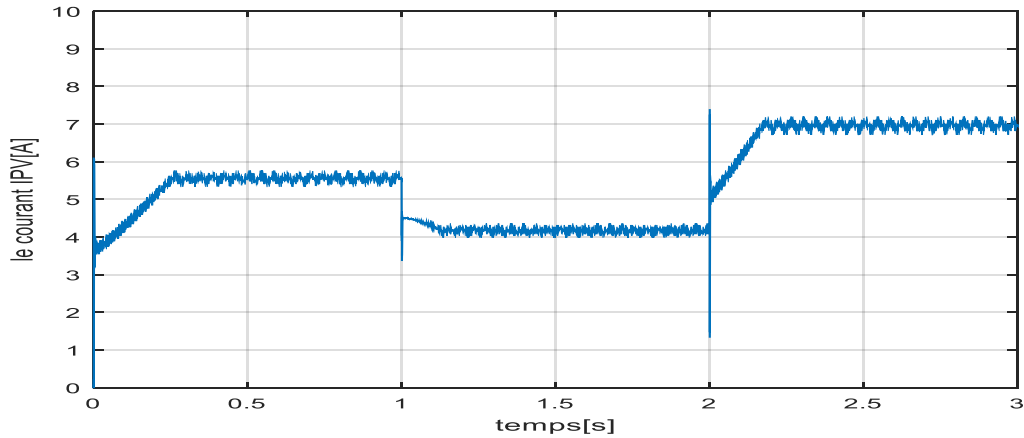


Figure III.8– Evolution du courant du GPV.

On remarque que le courbe de courant GPV change par rapport le temps chaque seconde on changé comme signale carrée

1^{er} seconde au débute le courant augmenter et après fixe à 0.57 A le type de la partie constante et sinusoidale

2^{eme} seconde peu diminué et après fixe à 0.41 A

3^{eme} seconde au débute le courant augmenter et après fixe à 0.7 A

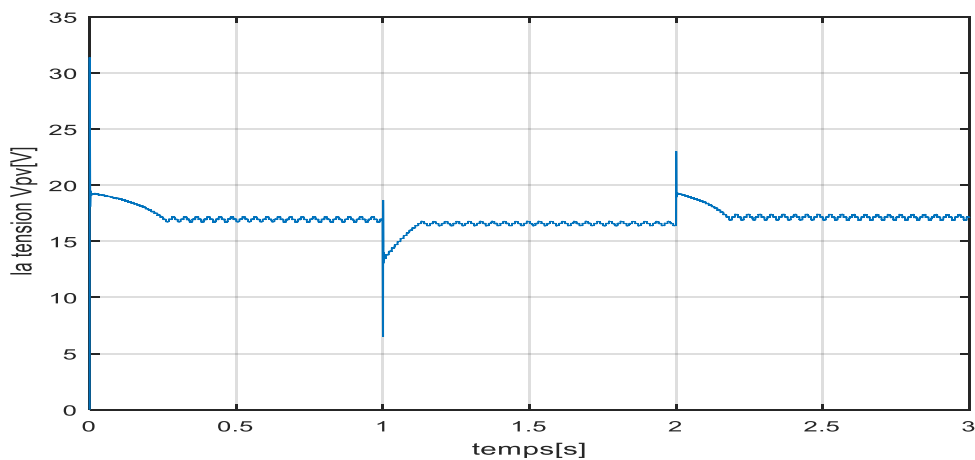


Figure III.9– Evolution de la tension du GPV

On remarque que le courbe de la tension GPV change par rapport le temps chaque seconde on changé come signale contenu

1^{er} seconde au débute la tension diminué jusque à 16 V et après la tension sinusoidale

2^{eme} seconde la tension augmenter et après fixe à 15.9 V

3^{eme} seconde au débute la tension augmenter et après fixe à 16V

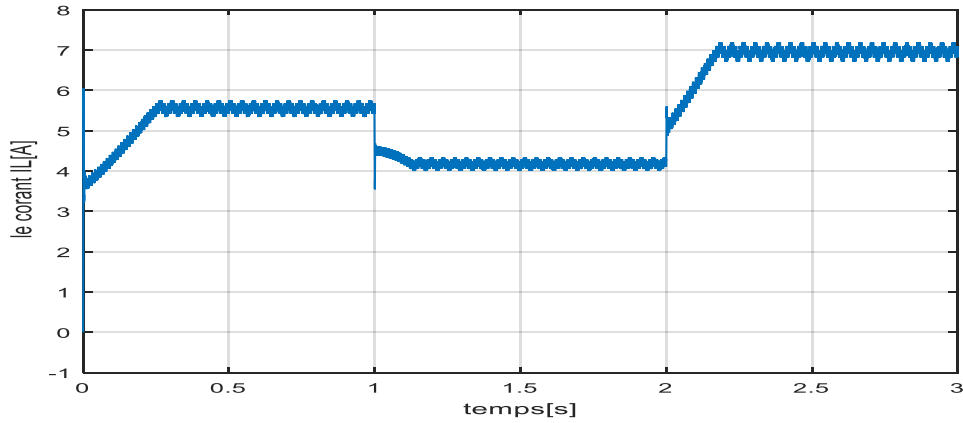


Figure III.10– Evolution du courant aux bornes l'inductance.

On remarque que le courbe courant aux bornes l'inductance change par rapport le temps chaque seconde on changé comme signale carrée

1^{er} seconde au débute la puissance augmenter et âpres fixe comme un signal spectral sinusoidale entre 5.3A et 5.4A

2^{eme} au débute la puissance diminué et âpres fixe comme un signal spectral sinusoidale entre 4A et 4.2A

3^{eme} au débute la puissance augmenter et âpres fixe comme un signal spectral sinusoidale entre 6.9A et 7.1A

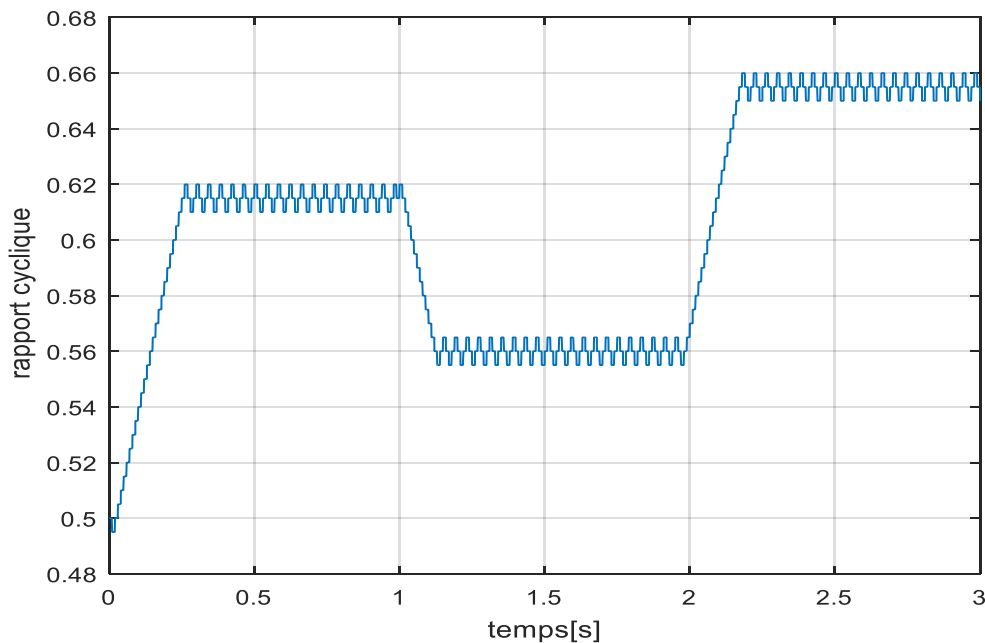


Figure III.11– Rapport cyclique de convertisseur boost

On remarque que le courbe rapport cyclique de convertisseur boost change par rapport le temps comme un signal carré changé chaque seconde.

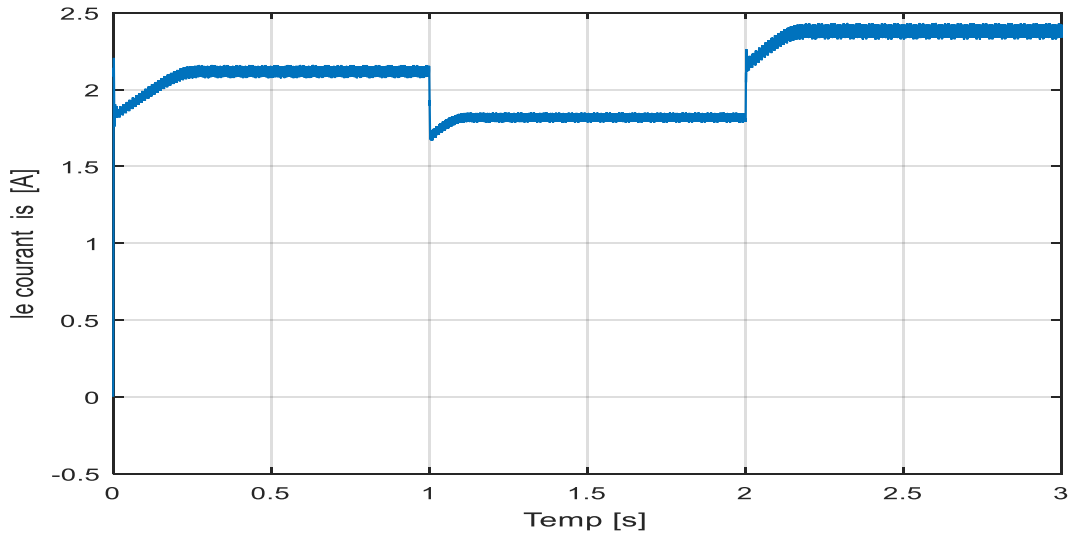


Figure III.12– Evolution du courant de la charge.

On remarque que le courbe du courant de la charge changé par rapport le temps comme un signal carré changé entre 1.6 – 2.5 A

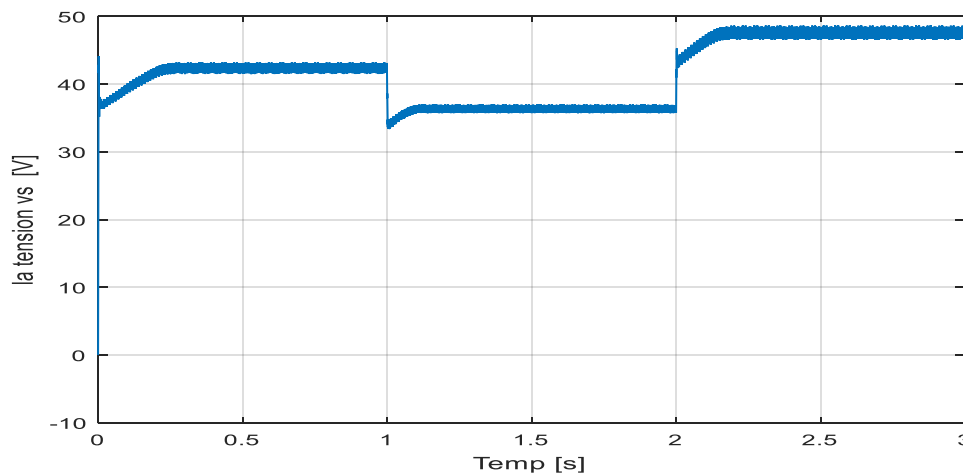


Figure III.13– Evolution de la tension de la charge.

On remarque que le courbe de la tension de la charge par rapport le temps comme un signal carré changé chaque seconde après le zoom de signale spectral

1er seconde au débute la tension augmenter et après fixe comme un signal spectral 44 V

2eme seconde au débute la tension augmenter et après fixe comme un signal spectral 37 V

3eme seconde au débute la tension augmenter et après fixe comme un signal spectral 49 V

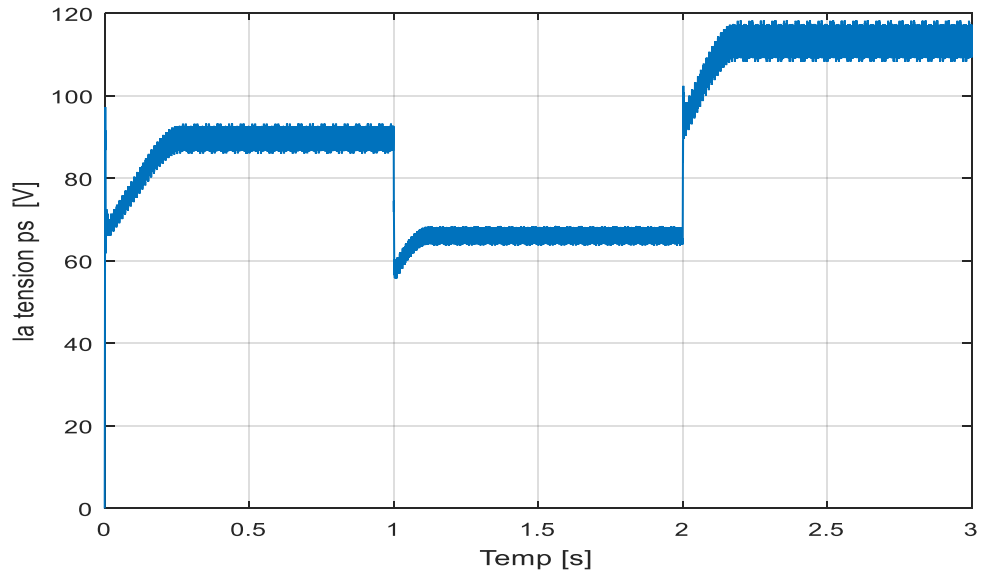


Figure III.14– Evolution de la puissance de la charge

On remarque que le courbe de puissance de la charge par rapport le temps comme un signal carré changé chaque seconde entre 60- 120v après le zoom de signale et spectral

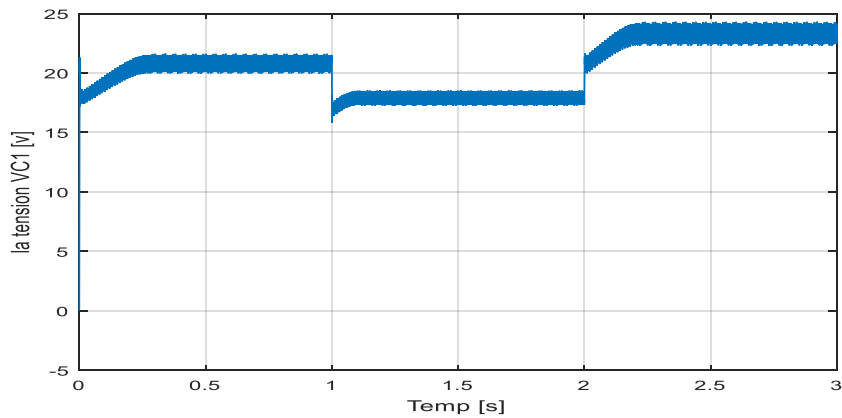


Figure III.15– Evolution de la tension des condensateurs c1

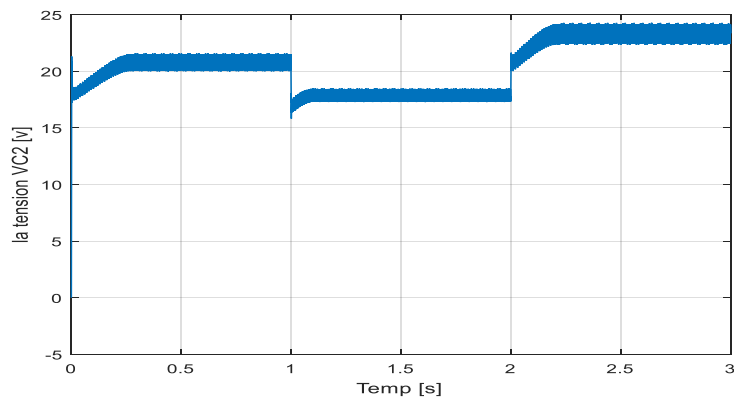


Figure III.16– Evolution de la tension des condensateurs c2

La tension des condensateurs c1 et c2 résultats de la simulation c'est l'objectif principal de ce travail le résultat obtenu et optimisé.

La taille de l'inductance est réduite et la tension nominale de l'interrupteur est la moitié de la tension de sortie. Cela réduit la taille globale et améliore l'efficacité des convertisseurs DC-DC à trois niveaux.

III.4 Conclusion

L'objectif de ce chapitre est la réalisation d'un convertisseur DC-DC Boost possédant un bon rendement et une flexibilité de fonctionnement pour les architectures micro-réseaux à bus DC utilisant des systèmes PV. Une étude bibliographique sur les convertisseurs DC-DC et les différents techniques d'élévation nous a permis de choisir la topologie la plus appropriée et qui est le Boost trois niveaux.

Le fonctionnement et le dimensionnement des composants de cette topologie ont été premièrement étudiés théoriquement et puis vérifiés en effectuant des simulations sous Matlab/Simulink. Un certain nombre de précautions doivent être respectés afin d'assurer une conception optimale. Les résultats des simulations nous ont démontré la nécessité d'une boucle de contrôle permettant l'équilibrage des tensions aux bornes des condensateurs, pour un fonctionnement correcte de la structure et pour atteindre un rendement global élevé.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les principaux travaux présentés dans cette thèse concernent optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dans chaîne de conversion photovoltaïque.

De nos jours, l'énergie photovoltaïque devient progressivement une source d'énergie à part entière, caractérisée par une demande de plus en plus importante que ce soit dans les installations domestiques ou dans les grandes centrales connectées au réseau. Néanmoins, des travaux d'envergure sont toujours nécessaires afin d'améliorer les chaînes de conversion photovoltaïque en termes du rendement, de la durée de vie et du coût.

Dans le premier chapitre, nous avons représenté le principe de conversion photoélectrique et la chaîne de conversion photoélectrique. Nous avons constaté que les performances du module du générateur photovoltaïque sont fortement influencées par les conditions climatiques, en particulier le rayonnement solaire et la température. Pour faire fonctionner un générateur photovoltaïque avec une efficacité optimale, il faut insérer des transformateurs statiques entre le générateur et le récepteur. Pour s'assurer que le générateur PV fonctionne à son point de puissance maximum, des contrôleurs MPPT sont souvent utilisés. Ces contrôleurs sont destinés au suivi PPM afin de réduire l'erreur entre la force de manœuvre et la puissance de référence variable maximale en fonction des conditions climatiques.

Dans le deuxième chapitre, nous introduisons la modélisation de la cellule, du générateur photoélectrique et du convertisseur qui est contrôlé par la méthode de suivi de puissance maximale qui est l'algorithme de Perturbation & Observation, et présentons certains types de convertisseurs DC-DC, est introduite pour faire correspondre la source avec la charge, puis nous introduisons l'algorithme classique pour trouver le point à la puissance maximale PPM "Perturbation & Observation". Nous avons simulé le système PV pour évaluer les performances de la commande MPPT-P&O sous différentes conditions environnementales.

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté des simulations de convertisseur Boost à trois niveaux permet de déterminer la puissance maximale en fonction des changements de conditions Météorologie (rayonnement solaire et température ambiante). Grâce à la simulation du système et à l'étude des résultats, nous avons conclu ce qui suit :

Le rôle du convertisseur DC-DC est de faire une adaptation entre la source (GPV) et la charge pour avoir un transfert maximal de puissance. Ceci est possible en maintenant le point de fonctionnement sur ou assez proche du MPP pour n'importe quelles conditions de fonctionnement (rayonnement, température, caractéristique de charge, etc.) Un

fonctionnement relativement satisfaisant du système PV est atteint en utilisant la commande MPPT ;

La structure « Boost DC-DC trois niveaux » a été choisie, ce qui permet de soulever la problématique de la réalisation d'un convertisseur à bon rendement et ayant une topologie qui pourrait s'adapter aux installations PV moyenne à haute puissance tels que les micro-réseaux. Avec ce type de structure, nous pouvons globalement améliorer le rendement de la chaîne de conversion PV.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Mémoire master Modélisation et simulation d'une commande MPPT d'un système photovoltaïque réalisé par djenadi rafik université de bejaia 2020_2021
- [2] F.Benadel, «Etude Et Simulation D'une Commande MPPT Pour Système PV», Mémoire de master, Département de Génie électrique, université mohamed boudiaf - m'sila, 2016.
- [3] B.Mohammed «Modélisation D'un Système De Captage photovoltaïque Autonome », Mémoire de Magister2008, Universitaire De Bechar.
- [4] H. Hassini née Belghitri, «MODELISATION, SIMULATION ET OPTIMISATION D'UN SYSTEME HYBRIDE EOLIEN-PHOTOVOLTAIQUE »mémoire de magister 2010 UNIV de Tlemcen.
- [5] D.RekiouraO.Amrani « etude et identification de différents modèles électriques photovoltaïques » université de bejaia algérie 2007
- [6] M.Zidane –A.Cheurfa, « Etude et optimisation d'un système photovoltaïque» Mémoire de master 2020, université de bejaia.
- [7] P. Claux, « Atlas solaire français », PYC éditions, 1982.
- [8] Dj.Bellala, « Contribution a l'Optimisation des Systèmes de conversion d'Energie. Application aux Systèmes Photovoltaïques Thèse Doctorat en sciences, Université de Batna.
- [9] F. meziani, «Détermination du gisement solaire par traitement d'images MSG» Mémoire de Magister université mouloud mammeri de tiziouzou
- [10] A. Djabou abdellah, «etude et mesure des données solaire d'un gisement solaire dans une zone isole » université d'adrar ahmed draya 2015.
- [11] J. F. Reynaud, « Recherches d'optimums d'énergies pour charge/décharge d'une batterie
- [12] à technologie avancée dédiée à des applications photovoltaïques », Thèse de Doctorat de
- [13] l'Université de Toulouse, 2011.
- [14] A.Mohamed.(06/05/2015).EtudeetSimulationd'uneUPShybride,Université Mohamed Khidar- Biskra M.
- [15] A.Mohamed.(06/05/2015).EtudeetSimulationd'uneUPShybride,Université Mohamed Khidar- Biskra M.
- [16] MustaphaBelarbi.(10/09/2015).Contributionà l'étuded'un générateursolairepoursite autonome
- [17] F. Benyarou « Conception assistée par ordinateur des systèmes photovoltaïques
- [18] modélisation, dimensionnement et simulation », Thèse de Doctorat d'état. Université de Tlemcen Juillet 2004

- [19] A. singo «Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habita énergétiquement autonome» thèse Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I France; 3Février 2010.
- [20] D.Turcotte,M.Ross and F.Sheriff. « Photovoltaic hybrid System Sizing and Simulation
- [21] AMAMRA Mohammed Salah; DJEDIDI yahia mémoire de fin détude master : optimisation de la production d'un générateur photovoltaïque", kasdimerbah Ouargla 2015
- [22] BENLOMBAREK Brahim et BENAZIEZ Sohieb .optimisation de l'énergie Issue d'une réseau de modèle photovoltaïques, Université Mohamed Boudiaf-M'SILA 2018
- [23] MAKHEBI Charaf-Eddine et ToumertMhand,"Etude et réalisation d'un régulateur analogique et numérique de la charge/décharge d'une batterie associée à un système photovoltaïque," Mémoire d'Ingéniorat de l'école Nationale Polytechnique d'Alger, 2008.
- [24] W. R.Anis, H. Metwally « Dynamic Performance of a Directly Coupled PV Pumping System », Solar Energy, Vol.53, N°4, pp369-377, 1994.
- [25] D. Rekioua, O.Amrani « Etude et identification des différents modèles électriques
- [26] photovoltaïques », Conférence sur les énergies renouvelables, Université de Bejaia, Algérie, 2007.
- [27] MAKHEBI Charaf-Eddine et Toumert Mhand,"Etude et réalisation d'un régulateur analogique et numérique de la charge/décharge d'une batterie associée à un système photovoltaïque," Mémoire d'Ingéniorat de l'école Nationale Polytechnique d'Alger, 2008.
- [28] CHEKIREF Fatahya, "Etude et implémentation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA", Mémoire de Magister de l'Ecole Nationale Polytechnique 2008
- [29] D.Turcotte,M.Ross and F.Sheriff. « Photovoltaic hybrid System Sizing and SimulationTools» PV Horizon, Canada, 2001.ARTICLE PDF.
- [30] C. C. Lin, L. S. Yang and E. C. Chang, "Study of a DC-DC converter for solar LED street lighting," in Proc. IEEE Int. Symp. Next-Gen. Electron., 2013, pp. 461–464
- [31] C. Yao, X. Ruan, X. Wang, and C. K. Tse, "Isolated buck-boost DC/DC converters suitable for wide input-voltage range," IEEE Trans. Power Electron., vol. 26, no. 9, pp. 2599–2613, Sep. 2011
- [32] T. J. Liang, J. H. Lee, S. M. Chen, J. F. Chen, and L. S. Yang, "Novel isolated high-step- up DC-DC converter with voltage lift," IEEE Trans. Ind. Electron., no. 4, vol. 60, pp. 1483– 1491, Apr. 2013
- [33] D. Vinnikov and I. Roasto, "Quasi-Z-source-based isolated DC/DC converters for distributed power generation," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, pp. no. 1, 192–201, Jan. 2011
- [34] H. Matsuo and K. Harada, "The cascade connection of switching regulators," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-12, no. 2, pp. 192–198, Mar. 1976.

- [35] J. Zhang, "Bidirectional dc-dc power converter design, optimization, modeling and control," Ph.D. dissertation, Virginia Polytechnic Inst. State Univ., Blacksburg, VA, USA, 2008.
- [36] A. K. Rathore, D. R. Patil, and D. Srinivasan, "Non-isolated bidirectional soft-switching current-fed LCL resonant DC/DC converter to interface energy storage in DC microgrid," *IEEE Trans Ind. Appl.*, vol. 52, no. 2, pp. 1711–1722, Mar./Apr. 2016.
- [37] G. Palumbo and D. Pappalardo, "Charge pump circuits: An overview on design strategies and topologies," *IEEE Circuits Syst. Mag.*, vol. 10, no. 1, pp. 31–45, First Quarter 2010.
- [38] W. Qian, H. Cha, F. Z. Peng, and L. M. Tolbert, "55-kW variable 3X DCDC converter for plug-in hybrid electric vehicles," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 4, pp. 1668–1678, Apr. 2012.
- [39] M. Forouzesh, K. Yari, A. Baghrarian and S. Hasanpour, "Single-switch High step-up converter based on coupled inductor and switched capacitor techniques with quasi-resonant operation," *IET Power Electron.*, vol. 10, no. 2, pp. 240–250, 2017.
- [40] D. Wang, X. He, and R. Zhao, "ZVT interleaved boost converters with built-in voltage doubler and current auto-balance characteristic," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 23, no. 6, pp. 2847–2854, Nov. 2008.
- [41] K. I. Hwu and Y. T. Yau, "KY converter and its derivatives," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 1, pp. 128–137, Jan. 2009.
- [42] D. M. Sable, B. H. Cho, and R. Ridley, "Elimination of the positive zero in fixed frequency boost and flyback converters," in *Proc. 5th Annu. Appl. Power Electron. Conf. Expo.*, 1990, pp. 205–211.
- [43] W. C. Wu, R. M. Bass, and J. R. Yeargan, "Eliminating the effects of the right-half plane zero in fixed frequency boost converters," in *Proc. IEEE Power Electron. Spec. Conf.*, 1998, pp. 362–366.
- [44] Y. Gu and D. Zhang, "Interleaved boost converter with ripple cancellation network," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 28, pp. 3860–3869, 2013.
H. El Fadil, F. Giri, J. Guerrero, M. Haloua, and A. Abouloifa, "Advanced Control of Interleaved Boost Converter for Fuel Cell Energy Generation System," in *World Congress*, pp. 2803–2808, 2011.
- [45] A. Shahin, M. Hinaje, J.-P. Martin, S. Pierfederici, S. Raël, and B. Davat, "High voltage ratio dc-dc converter for fuel-cell applications," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 3944–3955, 2010.
- [46] B.-R. Lin and J.-J. Chen, "Analysis and implementation of a soft switching converter with high-voltage conversion ratio," *Power Electronics, IET*, vol. 1, pp. 386–394, 2008.
B. Huang, "Convertisseur continu-continu à rapport de transformation élevé pour applications pile à combustible," *Vandoeuvre-les-Nancy, INPL*, 2009.
- [47] Seif Eddine NAFFOUTI, "Dimensionnement et commande d'un hacheur parallèle alimenté par une source photovoltaïque", *Mémoire de diplôme national d'ingénieur en Génie Electrique, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir, Université de Monastir, Tunisie*, 2012.

- [48] B.-R. Lin and J.-J.Chen, "Analysis and implementation of a soft switching converter with high-voltage conversion ratio," *Power Electronics, IET*, vol. 1, pp. 386-394, 2008.
- B. Huang, "Convertisseur continu-continu à rapport de transformation élevé pour applications pile à combustible," Vandoeuvre-les-Nancy, INPL, 2009.
- [49] Seif Eddine NAFFOUTI, "Dimensionnement et commande d'un hacheur parallèle alimenté par une source photovoltaïque", Mémoire de diplôme national d'ingénieur en Génie Electrique, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir, Université de Monastir, Tunisie, 2012.
- [50] S.Bensmail, « Optimisation Et Gestion D'un Système Hybride A Energies Renouvelables», Thèse de Doctorat de l'Université de Bejaia, Algérie, 2017.
- [51] K. Zaiem, « Commande d'un système photovoltaïque par contrôleur Neuro-Flou Réduit» MÉMOIRE Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master de l'université de badjimokhtar-annaba.
- [52] Réduit» MÉMOIRE Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master de l'université de badjimokhtar-annaba.
- [53] K. rahrah, <<Dimensionnement et optimisation d'un système de pompage photovoltaïque destiné pour l'alimentation en eau potable>> thèse Doctorat, université de bejaia 2016.
- [54] photovoltaïque destiné pour l'alimentation en eau potable>> thèse Doctorat, université de bejaia 2016.
- [55] S.Bensmail, « Optimisation Et Gestion D'un Système Hybride A Energies Renouvelables», Thèse de Doctorat de l'Université de Bejaia, Algérie, 2017.
- [56] C. Cabal, « Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à laconversion photovoltaïque », Thèse de Doctorat en Génie Electrique de l'université deToulouse 2008, France.
- [57] Ch. Hua, J. Lin, Ch. Shen, « Implementation of a DSP-controlled PV system with peakpower tracking», *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol: 45, N°: 1, pp: 99–107
- [58] Abdoulhalim Hassani ZAIDOU Ecole supérirure polytechnique d'qntsiranana Madagascar-ing"neur de conception en "lectronique et information industrielles 20007
- [59] J.-M. Kwon, B.-H.Kwon, and K.-H. Nam, "Three-phase photo- voltaic system with three-level boosting MPPT control," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 23, no. 5, pp. 2319–2327, 2008.
- E. Ribeiro, A. J. M. Cardoso, and C. Boccaletti, "Fault-tolerant strategy for a photovoltaic DC-DC converter," *IEEE Transac- tions on Power Electronics*, vol. 28, no. 6, pp. 3008–3018, 2013
- [60] H.-C. Chen and W.-J. Lin, "MPPT and voltage balancing control with sensing only inductor current for photovoltaic-fed, three-level, boost-type converters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 29, no. 1, pp. 29–35, 2014.

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE
SPECIALITE :ELECTROTECHNIQUE**

Proposé et dirigé par :

Dr. BOUDJELLAL Bilal

Présenté par :

Said leghighane

Yakoub Ben Hamimid

Thème :

**Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dans
une chaine de conversion d'énergie photovoltaïque**

Résumé :

Le présent travail consiste en une étude de simulation d'un générateur photovoltaïque, cette étude est basée sur l'optimisation topologique lorsque le champ photovoltaïque est soumis à un ombrage partiel. Pour cela, plusieurs scénarios de l'ombrage sont discutés et traités et toutes les reconfigurations possibles de générateur photovoltaïque sont étudiées pour trouver la reconfiguration qui réduire la perte de discordance dans des conditions partiellement ombrées le maximum.

Le but de cette mémoire est de contribuer à l'optimisation d'une chaine de conversion PV. Commande MPPT Simulations ont été étudiées à savoir la maximisation de puissance MPPT par les technique' 'perturbe et observe" (P&O) pour assurant la poursuite de la puissance maxima le fournie par le générateur photovoltaïque à l'aide du convertisseur boost classique, nous l'avons remplacé par un boost DC-DC trois niveaux. Les résultats de la simulation obtenue sont très encourageants.

Mots clés : Système photovoltaïque, convertisseur Boost, Boost trois niveau, command MPPT, P&O.

N° d'ordre :