

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

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

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'électromécanique.

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : ELECTROMECHANIQUE

Spécialité : Electromécanique

Par

- **BOULAL Mohamed Amine**
- **OTMANI Yahia**

Intitulé

*Suivi de la puissance maximale MPPT à base de différents convertisseurs de
puissance DC-DC*

Soutenu le :

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M.</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M.BEKKOUCHE Tewfik</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M.</i>	<i>....</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

Au terme de ce mémoire, nous tenons à exprimer nos remerciements au bon « DIEU » qui nous a donné la force, la santé et la volonté pour mener à bien ce modeste travail. Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à nos encadrateurs : monsieur le Dr Bekkouche Toufik pour avoir d'abord proposé ce thème, pour leurs aides quotidiens pour faire avancer notre travail, et qui a bien voulu diriger ce travail pendant toute la durée de l'expérimentation et la mise en forme du document final. Ses nombreux conseils ne m'ont jamais fait défaut. Je suis heureux de lui exprimer ici ma respectueuse reconnaissance.

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à accomplir ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation par ailleurs, et plus particulièrement remercie Dr. Sakhara Saadi Nos remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Et un remerciement spécial à quelqu'un qui nous a aidé plusieurs fois (ROMAISSA).

En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien moral et matériel.

Mohamed amine et Yahia

Dédicace

*C'est avec un immense plaisir que Je dédie ce modeste travail à
Mon père, (Bouziid).*

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre.

*La plus chère à mon cœur que j'espère Dieu le garde ma
Chère mère, (Messouda).*

*À mon frère (Walid), qui m'encourage dans les instants délicats, et son
fils (Sabri).*

*Et mes sœurs (Mounira, Kiba, Firouz, Kouda, Kadjer, Randa et
Marwa).*

Ainsi que leurs enfants.

*À tous mes amis (Younes, Fateh, Tayeb, Lounis, Mounir, Anis et
Maher. . .).*

Et bien sûr groupe d'électromécanique Master 2 :

Romaissa, Koussef, Nesrine et Rida. . . .

Et un dédicace spécial à Aggedine et Bouziid.

Je vous remercie tous.

*Enfin bien sûr à Dr Bekkouche Jenfik qui nous a accompagnés
pendant le long de cette période pour la finalisation de ce modeste travail.*

Mohamed amine.

DEDICACE

C'est avec un immense plaisir que je dédie ce modeste travail à :

Mon grand père

Mahmoud

Mes très chers parents

Kamel et Samia

Aux supports de mon âme, vous mon très cher frère : Atef

et ma sœur : Wissem

*et à mes amies : Lounis Anis Fateh Tayeb Maher Mounir Younes Hamza et tous
mes Amis*

*Sans pour autant oublier les collègues d'électromécanique master 2 :Houssem
Redha Nessrine Khawla*

à l'ensemble du groupe électromécanique de la promotion 2021 /2022..

Et à toute ma Famille

*Enfin bien sûr à Dr Bekkouche Tewfik qui m'ont accompagné pendant le long de
cette période pour la finalisation de ce modeste travail.*

Je vous remercie tous.

Sommaire

Introduction générale.....	01
CHAPITRE I	
I.1. Introduction	03
I.2 Définition de l'énergie renouvelable	03
I.3 L'énergie solaire	04
I.4 Rayonnement solaire.....	04
I.4.1 Le rayonnement direct	04
I.4.2 Le rayonnement diffus	04
I.4.3 Le rayonnement solaire réfléchi	05
I.4.4 Le rayonnement global	05
I.5 Description des éléments d'un système photovoltaïque	05
I.5.1 Cellule photovoltaïque	05
I.5.2 Historique	05
I.5.3 Constitution de la cellule photovoltaïque	06
I.5.4 -L'effet photovoltaïque	07
I.5.5 Principe de fonctionnement	07
I.5.6 Différentes technologies	08
I.5.6.1 Cellules solaires monocristallines	08
I.5.6.2 Cellules solaires poly cristallines	08
I.6 Rendement photovoltaïque	09
I.7 Générateur photovoltaïque	09
I.8 Les avantages et les inconvénients d'une cellule PV	11
I.8.1 Les avantages	11
I.8.2 Les inconvénients.....	11
I.9 Modélisation d'une cellule photovoltaïque	11
I.9.1 Cellule photovoltaïque réelle	12
I.9.2 Cellule photovoltaïque idéale.....	12
I.10 Les caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	12
I.10.1 Influence de l'éclairement.....	13
I.10.2 Influence de la température	13
I.11 Le modèle d'une cellule photovoltaïque	14
I.12 -module photovoltaïque	14

Sommaire

I.13	Panneaux photovoltaïques	15
I.14	Champ photovoltaïque	16
I.15	Avantages et Inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque	16
I.15.1	Avantages	16
I.15.2	Inconvénients	17
I.16	Installations électriques photovoltaïques	18
I.16.1	Installations électriques photovoltaïques autonomes	18
I.16.2	Installations électriques photovoltaïques raccordées au réseau	19
I.17	Conclusion	19
CHAPITRE II		
II.1	Introduction	20
II.2	Types de connexion : GPV- charge.....	20
II.2.1	Connexion directe GPV-charge	20
II.2.2	Connexion indirecte.....	21
II.3.	Convertisseurs DC/DC	22
II.3.1.	Hacheur dévolteur (Buck)	22
II.3.1.1	Principe de fonctionnement	23
II.3.1.2	Les formes d'ondes du courant et de la tension	23
II.3.2	Hacheur survolteur (Boost)	24
II.3.2.1	Principe de fonctionnement.....	24
II.3.2.2	Les formes d'ondes du courant et de la tension.....	25
II.3.3.	Hacheur dévolteur-survolteur (Buck-Boost).....	27
II.3.3.1	Principe de fonctionnement.....	27
II.3.3.2	Les formes d'ondes du courant et de la tension.....	28
II.4	Recherche du point de puissance maximale (MPPT)	29
II.4.1	Principe de fonctionnement	29
II.4.2	Les techniques de commandes MPPT	29
II.4.2.1.	La méthode Perturbe & Observe (P&O)	29
II.4.2.2	La méthode Incrémentation des conductances	31
II.5	Etude comparative	32

Sommaire

II.6. Conclusion.....	33
-----------------------	----

CHAPITRE III

III.1 Introduction	34
--------------------------	----

III.2 Première application : Suivi de charge d'une batterie 12V à base d'un convertisseur Buck [34].....	34
--	----

III.2.1 Interprétation des résultats	36
--	----

III.3 Deuxième application : Simulation d'un Buck-Boost bidirectionnel [35].....	37
--	----

III.4 Conclusion.....	40
-----------------------	----

Listes des figures

Chapitre I

Figure 1 : Composante du rayonnement global sur un plan horizontal.....	3
Figure 2 : Composante du rayonnement global sur un plan horizontal.....	6
Figure 3 : Schéma d'une cellule élémentaire.....	8
Figure 4 : principe de fonctionnement d'une cellule PV.....	9
Figure 5 : Cellules solaires monocristallines.....	10
Figure 6 Cellules solaires poly cristallines.....	10
Figure 7 Association en série des cellules photovoltaïques.....	12
Figure 8 Association en parallèle des cellules photovoltaïques.....	13
Figure 9 Schéma d'une Cellule photovoltaïque réelle.....	14
Figure 10 Schéma d'une Cellule photovoltaïque idéal.....	14
Figure 11 L'influence des différents paramètres sur les caractéristiques électriques.....	14
Figure 12 Influence de l'éclairement sur la caractéristique I-V et P-V.....	15
Figure 13 Influence de la température sur la caractéristique I-V et P-V.....	15
Figure 14 Circuit équivalent d'une cellule PV réelle.....	16
Figure 15 Module photovoltaïque.....	17
Figure 16 Panneaux solaire.....	17
Figure 17 Champ solaire.....	18
Figure 18 Système photovoltaïque autonome.....	21
Figure 19 Système photovoltaïque raccordé au réseau.....	21

Chapitre II

Figure 1 Connexion directe d'un GPV-charge.....	22
Figure 2 Points de fonctionnement d'un GPV en connexion directe, en fonction de la charge.	22
Figure 3 Connexion d'un GPV à une charge à travers un étage d'adaptation.....	23
Figure 4 Convertisseur dévolteur (Buck) réel.....	23
Figure 5 Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Buck.....	24
Figure 6 Convertisseur Boost.....	25
Figure 7 Circuit équivalent du Boost quand l'interrupteur est fermé.....	26
Figure 8 Circuit équivalent du Boost quand l'interrupteur est ouvert.....	27
Figure 9 Convertisseur Buck-Boost.....	28

Figure 10	Formes d'ondes du convertisseur Buck-Boost.....	29
Figure 11	Chaîne de conversion photovoltaïque avec convertisseur statique contrôlé par une commande MPPT.....	30
Figure 12	Schéma de converge vers le PPM par P&O.....	31
Figure 13	L'organigramme de l'algorithme P&O.....	32
Figure 14	Algorithme de la méthode Incrément de conductance.....	34

Chapitre III

Figure 1	Caractéristiques du panneau solaire utilisé en simulation.....	36
Figure 2	Synoptique de la première application proposée.....	36
Figure 3	Schéma Simulink de la charge d'une batterie 12V.....	37
Figure 4	La tension de sortie pour irradiation 1000w/m ²	38
Figure 5	La tension de sortie pour irradiation 500w/m ²	38
Figure 6	Le programme qui contrôle la tension à 12V sur MATLAB.....	39
Figure 7	Le Schéma Simulink pour Buck.....	39
Figure 8	Le Schéma Simulink pour Boost.....	40
Figure 9	Schéma Simulink de Buck-Boost bidirectionnel.....	41
Figure 10	Schéma Simulink pour Boost.....	41
Figure 11	Schéma Simulink de Buck.....	42
Figure 12	Courbe de -IL Boost-.....	41
Figure 13	Courbe de -IL Buck-.....	41
Figure 14	Courbe de la différence entre IL Buck et IL Boost.....	41
Figure 15	Courbe de -IL Boost.....	41
Figure 16	Courbe de -IL Buck.....	42
Figure 17	Courbe de la différence entre IL Buck et IL Boost.....	42

Liste des tableaux

Tableau I Tableau II.1 : Comparaison des techniques MPPT P&O et IncCond.....33

Liste des abréviations et symboles

Liste des abréviations et symboles

MPPT : Poursuite du Point de Puissance Maximale « Maximum Power Point Tracking ».

MLI : Modulation à largeur d'impulsion.

DC/DC : Convertisseur tension continu /continu.

PV : Photovoltaïque.

GPV : Générateur photovoltaïque.

PO : Perturbation et Observation « Perturb and Observe ».

IncCond : Incrémentation de la conductance (IC).

PN : Positive-Négative.

MPP : Point de Puissance Maximale « Maximum Power Point ».

DC/AC : Convertisseur tension continu /alternatif.

R : Résistance.

F : Fréquence.

t : Temps.

T : Température.

C : Capacité.

R_p : Résistance parallèle.

R_c : Résistance série.

I_{ph} : Courant photovoltaïque.

F_{em} : Force électromotrice.

ΔI : Variation du courant.

ΔP : Variation de la puissance.

ΔV : Variation de la tension.

G : Ensoleillement.

I : Courant photovoltaïque.

I_d : Courant traversant la diode dans le circuit équivalent de la cellule PV.

I_{ppm} : Courant au PPM (courant optimal).

I_{ph} : Photo courant de la cellule PV.

I_s : Courant de sortie de convertisseur.

I_{sc} : Courant du court-circuit « Short circuit current ».

k : Constante de Boltzmann ($k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$).

L : L'inductance de la bobine.

N : Facteur d'idéalité de la diode.

n_s : Nombre de cellules connectées en série.

n_p : Nombre de cellules connectées en parallèle.

P : La puissance photovoltaïque.

P_{max} : Puissance maximale.

q : Charge de l'électron ($q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$).

Introduction générale

Introduction générale

La plus grande partie de l'énergie consommée actuellement provient de l'utilisation des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore l'énergie nucléaire. Ces ressources deviennent de plus en plus rares, pendant que les demandes énergétiques du monde s'élèvent continuellement. Il est estimé que les réserves mondiales seront épuisées vers 2030 si la consommation n'est pas radicalement modifiée, et au maximum vers 2100 si des efforts sont produits sur la production et la consommation [1]. Etant donné que cette forme d'énergie couvre une grosse partie de la production énergétique actuelle, il s'avère nécessaire de trouver une autre solution pour prendre le relais, la contrainte imposée est d'utiliser une source d'énergie économique et peu polluante car la protection de l'environnement est devenue un point important.

A ce sujet, Les énergies renouvelables, comme l'énergie solaire photovoltaïque, éolienne ou hydraulique,... apparaissent comme des énergies inépuisables et facilement exploitables. Si l'on prend l'exemple du soleil, une surface de 145000km² (4% de la surface des déserts arides) de panneaux photovoltaïques (PV) suffirait à couvrir la totalité des besoins énergétiques mondiaux [2]. En effet, la conception, l'optimisation et la réalisation des systèmes Photovoltaïques sont des problèmes d'actualité puisqu'ils conduisent sûrement à une meilleure exploitation de l'énergie solaire. Pour une installation photovoltaïque, la variation de l'éclairement ou de la charge induit une dégradation de la puissance fournie par le générateur photovoltaïque, en plus ce dernier ne fonctionne plus dans les conditions optimums de température et de rayonnement solaire. Dans ce contexte, de nombreux chercheurs se sont attachés à inventer des systèmes permettant de récupérer toujours le maximum d'énergie : c'est le principe nommé maximum power point tracking (MPPT) qui est l'objet principal de ce mémoire. Afin d'arriver à cette fin, nous utilisons des convertisseurs statiques DC-DC statiques à base de quelques composants électroniques comme la bobine, le condensateur, la résistance, le transistor MOSFET commandé par la technique MLI (modulation à largeur d'impulsion). Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude et l'optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque utilisant ces convertisseurs.

Pour se faire, nous avons tracé le plan de mémoire suivant : Au chapitre 1, nous allons donner des généralités sur le système photovoltaïque, quant au chapitre deux, une analyse mathématique détaillée des différents convertisseurs DC-DC est faite, ainsi que leurs contrôle à base de la commande MLI. Le chapitre 3 est réservé à la partie pratique, par simulation sur Matlab simulink de quelques applications de ces convertisseurs dans des systèmes

Introduction générale

photovoltaïques moyennant deux techniques de suivi de la MPPT à savoir la technique de la conductance incrémentale et la technique de (perturb and observe). Nous clorons enfin ce mémoire par une conclusion et des perspectives.

Chapitre 1

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

I.1. Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie [3]. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque. Le nom Photovoltaïque vient du Grec, il est composé de deux parties :

Photos : Lumière.

Volt : Unité de tension électrique, du nom Alessandro volta.

Ce phénomène fut découvert au 19^{ème} siècle par le physicien [Alexandre Edmond Becquerel]. La Première cellule photovoltaïque fut développée début 1954 pour l'alimentation en énergie des satellites. Depuis 1958, les cellules photovoltaïques alimentent seulement le système énergétique des satellites jusqu'à ses premières applications terrestres au début des années 70. Le photovoltaïque fut utiliser pour l'alimentation en énergie de petites maisons isolées et d'équipements de télécommunications [4]. Aujourd'hui, grâce à sa fiabilité et à son concept respectueux de l'environnement, le photovoltaïque prend une place prépondérante. Pour comprendre ce phénomène, nous avons rappelé dans ce chapitre quelques notions de base sur le rayonnement solaire et les propriétés des semi-conducteurs ; matériaux de base des cellules Photovoltaïques.

Une fois ces rappels théoriques sont faits, il nous sera facile d'expliquer le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque en passant au système photovoltaïque complet et à ses trois types à savoir [5] :

- Les systèmes autonomes,
- Les systèmes connectés au réseau,
- Les systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage PV).

I.2 Définition de l'énergie renouvelable

On considère qu'une énergie est renouvelable, toute source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable (d'où son nom) c'est-à-dire, sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation [6,7].

Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués principalement par le Soleil (l'énergie solaire mais aussi hydraulique, éolienne et biomasse...), la Lune (énergie marémotrice, certains courants : énergie hydrolienne...) et la

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

Terre (géothermique profonde...), à l'échelle de la durée de vie d'humanité. Ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires [6], [8,9].

I.3 L'énergie solaire

La distance de la terre au soleil est environ 150 million de kilomètres et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300000 km/h [10], les rayons du soleil mettent donc environ 8minutes à nous parvenir. La constante solaire est la densité d'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au soleil. Sa valeur est communément prise E_g à 1360W/m². Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduite à 1000 W/ m² à cause de l'absorption dans l'atmosphère. Albert Einstein à découvert en travaillant sur l'effet photoélectrique que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules, les photons. L'énergie d'un photon étant donnée par la relation :

$$E = \frac{(h \cdot C)}{\lambda} \quad (1)$$

H : la constante de p lanck,

C : la vitesse de la lumière.

I.4 Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est la matière première de l'énergie solaire. C'est une propagation d'une onde de longueur qui varie entre 0.2et 4.10-6m. Sans la nécessite d'un support physique pour se déplacer, il arrive au sol après la perte d'une grande partie de son intensité, à cause d'une partie de l'ultraviolet, qui s'absorbent.

I.4.1 Le rayonnement direct

Est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs. Il peut être mesuré par un pyréliomètre.

I.4.2 Le rayonnement diffus

Est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières qui produisent cet (éclatement) des rayons du soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions météorologiques.

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

I.4.3 Le rayonnement solaire réfléchi

Où l'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être portante lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

I.4.4 Le rayonnement global

Est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyromètre ou un Solari mètre sans écran. Les stations météorologiques généralement mesurer le rayonnement global horizontal par un Pyromètre placé horizontalement à l'endroit requis [3].

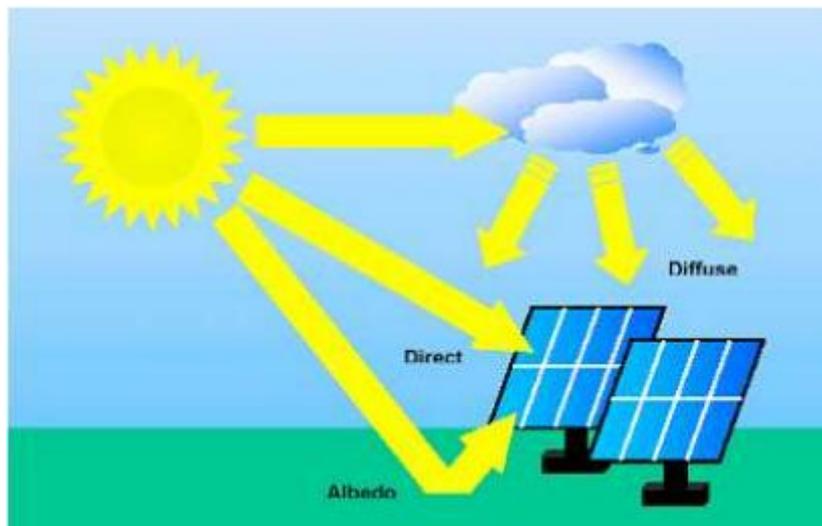


Figure .1. Composante du rayonnement global sur un plan horizontal.

I.5 Description des éléments d'un système photovoltaïque

I.5.1 Cellule photovoltaïque

I.5.2 Historique

IL est important de citer les dates les plus importantes dans l'histoire du photovoltaïque qui Noté :

1839 : Le physicien français [Edmond becquerel] découvre le processus de l'utilisation de L'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'académie des Sciences de Berlin un article sur L'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

1954 : Trois chercheurs américains, Chalmers, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites Alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'université de Delaware.

1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie.

I.5.3 Constitution de la cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photosensible. Son fonctionnement est basé sur les propriétés des matériaux semi-conducteurs. Une cellule est constituée de deux couches minces d'un semi-conducteur qui sont dopées différemment, Figure I.2. Pour la couche N, c'est un apport d'électrons périphériques et pour la couche P c'est un déficit d'électrons, les deux couches présentes ainsi une différence de potentiel. L'énergie des photons lumineux captés par les électrons périphériques (couche N) leur permet de franchir la barrière de potentiel et d'engendrer un courant électrique continu.

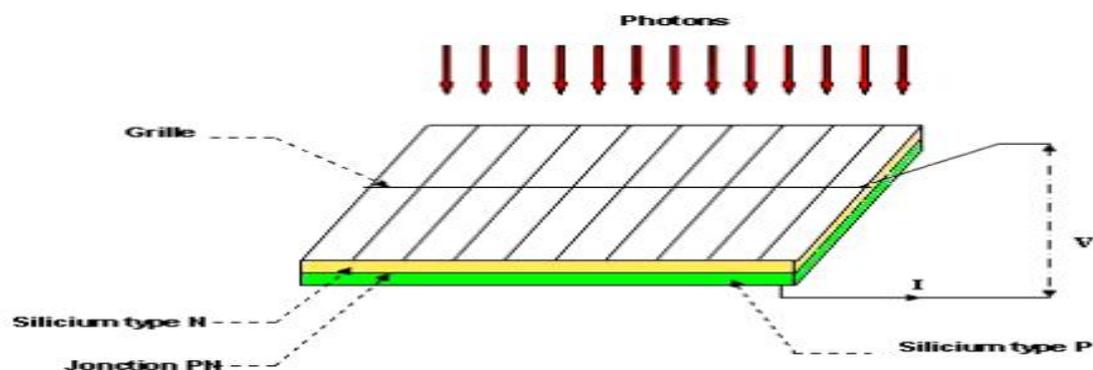


Figure.2. Schéma d'une cellule élémentaire.

Pour effectuer la collecte de ce courant, des électrodes sont déposées par sérigraphie sur les deux couches du semi-conducteur. L'électrode supérieure est une grille permettant le passage

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

des rayons lumineux. Une couche anti reflet est ensuite déposée sur cette électrode afin d'accroître la quantité de lumière absorbée [11,12].

I.5.4 -L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est un processus de transformation de l'énergie émise par le soleil, sous forme de photons, en énergie électrique à l'aide de composant semi-conducteur appelé cellule solaire. 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 [13].

I.5.5 Principe de fonctionnement

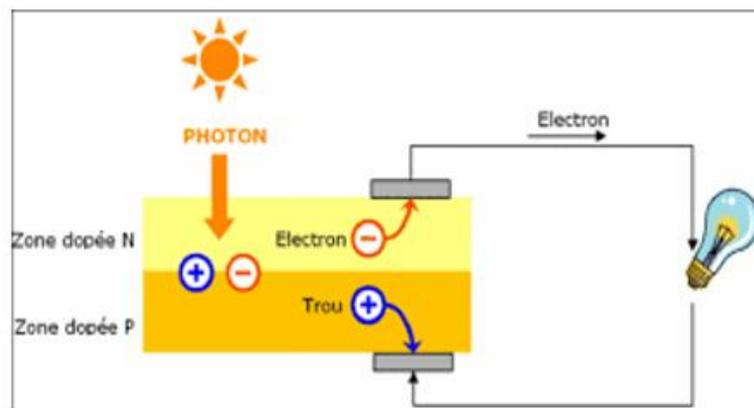


Figure .3. principe de fonctionnement d'une cellule PV.

La cellule photovoltaïque (ou jonction PN) absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique. Le principe de fonctionnement de cette cellule fait appel aux propriétés optoélectroniques et à celles des semi-conducteurs. Dans la zone de déplétion de la cellule photovoltaïque, lorsque l'énergie du rayonnement est supérieure à celle associée à la bande interdite E_g du semi-conducteur, des paires électrons-trous libres sont créées dans cette zone de déplétion. Sous l'effet du champ électrique qui règne dans la zone de déplétion, ces porteurs libres sont drainés vers les contacts métalliques des régions p et n. Il en résulte

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

alors un courant électrique dans la cellule photovoltaïque et une différence de potentiel (de 0.6 à 0.8 Volts) supportée entre les électrodes métalliques de la cellule [13].

I.5.6 Différentes technologies

Il existe différents types de cellules photoélectriques selon la nature et les caractéristiques des matériaux utilisés, ce matériau est découpé en plaques minces, monocristallines ou polycristallines en forme de disque, en fonction du processus de fabrication de la barre de silicium [2].

I.5.6.1 Cellules solaires monocristallines

Les cellules solaires monocristallines sont les photopiles de la première génération élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal, ont généralement une forme carrée, avec des coins arrondis, auparavant, ils avaient une forme circulaire ceci est dû au processus de croissance du cristal de silicium monocristallin qui a une forme cylindrique, il est plus efficace que le silicium polycristallin, a un rendement de 12 à 18%, mais la méthode de production est laborieuse [14].



Figure.4. Cellules solaires monocristallines.

I.5.6.2 Cellules solaires poly cristallines



Figure .5. Cellules solaires poly cristallines.

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

Dans le procédé de fabrication du silicium poly cristalline, on laisse le silicium se solidifier lentement dans un moule rectangulaire et on obtient un solide rectangulaire avec beaucoup de cristaux, ce qui donne naissance aux cellules poly-cristallines. Ce type de cellules a un rendement inférieur à celui des cellules monocristallines de 11 à 15%, mais présente actuellement une forte implantation car elles ont un coût économique inférieur à celui des cellules monocristallines.

L'avantage de ces cellules par rapport au silicium monocristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication et une durée de vie estimée à 30ans [15]. La figure suivante représente la cellule solaire poly cristalline.

I.6 Rendement photovoltaïque

Le rendement énergétique (η) d'une cellule est défini par le rapport entre la puissance maximale (P_m) et la puissance du rayonnement solaire qui arrive sur la cellule photovoltaïque :

$$\eta = \frac{P_m}{E \cdot S} \quad (2)$$

Avec :

η : rendement énergétique,

E : éclairement (W/m^2),

S : surface active de la cellule (m^2) [16].

I.7 Générateur photovoltaïque

La puissance produite par une cellule photovoltaïque seule est très faible, elle ne peut pas faire fonctionner le matériel électrique usuel. Il est donc nécessaire d'associer plusieurs de ces cellules en série et en parallèle pour obtenir les caractéristiques électriques désirées.

L'association de plusieurs cellules photovoltaïques en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque. Si les cellules se connectent en série, les tensions de chaque cellule s'additionnent, augmentant la tension totale du générateur. D'une autre part, si les cellules se connectent en parallèle, c'est l'ampérage qui augmentera. Si on associe ns cellules en série et np branches en parallèle on obtient un générateur (module) photovoltaïque avec un courant de court-circuit np fois plus important que celui de la cellule élémentaire, et une tension de

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

circuit ouvert n_s fois plus élevée que celle de la cellule seule. Cependant, des conditions doivent être respectées pour qu'une telle association soit possible :

- ❖ Les caractéristiques des cellules élémentaires doivent être les plus proches possibles.
- ❖ Elles doivent être soumises aux mêmes conditions de température et d'ensoleillement.

Si ces règles ne sont pas respectées, certaines cellules vont se comporter comme des récepteurs, ce qui entraînera une augmentation de la température, et peut être, une détérioration du module photovoltaïque [17].

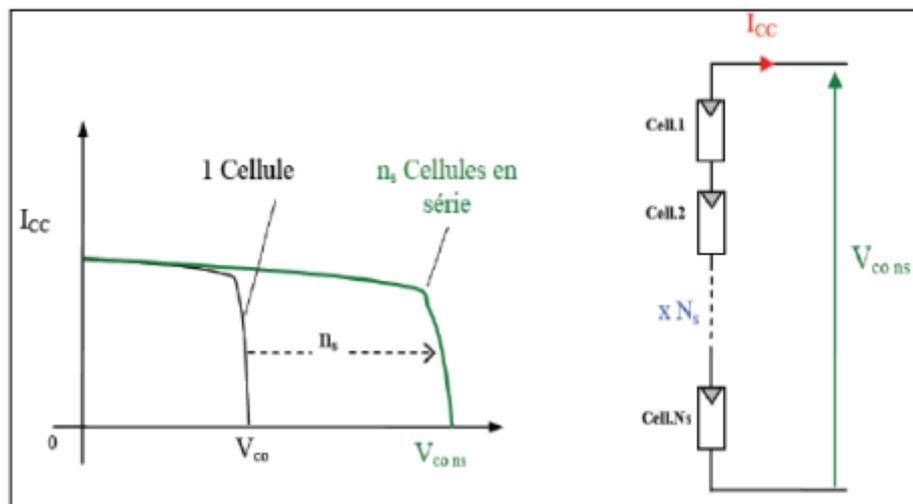


Figure.6. Association en série des cellules photovoltaïques.

-Association des cellules photovoltaïques

Afin d'adapter la source à la charge du point de vue puissance nous utilisons les montages série et parallèle des cellules PV.

-Association en série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. La figure montre la caractéristique résultante (I_{CS} , V_{CS}) obtenue en associant en série N_S cellules identiques (I_C , V_C) [18].

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 [18].

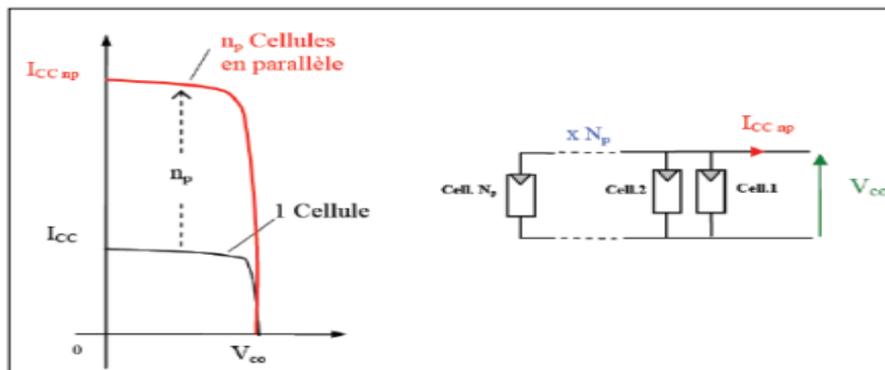


Figure.7. Association en parallèle des cellules photovoltaïques.

I.8 Les avantages et les inconvénients d'une cellule PV

I.8.1 Les avantages

- Haute fiabilité, pas de pièce mobile.
- Entretien réduit, peu ou pas cout de fonctionnement.

I.8.2 Les inconvénients

- Cout de fabrication élevé.
- Fonctionnement par intermittence dépend de l'ensoleillement.
- Rendement faible [13].

I.9 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

La modélisation des cellules photovoltaïques passe nécessairement par un choix judicieux des circuits électriques équivalents. Pour développer un circuit équivalent précis pour une cellule PV, il est nécessaire de comprendre la configuration physique des éléments de la cellule aussi bien que les caractéristiques électriques de chaque élément, en prenant plus ou moins de détails. Selon cette philosophie, plusieurs modèles mathématiques sont développés pour représenter un comportement fortement non linéaire, résultant de celui des jonctions semi-conductrices qui sont à la base de leurs réalisations. Ces modèles se différencient entre eux par les procédures mathématiques et le nombre de paramètres intervenant dans le calcul de la tension et du courant du module photovoltaïque [13].

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

I.9.1 Cellule photovoltaïque réelle

Le modèle d'une cellule photovoltaïque précédent ne rendait pas compte de tous les phénomènes présents lors de la conversion d'énergie lumineuse. En effet, dans le cas réel, on observe une perte de tension en sortie ainsi que des courants de fuite. On modélise donc cette perte de tension par une résistance en série R_c et les courants de fuite par une résistance en parallèle R_p .

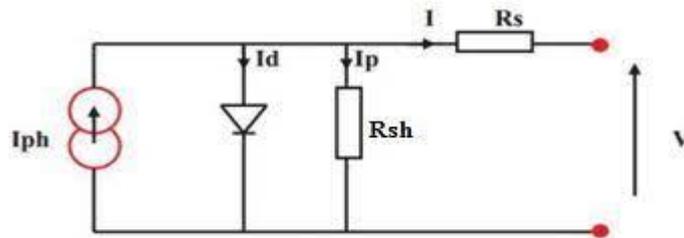


Figure .8. Schéma d'une Cellule photovoltaïque réelle.

I.9.2 Cellule photovoltaïque idéale

La photopile est un composant semi-conducteur qui délivre un courant en excitant ce dernier par des photons, donc en première approximation on a une source de courant I_{ph} , proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode qui correspond à l'aire de transition p-n de la cellule PV [13].

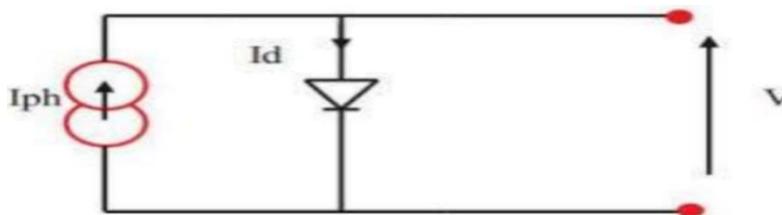


Figure .9. Schéma d'une Cellule photovoltaïque idéal.

I.10 Les caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

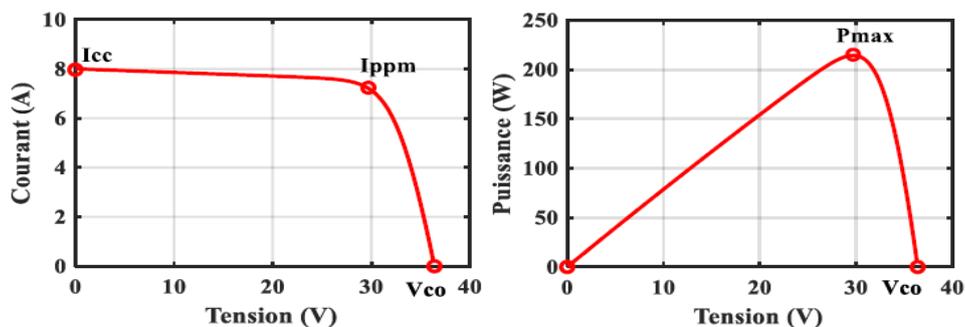


Figure .10. L'influence des différents paramètres sur les caractéristiques électriques.

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

En présence du soleil, les cellules produisent un courant I et une tension U . Le produit de ces deux grandeurs donne une puissance P , exprimée en Watt (W). Illustre les caractéristiques courant-tension, puissance-tension d'une cellule PV.

I.10.1 Influence de l'éclairement

La puissance délivrée par un générateur PV dépend de l'irradiation qu'il reçoit, l'augmentation du flux lumineux fait accroître le courant de court-circuit I_{sc} , ainsi que la puissance maximale, comme le montre la figure I.11.

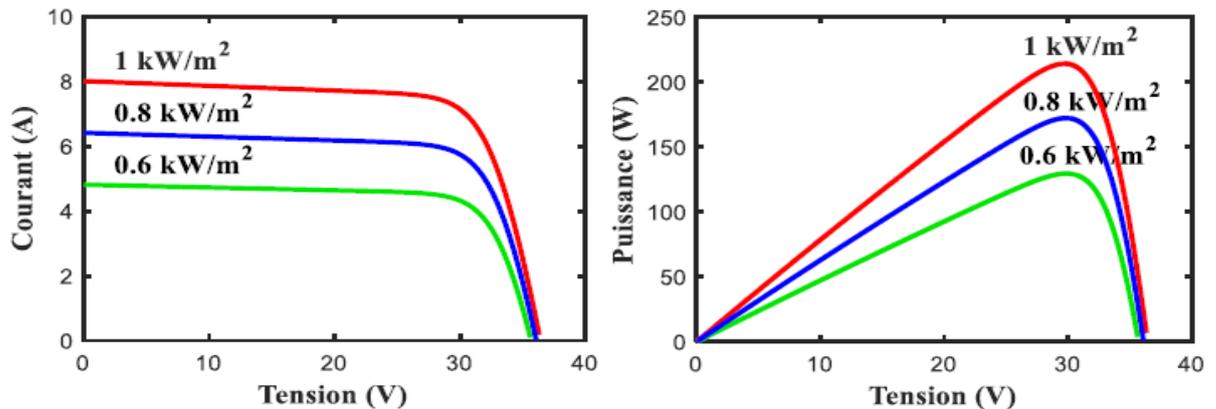


Figure .11. Influence de l'éclairement sur la caractéristique I-V et P-V.

I.10.2 Influence de la température

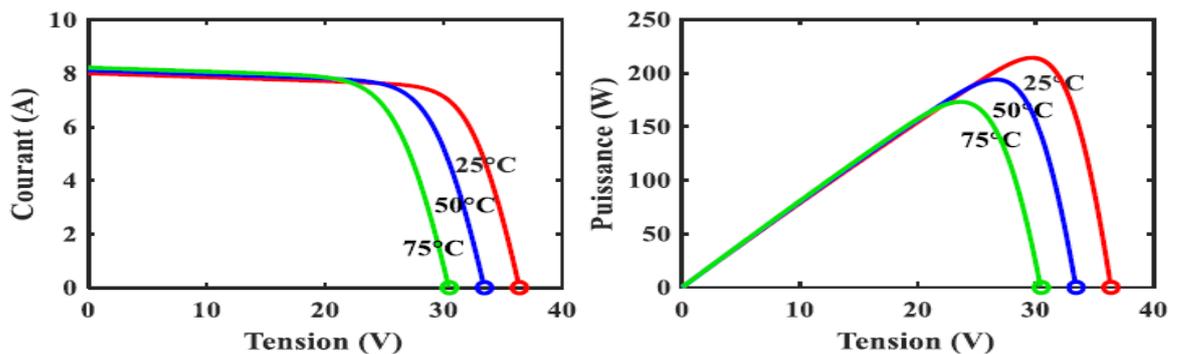


Figure .12. Influence de la température sur la caractéristique I-V et P-V.

La température est un paramètre important dans le comportement des cellules. La figure I.12 montre que l'augmentation de la température entraîne une diminution nette de la tension de circuit ouvert, ainsi qu'une diminution de la puissance maximale.

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

I.11 Le modèle d'une cellule photovoltaïque

Plusieurs modèles ont été proposés mais le plus couramment utilisé est le modèle à une-diode. Il correspond à un générateur de courant en parallèle avec une diode (Figure I.13), on modélise également les chutes ohmiques et les courants de fuite par deux résistances [19] : Une résistance « shunt » en parallèle (R_{sh}) modélise les courants de fuite dus aux effets de bord de la jonction PN en (Ω). Une résistance en série (R_s) modélise les pertes aux contacts et connexions, en (Ω). La source de courant (I_{ph}) modélise la conversion du rayonnement solaire en énergie électrique, en (A). La diode modélise la jonction P-N

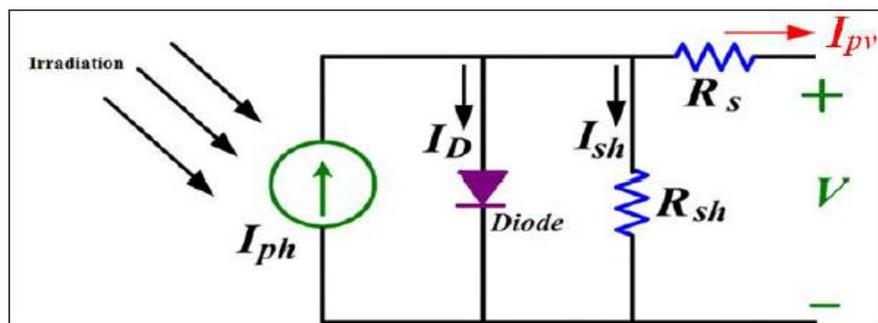


Figure .13. Circuit équivalent d'une cellule PV réelle.

Le courant délivré par la cellule PV a pour expression

$$I_{pv} = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (3)$$

I_D : est le courant traversant la diode.

I_{sh} : est le courant dérivé par la résistance shunt.

I_{ph} : le photo-courant.

V : la tension aux bornes de la cellule.

I.12 -module photovoltaïque

La cellule PV élémentaire constitue un générateur de très faible puissance vis-à-vis des besoins de la plupart des applications domestique ou industrielles. Une cellule élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés, délivre au maximum, quelques watts sous une tension inférieure au volt (tension de jonction PN). Pour produire plus de puissance, plusieurs cellules doivent être assemblées afin de créer un module ou un panneau PV. En effet, les modules PV sont composés d'un ensemble de cellules mises en série, réalisant la conversion proprement dite de la lumière du soleil en électricité. Ils sont eux-mêmes associés en série et

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

parallèle pour former un champ photovoltaïque d'une puissance crête définie selon des conduction spécifiques d'éclairement, de température et de spectre solaire. La plupart des modules commercialisés sont constitués de deux à quatre réseaux de cellules en silicium cristallins connectés en série.

Les modules PV assurant les fonctions suivantes :

- Protection des cellules contre les agents atmosphériques.
- Protection mécanique et support.
- Connexion électrique entre cellules et avec l'extérieur [20].

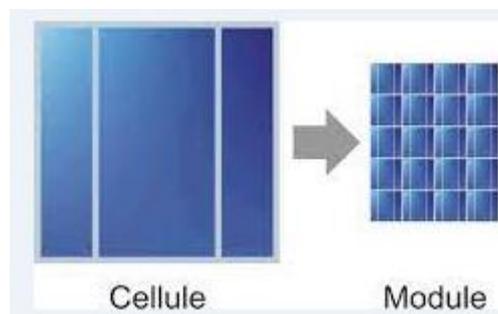


Figure .14. Module photovoltaïque.

I.13 Panneaux photovoltaïques

Un panneau solaire est un dispositif pour tirer une partie de l'énergie solaire, il est constitué d'un ensemble de modules photovoltaïques interconnectés, intégrés et protégés, conçu pour l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque. Il est chargé de transformer directement l'énergie du rayonnement solaire en électricité.



Figure .15. Panneaux solaires.

La cellule solaire est seulement capable de générer une tension de quelques dixièmes de volt (+/- 0,5 V) et une puissance maximale de 1 ou 2 Watts puis le module qui produit de l'ordre

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

de (100W) Par conséquent, il est nécessaire de connecter en série plusieurs modules qui se comportent comme des générateurs de courant pour atteindre des tensions de 624 V, acceptées dans de nombreuses applications domestiques et commerciales. Les panneaux les plus courants ont une puissance crête de 40 à 180 Wc (Watt crête) et Sa durée de vie utile est estimée à 25 ans. La figure représente des panneaux solaires [21].

I.14 Champ photovoltaïque

Afin d'obtenir la tension nécessaire à l'onduleur, plusieurs panneaux photovoltaïques sont connectés en série. Ils forment alors une chaîne de modules ou string.

Les chaînes sont ensuite associées en parallèle et forment un champ photovoltaïque (champ PV). La figure suivante représente la constitution d'un champ photovoltaïque [21].



Figure .16. Champ solaire.

I.15 Avantages et Inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque

I.15.1 Avantages

Les avantages de l'énergie solaire dépendent de différents facteurs. Selon les caractéristiques de l'installation solaire, certains avantages peuvent être observés par rapport à d'autres sources d'énergie.

- Les installations photovoltaïques sont en général de haute fiabilité, et leur montage d'installation très simple et adaptable aux besoins de chaque projet
- L'énergie solaire est une énergie renouvelable et, par conséquent, elle est inépuisable, bien que le soleil ait une durée de vie limitée, à l'échelle humaine, il est considéré comme une source d'énergie inépuisable.
- Faible pollution et respect de l'environnement, la production d'électricité dans le cas de l'énergie photovoltaïque ou de l'eau chaude dans l'énergie thermique est propre et la serre de causes .

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

- Installations avec un coût d'installation et de maintenance réduit tel que le coût d'une installation solaire par rapport à d'autres types d'installations telles qu'une centrale nucléaire est très faible. De même, la maintenance d'une installation solaire n'est pas très coûteuse.
- C'est favorable pour les sites isolés, dans les cas où l'accès au réseau électrique est difficile, l'énergie solaire est une très bonne option.
- Le silicium, est un matériau utilisé dans les panneaux solaires actuels les plus répandus, est très abondant et n'est pas toxique.

I.15.2 Inconvénients

Selon les caractéristiques de l'installation solaire, les inconvénients de l'énergie solaire seront plus ou moins importants. Malgré tous les avantages, il convient d'analyser soigneusement les inconvénients. Certains inconvénients de l'énergie solaire peuvent impliquer qu'une installation solaire soit inefficace. Les aspects à considérer sont les suivants :

- L'efficacité énergétique est faible par rapport à d'autres sources d'énergie. Le rapport de la quantité d'énergie reçue dans un panneau solaire à la quantité d'énergie électrique est faible par rapport à d'autres sources d'énergie telles que l'énergie nucléaire.
- Le coût économique comparé à d'autres options. En particulier dans l'énergie solaire thermique, profitant des propriétés de la température et de la thermodynamique, la performance est supérieure à l'énergie photovoltaïque.
- La performance est fonction de la météo. La dépendance à la climatologie fait de cette source d'énergie une option irréalisable dans les zones où le ciel est habituellement nuageux.
- Le niveau de production d'électricité n'est pas stable et pas prévisible mais dépend du niveau d'ensoleillement. De plus y'a aucune production d'électricité le soir et la nuit.
- La variation de l'inclinaison de la radiation influence la performance des panneaux solaires.
- les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles et de l'ordre de 20% donc l'énergie photovoltaïque convient pour des projets à faible besoin[22,23] .

I.16 Installations électriques photovoltaïques

I.16.1 Installations électriques photovoltaïques autonomes

Autonomes ou « stand-alone » en site isolé le champ photovoltaïque peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipement domestique). Un système de régulation et une batterie

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

d'accumulateurs permettent de stocker l'énergie électrique en l'absence de soleil. Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous une forme chimique [24].

Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques. Le régulateur de charge a pour fonction principale de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes. Il est un élément essentiel pour la durée de vie de la batterie.

La majorité des populations à l'écart des réseaux électriques vit dans des zones rurales, où l'implantation de tels réseaux est difficile, pour des raisons d'accès ou de moyens.

Les systèmes photovoltaïques constituent alors une option intéressante, ils donnent aux populations un accès à l'électricité avec un coût, une maintenance et des difficultés de mise en oeuvre réduits.

En site isolé on peut utiliser des récepteurs fonctionnant en courant alternatif, dans ce cas, l'installation comprendra un onduleur [22].

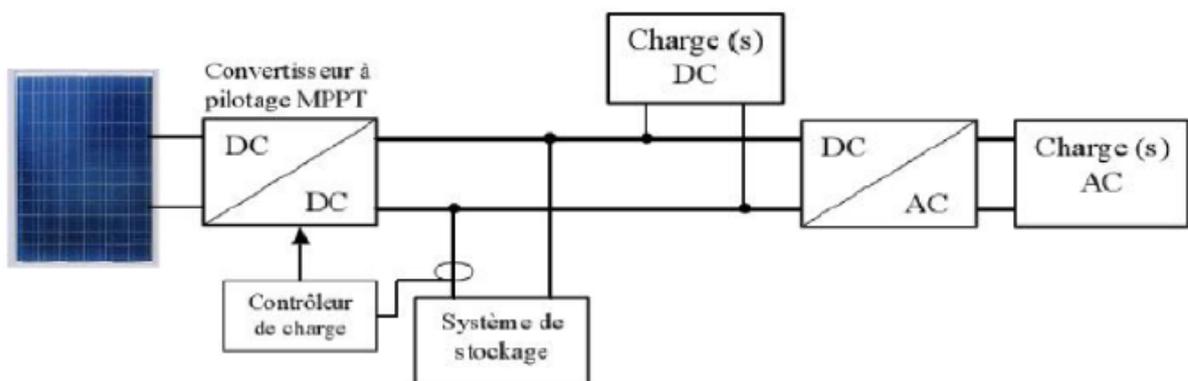


Figure .17. Système photovoltaïque autonome.

I.16.2 Installations électriques photovoltaïques raccordées au réseau

Les systèmes photovoltaïques connectés au réseau sont l'une des applications les plus récentes et les plus novateurs de systèmes photovoltaïques, cette application comprend l'installation d'un capteur photovoltaïque et un inverseur capable de transformer l'énergie fournie par les panneaux photovoltaïques et injecté dans le réseau.

Le coût par kWh produit est généralement plus élevé que l'énergie produite par d'autres systèmes de production d'énergie. Par conséquent, pour assurer la viabilité économique de ces

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

systèmes, le pays doit avoir une réglementation juridique et des lignes d'aide économique pour compenser le coût plus élevé par kWh produit la figure suivante illustre un système photovoltaïque raccordé au réseau [24] .

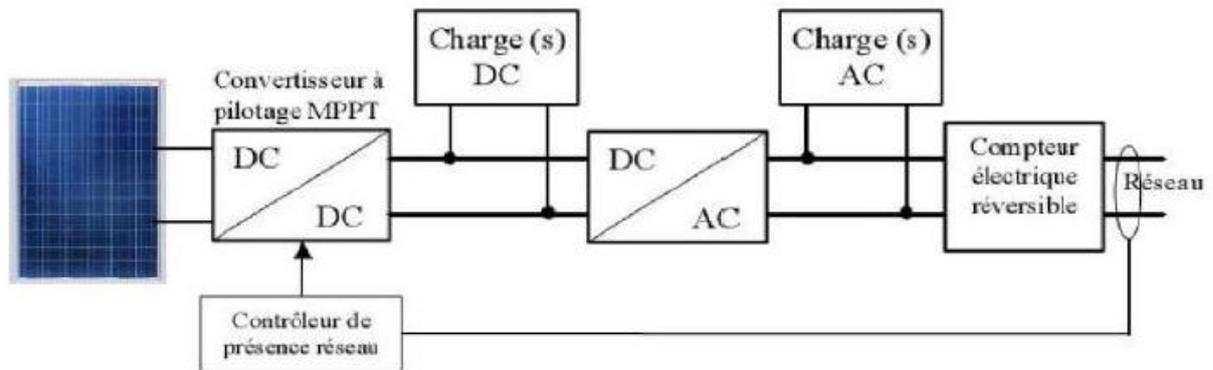


Figure .18 . Système photovoltaïque raccordé au réseau.

I.17 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait des descriptions générales sur l'énergie photovoltaïque (l'énergie solaire, le rayonnement solaire et on a étudié le principe de l'effet photovoltaïque). Courant le chapitre suivant nous allons étudier les différents convertisseurs DC-DC utilisés dans les systèmes photovoltaïques , ainsi que leurs développements mathématiques .

Chapitre 2

Chapitre II : Les différents types de convertisseurs DC-DC

II.1 Introduction

Un générateur photovoltaïque (GPV) présente des caractéristiques (I-V) non linéaires qui admettent un seul point de fonctionnement optimal dans les conditions homogènes d'éclairement et de température. Une adaptation d'impédance s'impose et cela peut se faire par un couplage direct d'une charge adaptée ou en insérant entre le GPV et la charge électrique un dispositif électronique. Ce dispositif n'est autre qu'un convertisseur statique muni d'une commande de poursuite du PPM. Dans le but de concevoir une interface de puissance plus performante, une étude détaillée est faite sur les convertisseurs statiques DC-DC non isolés en mode de conduction continu. La conception d'un étage d'adaptation muni d'un algorithme MPPT permet d'optimiser la conversion énergétique et de relier aisément un GPV à sa charge. Dans ce chapitre, on s'intéresse à l'étude des convertisseurs DC/DC comme étage de conversion d'énergie, on présentera également quelques techniques MPPT existantes qui permettent de faire fonctionner le GPV à sa puissance maximale [25].

II.2 Types de connexion : GPV- charge

L'adaptation d'impédance entre un GPV et une charge DC est un problème technologique que signifie essentiellement le transfert du maximum de puissance possible depuis le GPV à la charge. Et selon la nature de connexion (directe ou indirecte) entre les deux entités (source PV et charge DC) nous pouvons discerner un très fort écart entre la puissance potentielle du GPV et celle réellement transférée à la charge [26].

II.2.1 Connexion directe GPV-charge

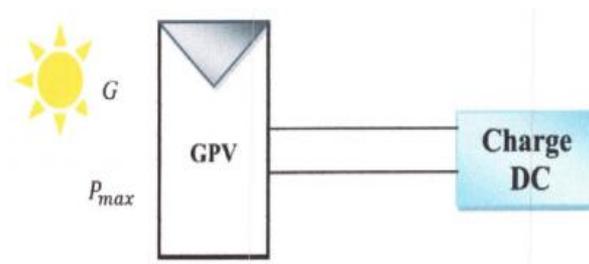


Figure .1. Connexion directe d'un GPV-charge.

Il reste encore beaucoup d'applications où une connexion directe entre un GPV et une charge est effectuée. Ce choix est principalement lié à la simplicité de l'opération et le très haut degré

Chapitre II : Les différents types de convertisseurs DC-DC

de fiabilité, dû fondamentalement à l'absence d'électronique, sans parler d'un faible coût. La **Figure.1.** montre ce cas de connexion.

L'inconvénient de ce type de connexion est que 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.2.**

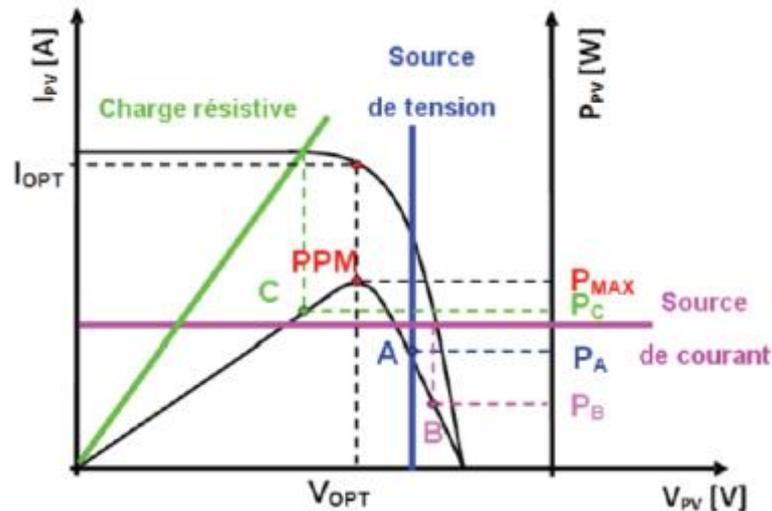


Figure.2. Points de fonctionnement d'un GPV en connexion directe, en fonction de la charge.

Comme le montre la **Figure.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.

II.2.2 Connexion indirecte

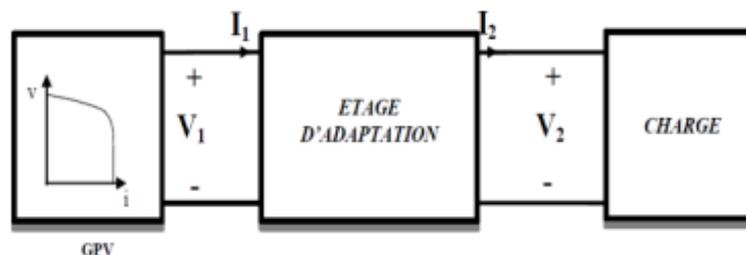


Figure.3. Connexion d'un GPV à une charge à travers un étage d'adaptation.

Chapitre II : Les différents types de convertisseurs DC-DC

Comme nous l'avons vu précédemment, un GPV présente des caractéristiques $I(V)$ non linéaires avec des points de puissance maximale. Ces caractéristiques dépendent aussi du niveau d'éclairement et de la température de la cellule. En plus, d'après la **Figure .1.**, la valeur de la puissance nominale délivrée par le GPV diffère beaucoup de celle réellement transférée à la charge. Il est donc nécessaire d'utiliser un étage d'adaptation entre le GPV et la charge comme décrit dans la **Figure.3.** Pour extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV et de le transférer à la charge. Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur à l'aide d'un système de contrôle utilisé à cet effet. Dans notre cas l'étage d'adaptation qui nous concerne est le convertisseur DC-DC.

II.3. Convertisseurs DC/DC

Les hacheurs sont des convertisseurs de type continu-continu permettant de contrôler la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé. L'hacheur se compose de condensateurs, d'inductance et de commutateurs. Dans le cas idéal, tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance active, c'est la raison pour laquelle qu'on a de bons rendements pour les hacheurs [27].

II.3.1. Hacheur dévolteur (Buck)

Un convertisseur Buck, ou hacheur série, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur, Ce type de convertisseur est utilisé pour des applications que l'on peut classer en deux catégories :

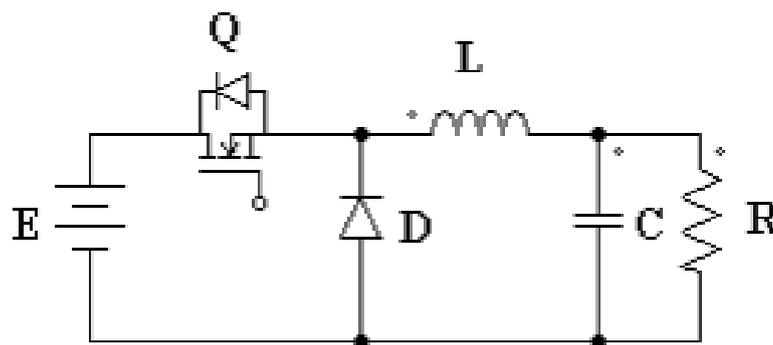


Figure.4. Convertisseur dévolteur (Buck) réel.

- Les applications visant à obtenir une tension continue fixe (et parfois régulée) à partir d'un générateur de tension continue supérieure.

Chapitre II : Les différents types de convertisseurs DC-DC

- Les applications permettant d'obtenir une tension réglable mais toujours inférieure à celle présente à l'entrée [28]. La **Figure.4.** présente le schéma de principe du convertisseur dévolteur.

II.3.1.1 Principe de fonctionnement

Dans l'état passant, l'interrupteur K (voir **Figure.4.**) est fermé, la tension aux limites de l'inductance vaut $V_L = V_e - V_s$. Le courant traversant l'inductance augmente linéairement. La tension aux limites de la diode étant négative, aucun courant ne la traverse.

- Dans l'état bloqué, l'interrupteur est ouvert. La diode devient passante afin d'assurer la continuité du courant dans l'inductance. La tension aux limites de l'inductance vaut $V_L = -V_s$. Le courant traversant l'inductance décroît. [25]

II.3.1.2 Les formes d'ondes du courant et de la tension

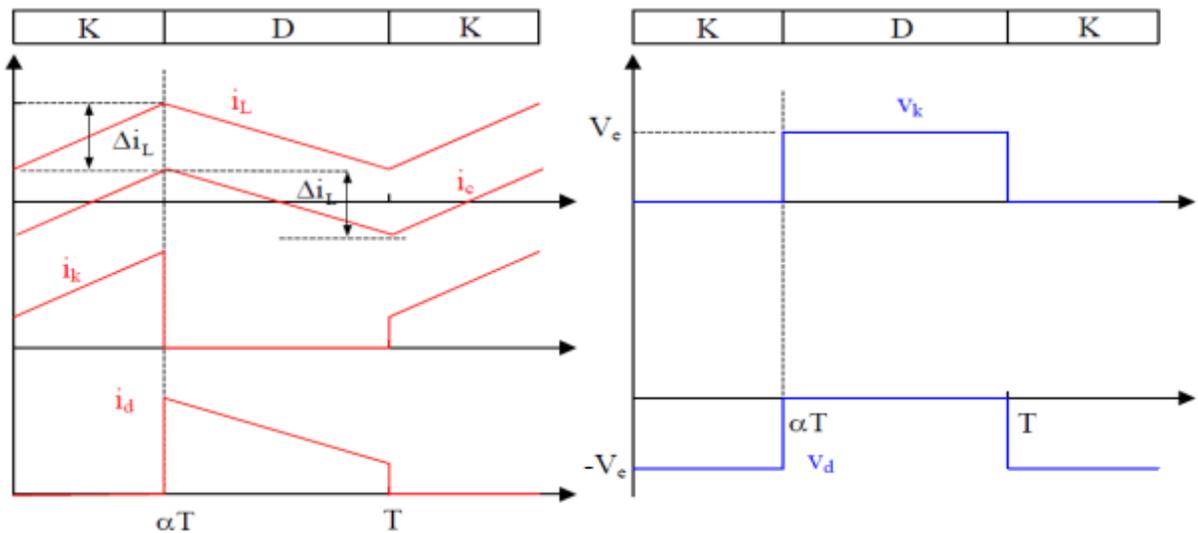


Figure.5. Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Buck

La tension de sortie en valeur moyenne, l'ondulation de courant dans l'inductance et l'ondulation de la tension de sortie sont donnés respectivement par :

$$V_s = \alpha \cdot V_e \tag{1}$$

$$\Delta i_L = \frac{\alpha(1 - \alpha)V_e}{L_f} \tag{2}$$

$$\Delta v_s = \frac{\Delta i_L}{8C_f} = \frac{\alpha(1-\alpha)V_e}{8CLf^2} \quad (3)$$

Le convertisseur est donc abaisseur en tension.

Le courant moyen traversant l'inductance est égal au courant moyen dans la charge :

$$i_L = i$$

II.3.2 Hacheur survolteur (Boost)

Un convertisseur Boost est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur. On utilise un convertisseur Boost lorsqu'on désire augmenter la tension disponible d'une source continue [28]. Son schéma de principe de base est celui de la **Figure.5**.

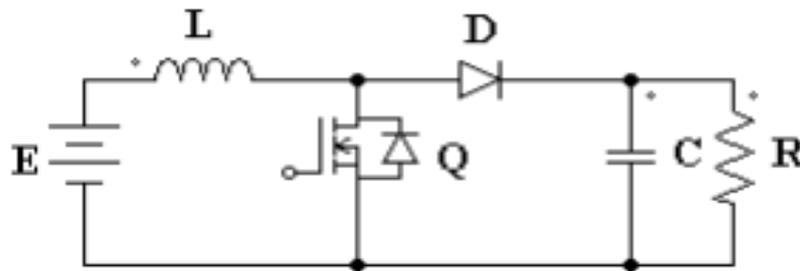


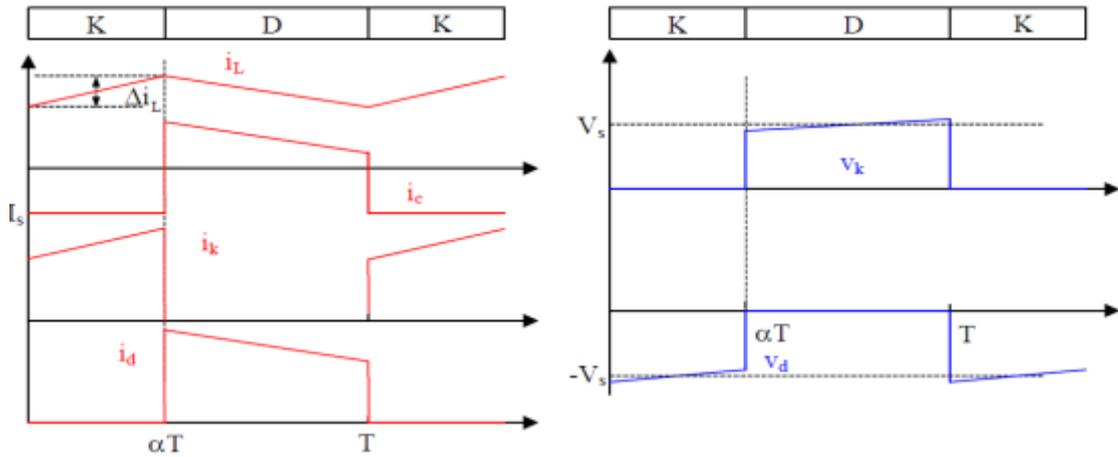
Figure.6. Convertisseur Boost.

II.3.2.1 Principe de fonctionnement

Il peut être divisé en deux phases, suivant l'état de l'interrupteur **Figure.6** :

- Une phase d'accumulation d'énergie : l'interrupteur est fermé (état passant), le courant dans l'inductance augmente, une quantité d'énergie est alors stockée sous forme d'énergie magnétique.
- Une phase où l'interrupteur est ouvert : l'inductance se trouve en série avec le générateur. La fem de l'inductance s'ajoute à celle du générateur, ce qui donne un effet survolteur. Le courant traversant l'inductance traverse ensuite la diode, le condensateur et la charge. L'énergie accumulée dans l'inductance est transférée vers la charge [25].

II.3.2.2 Les formes d'ondes du courant et de la tension



Lorsque l'interrupteur K est fermé ($0 < t < \alpha T$), le circuit du convertisseur devient :

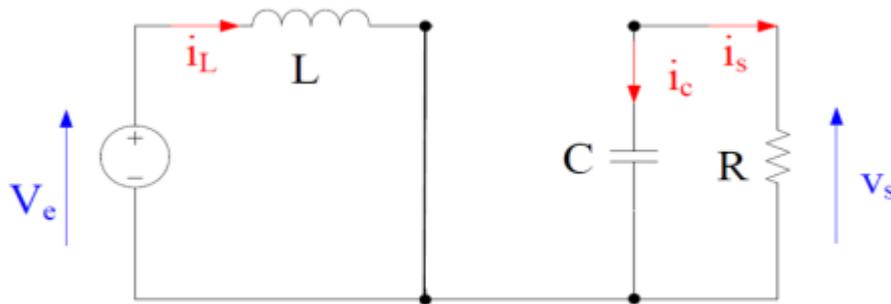


Figure.8. Circuit équivalent du Boost quand l'interrupteur est fermé

$$V_e = L \frac{di_L}{dt} \quad (4)$$

$$i_L = I_{\min} + \frac{V_e}{L} t \quad (5)$$

$$C \frac{dV_s}{dt} = -i_s \quad (6)$$

Avec I_{\min} : la valeur minimale du courant dans l'inductance

A l'instant ($t = \alpha T$), le courant dans l'inductance atteint sa valeur maximale I_{\max}

$$I_{\max} = I_{\min} + \frac{V_e}{L} \alpha T \quad (7)$$

Chapitre II : Les différents types de convertisseurs DC-DC

Lorsque l'interrupteur K est ouvert ($\alpha T < t < T$), le circuit du convertisseur devient

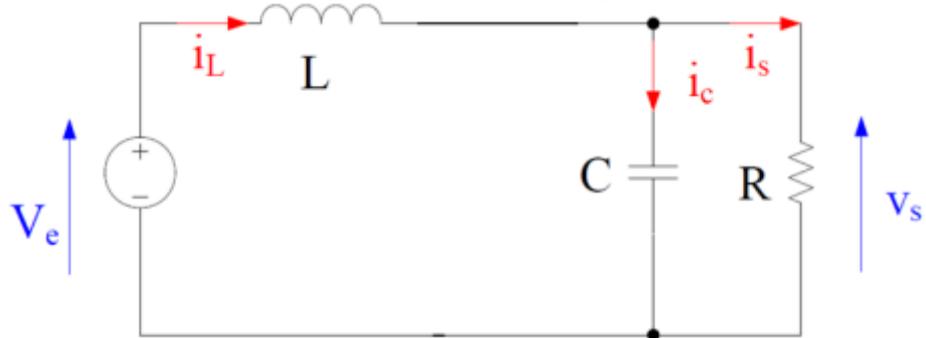


Figure.9. Circuit équivalent du Boost quand l'interrupteur est ouvert.

$$L \frac{di_L}{dt} = V_e - V_s \quad (8)$$

$$i_L = I_{\max} + \frac{V_e - V_s}{L} (t - \alpha T) \quad (9)$$

A l'instant ($t=T$) le courant dans l'inductance revient à sa valeur minimale I_{\min}

$$I_{\min} = I_{\max} + \frac{V_e - V_s}{L} (1 - \alpha)T \quad (10)$$

En faisant l'égalité des valeurs de l'ondulation du courant tirées des équations (4 et 7), on peut déduire la valeur moyenne de la tension de sortie V_s :

$$V_s = \frac{1}{1 - \alpha} V_e \quad (11)$$

Si l'on admet que la puissance de sortie est égale à celle de l'entrée (convertisseur sans pertes), le courant de sortie I_s et le courant à l'entrée I_L sont liés par l'équation :

$$I_s = (1 - \alpha)I_L \quad (12)$$

Chapitre II : Les différents types de convertisseurs DC-DC

L'ondulation de courant dans l'inductance et l'ondulation de la tension de sortie

$$\Delta i = \frac{\alpha V_e}{Lf} \quad (13)$$

$$\Delta V_s = \frac{\alpha I_s}{C} T = \frac{\alpha V_e}{(1 - \alpha)RCf} \quad (14)$$

Avec f : la fréquence de découpage.

II.3.3. Hacheur dévolteur-survolteur (Buck-Boost)

Un convertisseur Buck-Boost est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible ou plus grande valeur mais de polarité inverse. Un inconvénient de ce convertisseur est que son interrupteur ne possède pas de borne reliée à la masse, compliquant ainsi sa commande [28]. La **Figure.6**. Présente le schéma de principe du convertisseur Buck-Boost.

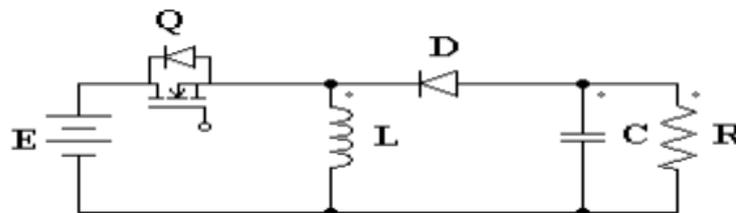


Figure.10. Convertisseur Buck-Boost.

II.3.3.1 Principe de fonctionnement

- Dans l'état passant, l'interrupteur k est fermé, conduisant ainsi à une augmentation de l'énergie stockée dans l'inductance.
- Dans l'état bloqué, l'interrupteur k est ouvert. L'inductance est reliée à la charge ainsi qu'à la capacité. Il en résulte un transfert de l'énergie accumulée dans l'inductance vers la capacité et la charge.

II.3.3.2 Les formes d'ondes du courant et de la tension

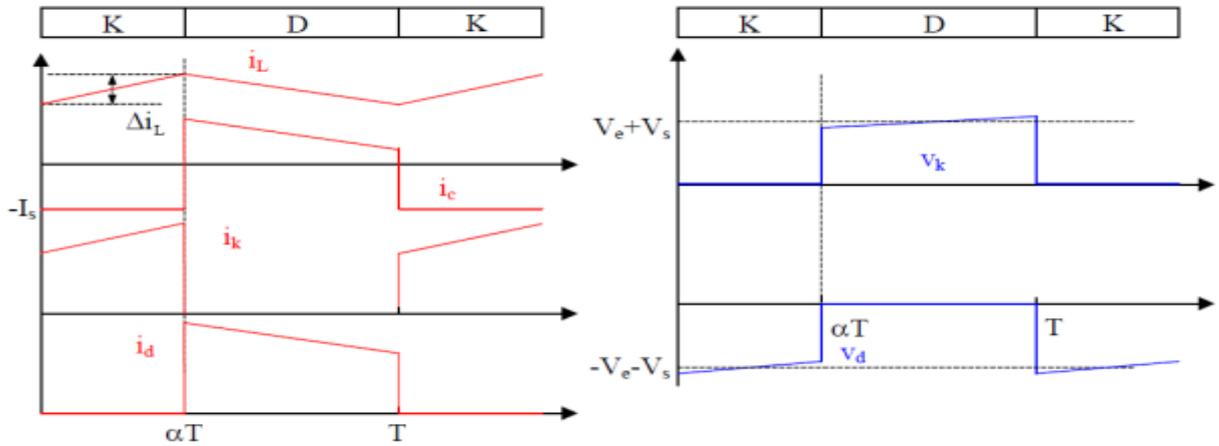


Figure.11. Formes d'ondes du convertisseur Buck-Boost.

La tension de sortie en valeur moyenne, l'ondulation de courant dans l'inductance et l'ondulation de la tension de sortie sont donnés respectivement par:

$$V_s = \frac{\alpha}{1 - \alpha} V_e \quad (15)$$

$$\Delta i_L = \frac{\alpha V_e}{L_f} \quad (16)$$

$$\Delta V_s = \frac{\alpha I_s}{C_f} = \frac{\alpha^2 V_e}{(1 - \alpha) R C_f} \quad (17)$$

La tension de sortie du convertisseur Buck-Boost est négative par rapport à la tension d'entrée. Son amplitude peut être supérieure ou inférieure à celle de la tension d'entrée selon la valeur du rapport cyclique. C'est un abaisseur-élévateur-inverseur en tension. Le courant moyen traversant l'inductance est donné par :

$$I_l = \frac{I_s}{1 - \alpha} \quad (18)$$

II.4 Recherche du point de puissance maximale (MPPT)

II.4.1 Principe de fonctionnement

Pour que le système photovoltaïque fonctionne à des points de puissance maximums de leurs caractéristiques, il existe des lois de commande spécifiques qui répondent à ce besoin. Cette commande est nommée dans la littérature « Recherche du Point de Puissance Maximum » ou « Maximum Power Point Tracking » en Anglais (MPPT). Le principe de ces commandes est de chercher le point de puissance maximale (PPM) en gardant une bonne adaptation entre le générateur et sa charge pour assurer le transfert de la puissance maximale. La **Figure.7.** Représente une chaîne de conversion photovoltaïque élémentaire associée à une commande MPPT. La commande MPPT est associée à un convertisseur statique permettant de faire une adaptation entre le GPV et la charge de telle sorte que la puissance générée correspond à sa valeur maximale et qu'elle soit transférée directement à la charge [28].

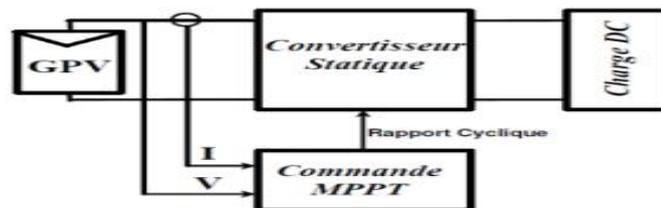


Figure.12. Chaîne de conversion photovoltaïque avec convertisseur statique contrôlé par une commande MPPT.

II.4.2 Les techniques de commandes MPPT

Il existe de nombreuses méthodes et techniques de commande MPPT disponibles dans la littérature dont on cite deux méthodes classiques : Perturbe and Observe (P&O), l'incrémentation de conductance [30].

II.4.2.1. La méthode Perturbe & Observe (P&O)

Le principe des commandes MPPT de type P&O consiste à perturber la tension V_{PV} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance P_{PV} qui en résulte. Ainsi, comme l'illustre la **Figure.7.**, on peut déduire que si une incrément positive de la tension V_{PV} engendre un accroissement de la puissance P_{PV} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $P_{PV}(V_{PV})$, il est alors facile de

Chapitre II : Les différents types de convertisseurs DC-DC

situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande [31].

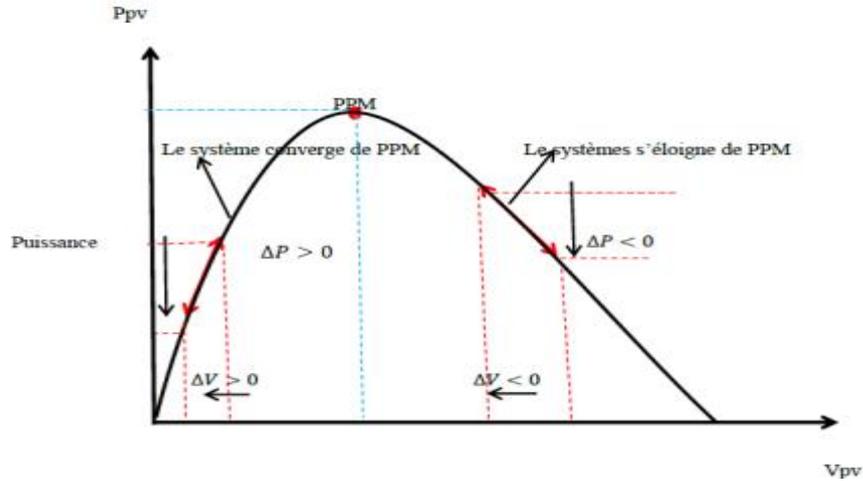


Figure.13. Schéma de convergence vers le PPM par P&O.

La **Figure.13.** Représente l'organigramme de l'algorithme P&O.

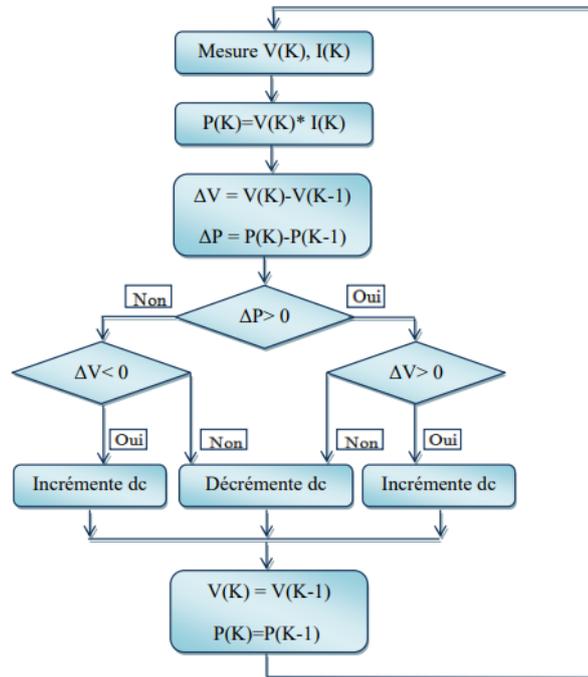


Figure.14. L'organigramme de l'algorithme P&O.

II.4.2.2 La méthode Incrémentation des conductances

Cette technique est basée sur la variation de la conductance du GPV et son influence sur la position du point de fonctionnement. La conductance et la variation élémentaire de la conductance (incrément) du module photovoltaïque sont définies respectivement par :

$$G = \frac{I_{pv}}{V_{pv}} \quad (19)$$

$$dG = \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \quad (20)$$

La caractéristique puissance-tension du GPV, permet d'écrire les conditions suivantes :

Si $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} > 0$ le point de fonctionnement est à gauche du PPM.

Si $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} < 0$ le point de fonctionnement est sur la droite du PPM.

Si $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = 0$ le point de fonctionnement est sur le PPM.

En utilisant la relation (II.33), la dérivée de la puissance peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = \frac{d(V_{pv} \cdot I_{pv})}{dV_{pv}} = I_{pv} \cdot \frac{dV_{pv}}{dV_{pv}} + V_{pv} \cdot \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} = I_{pv} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \quad (21)$$

On peut donc avoir d'autres conditions sur la variation de la conductance :

Si $I_{pv} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} = 0 \Rightarrow \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} = -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$ le point de fonctionnement est sur le PPM.

Si $I_{pv} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} > 0 \Rightarrow \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} > -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$ le point de fonctionnement est à gauche du PPM.

Si $I_{pv} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} < 0 \Rightarrow \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} < -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$ le point de fonctionnement est sur la droite du PPM.

Chapitre II : Les différents types de convertisseurs DC-DC

Le PPM peut être atteint en comparant à chaque instant la valeur de la conductance (IPV/VPV) avec celle de l'incrément de conductance (dIPV/dVPV). La **Figure.10**. Montre l'algorithme de cette méthode, où V_r représente la tension de référence.

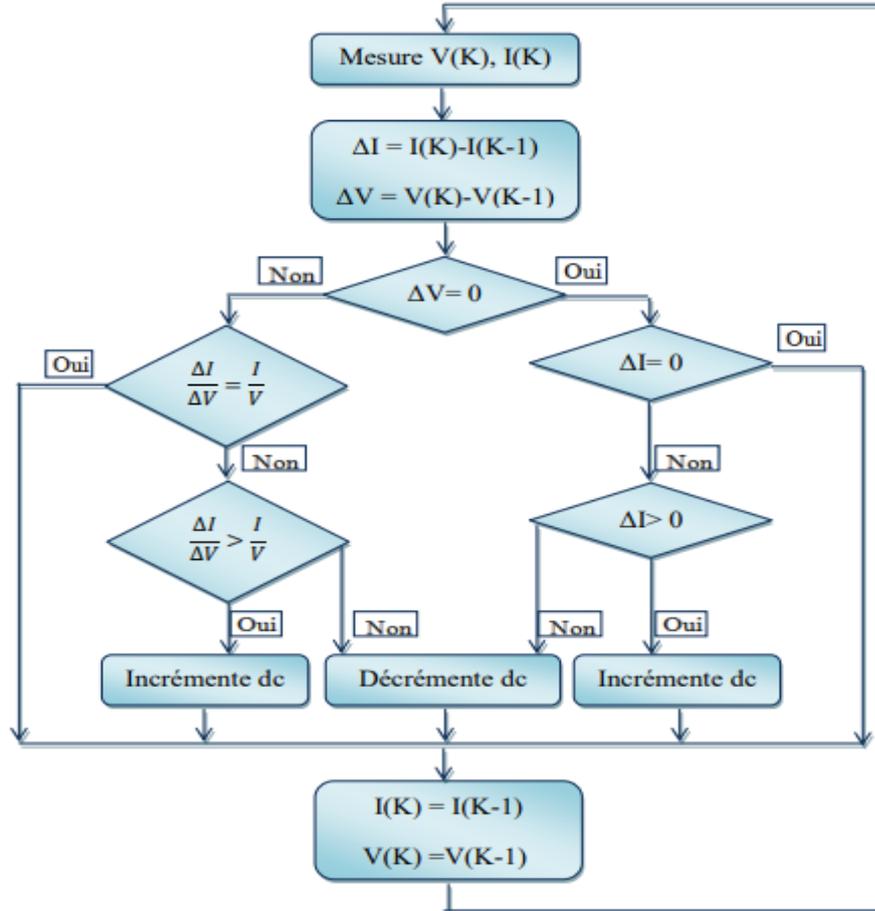


Figure.15. Algorithme de la méthode Incrément de conductance.

Pratiquement, comme la méthode P&O, cette technique présente des oscillations autour du PPM car il est difficile de remplir la condition $\frac{dp_{pv}}{dv_{pv}} = 0$, ce qui fait que le système reste toujours en train de la chercher. L'algorithme IncCond est plus complexe que celui du P&O, ce qui engendre un temps d'exécution plus long [32].

Chapitre II : Les différents types de convertisseurs DC-DC

II.5 Etude comparative

Le tableau suivant représente une étude comparative entre les techniques de commande MPPT classique « Perturbe & Observe » et « Incrément des conductances.

Tableau II.1 : Comparaison des techniques MPPT P&O et IncCond [33].

Algorithmes MPPT	P&O	IncCond
Type de capteurs utilisés.	1 Tension. 1 Courant.	1 Tension. 1 Courant.
Identification des paramètres du panneau PV	Non nécessaire.	Non nécessaire.
Complexité.	Basse	Moyenne
Nombre d'itérations	45	48
Vitesse de convergence.	Moyenne.	Moyenne.
Précision.	95%	98%

II.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé l'analyse mathématique des convertisseurs DC/DC les plus utilisés dans les systèmes photovoltaïques (Buck, Boost et Buck-Boost). Nous avons aussi présenté et expliqué les différentes techniques de la commande MPPT pour qu'un système photovoltaïque fonctionne à sa puissance maximale même pour des variations météorologiques ou de la charge. Au chapitre trois nous allons présenter la partie pratique dans laquelle plusieurs simulations par MATLAB-Simulink ont été faite à base de différents convertisseurs DC-DC.

Chapitre 3

Chapitre III : Applications des convertisseurs DC-DC dans les systèmes photovoltaïques

III.1 Introduction

Le chapitre III est consacré à la partie pratique qui consiste à proposer différentes applications des convertisseurs DC-DC dans les systèmes photovoltaïques.

Pour se faire, nous avons utilisé le MATLAB SIMULINK R2018b pour réaliser les simulations proposées.

III.2 Première application : Suivi de charge d'une batterie 12V à base d'un convertisseur Buck [34].

La première application concerne le chargement d'une batterie 12V via un panneau photovoltaïque moyennant un convertisseur DC-DC de type BUCK et utilisant la technique perturbe et observe (P&O).

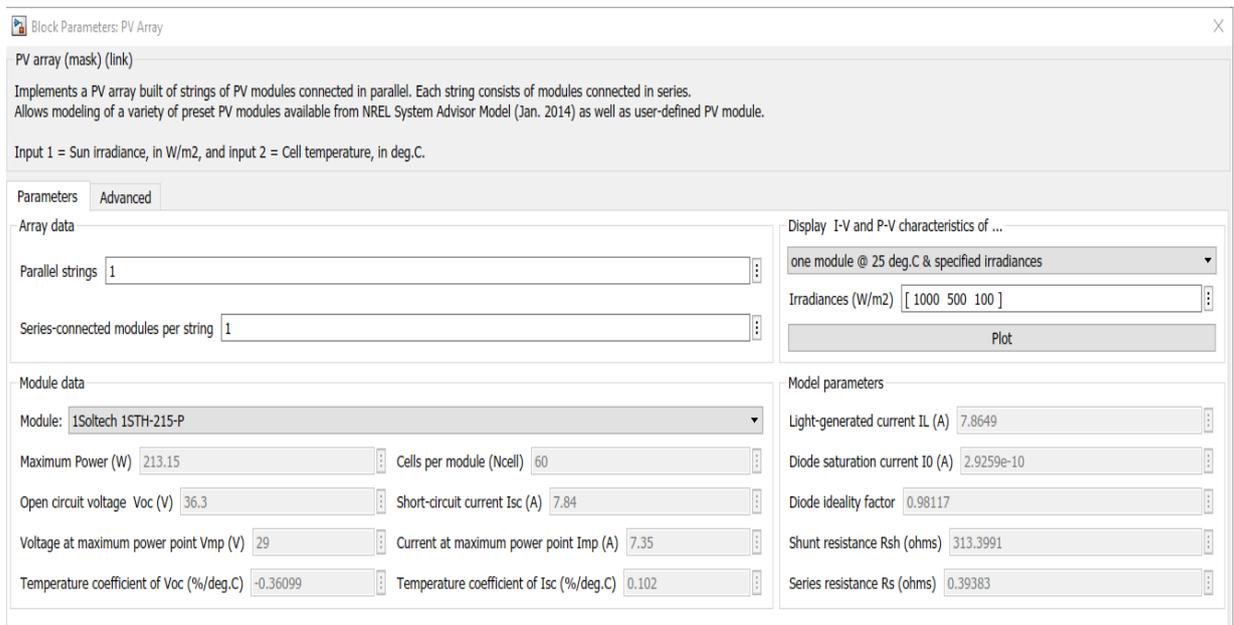


Figure. 1. Caractéristiques du panneau solaire utilisé en simulation.

La **Figure. 1.** illustre les caractéristiques du panneau solaire utilisé en simulation, il est composé d'un seul string en parallèle ayant une seule série de modules connectés.

*Le module photovoltaïque est de type 1Soltech 1STH-215-P.

*La puissance maximale délivrée= 213.15 W.

* Tension du circuit ouvert= 36.3 V.

*Le voltage au point de puissance maximal (MPPT) en (V) = 29.

* le courant au point de puissance maximal (MPPT) = 7.35

Chapitre III : Applications des convertisseurs DC-DC dans les systèmes photovoltaïques

- * La tension au point de puissance maximale V_{mp} (V)=29.
- * Le courant de court-circuit I_{sc} (A)=7.84.
- * le dimensionnement du convertisseur Buck est comme suit :

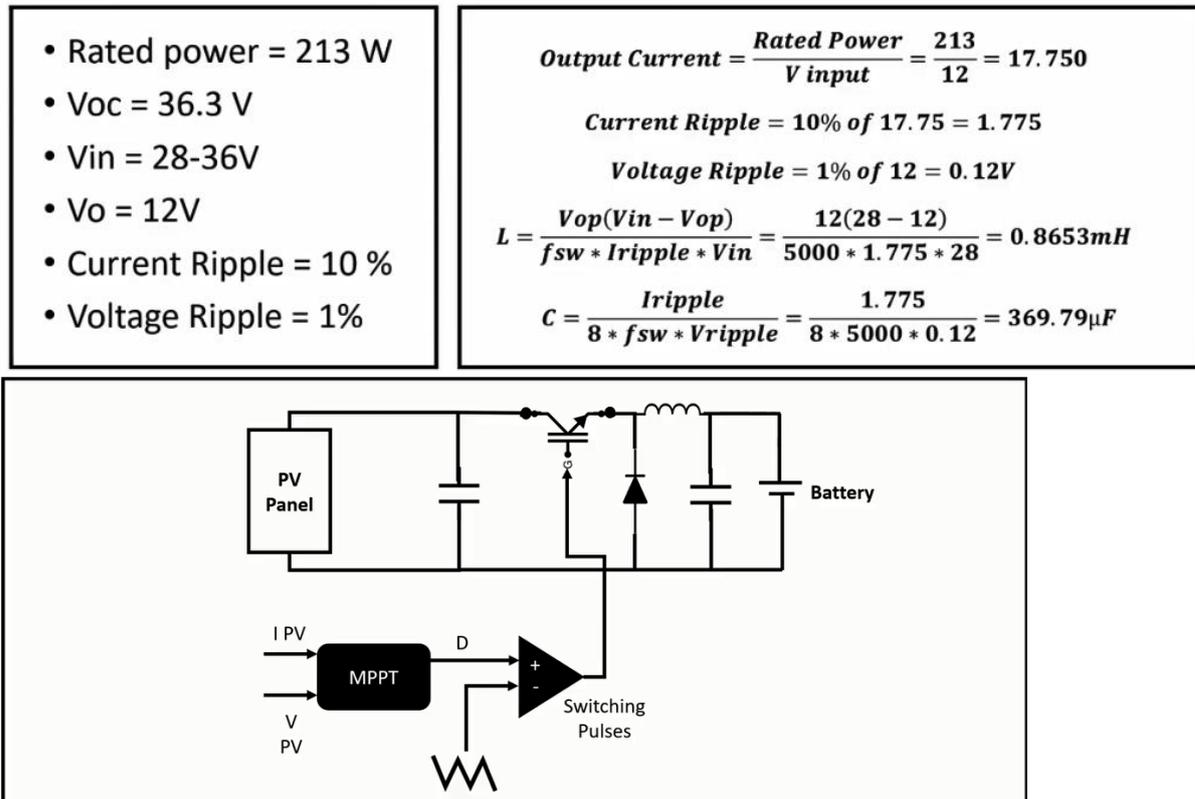


Figure. 2. Synoptique de la première application proposée.

La **Figure. 2.** est un schéma synoptique de la première application envisagée dans ce projet, quant à la **Figure. 3.**, elle illustre le schéma Simulink de la charge d'une batterie 12V, qui est constitué d'un panneau solaire de type 1Soltech 1STH-215-P fonctionnant sous un rayonnement de 1000 W/m^2 et une température de 25^0 C . Pour maintenir la régulation de la charge de la batterie à 12V nous avons utilisé une commande MPPT par la technique perturbée et observée, en agissant sur le rapport cyclique α **Figure. 6.**, telle que :

$$V_s = \frac{\alpha}{1 - \alpha} V_e \quad (1)$$

V_s =la tension de sortie aux bornes de la batterie.

V_e =la tension d'entrée délivrée par le panneau solaire.

Chapitre III : Applications des convertisseurs DC-DC dans les systèmes photovoltaïques

III.2.1 Interprétation des résultats

Nous constatons que la tension de la batterie restera maintenue à 12V quoique l'irradiation subit un changement de 1000W/m² Figure. 4. à 500W/m² Figure. 5., cela est dû au programme de régulation qui jouera double rôle :

- Exploitation de l'énergie délivrée par le panneau solaire à son maximum
- Ajustement du rapport cyclique de telle sorte qu'il donnera une tension de sortie de 12V.

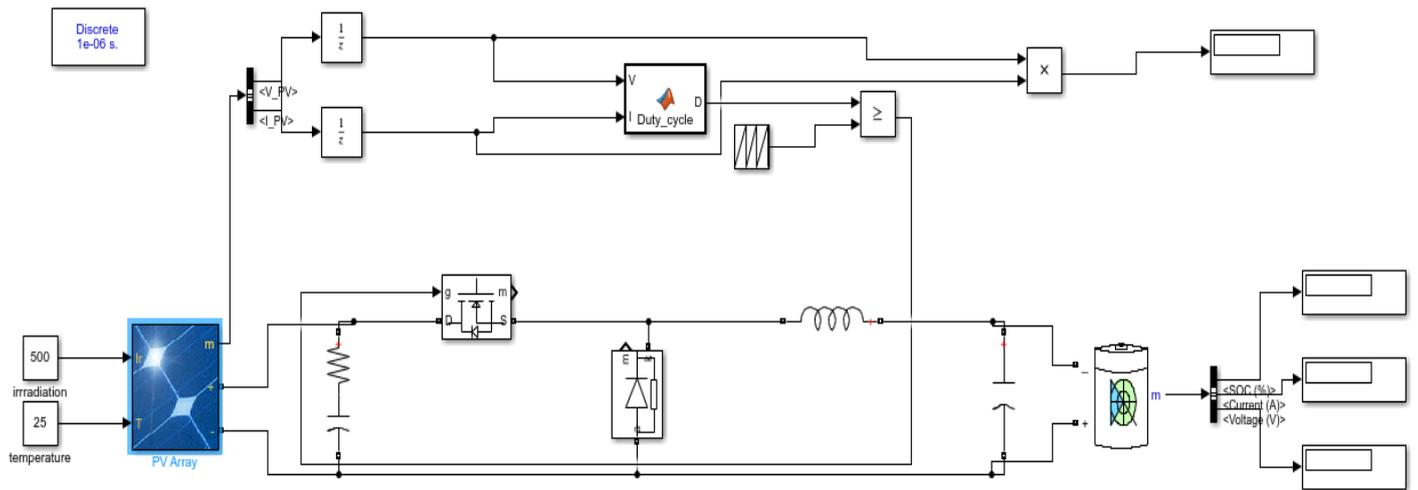


Figure. 3. Schéma Simulink de la charge d'une batterie 12V.

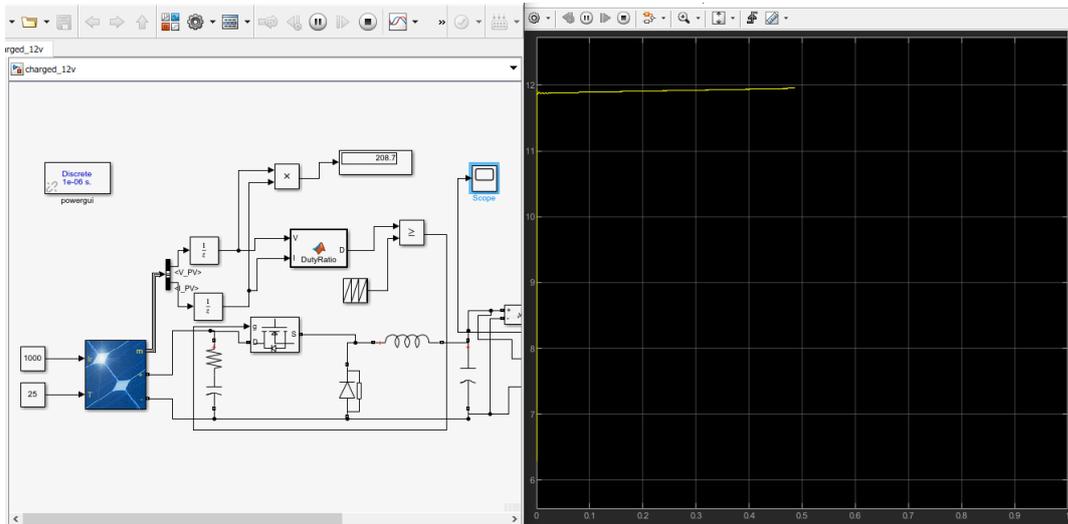


Figure. 4. La tension de sortie pour irradiation 1000w/m².

Chapitre III : Applications des convertisseurs DC-DC dans les systèmes photovoltaïques

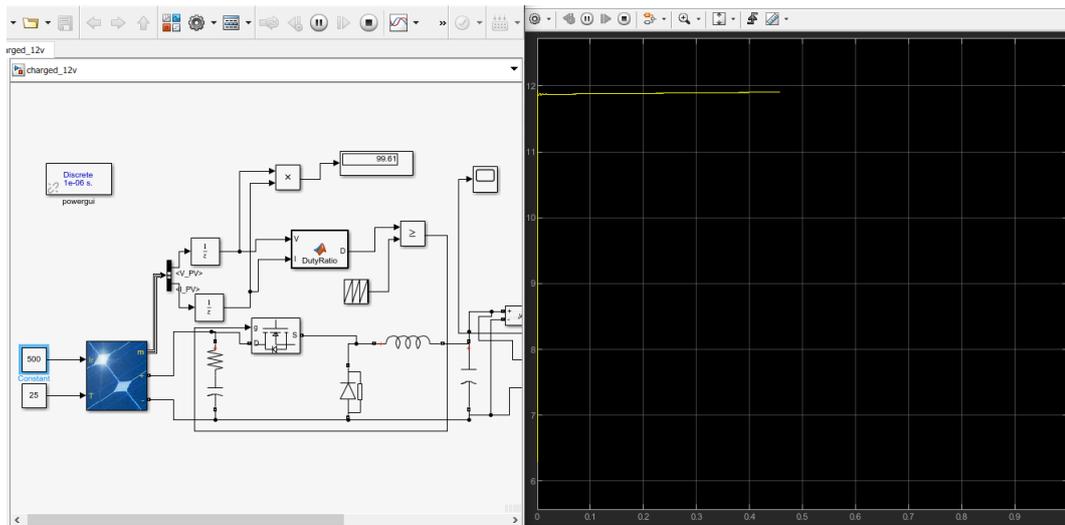


Figure. 5. La tension de sortie pour irradiation 500w/m².

```

1  function D=DutyRatio(V,I)  18 -
2  -   Dmax=0.95;             19 -
3  -   Dmin=0;                20 -
4  -   Dinit=0.95;           21 -
5  -   deltaD=0.0001;       22 -
6  -   persistent Vold Pold Dold;  23 -
7  -   datatype='double';   24 -
8  -   if isempty (Vold)    25 -
9  -       Vold=0;           26 -
10 -       Pold=0;           27 -
11 -       Dold=Dinit;      28 -
12 -   end                   29 -
13 -   P=V*I;                30 -
14 -   dV=V-Vold;           31 -
15 -   dP=P-Pold;           32 -
16 -   if dP~=0              33 -
17 -       if dP<0           34 -
18 -           if dV<0       21 -
19 -               D=Dold-deltaD;  22 -
20 -           else          23 -
21 -               D=Dold+deltaD;  24 -
22 -           end          25 -
23 -       else             26 -
24 -           if dV<0       27 -
25 -               D=Dold+deltaD;  28 -
26 -           else          29 -
27 -               D=Dold-deltaD;  30 -
28 -           end          31 -
29 -       end              32 -
30 -   else D=Dold;         33 -
31 -   end                  34 -
32 -   if D>= Dmax || D<=Dmin  35 -
33 -       D=Dold;          36 -
34 -   end                  37 -
35 -   Dold=D;              38 -
36 -   Vold=V;              39 -
37 -   Pold=P;              40 -

```

Figure. 6. Le programme qui contrôle la tension à 12V sur MATLAB.

III.3 Deuxième application : Simulation d'un Buck-Boost bidirectionnel [35].

Dans cette deuxième application, nous avons réalisé la simulation d'un Buck-Boost bidirectionnel, l'idée de base consiste à prendre deux convertisseurs DC-DC l'un de type Buck et l'autre de type Boost comme illustré dans la Figure.7. et Figure. 8.

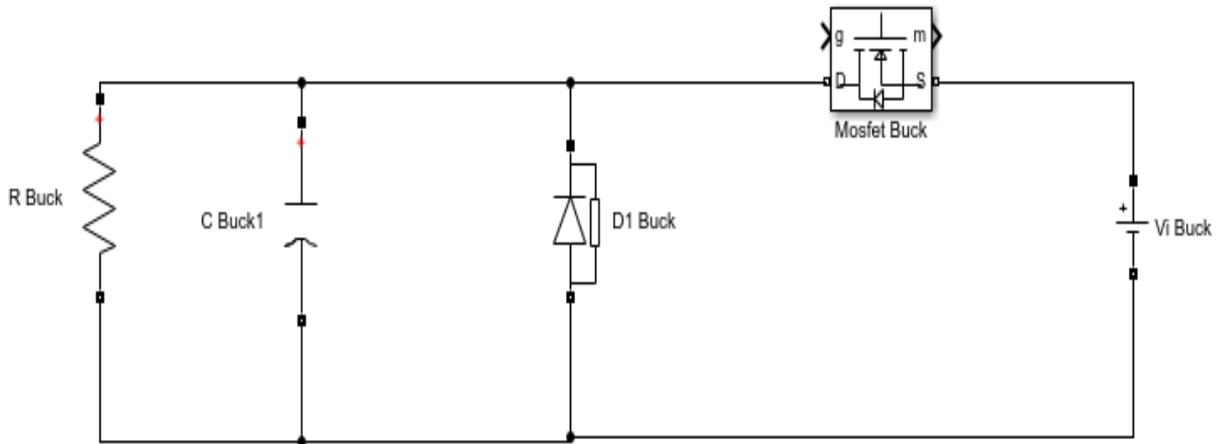


Figure. 7. Le Schéma Simulink pour Buck.

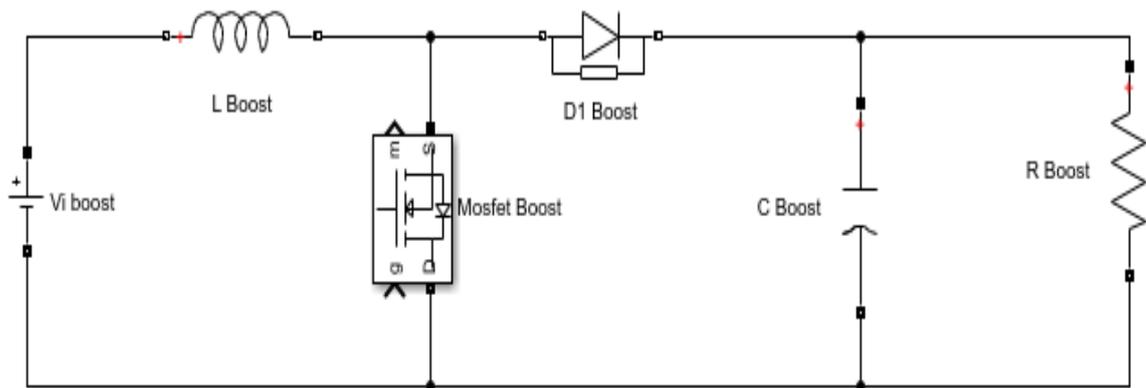


Figure. 8. Le Schéma Simulink pour Boost.

Nous avons décroché les charges résistives des deux convertisseurs et les remplacées par les sources de tension, comme nous avons remplacé aussi les diodes par des Mosfet's. Une fois réaliser ces changements, nous avons fait la fusion des deux montages en un seul montage appelé Buck-Boost bidirectionnel (**Figure.9.**) muni de deux commandes, l'une est un bouton poussoir ayant deux positions. La première position de gauche à droite laissant le montage travailler comme Boost (**Figure. 10.**) et l'autre de droite à gauche permettant au montage de travailler comme Buck (**Figure. 11.**). La deuxième commande contrôle le rapport cyclique α qui varie entre 0 et 1.

Dimensionnement du montage

$V_{in\ Boost} = 50V$; $V_{in\ Buck} = 100V$; $L_{Buck} = L_{Boost}$ tels que $R=0.1\ \Omega$, $L=50\mu H$;

$C_{Buck} = C_{Boost}$ tels que $R=0.1\ \Omega$, $C=1000\mu F$; L tels que $R = 1\ \Omega$, $L = 5\ mH$.

Chapitre III : Applications des convertisseurs DC-DC dans les systèmes photovoltaïques

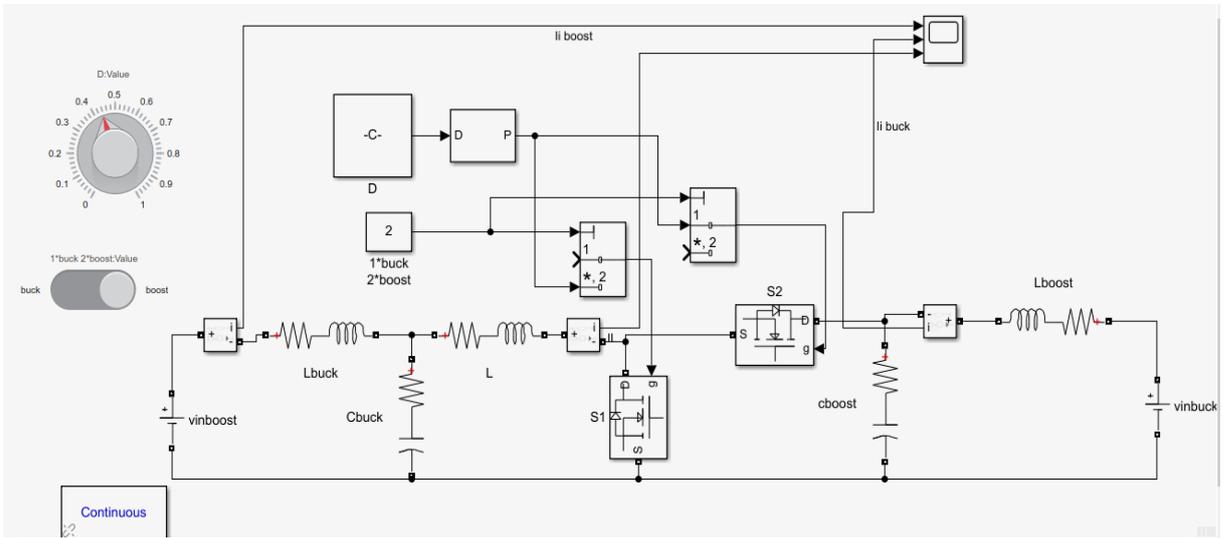


Figure.9. Schéma Simulink de Buck-Boost bidirectionnel.

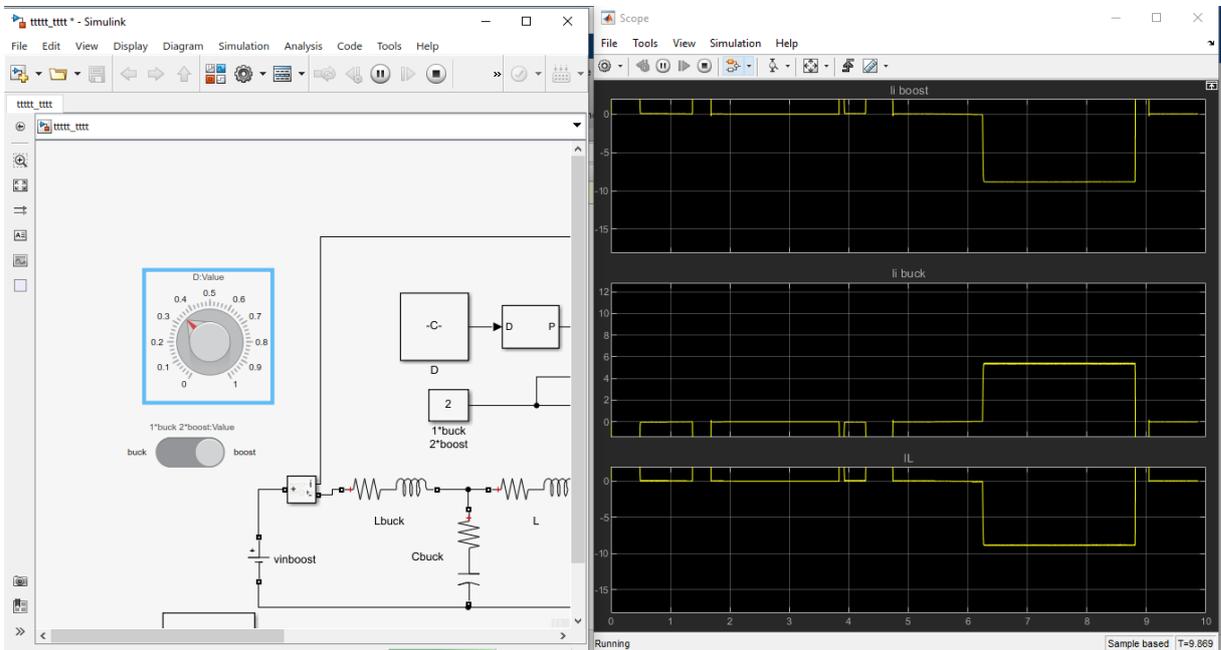


Figure. 10. Schéma Simulink pour Boost.

Nous avons pu confirmer la relation entre les courants comme illustrer dans les figures 10 et 11.

Chapitre III : Applications des convertisseurs DC-DC dans les systèmes photovoltaïques

Cas du Boost :

$$Vs = \frac{1}{1 - \alpha} Ve \quad (2)$$

$$Ie = \frac{1}{1 - \alpha} Is \quad (3)$$

Cas du Buck :

$$Vs = \alpha \cdot Ve \quad (4)$$

$$Ie = \alpha \cdot Is \quad (5)$$

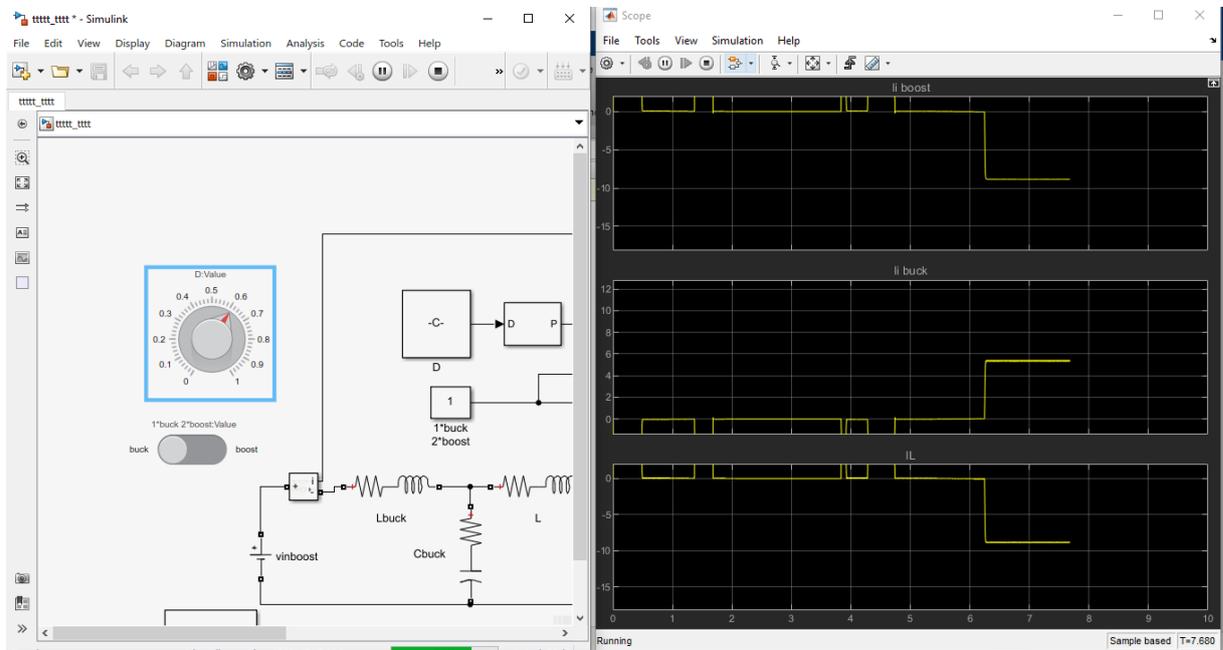


Figure. 11. Schéma Simulink de Buck.

Quand le rapport cyclique $\alpha=0.7$:

Cas de Boost :

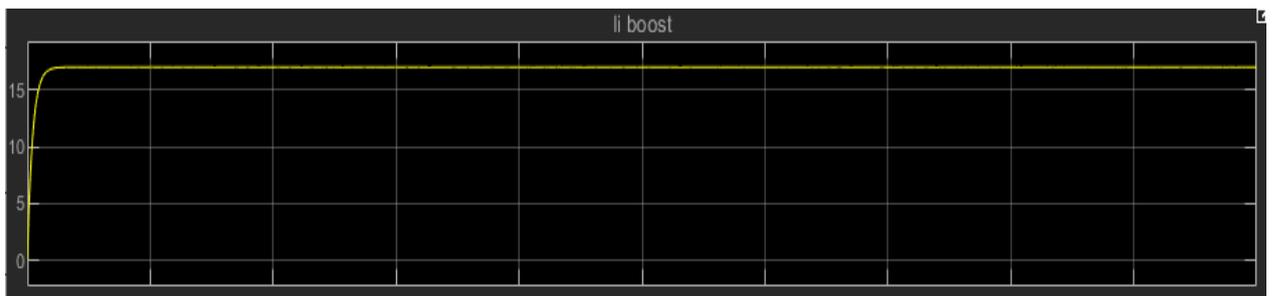


Figure. 12. Courbe de IL Boost.

$$15A \cong \frac{1}{(1 - 0.7)} \times 5$$

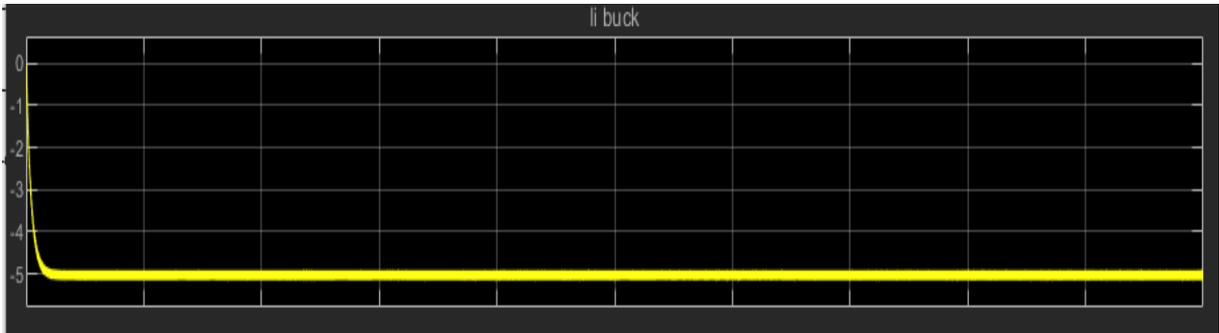


Figure. 13. Courbe de IL Buck.

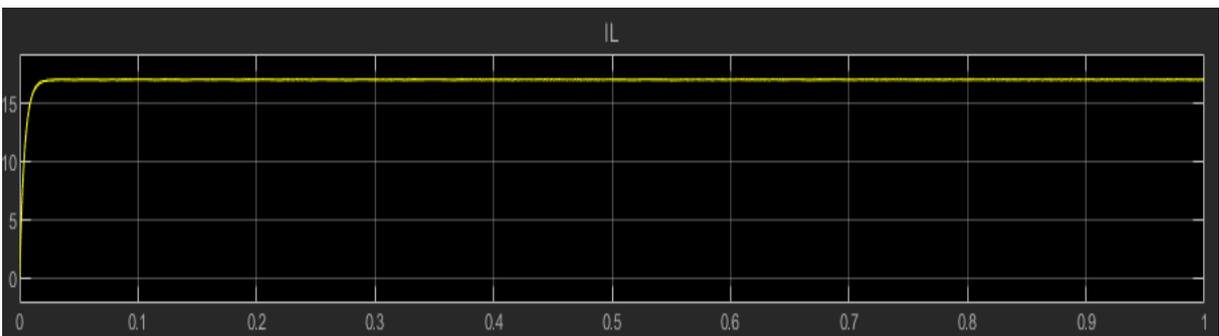


Figure. 14. Courbe de la différence entre IL Buck et IL Boost.

Cas de Buck

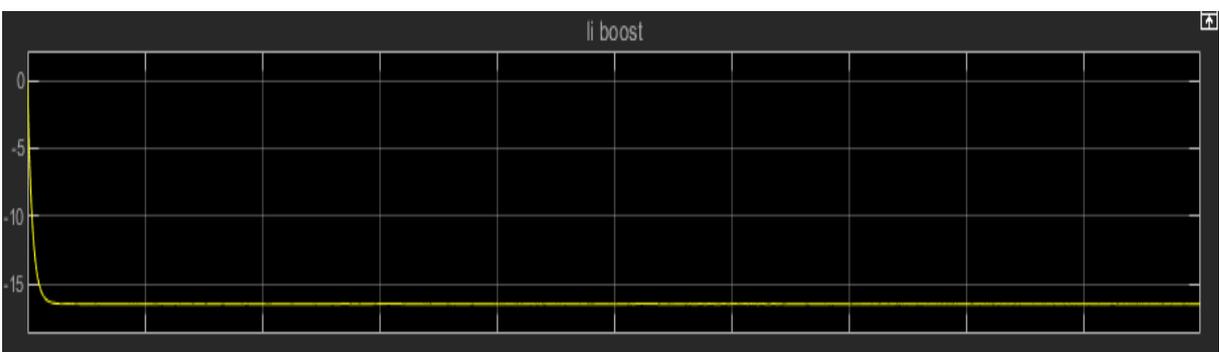


Figure. 13. Courbe de -IL Boost-.

$$10A \cong 0.7 \times 15$$

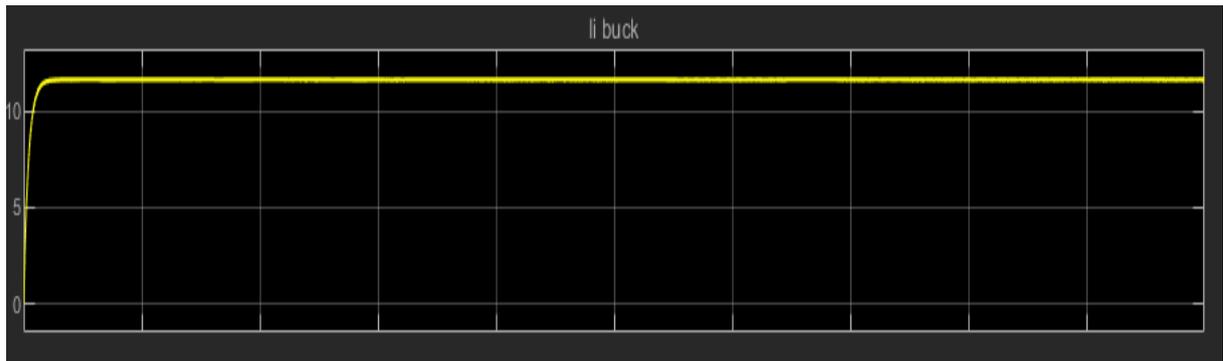


Figure. 13. Courbe de -IL Buck-.

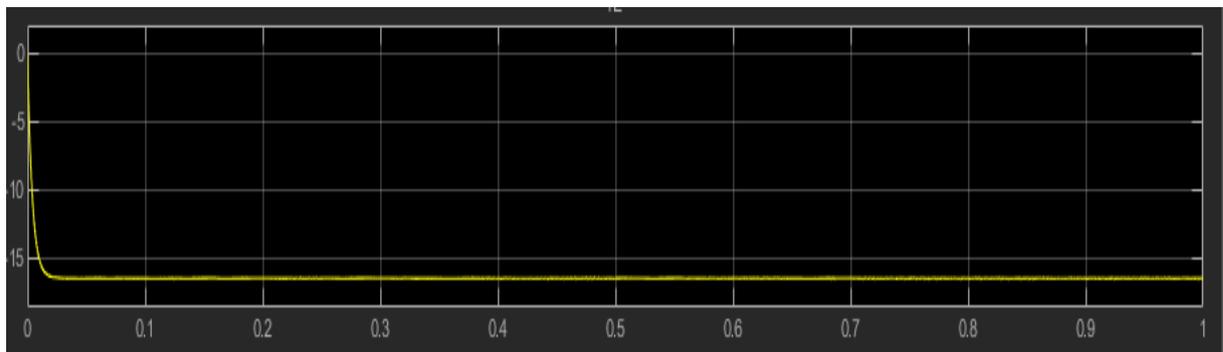


Figure. 14. Courbe de la différence entre IL Buck et IL Boost.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons bien assimilé les convertisseurs DC-DC, cette expérience nous a permis de confirmer les relations théoriques des courants et tensions des différents convertisseurs étudiés, les deux applications simulées sont couramment trouvées dans les systèmes PV et même dans le véhicule hybride.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Afin d'expliquer l'efficacité des systèmes PV, différents algorithmes de commandes MPPT ont été étudiés pour la poursuite du PPM. Dans cet objectif, ce travail est une contribution pour la compréhension et la mise en place de deux commandes MPPT permettant de traquer la puissance maximale à tout moment et sous différentes conditions atmosphériques. Par la suite, nous nous sommes intéressés aux techniques MPPT. Le résumé de l'aspect théorique de ces techniques pour le suivi du PPM, nous a permis de comprendre le principe de maximisation de la puissance du GPV. Nous avons commencé par la méthode la plus utilisée P&O qui a un organigramme simple à implémenter, la deuxième méthode présentée est IncCond qui s'appuie sur la variation de la conductance du circuit.

Nous avons aussi étudié les différents types de convertisseurs DC-DC à savoir : le Boost, le Buck et le Buck-Boost ainsi que leur développement mathématique. Durant la partie pratique, nous avons effectué deux simulations par MATLAB-SIMULINK, là où nous avons bien concrétisé l'application des convertisseurs DC-DC dans le domaine PV.

La première application concerne la charge d'une batterie via un convertisseur Buck qui assure le rôle de diminution de la tension émanant du panneau PV à une tension de batterie 12V.

La deuxième application s'intéresse à la simulation d'un convertisseur bidirectionnel Boost puis Buck, l'intérêt de ce montage est non seulement pour les systèmes photovoltaïques mais aussi il trouve son application dans la voiture électrique ou hybride.

Nous pouvons aussi, conclure que :

* Les performances du panneau PV se dégradent en augmentant la température et en diminuant l'éclairement.

* La technique MPPT permet d'améliorer le rendement des panneaux PV.

En perspectives, cette comparaison peuvent être élargie à d'autres techniques MPPT ou le travail fait peut-être implémenté pratiquement.

Références bibliographiques

- [1] F. Bouchtu checherfa, "Etude et réalisation d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau de distribution électrique BT," *Mémoire de magister, Ecole National Polytechnique EI Harrach*, 2004.
- [2] G. Rami, "Contrôle de tension auto adaptif pour des productions décentralisées d'énergie connectées au réseau électrique de distribution," *Thèse de doctorat L'INP Grenoble*, Novembre 2006.
- [3] <http://www.solarserver.de/gclid=CJWA1ruS-K4CFS4NtAodSzY7xw>.
- [4] Boualem.Bendib, "Technique conventionnelles et avancée de poursuite MPPT pour des applications photovoltaïque : étude comparative," *mémoire de magister, Université Ferhat Abbas-Sétif, Département d'électronique TS4/6338*, 2007.
- [5] S. Naual, "Modélisation et extraction automatique des Paramètres d'un générateur," *mémoire de magister, Université Ferhat Abbas de Sétif, département d'électrotechnique*, 2010.
- [6] Olivier .Géraud, "Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur," *Thèse de doctorat en Electrotechnique de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan*, 2002.
- [7] SiteInternet, <http://www.scribd.com/doc/46661921/Les-energies-renouvelables>, consulté le 22/03/2022.
- [8] B .Flèche, D. Delagnes, "énergie solaire photovoltaïque," STI ELT, juin 2007, énergie solaire photovoltaïque. [9] Baroud .kendo. li, "Etat de l'art et modélisation des microcentrales," *Magister en électrotechnique de l'université mentouri de Constantine*, 2007.
- [10] J. Royer , T. Djiako, E. Schiler and B. Sadasy, " Le pompage photovoltaïque," *Université d'Ottawa*, 1998.
- [11] B. Flèche, D. delagnes, "énergie solaire photovoltaïque," STI ELT juin, 2007.
- [12] Y. Pankow, "Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension application au générateur photovoltaïque ," *Thèse de Doctorat, centre nationale de recherche technologique de Lille*, 2004.
- [13] Modélisation et simulation d'une module photovoltaïque licence ELM univ BBA. Boulal mohamed amine.
- [14] <http://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares>.
- [15] Reynaud. Jean-François, "Recherches d'optimums d'énergies pour charge/décharge d'une batterie à technologie avancée dédiée à des applications photovoltaïques", *Thèse Doctorat, Université Toulouse III*, Le :4 Janvier 2011.
- [16] www.editions du moniteur.com.
- [17] <http://www.photovoltaique.info/-Modules-photovoltaiques,82-.html> .

Références bibliographiques

- [18] Alain. Bilbao. Learreta, “Réalisation de commandes MPPT numériques,” Diplôme ingénieur technique industriel, septembre 2006.
- [19] Nouar. Aoun, “Etude et modélisation des différents modèles de la cellule photovoltaïque établis sur base de valeurs nominales,” *Mémoire de magister en physique, université mentouri constantine, Alger*, 2010.
- [20] M.N.Mchalikh and CH.Hmada , “Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau,” *Mémoire de Master Université Kasdi Merbah–Ouargla* 2013.
- [21] <https://lenergie-solaire.net/energie-solaire-photovoltaïque/panneau-photovoltaïque>.
- [22] <https://lenergie-solaire.net/avantages-inconvenients>
- [23] B. Faiza, “étude et simulation d’une commande mppt pour système PV,” *Diplôme Master, Université Mohamed Boudiaf - M’sila*, 2015 – 2016.
- [24] <https://lenergiesolaire.net/energiesolairephotovoltaïque/elements/installations-autonomes>.
- [25] Mémoire fin d’étude master 2, “Réalisation d’un convertisseur DC/DC dans une chaîne de conversion d’énergie photovoltaïque,” Université d’Ain Baida 2017. GOAR Noureddine et MAHMOUDI Abdelkader
- [26] Vincent. Barth, “dipyrométhènes métallise (Co, Ni, Cu) et Dipyrométhènes : de nouveaux matériaux organiques pour la conversion photovoltaïque de l’énergie solaire,” *Thèse de doctorat de chimie moléculaire, Université pierre et marie*, 2013.
- [27] N. Abouchabana, “ Etude d’une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT,” *Mémoire de Magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger*, 2009.
- [28] <https://fr.wikipedia.org>.
- [29] Mémoire fin d’étude master 2 Pour l’obtention du diplôme de Master Filière : Automatique Spécialité : Automatique et informatique industrielle « Etude comparative de certaines méthodes MPPT appliquées pour les panneaux solaires » université Abderrahmane Mira Faculté de la Technologie 2020/2021. Réalisée par DAHMANI Hanane et ABDLHAK Lynda.
- [30] Mémoire de fin d’études « Réalisation d’un convertisseur DC/DC dans une chaîne de conversion d’énergie photovoltaïque », université Ain el Beida le : Juin 2017.
- [31]. S. Chikha, “Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques,” *Mémoire de Magistère, université de OEB*, 2011/2012.
- [30]. M.S. Amamra, “ Optimisation de la production d’un générateur Photovoltaïque,” *Thèse master université de Ouargla*, 2015.
- [32]. S. ABOUDA, « Contribution à la commande des systèmes photovoltaïques : application aux systèmes de pompage » *Thèse de doctorat, cotutelle de l’Université de Reims Champagne-Ardenne et de l’Université de Sfax*, Avril 2015.

Références bibliographiques

- [33] H. Abbes, H. Abid, K. Loukil, A. Toumi, M. Abid, “ Etude comparative de cinq algorithmes de commande MPPT pour un système photovoltaïque,” *Université de Sfax*, Tunisie, 2013.
- [34] <https://www.youtube.com/watch?v=ud3INxPJ2IU>
PV MPPT Battery Charging Using Buck Converter Step-by-Step Simulation in MATLAB_Simulink!
- [35] <https://www.youtube.com/watch?v=xZJC-8w8quE&t=1556s>
simulation of bidirectional converter with voltage source at both end using matlab Simulink

ملخص

الطاقة الشمسية هي أحد أنواع الطاقات المتجددة، وتسمى أيضًا الطاقات البديلة. في هذا المشروع نحاول استغلال هذه الطاقة من خلال ضمان أقصى قدر من الكفاءة باستخدام الألواح الشمسية التي ترتبط خصائصها بالضوء والحرارة. تتسبب هذه التغيرات المناخية في تقلب أقصى نقطة للطاقة. بسبب هذا التقلب، غالبًا ما نقوم بإدخال محول ثابت متحكم به مما يسمح بتتبع أقصى نقطة للطاقة في كل لحظة. في هذا البحث نسعى لدراسة ونموذجة وتحسين قدرة الألواح الشمسية وقد أظهرت نتائج المحاكاة والتطبيقات القدرة على تتبع النقطة القصوى للطاقة وأيضا يمكن تحسين هذه التقنيات في المستقبل. التي يستغلها النظام الكهروضوئي.

Résumé

L'énergie solaire est l'un des types des énergies renouvelables, elle aussi appelée les énergies alternatives. Dans une installation, on essaie d'exploiter cette énergie en assurant un rendement maximal utilisant les panneaux solaires dont leurs caractéristiques sont liées à la lumière et à la chaleur. Ces variations climatiques entraînent la fluctuation du point de puissance maximal. A cause de cette fluctuation, on intercale souvent un convertisseur statique commandé permettant de poursuivre le point de puissance maximal à chaque instant. Dans ce mémoire nous avons comme objectif : d'étudier, modéliser et optimiser la puissance MPPT exploitée d'un système photovoltaïque. Les résultats de simulation ont démontré la possibilité de suivre le point MPP et également d'améliorer les performances de ses techniques à l'avenir.

Summary

Solar energy is one of the types of renewable energies, also called alternative energies. In an installation, we try to exploit this energy by ensuring maximum efficiency using solar panels whose characteristics are linked to light and heat. These climatic variations cause the maximum power point to fluctuate. Because of this fluctuation, a controlled static converter is often interposed allowing the maximum power point to be tracked at each instant.

In this thesis we have as objective: to study, model and optimize the MPPT power exploited by a photovoltaic system. The simulation results demonstrated the possibility of tracking the MPP point and also improving the performance of its techniques in the future.