
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 : Automatique est system
OPTION : Automatique est system

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Intitulé

**Etude et modélisation d'un système photovoltaïque
pour l'habitat résidentiel autonome.**

Proposé et dirigé par :

**Dr. Ali Djerioui
Dr. hamza Mekki**

Présenté par :

**Zouheyr benlameur
Nouiri said rasem**

Soutenu devant le jury composé de :

...	Université Mohamed Boudiaf de M'Sila	Président
...	Université Mohamed Boudiaf de M'Sila	Rapporteur
...	Université Mohamed Boudiaf de M'Sila	Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2022 / 2021

Sommaire

GLOSSAIRE	4
ABREVIATION	4
TABLEAU DE FIGURES	5
INTRODUCTION GENERALE	7
CHAPTER I: ETAT DE L'ART DES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUE	9
I.1 Introduction	10
I.2 Définition des systèmes d'énergie photovoltaïque	10
I.3 Eléments d'un système photovoltaïque	11
I.4 Energie solaire	11
I.4.1 Utilities	11
I.4.2 Répartition spectrale du rayonnement solaire	12
I.4.3 Effet photovoltaïque	13
I.4.4 Historique de l'énergie photovoltaïque [4]	13
I.4.5 Constitution d'un système photovoltaïque	14
I.4.5.1 Cellules photovoltaïques	14
I.4.5.2 Principe de fonctionnement	15
I.4.6 Différents types de Cellules photovoltaïques	16
I.4.7 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	17
I.4.8 Module photovoltaïque	18
I.4.9 Caractéristiques électriques d'un module	19
I.4.9.1 Association en série	19
I.4.9.2 Association en parallèle	20
I.4.9.3 Puissance crête	21
I.4.10 Avantages du système photovoltaïque	21
I.4.11 Inconvénients du système photovoltaïque	21
I.5 Convertisseurs DC-DC	22
I.5.1 Les Hacheurs	22
I.5.2 Domaine d'utilisation des hacheurs [4]	23
I.5.3 Type des hacheurs	23
I.6 Batterie	25
I.6.1 Les deux principales caractéristiques des batteries	25
I.6.2 Les différentes technologies	26
I.6.3 Les autres types de batteries	26
I.6.3.1 Batteries plomb (pb / sla)	27
I.6.3.2 Batteries nickel-cadmium (ni-cad)	27
I.6.3.3 Batteries nickel-metal hydrure (ni-mh)	28
I.6.4 Effet mémoire	29
I.6.5 Réalisations industrielles	29

Sommaire

1.6.6	Les trois étapes de charge de batterie	30
I.7	Conclusion	31
CHAPTER II:	MODELISATION DE SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUE	32
II.1	Introduction	33
II.2	Modélisation de l'Hacheur	33
II.2.1	Hacheur Buck	33
II.2.1.1	Fonctionnement	33
II.2.1.2	Modèle mathématique équivalent	34
II.2.2	Hacheur boost	36
II.2.2.1	Fonctionnement	37
II.2.2.2	Modèle mathématique equivalent	38
II.2.3	Hacheur Buck-Boost	40
II.2.3.1	Fonctionnement	40
II.2.3.2	Modèle mathématique equivalent	41
II.3	Cellule photovoltaïque	43
II.3.1	Influence de l'éclairement	46
II.3.2	Influence de la température	46
II.4	Conclusion	46
CHAPTER III:	COMMANDE DE SYSTEM PHOTOVOLTAÏQUE	47
III.1	Introduction	48
III.2	Commande MPPT	48
III.2.1	Classification des commandes MPPT	48
III.2.1.1	Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée	48
III.2.2	Classification des commandes MPPT selon le type de recherche ou contrôle	49
III.2.2.1	Algorithme 'perturbation et observation	50
III.3	Résultats de simulation avec command MPPT	53
III.4	Command par Fuzzy Logic	62
III.5	Résultats de simulation avec command Logique floue	66
III.5.1	Comparaison entre la puissance du panneau photovoltaïque et la puissance de la charge	69
III.6	Comparaison entre le command MPPT et le command logique floue	70
III.7	Conclusion	70
CONCLUSION GENERALE		72
REFERENCES		73

Glossaire

P	Puissance
I _{cc}	Courant de court-circuit
V _{co}	Tension en circuit ouvert
R _s	Résistance série
Em	D'électricité emmagasinée kWh
Ah	Capacité en Ampères heures
I _{ph}	Courant de la cellule PV (Photo-Courant).
I ₀	Le courant de saturation inverse de la diode
R _P	Résistance shunt de la cellule PV
R _S	Résistance série de la cellule PV
T _n	Température de référence des cellules PV [°K]. B ou A :
E _g	Énergie de Gap du matériel de la cellule PV en [ev
I _d	Le courant circulant dans la diode
V _{pv}	La tension de sortie d'un panneau photovoltaïque
I	Le courant circulant dans la résistance R _P
T	Température de la jonction des cellules PV [°K].
I _{pv}	Courant généré par la cellule photovoltaïque
E	L'éclairement absorbé par la cellule
I _{SC}	Courant de court circuit
N	Le facteur d'idéalité de la photopile
I _{load}	Courant de la charge
P _{load}	Puissance de la charge
V _{dc}	Tension de la charge

Abréviation

MPPT	Maximum Power Point Tracker
PV	Photovoltaïque
SV	Système photovoltaïque
SOC	Stat of charge

Tableau de figures

Figure I.1 L'architecture générale d'un système photovoltaïque.....	10
Figure I.2 Architecture du système photovoltaïque éolien photovoltaïque avec batteries.....	11
Figure I.3 Spectres solaires [16]	12
Figure I.4 Excitation des électrons de valence par les photons et la jonction (P-N) [18]	13
Figure I.6 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque [29]	16
Figure I.7 caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque.....	18
Figure I.8 Module photovoltaïque	19
Figure I.9 Caractéristique électrique par association en série [4]	20
Figure I.10 Caractéristique électrique par association en parallèle [4]	20
Figure I.11 Convertisseurs DC-DC	22
Figure I.12 Batteries Plomb [13]	27
Figure I.13 Batteries Nickel-Cadmium [13]	28
Figure I.14 Batteries Lithium [13]	29
Figure I.15 Différentes réalisations de batteries [12]	30
Figure II.1 Schème de Hacheur Buck	33
Figure II.3 Caractéristiques électriques hacheur buck.....	34
Figure II.5 schéma de circuit fermé d'hacheur buck	35
Figure II.6 schéma de circuit ouvert d'hacheur Buck.....	35
Figure II.7 schéma d'hacheur boost.....	37
Figure II.8 Caractéristiques électriques d'un hacheur boost	38
Figure II.9 schéma de circuit over d'hacheur boost.....	39
Figure II.10 schéma de circuit fermé d'hacheur boost	39
Figure II.11 schéma d'hacheur Buck-Boost.....	40
Figure II.12 Caractéristiques électriques d'un hacheur buck-boost	41
Figure II.13 schéma de circuit fermé d'hacheur Buck-Boost	42
Figure II.14 schéma de circuit ouvert d'hacheur Buck-Boost	42
Figure II.15 Modèle équivalent d'une cellule PV	43
Figure II.16 Influence de l'éclairement en PV	46
Figure II.17 Influence de la temperature en PV	46
Figure III.2 Organigramme de l'algorithme perturbation et observation.....	51
Figure III.4 bloc de system photovoltaïque a command par MPPT	53
Figure III.5 Courbe Puissance de PV.....	53
Figure III.6 Courbe Puissance de load	54
Figure III.7 Courbe Puissance de battery	54
Figure III.8 courbe de curent PV	55
Figure III.9 Courbe de tension PV.....	55
Figure III.10 courbe de curent de charge.....	56

Sommaire

Figure III.11 courbe de tension de charge	56
Figure III.12 courbe de curent de battery	57
Figure III.13 courbe de tension de battery	57
Figure III.14 courbe puissance de Pv, température = 25, radiation= [1000 700 1200]	58
Figure III.15 courbe puissance de load, température = 25, radiation= [1000 700 1200]	58
Figure III.16 courbe puissance de batterie, température = 25, radiation= [1000 700 1200]	59
Figure III.17 Figure III.15 les courbes de curent and tension, température = 25, radiation= [1000 700 1200]	59
Figure III.18 courbe puissance de PV, température = [25 20 24], radiation= 1000	60
Figure III.19 courbe puissance de load, température = [25 20 24], radiation= 1000	61
Figure III.20 courbe puissance de batterie, température = [25 20 24], radiation= 1000	61
Figure III.21 les courbes de curent et tentions, température = [25 20 24 26 16], radiation= 1000	62
Figure III.22 schéma générale d'une commande Fuzzy Logic	63
Figure III.23 inputs de bloc logique floue	66
Figure III.24 output de bloc logique floue	66
Figure III.25 system pv command par LOGIQUE FLOUE	67
Figure III.26 Courbe Puissance de PV	67
Figure III.27 Courbe Puissance de load	68
Figure III.28 Courbe Puissance de battery	68
Figure III.29 les courbes de curent et tension a command par logique floue	69
Figure III.30 Comparaison entre la puissance du PV et la puissance de la charge avec logique floue	69

Introduction Générale

Le secteur de la production d'énergie est un domaine très important à l'avenir en raison des besoins énergétiques croissants des sociétés, en particulier dans les pays en développement ou industrialisés, qui devront réfléchir aux moyens de fournir de grandes quantités d'énergie pour soutenir leurs économies.

Cette forte demande en énergie entraîne une augmentation de la consommation de combustibles fossiles tels que le pétrole, le charbon et le gaz naturel pour produire de l'électricité en raison de son faible coût, mais cela entraîne l'émission de nombreux gaz qui polluent l'environnement, ce qui représente 40% du taux mondial de dioxyde de carbone. L'ordre de produire de l'électricité conduit à la pollution de l'environnement et conduit à la pollution de l'environnement et à la perturbation de l'écosystème.

La pollution n'est pas le seul point faible de ces sources d'énergie, car l'économiste en chef de l'Agence internationale de l'énergie, Fatih Birol, croit fermement qu'il est temps que les gouvernements abandonnent le pétrole car une étude portant sur plus de 800 hydrocarbures montre que les réserves mondiales de pétrole s'épuisent plus vite que prévu, Et que la dépendance au pétrole n'aidera qu'à court terme, ce que démentent les grands pays exportateurs de pétrole, qui le considèrent comme une source majeure de revenus.

Les énergies renouvelables offrent une plus grande accessibilité et sont très adaptées à la production décentralisée, la possibilité de produire de l'électricité de manière propre et surtout avec moins de dépendance aux ressources, à condition d'accepter leurs fluctuations naturelles.

Compte tenu des prix élevés du pétrole et du charbon et des risques que ces sources d'énergie font peser sur l'environnement, il est devenu nécessaire de rechercher une source d'énergie alternative afin de soutenir les besoins croissants de la production industrielle mondiale.

L'énergie solaire est une source inépuisable d'énergie renouvelable car elle ne disparaît pas tant que les rayons du soleil sont présents.

L'Algérie se targue d'avoir de vastes terres désertiques où le climat idéal existe pour exploiter l'énergie solaire.

L'exploitation de l'énergie solaire nécessite de grandes surfaces de panneaux solaires, car la capacité de production d'électricité ne peut pas être entièrement contrôlée car la capacité de production des centrales solaires dépend principalement du soleil, ce qui entraîne des fluctuations de la capacité de production et arrête complètement son travail lorsque le soleil disparaît pendant la nuit.

Pour résoudre ce problème, il doit y avoir des centres pour stocker l'énergie excédentaire pendant la journée et pendant les heures de pointe afin de l'utiliser en cas de besoin. La meilleure façon de les stocker est dans des batteries grâce à leur capacité à contenir de grandes quantités d'énergie avec de faibles pertes.

Sur cette memoir, nous allons modéliser et simuler un système de génération et de stockage d'énergie photovoltaïque dans une batterie.

Dans le premier chapitre, nous présenterons les différents composants d'un système d'énergie photovoltaïque, qui sont les panneaux photovoltaïques, les onduleurs DC et les batteries, avec une mention de leurs différents types et de la technologie utilisée.

Dans le deuxième chapitre, nous allons modéliser le système PV et extraire diverses équations mathématiques qui décrivent le comportement du système PV

Dans le troisième chapitre, nous simulerons le système photovoltaïque en utilisant deux types de contrôle, à savoir le contrôle MPPT, qui dépend d'algorithmes mathématiques, et le contrôle utilisant la logique floue, qui dépend de commandes logiques simples.

**Chapter I: Etat de l'art des systèmes
photovoltaïque**

I.1 Introduction

Compte tenu de la diminution des réserves mondiales de combustibles fossiles et de la menace du réchauffement climatique et de la pollution de l'environnement, il est nécessaire de rechercher une source d'énergie propre qui remplace les sources traditionnelles et réponde en même temps à la demande croissante d'énergie.

Il est nécessaire de développer les énergies renouvelables, d'autant plus que les énergies renouvelables sont un bon moyen de fournir l'électricité nécessaire dans les zones reculées et isolées difficiles à raccorder aux réseaux électriques.

L'énergie solaire photovoltaïque est l'un des types d'énergie renouvelable les plus importants et est largement applicable en Algérie en raison du climat méridional idéal pour l'exploitation de l'énergie photovoltaïque.

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents éléments de base d'un système d'énergie photovoltaïque.

I.2 Définition des systèmes d'énergie photovoltaïque

Un système (photovoltaïque) PV est un ensemble d'éléments (constituants) de production d'électricité, en utilisant une source solaire. Ces constituants sont essentiellement le champ PV, le conditionnement de puissance, le système de stockage (dans un certain cas), et la charge. Le conditionnement de puissance peut comprendre : un régulateur seul, un régulateur avec un convertisseur (DC /DC). Un exemple d'un système plus détaillé est montré sur la Fig I.1

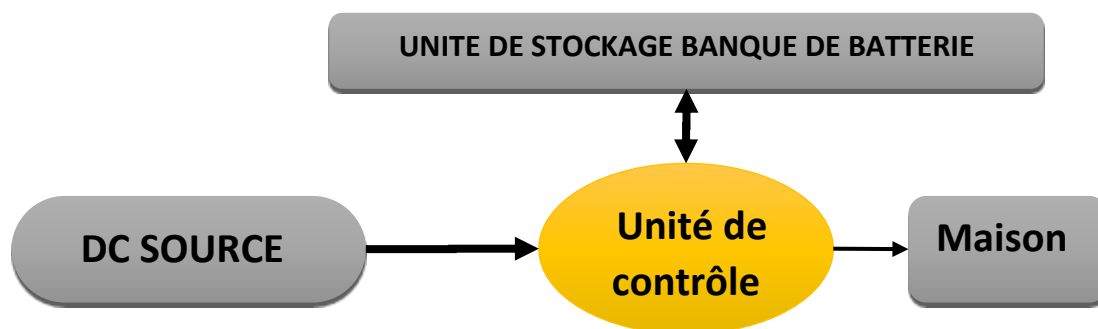


Figure I.1 L'architecture générale d'un système photovoltaïque

I.3 Eléments d'un système photovoltaïque

La **Figure I.2** montre le schéma de la stratégie de gestion d'un système photovoltaïque. L'alimentation est faite selon le principe suivant :

- utilisation des sources renouvelables (PV)
- utilisation de la batterie
- utilisation un convertisseur DC-DC

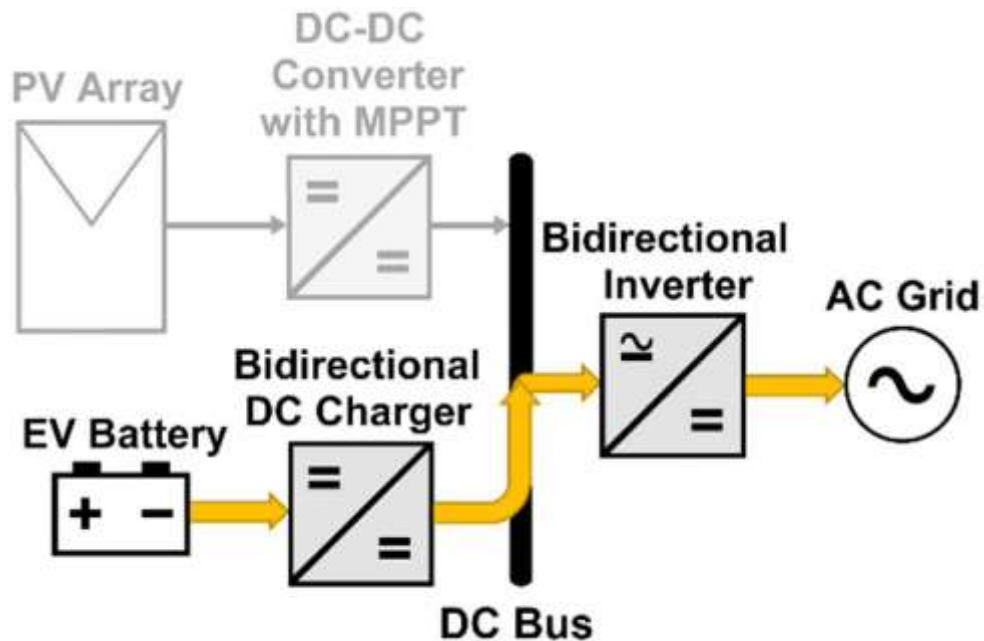


Figure I.2 Architecture du système photovoltaïque éolien photovoltaïque avec batteries

I.4 Energie solaire

I.4.1 Utilities

Il existe trois grands domaines d'exploitation de l'énergie solaire :

Chaleur négative : L'application est largement utilisée dans l'architecture des bâtiments, car ils ont été conçus en tenant compte de la tentative d'obtenir un chauffage naturel du soleil.

Énergie solaire thermique : où des panneaux solaires spéciaux sont utilisés pour collecter la chaleur à un moment donné afin de chauffer l'eau en vapeur à haute pression afin de faire tourner les générateurs pour produire de l'électricité

L'énergie photovoltaïque : une technologie spéciale qui utilise l'énergie solaire pour produire de l'électricité grâce à des panneaux photovoltaïques

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'étude de l'énergie photovoltaïque.

I.4.2 Répartition spectrale du rayonnement solaire

Notre planète reçoit continuellement des photons provenant des sources lumineuses présentes dans l'univers. La majorité de ces photons sont générés au cours des réactions Nucléaires qui ont lieu au cœur des étoiles. Le Soleil est l'émetteur principal de lumière dans Les environs de la Terre. À une telle distance et avec un rayon de 6380 km, cette dernière ne Reçoit en moyenne que $4,52 \times 10^{-8}$ % de l'énergie émise par notre étoile. Il est donc tout à fait Inutile de s'intéresser aux autres sources stellaires pour les applications photovoltaïques Spatiales et terrestres. Dans ce contexte, il est indispensable de bien connaître la répartition en Énergie des photons en provenance du Soleil. [14]

Cette énergie se traduit par l'émission d'un rayonnement des photons dont la longueur D'onde s'étend de l'ultraviolet (0,2 micron) à l'infrarouge lointain (2,5 microns), avec une

Majorité dans le visible (0,3 micron –violet– à 0,8 micron –rouge–) autour d'un pic à 0,45 micron. [15]

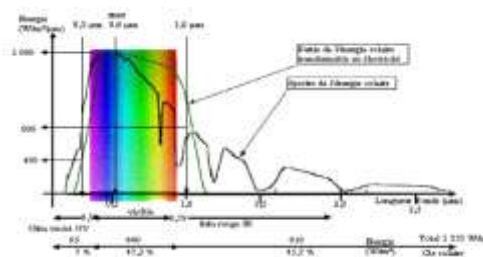


Figure I.3 Spectres solaires [16]

I.4.3 Effet photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque (PV) est la transformation directe de la lumière en électricité. A l'encontre de l'énergie solaire passive, qui utilise les éléments structuraux d'un bâtiment pour mieux le chauffer (ou le refroidir), et de l'énergie solaire active, qui utilise un caloporteur (liquide ou gazeux) pour transporter et stocker la chaleur du soleil (on pense au chauffe-eau), l'énergie photovoltaïque n'est pas une forme d'énergie thermique. Elle utilise une photopile pour transformer directement l'énergie solaire en électricité. L'effet photovoltaïque, c'est-à-dire la production d'électricité directement de la lumière, fut observée la première fois, en 1839, par le physicien français Edmond Becquerel. Toutefois, ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs de la compagnie Bell-Lab, aux États-Unis, parvinrent à fabriquer la première photopile, l'élément primaire d'un système photovoltaïque [17].

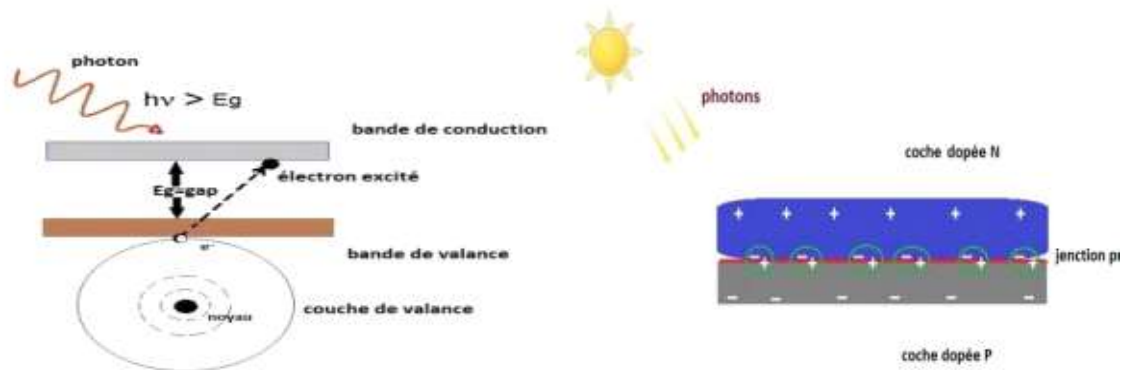


Figure I.4 Excitation des électrons de valence par les photons et la jonction (P-N) [18]

I.4.4 Historique de l'énergie photovoltaïque [4]

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque.

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

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

Chapter I: Etat de l'art des systèmes photovoltaïques et hybridation

Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

1905 : Albert Einstein a écrit que la lumière pouvait entrer à l'intérieur des atomes, et que la collision entre les photons et les atomes pouvait faire sortir des électrons de leurs orbites et permettre la création d'un courant électrique.

1912 : Albert Einstein sera le premier à expliquer le phénomène d'effet photovoltaïque, et reçoit le prix Nobel de physique en 1921 pour cette explication.

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

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

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

1983 : La première voiture alimentée par l'énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

1995 : Des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau ont été lancés, au Japon et en Allemagne, et se généralisent depuis 2001.

Actuellement la production mondiale de l'électricité à base d'énergie solaire est d'environ : 185.9 TWh

I.4.5 Constitution d'un système photovoltaïque

I.4.5.1 Cellules photovoltaïques

La cellule photovoltaïque est l'élément de base qui permet la conversion directe de l'énergie solaire (rayon lumineux), à une énergie électrique. Ce mode de conversion repose sur un principe très connu qui est l'effet photovoltaïque. Et pour passer de l'effet photovoltaïque à l'application pratique, il est nécessaire de trouver des matériaux semi-conducteurs qui permettent

d'optimiser les deux phases essentielles de ce principe, soit l'absorption de la lumière incidente et la collection des électrons en surface.

Les cellules PV sont fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs qui sont capables de conduire l'électricité ou de la transporter. Plus de 90 % des cellules solaires fabriquées à l'heure actuelle sont au silicium cristallin, un semi-conducteur. Une des faces de la cellule est dopée n (par exemple du phosphore). L'autre est dopée p (par exemple du bore). Des électrodes métalliques sont placées sur les 2 faces pour permettre de récolter les électrons et de réaliser un circuit électrique. La face supérieure de la cellule est traitée de manière à optimiser la quantité de lumière entrant dans la cellule au moyen de traitement de surface, par l'application d'une couche anti réflexion, et d'autre couche en verre pour l'étanchéité et la protection de la cellule. En fin les faces supérieure et inférieure sont équipées d'électrodes pour récolter les électrons. [4]

I.4.5.2 Principe de fonctionnement

La cellule photovoltaïque est la plus petite partie de l'installation et se compose d'un matériau semi-conducteur qui convertit les photons du rayonnement solaire en énergie électrique par effet photoélectrique. Cette conversion se fait selon le principe suivant :

Sous la lumière, les paires électron-trou photo-générées dans la zone de charge d'espace (ZCE) y sont immédiatement séparées par le champ électrique (Figure I.5). Les trous chargés positivement accélèrent vers la zone P, et les électrons chargés négativement accélèrent vers la zone N, et les trous et les électrons deviennent majoritaires : c'est la génération du photocourant. Dans le même temps, les porteurs minoritaires, les trous générés côté N et les électrons générés côté P génèrent un gradient de concentration et diffusent dans le matériau. S'ils atteignent la ZCE sans recombinaison, le champ électrique les entraîne à travers la zone de déplétion jusqu'à la zone où ils deviennent majoritaires : c'est le photocourant diffusé. L'existence du contact ohmique assure la collecte des porteurs, générant ainsi un courant photo-généré [2].

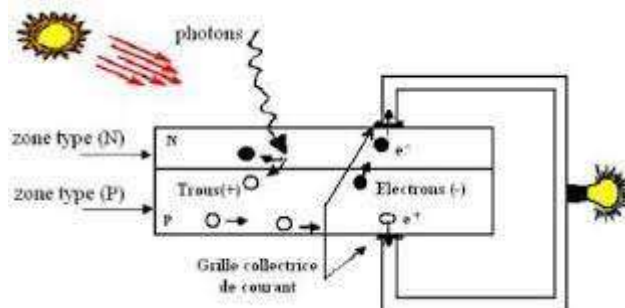


Figure I.6 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque [29]

I.4.6 Différents types de Cellules photovoltaïques

Les cellules les plus répandues actuellement sont à base de silicium (différence de potentiel de 0.6 V). Le tableau I.1 illustre le rendement des modules et des cellules en fonction des différentes technologies [8] :

Technologie	Monocristallin	Polycristallin	Amorphe
Cellule module			
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> -Très bon rendement : 14 à 20% -Durée de vie : Importante (30 ans) -Coût de fabrication : Élevé. -Puissance : 100 à 150 Wh/m² 7 m²/kWh. -Rendement faible Sous un faible éclairement Perte de rendement avec l'élévation de la température. -Fabrication : élaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal 	<ul style="list-style-type: none"> -Bon rendement : 11 à 15 %. -Durée de vie : Importante (30 ans) -Coût de fabrication meilleur marché que les panneaux monocristallins -Puissance : 100 Wh/m². 8 m²/kWh. Rendement faible sous un faible éclairement. Perte de rendement avec l'élévation de la température. -Fabrication : élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant 	<ul style="list-style-type: none"> - Rendement faible : 5 à 9%. - Durée de vie : assez importante (20 ans) - Coût de fabrication : peu onéreux par rapport aux autres technologies - Puissance : 50 Wh/m². 16 m²/kWh. - Fonctionnement correct avec un éclairement faible. - Peu sensible aux températures élevées. - Utilisables en panneaux souples. - Surface de panneaux

Chapter I: Etat de l'art des systèmes photovoltaïques et hybridation

	-Couleur bleue uniforme.	forme plusieurs cristaux. -Ces cellules sont bleues, mais non uniforme : on distingue des motifs créés car les différents cristaux.	plus importante que pour les autres panneaux au silicium. - Rendement faible en plein sol - Performances diminuant avec le temps. - Fabrication : couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide
Part de marché	43%	47%	10%

Table I-1 Principaux types de cellule [9]

I.4.7 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

Sous un éclairage donné, toute cellule photovoltaïque est caractérisée par une courbe courant-tension (Fig I.7) représentant l'ensemble des configurations électriques que peut prendre la cellule. Trois grandeurs physiques définissent cette courbe [4] :

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

Son courant de 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 V_{mpp} , I_{mpp} .

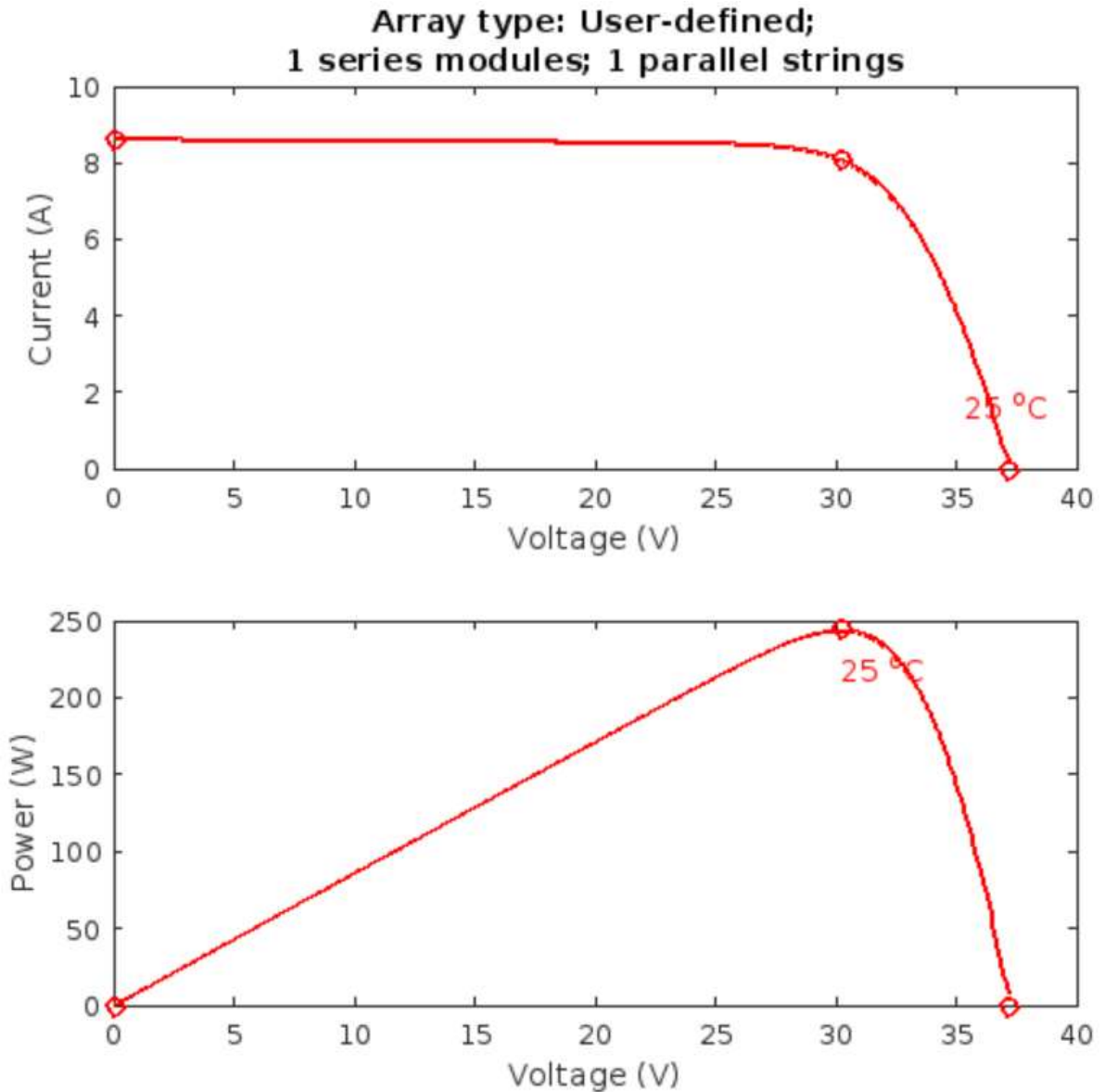


Figure I.8 caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

I.4.8 Module photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont enfermées dans des boîtiers étanches qui les protègent de l'humidité, des chocs et des désagréments. Dans le même temps, l'assemblage de cellules photovoltaïques dans un module est utilisé pour augmenter la puissance et la tension de sortie [10]



Figure I.9 Module photovoltaïque

I.4.9 Caractéristiques électriques d'un module

Dans des conditions de test standard, la puissance de la cellule photovoltaïque est extrêmement faible à environ 1,25 watts, ce qui est bien inférieur à ce qui serait utilisé dans toutes les applications électriques d'aujourd'hui.

Les panneaux solaires PV sont généralement formés en connectant plusieurs cellules centrales en série ou en ramification.

Afin de fournir la puissance maximale nécessaire, de nombreuses cellules doivent être connectées.

I.4.9.1 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 produites par chaque cellule.

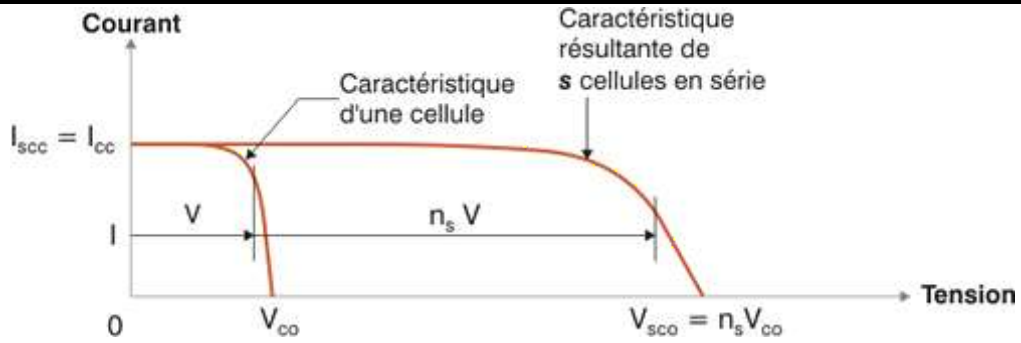


Figure I.10 Caractéristique électrique par association en série [4]

I.4.9.2 Association en parallèle

Lors de la connexion de cellules en parallèle, toutes les cellules sont soumises à la même tension tandis que le courant résultant est la somme des courants qui traversent chaque cellule.

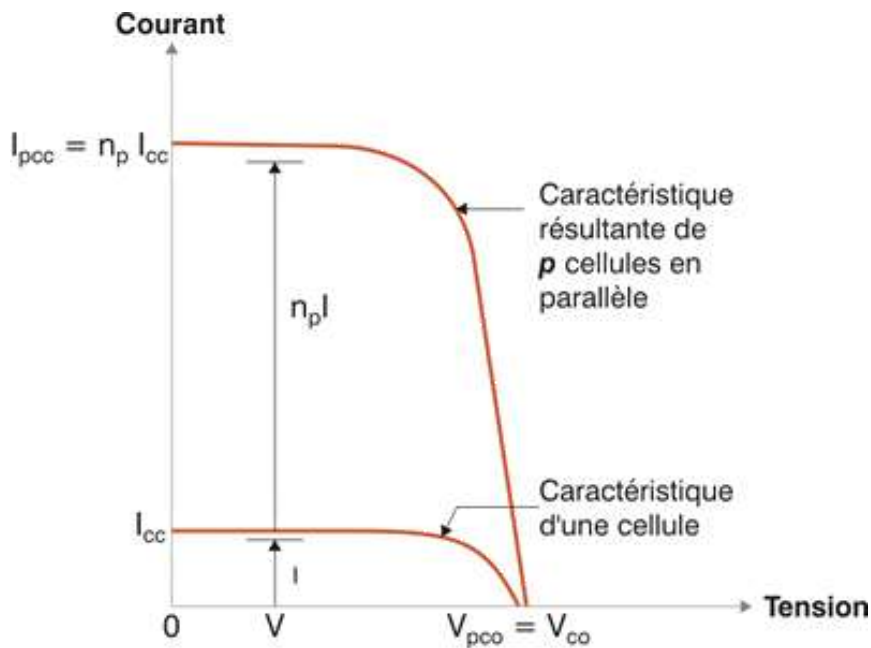


Figure I.11 Caractéristique électrique par association en parallèle [4]

I.4.9.3 Puissance crête

Les constructeurs spécifient toujours la puissance crête d'un panneau photovoltaïque. Elle représente la puissance maximum fournie par le panneau lorsque l'éclairement est 1 000 W/m², la température est 25 °C et le spectre solaire Air Mass (AM) 1,5.

Cependant, cette puissance est rarement atteinte car l'éclairement est souvent inférieur à 1000 W/m² et la température des panneaux en plein soleil dépasse largement les 25 °C [1].

I.4.10 Avantages du système photovoltaïque

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 Megawatts.

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.

I.4.11 Inconvénients du système photovoltaïque

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 et par an 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.

Chapter I: Etat de l'art des systèmes photovoltaïques et hybridation

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 ϕ . 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 ϕ perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur

I.5 Convertisseurs DC-DC

I.5.1 Les Hacheurs

Un hacheur permet de régler le transfert d'énergie d'une source continue vers la charge avec un rendement élevé. Selon la structure, il peut être abaisseur ou élévateur de tension et, dans certaines conditions, renvoyer de l'énergie à l'alimentation. Il est utilisé dans les alimentations et pour le pilotage des moteurs. [3]

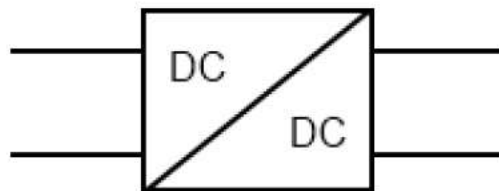


Figure I.12 Convertisseurs DC-DC

La fonction essentielle d'un convertisseur de puissance est double : d'une part adapter la forme de l'énergie aux besoins d'une charge (typiquement en transformant une tension en une tension continue et/ou en modifiant le niveau de la tension) et d'autre part stabiliser ce flux d'énergie en filtrant autant que possible les fluctuations de la source.

Dans le principe, assurer ces deux fonctions n'est pas excessivement complexe : fabriquer une alimentation élémentaire demande un nombre de composants relativement réduit. Mais l'utilisateur privé ou professionnel a beaucoup d'autres exigences. Idéalement, un convertisseur doit en effet [3] :

Délivrer une ou souvent plusieurs tensions parfaitement continues, éventuellement ajustables et stables quel que soit le courant demandé ;

Posséder un rendement élevé ;

Présenter un niveau de sécurité élevé, notamment en répondant aux normes d'isolation entre l'utilisateur et le réseau ;

Posséder une fiabilité élevée relativement à la durée de vie de l'application, en ce compris la résistance aux contraintes de l'environnement (vibrations, température, humidité, etc) ;

Ne pas être une source de perturbations pour le réseau électrique amont ou les équipements environnants ni être trop sensible aux perturbations émanant de ceux-ci (compatibilité électromagnétique) ;

Être la plus petite et la plus légère possible ;

Et bien entendu être de préférence peu coûteuse

I.5.2 Domaine d'utilisation des hacheurs [4]

Un des gros domaines d'utilisation des hacheurs est la variation de vitesse du moteur à courant continu (MCC), Ils équipent par exemple la majorité des engins de moyenne traction, tels que ceux utilisés pour le métro. La première génération de TGV est équipée d'ensembles hacheurs-moteurs à courant continu.

Nous trouvons aussi des hacheurs dans tous les équipements destinés à l'utilisation de l'énergie éolienne ou solaire.

I.5.3 Type des hacheurs

Nous traitons dans cette partie des convertisseurs unidirectionnels en courant et en tension. Cela implique que la fluence d'énergie ne peut se faire, au sein du convertisseur, que dans un seul sens. Cela revient également à considérer [3] :

- Des sources de tension non réversibles, unidirectionnelles en courant.
- Des sources de courant non réversibles, unidirectionnelles en tension.

Chapter I: Etat de l'art des systèmes photovoltaïques et hybridation

Cela conduit à L'étude des convertisseurs DC-DC les plus simples qui puissent être. Dans ce cadre, on distingue trois familles de convertisseurs statiques (ou hacheurs).

- Hacheur abaisseur (ou buck),
- Hacheur élévateur (ou boost),
- Hacheur abaisseur-élévateur (buck-boost).

Convertisseurs	Rapport de transformation en fonction de α
Buck	A
Boost	$\frac{\alpha}{1 - \alpha}$
Buck-Boost	$\frac{-\alpha}{1 - \alpha}$

Table I-2 Rapports de transformation des principaux convertisseurs DC-DC

Type	Fonction	Interrupteur	Diode	Transformateur	Complexité
Buck	<i>Abaisseur</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>Non</i>	<i>Faible</i>
Boost	<i>Elévateur</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>Non</i>	<i>Faible</i>
Buck-Boost	<i>Abaisseur/Elévateur</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>Non</i>	<i>Faible</i>
Half Forward	<i>Abaisseur/Elévateur</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>Oui</i>	<i>Moyenne</i>
Flyback	<i>Abaisseur/Elévateur</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>Oui</i>	<i>Moyenne</i>
Push pull	<i>Abaisseur/Elévateur</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>Oui</i>	<i>Forte</i>
Half bridge	<i>Abaisseur/Elévateur</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>Oui</i>	<i>Forte</i>
Full bridge	<i>Abaisseur/Elévateur</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>Oui</i>	<i>Très forte</i>

Table I-3 Type des convertisseurs DC/DC.

I.6 Batterie

Les batteries sont des accumulateurs d'énergie, un nombre de cycles prédéterminés à l'avance par le climat (température ambiante) et par le kind d'utilisation que l'on va en faire (profondeur de décharge). Le coût de l'investissement et le coût induit par leur durée de vie, vont dépendre de leur qualité de fabrication et du kind de technologie

I.6.1 Les deux principales caracteristiques des batteries

Pour toutes les batteries, quel que soit le type de fabrication, elles possèdent trois caractéristiques communes [19] :

-La tension : ou différence de potentiel aux bornes de la batterie, elle s'exprime en volts(V).

-La capacité : elle représente la quantité de charge électrique qu'elle peut stocker. Elle s'exprime en Coulombs (C) ou en Ampère-heure (Ah). $1Ah = 3600C$. La capacité est souvent rapportée à la masse (capacité massique) ou au volume (capacité volumique).

-La densité énergétique : c'est la quantité d'énergie stockée par unité de masse ou de volume, elle s'exprime en Wh/kg ou en Wh/L

Type de batterie	Densite (Wh/kg)	Plage de puissance	Rendement	Utilisations
Pb plumb	50	100 W a 10 MW	10 à 85%	Vhicules routiers, véhicules électriques. Site isolé non raccordé au réseau.
Ni-cd nickel-cadmium	50	Quelques watts	10 à 80%	Outillage portatif. Rasoirs électrique
Ni-mh nickel metal hydrure	75	Quelques watts	10 à 80%	Telephones portables, appareils photo, rasoirs électriques
Li ion lithium.ion	300	100 W a 10 MW	85 à 900%	Telephones portables, véhicules électriques.

Chapter I: Etat de l'art des systèmes photovoltaïques et hybridation

				Appareils photo. Ordinateurs portables
Li-pol lithium- polymere	120	100 W a 10 MW	85 à 900%	Vchicules clectriques icge.rs, telephones portables
Na-s sod ium. soufre	100 à 120	50KW a 10 MW	85 à 900%	Stockagc d'fincregie intcgrc 3 un systc1nc de productiorttd olb&rcits.

Table I-4 Illustration des différentes caractéristiques des batteries et leur domaine d'utilisation [19]

I.6.2 Les différentes technologies

Les différentes technologies Trois familles de batteries sont aujourd'hui utilisées par les industriels, selon la nature de leurs électrodes : les batteries Plomb-acide, les Nickel et les Lithium [20][21]. Selon le couple oxydo-réducteur utilisé, un élément de batterie, l'accumulateur, d'une technologie donnée est caractérisé par une tension nominale en charge, qui correspond au potentiel d'oxydoréduction spécifique à ce couple. La deuxième caractéristique clé est la capacité C_{batt} en Ah, qui spécifie le courant permettant la charge complète d'une batterie en un nombre d'heures donné. Deux principaux critères permettent de juger s'ils sont adaptés à l'application recherchée. Premièrement, leur durée de vie, qui se compte en nombre de cycles de charge-décharge profonde qu'ils sont capables de produire avant de ne plus fonctionner qu'à 80 % de leur capacité. Deuxièmement, leur énergie spécifique, qui est l'énergie massique ou volumique, stockable par les accumulateurs par unité de masse ou de volume. Elle traduit donc la légèreté et la compacité de la méthode de stockage

I.6.3 Les autres types de batteries

Plusieurs batteries ont été conçues pour répondre à l'exigence souhaitée, qui sont de plus en plus diverses et régler les problèmes de stockage pour tous les appareils électriques qui existent

I.6.3.1 Batteries plomb (pb / sla)

Avantage de la batterie : Bon marché, pas d'effet mémoire, bonne durée de vie. Insensibilité aux traitements mécaniques et électriques. Éléments recyclables à 99,96 %. Coût à l'achat le plus faible, fiables et ne posant aucun problème de sécurité. Facilité à charger et à gérer énergétiquement, surtout en mode tampon (char permanente). Opérations de maintenance simplifiées

Inconvénient : Poids élevé, faible autonomie, sensible au froid et difficilement transportable en raison d'acide liquide (pour les véhicules électriques, certains fabricants utilisent un mélange eau-acide gélatineux et non liquide).

Pour optimiser ces batteries, il faut évitez de les décharger complètement _et les stocker chargées.[22]

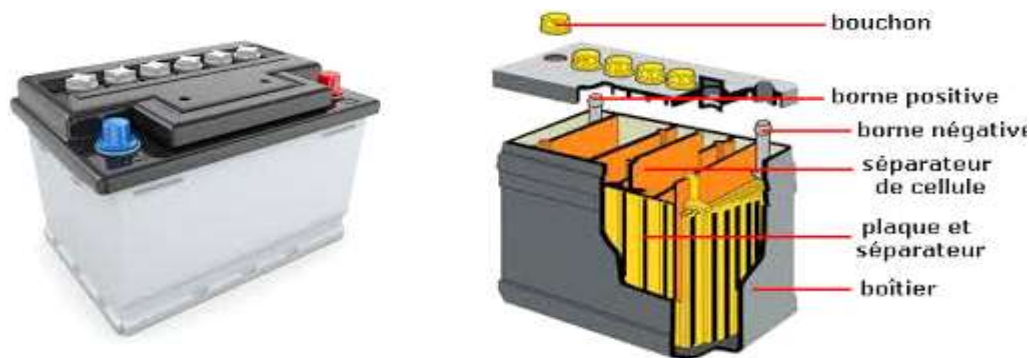


Figure I.13 Batteries Plomb [13]

I.6.3.2 Batteries nickel-cadmium (ni-cad)

Avantage de la batterie : Plus légères que le plomb et plutôt bon marché. Se recharge facilement même à 0 basse température. Grande durée de vie en nombre de cycles de charge et de décharge (nombre de recharge 1500 et le temps de charge 1heure). Résistance interne faible. Stockage et transport simple. Faible coût.

Inconvénient : Effet mémoire (décharger complètement la batterie _avant de la recharger), polluantes, autonomie moyenne.

Pour optimiser ces batteries il faut les stocker déchargées.[22]

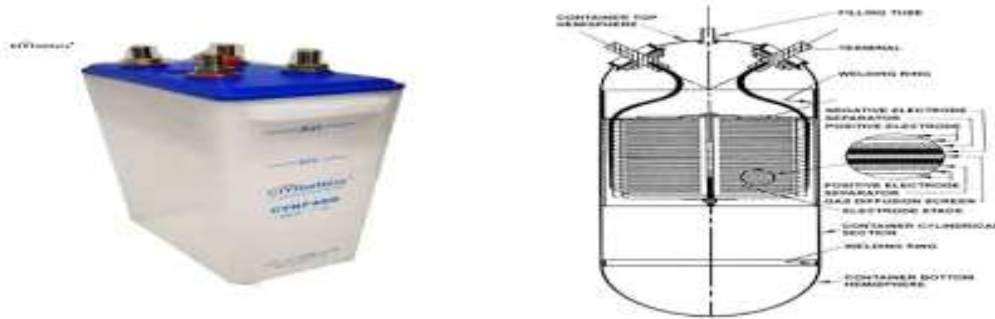


Figure I.14 Batteries Nickel-Cadmium [13]

I.6.3.3 Batteries nickel-metal hydrure (ni-mh)

Avantage de la batterie : Elles sont proches des Ni-Cad, elles souffrent moins de l'effet mémoire et bénéficient d'une meilleure autonomie.

Inconvénient : Elles sont plus onéreuses mais sont sujettes au phénomène d'auto-décharge.

Lisez également : Aide à l'achat d'un vélo électrique en Ile de France [22]

Batteries lithium (li-ion ou li-po)

Avantage de la batterie : légère, bonne autonomie, pas d'effet mémoire, grande variété de formes Ne présente aucun effet mémoire, contrairement au l'accumulateur à base de Nickel. Auto- décharge faible (10%/mois). Possède une haute densité d'énergie pour un poids très faible.

Inconvénient : batterie très onéreuse, s'use dans le temps même sans utilisation.

Pour optimiser ces batteries, il faut les stocker faiblement _chargées à une température de 20°C. Ces batteries sont actuellement considérées comme les meilleures pour un deux-roues électrique.[22]

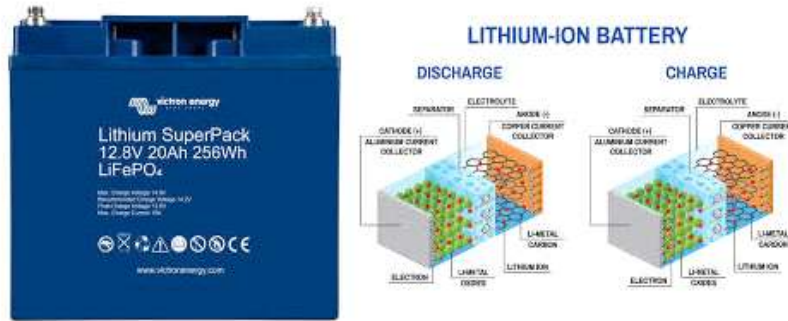


Figure I.15 Batteries Lithium [13]

I.6.4 Effet mémoire

L'effet mémoire touche les batteries nickel-hydrure de métal, Ni-MH. Le principe est que lorsque l'on recharge une batterie sans jamais la laisser se décharger totalement, on finit par perdre la capacité non utilisée : une batterie utilisée la plupart du temps à 75% finit par perdre 25% de sa capacité. Une décharge complète avec un appareil approprié peut rendre réversible ce phénomène. Une explication de ce phénomène peut par exemple être consultée sur le site « Le monde des accumulateurs & batteries rechargeables » [12].

I.6.5 Réalisations industrielles

La tension nominale aux bornes d'un élément primaire (deux plaques : électrode positive et électrode négative) dépend des couples de matériaux utilisés dans la batterie. Par exemple, aux bornes de batterie au plomb (couple plomb/oxyde de plomb) la tension théorique maximale est de 2 V. Afin d'obtenir une batterie de 12 V il faut empiler 6 entités primaires. Deux formes principales sont proposées

agencement cylindrique

agencement prismatique

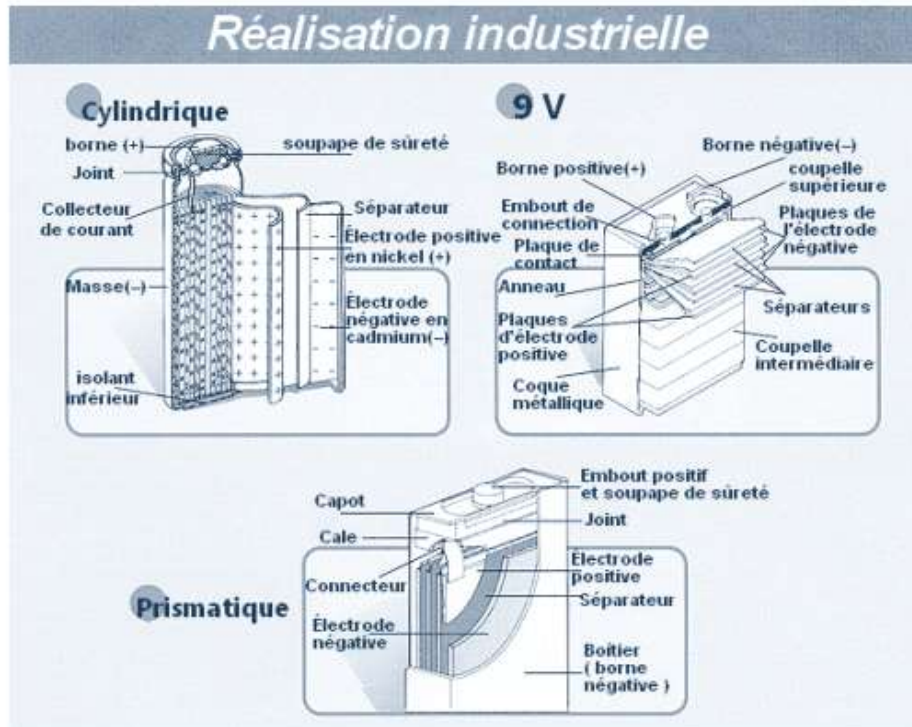


Figure I.16 Différentes réalisations de batteries [12]

I.6.6 Les trois étapes de charge de batterie

Etape 1 – La charge rapide fournit une tension de charge maximale qui sert à « Réveiller » les batteries de 12 volts pour permettre un démarrage rapide. Lorsque la tension de la batterie atteint le point de consigne, le chargeur passe automatiquement à l'étape 2 du processus de charge. [11]

Etape 2 – Durant la charge lente, la tension est maintenue au point de Consigne pour offrir une charge sécuritaire et constante. La tension est constante Alors que l'intensité réelle diminue pour permettre le transfert optimal de l'énergie Chimique à l'interne. À la fin de l'étape 2, le chargeur passe automatiquement à L'étape 3 du processus de charge. [11]

Etape 3 – Charge de maintien (float) – La tension est maintenue et diminuée Automatiquement jusqu'au point de consigne alors que l'intensité est ajustée pour Charger la batterie de façon sécuritaire et efficace. Le mode de charge de maintien automatique est idéal pour maintenir la charge d'une Batterie. [11]

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous donnons un aperçu du système énergétique photovoltaïque où nous choisissons l'hybride entre batterie et photovoltaïque.

Afin d'exploiter correctement et efficacement l'énergie photovoltaïque, il existe trois éléments de base : des panneaux solaires capables de convertir l'énergie photovoltaïque en énergie électrique, un convertisseur DC / DC, en plus des batteries. Nous avons fourni une explication détaillée pour chaque élément séparément.

**Chapter II: Modélisation de systèmes
photovoltaïque**

II.1 Introduction

Afin d'étudier le système PV et de comprendre et prévoir son comportement, le système doit être conçu dans un modèle qui nous fournit des résultats plus proches de la réalité. Dans ce chapitre, nous allons modéliser le système PV et extraire les équations qui décrivent le comportement du système PV.

II.2 Modélisation de l'Hacheur

II.2.1 Hacheur Buck

C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type tension continue et la charge de sortie continue de type source de courant [3].

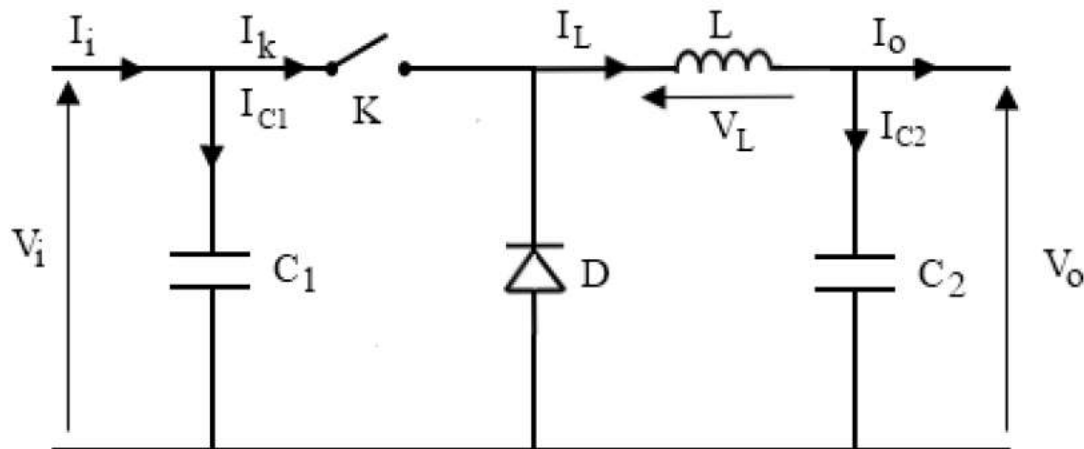


Figure II.1 Schème de Hacheur Buck

II.2.1.1 Fonctionnement

Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée αT_e , la tension appliquée aux bornes de la diode est V_i . L'interrupteur est commandé à la fréquence de découpage $f_e = \frac{1}{T_e}$. La source

Chapter II: Modélisation de systèmes photovoltaïques

V_i fournit de l'énergie à la charge et à l'inductance. Pendant le temps $t \in [\alpha T_e, T_e]$, l'interrupteur s'ouvre et l'énergie emmagasinée dans l'inductance commande la circulation du courant dans la diode de roue libre D. La tension à ses bornes est donc nulle [3].

Les chronogrammes (tracés dans le cas idéal) de la figure (Figure II.2) sont tracés dans le cas d'une conduction continue, c'est-à-dire que le courant ne repasse jamais par zéro. Pour calculer la relation entre la tension d'entrée et celle de sortie, on exprime que la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle [3] :

$$V_0 = \alpha * V_i \quad (II-1)$$

A : Rapport cyclique.

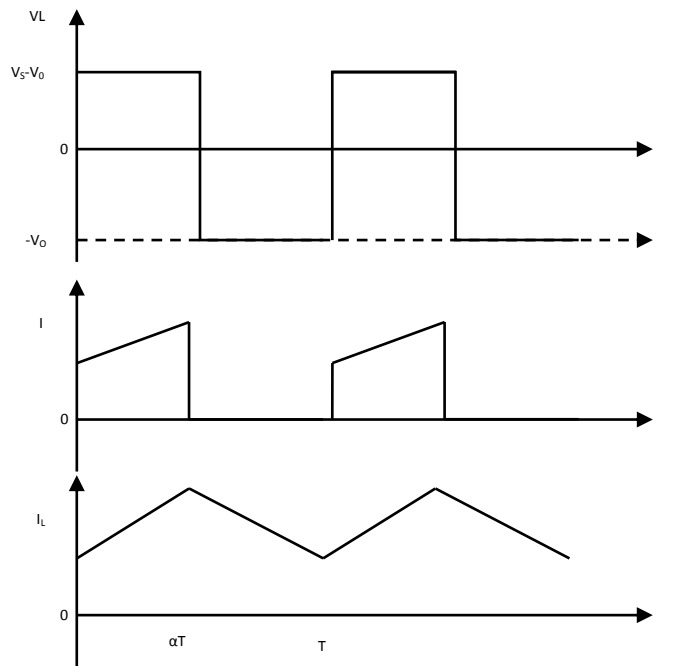


Figure II.3 Caractéristiques électriques hacheur buck

II.2.1.2 Modèle mathématique équivalent

Pour savoir le comportement réel nous devons faire la représentation du circuit équivalent par les deux états du commutateur et de tirer par suite le modèle mathématique reliant les variables d'entrée/sortie. La figure (Figure II.4) montre le schéma du circuit équivalent d'un

Chapter II: Modélisation de systèmes photovoltaïques

convertisseur dévolteur avec le commutateur fermé, tandis que la figure (Figure II.4) représente le convertisseur dévolteur avec le commutateur ouvert pendant $(1 - \alpha)T_e[3]$.

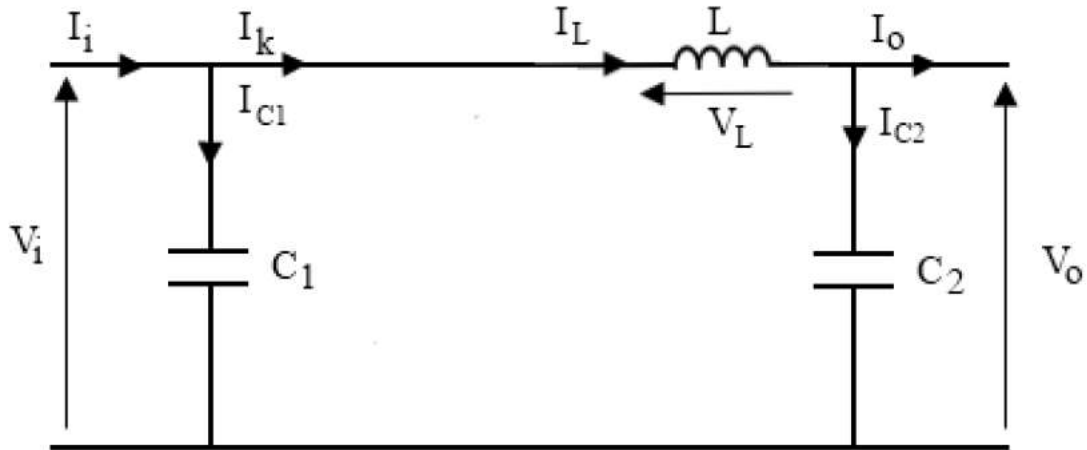


Figure II.5 schéma de circuit fermé d'hacheur buck

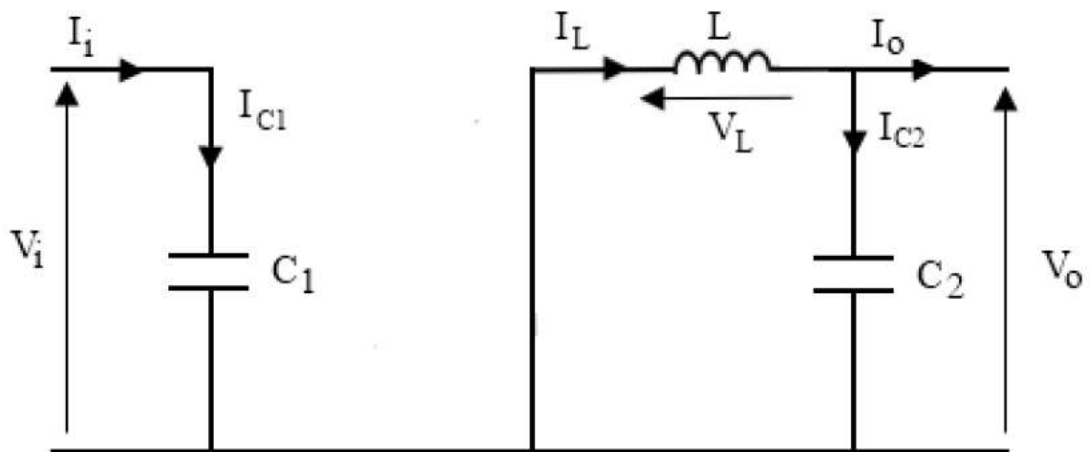


Figure II.6 schéma de circuit ouvert d'hacheur Buck

Lorsqu'on applique la loi de Kirchhoff sur le circuit ci-dessus on aura les équations suivantes :

Circuit fermé:

$$I_{c1}(t) = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_L(t) \quad (II-2)$$

$$I_{c2}(t) = C_{c2} \frac{dV_0(t)}{dt} = I_l(t) - I_0(t) \quad (II-3)$$

$$V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} = V_i(t) - V_0(t) \quad (II-4)$$

$$\frac{dI_L(t)}{dt} = \frac{V_i(t) - V_0(t)}{L} \rightarrow I_L = \left(\frac{V_i(t) - V_0(t)}{L} \right) t + I_M \quad (II-5)$$

Circuit ouvert:

$$I_{c1}(t) = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) \quad (II-6)$$

$$I_{c2}(t) = C_{c2} \frac{dV_0(t)}{dt} = I_l(t) - I_0(t) \quad (II-7)$$

$$V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} = -V_0(t) \quad (II-8)$$

$$\frac{dI_L(t)}{dt} = \frac{-V_0(t)}{L} \rightarrow I_L = \left(\frac{-V_0(t)}{L} \right) t + I_m \quad (II-9)$$

II.2.2 Hacheur boost

C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type courant continu (inductance en série avec une source de tension) et la charge de sortie est de type tension continue (condensateur en parallèle avec la charge résistive). [3].

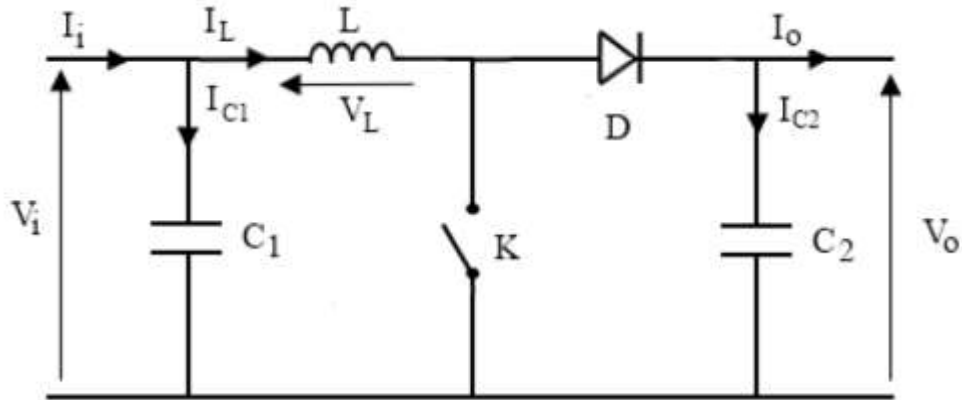


Figure II.7 schéma d'hacheur boost

II.2.2.1 Fonctionnement

Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée αT_e , le courant dans l'inductance croît linéairement. La tension aux bornes de K est nulle. Pendant le temps $t \in [\alpha T_e, T_e]$, l'interrupteur s'ouvre et l'énergie emmagasinée dans l'inductance commande la circulation du courant dans la diode de roue libre D. On a alors $V_K = V_0$. En écrivant que la tension aux bornes de l'inductance est nulle, on arrive à [3] :

$$V_0(1 - \alpha) = V_i \tag{II-10}$$

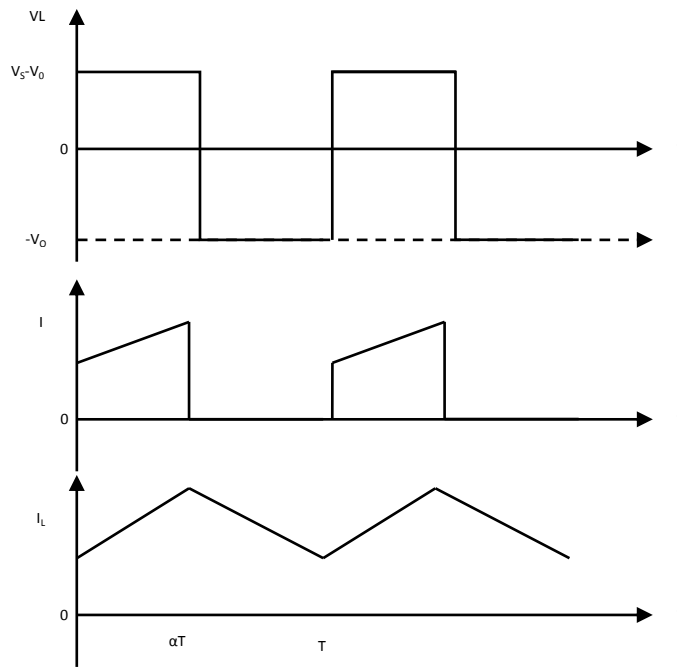


Figure II.8 Caractéristiques électriques d'un hacheur boost

II.2.2.2 Modèle mathématique équivalent

Afin de pouvoir synthétiser les fonctions de l'hacheur survolteur à l'état d'équilibre, il est nécessaire de présenter les schémas équivalents du circuit à chaque position de l'interrupteur K . celui de la figure (Figure II.7), présente le circuit équivalent du boost lorsque K est fermé c-à-d entre $[0, \alpha T_e]$ [3].

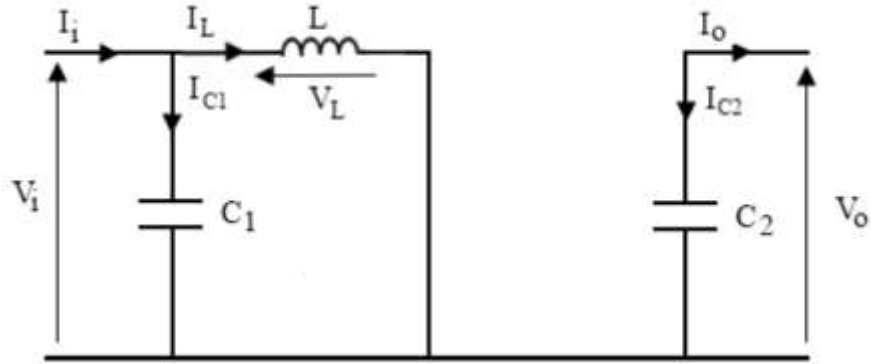


Figure II.9 schéma de circuit over d'hacheur boost

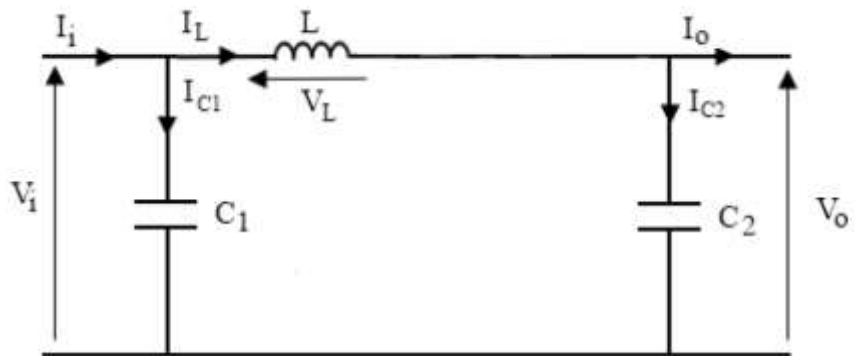


Figure II.10 schéma de circuit fermé d'hacheur boost

Comme pour le circuit buck, l'application des lois de Kirchhoff sur les circuits équivalents des deux phases de fonctionnement donne :

$$I_{c1}(t) = C_1 \frac{dv_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_L(t) \quad (II-11)$$

$$I_{c2}(t) = C_{c2} \frac{dV_0(t)}{dt} = -I_0(t) \quad (II-12)$$

$$V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} = V_i(t) \quad (II-13)$$

$$\frac{dI_L(t)}{dt} = \frac{V_i(t)}{L} \rightarrow I_L = \left(\frac{V_i(t)}{L}\right) t + I_m \quad (II-14)$$

À l'état ouvert de l'interrupteur K, le circuit équivalent au fonctionnement du Boost est le suivant :

$$I_{c1}(t) = C_1 \frac{dv_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_L(t) \quad (II-15)$$

$$I_{c2}(t) = C_2 \frac{dv_0(t)}{dt} = I_L(t) - I_0(t) \quad (II-16)$$

$$V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} = V_i(t) - V_0(t) \quad (II-17)$$

$$\frac{dI_L(t)}{dt} = \frac{V_i(t) - V_0(t)}{L} \rightarrow I_L(t) = \left(\frac{V_i(t) - V_0(t)}{L} \right) t + I_M \quad (II-18)$$

II.2.3 Hacheur Buck-Boost

L'hacheur buck-boost est un convertisseur indirect DC-DC à stockage inductif. La source d'entrée est de type tension continue (filtrage capacitif en parallèle avec une source de tension) et la charge de sortie continue de type source de tension (condensateur en parallèle avec la charge résistive).[3]

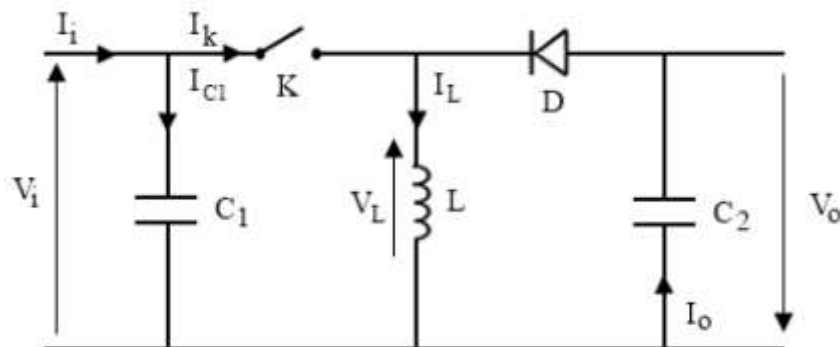


Figure II.11 schéma d'hacheur Buck-Boost

II.2.3.1 Fonctionnement

Cette structure de convertisseur permet d'obtenir des tensions négatives à partir de tension positive. Le schéma de principe est présenté figure (Figure II.10). Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée αT_e , le courant augmente linéairement. La tension est égale à V_i . À

Chapter II: Modélisation de systèmes photovoltaïques

l'ouverture de K, la diode prend le relais et la tension V_L est égale à $-V_0$. Par définition la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle. Il en résulte que [3] :

$$V_i \cdot \alpha \cdot T = V_0(1 - \alpha)T \quad (II-19)$$

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

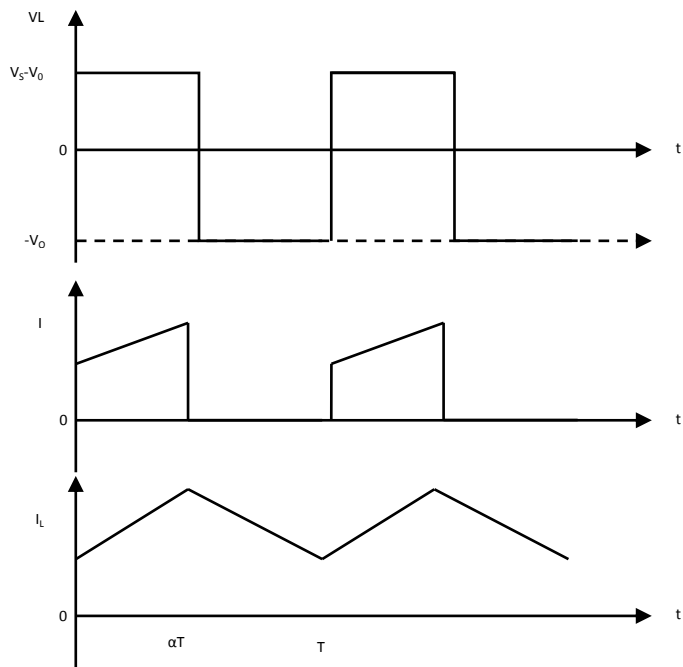


Figure II.12 Caractéristiques électriques d'un hacheur buck-boost

II.2.3.2 Modèle mathématique équivalent

Lorsque l'interrupteur K est fermé le circuit équivalent est montré sur la figure (Figure II.11)

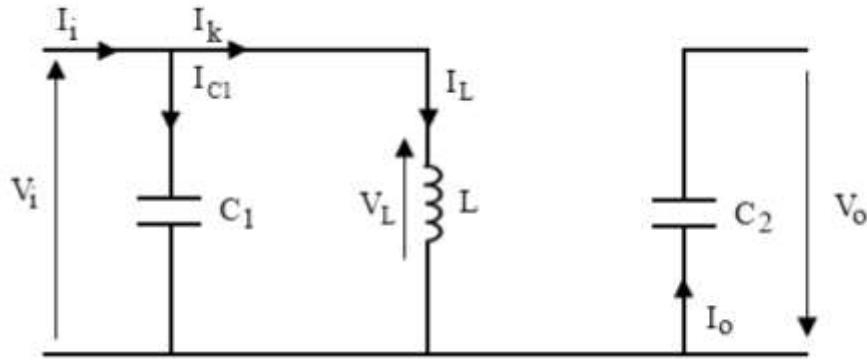


Figure II.13 schéma de circuit fermé d'hacheur Buck-Boost

En appliquant la loi de Kirchhoff à ce circuit on obtiendra les équations suivantes :

$$I_{c1}(t) = C_1 \frac{dv_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_L(t) \quad (II-20)$$

$$I_{c2}(t) = C_{c2} \frac{dV_0(t)}{dt} = I_0(t) \quad (II-21)$$

$$V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} = V_i(t) \quad (II-22)$$

Lorsque l'interrupteur K est ouvert le circuit équivalent apparaît à la Figure II.12

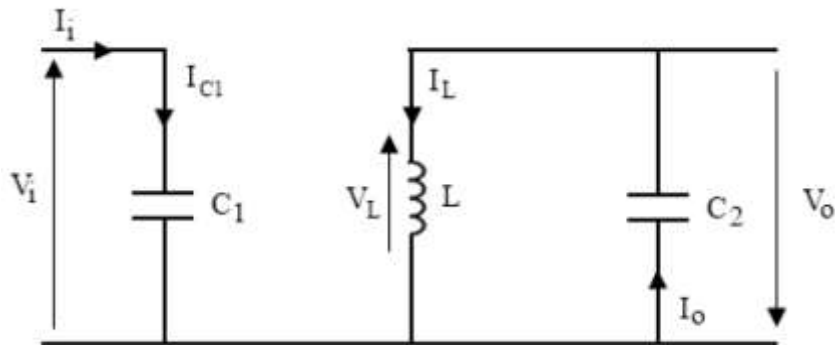


Figure II.14 schéma de circuit ouvert d'hacheur Buck-Boost

Le modèle d'équation dans cette configuration est comme suit :

$$I_{c1}(t) = C_1 \frac{dv_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_L(t) \quad (II-23)$$

$$I_{c2}(t) = C_{c2} \frac{dV_0(t)}{dt} = I_L(t) - I_0(t) \quad (II-24)$$

$$V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} = V_i(t) - V_0(t) \quad (II-25)$$

II.3 Cellule photovoltaïque

L'analogie entre le fonctionnement de la cellule photovoltaïque sous éclairage et celui d'un générateur de courant, produisant un courant I_{ph} auquel se soustrait le courant de la diode en polarisation directe, n'est qu'une représentation simplifiée du fonctionnement réel de la cellule. Pour tenir compte des différentes limitations de la cellule photovoltaïque, Nous introduisons un modèle de vanne illustré dans la figure (Figure II.13) suivante.

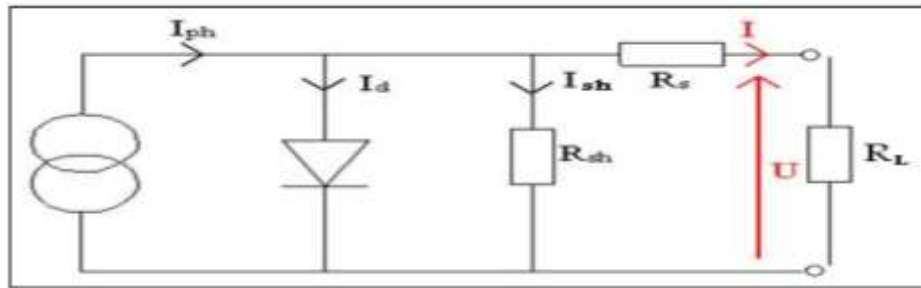


Figure II.15 Modèle équivalent d'une cellule PV

En appliquant la loi de Kirchhoff, on obtient :

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (II-26)$$

Où :

I : Courant fourni par la cellule

I_{ph} : Courant généré par l'effet photonique.

Le courant de jonction I_{ph} donnée par :

$$I_{ph} = \left[I_{sc0} * \frac{S}{S_0} + C_t * (T - T_{ref}) \right] \quad (II-27)$$

Où :

I_{sc0} : Courant de court-circuit du panneau (donné par le constructeur).

S_0 : Intensité de lumière (Radiation ou éclairage) sous (STC. $S_0=1000$).

C_t : Coefficient de température affectant le photo-courant.

T : Température absolue réellement reçue sur la surface de la cellule

Chapter II: Modélisation de systèmes photovoltaïques

T_{ref} : Température absolue de référence sous STC. $T_{ref} = [25 \pm 2^\circ\text{C}] + 273$ ou $T_{ref} = 300$.

Le courant de jonction I_d donnée par :

$$I_d = I_s \left[e^{\left(\frac{q \cdot V_d}{A \cdot K \cdot T}\right)} - 1 \right] = I_s \left[e^{\left(\frac{V+I \cdot R_s}{A \cdot K \cdot T}\right)} - 1 \right] \quad (\text{II-28})$$

Où :

I_s : Courant de saturation dû au mécanisme de diffusion.

A : Facteur de qualité (d'idéalité) de chaque cellule $A=1,3$ avec un seul exponentiel.

K : Constante de Boltzmann. $K = 1.3805 \cdot 10^{-23}$

T : Température absolue réellement reçue sur la surface de la cellule.

Q : Charge de l'électron $q=1,6 \cdot 10^{-19}$.

V_d : Tension brute générée aux bornes d'une cellule sans prendre en compte R_s .

V : Tension finale aux bornes d'une cellule.

Le courant dans la résistance R_{sh} est donné par :

$$I_{Rsh} = \frac{V+R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (\text{II-29})$$

Remplaçons dans (1.1) les équations (1.2) (1.3) et (1.4) l'équation caractéristique deviendra :

$$I = I_{ph} - I_s \left[e^{\left(\frac{V+I \cdot R_s}{A \cdot K \cdot T}\right)} - 1 \right] - \frac{V+R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (\text{II-30})$$

Courant de saturation I_s :

Ce courant varie avec la température et est donné par :

$$I_s = I_{s0} \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^3 \cdot e^{\frac{q \cdot E_g}{A \cdot K} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right)} \quad (\text{II-31})$$

Avec :

E_g : Énergie de bande de chaque cellule

Courant de saturation inverse de la diode :

Son expression est donnée par l'équation :

$$I_{s0} = I_{sref} \cdot e^{\frac{q \cdot V_{oc}}{A \cdot K \cdot T}} \quad (\text{II-32})$$

V_{oc} : Tension de circuit ouvert de cellule

Courant de court-circuit :

Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule (en prenant $V=0$)

Chapter II: Modélisation de systèmes photovoltaïques

Dans le schéma équivalent). Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et

Dépend de la surface éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement, de la mobilité des porteurs

Et de la température.

On peut écrire :

$$I_{sc}(V = 0) = I_{ph} \quad (II-33)$$

Tension à circuit ouvert :

La tension à circuit ouvert est obtenue quand le courant qui traverse la cellule est nul.

Elle dépend de la barrière d'énergie et de la résistance shunt. Elle décroît avec la température

Et varie peu avec l'intensité lumineuse.

On peut écrire :

$$V_{oc} = \frac{A.K.T}{q} \log \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) \quad (II-34)$$

Rendement d'une cellule solaire :

Le rendement est donné par le rapport de la puissance électrique maximale générée à la puissance du rayonnement solaire incident.

$$\eta_{cell} = \frac{V_{mpp}.I_{mpp}}{P_{solair}} \quad (II-35)$$

II.3.1 Influence de l'éclairement

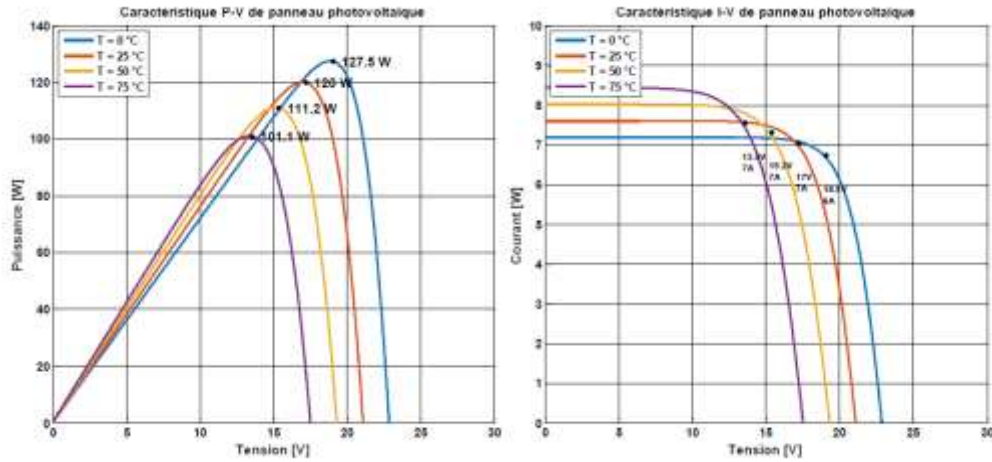


Figure II.16 Influence de l'éclairement en PV

II.3.2 Influence de la température

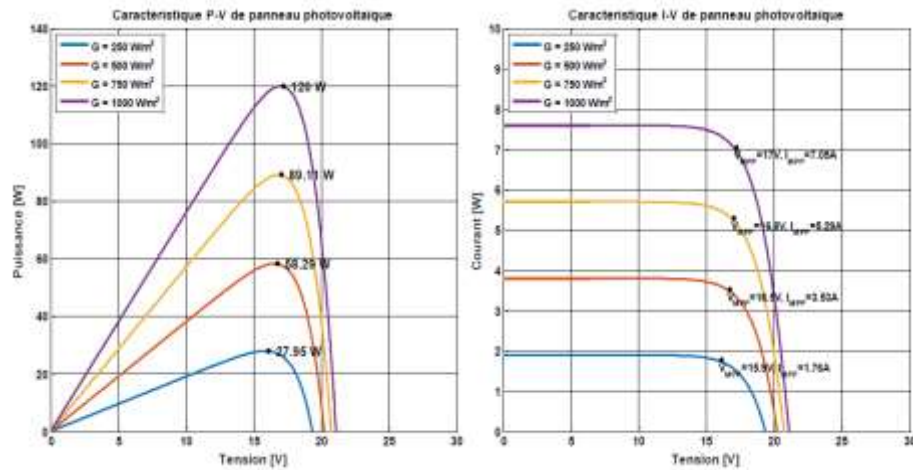


Figure II.17 Influence de la température en PV

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous modélisons à la fois les cellules photovoltaïques et le convertisseur DC DC et étudions chaque modèle afin de déterminer les paramètres qui donnent les meilleures performances et étudions les résultats de la modification de certains paramètres afin de déterminer les paramètres appropriés pour la simulation.

**Chapter III: Commande de system
photovoltaïque**

III.1 Introduction

Chaque système a besoin d'une certaine méthode de contrôle afin d'éviter les erreurs ou de les réduire au pourcentage le plus bas possible. Il existe de nombreuses théories de contrôle et dans ce chapitre, nous discuterons de l'utilisation de deux méthodes de contrôle pour contrôler un système photovoltaïque.

III.2 Commande MPPT

III.2.1 Classification des commandes MPPT

Nous pouvons classifier d'une manière générale les commandes MPPT selon le type d'implémentation électronique : analogique, numérique ou mixte.

Il est cependant plus intéressant de les classifier selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande MPPT. Bien qu'il existe un grand nombre de publications scientifiques qui présentent des commandes MPPT plus ou moins complexes, nous nous centrerons sur quelques-unes représentant le mieux un type d'algorithme.

III.2.1.1 Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée

Commandes MPPT fonctionnantes à partir des paramètres d'entrée du CS

Il y a un certain nombre de commandes MPPT qui effectue une recherche du PPM selon l'évolution de la puissance fournie par le GPV.

La commande MPPT extrême, par exemple, est basée sur cette technique. Ainsi, dans la littérature, nous pouvons retrouver différents types d'algorithmes basés sur des commandes extrêmes nommées dans la littérature anglo-saxonne *Perturb&Observe*, présentant plus ou moins de précisions [6], qui utilisent aussi la valeur de la puissance fournie par le GPV pour l'application d'une action de contrôle adéquate pour le suivi du PPM. Ce sont toutes des commandes ayant comme avantages leurs précisions et leur rapidité de réaction.

Chapter III: Commande de system photovoltaïque

D'autres types de commandes MPPT sont basés sur la régulation du courant du GPV, supposant que ce dernier soit une image proportionnelle à PM [6]. Ce type de commande ayant besoin uniquement d'un capteur, s'avère plus facile à mettre en oeuvre et un peu moins coûteuse que les commandes extrémales. Par contre, la précision de ces commandes est faible notamment à cause du procédé d'estimation de I_{cc} qui ne peut pas se faire trop souvent.

Ces commandes sont destinées à des systèmes peu coûteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où la météo garantit très peu de changements climatiques. Dans [6], les auteurs utilisent une commande basée sur la caractéristique physique en température d'une jonction PN d'une diode pour générer la référence de tension du point de fonctionnement du GPV.

III.2.2 Classification des commandes MPPT selon le type de recherche ou contrôle

Indépendamment des paramètres d'entrée de l'algorithme MPPT, nous pouvons trouver dans la littérature, différents types de commandes MPPT. Certaines d'entre elles sont basées sur des techniques de « hill climbing » où la commande MPPT essaye de faire « monter » le point de fonctionnement du GPV le long de la caractéristique $P(V)$ jusqu'à atteindre le PPM.

Dans ce type de méthodes, nous pouvons distinguer les méthodes basées sur l'incrément de conductance et les méthodes P&O (Perturb & Observe). Le principe de cette dernière sera détaillé. Autrement, le type de commande MPPT nommé algorithme d'incrément de conductance se base sur la dérivée de la conductance du GPV ($dZ = dI/dV$) pour connaître la position relative du PPM et enfin pour appliquer une action de contrôle adéquate au suivi de ce point [6].

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 PPM [6].

Et parfois, les algorithmes établissent des approximations afin que le point d'opération du GPV soit le plus proche possible du PPM, nous parlons alors de méthodes complexes assistées par ordinateur. Par exemple sur [6], la commande MPPT se base sur une estimation du point de fonctionnement du GPV réalisée à partir d'un modèle paramétrique du GPV défini au préalable.

Chapter III: Commande de system photovoltaïque

D'autres, afin d'épargner le capteur de courant du GPV, calculent le courant du GPV à partir de sa tension, à l'aide d'un DSP.

Il existe aussi des commandes MPPT basées sur la Fuzzy Logic (Fuzzy control).

Deux méthodes MPPT font l'objet d'un grand intérêt, la commande P&O (Perturb & Observe), et la commande basée sur la Fuzzy Logic, raison pour laquelle nous nous attardons à en expliquer le principe.

III.2.2.1 Algorithme 'perturbation et observation

Algorithme 'perturbation et observation' simple. C'est l'algorithme de poursuite du PPM le plus utilisé, et comme son nom l'indique il est basé sur la perturbation du système par l'augmentation ou la diminution de $V_{réf}$ ou en agissant directement sur le rapport cyclique du convertisseur DC-DC, puis l'observation de l'effet sur la puissance de sortie du panneau. Si la valeur de la puissance actuelle $P(k_s)$ du panneau est supérieure à la valeur précédente $P(k_s-1)$ alors on garde la même direction de perturbation précédente sinon on inverse la perturbation du cycle précédent. La **Figure III.1** donne l'organigramme de cet algorithme.

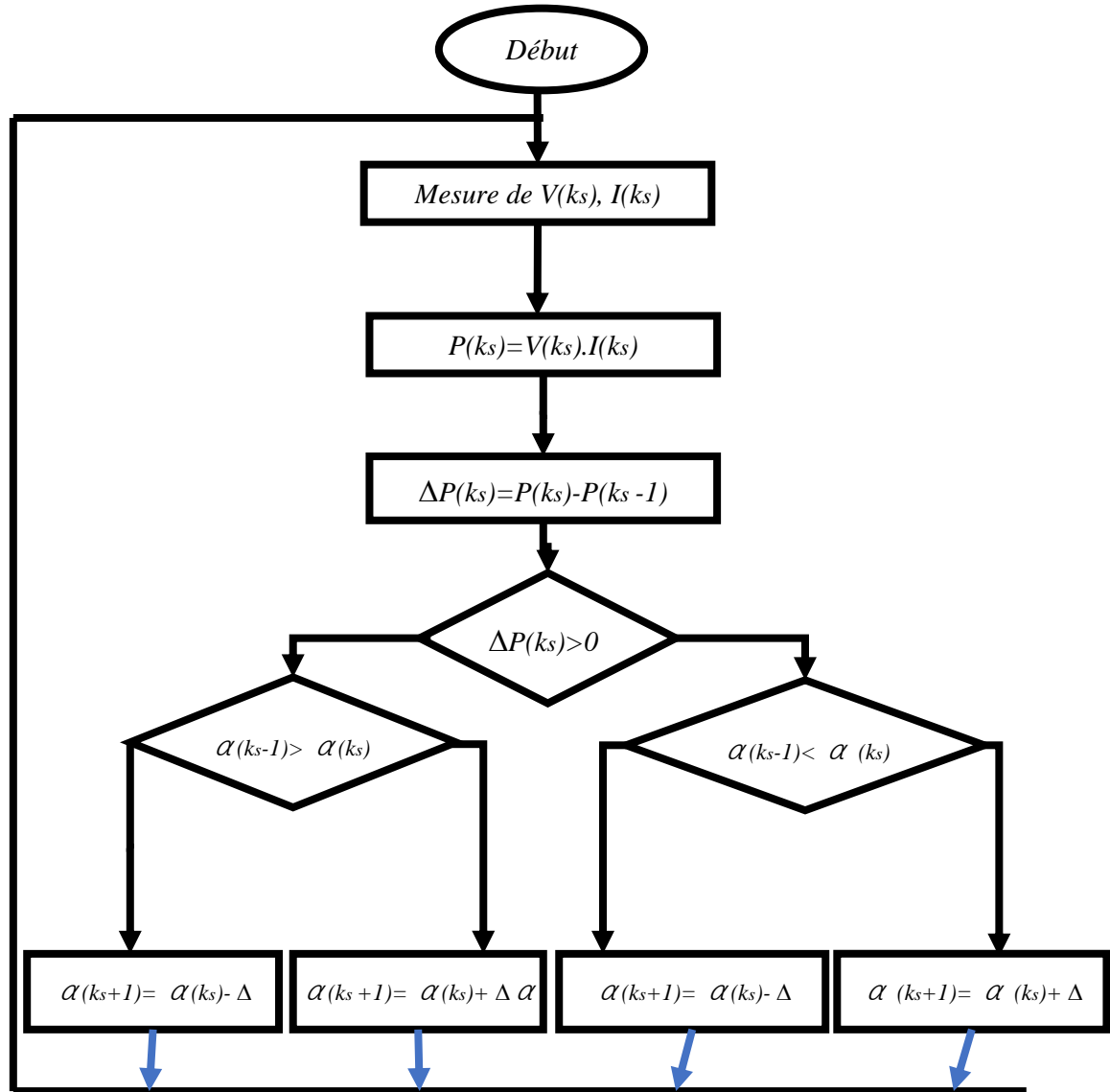


Figure III.2 Organigramme de l’algorithme perturbation et observation

La figure- **Figure III.3** montre l'organigramme de l'algorithme de P&O tel qu'il doit être implémenté dans le microprocesseur de contrôle. Avec cet algorithme la tension de fonctionnement V est perturbée à chaque cycle du MPPT. Dès que le MPP sera atteint, V

Chapter III: Commande de system photovoltaïque

oscillera autour de la tension idéale V_{mp} de fonctionnement. Ceci cause une perte de puissance qui dépend de la largeur du pas d'une perturbation simple.

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.

La valeur pour la largeur idéale du pas Δ dépend du système, elle doit être déterminée expérimentalement.

Si une augmentation brutale de l'ensoleillement est produite on aura une augmentation de la puissance du panneau, 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 qui l'éloigne du vrai point de puissance maximale. Ce processus continue 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

III.3 Résultats de simulation avec command MPPT

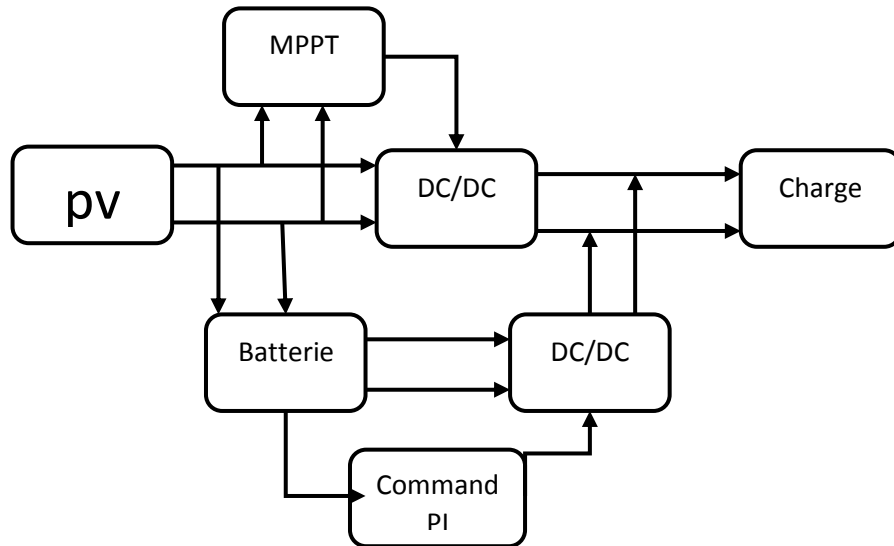


Figure III.4 bloc de system photovoltaïque a command par MPPT

Nous exécutons les simulations pour obtenir les courbes suivantes :

En cas de conditions normales: la température = 25, radiation= 1000

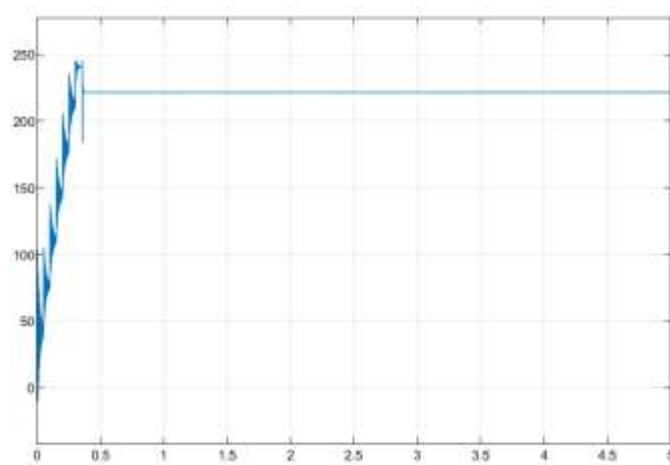


Figure III.5 Courbe Puissance de PV

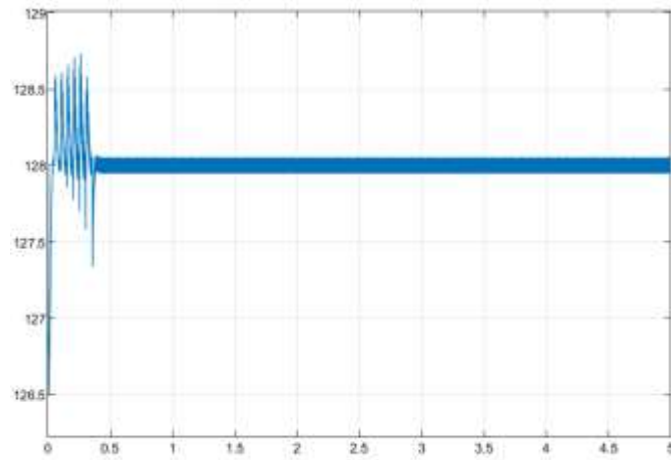


Figure III.6 Courbe Puissance de load

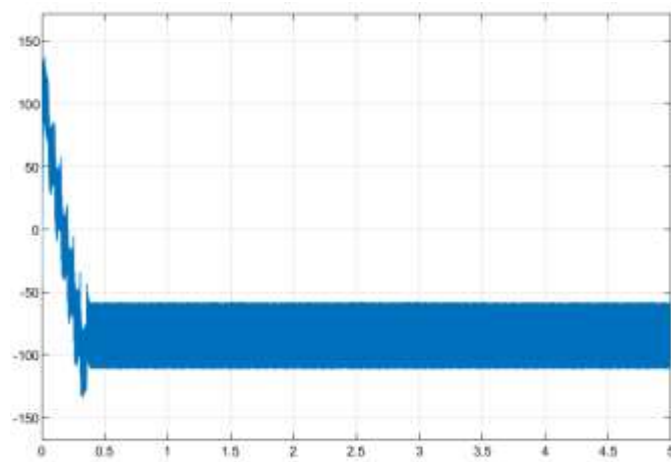


Figure III.7 Courbe Puissance de battery

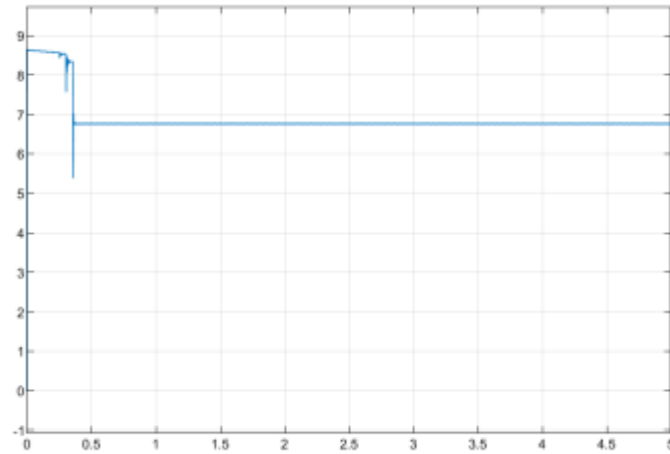


Figure III.8 courbe de curent PV

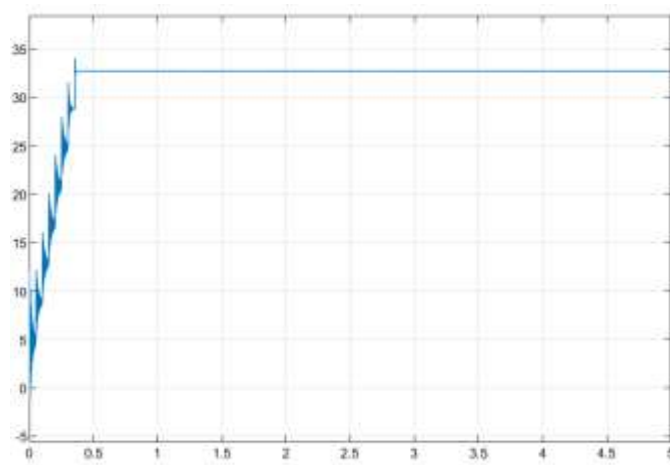


Figure III.9 Courbe de tension PV

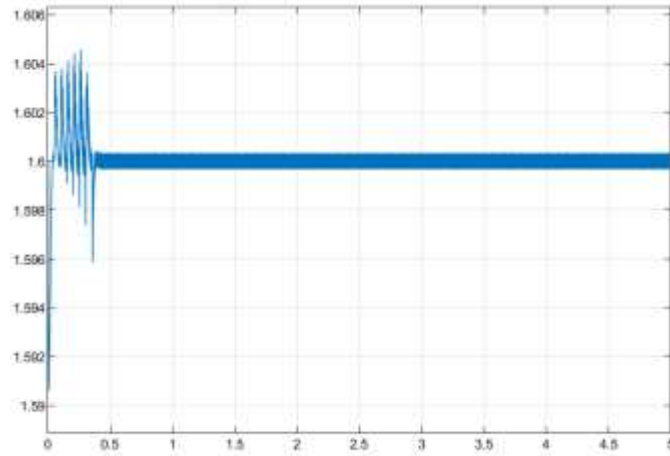


Figure III.10 courbe de curent de charge

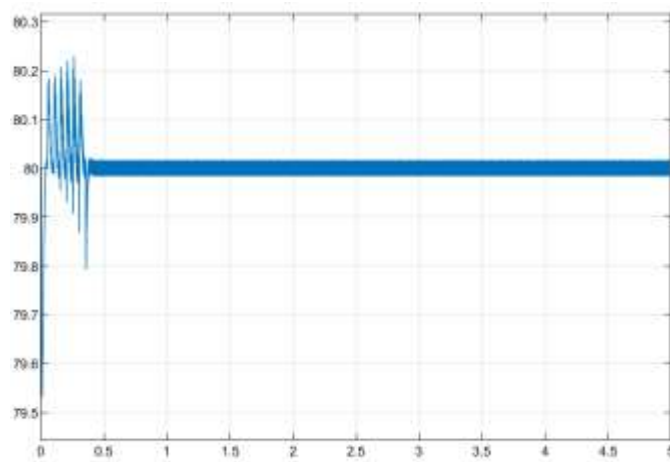


Figure III.11 courbe de tension de charge

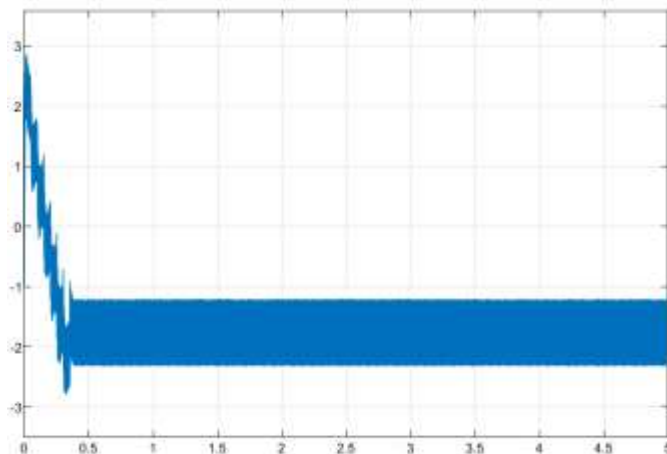


Figure III.12 courbe de curent de battery

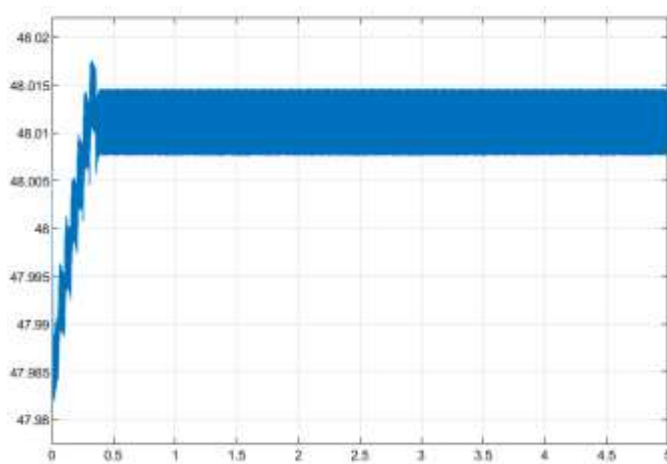


Figure III.13 courbe de tension de battery

En cas de conditions normales: la température = 25, radiation= [1000 700 1200 1400 1300]

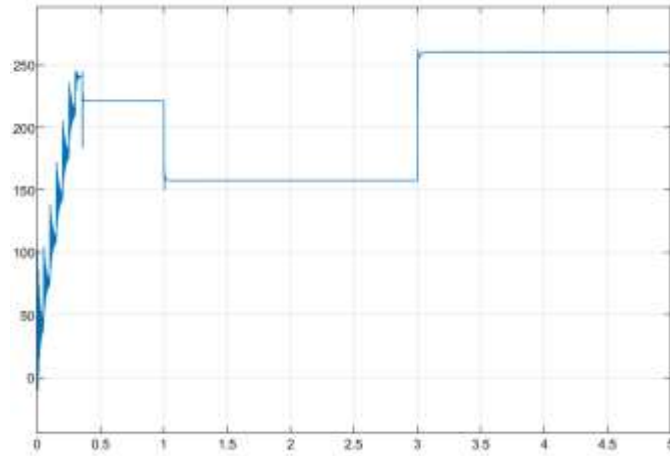


Figure III.14 courbe puissance de Pv, température = 25, radiation= [1000 700 1200]

On constate que la puissance des panneaux photovoltaïques est directement proportionnelle au rayonnement après avoir atteint le régime permanent.

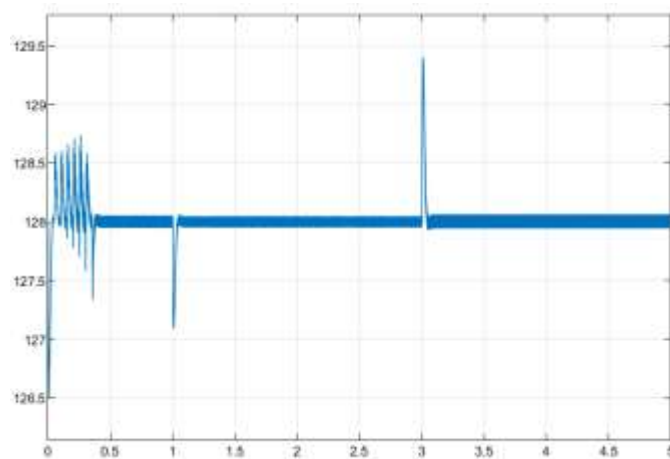


Figure III.15 courbe puissance de load, température = 25, radiation= [1000 700 1200]

Nous remarquons une déviation momentanée de la puissance de charge après chaque changement de radiation avant qu'il ne revienne à l'état de nature, ce qui signifie que la radiation n'a aucun effet sur la puissance de charge.

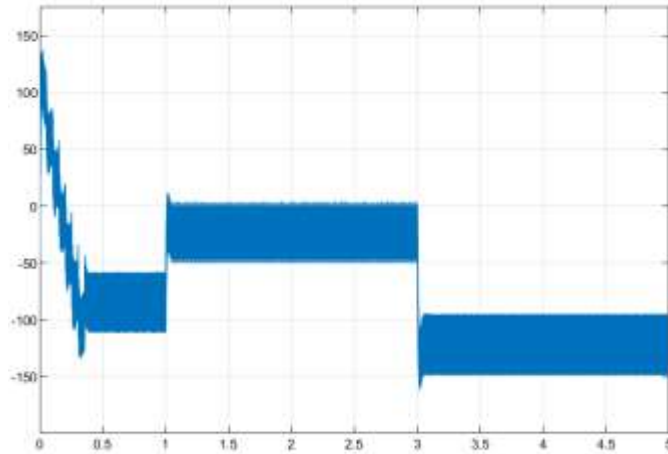


Figure III.16 courbe puissance de batterie, température = 25, radiation= [1000 700 1200]

On remarque que la puissance de la batterie est inversement proportionnelle à la variation de la radiation.

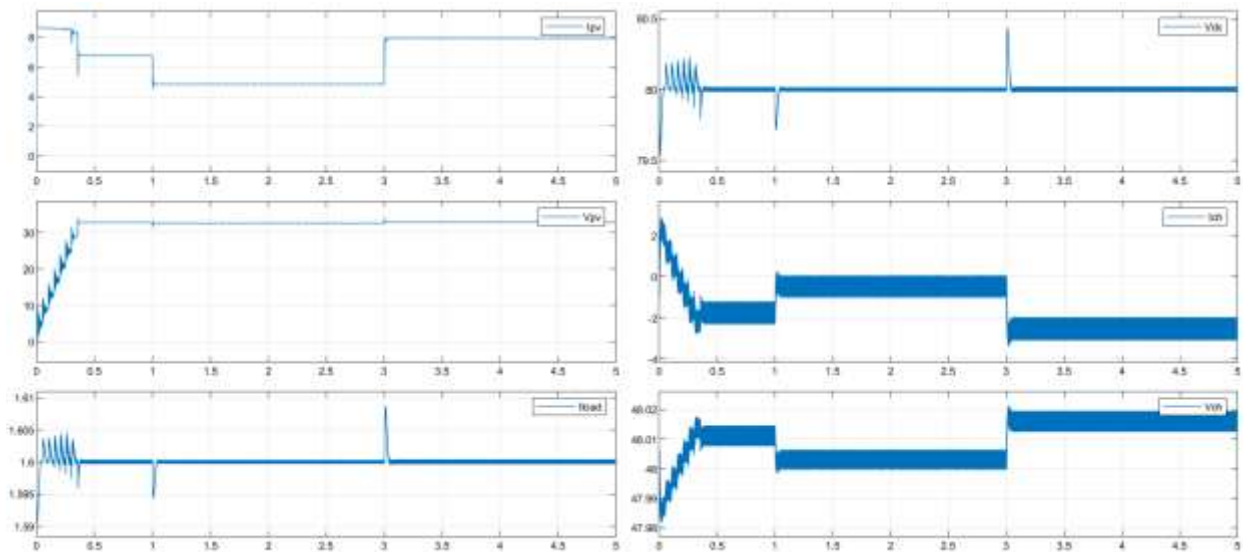


Figure III.17 Figure III.15 les courbes de curent and tension, température = 25, radiation= [1000 700 1200]

Chapter III: Commande de system photovoltaïque

On constate qu'il existe une proportion directe entre la variation de radiation avec le courant du panneau photovoltaïque et la tension de la batterie et inversement proportionnelle entre la variation de radiation et le courant de la batterie, alors que les autres mesures ne sont affectées qu'instantanément.

En cas de conditions normales: la température = [25 20 24], radiation= 1000

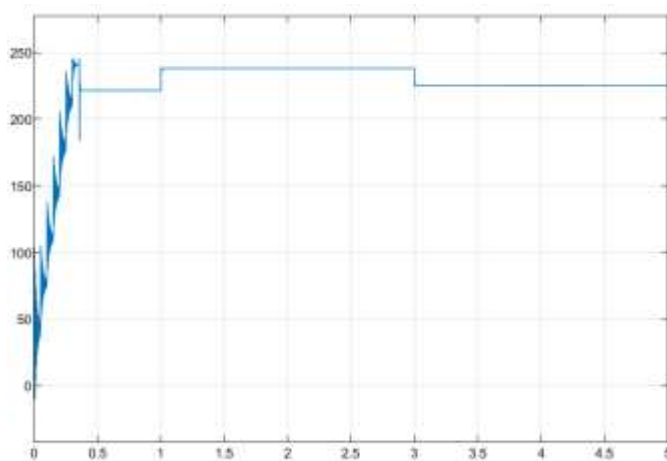


Figure III.18 courbe puissance de PV, température = [25 20 24], radiation= 1000

Nous remarquons une proportion inverse entre le changement de température et la puissance, la puissance diminuant avec l'augmentation de la température

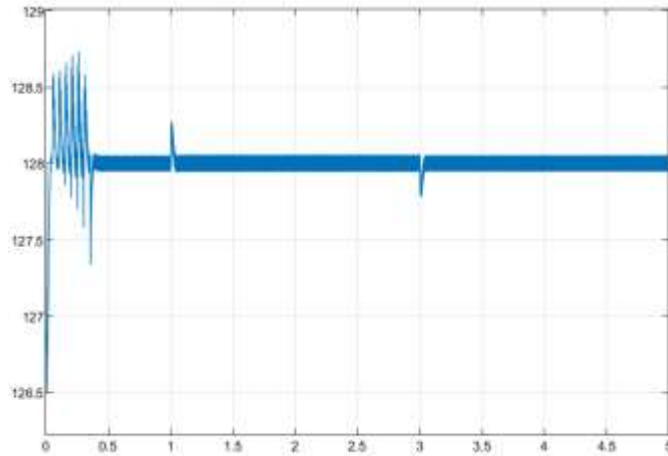


Figure III.19 courbe puissance de load, température = [25 20 24], radiation= 1000

Nous remarquons une déviation momentanée de la puissance de charge lorsque la température est modifiée, mais elle revient immédiatement à l'état normal, ce qui signifie que la température n'affecte pas la puissance de charge.

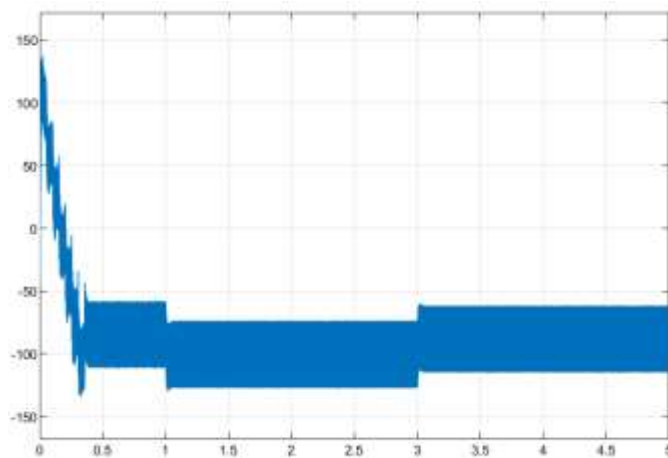


Figure III.20 courbe puissance de batterie, température = [25 20 24], radiation= 1000

Nous notons que le changement de température est inversement proportionnel à la capacité de la batterie, car la capacité de la batterie diminue avec l'augmentation de la température, et c'est une question connue

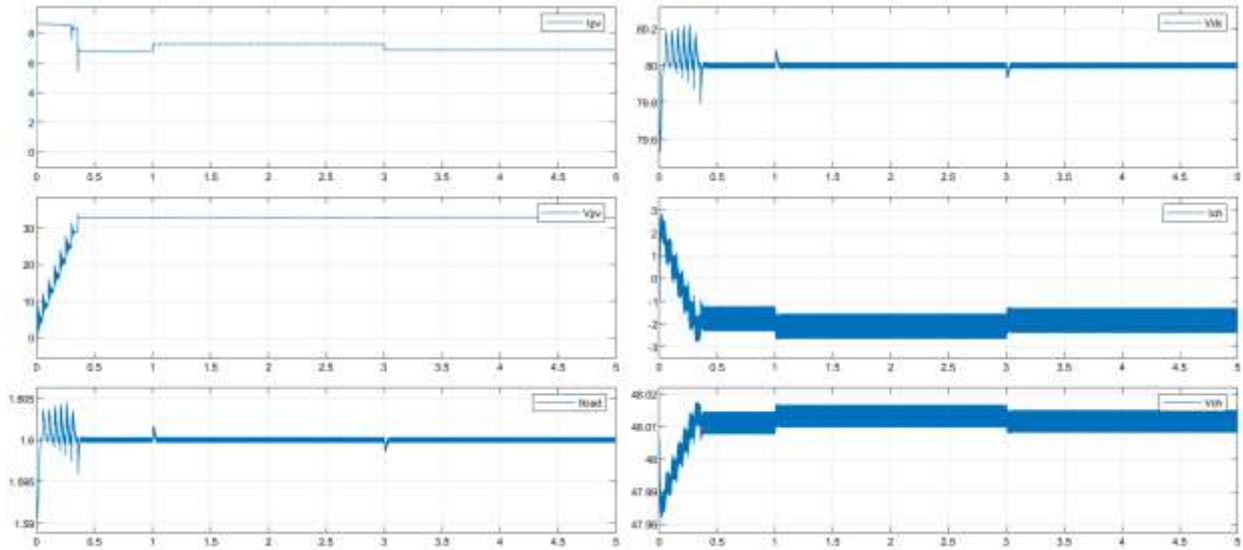


Figure III.21 les courbes de curent et tentions, température = [25 20 24 26 16], radiation= 1000

On constate qu'il existe une proportion inverse entre la variation de température avec le courant du panneau photovoltaïque et la tension de la batterie et une proportion directe entre la variation de température et le courant de la batterie, alors que les autres mesures ne sont pas affectées par la changer sauf instantanément.

III.4 Command par Fuzzy Logic

La logique floue est un type de modélisation qui s'intéresse à la prédiction d'une variable catégorielle Y « subjective » au sens où elle n'est pas objectivable : elle dépend de l'observateur (l'individu est « grand », « moyen » ou « petit »). Ce cadre sort de la statistique classique dans lequel la valeur de la variable Y est objectivable (« l'individu mesure 176 cm »). L'application de la logique floue revient à tenter d'appliquer un raisonnement proche de la pensée humaine :

Chapter III: Commande de system photovoltaïque

□ Les variables prédictives (comme la variable à prédire) sont catégorielles avec des modalités subjectives (« grand », « petit ») et non pas de données objectivables (176 cm). Ces variables catégorielles sont appelées « variables linguistiques ». Dans le cadre statistique usuel, la variable continue initiale (ici la taille en cm) peut être discrétisée pour donner des intervalles distincts, par exemple : « petit < 170cm < moyen < 180cm < grand ». La logique floue vise à prendre en compte les incertitudes qui existent au voisinage des seuils (due en partie à des principes de subjectivité).

□ Une donnée peut appartenir à plusieurs modalités d'une même variable (un individu de 165 cm peut être considéré comme petit mais aussi comme moyen). Les classes définies ne partitionnent donc pas l'ensemble des possibles car elles peuvent se recouper.

□ La logique floue intègre un ensemble de règles permettant d'attribuer (d'une manière logique) une sortie à une entrée.

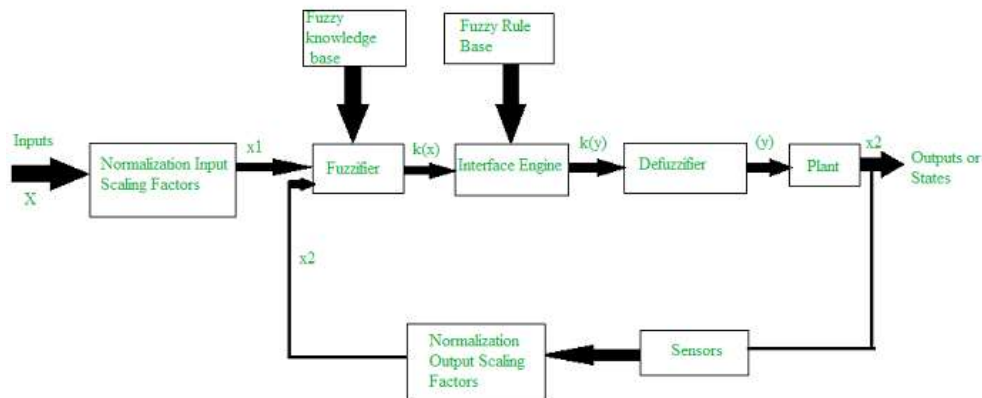


Figure III.22 schéma générale d'une commande Fuzzy Logic

La logique floue permet donc d'intégrer des systèmes experts dans des processus automatisés. Ce point constitue à la fois une force et une faiblesse de la logique floue. Le

Chapter III: Commande de system photovoltaïque

graphique de véracité suivant montre qu'un individu de 162 cm peut être considéré en logique floue comme étant petit à 60% et moyen à 40%

Au-delà de cette différence de principe, elle intègre également une prise en compte des interactions différentes de celle du monde probabiliste en redéfinissant les opérateurs logiques.

	Opérateurs flous De Zadeh	Opérateurs probabilistes
A ET B	$\text{Min} (\mu_A, \mu_B)$	$\mu_A * \mu_B$
A OU B	$\text{Max} (\mu_A, \mu_B)$	$\mu_A + \mu_B - \mu_A * \mu_B$
NON A	$1 - \mu_A$	$1 - \mu_A$

Table III-1 traduction mathématique sous la logique Floue

Dans le Table III-2: traduction mathématique sous la logique Floue, μ désigne la fonction de véracité pour les opérateurs flous qui est l'analogue de la mesure de probabilité en théorie des probabilités classiques.

Le contrôleur à Fuzzy Logic est composé de trois segments, à savoir :

A. Fuzzification

Dans l'étape de fuzzification, les variables d'entrée numériques sont calculées ou converties en variables linguistiques basées sur un sous-ensemble appelé fonction d'appartenance. Pour traduire la valeur du changement de tension et du changement de puissance, l'entrée floue « changement de puissance » et « changement de tension » est conçue avec sept variables floues appelées PB (Positive Big), PM (Positive Medium), NS (Negative Small), PS (petit positif), ZE (zéro), NM (moyen négatif), NB (grand négatif). Le changement de tension et le changement de puissance sont les variables d'entrée dans le système proposé et la sortie du contrôleur de Fuzzy Logic est le changement du rapport cyclique. La fonction d'appartenance de chaque variation variable de tension et de changement de puissance et de changement de rapport cyclique. Les limites de la fonction

Chapter III: Commande de system photovoltaïque

d'appartenance d'entrée et de sortie appliquées dans le système sont déterminées par les connaissances antérieures du système concerné. Variation des paramètres.

B-Système d'inférence

L'algorithme de règles floues collecte un ensemble de règles de contrôle floues dans un ordre spécifique. Ces règles sont utilisées pour contrôler un système afin de répondre aux exigences de performances souhaitées et elles sont conçues à partir de la connaissance experte du système sous contrôle. L'inférence floue du FLC est basée sur la méthode de Mamdani qui est associée à la composition max-min.

Le système d'inférence dans un contrôleur à Fuzzy Logic peut être subdivisé en trois parties :

1) Base de règles : - Il se compose d'un certain nombre de règles If-Then pour le bon fonctionnement du contrôleur. Le côté If de la règle est appelé l'antécédent et le côté Then est appelé la conséquence. Ces règles peuvent être considérées comme des réponses similaires apportées par le processus des pensées humaines et le contrôleur utilise les variables d'entrée linguistiques, obtenir après fuzzification pour le fonctionnement des règles

2) Base de données : - Elle comprend toutes les fonctions d'appartenance définies par l'utilisateur qui doivent être utilisées dans les règles.

3) Mécanisme de raisonnement : - Il traite essentiellement les règles données et selon des règles particulières et une condition donnée nous fournit le résultat requis.

C. Défuzzification

L'entrée pour le processus de défuzzification est un ensemble flou et la sortie est un nombre unique qui doit être appliqué au système, pour la sortie finale souhaitée selon le système, une valeur non floue de sortie de contrôle est requise, donc une étape de défuzzification est obligatoire. Il existe différentes méthodes de défuzzification qui sont utilisées de nos jours, mais

Chapter III: Commande de system photovoltaïque

la méthode la plus courante est le centroïde de l'aire et la bissectrice de l'aire. Dans le schéma proposé, la méthode de défuzzification.

III.5 Résultats de simulation avec command Logique floue

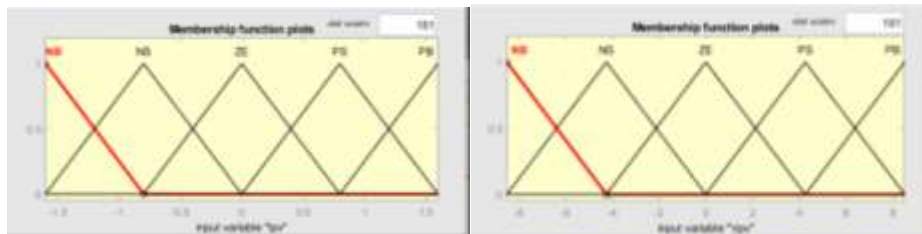


Figure III.23 inputs de bloc logique floue

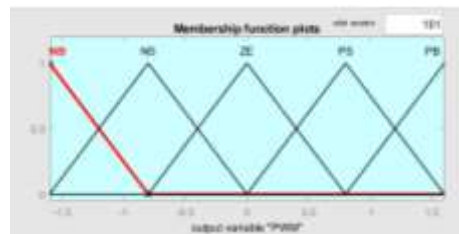


Figure III.24 output de bloc logique floue

E CE	NG	NM	NP	Z	PP	PM	PG
NG	NG	NG	NG	NM	NM	NP	Z
NM	NG	NG	NM	NM	NP	Z	PP
NP	NG	NM	NM	NP	Z	PP	PM
Z	NM	NM	NP	Z	PP	PM	PM
PP	NM	NP	Z	PP	PM	PM	PG
PM	NP	Z	PP	PM	PM	PG	PG
PG	Z	PP	PM	PM	PG	PG	PG

Table III-3 Tableau de règles d'inference

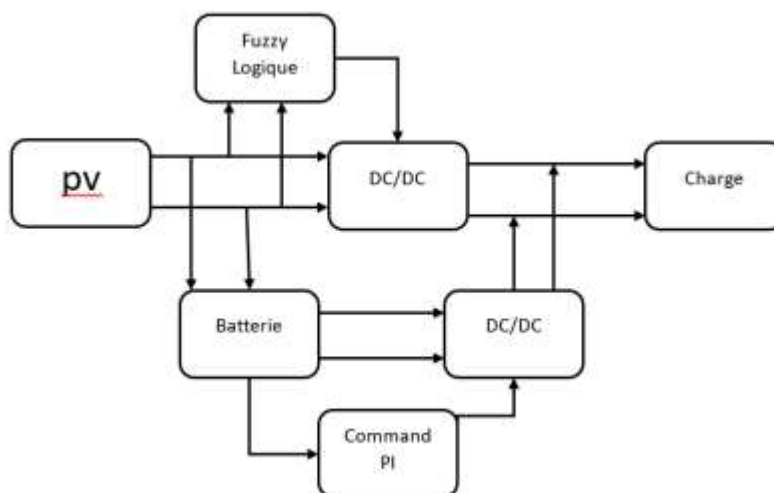


Figure III.25 system pv command par LOGIQUE FLOUE

Nous exécutons les simulations pour obtenir les courbes suivantes:

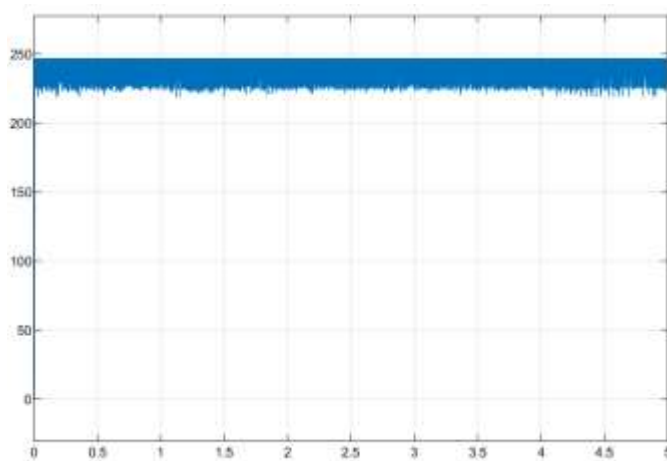


Figure III.26 Courbe Puissance de PV

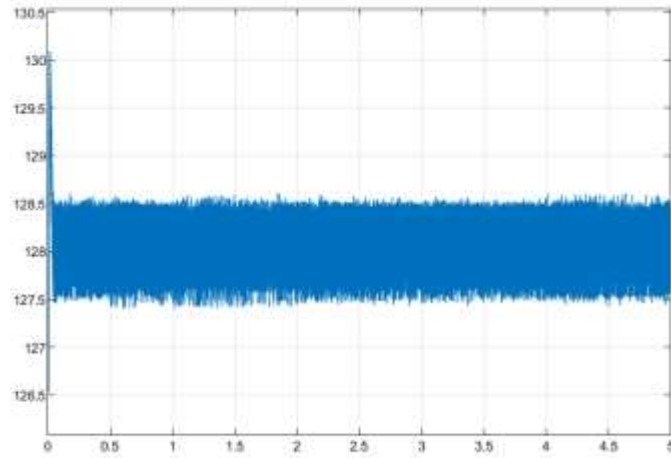


Figure III.27 Courbe Puissance de load

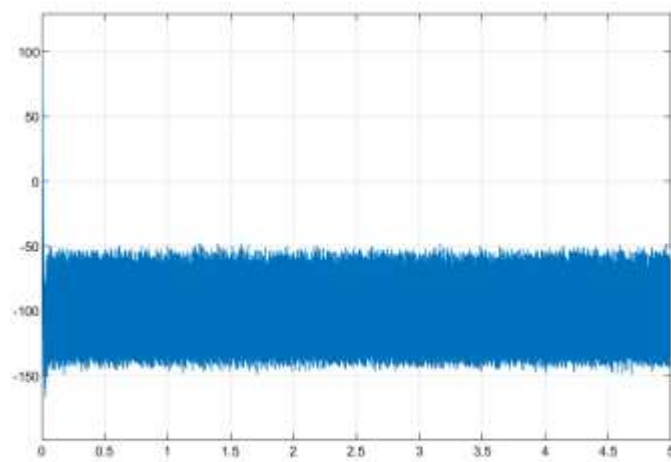


Figure III.28 Courbe Puissance de battery

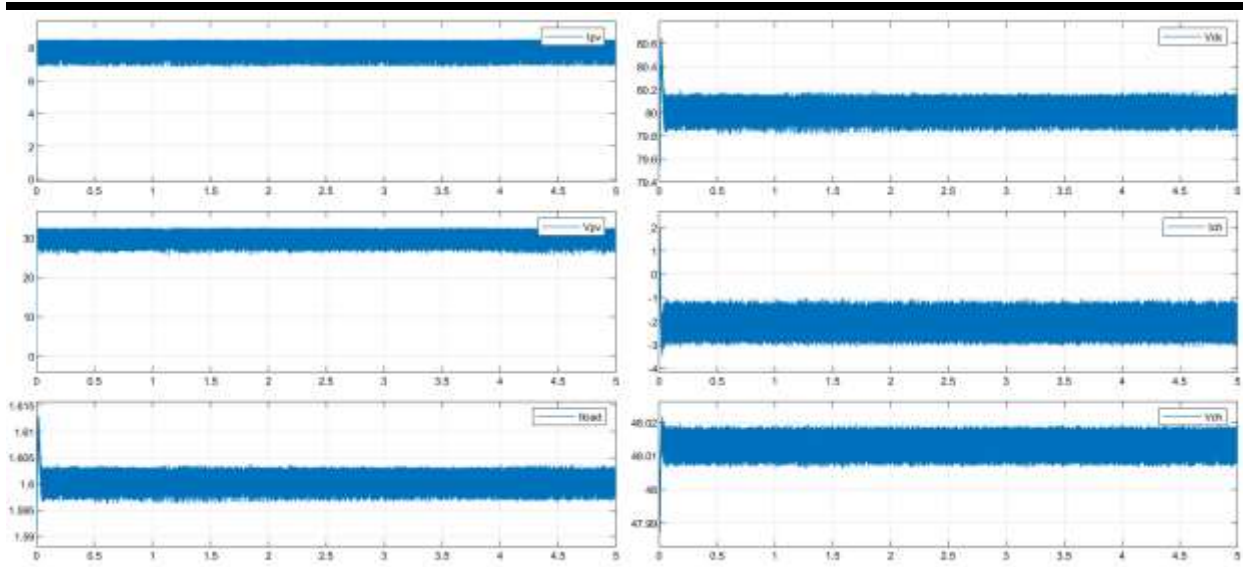


Figure III.29 les courbes de curent et tension a command par logique floue

III.5.1 Comparaison entre la puissance du panneau photovoltaïque et la puissance de la charge

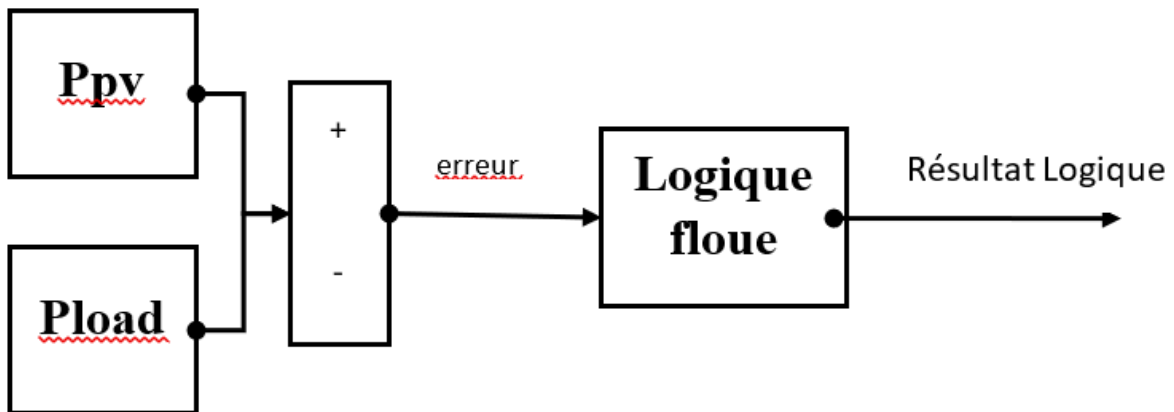


Figure III.30 Comparaison entre la puissance du PV et la puissance de la charge avec logique floue

Temps	0	0.002	0.005	0.008	0.01	0.02	0.04	0.09	0.1
Réponse logique	0	0	1	0	1	0	0	1	0

III.6 Comparaison entre le command MPPT et le command logique

floue

L'algorithme P&O est un algorithme classique et simple. En générale, cet algorithme dépend fortement des conditions initiales et il présente des oscillations autour de la valeur optimale. L'inconvénient majeur de cet algorithme est son mauvais comportement suite à un changement brusque de l'éclairement.

L'algorithme basé sur la logique floue est un algorithme robuste et efficace. En effet, cet algorithme fonctionne au point optimal sans oscillations. En outre, il est caractérisé par un bon comportement en état transitoire. Cependant, l'implémentation de ce type d'algorithme est plus complexe que les algorithmes classiques. De plus, l'efficacité de cet algorithme dépend énormément du tableau d'inférence.

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous aborderons deux types de contrôle :

Le premier type est command par MPPT, Nous l'avons expliqué en détail en mentionnant les différents théorèmes impliqués, car il dépend d'un algorithme mathématique qui peut être programmé dans une fonction.

Le deuxième type est command par Fuzzy Lofique. Nous l'avons également expliqué en détail et il s'appuie sur des commandes logiques pour simplifier le processus

Nous avons réalisé une application pratique des deux types de contrôle sur un système photovoltaïque comme des simulations d'économie d'énergie pour une maison et avons obtenu les résultats mentionnés dans le chapitre

Chapter III: Commande de system photovoltaïque

Au final, on peut dire que chaque type de contrôle a ses avantages et ses inconvénients selon la nature de l'utilisation envisagée

Conclusion générale

L'énergie photovoltaïque est une très alternative aux sources d'énergie traditionnelles, malgré les difficultés auxquelles cette technologie est confrontée, comme l'arrêt complet du système lorsque le soleil disparaît la nuit, et elle continue de se développer en permanence, car il existe de nombreux types de cellules photovoltaïques aux caractéristiques différentes.

Le système photovoltaïque est constitué de panneaux photovoltaïques qui convertissent l'énergie solaire directement en énergie électrique qui passe par un convertisseur DC-DC afin d'alimenter la charge et en même temps de stocker l'énergie électrique excédentaire dans des unités de stockage représentées par des batteries capables de charger et décharger pour alimenter la charge pendant la nuit ou lors de la baisse de capacité des panneaux photovoltaïques.

Dans cette note, nous avons présenté un aperçu de l'histoire de l'énergie solaire, de ses types et de ses utilisations, ainsi que la modélisation des différents éléments de base du système énergétique photovoltaïque et l'extraction de diverses équations qui décrivent le comportement de ces pièces.

En fin de compte, nous avons effectué des simulations à l'aide du programme Matlab afin de connaître l'effet des changements de température et de rayonnement sur la puissance du système.

Le point principal sur lequel nous nous sommes concentrés est le système de contrôle, où nous avons choisi deux systèmes différents et simulé en utilisant chacun d'eux : command par MPPT et command par Logique floue.

Références

[3] MECHALIKH Med Nadjib et HAMADA Charaf Eddine, Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau, Master 2012/2013

[1] S. MEDJDOUB, Etude structurelle des cellules solaires deuxième et troisième génération, 2016.

[2] Abdelmalik Zorig, « Modélisation et commande d'un système de production d'énergie photovoltaïque couplé au réseau triphasé », Mémoire de Master, Université de Msila, 2011.

[3] MECHALIKH Med Nadjib et HAMADA Charaf Eddine, Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau, Master 2012/2013

[4] BENSAOUDI Mohamed Samir et ARAR Salah Eddine, d'un convertisseur boost pour système photovoltaïque, Master 2019/2020

[5] Samiha BELHOUT et Malika BOUCHAREB, Optimisation énergétique de chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque, Master 2020/2021

[6] BRIHMAT Fouzia, L'Etude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une centrale hybride PV/Eolien, Magister 2011/2012

[7] Mayoufsomia, « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique avec une commande vectorielle », mémoire de master ; université Mohamed boudiaf - m'sila, juin 2016.

[8] "Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers, architects and engineers", second edition. Earthscan. 2008.

[9] B. FLECHE, D. DELAGNES, « Energie solaire photovoltaïque », STI ELT Approche

-
- [10] Gacem Fatma, « simulation des systèmes de pompage photovoltaïque destiné pour
- [11] : CHARGEUR DE BATTERIES INTELLIGENT. Disponible sur <http://gomaktig.com/wp-content/uploads/2018/01/Intelligent-battery-chargermaintainer-fr.pdf>
- [12] : C. Lefrou, P. Fabry, J-C. Poignet – Electrochimie : Concepts fondamentaux illustrés
- [13] <https://www.campingcarenergie.fr/pages/les-differents-types-de-batteries.html>
- [14] DANIEL LINCOT Directeur de recherches au CNRS « La conversion photovoltaïque de l'énergie solaire »,2007 www.martin-bucher.de,Stuttgart/Germany
- [15] Abdallah Benyoucef, « Développement de Surfaces à Base de Dioxyde
- [16] B. Equer « Le Pompage Photovoltaïque Manuel de cours », énergie solaire photovoltaïque ellipses 1993
- [17] R. Jimmy et al., Le pompage photovoltaïque, Édition Multi mondes, 1999
- [18] Sylvain et Brigand, « Installation solaire photovoltaïque », Février 2011
- [19] : Les trois principales caractéristiques des batteries. Disponible sur http://www.lycee-ferry-versailles.fr/si-new/2_4_stockage/cours_stockage_energie_v5.pdf
- [20] C. Evangelista, P. Puleston, F. Valenciaga, and L.M. Fridman, “Lyapunov- designed super-twisting sliding mode control for wind energy conversion optimization”, IEEE Transactions on Industrial Electronics 60 (2013), no. 2, 538–545
- [21] M. Urbain, “Modélisation électrique et énergétique des accumulateurs lithium-ion. Estimation en ligne du SoC et du SoH”, Ph.D. thesis, Institut National Polytechnique de Lorraine, 2009
- [22] <https://www.urban-elec.com/conseils-pratiques/les-differents-types-de-batteries-et-leurs-avantages/>

- **Résumé :**

La puissance produite par un module photovoltaïque est influencée par l'intensité de l'irradiation solaire et de la température des cellules et notamment par la charge. Alors afin de maximiser les performances des systèmes d'énergie renouvelable il est nécessaire de poursuivre le point de puissance maximale de la source d'entrée.

Dans le but d'améliorer les performances de conversion de l'énergie photovoltaïque deux méthodes de poursuite du point de puissance maximale (MPPT) ont été étudiées et validées par simulation sous Matlab/Simulink.

Les résultats de simulation obtenus montrent que les performances du système optimisé en utilisant la logique floue ont été améliorées par rapport à celle d'un contrôleur MPPT basé sur la méthode Perturb and Observe (P&O) .

Mots clés: Hacheur Survolteur, MPPT, Générateur photovoltaïque, Contrôleur flou, Perturbe & observe.

- **Abstract**

The power produced by a photovoltaic module is influenced by the intensity of solar irradiation and the temperature of the cells and in particular by the load. So in order to maximize the performance of renewable energy systems it is necessary to track the maximum power point of the input source.

In order to improve the performance of photovoltaic energy conversion, two methods of tracking the maximum power point (MPPT) have been studied and validated by simulation under Matlab/Simulink.

The simulation results obtained show that the performance of the system optimized using fuzzy logic has been improved compared to that of an MPPT controller based on the Perturb and Observe (P&O) .

Keywords: Chopper Booster, MPPT, Photovoltaic generator, Fuzzy controller, Disturb & observe.

• ملخص :

تتأثر الطاقة التي تنتجها الوحدة الكهروضوئية بكثافة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الخلايا وبالأخص بالحمل. لذلك من أجل تعظيم أداء أنظمة الطاقة المتجددة ، من الضروري متابعة نقطة القوة القصوى لـ مصدر الإدخال.

من أجل تحسين أداء تحويل الطاقة الكهروضوئية ، تمت دراسة طريقتين لتتبع نقطة الطاقة القصوى (MPPT) والتحقق من صحتها عن طريق المحاكاة باستخدام Matlab / Simulink.

تظهر نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها أن أداء النظام المحسن باستخدام المنطق الضبابي قد تم تحسينه مقارنة بأداء وحدة تحكم MPPT بناءً على طريقة Perturb and Observe (P&O).

، المولد الضوئي وحدة التحكم الضبابية ، التوتر والمراقب. MPPT الكلمات المفتاحية : القاطع المتناوب ،