REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Département du Génie Electrique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Energies renouvelables en électrotechnique

Optimisation d'un Système photovoltaïque adapté par une commande MPPT floue

---

Proposé et Dirigé par :

Dr. AMOKRANE Zouhir

Présenté par :

REZGUI Sarah

Année universitaire 2020-2021

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier Allah le tout puissant qui m'a donnée la force et la patience d´accomplir ce modeste travail.

En seconde lieu, je remercie tous les enseignants qui ont participé de près ou de loin à l´aboutissement de ce travail.

A ce titre mon encadreur Dr AMOKRANE Zouhir et à tous les enseignants de notre spécialité surtout Dr MORSLI Abdelkader qui m'a guidé toujours.

Enfin, mes remerciement à toute personne qui a participé à la réalisation de ce travail.

DEDICACE

A ma chère mère

A mon cher père

Qui m´ont jamais cessé de formuler des prières a mon égard, de me soutenir

Et de m´épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères et sœurs

Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A mes petits : Amina, Abd EL Illah et Salsabil

A mes chers amis surtout Fatiha et les filles du groupe énergies renouvelables pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A toute ma famille.

A tous ceux que j´aime et ce qui m´aiment.

ملخص

تعتمد طاقة المولد الكهروضوئي على عدد من المعلمات بما في ذلك شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الخلايا وما إلى ذلك. نظرًا للخصائص الكهربائية غير الخطية القوية للخلايا الكهروضوئية ومجموعاتها ، يمكن تحسين كفاءة الأنظمة الكهروضوئية من خلال الحلول القائمة على أساليب MPPT. هناك تقنيات MPPT التقليدية التي يتم استخدامها غالبًا ، وهي طريقة الاضطراب والمراقبة (P&O) والتقنيات المتقدمة ، مثل MPPT الضبابي. تقدم هذه الرسالة دراسة مقارنة بين تقنيات MPPT المختلفة من أجل تحليل ومحاكاة وتقييم نظام الطاقة الكهروضوئية الشامل في ظل ظروف تشغيل مختلفة. للقيام بذلك ، تم تطوير نماذج رياضية لمكونات النظام الكهروضوئي (GPV ، محول DC / DC ، الحمل). أثبتت نتائج المحاكاة ، التي تم الحصول عليها باستخدام أداة Matlab / Simulink ، بشكل عام أن أداء وحدة التحكم MPPT الضبابية أفضل بكثير من وحدة التحكم MPPT P&O.

الكلمات الرئيسية: PV، محول DC-DC،MPPT،P&O ، منطق ضبابي.

Résumé

La puissance de sortie d'un générateur PV dépend d'un nombre de paramètres parmi lesquels l'intensité du rayonnement solaire, la température des cellules, etc. En raison des caractéristiques électriques fortement non linéaires des cellules PV et de leurs associations, le rendement des systèmes PV peut être amélioré par des solutions à base des méthodes MPPT. Il existe des techniques MPPT conventionnelles souvent utilisées, à savoir la méthode de perturbation et d'observation (P&O) et les techniques avancées, telle que la MPPT floue. Ce mémoire présente une étude comparative entre ces différentes techniques MPPT afin d'analyser, simuler, et évaluer le système global d'alimentation PV sous des conditions de fonctionnement variables. Pour ce faire les modèles mathématiques des composants du système PV (GPV, convertisseur DC/DC, charge) ont été développés. Les résultats de simulation, obtenus à l'aide de l'outil Matlab/Simulink, ont prouvé en général que les performances du contrôleur MPPT flou sont bien meilleures que ceux du contrôleur MPPT P&O.

Mots clés : PV, convertisseur DC-DC, MPPT, P&O, logique floue.

Summary

The output power of a PV generator depends on a number of parameters including the intensity of solar radiation, the temperature of the cells, etc. Due to the strongly nonlinear electrical characteristics of PV cells and their combinations, the efficiency of PV systems can be improved by solutions based on MPPT methods. There are conventional MPPT techniques that are often used, namely the perturbation and observation (P&O) method and advanced techniques, such as fuzzy MPPT. This thesis presents a comparative study between these different MPPT techniques in order to analyze, simulate, and evaluate the overall PV power system under varying operating conditions. To do this, mathematical models of the components of the PV system (GPV, DC / DC converter, load) have been developed. The simulation results, obtained using the Matlab / Simulink tool, generally proved that the performance of the fuzzy MPPT controller is much better than that of the P&O MPPT controller.

Keywords: PV, DC-DC converter, MPPT. P&O, fuzzy logic.

Abréviation

PV: Photovoltaïque.

GPV: Générateur Photovoltaïque.

FF: Facteur de forme.

MPPT: Maximum Power Point Tracking.

P&O: Perturbation et Observation.

DC: Courant Continu(Direct Curent).

DC/DC : Hacheur Courant Continu/Courant Continu.

CS: Convertisseur Statique.

PPM: Point de Puissance Maximale.

IncCond: Incrémental Conductance (Conductance Incrémentale).

IGBT: insulated-gate bipolar transistor.

MOSFET : Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor.

Symboles

Vc:Tension de sortie de la cellule(V),

Ic:Courant de sortie de la cellule(A),

I_{ph}:Courant photo-généré ou photo-courant(A),

I_s:Courant de saturation de la diode(A),

q:Charge d'électron ($q=1.6.10^{-19}$C),

K:Constant de Boltzmann ($K=1.38.10^{-38}JK^{-1}$),

T:Température absolue de fonctionnement de la jonction(°C),

m: Facteur d'idéalité de la diode$\in\{1,2\}$,La valeur typique de m est 1.3,

R_s:Résistance série,

R_p:Résistance parallèle,

I_{sc}: courant de court-circuit,

V_{oc}:la tension de circuit ouvert,

V_{th}:Tension thermique,

T : température (°C),

G_a : L'éclairement (W/m^2),

C_3:Facteur de correction de la tension de circuit ouvert V/°C,

T_c:Température des cellules,

T_a:Température ambiante,

I_D:Courant circulant dans la diode,

I_{pv}:Courant généré par la cellule photovoltaïque,

I_0:Courant de saturation inverse de la diode,

N_S:Nombre de cellules en série,

N_P:Nombre de cellules en parallèle,

η:Rendement,

V_{mpp}=V_m:Tension d'un module PV au point de puissance maximale [V],

I_{mpp}=I_m:Courant d'un module PV au point de puissance maximale [A],

I_{CC}:Courant de court-circuit d'une cellule ou d'un module solaire [A],

V_{CO}:Tension en circuit ouvert d'un module solaire [V],

D:Rapport cyclique,

ΔD: Variation du rapport cyclique,

E(K):Erreur,

CE(K):Variation de l'Erreur,

Sommaire

Sommaire :

Sommaire
Liste des symboles
Liste des figures
Liste des tableaux
Introduction général **01**
Chapitre I :Modélisation d'un système photovoltaïque
I.1Introduction **05**
I.2.Définition d'un système PV **05**
I.3. Modélisation du Panneau Photovoltaïque **07**
I .3.1 Modèle d'une cellule photovoltaïque **07**
I.3.2 Paramètres d'une cellule PV **09**
I.3.3 Le point de puissance maximal **10**
I.3.4 Rendement maximale de la conversion **11**
I.3.5 Le facteur de forme FF **12**
I.4.Le Panneau Solaire **12**
I.5. Influence De La Température Et L'ensoleillement Sur Le GPV **13**
I.5.1 Influence de l'Éclairement (d'ensoleillement) **13**
I.5.2Influence de la Température **15**
I.6. Etage d'adaptation entre un Générateur PV et une charge **17**
I.6.1 Principe De La Commande MPPT **17**
I.6. 2 Algorithmes de commande **17**
I.6.3 Méthode d'Observation et Perturbation "P&O" **18**
I.7 Avantages et inconvénients d'énergie photovoltaïque **20**
I.7.1 Les avantages **20**
I.7.2. Les inconvénients **21**
Conclusion **21**
Chapitre II : Convertisseurs DC-DC
II.1 Introduction **23**
II.2. Hacheur survolteur(Boost) **23**
II.2.1Modèle mathématique équivalent **25**

II.2.2 Modèle approximé du convertisseur Boost **25**
II.2.3 Les ondulations des courants et des tensions **27**
II.2.4 Étude en régime continu **28**
II.3 Hacheur dévolteur(Buck) **29**
II 4.Hacheur Buck-Boost **29**
II.4.1 Fonctionnement **29**
III.5Conclusion **31**

Chapitre III : la commande MPPT par logique floue

III.1.Introduction **33**
III.2.logique classique et logique floue **33**
III.3.Contrôleur MPPT flou **34**
III.3.1Bloc de fuzzification **35**
III. 3.1.1 Fuzzification une variable numérique **35**
III.3.2 Base des règles et mécanisme d'inférence **36**
III. 3.2.1 Méthode d'inférence max-min (méthode de MAMDANI) **37**
III. 3.2.1.1 L'intersection «ET» **37**
III. 3.2.1.2 L'union « OU » **37**
III. 3.2.1.3 Complément **38**
III.3.3Défuzzification **38**
III.3.3.1 Méthode du centre de gravité (COG) **38**
III.4. l'utilisation de l'outil logique floue en matlab **38**
III.4.1 Bibliothèque de logique floue **39**
III.5.Conclusion **42**

Chapitre IV : Simulation, résultats et discussions

IV.1.introduction **44**
IV.2 .Simulation du système photovoltaïque **45**
IV.2.1Simulationd'un GPV **45**
IV.2.2 Simulation du convertisseur Boost **49**
IV.2.3.Simulation des algorithmes MPPT connues **49**
IV.2.3.1L'algorithme perturbation et observation (P&O) **48**
IV.2.3.1.1 Simulation de l'algorithme P&O **49**
IV.2.3.1. L'algorithme logique floue (FL) **51**

IV.2.3.1.1 Simulation de l'algorithme logique floue **51**

IV.3 Comparaison entre les résultats Des Deux contrôleurs (FL Et P&O) **53**

IV.4 Conclusion **57**

Conclusion générale **62**

Référence bibliographie **65**

La liste des figures

Figure I.1: Composants d'un GPV 06

Figure I.2: Les différentes technologies des cellules photovoltaïques. 07

Figure I.3: Schéma électrique équivalent d'une cellule solaire. 08

Figure I.4: Caractéristiques V-I et P-V d'un module PV. 11

Figure I.5 : Évaluation de la caractéristique courant-tension avec le nombre de cellules en série. 12

Figure I.6.Evaluation de la caractéristique I(V) avec le nombre de cellules en parallèle. 13

Figure I.7: Caractéristiques I-V d'un module de cellules PV pour différents valeurs d'ensoleillement(T=25C°) 14

Figure I.8: Caractéristiques P-V d'une cellule PV pour différents valeurs d'ensoleillement(T=25°C). 15

Figure I.9: caractéristique I-V d'une cellule PV pour différentes valeurs de température. 15

Figure I.10 : Caractéristiques P-V d'une cellule PV pour différents valeurs. de température (Ga=1000W/m2). 16

Figure I.11: Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec MPPT. 17

Figure I.12 : Organigramme de la méthode de perturbation et d'observation. 19

Chapitre II

Figure II.1: Symbole de convertisseur DC-DC. 23

Figure II.2: Schéma électrique d'un hacheur boost. 25

Figure II.3 : Allure des variables dynamiques I_L. 26

Figure II.4: Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur boost. 29

Figure II.5: Schéma électrique d'un hacheur Buck. 29

Figure II.6 : Caractéristique de la tension et des courants dans le transistor et l'inductance d'un convertisseur Buck 30

Figure II. 7: Variation de la tension de charge avec le courant de charge pour un Convertisseur Buck 31

Figure II.8: Schéma électrique d'un hacheur Buck-Boost 31

Figure II.9: Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur Buck-Boost. 32

Chapitre III

Figure.III.1 : Structure générale d'un régulateur par logique floue 36

Figure. III.2: Fuzzification en 5 sous-ensembles flous 37

Figure III. 3 Interface Fuzzy 40

Figure III.4 Fonction d'appartenance pour les entrées E et ΔE 42

Figure III.5 Fonction d'appartenance pour la sortie D 42

Figure III.6 Base des règles 43

Chapitre IV

Figure IV.1 SchémablocsousSimulinkdusystèmeglobal (GPV, convertisseur, MPPT, charge) 45

Figure IV.2: bloc de Simulink de générateur photovoltaïque 46

Figure. IV.3 Modèle de simulation du GPV 46

Figure IV.4: Caractéristique P-V d'un générateur photovoltaïque Pour (T=25°C, G=1000 W/m²). 47

Figure IV.5: Caractéristique I-V d'un générateur photovoltaïque (T=25°C, G=1000W/m²). 47

Figure IV.6: Caractéristique P-V d'un générateur photovoltaïque (T=25°C, G=200, 600,1000 W/m²). 48

Figure IV.7: Apparence de courant en fonction de la tension (T=25°C, G=200, 600,1000 W/m²). 48

Figure IV.8: Allure de la puissance en fonction de la tension (G=1000W/m2, T=-20, 0,25°C). 49

Figure IV.9: Allure de courant en fonction de la tension (G=1000W/m2, T=-20, 0,25°C). 49

Figure. IV.10 : Modèle de simulation du hacheur boost 50

Figure IV.11 : Bloc de Simulink pour MPPT 51

Figure IV.12 : Schéma de simulation de l'algorithme de perturbation et de l'observation (P&O) 51

Figure IV.13: réaction de l'algorithme P&O dans les conditions standards (T=25C° et G=1000W/m2) 52

Figure IV.14: Apparence de la puissance commandé par MPPT (p&o) en fonction de temps pour (T=25C°, G=1000W/m²). 53

Figure IV.15 : simulation de commande par logique floue 53

Figure IV.16 : réaction de l'algorithme logique floue(FL) dans les conditions standards (T=25C° et G=1000W/m2) 54

Figure IV.17 : Allure de la puissance commandé par MPPT(logique floue) en fonction de temps pour (T=25°C, G=1000W/m²). 55

Figure IV.18 Réponses des deux contrôleurs (FL et P&O) pour les conditions standards : la température T=25°C et l'ensoleillement G= 1000W/m2. 56

Figure IV.19 Comparaison de la puissance de sortie en utilisant l'un des contrôleurs "P&O" et " FL" sous différentes conditions : (a) T fixe et G variable (b) G fixe et T variable. 57

Figure IV.20 Comparaison de courant de sortie des deux contrôleurs différentes conditions : (a) T fixe et G variable (b) G fixe et T variable 58

Figure IV.21 Comparaison de rapport cyclique des deux contrôleurs pour différentes conditions : (a) T fixe et G variable (b) G fixe et T variable 58

La liste des tableaux

Tableau II.1: Complexité de chaque type de convertisseur DC-DC. 23

Tableau. III.1: Exemple d'une table des règles pour une commande logique floue. 37

Tableau IV.1 Paramètres du convertisseur DC-DC boost 49

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie est la complication essentielle pour l'homme dans le monde actuel, ses sources, est la question que le futur va poser à l'homme. Cependant l'histoire réserve par fois des surprises. Avec la diminution du stock mondial énergétique sans cesse croissante, la crainte d'une pollution de plus en plus en va hissant, les énergies renouvelables (solaire, marine, éolienne…etc.)Reviennent au premier plan de l'actualité; leur exploitation arrange beaucoup l'environnement.

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables les plus utilisées. Elle consiste à convertir directement le rayonnement électromagnétique en électricité grâce à l'effet photovoltaïque. Les panneaux photovoltaïques (PV) ont la capacité de transformer les photons en électrons. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable. En raison des caractéristiques électriques fortement non linéaires des cellules PV et de leurs associations, le rendement des systèmes PV peut être amélioré par des solutions utilisant les techniques de recherche du point de puissance maximale (dites techniques MPPT). [1]

Dans ce contexte général, notre étude s'intéresse à la filière photovoltaïque(PV) qui semble une des plus prometteuses avec un taux de croissance mondial très élevé. [2]

L'énergie PV est obtenue directement à partir du rayonnement du soleil. Elle peut même se transformer en énergie électrique grâce à l'effet photovoltaïque. Les panneaux PV composés des cellules PV ont la capacité de transformer les photons en électrons. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable. [2]

En raison des caractéristiques électriques fortement non linéaires des cellules PV et de leurs associations, le rendement des systèmes PV peut être amélioré par des solutions utilisant les techniques de recherche du point de puissance maximale (dites techniques MPPT). [2]

Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés dans ce travail essentiellement au développement d'une procédure d'optimisation qui permet la poursuite de point de la puissance maximale (Maximum Power Point Tracking MPPT) d'un générateur photovoltaïque (GPV), pour une bonne exploitation, quelques soient les conditions météorologiques (température et éclairement). Ceci nécessite l'implémentation d'une technique de poursuite de point maximale de puissance, telle que la méthode de Perturbation-Observation (P&O), la logique Floue(FL). [2]

D'autre part, la logique floue a reçu une attention particulière de la part d'un certain nombre de chercheurs dans le domaine de l'électronique de puissance. Vu ses performances, nous

l'avons appliquée pour développer une technique MPPT Floue.
Le mémoire présenté est organisé en quatre chapitres après une introduction générale

Le chapitre premier présente la modélisation de la cellule photovoltaïque, ainsi le principe de la conversion photovoltaïque puis nous donnerons les principales caractéristiques d'un GPV et nous présenterons les systèmes photovoltaïques, avec leurs avantages et leurs inconvénients. Les techniques de poursuite du point de puissance maximale (MPPT), et nous nous intéresserons à l'étude de la méthode "Perturbation-Observation".

Ensuite, nous passerons au deuxième chapitre consacré à une modélisation de trois types de convertisseurs DC_DC à savoir, les convertisseurs Boost Buck et Buck-Boost.

Le troisième chapitre est consacré à la commande floue d'un système photovoltaïque pour la recherche du point de puissance maximale(MPP).

Le quatrième chapitre, quant à lui détaillera la simulation du système photovoltaïque tout en donnant les principaux résultats Et à la fin de cet chapitre nous avons fait une étude comparative de quel que type MPPT (P&O et logique Floue).

Une conclusion générale dressera le bilan de cette étude en donnant quelques perspectives pour de futurs travaux.

Chapitre I :

Modélisation d’un système photovoltaïque

I.1.INTRODUCTION

L'énergie solaire est disponible en abondance sur toute la surface de la terre malgré uneatténuationimportantelorsdelatraverséedel'atmosphère.Cetteénergieestdel'ordrede1000W/ m^2 dans les zones tempérées et atteint 1400W/m^2dans les zones où l'atmosphère est faiblement polluée en poussière ou chargée d'eau [3].

Cette énergie captée à l'aide de panneaux photovoltaïques représente une alternative énergétique viable pour la production d'électricité puisque cette dernière est une source renouvelable, à la fois propre, illimitée et avec un niveau de risque très réduit. Son potentiel est très important à l'échelle du besoin de l'activité humaine, il est aussi très largement réparti sur l'ensemble du globe ce qui lui confère un intérêt partagé par tous. Avec la diminution du prix des modules photovoltaïques (PV) et l'augmentation du prix des énergies fossiles, l'exploitation de cette ressource avec des systèmes de génération PV devient viable et rentable.

Les modules ou panneaux photovoltaïques sont composés de semi-conducteurs qui permettent de transformer directement la lumière du soleil en électricité.

I.2.DEFINITIOND'UNSYSTEMEPV

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 19ème 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 [2] :

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

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un module solaire photovoltaïque. Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés champ photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique-l'effet photovoltaïque -ou la technologie associée [5].

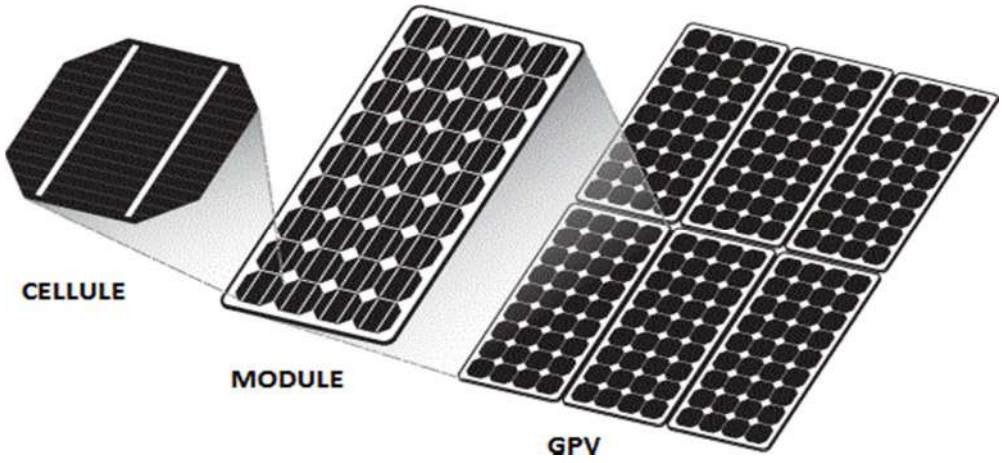


Figure I.1 Composants d'un GPV

Il existe un grand nombre de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque. Beaucoup sont encore en phase de recherche et développement. Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont: le silicium mono ou poly cristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou CIS(Cuivre Indium Sélénium)(Figure I.2).

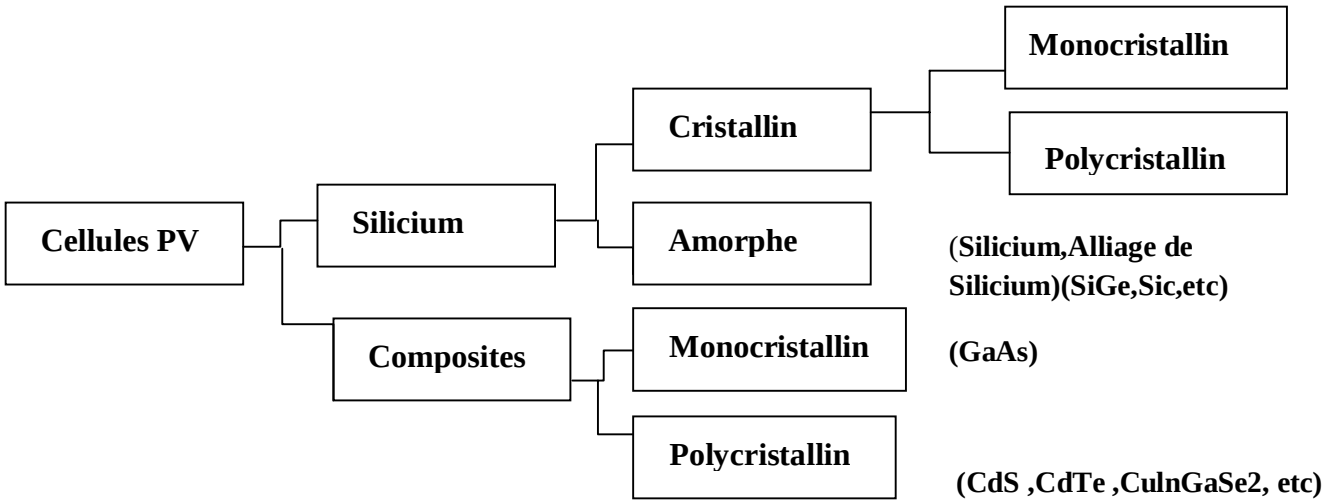


Figure I.2: Les différentes technologies des cellules photovoltaïques.

- **Cellules monocristallines:** Ce sont celles qui ont le meilleur rendement mais aussi celle qui ont le cout le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée.
- **Cellules poly cristallines:** Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication st moins important, cependant leur rendement est plus faible.
- **Cellules amorphes**: Elles ont un faible rendement, mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.

I.3. MODELISATION DU PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE

I.3.1 Modèle d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un dispositif semi-conducteur généralement a base silicium.

Le circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque est donné par la Figure suivant :

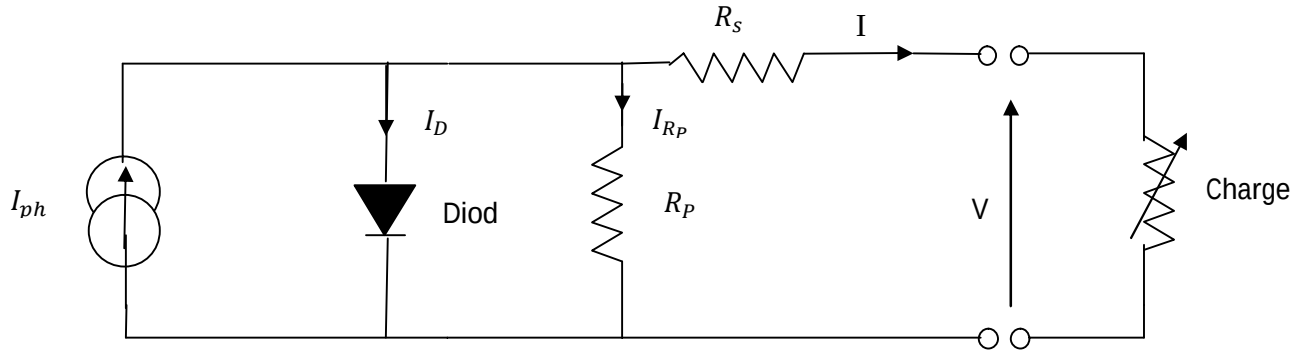


Figure I.3 : Schéma électrique équivalent d'une cellule solaire.

D'après la figure précédente le modèle mathématique pour la caractéristique courant tension est donné par :

$$I = I_{ph} - I_D - I_{R_p} \quad (I.1)$$

$$I_{R_p} = \frac{V_D}{R_p} \quad (I.2)$$

$$I_D = I_s(e^{\frac{V_D}{V_{th}}} - 1) \quad (I.3)$$

$$V_D = V + R_s I \quad (I.4)$$

Alors:

$$I = I_{ph} - I_s(e^{\frac{q}{m.k.T_c}(V+I.R_s)} - 1) - \frac{V+I.R_s}{R_p} \quad (I.5)$$

Avec :

- V_{th} tension thermique à la température T :

$$V_{th} = \frac{m.k.T_c}{q} \quad (I.6)$$

Où :

- ✓ V:Tension de sortie de la cellule (V),
- ✓ I:Courant de sortie de la cellule(A),
- ✓ I_{ph}:Courant photo-généré ou photo-courant(A),
- ✓ I_s:Courant de saturation de la diode(A),
- ✓ q:Charge d'électron (q=1.6.10^{-19}C),
- ✓ K:Constant de Boltzmann (K=1.38.$10^{-38}JK^{-1}$),
- ✓ T_c : Température absolue de fonctionnement de la jonction(c°),
- ✓ m:Facteur d'idéalité de la diode m={1,2},
- ✓ R_s : Résistance série,
- ✓ R_p : Résistance parallèle.

I.3.2 Paramètres d'une cellule PV

Une cellule solaire est caractérisée parles paramètres fondamentaux suivants:

- **Courant de court circuit (I_{cc})**:C'est la plus grande valeur du courant générée par

une cellule pour une tension nulle ($V_c = 0$).

- **Tension en circuit ouvert (V_{OC})**:Représente la tension aux bornes de la diode quand elle est traversée par le photo-courant $I_{ph}(I_d = I_{ph})$ quand ($I_c = 0$).Elle reflète la tension de la cellule en absence de lumière, elle est exprimée mathématiquement par:

$$V_{OC} = \frac{m.k.T_C}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0}\right) = V_{th} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0}\right) \quad (I.7)$$

Ou encore : l'équation courant-tension de la cellule s'écrit donc:

$$I = I_{CC}\left(1 - e^{\frac{V - V_{oc} + IR_S}{v_{th}}}\right) \quad (I.8)$$

- ✓ I_{cc}: courant de court-circuit.
- ✓ V_{oc}:la tension de circuit ouvert.
- ✓ V_{th}:Tension thermique.
- ✓ G_a:L'éclairement (W/m²).
- ✓ T: température(c°).
- ✓ C_3:Facteur de correction de la tension de circuit ouvert V/C°.
- ✓ T_c:Température des cellules.
- ✓ T_a:Température ambiante.

Les équations donnantes la variation de la tension de circuit ouvert(V_{oc})et le courant de court-circuit(I_{cc})en fonction de l'éclairement (W/m²)et de la température de jonction T(°C)et par rapport aux conditions standards (STC)(25 °C, $1000\ W/m^2$ AM1.5) sont les suivantes:

$$I_{cc} = C_1 . G_1[1 + (T_c - T_c(STC)).5.10^{-4}] \quad (I.9)$$

Avec :

$$C_1 = \frac{I_{cc}(STC)}{G_a(STC)}$$

$$V_{oc} = V_{oc(STC)} + C_3 . (T_c - T_{c(STC)} + V_{th} . \ln[\frac{G_a}{G_{a(STC)}}]) \quad (I.10)$$

Avec: Le coefficient C_3 représente le facteur de correction de la tension de circuit ouvert en fonction de la température. La valeur type de ce facteur est égale à

$C_3 = -2.3 \,.\, 10^{-3} V/C°$·la température des cellules $T_c$dépend exclusivement de l'ensoleillement Ga et de la température ambiante T_a.

$T_c = T_a + C_2 . G_a$Où : C_2estapproximativement 0.03 cm^2/W. [2]

I.3.3 Le Point de puissance maximal

C'est le point sur la courbe$I- V$ de la cellule où la puissance est maximale (la puissance absorbée par la charge résistive est maximale), ceci peut être vu sur la figure précédente(I.3).De cette figure, une condition de puissance maximum est vérifiée quand I_{mpp}rencontreV_{mpp}.LaFigure(I.4), montre les courbes typiques $I-V$ et $P-V$pour un module PV de 120W.

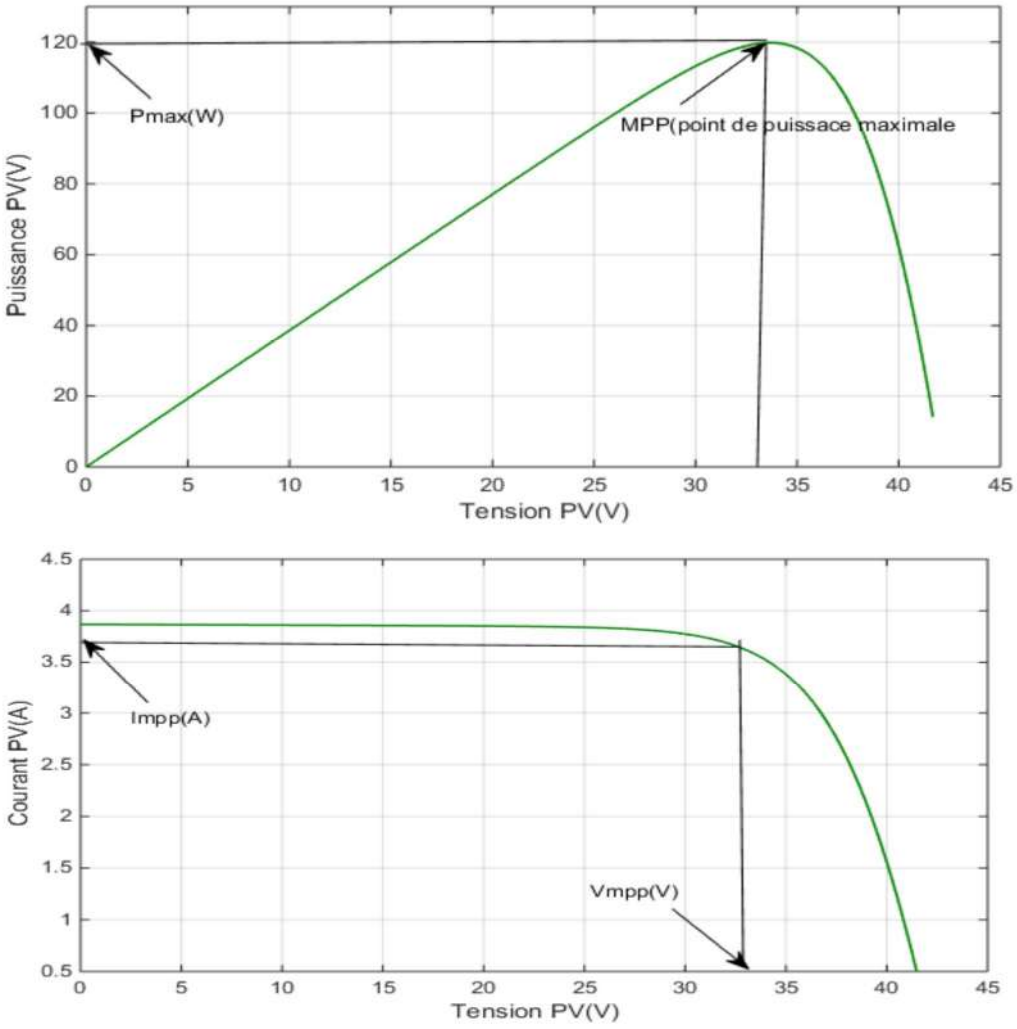


Figure I.4 : Caractéristiques V-I et P-V d'un module PV.

I.3.4.Rendement maximale de la conversion

Elle est le rapport de la puissance électrique maximale pouvant être extraite, à la puissance de rayonnement incident sur la surface S de la cellule.

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{I_{mpp}.V_{mpp}}{S.G_a} = \frac{V_{oc}.I_{cc}.FF}{S.P_{in}} \quad (I.11)$$

I.3.5.Le facteur de forme FF

Est le rapport de la puissance maximale qui peut être délivré à la charge et le produit de $(V_{oc}.I_c)$.

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{OC}.I_{CC}} = \frac{I_{mpp}.V_{mpp}}{V_{OC}.I_{CC}} \quad (I.12)$$

I.4.LE PANNEAU SOLAIRE

Une association série de plusieurs cellules donne un module et une association série et/ou parallèle de plusieurs modules permet de réaliser un panneau 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 comme représentés sur les **figures** suivantes **(I.5),(I.6),**[6].

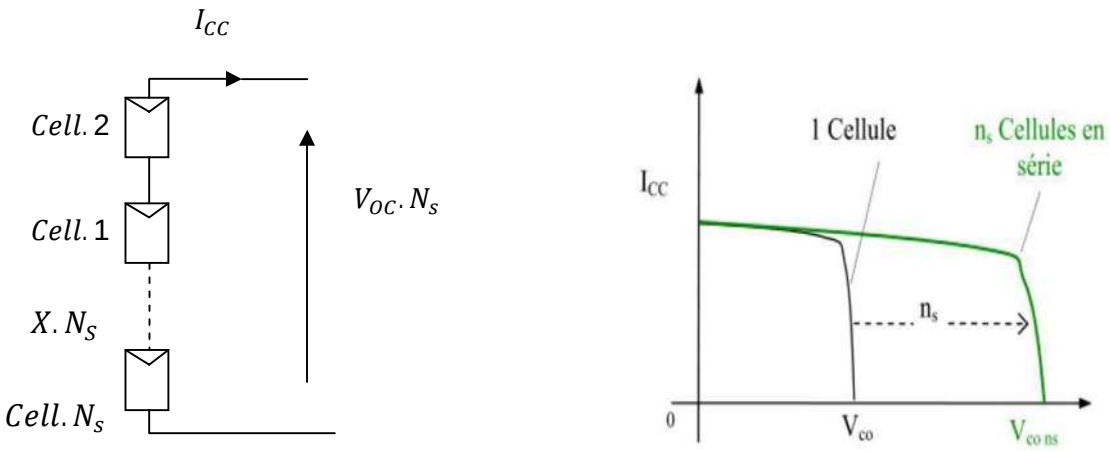


Figure I.5. Évaluation de la caractéristique courant-tension avec le nombre de cellules en série.

$$\begin{cases} I_{pv} = I_c \\ V_{pv} = N_s.V_c \end{cases}$$

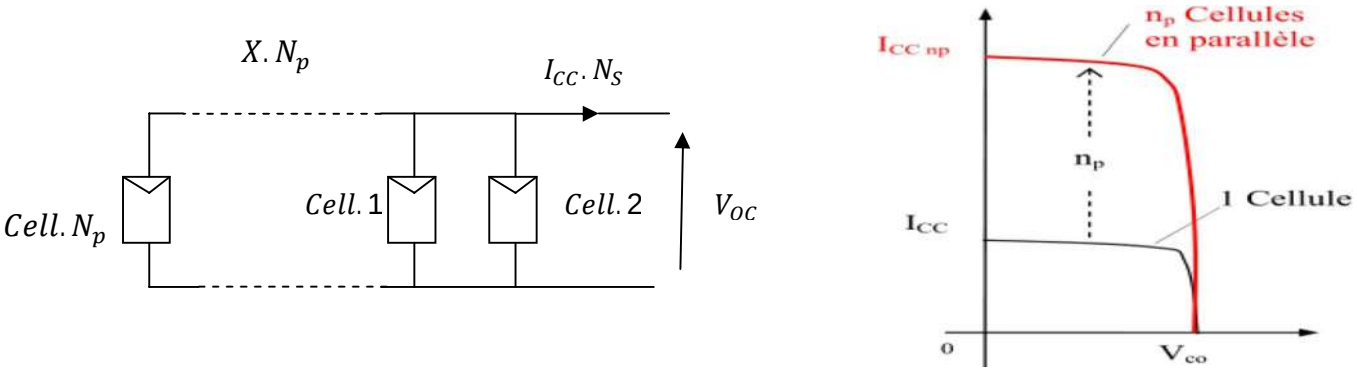


Figure I.6.Evaluation de la caractéristique I(V) avec le nombre de cellules en parallèle.

$$\begin{cases} I_{pv} = N_p.I_c \\ V_{pv} = V_c \end{cases}$$

Considérant le cas d'un panneau photovoltaïque composé de $N_P$modules montés en parallèle, chaque module étant composé deN_s cellules solaires en série. Le courant délivré par ce panneausousdes conditions atmosphériques constantesest donnépar:

$$I = I_{SC}.N_P\left(1 - e^{\left(\frac{V - V_{OC}.N_S + I.R_S.N_S}{V_{th}.N_S}\right)}\right) \qquad \text{(I.13)}$$

Ces panneaux alors peuvent être encore arrangés en raccordements série ou parallèle pour réaliser les valeurs désirée de tension et de courant du système.

Le passage d'un module à un panneau se fait par l'ajout de diodes de protection, une en série pour éviter les courants inverses et une en parallèle, dite diode by-pass, qui n'intervient qu'en cas de déséquilibre d'un ensemble de cellules pour limiter la tension inverse aux bornes de cet ensemble et minimiser la perte de production associée[7].

I.5. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE ET L'ENSOLEILLEMENT SUR LE GPV

I.5.1.Influence de l'éclairement (d'ensoleillement)

En faisant varier l'éclairement entre 200w/m² et 1000w/m² avec un pas de 200, la caractéristique $(I_{pv} = f(V_{pv}))$est donnée par les Figures (I. (7,9)). On remarque que la

valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairement [2].

L'irradiation standard, internationalement acceptée, pour mesurer la réponse des panneaux photovoltaïques est une intensité rayonnante de1000 W/m2 et une températurede25 °C.

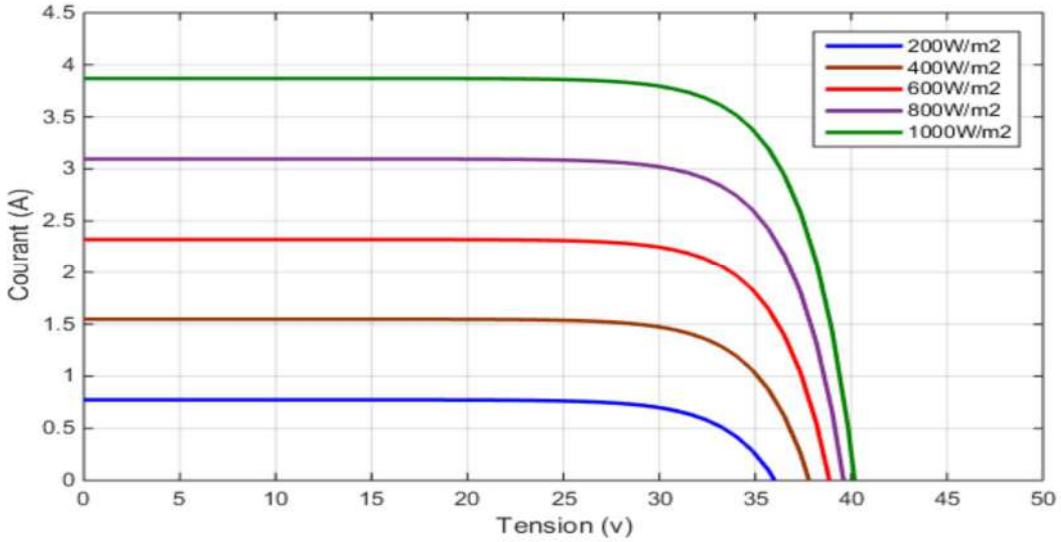


Figure I.7: Caractéristiques I-V d'un module de cellules PV pour différents valeurs d'ensoleillement(T=25C°).

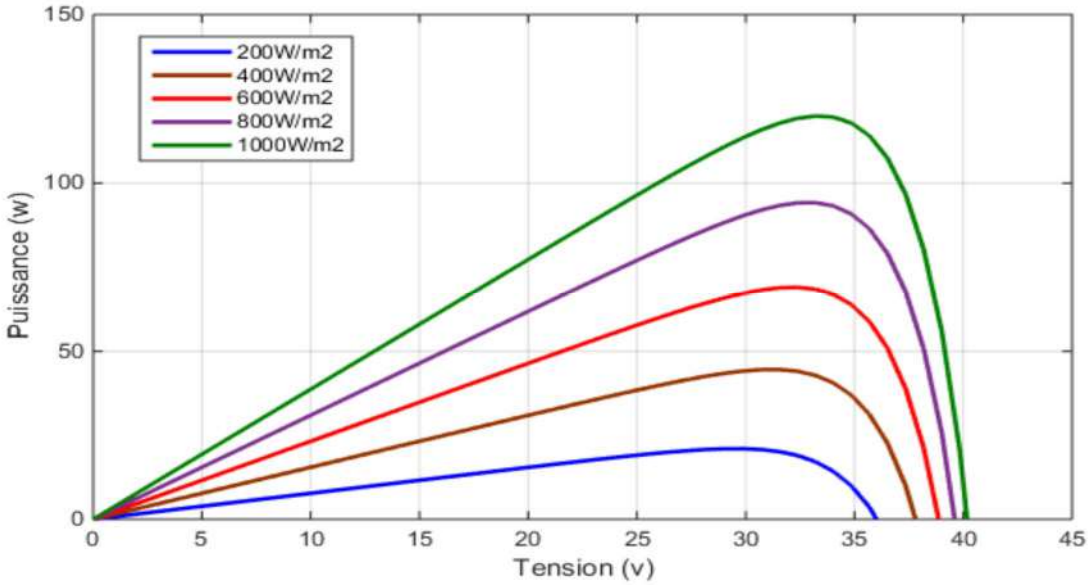


Figure I.8 : Caractéristiques P-V d'un module PV pour différents valeurs d'ensoleillement(T=25°C).

I.5.2 Influence de la température

En faisant varier la température, la caractéristique est ($\boldsymbol{I_{pv} = f(V_{pv})}$) donnée par les figures (I. (8,10)). On remarque que la température à une influence négligeable sur la valeur du courant decourt-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente, par conséquent la puissance extractible diminue. Lors du dimensionnement d'une installation, la variation de la température du site sera impérativement prise en compte [2].

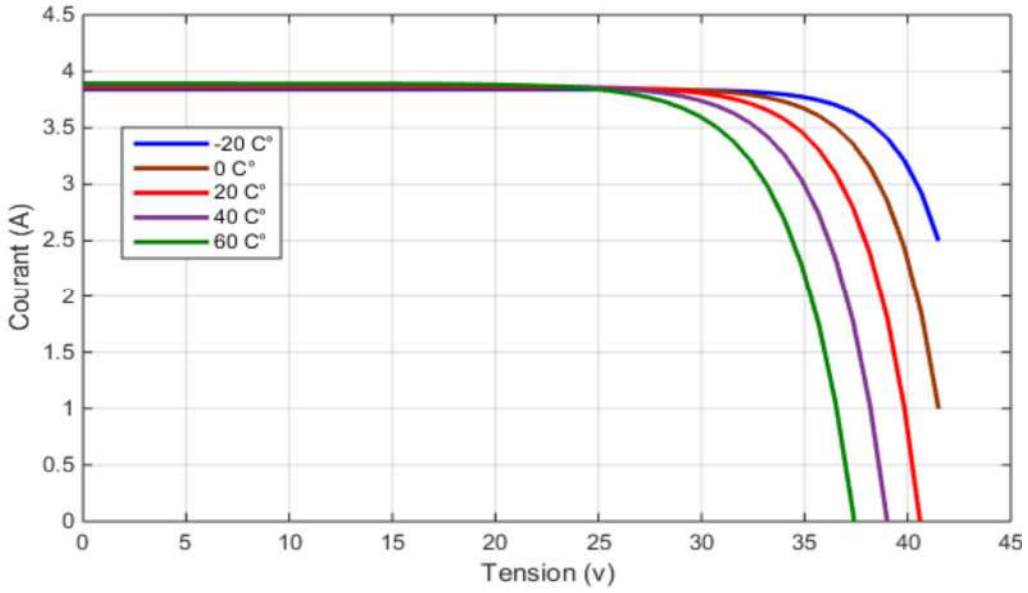


Figure I.9:caractéristique I-V d'un module PV pour différentes valeurs de température(Ga=1000W/m2).

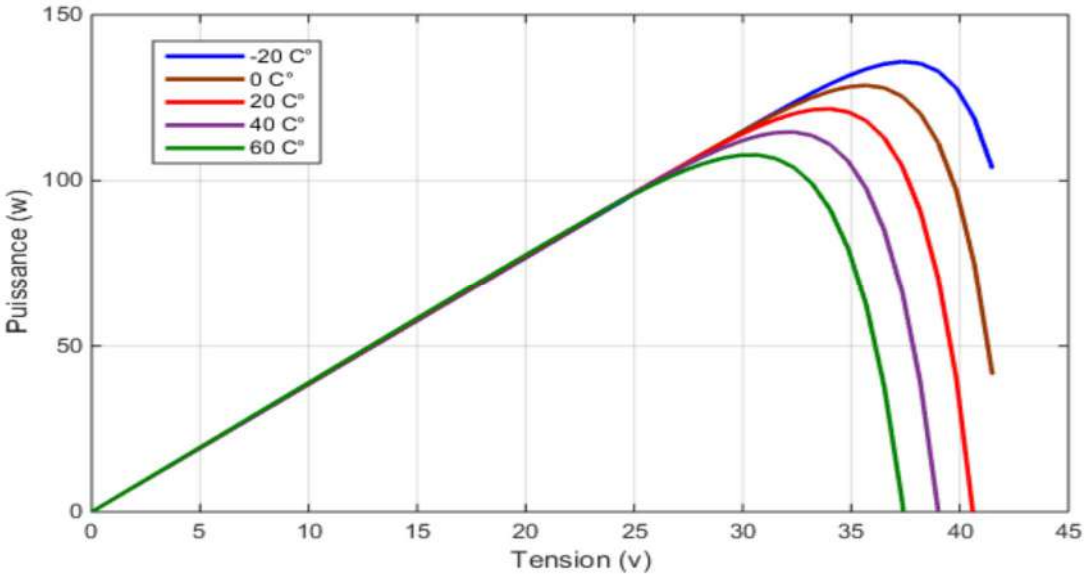


Figure I.10 : Caractéristiques P-V d'un module PV pour différents valeurs de température(Ga=1000W/m2).

L'introduction d'un étage d'adaptation permettant de fixer le point de fonctionnement du GPV indépendamment de celui de la charge et qui permet l'extraction de la puissance optimale. L'ensemble peut fonctionner de façon idéale et diverses boucles de contrôle en entrée et en sortie de l'étage d'adaptation sont prévues. En entrée, elles garantissent l'extraction à chaque instant, du maximum de puissance disponible aux bornes du GPV. Et en sortie, des boucles de contrôle spécifiques permettent un fonctionnement optimal de chaque application dans son mode le plus approprié. Les techniques utilisées classiquement pour les boucles de contrôle en entrée consistent à associer à l'étage d'adaptation une commande appelée MPPT (Maximum Power Point Tracking) qui effectue une recherche permanente du point de puissance maximale (MPP) [8].

I.6. ETAGE D'ADAPTATION ENTRE UN GENERATEUR PV ET UNE CHARGE

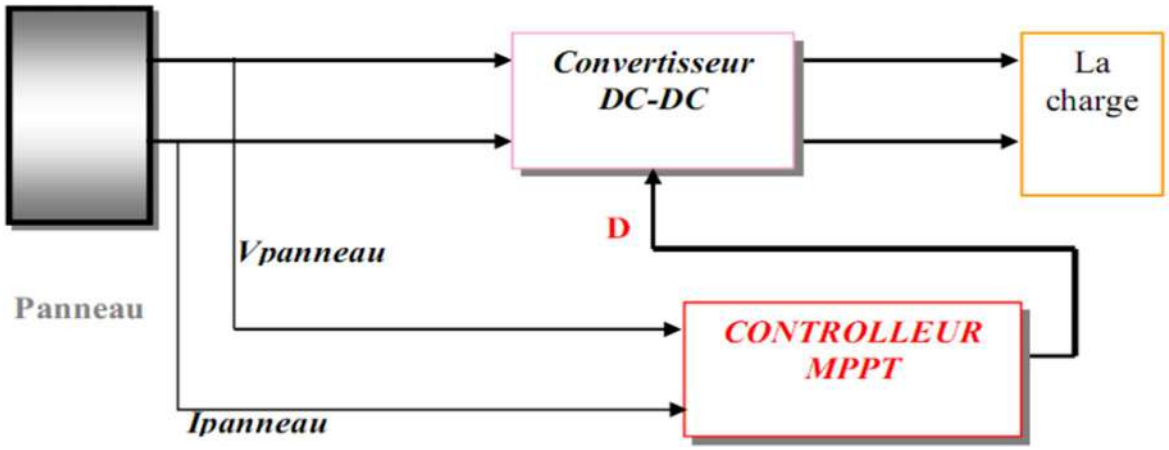


Figure I.11: Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec MPPT.

I.6.1 Principe de la commande MPPT

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un GPV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quelque soit les conditions météorologiques (température et irradiation), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (V_{PPM}et I_{PPM}).La chaîne deconversion photovoltaïque sera optimisée à travers un convertisseur statique (CS) commandé par une MPPT [9]. Il peut être représenté parle schéma de la Figure (I.11)

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique (CS), à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le MPP.

En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du CS en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le MPP [10].

I.6.2 Les algorithmes MPPT

Plusieurs algorithmes ont été proposés dans la littérature pour extraire le maximum de puissance des installations PV l'algorithme P&O (Perturbe &Observe) et Algorithme d'incrémentation de l'inductance (IncCond).

L'algorithme le plus simple et le plus rapide de point de vue temps de calcul est l'algorithme P&O (Perturbe & Observe) qui est basé sur la perturbation du courant de référence pour visualiser la direction de progression de la puissance.

I.6.3 Méthode d'observation et perturbation "P&O"

La méthode de P & O est une méthode largement utilisée à l'approche MPPT. Elle utilise un microprocesseur qui traite les valeurs de la tension V et du courant I du panneau et qui à partir de ces valeurs calcule la puissance. Ceci permet au microprocesseur de commander directement le rapport cyclique variable "d" qui génère le signal de modulation de largeur d'impulsion (PWM) pour la commande du convertisseur DC/DC. La méthode de perturbation et d'observation (P&O), génère la perturbation continuelle du système en augmentant ou en diminuant la tension d'opération du panneau et observe son impact sur le rendement de ce même panneau. Le diagramme suivant explicite l'algorithme de cette méthode de perturbation et d'observation (P&O) qui est implémenté dans le microprocesseur V et I sont mesurés pour le calcul de la puissance de sortie P(k). Cette valeur de P(k) est comparée à la valeur obtenue à partir de la dernière mesure P(k-1).Si la puissance de sortie a augmenté de puis la dernière mesure, la perturbation de la tension de sortie se pour suivra dans le même sens que dans le dernier cycle. Si la puissance de sortie a diminué de puis la dernière mesure, la perturbation de la tension de sortie sera inversée dans la direction opposée du dernier cycle.

La figure (I.12) représente l'algorithme classique d'une commande MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension.

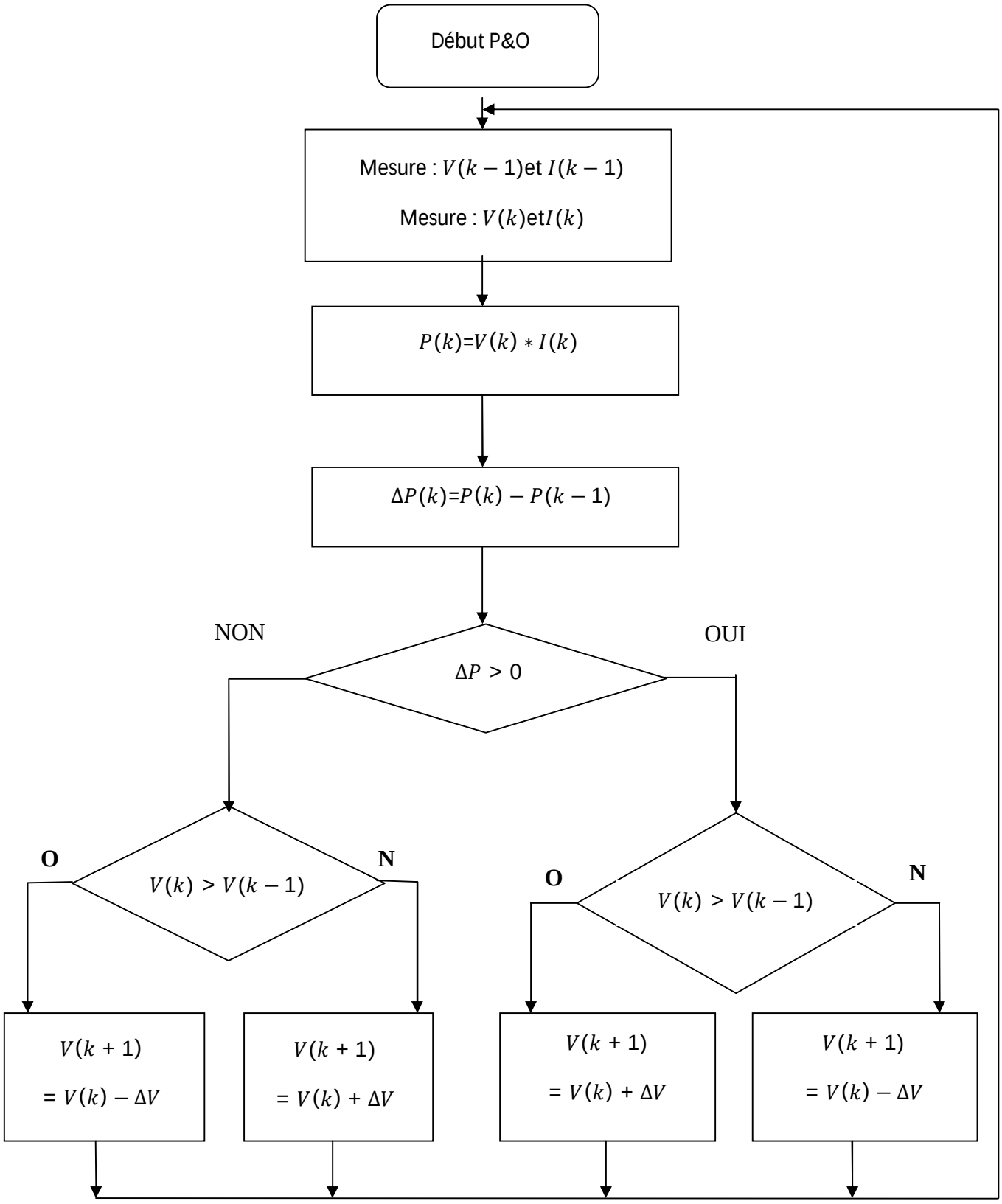


Figure I.12 : Organigramme de la méthode de perturbation et d'observation. [7]

Avec cet algorithme la tension V est perturbée avec chaque cycle MPPT. Dès que le MPP est atteint, V va osciller autour de la tension de fonctionnement idéal Vmp. Cela entraîne une perte de puissance qui dépend de la largeur dupas d'une seule perturbation. Si la largeur du pas est importante, l'algorithme MPPT sera répondu rapidement à des changements soudains des conditions de fonctionnement mais occasionnera des pertes dans des conditions changeantes lentement et dans les états stables. Si la largeur du pas est très faible les pertes dans les états stables ou les conditions change antes lentement seront réduites, mais le système sera uniquement une réponse très lente aux changements rapides de la température ou de l'insolation. La valeur de la largeur idéale du pas est dépendante du système et doit être déterminée expérimentalement ou par simulation grâce à un logiciel technique (comme par exemple MATLAB/Simulink) et ainsi satisfaire un compromis entre la réponse rapide et les pertes de puissance dans les états stables [11][12].

I.7.AVANTAGES ET INCONVENIENTS D'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

Lesavantagesdel'énergiephotovoltaïquelesplusimportants sont[13]:

I.7.1 Avantages

- Energie indépendante, le combustible (le rayonnement solaire)est renouvelable et gratuit.
- L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.
- Génère l'énergie requise.
- Réduit la vulnérabilité aux pannes d'électricité.
- L'extension des systèmes est facile, la taille d'une installation peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de la charge.
- La revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voir de générer des revenus.
- Entretien minimal.
- Aucun bruit.

I.7.2Inconvénients

- La fabrication des panneaux photovoltaïques relèvent de la haute technologie demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements coûteux.
- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles.
- Nécessite un système d'appoint (batteries) pour les installations domestiques.
- Le coût d'investissement sur une installation photovoltaïque est cher.

I.8.CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté la modélisation d'une cellule photovoltaïque et les caractéristiques du générateur photovoltaïque GPV avec ses performances. Ainsi, l'influence de quelques paramètres sur ses caractéristiques. Pour le fonctionnement optimal d'un système photovoltaïque, il est nécessaire d'utiliser un étage d'adaptation entre le générateur PV et la charge ou un autre système nous utilisant MPPT (Maximum Power Point Tracking). Les commandes (MPPT) développées, sont toutes basées sur une commande extrémale de type Perturbe & Observe, (P&O).

Chapitre II :

Convertisseurs DC/DC

II.1. INTRODUCTION

Avec une tension alternative, un simple transformateur permet de changer la tension d'un niveau à un autre niveau. Mais dans le cas d'une tension continue, on doit avoir recours à une approche bien différente, en utilisant un convertisseur DC-DC [14].

Les convertisseurs statique DC/DC, appelés aussi hacheurs, sont souvent utilisés dans les systèmes photovoltaïque comme interface d'adaptation entre le générateur photovoltaïque et sa charge .Ils permettent de commander le flux d'énergie générée par les GPV et d'assurer la poursuite du point de puissance maximale en suivant des stratégies de contrôle spécifique.

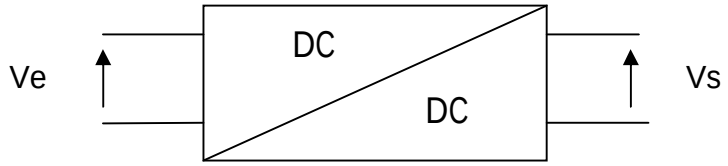


Figure II.1 :Symbole de convertisseur DC-DC.

L'utilisation des convertisseurs DC-DC permet le contrôle de la puissance électrique dans les circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé. Les circuits des hacheurs se composent de condensateurs, d'inductances et de commutateurs. Dans le cas idéal, tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance active, c'est la raison pour laquelle on a de bons rendements. Le commutateur est réalisé avec un dispositif semi-conducteur, habituellement un transistor MOSFET ou un IGBT fonctionnant en mode (bloqué/saturé). Si le dispositif semi-conducteur est bloqué, son courant est zéro d'où une dissipation de puissance nulle. Si le dispositif est dans l'état saturé, la chute de tension à ses bornes sera presque nulle et par conséquent la puissance perdue sera très faible [11].

Les convertisseurs DC-DC de type Buck et Boost, sont utilisés fréquemment dans les systèmes photovoltaïques pour générer les tensions et les courants souhaités. Ce type de convertisseurs n'est constitué que par des éléments réactifs (selfs, capacités) qui, dans le cas idéal, ne consomment aucune énergie. C'est pour cette raison qu'ils sont caractérisés par un grand rendement [15].

Il y a différents types de convertisseurs DC-DC. Le tableau suivant donne une idée sur la complexité de chaque type de convertisseur :

Tableau II.1 : Complexité de chaque type de convertisseur DC-DC.

Type	Fonction	Interrupteur	Diode	Transformateur	Complexité
Buck	Abaisseur	1	1	Non	Faible
Boost	Elévateur	1	1	Non	Faible
Buck-Boost	Abaisseur/ Elévateur	1	1	Non	Faible
Flyback	Abaisseur/ Elévateur	1	1	Oui	Moyen
Half Forward	Abaisseur/ Elévateur	1	1	Oui	Moyen
Push Pull	Abaisseur/ Elévateur	2	2	Oui	Forte
Half Bridge	Abaisseur/ Elévateur	2	2	Oui	Forte
Full Bridge	Abaisseur/ Elévateur	4	4	Oui	Très Forte

Dans le présent chapitre, trois types de convertisseurs DC/DC seront abordés :

- Convertisseur survolteur ou (Boost).
- Convertisseur dévolteur ou (Buck).
- Convertisseur dévolteur- survolteur ou(Buck-Boost).

Pour chaque convertisseur on détaillera le fonctionnement et le dimensionnement des différents éléments.

Dans ce travail on utilise le convertisseur Boost.

II.2.HACHEURSURVOLTEUR(BOOST)

Le convertisseur Boost est connu par le nom d'élévateur de tension. Le schéma de la figure(II.2), représente le circuit électrique du Boost. Au premier temps (t), le transistor (S) est fermé, le courant dans l'inductance croit progressivement, et au furet à mesure, elle emmagasine de l'énergie, jusqu'à la fin du premier intervalle. Ensuite, le transistor (S) s'ouvre et l'inductance (L) s'opposant à la diminution de courant (I_L), génère une tension qui s'ajoute à la tension de source, qui s'applique sur la charge (R) à travers la diode (D). [12]

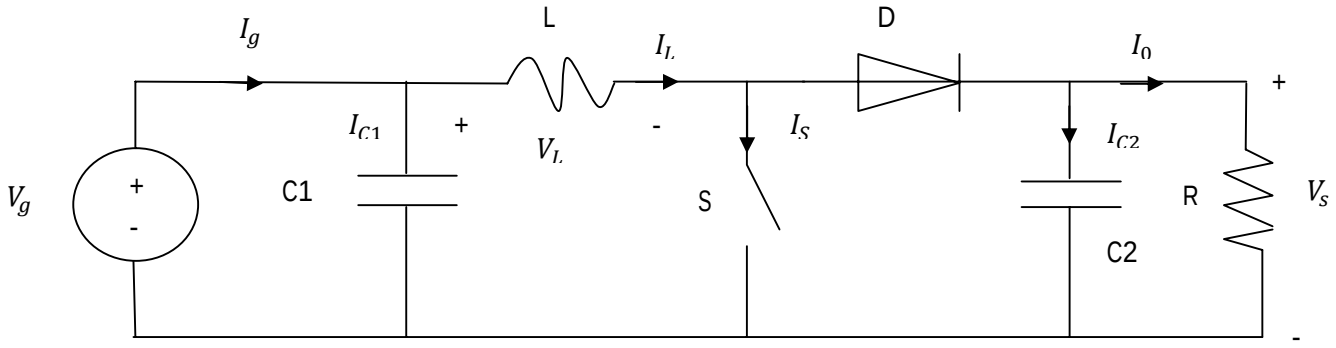


Figure II.2: Schéma électrique d'un hacheur boost.

II.2.1Modèle mathématique équivalent

L'application des lois de Kirchhoff sur les deux circuits équivalents des deux phases de fonctionnement donne:$(V_{PV} = V_g)$

Pour le premier intervalleaT_S :

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_{PV}}{dt} = I_{PV} - I_L \quad \text{(II.1)}$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_0}{dt} = -I_0 \quad \text{(II.2)}$$

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} = V_{PV} - R_L - I_L \quad \text{(II.3)}$$

Pour le deuxième intervalle $(1 - \alpha)\ T_S$:

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_{PV}}{dt} = I_{PV} - I_L \quad \text{(II.4)}$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_0}{dt} = I_L - I_0 \quad \text{(II.5)}$$

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} = V_{PV} - V_0 - R_L I_L \quad \text{(II.6)}$$

II.2.2 Modèle approxime du convertisseur Boost

Les systèmes d'équations de base (II.(1,2et 3))et(II.(4,5et 6))Représentent le convertisseur Boost pour un intervalle du temps aT_s et $(1 - a)T_s$respectivement. Le convertisseur oscillant entre ces deux états avec une fréquence élevée, nous devons trouver une représentation dynamique approximée valable pour les deux intervalles de temps. Pour ce la nous considérons que la variation des variables dynamiques C_L ,$L_L$est de forme linéaire, en d'autres termes nous pouvons faire une approche d'exponentielle par un segment($e^{\varepsilon} \approx 1 + \varepsilon$

si $\varepsilon \ll 1$) et ainsi la dérivée de ces grandeurs sera constante. [2]

Cette approche nous permet de décomposer l'expression de la valeur moyenne de la dérivée de la variable dynamique sur les deux intervalles du temps aT_s et $(1-a)T_s$:

$$\langle \frac{dx}{dt} \rangle T_s = \frac{dx}{dt_{(aT_s)}} aT_s + \frac{dx}{dt_{((1-a)T_s)}} (1-a)T_s \quad \text{(II.7)}$$

Où $\langle \frac{dx}{dt} \rangle$est la valeur moyenne de la dérivée de x sur un intervalle T_s Cetterelation est valide si :[2]$\frac{dx}{dt_{(aT_s)}}$ et $\frac{dx}{dt_{((1-a)T_s))}}$sont constants sur les intervalles aT_s et $(1-a)T_s$respectivement.

Dans ce cas la forme exponentielle du courant qui par court la self et la tension aux bornes de la capacité est de forme linéaire comme le montre la Figure(II.3)

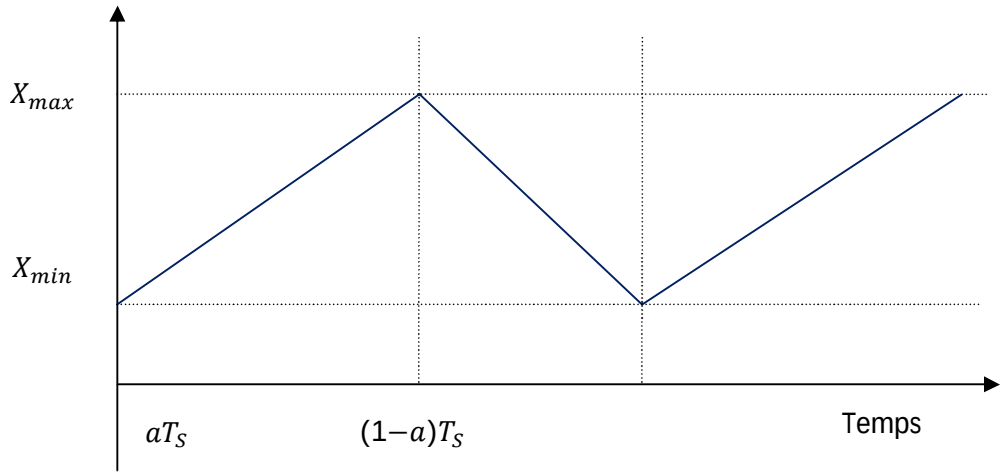


Figure II.3 : Allure des variables dynamiquesI_L

En appliquant la relation (II.7) sur les systèmes d'équations (II. (1, 2et3) et (II. (4,5, et6))

On obtient les équations qui régissent le système sur un intervalle entier :

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_{PV}}{dt} aT_s = (I_{PV} - I_L)aT_S + (1-a)T_s(I_{PV} - I_L) \quad \text{(II.8)}$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_0}{dt} aT_s = -aT_s I_0 (1-a)T_S(I_L - I_0) \quad \text{(II.9)}$$

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} aT_S = (V_{PV} - R_L I_L)aT_s + (1-a)T_s(V_{PV} - R_L - V_0) \quad \text{(II.10)}$$

En arrangeant les termes des équations précédentes, (pour qu'on puisse interconnecter le Boost avec les autres blocs de simulation), on obtient la modélisation dynamique du

convertisseur Boost [2].

$$I_L = I_{PV} - C_1 \frac{dV_{PV}}{dt} \quad \text{(II.11)}$$

$$I_0 = (1-a)I_L - C_2 \frac{dV_0}{dt} \quad \text{(II.12)}$$

$$V_{PV} = (1-a)V_0 + L\frac{dI_L}{dt} + R_L L_L \quad \text{(II.13)}$$

II.2.3 Les ondulations des courants et des tensions

Pour le dimensionnement des différents composants du circuit afin de diminuer les ondulations des courants et des tensions sans faire un sur dimensionnement ce qui accroîtrait le poids et le prix des circuits, un calcul de ces composants en fonction des ondulations voulues est nécessaire. Cette remarque est très importante pour le dimensionnement de l'inductance *L* afin de respecter le courant admissible par le transistor MOSFET *S*, où dans le cas pratique les ondulations du courant $I_L$sont plus importantes par rapport aux autres ondulations.

En appliquant la relation :$V_L = L\frac{dI_L}{dt}$, et par l'approximation des segments d'exponentielle par des droites, la pente du courant I_L pendant la première période de fonctionnement est donnée par :

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_L}{L} \approx \frac{V_{PV} - R_L I_L}{L} \quad \text{(II.14)}$$

A partir de la relation (II.14), la valeur crête à crête du courant I_L est :

$$I_{LCC} = 2\Delta I_L \approx \frac{V_{PV} - R_L I_L}{L} aT_S \quad \text{(II.15)}$$

La valeur de l'inductance *L* à choisir pour certaine ondulation ΔI_Lest :

$$L \approx \frac{V_{PV} - V_0 - R_L I_L}{2\Delta I_L} aT_S \quad \text{(II.16)}$$

Pour le calcul des capacitésC_1et C_2 ,on a :

$$\frac{dV_{PV}}{dt} = \frac{I_{C1}}{C_1} = \frac{I_{PV}-I_L}{C_1} \quad \text{(II.17)}$$

$$\frac{dV_0}{dt} = \frac{I_{C2}}{C_2} == \frac{-I_0}{C_2} \quad \text{(II.18)}$$

Les valeurs des ondulations crête à crête des tensions d'entrées et de sorties sont :

$$V_{C_1CC} = 2\Delta V_{C1} = \frac{I_{PV}-I_L}{C_1} aT_s \quad \text{(II.19)}$$

$$V_{C_2CC} = 2\Delta V_{C2} = \frac{-I_0}{C_2} aT_S \quad \text{(II.20)}$$

Les valeurs des capacitésC_1etC_2sont respectivement données par :

$$C_1 = \frac{I_{PV}-I_L}{2\Delta V_{C1}} aT_S \quad \text{(II.21)}$$

$$C_2 = \frac{-I_0}{2\Delta V_{C2}} aT_S \quad \text{(II.22)}$$

II.2.4 Etude en régime continu

Le régime continu est obtenu en éliminant les dérivées des variables dynamiques, et en remplaçant ces signaux par leurs valeurs moyennes.
Le système d'équations (II.(11,12et13))donne :

$$I_L = I_g \quad \text{(II.23)}$$

$$I_0 = (1-a)I_L \quad \text{(II.24)}$$

$$V_{PV} = (1-a)V_0 \quad \text{(II.25)}$$

Comme présente la Figure (II.4), lorsque l'interrupteur du transistor (S) est sur la position (on), le courant de l'inductance du hacheur augmente linéairement et à cet instant la diode (D) est bloquée (off). [2]

Et lorsque (S) se met sur la position (off), l'énergie emmagasinée par l'inductance est dissipée dans le circuit (RC) bien que la diode (D) est passante. Les caractéristiques de tension et du courant de charge du convertisseur Boost dans le cas de la conduction continue sont décrites par la figure(II.4), comme suit [3]:

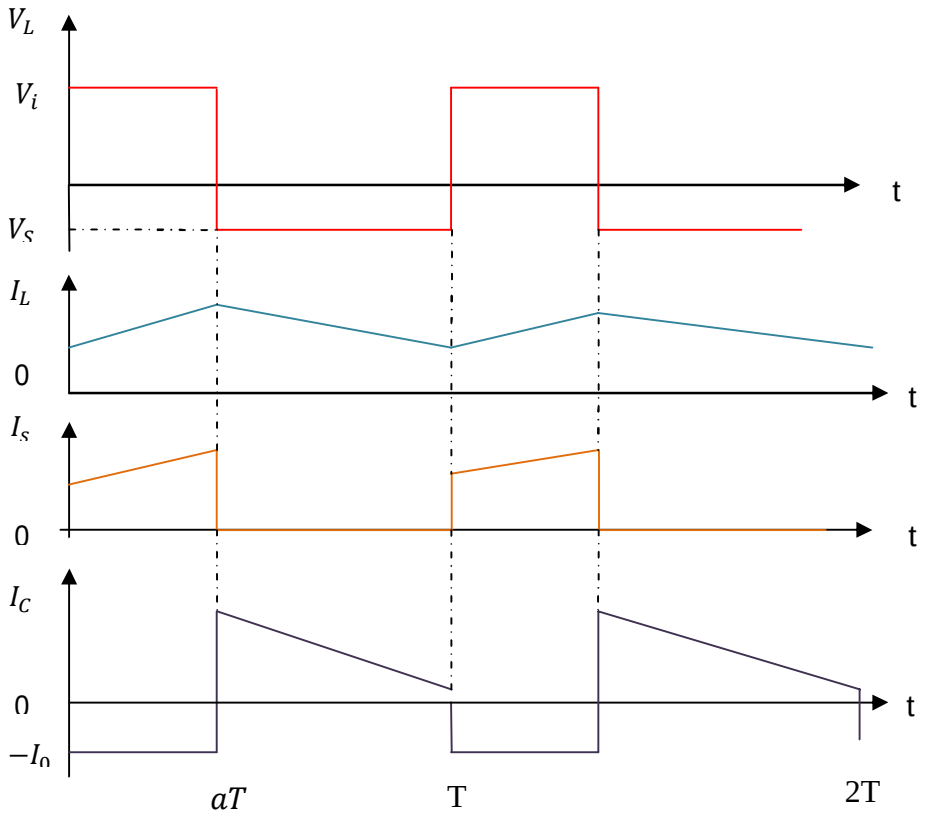


Figure II.4: Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur boost.

II.3.HACHEUR DEVOLTEUR(BUCK)

Le hacheur série, hacheur abaisseur ou bien dévolteur est un appareil qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur. La source d'entrée est de type tension continue et la charge de sortie continue de type source de courant [16].

Le hacheur dévolteur, sous sa forme de base est présenté par la figure(II.8).Les composantes clés sont l'inductance (L), le commutateur (Transistor) (S)**,** la diode (D) et le condensateur (C). Celui-ci se charge par le commutateur (S) qui maintient la tension à ces bornes jusqu'à l'ouverture ce qui fait décharger son énergie à travers la diode sur la charge pour un cycle de période de fonctionnement.

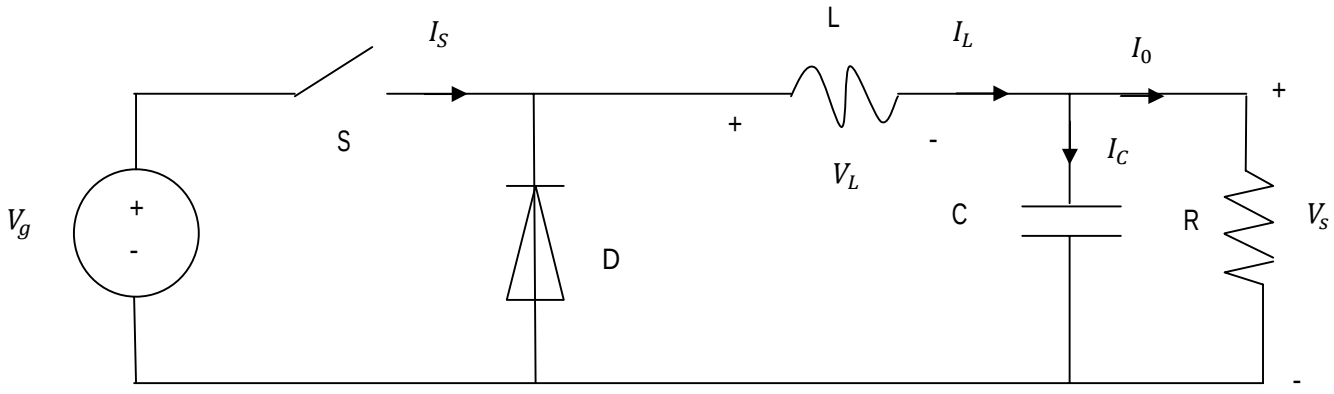


Figure II.5: Schéma électrique d'un hacheur Buck.

Le commutateur peut être un transistor MOSFET ou un IGBT qui peut se commuter sur deux positions, marche ou arrêt rapidement. La tension de la source doit être plus grande que la tension aux bornes de la charge. L'équation mathématique caractérisant le courant de l'inductance est donnée par l'équation suivante.

Le processus de commutation est décrit par la position de l'interrupteur (S). Dans le premier laps de temps (αT) le transistor est dans un état de saturation, alors l'inductance(L) se charge d'énergie avec augmentation du courant $I_{L.}$ Dans le deuxième intervalle du temps $(\alpha - 1)\ T$, l'inductance (L) libère cette énergie à la charge avec une diminution de courant$I_{.}$[3]

En négligeant la chute de tension à travers la diode, le taux de changement du courant est donné par:

$$\frac{\partial I}{\partial t} = -\frac{V_i}{L} \qquad \text{(II.26)}$$

Lors que le courant de l'inductance ne décroit pas vers zéro avant la commutation du transistor, le convertisseur fonctionne dans le mode de conduction continu, comme illustré sur la figure (II.7)**,** et dans ce cas, si la tension de charge dépend seulement de la tension de source et du rapport cyclique$a = T_{on}/T$,la tension aux bornes de la charge:

$$V_S = \partial V_i$$

Dans le mode de conduction discontinu le courant de l'inductance s'annule dans un cycle de commutation entre le transistor (S) et la diode. Dans ce cas, la tension de charge dépend d'une manière plus complexe du rapport cyclique et le courant de la charge, la figure (II.7) montre comment la tension de charge varie avec le courant de charge. Les caractéristiques des courants et la tension représentant le fonctionnement du hacheur dévolteur sont données par la figure(II.6):

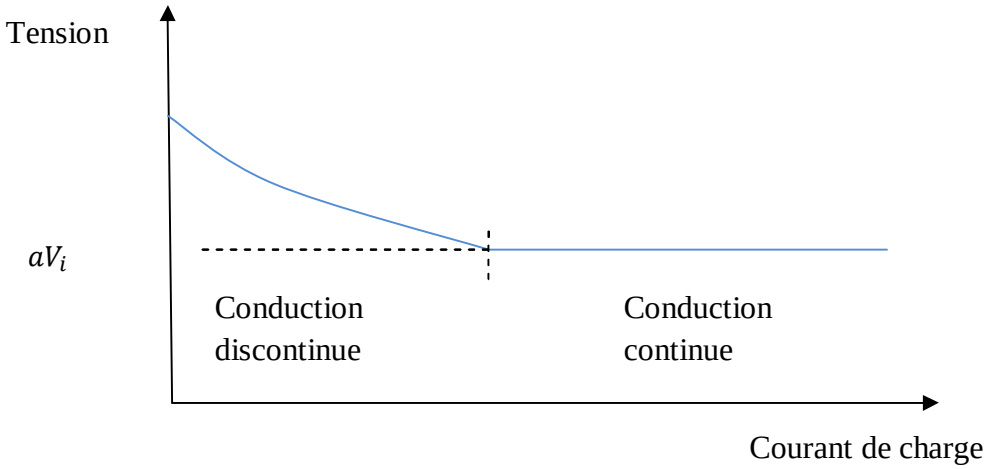


Figure II. 7: Variation de la tension de charge avec le courant de charge pour un Convertisseur Buck [7].

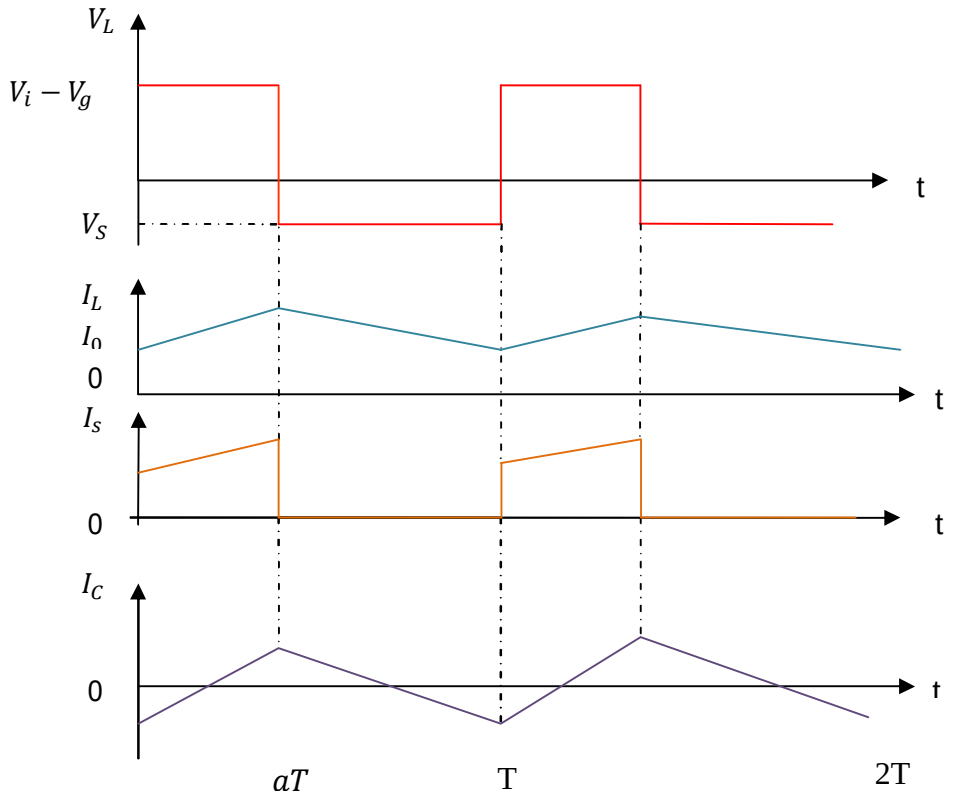


Figure II.6 : Caractéristique de la tension et des courants dans le transistor et l'inductance d'un convertisseur Buck. [2]

II.4 HACHEUR BUCK-BOOST

Hacheur abaisseur-élévateur est aussi appelé dévolteur-survolteur ou de type Buck Boost. Le hacheur abaisseur-élévateur 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). Le convertisseur dévolteur-survolteur combine les propriétés des deux convertisseurs précédents [17].

Le convertisseur dévolteur-survolteur combine les propriétés des deux convertisseurs précédents, il est utilisé comme un transformateur idéal de n'importe quelle tension d'entrée pour n'importe quelle tension de sortie désirée; son schéma de base est illustré par la (Figure II.8).

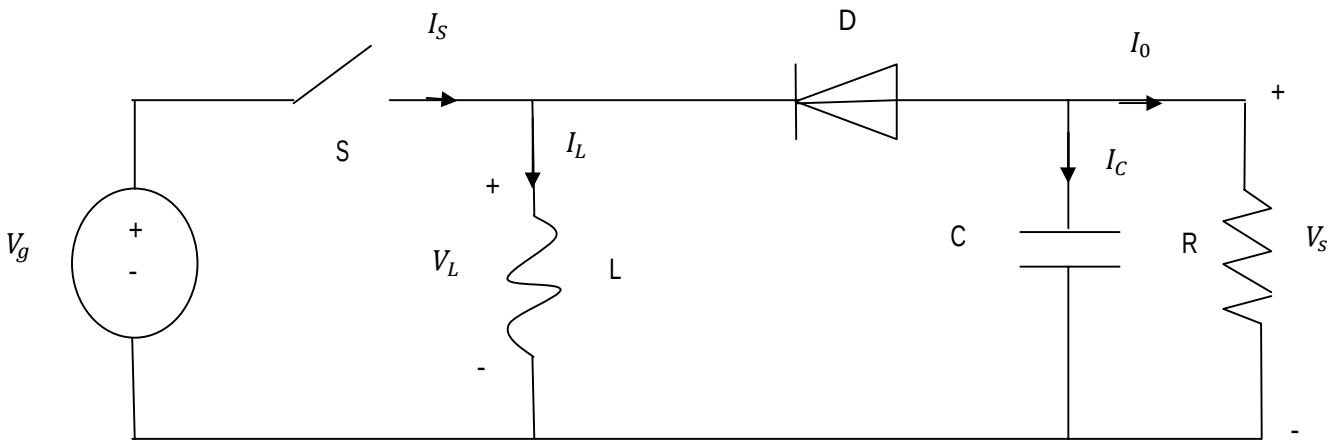


Figure II.8: Schéma électrique d'un hacheur Buck-Boost

II.4.1 Fonctionnement

Cette structure de convertisseur permet d'obtenir des tensions négatives à partir de tension positive. Le schéma de principe est présenté sur la Figure (II.9). Quand l'interrupteur est fermé pendant la duréeT_e , le courant augmente linéairement. La tension est égale à Vi. À l'ouverture de *K* ,la diode prend le relais et la tension$V_L$est égale a–V_0.Par définition la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle. Il en résulte que :

$$V_i . \alpha T_e = V_0(1-\alpha)T \qquad \text{(II.27)}$$

Quand le rapport cyclique α>0.5 le hacheur Buck-Boost fonction comme un hacheur

Boost et si le rapport cyclique α<0.5le hacheur Buck-Boost fonction comme un hacheur Buck. [4]

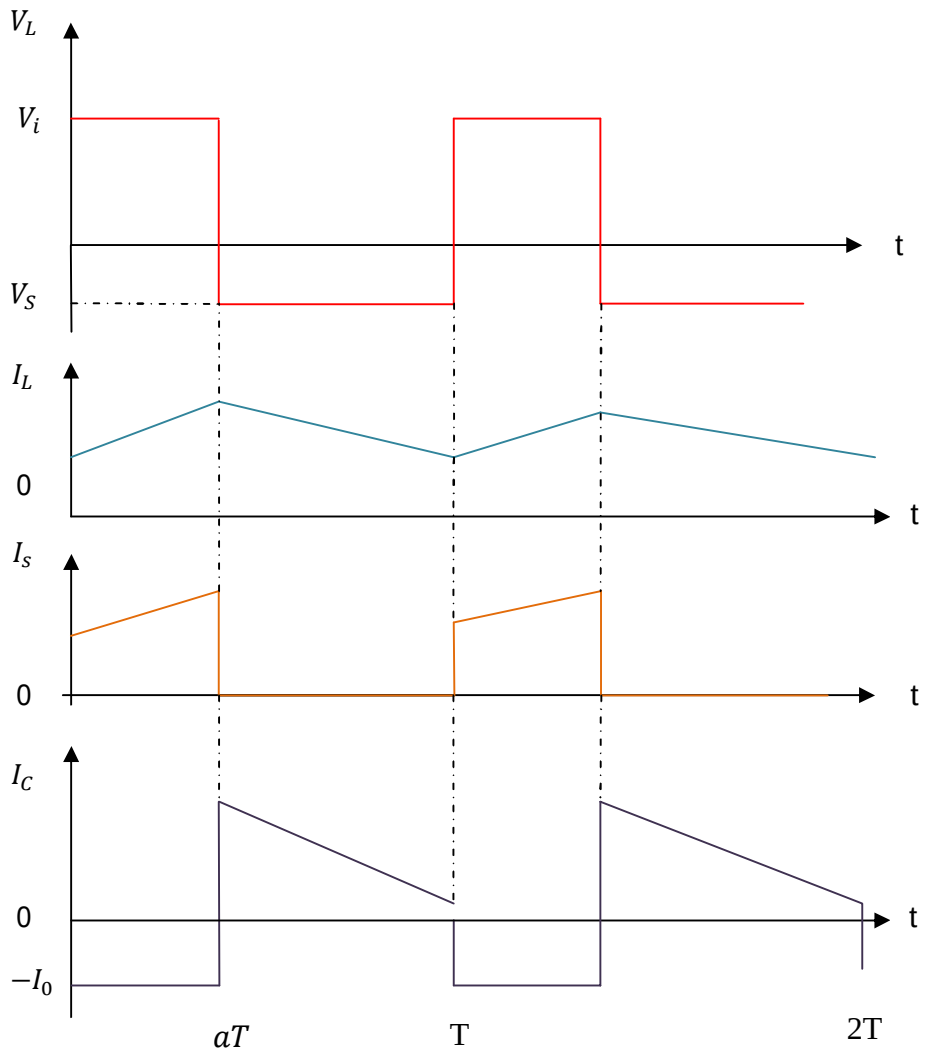


Figure II.9: Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur Buck-Boost.

II.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons étudié les trois topologies de base pour les convertisseurs *DC/DC* connectés à un système photovoltaïque. Un intérêt particulier a été porté au dimensionnement des composants du hacheur.

L'étude des trois modes de fonctionnement de chaque type de convertisseur nous a permis de déduire que le mode de conduction continu est le plus approprié pour la poursuite du point de puissance maximale. En effet, pour ce mode de fonctionnement la tension de sortie du hacheur ne dépend que du rapport cyclique, alors que le régime discontinu impose une dépendance vis-à-vis du courant moyen de sortie.

Chapitre III :

La commande MPPT par la logique floue

III.1.INTRODUCTION

De nos jours, la logique floue (en anglais fuzzy logic) est un axe de recherche important sur lequel se focalisent de nombreux chercheurs. Des applications technologiques sont maintenant disponibles, tant dans le domaine grand public(appareils photos, machines à laver, fours à micro-onde, … etc.), que dans le domaine industriel (réglage et commande de processus complexes liés à l'énergie, aux transports, à la transformation de la matière, à la robotique, aux machines à outils).

Comme nous avons vu dans le premier chapitre qu'il y a un nombre important de techniquedecommandeMPPTontétéélaborédepuislesannées70,commençantpardestechniquessimples comme les contrôleurs MPPT basés sur le retour d'état de la tension et du courant [18],aux contrôleurs plus performant utilisant des algorithmes pour calculer MPP du MLI comme la technique que nous avons vu dans le1er chapitre(P&O).

Ces dernières années d'autres techniques de commande plus robuste ont était associées à la commande MPPT telle que l'intelligence artificielle (logique floue, réseau de neurones artificiels) afin d'augmenter le rendement des panneaux solaires [19]. Dans ce chapitre, nous allons présenter l'étude de commande MPPT utilisant un contrôleur flou puis nous appliquerons cette technique d'optimisation pour maximiser le rendement du système PV.

III.2.LOGIQUE CLASSIQUE ET LOGIQUE FLOUE

Pour exprimer des informations dites incertaines ou imprécises, on se sert de certaines formes linguistiques telles que : grand, petit, très, peu, moins, chaud, froid… etc. La logique classique ne peut traiter que deux états : vraie ou faux, elle se trouve incapable de représenter convenablement ces formules linguistiques, c'est là où intervient la logique flou.

L'importance de la logique floue réside dans le fait qu'elle permet par sa méthode proche du raisonnement humain de représenter des informations inexactes ou imprécises provenant d'une connaissance globale du système.

La logique floue peut être considérée comme une extension de la logique classique ou binaire.

III.3.CONTROLEUR MPPT FLOU

La logique floue ou la théorie des ensembles floue est une nouvelle méthode de commande MPPT permettant d'obtenir le point de puissance maximale (MPP).Le principe se base sur deux variables d'entrées qui sont l'erreur E et le changement d'erreurΔE et une variable de

sortieΔD.

Les variables E et le ΔE sont exprimées comme suit :

$$E(k) = \frac{P(k)-P(k-1)}{V(k)-V(k-1)} \quad \text{(III.1)}$$

$$\Delta E(k) = E(k) - E(k-1) \quad \text{(III.2)}$$

P(k) et V(k) étant respectivement la puissance du GPV et sa tension de sortie à l'instant d'échantillonnage k.

Cet algorithme de commande comprend trois étapes, à savoir:

- La fuzzification.
- la méthode d'inférence.
- La défuzzification.

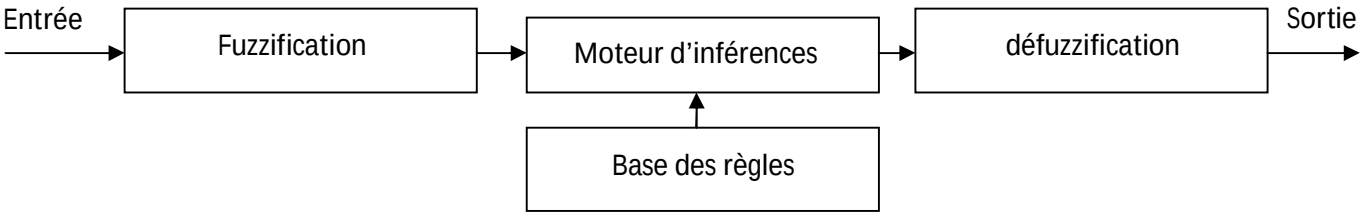


Figure.III.1 : Structure générale d'un régulateur par logique floue

III.3.1. Bloc de fuzzification

Il sert à transformer les variables numériques non floues provenant des entrées en variables linguistiques floues. La fuzzification consiste à définir les fonctions d'appartenance pour les différentes variables d'entrées et de sortie. Dans le cas de réglage par la logique floue, on utilise en général des formes trapézoïdales et triangulaires pour les fonctions d'appartenances.

III.3.1.1. Fuzzification une variable numérique

Pour fuzzifier une variable numérique, il faut donner:

-L'univers de discours, c.-à-d. la plage de variation possibles des entrées etdes sorties.

- Une répartition en classe floue de cet univers.

- Les fonctions d'appartenance de chacune de ces classes.

La figure (Figure.III.2) illustre un exemple de fuzzification d'une variable x en cinq (5) sous-ensembles flous.

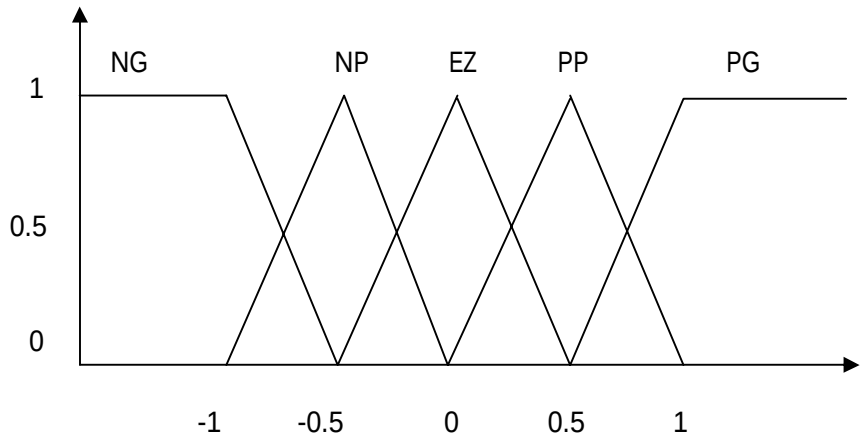


Figure. III.2: Fuzzification en 5 sous-ensembles flous

Les différents ensembles flous sont caractérisés par des désignations standards: la signification des symboles et par exemple:

NG : Négative Grande.

NP : Négative Petite.

EZ: Environ Zéro.

PP: Positive Petite.

PG: Positive Grande.

III.3.2 Base des règles et Mécanisme d'inférence

À partir de la base des règles fournie par l'expert et les sous-ensembles flous des entrées et de sorties correspondants à la fuzzification, le mécanisme d'inférence effectue une relation entre les fonctions d'appartenances des entrées et les fonctions d'appartenances de sorties. En appliquant des règles de type: «si condition alors conclusion».

Le bloc d'inférence est le cœur d'un régulateur flou, il possède la capacité de simuler les décisions humaines et de déduire (inférer) les actions de commande floue. Une représentation graphique de l'ensemble des règles, appelée matrice d'inférence ou table des règles, permet de synthétiser le cœur de régulateur flou.

Le tableau (Tableau. III.1) représente une table d'inférence avec cinq sous-ensembles flous pour deux variables d'entrée à savoir: l'erreur 'E' et sa dérivée 'ΔE', et unevariable de sortie: la commande 'ΔD'.

L'inférence ou la prise de décision est le noyau du contrôleur flou. Elle a l'aptitude de simuler la prise de décision de l'être humain en se basant sur les concepts flous et l'expertise. Pour le réglage par logique floue, on utilise en général l'une des trois méthodes suivantes:

- Méthode d'inférence MAX-MIN.
- Méthode d'inférence MAX-PROD.
- Méthode d'inférence SOMME-PROD.

Dans notre cas, on utilise la méthode d'inférence de Mamdani qui est la combinaison floue MAX-MIN.

Tableau. III.1: Exemple d'une table des règles pour une commande logique floue.

E \ ΔE	NG	NP	EZ	PP	PG
NG	EZ	EZ	NG	NG	NG
NP	EZ	EZ	NP	NP	NP
EZ	NP	EZ	EZ	EZ	PP
PP	PP	PP	PP	EZ	EZ
PG	PG	PG	PG	EZ	EZ

III.3.2.1 Méthode d'inférence Max-Min (Méthode de Mamdani)

La méthode d'inférence min-max, utilise l'opérateur «ET» par la formulation du minimum. La conclusion dans chaque règle, introduite par «ALORS», qui est réalisée par la formation du minimum. Enfin l'opérateur «OU» lie les différentes règles, réalisé par la formation du maximum.

Ces opérateurs permettent d'écrire des combinaisons logiques entre notions floues. On peut définir des opérateurs par ET, OU, ou la négation.

III.3.2.1.1. L'intersection «ET»

Le degré de vérité (degré d'appartenance) de la proposition « A *ET* B » est le minimum des degrés d'appartenance de A et de B :

μ (A *ET B*)= MIN (μ (A), μ (B)).

III.3.2.1.2 L'union « OU »

Le degré de vérité (degré d'appartenance) de la proposition « A *OU* B » est le maximum des degrés d'appartenance de A et de B :

μ (A *OU B*)= MAX (μ (A), μ (B))

III.3.2.1.3Complément

L'opérateur correspondant est la négation : Non (A) = 1 - A.

III.3.3Défuzzification

C'est une étape vers laquelle on attribue pour D des valeurs numériques. Il existe plusieurs méthodes de défuzzification l'une de ces méthodes les plus utilisées est la méthode de centre de gravité**.** Son principe est l'extraction barycentrique de la commande, qui consiste à faire la moyenne des valeurs du référentiel pondérées par leurs degrés d'appartenance.

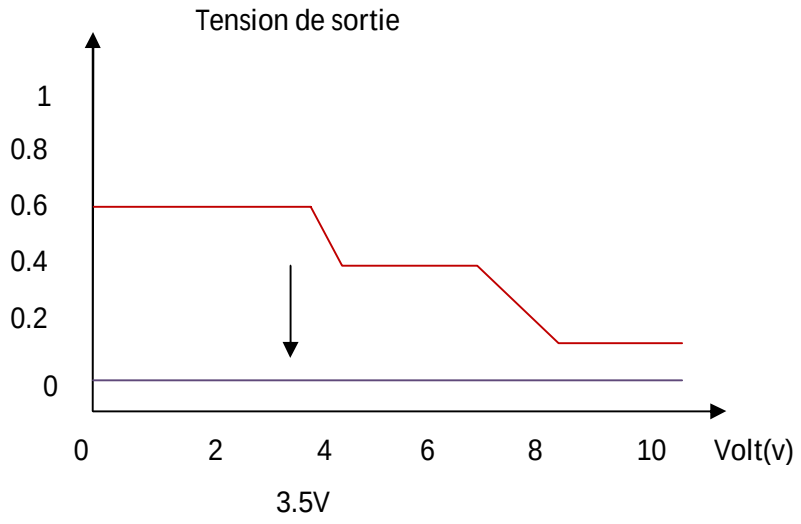
III.3.3.1 Méthode du centre de gravite (COG)

C'est l'abscisse du centre de gravité de la surface sous la courbe résultat

$$sortie = x_G = \frac{\int x\mu_x dx}{\int \mu_x dx} = \frac{\sum_{i=0}^{n} x_i \mu_{x_i}}{\sum_{i=0}^{n} \mu_{x_i}} \qquad \text{(III.1)}$$

U=Univers du discours.

=Toutes les valeurs de sorties considérées.



III.5. L'UTILISATION DE L'OUTIL LOGIQUE FLOUE EN MATLAB

III.5.1 bibliothèques de la logique floue

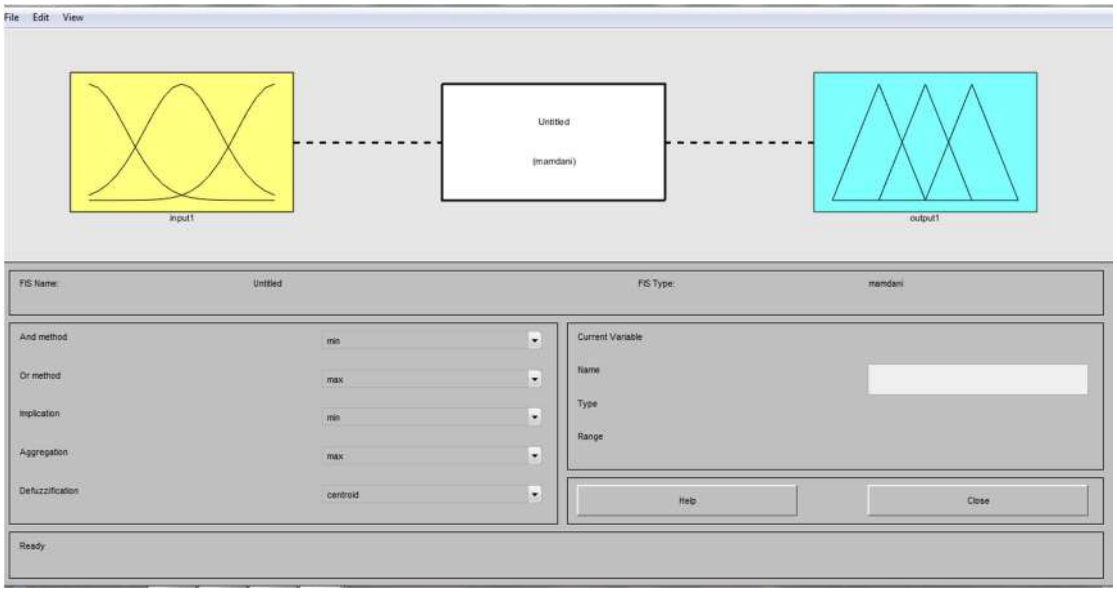


Figure III. 3 Interface Fuzzy

L'exemple d'application a été effectué par MATLAB et SIMULINK.

Pour ce, une brève présentation de l'interface graphique de la boite à outils logique floue est décrite.

La commande Fuzzy permet d'ouvrir l'interface graphique FIS Editor [19] dans laquelle on peut définir complètement le système flou.

Par défaut, l'interface propose une entrée et une sortie avec la méthode de Mamdani.

MENU FILE :

- ✓ **New Mamdani FIS :** nouveau système flou de type Mamdani.
- ✓ **New Sugeno FIS :** nouveau système de type Surgeon.
- ✓ **Open fromdisk… :** lecture d'un système flou sauvegardé sur disque (fichier FIS)
- ✓ **Save to disk :** sauvegarder sur disque d'un système en cours.
- ✓ **Save to workspace :** sauvegarde du système dans l'espace de travail sous forme d'une matrice (ceci est indispensable lorsqu'on veut inclure le système dans SIMULINK)

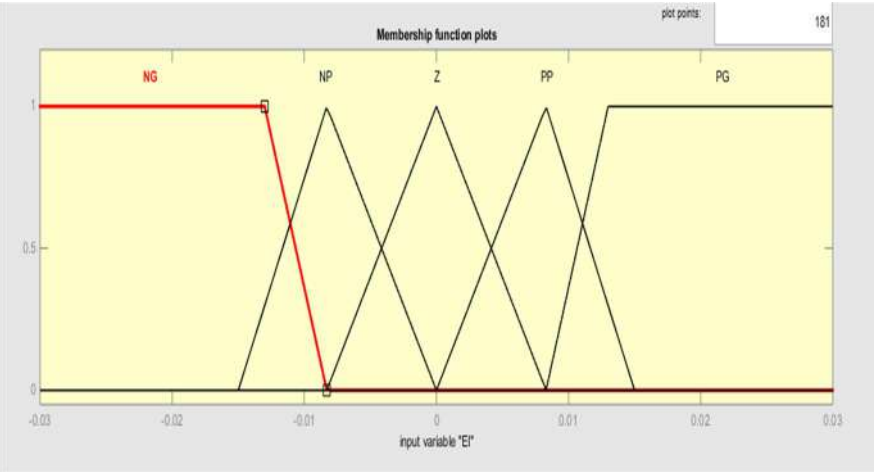
MENU EDIT :

- ✓ **Add input :** ajout d'une variable d'entrée.
- ✓ **Add output :** ajout d'une variable de sortie

MENU VIEW :

- ✓ **Edit FIS propriétés :** permet de revenir à la fenêtre FIS Editor dans laquelle sont définies toutes les propriétés du système lorsqu'on est dans la fenêtre RuleEditror (éditeur des règles) ou Memebership Function Editor (éditeur des fonctions d'appartenance)
- ✓ **Edit Memebership Function :** permet de passer à l'éditeur des fonctions d'appartenance pour la variable sélectionnée.
- ✓ **Edit rules :** permet de passer à l'éditeur des règles floues.
- ✓ **Viewrules :** permet de passer à la fenêtre Rule Viewer dans laquelle on peut donner à toutes les variables d'entrée des valeurs quelconques à l'aide de la souris ou par des valeurs numériques en les entrant dans le vecteur ligne Input. On observe ainsi la surface floue de la variable de sortie ainsi que sa valeur numérique après déffuzification.
- ✓ **View surface :** permet de passer à la fenêtre Surface Viewer dans laquelle on peut donner à toutes les variables de sortie en fonction des variables d'entrée.

La fenêtre Rule Viewer, Surface Viewer et Rule Editor seront étudiées sur l'exemple suivant où l'on réalise un contrôleur flou pour réguler un processus du premier ordre.



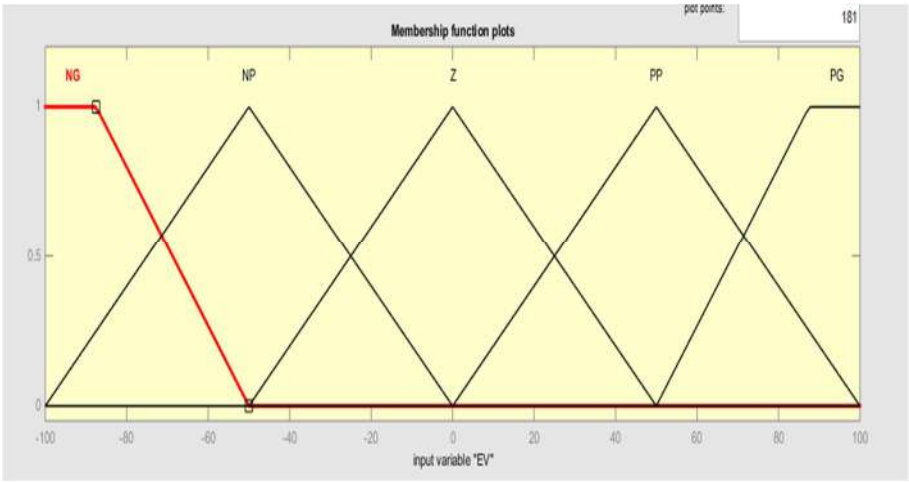


Figure III.4 Fonction d'appartenance pour les entrées E et ΔE

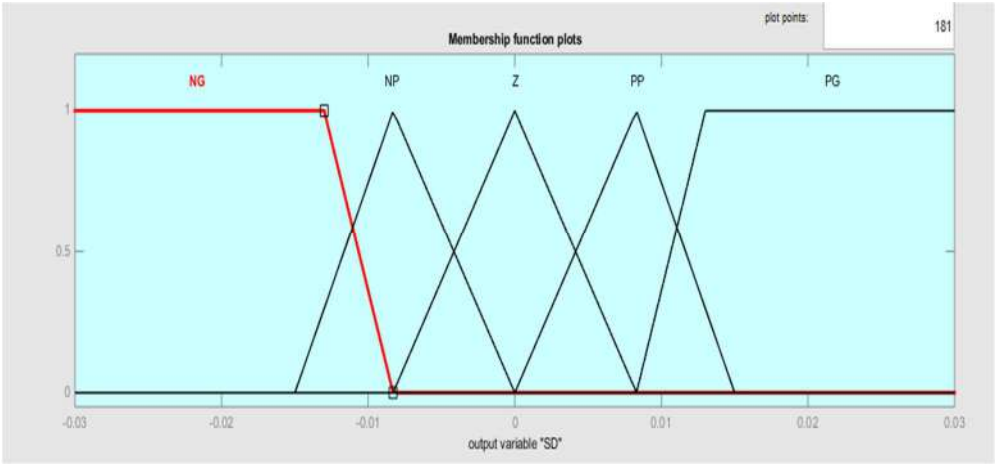


Figure III.5 Fonction d'appartenance pour la sortie D

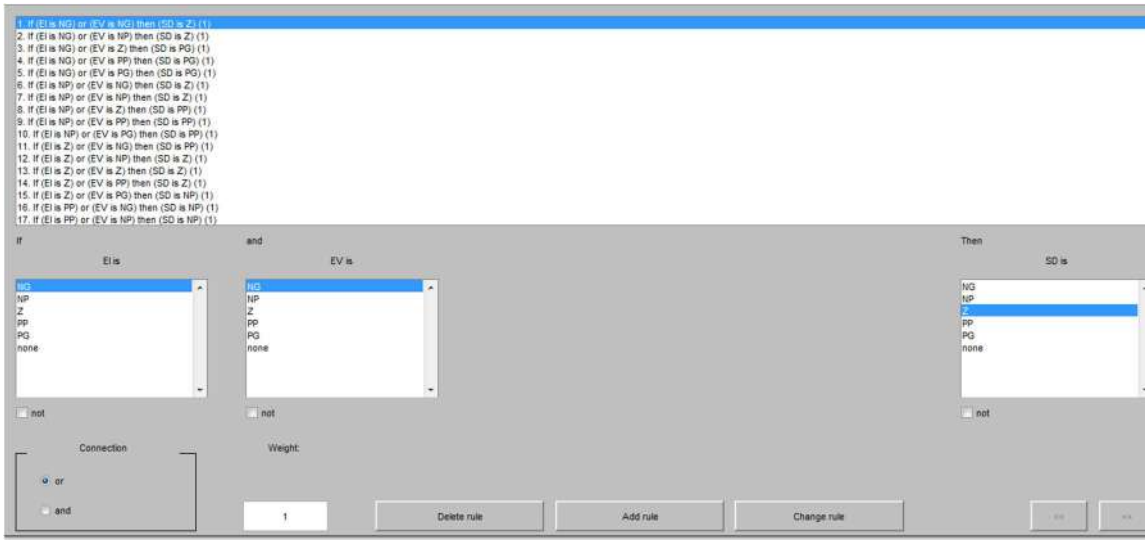


Figure III.6 Base des règles

III.6.CONCLUSION

La logique floue est l'une des techniques de l'intelligence artificielle qui nous permet de modéliser les connaissances d'un expert humain ayant une parfaite maitrise sur le système à commander.

Le régulateur flou possède de très bonnes performances dynamiques par apport au régulateur classique, en outre, il est robuste vis-à-vis la variation paramétrique du modèle. Ceci revient au fait que la synthèse du contrôleur flou ne se repose pas sur la connaissance a priori du modèle de synthèse décrivant la dynamique réelle du système à commander.

L'inconvénient majore de cette technique est le manque des directives précises pour la conception d'un régulateur floue.

Chapitre IV

Simulation, résultat et discussion

IV.1 INTRODUCTION

Ce chapitre, à pour but la modélisation et la simulation d'un système photovoltaïque adapté par un hacheur survolteur « boost» avec une commande MPPT. Il existe plusieurs commandes pour la recherche de la puissance maximale d'un module photovoltaïque, nous proposons la méthode de la logique floue et la technique classique « perturbation et observation».

Toutes les opérations de simulation sont faites par le logiciel MATLAB.

Matlab/Simulink est un logiciel de simulation, qui fournit une interface graphique permettant de construire des modèles sous forme de diagrammes blocs. Il offre l'avantage de construire des modèles hiérarchisés qui offrent la possibilité de voir le système à différents niveaux. Simulink offre également la possibilité de construire des modèles modulaires, qui ont l'avantage d'être facilement reliés entre eux afin de simuler un certain système.

IV.2.SIMULATIONDUSYSTEMEPHOTOVOLTAÏQUE

La Figure IV.1 donne le schéma bloc de notre système

Photovoltaïque étudié avec l'ensemble des étages simulés: GPV, DC-DC et MPPT.

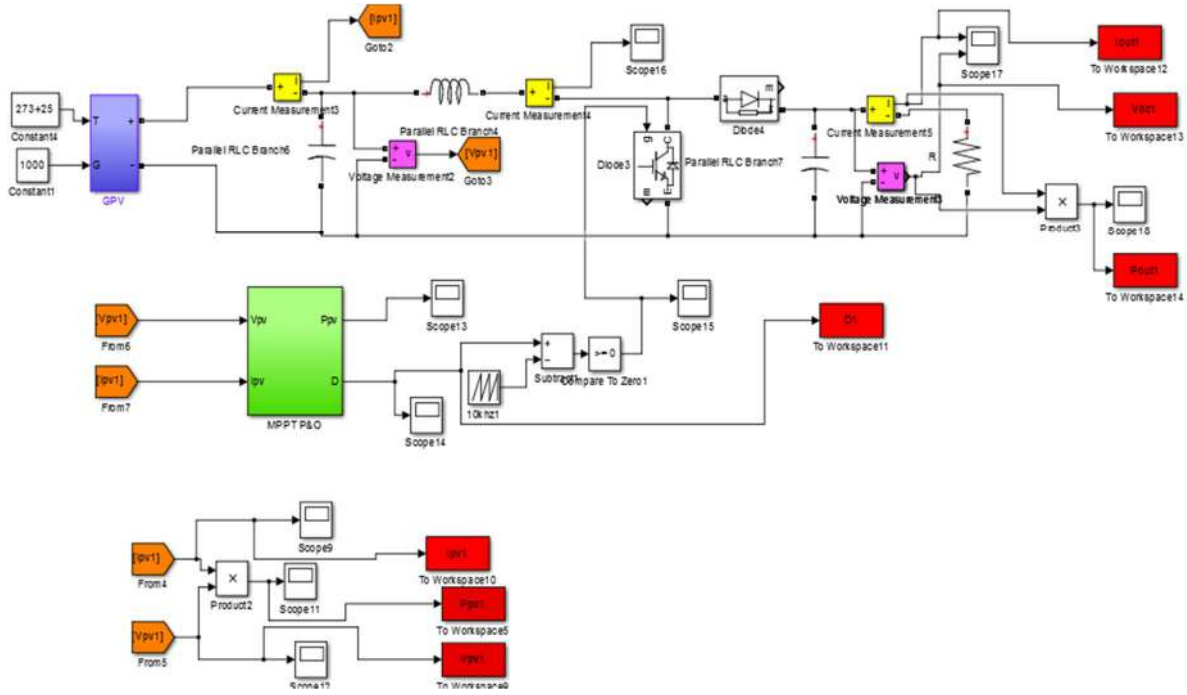


Figure IV.1 Schéma bloc sous Simulink du système global (GPV, convertisseur, MPPT, charge)

IV.2.1. Simulation du GPV

Pour simuler le comportement du GPV, nous avons utilisé le logiciel Matlab/Simulink en se basant sur le modèle mathématique décrit dans le chapitre I. L'implémentation sous Simulink du modèle mathématique du GPV est illustrée sur la Figure IV.3.

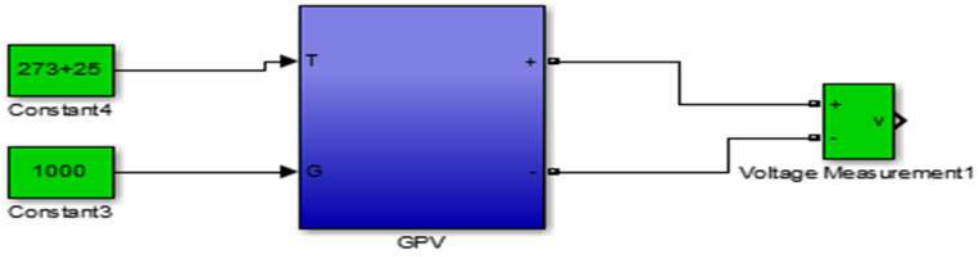


Figure IV.2: bloc de Simulink de générateur photovoltaïque

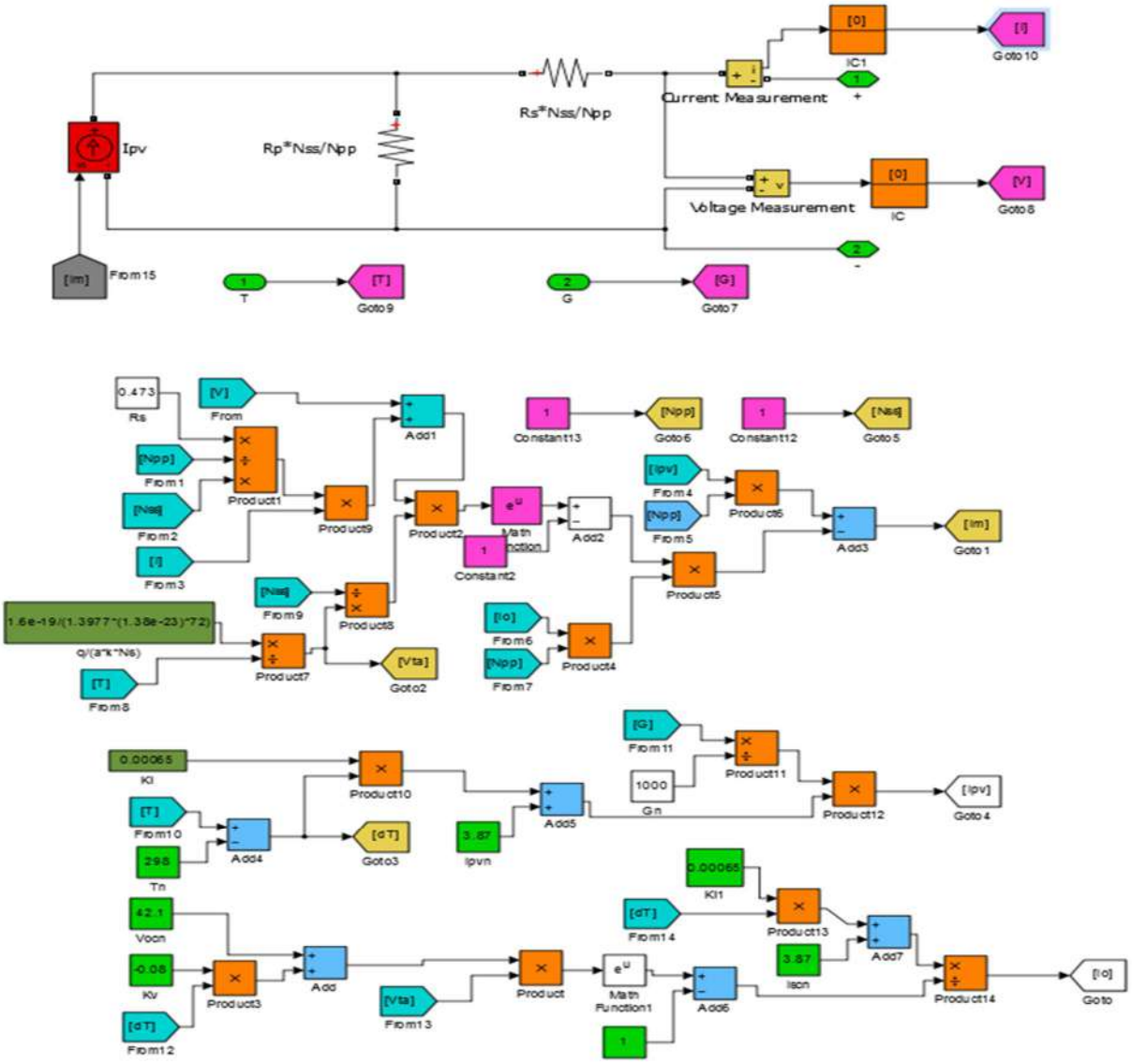


Figure. IV.3 Modèle de simulation du GPV

On a simulé le générateur photovoltaïque dans les conditions standards (T=25°C et G=1000W/m2) et on a obtenu les figures suivantes qui représentent la puissance et le courant de ce générateur photovoltaïque de 120W.

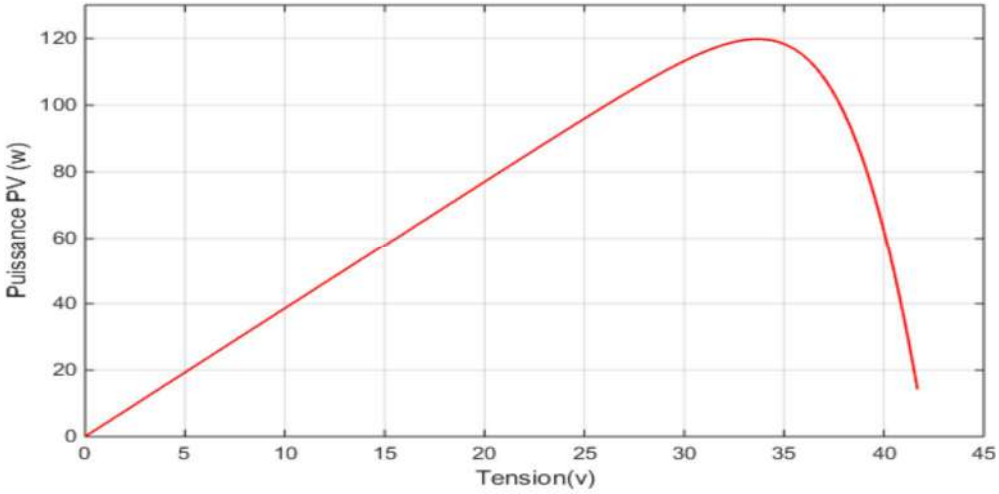


Figure IV.4: Caractéristique P-V d'un générateur photovoltaïque à (T=25°C, G=1000W/m²).

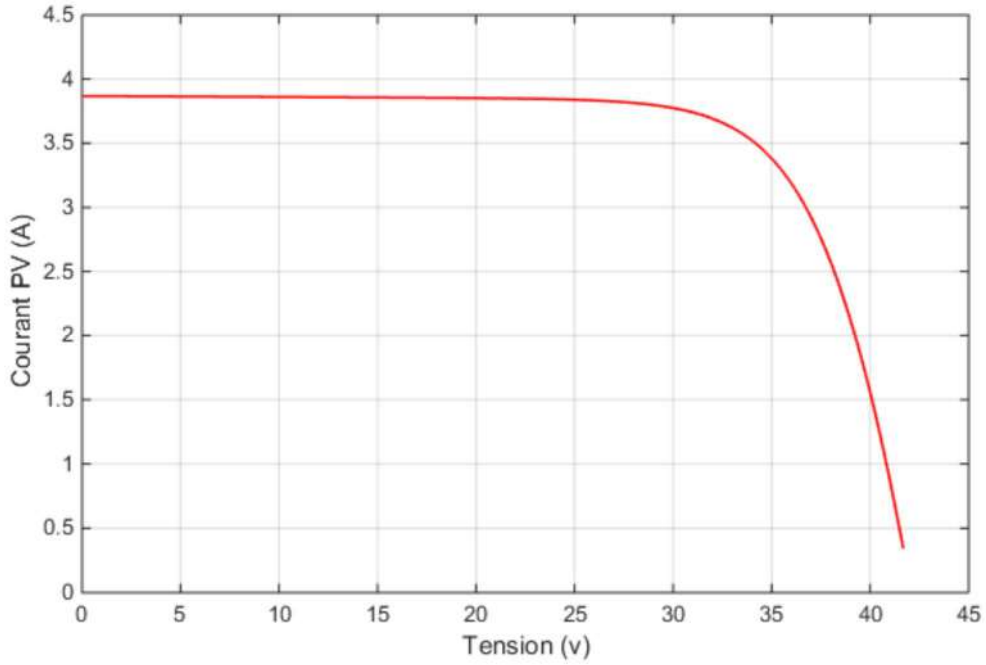


Figure IV.5: Caractéristique I-V d'un générateur photovoltaïque à(T=25°C, G=1000W/m²).

D'après les figures (IV.4 et IV.5) obtenus on remarque pour un rayonnement fixe la puissance oscille au tour de point maximale (PPM), c'est pareille pour la courbe de courant.

Les figures suivantes présentent l'allure de la puissance et du courant en fonction de la tension du système photovoltaïque (panneau de 120W) dans une température constante et différentes éclairements (T=25°C, G=200, 600,1000 W/m²) :

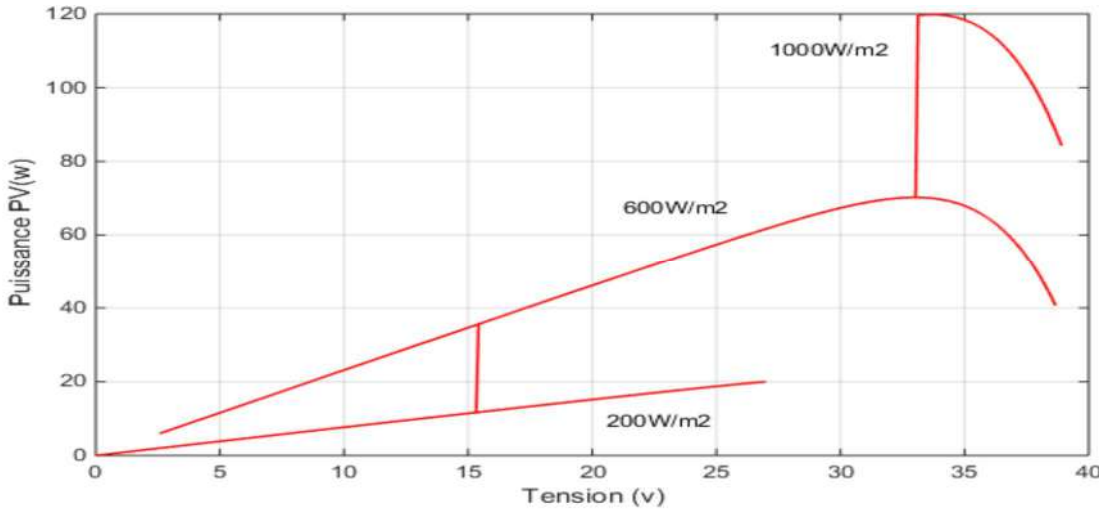


Figure IV.6: Caractéristique P-V d'un générateur photovoltaïque (T=25°C, G=200, 600,1000 W/m²).

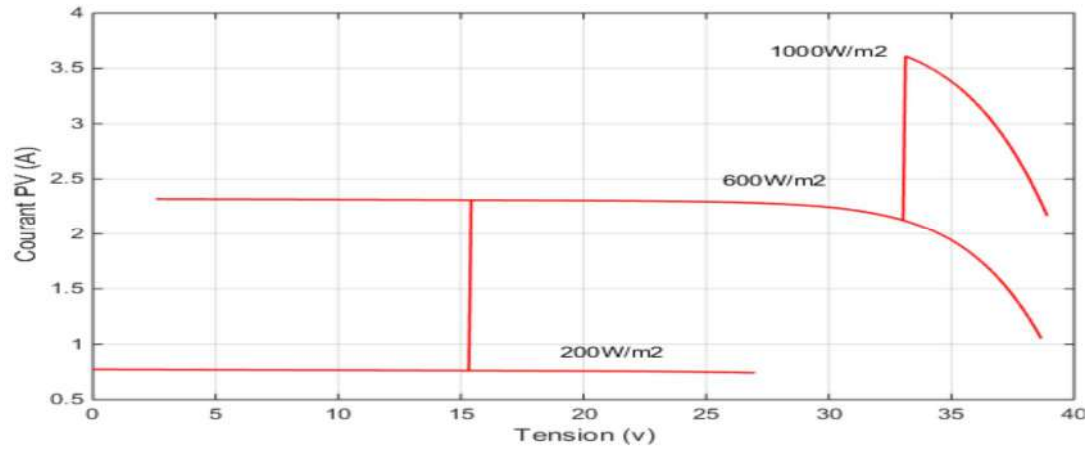


Figure IV.7: Apparence de courant en fonction de la tension (T=25°C, G=200, 600,1000 W/m²).

D'après les figures (IV.6 et IV.7) acquises on remarque que la puissance réagit en fonction de l'éclairement et se fixe toujours à la puissance maximale et la même pour la courbe de courant.

Les figures suivantes présente allure de la puissance et du courant en fonction de la tension d'un système photovoltaïque (panneau de 120W) commandé par un contrôleur P&O dans un éclairement constante et différentes température (G=1000W/m^2, T=-20, 0,25 C°).

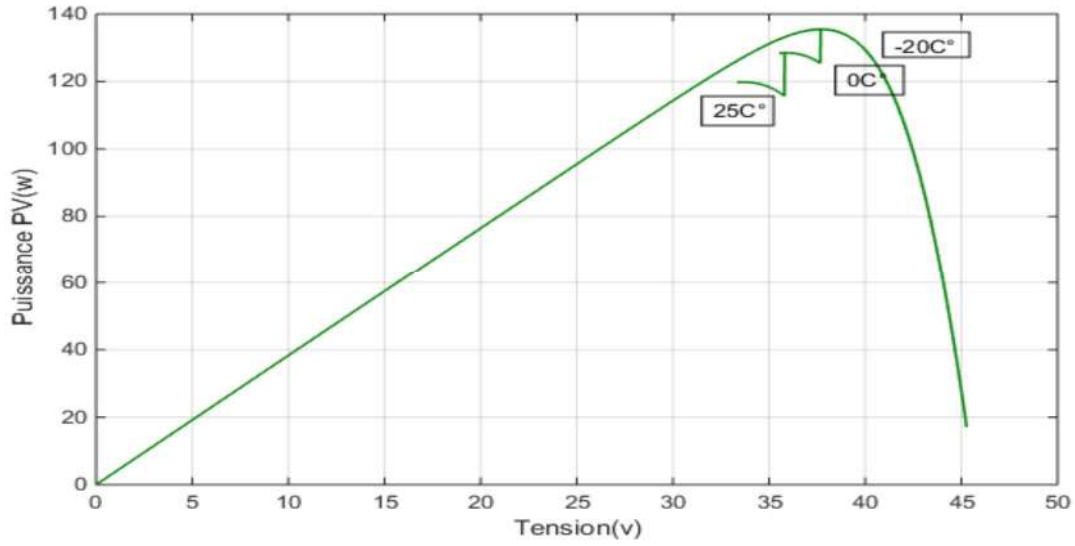


Figure IV.8: Allure de la puissance en fonction de la tension (G=1000W/m2, T=-20, 0,25C°).

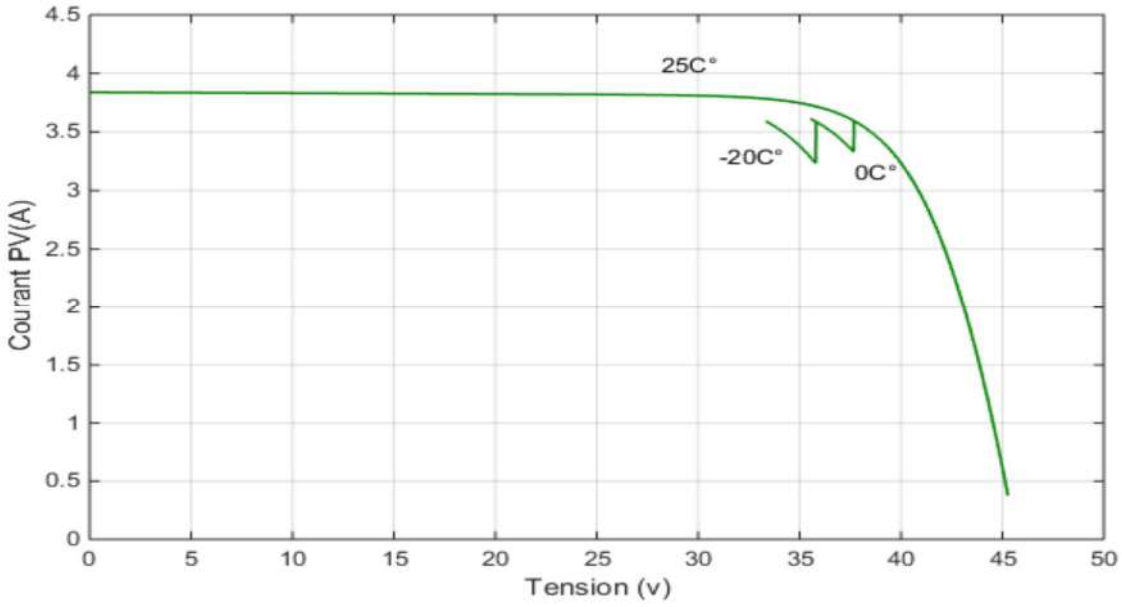


Figure IV.9: Allure de courant en fonction de la tension (G=1000W/m2, T=-20, 0,25 C°).

Nous remarquons l'effet de l'augmentation de la puissance produite par le système PV causé par une diminution de la température *T* si l'éclairement est fixe au contraire pour le courant.

IV.2.2Simulation du convertisseur Boost

De la même manière et en utilisant le modèle mathématique décrit dans le chapitre II, nous avons modélisé le convertisseur DC-DC boost sous l'environnement Matlab/Simulink.

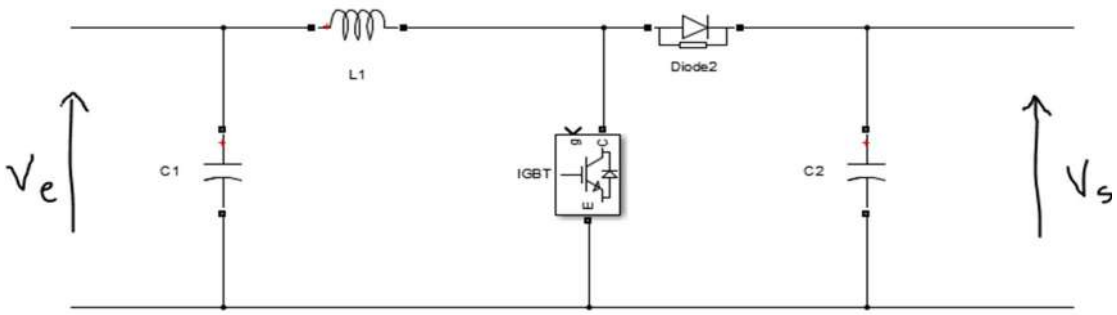


Figure. IV.10 Modèle de simulation du hacheur boost

Tableau IV.1 Paramètres du convertisseur DC-DCboost

C1	C2	L
8e-6 F	1100e-6 F	0.01 H

IV.2.3.Simulation des algorithmes MPPT

Nous avons réalisé les modèles de simulation des algorithmes MPPT P&O et MPPT flou, La Figure IV.5 donne le bloc Simulink.

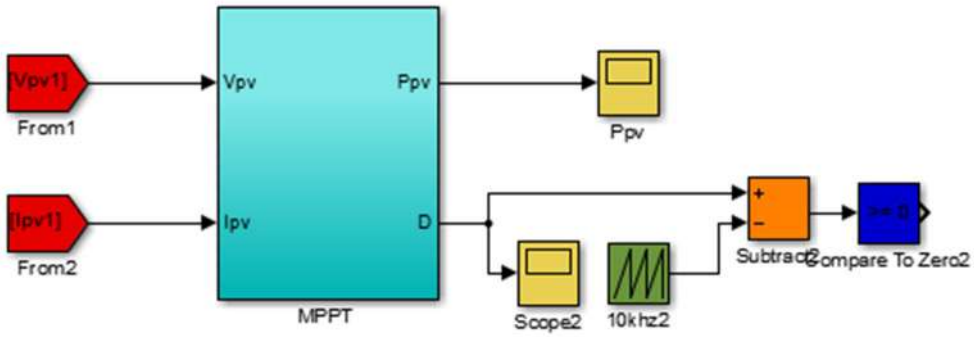


Figure IV.11 : Bloc de Simulink pour MPPT

IV.2.3.1L'algorithme perturbation et observation (P&O)

On présente le modèle mathématique de l'Algorithme (P&O) sous le logiciel MATLAB/Simulink Comme suit :

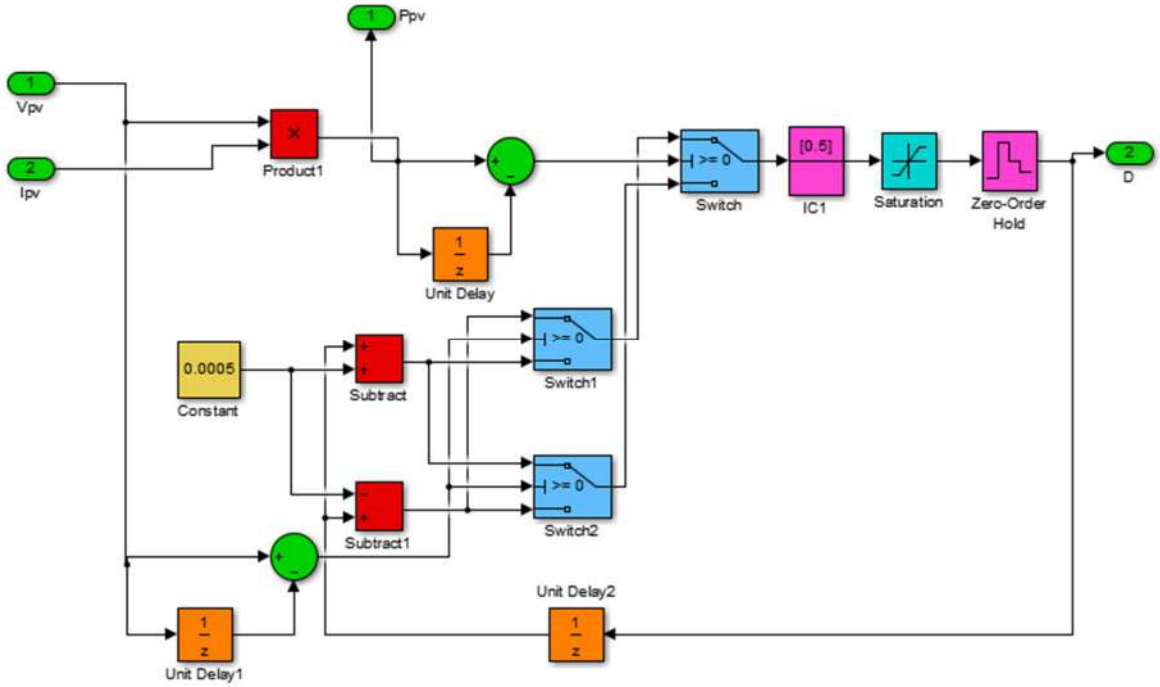
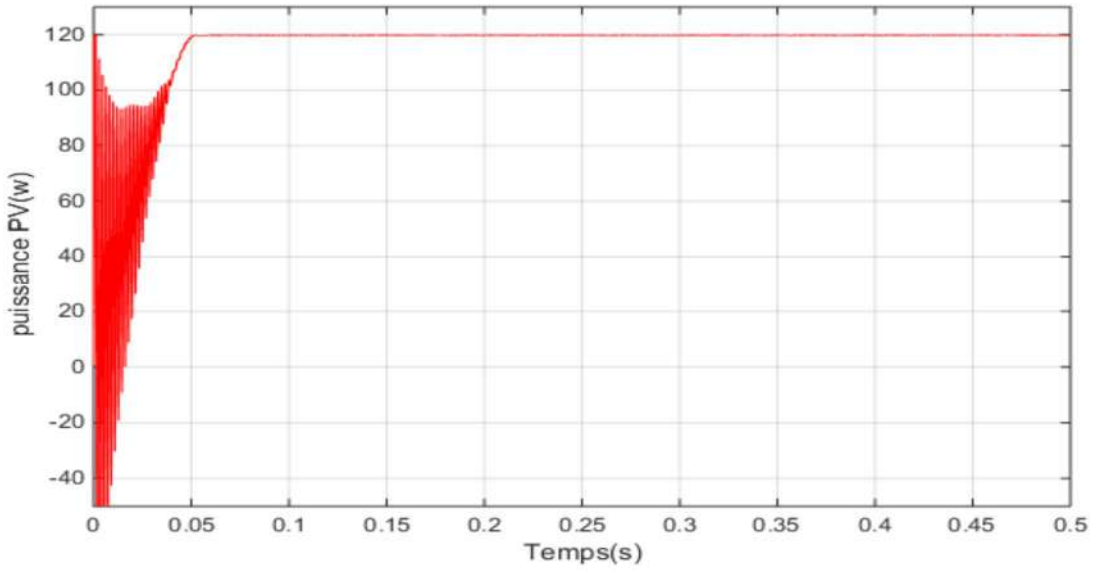


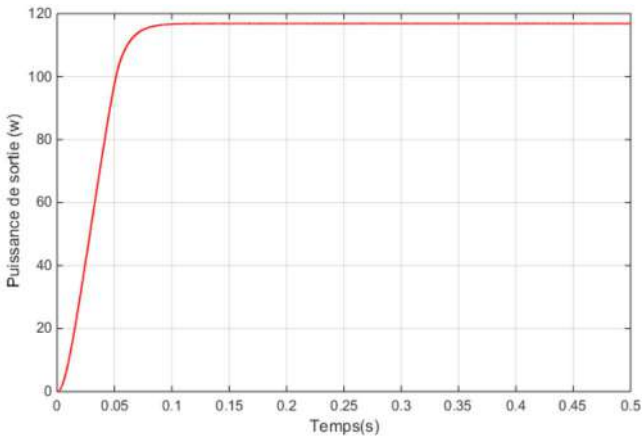
Figure IV.12 : Schéma de simulation de l'algorithme de perturbation et de l'observation (P&O)

IV.2.3.1.1 Simulation de l'algorithme P&O

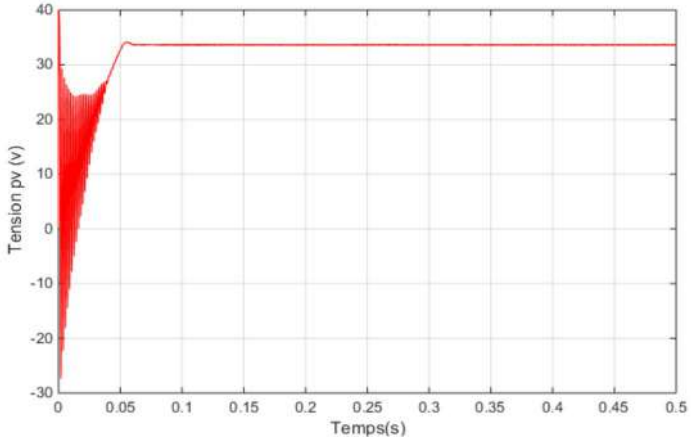
On a simulé l'algorithme P&O dans les conditions standards (T=25 °C & G=1000W/m2) et on a obtenu les résultats de simulation du système photovoltaïque adapté par la commande MPPT «Perturbation et observation » qui sont représentés par les figures suivantes :



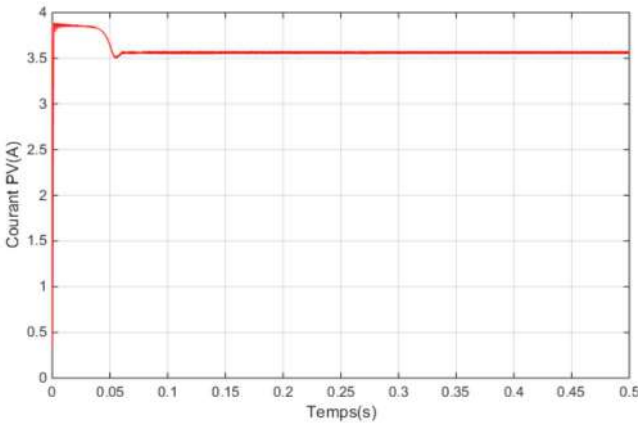
a-puissance PV (w)



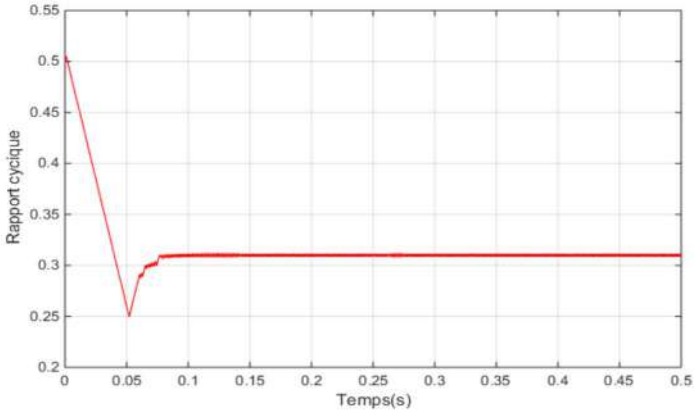
b-puissance de charge (w)



c-Tension PV (v)



d-courant PV(A)



e-rapport cyclique

Figure IV.13: Réaction de l'algorithme P&O dans les conditions standards (T=25C° et G=1000W/m2)

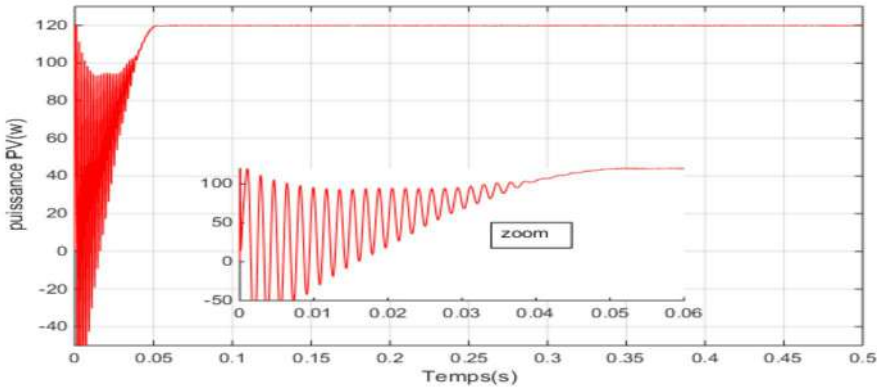


Figure IV.14.: Apparence de la puissance commandé par MPPT (P&O) en fonction du temps pour (T=25C°, G=1000W/m²).

D'après la figure (IV.14), on remarque que la puissance met un temps d'oscillation de (0.05s) pour se stabiliser à la valeur maximale de la puissance (120W)

Calcul du rendement du système PV adapté par MPPT (P&O)

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{117}{120} = 0.975 = 97.5\%$$

Le rendement du système PV adapté par la commande MPPT (P&O) est égale à : $\mathbf{97.5\%}$

IV.2.3.1. L'algorithme logique floue (FL)

On présente le modèle mathématique de l'Algorithme (FL) sous le logiciel MATLAB/Simulink Comme suit :

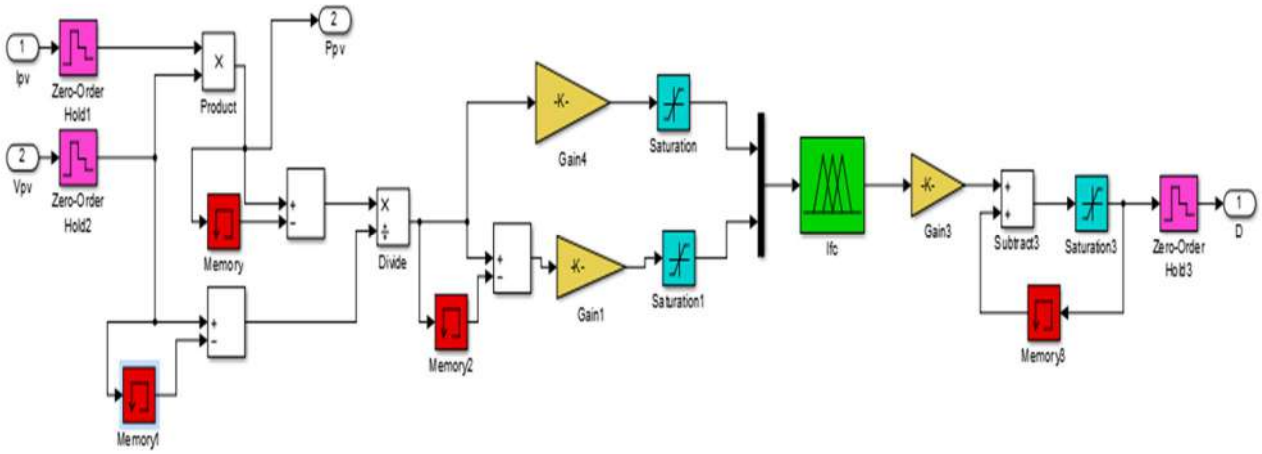
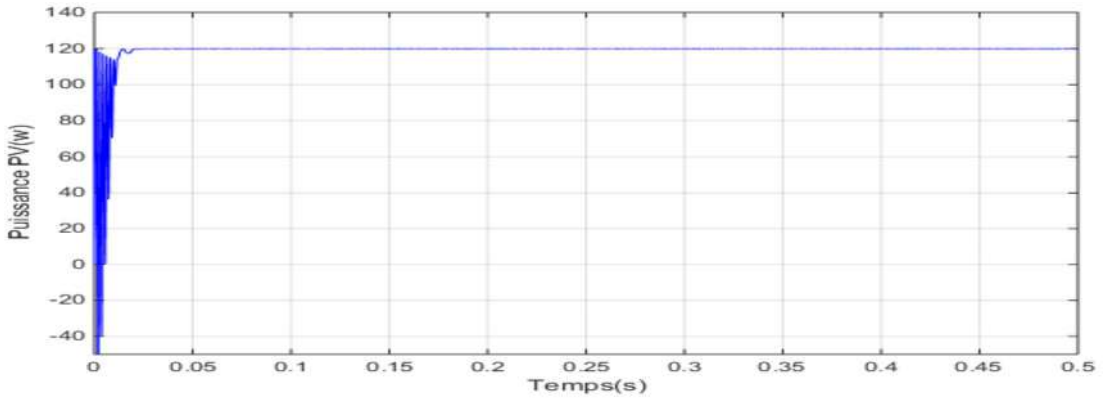


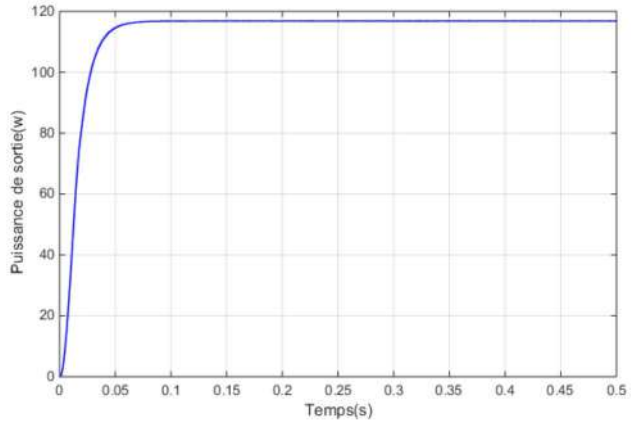
Figure IV.15 : simulation de commande par logique floue

IV.2.3.1.1 Simulation de l'algorithme logique floue

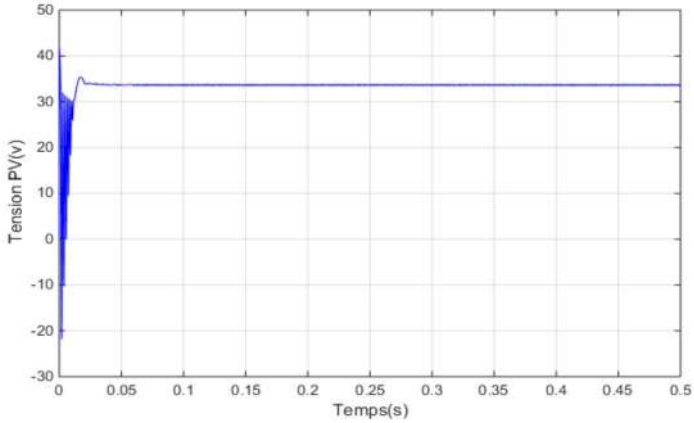
On a simulé l'algorithme FL dans les conditions standards (T=25 °C & G=1000W/m2) et on a obtenu les résultats de simulation du système photovoltaïque adapté par la commande MPPT «logique flou» qui sont représentés par les figures suivantes :



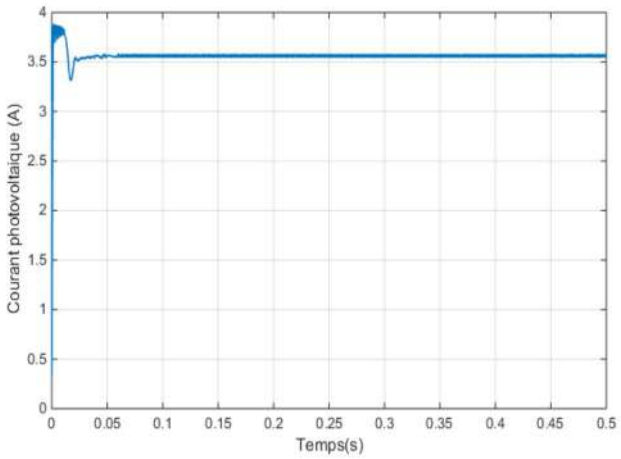
a)- Puissance PV(W)



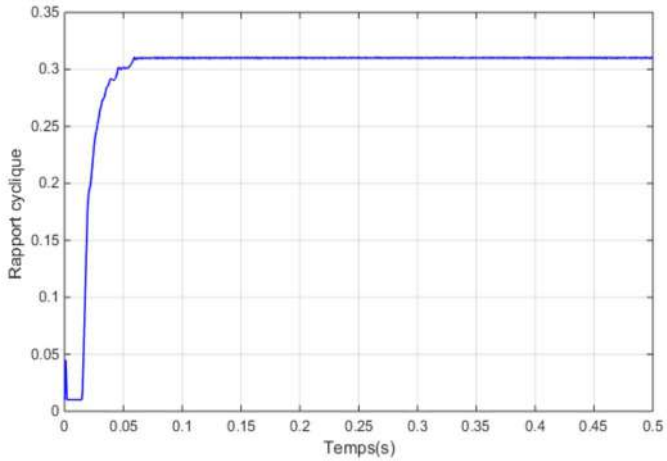
b- puissance de charge



c- tension PV



d- rapport cyclique



e- courant PV (A)

Figure IV.16 : réaction de l'algorithme logique floue(FL) dans les conditions standards (T=25C° et G=1000W/m2)

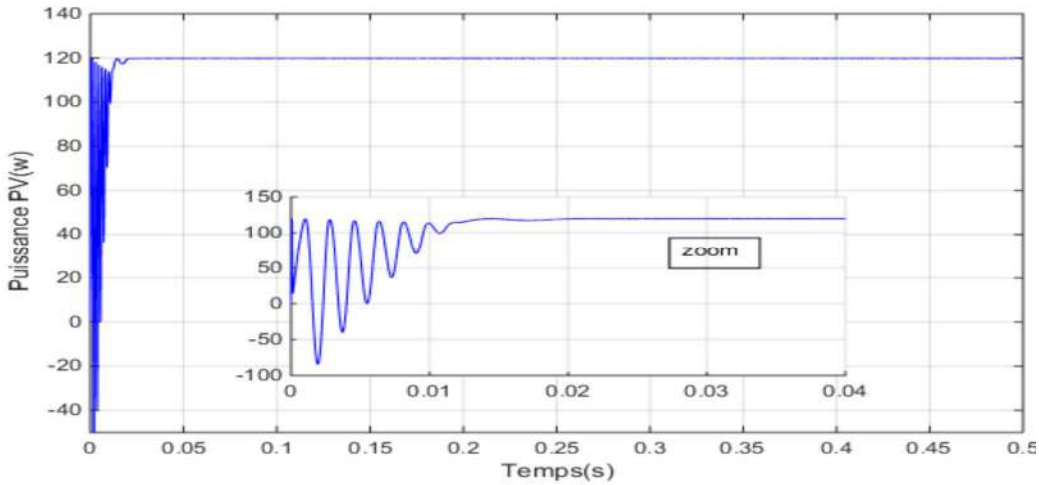


Figure IV.17: Allure de la puissance commandé par MPPT (logique floue) en fonction du temps pour (T=25C°, G=1000W/m²).

D'après la figure (IV.17), on remarque que la puissance met un temps d'oscillation de (0.015s) pour se stabiliser rapide à la valeur maximale de la puissance qui est de l'ordre de 120W.

Calcul du rendement du système PV adapté par MPPT (FL)

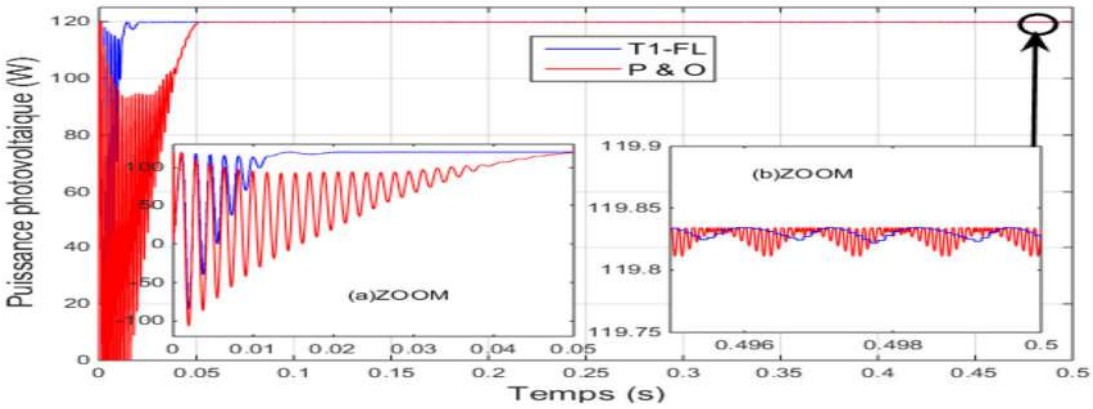
$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{117.4}{120} = 0.978 = 97.8\% \approx 98\%$$

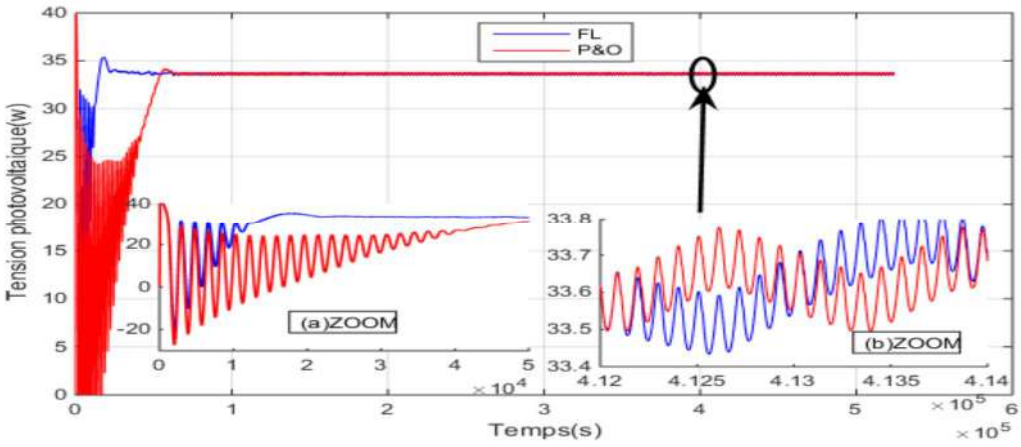
Le rendement du système PV adapté par la commande MPPT (FL) est égale à :**98%**

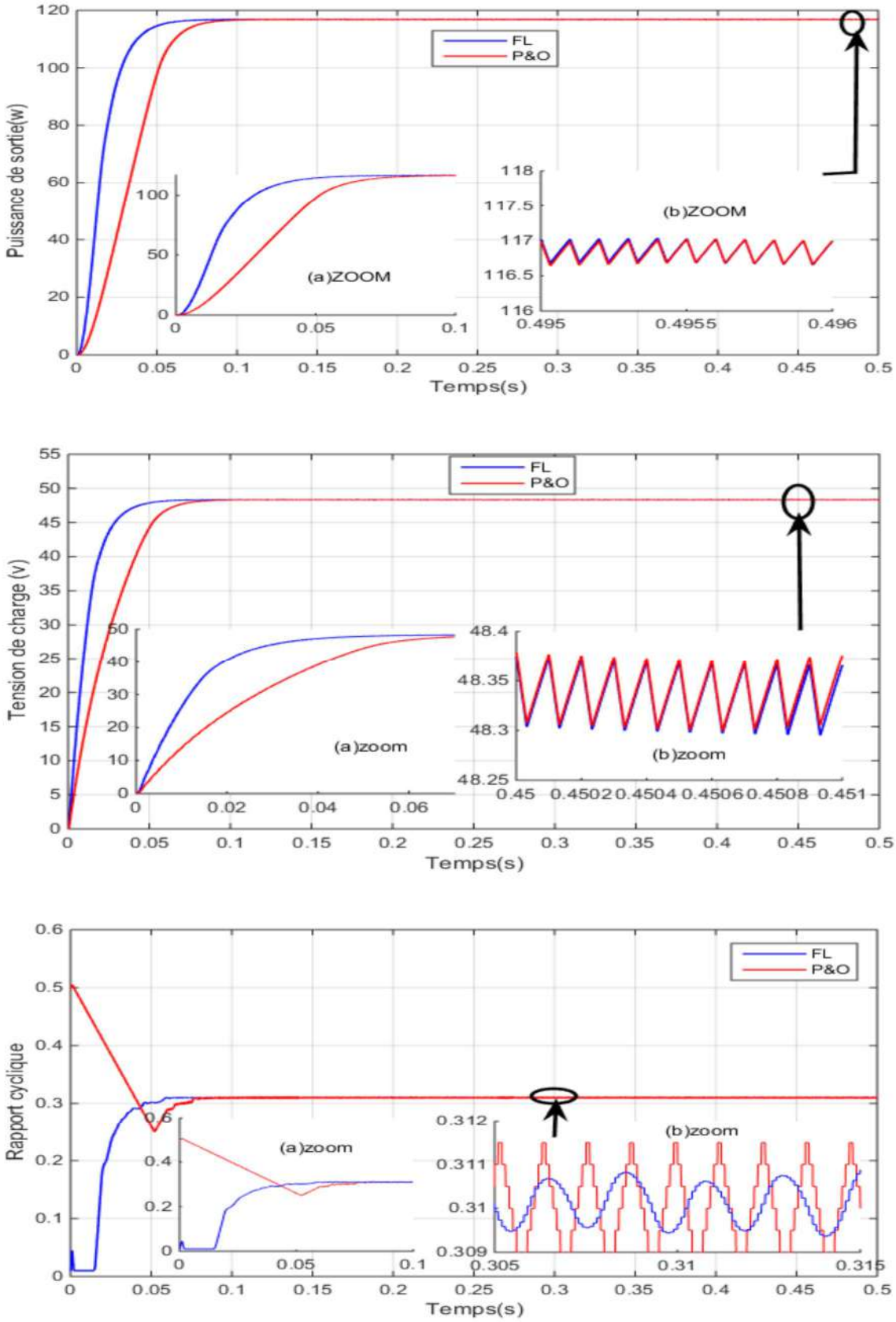
IV.3 COMPARAISON ENTRE LES RESULTATS DES DEUXCONTROLEURS (FL ET P&O)

On a simulé les algorithmes P&O et FLdans les conditions standards (T=25 °C & G=1000W/m2) et dans différents conditions environnementaux de fonctionnement eton a obtenu les résultats de simulation du système photovoltaïque adapté par la commande MPPT «P&O» et «logique flou» qui sont représentés par les figures suivantes afin de comparer les deux algorithmes :

a)- Dans les conditions standards (T=25C° & G=1000W/m2) :





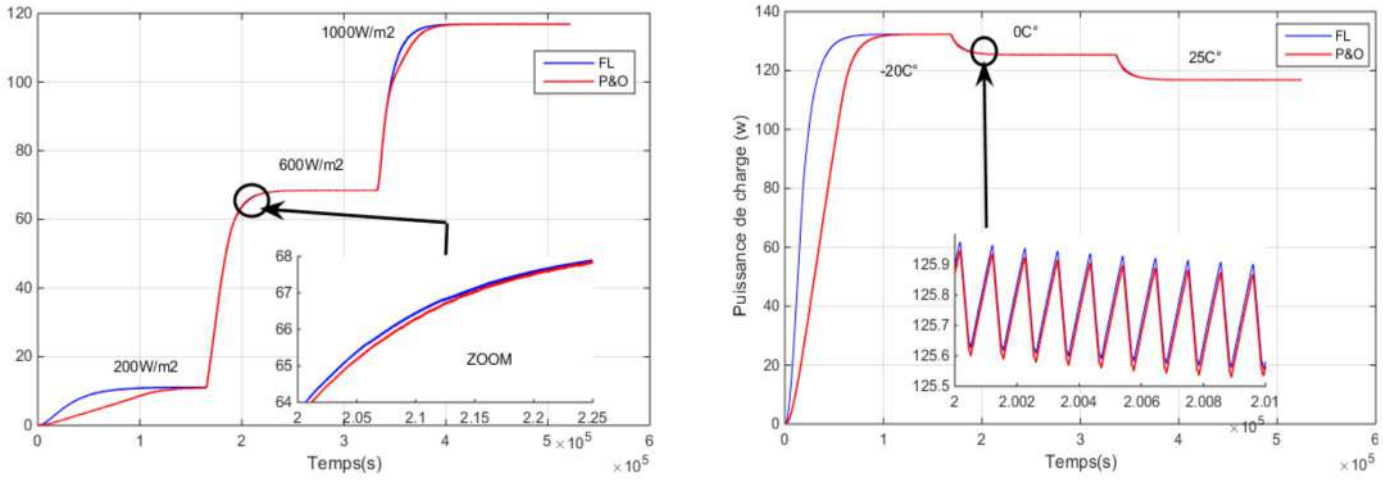


a) Régime transitoire **b**) Régime permanent

Figure IV.18 : Réponses des deux contrôleurs (FL et P&O) pour les conditions standards à la température T= 25°C et l'ensoleillement G= 1000W /m^2.

D'après les résultats de simulation obtenus, on remarque que le contrôleur flou conduit à des meilleures performances, avec oscillation à l'état permanent très faible, et un temps de réponse plus rapide.

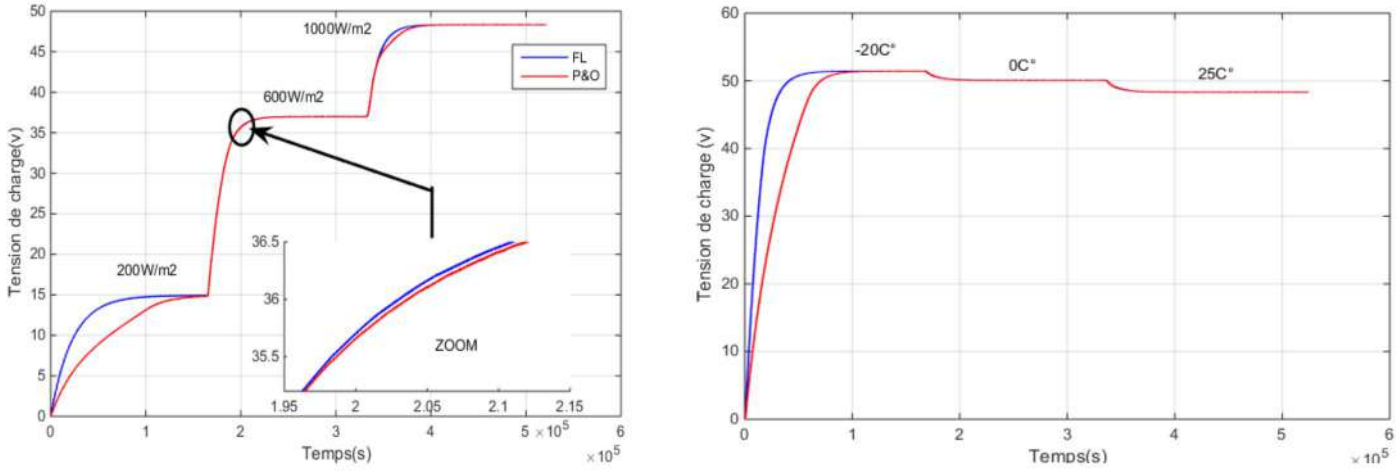
b)- Dans différentes conditions de fonctionnements (température et ensoleillement) :



(a) (b)

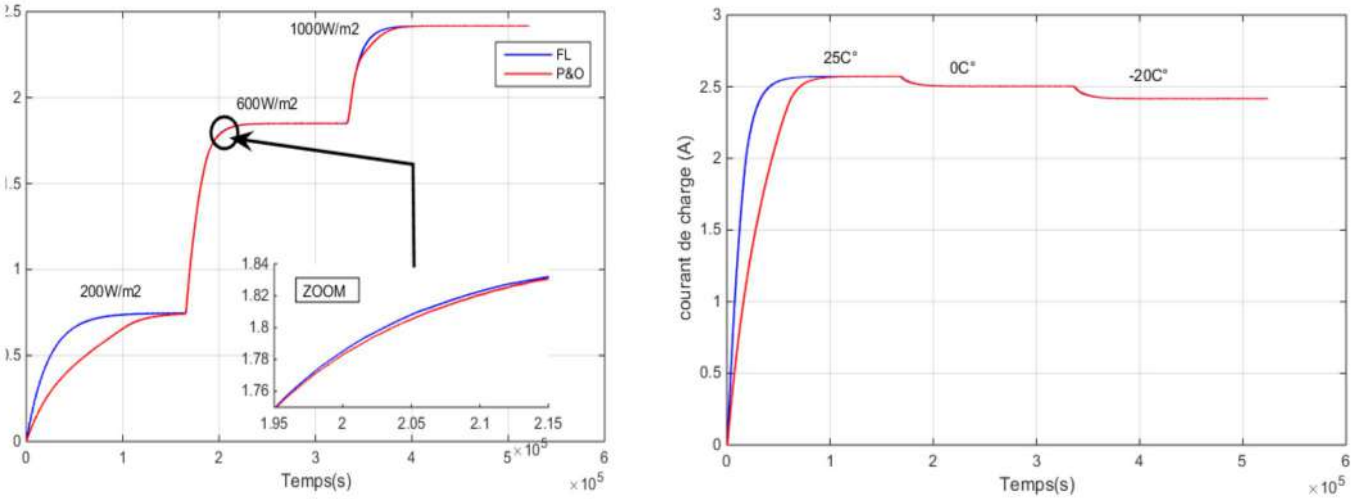
Figure IV.19 : Comparaison de la puissance de sortie en utilisant l'un des contrôleurs "P&O" et " FL" sous différentes conditions : (a) T fixe et G variable (b) G fixe et T variable

Pour ces deux commandes, nous remarquons l'effet de l'augmentation de la puissance produite par le système PV, causée par une augmentation de l'éclairement G si la température est fixe, ou encore causé par une diminution de la température T si est l'éclairement est fixe



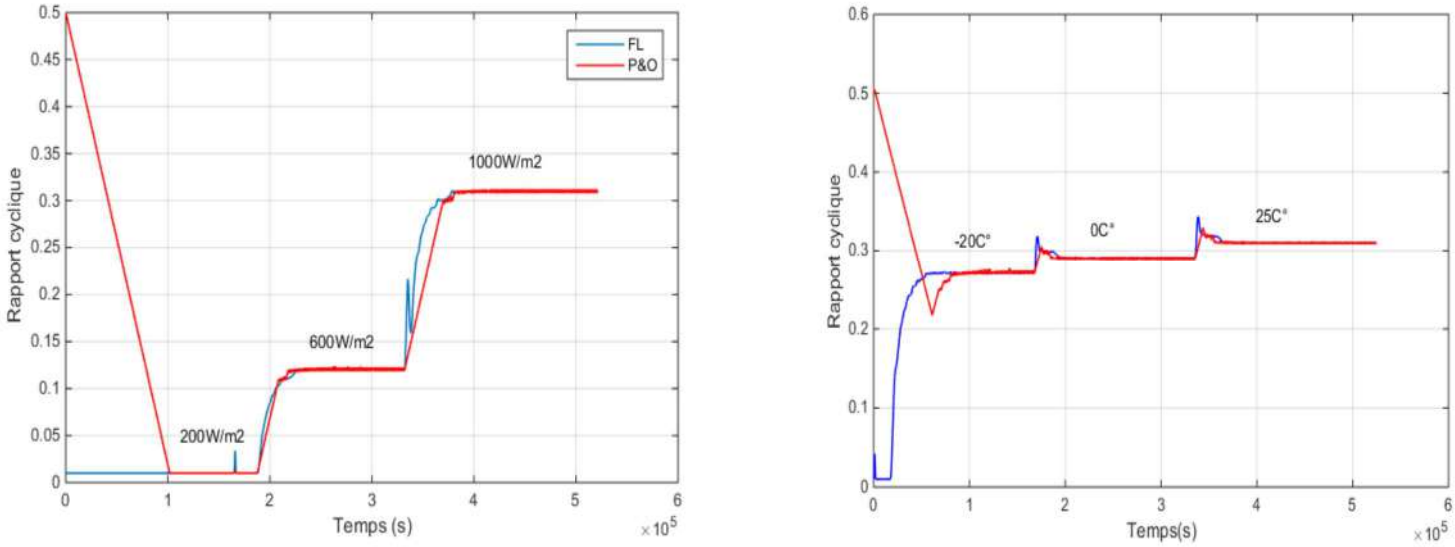
(a) (b)

Figure IV.19 : Comparaison de la tension de sortie des deux contrôleurs différentes conditions : (a) T fixe et G variable (b) G fixe et T variable



(a) (b)

Figure IV.20 : Comparaison de courant de sortie des deux contrôleurs différentes conditions : (a) T fixe et G variable (b) G fixe et T variable



(a) (b)

Figure IV.21 : Comparaison de rapport cyclique des deux contrôleurs différentes conditions : (a) T fixe et G variable (b) G fixe et T variable pour

Différents résultats de sortie du générateur photovoltaïque et de la charge, pour différentes valeurs d'éclairement et de température, ont été obtenus en simulant les contrôleurs MPPT flou et P&O. Ces résultats confirment le bon fonctionnement du contrôleur (P&O). Le contrôleur P&O présente un temps de réponse rapide. La poursuite du point maximum avec le contrôleur MPPT floue a un taux d'ondulation de la tension et de la puissance minimale face aux différentes variations, les pertes de puissance sont moindres dans

le régime transitoire, et qu'il est robuste aux différentes variations des changements climatiques

IV.4CONCLUSION

Les résultats obtenus avec un Contrôleur flou (technique non conventionnelle)sont meilleurs que ceux obtenus avec un algorithme de contrôle conventionnel (P&O). Ainsi le contrôle par logique floue peut être vu comme un pas vers un rapprochement entre le contrôle mathématique précis et la prise de décision humaine. Aussi, ces résultats confirment le bon fonctionnement du contrôleur (P&O) mais montrent un meilleur fonctionnement du contrôleur flou. Ce dernier approuvé qu'il a de meilleures performances, temps de réponse rapide et erreur à l'état permanent très faible, et qu'il est robuste aux différentes variations des conditions atmosphériques.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERAL

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources naturelles de l'énergie telles que l'uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières années. Pour couvrir les besoins en énergie, des recherches sont conduits à l'énergie renouvelable. Une des énergies renouvelables qui peut accomplir la demande est l'énergie solaire photovoltaïque, c'est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. C'est d'ailleurs ce qui explique que son utilisation a connait une croissance significative dans le monde [20].

Le photovoltaïque montre une grande capacité et de nombreux avantages tels que l'énergie solaire est inépuisable et non polluante parce que l'énergie est propre et ne dégage pas le gaz à effet de serre et une énergie locale est pratique.

Dans ce travail nous avons fait l'étude de la modélisation d'un module photovoltaïque qui se compose d'un générateur photovoltaïque, un étage d'adaptation (convertisseur DC /DC Boost), une charge DC (résistance) et un étage de commande pour piloter le convertisseur (la commande MPPT classique en l'occurrence P&O, et la commande MPPT Floue).

Dans ce cas nous avons présenté un système photovoltaïque qui est constitué essentiellement par un générateur photovoltaïque (GPV) et un convertisseur DC-DC Boost établie par un modèle électrique et des équations mathématiques explicites. Différentes simulations, sous l'environnement Matlab/simulink, sont réalisées pour mettre en évidence l'influence des variations des conditions climatiques (éclairement et température) sur le MPP où la puissance de fonctionnement du système est maximale.

La commande MPPT soit classique (P&O) ou logique Floue permet la meilleure connexion entre le générateur photovoltaïque (GPV) et la charge et elle force de le faire fonctionner toujours au point de puissance maximale, cependant, l'étude comparative des résultats de simulation a permis de constater que la commande MPPT Floue conduit à des meilleurs performances (réduction du temps de réponse et de l'erreur en régime permanent).

Bibliographie

Bibliographie

[1]BENADEL Faiza ‘’Etude Et Simulation D’une Commande MPPT Pour Système PV’’ Mémoire de magister, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M’SILA 2016.

[2]LASMI Yassine « Optimisation de la poursuite du point de puissance maximale (MPPT) d’un système photovoltaïque par les techniques intelligentes » Mémoire de Magistère, UNIVERSITESETIF-1 –ALGERIE, 2013**.**

[3]BENDJELLOULI Zakaria, « contribution à la modélisation d'une cellule solaire », Mémoire de magister, UNIVERSITE DE BECHAR, le 28 /06 /2009.

[4] BENSACI-Wafa, « Modélisation et simulation d’un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT », Mémoire de master en génie électrique, UNIVERSITE KASDIMERBAH- OURGLA, 2012.

.**[5] T.MARKVARTETL.Castaber**,”Photovoltaics Fundamentals and applications’’. Preface Guide to Usage of the Hand book by Professional Groups.2012.

[6]SAHLI Abdeslem, « Filtrage actif et contrôle de puissances application aux systèmes photovoltaïques interconnectés au réseau. »Mémoire de magister,université de Sétif,2012.

[7]SLAMA Fateh, « Modélisation d’un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique ».Mémoire de magister, université de Sétif, 24/06/2012

[8]OBEIDI.Mme., «Commande des hacheurs MPPT par logique floue », Ecole Nationale Polytechnique Mémoire de Magister, 2006

[9] AAMAROUAYACHE Mohamed, « contribution à l’optimisation d’une chaine de conversion d’énergie photovoltaïque », doctorat en sciences en électrotechnique option ,2014

[10] J. FERRIEUX, f. Forest, « alimentations a découpage convertisseurs a résonance: principes composants modélisation ». Paris, France: dunod, 1999

[11] MORSLI abdelkader , « Etude d'un système solaire photovoltaïque utilisant des super condensateurs », 88p Thèse de magister , école nationale polytechnique ,2010

[12]R.W. ERICKSON, Fundamentals of Power Electronics, Chapman & Hall, 115 Fifth, New York, NY, 1997

[13]:LALOUN.Sofia,Optimisation de la qualité d’énergie électrique dans le cas d’un chargeur de batterie, Mémoire de magister,Université de Bejaia,2005

[14] M.H. Rashid, “Power Electronics Handbook”, Acade++++mic Press, 2001.

[15] V.M. Nguyen and C.Q. Lee, "Indirect Implementations of Sliding-Mode Control Law in Buck-Type Converters," in IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, vol. 1, San Jose, pp. 111-115, 1996

[16] A. RUFER, P. BARRADE, « Cours d'électronique de puissance Conversion DC/DC », EPFL, 90 pages. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, octobre 2001

[**17] Y.Y.Hsu et C.H.Cheng**, ″Design of fuzzy power system stabilizers for multi machine power Systems″, IEEE prox, 1990

[18] Z. AYACHE A. Bendaoud, H. SLIMANI « Commande MPPT et Contrôle d'un Système Photovoltaïque par la Logique Floue »Université Djilali Liabès Sidi Bel Abbés 22000, Algérie.2013.

[19]HATTI. M, « Contrôleur Flou pour la poursuite des points de puissance maximum d'un système photovoltaïque», JCGE'08, Lyon, France, Décembre 2008.

[20] JEAN-LUC. B, Réseau de Neurone Artificiels pour la classification des fontes Arabes et la distinction entre la langue Arabe et les langues latines, Thèse de Doctorat, Université de Fribourg, Suisse, Juin 2003.