



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Ahmed Draia
Faculté Science et de la Technologie
Département Sciences et de la Technologies



MÉMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE MASTER

SPÉCIALITÉ : ÉLECTROTECHNIQUE
OPTION : COMMANDE ELECTRIQUE

Thème :

*Commande d'un système photovoltaïque
installé dans un site saharien par
Intelligence Artificielle, études
comparatives avec des commandes
conventionnelles*

Soutenu le : Juin 2021

Présenté par :

-DAOUALI MOHAMMED AMINE
- DAHOU NASREDDINE

Devant le jury composé de :

Encadreur : Dr. GHAITAOUI TOUHAMI	MCA	UNV D'ADRAR
Examineur : Dr. LARIBI SLIMANE	MCA	UNV D'ADRAR
Examineur : Mr. OULED ALI OMAR	MAA	UNV D'ADRAR
Co-encadreur: Mr. KHALED KOUSSA		UREMMS ADRAR

Année Universitaire 2020/2021

Sommaire

Liste d'abréviations

Nomenclature

Liste de figures

Liste de tableaux

Introduction générale

Chapitre 1 : Généralité sur l'énergie photovoltaïque

Introduction	2
I.1 : Energie solaire	2
I.2 : le rayonnement solaire	3
I.2.1 : Rayonnement direct	3
I.2.2 : Rayonnement diffus	3
I.2.3 : Albédo	3
I.2.4 Rayonnement global	3
I.3 : Energie photovoltaïque	4
I.3.1 cellule photovoltaïque	4
I.3.1.1 Semi-conducteur	4
I.3.1.2 Jonction P-N	5
I.3.2 : Type de cellules photovoltaïque	5
I.3.2.1 cellule silicium cristallin	6
I.3.2.2 les cellules en couches minces.....	6
I.3.2.3 les cellules organiques	7
I.3.3 Principe de fonctionnement.....	7
I.3.4 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	8
I.3.5 : Association des PV.....	11
I.4 Caractéristiques du générateur photovoltaïque.....	13
I.4.1 La caractéristique courant-tension.....	13
I.4.2 Caractéristique puissance-tension.....	14
I.5 Influence de la température et de l'éclairement	15
Conclusion.....	17

Chapitre II Modélisation de la point maximum de puissance dans un système PV

II.1 Introduction	19
II.2 Convertisseurs DC/DC	19
II.2.1 Convertisseur Buck	19
II.2.2 Convertisseur survolteur (Boost).....	24
II.2.3 Le convertisseur Buck-Boost	26
II.3 Technique de MPPT utilisée dans notre projet	29
II.3.1 Méthode Perturbation et observation	29
II.3.2 Logique floue	32
II.3.2.1. Ensembles flous	33
II.3.2.2. Fuzzification et fonctions d'appartenances.....	35
II.3.2.3. Défuzzification.....	35

II.3.3 Réseaux de neurones artificiels (ANN).....	37
II.4 Conclusion.....	38
Chapitre III :Simulation et optimisation d'un GPV	
III.1 Introduction.....	40
III.2 Modélisation du panneau photovoltaïque	40
III.2.1 Modèle d'une cellule solaire idéale.....	40
III.3 Modélisation du panneau photovoltaïque étudié	41
III.4 Optimisation de la puissance par les méthodes MPPT	44
III.4.1 Simulation de système PV par la méthode perturbation et observation	44
A.Hacheur BOOST.....	45
B.Hacheur BUCK.....	48
III.4.2 Simulation de système PV par la méthode de logique floue	51
A.Hacheur BOOST.....	51
B.Hacheur BUCK.....	54
III.5 Etude comparative	56
III.6 Conclusion.....	58
Conclusion générale	
Listes des références	

ملخص

في هذه المذكرة سنقوم بمحاولة تحسين أداء ومردودية النظام الكهروضوئي، الهدف الرئيس سيكون القيام بالمقارنة بين طريقتين من الطرق المختلفة التي تسمح بتعقب نقطة الاستطاعة القصوى MPP للمولد الكهروضوئي، وذلك لتحديد الطريقة الاحسن والأكثر فعالية من ناحية سرعة الاستجابة في الوصول الى نقطة الاستطاعة العظمى مع اقل تذبذب حولها.

من النقاط التي تم التطرق اليها دراستها محاكاة النظام الكهروضوئي الذي يعمل باستعمال نظام التحكم MPPT، ومحاكاة محولي تيار مستمر مستمر (BOOST , BUCK) واستعمال مختلف طرق التحكم MPPT مثل P&O و FLOW LOGIC وتم الحصول على النتائج باستعمال برامج . MATLAB /Simulink

الكلمات المفتاحية: مولد كهروضوئي، محاكاة، تعقب نقطة الاستطاعة العظمى MPPT، BOOST، BUCK، FLOW LOGIC.

Abstract

In this topic, we will try to improve the performance and efficiency of the photovoltaic system. The main objective will be to compare two methods from a total of different methods that allow tracking the maximum power point of the photovoltaic generator, in order to determine the best and most effective way in terms of speed in reaching the maximum power point. With less wiggling around. Among the points that have been studied are the simulation of the photovoltaic system that works using the MPPT control system, the simulation of two constant current transformers (BOOST, BUCK) and the use of various MPPT control methods such as P & O and FLOW LOGIC. The results were obtained using Simulink/MATLAB.

Keywords: Photovoltaic generator, Simulation, BOOST, MPPT, FLOW LOGIC, BUCK

Résumé

Dans ce mémoire, nous allons essayer d'améliorer les performances et l'efficacité du système photovoltaïque. L'objectif principal sera de comparer deux méthodes parmi un total de méthodes différentes qui permettent de suivre le point de puissance maximale du générateur photovoltaïque, afin de déterminer le moyen le meilleur et le plus efficace en termes de vitesse pour atteindre le point de puissance maximum. Parmi les points étudiés figurent la simulation du système photovoltaïque qui fonctionne à l'aide du système de contrôle MPPT, la simulation de deux convertisseurs DC/DC (BOOST, BUCK) et l'utilisation de diverses méthodes de contrôle MPPT telles que P & O et FLOW LOGIC. Les résultats ont été obtenus à l'aide de Simulink/MATLAB.

Mots clés : Générateur photovoltaïque, Simulation, BOOST, MPPT, LOGIQUE FLOUE, BUCK.

DEDICACE

*Je dédie mon travail avant tout à mes chers Parents
qui m'ont soutenu pendant toute la durée de ces longues
études, « Que Dieux me les protègent ».*

À Mes chers Frères et Sœurs.

À toute la Famille DAHOU.

À tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce mémoire.

Nasreddine. 

DEDICACE

*Je dédie ce travail à ma précieuse mère ; qui m'a donnée
une raison d'être heureux durant ma vie, c'est grâce à elle
que j'ai réussi mon cursus.*

À mon père qui m'a soutenu

*À ma chère sœur, mes frères : Ilyas, Ayyoub, Chouaib et
Idriss ;*

À mes petites Hafsa et Djouri

À l'adorable, mon neveu : GHAYTH

A toute ma famille ;

*À Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la
réalisation de ce modeste travail.*

Mohammed Amine.



REMERCIEMENTS

*Avant tout, nous tenons remercier **DIEU** le Tout-puissant de nos avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années d'études et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.*

Nous tenons à exprimer nos remerciements et notre gratitude à notre encadreur :

Mr. GHAITAOUI Touhami

M. Khaled Koussa UREMMS Adrar

Nos remerciements aux enseignants du département des sciences technologies de l'université d'ADRAR.

Enfin nous remercions aussi toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Liste des abréviations

DC : Direct Current.

PV : Photovoltaïque

GPV : Générateur photovoltaïque.

MPPT: Maximum Power Point tracking.

P&O : Méthode de Perturbation et observation

FLC : Flow Logic controller

MPP : Maximisation power point

Nomenclature

E : Energie solaire (Wh/m^2).

Voc : Tension de circuit ouvert (V).

Isc : Courant de court-circuit (A).

Vmpp : Tension au point de puissance optimale (V).

Impp : Courant au point de puissance optimale (A).

Ipv : Courant photovoltaïque (A).

Iph : Courant photonique (courant généré par l'éclairement) (A).

Id : Courant de diode (A).

IO : Courant de saturation de la diode (A).

Ich : Courant de la charge (A).

IL : Courant dans l'inductance de hacheur (A).

Vpv : Tension photovoltaïque (V).

Vd : Tension aux bornes de diode (V).

Vg : Tension de seuil de la diode (1.12 eV).

Vch : Tension de la charge (V).

q : Charge électrique (1.6×10^{-19} C).

K : Constante de Boltzmann ($K=1.3854 \times 10^{-23}$ J/K).

A : Facteur de qualité de la diode.

Rch : Résistance de charge (Ω).

Rs : Résistance série de la cellule (Ω).

Rsh : Résistance shunt de la cellule (Ω).

Isat : Courant de saturation (A).

Rs : Résistance série de la cellule (Ω).

TE : Température de la cellule en (Kelvin).

T : Période de hachage (S).

Eg :Energie de gap (pour le silicium cristallin c'est 1.12eV)

E : Ensoleillement (W/m^2).

Eg: Ensoleillement sous les conditions

N-P : Jonction du matériau.

Tj : Température de jonction (Kelvin).

Ta : Température ambiante (Kelvin).

Tjstc : Température de jonction sous les conditions STC (Kelvin).

Tstc : Température standard (Kelvin).

Ppv : Puissance photovoltaïque (W).

α : Rapport cyclique du hacheur.

RL : Resistance interne de l'inductance de hacheur (Ω).

C : Capacité de hacheur (F).

L : Inductance de hacheur (H).

K1, K2 : Constantes proportionnelles.

dE : Variation d'erreur des fonctions d'appartenance.

E : Erreur des fonctions d'appartenance.

An , Bn : Ensembles flous.

Gt : Gain en temps de réponse (s).

Tme : Temps de réponse correspondant a chaque méthode (s).

PV : Panneau Photovoltaïque.

MPPT : Point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracking).

P&O : Perturbation et Observation.

FLC : Commande logique-floue (Floue Logique contrôleur).

Si : Silicium.

STC : Standard Test Condition.

DC/DC : Convertisseur continu-continu.

Liste des Figures

Figure (I-1) Le rayonnement solaire et ses composants

Figure (I-2) Conception de l'énergie photovoltaïque.

Figure (I-3) Cellule Photovoltaïque.

Figure (I-4) Semi-conducteur

Figure (I-5) Junction PN

Figure (I-6) Cellule au silicium cristallin

Figure (I-7) Cellule amorphe

Figure (I-8) Cellule solaire organique

Figure (I-9) Schéma équivalent d'une cellule PV

Figure (I-10) Caractéristique de nombre des modules en série

Figure (I-11) Caractéristique de nombre des modules en parallèles

Figure (I-12) Caractéristique de nombre des modules en série et parallèle.

Figure (I-13) Caractéristique courant-tension d'un module photovoltaïque

Figure (I-14) Courbe caractéristique puissance-tension

Figure (I-15) L'influence de l'éclairement sur les caractéristiques I(V) et P(V).

Figure (I-16) L'influence de la température sur les caractéristiques I(V) et P(V).

Figure (II-1) Convertisseur DC/DC

Figure (II-2) Schéma de principe du convertisseur dévolteur (Buck) [08].

Figure (II-3) Schémas équivalents de l'hacheur dévolteur

Figure (II-4) courant à travers l'inductance

Figure (II-5) Charge et décharge du condensateur

Figure (II-6) le courant à travers la capacité

Figure (II-7) Schéma de principe du convertisseur survolteur (Boost)

Figure (II-8) Schémas équivalents du convertisseur survolteur (Boost (a): K fermé;(b):K ouvert

Figure (II-9) Schéma de base du convertisseur dévolteur-survolteur (Buck-Boos

Figure (II-10) Schéma équivalents du Convertisseur dévolteur-survolteur (Buck-Boost).
(a):K fermé,(b):K ouvert

Figure (II-11) courant à travers l'inductance

Figure (II-12) Courant à travers le condensateur

Figure (II-13) caractéristique PV du panneau

Figure (II-14) L'algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O

Figure (II-15) Divergence de la P&O lors de la variation de l'irradiation

Figure (II-16) Schéma de principe de la régulation floue

Figure (II-17) Ensembles classiques et ensembles flous

Figure ((II-18) Opérations sur les ensembles flous

Figure (II-19) : Structure de base de commande floue

Figure (II-20) : Exemple d'un réseau de neurones

Figure (III-1) : Caractéristiques type d'un générateur photovoltaïque

Figure (III-2) : Schéma bloc de générateur photovoltaïque

Figure (III-3) : Schéma idéale d'une cellule photovoltaïque

Figure (III-4) : Schéma électrique équivalent du modèle à une diode.

Figure (III-5) : Schéma bloc du modèle d'une seule diode du GPV

Figure (III-6) : Caractéristiques du panneau Solar Industry ET-P660250WW

Figure (III-7) : Caractéristique I-V du panneau

Figure (III-8) Caractéristique P-V du panneau

Figure (III-9) : Schéma bloc du modèle MPPT P&O DC/DC BOOST

Figure (III-10) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie hacheur BOOST

Figure (III-11) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie BOOST

Figure (III-12) : Variation de température et irradiation

Figure (III-13) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie hacheur BOOST

Figure (III-14) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie BOOST

Figure (III-15) : Allure d'Erreur de puissance

Figure (III-16) : Schéma bloc du modèle MPPT P&O DC/DC BUCK

Figure (III-17) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie hacheur BUCK

Figure (III-18) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie hacheur BUCK

Figure (III-19) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie hacheur BUCK

Figure (III-20) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie hacheur BUCK

Figure (III-21) : Allure d'Erreur de la puissance

Figure (III-22) : Schéma bloc du modèle MPPT L.F DC/DC BOOST

Figure (III-23) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie hacheur BOOST

Figure (III-24) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie hacheur BOOST

Figure (III-25) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie hacheur BOOST

Figure (III-26) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie hacheur BOOST

Figure (III-27) : Schéma bloc du modèle MPPT L.F DC/DC BUCK

Figure (III-28) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie DC/DC BUCK

Figure (III-29) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie hacheur BUCK

Figure (III-30) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie DC/DC BUCK

Figure (III-31) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie hacheur BUCK

Figure (III-32) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie BOOST

commande P&O et F.L

Figure (III-33) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie BUCK

commande P&O et F.L

Liste des Tableaux

Tableau (II-1) Exemple d'une table de vérité de commande logique floue

Tableau (III-1) Paramètres électriques du panneau ET Solar Industry ET-P660250WW

Tableau (III-2) Erreur statique illustré et soutiré après la simulation



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La production d'énergie est d'une grande importance pour notre futur, les besoins d'énergies des pays et les sociétés augmentent d'une façon rapide bien que la production mondiale se trouve dans des sources fossiles.

Par conséquent, l'accréditation de ces sources augmente leur consommation ce qui donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre, en plus la consommation excessive de stocks de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour notre future.

La technologie photovoltaïque (PV) est une solution attrayante comme remplacement ou complément des sources conventionnelles d'approvisionnement en électricité en raison de ses nombreux avantages :

- Elle est un moyen fiable qui requiert peu d'entretien ;
- Elle fournit de l'électricité avec l'énergie gratuite et renouvelable du soleil ;
- Elle ne nécessite aucun combustible ;
- Elle est silencieuse, non polluante et respectueuse de l'environnement ;
- Elle est polyvalente et peut être ajustée selon les besoins.

Dans cet endroit, on va noter que l'énergies renouvelables sont la solution adéquate pour approvisionner la production énergétique mondiale en utilisant la technologie photovoltaïque ce qui est une solution attrayante de remplacer les ressources fossiles pour satisfaire les besoins électriques [11].

Dans ce contexte générale notre travail est basé sur l'étude comparative de la méthode de maximisation de puissance dans un système photovoltaïque avec une commande de l'intelligence artificielle et celle de la commande conventionnelle, ces derniers vont commander un convertisseur DC/DC (Hacheur survolteur ou dévolteur) en vue de comparaison de leurs performances.

Nous sommes intéressés essentiellement dans ce mémoire au développement d'une procédure d'optimisation qui permet la poursuite de point de la puissance maximale (Maximum Power Point Tracking MPPT) du GPV, le mémoire se compose de trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous avons présentés les différents composants d'un système photovoltaïque, étudiant le principe de fonctionnement d'une cellule

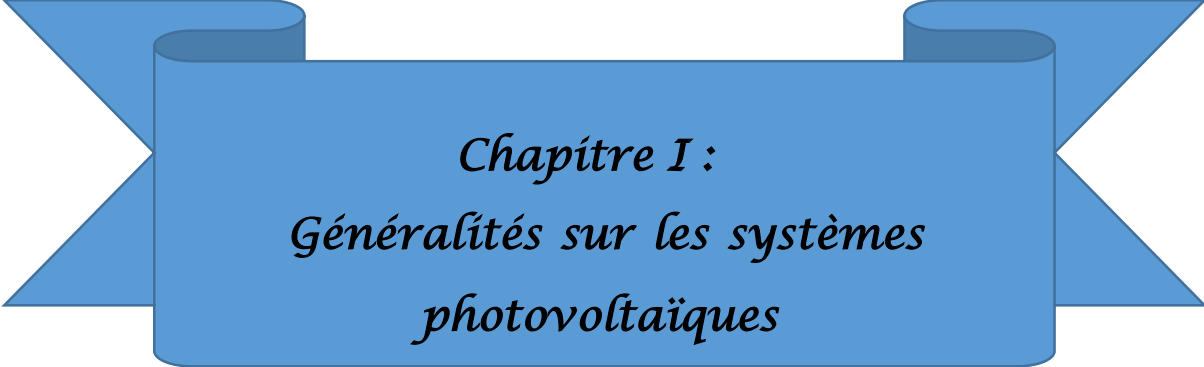
INTRODUCTION GENERALE

photovoltaïque et ses paramètres. Ainsi, l'exploitant de sa caractéristique courant tension pour calculer ses différents paramètres physiques.

Au deuxième chapitre nous déterminons la modélisation différent technologies dans la commande MPPT et sa méthode pour trouver le point de puissance maximum des panneaux solaires, nous avons étudié les hacheurs et ses types ensuite comment ces convertisseurs fonctionnent sur l'énergie électrique produite par les panneaux photovoltaïques.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons les résultats de simulation du module photovoltaïque dans Simulink/MATLAB, résultats de simulation de convertisseur Boost et Buck utilisée, résultats de simulation de système PV avec les méthodes MPPT pour faire la comparaison.

Enfin, ce mémoire termine par une conclusion générale.



Chapitre I :
Généralités sur les systèmes
photovoltaïques

Introduction :

L'énergie est un facteur puissant de l'homme pour satisfaire ses besoins journaliers, alors que la consommation mondiale de l'énergie est assurée par les énergies non renouvelables.

A l'époque, l'homme basa sur l'énergie vient de les moyens primitive (le feu) puis il a développé ces moyens de forme mécanique pour produire l'énergie électrique.

La production de l'électricité fait apparaitre de problème intéressant, qui perturbe les installations parce que les sources qui alimentes les machines de production sont d'origine naturel (fossiles).

La consommation mondiale en matière d'énergie est assurée essentiellement par les énergies non renouvelables. Ces énergies (essentiellement fossiles) sont épuisables, par conséquent, des stratégies énergétiques sont mises en œuvre, visant à augmenter l'efficacité des systèmes électriques, à éviter le gaspillage mais également à se tourner vers les énergies renouvelables (éolienne, solaire photovoltaïque et thermique, biomasse, géothermie, etc.).

Dans ce chapitre nous allons donner un aperçu général sur l'essentiel des connaissances requises à la compréhension des systèmes photovoltaïques.

I.1 Energie solaire :

Est l'énergie transmise par le soleil sous la forme de lumière et de chaleur, cette énergie est virtuellement inépuisable à l'échelle des temps humains ce qui lui vent être classée parmi les énergies renouvelables. L'énergie solaire peut être utilisée directement par l'homme pour s'éclairer, se chauffer et cuisiner (chauffe-eau solaire. Four solaire) ou pour produire de l'électricité par l'intermédiaire de panneaux photovoltaïques.

Indirectement, l'énergie solaire est aussi la source de la plupart des énergies renouvelable et des hydrocarbures fossiles ; Elle est un effet responsable de la mise en mouvement des masse d'eau (énergie marines) et de la photosynthèse (biomasse et hydrocarbures).

Le rayonnement solaire est un phénomène électromagnétique qui est compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 μm [1,2].

L'atmosphère terrestre reçoit un rayonnement solaire d'une puissance moyenne de 1367 W/m^2 . Mais, l'atmosphère absorbe une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement 1200 W/m^2 .

Ainsi, la rotation et l'inclinaison de la terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison [3].

I.2 : Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire désigne l'ensemble des ondes électromagnétique émises par le soleil. Il se compose donc d'ultraviolets, de la lumière visible, mais également d'ondes radio et de rayons cosmique. Une partie du rayonnement émis parvient jusqu' à la terre, ou des ondes sont réfléchies par l'ionosphère et l'atmosphère tandis que d'autres arrivent à la surface des nuages, des océans ou des continents. Elles vont alors d'être plus ou moins réfléchies selon l'albédo de la surface frappée, celles qui ne le sont pas sont alors absorbées sous formes de chaleur ou exploitées par des organismes vivants, comme les végétaux pratiquent la photosynthèse. En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé. On distingue plusieurs composantes.

I.2.1 Rayonnement direct :

Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant du soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère.

I.2.2 Rayonnement diffus :

C'est la partie de rayonnement provenant du soleil ayant subi de multiples réflexions dans l'atmosphère.

I.2.3 Albédo :

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

I.2.4 Rayonnement global :

Le rayonnement global est tout simplement la somme de ces diverses contributions.

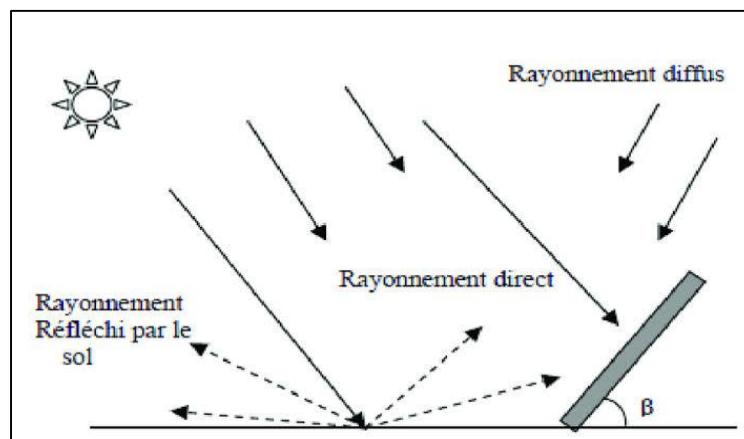


Figure I.1 : Le rayonnement solaire et ses composants [3]

I.3 Energie photovoltaïque :

Le terme photovoltaïque est associé à la production de tension à partir la lumière. Le terme le plus courant utilisé est la cellule photovoltaïque qui génère une énergie électrique renouvelable produite à partir du rayonnement solaire.

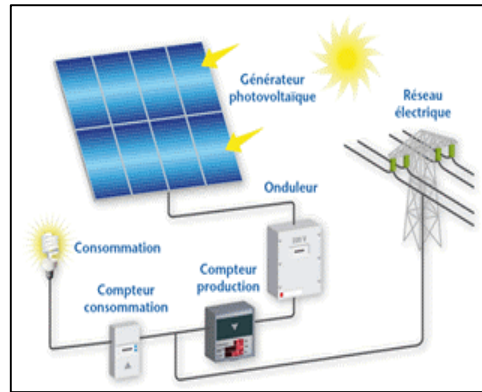


Figure I.2: *Conception de l'énergie*

I.3.1 Cellule photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque est composée des éléments semi-conducteur qui absorbe l'énergie de la lumière puis la transforme (en énergie électrique) directement en courant électrique, donc sa principe de fonctionnement fait l'appel à celle des propriétés du rayonnement et semi-conducteur.

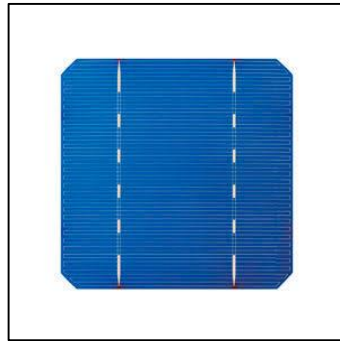


Figure I.3: *Cellule Photovoltaïque.*

I.3.1.1 Semi-conducteur :

Les semi-conducteurs sont des matériaux dont leurs conductivités sont l'intermédiaire entre les conducteurs et celle des isolants, cette conductivité dépend fortement de leur pureté, de l'irrégularité de leur structure et de la température des quantités physiques et chimiques [11].

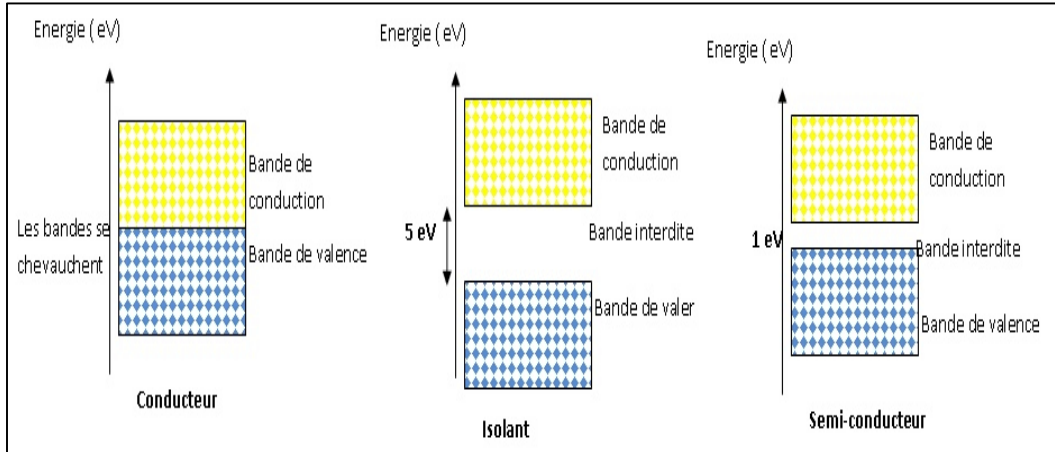


Figure I.4: *Semi conductor*

I.3.1.2 Jonction P-N :

Une jonction dite P.N si l'accolement entre deux régions dopé respectivement P et N se vérifié. Lors de cet assemblage les porteurs de charge libres s'attirent et recombinent dans la zone de jonction ou les protons libres disparaissent. Il ne reste dans ce cas que les ions dans cette zone qui vont créer un champ électrique interne au niveau de la jonction qui empêche les charges libres restantes dans chaque zone et de traverser la jonction pour recombinaison [3].

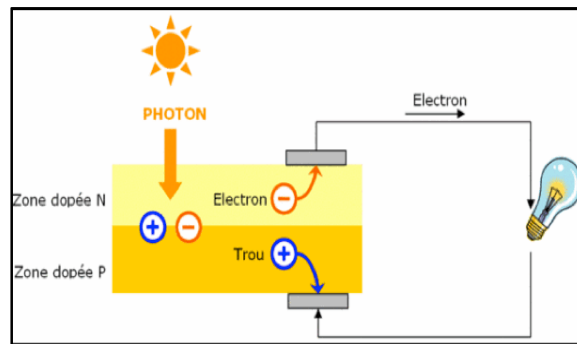


Figure I.5: *Jonction PN*

I.3.2 Type de cellules photovoltaïque :

On distingue trois grandes familles de cellules photovoltaïques :

I.3.2.1 Cellule silicium cristallin :

Le silicium est l'extrait de la silice, dont une des formes est les quartz plus abondant dont les sables, les cellules au silicium constituent plus de 95% de marché et leur rendement moyen. Pour

les produits commerciaux va de 16.5% à 22% selon leur technologie, avec un traitement à froid, le silicium est formé de plusieurs cristaux (poly cristallin), il est facile à produire.

Le silicium peut-être reconstitue en un grand cristal (monocristallin).

Le prix de ces cels devient est devenue très compétitif avec des autres solutions de production d'électricité ces derniers années [3].

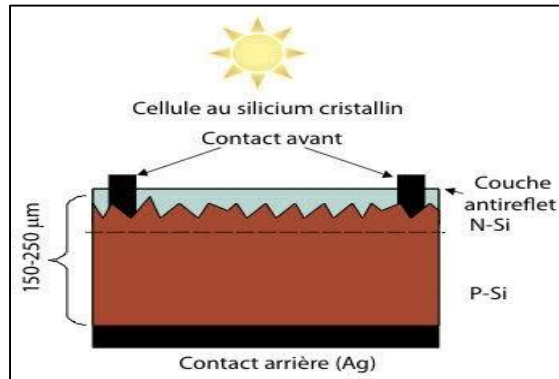


Figure I.6 : *Cellule au silicium cristallin*

I.3.2.2 Les cellules en couches minces :

Les cels photovoltaïques en couches minces (amorphes) dans la figure I.7 ont un cout bas mais malheureusement leur rendement est de 5% à 10%, cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium qui sont appliqué sur un verre, plastique souple ou du métal. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confire en partie une mauvaise conduction. Le silicium amorphe permet de produire des panneaux grandes surface à bas cout en utilisant un peu de matière première, ces cels sont utilisées ou une solution économique et ne nécessite pas assez l'électricité [03].

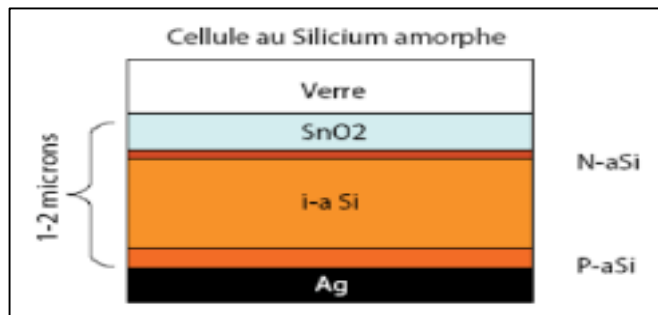


Figure I.7: *Cellule amorphe*

I.3.2.3 Les cellules organiques :

Fondées sur des molécules ou des polymères de la chimie organique comme représenté dans la figure I.8 et non plus sur des semi-conducteur minéraux comme les précédentes, elle commence à avoir des applications.

Leurs rendements sont encore faibles et la stabilité à long termes n'est pas suffisante mais ces cels pourraient avoir un très bas cout de production.

On rencontre aussi des cels pigments photo sensibles inspirées de la photosynthèse végétale appelées cels a colorants [06].

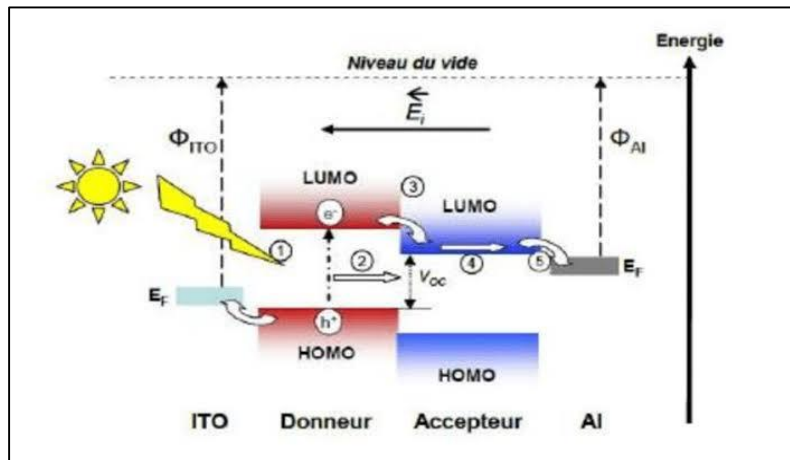


Figure I.8: Cellule solaire organique[16]

I.3.3 Principe de fonctionnement :

La cellule PV, aussi appelée cellule solaire, constitue l'élément de base de la conversion photovoltaïque. Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur qui transforme en énergie électrique l'énergie lumineuse fournie par une source d'énergie inépuisable, le soleil. Elle exploite les propriétés des matériaux semi-conducteurs utilisés dans l'industrie de l'électronique : diodes, transistors et circuits intégrés.

a. L'effet photovoltaïque :

Découvert en 1839 par le physicien français Antoine Becquerel, qui se demandait pourquoi certains matériaux faisaient des étincelles lorsqu'ils étaient exposés à la lumière. L'effet photovoltaïque correspond à l'apparition d'une différence de potentiel entre les deux côtés d'une

jonction semi-conductrice sous l'action d'une radiation lumineuse. Il resta longtemps considéré comme une curiosité scientifique.

L'énergie photovoltaïque est un regain d'intérêt dans les années 1950 lors des premiers lancements spatiaux de satellites puis lors des missions lunaires. Les crises économiques des années 1970 (flambée des prix du pétrole, 1973) puis les accidents de central nucléaires tels ceux de Three Mile Island (USA, 1979) ou de Tchernobyl (URSS, 1986) renforcèrent l'intérêt du grand public envers les énergies renouvelables, en particulier l'énergie photovoltaïque qui s'impose comme une des sources d'énergies renouvelables les plus prometteuses. [13]

b. Comment ça fonctionne :

La lumière du soleil se compose de photons contenant une énergie correspondant aux différentes longueurs d'onde du spectre solaire.

Quand un photon heurte une cellule photovoltaïque, son énergie peut être transférée à un électron dans le matériau semi-conducteur de la cellule.

Avec cette énergie supplémentaire, l'électron peut alors s'échapper de sa position normale dans l'atome créant un « trou », qui deviendra une partie d'un courant dans un circuit électrique. C'est ce qu'on appelle la paire électron-trou.

Une cellule photovoltaïque est une diode, formée de deux couches de matériaux de semi-conducteur dopées de sorte que l'une conduise les charges négatives et l'autre, les charges positives. Ce phénomène crée un champ électrique permanent dans la cellule.

Grâce à cet effet diode et lorsque la paire électron-trou a été créé, les charges négatives vont être séparées des charges positives. Il se crée donc une différence de potentiel entre les couches N et P de la cellule. Un courant circule si une résistance (ampoule par exemple) est placée entre ces contacts.

I.3.4 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :

Le fonctionnement d'un module PV est décrit par le modèle « standard » à une diode, établi par Shokley pour une seule cellule PV, est généralisé à un module PV en le considérant comme un ensemble de cellules identiques branchées en série ou en parallèle.

Dans la littérature, une cellule PV est souvent présentée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode. Pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, le modèle est complété par deux résistances série R_s et R_{sh} comme le montre le schéma équivalent dans la figure (I.9).

La résistance série est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles. La résistance shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction ; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée [4].

Ce modèle est présenté par un ensemble d'équations, d'une complexité modérée. Il reflète le comportement de la cellule solaire (I_{ph} et I_d), déduit du circuit dans la figure (I.9).

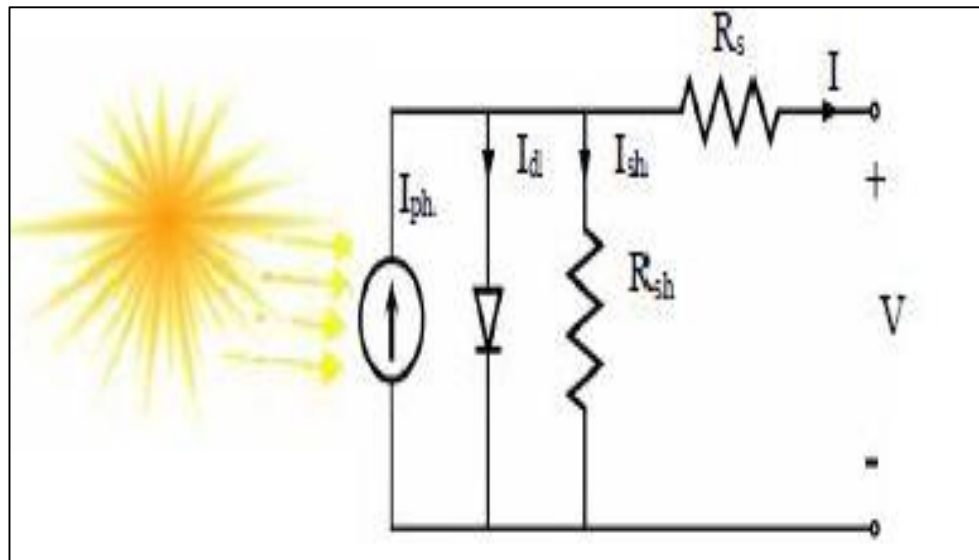


Figure I.9: Schéma équivalent d'une cellule PV

En prenant en considération les dépendances suivantes :

- ❖ Courant de saturation I_0 des cellules comme fonction de la température ;
- ❖ Courant I_{ph} , comme fonction de la température aussi ;

Ainsi que la résistance série R_s , qui donne une forme plus précise entre le point de puissance maximale et la tension du circuit ouvert, comme étant aussi fonction de la température.

L'équation courant tension I-V du circuit équivalent simplifié est déduite à partir de la loi de Kirchhoff.

Le courant généré par la modèle PV est donné par la loi de Kirchhoff :

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

Où I_{pv} le courant délivré par le module PV, I_{ph} le photo-courant et I_d courant de la diode, la diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique Courant-Tension est donnée par la relation suivant

$$I_{pv} = I_0 \left(e^{\frac{V_{pv}}{v_t}} - 1 \right) \quad (I.2)$$

Où I_0 est le courant saturation de diode, v_{pv} est la tension délivré par le module PV, $v_t = \frac{kt}{q}$ est la tension thermique, T est la température absolue en K et I_{ph} est le photo-courant, donc la relation (I.3) sera:

$$I_{pv} = I_0 \left(e^{\frac{q(V_{pv} + R_s I)}{A.K.Tc}} - 1 \right) \quad (I.3)$$

Le courant de la résistance shunt est calculé par :

$$I_{sh} = \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \quad (I.4)$$

On en déduit l'expression de courant fournit par une cellule photovoltaïque :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V_{pv} + R_s I)}{A.K.Tc}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \quad (I.5)$$

Où I_{pv} le courant fourni par la module PV, $C = I_{cc} \frac{G}{1000}$ est le photo-courant dépendant de l'éclairement (G), q est la charge d'électron ($q = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C), est la constant de Boltzmann ($G = 1.381 \cdot 10^{-23}$ joule/kelvin), T est la température du module PV en kelvin et A est le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < A < 2$).

Ces paramètres peuvent être déterminés à partir des courbes courant-tension, ou de l'équation caractéristique les plus usuels sont les suivantes :

a. Courant de court-circuit

C'est le courant pour le quelle la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nulle dans le cas idéal (R_s nulle et R_{sh} infinie), ce courant se confond avec le photo-courant I_{ph} dans le cas contraire en annulant la tension V dans l'équation (I.6).

On obtient :

$$I_{cc} = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V_{pv} + R_s I)}{A.K.Tc}} - 1 \right) - \frac{R_s I_{cc}}{R_{sh}} \quad (I.6)$$

Pour la plupart des cellules on peut négliger le terme

$I_0 \left(e^{\frac{q(V_{pv} + R_s I)}{A.K.Tc}} - 1 \right)$ devant I_{ph} . l'expression approchée du courant de court-circuit est alors :

$$I_{cc} = \frac{I_{ph}}{1 + \frac{R_s}{R_{sh}}} \quad (I.7)$$

Quantitativement, il a la plus grande de la valeur du courant généré par la cellule (pratiquement $I_{cc} = I_{ph}$).

b. Tension de circuit-ouvert (V_{co})

C'est la tension V_{co} pour laquelle le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul (c'est la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur photovoltaïque).

$$0 = I_{cc} - I_0 \left(e^{\frac{q \cdot V_{pv}}{A \cdot K \cdot T \cdot c}} - 1 \right) - \frac{V_{pv}}{R_{sh}} \tag{I.8}$$

Dans le cas idéal, sa valeur est légèrement inférieure à :

$$V_{co} = V_T \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} - 1 \right) \tag{I.9}$$

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la P_{max} (I_{OPT}, V_{opt}) et la puissance solaire

$$\frac{V_{opt} \cdot I_{opt}}{P_{inc}} = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \eta \tag{I.10}$$

Avec P_{inc} est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale des photopiles. Ce reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. [6]

I.3.5 : Association des PV

- Groupement de cellules en série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. [05]

La figure (I.10) montre la caractéristique résultante (I_{cc}, V_{sco}) obtenue en l'associant en série (indice s), n_s cellules identiques (I_{cc}, V_{co}) .

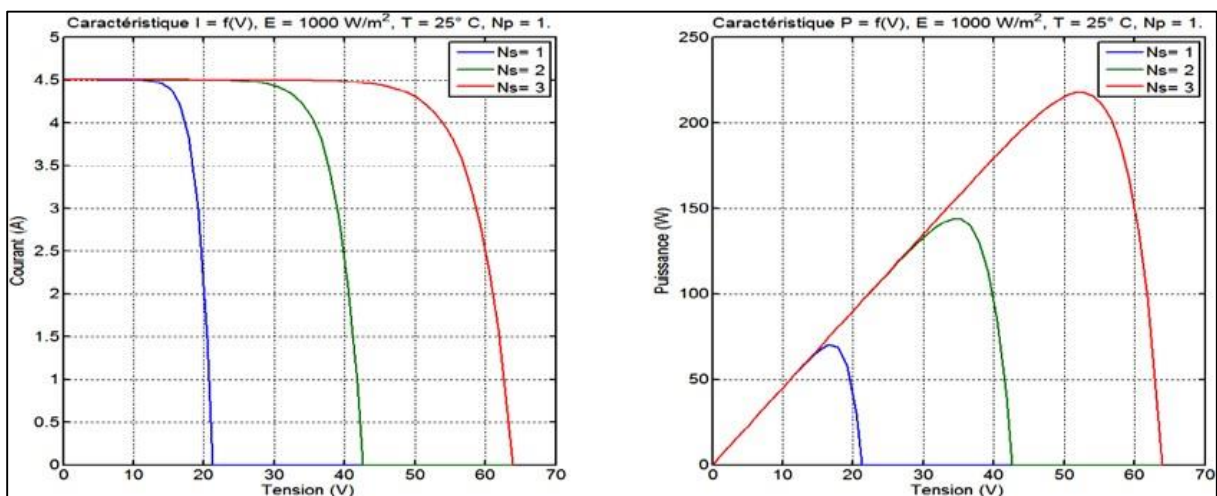


Figure I.10 : Caractéristique de nombre des modules en série

- Groupement de cellules en parallèles

Dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courant a tension donnée.

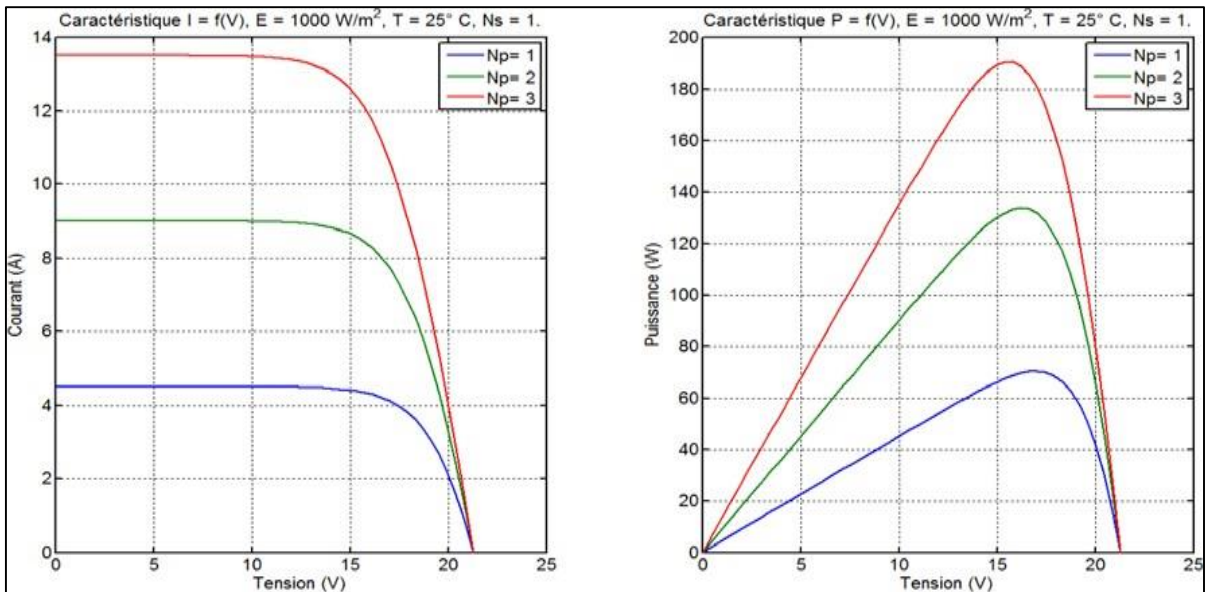


Figure I.11 : Caractéristique de nombre des modules en parallèles

- Groupement mixte (Série + Parallèle)

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, on est obligé d'utiliser un groupement mixte, c'est à dire Série-Parallèle.

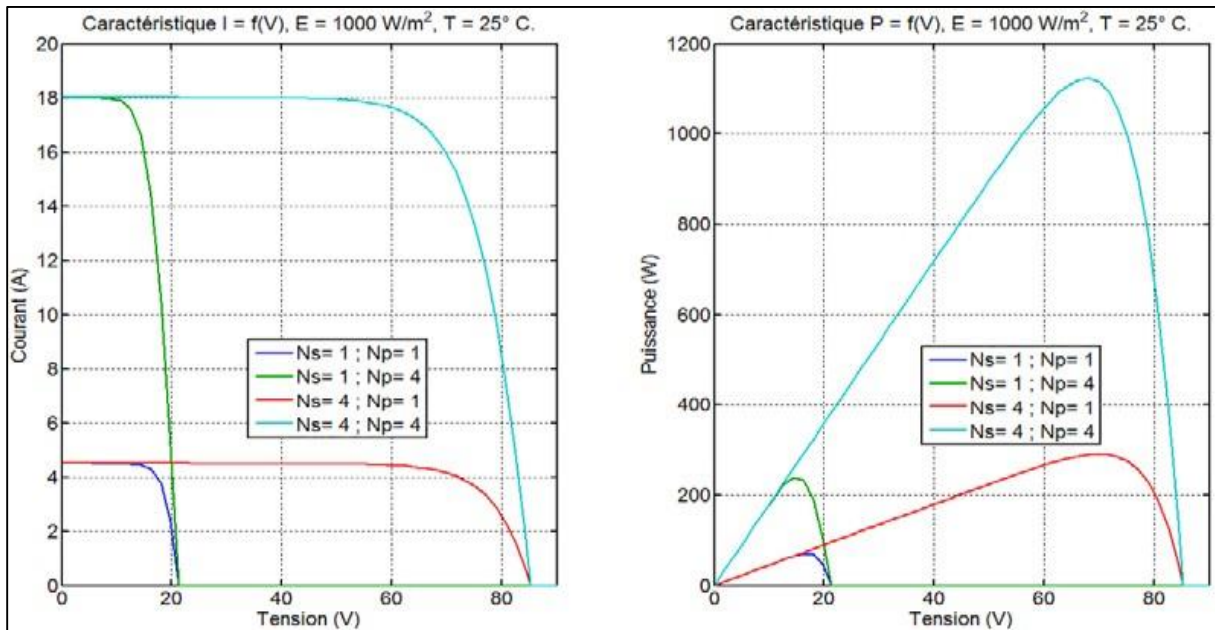


Figure I.12 : Caractéristique de nombre des modules en série et parallèle.

I.4 Caractéristiques du générateur photovoltaïque

La prédiction du comportement électrique d'un GPV est primordiale, car elle est à la base de la prédiction de l'énergie qui sera délivrée. Les caractéristiques électriques sont données par le fabricant du panneau PV et se résument par le ce courant de court-circuit, la tension de circuit ouvert et la puissance maximale. Dans qui suit, nous allons illustrer la caractéristique courant-tension et puissance-tension ainsi que les zones du fonctionnement du GPV [03].

I.4.1 La caractéristique courant-tension

Le panneau photovoltaïque est une source de puissance à cause de la difficulté de donner un caractère source de courant ou de tension à un panneau photovoltaïque sur toute l'étendue de la caractéristique courant-tension représenté dans la figure (I.13).

La figure (I.13) représente la courbe $I = f(V)$ d'un module photovoltaïque typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température. L'irradiation standard adoptée pour mesurer la réponse des modules photovoltaïques est une intensité rayonnante de 1000 W/m^2 et une température de 25°C [03].

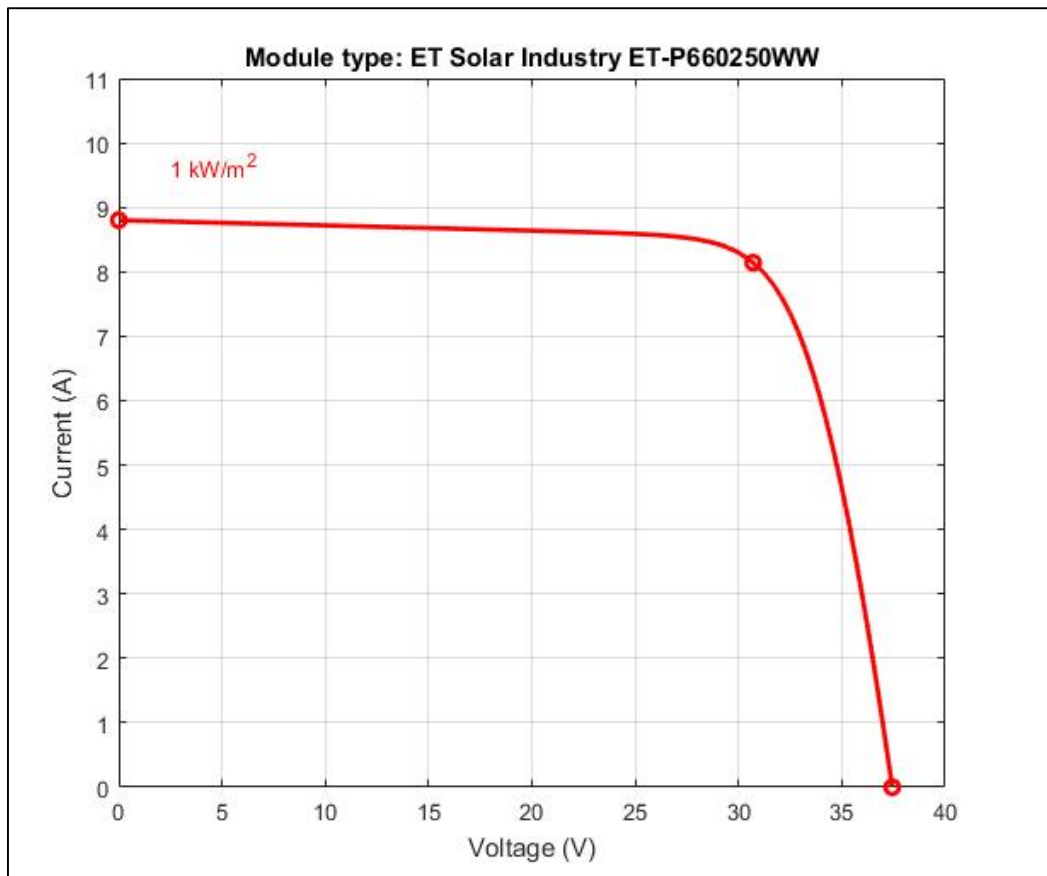


Figure I.13 Caractéristique courant-tension d'un module photovoltaïque

I.4.2 Caractéristique puissance-tension

La figure (I.14) représente la caractéristique Puissance-tension d'un module photovoltaïque. On remarque la courbe présente deux parties séparées par le point de puissance maximale, la puissance chute rapidement après ce point ce qui nécessite le fonctionnement du GPV près de ce point pour avoir un rendement optimal [07].

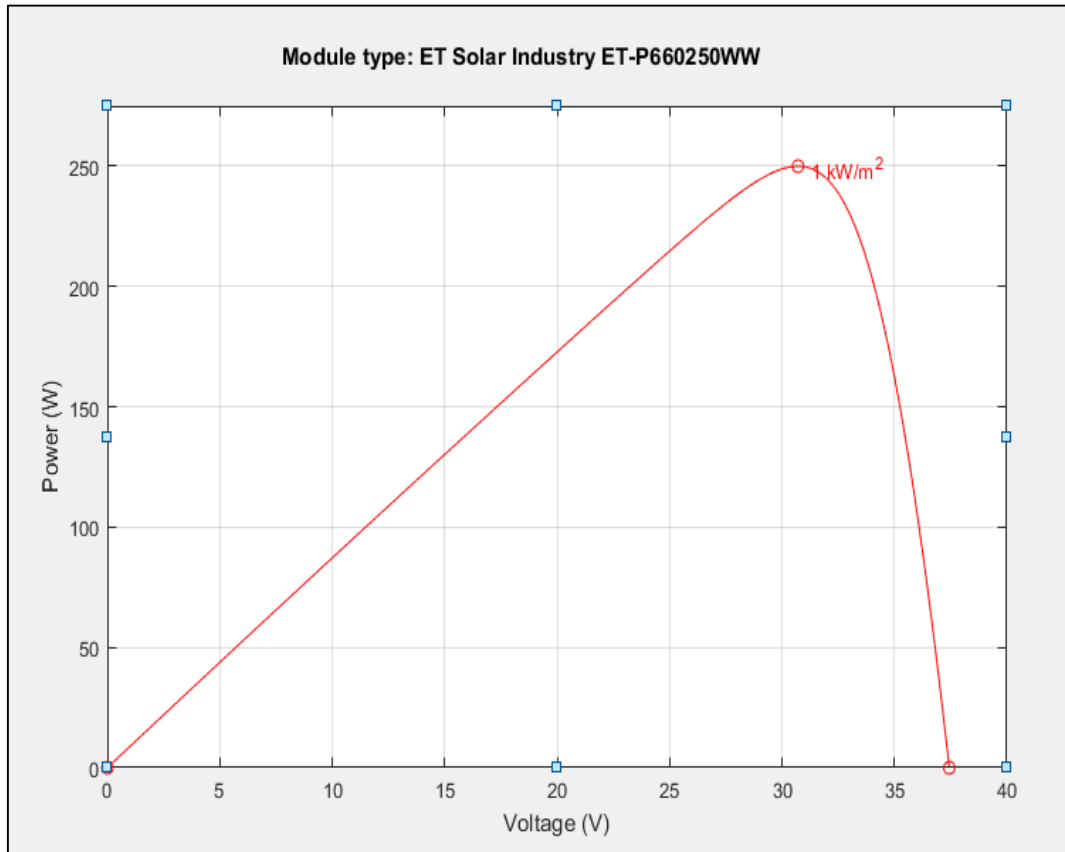


Figure I.14 Courbe caractéristique puissance-tension

I.5 Influence de la température et de l'éclairement :

Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque dépend au niveau d'éclairement solaire et à la température de la cellule. Dans cette partie, nous allons démontrer l'influence du changement des conditions météorologiques sur le courant et la tension générés par le panneau solaire

- **Influence de l'éclairement**

Les figures (II.3) représentent l'influence de l'éclairement sur les caractéristiques courant-tension et puissance-tension pour une température constante de 25°C et différentes valeurs d'éclairement (400w/m², 600w/m², 800w/m², 1000w/m²).

La courbe des caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ va présenter quatre allures différentes selon le changement de l'éclairement, on constate que l'augmentation de l'éclairement solaire provoque l'augmentation de la valeur du courant de court-circuit par contre la valeur de la tension de circuit ouvert, varie très peu [07].

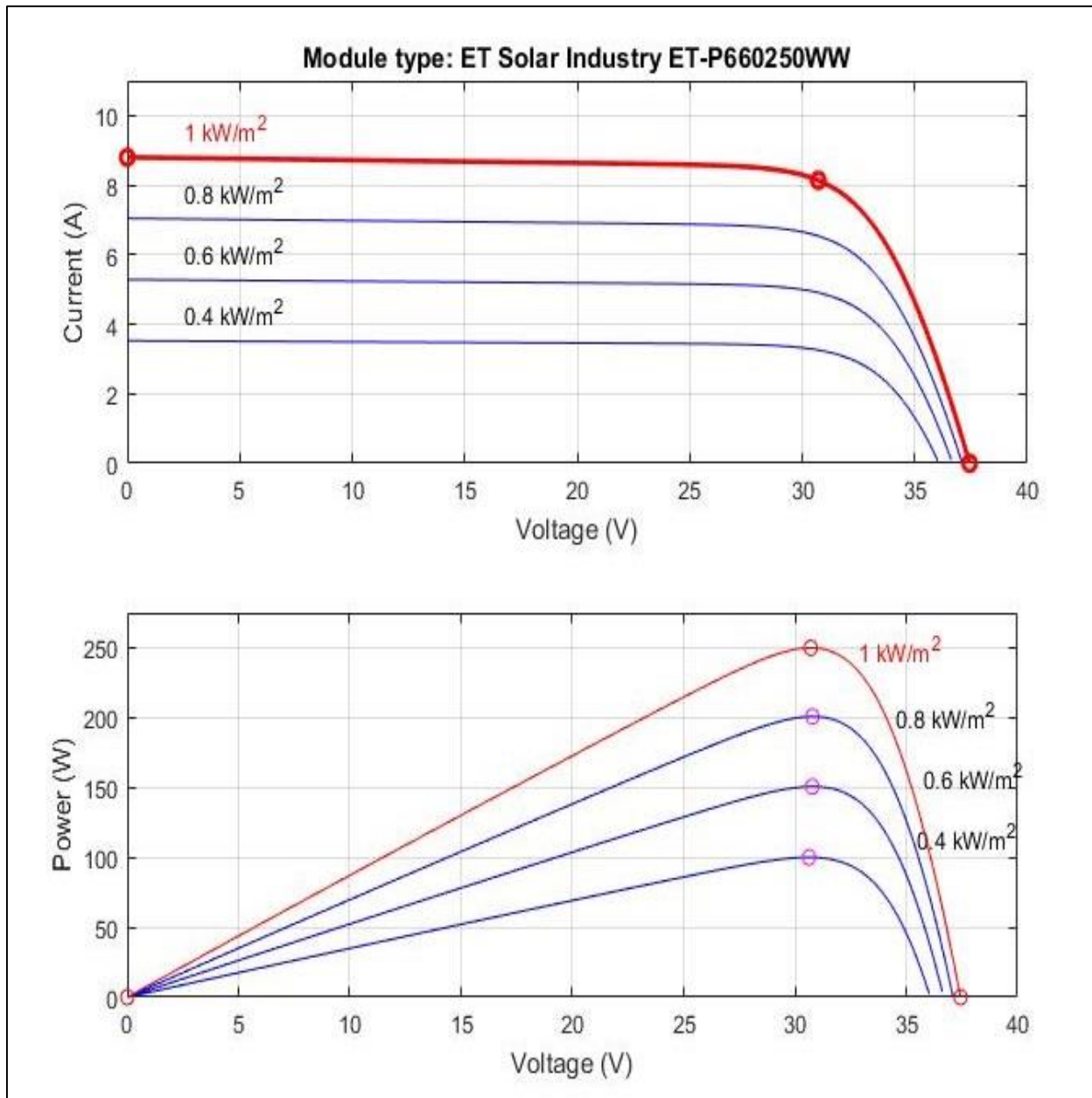


Figure I.15 L'influence de l'éclairement sur les caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$.

- **L'influence de la température**

La température est un paramètre très important dans le fonctionnement des cellules photovoltaïques, parce que les propriétés électriques des semi-conducteurs, sont très sensibles à la

température, la figure (II.4) représente les caractéristiques courant-tension et puissance-tension d'un module PV, avec différentes températures, l'éclairement $G=1000\text{W/m}^2$. [07]

On remarque que l'augmentation de la température entraîne une diminution de la tension de circuit ouvert, ainsi qu'une diminution de la puissance maximale. [04]

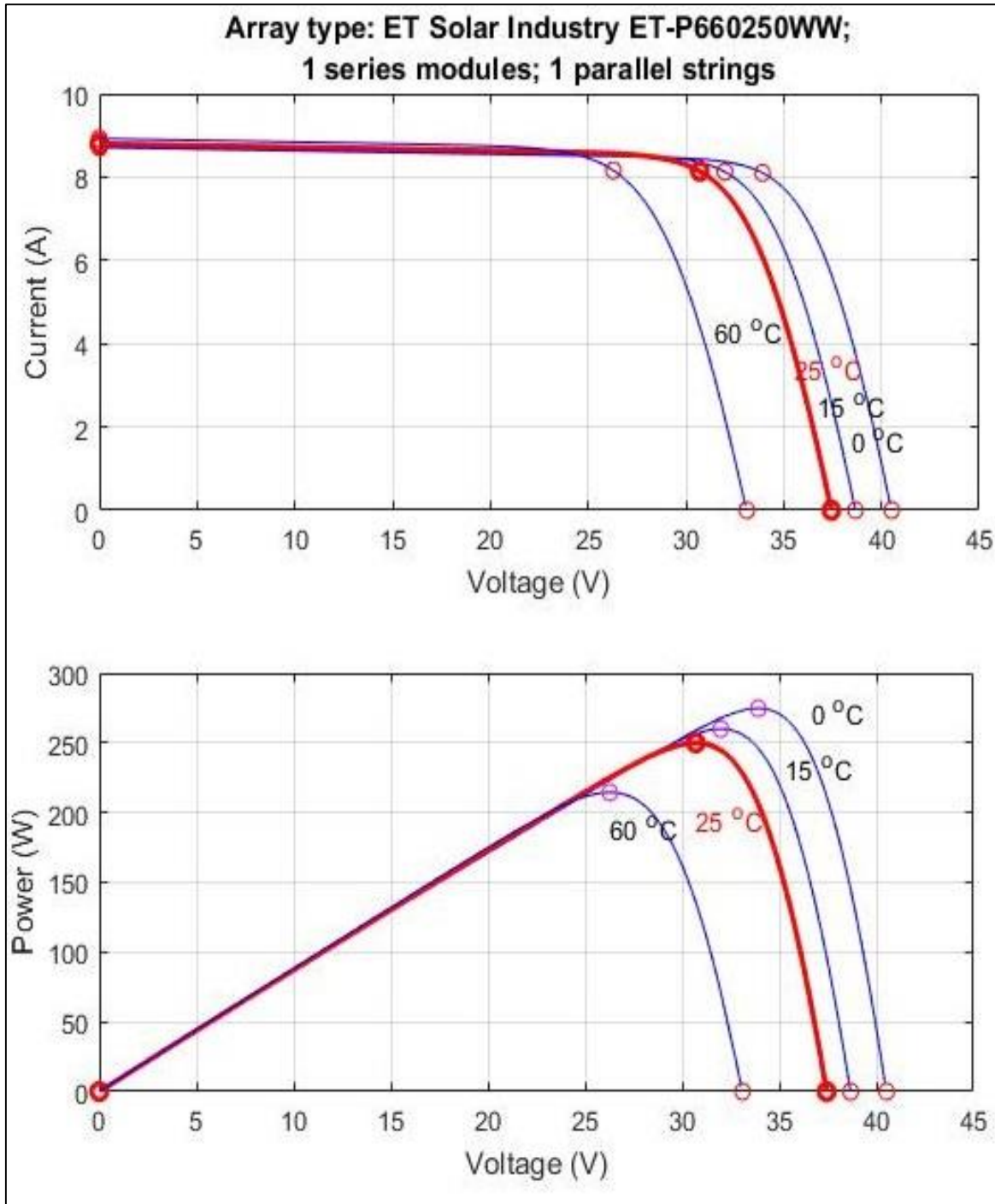


Figure I.16 L'influence de la température sur les caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$.

I.6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents composants d'un système photovoltaïque, et on a étudié le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque et ses paramètres.

Ainsi, l'exploitation de sa caractéristique courant tension et puissance tension en différent condition climatique.



Chapitre II :

*Modélisation de point
Maximum de puissance
dans un système PV*

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons des types de convertisseurs DC/DC. Ainsi, on va présenter quelques paramètres de la système PV et leurs influences sur la maximisation de point de puissance. Ensuite, on parlera de notions de base et des méthodes utilisées dans MPP.

II.2 Convertisseurs DC/DC :

Les hacheurs sont des convertisseurs du type continu-continu permettant de contrôler la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé [09].

L'hacheur se compose de condensateurs, d'inductance et de commutateurs. Dans le cas idéal, tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance active, c'est la raison pour laquelle on a des bons rendements dans les hacheurs. La technique du découpage, apparue environ dans les années soixante, a apporté une solution au problème du mauvais rendement et de l'encombrement des alimentations séries. Dans une alimentation à découpage, la tension entrée est "hachée" à une fréquence donnée par un transistor alternativement passant et bloqué. Il en résulte une onde carrée de tension qu'il suffit de lisser pour obtenir finalement une tension continue [09].

La figure (II.1) montre la représentation d'un convertisseur DC/DC, qui peut être utilisé comme interface entre la source et la charge commandant par la MPPT.

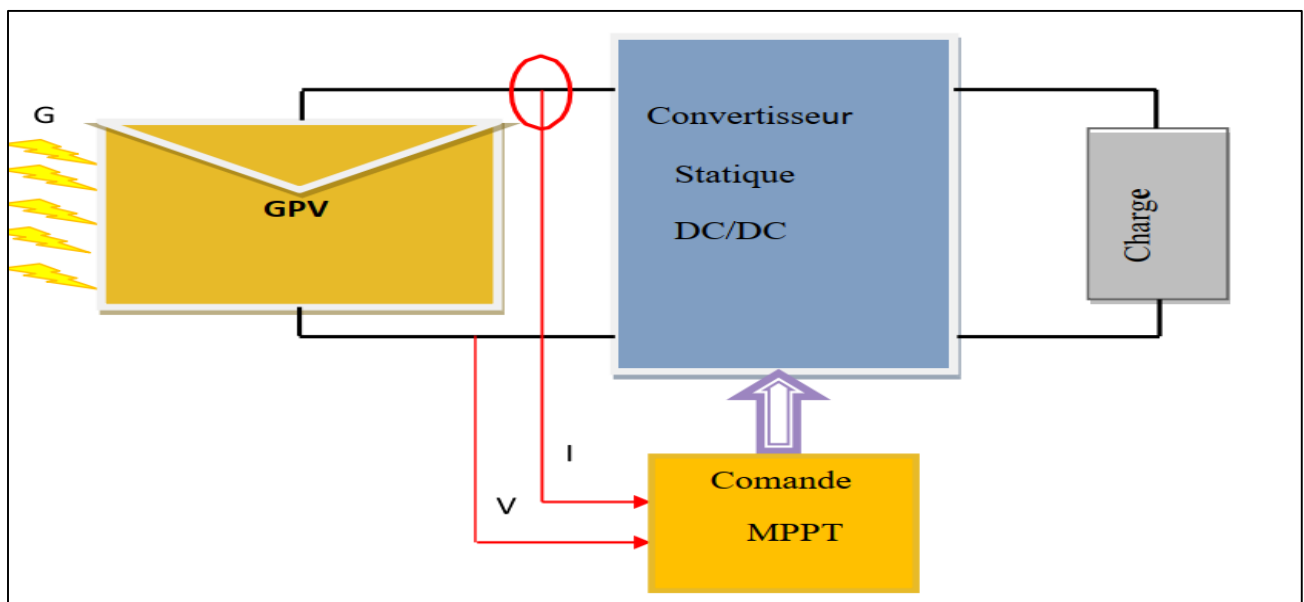


Figure II.1 Schéma global d'un système photovoltaïque

On distingue trois (03) types des convertisseurs DC/DC(hacheurs)

II.2.1 Convertisseur Buck :

Le convertisseur dévolteur peut être souvent trouvé dans la littérature sous le nom d'hacheur « Buck » ou hacheur série, son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie inférieure. La figure (II.2) représente le schéma de principe du convertisseur dévolteur [08].

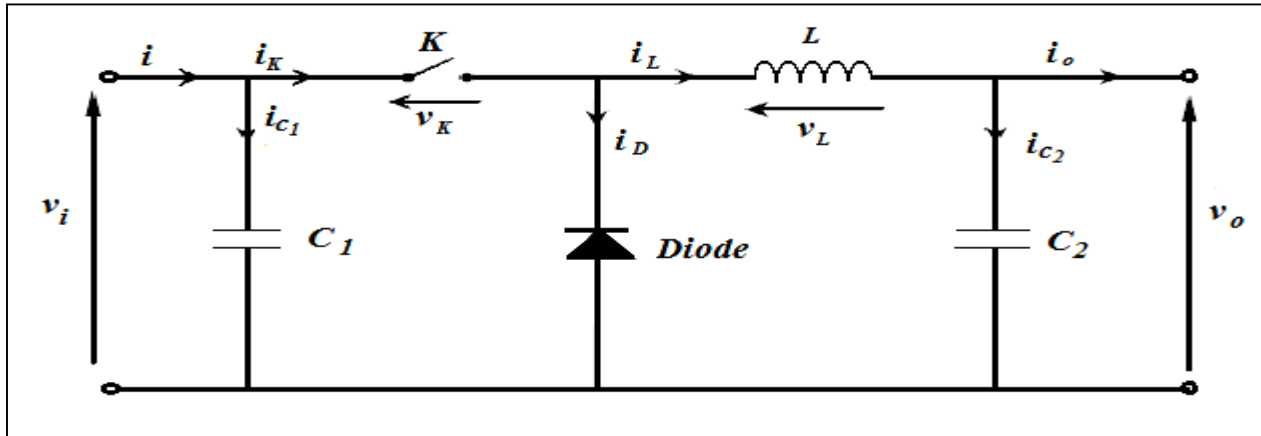


Figure II.2 Schéma de principe du convertisseur dévolteur (Buck)[08].

Afin de pouvoir synthétiser les fonctions du convertisseur dévolteur à l'état d'équilibre, il est nécessaire de présenter les schémas équivalents du circuit à chaque position de l'interrupteur K.

La figure (II.3) représente les deux schémas équivalents du convertisseur dévolteur pour les deux cycles de fonctionnements [10].

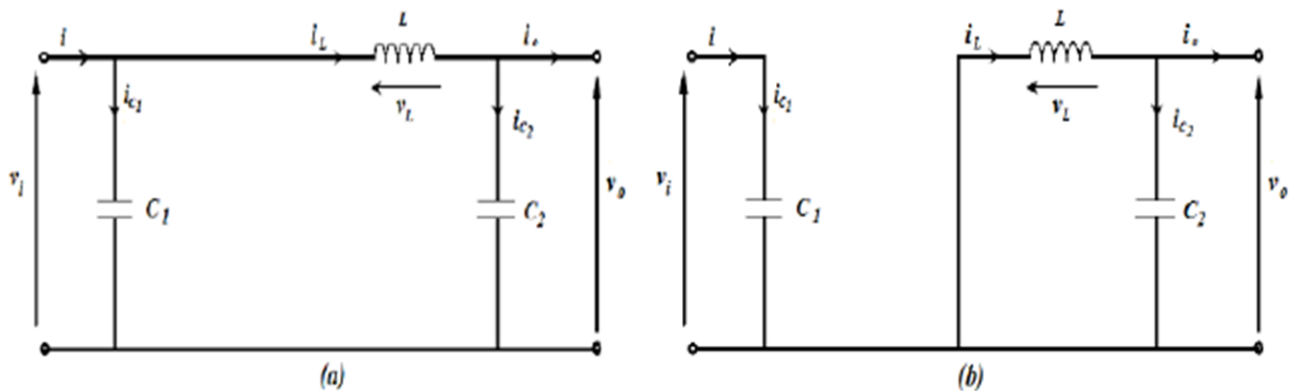


Figure II.3 Schémas équivalents de la hacheur dévolteur[08].

Comme pour le convertisseur survolteur, en appliquant les lois de Kirchhoff sur les deux circuits de la figure (II.3), on obtient les systèmes d'équations suivants :

Pour la première période αT :

$$V_L = V_{in} - V_{out} \quad (II.1)$$

$$L \frac{di}{dt} = -V_{out} - V_{in} \quad (II.2)$$

$$C \frac{dv}{dt} = i - \frac{V_{out}}{R} \quad (II.3)$$

A partir de l'équation (II.2)

$$i(t) = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} t + I_{min}$$

Le courant augmente linéairement avec le temps jusqu'à ce qu'il atteigne son maximum.

$$t \rightarrow t_{on} = \alpha T$$

$$I_{max} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} \alpha T + I_{min} \quad (II.4)$$

A partir de l'équation ci-dessus on aura :

$$\Delta i = \frac{V_{out} - V_{in}}{L} \alpha T \quad (II.5)$$

$$\Delta i = \frac{V_{in} D(1-\alpha)}{L f} \quad (II.6)$$

La relation (II.6) montre que l'ondulation du courant dans le récepteur est d'autant plus faible que la fréquence de hachage est grande, donc une forte augmentation de cette fréquence nécessiterait l'emploi des composants à commutation rapide.

Pour la deuxième période (1- α)T

$$V_L = -V_{out} \quad (II.7)$$

$$L \frac{di}{dt} = -V_{out} \quad (II.8)$$

$$i(t) = \frac{-V_{out}}{L} t + I_{max} \quad (II.9)$$

$$C \frac{dv}{dt} = i - \frac{V_{out}}{R} \quad (II.10)$$

Quand $t \rightarrow t_{on}$ Le courant à travers l'inductance diminue linéairement de sa valeur maximale à sa valeur minimale :

$$I_{min} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} (1 - \alpha) T + I_{max} \quad (II.11)$$

Donc :

$$\Delta i = \frac{V_{out}}{L} (1 - \alpha) T \quad (II.12)$$

A partir des deux équations (II.6) et (II.12) on aura :

$$\frac{V_{out}}{L} (1 - \alpha) T = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} \alpha T \quad (II.13)$$

Ce qui implique :

$$V_{out} = \alpha V_{in} \quad (II.14)$$

L'équation (II.14) montre la possibilité de contrôler la tension de sortie moyenne V_{out} en jouant sur le rapport cyclique α .

Détermination de L, C :

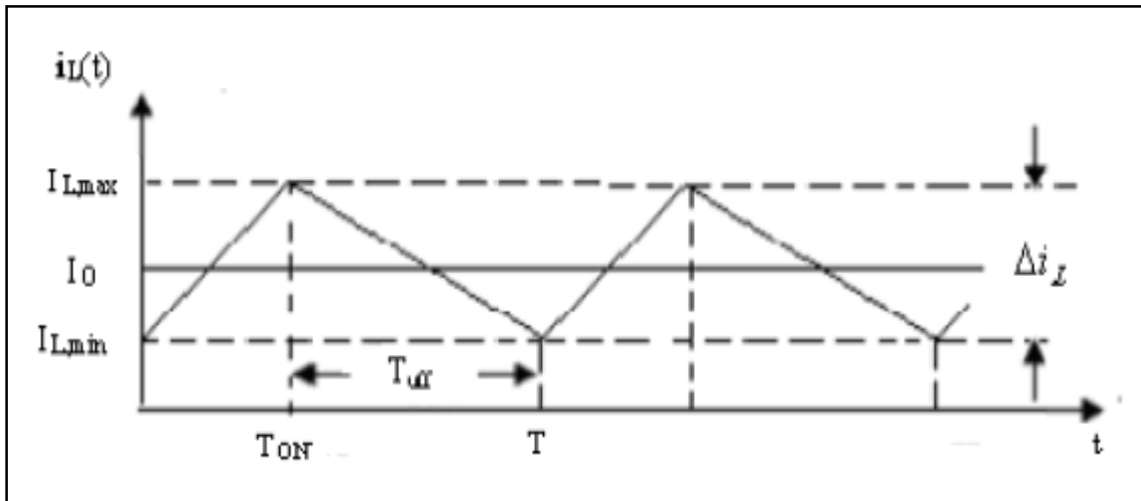


Figure II.4 courant à travers l'inductance [08]

Selon la figure (II.4), la conduction continue est limitée par $I_{Lmin} = 0$, donc :

$$\Delta i = 2i_0 \quad (II.15)$$

Substituant dans (II.15), on trouve :

$$L_{limit} = \frac{V_{in} \alpha (1 - \alpha)}{2i_0 f} \quad (II.16)$$

Alors, le convertisseur fonctionne toujours dans le mode de conduction continue si :

$$L > L_{limit} \quad (II.17)$$

L'ondulation du courant Δi est maximale pour $D = 0.5$:

$$\Delta i_{max} = \frac{V_{in}}{4fL_{max}} \quad (II.18)$$

$$L_{max} = \frac{V_{in}}{8fi_0} \quad (II.19)$$

Ou :

L_{limit} : est la valeur de L à la limite de la conduction continue.

Δi_{max} : correspond à l'ondulation du courant pour $\alpha = 0.5$

L_{max} : correspond à la valeur de l'inductance pour $\alpha = 0.5$

A partir de la figure (II.8) on a :

$$i_c = i - i_0 \quad (II.20)$$

Donc, la capacité se charge pour $i > i_0$ et se décharge pour $i < i_0$ figure (II.5) :

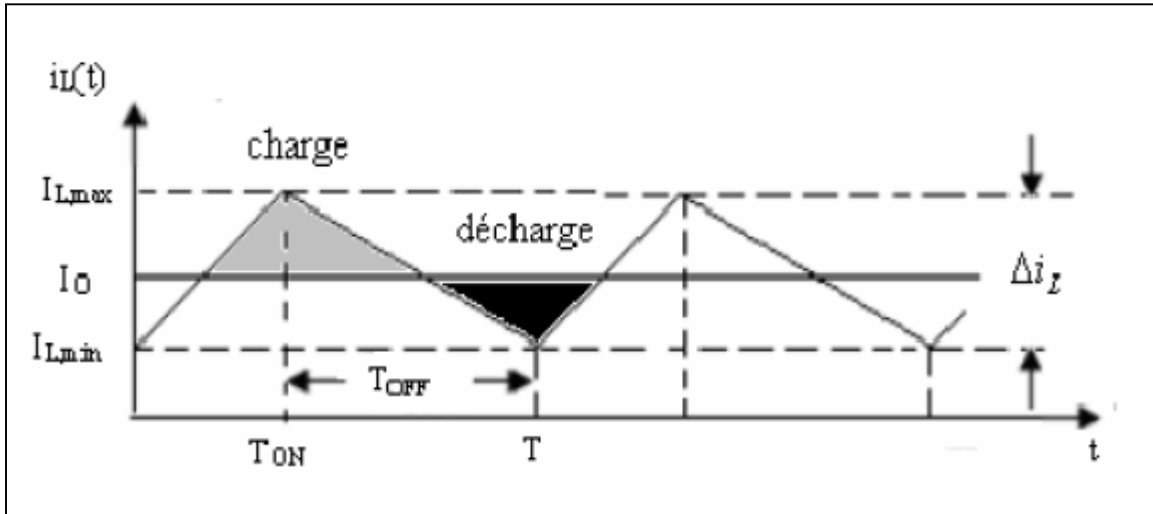


Figure II.5 charge et décharge du condensateur [08]

La valeur moyenne du courant i_0 a travers la capacité est nulle, alors sa forme illustrée dans la figure (II.6) peut nous aider a déterminer ΔV_0

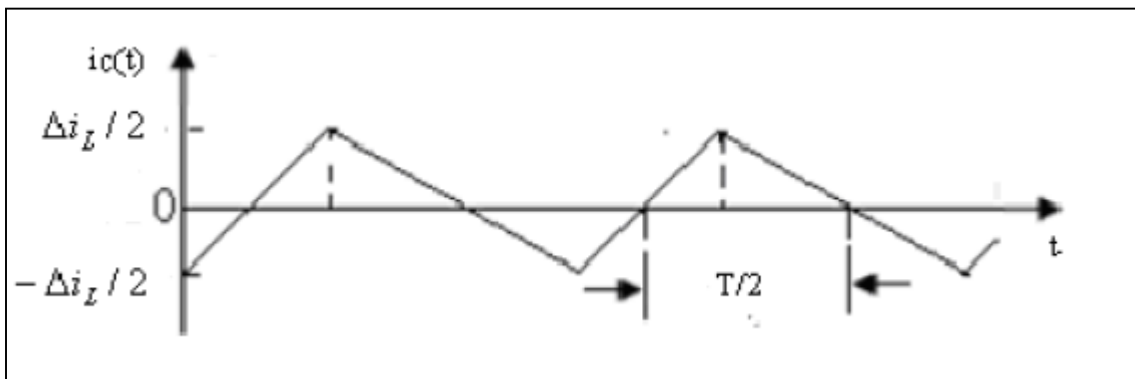


Figure II.6 le courant à travers la capacité [08]

Chaque section de charge ou de décharge qui dure $\frac{T}{2}$ représente la variation de charge ΔQ figure

(II.6):

$$\Delta Q = \frac{1}{8} \Delta i T \quad (II.21)$$

$$\Delta V_0 = \frac{\Delta Q}{C} \quad (II.22)$$

$$\Delta V_0 = \frac{\Delta i}{8fC} \quad (II.23)$$

Le choix le plus mauvais sera pour $\Delta i = 2i_0$ on aura :

$$\Delta V_0 = \frac{i_0}{4fC} \quad (\text{II.24})$$

II.2.2 Convertisseur survolteur (Boost) :

Un convertisseur Boost, ou hacheur parallèle, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur. Ce type de convertisseur peut être utilisé comme adaptateur source-charge, lorsque le point de fonctionnement en couplage direct est à droite du MPP.

Son schéma de principe est celui de la figure (II.7).

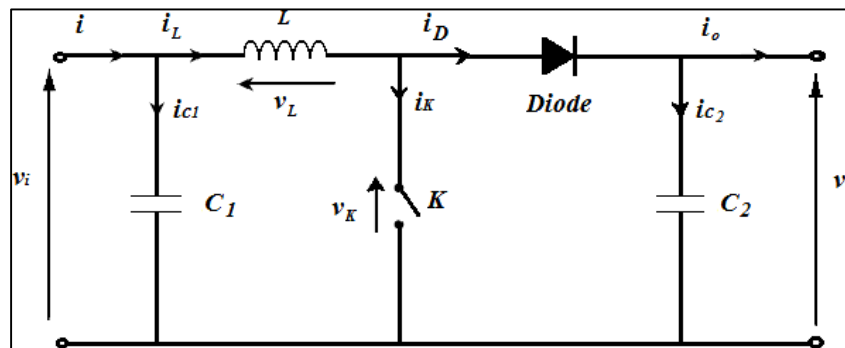


Figure II.7 Schéma de principe du convertisseur survolteur (Boost) [08].

Afin de pouvoir synthétiser les fonctions du convertisseur survolteur à l'état d'équilibre, il est nécessaire de présenter les schémas équivalents du circuit à chaque position de l'interrupteur K.

La figure (II.8) représente les deux schémas équivalents du convertisseur survolteur pour les deux cycles de fonctionnements. [09]

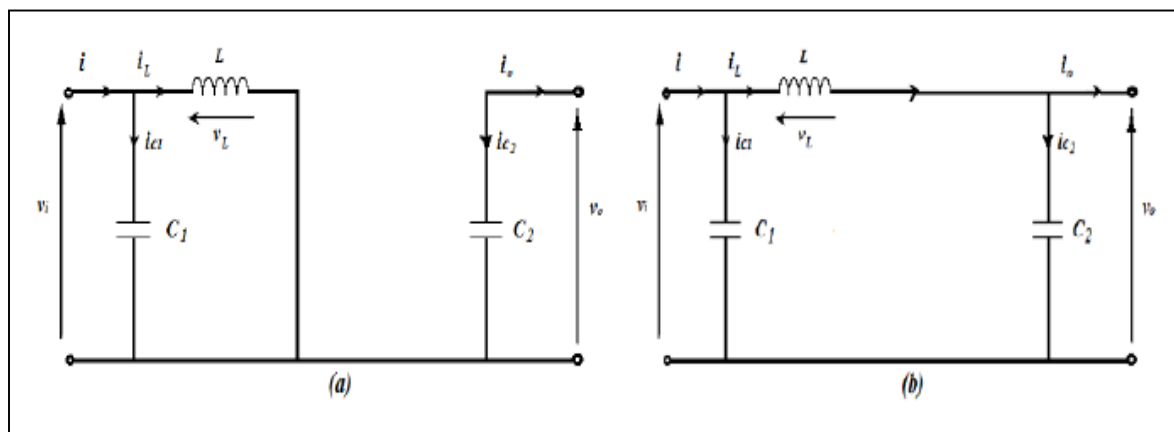


Figure II.8 Schémas équivalents du convertisseur survolteur (Boost).

(a): K fermé; (b): K ouvert [08].

En appliquant la loi de Kirchhoff sur les deux circuits équivalents du convertisseur survolteur (Boost) des deux phases de fonctionnement, on obtient :

Pour la première période αT :

$$V_L = V_{in} \quad (II.25)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_{in} \quad (II.26)$$

$$C \frac{dv}{dt} = \frac{-V_{out}}{R} \quad (II.27)$$

A partir de l'équation (II.26)

$$i(t) = \frac{V_{in}}{L} t + I_{min} \quad (II.28)$$

Le courant augmente linéairement avec le temps jusqu'à ce qu'il atteigne son maximum a

$t \rightarrow t_{on}$:

$$I_{max} = \frac{V_{in}}{L} \alpha T + I_{min} \quad (II.29)$$

A partir de l'équation ci-dessus on aura :

$$\Delta i = \frac{V_{in}}{L} \alpha T \quad (II.30)$$

Pour la deuxième période (1-D)T

$$V_L = V_{in} - V_{out} \quad (II.31)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_{in} - V_{out} \quad (II.32)$$

$$i(t) = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} t \quad (II.33)$$

$$C \frac{dv}{dt} = i - \frac{V_{out}}{R} \quad (II.34)$$

Quand $t \rightarrow t_{on}$ Le courant à travers l'inductance diminue linéairement de sa valeur maximale à sa valeur minimale :

$$I_{min} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} (1 - \alpha)T + I_{max} \quad (II.35)$$

Donc :

$$\Delta i = \frac{V_{out} - V_{in}}{L} (1 - \alpha)T \quad (II.36)$$

En combinant ces deux relations (II.30) et (II.36), on peut établir l'expression de la tension de sortie:

$$\frac{V_{in}}{L} \alpha T = \frac{V_{out} - V_{in}}{L} (1 - \alpha)T \quad (II.37)$$

Ce qui implique :

$$V_{out} = \frac{1}{1-\alpha} V_{in} \quad (II.38)$$

Détermination de L, C :

Durant la phase 1 qui dure , le condensateur fournit seul l'énergie a la charge. Le courant de sortie étant suppose constant, on peut calculer la charge fournie par le condensateur:

$$\Delta Q = \frac{V_{out}}{R} \alpha T \quad (II.39)$$

Si l'on admet une ondulation ΔV_{out} de la tension de sortie, on peut écrire:

$$\Delta Q = C \Delta V_{out} \quad (II.40)$$

On en déduit la capacité du condensateur de sortie:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V_{out}} \quad (II.41)$$

La valeur de l'inductance, Nous avons établi la relation:

$$\Delta i = \frac{V_{in}}{L} \alpha T \quad (II.42)$$

On en tire la valeur de l'inductance :

$$L = \frac{\alpha V_{in}}{f \Delta i} \quad (II.43)$$

II.2.3 Le convertisseur Buck-Boost :

Le convertisseur dévolteur-survolteur a acquis les caractéristiques et les propriétés électriques des deux types évoqués précédemment, il présente donc une sortie d'un transformateur hybride (abaisseur/élevateur) pour une tension d'entrée/sortie continue ; son schéma de base est illustré par la figure (II.9). [09].

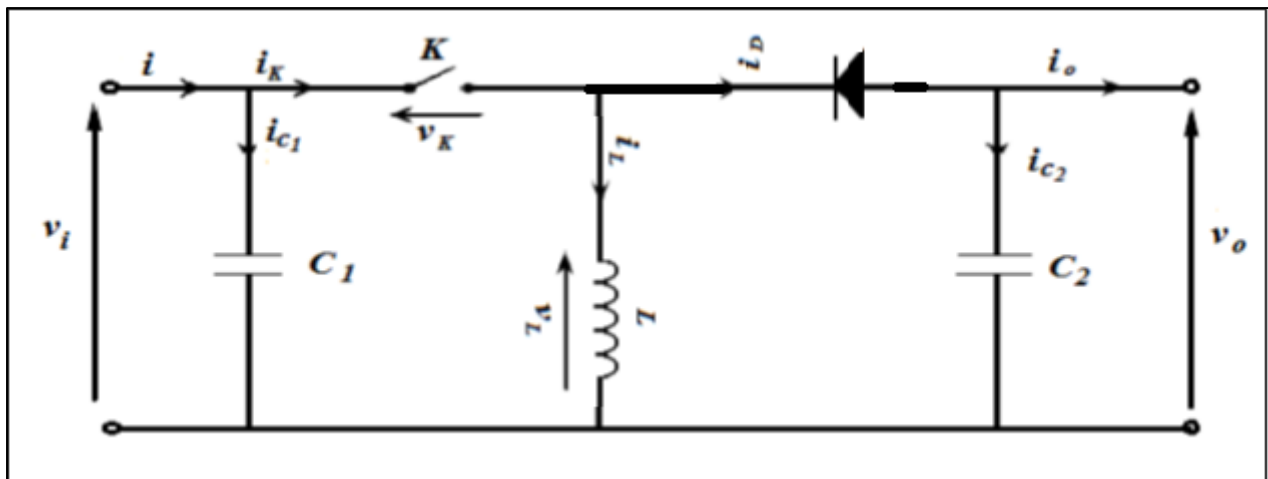


Figure II.9 Schéma de base du convertisseur dévolteur-survolteur (Buck-Boost) [08].

La figure (II.10) montre les deux schémas équivalents du convertisseur dévolteur- survolteur pour les deux cycles de fonctionnements [10].

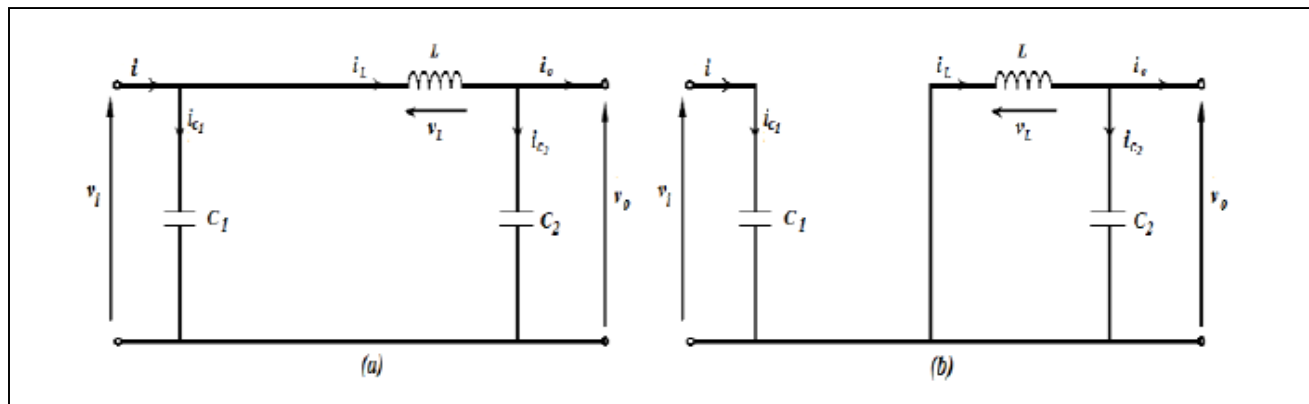


Figure II.10 Schéma équivalents du Convertisseur dévolteur-survolteur (Buck-Boost).

(a):K fermé,(b):K ouvert [08].

En appliquant la loi de Kirchoff sur les deux circuits équivalents du convertisseur dévolteur-survolteur des deux phases de fonctionnement, on obtient:

Pour la première période αT :

$$V_L = V_{in} \quad (II.44)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_{in} \quad (II.45)$$

$$C \frac{dV}{dt} = -\frac{V_{out}}{R} \quad (II.46)$$

A partir de l'équation (II.45) :

$$i(t) = \frac{V_{in}}{L}t + i_{min} \quad (II.48)$$

Le courant augmente linéairement avec le temps jusqu'à ce qu'il atteigne son maximum a $t \rightarrow t_{on} = \alpha T$

$$I_{max} = \frac{V_{in}}{L} \alpha T + I_{min} \quad (II.49)$$

A partir de l'équation ci-dessus on aura :

$$\Delta i = \frac{V_{in}}{L} \alpha T \quad (II.50)$$

Lorsque la fonction de commutation est $\alpha = 0$, on obtient la dynamique suivante :

Pour la deuxième période $(1 - \alpha)T$:

$$V_L = -V_{out} \quad (II.51)$$

$$L \frac{di}{dt} = -V_{out} \quad (II.52)$$

$$i(t) = \frac{-V_{out}}{L}t + i_{max} \quad (II.53)$$

$$C \frac{dV}{dt} = i - \frac{V_{out}}{R} \quad (II.54)$$

Quand a $t \rightarrow t_{on}$ Le courant a travers l'inductance diminue linéairement de sa valeur maximale a sa valeur minimale :

$$I_{min} = \frac{-V_{out}}{L}(1 - \alpha)T + I_{max} \quad (II.55)$$

Donc :

$$\Delta i = \frac{V_{out}}{L}(1 - \alpha)T \quad (II.56)$$

En combinant ces deux relations (II.50) et (II.56), on peut établir l'expression de la tension de sortie:

$$\frac{V_{in}}{L}\alpha T = \frac{V_{out}}{L}(1 - \alpha)T \quad (II.57)$$

Ce qui implique :

$$\begin{cases} V_{out} = \frac{\alpha}{1-\alpha} V_{in} \\ I_{out} = \frac{1-\alpha}{\alpha} I_{in} \\ R_{out} = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right) 2. V_{in} \end{cases} \quad (II.58)$$

Détermination de L, C :

La forme du courant a travers l'inductance est illustrée par la figure (II.11) :

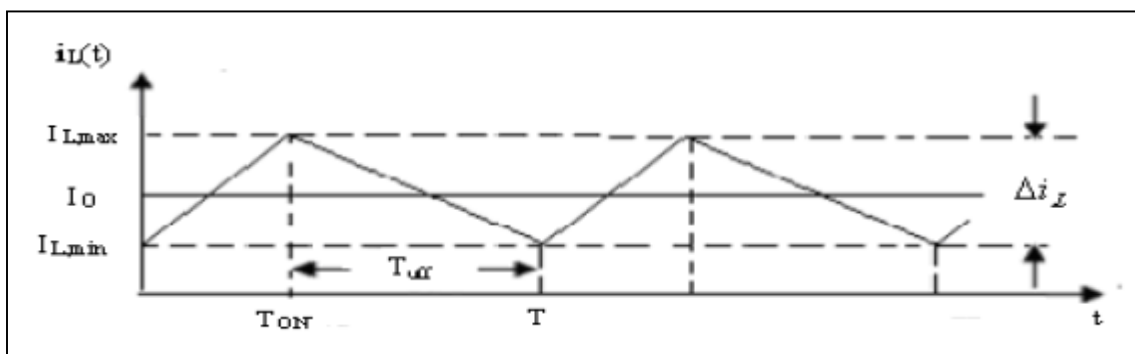


Figure II.11 courant à travers l'inductance [08]

A partir la figure (II.11) :

$$I_{L \min} + \frac{V_{in}}{2L}\alpha T = I_{L \min} - \frac{\Delta i}{2} = i_0 \quad (II.59)$$

Selon la figure (II.11), la conduction continu est limitée par $I_{L \min} = 0$, donc :

$$\Delta i = 2i_0 \quad (II.60)$$

Substituant dans (II.56), on trouve :

$$L = \frac{V_{in}}{f \Delta i} \alpha \quad (II.61)$$

L'onde de courant condensateur est représentée sur la figure (II.12)

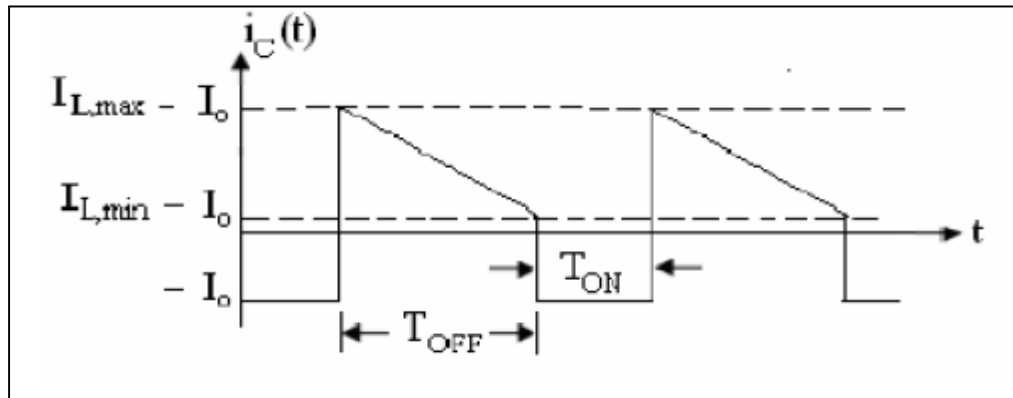


Figure II.12 Courant à travers le condensateur [08]

La forme d'onde de courant de la figure (II.15) nous permet de déterminer la variation de la tension aux bornes du condensateur. Pendant le temps de l'interrupteur est ferme, la charge sur le condensateur diminue car le condensateur fournit le courant a la charge. La variation de la charge est

$$\Delta Q = \frac{-V_{out}}{R} \alpha T \quad (II.62)$$

$$|\Delta V_{out}| = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{V_{out}}{RC} \alpha T \quad (II.63)$$

On déduit la capacité du condensateur de sortie :

$$C = \frac{V_{out}}{R \cdot \Delta V_{out}} \alpha T \quad (II.64)$$

II.3 Technique de MPPT utilisée dans notre projet :

II.3.1 Méthode Perturbation et observation :

La méthode Perturbation et Observation (P&O) est l'une des méthodes les plus utilisées. C'est une méthode itérative permettant d'obtenir le PPM : on mesure le courant et la tension du panneau PV puis on induit une petite perturbation sur la tension et /ou le courant afin d'analyser la variation de puissance qui en résulte.[08]

Comme indiqué précédemment, le principe des commandes MPPT de type P&O consiste à perturber la tension V_{PV} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance P_{PV} qui en résulte. Ainsi, comme l'illustre la figure (II-13), on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{PV} engendre un accroissement de la puissance P_{PV} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a déjà dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectuée lorsque la tension décroît [13].

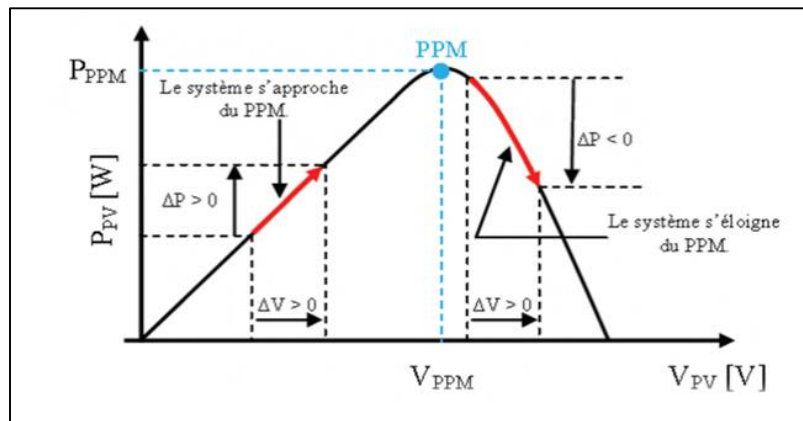


Figure II.13 caractéristique PV du panneau [04]

A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $P_{PV}=f(V_{PV})$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au MPP, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié.

En résumé, si suite à une perturbation de tension, la puissance augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour reprendre la convergence vers le nouveau MPP.

La figure (II-17) représente l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. Pour ce type de commande, deux capteurs (mesurant le courant et la tension des panneaux PV) sont nécessaires pour déterminer la puissance.

La méthode P&O est aujourd'hui largement utilisée de part sa facilité d'implémentation, cependant, elle présente quelques problèmes liés aux oscillations autour du MPP qu'elle engendre en régime établi car la procédure de recherche du MPP doit être répétée périodiquement, obligeant le système à osciller en permanence autour du MPP. Ces oscillations peuvent être minimisées en

réduisant la valeur de la variable de perturbation. Cependant, une faible valeur d'incrément ralentit la recherche du MPP, il faut donc trouver un compromis entre précision et rapidité, ce qui rend cette commande difficile à optimiser [12].

Il est connu que ce type de commande permet d'obtenir un rendement plus important durant une journée relativement ensoleillée, où le MPP évolue lentement et proportionnellement avec le soleil. Par contre, pour une journée avec de forts et fréquents changements d'irradiations, cette commande présente beaucoup plus de pertes, en raison du temps de réponse de la commande pour atteindre le nouveau MPP [12].

Si on analyse en détail ce mode de recherche, il présente des erreurs d'interprétation au niveau de la direction à suivre pour atteindre le MPP lorsque des variations brusques des conditions climatiques et/ou de charge apparaissent, comme cela est décrit sur la figure (II-18). Pour comprendre, prenons l'exemple d'un éclairage donné, noté E_1 , avec un point de fonctionnement se situant en A. Suite à une perturbation de tension de valeur ΔV , cette dernière bascule en B, impliquant, dans un fonctionnement sans variation d'éclairage, une inversion du signe de la perturbation due à la détection d'une dérivée de la puissance négative [12].

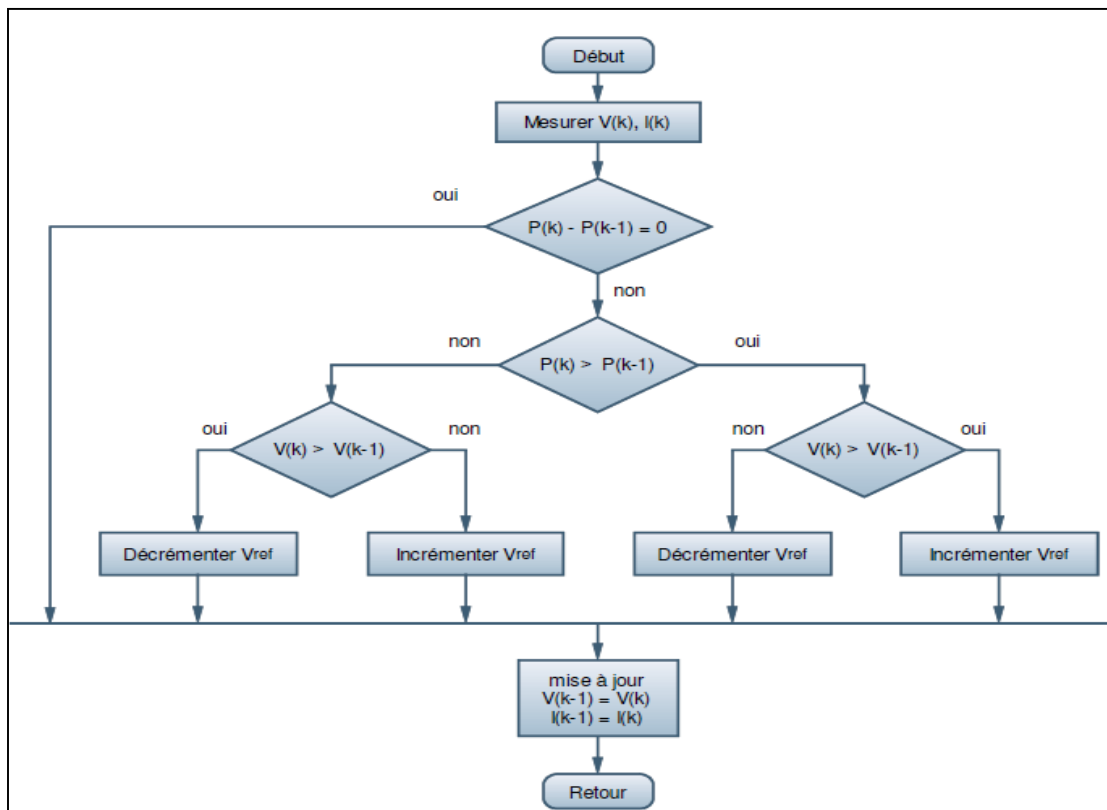


Figure II-14 L'algorithm classique associé à une commande MPPT de type P&O [12]

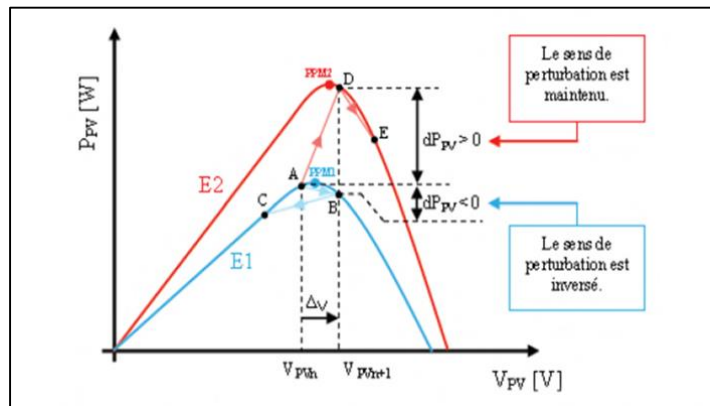


Figure II.15 Divergence de la P&O lors de la variation de l'irradiation [04]

Ceci entraîne en régime d'équilibre, des oscillations autour du MPP causées par la trajectoire du point de fonctionnement entre les points B et C. On peut noter que des pertes de transfert de la puissance seront plus ou moins importantes en fonction des positions respectives des points B et C par rapport à A.

Lors d'un changement d'irradiation (évolution des caractéristiques $P(V)$ du module d'E1 à E2), le point de fonctionnement se déplace alors de A vers D, qui est interprété dans ce cas-là, par une variation positive de la puissance. Le système n'ayant pas la possibilité de voir l'erreur de trajectoire liée au changement de caractéristique, le signe de la perturbation ne change pas et le système s'éloigne momentanément du MPP en direction du point E. Au mieux, ceci occasionne une non-optimisation de la puissance momentanée. Au pire des cas, le système de recherche peut se perdre et se retrouver en butée, soit en circuit ouvert soit en court-circuit entraînant une perte définitive du MPP.

Il en résulte donc, en cas de conditions météorologiques défavorables, de fortes lacunes au niveau de la commande.

II.3.2 Logique floue :

L'idée de la logique floue est inventée par le professeur L. A. Zadeh de l'université de Berkeley en Californie en 1965. Cette idée trouve sa première application expérimentale en 1974 grâce au Dr. E. H. Mamdani de l'université de London, puis industrielle pour la régulation du four d'une cimenterie réalisée par deux sociétés danoises. A partir de 1980, la logique floue trouve son application dans plusieurs domaines.

L'implantation de la technique de la logique floue passe par les trois étapes suivantes :

- Fuzzification : conversion des données classiques (valeurs numériques) vers des variables floues ou des fonctions d'appartenance ;
- Processus d'inférence : combiner les fonctions d'appartenance avec les règles de contrôle pour dresser les variables floues de sortie ;
- Défuzzification : conversion des variables floues vers des valeurs numériques.

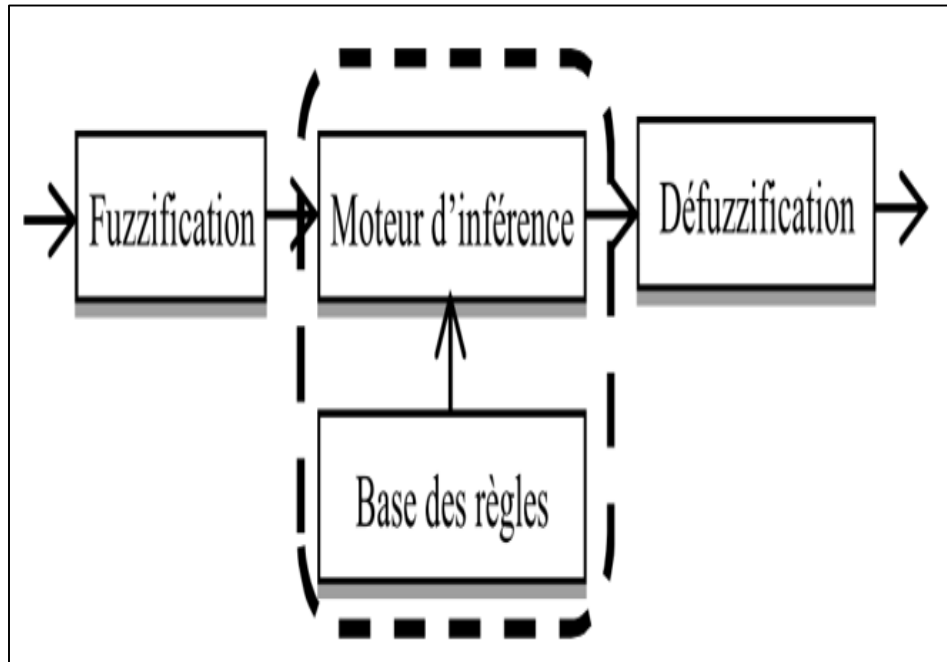


Figure II.16 Schéma de principe de la régulation floue

II.3.2.1. Ensembles flous : [11]

Dans la logique classique un élément appartient à un ensemble ou n'appartient pas, sa fonction caractéristique prend la valeur 1 ou 0 respectivement. Dans la logique floue toutes les valeurs comprises entre 0 et 1 sont possibles ; un tel sous-ensemble dont les éléments ont cette propriété est appelée sous-ensemble flou.

Les éléments, dans la logique floue, peuvent appartenir à plusieurs ensembles flous simultanément avec des degrés d'appartenance partielle différents. Soit l'exemple de la température définie par trois ensembles : faibles températures (0-30°C), moyennes températures (30-70°C), températures élevées (70-120°C). Ces trois ensembles sont définis du point de vue classique.

Une valeur quelconque de la température entre 0 et 120°C, peu appartenir seulement à un seul ensemble, soit faible, moyenne ou élevée. En introduisant la notion d'ensembles flous, l'appartenance de cette valeur à deux ensembles ou aux trois ensembles simultanément devient possible.

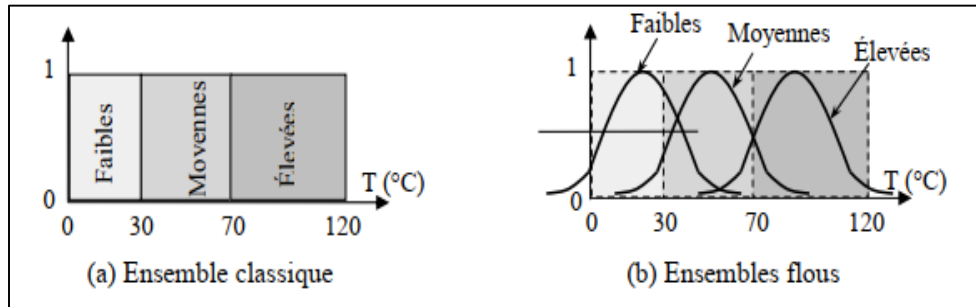


Figure II.17 Ensembles classiques et ensembles flous [14]

Sur la figure (II-17-b) on peut remarquer que la température 40°C appartient à l'ensemble des faibles températures à un degré de 0.5 et au même temps elle appartient à l'ensemble des moyennes températures à un degré de 0.7. Une autre valeur intéressante est la valeur 55°C, en effet cette valeur appartient aux trois ensembles simultanément (faible et élevée à 10% et moyenne à 90% approximativement). Une fois les ensembles flous définis, des opérations mathématiques concernant ce type d'ensembles ont été développées. Les opérateurs mathématiques élaborés ressemblent beaucoup à ceux reliés à la théorie des ensembles conventionnels. Les opérateurs de l'intersection, l'union, la complémententation sont traduites par les opérateurs "ET, OU et NON respectivement. Soit A et B deux ensembles flous, dont les fonctions d'appartenance sont $U_a(x)$, $U_b(y)$ respectivement. Les fonctions utilisées pour réaliser les différentes opérations floues de base sont (opérateurs de Zadeh) :

- Intersection (opérateur ET) : $\min(U_a(x), U_b(y))$.
- Union (opérateur OU) : $\max(U_a(x), U_b(y))$.
- Complément (opérateur NON) : $1 - U_a(x)$.

La figure (II-18) représente ces opérateurs graphiquement :

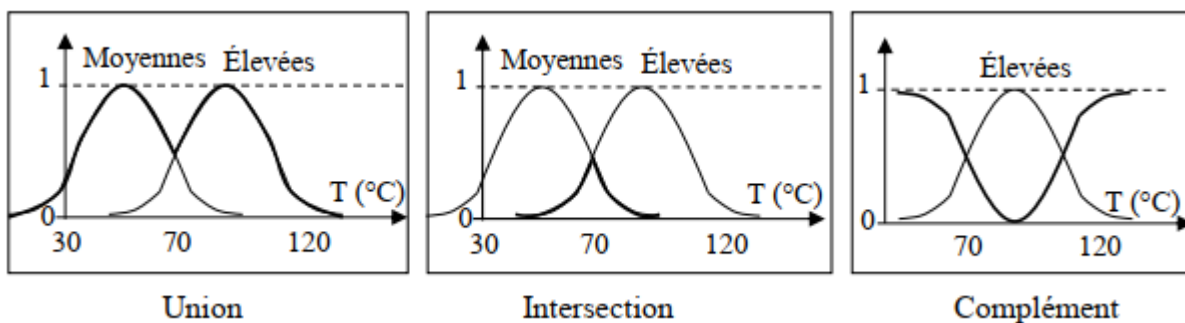


Figure II.18 Opérations sur les ensembles flous [14]

II.3.2.2. Fuzzification et fonctions d'appartenances :

La Fuzzification est la première étape dans le processus de la logique floue. Généralement, elle requiert deux processus : définition des variables linguistiques et détermination du degré d'appartenance des entrées à travers les fonctions d'appartenances utilisées.

Variables linguistiques :

Le concept des variables linguistiques joue un rôle important dans le domaine de la logique floue. Une variable linguistique comme son nom le suggère, est une variable définie à base de mots ou des phrases au lieu des nombres. En effet, la description d'une certaine situation, d'un phénomène ou d'un procédé contient en général des expressions floues comme "quelque, beaucoup, souvent, chaud, froid, rapide, lent, grand, petit ...etc.". Ce genre d'expressions forme ce qu'on appelle des variables linguistiques de la logique floue.

Fonctions d'appartenance :

Un ensemble flou est défini sur l'univers de discours X (plusieurs ensembles floue peuvent être définis sur le même univers de discours) par sa fonction d'appartenance qui correspond à la fonction caractéristique en logique booléenne. La fonction d'appartenance peut avoir plusieurs formes (triangulaire, trapézoïdale, gaussienne, etc.)

Règles floues et processus d'inférence :

Les règles floues traduisent l'expérience et les connaissances d'un opérateur relié à un domaine ou une application données. Elles sont représentées par des séquences de la forme : SI (condition) ALORS (conclusion), laissant ainsi l'algorithme de décider de l'action à prendre en termes des informations disponibles [11].

II.3.2.3. Défuzzification :

Le mécanisme d'inférence le plus couramment utilisé est celui dit « de Mamdani ». Dans ce cas, la conclusion est toujours une variable floue nécessitant ainsi passage au domaine réel via le processus de défuzzification. Les méthodes de défuzzification les plus couramment utilisées sont :

- méthode de la moyenne des maximums ;
- méthode du maximum et la méthode du centre de gravité

A. Méthode de Maximum :

Cette méthode génère une commande qui représente l'abscisse de la valeur maximale de la fonction d'appartenance résultante issue de l'inférence floue. Cette méthode est simple, rapide et facile, mais

présente certains inconvénients lorsqu'il existe plusieurs valeurs pour lesquelles la fonction d'appartenance résultante est maximale et ne tient pas compte de l'effet de toutes les règles.

B. Méthode de la moyenne des maximums :

Cette méthode génère une commande qui représente la valeur moyenne de tous les maximums, dans le cas où il existe plusieurs valeurs pour lesquelles la fonction d'appartenance résultante est maximale.

C. Méthode du centre de gravité :

Cette méthode génère une commande égale à l'abscisse du centre de gravité de la fonction d'appartenance résultante issue de l'inférence floue.

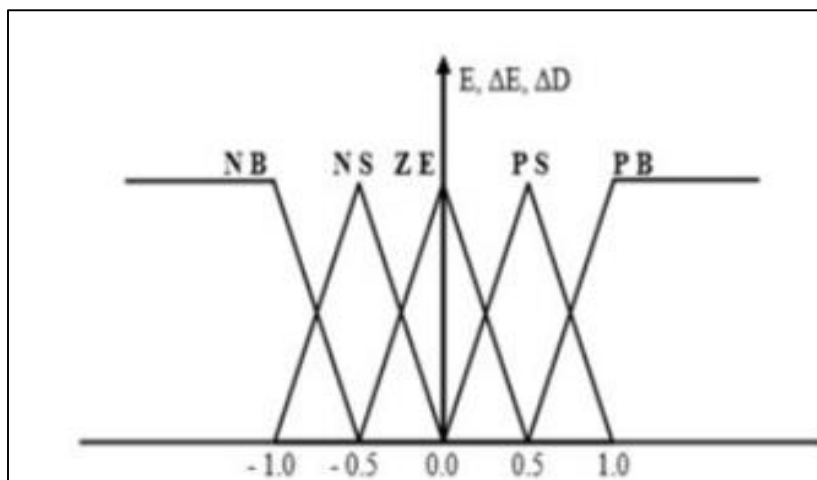


Figure (II. 19) : Structure de base de commande floue [14]

E \ ΔE	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	ZE	ZE	NB	NB	NB
NS	ZE	ZE	NS	NS	NS
ZE	NS	ZE	ZE	ZE	PS
PS	PS	PS	PS	ZE	ZE
PB	PB	PB	PB	ZE	ZE

Tableau II.1 exemple d'une table de vérité de commande logique floue [14]

II.3.3 Réseaux de neurones artificiels (ANN) :

L'idée de base d'ANN est de faire un modèle artificiel du cerveau humain Afin de produire un ordinateur qui peut prendre des décisions comme un être humain.

Les réseaux de neurones sont composés généralement de trois couches différenciées : Couche d'entrée (Input layer), Couche cachée (Hidden layer), Couche de sortie (Output layer). Comme le montre la figure (II.19) [14].

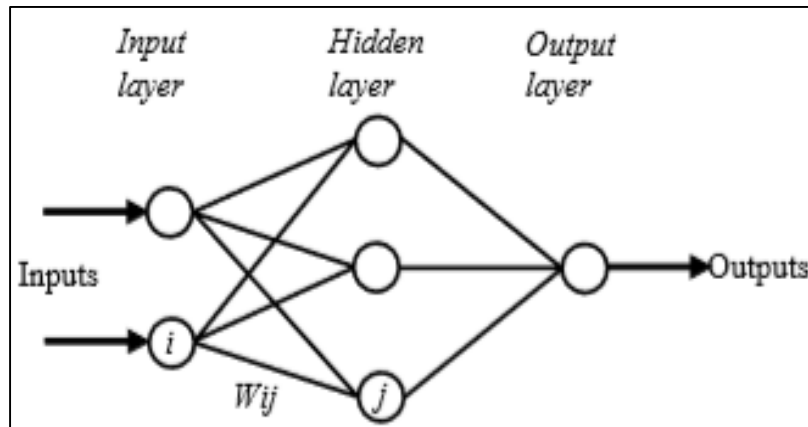


Figure (II. 20) : Exemple d'un réseau de neurones [15].

Le nombre de nœuds au niveau des différentes couches est variable en fonction du degré d'apprentissage souhaité et de la précision de la commande souhaitée. Pour une commande MPPT, les variables d'entrées peuvent donc être les paramètres caractéristiques d'un GPV (VCO, ICC) associées ou non à des données atmosphériques. La sortie est généralement un ou plusieurs signaux de référence comprenant au moins le rapport cyclique permettant de commander le convertisseur pour fonctionner le plus souvent possible au MPP.

- La qualité de la recherche du MPP dépend essentiellement de [15].
- L'algorithme utilisé dans la couche cachée et de la construction proprement dite du réseau.

Le choix de la valeur du poids W_{ij} : Pour identifier avec précision les différents PPM éventuels, les poids W_{ij} doivent être initialement déterminés avec le plus de soin possible à travers des procédures d'apprentissage laborieuses et spécifiques à chaque GPV, chaque site d'implantation et chaque type de charge. De plus, cet apprentissage doit être révisé régulièrement (typiquement chaque mois) pour mettre à jour les relations entre les entrées et les sorties du réseau. Ce qui rend cette commande fastidieuse en entretien et en maintenance.

II.4 Conclusion :

Dans ce deuxième chapitre, nous avons décrit les caractéristiques d'un module photovoltaïque. Ensuite, nous avons rappelé les principes des techniques MPPT les plus populaires, à la fin de cette partie, ont conclu que :

On utilise les techniques MPPT afin de tirer le maximum de puissance du système photovoltaïque malgré les variations d'ensoleillement et de température.



Chapitre III :
Simulation d'un générateur
PV commandé par les
MPPT

III.1 Introduction :

Le capteur photovoltaïque est décrit par ses caractéristiques courant tension ($I=f(V)$) figure (III-1) ; Cette modélisation est utilisée généralement pour approximer la sortie ducapteur (tension, courant) en fonction de deux entrées qui sont la température et l'éclairement reçu par le capteur figure (III-2). Le courant généré par le module photovoltaïque à unetension donnée dépend uniquement de l'éclairement et de la température de la cellule.

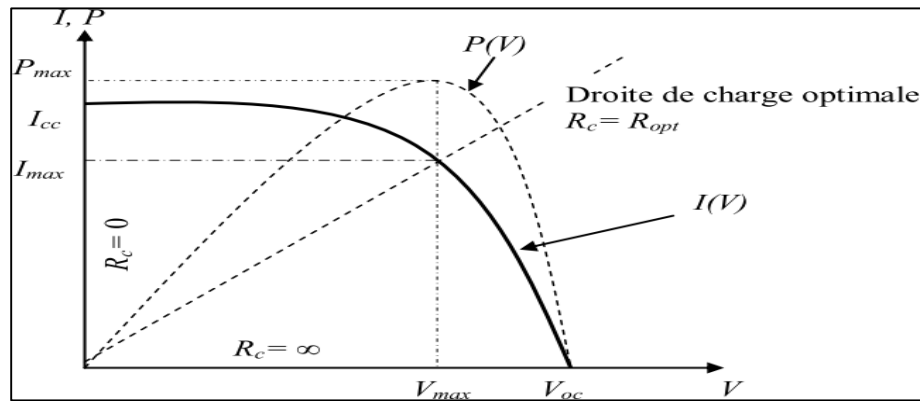


Figure (III-1) : Caractéristiques type d'un générateur photovoltaïque

La puissance fournie par la cellule solaire et son rendement, dépendent du matériau utilisé et de la technologie de fabrication, et des paramètres extérieurs (température, spectre etpuissance du rayonnement incident, circuit électrique extérieur connecté à la cellule, etc.) afin d'optimiser cette puissance, on a utilisé des commandes MPPT qu'on détaillera par la suite dece chapitre.

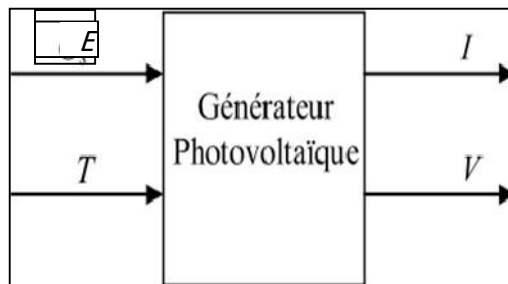


Figure (III-2) : Schéma bloc de générateur photovoltaïque

III.2 Modélisation du panneau photovoltaïque :

III.2.1 Modèle d'une cellule solaire idéale :

La photo pile est un composant semi-conducteur qui délivre un courant en excitant ce dernier par des photons, donc en première approximation on a une source de courant, qui est court-circuitée par une diode (car la photopile est une jonction PN) [30].

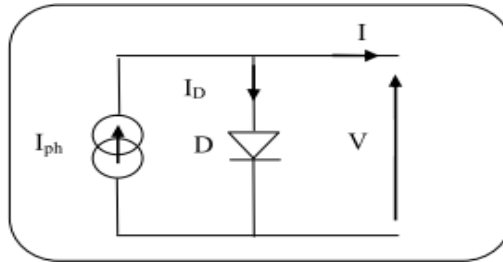


Figure (III-3) : Schéma idéale d'une cellule photovoltaïque

$$I_{pv} = I_{ph} + I_d + I_{sh} \quad (III.1)$$

$$I_{pv} = I_{pv} \left(e^{\frac{V_{pv}}{V_t}} - 1 \right) \quad (III.2)$$

Modèle d'une cellule solaire :

Pour trouver le modèle du générateur photovoltaïque, il faut tout d'abord retrouver le circuit électrique équivalent à cette source. De nombreux modèles mathématiques, ont été développés pour représenter leur comportement très fortement non linéaire qui résulte de celui des jonctions semi-conductrices qui sont à la base de leurs réalisations. Il existe deux modèles du GPV:

- Modèle à une diode;
- Modèle à deux diodes.

Dans ce chapitre, on s'intéressera au modèle à une diode où nous présentons plus de détails par la suite.

II.3 Modélisation du panneau photovoltaïque étudié :

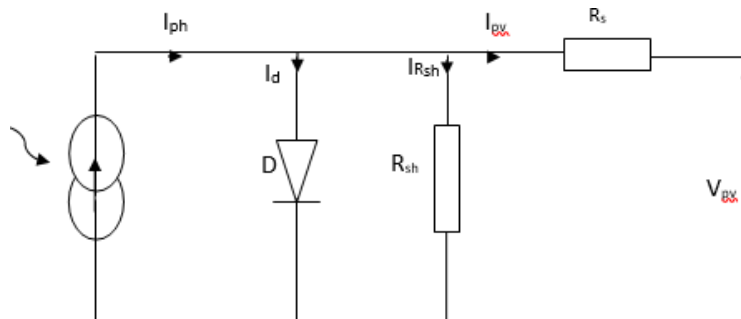


Figure (III-4) : Schéma électrique équivalent du modèle à une diode.

A partir de la figure (III-4) le courant généré par le générateur photovoltaïque est donné par la loi de KIRCHHOFF. (Illustrer dans le chapitre 1)

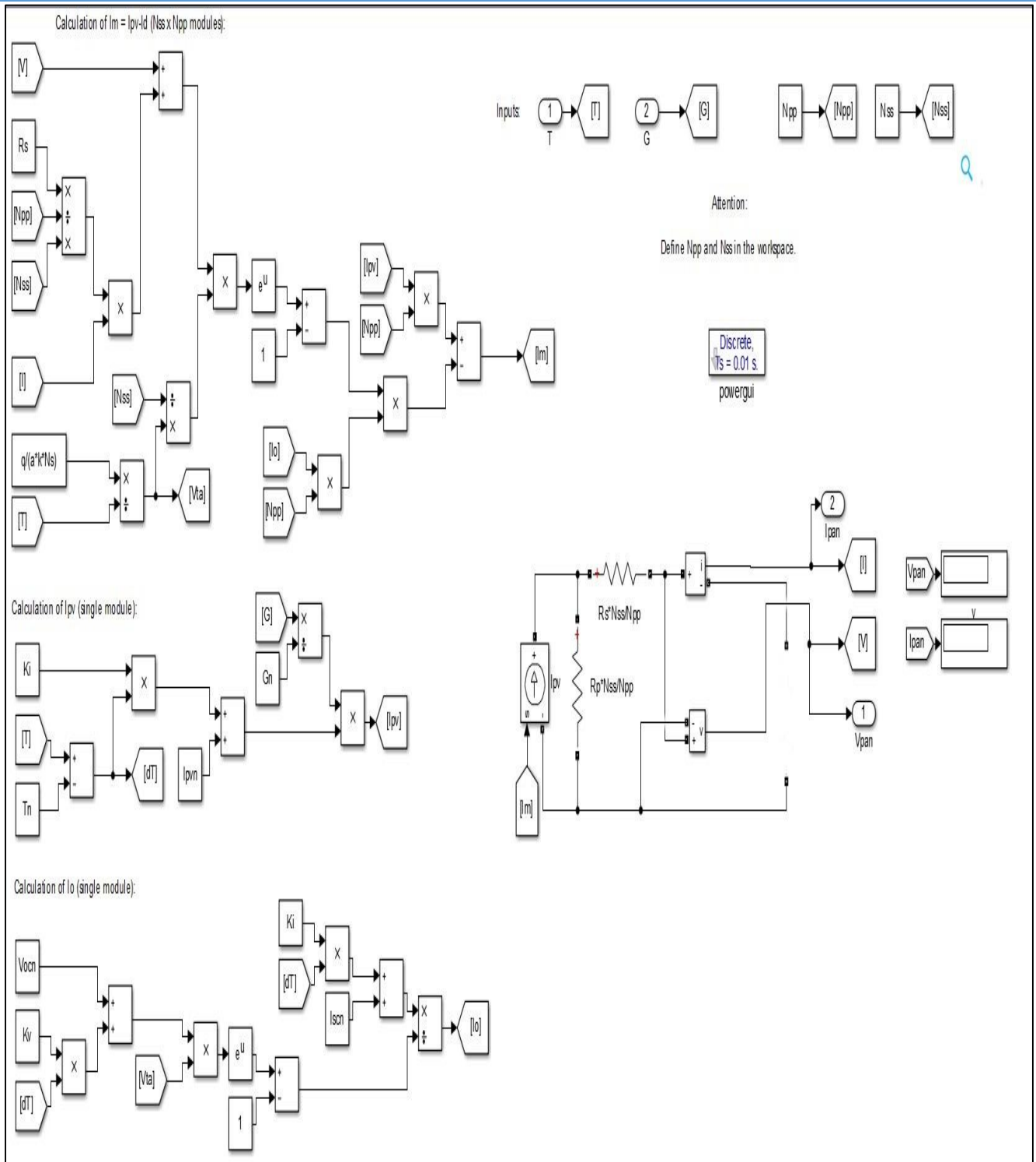


Figure (III-5) : Schéma bloc du modèle d'une seule diode du GPV

Dans notre travail, nous avons utilisé les paramètres du panneau **ET Solar Industry ET-P660250WW**.

Figure (III-6) : Caractéristiques du panneau Solar Industry ET-P660250WW

Le tableau (III-1) donne les paramètres électriques suivants :

Paramètres	Valeurs
Puissance max du panneau P_m	249.9794 W
Puissance nominale P_n	249,898 W
Courant au point de puissance max I_m	8.14A
Tension au point de puissance max V_m	30.71 V
Courant de court-circuit I_{cc}	8.8A
Tension en circuit ouvert V_{oc}	37.44 V
Coefficient d'incrémentation du courant $I_{cc} (\alpha_{cc})$	0.04 mA/°C
Coefficient d'incrémentation de la tension $V_{oc} (\beta_{oc})$	- 0.32999 V/°C
Nombre de cellules en série N_S	60

Tableau (III-1) : Paramètres électriques du panneau ET Solar Industry ET-P660250WW

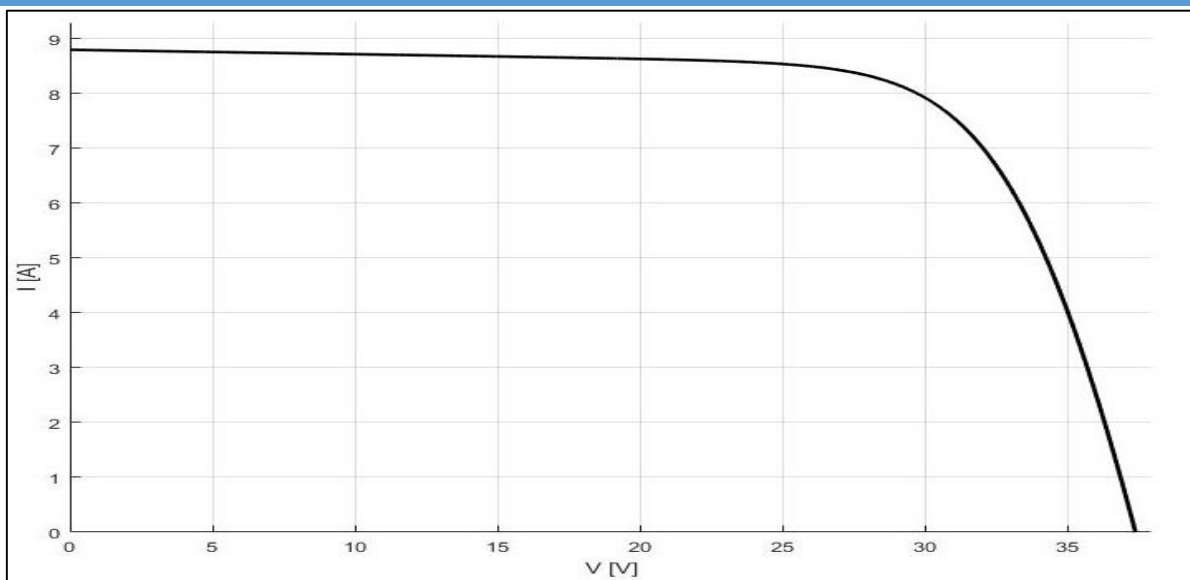


Figure (III-7) : *Caractéristique I-V du panneau*

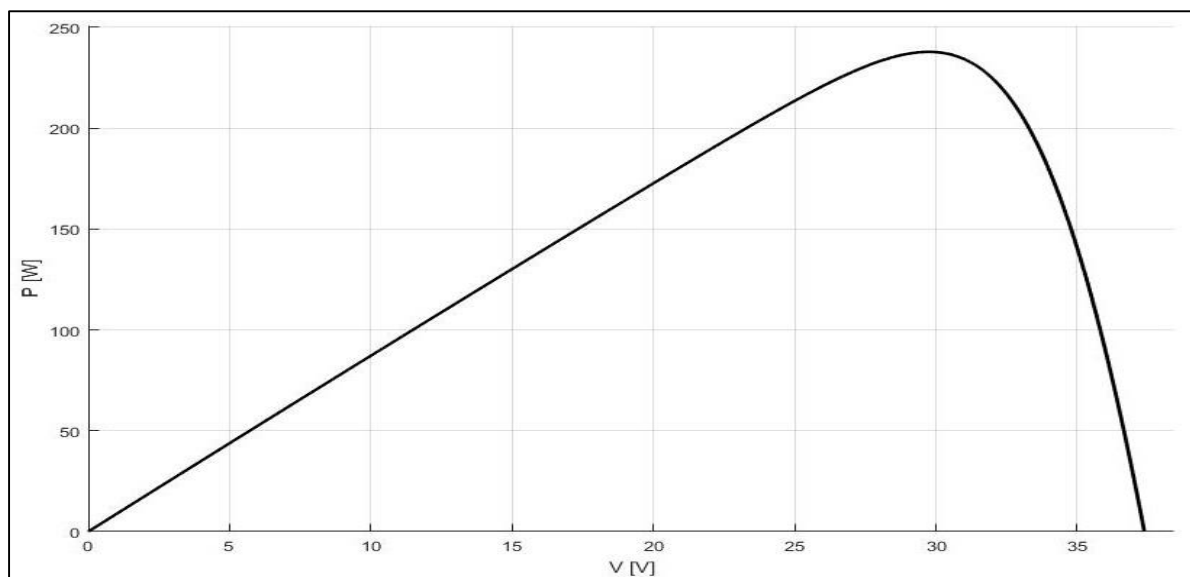


Figure (III-8) *Caractéristique P-V du panneau*

III.4 Optimisation de la puissance par les méthodes MPPT :

Dans notre travail nous allons basée sur deux méthodes de la maximisation de puissance l'une est la méthode conventionnelle P&O et l'autre est la méthode de l'intelligence artificielle logique floue.

III.4.1 Simulation de système PV par la méthode perturbation et observation :

La méthode de perturbation et observation a été appliqué sur deux types de convertisseur DC/DC différents hacheur BOOST et BUCK pour faire la comparaison.

A. Hacheur BOOST :

Dans le premier temps nous utilisons le convertisseur BOOST commandé par P&O figure III.9.

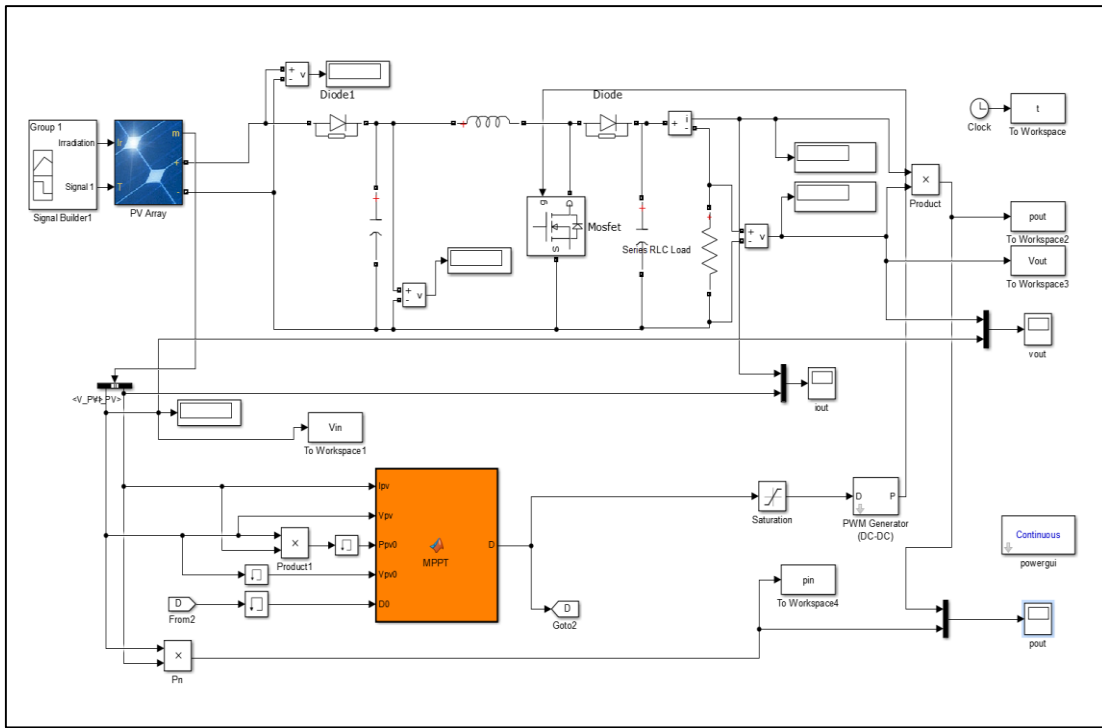


Figure (III-9) : Schéma bloc du système PV avec P&O

Les figures suivantes représentent la variation de tension et de puissance en fonction du temps du montage BOOST commandé par la MPPT conventionnelle P&O soient dans les conditions de teste standard STC, au dans des conditions variables.

1. Simulation de système PV au conditions STC (25°C, 1000W/m²) :

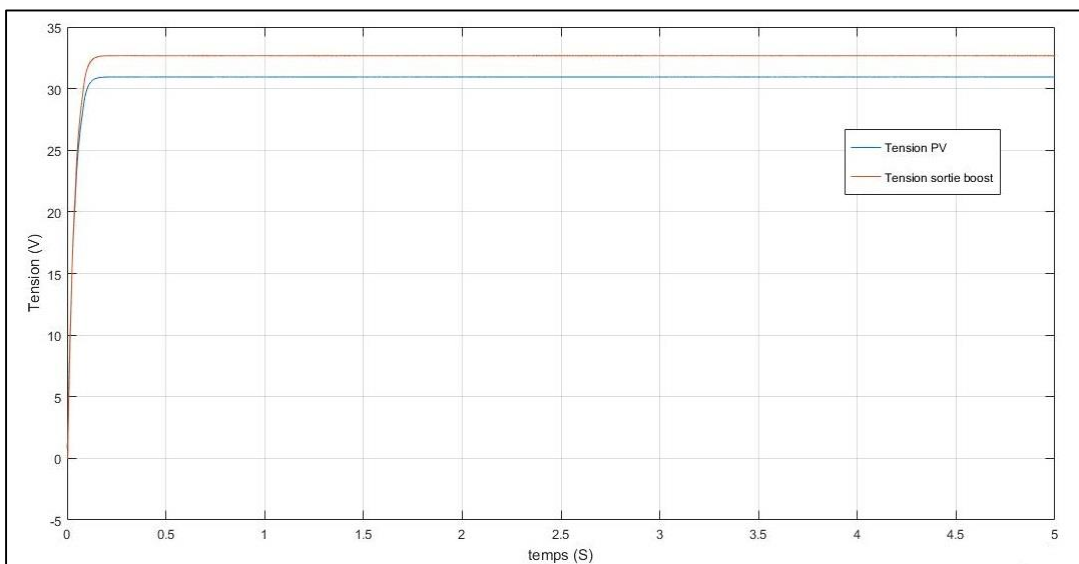


Figure (III-10) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie hacheur BOOST

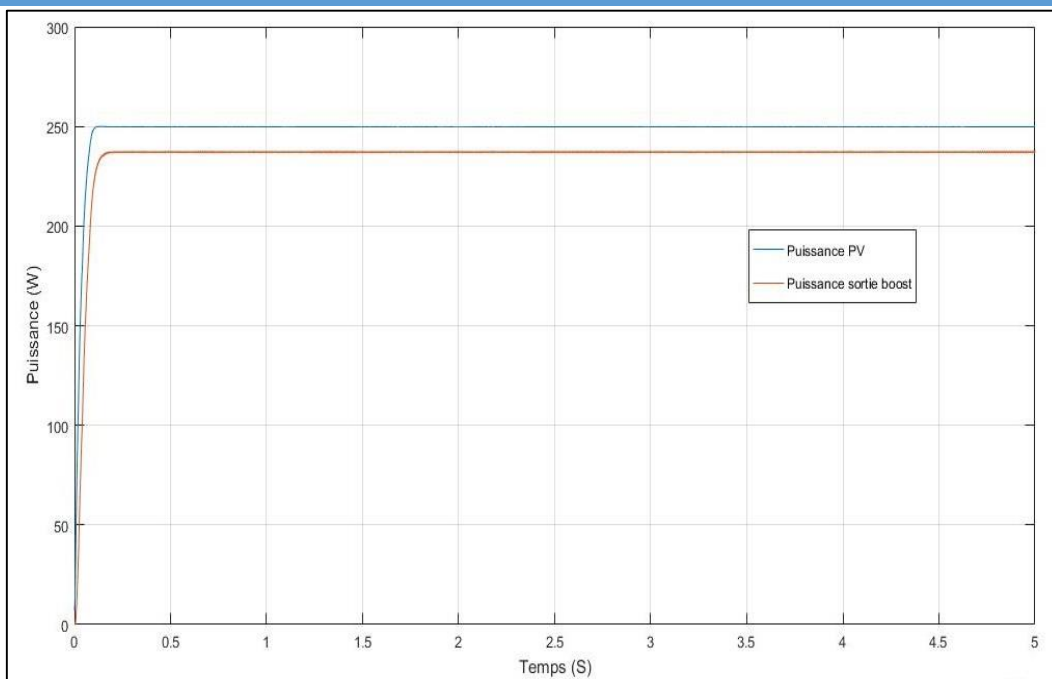


Figure (III-11) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie BOOST

D'après les résultats on observe que la puissance de sortie de BOOST suit la puissance de GPV c'est que traduit que notre P&O fonctionne correctement.

2. Simulation de système PV au conditions variables :

Cette figure représente la variation d'irradiation et de la température qu'on choisit le long de notre étude.

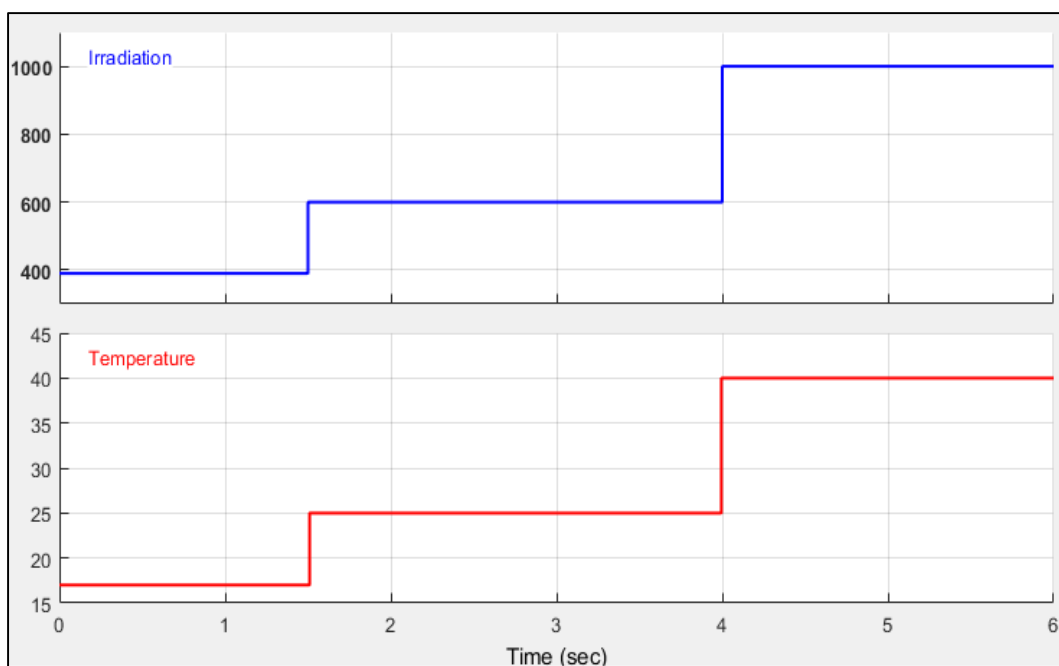


Figure (III-12) : Variation de température et irradiation

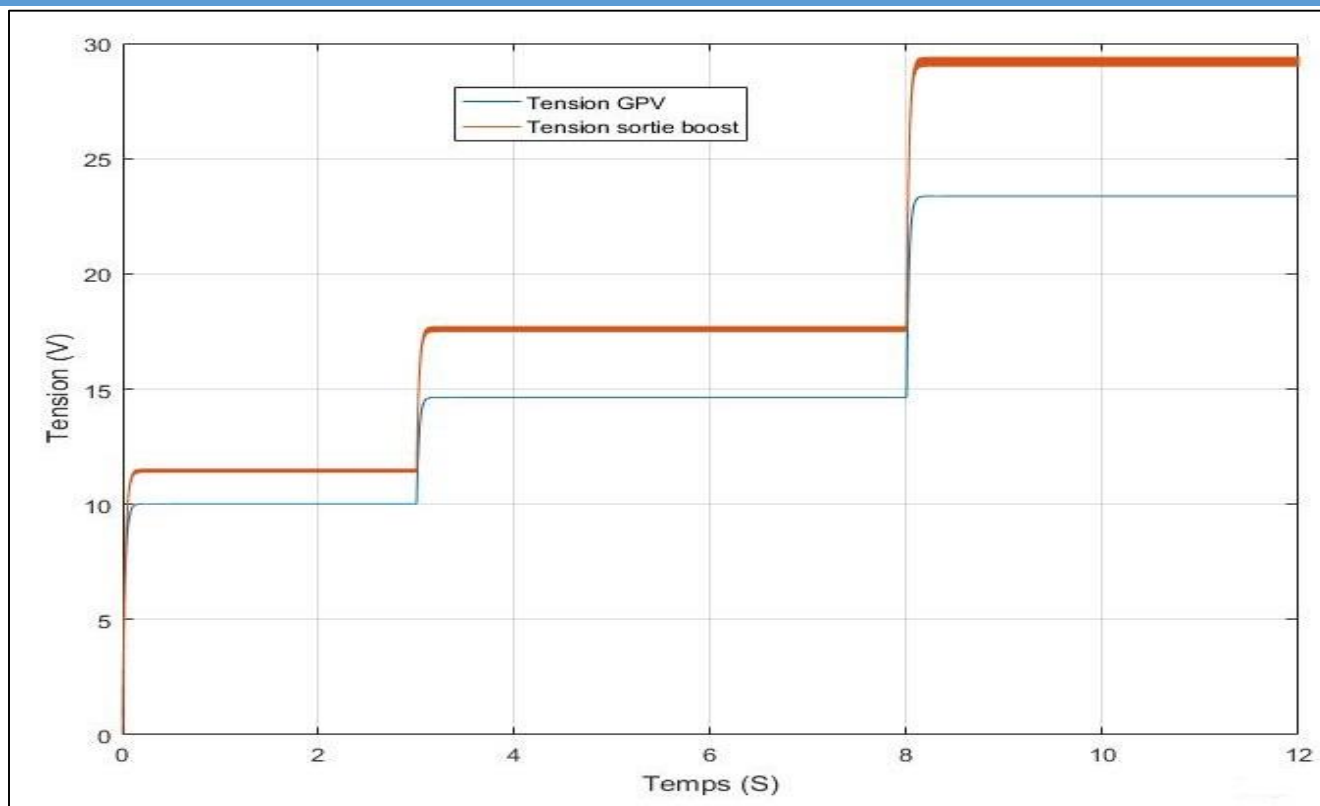


Figure (III-13) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie hacheur BOOST

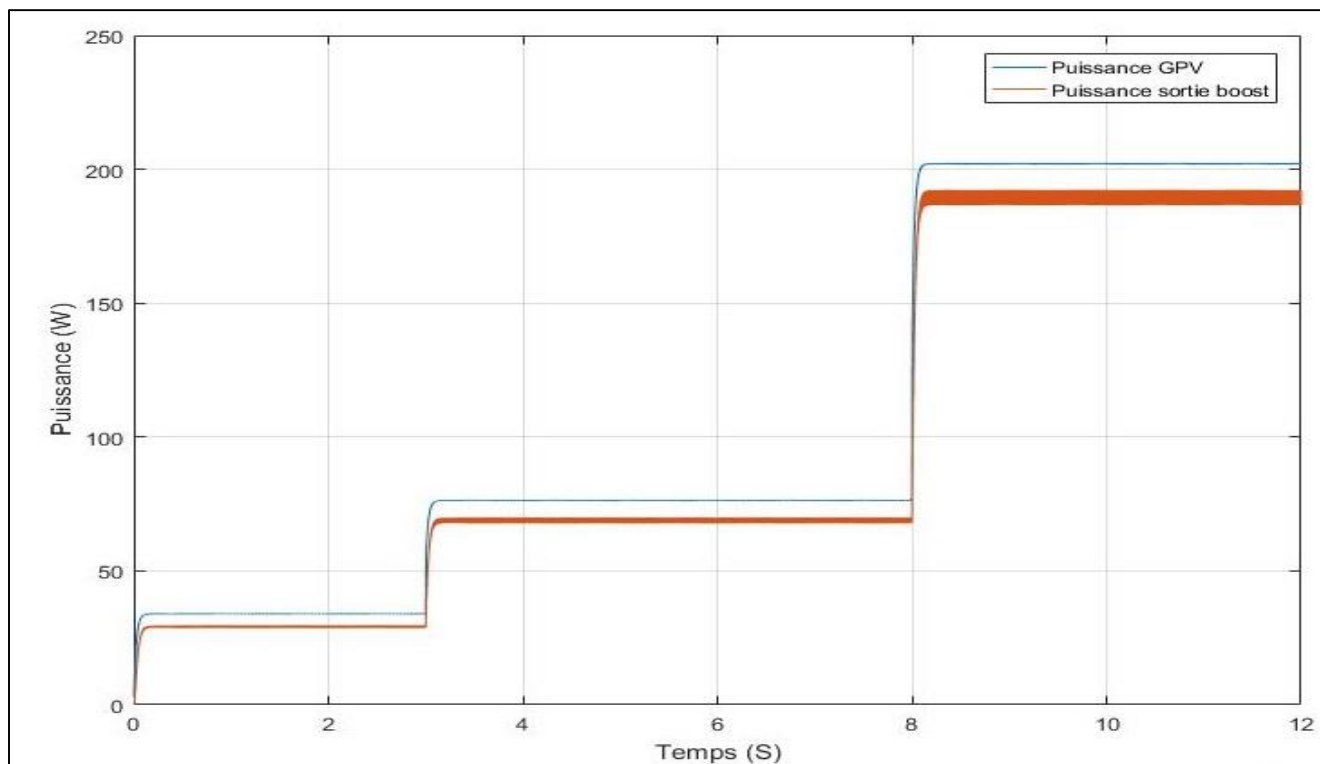


Figure (III-14) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie BOOST

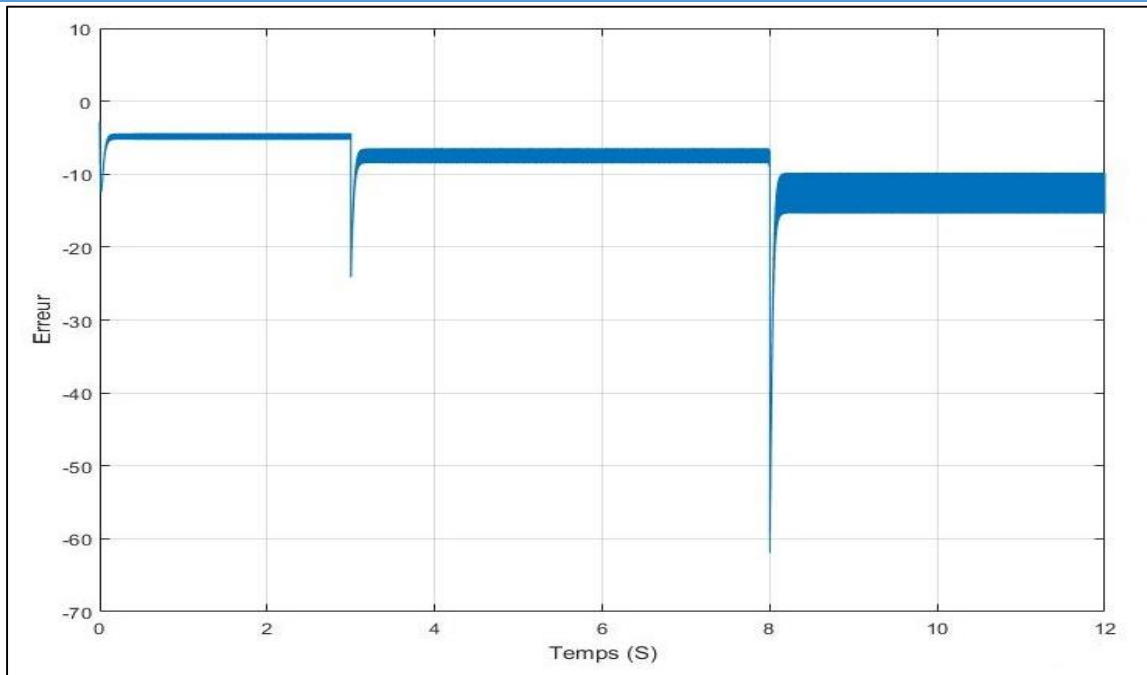


Figure (III-15) : Allure d'Erreur de puissance

On remarque que la tension de la sortie est augmenté par rapport la tension d'entrée ce qui justifie le principe de fonctionnement survolteur adapté au convertisseur DC/DC BOOST (Convertisseur élévateur de tension). Même aussi, et dans la variation du condition STC, ont vu que la puissance de sorite est suivi la puissance du panneau ce qui montre que notre commande MPPT se fonctionne.

B. Hacheur BUCK :

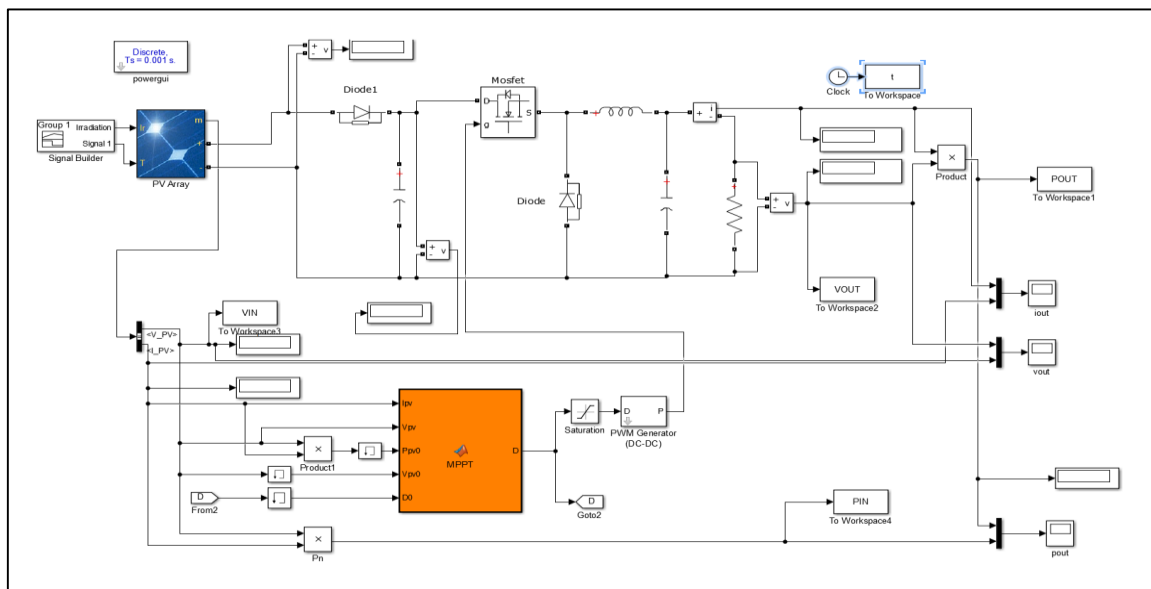


Figure (III-16) : Schéma bloc du PV avec BUCK commandé par P&O

Les figures suivantes représentent la variation de tension et de puissance en fonction du temps du montage Buck commandé par la MPPT conventionnelle P&O soient dans les conditions STC, au dans des conditions variables.

1. Simulation de système PV au conditions STC (25°C , $1000\text{W}/\text{m}^2$) :

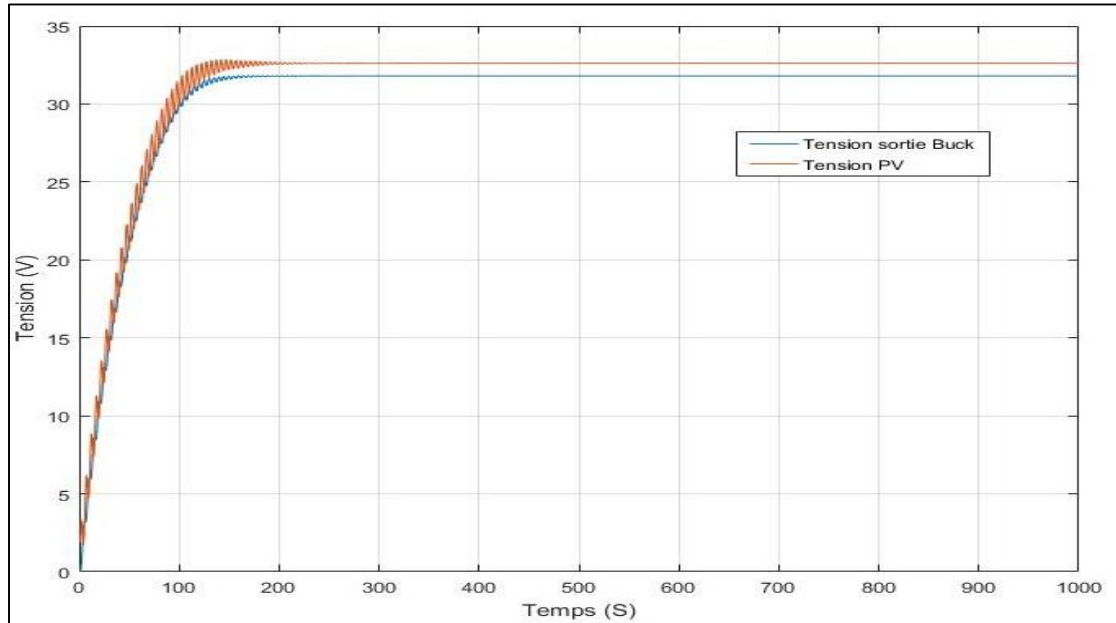


Figure (III-17) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie hacheur BUCK

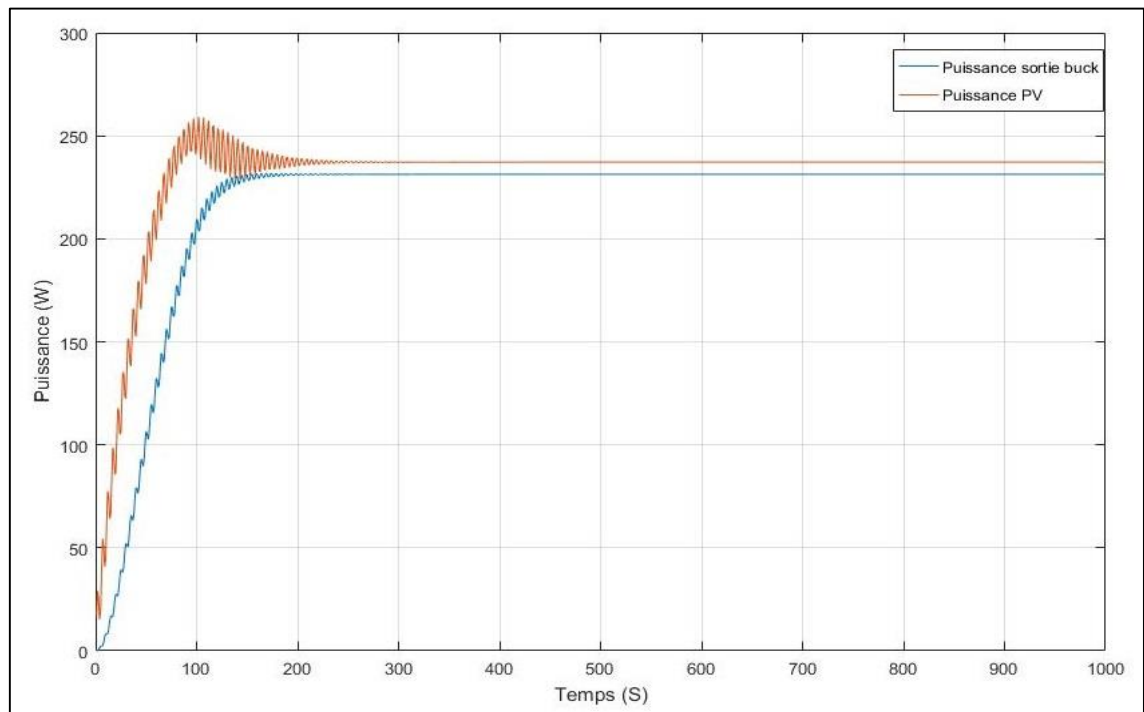


Figure (III-18) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie hacheur BUCK

2. Simulation de système PV au conditions variables :

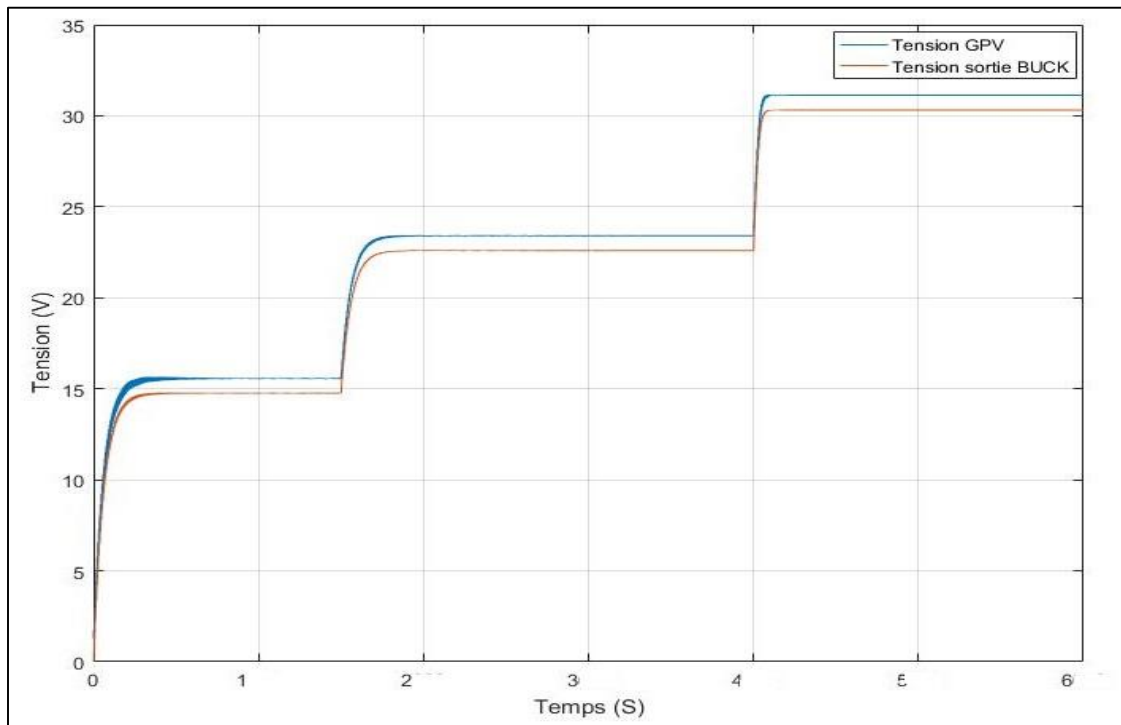


Figure (III-19) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie hacheur BUCK

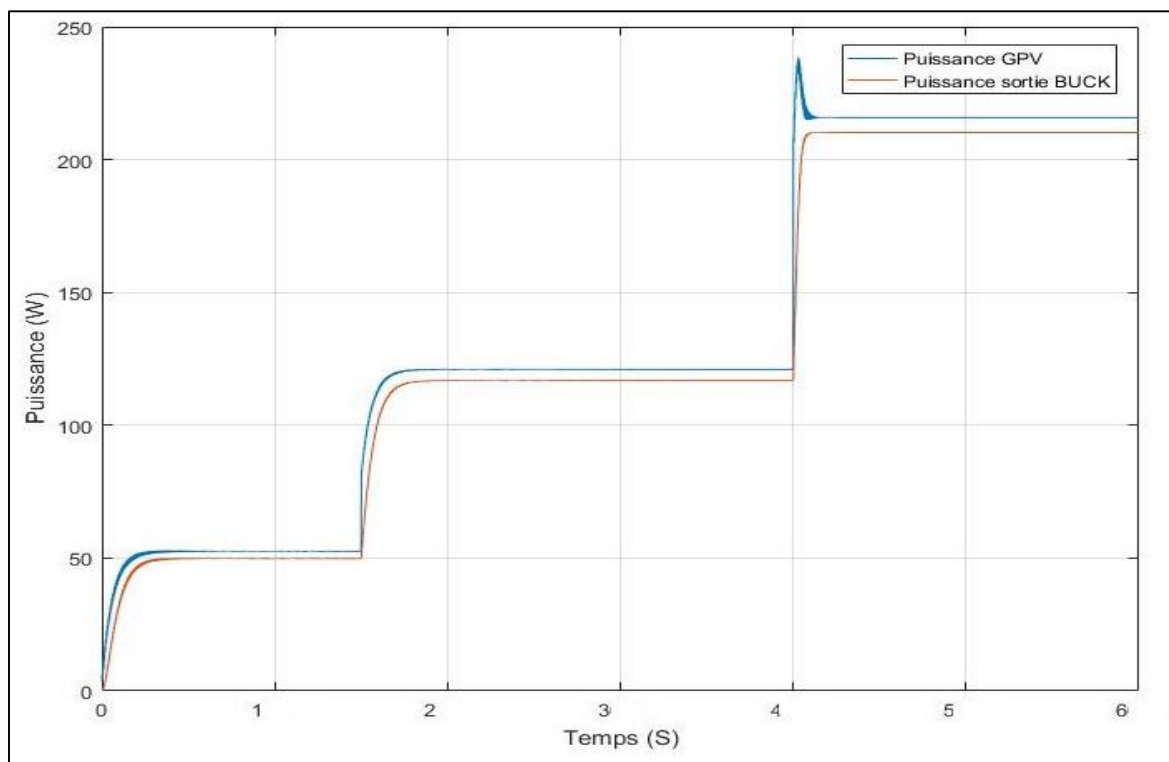


Figure (III-20) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie hacheur BUCK

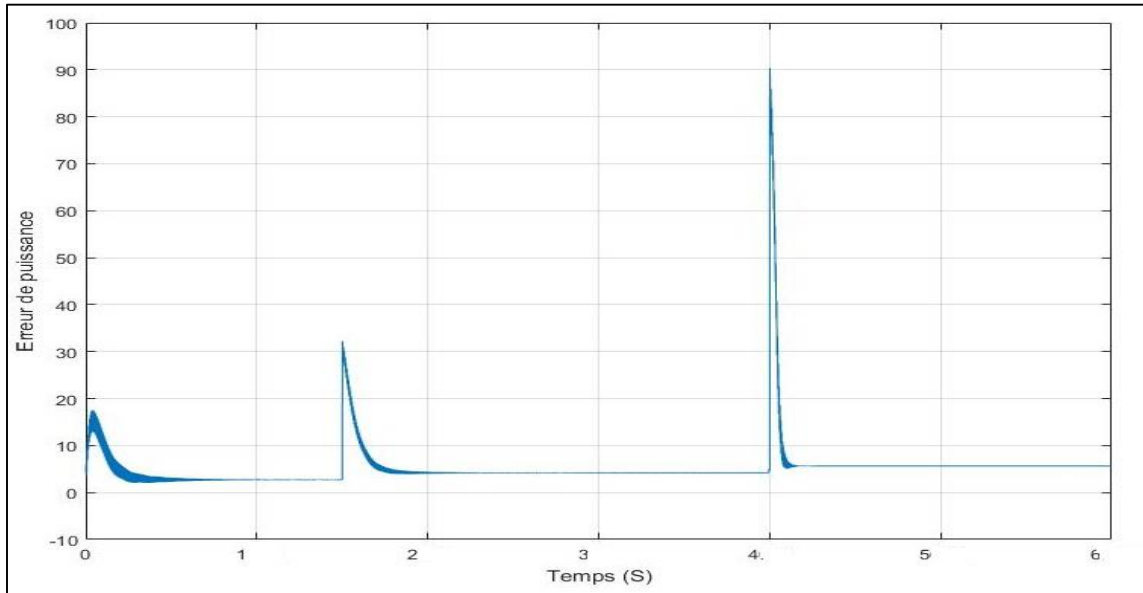


Figure (III-21) : Allure d'Erreur de la puissance

On remarque dans les figures précédentes qu'une diminution légère de la tension de sortie apparaît due au fonctionnement connu de DC/DC BUCK (dévolteur), d'autre façon on a vu que la puissance et même la tension aussi suivent la variation de l'irradiation et la température ; c'est aussi ce qui montre le bon fonctionnement de la MPPT P&O.

III.4.2 Simulation de système PV par la méthode de l'intelligence artificielle logique floue :

La méthode de l'intelligence artificielle logique floue a été appliquée sur deux types de convertisseurs DC/DC différents : le hacheur BOOST et le BUCK pour faire la comparaison.

A. Hacheur BOOST :

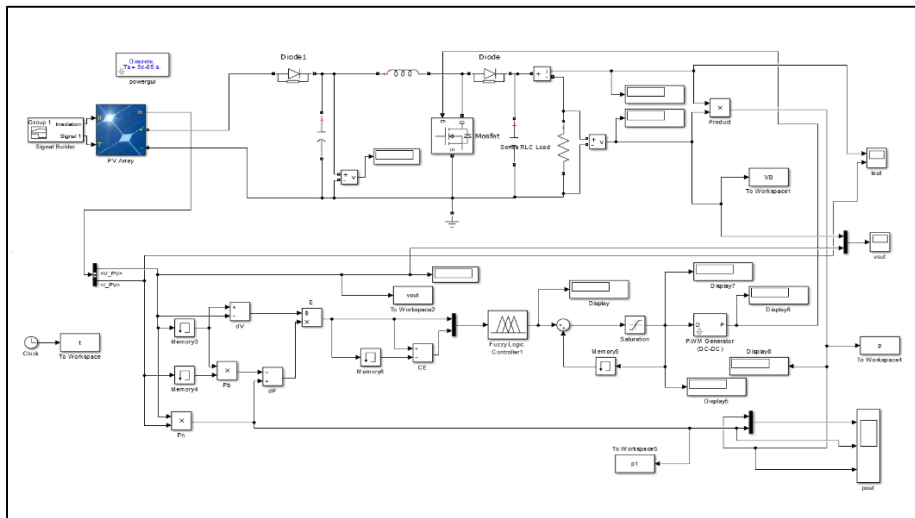


Figure (III-w22) : Schéma bloc du PV avec BOOST commandé par FLC

1. Simulation de système PV au conditions STC (25°C, 1000W/m²) :

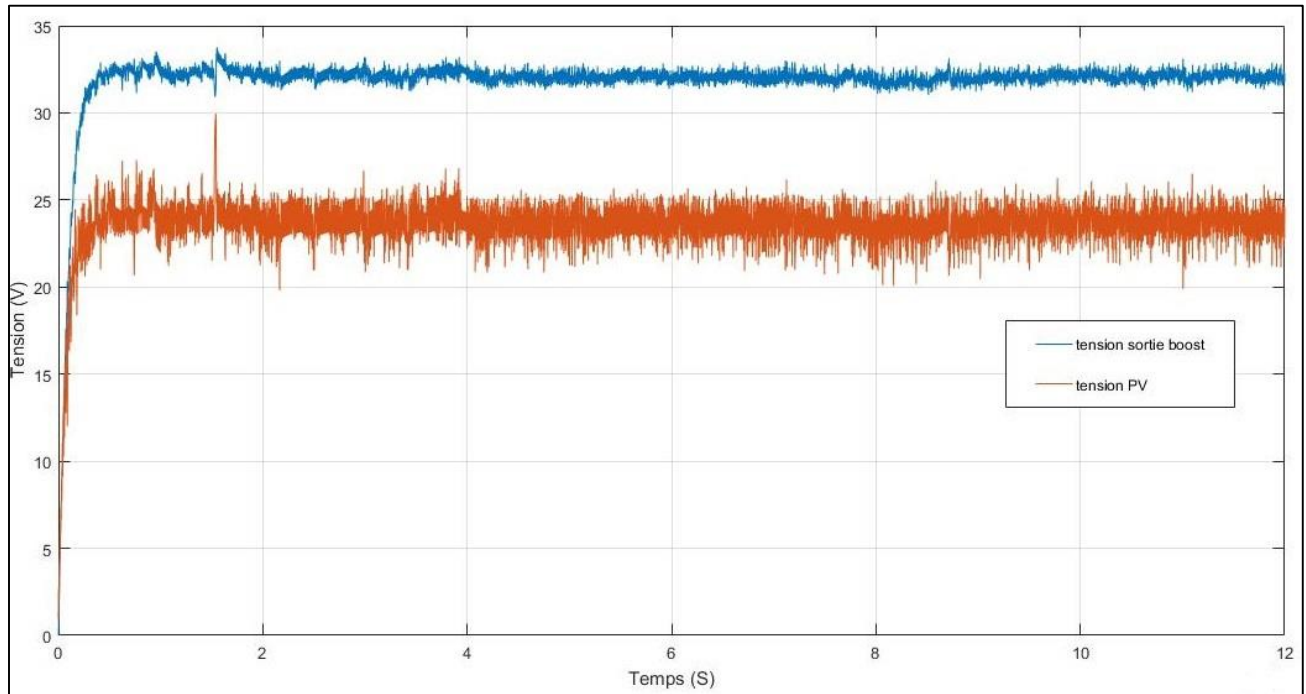


Figure (III-23) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie hacheur BOOST

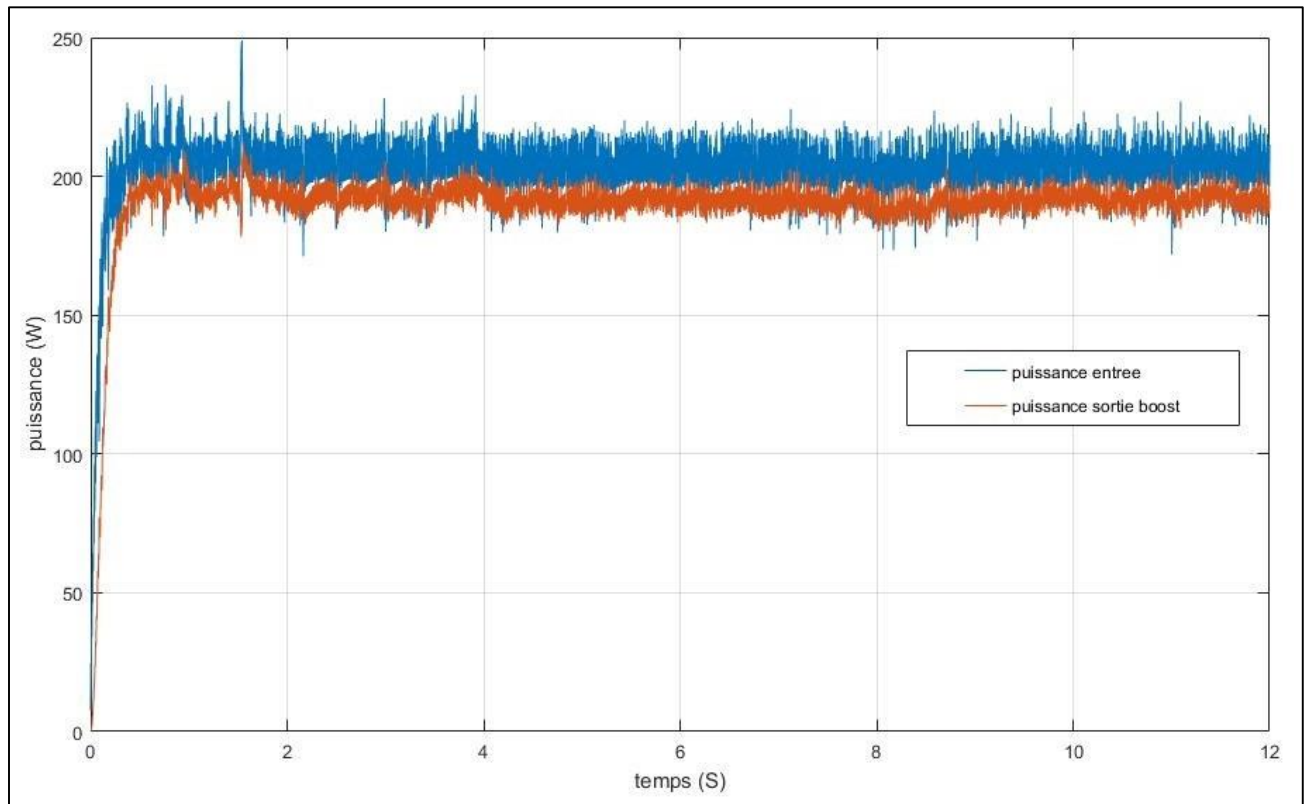


Figure (III-24) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie hacheur BOOST

2. Simulation de système PV au conditions variables :

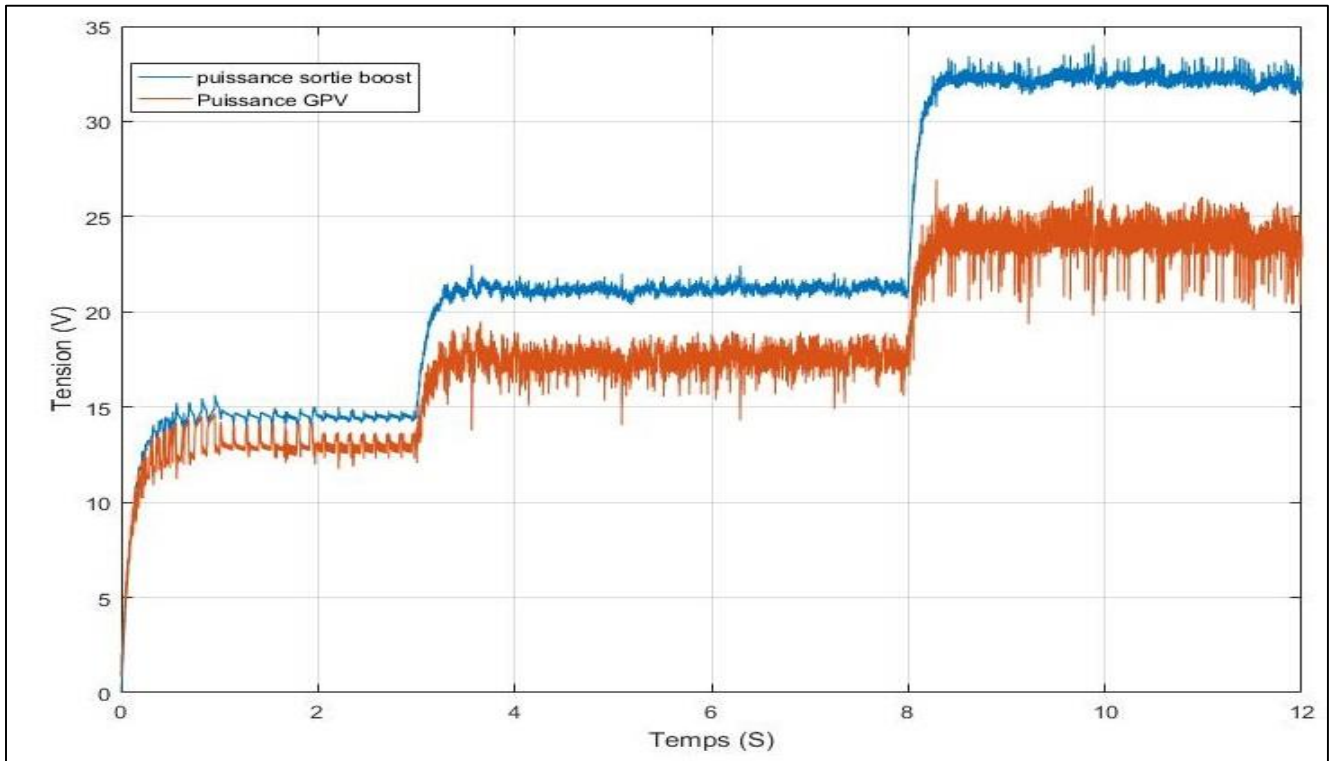


Figure (III-25) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie hacheur BOOST

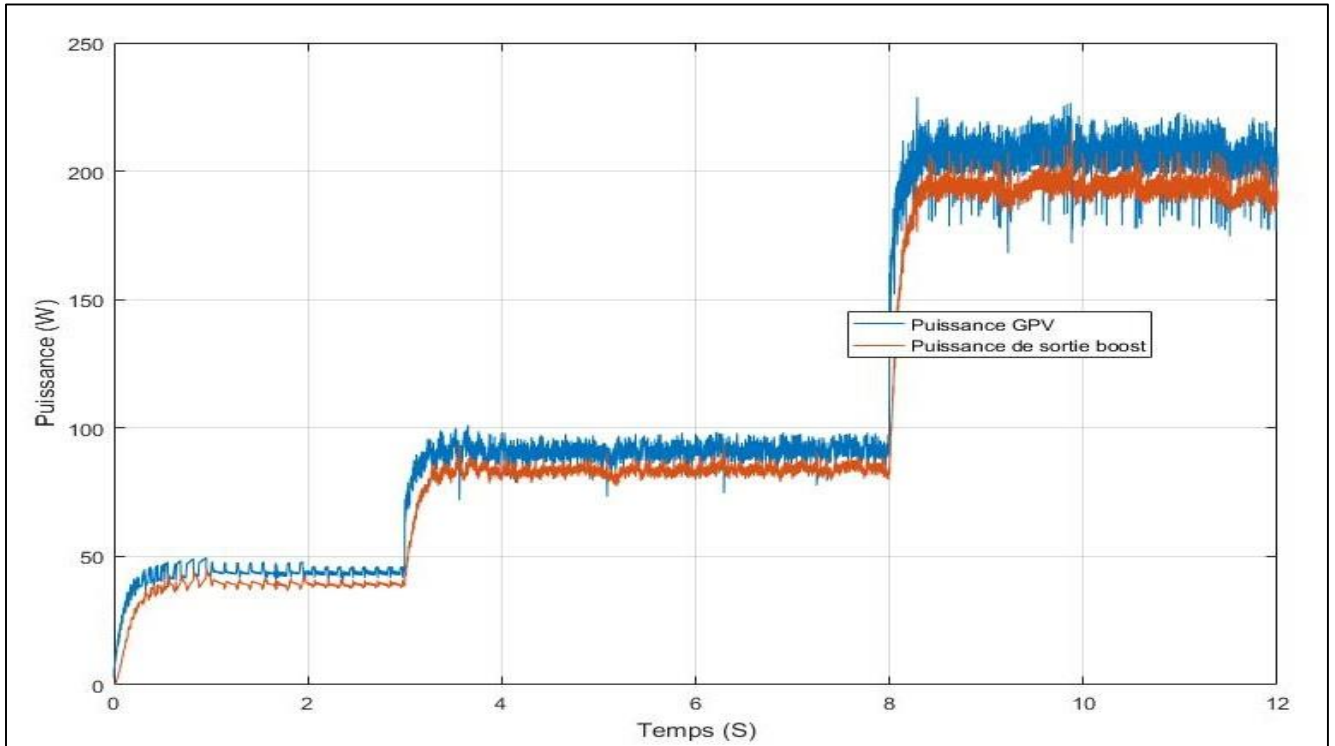


Figure (III-26) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie hacheur BOOST

Chapitre III: Simulation et Simulation d'un générateur PV commandé par les MPPT

Après la simulation ont vu que le montage du GPV avec le convertisseur BOOST commandé par la MPPT (Logique Floue) augmente la tension parfaitement et ont vu que la MPPT suivre le point max de puissance autour la variation des conditions, mais on remarque de oscillations durant le temps de simulation ce qui influe sur la stabilité du système.

B. Hacheur BUCK :

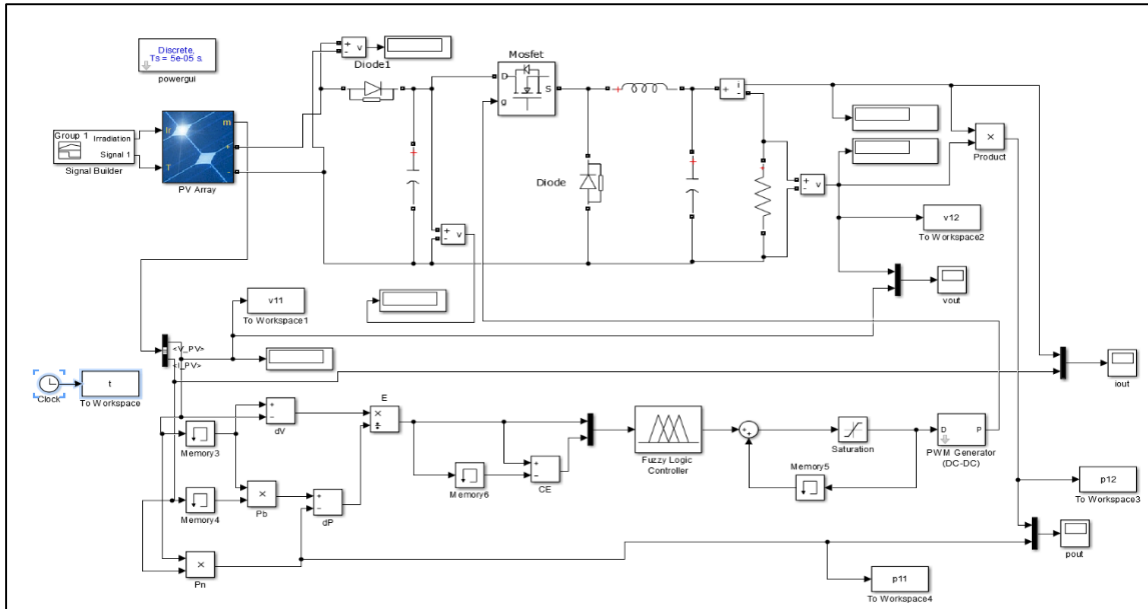


Figure (III-27) : Schéma bloc du PV avec BUCK commandé par FLC

1. Simulation de système PV au conditions STC (25°C, 1000W/m²) :

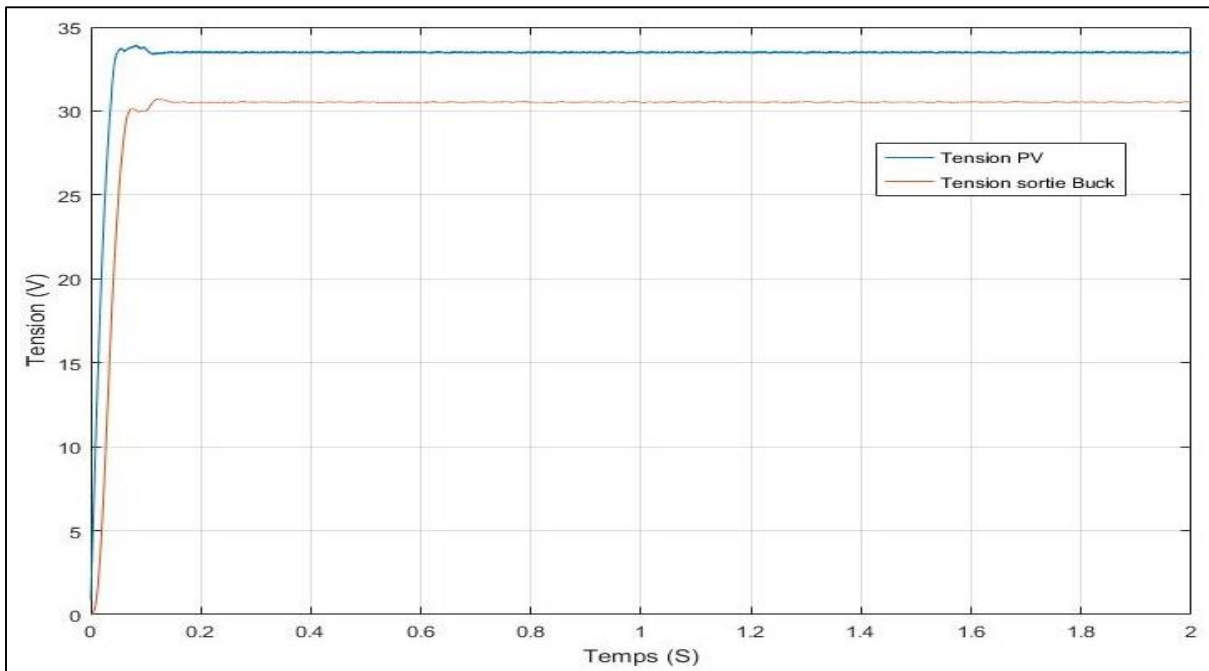


Figure (III-28) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie DC/DC BUCK

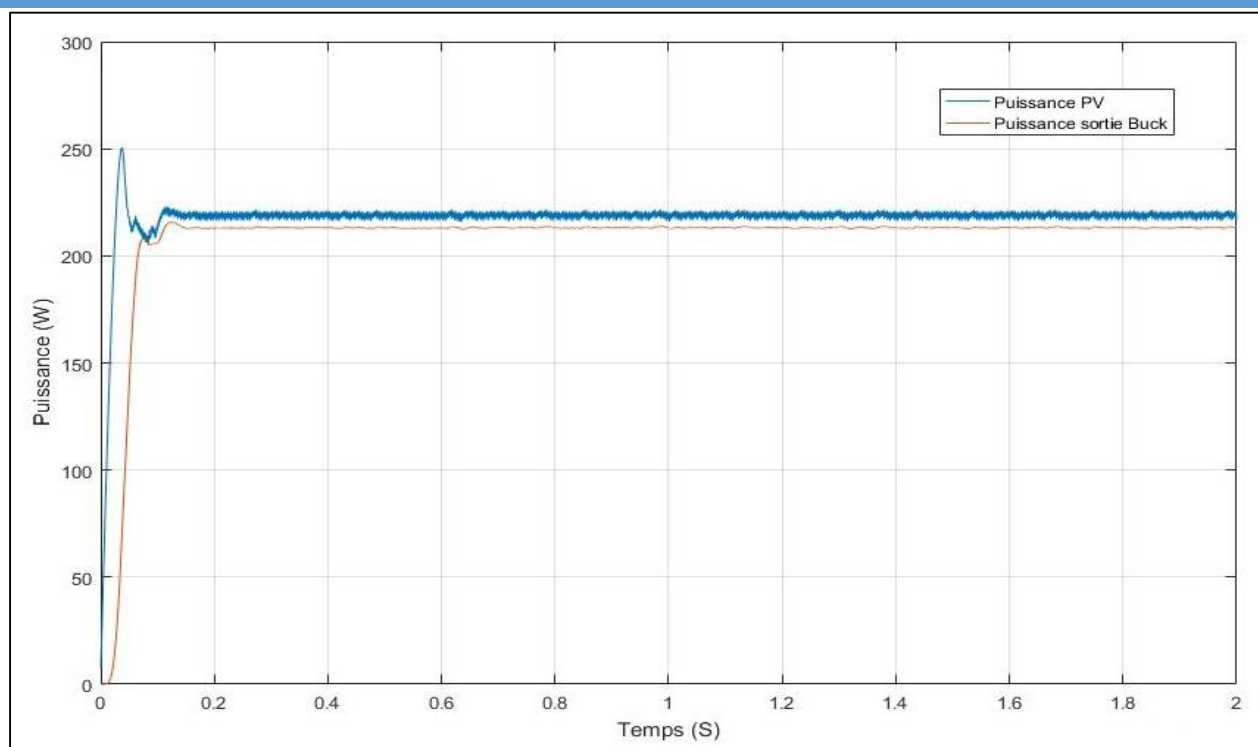


Figure (III-29) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie hacheur BUCK

2. Simulation de système PV au conditions variables :

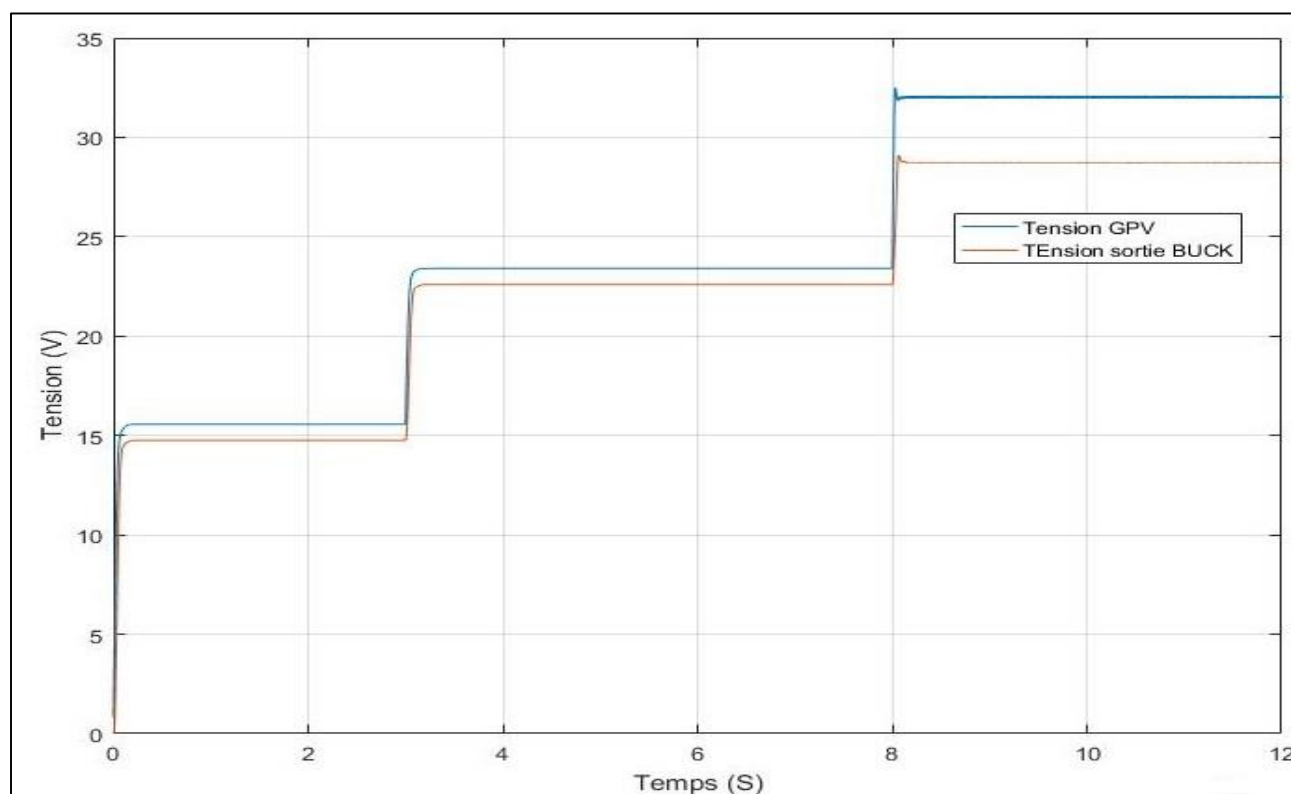


Figure (III-30) : Allure de Tension du GPV avec la tension de sortie DC/DC BUCK

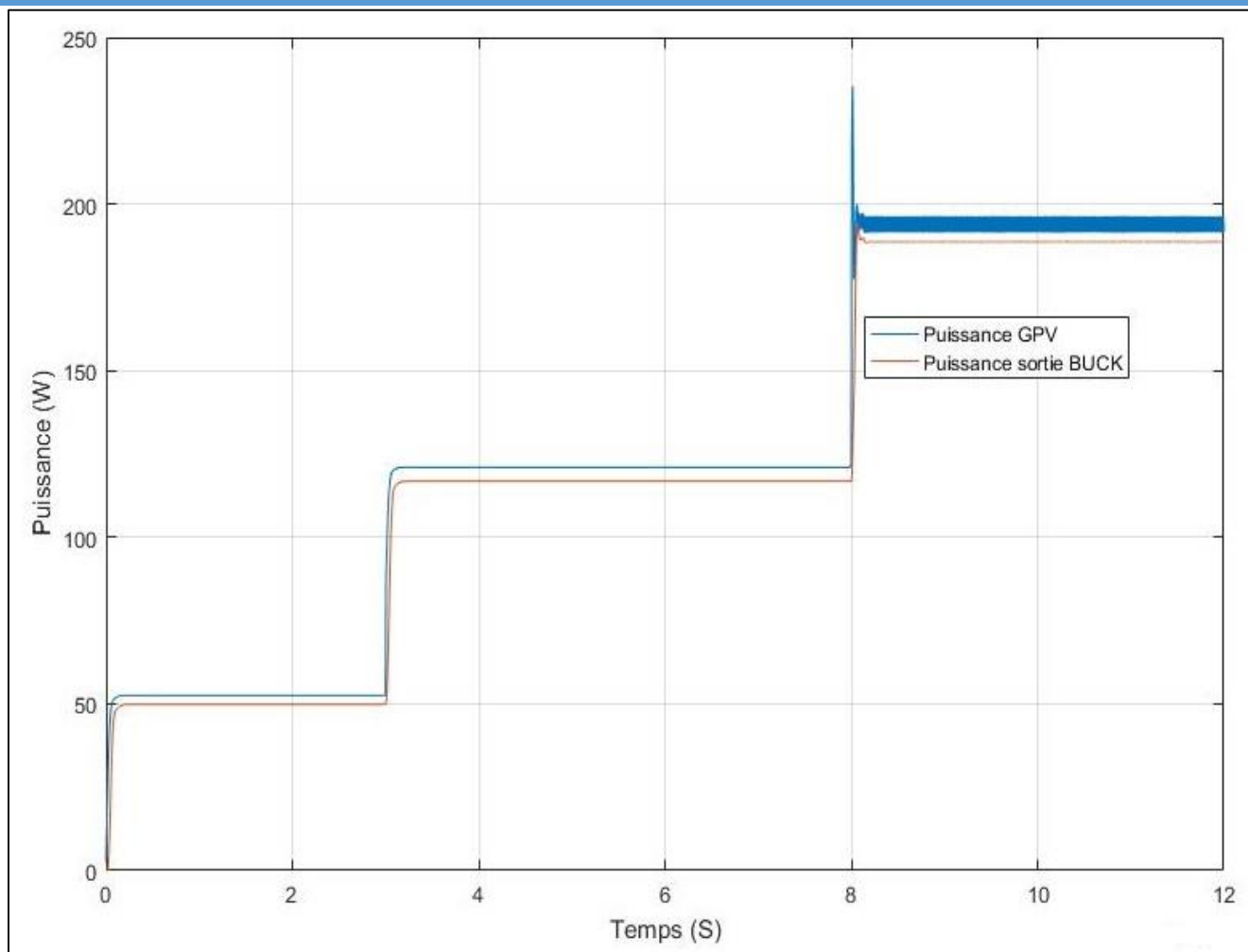


Figure (III-31) : Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie hacheur BUCK

Les figures précédentes représentent la variation de la tension de sortie et de la puissance en fonction du temps, on remarque que la tension de sortie est diminuée légèrement ce qui montre le rôle du convertisseur DC/DC, d'autre part l'allure de la puissance suit l'allure de variation de température et l'irradiation ce dernier justifie le bon fonctionnement de la MPPT.

On remarque aussi la disparition des oscillions dans ce montage.

III.5 Etude comparative :

Comme le titre de notre mémoire dit l'étude comparative entre les deux méthodes conventionnelle (P&O) et de l'intelligence artificielle (Logique Floue), nous allons voir à l'aide de simulation quelle est la commande la plus efficace et avec quel montage soient BOOST ou BUCK en déterminant l'erreur statique de chaque montage dans les conditions STC ou dans les conditions variables.

Chapitre III: Simulation et Simulation d'un générateur PV commandé par les MPPT

Les figures suivantes représentent la variation de la puissance du GPV et de sortie BOOST ou BUCK avec les deux commandes en fonction du temps dans les conditions STC.

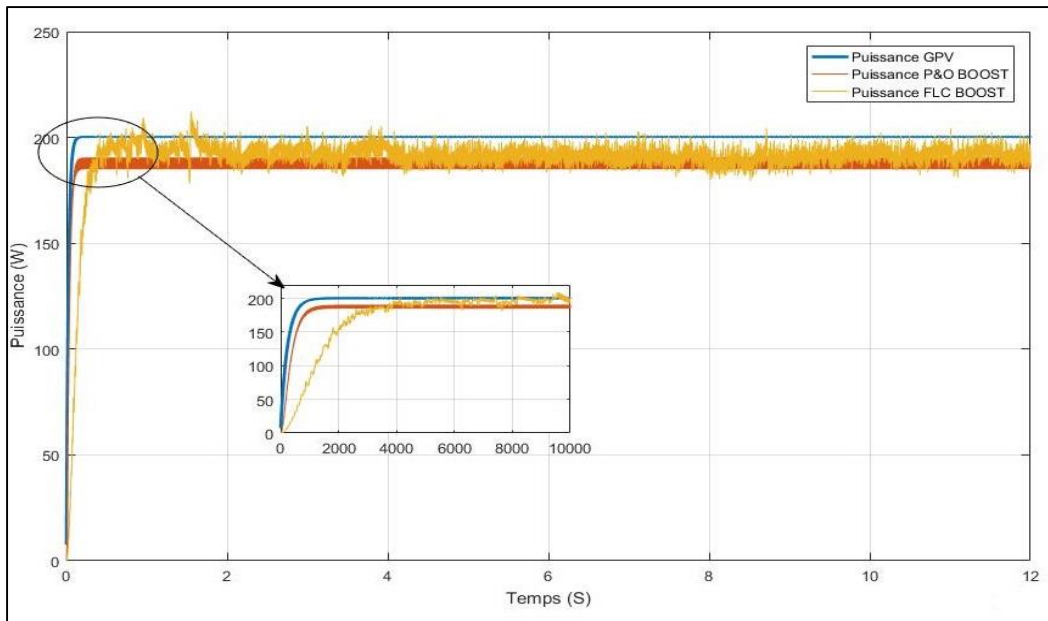


Figure (III-32) : *Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie BOOST commande P&O et F.L*

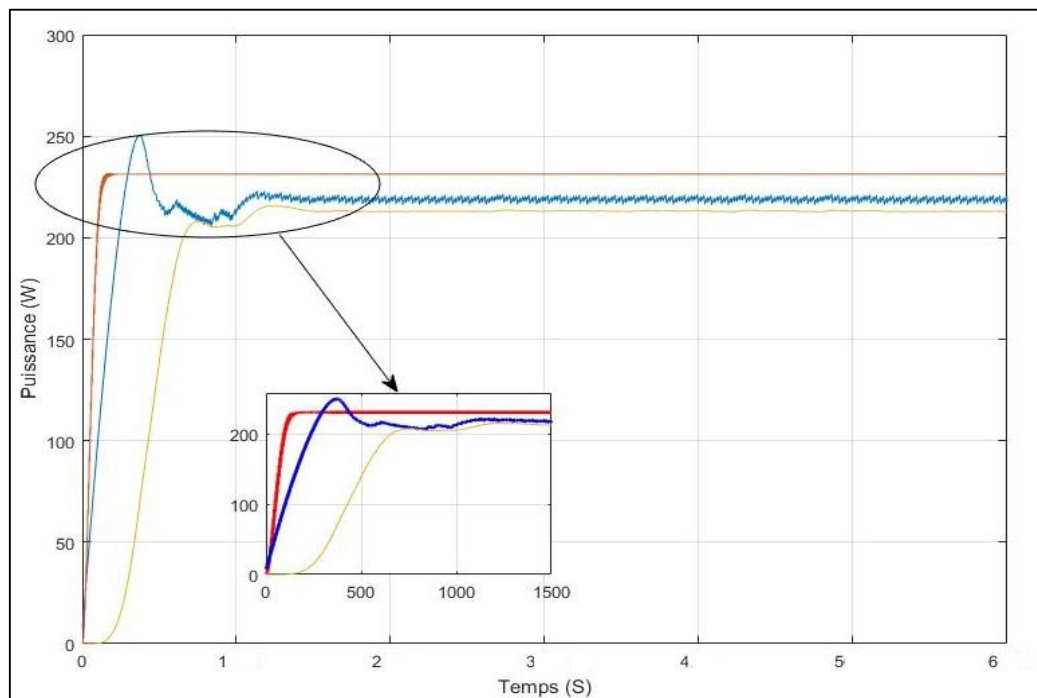


Figure (III-32) : *Allure de Puissance du GPV avec la puissance de sortie BUCK commande P&O et F.L*

Le tableau suivant représente l'erreur statique de différents montages dans cette étude, en le considère comme la vue de comparaison.

	BOOST		BUCK	
	P&O	FLC	P&O	FLC
Conditions STC				
Tension	-6.015	-9.0370	0.8145	0.868
Puissance	9.876	6.258	5.925	4.663
Conditions variables				
Tension	-6.051	-8.416	0.8139	0.8068
Puissance	3	8.024	3.073	2.724

Tableau (III.2) Erreur statique illustré et soutiré après la simulation

III.6 Conclusion :

D'après l'obtention du résultat de simulation, on a vu que les deux montages sont fonctionnés parfaitement avec la commande MPPT soient P&O ou bien Logique Floue.

La seule différence est que le BOOST crée des oscillations dans la commande FL mais le montage BUCK, ne fait pas et la puissance de GPV se suit correctement la variation climatique. Le tableau III.2 montre l'erreur statique entre la puissance, la tension de sortie et la puissance, la tension du GPV.

D'où on conclut que le montage BUCK commandé par la FLC dans notre étude était le plus efficace et plus robuste.



CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans notre temps présent, le terme de l'énergie renouvelable et développement durable se couvre une grande surface de la recherche scientifique dans le but de résoudre la problématique liée au ce premier et pour améliorer la performance de la commande MPPT utilisant les méthodes et les algorithmes connus.

Ce mémoire est conçu à l'étude comparative entre deux méthodes l'une est conventionnelles (P&O), et l'autre est basé sur l'intelligence artificielle (Logique Floue) pour trouver quelle méthode sera la plus efficace et optimale nous permettons de soutirer la puissance maximum à partir le générateur photovoltaïque.

Pour rendre ça, dans le premier temps nous avons présenté les différents composants d'un système photovoltaïque, et on a étudié le principe de fonctionnement d'une cellule PV et ses paramètres. Ainsi, nous avons exploités sa caractéristique courant tension pour calculer ses différents paramètres physiques.

Ensuite, nous avons décrit les caractéristiques d'un module photovoltaïque et sa modélisation mathématique. La dernière nous nous permettons de tracer la courbe caractéristique I-V et P-V lier au modelé du GPV qui nous avons choisi **ET Solar Industry ET-P660250WW**, dans des conditions de teste standard de la température et l'éclairement.

Nous avons étudié aussi deux types de convertisseur DC/DC (BOOST et BUCK) pour les utiliser dans ce travail et ce qui reçoivent leur rapport cycle de la commande MPPT.

Dans un deuxième temps, nous présentons notre étude et la simulation de différents éléments tell que le GPV, les convertisseurs continu-continu et les algorithmes de la commande MPPT.

D'après tous, et finalement nous avons proposé ce qui suit :

- Les deux montages suivre correctement le changement de la puissance ce qui montre l'efficacité de la commande MPPT, mais les résultats obtenus a l'aide de BUCK est meilleur que celle de BOOST avec la commande F.L.
 - La commande MPPT P&O atteindre le temps de réponse rapidement dans tous les montages ; par contre la commande MPPT F.L provoque des oscillations dans le montage BOOST durant le temps de la simulation mais le montage BUCK se fait parfait.
 - Utilisant la commande P&O avec le BOOST est conseillé pour une charge besoin une tension élevée (BOOST est élévateur de tension, abaisseur du courant), et le montage BUCK avec la MPPT FL est aussi conseillé pour les charge qui besoin un
-

CONCLUSION GENERALE

courant important (BUCK est abaisseur de tension, éleveur de courant).

Comme perspective, il faut passer à l'étape de réalisation expérimental pour valider notre résultat de simulation.

Liste de Références

- [01]: **F. Gacem**, « Simulation des systèmes de pompage photovoltaïque destinés pour l'alimentation en eau potable ». Mémoire de magister, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Saad Dahleb de Blida, 2008.
- [02]: **I. Hadj Mohammed**, « Modélisation du générateur photovoltaïque ». Mémoire de magister, Département d'électronique. Ecole Nationale Polytechnique, 2003.
- [03] : **C. Serir**, « Optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque ». Mémoire de Magister, Université de Bejaia, 2012.
- [04] : **Elbahammaoui Mohammed, Bendriss molay Hassan**, « Commande MPPT de pas variable pour améliorer les performances des systèmes PV statiques et dynamiques », Mémoire de master commande électrique, Université D'Adrar.
- [05] **F. Kininger**, "Photovoltaic Systems Technology", University of Kassel, 2003
- [06] **W. Bencasi**, « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT », mémoire de master, Université Kasdi Merbah–Ouargla, 2012.
- [07] **N. Abouchabana**, « Etude d'une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT, » Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2009.
- [08] **C. Abdelkrim**, Mémoire de Master, « Contrôleur d'un système photovoltaïque connecté au réseau, » Université Mohamed Khider – Biskra Algérie 2014.
- [09] **F. Belkague**, « Etude de la technique d'MPPT d'un système photovoltaïque », mémoire de master, Université Ziane Achour de Djelfa, 2017.
- [10] **Belkaid Abdelhakim**, « Conception et implémentation d'une commande MPPT de haute performance pour une chaîne de conversion photovoltaïque autonome » thèse de doctorat université Ferhat Abbas Setif 2015.
- [11] **BENAKLI FAICAL, BEKTACHE HAKIM**, « Etude comparative des méthodes de maximisation de puissance dans un système photovoltaïque. » Mémoire de master, Université Abderrahmene Mira de Bejaia 2015.

[12] **Bouli- hacene**, Thèse de Magister, «Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique,» Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, Algérie, 2011.

[13] **S. ZAAMTA** « Réalisation d'un régulateur solaire à base de microcontrôleur pour le contrôle de l'état de charge et la protection des accumulateurs », UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI OUM EL BOUAGHI mémoire de magister, Algérie, 2008.

[14] **K.HELALI**, Modélisation d'une Cellule Photovoltaïque : Etude Comparative, mémoire de magister, département d'électrotechnique, université MOULOUD MAMMARI de TIZI-OUZOU 2012.

[15] **T.Mambrini**, «Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologie», Thèse Doctorat, universite paris-sud, école doctorale STITS, Laboratoire de Génie Electrique de Paris.

[16] **Site WEB**: https://www.researchgate.net/figure/Principe-de-fonctionnement-dune-cellule-solaire-organique-D-A-85_fig30_334657455