



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Automatique
Automatique et informatique industrielle

Réf. :

Présenté par :
Sahraoui Hocine

Thème

**Etude et simulation d'un système de
chauffage photovoltaïque**

Jury :

Dr. Abderrazak Guettaf	MCA	Université de Biskra	Encadreur
Dr. Abdelhamid Messaoudi	MAB	Université de Biskra	Président
Dr. Fateh benchabane	Pr	Université de Biskra	Examineur

Année université: 2019/2020

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Automatique
Option : Automatique et informatique industrielle

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

**Etude et simulation d'un système de
chauffage photovoltaïque**

Présenté par :
Sahraoui Hocine

Proposé et dirigé par :
Dr. ABDERRAZAK Guettaf

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrique

Filière : Automatique

Option : Automatique et informatique industrielle

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER *Thème*

Etude et simulation d'un système de chauffage photovoltaïque

Présenté par :

Sahraoui Hocine

Avis favorable de l'encadreur :

Dr. ABDERRAZAK Guettaf

Avis favorable du Président du Jury

Mr.Massoudi Abdelhamid

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Automatique
Option : Automatique et informatique industrielle

Thème :

Etude et simulation d'un système de chauffage photovoltaïque

Présenté par : Sahraoui Hocine

Proposé par : Dr. ABDERRAZAK Guettaf

RESUMES (Français et Arabe)

Résumé

Dans ce travail, on a analysé la modélisation et la simulation du fonctionnement électrique d'un système photovoltaïque (PV) adapté par une commande numérique « perturbation et observation », « la logique floue » et « La Technique d'Optimisation par Essaims de Particules » assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur PV. Dans notre analyse, on a conçu un système PV où le générateur PV que produit, dans les conditions standards de test (CST)- une puissance crête, un courant optimal et une tension optimale. Les résultats de simulation sont obtenus sous Matlab_simulink.

Mots clés : Système PV – Convertisseur survolteur - Commande MPPT –Modélisation –Simulation

الملخص

في هذا العمل، قمنا بتحليل التصميم ومحاكاة الاشتغال الكهربائي للنظام الكهروضوئي وفق الآلية الرقمية "الاضطراب والملاحظة" "المنطق الضبابي" و" تقنية تحسين الجسيمات " لضمان متابعة الاستطاعة الأعظمية المفرغة عن طريق الكهروضوئي

في هذا التحليل قمنا بأخذ النظام الكهربائي أو المولد الكهروضوئي المنتج في شروط التجربة، استطاعة القصوى وتيار وتوتر مثالين ذات قيمة معينة

نتائج المحاكاة المتحصل عليها تمت بواسطة نظام Matlab simulink

الكلمات المفتاحية: النظام الكهروضوئي، المحول الرفع، آلية التحكم MPPT التصميم، المحاكاة.

A decorative border surrounds the central text. It features three black graduation caps (mortarboards) at the top, two rolled-up scrolls with red ribbons on the sides, and a garland of light blue flowers and green leaves at the bottom. The entire design is set against a light, textured background.

Dédicaces

*Je dédie
ce mémoire:*

*À ma très chère **mère** qui a été la lumière de ma vie*

*Et **mon père** qui m'a soutenu tout au long de mes études*

*A mes chers frères **HACHANI** et sa fille **MERJEM, MORAD, ABD
ELKADER** et **ABD ELBARI***

*A ma chers sœurs **NADIA, IBTISSAME, SOUHILA** et*

*Ses enfants (**IYAD, TESNIME, DJAWAD**)*

Toute la promotion d'automatisme 2020.

SAHRAOUI HOCINE...



Remerciements

Je remercie tout particulièrement Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donnée durant toutes ces longues années.

J'exprime mes profondes gratitudee à mes chers parents pour leurs encouragements, leurs soutiens et les sacrifices endurés.

Ainsi, je tiens également à exprimer mes vifs remerciements à mon encadreur Monsieur guettaf abderrazak tout d'abord pour avoir proposé ce thème et qui n'a eu cesse de me donner de précieux conseils et remarques.

Par ailleurs, je remercie tous les membres du jury qui ont accepté de juger mon travail.

Enfin je tiens, également, à remercier vivement toutes Les personnes qui m'ont aidée à élaborer et réaliser ce mémoire.

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

Chapitre II :

Tableau	Le nom de tableau	page
Tableau II.1	Complexité de chaque type de convertisseur DC-DC	
Tableau II.2	Paramètres du convertisseur DC-DC (boost)	

Chapitre III :

Tableau	Le nom de tableau	page
Tableau III.1	Paramètres de système PV	
Tableau III.2	Caractéristiques électriques du module photovoltaïque	
Tableau III.3	Les règles de contrôle FUZZY	

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

Chapitre I

Figure	Le nom de la Figure	Page
Fig.I.1	Analyse spectrale du rayonnement solaire	04
Fig.I.2	Composante du rayonnement global sur un plan horizontal	05
Fig.I.3	Schéma d'une cellule photovoltaïque	06
Fig.I.4	Cellules photovoltaïques monocristallin	07
Fig.I.5	Cellules photovoltaïques poly cristallin	07
Fig.I.6	Cellules photovoltaïques amorphe	07
Fig.I.7	Digramme des différentes technologies de la construction des CPV	08
Fig.I.8	Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_s cellules en série	09
Fig.I.9	Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_p cellules en parallèle	10
Fig.I.10	Schéma de principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	11
Fig.I.11	Circuit électrique idéal du module PV	13
Fig.I.12	Circuit électrique réel du module PV	14
Fig.I.13	Montage simulation de module photovoltaïque	15
Fig.I.14	Exemple de caractéristique courant-tension d'un module	16
Fig.I.15	La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement	17
Fig.I.16	La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement	17

LISTE DES FIGURES

Fig.I.17	La caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température	18
Fig.I.18	La caractéristique de $P= f(V)$ en fonction de température	19
Fig.I.19	Masque de protection avancé à énergie solaire	22
Fig.I.20	stérilisateur médical UV	23
Fig.I.21	La voie à énergie solaire	24

Chapitre II

Figure	Le nom de la Figure	Page
Fig.II.1	Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT	27
Fig.II.2	Étage d'adaptation entre le GPV et la charge	28
Fig.II.3	Schéma de principe du convertisseur survolteur (Boost)	29
Fig.II.4	Schémas équivalents du convertisseur survolteur (Boost)	30
Fig.II.5	Formes d'ondes tension et courant	32
Fig.II.6	Schéma de principe du convertisseur dévolteur (Buck)	32
Fig.II.7	Schémas équivalents du hacheur dévolteur	33
Fig.II.8	Schéma de base du convertisseur dévolteur-survolteur (Buck-Boost)	34
Fig.II.9	Schémas équivalents du Convertisseur dévolteur-survolteur (Buck-Boost)	35
Fig.II.10	Schéma du convertisseur (Boost) réalisé	36
Fig.II.11	Le schéma bloc de la simulation du (Boost)	38
Fig.II.12	Le courant de sortie et le courant d'entrée	39
Fig.II.13	La tension de sortie et la tension d'entrée	39

LISTE DES FIGURES

Chapitre III

Figure	Le nom de la Figure	Page
Fig.III.1	La caractéristique I(V), P(V) et la trajectoire de PPM	41
Fig.III.2	Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant un panneau photovoltaïque, un convertisseur BOOST, une commande MPPT et une charge	42
Fig.III.3	Recherche et recouvrement du Point Puissance Maximale	43
Fig.III.4	Recherche du PPM par la méthode (P&O)	47
Fig.III.5	Algorithme de MPPT à base de la méthode P&O	48
Fig.III.6	Divergence de la méthode P&O	49
Fig.III.7	Modèle système PV avec la commande MPPT (P&O)	50
Fig.III.8	Modèle de simulation du GPV	51
Fig.III.9	la commande MPPT (P&O)	52
Fig.III.10	Le courant de sortie et le courant d'entrée	52
Fig.III.11	La tension de sortie et la tension d'entrée	53
Fig.III.12	La puissance de sortie et à la puissance d'entrée	53
Fig.III.13	Le principe de la commande avec contrôleur logique Floue	54
Fig.III.14	Schéma bloc d'une logique floue	55
Fig.III.15	Fonctions d'appartenances de chacune des variables linguistiques	56
Fig.III.16	Modèle Simulink complet avec la commande logique floue	58
Fig.III.17	Le courant de sortie par rapport au courant d'entrée	59
Fig.III.18	La tension de sortie et la tension d'entrée	60
Fig.III.19	La puissance de sortie par rapport à la puissance d'entrée	60
Fig.III.20	Organigramme de la méthode PSO standard	64
Fig.III.21	simulation de la commande PSO	65
Fig.III.22	Le courant de sortie par rapport au courant d'entrée	66
Fig.III.23	La tension de sortie et la tension d'entrée	67
Fig.III.24	La puissance de sortie par rapport à la puissance d'entrée	67

LISTE DES FIGURES

Fig.III.25	Comparaison des trois méthodes P&O ; PSO et floue sur le courant de sortie du convertisseur statique (DC-DC)	68
Fig.III.26	Comparaison des trois méthodes P&O ; PSO et floue sur la tension de sortie du convertisseur statique (DC-DC)	69
Fig.III.27	Comparaison des trois méthodes P&O ; PSO et floue sur la puissance de sortie du convertisseur statique (DC-DC)	69

LISTE DES ABREVIATIONS

Liste des abréviations

PV	Photovoltaïque.
SPV	Système Photovoltaïque.
GPV	Générateur Photovoltaïque.
CPV	Cellule Photovoltaïque.
I_{pv}	Courant Photovoltaïque (délivrer par CPV).
V_{pv}	Tension Photovoltaïque (à la borne de la CPV).
I_{ph}	Photo-Courant.
I_{CC}	Courant de court-circuit.
V_{CO}	Tension circuit ouvert.
I_0	Courant de saturation.
R_s	Résistance Série en Ω .
R_{sh}	Résistance Shunt en Ω .
R_{ch}	Résistance de Charge en Ω .
V_t	Tension Thermique en V.
E	Irradiation solaire sur le plan incliné du module photovoltaïque (W/m^2).
Ns	Nombre de module en série.
Np	Nombre de module en parallèle.
DC	Courant Continu (Direct Current).
V_{in}	Tension d'entrée(V)
V_{out}	Tension de sortie(V)
P	puissance (W)
fd	Fréquence de découpage (Hz)
Ps	la puissance à la sortie du générateur photovoltaïque.
ff	Facteur de forme.
η	Rendement.
η_{Max}	Rendement maximale.
Pmax	Puissance Max en W.
MPPT	Maximum Power Point Tracking.
P&O	Perturbation et Observation.
PSO	Particle swarm optimization.

LISTE DES ABREVIATIONS

G	la conductance Ω^{-1}
PPM	Point de Puissance Maximal.
LF	Logique Floue.

Sommaire

Introduction général.....	1
CHAPITRE I :GENERALITE SUR LES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES.....	3
1.1 Introduction	3
1.2 L'énergie solaire.....	3
1.2.1 Les bande du rayonnement solaire	4
1.2.2 Le rayonnement solaire	4
1.2.3 Le rayonnement direct.....	4
1.2.4 Le rayonnement diffus	4
1.2.5 Le rayonnement solaire réfléchi ou l'albédo du sol	5
1.2.6 Le rayonnement global.....	5
1.3 Le générateur photovoltaïque GPV	5
1.3.1 La Cellule photovoltaïque CPV	5
1.3.2 Les différents types des cellules photovoltaïques (CPV).....	6
1.4 regroupement des cellules photovoltaïques :.....	8
1.4.1 Cellules mise en série	8
1.4.2 Cellules Mise en parallèle	9
1.4.3 Regroupement (série et parallèle)	10
1.5 Le principe de fonctionnement.....	10
1.6 Paramètres électriques du module photovoltaïque	11
1.6.1 La tension de circuit ouvert.....	11
1.6.2 La puissance maximale	11
1.6.3 La puissance de crête.....	12
1.6.4 Le facteur de forme	12
1.6.5 Rendement.....	12
1.7 Modélisation du module photovoltaïque	12

SOMMAIRE

1.8	Le montage simulink du module photovoltaïque	15
1.9	Caractéristique courant-tension d'un module	16
1.10	Influence de l'Éclairement.....	17
1.11	Influence de la Température	18
1.12	Avantages et inconvénients d'une installation PV	19
1.12.1	Avantages	19
1.12.2	Inconvénients	20
I.13	L'utilisation.....	21
I.14	Le schéma générale d'un système photovoltaïque.....	25
1.15	Conclusion	26
CHAPITRE II: LES CONVERTISSEURS STATIQUES DC –DC.....		27
II.1	Introduction	27
II.2	L'étage d'adaptation entre le générateur PV et la charge.....	28
II.3	Les type des convertisseurs DC-DC	28
II.3.1	convertisseur survolteur (Boost)	29
II.3.2	Le convertisseur dévolteur (Buck)	32
II.3.3	Le convertisseur dévolteur-survolteur (Buck-Boost).....	34
II.4	La réalisation d'un convertisseur survolteur (Boost)	36
II.4.1	Le calcul et le choix des composants du convertisseur	36
II.4.1.1	Transistor	36
II.4.1.2	Diode.....	37
II.4.1.3	Bobine	37
II.4.1.4	Condensateur.....	37
II.5	Simulation du convertisseur survolteur (Boost)	38
II.6	Les résultats obtenus de la simulation du convertisseur survolteur (Boost).....	39
II.6.1	Le courant de sortie et le courant d'entrée	39
II.6.2	La tension de sortie et la tension d'entrée	39

SOMMAIRE

II.7	Conclusion	40
CHAPITRE III :POURSUITE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE (PPM)		41
III.1	Introduction	41
III.2	Principe de fonctionnement de MPPT	41
III.3	Classification Des Commandes MPPT.....	44
III.3.1	Classification Des Commandes MPPT Selon Les Paramètres D'entrée.....	44
III.3.2	Classification Des Commandes MPPT Selon Le Type De Recherche	45
III.4	Les Algorithmes MPPT	46
III.4.1	Perturbation Et Observation (P&O, Perturbe And Observe)	46
III.4.1.1	La simulation de l'algorithme MPPT-P&O	50
III.4.1.2	Simulation d'un GPV	51
III.4.1.3	Simulation d'un MPPT	52
III.4.1.4	Les résultats obtenus	52
III.4.2	Commande MPPT par logique floue.....	54
III.4.2.1	Description du régulateur floue.....	55
III.4.2.2	Les fonctions d'appartenances des variables linguistiques.....	55
III.4.2.3	Les règles floues	56
III.4.2.4	La simulation de l'algorithme MPPT- logique floue.....	58
III.4.2.5	Les résultats obtenus	59
III.4.3	La commande MPPT par le Technique d'Optimisation par Essaims de Particules (PSO).....	61
III.4.3.1	Introduction.....	61
III.4.3.2	Optimisation Par Essaims de Particule	61
III.4.3.3	Définition de l'Optimisation	61
III.4.3.4	Fonction Objectif	61
III.4.3.5	Principe de la Technique PSO	61
III.4.3.6	Formulation Mathématique de l'Algorithme PSO.....	62

SOMMAIRE

III.4.3.7	La simulation de l'algorithme MPPT-PSO.....	65
III.4.3.8	Le résultat obtenu.....	66
III.4.4	La comparaison entre les trois commandes.....	68
III.5	Conclusion	70
	Conclusion generale.....	71

Introduction générale

Comme nous le savons, la plus grande partie de l'énergie consommée actuellement provient de l'utilisation des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore l'énergie nucléaire. Les études et les prévisions récentes nous alertent que l'utilisation massive de ces ressources conduira certainement à l'épuisement total de ces réserves. En plus, tout le monde est mondialement convaincu par le danger de ce processus sur l'environnement.

A partir de ce constat, il été nécessaire de chercher d'autres ressources d'énergie de remplacement. Les énergies renouvelables, comme l'énergie photovoltaïque, éolienne ou hydraulique, représentent une solution de remplacement par excellence et elles sont de plus en plus utilisées dans nos jours. Ce type d'énergie n'est pas seulement gratuit et inépuisable, mais aussi très propre pour l'environnement. D'ailleurs, on parle souvent d'une énergie «verte», puisqu'elle permet d'éviter totalement la pollution produite par les sources traditionnelles [1].

Les réseaux de distribution ne peuvent suffire à fournir de l'électricité à toute la population mondiale qu'ils soient en pleine montagne ou sur une île, dans les régions les moins habitées ou au milieu du désert, les sites difficiles d'accès ou très isolés ne peuvent pas toujours être raccordés au réseau, faute de solutions techniques ou de viabilité économique.

Ce travail a été réalisé au niveau du centre de recherche, laboratoire de génie Électrique LAGE à l'université Mohamed khider-Biskra. L'objectif de ce travail est l'étude et la simulation d'un système photovoltaïque chauffage. Ce système PV commandé par trois type de commande MPPT assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le module PV. Pour décrire cela, ce mémoire est présenté en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous effectuons un bref rappel sur l'énergie solaire et les générateurs photovoltaïques et parlons sur les avantages et les inconvénients de modules PV. Nous présentons ensuite le regroupement des cellules et les trois types de ces cellules. Nous terminons par la modélisation et les paramètres électriques du module PV.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons quelques types des convertisseurs statiques DC-DC utilisés dans les systèmes PV, en particulier le convertisseur survolteur utilisé dans ce mémoire.

INTRODUCTION GENERALE

Le troisième chapitre, présentera le principe de la recherche de point maximal, les classifications de la commande MPPT et des études théoriques de quelques-unes de ces méthodes.

A la fin, on termine ce mémoire par une conclusion général

CHAPITRE I :

GENERALITES SUR LES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES

I.1 Introduction :

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donnent lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique courant-tension (I-V) non linéaire présentant un point de puissance maximale [1].

I.2 L'énergie solaire :

La distance entre la terre et le soleil, est environ 150 million de kilomètres et la vitesse de la lumière, est d'environ 3×10^8 m/s ou 300 000 km/s, les rayons du soleil, mettent donc, environ 8 minutes à nous parvenir [2].

La constante solaire, est la densité d'énergie solaire, qui atteint la frontière externe de l'atmosphère, faisant face au soleil, sa valeur est communément presque égale à 1360W/m².

Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire, est réduit à 1000 W/m² à cause de l'absorption dans l'atmosphère, Albert Einstein à découvert, en travaillant, sur l'effet photoélectrique, que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules < les photons > [3].

L'énergie d'un photon étant donnée par la relation :

$$E = \frac{h.c}{\lambda} \quad (I.1)$$

$h = 6,62.10^{-34} \text{ js}^{-1}$ est la constante de Planck.

$C = 3.10^8 \text{ ms}^{-1}$ étant la vitesse de propagation.

λ : la longueur d'onde de la lumière en(m).

Ainsi, plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du photon est grande [3].

I.2.1 Les bande du rayonnement solaire :

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique, compris dans une bande de longueur d'onde, variant de 0,22 à 10 μm , l'énergie associée à ce rayonnement solaire, se décompose approximativement ainsi [3], [4] :

- 09% dans la bande des ultraviolets (<0,4 μm).
- 47% dans la bande visible (0,4 à 0,8 μm).
- 44% dans la bande des infrarouges (>0,8 μm).

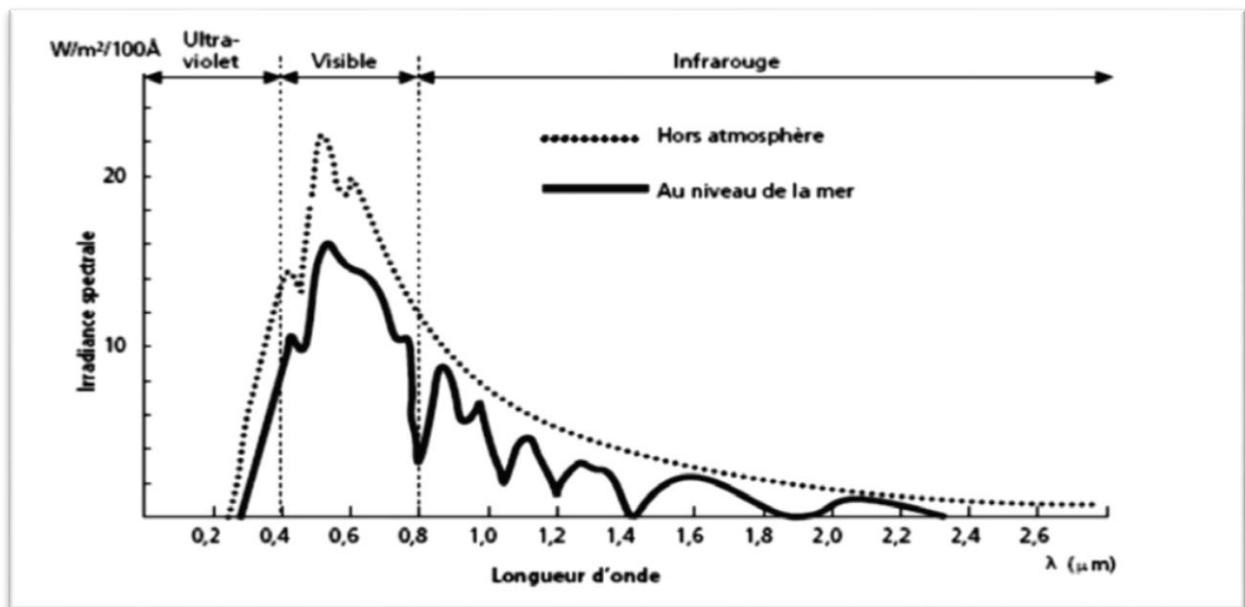


Fig I.1 Analyse spectrale du rayonnement solaire.

I.2.2 Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire, est la matière première de l'énergie solaire, c'est la propagation d'une onde, de longueur qui varie entre 0,2 et 4.10⁻⁶ m, qui nécessite aucun support physique pour se déplacer, il arrive au sol après la perte d'une grande partie, de son intensité, à cause d'une partie de l'ultraviolet, qui s'absorbent [5].

I.2.3 Le rayonnement direct :

Le rayonnement reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère, ces rayons sont parallèles entre eux, ils forment donc des ombres et peuvent être concentrés par des miroirs et mesurés par un pyrhéliomètre [5].

I.2.4 Le rayonnement diffus :

Le rayonnement constitué, par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols), la diffusion est le phénomène, qui répartit un faisceau parallèle, en une multitude de faisceaux, partant dans toutes les directions dans le ciel, ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières, qui produisent cet (éclatement) des rayons du soleil, cela dépend donc avant tout, des conditions météorologiques [6].

I.2.5 Le rayonnement solaire réfléchi ou l'albédo du sol :

Le rayonnement réfléchi par le sol, ou par des objets se trouvant à sa surface, cet albédo peut être important, lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

I.2.6 Le rayonnement global :

Il est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface, il est mesuré par un pyranomètre ou un Solari mètre sans écran. Les stations météorologiques généralement mesurent le rayonnement global horizontal par un Pyranomètre placé horizontalement à l'endroit requis [4].

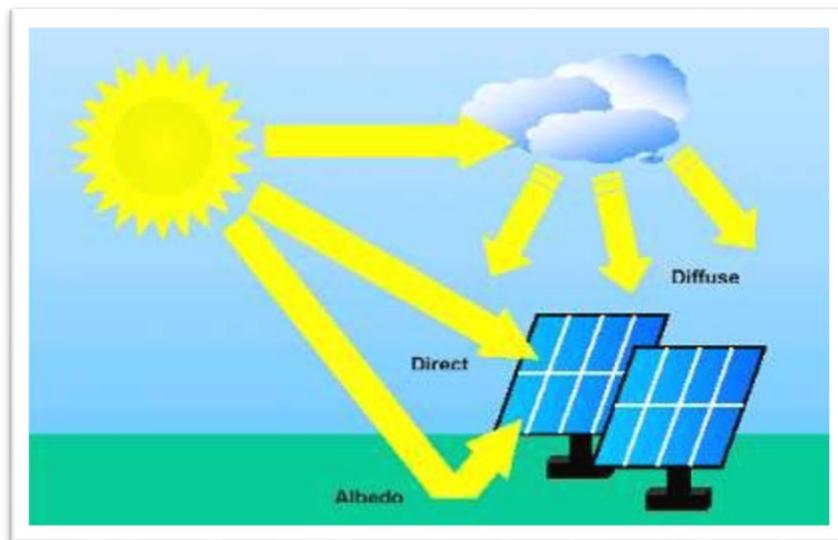


Fig I.2 Composante du rayonnement global sur un plan horizontal [2].

I.3 Le générateur photovoltaïque GPV :

Le générateur photovoltaïque permet de convertir l'énergie solaire, en énergie électrique, sous forme de tension et de courant continu variable, selon l'influence de l'éclairement sur les panneaux photovoltaïque, le composant de base de cette conversion est la cellule photovoltaïque.

I.3.1 La Cellule photovoltaïque CPV :

Une cellule photovoltaïque est une composante optoélectronique, qui transforme directement la lumière solaire en électricité, elle a été découverte par le physicien [Alexandre Edmond Becquerel] en 1839 [7].

La cellule photovoltaïque est constituée de matériau semi-conducteur de type P-N, la taille de chaque cellule, est de quelques centimètres carrés, jusqu'à 100 ou plus, sa forme est circulaire, carrée ou dérivée des deux géométries [7].

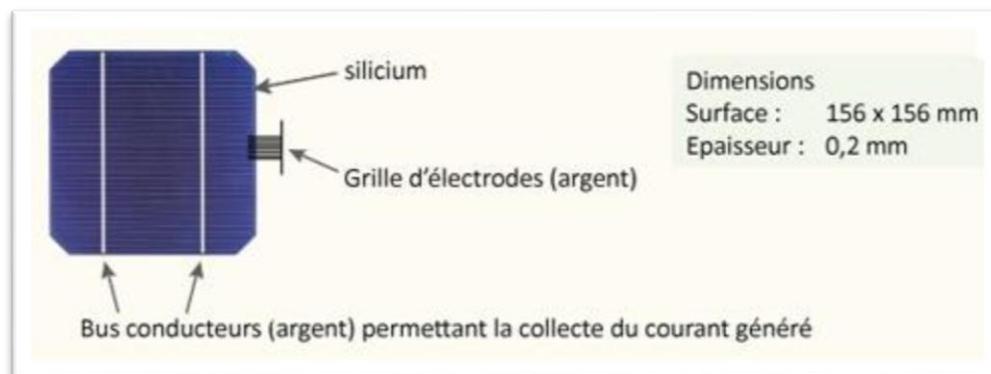


Fig.I.3 Schéma d'une cellule photovoltaïque [7].

I.3.2 Les différents types des cellules photovoltaïques (CPV) :

Il existe un grand nombre de technologies, mettant en œuvre l'effet photovoltaïque, beaucoup sont encore en phase de recherche et de développement [8].

Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont :

- le silicium mono ou poly-cristallin (plus de 80% de la production mondiale).
- le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou CIS (Cuivre Indium Sélénium).

I.3.2.1 Le silicium monocristallin :

Pour ce genre d'applications technologiques, le silicium pur est obtenu à partir de la silice de quartz, ou de sable, par transformation chimique métallurgique.

Le silicium a un rendement électrique et une durée de vie, de l'ordre de deux fois, que celle du silicium amorphe, mais il est nettement plus cher.

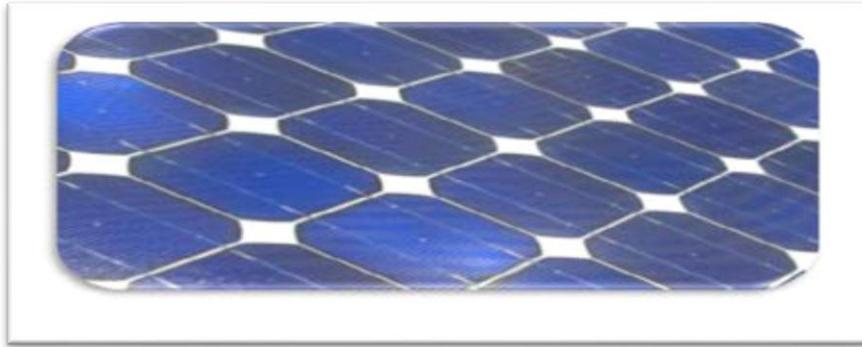


Fig.I.4 Cellules photovoltaïques monocristallin [8].

I.3.2.2 Le silicium poly- cristallin :

Le silicium poly-cristallin est un matériau, composé de cristaux juxtaposés, obtenus par moulage, ce dernier est moins coûteux (que le monocristallin).



Fig.I.5 Cellules photovoltaïques poly-cristallin [8].

I.3.2.3 Les cellules amorphes :

Silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre, la cellule est gris très foncée, c'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires".



Fig.I.6 Cellules photovoltaïques amorphe [8].

I.3.2.4 Le digramme des différentes technologies de la construction des CPV :

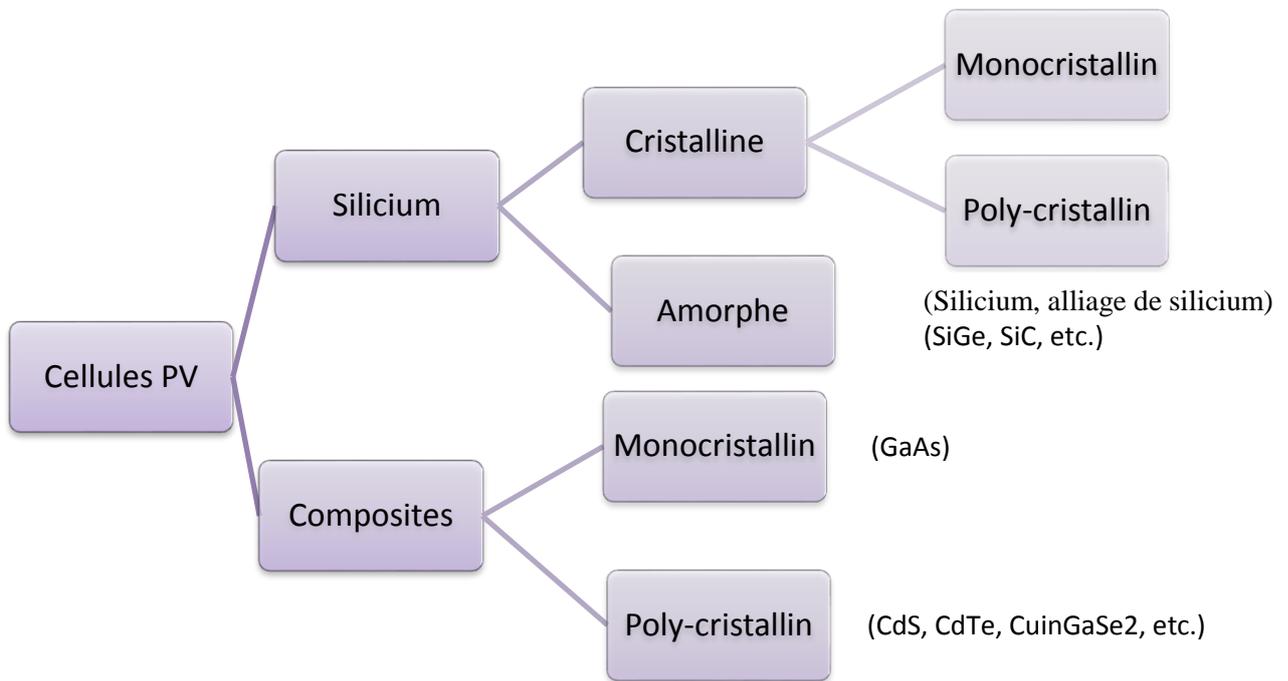


Fig.I.7 Digramme des différentes technologies de la construction des CPV.

I.4 Regroupement des cellules photovoltaïques :

I.4.1 Cellules mise en série :

Une association de N_s cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule, **fig.I.8**. L'équation **(I.2)** résume les caractéristiques électriques d'une association série de N_s cellules.

$$V'_{co} = N_s \cdot V_{co} \quad (\text{I.2})$$

Avec V_{co} : la tension du circuit ouvert

Ce système d'association est généralement le plus communément et utilisé pour les modules photovoltaïques du commerce. Comme la surface des cellules devient de plus importante, le courant par une seule cellule augmente régulièrement au fur et à mesure de l'évolution technologique alors que sa tension reste toujours très faible.

L'association en série permet ainsi d'augmenter la tension de l'ensemble et donc d'accroître la puissance de l'ensemble. Les panneaux commerciaux constitués de cellules de première génération sont habituellement réalisés en associant 36 cellules en série

($V_{cons} = 0.6 V * 36 = 21.6V$) afin d'obtenir une tension optimale du panneau V_{op} proche de celle d'une tension de batterie [9].

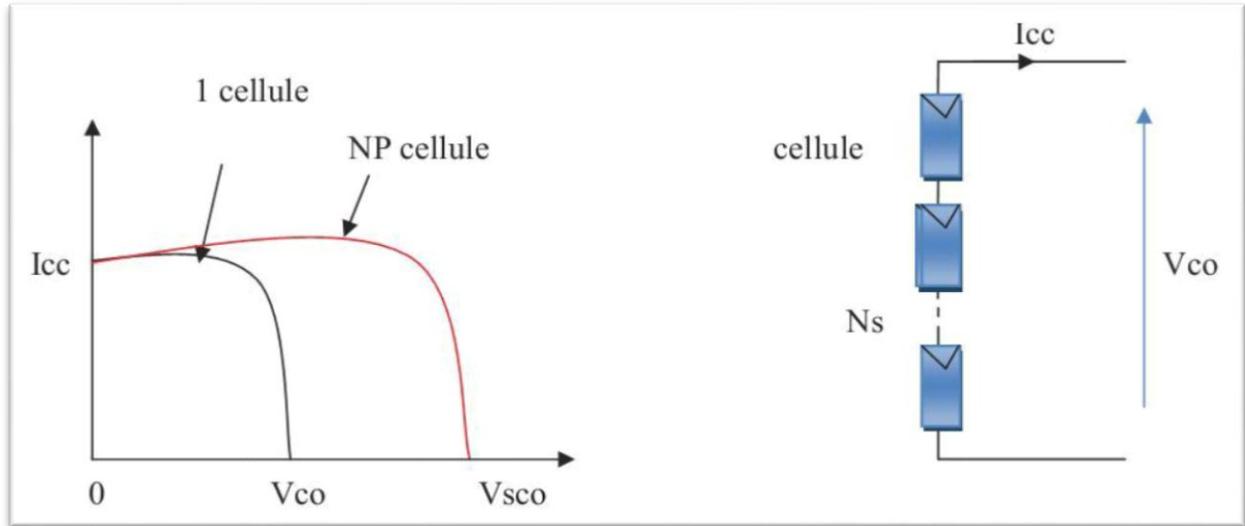


Fig.I.8 Caractéristiques résultantes d'un groupement de NS cellules en série [10].

I.4.2 Cellules Mise en parallèle :

D'autre part, une association parallèle de Np cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie de générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants, **Fig.I.8**. L'équation (I.3) résume à son tour les caractéristiques électriques d'une association parallèle de Np cellules.

$$I'_{cc} = Np \cdot I_{cc} \quad (I.3)$$

Avec I_{cc} : le courant de court-circuit

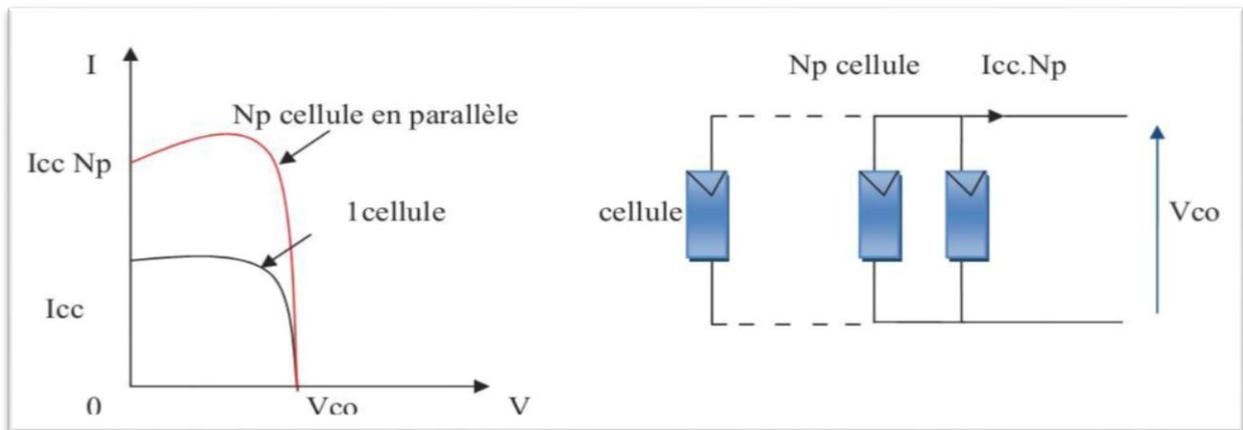


Fig.I.9 Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_p cellules en parallèle [10].

I.4.3 Regroupement (série et parallèle) :

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représentée ci-dessous, ce qui peut être généralisé sur une gamme de N_s modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant. Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque [11].

I.5 Le principe de fonctionnement :

La cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN, avec une barrière de potentiel.

Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN.

De telle sorte que les électrons de ces atomes, se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P), ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches, cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule [12].

A travers une charge continue, on peut en plus récolter des porteurs.

La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul, cette tension est nommée tension de circuit ouvert (V_{co}) [12].

Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit (I_{cc}) et dépend fortement du niveau d'éclairement [12].

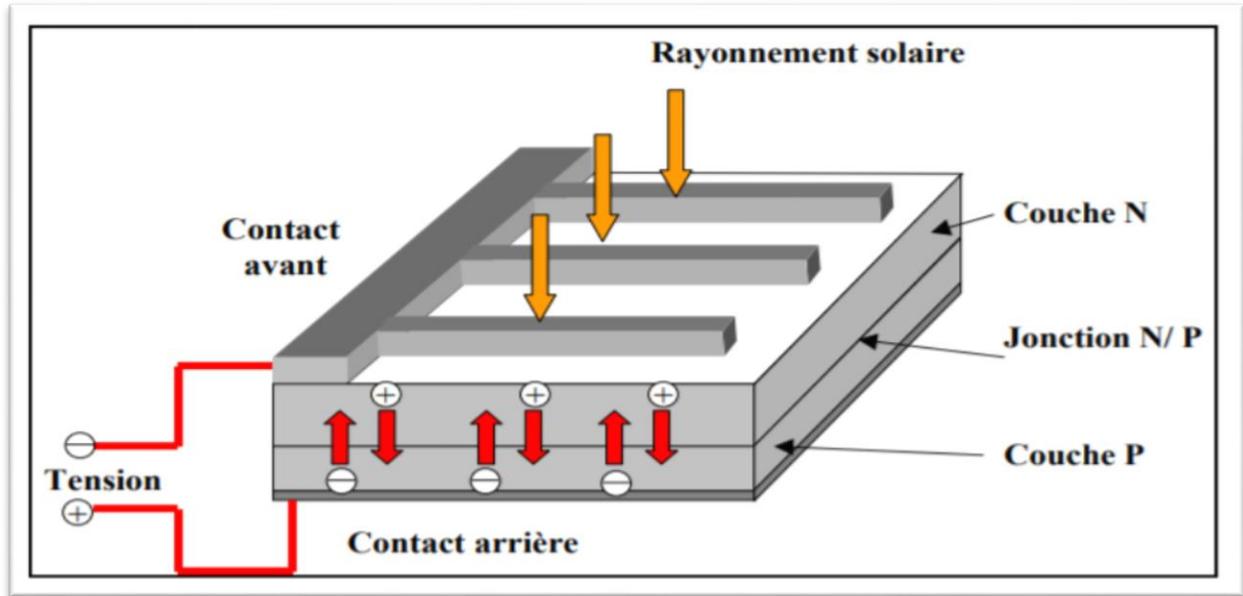


Fig.1.10 schéma de principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

I.6 Paramètres électriques du module photovoltaïque :

Les différents paramètres caractérisant un module photovoltaïque sont la tension de circuit ouvert, courant de court-circuit, puissance maximale, facteur de forme et rendement. Ils sont extraits des caractéristiques courant-tension, permettent de comparer différents modules éclairés dans des conditions identiques.

I.6.1 La tension de circuit ouvert :

La tension de circuit ouvert V_{co} ; est la tension pour laquelle le courant débité par la cellule est nul, c'est la tension maximale de la cellule dans le cas idéal [2].

$$V_{co} = Ns \times 0,6 V \quad (I.4)$$

Ou 0,6V est la tension pour une cellule photovoltaïque élémentaire et Ns est le nombre de cellules, on l'obtient en branchant directement un voltmètre aux bornes du module PV, dans notre cas le module PV utilisé est le module PV (PW750-70W), sa tension de circuit ouvert est $V_{co}=21,3V$. (Voir data sheet sur Annexe A)

I.6.2 La puissance maximale :

La puissance fournie à une charge par un module photovoltaïque sous ensoleillement, dépend de la résistance de cette charge (résistance externe placée aux bornes du module), cette puissance est maximale (P_{max}), elle est le produit de courant optimale (I_{opt}) par la tension optimale (V_{opt}) [2].

$$PS - P_{max} = I_{opt} \cdot V_{opt} \quad (I.5)$$

I.6.3 La puissance de crête :

C'est la puissance électrique maximale fournit par le module *PV* dans les conditions standards (25°C et un éclairage de 1000 W/m²).

I.6.4 Le facteur de forme :

Le facteur de forme *ff* est le rapport entre la puissance maximale *Pmax* fournit par le module *PV* et le produit du courant de court-circuit *I_{cc}* par la tension de circuit ouvert *V_{co}* (Cas d'un module *PV* idéal) [2].

$$ff = \frac{I_{opt} V_{opt}}{I_{cc} V_{co}} = \frac{P_{max}}{I_{cc} V_{co}} \quad (I.6)$$

Le facteur de forme justifie la qualité du module *PV*, plus il s'approche de l'unité plus le module est performant, il est de l'ordre de 0.7 pour les modules performants et diminue avec la température [13].

I.6.5. Rendement :

Le rendement énergétique d'un module *PV* est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par le module *Pmax* (*I_{opt}*, *V_{opt}*) et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$\rho = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{I_{opt} V_{opt}}{P_{inc}} \quad (I.7)$$

Avec *P_{inc}* est égal au produit de l'éclairage et de la surface totale du module *PV*. Ce Paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

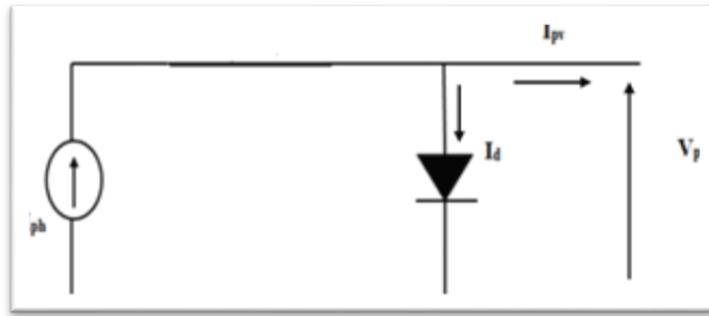
I.7 Modélisation du module photovoltaïque :

De nombreux modèles mathématiques de modules photovoltaïques, ont été développés, dont le but est l'obtention de la caractéristique Courant-Tension pour l'analyse et l'évaluation des performances des systèmes photovoltaïques.

I.7.1 Modèle électrique idéal :

Le module photovoltaïque peut être représenté par le circuit électrique équivalent donné par la **fig1.11** composé d'un générateur de courant qui produit un courant proportionnel à la puissance lumineuse incidente, et d'une diode parallèle qui correspond à l'aire de transition P-N du module *PV* [13]. Le courant généré par le

module s'écrit :



FigI.11 Circuit électrique idéal du module PV

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (\text{I.8})$$

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

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{V_{pv}}{v_t}} - 1 \right) \quad (\text{I.9})$$

Où I_0 est le courant de 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 (1.1) sera :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{V_{pv}}{kT}} - 1 \right) \quad (\text{I.10})$$

I.7.2 Modèle électrique réel :

Dans le cas réel, on observe une perte de tension en sortie ainsi que des courants de fuite, alors le model photovoltaïque précédent ne rendait pas compte de tous les phénomènes présents lors de la conversion d'énergie lumineuse. On modélise donc cette perte de tension par une résistance en série et les courants de fuite par une résistance en parallèle [13]. La **fig.1.12** représente schéma électrique équivalent d'un module photovoltaïque réel.

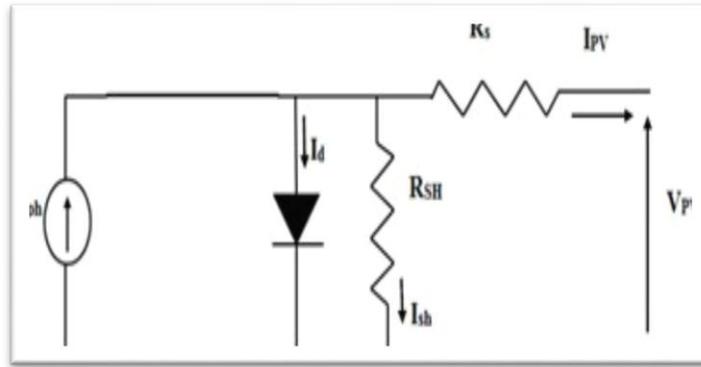


Fig.I.12 Circuit électrique réel du module PV

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

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \tag{I.11}$$

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{q(V_{pv} + R_s I)}{A K T c}} - 1 \right) \tag{I.12}$$

$$I_{sh} = \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \tag{I.13}$$

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V_{pv} + R_s I)}{A K T c}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \tag{I.14}$$

Où I_{pv} est le courant fourni par le module PV,

$I_{ph} = I_{cc} \left(\frac{G}{1000} \right)$ est le photo-courant dépendant de l'éclairement (G), K est la constante de Boltzmann ($1,381 \cdot 10^{-23}$ joule/Kelvin), q est la charge d'électron = $1,602 \cdot 10^{-19}$ C, T est la température du module PV en kelvin et A est le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < A < 2$).

I.8 Le montage Simulink du module photovoltaïque :

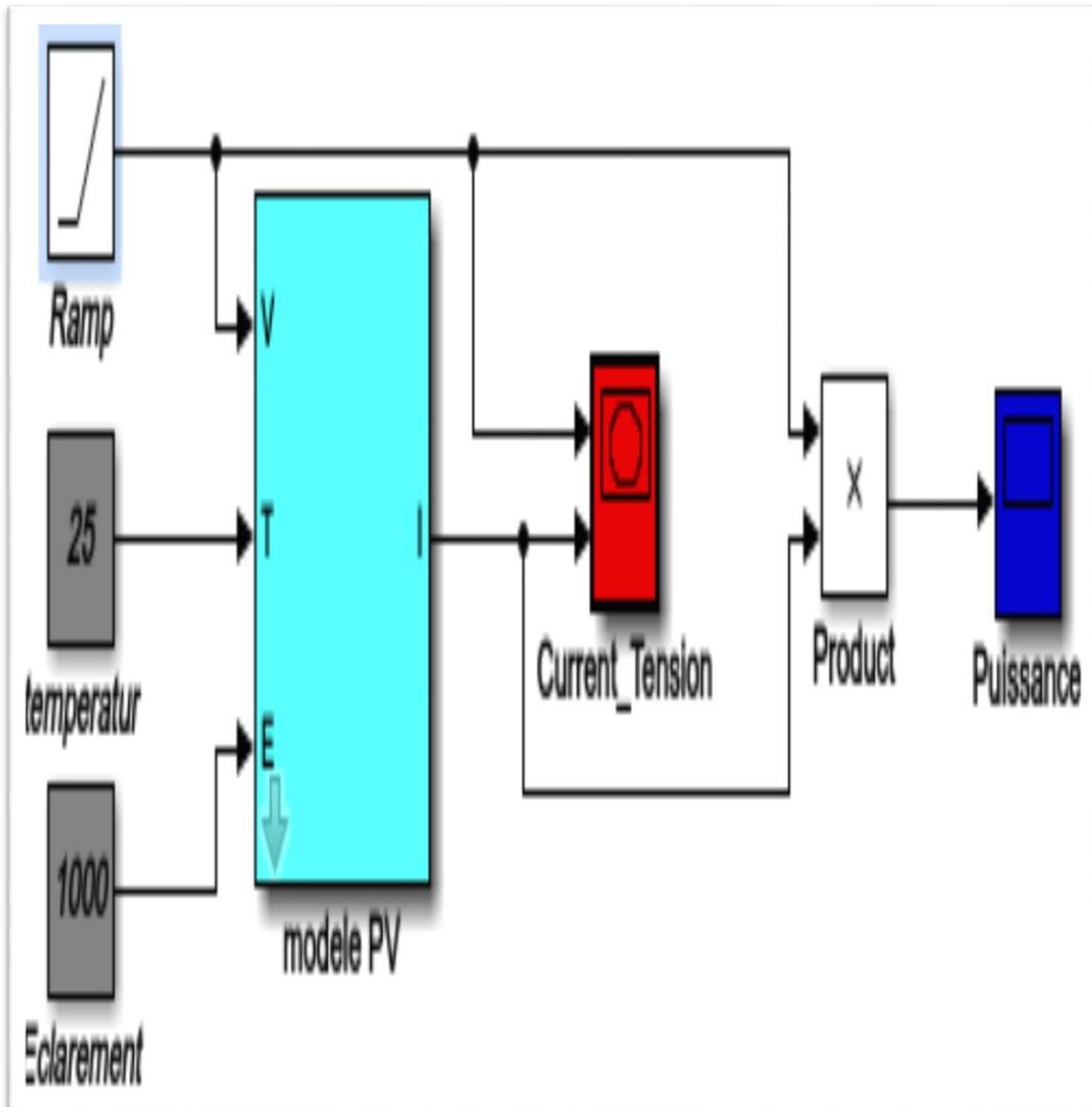


Fig .I.13 Schéma de simulation du module PV.

I.9 Caractéristique courant-tension d'un module :

Le courant produit par un module varie conformément aux diagrammes courant/tension.

Il dépend de l'éclairement solaire et de la température des cellules.

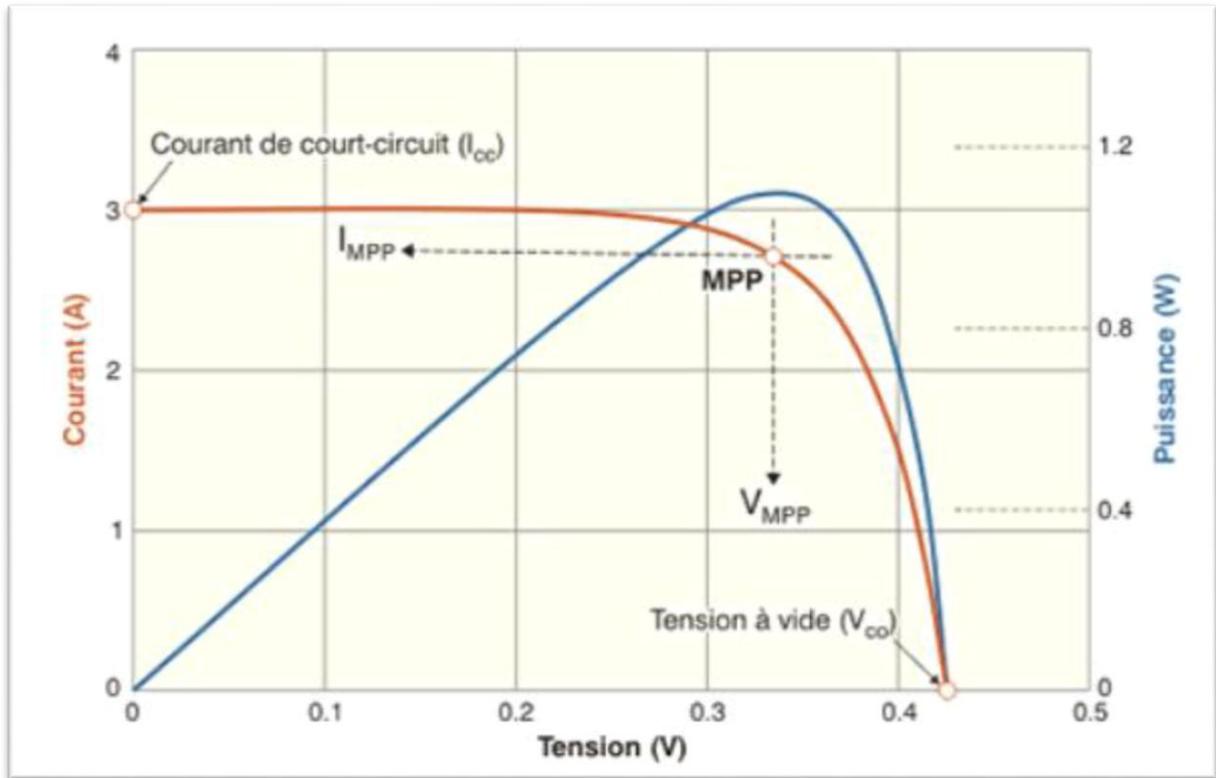


Fig.I.14 Exemple de caractéristique courant-tension d'un module.

I.10 Influence de l'Éclairement :

Le **fig.1.13** et Le **fig.1.14** montrent les résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension et Puissance-Tension du module photovoltaïque pour différentes valeurs de éclairement, température à un constant.

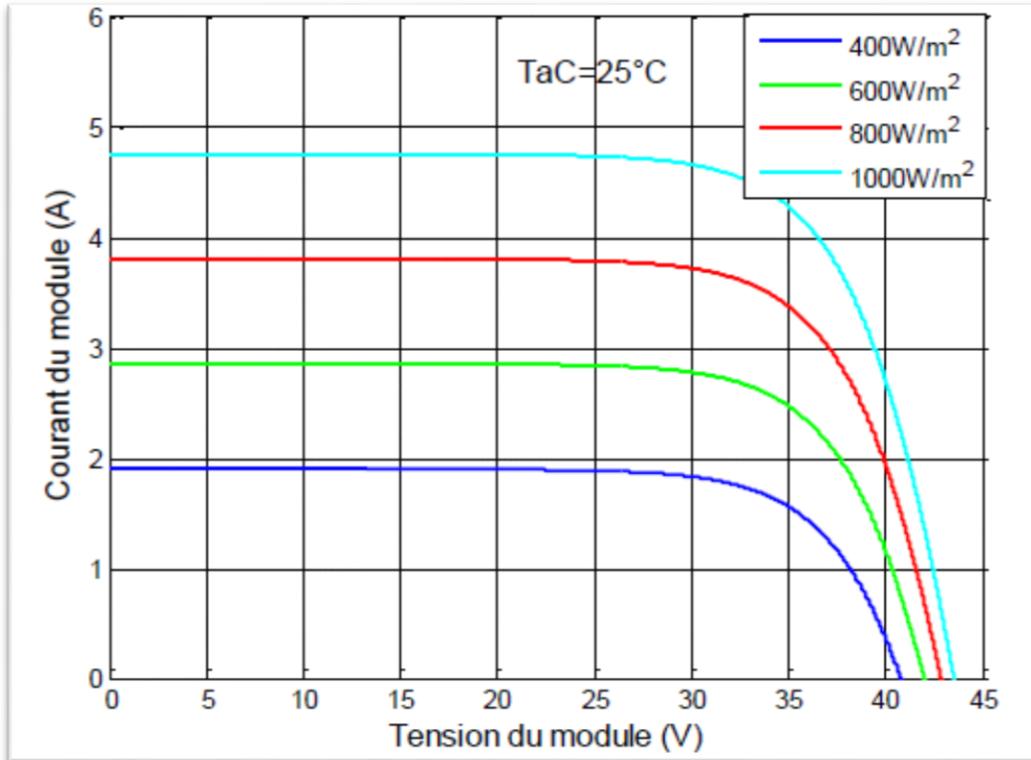


Fig.I.15 La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement.

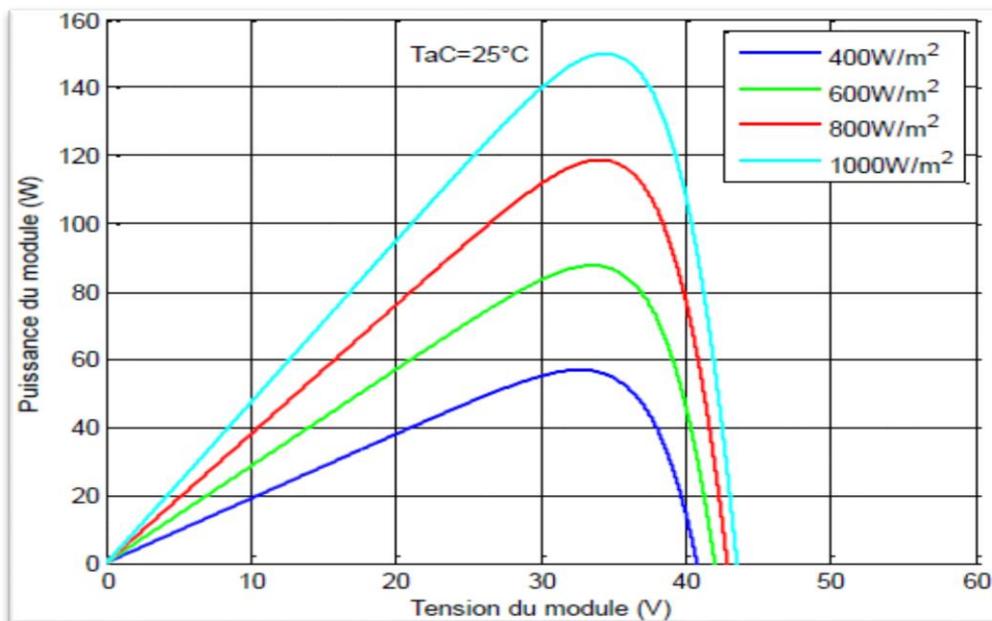


Fig.I.16 La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement.

❖ Discussion :

On remarque que la variation de l'éclairement influe visiblement sur le courant de court-circuit et peu sur la tension de circuit ouvert par conséquent la variation de PPM Proportionnellement à l'éclairement.

I.11 Influence de la Température :

Nous présentons ci-dessous les caractéristiques I-V et P-V **fig. I.15** et **I.16** d'un Module photovoltaïque pour un niveau d'ensoleillement G donné et pour différentes Températures :

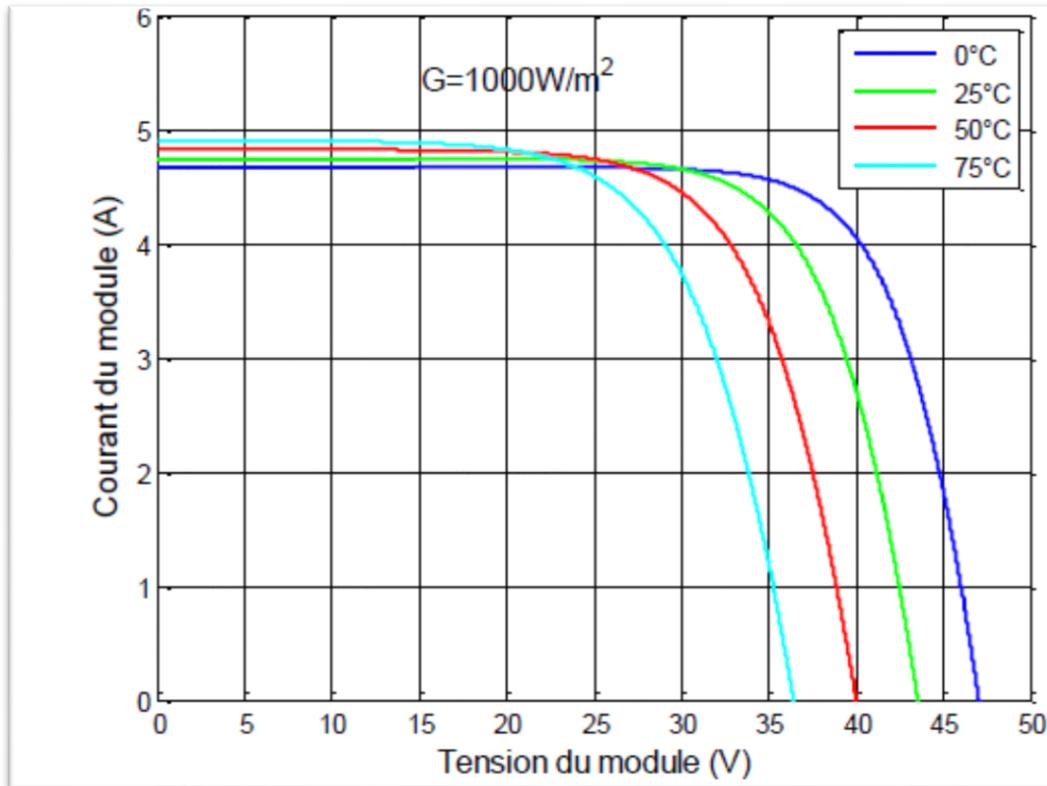


Fig.I.17 La caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température

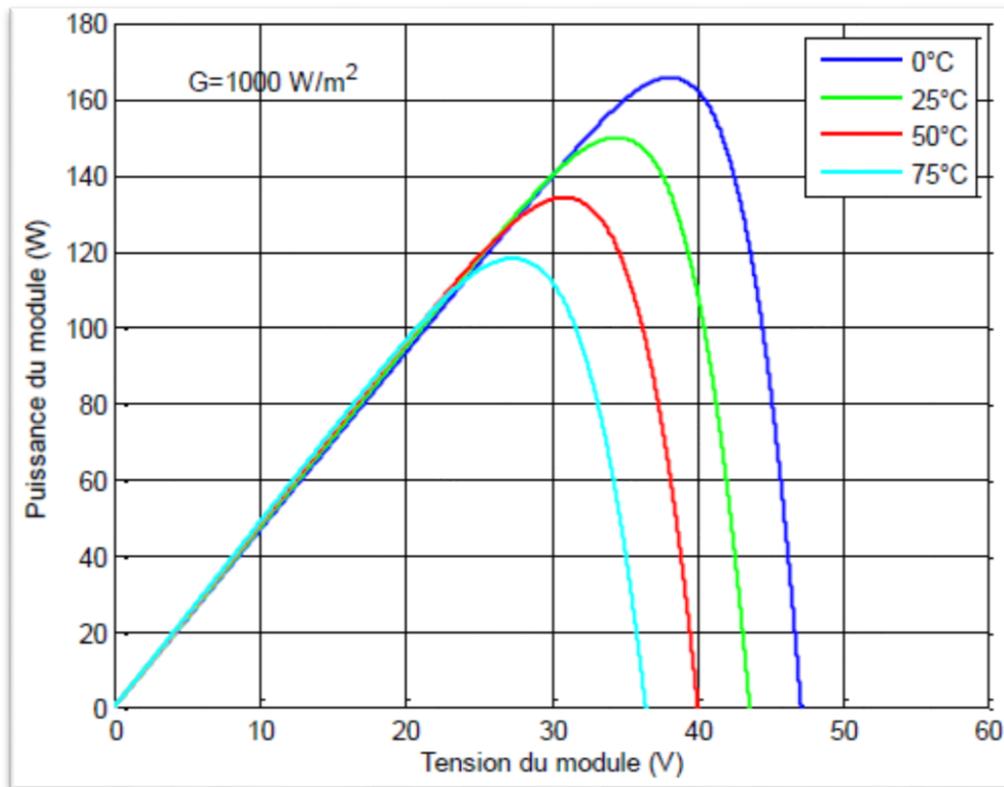


Fig.I.18 La caractéristique de $P = f(V)$ en fonction de température

❖ **Discussion :**

On observe que la tension de circuit ouvert diminue considérablement lorsque la température augmente. Par contre, le courant de court-circuit augmente légèrement. On peut remarquer que l'augmentation de la température se traduit aussi par une diminution de la puissance maximale.

I.12 Avantages et inconvénients d'une installation PV :

I.12.1 Avantages :

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage Simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Méga Watt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.

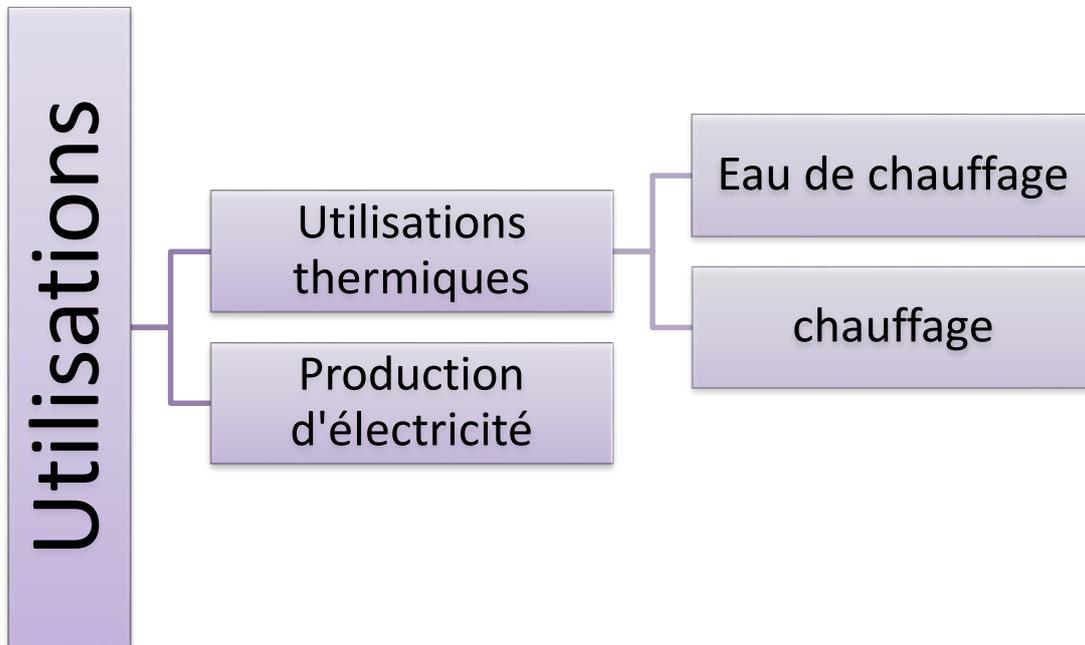
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions [14].

I.12.2 Inconvénients :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % (soit entre 10 et 15 MW/km² pour le BENELUX) avec une limite théorique Pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Tributaire des conditions météorologiques.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est Nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux Problèmes. Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le Fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur [14].

I.13 L'utilisation :

On a résumé dans ce schéma suivant :



Aujourd'hui, nous vivons une crise mondiale due à la propagation de ce virus (**COVID-19**), qui a causé de grandes pertes, qu'elles soient humaines, financières et économiques.....etc. Vous vous demandez tous ce que cette crise a à voir avec ce sujet et la question qui reste dans votre esprit :

Comment utilisons-nous l'énergie solaire pour nous protéger contre **COVID_19** ?

1. Masque de protection avancé à énergie solaire.



Fig.I.19 Masque de protection avancé à énergie solaire.

Ce masque est en silicone et présente les caractéristiques suivantes:

- Écouteur Bluetooth intégré pour écouter de la musique
- Un microphone qui vous permet de passer ou de recevoir des appels téléphoniques, sans retirer le masque.
- Deux petits ventilateurs électriques et un filtre lavable multicouche à haute efficacité pour créer un environnement d'air propre et frais à l'intérieur du masque.
- Batterie Lithium rechargeable via USB.
- Il peut également être connecté à votre application pour smartphone vous donnant accès à plus d'informations sur son état, ses filtres, sa batterie, ses données respiratoires et de température.

2. La conception d'un stérilisateur médical UV spécial utilise l'énergie solaire photovoltaïque séparément du réseau pour contrôler la propagation du COVID-19.



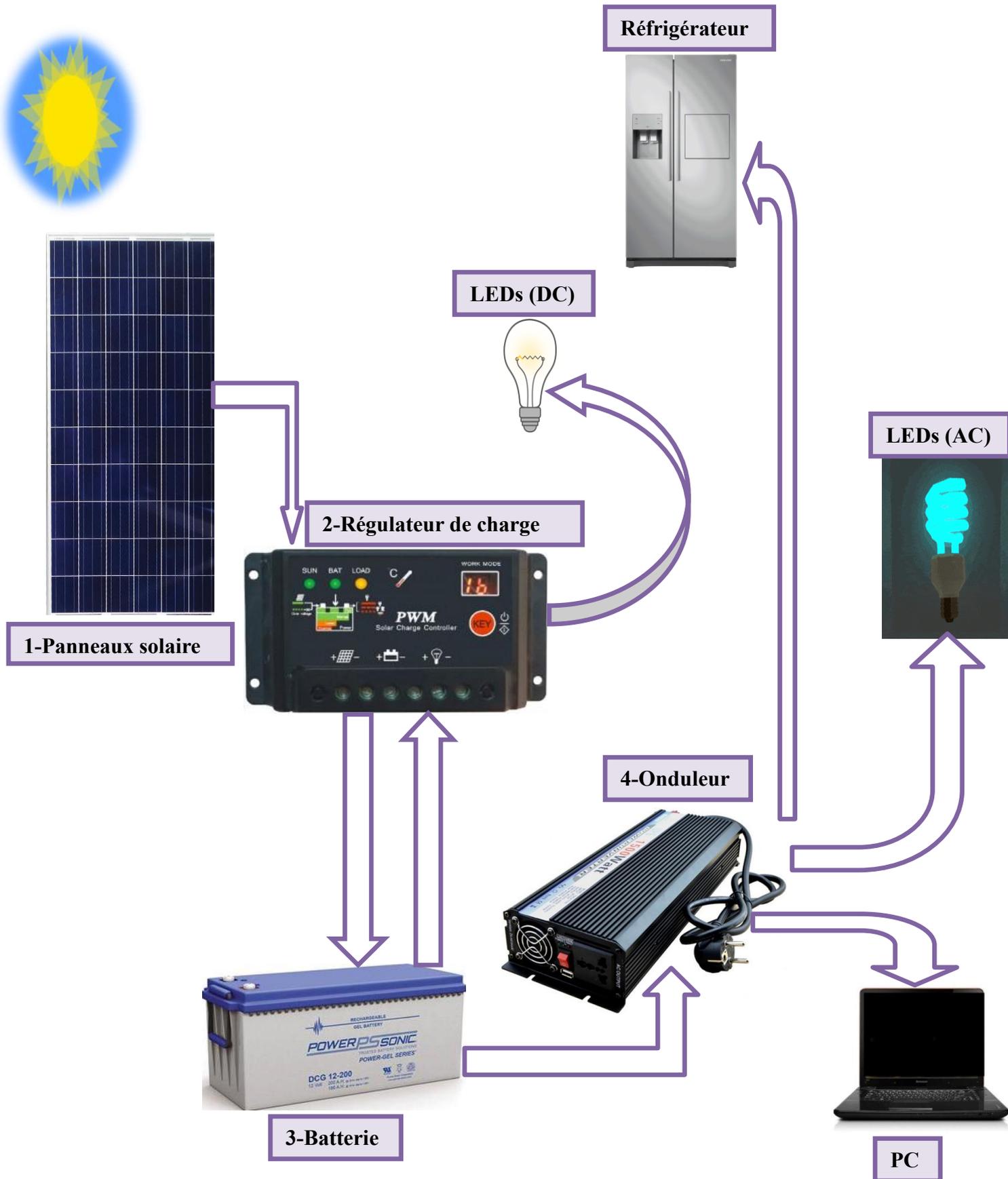
Fig.I.20 stérilisateur médical UV.

3. Une voie à énergie solaire automatiquement, chaque fois qu'une personne s'en approche, et continue de fonctionner même 10 secondes après la sortie de la personne



Fig.I.21 La voie à énergie solaire.

I.14 Le schéma générale d'un système photovoltaïque :



I.15 Conclusion

Ce chapitre s'est consacré à présenter le générateur photovoltaïque. Nous avons étudié le générateur photovoltaïque pour différentes puissances générées (cellules, modules et champs). Ensuite, nous avons modélisé des modules ainsi que paramètres électriques. Et nous avons fait une simulation du module photovoltaïque dans l'environnement **MATLAB-SIMULINK** et étudié les différents effets sur les caractéristiques Courant-Tension et Puissance-Tension telle que, l'influence de l'éclairement et la température ainsi l'association des modules PV en série et en parallèle. En fin conclue par l'utilisation et le schéma général de système photovoltaïque.

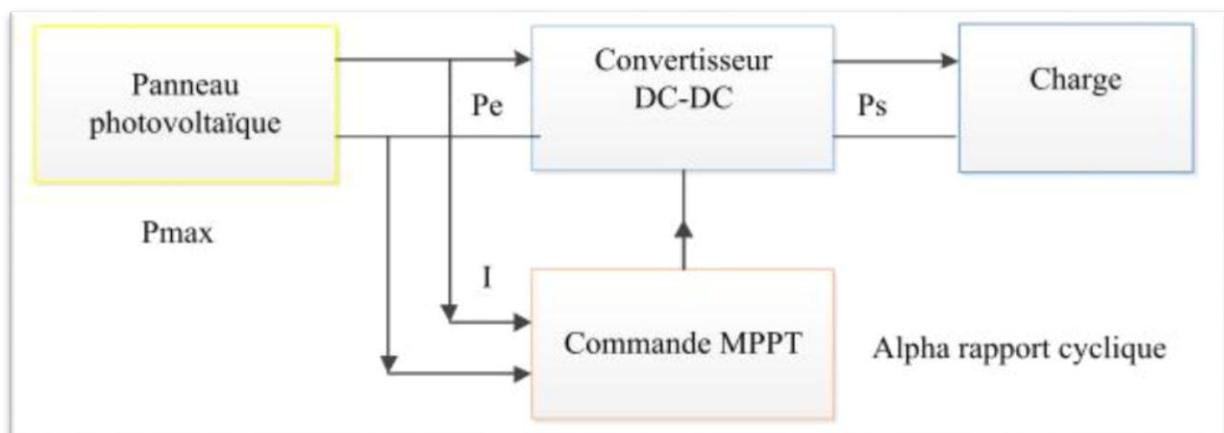
CHAPITRE II:

LES CONVERTISSEURS STATIQUES DC –DC

II.1 Introduction :

Comme on l'a vu dans le chapitre précédent, les caractéristiques d'un module photovoltaïque, montrent bien que la puissance maximale générée, dépend fortement de l'intensité des radiations solaires, ainsi que de la température, en plus de ces dépendances, le module PV ne peut générer sa puissance maximale, que pour une certaine tension et courant de fonctionnement, la position de ce point de fonctionnement, dépendant à son tour de l'ensoleillement, la température et la charge.

Afin que le module PV fournisse sa puissance maximale disponible, il faut une adaptation permanente de la charge avec le générateur photovoltaïque, cette adaptation pourra être réalisée par l'insertion d'un convertisseur DC-DC (hacheur) contrôlé par un mécanisme de poursuite «Maximum Power Point Tracking» (MPPT), afin d'assurer la puissance maximale [15]. La figure suivante décrit le système qui nous sera utilisé dans notre travail



FigII.1 Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT.

Le but de ce chapitre est l'étude de quelques types de convertisseurs DC-DC, utilisés dans les systèmes photovoltaïques, comme le hacheur dévolteur, le hacheur survolteur et le hacheur mixte (dévolteur-survolteur), en se basant sur la simulation et la réalisation d'un montage convertisseur DC-DC de type Boost. Parce que Ce type de convertisseur 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.

II.2 L'étage d'adaptation entre le générateur PV et la charge:

Afin d'extraire le maximum de puissance disponible, aux bornes du GPV et de la transférer à la charge, un étage d'adaptation est utilisé, cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments, il assure à travers une action de contrôle, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur à la charge.

L'adaptateur le plus souvent utilisé en photovoltaïque, est un convertisseur statique (convertisseur de puissance DC/DC), sa structure de conversion est choisie en fonction de la charge à alimenter, elle peut être survoltrice ou dévoltrice, si par exemple la charge est une batterie au plomb, ce sont ses plages de tension de charge et de décharge qui vont permettre d'établir la structure la plus adéquate [16].

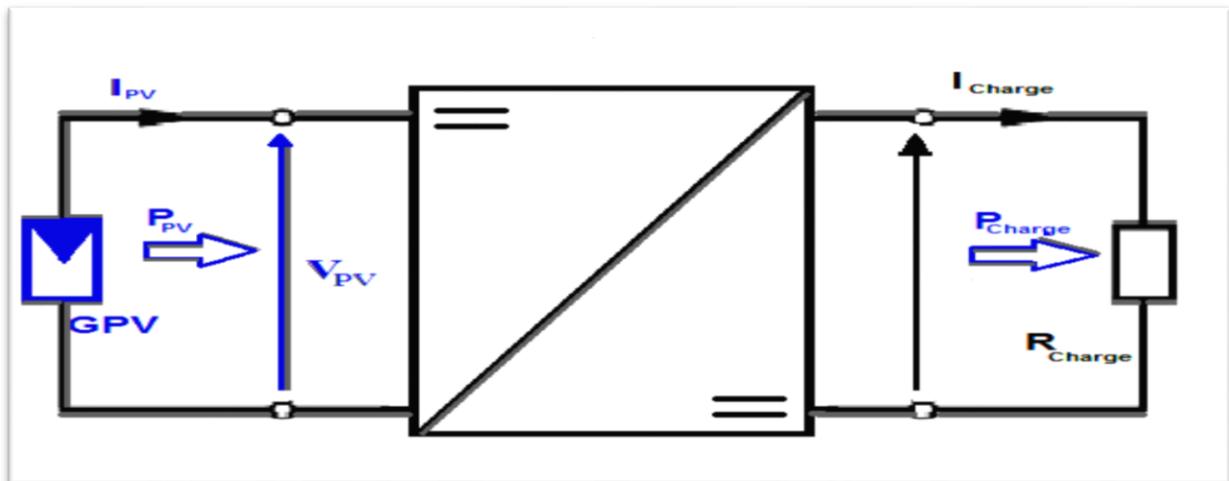


Fig.II.2 Étage d'adaptation entre le GPV et la charge.

II.3 Les type des convertisseurs DC-DC :

Il existe plusieurs types de convertisseurs statiques (DC/DC) dont les plus connus sont :

Le convertisseur statique dévolteur (Buck), le convertisseur statique survolteur (Boost) et le convertisseur mixte dévolteur-survolteur (Buck-Boost). Ces convertisseurs sont utilisés fréquemment dans les systèmes PV pour générer les tensions et les courants souhaités ainsi que pour l'adaptation des panneaux PV avec les différentes charges.

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	Élévateur	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

II.3.1 Le convertisseur survolteur (Boost) :

Le convertisseur survolteur, connu aussi sous le nom de « Boost » ou hacheur parallèle, il est utilisé pour convertir sa tension d’entrée en une tension de sortie supérieure, Son schéma de Principe est présenté sur la **fig.II.3** [17].

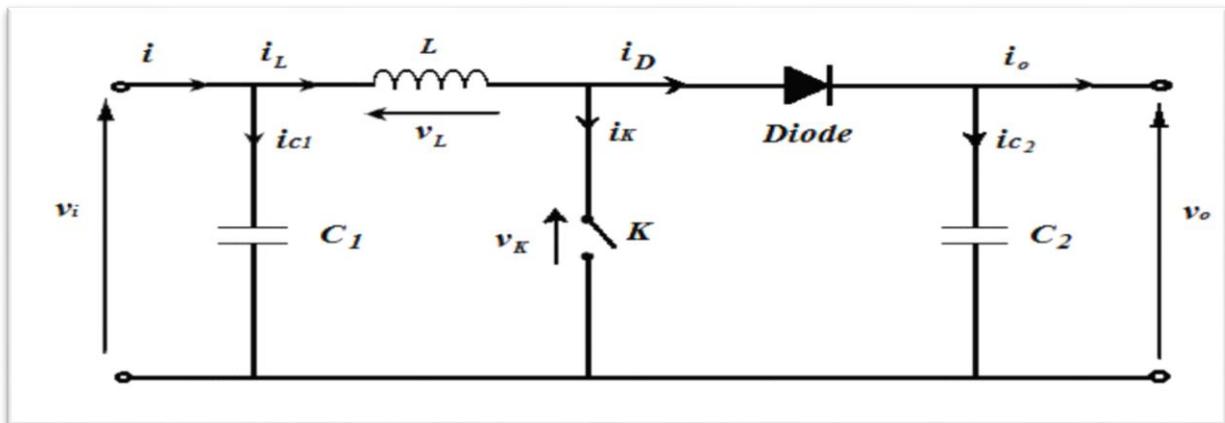


Fig.II.3 Schéma de principe du convertisseur survolteur (Boost) [17].

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 **fig.II.4** représente les deux schémas équivalents du convertisseur survolteur pour les deux cycles de fonctionnements [2], [18]

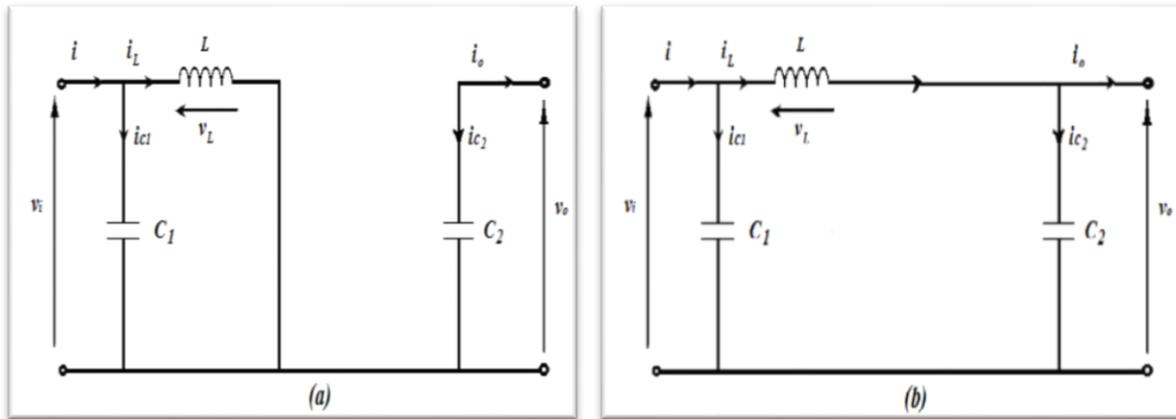


Fig.II.4 Schémas équivalents du convertisseur survolteur (Boost).

(a): K fermé (b): K ouvert

Lorsqu'on applique la loi de Kirchoff sur les deux circuits équivalents du convertisseur survolteur des deux phases de fonctionnement, on aura les deux systèmes d'équations suivantes :

α : le rapport cyclique ; T_s : la période ; $V_i = V_{in} = V_{pv}$; $V_o = V_{out} = V_{charge}$.

Pour la première période αT_s :

$$i_{C1} = C_1 \frac{dV_{in}(t)}{dt} = i_{in}(t) - i_L(t)$$

$$i_{C2} = C_2 \frac{dV_{out}(t)}{dt} = -i_{out}(t) \tag{II, 1}$$

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = -V_{in}(t)$$

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

$$i_{C1} = C_1 \frac{dV_{in}(t)}{dt} = i_{in}(t) - i_L(t)$$

$$i_{C2} = C_2 \frac{dV_{out}(t)}{dt} = i_L(t) - i_{in}(t) \tag{II, 2}$$

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_{in}(t) - V_{out}(t)$$

Pour trouver une représentation dynamique valable pour toute la période T_s , on utilise généralement l'expression suivante : [18], [16]

$$\left\langle \frac{dx}{dt} \right\rangle T_s = \frac{dx}{dt \alpha T_s} \alpha T_s + \frac{dx}{dt (1-\alpha) T_s} (1 - \alpha) T_s \tag{II, 3}$$

Où $\left\langle \frac{dx}{dt} \right\rangle$ est la valeur moyenne de la dérivée de x sur une période T_s cette relation est valide

si :

$\frac{dx}{dt\alpha T_s}$ Et $\frac{dx}{dt(1-\alpha)T_s}$ sont constants les périodes αT_s et $(1-\alpha)T_s$ respectivement. En appliquant la relation (II.3) sur les systèmes d'équations (II.1) et (II.2), on trouve le modèle approximé du convertisseur survolteur.

$$\begin{aligned} i_l(t) &= i_{in}(t) - c_1 \frac{dv_{in}(t)}{dt} \\ i_{out}(t) &= (1-\alpha)i_l - c_2 \frac{dv_i(t)}{dt} \\ V_{in}(t) &= \frac{di_l}{dt} = (1-\alpha) V_{out} \end{aligned} \quad (\text{II, 4})$$

Pour une étude en régime continu, en éliminant les dérivées des variables dynamiques et en remplaçant ces signaux par leurs valeurs moyennes, le système d'équations devient :

$$\begin{aligned} i_{out}(t) &= (1-\alpha)i_l \\ i_l &= i_{in} \\ V_{out}(t) &= (1-\alpha) V_{out} \end{aligned} \quad (\text{II, 5})$$

Le rapport de conversion est défini comme étant le rapport entre la tension de sortie et la tension d'entrée comme suit [18], [16]

$$M = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \quad (\text{II, 6})$$

Donc le hacheur survolteur est bien élévateur de tension.

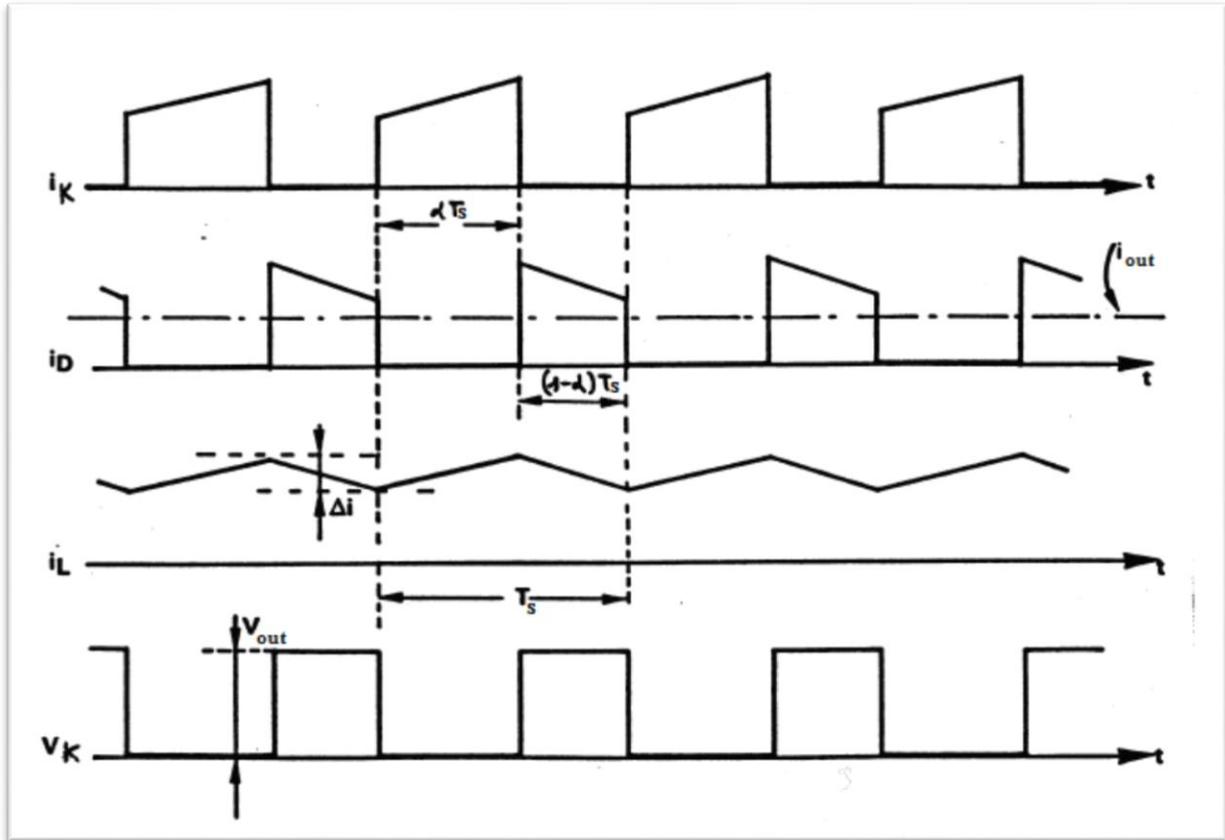
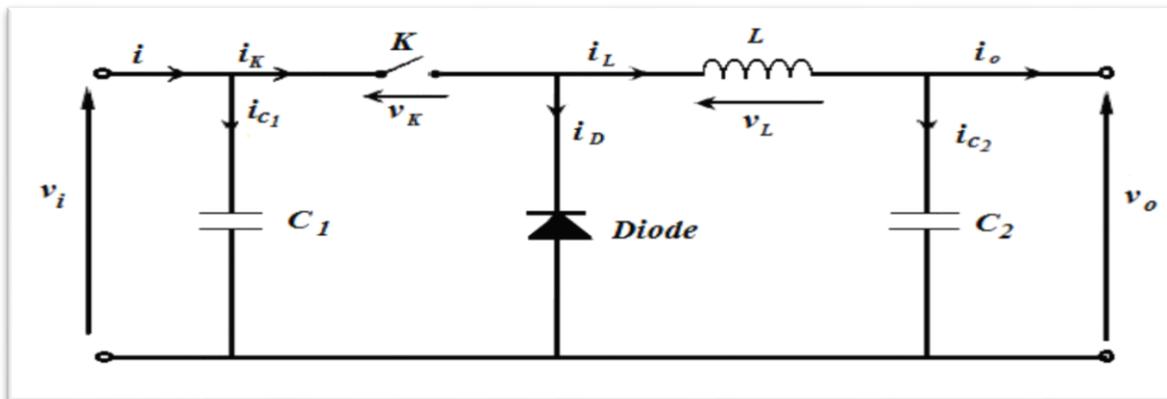


Fig.II.5 Formes d'ondes tension et courant [19].

II.3.2 Le convertisseur dévolteur (Buck) :

Le convertisseur dévolteur peut être souvent trouvé dans la littérature sous le nom de hacheur « Buck » ou hacheur série, son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie inférieure. La fig.II.6 représente le schéma de principe du convertisseur dévolteur [17].



FigII.6 Schéma de principe du convertisseur dévolteur (Buck) [17].

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 **fig.II.7** représente les deux schémas équivalents du convertisseur dévolteur pour les deux cycles de fonctionnements [20], [17].

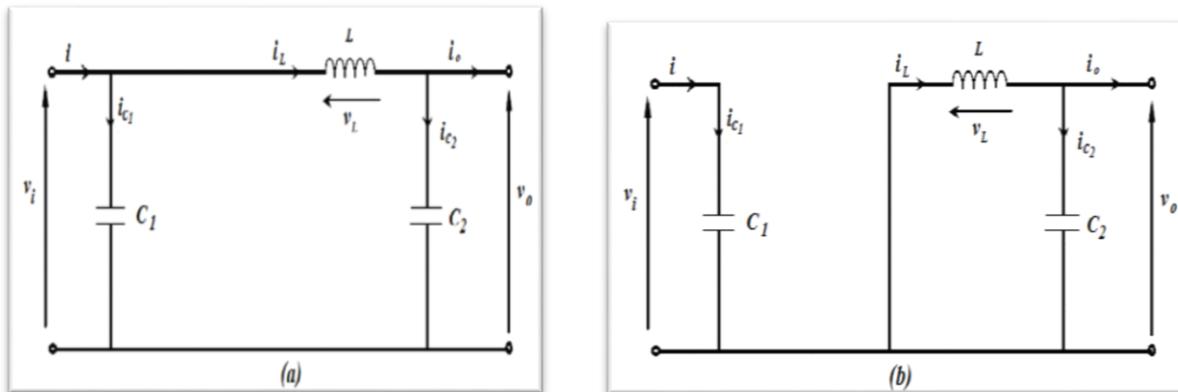


Fig.II.7 Schémas équivalents du hacheur dévolteur.

Comme pour le convertisseur survolteur, en appliquant les lois de Kirchhoff sur les deux circuits de la **fig.II.6**, on obtient les systèmes d'équations suivants :

$$\begin{aligned}
 i_{C1} &= C_1 \frac{dV_{in}(t)}{dt} = i_{in}(t) - i_l(t) \\
 i_{C2} &= C_2 \frac{dV_{out}(t)}{dt} = i_l(t) - i_{out}(t)
 \end{aligned} \tag{II, 7}$$

$$V_l(t) = L \frac{di_l(t)}{dt} = V_{in}(t) - V_{out}(t)$$

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

$$\begin{aligned}
 i_{C1} &= C_1 \frac{dV_{in}(t)}{dt} = i_{in}(t) \\
 i_{C2} &= L \frac{di_l(t)}{dt} = i_l(t) - i_{out}(t)
 \end{aligned} \tag{II, 8}$$

$$V_l(t) = L \frac{di_l(t)}{dt} = -V_{out}(t)$$

En appliquant la relation (II.3) sur les systèmes d'équations (II.7) et (II.8), on trouve le modèle approximé du convertisseur dévolteur.

$$i_{out}(t) = i_l(t) - c_2 \frac{dV_{out}(t)}{dt}$$

$$i_l(t) = \frac{1}{\alpha}(i_{in}(t) - c_1 \frac{dV_{in}(t)}{dt}) \tag{II, 9}$$

$$V_{in} = \frac{1}{\alpha} \left(L \frac{di_l(t)}{dt} + c_1 \frac{dV_{in}(t)}{dt} \right)$$

Pour une étude en régime continu, en éliminant les dérivées des variables dynamiques, et en remplaçant ces signaux par leurs valeurs moyennes. Le système d'équations devient:

$$i_{in} = di_l$$

$$i_{out} = i_l \tag{II, 10}$$

$$dV_{in}(t) = V_{out}$$

Le rapport de conversion du convertisseur dévolteur est donné par [20], [17] :

$$M = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \alpha \tag{II, 11}$$

Donc le hacheur série est bien abaisseur de tension.

II.3.3 Le convertisseur dévolteur-survolteur (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 fig.II.8. [20], [17], [15].

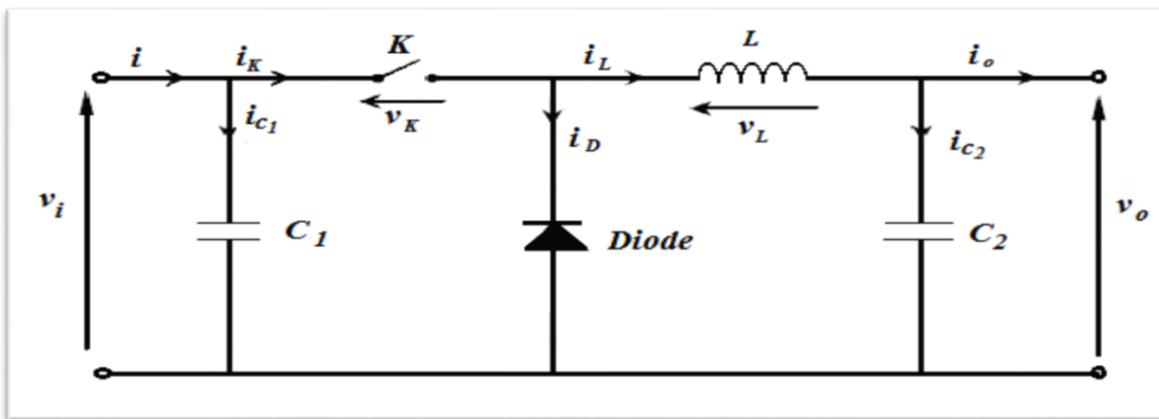


Fig.II.8 Schéma de base du convertisseur dévolteur-survolteur (Buck-Boost).

La fig.II.9 montre les deux schémas équivalents du convertisseur dévolteur- survolteur pour les deux cycles de fonctionnements [20], [17].

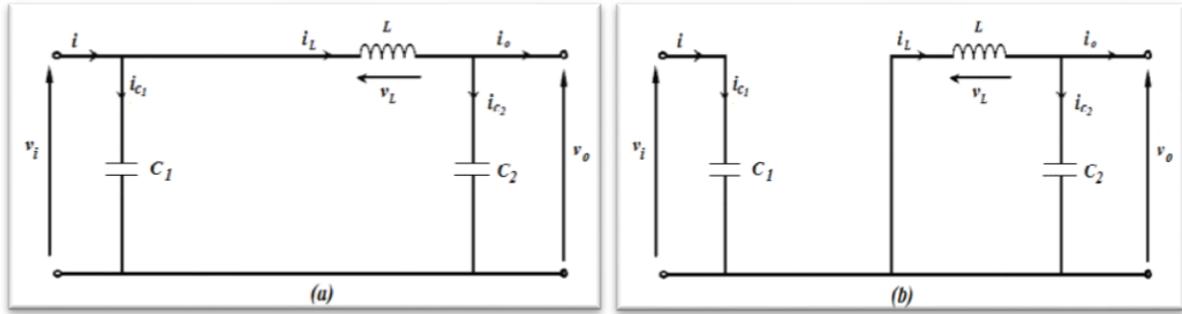


Fig.II.9 Schémas équivalents du Convertisseur dévolteur-survolteur (Buck-Boost).

(a) : K fermé (b) : K ouvert

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

Pour la première période αT_s .

$$i_{c1} = c_1 \frac{dv_{in}(t)}{dt} = i_{in}(t) - i_l(t)$$

$$i_{c2} = c_2 \frac{dv_{out}(t)}{dt} = -i_{out}(t) \tag{II, 12}$$

$$V_l(t) = L \frac{di_l(t)}{dt} = V_{in}(t)$$

Pour la deuxième période $(1-\alpha) T_s$.

$$i_{c1} = c_1 \frac{dv_{in}(t)}{dt} = i_{in}(t)$$

$$i_{c2} = c_2 \frac{dv_{out}(t)}{dt} = i_l(t) - i_{out}(t) \tag{II, 13}$$

$$V_l(t) = L \frac{di_l(t)}{dt} = V_{out}(t)$$

En appliquant la relation (II.3) sur les systèmes d'équations (II.12) et (II.13), on trouve le modèle approximé du convertisseur dévolteur-survolteur.

$$i_l(t) = \frac{1}{\alpha} \left(i_{in}(t) - c_1 \frac{dv_{in}(t)}{dt} \right)$$

$$i_{out}(t) = - (1-\alpha) i_l(t) - c_2 \frac{dv_{out}(t)}{dt} \tag{II, 14}$$

$$V_{in}(t) = \frac{1}{\alpha} \left(- (1-\alpha) V_{out}(t) - L \frac{di_l(t)}{dt} \right)$$

Comme précédemment, en annulant les dérivées des variables dynamiques, en remplaçant ces signaux par leurs grandeurs moyennes. Les systèmes d'équations deviennent:

$$i_{in} = di_l$$

$$i_{out} = - (1-\alpha) i_l \tag{II, 15}$$

$$dV_{in}(t) = - (1-\alpha) V_0$$

A partir du système d'équations (II.5), on peut calculer le rapport de conversion du convertisseur dévolteur-survolteur [20], [17], [15] :

$$M = \frac{V_{out}}{V_{in}} = - \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \tag{II, 16}$$

Donc ce convertisseur est bien transformateur hybride (abaisseur/élevateur) de tension.

II.4 La réalisation d'un convertisseur survolteur (Boost) :

Comme nous l'avons vu, la tension moyenne de sortie est supérieure à la tension d'entrée dans un convertisseur survolteur, cette structure demande un interrupteur commandé l'amorçage et au blocage (IGBT, MOSFET...). La fig.II.10 présente le schéma de convertisseur (Boost) réalisé.

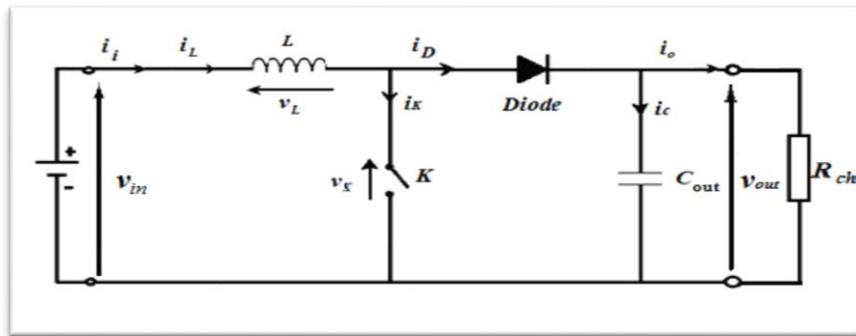


Fig.II.10 Schéma du convertisseur (Boost) réalisé.

II.4.1 Le calcul et le choix des composants du convertisseur :

Dans cette partie, nous allons dimensionner les différents composants constituant le circuit de puissance à savoir, le transistor de commutation, la diode rapide, l'inductance de lissage, la capacité de sortie et la résistance de charge. La détermination de la valeur de ces composants, est une étape critique dans l'implémentation du MPPT. Certes, tout composant inadapté peut logiquement empêcher un fonctionnement optimal de la carte, mais surtout il risque d'occasionner des pertes bien plus importantes.

II.4.1.1 Transistor :

Le transistor doit être dimensionné pour supporter le courant maximal délivré à la charge. Nous choisissons un MOSFET «IRF740». Ce MOSFET peut fonctionner avec une tension VDSS jusqu'à 400V, et un courant ID allant jusqu'à 10A. Il peut aussi fonctionner à une fréquence de 1Mhz (voir Data-Sheet sur Annexe B).

II.4.1.2 Diode :

La diode utilisée doit être rapide et doit supporter le courant maximal fourni à la charge, son rôle est d'éviter le retour du courant provenant de la charge. Dans ce travail, nous avons implanté une diode de référence « BYT30P ». **(Voir Data-Sheet sur Annexe C).**

II.4.1.3 Bobine :

Cet élément est le plus délicat à déterminer. En effet, une inductance trop faible ne permet pas le fonctionnement de la carte de puissance, et une inductance trop forte quant à elle provoquerait d'importantes pertes de puissance par effet Joule. Alors, l'inductance du circuit Boost est calculée pour un rapport cyclique de 10% et une fréquence minimale de 1Khz avec un courant maximal de 4,5A elle est donnée par [21] :

$$L = \frac{\alpha V_{in}}{(0,1 \cdot I_L \cdot f_d)} = \frac{0,1 \cdot 16,7}{(0,1 \cdot 4,5 \cdot 1000)} = 3,71 \text{Mh} \quad \text{(II, 17)}$$

Le rapport cyclique : $\alpha = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}}$ (II, 18)

$$I = \frac{V_{out}}{Rch} \quad \text{(II, 19)}$$

Résistance de charge : $Rch = I \cdot \frac{V_{out}^2}{P}$ (II, 20)

$$I_L = I \cdot \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad \text{(II, 21)}$$

II.4.1.4 Condensateur :

Nous plaçons en sortie un condensateur chimique pour filtrer les variations de la tension de sortie. La valeur des capacités est calculée en fonction de l'ondulation voulue, ainsi que des grandeurs moyennes désirées:

Pour des ondulations désirées de 0.1% la valeur du condensateur est de :

$$C_{out} = \frac{\alpha V_{in}}{(1-\alpha)V_{out} \cdot 0,05 \cdot f_d \cdot Rch} = \frac{0,1 \cdot 16,7}{(1-0,1)50 \cdot 0,05 \cdot 1000 \cdot 15} = 49,48 \mu\text{F} \quad \text{(II.22)}$$

Où $I=4,2 \text{ A}$ est le courant d'entrée pour un ensoleillement maximal de 1000 w/m^2 , $I_L=4,5 \text{ A}$ est le courant moyenne de l'inductance pour un pic de 5 A , $I_s=0,3 \text{ A}$ est le courant de sortie pour un rapport cyclique de 90% dans le cas idéal, $V_s=50\text{V}$ est la tension maximale pour un rapport cyclique de 90% [21].

II.5 Simulation du convertisseur survolteur (Boost) :

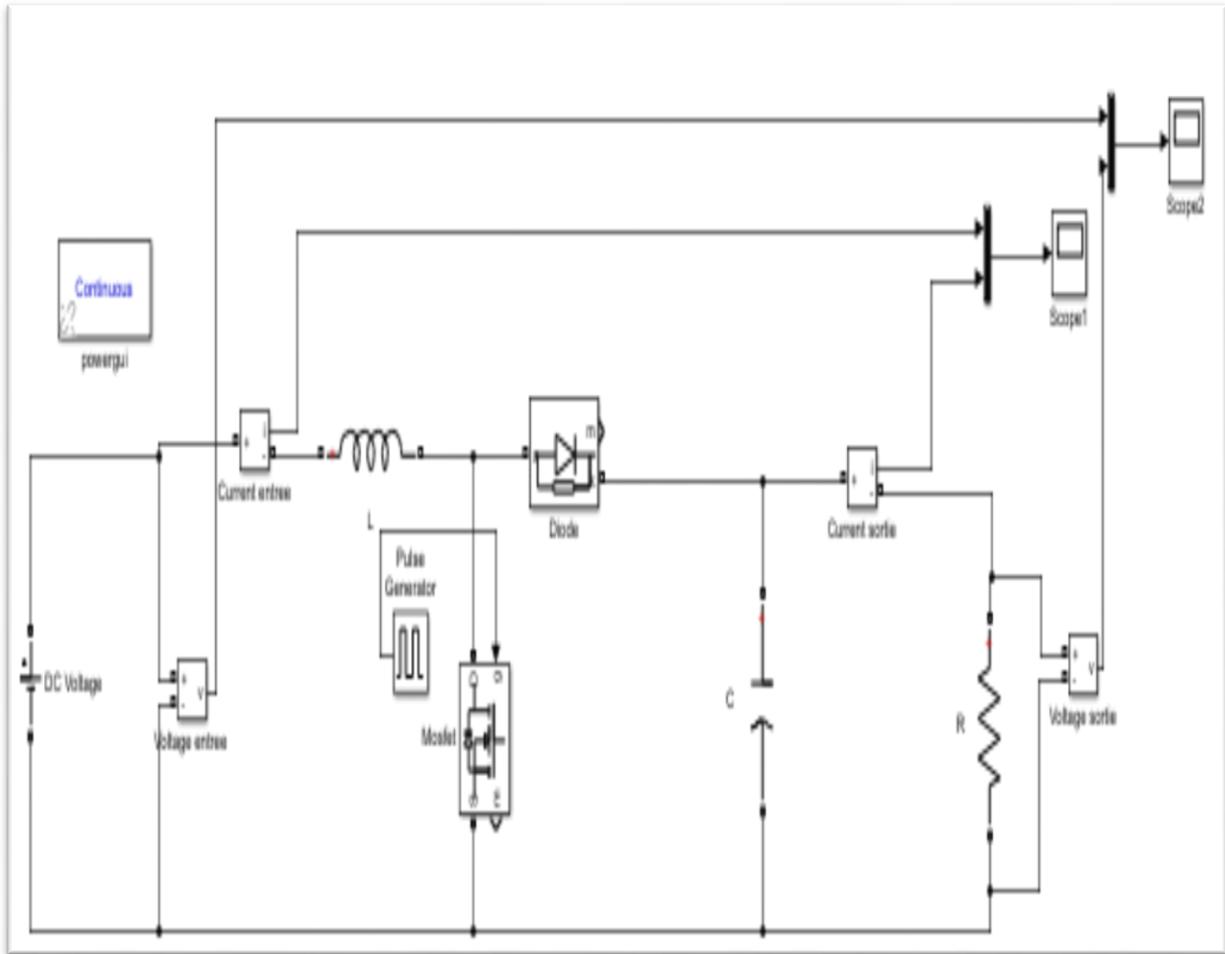


Fig.II.11 Le schéma bloc de la simulation du (Boost).

Tableau II.2 Paramètres du convertisseur DC-DC boost.

C(F)	R(Ω)	L(H)
33e-6	100	1e-3

II.6 Les résultats obtenus de la simulation du convertisseur survolteur (Boost) :

II.6.1 Le courant de sortie et le courant d'entrée:

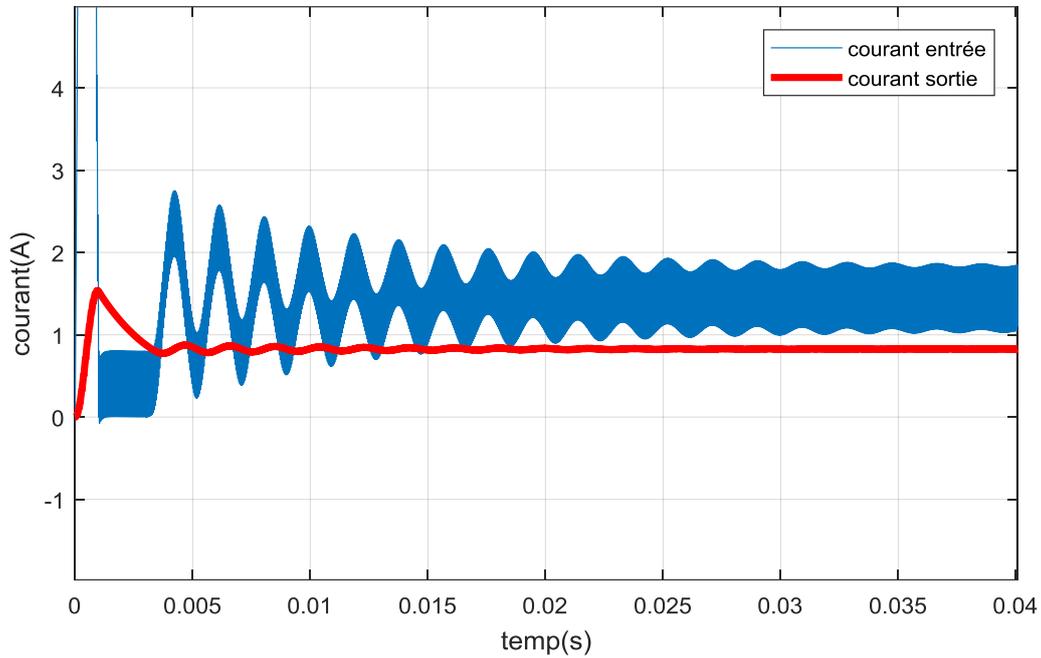


Fig.II.12 Le courant de sortie et le courant d'entrée.

II.6.2 La tension de sortie et la tension d'entrée :

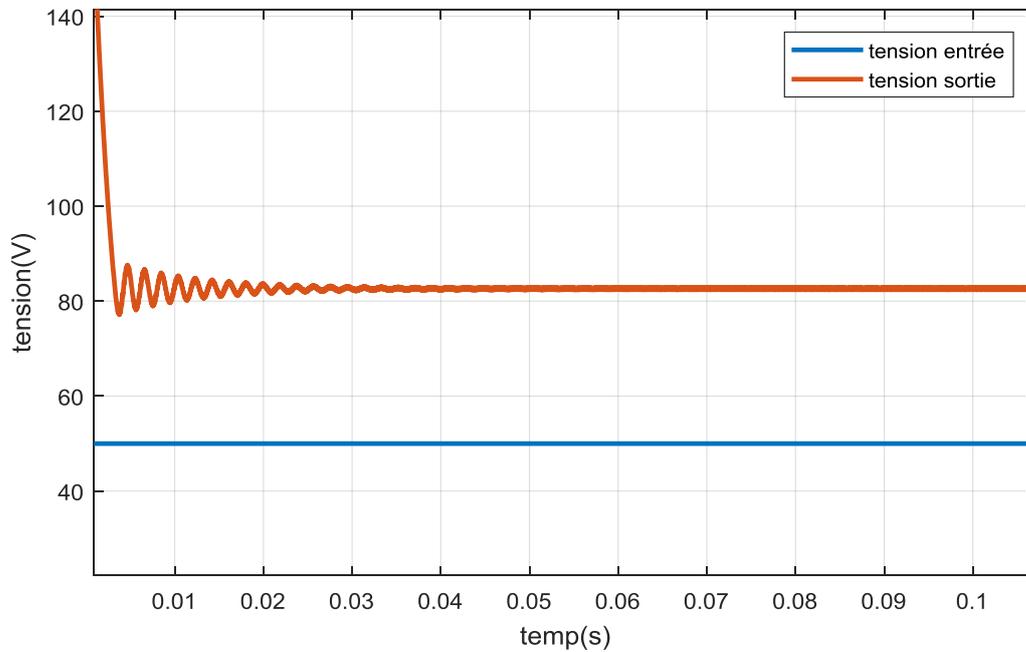


Fig.II.13 La tension de sortie et la tension d'entrée.

❖ Discutez des données :

D'après les résultats de simulation on remarque convertisseur survolteur (Boost) d'obtenir une tension continue réglable à partir d'une source continue fixe. et c'est le principe de fonctionnement d'un cette convertisseur.

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques types des convertisseurs statiques continu-continu utilisés dans les systèmes Photovoltaïques PV. Comme le convertisseur dévolteur (Buck), le convertisseur survolteur (Boost) et le convertisseur mixte (dévolteur-survolteur) (Buck-Boost).

Nous avons réalisé le convertisseur survolteur (Boost) à l'aide de Mosfet IRF740, après le dimensionnement des composants constituant le convertisseur Boost, nous avons fait la simulation de ce dernier. Enfin nous avons discuté le résultat obtenu.

CHAPITRE III :

POURSUITE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE (PPM)

III.1 Introduction :

Un générateur photovoltaïque peut fonctionner dans une large gamme de tension et de courant de sortes mais il ne peut délivrer une puissance maximale que pour des valeurs particulières du courant et de tension. En effet la caractéristique $I(V)$ du générateur dépend de l'éclairement solaire et de la température. Ces variations climatiques entraînent la fluctuation du point de puissance maximale. A cause de cette fluctuation, on intercale souvent entre le générateur et le récepteur un ou plusieurs convertisseurs statiques commandés permettant de rattraper à chaque fois le point de puissance maximale. Ce mécanisme connu sous le nom de MPPT (maximum power point tracking). assure le couplage entre le générateur PV et le récepteur en forçant le premier à délivrer sa puissance maximale [22].

III.2 Principe de fonctionnement de MPPT:

Un MPPT, de l'anglais « Maximum Power Point Tracking » est un principe permettant de suivre, comme son nom l'indique, le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire. En conséquence, pour un même éclairement, la puissance délivrée sera différente selon la charge. Un contrôleur MPPT permet donc de piloter le convertisseur statique reliant la charge (une batterie par exemple) et le panneau photovoltaïque de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge chaque instant. La [fig.III.1](#) représente la trajectoire du point de puissance maximale produite par le générateur [23].

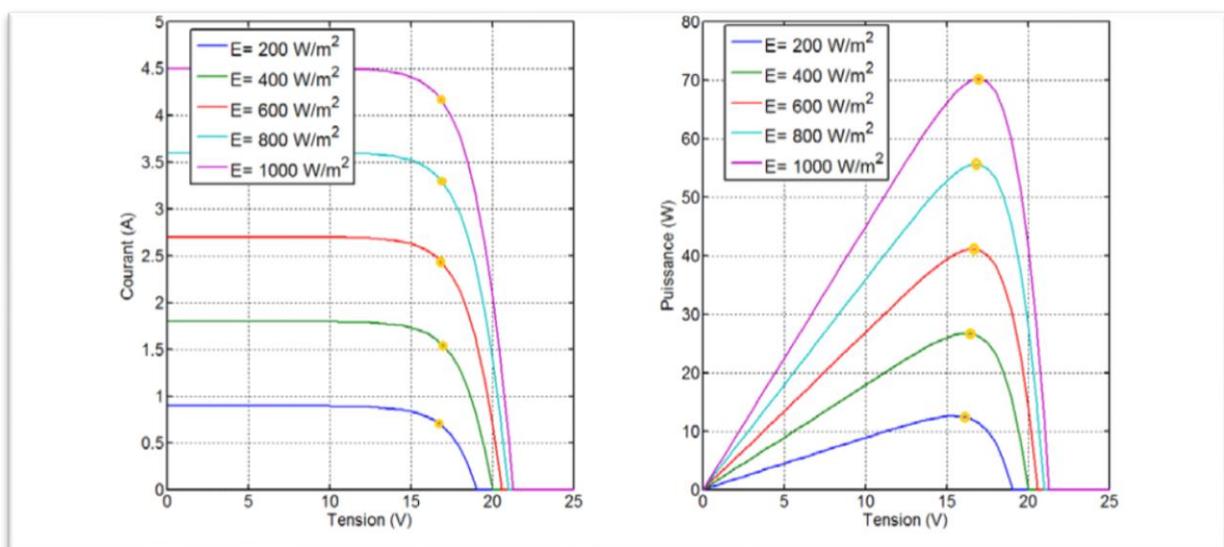


Fig.III.1 La caractéristique $I(V)$, $P(V)$ et la trajectoire de PPM.

Cet étage d'adaptation dispose d'une commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) qui lui permet de rechercher le PPM que peut fournir un module photovoltaïque. L'algorithme de recherche MPPT peut être plus ou moins complexe en fonction du type d'implantation choisi et des performances recherchées. Cependant au final, tous les algorithmes performants doivent jouer sur la variation du rapport cyclique du convertisseur de puissance associé.

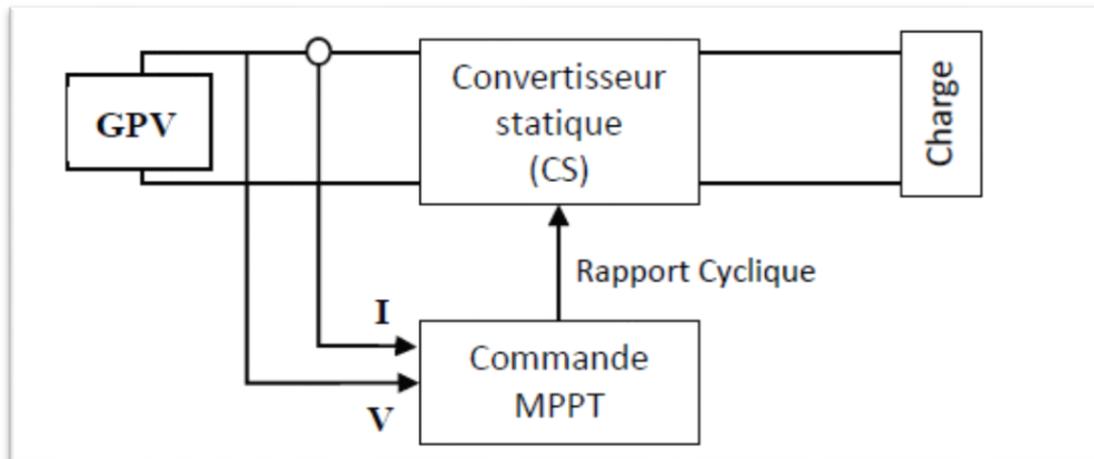
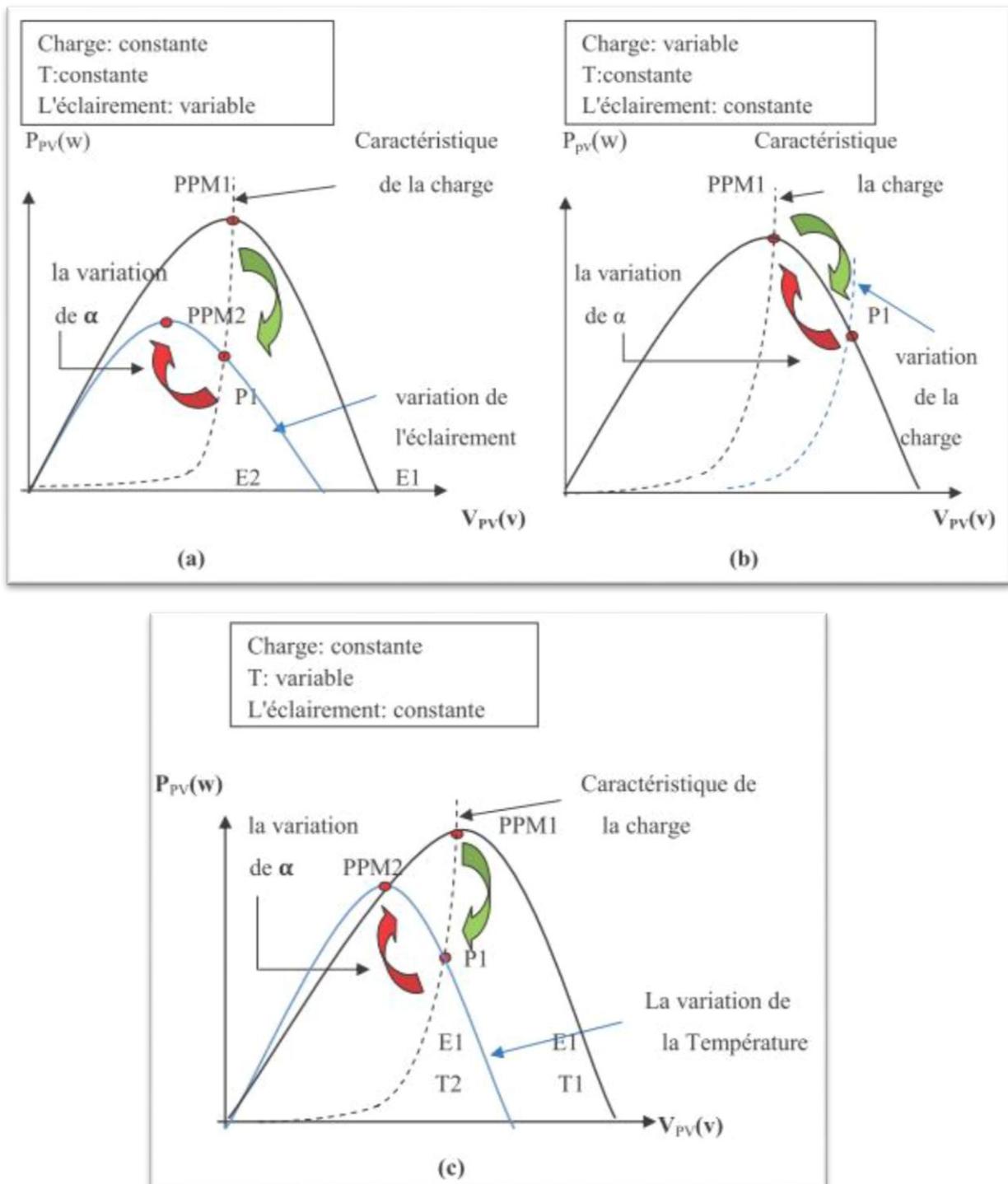


Fig.III.2 Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant un panneau photovoltaïque, un convertisseur BOOST, une commande MPPT et une charge.

La **fig.III.3** illustre trois cas de perturbations. Suivant le type de perturbation, le point de fonctionnement bascule du point de puissance maximal PPM1 vers un nouveau point P1 de fonctionnement plus ou moins éloigné de l'optimum.



(a) l'influence de l'éclairement (b) l'influence de la charge (c) l'influence de la température

Fig.III.3 Recherche et recouvrement du Point Puissance Maximale [22].

Dans ce cas est pour une variation de l'éclairement il suffit de réajuster la valeur du rapport cyclique pour converger vers le nouveau point de puissance maximal PPM2. Dans le cas (b) pour une variation de la charge on peut également constater une modification du point de fonctionnement qui peut retrouver une nouvelle position optimale grâce à l'action d'une commande. Enfin dans le dernier cas (c) de variation de point de fonctionnement peut se produire lié aux variations de température de fonctionnement du GPV. Bien qu'il faut également agir au niveau de la commande.

III.3 Classification Des Commandes MPPT :

Nous pouvons classer d'une manière générale les commandes MPPT selon le type d'implémentation électronique : analogique, numérique ou mixte. Il est cependant plus intéressant de les classer selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande MPPT [24].

III.3.1 Classification Des Commandes MPPT Selon Les Paramètres D'entrée :

A) Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS :

Il y a un certain nombre de commandes MPPT qui effectue une recherche du PPM selon l'évolution de la puissance fournie par le GPV. Comme la méthode de Perturb&Observe, les algorithmes d'incrément de conductance qui utilisent la valeur de la puissance fournie par le GPV pour l'application d'une action de contrôle adéquate pour le suivi du PPM ou bien Les commandes qui sont basé sur des relations de proportionnalité entre les paramètres optimaux caractérisant le point de puissance maximal (V_{opt} et I_{opt}) et les paramètres caractéristiques du module PV (V_{oc} et I_{cc}). Notamment, les MPPT inspirées des réseaux de neurones. Dans ces commandes, soit on fait appel à des systèmes à mémoires informatiques importantes ayant stocké tous les cas possibles, soit les commandes sont encore une fois de plus approximatives. Toutes ces commandes ont comme avantages leurs précisions et leur rapidité de réaction [24].

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

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

Dans tous les systèmes utilisant les paramètres de sortie, une approximation de P_{max} est faite à travers le rendement du convertisseur. En somme, plus l'étage de conversion est bon, plus cette approximation est valable. Par contre, en général, tous les systèmes avec un seul capteur sont par essence, non précis. La plupart de ces systèmes ont été conçus à l'origine pour le spatial [24].

III.3.2 Classification Des Commandes MPPT Selon Le Type De Recherche :

a. MPPT Indirect :

Ce type de commandes MPPT utilise le lien existant entre les variables mesurées (I_{sc} ou V_{oc}), qui peuvent être facilement déterminées, et la position approximative du MPP. Il compte aussi les commandes se basant sur une estimation du point de fonctionnement du GPV réalisée à partir d'un modèle paramétrique défini au préalable. Il existe aussi des commandes qui établissent une poursuite de la tension optimale en prenant en compte uniquement les variations de la température des cellules donnée par un capteur. Ces commandes ont l'avantage d'être simples à réaliser. Elles sont plutôt destinées à des systèmes peu coûteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où il y a peu de changements climatiques.

b. MPPT Direct :

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

III.4 Les Algorithmes MPPT :

Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du GPV. Et Dans ce chapitre, nous nous sommes concentrés sur un algorithme

III.4.1 Perturbation Et Observation (P&O, Perturbe And Observe) :

La méthode P&O est généralement la plus utilisée en raison de sa simplicité et sa facilité de réalisation. Comme son nom l'indique, cette méthode repose sur la perturbation (une augmentation ou une diminution) de la tension V_{ref} , ou du courant I_{ref} , et l'observation de la conséquence de cette perturbation sur la puissance mesurée ($P=VI$) [25]. Cependant, la variable idéale qui caractérise le MPP est celle qui varie peu lors d'un changement climatique. La variation du rayonnement affecte davantage le courant que la tension photovoltaïque. Par contre, la variation de la température modifie plus la tension du GPV. Néanmoins, la dynamique de la température est lente et varie sur une plage réduite. Par conséquent, il est préférable de contrôler la tension du GPV [25].

Le principe de commande P&O consiste à provoquer une perturbation de faible valeur sur la tension V_{pv} , ce qui engendre une variation de la puissance [25]. Fig.III.4 montre qu'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 dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique P(V), il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié

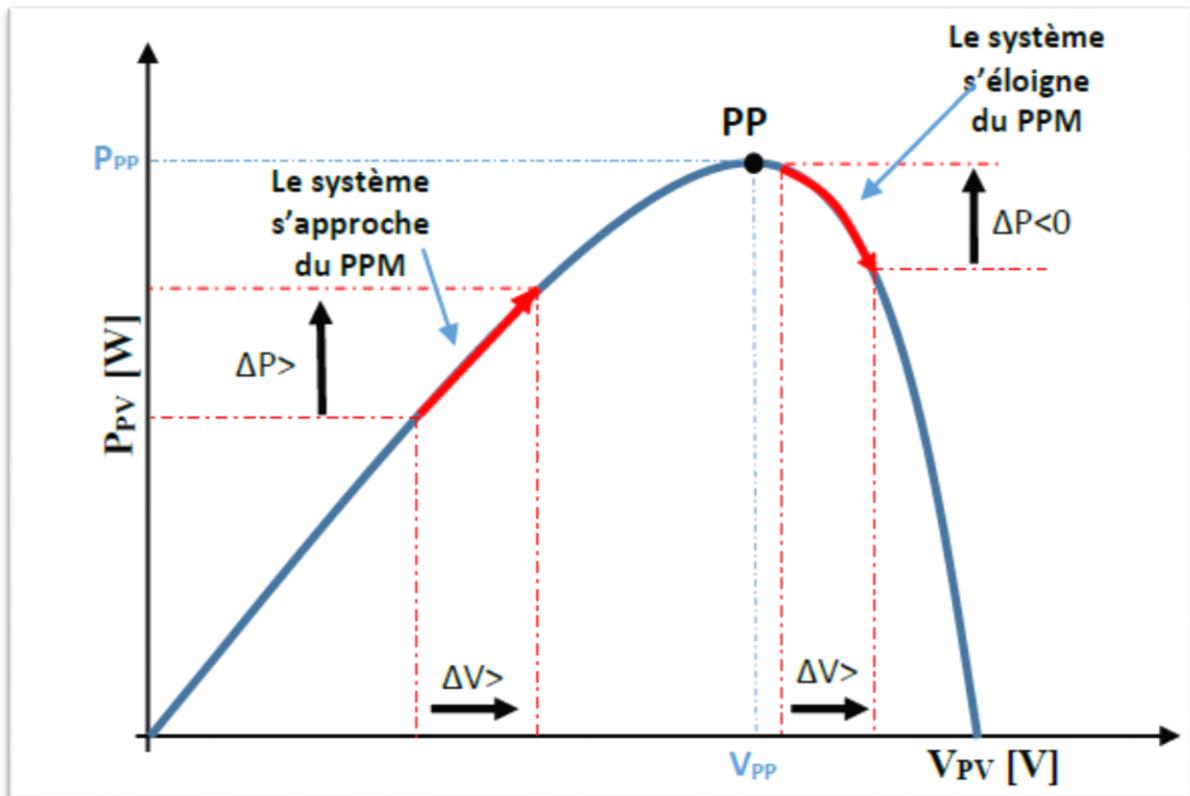


Fig.III.4 Recherche du PPM par la méthode (P&O)

A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $\mathbf{P(v)}$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du GPV à chaque instant. L'utilisation d'un microprocesseur est plus appropriée pour la réalisation de la méthode P&O, même si des circuits analogiques peuvent être utilisés [25].

La **Fig.III.5** 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.

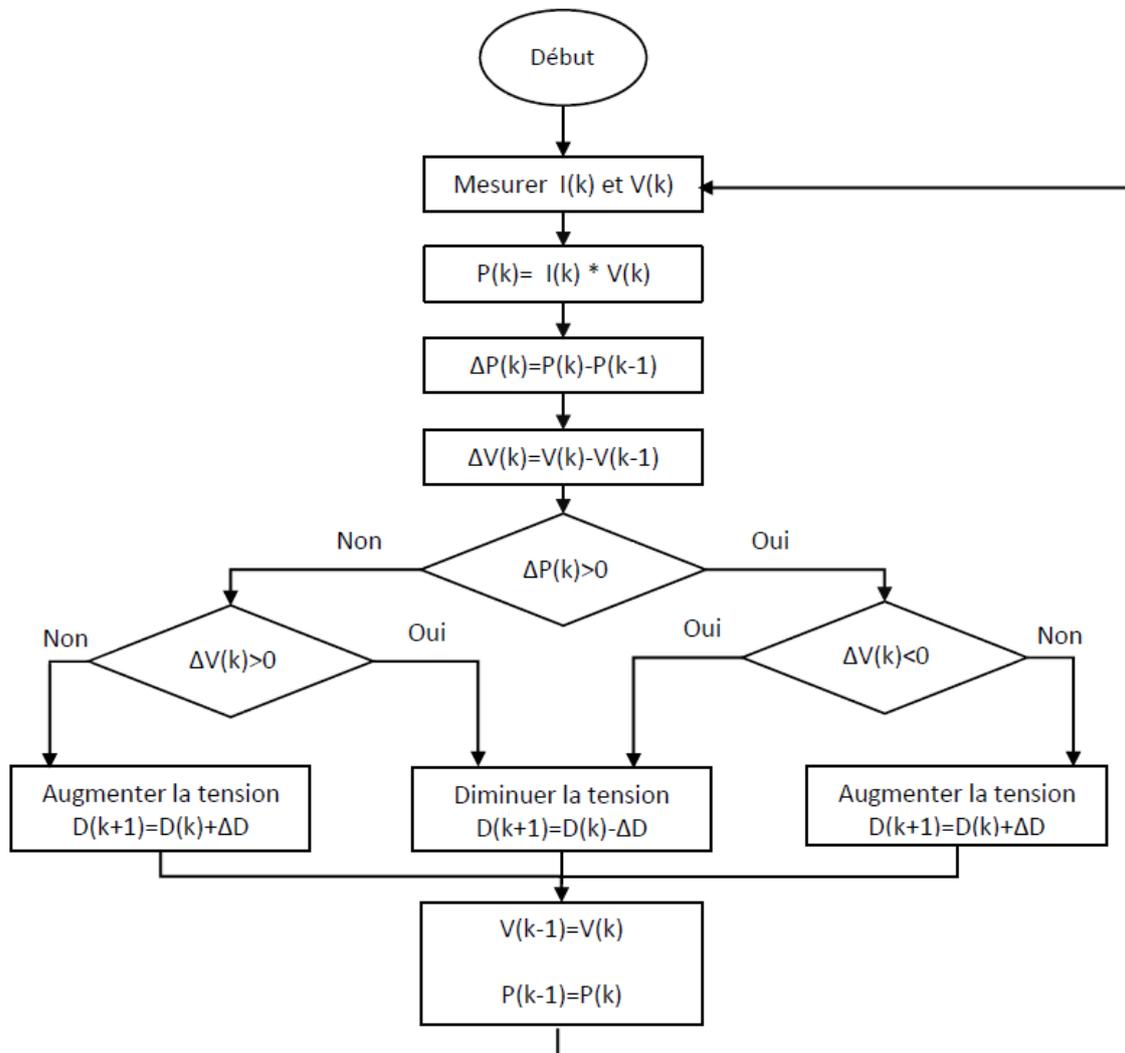


Fig.III.5 Algorithme de MPPT à base de la méthode P&O.

La méthode P&O est largement utilisée de par sa facilité d'implémentation, cependant elle présente quelques problèmes liés aux oscillations autour du PPM qu'elle engendre en régime établi car la procédure de recherche du PPM doit être répétée périodiquement, obligeant le système à osciller en permanence autour du PPM, une fois ce dernier atteint [25]. Ces oscillations dépendent de la largeur du pas de la perturbation [25]:

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

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

Il faut donc trouver un compromis entre précision et rapidité. Ce qui rend cette commande difficile à optimiser. Un autre inconvénient de la méthode P&O lors d'un changement rapide des conditions atmosphériques. **Fig.III.6** Commencant par un point de fonctionnement A, si les conditions climatiques restent constantes, une perturbation ΔV dans la tension V amènera le point de fonctionnement au point B, et le sens de la perturbation sera inversé à cause de la diminution de la puissance. Par contre, si par exemple l'éclairement augmente et déplace la courbe de puissance de P_1 à P_2 , sur un cycle du MPPT, le point de fonctionnement sera déplacé de A vers C. Cela représente une augmentation de la puissance, l'algorithme précédent réagit comme si cette augmentation est produite par l'effet de perturbation précédente, alors il continue dans la même direction qui est une mauvaise direction, ce qu'il éloigne du vrai point de puissance maximale. Ce processus continu jusqu'à la stabilité de l'ensoleillement où il revient au vrai point de puissance maximale. Ceci cause un retard de réponse lors des changements soudains des conditions de fonctionnement et des pertes de puissance [25].

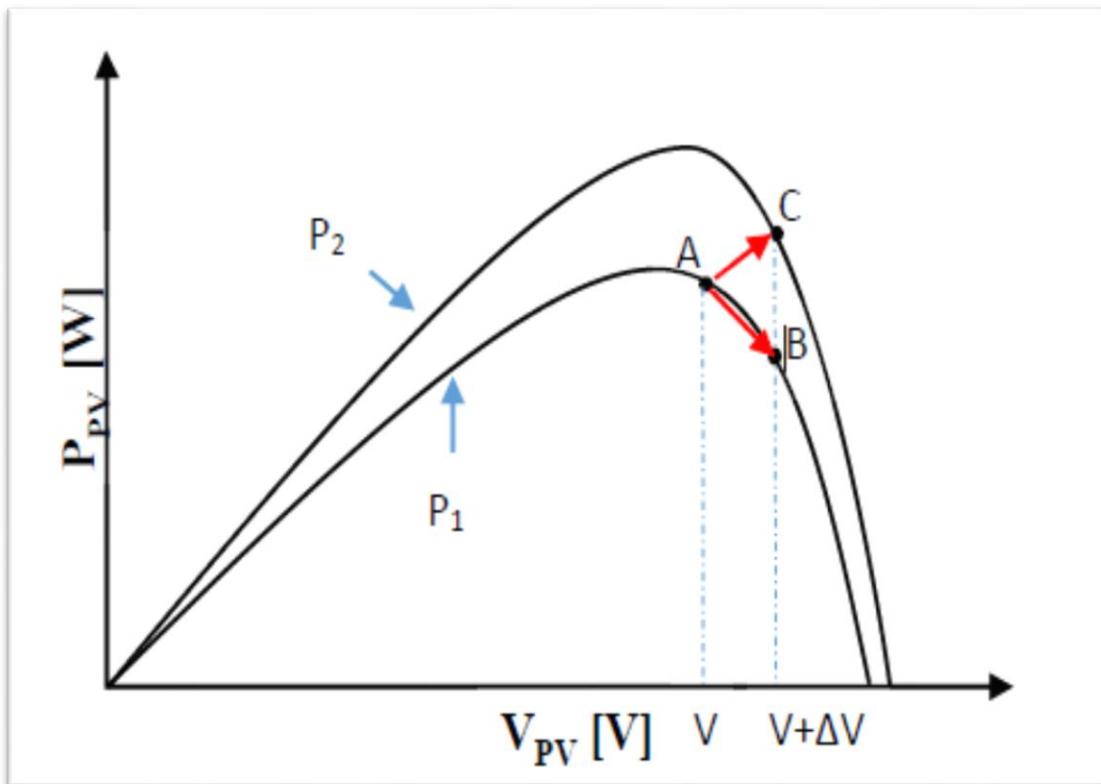


Fig.III.6 Divergence de la méthode P&O.

III.4.1.1 La simulation de l'algorithme MPPT-P&O :

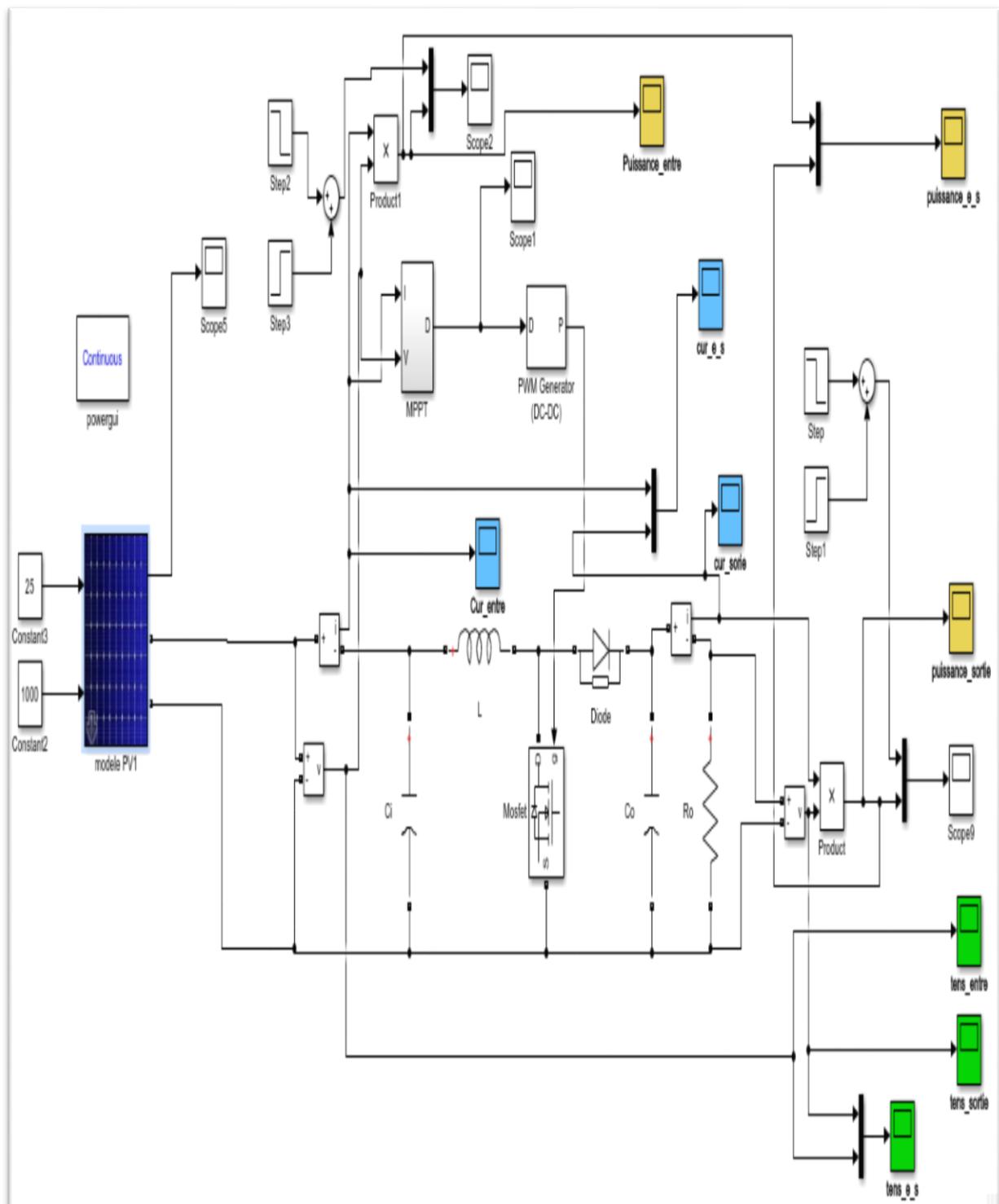


Fig.III.7 Modèle système PV avec la commande MPPT (P&O).

Tableau III.1 Paramètres de système PV.

R0(Ω)	L(H)	Ci(F)	C0(F)
50	18e-3	470e-6	470e-6

III.4.1.2 Simulation d'un GPV:

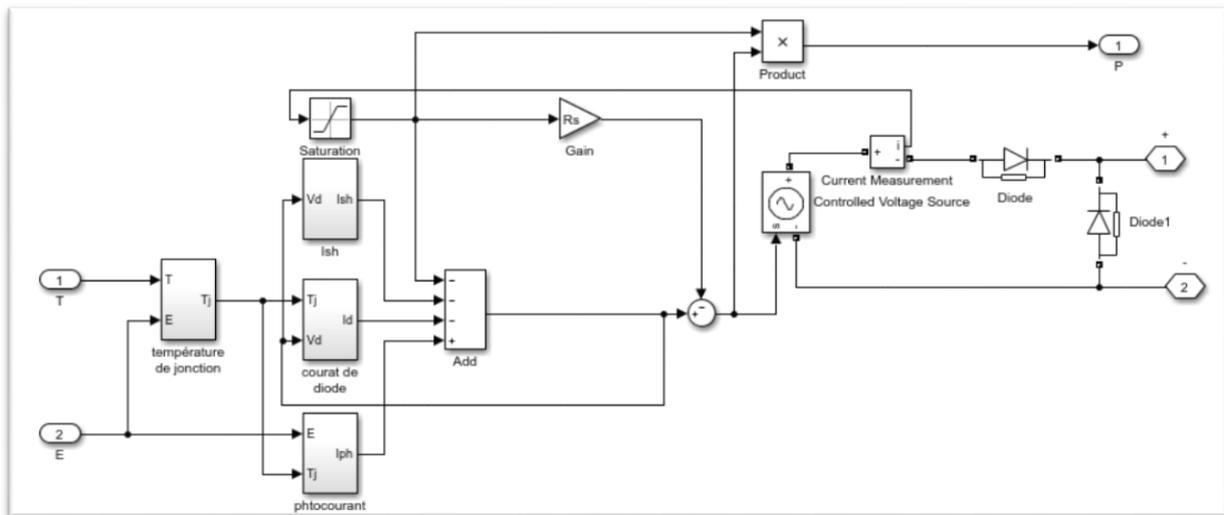


Fig.III.8 Modèle de simulation du GPV.

Les caractéristiques électriques de ce module photovoltaïque sont données dans le tableau suivant :

Tableau III.2 Caractéristiques électriques du module photovoltaïque

Tension à vide (V_{oc})	64.3
Courant de court-circuit (I_{cc})	6.02
Courant optimal (I_{op})	5.64
Tension optimal (V_{op})	54.7
Nombre série (N_s)	4
Nombre parallèle (N_p)	4
Résistance série (R_s)	0.38767
Résistance shunt (R_{sh})	403.8158
Facteur d'idéalité de diode	0.94635
Température de fonctionnement (Not)	45
Coefficient de température	0.00463

Remarque : On utilise le même modèle de simulation du GPV et les mêmes caractéristiques électriques du module photovoltaïque pour toute la méthode étude

III.4.1.3 Simulation d'un MPPT:

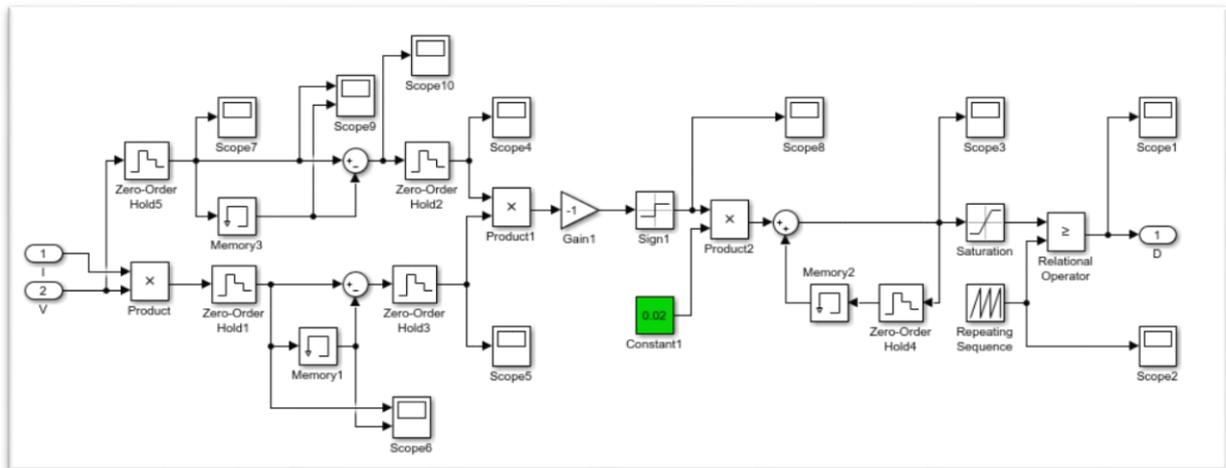


Fig.III.9 la commande MPPT (P&O).

III.4.1.4 Les résultats obtenus:

Nous avons testé le fonctionnement du système étudié sous une température fixe à 25°C et un éclairement 1000W/m². Les résultats de simulation du fonctionnement du système photovoltaïque de la commande MPPT «P&O» sont représentés par les figures suivantes :

✚ Le courant de sortie et le courant d'entrée :

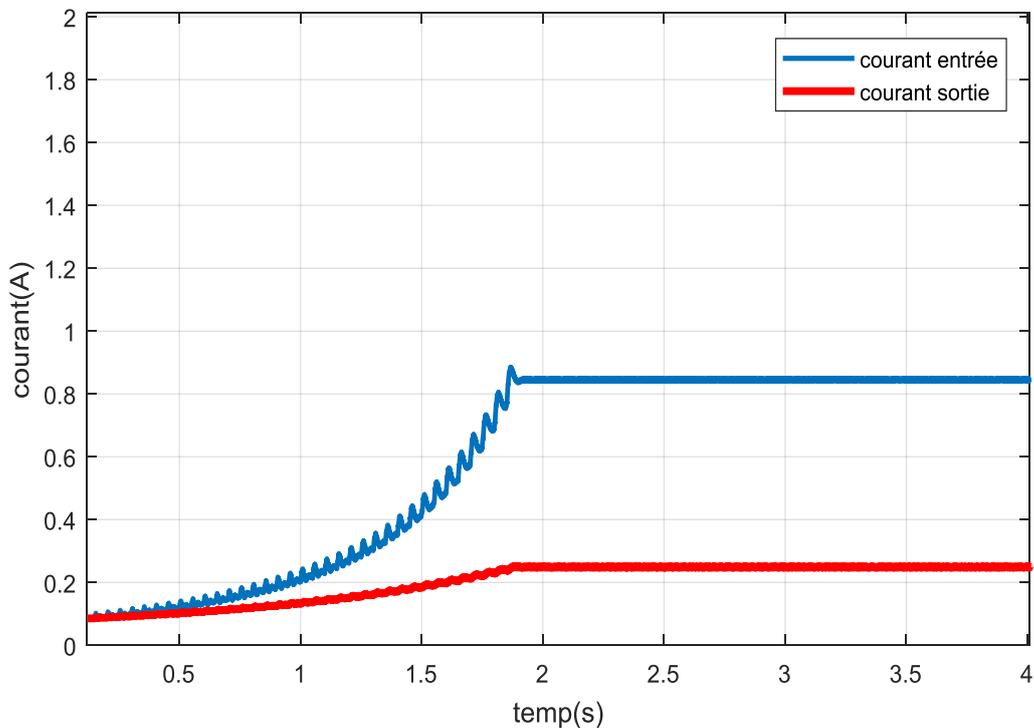


Fig.III.10 Le courant de sortie et le courant d'entrée.

✚ La tension de sortie et la tension d'entrée:

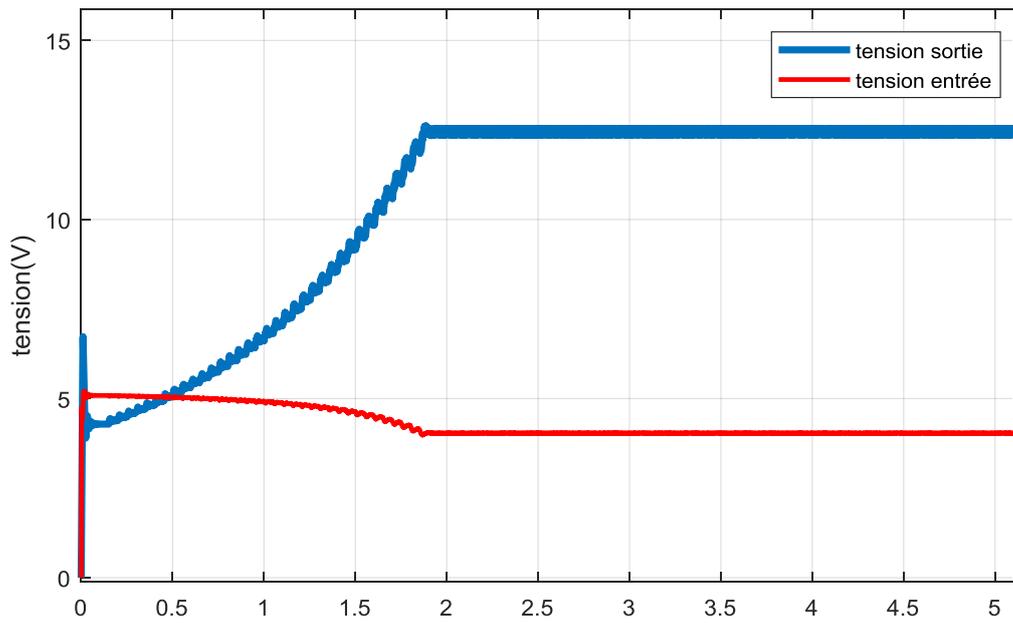


Fig.III.11 La tension de sortie et la tension d'entrée.

✚ La puissance de sortie et la puissance d'entrée:

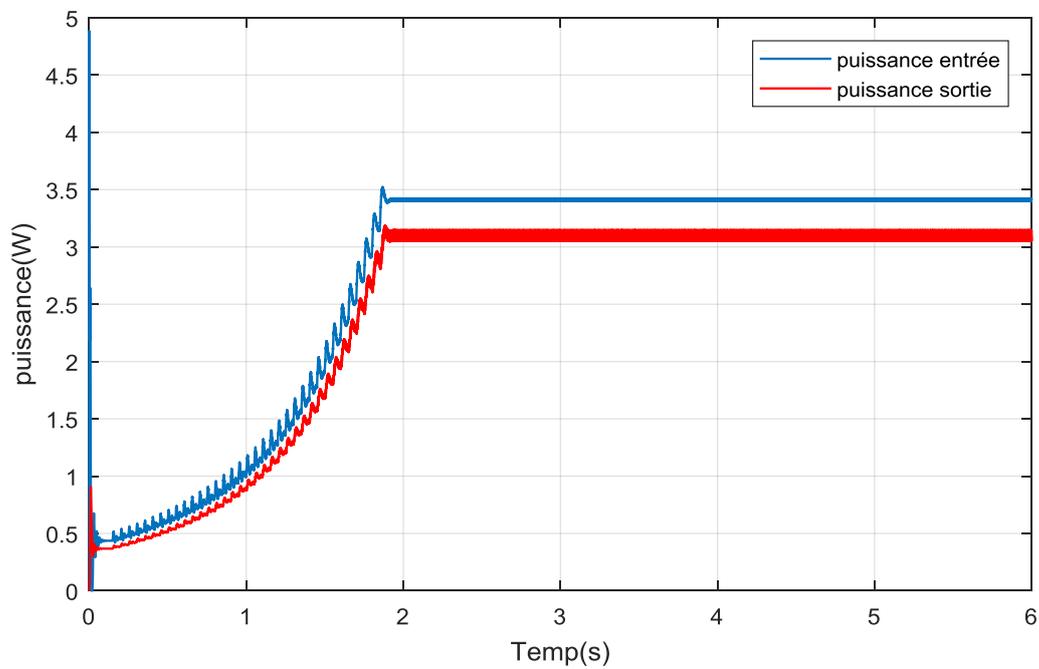


Fig.III.12 La puissance de sortie et à la puissance d'entrée.

❖ **Discutez des données :**

D'après les résultats de simulation obtenus, on constate que les courbes de la puissance, de la tension et du courant présentent des oscillations dans le régime permanent. En plus, le temps de réponse est moyen.

III.4.2 Commande MPPT par logique floue :

Commander ou optimiser un processus par des méthodes classiques exige la connaissance des différents paramètres qui peuvent influencer sur celui-ci et, agir en conséquence afin de contraindre le système à atteindre et l'objectif fixé. Seulement cette connaissance est souvent entachée d'erreurs et d'imprécisions qui accompagnent toute modélisation du processus.

De plus, le couplage existant entre les variables du système rend la commande d'optimisation plus difficile. Il est possible de résoudre ce problème en utilisant des méthodes dites robustes telle que la logique floue.

La mise en place de ce contrôleur se réalise en trois étapes, qui sont : la fuzzification, l'inférence et la défuzzification [26].

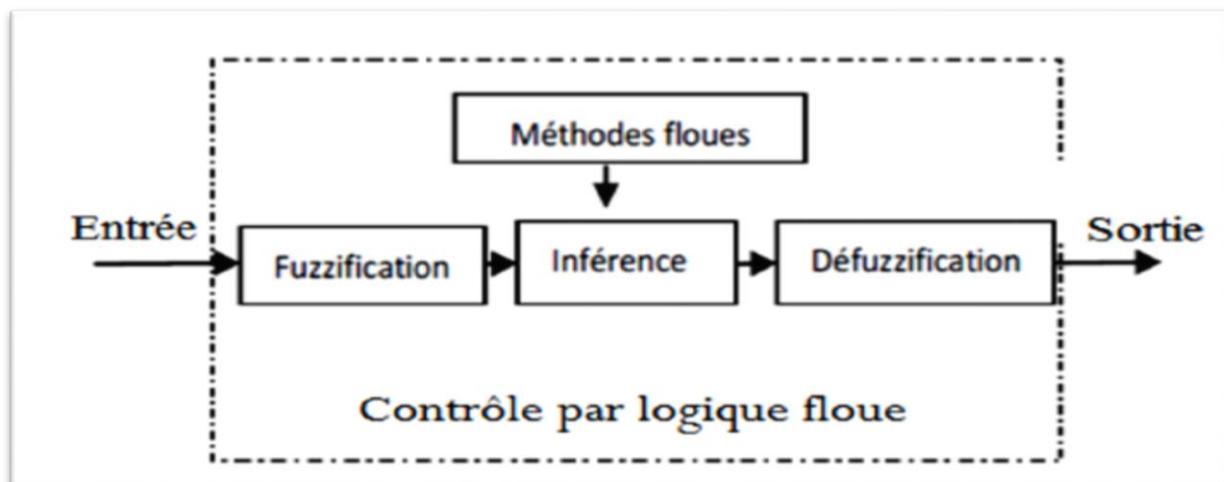


Fig.III.13 Le principe de la commande avec contrôleur logique Floue [26].

La fuzzification : permet de rendre floues les variables d'entrée. Une étape préliminaire consiste à définir un intervalle de variation maximale autorisée pour les variables d'entrées. Le but de la fuzzification est de transformer les variables d'entrée en variables linguistiques ou variables floues. Dans notre cas, on a deux variables d'entrées qui sont l'erreur $E(k)$ et la variation d'erreur CE à l'instant k qui sont définis comme suit : V_{pv} et I_{pv} .

L'inférence est une étape qui consiste à définir un rapport logique entre les entrées et la sortie. Enfin, il nous faut réaliser l'opération inverse de la fuzzification [26].

L'objectif de cette commande est d'extraire et de poursuivre la puissance maximale d'un générateur photovoltaïque pour différentes insolation et différentes valeurs de température, la puissance maximale qui correspond au point de fonctionnement optimal est déterminée pour différentes insolation des rayons solaires, ainsi que pour différentes Variations de température.

III.4.2.1 Description du régulateur flou :

Le régulateur flou, proposé pour l'optimisation du système, est représenté par la **fig.III.15**

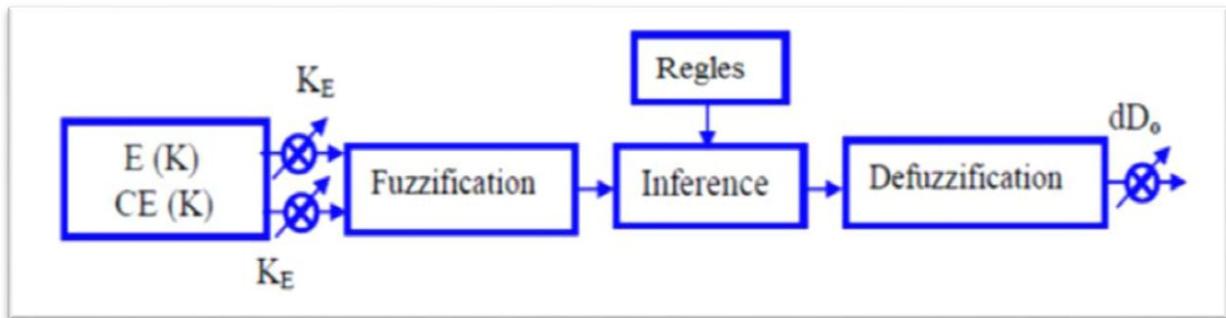
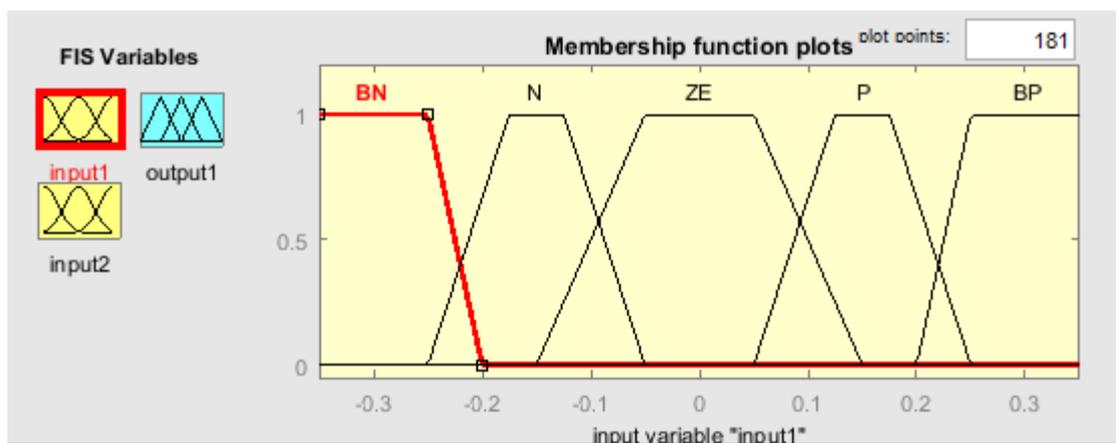


Fig.III.14 Schéma bloc d'une logique floue [27].

III.4.2.2 Les fonctions d'appartenance des variables linguistiques :

Dans le cas du réglage par la logique floue, on utilise dans ce cas, des formes triangulaires pour les fonctions d'appartenance. Bien qu'ils n'existent pas de règles précises pour la définition des fonctions d'appartenance, quelques directives générales sont données, afin de conduire à un choix convenable [27]:



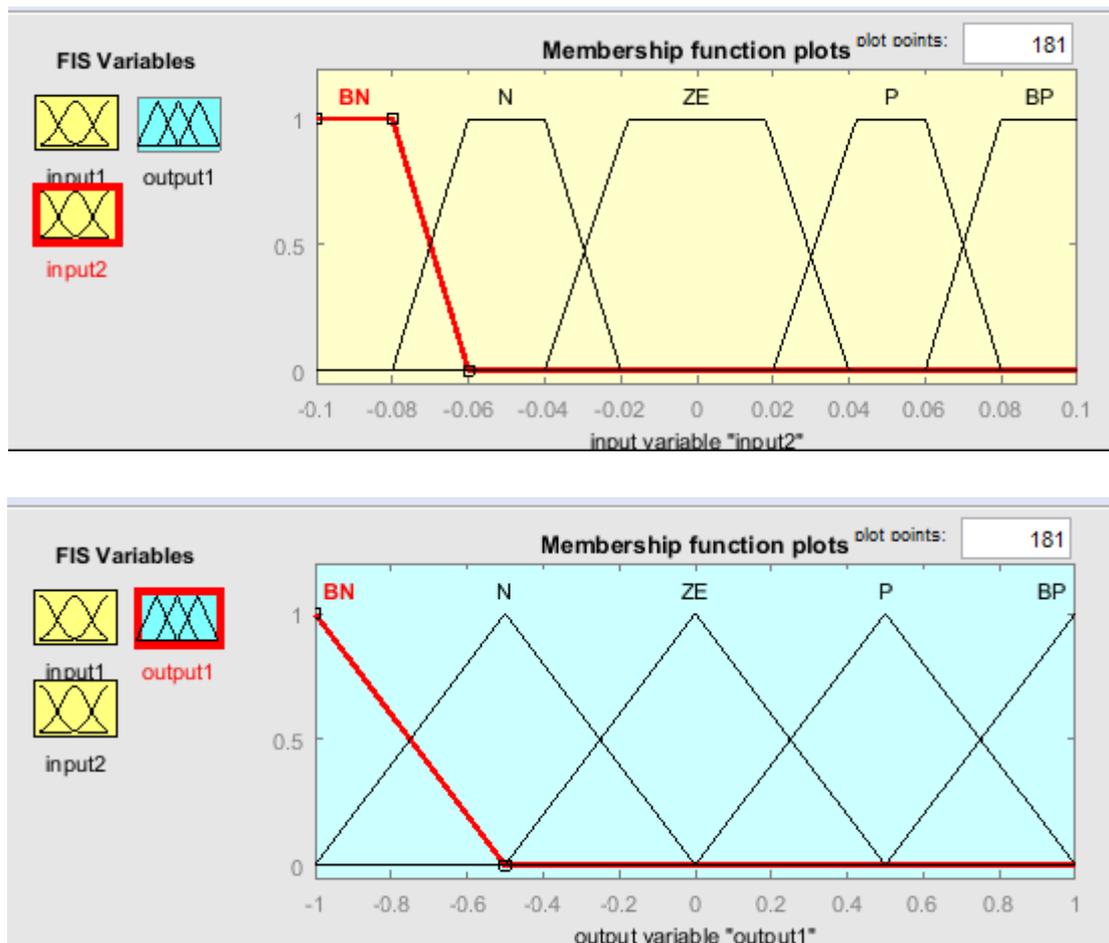


Fig.III.15 Fonctions d'appartenance de chacune des variables linguistiques.

III.4.2.3 Les règles floues :

Les classes des règles floues sont notées comme suit :

Z : (Zero).

VS : (Very Small) Très-Petit.

S : (Small) Petit.

M : (Medium) Moyen.

VL : (Very Large) Très Grand.

L : (Large) Grand.

H : (High) élevée.

Les règles floues permettent de déterminer le signal de sortie du régulateur en fonction des signaux d'entrées. Elles relient le signal de sortie aux signaux d'entrées par des conditions linguistiques prenant en compte l'expérience ou le savoir-faire acquis par un opérateur humain. Ces considérations conduisent à adopter une table de décision anti-diagonale, résumant les règles choisies ; cette table qui figure dans la [Tableau III.3](#) :

Tableau III.3 : Les règles de contrôle FUZZY.

		E				
		VS	S	M	VL	L
CE	VS	Z	VS	M	Z	VL
	S	Z	S	L	VS	M
	M	VS	M	VL	S	L
	VL	S	L	H	M	VL
	L	M	M	H	L	H

III.4.2.4 La simulation de l’algorithme MPPT- logique floue :

Nous avons réalisé le modèle de simulation de la commande logique floue **fig.III.16**

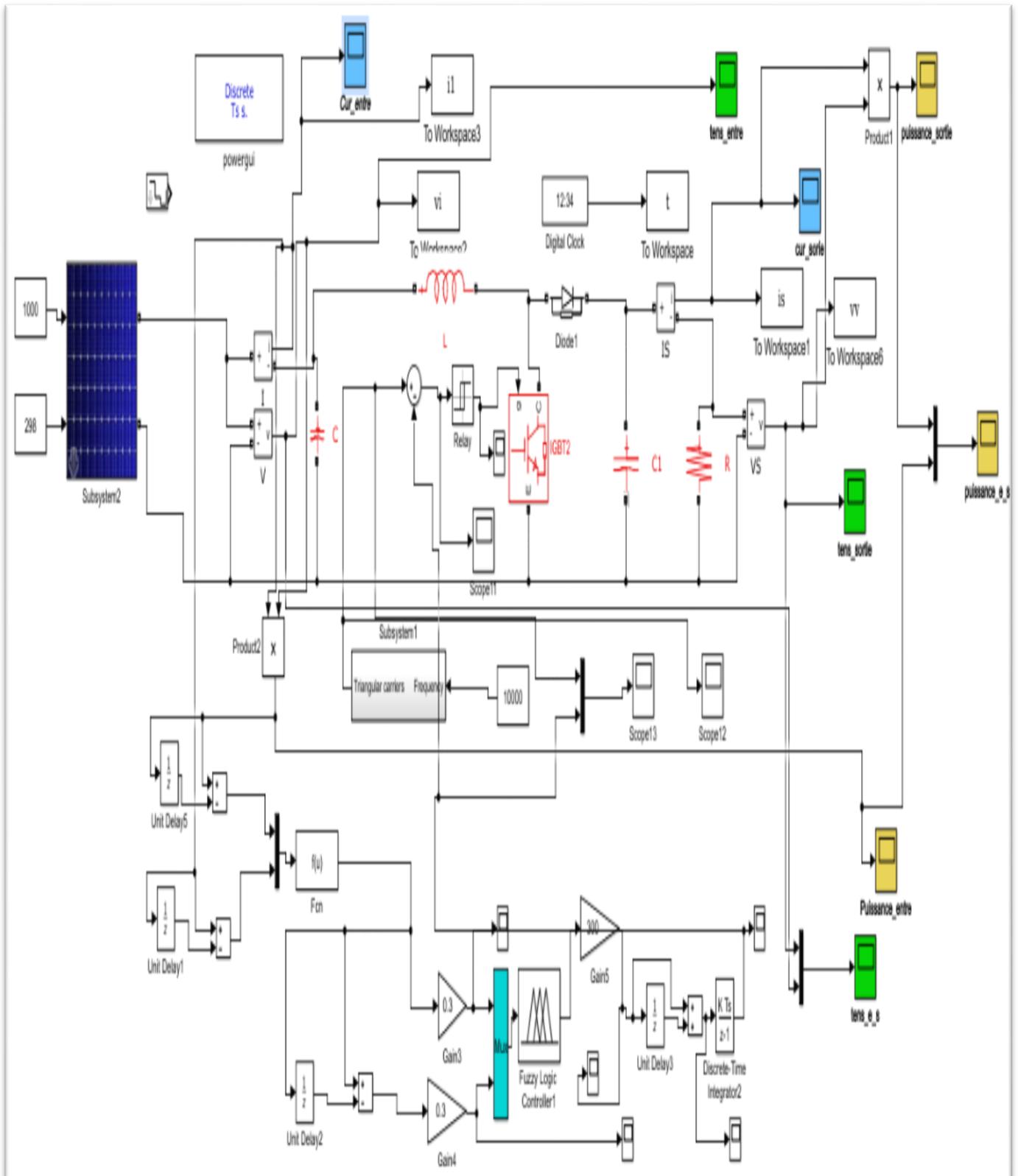


Fig.III.16 Modèle Simulink complet avec la commande logique floue.

III.4.2.5 Les résultats obtenus :

Nous avons testé le fonctionnement du système étudié sous une température fixe à 25°C et un éclairement 1000W/m². Les résultats de simulation du fonctionnement du système photovoltaïque de la commande MPPT «LOGIQ FLOU» sont représentés par les figures suivantes :

✚ Le courant de sortie et le courant d'entrée :

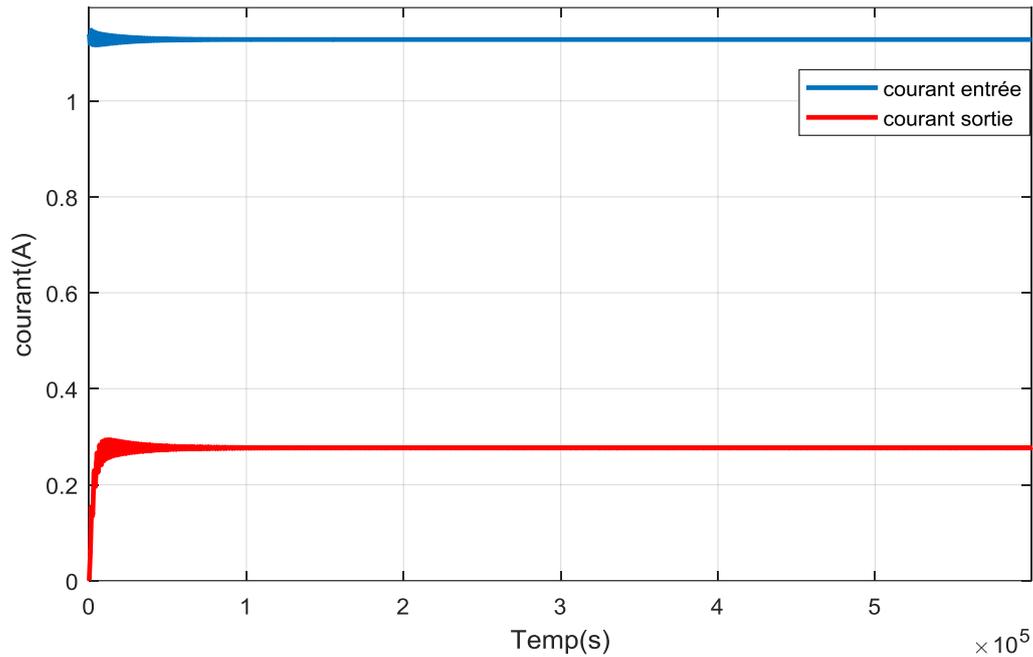


Fig.III.17 Le courant de sortie par rapport au courant d'entrée

✚ La tension de sortie et la tension d'entrée :

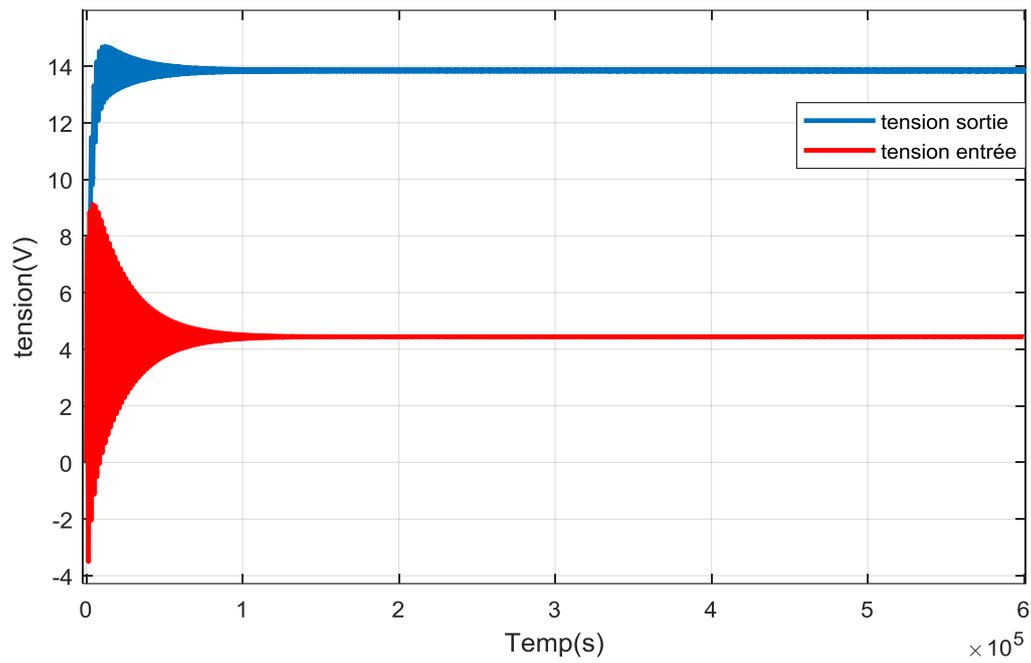


Fig.III.18 La tension de sortie et la tension d'entrée.

✚ La puissance de sortie et la puissance d'entrée :

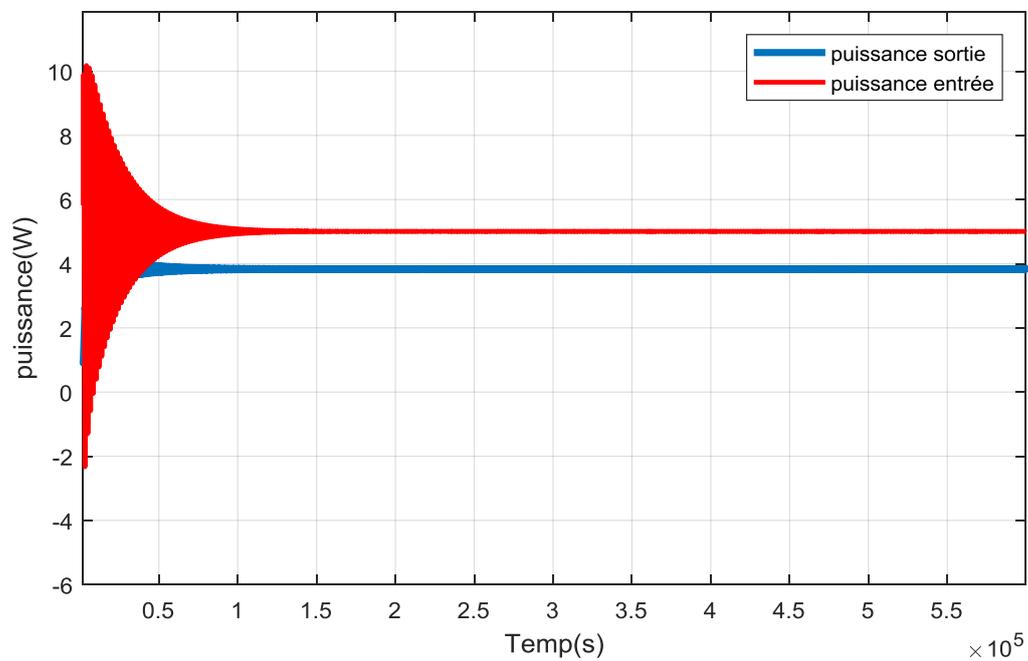


Figure III.19 La puissance de sortie par rapport à la puissance d'entrée.

❖ Discutez des données :

D'après les résultats de simulation obtenus, on constate que les courbes de la puissance, de la tension et du courant on remarque l'absence des oscillations dans le régime permanent, et un temps de réponse plus rapide.

III.4.3 La commande MPPT par le Technique d'Optimisation par Essaims de Particules (PSO) :**III.4.3.1 Introduction :**

L'optimisation par Essaim de particule (OEP) ou bien (PSO) (Particle swarm optimization), a été inventée par Russel Eberhart (ingénieur en électricité) et James Kennedy (socio psychologue) en 1995. Au départ J. Kennedy et R. Eberhart cherchaient à simuler la capacité des oiseaux à voler de façon synchrone et leur aptitude à changer brusquement de direction tout en restant en une formation optimale. Le modèle qu'ils ont proposé a ensuite été étendu en un algorithme simple et efficace d'optimisation.

III.4.3.2 Optimisation Par Essaims de Particule :

L'optimisation par Essaim de particule (OEP) ou bien (PSO Particle swarm optimization) est une technique utilisée pour explorer l'espace de recherche d'un problème quelconque pour trouver l'ensemble des paramètres qui maximise/minimise un objectif particulier. Cet objectif est atteint en suivant un algorithme dédié que l'on verra par la suite.

III.4.3.3 Définition de l'Optimisation :

Un problème d'optimisation se définit comme la recherche du minimum ou du maximum (de l'optimum) d'une fonction donnée [28].

III.4.3.4 Fonction Objectif :

C'est le nom donné à la fonction f (on l'appelle aussi fonction de coût, critère d'optimisation ou fitness). C'est cette fonction que l'algorithme d'optimisation va devoir optimiser (trouver un optimum)

III.4.3.5 Principe de la Technique PSO :

L'algorithme de la PSO est extrêmement simple, mais des spécifications et quelques paramètres sont toutefois exigés [28]. Chaque agent ou particule est caractérisée par :

- Une position et une vitesse,
- Le coût de la fonction objectif pour sa position acquise en cours ou précédemment (P_{best}),
- La connaissance de ses voisins dont elle fait partie,

- La meilleure position précédemment du groupe jusqu'à lors (g_{best}).

Dans l'algorithme, la population est initialisée aléatoirement. A chaque itération la particule fait un compromis entre trois choix possibles:

- suivre son propre voie,
- retourner vers sa meilleure position obtenue,
- se dirigé vers la meilleure position obtenue dans son voisinage.

Au départ de l'algorithme, un essaim est reparti au hasard dans l'espace de recherche, chaque particule ayant également une vitesse aléatoire. Ensuite, à chaque pas de temps :

Chaque particule est capable d'évaluer la qualité de sa position et de garder en mémoire sa meilleure performance, c'est-à-dire la meilleure position qu'elle a atteinte jusqu'ici (qui peut en fait être parfois la position courante) et sa qualité (la valeur en cette position de la fonction à optimiser).

- Chaque particule est capable d'interroger un certain nombre de ses congénères de son voisinage et d'obtenir de chacune entre elles sa propre meilleure performance.
- A chaque pas de temps, chaque particule choisit la meilleure des meilleures performances dont elle a connaissance, modifie sa vitesse en fonction de cette information et de ses propres données et se déplace en conséquence.

A partir des quelques informations dont elle dispose, une particule doit décider de son prochain mouvement, c'est-à-dire décider de sa nouvelle vitesse.

Pour ce faire, elle combine trois informations :

- Sa vitesse actuelle.
- Sa meilleure position actuelle.
- La meilleure performance (vitesse et position) de ses voisines.

Le hasard joue un rôle, grâce à une modification aléatoire limitée des coefficients de confiance, ce qui favorise l'exploration de l'espace de recherche. Naturellement, pour pouvoir être programmé, tout ceci est formalisé dans des équations de mouvement. Un point intéressant est que, contrairement à bien d'autres heuristiques qui restent purement expérimentales, il existe une analyse mathématique précisant les conditions de convergence et le choix des paramètres [28]

III.4.3.6 Formulation Mathématique de l'Algorithme PSO :

L'algorithme de base de la P.S.O. travaille sur une population appelée essaim de solutions possibles, elles-mêmes appelées particules. Ces particules sont placées aléatoirement dans l'espace de recherche de la fonction objectif.

A chaque itération, les particules se déplacent en prenant en compte leur meilleure position mais aussi la meilleure position de son voisinage.

Dans les faits, on calcule la nouvelle vitesse à partir de la formule suivante :

$$v_{ij}(t) = w \cdot v_{ij}(t-1) + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_{ij\ best}(t-1) - x_{ij}(t-1)) + c_2 \cdot r_2 \cdot (g_{j\ best} - x_{ij}(t-1)),$$

$$j \in \{1, \dots, D\} \quad (\text{III.1})$$

La position au temps t de la particule i est alors définie par l'équation suivante :

$$x_{ij}(t) = x_{ij}(t-1) + v_{ij}(t), j \in \{1, \dots, D\} \quad (\text{III.2})$$

Ou :

$v_i(t), v_i(t-1)$: sont les vitesses de la particule aux itérations t et $t-1$.

p_i : est la meilleure position de la particule

$g_i(t-1)$: est la meilleure position de son voisinage a l'itération $t-1$

$x_i(t-1)$: est la position de la particule a l'itération $t-1$

w : est en général une constante appelée, coefficient d'inertie, c_1 et c_2 sont deux constantes appelées coefficients d'accélération, r_1 et r_2 sont deux nombres aléatoires tirés uniformément dans $[0,1]$ à chaque itération et pour chaque dimension.

On génère $x_i(0)$ et $v_i(0)$ au début de notre algorithme.

La **fig.III.20** montre l'organigramme de la PSO standard,

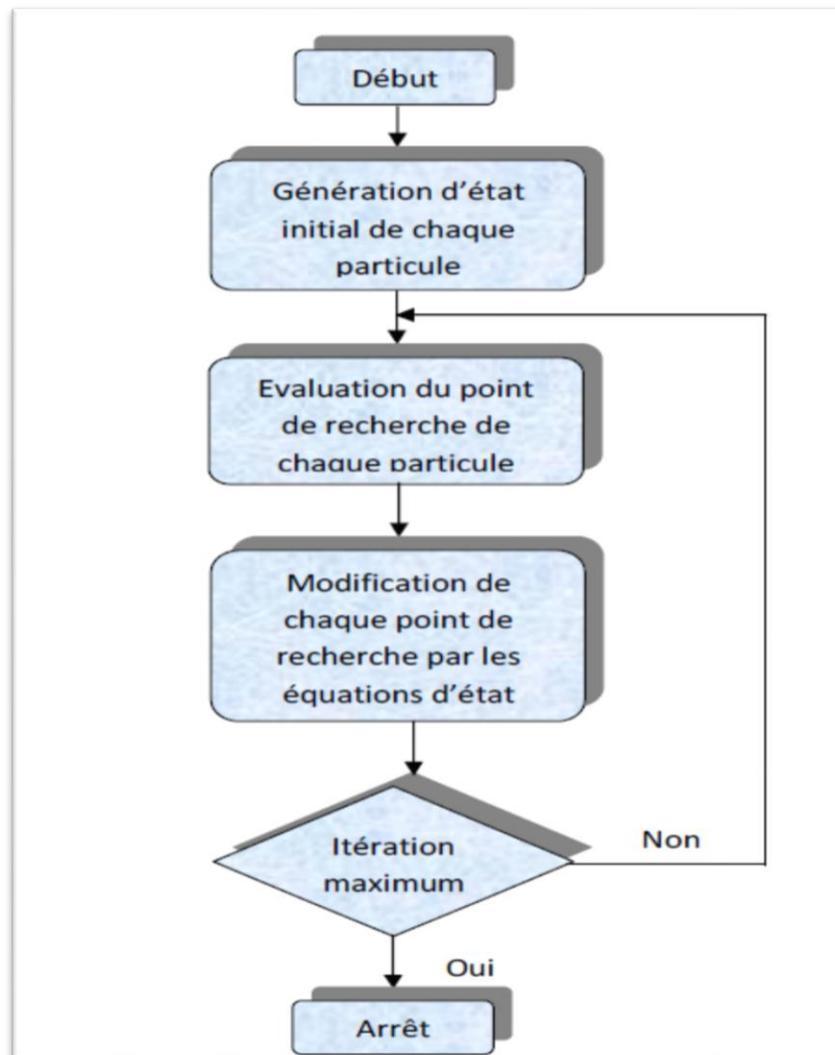


Fig.III.20 Organigramme de la méthode PSO standard.

III.4.3.7 La simulation de l’algorithme MPPT-PSO :

Nous avons réalisé le modèle de simulation de la commande PSO sur [fig.III.21](#) suivante :

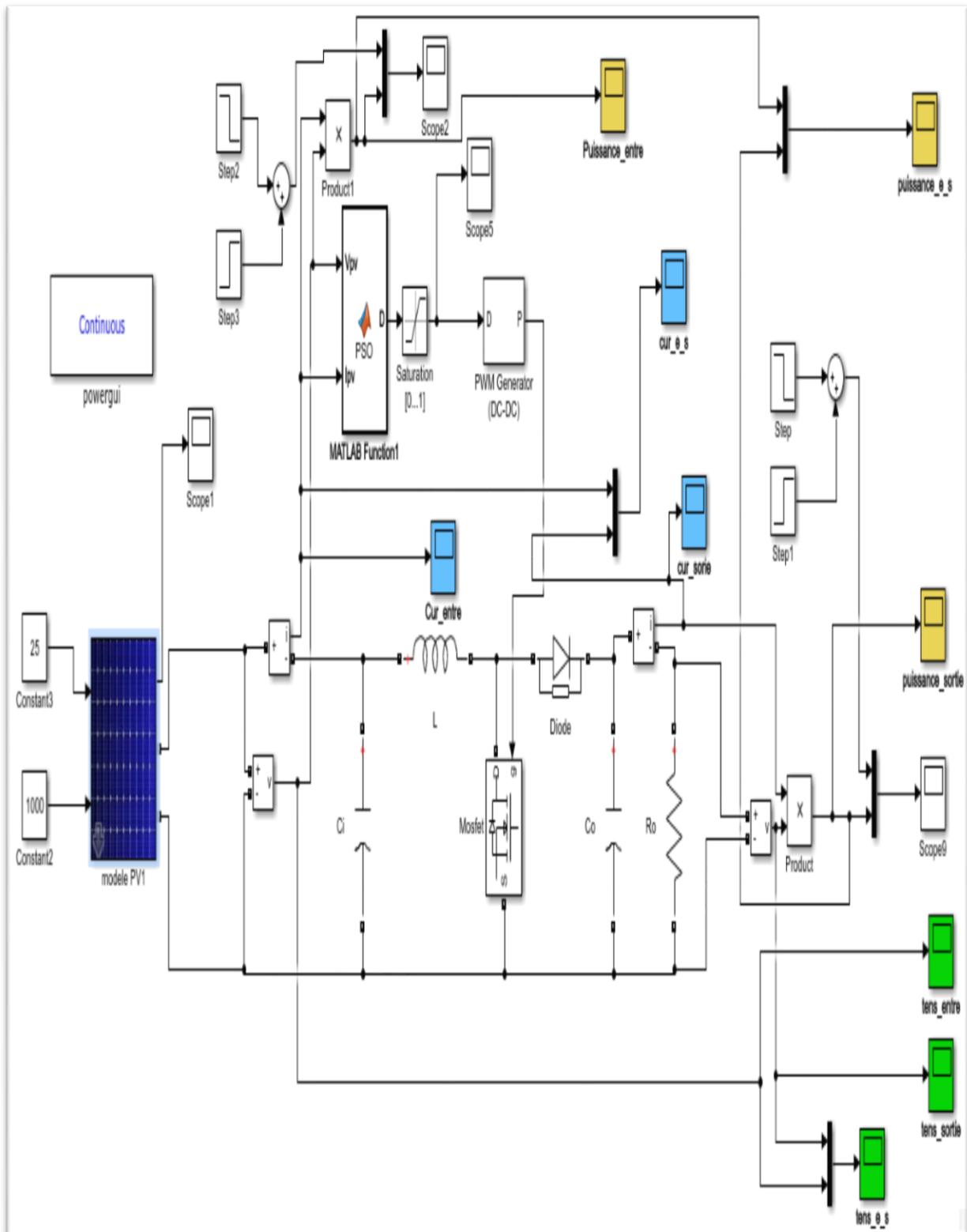


Fig.III.21 simulation de la commande PSO.

III.4.3.8 Le résultat obtenu :

Nous avons testé le fonctionnement du système étudié sous une température fixe à 25°C et un éclairement 1000W/m². Les résultats de simulation du fonctionnement du système photovoltaïque de la commande MPPT «PSO» sont représentés par les figures suivantes :

✚ Le courant de sortie et le courant d'entrée :

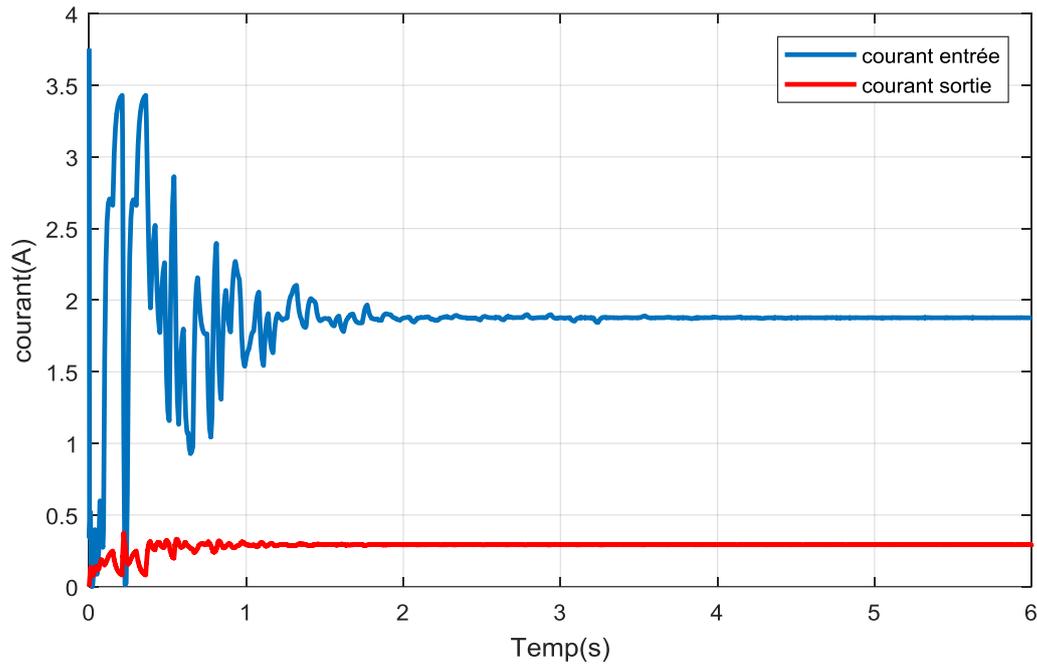


Fig.III.22 Le courant de sortie par rapport au courant d'entrée

✚ La tension de sortie et la tension d'entrée :

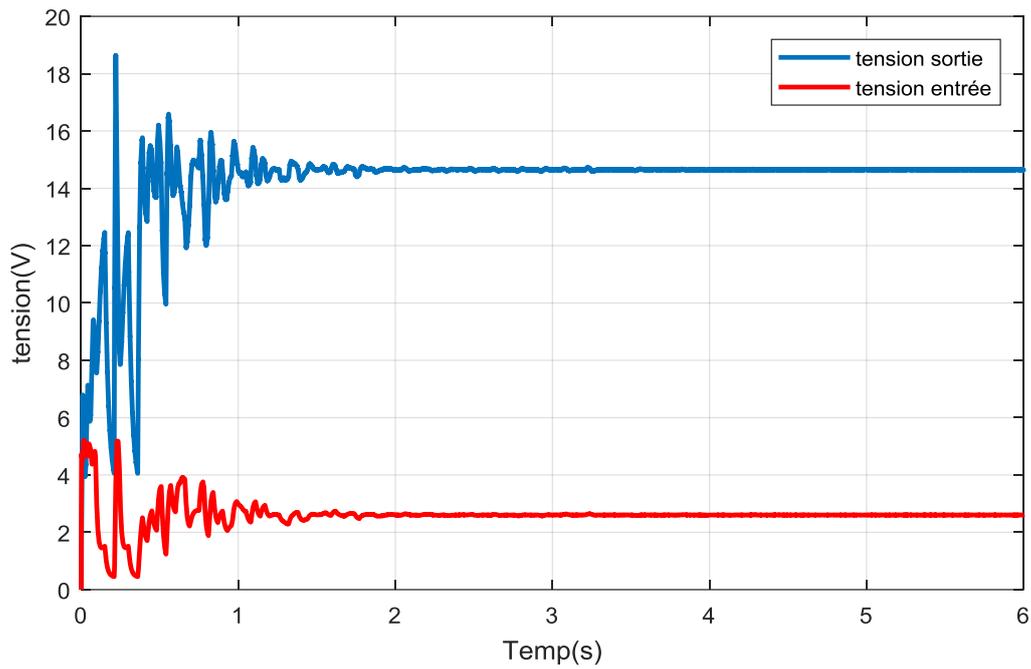


Fig.III.23 La tension de sortie et la tension d'entrée.

✚ La puissance de sortie et la puissance d'entrée :

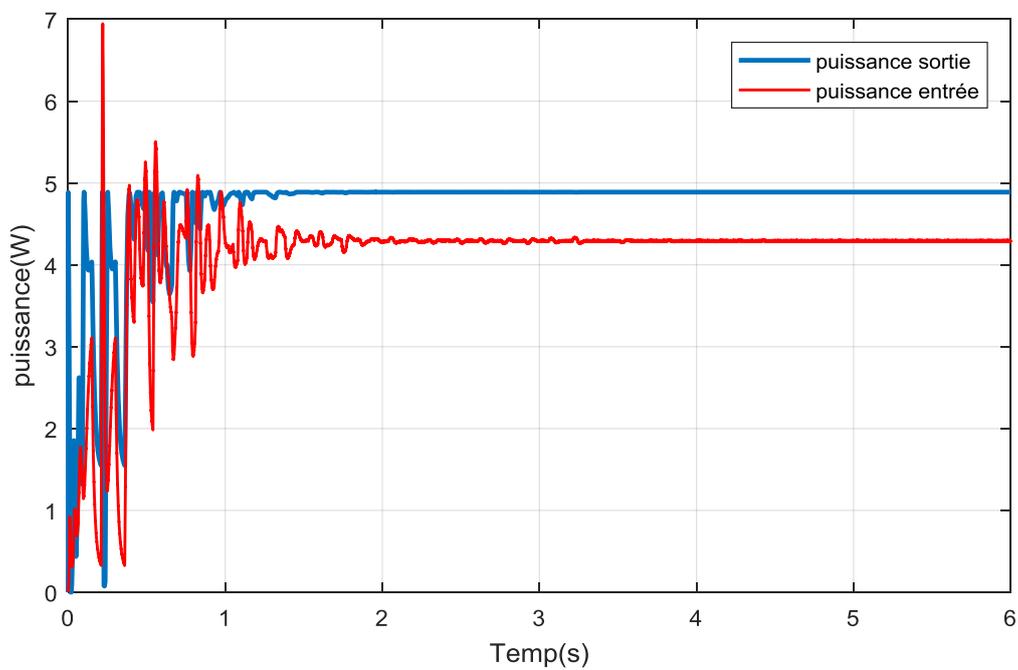


Fig.III.24 La puissance de sortie par rapport à la puissance d'entrée.

❖ Discutez des données :

D'après les résultats de simulation obtenus, on constate que les courbes de la puissance, de la tension et du courant présentent des grandes oscillations dans le régime permanent. En plus, le temps de réponse est rapide.

III.4.4 La comparaison entre les trois commandes :

La comparaison entre les trois méthodes : (P&O) ; (PSO) et (logique floue) avec l'ensoleillement de 400 jusqu'à $1000W/m^2$ a donné les résultats suivants :

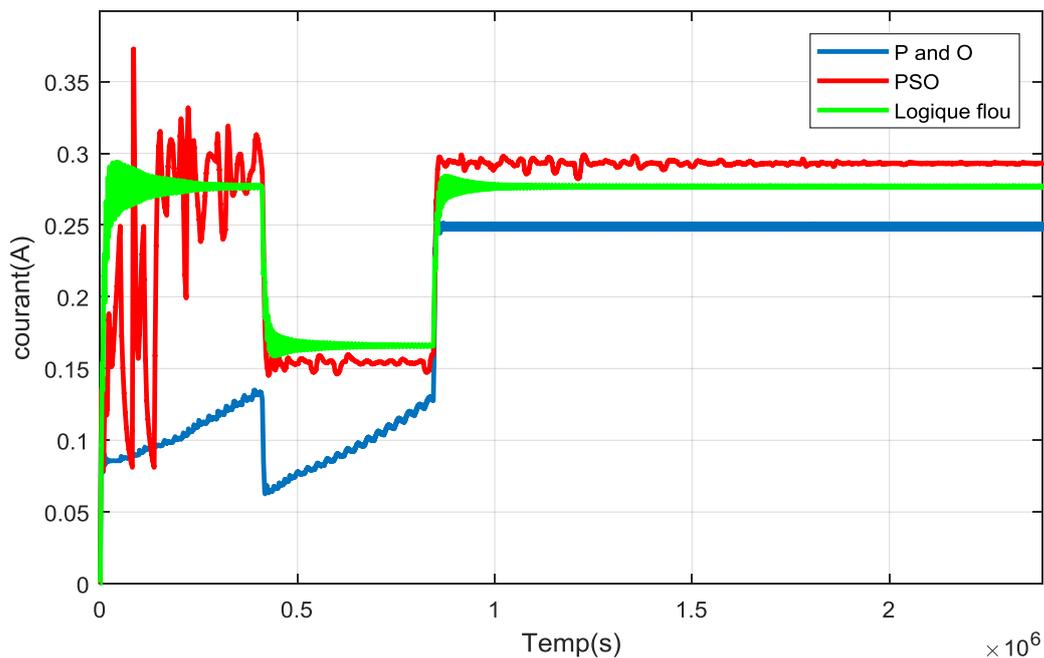
✚ Le courant de sortie total :

Fig.III.25 Comparaison des trois méthodes P&O ; PSO et floue sur le courant de sortie du convertisseur statique (DC-DC).

✚ La tension de sortie total :

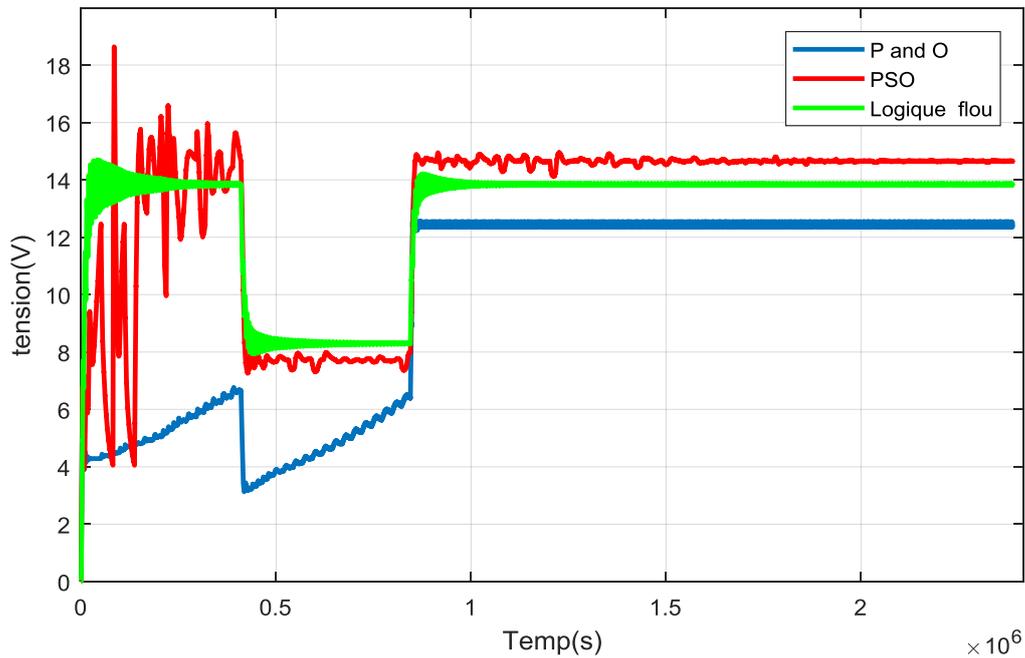


Fig.III.26 Comparaison des trois méthodes P&O ; PSO et floue sur la tension de sortie du convertisseur statique (DC-DC).

✚ La puissance de sortie total :

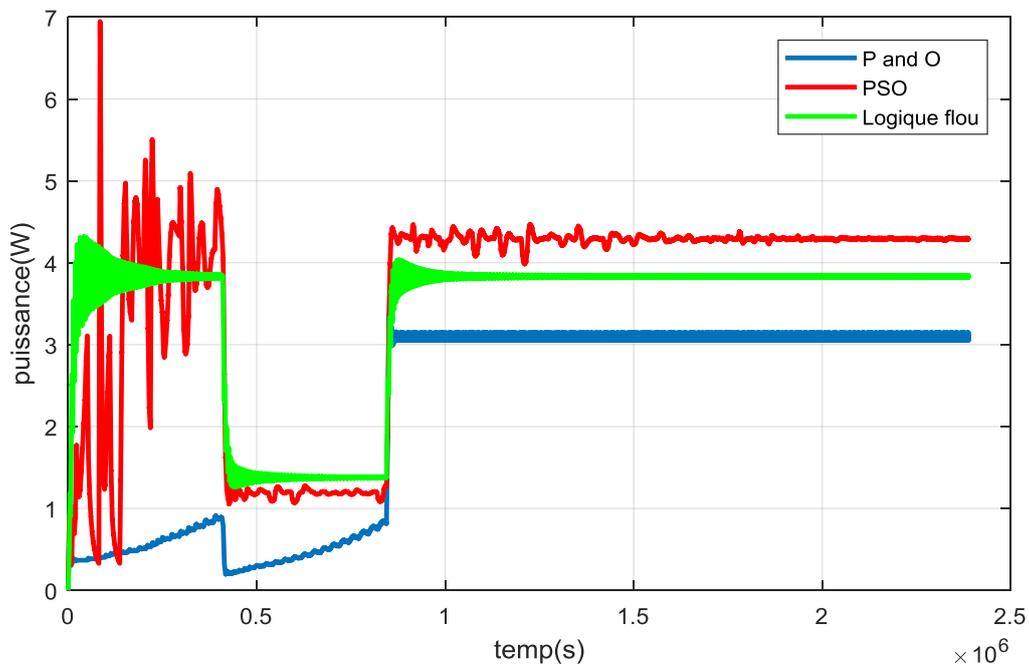


Fig.III.27 Comparaison des trois méthodes P&O ; PSO et floue sur la puissance de sortie du convertisseur statique (DC-DC).

❖ Discutez des données :

L'algorithme P&O est un algorithme classique et simple. En générale, cet algorithme dépend fortement des conditions initiales et il présente des oscillations autour de la valeur optimale. L'inconvénient majeur de cet algorithme est son mauvais comportement suite à un changement brusque de l'éclairement (nuages). L'algorithme PSO semble être amélioré que l'algorithme de P&O. En effet, il se comporte mieux lors d'un changement rapide des conditions météorologiques. Cependant, c'est un algorithme un plus facile que le précédent.

L'algorithme basé sur la logique floue est un algorithme robuste et efficace. En effet, cet algorithme fonctionne au point optimal sans oscillations. En outre, il est caractérisé par un bon comportement en état transitoire.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons entamé la partie la plus importante et la plus délicate de cette étude. Nous avons détaillé chaque méthode. Et on a fait modéliser l'ensemble de la chaîne de conversion sous MATLAB et l'algorithme de recherche du point de puissance maximale (MPPT) a été simulé. D'après cette étude, nous avons conclu:

Les résultats auxquels nous avons aboutis, montrent que l'utilisation de la commande MPPT permet d'améliorer de manière considérable et efficace le rendement des installations photovoltaïques. Les comparaisons effectuées entre les résultats des trois types de commandes confirment que l'utilisation du contrôleur Flou ou celle du contrôleur PSO permet d'un côté, de réduire le temps de réponse du système de commande et d'un autre côté d'améliorer le rendement du contrôleur MPPT. Cela augmente l'efficacité de ces derniers.

Conclusion général

Dans ce travail nous avons fait l'étude d'un convertisseur DC/DC (Boost) utilisé dans les systèmes photovoltaïques et l'implémentation expérimentale de la meilleure commande étudiée normalement à l'aide d'une carte Arduino Uno.

Dans un premier temps, nous avons étudié le générateur photovoltaïque pour différentes puissances générées (cellules, modules et panneaux). Puis, nous avons nous avons modélisé et simulé le module photovoltaïque. Sur MATLAB–Simulink et étudié les différentes influences sur les caractéristiques Courant-Tension et Puissance-Tension telles que : l'influence de l'éclairement et la température ainsi que l'association des modules PV en série et en parallèle.

Nous avons étudié, dans un deuxième temps, quelques types des convertisseurs DC_DC, utilisés dans les systèmes PV, en particulier le convertisseur survolteur utilisé dans ce travail. Ainsi, nous avons fait la simulation de ce dernier.

Ensuite, nous avons exposé le principe de la recherche du point de puissance maximale et les critères d'évaluation des commandes MPPT. Nous avons présenté les trois méthodes : perturbation et observation et la méthode d'Optimisation par Essaims de Particules (PSO) aussi la logique floue,

Et en fin nous avons simulé toutes les méthodes de commande MPPT étudiées et discuté les résultats obtenus.

Nous pouvons améliorer cette étude à travers que On peut mettre un suiveur pour produire une éclairage parfaite et aussi on peut relier une Automate pour conserver la température ambiante fixée sur 25 c et la manière de celle-ci est à mettre en chaque' un panneau une tube d'eau et vanne et capteur de température et que l' on ajuste sa valeur sur 25 c car lorsque la température dépasse cette valeur le capteur fonctionne et émet un message à PLC lequel donne l' ordre à vanne et l' eau froid donc circule et la température diminue jusqu' à la température ajustée et l'eau ne circule plus puisque la vanne devient fermée et le fonctionnement arrête et lorsque la température diminue à 25 c l' eau chaud circule correspondant le principe de fonctionnement.

Bibliographie

- [1] Alain Bilbao Ibarreta '' Réalisation de commandes MPPT Numériques '' Rapport de Stage Projet Fin d'Etudes Université Rovira Virgili 2006.
- [2] T. B. A. e. M. S. Mouissi, Mémoire de Master, «Etude D'un système couplant un générateur photovoltaïque Et Une Charge Electrolytique,» Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, 2015.
- [3] B. O, Mémoire de Master, «Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque,» Université de Ouargla, Ouargla, Algérie, 2011.
- [4] T. BOUGUERRA, Mémoire de Magister, «Optimisation d'un système photovoltaïque : Application en continu et en alternatif Université de mentouri de constantine 1,» 2014.
- [5] N. H. N. M. & Z. M. A. Moumni, «estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de biskra",8ème séminaire international sur la physique énergétique,» centre universitaire de bechar–algerie, novembre, 2006.
- [6] «chapitre 4 évaporation et interception" cour html du rayonnement solaire sur l'internet,» (google), consulté le 12Janvier 2018.
- [7] L. S. e. B. Kheireddine, Mémoire de Master, «Etude et Réalisation d'un système photovoltaïque à base d'une carte Arduino-uno,» Université, Université de Ouargla, Algérie 2015/2016.
- [8] A. E. ATMI, Mémoire de Master, «Conception et réalisation d'un régulateur solaire sous Labview à base de Microcontrôleur » 2013-2014.
- [9] Labani imad eddine riadh Attig abdelkrim Mémoire Principe de fonctionnement et mesure des caractéristiques d'une cellule photovoltaïque MASTER 2 Université Dr Moulay Tahar De Saida 2016/2017.
- [10] Hadj Abderrahmane Mohammed El Amine et Ghezzal Mohammed Walid « Etude et réalisation d'un système de production d'énergie électrique par des Panneaux photovoltaïques» Mémoire MASTER2 Centre Universitaire Belhadj Bouchaïb d'Ain-Temouchent 2016/2017.
- [11] Othmane Benseddik Fathi Djaloud Mémoire Etude et optimisation du fonctionnement D'un système photovoltaïque MASTER 2 Université Kasdi Merbah- Ouargla 2011/2012.

BIBLIOGRAPHIE

- [12] A. M. Moulay et M. Loghouini, Mémoire d'ingénieur d'état, « Etude et réalisation d'un système de poursuite de point de puissance maximale à base de microcontrôleur destiné à une installation photovoltaïque », Université de Ouargla, Algérie, 2004.
- [13] R. Touahir et M. A. K. Ben Zahia, « contrôleur neuronal pour la poursuite du point de Puissance maximale d'un système photovoltaïque », Mémoire master, Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, 2015.
- [14] I. Bendjamaa « Modélisation et commande d'un système de stockage photovoltaïque » Mémoire de Magister Université Abou-Baker Blkaid-Tlemcen 2011/2012.
- [15] W. Bensaci, Mémoire de Master, « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT, » Université, Ouargla, Algérie, 2011.
- [16] N. Debili, Thèse de Magister, « Etude et optimisation en environnement Matlab/Simulink d'un système de pompage photovoltaïque, » Université Mentouri, Constantine, Algérie, 2015.
- [17] C. Abdelkrim, Mémoire de Master, « Contrôleur d'un système photovoltaïque connecté au réseau, » Université Mohamed Khider – Biskra Algérie 2014.
- [18] R. T. e. M. A. K. B. Zahia, « contrôleur neuronal pour la poursuite du point de puissance maximale d'un système photovoltaïque, » Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, 2015.
- [19] Document PDF "CONVERTISSEUR ELEVATEUR (BOOST)" télécharger d'un site web le 05/04/2018
- [20] N. Abouchabana, « Etude d'une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT, » Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2009.
- [21] « <http://forums.futura-sciences.com/electronique/624337-dimensionnement-de-l-c-de-convertisseur-boost.html>, » consulté le 28/05/2018.
- [22] A. A. Azi, Mémoire de Magister, « Contribution au développement d'un outil d'aide au diagnostic de performances des MPPT dans la chaîne de conversion photovoltaïque », Université de M'sila, Algérie, 2014.

BIBLIOGRAPHIE

- [23] B. O, Mémoire de Master, «Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque,» Université de Ouargla, Ouargla, Algérie, 2011.
- [24] M. Angel Cid Pastor, « conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques », docteur de l'institut national des sciences appliquées de Toulouse, 2006
- [25] BENADEL Faiza, Mémoire de Master, «Etude Et Simulation D'une Commande MPPT Pour Système PV,» Mohamed Boudiaf - m'sila Algérie, 2016.
- [26] BRAKNI Abdelmalek, BOUGUERRA Lazhar. Mémoire de Master, «Etude expérimentale d'un convertisseur DC/DC (Boost) utilisé dans les systèmes photovoltaïques à base d'une carte Arduino» universite larbi tebessi – Tébessa, Algérie ,2017
- [27] N. Benhaddouche, Mémoire de Master, «La Commande D'un Système Photovoltaïque D'un Satellite,» Université Aboubeker Belkaid - Tlemcen Algérie, 2014.
- [28] Youcef BEKAKRA, Contribution à l'Etude et à la Commande Robuste d'un Aérogénérateur Asynchrone à Double Alimentation, 2014, Thèse de Doctorat en sciences, Université Mohamed Khider – Biskra

Annex : A

PW 750-70W Solar Panel from Photowatt International SAS

Electrical Characteristics	
STC Power Rating P_{mp} (W)	70
Open Circuit Voltage V_{oc} (V)	21.3
Short Circuit Current I_{sc} (A)	4.50
Voltage at Maximim Power V_{mp} (V)	16.7
Current at Maximim Power I_{mp} (A)	4.20
Panel Efficiency	10.2%
Fill Factor	73.0%
Power Tolerance	0.00% ~ -7.10%
Maximum System Voltage V_{max} (V)	600
Maximum Series Fuse Rating (A)	

Mechanical Characteristics	
Cell Type	Polycrystalline Cell
Cell Size(mm)	
Cells	36
Dimensions	1237.0 × 556.0 × 24.5mm (21.9 × 48.7 × 1.0 inch)
Weight	7.8Kg (17.2 lbs)
Junction Box (Safety Rating, Bypass Diodes)	
Positive Cable (Length, Cable Cross-Section)	
Negative Cable (Length, Cable Cross-Section)	
Plug Connector (Type, Safety)	Dose andere
Front Cover (Thickness,Material)	

Annex : B

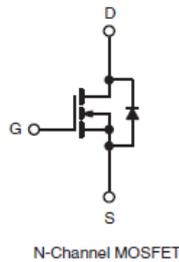
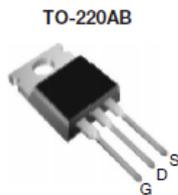


IRF740, SiHF740

Vishay Siliconix

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY	
V_{DS} (V)	400
$R_{DS(on)}$ (Ω)	$V_{GS} = 10\text{ V}$ 0.55
Q_g (Max.) (nC)	63
Q_{gs} (nC)	9.0
Q_{gd} (nC)	32
Configuration	Single



FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC



DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF740PbF SiHF740-E3
SnPb	IRF740 SiHF740

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)			
PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage	V_{DS}	400	V
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 20	
Continuous Drain Current	V_{GS} at 10 V	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	10
		$T_C = 100\text{ }^\circ\text{C}$	6.3
Pulsed Drain Current ^a	I_{DM}	40	A
Linear Derating Factor		1.0	W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy ^b	E_{AS}	520	mJ
Repetitive Avalanche Current ^a	I_{AR}	10	A
Repetitive Avalanche Energy ^a	E_{AR}	13	mJ
Maximum Power Dissipation	P_D	125	W
Peak Diode Recovery dV/dt ^c	dV/dt	4.0	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	- 55 to + 150	$^\circ\text{C}$
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s	300 ^d	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw	10	lbf · in
		1.1	N · m

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DD} = 50\text{ V}$, starting $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $L = 9.1\text{ mH}$, $R_g = 25\text{ }\Omega$, $I_{AS} = 10\text{ A}$ (see fig. 12).
- $I_{SD} \leq 10\text{ A}$, $dI/dt \leq 120\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{DS}$, $T_J \leq 150\text{ }^\circ\text{C}$.
- 1.6 mm from case.

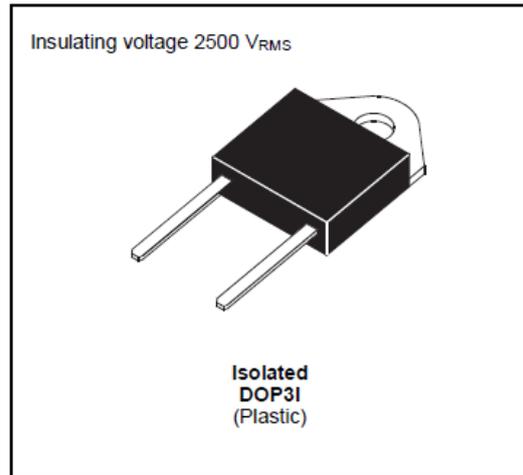
Annex : C



BYT 30PI- 400

FAST RECOVERY RECTIFIER DIODES

- VERY LOW REVERSE RECOVERY TIME
- VERY LOW SWITCHING LOSSES
- LOW NOISE TURN-OFF SWITCHING
- INSULATED: Capacitance 15pF



SUITABLE APPLICATIONS

- FREE WHEELING DIODE IN CONVERTERS AND MOTOR CONTROL CIRCUITS
- RECTIFIER IN S.M.P.S.

ABSOLUTE RATINGS (limiting values)

Symbol	Parameter		Value	Unit
I_{FRM}	Repetive Peak Forward Current	$t_p \leq 10\mu s$	500	A
$I_{F(RMS)}$	RMS Forward Current		50	A
$I_{F(AV)}$	Average Forward Current	$T_c = 60^\circ C$ $\delta = 0.5$	30	A
I_{FSM}	Surge non Repetitive Forward Current	$t_p = 10ms$ Sinusoidal	350	A
P	Power Dissipation	$T_c = 60^\circ C$	50	W
T_{stg} T_j	Storage and Junction Temperature Range		- 40 to + 150 - 40 to + 150	$^\circ C$

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{RRM}	Repetitive Peak Reverse Voltage	400	V
V_{RSM}	Non Repetitive Peak Reverse Voltage	440	V

THERMAL RESISTANCE

Symbol	Parameter	Value	Unit
$R_{th(j-c)}$	Junction-case	1.8	$^\circ C/W$