

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA DE BOUMERDES

FACULTE DES HYDROCARBURES ET DE LA CHIMIE

DEPARTEMENT D'AUTOMATISATION ET ELECTRIFICATION DES PROCÉDES



Mémoire de fin d'études

En vue d'obtention du diplôme de :

MASTER

Présenté par :

MAHLIA Zakaria

BENFAIZA Chams eddine

Filière : Hydrocarbures

Spécialité : Electricité industrielle.

Thème

Etude Comparative entre deux méthodes de MPPT pour convertisseur boost dans un système photovoltaïque

Devant le jury :

Mr.	Dr.	UMBB	Président
Mr.	MC(A)	UMBB	Examineur
Mme. B.Nadji	Prof	UMBB	Encadreur
Mr. L.Bouchetoube	Doc	UMBB	Co-Encadreur

2021/2022

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA DE BOUMERDES

FACULTE DES HYDROCARBURES ET DE LA CHIMIE



DEPARTEMENT D'AUTOMATISATION ET ELECTRIFICATION DES PROCÉDES

Mémoire de fin d'études

En vue d'obtention du diplôme de :

MASTER

Filière : Hydrocarbures

Spécialité : Electricité industrielle.

Thème

Etude Comparative entre deux méthodes de MPPT pour convertisseur boost dans un système photovoltaïque

Présenté par :
l'encadreur

MAHLIA Zakaria

BENFAIZA Chams eddine

Avis favorable de

Mme B.NADJI

Signature

Avis favorable du Président du jury

Nom Prénom

Cachet et signature

2021/2022

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier avant tout Allah le tout-puissant de nous avoir donné le courage et les moyens nécessaires d'accomplir ce modeste travail en vue d'obtenir notre diplôme.

Par la même occasion, nous tenons à remercier tous ceux qui nous étaient chers et qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail à savoir :

C'est avec un plaisir particulier que nous remercions Mme NADJI BOUCHRA qui a suivi de près notre travail et pour son aide et sa disponibilité.

Tous les membres de jury qui nous feront l'honneur d'examiner et de juger notre travail

Tous les enseignants de la faculté des hydrocarbures et de la chimie qui ont participé à notre formation ;

Nous remercions très vivement le personnel du département d'Automatisation et électrification

Tous nos chers amis(e)s et collègues, qui nous toujours aidés et soutenus ;

Tous les membres de nos familles qui nous tant encouragés et soutenus tout au long de nos cursus scolaires et universitaires, particulièrement à nos chers parents, qui sans eux nous n'aurons pas eu l'énergie nécessaire pour parvenir à la fin de nos cycles.

DÉDICACE

Tout d'abord, nous remercions ALLAH le tout-puissant qui nous a donné l'aide et la confiance pour faire ce travail, c'est grâce à lui que je suis arrivé là.

Je dédie ce mémoire à :

A Ma chère mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices, consentis et ses précieux conseils, pour son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

A Mon cher père, mon exemple éternel, mon soutien moral, et ma source de joie, et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde pour moi.

Puisse Dieu le tout puissant, Vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur mes chères parents

A Mes chères frères et sœurs, Je prie dieu pour qu'il me les garde toujours.

A toute ma grande famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

À mon binôme Chemseddine avec qui j'ai partagé ce modeste travail.

A tous mes chères amies de groupe MAEI17

A tous mes amis de promotion H17 spécialement Yazid, Amine, Khaled, Abdelkader, Moifek, Omar, Abdou et Zaki. Et sans oublier mes chères amis Mohamed, Hasni, Bilel, Marouane, Islem, Fayçal, Yassine, Hind et Hafsa.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures.

À tous ceux qui m'aiment de près ou de loin sans exception avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

ZAKARIA

إهداء

بعد باسم الله الرحمان الرحيم "وَأَخْفِضْ لَهُمَا جَنَاحَ الذُّلِّ مِنَ الرَّحْمَةِ وَقُلْ رَبِّ ارْحَمْهُمَا كَمَا رَبَّيَانِي
صَغِيرًا" و

أولا أحمد الله عزوجل علي توفيقه في هذا المشوار الدراسي حمدا كثيرا،ثانيا أهدي اليوم هذا العمل البسيط
إلي قرة عيني و سندي الذي إذا مالت الدنيا لا يميل **أمي الغالية** حفظها الله و رعاها .وأهديه أيضا إلي أحب
النعم إلي قلبي **أبي الغالي** أطال الله نعمته علي و رعاه ،و إلي أخي **محمد** إذا نساك الزمان فنحن نُذكره ،و
أختي **الحنونة عيشة** وكل من **عائلة بن فايزة و مرزوقي** كبيرا و صغيرا.

وأهنئ زميلي في المذكرة **زكرياء محلية** و اشكره جزيل الشكر علي مجهوداته و اتمني له المزيد من
النجاحات و زملائي و رفقاء هذا الدرب كل من **عبد الرحمان العلمي** ،**أمين معطالله**،و**أنور السبتي** و
جميع زملائي دفعة 2017.

شمس الدين

SOMMAIRE

Introduction Générale	1
1 Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques	4
1.1 Introduction.....	4
1.2 L'énergie solaire	4
1.3 Les différents types de l'énergie solaire :.....	4
1.3.1 L'énergie solaire thermique	5
1.3.2 L'énergie solaire thermodynamique	6
1.3.3 L'énergie solaire photovoltaïque.....	6
1.4 L'énergie solaire photovoltaïque dans le monde.....	7
1.5 L'énergie solaire photovoltaïque en Algérie	7
1.6 Rayonnement solaire	8
1.7 L'effet photovoltaïque.....	8
1.8 Le système photovoltaïque :	9
1.9 Description et Fonctionnement des cellules photovoltaïques.....	9
1.10 Paramètres des cellules photovoltaïques	10
1.10.1 Courant de court-circuit I_{sc}	10
1.10.2 Tension à circuit ouvert V_{oc}	10
1.10.3 Rendement énergétique	11
1.10.4 Facteur de forme ff	11
1.11 Modèle de cellule photovoltaïque	11
1.12 Le module photovoltaïque :	13
1.13 Les différents types des panneaux photovoltaïques :.....	14
1.13.1 -Les panneaux en silicium monocristallin.....	14
1.13.2 -Les panneaux en silicium polycristallin	15
1.13.3 -Les panneaux à couche mince.....	16
1.13.4 Les panneaux solaires en silicium amorphe	17
1.13.5 -Les autres types de panneaux photovoltaïques :.....	18
1.14 Les conditions normalisées de test des panneaux solaires.....	18
1.15 Facteurs influençant le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	19
1.15.1 Influence de l'ensoleillement	19
1.15.2 Influence de la température.....	20
1.16 Association en série et en parallèle d'un module PV	22

1.16.1	Association en série.....	22
1.16.2	Association en parallèle.....	22
1.17	Le convertisseur dc-dc.....	22
1.18	Conclusion	24
2	Chapitre 2 : Les convertisseurs DC-DC.....	26
2.1	Introduction.....	26
2.2	Interrupteurs électroniques	26
2.2.1	La diode	26
2.2.2	Transistor MOSFET	27
2.3	Conversion DC/DC	28
2.3.1	Convertisseur abaisseur BUCK.	29
2.3.2	Le convertisseurs BOOST.....	29
2.3.3	Convertisseur abaisseur-élevateur BUCK-BOOST	32
2.3.4	Covertisseur CÜK.....	33
2.3.5	Convertisseur SEPIC.....	33
2.3.6	Convertisseur FLYBUCK	34
2.4	Conclusion	35
3	Chapitre 3 : La commande MPPT	37
3.1	Introduction.....	37
3.2	Définition.....	37
3.2.1	Principe de la Recherche du MPP.....	37
3.3	Techniques de commande MPPT.....	39
3.3.1	Méthodes indirectes.....	39
3.3.2	Méthodes directes.....	40
3.4	Méthode de tension constante (CV)	40
3.5	Algorithme à Base de la Mesure d'une Fraction de la Tension V_{co}	40
3.6	Algorithme à Base de la Mesure d'une Fraction du Courant I_{cc}	41
3.7	Algorithme à Base de la Logique Floue	41
3.8	Méthodes basées sur l'intelligence artificielle :.....	42
3.9	La méthode de P&O	42
3.10	La méthode de Conductance incrémentale	44
3.11	Conclusion	46
4	Chapitre 4 Application de deux méthodes MPPT à des panneaux PV de technologies différentes de la centrale Ghardaïa	48
4.1	Introduction.....	48
4.2	Description de la centrale photovoltaïque Oued Nechou – Ghardaïa	48

4.3	Outil de simulation Matlab/simulink.....	48
4.4	Simulation des générateurs PV :	49
4.5	Les caractéristiques des panneaux photovoltaïques	49
4.5.1	Influence de l'éclairement sur les courbes.....	51
4.5.2	Influence de la température sur le courbes	53
4.5.3	Interprétation des résultats	55
4.6	Dimensionnement du convertisseur dc-dc boost	55
4.6.1	Choix des composants du convertisseur :	55
4.7	Les opérations appliquées pendant la simulation.....	57
4.8	Résultats de simulation	58
4.8.1	Simulation du système PV avec des modules de type polycristallin	59
4.8.2	Simulation du système PV avec des modules de type couche mince	75
4.9	Conclusion	92
	Conclusion générale	94

Liste des Figures

Figure 1-1 La centrale solaire thermique de Shouhang Dunhuang dans le désert de Gansu (Chine)	6
Figure 1-2 une centrale thermodynamique.....	6
Figure 1-3 schéma simplifié d'un système photovoltaïque.....	9
Figure 1-4 Structure d'une cellule photovoltaïque [14].....	10
Figure 1-5 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque complète	11
Figure 1-6 Un module photovoltaïque	14
Figure 1-7 panneau solaire du type monocristallin	15
Figure 1-8 panneau solaire du type polycristallin	16
Figure 1-9 panneau solaire du type couche mince	17
Figure 1-10 panneau solaire en silicium amorphe.....	18
Figure 1-11 Evolution de la caractéristique I(V) en fonction de l'irradiation.....	19
Figure 1-12 Evolution de la caractéristique P(V) en fonction de l'irradiation	20
Figure 1-13 Evolution de la caractéristique I(V) pour différentes températures.....	21
Figure 1-14 Evolution de la caractéristique P(V) pour différentes températures.....	21
Figure 1-15 Symbole d'un hacheur.....	23
Figure 2-1 Diode.	27
Figure 2-2 Symbole de MOSFET	28
Figure 2-3 Hacheur Buck	29
Figure 2-4 schéma du convertisseur boost	29
Figure 2-5 schéma du convertisseur boost	30
Figure 2-6 schéma du convertisseur buck boost.....	32
Figure 2-7 Schéma de convertisseur CUK	33
Figure 2-8 Schéma d'un convertisseur SEPIC	34
Figure 2-9 schéma d'un convertisseur FLYBUCK.....	35
Figure 3-1 Fluctuation du PPM avec l'intensité d'éclairage (a) et la charge R (b).....	38
Figure 3-2 Présentation de l'organigramme amenant le système à un fonctionnement à son PPM.....	39
Figure 3-3 Organigramme de l'algorithme MPPT de la perturbation & observation	43
Figure 3-4 Organigramme de l'algorithme MPPT de l'incrémentale de la conductance.....	45
Figure- 4-1 courbe I=f(V) du module PV Polycristallin pour différents irradiations	51
Figure 4-2 Courbe P=f(V) du module PV Polycristallin pour différents irradiations	51
Figure 4-3 Courbe I=f(V) du module PV couche mince (CdTe) pour différentes irradiations	52
Figure 4-4 courbe I=f(V) du module PV en silicium couche mince (CdTe) pour différentes irradiations	52
Figure 4-5 Courbe I=f(V) du module PV en silicium polycristallin pour différentes températures	53
Figure 4-6 courbe P=f(V) du module PV en silicium polycristallin pour différentes températures	53
Figure 4-7 Courbe I=f(V) du module PV couche mince (CdTe) pour différentes Températures	54
Figure 4-8 Courbe P=f(V) du module PV couche mince (CdTe) pour différentes températures.....	54
Figure 4-9 schéma bloc du système photovoltaïque.....	59
Figure 4-10 Tension générée par le panneau PV pour E=1000W/m ² et T=25°C.....	60
Figure 4-11 Tension de sortie aux bornes de la charge pour E=1000W/m ² et T=25°C	61
Figure 4-12 Puissance générée par le panneau PV pour E=1000W/m ² et T=25°C.....	61
Figure 4-13 Puissance consommé par la charge pour E=1000W/m ² et T=25°C.....	62
Figure 4-14 Tension générée par le panneau PV pour T=25°C et éclairage variable de 500W/m ² à 1000W/m ²	63

Figure 4-15 Tension aux bornes de la charge pour $T=25^{\circ}\text{C}$ et éclairement variable de $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$	63
Figure 4-16 Puissance générée par le panneau PV pour $T=25^{\circ}\text{C}$ et éclairement variable $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$	64
Figure 4-17 Puissance consommé par la charge pour $T=25^{\circ}\text{C}$ et éclairement variable de $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$	64
Figure 4-18 Tension générée par le panneau PV pour $1000\text{W}/\text{m}^2$ et température variable de 50°C à 25°C	65
Figure 4-19 Tension aux bornes de la charge pour $1000\text{W}/\text{m}^2$ et température variable de 50°C à 25°C	66
Figure 4-20 Puissance générée par le panneau PV pour $1000\text{W}/\text{m}^2$ et température variable de 50°C à 25°C	66
Figure 4-21 Puissance de sortie consommée par la charge $1000\text{W}/\text{m}^2$ et température variable de 50°C à 25°C	67
Figure 4-22 Tension générée par le panneau PV pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^{\circ}\text{C}$	68
Figure 4-23 Tension aux bornes de la charge pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^{\circ}\text{C}$	69
Figure 4-24 Puissance générée par le panneau PV pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^{\circ}\text{C}$	69
Figure 4-25 Puissance consommé par la charge $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^{\circ}\text{C}$	70
Figure 4-26 Tension générée par le panneau PV pour un éclairement variable $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$	71
Figure 4-27 Tension aux bornes de la charge un éclairement variable $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$	71
Figure 4-28 Puissance générée par le panneau PV pour un éclairement variable $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$	72
Figure 4-29 Puissance consommé par la charge pour un éclairement variable $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$. ..	72
Figure 4-30 Tension générée par le panneau PV avec une variation de température 50°C à 25°C	73
Figure 4-31 Tension aux bornes de la charge avec une variation de température 50°C à 25°C	74
Figure 4-32 Puissance générée de panneau PV avec une variation de température 50°C à 25°C	74
Figure 4-33 Puissance consommé par la charge pour une variation de température 50°C à 25°C	75
Figure 4-34 Tension générée par le panneau PV pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^{\circ}\text{C}$	76
Figure 4-35 Tension aux bornes de la charge pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^{\circ}\text{C}$	77
Figure 4-36 Puissance générée par le panneau PV pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^{\circ}\text{C}$	77
Figure 4-37 Puissance consommé aux bornes de la charge pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^{\circ}\text{C}$	78
Figure 4-38 Tension générée par le panneau PV avec un éclairement variable $750\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$	78
Figure 4-39 Tension aux bornes de la charge pour $T=25^{\circ}\text{C}$ et éclairement variable de $500\text{W}/\text{m}^2$ à.....	79
Figure 4-40 Puissance générée par le PV pour $T=25^{\circ}\text{C}$ et éclairement variable	79
Figure 4-41 Puissance consommé aux bornes de la charge pour $T=25^{\circ}\text{C}$ et éclairement variable	80
Figure 4-42 Tension générée par le panneau PV pour une variation de température 50°C à 25°C	81
Figure 4-43 : tension de sortie aux bornes de la charge pour $1000\text{W}/\text{m}^2$ fixe et température variable 50°C à 25°C	81
Figure 4-44 Puissance générée par le panneau PV pour une variation de température 50°C à 25°C ...	82
Figure 4-45 Puissance consommée aux bornes de la charge pour $1000\text{W}/\text{m}^2$ et température variable de 50°C à 25°C	82
Figure 4-46 Tension générée par le panneau PV pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^{\circ}\text{C}$	83
Figure 4-47 Tension aux bornes de la charge pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^{\circ}\text{C}$	84
Figure 4-48 Puissance générée par le panneau PV pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^{\circ}\text{C}$	84
Figure 4-49 Puissance consommé par la charge pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^{\circ}\text{C}$	85
Figure 4-50 Tension générée par le panneau PV avec un éclairement variable $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$	86
Figure 4-51 Tension aux bornes de la charge pour un éclairement variable $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$	86

Figure 4-52 Puissance générée par le panneau PV avec un éclairement variable 500 W/m ² à 1000W/m ²	87
Figure 4-53 Puissance consommé par la charge pour un éclairement variable 500W/m ² à 1000W/m ²	87
Figure 4-54 Tension générée par le panneau PV pour une variation de température 50°C à 25°C	88
Figure 4-55 Tension aux bornes de la charge pour une variation de température 50°C à 25°C	89
Figure 4-56 Puissance générée par le panneau PV pour une variation de température 50°C à 25°C ...	89
Figure 4-57 Puissance consommé par la charge pour une variation de température 50°C à 25°C	90

Liste des Tableaux

Tableau 1-1 Taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie.	8
Tableau 4-1 Les caractéristiques d'un module polycristalline (Atersa-240P)	50
Tableau 4-2 Les caractéristiques d'un module du type couche à mince (FIRST SOLAR FS-380)	50
Tableau 4-3 Les cas appliquées dans notre étude.....	58
Tableau 4-4 Résultats de simulation cas d'environnement stable ($E=1000 \text{ W/m}^2$ et $T= 25^\circ$).....	91
Tableau 4-5 Résultats de simulation cas de variation de l'éclairement ($E=500\text{W/m}^2$ et $T= 25^\circ$).....	91
Tableau 4-6 Résultats de simulation cas de variation de température ($E=1000 \text{ W/m}^2$ et $T=50^\circ$).....	92

Nomenclature et abréviation

CdTe : Tellure de

CadmiumSi :

silicium

I_{ph} : Courant photonique.

R_s : La résistance série.

R_{sh} : La résistance shunt.

I_{pv} : Courant photovoltaïque (générée par la cellule photovoltaïque).

I_D : Courant traversé dans la diode

I_R : Courant traversé dans la résistance.

I_{cc} : Courant de court-circuit.

V_{cc} : Tension de court-circuit.

n_p : Nombre des cellules en parallèle,

n_s : Nombre des cellules en série.

U_{co} : Tension en circuit ouvert

η : Rendement

FF : Le facteur de forme

T_{mod} : Température de fonctionnement de la cellule

G : Éclairement .

P_{max} : Puissance maximal

T : Température [K]

K_i : Coefficient de la température de la cellule.

G_0 : Éclairement pour les STC (standard test condition).

E_g : Énergie de seuil.

q : Charge électrique élémentaire (1,6

10^{-19} C). K : la constante de

Boltzmann ($1,3854 \cdot 10^{-23}$ J/K)

M_s : nombre de module en série

r_{scell} : Résistance série de la

cellule r_{shcell} : Résistance

shunt de la cellule

α : rapport cyclique

V_{co} : *tension de circuit ouvert*

MPP : le point de la puissance maximale

MPPT : Maximum Power Point Tracking ou Poursuite du Point de Puissance Maximale

Introduction générale

L'énergie solaire est définie comme l'énergie résultante de la conversion de l'éclairement ou chaleur du soleil en électricité grâce à l'utilisation de cellules solaires photovoltaïques ou thermiques, et c'est l'une des sources d'énergie renouvelable les plus importantes dans le monde.

La production d'énergie photovoltaïque est le processus de conversion des particules légères en électricité. Les panneaux solaires sont généralement constitués de plusieurs unités de cellules photovoltaïques conçues de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium. Lorsque le panneau reçoit l'éclairement du soleil, des électrons sont émis.

Afin de faire face aux différentes transformations mondiales concernant la diversification de ses exportations énergétiques et les engagements liés à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, L'Algérie a adopté un programme de développement pour la réalisation de plusieurs centrales de production d'électricité par des sources renouvelables particulièrement photovoltaïque. La capacité mise en service en 2020 avoisine les 356,1 MWc , La technologie solaire PV devient une nécessité pour diminuer les dégagements des gaz à effet de serre, préserver nos ressources fossiles, diversifier nos sources de production d'électricité et de renouveler notre parc de centrales électriques. Parmi les centrales réalisées, la centrale photovoltaïque pilote d'Oued N'echou/Ghardaïa a une capacité de production installée de 1 MWc. Elle est dotée de 6032 panneaux solaires (fixes et orientables) répartis en 8 sous-champs, intégrant quatre (04) technologies différentes de modules photovoltaïques et 2 types de structures.

Puisque la puissance maximale générée par le panneau dépend de la variation de l'éclairement et de la température, en plus de ces dépendances, le module PV peut générer une puissance maximale que pour une certaine tension et courant de fonctionnement ainsi qu'une charge adaptée avec le PV, cette adaptation peut être réalisé par l'ajout d'un convertisseur dc-dc contrôlé par une commande de MPPT « Maximum power point tracking »

Notre travail consiste à comparer deux méthodes d'MPPT pour deux technologies différentes

Le mémoire est reparti en quatre chapitres comme suit :

Chapitre1 : dans ce chapitre, nous allons parler de l'énergie solaire dans le monde et le pays et ses différents types, et nous allons spécifiquement aborder l'énergie photovoltaïque et ses bases.

Chapitre2 : dans cette partie, nous allons expliquer certains types de convertisseurs, puis nous nous sommes penchés sur le type que nous avons utilisé ‘boost’ et sur la manière de le choisir pour qu’il soit adapté.

Chapitre 3 : Nous allons discuter de l’importance de l’algorithme MPPT et de ses types

Chapitre 04 : Dans ce chapitre, les résultats de simulation appliquée aux deux GPV avec un convertisseur boost commandé par MPPT seront présentés.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre 1 :

Généralités sur les

systemes

photovoltaïques

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

1.1 Introduction

L'énergie solaire est l'énergie qui est produite à partir du soleil, et c'est un type de source d'énergie renouvelable. L'énergie solaire est à l'origine de toutes les formes de production énergétique aujourd'hui utilisées sur terre, à l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice. L'homme utilise l'énergie solaire pour la transformer en d'autres formes d'énergie : énergie chimique, énergie cinétique, énergie thermique, énergie électrique ou biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir de la source énergétique primaire qu'est le rayonnement solaire. Actuellement, il existe deux voies principales d'exploitation de l'énergie solaire : le solaire photovoltaïque qui transforme directement le rayonnement en électricité et le solaire thermique qui transforme directement le rayonnement en chaleur. Dans ce chapitre, nous allons étudier les systèmes photovoltaïques.

1.2 L'énergie solaire

Les chercheurs disent que l'énergie que la terre reçoit du soleil en une heure est suffisante pour les besoins énergétiques de la Terre pendant une année entière, et que les quantités qui peuvent être exploitées à partir de l'énergie solaire sont équivalentes aux fois l'énergie exploitée à partir du pétrole, du gaz naturel, du charbon et de l'uranium.

L'énergie solaire est produite de deux façons :

L'énergie solaire concentrée, obtenue à l'aide de miroirs et de lentilles, elle est utilisée en faisant tourner des turbines pour produire de l'électricité.

-L'énergie solaire est générée à l'aide de cellules photovoltaïques et à l'aide de conducteurs, la lumière du soleil est convertie en électricité.

1.3 Les différents types de l'énergie solaire :

Il faut dire que les techniques d'exploitation de l'énergie solaire n'ont cessé de s'améliorer au fil des années. Aujourd'hui, on compte trois types d'énergie solaire catégorisés selon leurs méthodes de production

1.3.1 L'énergie solaire thermique

Les systèmes d'énergie solaire thermique de production d'électricité collectent et concentrent la lumière du soleil pour produire la chaleur à haute température nécessaire à la production d'électricité. Tous les systèmes d'énergie solaire thermique ont des collecteurs d'énergie solaire avec deux composants principaux : des réflecteurs (miroirs) qui captent et concentrent la lumière du soleil et un récepteur de cette dernière. Dans la plupart des types de systèmes, un fluide caloporteur est chauffé et mis en circulation dans le récepteur et utilisé pour produire de la vapeur. La vapeur est convertie en énergie mécanique dans une turbine, qui alimente un générateur pour produire de l'électricité. Les systèmes d'énergie solaire thermique ont des systèmes de suivi qui maintiennent la lumière du soleil concentrée sur le récepteur tout au long de la journée lorsque le soleil change de position dans le ciel. Les centrales solaires thermiques ont généralement un grand champ ou un réseau de capteurs qui fournissent de la chaleur à une turbine et à un générateur.

Le fonctionnement des centrales solaires thermiques repose sur la technique suivante :

- Des miroirs captent le rayonnement solaire en un point de façon à générer des températures très élevées.
- La chaleur obtenue transforme de l'eau en vapeur d'eau dans une chaudière.
- La vapeur sous pression fait tourner une turbine qui entraîne un alternateur.
- L'alternateur produit un courant électrique alternatif. [44]



Figure 1-1 La centrale solaire thermique de Shouhang Dunhuang dans le désert de Gansu (Chine)

1.3.2 L'énergie solaire thermodynamique

L'énergie solaire thermodynamique est une combinaison d'énergie aérothermique et solaire thermique. Le solaire thermique est basée sur le chauffage du fluide de refroidissement par rayonnement solaire. Ce fluide est mis en circulation à travers les panneaux solaires qui captent le rayonnement solaire en augmentant la température du fluide.

L'énergie solaire thermodynamique est un système qui tire parti de la différence entre la température du liquide qui circule à l'intérieur des panneaux thermodynamiques et la température ambiante. Le liquide qui circule à l'intérieur des panneaux est un fluide caloporteur à très basse température. Selon les lois de la thermodynamique, la différence de température entre l'environnement et le fluide caloporteur génère un transfert d'énergie sous forme de chaleur de l'environnement vers le liquide thermodynamique du panneau.



Figure 1-2 une centrale thermodynamique

1.3.3 L'énergie solaire photovoltaïque

Si l'énergie solaire thermique est obtenue par la chaleur du soleil, l'énergie solaire photovoltaïque l'est par l'énergie même du rayonnement solaire. Autrement dit, les panneaux photovoltaïques, souvent installés sur le toit, recueillent les photons du soleil et les transforment en électricité. Ces panneaux photovoltaïques sont composés d'une superposition de couches de cellules dont l'une est chargée négativement et l'autre positivement. Dès qu'un photon traverse ces couches, il produit une tension électrique. L'énergie solaire photovoltaïque fonctionne comme une pile.

1.4 L'énergie solaire photovoltaïque dans le monde

On estime que la production d'électricité à partir du solaire photovoltaïque en 2020 a augmenté d'un record de 156 TWh, marquant une croissance de 23 % par rapport à 2019. Le solaire photovoltaïque représentait 3,1 % de la production mondiale d'électricité et reste la troisième plus grande technologie d'électricité renouvelable derrière l'hydroélectricité et l'onshore.

1.5 L'énergie solaire photovoltaïque en Algérie

La durée d'insolation sur la quasi-totalité territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (haut plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5K Wh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au nord et 2263KWh/m²/an Au sud du pays. Au Sahara, ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable s'il est exploité de manière économique [42]

Le tableau suivant indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie

Tableau 1-1 Taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie.

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahar a
Superficies	4%	10%	86%
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures=an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m2/an)	1700	1900	2650

1.6 Rayonnement solaire

Sur Terre, le rayonnement solaire est reçu de façon intermittente. Les rayons du soleil sont confrontés à beaucoup de contrainte avant d'arriver sur terre. Cela est due à la résistance des diéresse couche de l'atmosphère et les nuages. En et, le mouvement de la terre sur elle-même combinais à sa géométrie sphérique est à l'origine des différences d'ensoleillement selon la localisation. Il existe trois types de rayonnement sur terre :

- **Rayonnement directe** : C'est le rayonnement reçu directement par la terre du soleil.
- **Rayonnement diffus** : C'est le rayonnement dévié par l'atmosphère avant d'attendre la surface terrestre.
- **Rayonnement réfléchi** : Certains rayonnements solaires sont réfléchis dans l'univers par l'atmosphère.
- **Rayonnement global** : Le rayonnement global à la surface terrestre constitue le résultat de la superposition des trois compositions : directe, diffus et réfléchi

1.7 L'effet photovoltaïque

Cet effet PV, qui était le principe de production d'électricité à partir du rayonnement solaire, a été observé pour la première fois en 1839 par Alexandre Edmond Becquerel, un scientifique français Edmund Becquerel. L'effet PV est un processus qui, lorsque les rayons du soleil frappent la couche limite des matériaux semi-conducteurs, un courant électrique peut être généré. Depuis lors, de nombreux scientifiques ont tenté de développer des technologies de production d'électricité basées sur cet effet. En 1870, l'effet PV a été étudié dans le sélénium,

et les résultats ont indiqué que l'efficacité énergétique du sélénium solide n'était que de 1% à 2%, ce qui était bien en deçà de la valeur acceptable pour les convertisseurs d'énergie potentiels. En 1950, le silicium cristallin de haute pureté a été développé ; en 1954, une cellule photovoltaïque au silicium avec un rendement de conversion de 4 % a été développée dans les Bell Labs ; plus tard, l'efficacité a été encore améliorée à 11%. À cette époque, l'effet PV a créé une nouvelle manière de production d'énergie solaire.

1.8 Le système photovoltaïque :

Dans les parties précédentes, on a vu le soleil est la plus grande source d'énergie dans le monde, Ainsi, on voit qu'une grande partie d'énergie à produire est par le solaire photovoltaïque. Dans ce qui suit, nous présenterons le système photovoltaïque en décrivant ses différents composants. La figure 1-3 représente le schéma simplifié d'un système photovoltaïque :

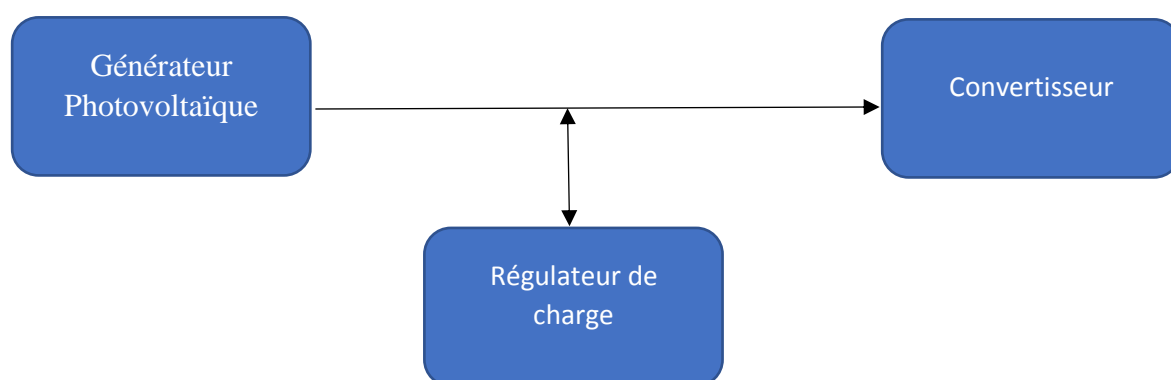


Figure 1-3 schéma simplifié d'un système photovoltaïque

1.9 Description et Fonctionnement des cellules photovoltaïques

Une cellule photovoltaïque est composée de matériaux semi-conducteurs qui absorbent les photons émis par le soleil et génèrent un flux d'électrons. Les photons sont des particules élémentaires qui transportent le rayonnement solaire à une vitesse de 300 000 kilomètres par seconde. Dans les années 1920, Albert Einstein les appelait « grains de lumière ». Lorsque les photons frappent un matériau semi-conducteur comme le silicium, ils libèrent les électrons de ses atomes, laissant derrière eux un espace vacant. Les électrons parasites se déplacent au hasard à la recherche d'un autre "trou" à combler.

Pour produire un courant électrique, cependant, les électrons doivent circuler dans la même direction. Ceci est réalisé en utilisant deux types de silicium. La couche de silicium qui est

exposée au soleil est dopée avec des atomes de phosphore, qui a un électron de plus que le silicium, tandis que l'autre face est dopée avec des atomes de bore, qui a un électron de moins. Le sandwich qui en résulte fonctionne un peu comme une batterie : la couche qui a un surplus d'électrons devient la borne négative (n) et le côté qui a un déficit d'électrons devient la borne positive (p). Un champ électrique est créé à la jonction entre les deux couches.

Lorsque les électrons sont excités par les photons, ils sont balayés vers le côté n par un champ électrique, tandis que les trous dérivent vers le côté p. Les électrons et les trous sont dirigés vers les contacts électriques appliqués des deux côtés avant de s'écouler vers le circuit externe sous forme d'énergie électrique. Cela produit du courant continu. Un revêtement antireflet est ajouté au sommet de la cellule pour minimiser la perte de photons due à la réflexion de surface

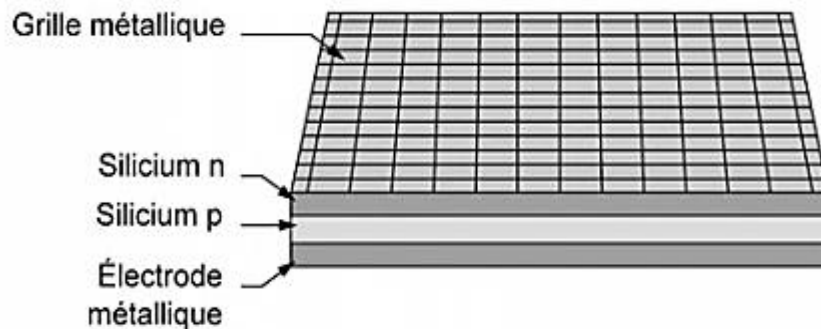


Figure 1-4 Structure d'une cellule photovoltaïque [14]

1.10 Paramètres des cellules photovoltaïques

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

1.10.1 Courant de court-circuit I_{sc}

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nul. Dans le cas idéal (R_s nulle et R_{sh} infinie), ce courant se confond avec le photo-courant

$$I_{sc} = I_{ph} \dots\dots\dots (1-1)$$

1.10.2 Tension à circuit ouvert V_{oc}

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

$$V_{sc} = VT \cdot \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_{sat}} + 1\right) \dots\dots\dots(1-2)$$

1.10.3 Rendement énergétique

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule $P_{max}(I_{opt}, V_{opt})$ et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{(I_{opt} \cdot V_{opt})}{P_{inc}} \dots\dots\dots(1-3)$$

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

1.10.4 Facteur de forme ff

C'est le rapport entre la puissance maximale P_{max} fournie par la cellule ou générateur et la puissance optimale. Il représente la mesure de la qualité de la cellule ou d'un générateur, il est défini par la relation :

$$ff = \frac{P_{max}}{I_{cc} \cdot V_{co}} = \frac{I_{opt} \cdot V_{opt}}{I_{cc} \cdot V_{co}} \dots\dots\dots(1-4)$$

1.11 Modèle de cellule photovoltaïque

Il existe plusieurs schémas d'une cellule photovoltaïque et nous avons utilisé le modèle basé sur le schéma d'une cellule photovoltaïque complète vu sa simplicité.

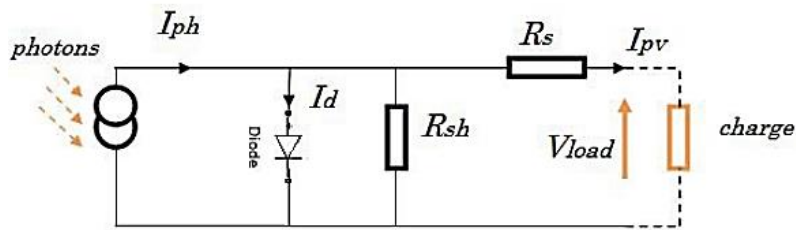


Figure 1-5 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque complète

L'équation caractéristique est déduite d'une manière directe à partir de la loi de Kirchhoff :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \dots\dots(1-5)$$

I_{pv} : Courant générer par la cellule photovoltaïque ;

I_{ph} : Photo courant créé par la cellule ;

I_d : Le courant circulant dans la diode ;

I_{sh} : Le courant circulant dans la résistance R_{sh} ;

Le courant passant par la résistance R_{sh} est donné par : $I_{sh} = \frac{V_d}{R_{sh}}$

V_d : Tension aux bornes de la diode ;

R_{sh} : Résistance Parallèle.

Le courant de la jonction I_d est donné par :

$$I_d = I_s(e^{\frac{V_d}{V_{th}}} - 1) \dots \dots \dots (1-6)$$

I_s : Courant de Saturation ;

V_{th} : Tension thermique.

$$\text{Avec : } V_{th} = \frac{A.K.T_{mod}}{q} \dots \dots \dots (1-7)$$

T_{mod} : Température de fonctionnement de la cellule ;

A : Facteur d'idéalité de la diode ;

K : la constante de Boltzmann ($1,3854 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$) ;

q : Charge électrique élémentaire ($1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$).

$$T_{mod} = T_c + T_{ref} + G\left(\frac{NOCT-20}{800}\right) \dots \dots \dots (1-8)$$

T_c : Température ambiante;

T_{ref} : Température de référence [K];

G : Éclairement.

Le courant de saturation dépend de la température, son expression est sous la forme :

$$I_s = I_{os} \left(\frac{T_{mod}}{T_r}\right)^3 e^{\frac{q.Eg}{A.K} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_{mod}}\right)} \dots \dots \dots (1-9)$$

I_{os} : Le courant de court-circuit de la cellule ;

T_r : Température référence de la cellule;

Eg: Énergie de seuil.

Avec NOCT étant Condition de température nominale de fonctionnement de la cellule qui est donnée par le constructeur

La tension V_d est donnée par :

$$V_d = V_{pv} + R_s \times I_{pv} \dots\dots\dots(1-10)$$

Le photon-courant est proportionnel à l'éclairement et dépend aussi de la température. Son expression est la suivante :

$$I_{ph} = [I_{cc} + K_i(T_{mod} - T_r)] \frac{G}{G_0} \dots\dots\dots(1-11)$$

I_{cc} courant de court-circuit;

K_i : Coefficient de la température de I_{pv} ;

G_0 : Eclairement pour le STC

En remplaçant ...

$$I_{pv} = [I_{cc} + K_i(T_{mod} - T_r)] \frac{G}{G_0} - I_s \left(e^{\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{V_{th}}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \dots\dots\dots(1-12)$$

1.12 Le module photovoltaïque :

Un module PV se compose de plusieurs cellules PV câblées en parallèle pour augmenter le courant et en série pour produire une tension plus élevée. Les modules à 36 cellules sont la norme de l'industrie pour la production d'électricité à grande échelle.

Le module est encapsulé avec du verre trempé (ou un autre matériau transparent) en avant et en arrière et avec une membrane (Teldar) en arrière. Les bords sont scellés pour l'étanchéité, et il y a souvent un cadre en châssis qui maintient le tout ensemble dans une unité montable. À l'arrière du module, il y a une boîte de jonction, ou des fils conducteurs, fournissant des connexions électriques.

La figure (1-7) montre la composition d'un module photovoltaïque.

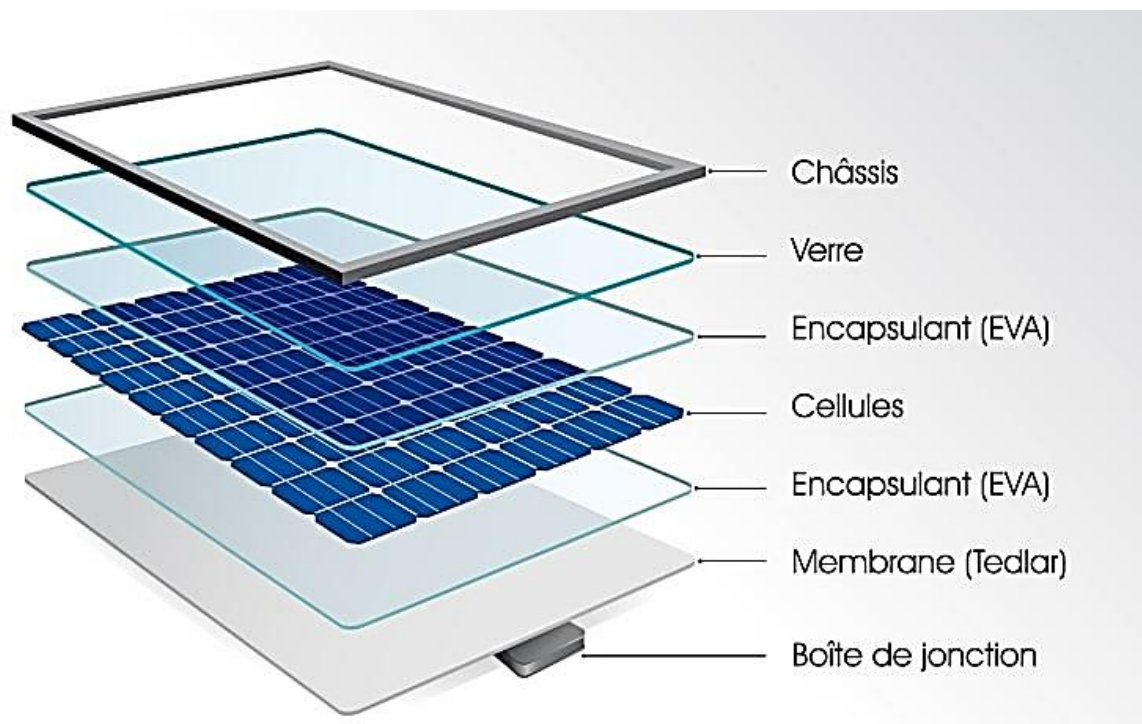


Figure 1-6 Un module photovoltaïque

1.13 Les différents types des panneaux photovoltaïques :

1.13.1 -Les panneaux en silicium monocristallin

Ce type de panneaux solaires (en silicium monocristallin) est le plus pur. Ils caractérisent par l'aspect sombre uniforme et aux bords arrondis. La grande pureté du silicium fait que ce type de panneau solaire a l'un des taux d'efficacité les plus élevés, les plus récents atteignant plus de 20 %.

Les panneaux monocristallins ont une puissance de sortie élevée, occupent moins d'espace et durent plus longtemps. Bien sûr, cela signifie également qu'ils sont les plus chers du groupe. Un autre avantage à considérer est qu'ils ont tendance à être légèrement moins affectés par les températures élevées par rapport aux panneaux polycristallins.



Figure 1-7 panneau solaire du type monocristallin

1.13.2 -Les panneaux en silicium polycristallin

On distingue rapidement ces panneaux car ce type de panneaux solaires a des carrés, ses angles ne sont pas coupés, et il a un aspect bleu moucheté. Ils sont fabriqués en faisant fondre du silicium brut, un processus plus rapide et moins cher que celui utilisé pour les panneaux monocristallins.

Cela conduit à un prix final inférieur mais également à une efficacité moindre (environ 15 %), à une efficacité spatiale moindre et à une durée de vie plus courte car ils sont davantage affectés par les températures élevées. Cependant, les différences entre les types de panneaux solaires monocristallins et polycristallins ne sont pas si importantes et le choix dépendra fortement de votre situation spécifique. La première option offre une efficacité spatiale légèrement supérieure à un prix légèrement supérieur, mais les puissances de sortie sont fondamentalement les mêmes.

L'inconvénient majeur des cellules en silicium polycristallin est qu'elles ont un rendement inférieur à celle en silicium monocristallin. De ce fait, il est nécessaire d'en installer davantage pour produire une même quantité d'énergie.



Figure 1-8 panneau solaire du type polycristallin

1.13.3 -Les panneaux à couche mince

Les panneaux solaires à couche mince sont fabriqués en plaçant une ou plusieurs pellicules de matériau photovoltaïque (comme le silicium, le cadmium ou le cuivre) sur un substrat. Ces types de panneaux solaires sont les plus faciles à produire et les économies d'échelle les rendent moins chers que les alternatives en raison de moins de matériaux nécessaires pour sa production.

Ils sont également flexibles (ce qui ouvre de nombreuses possibilités d'applications de rechange) et sont moins touchés par les températures élevées. Le principal problème est qu'ils occupent beaucoup d'espace, ce qui les rend généralement inadaptés aux installations résidentielles. En outre, ils portent les garanties les plus courtes parce que leur durée de vie est plus courte que les types mono- et polycristallins de panneaux solaires. Cependant, ils peuvent être une bonne option pour choisir parmi les différents types de panneaux solaires où beaucoup d'espace est disponible.



Figure 1-9 panneau solaire du type couche mince

1.13.4 Les panneaux solaires en silicium amorphe

Les cellules solaires en silicium amorphe sont normalement préparées par décharge lumineuse, pulvérisation ou par évaporation, et en raison des méthodes de préparation, il s'agit d'une cellule solaire particulièrement prometteuse pour la fabrication à grande échelle. Du fait que seules des couches très fines sont nécessaires, déposées par décharge lumineuse sur des substrats de verre ou d'acier inoxydable, seules de petites quantités de matière seront nécessaires pour réaliser ces cellules. L'efficacité des cellules solaires en silicium amorphe a une limite théorique d'environ 15% et les efficacités réalisées sont maintenant en hausse d'environ 6 ou 7%. Si des rendements de 10 % peuvent être atteints sur des cellules de silicium amorphe à couches minces de grande surface sur des substrats peu coûteux, ce serait alors la meilleure approche pour produire de l'électricité à faible coût.

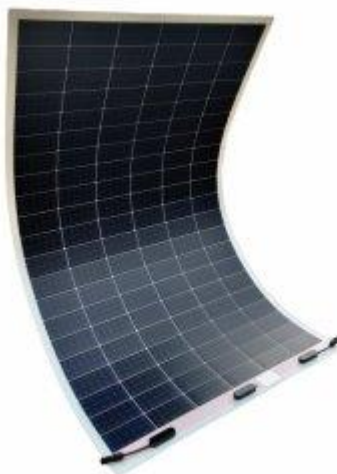


Figure 1-10 panneau solaire en silicium amorphe

1.13.5 -Les autres types de panneaux photovoltaïques :

Nous venons de vous présenter les deux types de cellules photovoltaïques les plus couramment utilisés. Il en existe d'autres, qui ne sont pas très exploitées, car encore majoritairement à l'état de recherche :

- **Les panneaux organiques** ne sont pas des minéraux semi-conducteurs comme le silicium. Elles sont au contraire fondées sur des molécules ou des polymères de la chimie organique. Bien qu'elles commencent à connaître quelques applications, le rendement qu'elles produisent reste encore trop faible. Leur stabilité à long terme n'est pas non plus satisfaisante. Leur avantage est qu'elles pourraient en théorie être produites à bas coûts, comparé aux cellules au silicium. [17]
- **Les pérovskites** sont un nouveau type de cellules, fondées sur un matériau hybride : une partie est organique, l'autre est inorganique. Leur rendement en laboratoire est assez prometteur, mais leur instabilité est aujourd'hui un frein à leur industrialisation. Leurs avantages seraient un coût de production bas, des cellules légères, souples et maniables, permettant d'être intégrées à différents types de revêtement. [17]

1.14 Les conditions normalisées de test des panneaux solaires

STC est une norme à l'échelle de l'industrie pour indiquer la performance des modules PV et spécifie une température de cellule de 25°C et une irradiance de 1000 W/m² avec un spectre de masse d'air de 1,5 (AM1.5).

1.15 Facteurs influençant le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Le courant produit par la cellule PV est pratiquement proportionnel à l'éclairement solaire E . Par contre, la tension V aux bornes de la jonction varie peu, car elle est fonction de la différence de potentiel à la jonction N-P du matériau lui-même. La tension de circuit ouvert ne diminuera que légèrement avec l'éclairement [32, 33]. Il en résulte que, - la puissance optimale de la cellule (P_M) est pratiquement proportionnelle à l'éclairement et - les points de puissance maximale se situent à peu près à la même tension. [34]

1.15.1 Influence de l'ensoleillement

La figure 1-11 montre l'influence de la variation de l'irradiation qui se traduit par un déplacement du point de puissance maximale (PWM) de la caractéristique $I=f(V)$ suivant l'axe des courants, ce qui veut dire que le courant de court-circuit I_{cc} est proportionnel à l'éclairement, par contre la tension de circuit ouvert V_{co} varie très peu en fonction de l'éclairement.

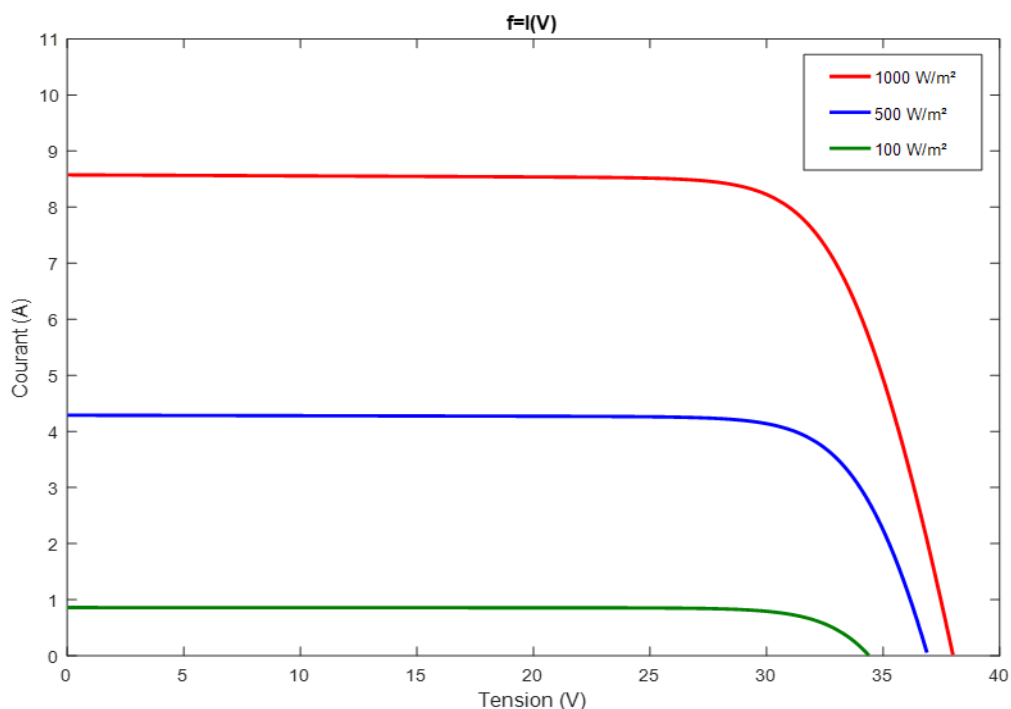


Figure 1-11 Evolution de la caractéristique $I(V)$ en fonction de l'irradiation

La figure 1-12 montrent l'influence de l'irradiation sur la puissance délivrée par le PV, on constate plus l'irradiation augmente plus la puissance délivrée augmente.

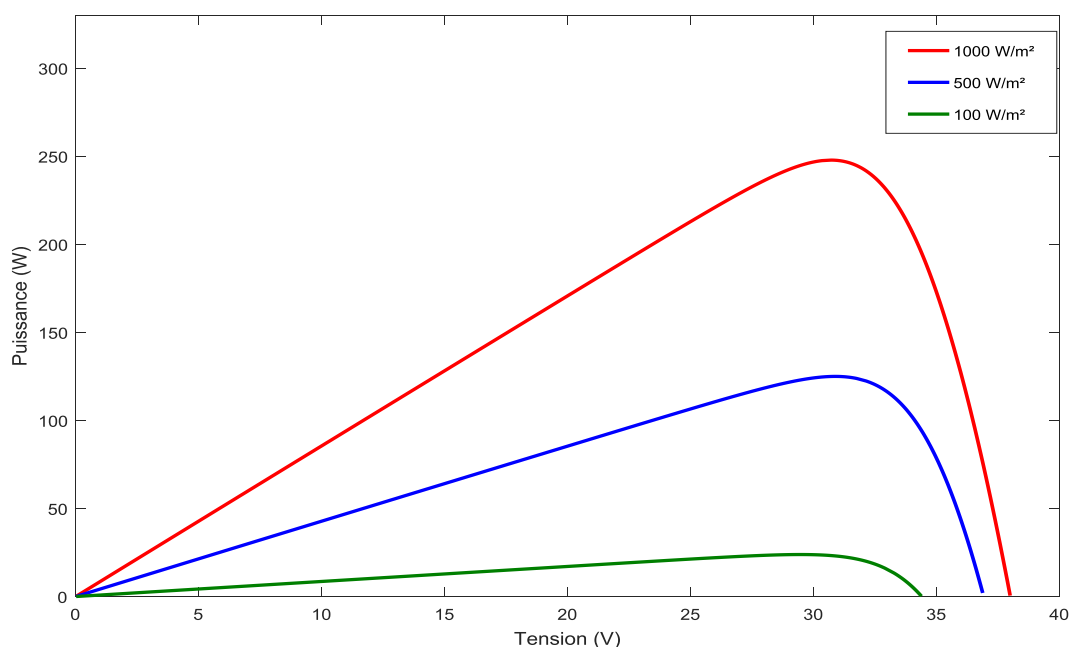


Figure 1-12 Evolution de la caractéristique P(V) en fonction de l'irradiation

1.15.2 Influence de la température

D'après la figure 1-13 nous remarquons que la température a une influence négligeable sur le courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente. Plus la température augmente plus la puissance diminue, figure 1-14

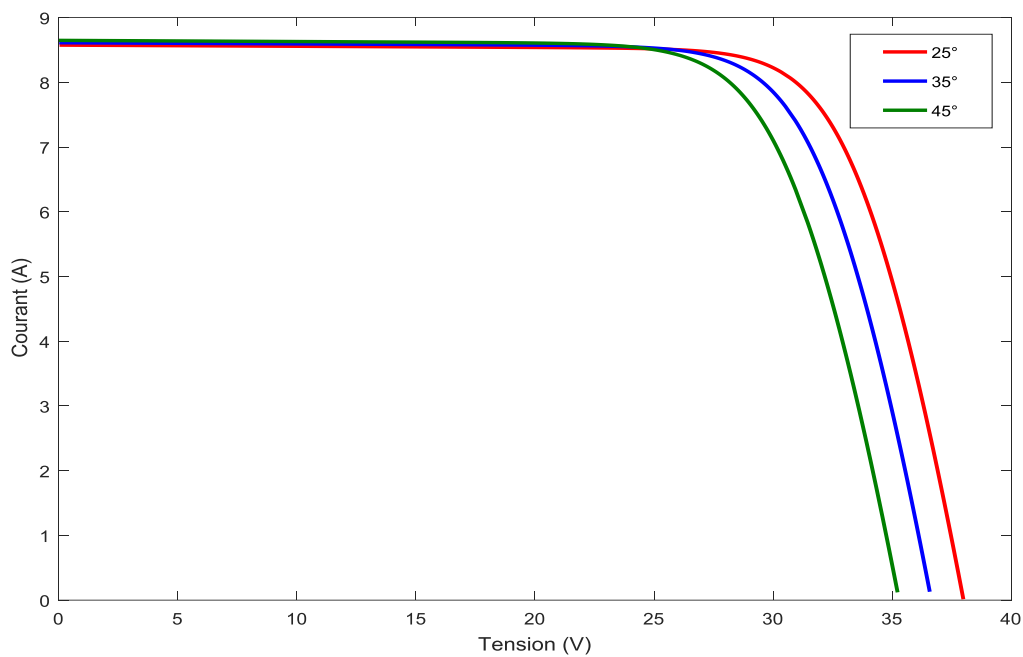


Figure 1-13 Evolution de la caractéristique I(V) pour différentes températures

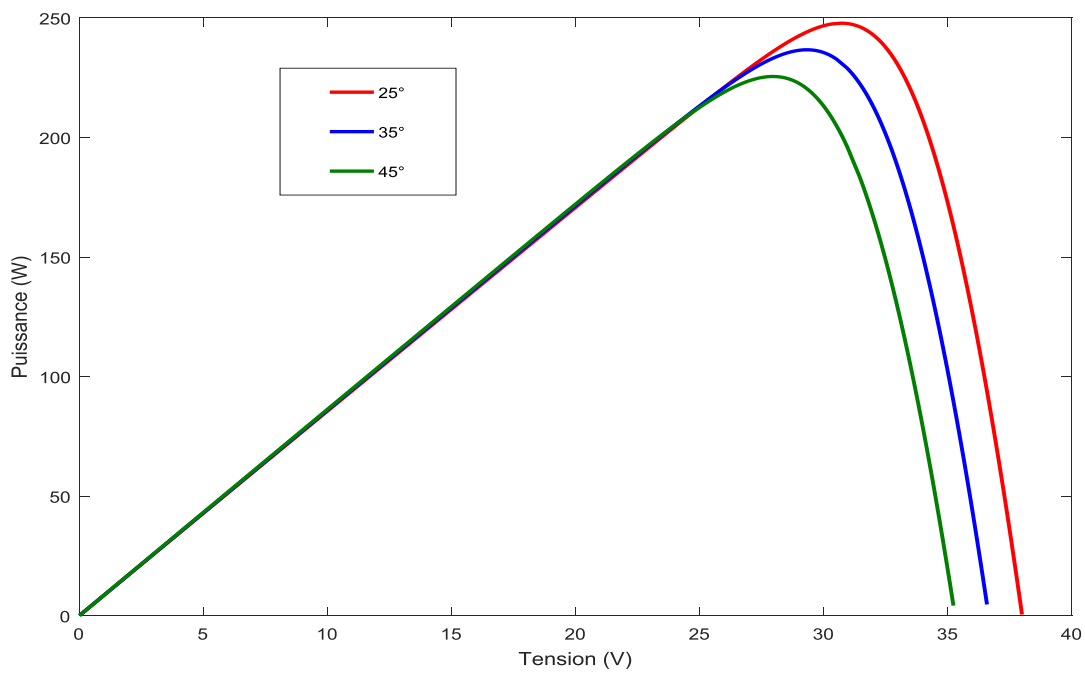


Figure 1-14 Evolution de la caractéristique P(V) pour différentes températures

1.16 Association en série et en parallèle d'un module PV

Afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation, les modules peuvent être connectés en série et en parallèle pour construire le champ photovoltaïque.

1.16.1 Association en série

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

$$V_{CO_{N_s}} = N_s \times V_{CO}$$

$$I_{CC} = I_{CC_{N_s}}$$

$V_{CO_{N_s}}$: Somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.

$I_{CC_{N_s}}$: courant de court-circuit de N_s cellules en série

1.16.2 Association en parallèle

L'association parallèle de (N_p) cellules permet d'accroître le courant de sortie du générateur, . Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

$$I_{CC_{N_p}} = N_p \times I_{CC}$$

$$V_{CO} = V_{CO_{N_p}}$$

$I_{CC_{N_p}}$: Somme des courants de court circuit de (N_p) cellule en parallèle

$V_{CO_{N_p}}$: Tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle

1.17 Le convertisseur dc-dc

Le hacheur est un convertisseur continue/continue permettant de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue

à un autre niveau de tension (ou de courant). Son utilisation s'avère nécessaire pour stocker l'énergie photovoltaïque dans les batteries, ou pour alimenter une charge continue.

Ils sont souvent utilisés comme une interface d'adaptation qui assure la poursuite du point de puissance maximale selon les stratégies de contrôle spécifiques.

Les panneaux solaires et la charge peuvent être soit de nature capacitive (source de tension), soit de nature inductive (source de courant). La charge peut être de nature résistive aussi.

Les convertisseurs DC-DC sont classés en deux types : les convertisseurs non isolés et les convertisseurs isolés de la source.

Le rôle du convertisseur DC-DC fait fonctionner les modules à leur point de puissance optimale, quel que soit l'éclairement et la température pour délivrer cette puissance à l'utilisation. [45]

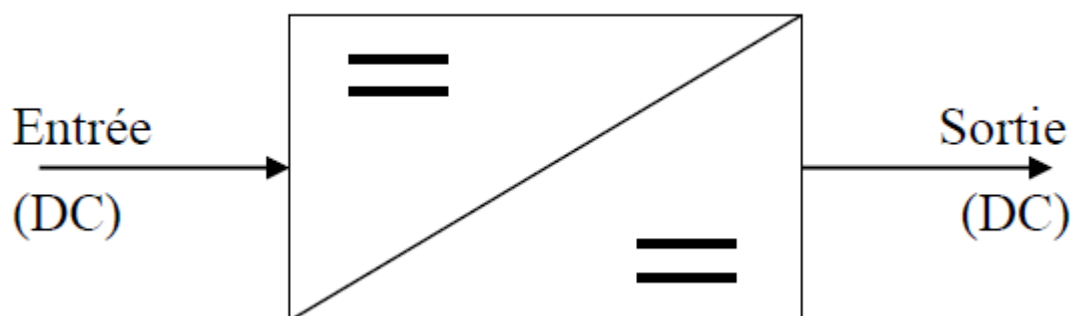


Figure 1-15 Symbole d'un hacheur

1.18 Conclusion

Dans ce chapitre, une description sur l'énergie solaire et ses différents types a été présentée, on a parlé aussi sur la puissance photovoltaïque délivrée par le soleil dans le monde et surtout en Algérie. Nous avons décrit le système photovoltaïque et la cellule PV, son fonctionnement et ses paramètres. Le module PV et ses différents types ont été détaillés. On a constaté que la température et l'éclairement sont deux facteurs majeurs qui influent directement sur le fonctionnement d'un générateur photovoltaïque. Lorsque l'éclairement varie, ce qui est inévitable le long d'une journée ensoleillée, la caractéristique d'une cellule photovoltaïque change. L'énergie électrique produite par une cellule dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface. L'influence de la température est importante et a des conséquences sur la conception des panneaux et des systèmes photovoltaïques. Finalement, on a fait une brève description sur les convertisseurs dc-dc qu'ils seront bien détaillés dans le chapitre suivant.

Chapitre 2 : Les convertisseurs DC-DC

Chapitre 2 : Les convertisseurs DC-DC

2.1 Introduction

Pour le contrôle de la puissance électrique ou le conditionnement de la puissance, la conversion de la puissance électrique d'une forme à une autre est nécessaire et les caractéristiques de commutation des dispositifs de puissance permettent ces conversions. Les convertisseurs de puissance statiques remplissent ces fonctions de conversions de puissance. Un convertisseur peut être considéré comme une matrice de commutation.

Les convertisseur dc-dc sont conçu à base d'interrupteurs électroniques qu'ils seront bien détaillés dans la partie suivante.

2.2 Interrupteurs électroniques

L'élément clé de l'électronique de puissance est l'interrupteur qui permet d'appliquer telle ou telle source sur charge selon la méthode choisie. C'est un élément commandable n'existant sous sa forme idéalisée qu'une implémentation mécanique qui n'est pas compatible avec de changement d'état répétés. L'interrupteur possède un état on (fermé), pendant lequel la tension a ses bores est nulle quel que soit le courant le traversant, et un état off (ouvert), pendant lequel le courant le traversant est nul quelle que soit la tension a ses bornes.

Les réalisations par semi-conducteurs d'interrupteurs ne remplissent en général que partiellement les conditions posées précédemment. Les composants semi-conducteurs sont réalisés sur un substrat de silicium [26].

Parmi ces interrupteurs on distinguera principalement

- Les éléments non commandables(diode)
- Les éléments commandable à la fermeture (thyristors, triacs),
- Les éléments commandable à la fermeture et à l'ouverture (transistors bipolaires, MOSFETs, IGBTs, GTOs).

Les interrupteurs utilisés dans le convertisseur boost à notre cas d'études sont la diode et le transistor MOSFET.

2.2.1 La diode

Une diode est un composant électronique à deux bornes qui conduit le courant principalement dans une direction (conductance asymétrique); il a une résistance faible (idéalement nulle) dans un sens et une résistance élevée (idéalement infinie) dans l'autre.

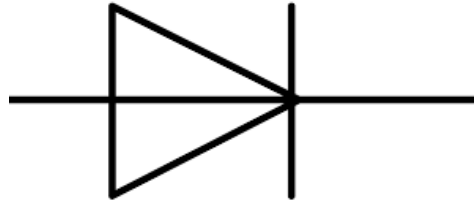


Figure 2-1 Diode.

C'est un interrupteur bistable, conducteur lorsque la porte reçoit un déclenchement de courant, et continuant à conduire jusqu'à ce que la tension aux bornes de l'appareil soit polarisée en inverse, ou jusqu'à ce que la tension soit supprimée (par un autre moyen). Il existe deux conceptions, qui diffèrent par ce qui déclenche l'état conducteur. Dans un thyristor à trois fils, un petit courant sur son fil de grille contrôle le plus grand courant du chemin anode à cathode. Dans un thyristor à deux conducteurs, la conduction commence lorsque la différence de potentiel entre l'anode et la cathode elles-mêmes est suffisamment grande (tension de claquage).

2.2.2 Transistor MOSFET

Le transistor MOSFET (Métal Oxyde Semi-conducteur Field Effet Transistor, en français transistor à effet de champ) est un transistor de technologie utilisé en commutation pour les applications de faible et moyenne puissance.

Le transistor MOS est généralement fait à base de silicium, matériau semi-conducteur. À l'état pur, le silicium, lorsqu'il se présente sous forme de cristal (état organisé), possède une faible conductibilité (c'est-à-dire une grande résistivité, proche de celle des isolants) qu'il est possible de contrôler par l'ajout d'impuretés. Elle peut ainsi varier de plusieurs ordres de grandeur si on y introduit, en très faibles quantités (à raison d'un atome pour 10 000), des

atomes dits dopants, comme le bore ou l'arsenic. Ces derniers s'insèrent dans le cristal sans le déformer, en se substituant à des atomes de silicium. Ils en modifient le comportement électrique par création d'un surplus ou d'un manque d'électrons dans la structure.

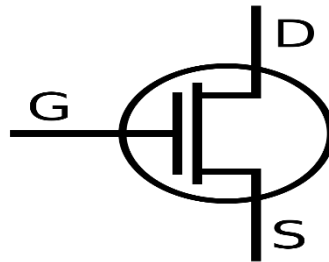


Figure 2-2 Symbole de MOSFET

2.3 Conversion DC/DC

Un hacheur est un dispositif qui convertit directement une entrée DC fixe en une tension de sortie DC variable. Essentiellement, un hacheur est un interrupteur électronique utilisé pour interrompre un signal sous le contrôle d'un autre.

Dans les applications d'électronique de puissance, étant donné que l'élément de commutation est soit complètement allumé, soit complètement éteint, ses pertes sont faibles et le circuit peut fournir un rendement élevé. Cependant, le courant fourni à la charge est discontinu et peut nécessiter un lissage ou une fréquence de commutation élevée pour éviter des effets inconfortables à la charge. Dans les circuits de traitement du signal, l'utilisation d'un hacheur stabilise un système contre la dérive des composants électroniques ; le signal d'origine peut être récupéré après amplification ou autre traitement par un démodulateur synchrone qui annule essentiellement le processus de "hachage".

Dans le système photovoltaïque, la tension fournie par les panneaux solaires est généralement n'est pas constant. Donc le rôle principal de le hacheur dans le PV est d'extraire une tension constante approprié pour la charge

On peut définir plusieurs types des convertisseurs dc dc :

- Convertisseur abaisseur BUCK.
- Convertisseur élévateur BOOST.
- Convertisseur abaisseur-élévateur BUCK-BOOST
- Convertisseur CÜK.
- Convertisseur SEPIC.
- Convertisseur FLYBUCK.

2.3.1 Convertisseur abaisseur BUCK.

Les convertisseurs abaisseurs BUCK sont utilisés pour convertir la haute tension d'entrée en basse tension de sortie. Dans ce convertisseur, le courant de sortie continu donne moins d'ondulations de tension de sortie.

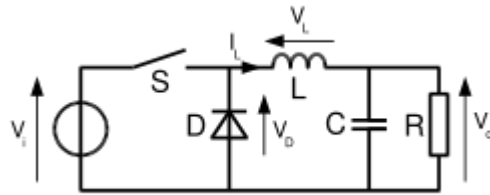


Figure 2-3 Hacheur Buck

2.3.2 Le convertisseurs BOOST

Le convertisseur boost est connu par le nom d'élevateur de tension peut être représenté par le circuit de la figure 2-4. C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type courant continu (inductance en série avec une source de tension) et la charge de sortie est de type tension continue (condensateur en parallèle avec la charge résistive). L'interrupteur K1 peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage) .

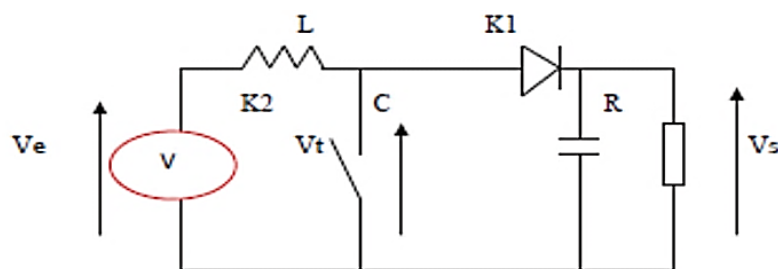


Figure 2-4 schéma du convertisseur boost

2.3.2.1 Dimensionnement de convertisseur Boost

La figure 2-5 montre le schéma du convertisseur boost utilisé dans notre étude, on a utilisé un transistor du type MOSFET.

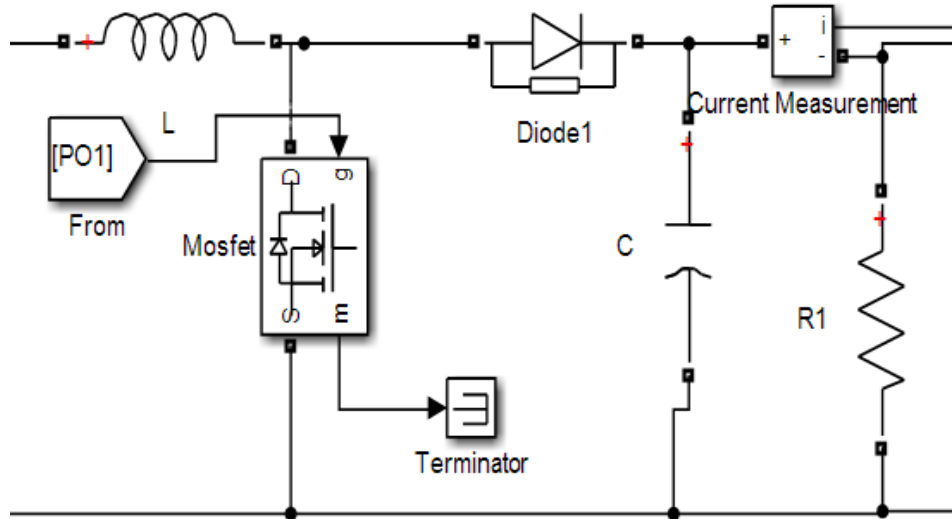


Figure 2-5 schéma du convertisseur boost

La première étape pour calculer la valeur de l'inductance L et de la capacité C est de déterminer le rapport cyclique α pour la tension d'entrée minimale :

$$\alpha = 1 - \frac{V_e}{V_s} \dots \dots \dots (2-3)$$

V_e : Tension d'entrée.

V_s : Tension de sortie.

Choix d'inductance

Souvent, les fiches techniques donnent une range de valeurs d'inductance recommandées. Si tel est le cas, il est recommandé de choisir une inductance de cette gamme. Plus la valeur de l'inductance est élevée, plus le courant de sortie maximal est élevé en raison du courant d'ondulation réduit.

Depuis, Plus la valeur de l'inducteur est faible, plus la taille de la solution est petite. Notez que l'inductance doit toujours avoir un courant nominal supérieur au courant maximal indiqué dans l'équation ci-dessous car le courant augmente avec la diminution de l'inductance.

Pour les pièces où aucune range d'inductances n'est donnée, l'équation suivante est une bonne estimation pour la bonne inductance :

$$L \geq \frac{V_e \cdot \alpha}{f_s \cdot \Delta I_L} \dots \dots \dots (2-4)$$

V_e : tension d'entrée

α : Rapport cyclique

f_s : fréquence de commutation minimale du convertisseur

ΔI_L : courant d'ondulation de l'inducteur estimé, voir ci-dessous

Le courant d'ondulation de l'inductance ne peut pas être calculé avec l'équation précédente car l'inductance n'est pas connue. Une bonne estimation du courant d'ondulation de l'inductance est de 20 % à 40 % du courant de sortie.

Donc : $\Delta I_L = (de\ 0.2\ jusqu'à\ 0.4) \times I_{s(max)}$

ΔI_L : courant d'ondulation estimé de l'inducteur

$I_{s(max)}$: courant de sortie maximal nécessaire dans l'application [41]

Choix du condensateur de sortie

Si le convertisseur a une compensation externe, toute valeur de condensateur supérieure au minimum recommandé dans la fiche technique peut être utilisée, mais la compensation doit être ajustée pour la capacité de sortie utilisée.

Avec les convertisseurs à compensation interne, les valeurs d'inductance et de condensateur recommandées doivent être utilisées ou les recommandations de la fiche technique pour ajuster les condensateurs de sortie à l'application doivent être suivies pour le rapport $L \times C$.

Avec une compensation externe, les équations suivantes peuvent être utilisées pour ajuster les valeurs du condensateur de sortie pour une ondulation de tension de sortie souhaitée :

$$C = \frac{I_{s(max)} \times \alpha}{f_s \times \Delta V_s} \dots \dots (2-5)$$

C : capacité de sortie minimale

$I_{s(max)}$: courant de sortie maximal de l'application

α : rapport cyclique calculé avec l'équation 1

f_s : fréquence de commutation minimale du convertisseur

ΔV_s = ondulation de tension de sortie souhaitée

L'équation de ΔV_s est comme ci-dessous :

$$\Delta V_s = (\text{de } 1\% \text{ jusqu'à } 5\%) \times V_s \dots \dots (2-6) \quad [41]$$

Choix de résistance R

On a ajouté une résistance en parallèle avec notre circuit de convertisseur. Pour voir les courbes de la tension de sortie

$$R = \frac{P}{I_{smax}^2} \dots \dots \dots (2-7)$$

P : La puissance total délivrée par les panneaux

I_{smax} : courant de sortie maximal de l'application [41]

2.3.3 Convertisseur abaisseur-élevateur BUCK-BOOST

Un circuit DC DC abaisseur-élevateur typique permet d'augmenter ou de réduire la tension continue d'entrée, en fonction du cycle de service. La tension de sortie est donnée par :

$$V_s = -\frac{V_e \times \alpha}{1-\alpha} \dots \dots \dots (2-8)$$

V_e : tension d'entrée.

V_s : tension de sortie.

α : Rapport cyclique.

Comme le montre l'équation ci-dessus, la tension de sortie est toujours inversée en polarité par rapport à l'entrée. Par conséquent, un convertisseur buck-boost est également appelé

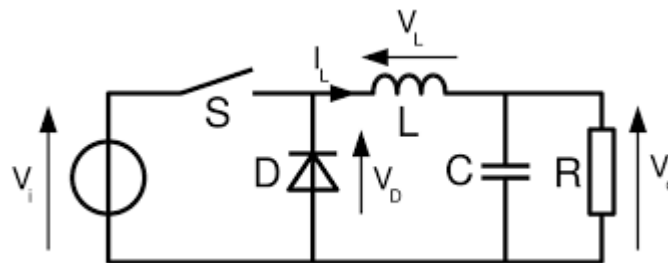


Figure 2-6 schéma du convertisseur buck boost

2.3.4 Convertisseur CÜK

Le convertisseur 'Cuk de la figure 2-7 porte le nom de Slobodan 'Cuk, professeur à Cal Tech. C'est comme un convertisseur abaisseur-élevateur dans la mesure où les polarités d'entrée et de sortie sont inversées, mais il présente l'avantage d'un faible courant d'ondulation à la fois à l'entrée et à la sortie. La version de topologie optimale du convertisseur 'Cuk élimine l'inconvénient d'avoir besoin de deux inducteurs en les enroulant tous les deux sur le même noyau, avec un rapport de tours exact de 1:1. Avec de légers ajustements sur L1 ou L2, le courant d'ondulation d'entrée ou le courant d'ondulation de sortie peut être forcé à zéro. Une version améliorée existe même, ce qui fait que les deux courants d'ondulation deviennent nuls. Cela facilite considérablement les exigences de taille et de qualité des condensateurs d'entrée et de sortie sans nécessiter de filtres.

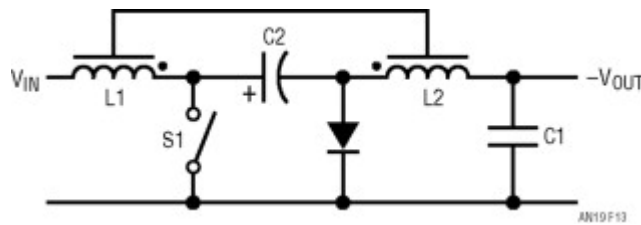


Figure 2-7 Schéma de convertisseur CÜK

2.3.5 Convertisseur SEPIC

Un convertisseur SEPIC de l'acronyme de (single ended primary inductor converter) est une alimentation à découpage convertissant une tension continue en une autre tension continue, de valeur différente (plus faible ou plus grande). La valeur de la tension de sortie dépend du rapport cyclique de fermeture de l'interrupteur (transistor). Ce montage est généralement utilisé pour la charge des accumulateurs.

À la différence du convertisseur 'Cuk qui est alimenté par une source de courant et qui alimente une source de courant, le convertisseur SEPIC est alimenté par une source de tension mais, grâce à l'inversion de l'inductance et de la diode, peut alimenter une source de tension.

Il est aussi envisageable de remplacer les deux inductances $L1$ et $L2$ par deux inductances couplées sur le même circuit magnétique.

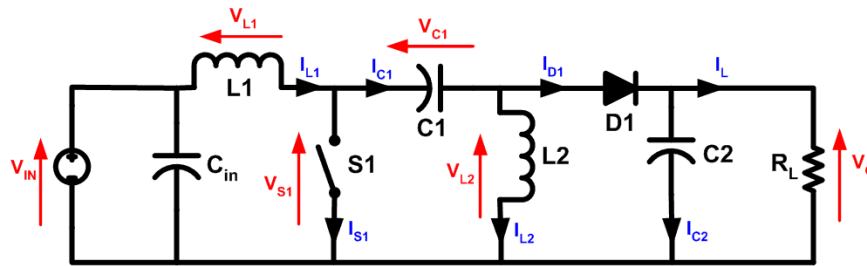


Figure 2-8 Schéma d'un convertisseur SEPIC

Ce montage a été mis au point par Slobodan Čuk à la fin des années 1970. [28]

2.3.6 Convertisseur FLYBUCK

Plutôt que d'avoir un régulateur DC/DC différent pour chaque ligne électrique différente, certains systèmes peuvent bénéficier de l'utilisation d'un seul circuit intégré pour produire plusieurs rails d'alimentation. La topologie Flyback offre la possibilité de produire plusieurs lignes électriques à partir d'une seule entrée, mais cela entraîne un coût d'utilisation de circuits de contrôle plus complexes pour réguler le secondaire. C'est là qu'intervient le buck isolé, ou Flybuck. Le Flybuck est une modification de la topologie standard du convertisseur buck qui remplace l'inductance standard par une inductance ou un transformateur couplé pour produire une ou plusieurs sorties secondaires isolées.

La topologie Flybuck est avantageuse car elle produit une sortie primaire étroitement régulée, ainsi qu'une ou plusieurs sorties secondaires isolées électriquement sans qu'il soit nécessaire d'utiliser un optocoupleur pour réguler le secondaire. Cela signifie que la conception d'un flybuck est relativement simple et peut être réalisée de la même manière que la conception d'un convertisseur buck typique avec quelques variations mineures.

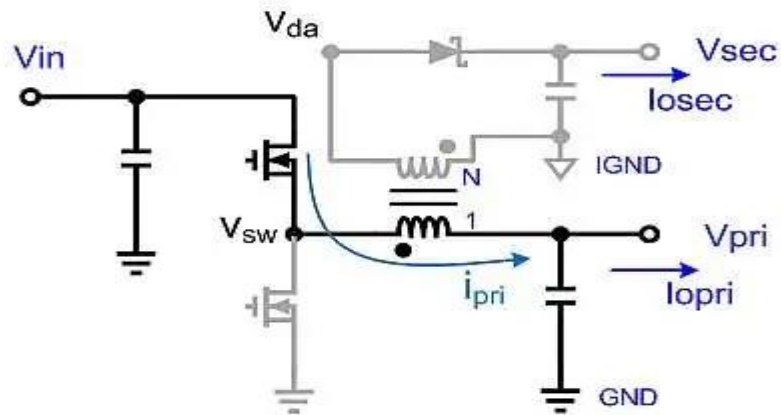


Figure 2-9 schéma d'un convertisseur FLYBUCK

2.4 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté une description sur les convertisseurs dc-dc ainsi que les interrupteurs du convertisseur boost tels que la diode et le transistor MOSFET. Le dimensionnement de ce convertisseur a été effectué, et on a donné les différents types des convertisseurs dc-dc. Le chapitre suivant est consacré à la commande MPPT du la convertisseur boost dans le système photovoltaïque, qui est très importante.

Chapitre 3 :

La commande

MPPT

Chapitre 3 : La commande MPPT

3.1 Introduction

Comme on a vu précédemment, La puissance maximale générée par le panneau dépend de la variation de l'éclairement et de la température, en plus de ces dépendances, le module PV peut générer une puissance maximale que pour une certaine tension et courant de fonctionnement ainsi qu'une charge adaptée avec le PV, cette adaptation peut être réalisé par l'ajout d'un convertisseur dc-dc contrôlé par une commande de MPPT « Maximum power point tracking »

Dans ce chapitre, on va étudier le principe de recherche de MPP, puis on va citer plusieurs méthodes de MPPT en focalisant surtout sur la méthode de perturbe et observe et la méthode de l'incrémementation de conductance.

3.2 Définition

La MPPT, comme son nom l'indique, est une technique permettant de poursuivre le point de puissance maximum d'un générateur électrique dont la caractéristique est non-linéaire (comme le cas des générateurs PV) à fin d'en extraire le maximum de puissance. Plusieurs algorithmes peuvent être utilisés pour l'identification de ce point. Leur principe est de déplacer le point de fonctionnement en augmentant la tension V lorsque le rapport $\frac{\Delta P}{\Delta V}$ est positif ou en la diminuant dans le cas contraire (sachant que le MPP correspond à l'annulation de ce rapport de dérivation). Ces différents algorithmes de la MPPT peuvent être séparés en deux classes, les algorithmes Temps-réel et ceux Hors-ligne. Les méthodes temps-réel opèrent avec des algorithmes qui calculent la puissance délivrée par la cellule en temps-réel et suit ses variations pas-à-pas [24]. D'autre part, les méthodes hors-lignes travaillent avec des algorithmes qui se basent sur de précédentes connaissances des paramètres du panneau.

3.2.1 Principe de la Recherche du MPP

Ce principe assure que le système sera toujours amené à son maximum de puissance est décrit schématiquement par la Figure(3-1). La puissance incidente $W1$ n'est maximale que pour un rapport cyclique maximale (α_{1max} : point PPM1 sur la figure(3-1_a)). Une variation de $W1$ à $W2$ mené, conséquemment, le fonctionnement du système au point de fonctionnement P_f . Alors, assurer une puissance maximale au nouveau point PPM2 exige d'ajuster le rapport cyclique à la valeur α_{2max} . De même, une variation de la charge R Figure(3-1_b): le point de puissance

maximale dévie d'abord de sa position maximale (PPM1) et donc pour revenir vers ce même PPM1, il faut agir sur le rapport cyclique « α ». De cette manière, le système sera toujours amené à son optimum de puissance.

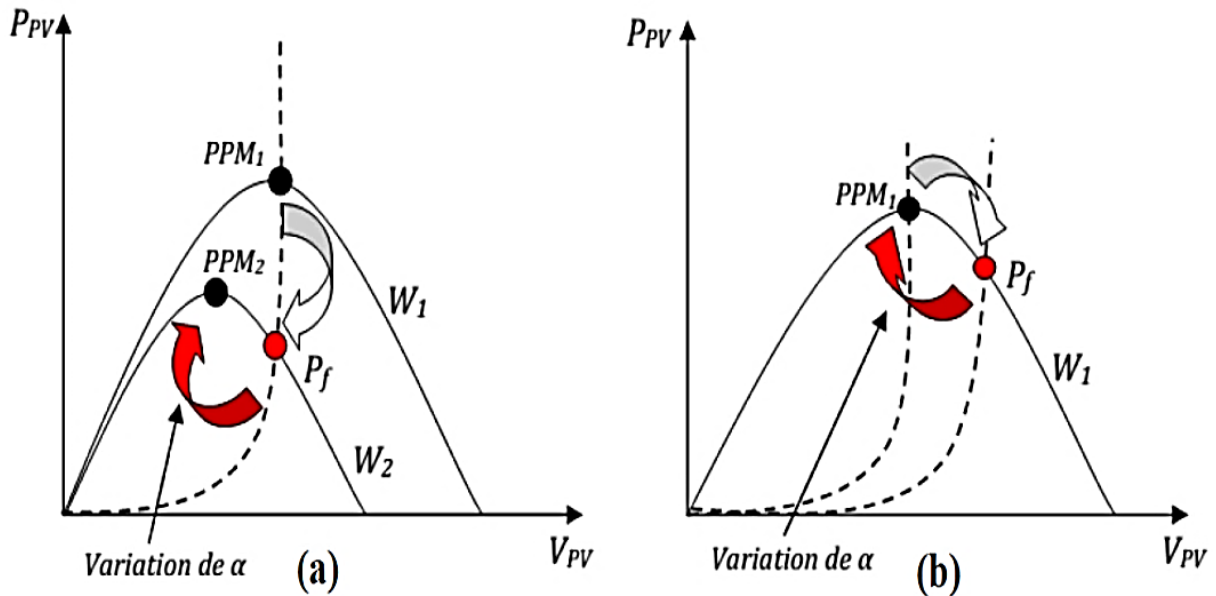


Figure 3-1 Fluctuation du PPM avec l'intensité d'éclairement (a) et la charge R (b).

La comparaison des P_a et P_b mesurées respectivement aux instants (t-1) et (t) permet de chercher le point de la puissance maximale (Figure 3-2) en incrémentant ou diminuant le rapport cyclique α . Si la dérivée est positive ($P_a < P_b$), cela signifie que nous nous rapprochons du PPM en incrémentant α , et si la dérivée de la puissance est négative ($P_a > P_b$), cela veut dire que nous l'avons dépassé nous devons décrémente α . Une fois α modifié, P_a prend la valeur P_b et on effectue une nouvelle mesure de I_{pv} et V_{pv} , pour calculer la nouvelle puissance P_b .

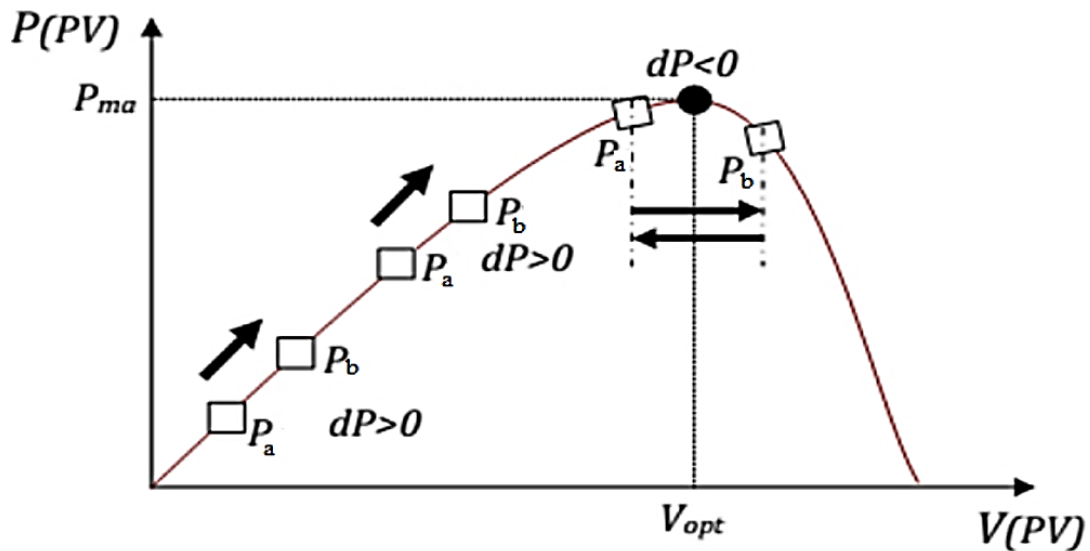


Figure 3-2 Présentation de l'organigramme amenant le système à un fonctionnement à son PPM

3.3 Techniques de commande MPPT

Au cours des dernières décennies, de nombreuses méthodes pour trouver le MPPT ont été développées. Ces techniques diffèrent dans de nombreux aspects tels que les capteurs nécessaires, la complexité, le coût, la portée de l'efficacité, la vitesse de convergence, le suivi correct lors de l'irradiation ou le changement de température, le matériel nécessaire pour la mise en œuvre, entre autres [35]. La classification des algorithmes du suiveur peut être basée sur la fonction des techniques ou des stratégies de commande utilisées. Ainsi, deux catégories peuvent être présentées : méthodes directes et indirectes.

3.3.1 Méthodes indirectes

Ce type de commandes MPPT utilise le lien existant entre les variables mesurées (I_{cc} ou V_{co}), 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 maximale 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 pouvant fonctionner dans des zones géographiques où il y'a peu de changements climatiques. Parmi ces méthodes, on retrouve la méthode de la tension de circuit ouvert du générateur, la méthode de court-circuit etc....

3.3.2 Méthodes directes

Ce type de commande MPPT détermine le point de fonctionnement maximale 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 haute 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. Parmi ces méthodes, on retrouve la méthode de différenciation, la méthode Perturbe & Observe (P&O), l'incrément de conductance, etc.... et ces deux dernier sont les deux méthodes appliquées dans notre étude

3.4 Méthode de tension constante (CV)

Considéré comme l'algorithme à tension constante (CV), c'est l'un des algorithmes les plus simples des algorithmes MPPT. Le point de fonctionnement du système PV est fixé à proximité du point de puissance maximale (MPP) en réglant la tension de sortie du solaire pour se conformer à la tension de référence continue (V_{ref}). Le V_{ref} est réglé à la même valeur de la tension au point de puissance maximale (V_{mpp}) du champ PV caractéristique. Pour cette technique, les variations d'irradiation et de température du panneau ne sont pas substantielles, et la tension de référence constante (V_{ref}) est préalablement réglée pour obtenir des performances proches du MPP. Pour cette raison, en pratique, cette méthode peut ne jamais trouver exactement le MPP. La méthode CV nécessite une collecte de données avant de démontrer une référence de tension constante, et cela peut varier d'un endroit à l'autre.

3.5 Algorithme à Base de la Mesure d'une Fraction de la Tension V_{co}

Cet algorithme est basé sur la relation linéaire entre V_{co} et la tension maximale donnée par l'équation suivante : $V_{mpp} = kV_{co}$

k est un facteur de tension dépendant des caractéristiques de la cellule PV et qui varie entre 0.73 et 0.8.

Pour en déduire la tension maximale, on doit mesurer la tension du circuit ouvert V_{co} . Par conséquent, le point de fonctionnement du module est maintenu proche de point maximale en ajustant la tension de module à la tension maximale calculée. Le processus permet d'agir cycliquement sur le rapport cyclique pour atteindre la tension optimale.

3.6 Algorithme à Base de la Mesure d'une Fraction du Courant I_{cc}

Cette technique est basée sur la relation linéaire entre le courant I_{cc} et le courant maximale donné par l'équation suivante : $I_{mpp} = kI_{cc}$ Où k est un facteur de courant dépendant des caractéristiques de la cellule PV et qui varie entre 0.85 et 0.92.

En effet, le point de fonctionnement maximale est obtenu en amenant le courant du module au courant maximale. Par conséquent, on change le rapport cyclique jusqu'à ce que le module atteigne la valeur maximale.

3.7 Algorithme à Base de la Logique Floue

Récemment, la commande à base de la logique floue a été utilisée dans les systèmes de poursuite du MPP, cette commande offre l'avantage d'être une commande robuste et qui ne nécessite pas la connaissance exacte du modèle mathématique du système.

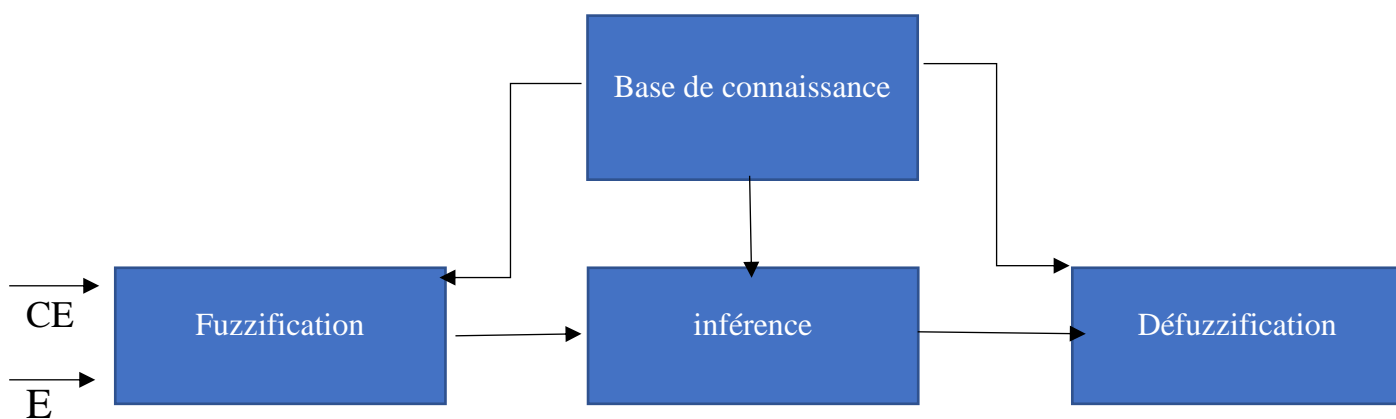


Figure 3-19 Schéma bloc de l'algorithme à base de la logique floue

En particulier, cette commande est mieux adaptée aux systèmes non linéaires. Le fonctionnement de cet algorithme se fait en trois blocs: la fuzzification, l'inférence et la défuzzification (figure précédent)

3.8 Méthodes basées sur l'intelligence artificielle :

3.9 La méthode de P&O

La méthode perturbation et observation 'P&O', est la plus répandue dans le milieu industriel, car son algorithme est facile à implémenter. Ce processus fonctionne par une perturbation du système en augmentant ou en diminuant la tension de fonctionnement du module et observer son effet sur la puissance de sortie de la rangée. La figure ci-dessous montre l'organigramme de l'algorithme de la méthode 'P&O', tel qu'il doit être implémenté dans le microprocesseur de contrôle. D'après la figure ci-dessous, la tension et le courant V et I , sont mesurés pour calculer la puissance de sortie courante $P(k)$ de la rangée. Cette valeur $P(k)$ est comparée à la valeur $P(k-1)$ de la dernière mesure. Si la puissance de sortie a augmenté, la perturbation continuera dans la même direction. Si la puissance a diminué depuis la dernière mesure, la perturbation de la tension de sortie sera renversée en direction opposée du dernier cycle.

Avec cet algorithme, la tension de fonctionnement V est perturbée à chaque cycle du MPPT. Dès que le MPP sera atteint, V oscillera autour de la tension idéale V_{mp} de fonctionnement. Ceci cause une perte de puissance qui dépend de la largeur du pas d'une perturbation simple C_p .

Si C_p 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 légèrement changeantes. Si C_p est très petite, les pertes dans les conditions stables ou lentement changeantes seront réduites, mais le système ne pourra plus suivre les changements rapides de la température ou de l'insolation. La valeur C_p idéale dépend du système. Elle doit être déterminée expérimentalement.

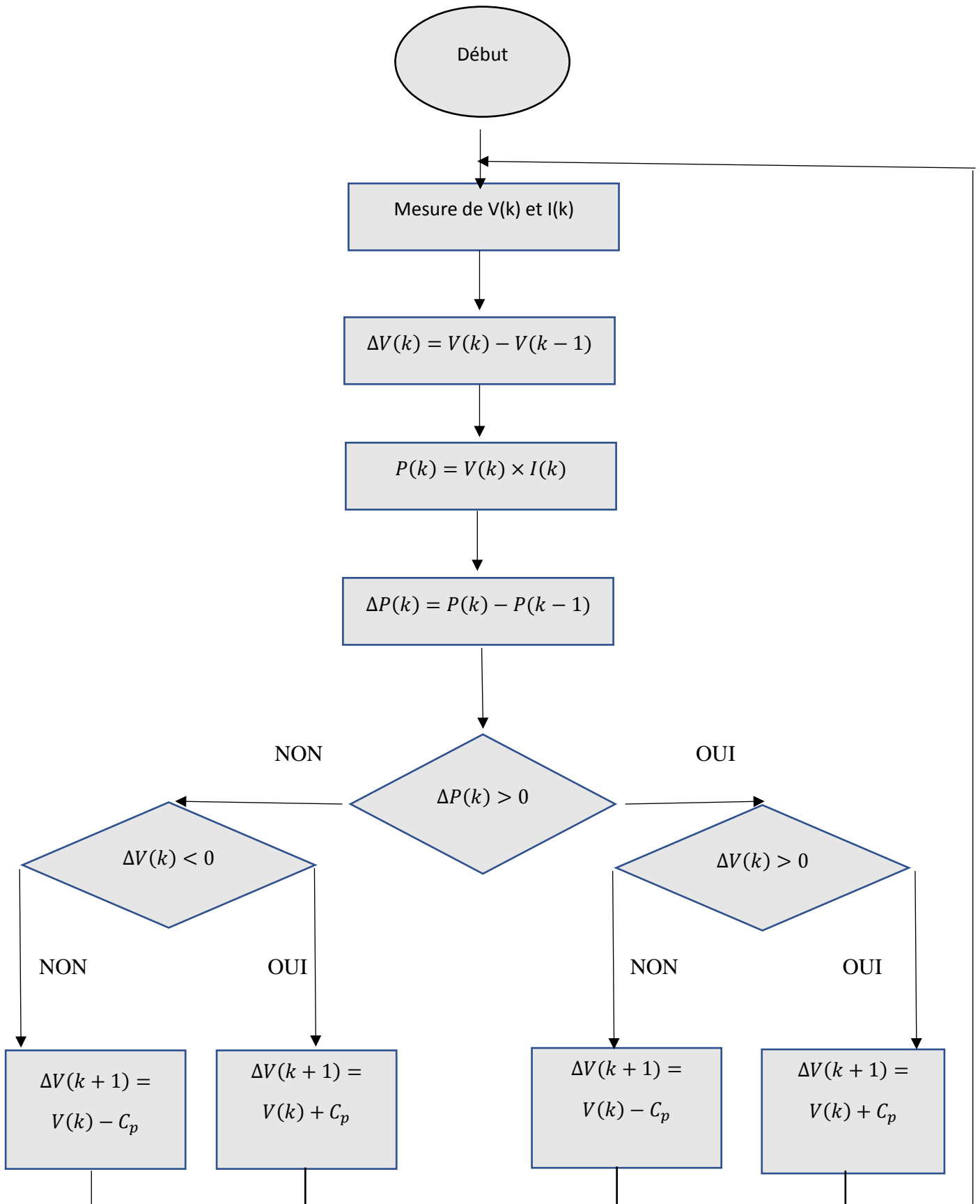


Figure 3-3 Organigramme de l'algorithme MPPT de la perturbation & observation

3.10 La méthode de Conductance incrémentale

L'algorithme d'incrémental de la conductance est basé sur le fait que le point de puissance maximale (MPP) n'est atteint que si dp/dV est nulle. Les caractéristiques du module photovoltaïque sur la figure 6 prouvent plus loin que la dérivée est supérieure à zéro à gauche du MPP et inférieure à zéro à droite du MPP. Ceci mène à l'ensemble d'équations suivant :

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad \text{Pour } V = V_{mp} \quad (2-8)$$

$$\frac{dP}{dV} > 0 \quad \text{Pour } V < V_{mp} \quad (2-9)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \quad \text{Pour } V > V_{mp} \quad \dots\dots\dots(2-10)$$

Sachant que $P = I \times V$, la dérivée du produit par rapport à la tension V donne la relation suivante:

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(V \times I)}{dV} = I \times \frac{dV}{dI} + V \times \frac{dI}{dV} \dots\dots\dots(2-11)$$

Ce qui revient d'écrire :

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \dots\dots\dots(2-12)$$

Les changements par accroissement nécessaires de V et de I sont obtenus en comparant les valeurs mesurées les plus récentes pour V et I à ceux mesurés durant le cycle précédent :

$$dV(k) \approx V(k) - V(k-1) \dots\dots\dots(2-13)$$

$$dI(k) \approx I(k) - I(k-1) \dots\dots\dots(2-14)$$

La fonction centrale pour trouver le MPP utilise les conditions suivantes :

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad \dots\dots\dots(2-15)$$

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \dots\dots\dots(2-16)$$

Si la relation (14) est vraie, le MPP est atteint et aucun changement de la tension $V(k)$ n'est nécessaire. Si la relation (14) est fautive, selon que $V(k)$ est supérieure ou inférieure à V_{mp} , la tension $V(k)$ est ajustée en conséquence.

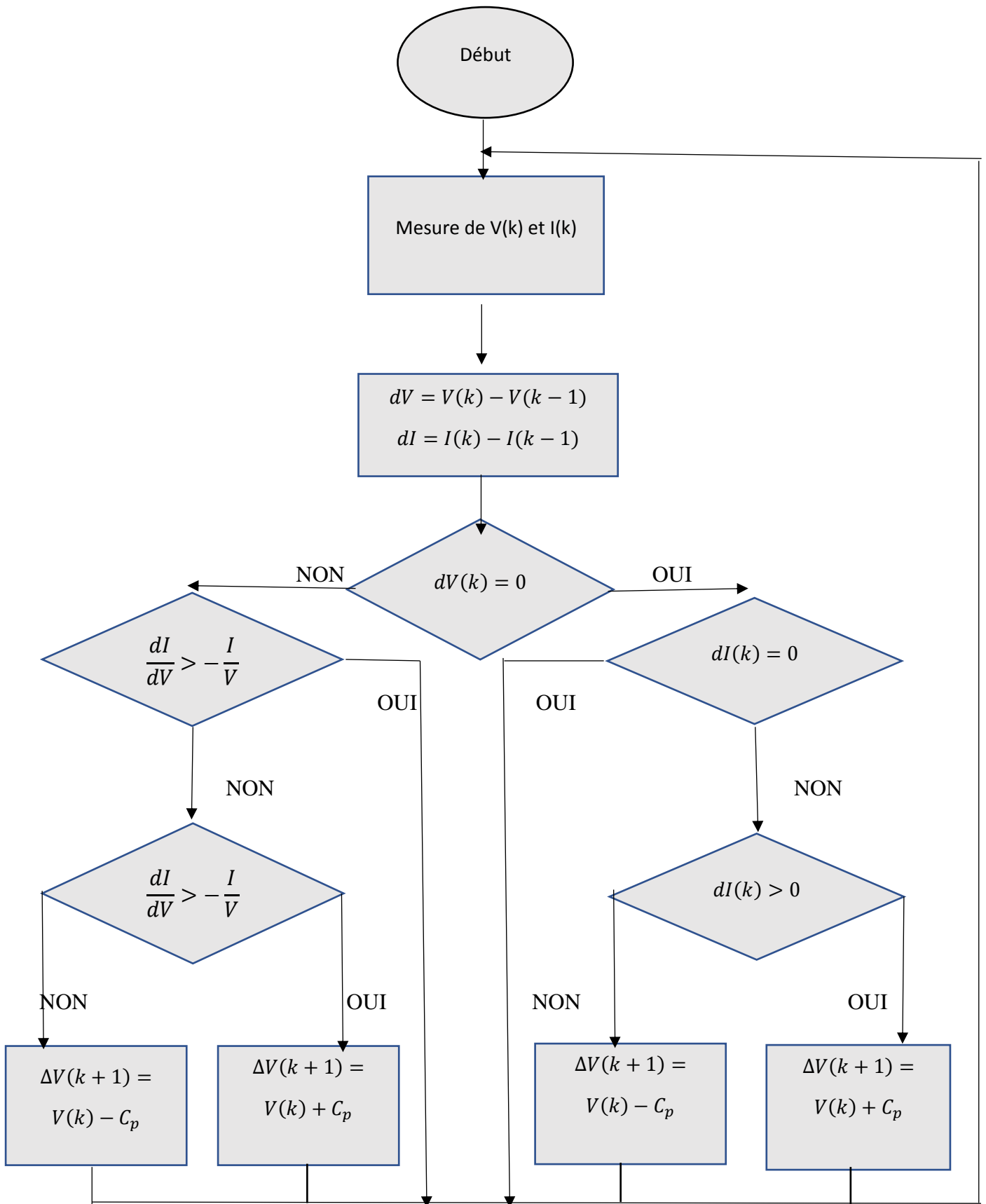


Figure 3-4 Organigramme de l'algorithme MPPT de l'incrémentale de la conductance

Si le système fonctionnait au MPP pendant le cycle précédent, le changement par accroissement de la tension de fonctionnement sera zéro ($dV(k) = 0$). Ceci mènerait à une division par l'erreur zéro. Si $dI = 0$, l'ajustement de la tension du système est évité. Si $dI \neq 0$ les équations (8) et (9) sont employées pour déterminer si le système fonctionne au-dessus ou au-dessous de V_{mpp} et un ajustement correspondant à la tension de fonctionnement sera réalisé en conséquence. On remarque que chaque méthode présentait des avantages et des inconvénients [29]

3.11 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les méthodes de MPPT les plus fréquentes dans l'industrie, tels que la méthode de P&O et la méthode d'inductance incrémentale.

Le chapitre suivant est consacré à l'application des deux méthodes de MPPT.

CHAPITRE 4 :

**Application de deux
méthodes MPPT à
des panneaux PV de
technologies
différentes de la
centrale Ghardaïa**

Chapitre 4 Application de deux méthodes MPPT à des panneaux PV de technologies différentes de la centrale Ghardaïa

4.1 Introduction

Comme la simulation sur ordinateur permet la variation d'une gamme de paramètres d'un système, il devient intéressant de faire varier ces paramètres afin de voir le comportement du système photovoltaïque pour différentes technologies et différentes méthodes de MPPT. Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats de simulation appliquée aux deux GPV avec un convertisseur boost commandé par MPPT.

Le but de cette étude est de savoir quelle est la meilleure commande de MPPT appropriée avec le meilleur type de technologie photovoltaïque.

4.2 Description de la centrale photovoltaïque Oued Nechou – Ghardaïa

Mise en service en juillet 2014, la centrale photovoltaïque pilote de Oued N'echou/Ghardaïa occupe une superficie de 10 hectares pour une capacité de production installée de 1 MWc. Elle est dotée de 6032 panneaux solaires (fixes et orientables) répartis en 8 sous-champs, intégrant quatre (04) technologies différentes de modules photovoltaïques et 2 types de structures. D'un coût total de 744 millions de dinars, cette centrale pilote a été délocalisée de Tindouf vers Ghardaïa afin de soutenir le programme énergies renouvelables Algérien et aussi dans un souci d'optimisation des ressources humaines et matérielles et de collaboration avec l'URAER du centre de recherche en énergies renouvelables (CDER) de Ghardaïa. [43]

4.3 Outil de simulation Matlab/simulink

Matlab fait partie d'un ensemble d'outils intégrés dédiés au traitement du signal. En complément du noyau de calcul Matlab, l'environnement comprend des modules optionnels qui sont parfaitement intégrés à l'ensemble :

- Une vaste gamme de bibliothèques de fonctions spécialisées (Toolboxes)
- Simulink, un environnement puissant de modélisation basée sur les schémas-blocs et de simulation des systèmes dynamiques linéaires et non linéaires.
- Des bibliothèques de blocs simulations spécialisés (blocksets)
- D'autres modules dont un compilateur, un générateur de code C, un accélérateur.
- Un ensemble d'outils intégrés dédiés au traitement du signal : le DSP Workshop. [30]

Simulink est une plate-forme de simulation multi-domaine et de modélisation des systèmes dynamiques. Il fournit un environnement graphique et un ensemble de bibliothèques contenant des blocs de modélisation qui permettent le design précis, la simulation, l'implémentation et le contrôle de systèmes de communications et de traitement du signal [31]

4.4 Simulation des générateurs PV :

Dans ce travail nous allons simuler les modules des deux technologies utilisées dans la centrale photovoltaïque de Ghardaïa (polycristallin, et couche mince CdTe)(annexe)

Les deux raisons principales de notre choix sont :

- La différence de matériau de fabrication,
- Le panneau en polycristallin est plus performant en été au contraire du panneau en couche mince qui est plus performant à l'hiver.

4.5 Les caractéristiques des panneaux photovoltaïques

On a choisi le modèle Atersa-240P du type polycristalline avec un module photovoltaïque composé de 60 cellules et une puissance maximale atteint 240 W considéré dans les conditions standard STC

($G=1000 \text{ w/m}^2$; $T= 25^\circ$)

Et on a choisi aussi le modèle FIRST SOLAR FS-380 du type couche à mince avec un module photovoltaïque composé de 54 cellules et une puissance maximale atteint 80 W considéré aussi dans les conditions de STC.

Les Tableaux suivants montent les caractéristiques des deux modules photovoltaïques selon les annexes (A1) et (A2).

Tableau 4-1 Les caractéristiques d'un module polycristalline (Atersa-240P)

Grandeurs	Valeurs
Puissance Maximal du panneau P _{mpp} (Wc)	240
Tension en circuit ouvert Voc (V)	36.72
Courant de court-circuit Isc (A)	8.73
Tension au point de puissance maximale V _{mpp}	29.21
Courant au point de puissance maximale I _{mpp}	8.21
Nombre de cellules	60
Coefficient d'incrémentation du courant Isc (α_{sc}) (%/deg.C)	0.04
Coefficient d'incrémentation du tension Voc (%/deg.c)	-0.32

Tableau 4-2 Les caractéristiques d'un module du type couche à mince (FIRST SOLAR FS-380)

Grandeurs	Valeurs
Puissance Maximal du panneau P _{mpp} (Wc)	80
Tension en circuit ouvert Voc (V)	60.8
Courant de court-circuit Isc (A)	1.88
Tension au point de puissance maximale V _{mpp}	48.5
Courant au point de puissance maximale I _{mpp}	1.65
Nombre de cellules	154
Coefficient d'incrémentation du courant Isc (α_{sc}) (%/deg.C)	+0.04
Coefficient d'incrémentation du tension Voc (%/deg.c)	-0.20

Pour voir l'influence de la température et l'éclairement sur les caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$, les résultats de simulation des deux technologies sont montrés ci-dessous.

4.5.1 Influence de l'éclairement sur les courbes

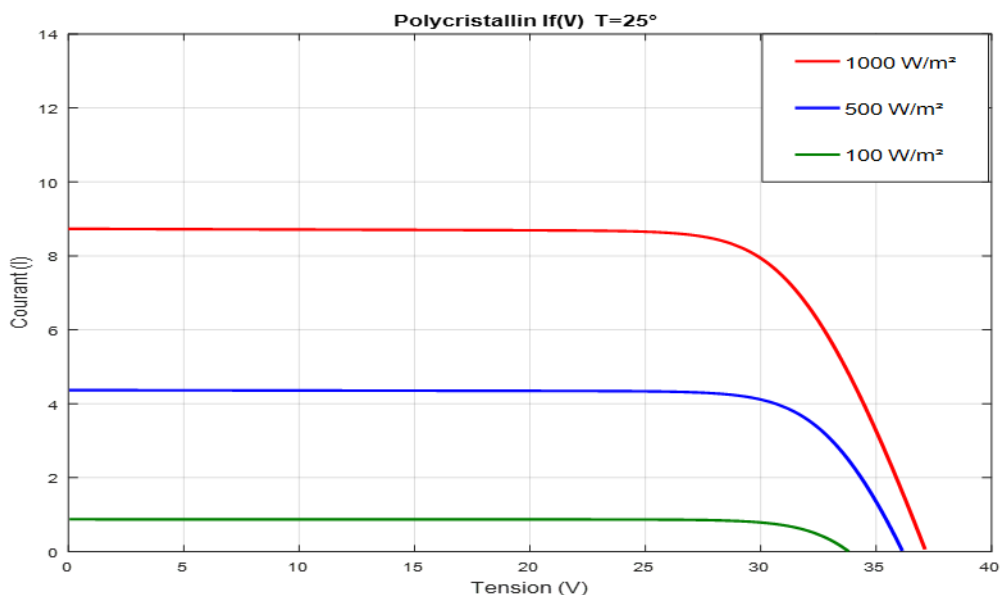


Figure- 4-1 courbe $I=f(V)$ du module PV Polycristallin pour différents irradiations

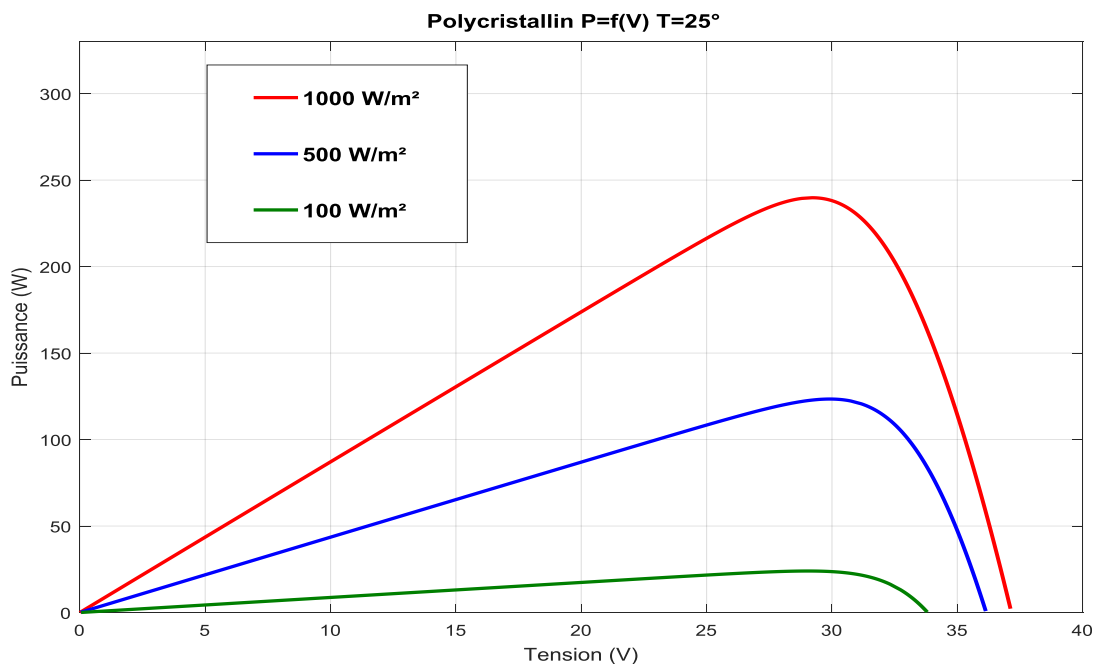


Figure 4-2 Courbe $P=f(V)$ du module PV Polycristallin pour différents irradiations

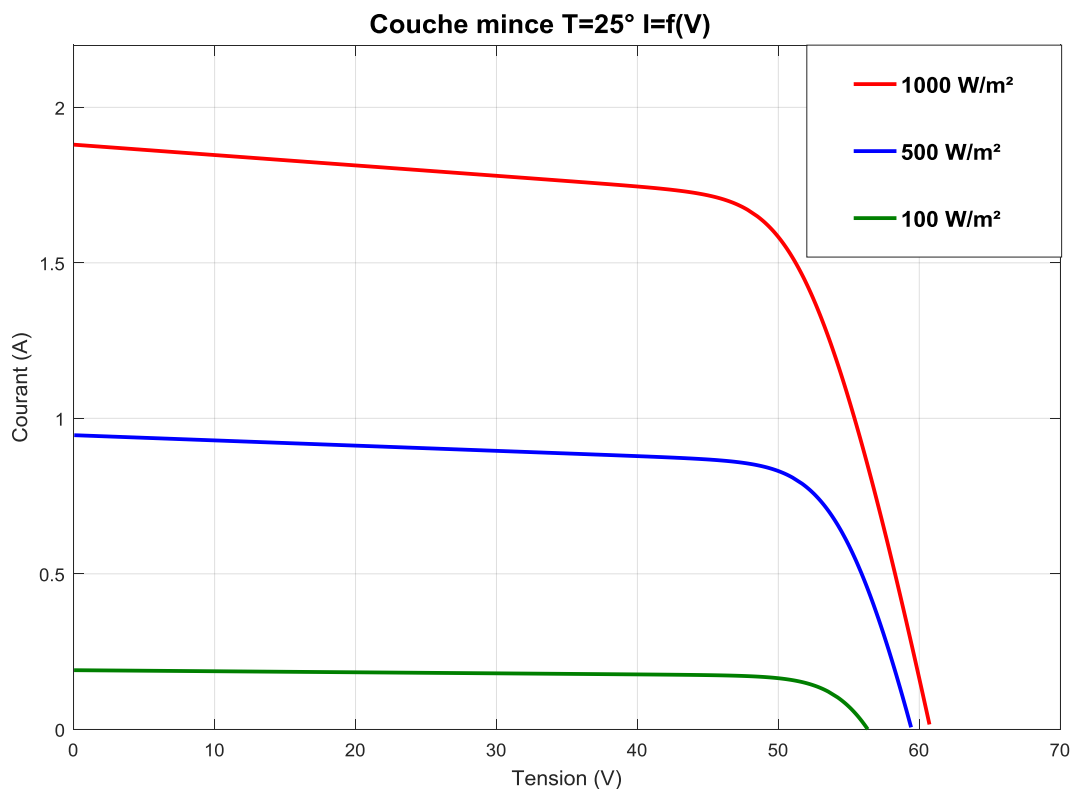


Figure 4-3 Courbe I=f(V) du module PV couche mince (CdTe) pour différentes irradiances

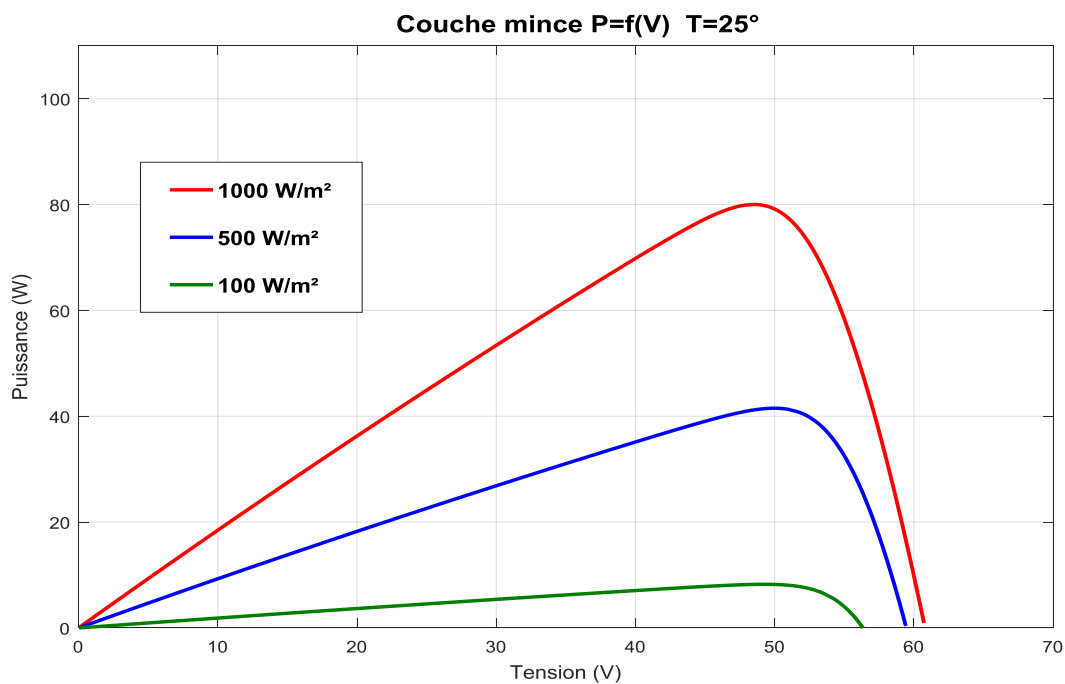


Figure 4-4 courbe I=f(V) du module PV en silicium couche mince (CdTe) pour différentes irradiances

4.5.2 Influence de la température sur les courbes

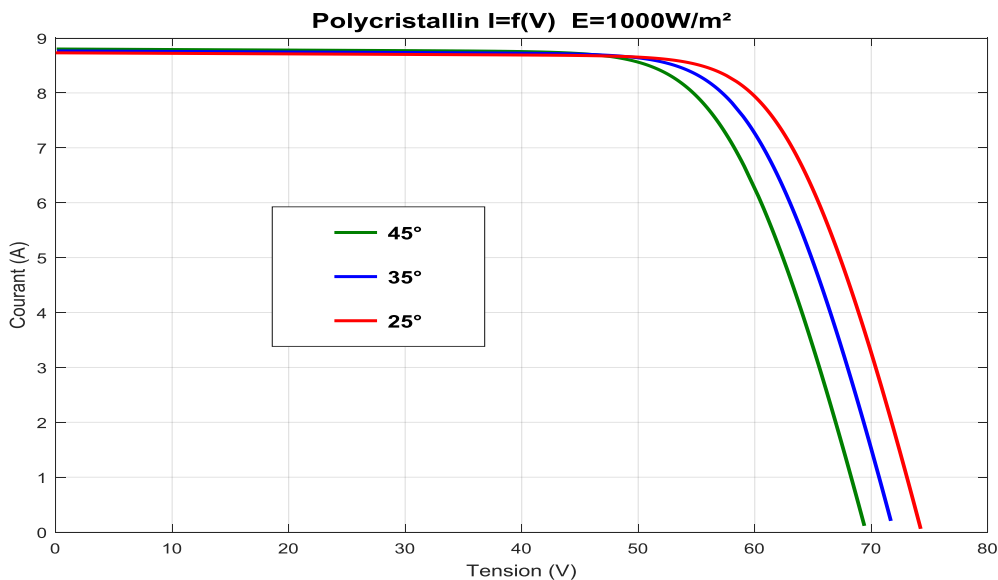


Figure 4-5 Courbe $I=f(V)$ du module PV en silicium polycristallin pour différentes températures

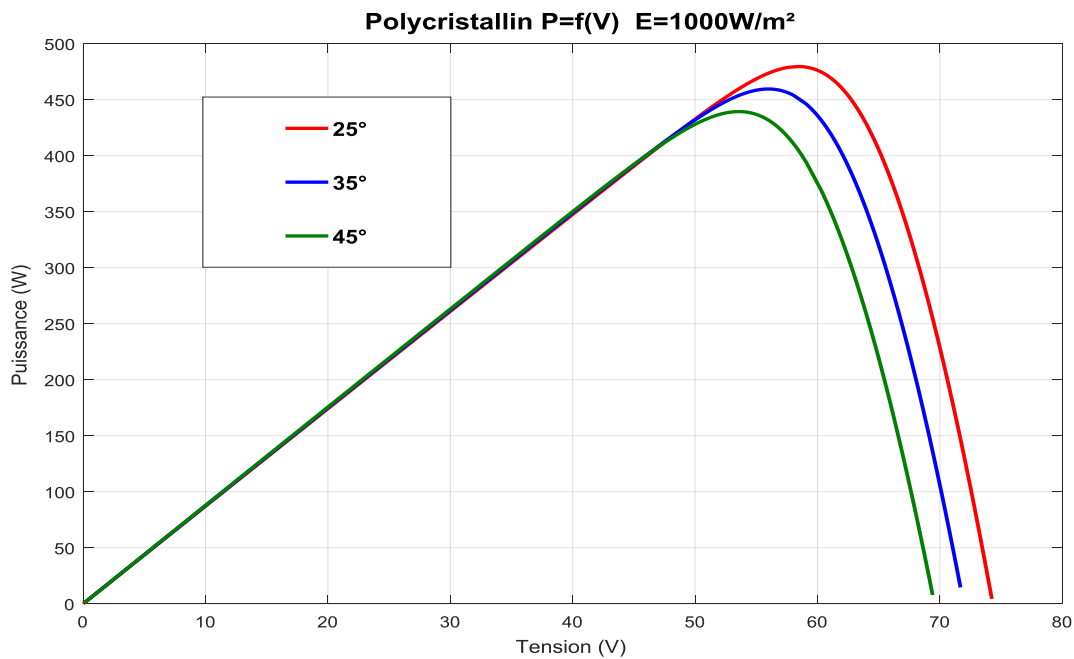


Figure 4-6 courbe $P=f(V)$ du module PV en silicium polycristallin pour différentes températures

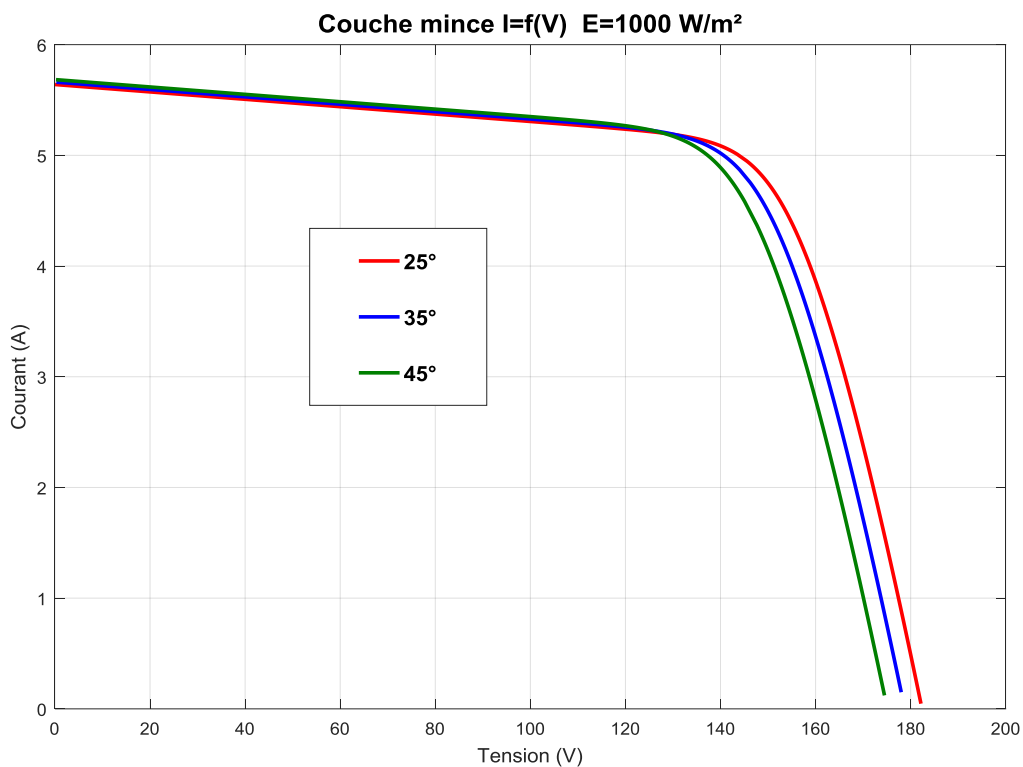


Figure 4-7 Courbe $I=f(V)$ du module PV couche mince (CdTe) pour différents Températures

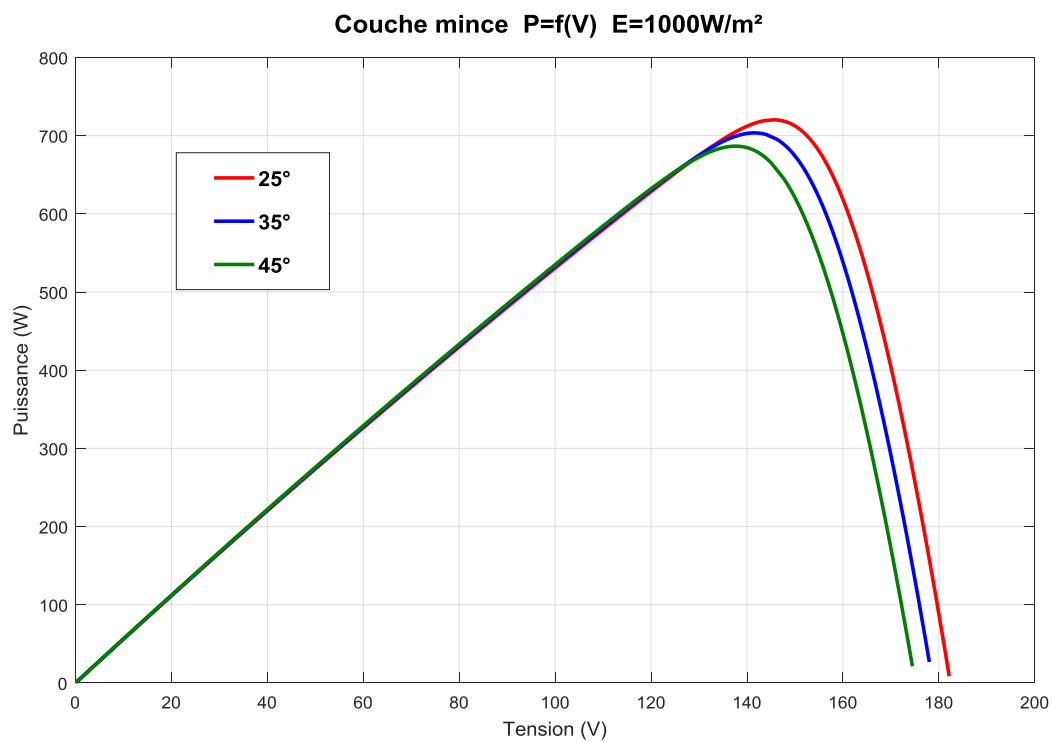


Figure 4-8 Courbe $P=f(V)$ du module PV couche mince (CdTe) pour différentes températures

4.5.3 Interprétation des résultats

Les figures 4-1 et 4-3 montrent l'influence de la variation de l'irradiation qui se traduit par un déplacement du point de puissance maximale (PWM) de la caractéristique $I=f(V)$ suivants l'axe des courants, ce qui veut dire que le courant de court-circuit I_{cc} est proportionnel à l'éclairement, par contre la tension du circuit ouvert V_{co} varie très peu en fonction de l'éclairement.

Les figures 4-2 et 4-4 montrent l'influence de l'irradiation sur la puissance délivrée par le PV, on constate plus l'irradiation augmente plus la puissance délivrée augmente.

D'après les figures 4-5 et 4-7, nous remarquons que la température a une influence négligeable sur le courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente, sur les figures 4-6 et 4-8 on constate que plus la température augmente plus la puissance diminue.

4.6 Dimensionnement du convertisseur dc-dc boost

Le convertisseur DC/DC transforme la tension du module en une tension DC différente pour alimenter la charge. Il permet le contrôle de la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé. Le convertisseur que nous avons choisi dans notre étude est le boost qui est contrôlé par une commande de MPPT. Ce convertisseur élève la tension jusqu'à 400 V.

4.6.1 Choix des composants du convertisseur :

Les composants utilisés dans ce convertisseur sont :

- un transistor de type MOSFET.
- une diode.
- une inductance.
- une conductance.

1^{er} cas : Convertisseur boost pour un panneau polycristallin (Atersa 240P)

Tension d'entrée : $V_e=58.42V$

Tension de sortie : $V_s=400V$

Puissance de système : $P=480W$

Fréquence : $f_s=5KHZ$

Ondulation du courant 5% alors $\Delta I_L = 0.05 \times I_{mpp} = 0.41\dots\dots(3-1)$

Ondulation de tension : 1% alors $\Delta V_s = 0.01 \times V_s = 4\dots\dots(3-2)$

Courant d'entrée : $I=I_{mpp}=8.21A$

Courant de sortie : $I_s = \frac{P}{V_s} = \frac{480}{400} = 1.2A\dots\dots(3-3)$

Valeur la charge résistive : $R = \frac{P}{I_s^2} = \frac{480}{1.2^2} = 333.33\Omega\dots\dots(3-4)$

Rapport cyclique α : $\alpha = 1 - \frac{V_e}{V_s} \dots\dots(3-5)$

$$\alpha = 0.85$$

Inductance L :

$$L \geq \frac{V_e \times \alpha}{f_s \times \Delta I_L} \dots\dots(3-6)$$

$$L \geq 0.024H$$

Conductance C :

$$C \geq \frac{I_s \times \alpha}{f_s \times \Delta V_s} \dots\dots(3-7)$$

$$C \geq 51\mu F$$

2^{ème} cas : Convertisseur boost accompagné avec panneau de type couche mince (FIRST SOLAR FS-380)

Tension d'entrée : $V_e=145.5V$

Tension de sortie : $V_s=400V$

Puissance de système : $P=480W$

Fréquence : $f_s=5KHZ$

Ondulation du courant 5% alors $\Delta I_L = 0.05 \times I_{mpp} = 0.08\dots\dots(3-8)$

Ondulation de tension : 1% alors $\Delta V_s = 0.01 \times V_s = 4 \dots \dots \dots (3-9)$

Courant d'entrée : $I = I_{mp} = 1.65A$

Courant de sortie : $I_s = \frac{P}{V_s} = \frac{480}{400} = 1.2A \dots \dots \dots (3-10)$

Valeur la charge résistive : $R = \frac{P}{I_s^2} = \frac{480}{1.2^2} = 333.33\Omega \dots \dots \dots (3-11)$

Rapport cyclique α : $\alpha = 1 - \frac{V_e}{V_s} \dots \dots \dots (3-12)$

$$\alpha = 0.64$$

Inductance L :

$$L \geq \frac{V_e \times \alpha}{f_s \times \Delta I_L} \dots \dots \dots (3-13)$$

$$L \geq 0.23H$$

Conductance C :

$$C \geq \frac{I_s \times \alpha}{f_s \times \Delta V_s} \dots \dots \dots (3-14)$$

$$C \geq 38\mu F$$

4.7 Les opérations appliquées pendant la simulation

Dans le cadre de cette étude, la simulation est réalisée à l'aide du logiciel Matlab/Simulink. La chaîne de conversion photovoltaïque a été entièrement modélisée et étudiée à l'aide du logiciel Matlab-Simulink. Elle est composée de blocs fonctionnels programmés et simulés qui sont :

‘GPV’, simulant le fonctionnement d’un module et/ou d’un panneau photovoltaïque,

‘Boost’, simulant le fonctionnement d’un convertisseur de type Boost,

‘Commande’, simulant la commande MPPT appliquée au convertisseur Boost,

La charge ajoutée avec le Boost est égale à 333 Ω .

‘Paramètres météo’, définissant les conditions d’ensoleillement et de température extérieure.

On applique pour chacune des méthodes, les opérations suivantes :

- Le cas stable 1000 W/m² et 25 °C.
- Le changement de l'ensoleillement [0(s) à 0.4(s)] 500W/m² ; [0.4(s) à 1(s)] 1000/m²
- Le changement de la température. [0s() à 0.4(s)] 50° ; [0.4(s) à 1(s)] 25°

Les méthodes proposées pour la simulation :

- La méthode de l'incrémentation de la conductance, 'Inc-cond'.
- La méthode de la perturbation et observation, 'P & O'.

Les technologies utilisées dans la simulation :

- Deux modules de type polycristallin chaque 'un délivré une puissance de 240W.
- 4 modules de type couche mince chaque 'un délivrée une puissance de 80W.

(On a utilisé ces deux GPV pour obtenir une puissance de 480W pour chaque GPV)

Pour tous simplifier, le tableau suivant montre les cas appliqués dans notre étude :

Tableau 4-3 Les cas appliquées dans notre étude

Cas n°	La méthode	Type de panneau	Convertisseur
1	P&O	Polycristallin	Boost
2	Inc-cond	Polycristallin	Boost
3	P&O	Couche mince	Boost
4	Inc-cond	Couche mince	Boost

4.8 Résultats de simulation

Dans cette partie, on présentera l'application des deux méthodes numériques pour le suivie du point de fonctionnement à puissance maximale de notre système photovoltaïque. Ce système comprend un générateur photovoltaïque, un convertisseur survolteur (boost), une commande MPPT ainsi qu'une charge. Les résultats de simulation à éclairement variable et température fixe et vice versa à un éclairement fixe et température variable vont nous permettre de visualiser l'apport de la commande MPPT conduisant à un choix automatique du rapport cyclique de l'hacheur permettant d'extraire le maximum de

puissance du générateur photovoltaïque. Les méthodes seront appliquées sur deux technologies différents.

La figure 4-9 montre le schéma-bloc utilisé dans notre simulation à l'aide du logiciel Matlab/simulink.

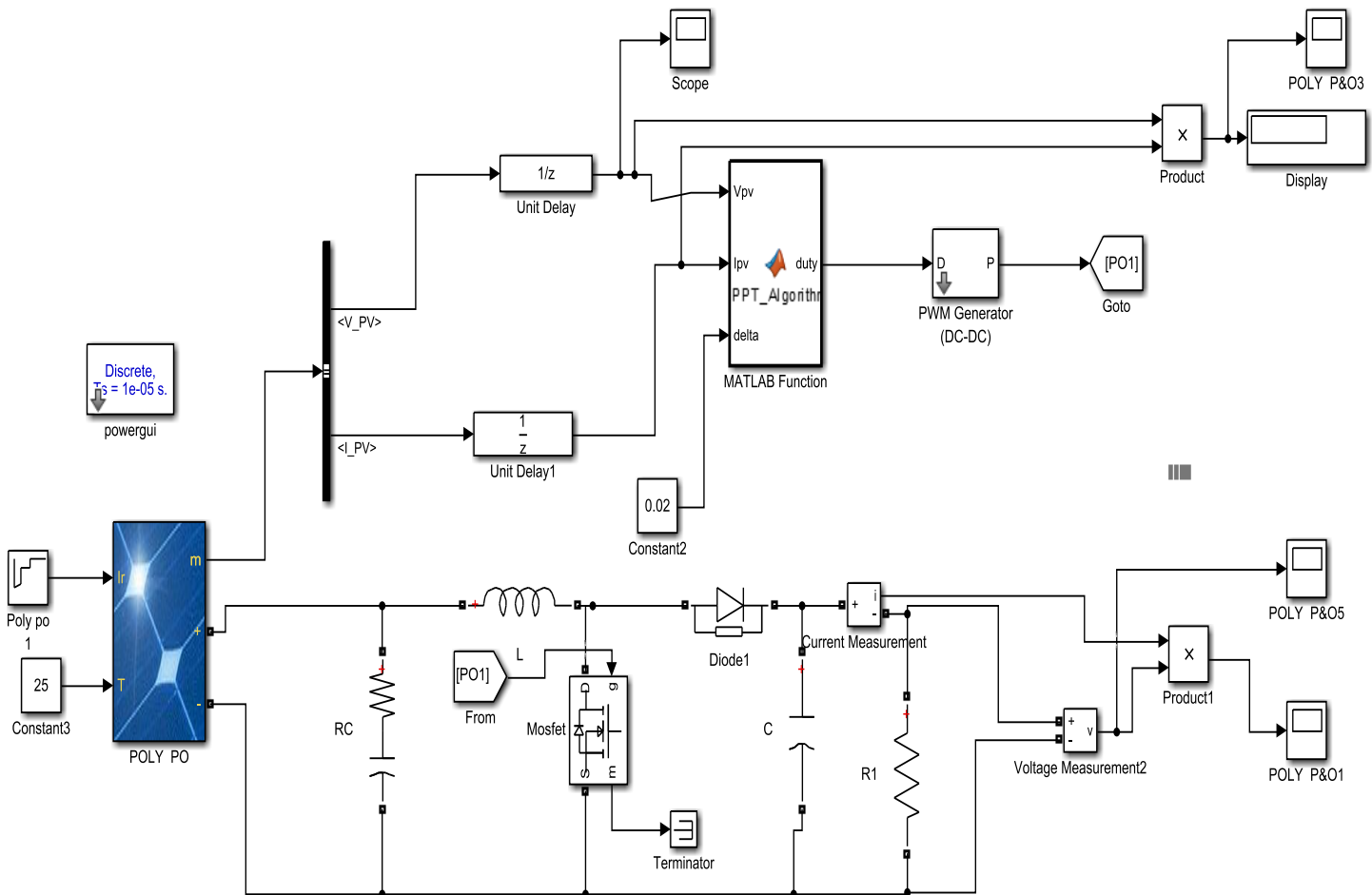


Figure 4-9 schéma bloc du système photovoltaïque.

4.8.1 Simulation du système PV avec des modules de type polycristallin

La première technologie à expérimenter sera la technologie de cellule du type polycristallin, théoriquement ce dernier a un rendement supérieur par rapport au couche mince.

4.8.1.1 Les résultats de simulation avec la technique perturbe et observe

Les figures (4-10) à (4-11) présentent l'évolution de la tension générées par le panneau PV et celle de la charge pour un éclairement $E=1000\text{W/m}^2$ et une température $T=25^\circ\text{C}$. On note la présence de faibles oscillations au niveau de la tension source et la tension de charge.

Les figures (4-12) à (4-13) présentent l'évolution de la puissance générées par le panneau PV et celle de la charge pour un éclairement de 1000W/m^2 et une température $T=25^\circ\text{C}$. On note une légère diminution de l'amplitude de la puissance générée au niveau de la source et la de charge. Comme remarque générale pour la tension et la puissance, malgré que nous ayons démarré la simulation avec des conditions initiales nulles, la commande MPPT perturbe et observe a permis de retrouver le point de fonctionnement nominal de notre charge correspondant au point à puissance maximal du panneau.

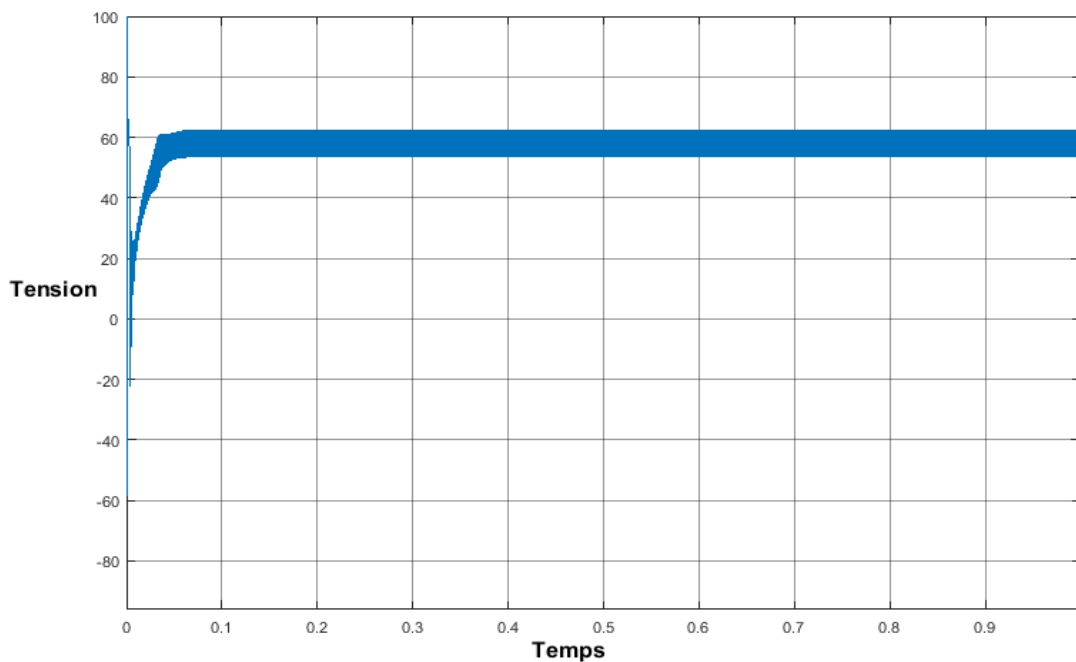


Figure 4-10 Tension générée par le panneau PV pour $E=1000\text{W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$

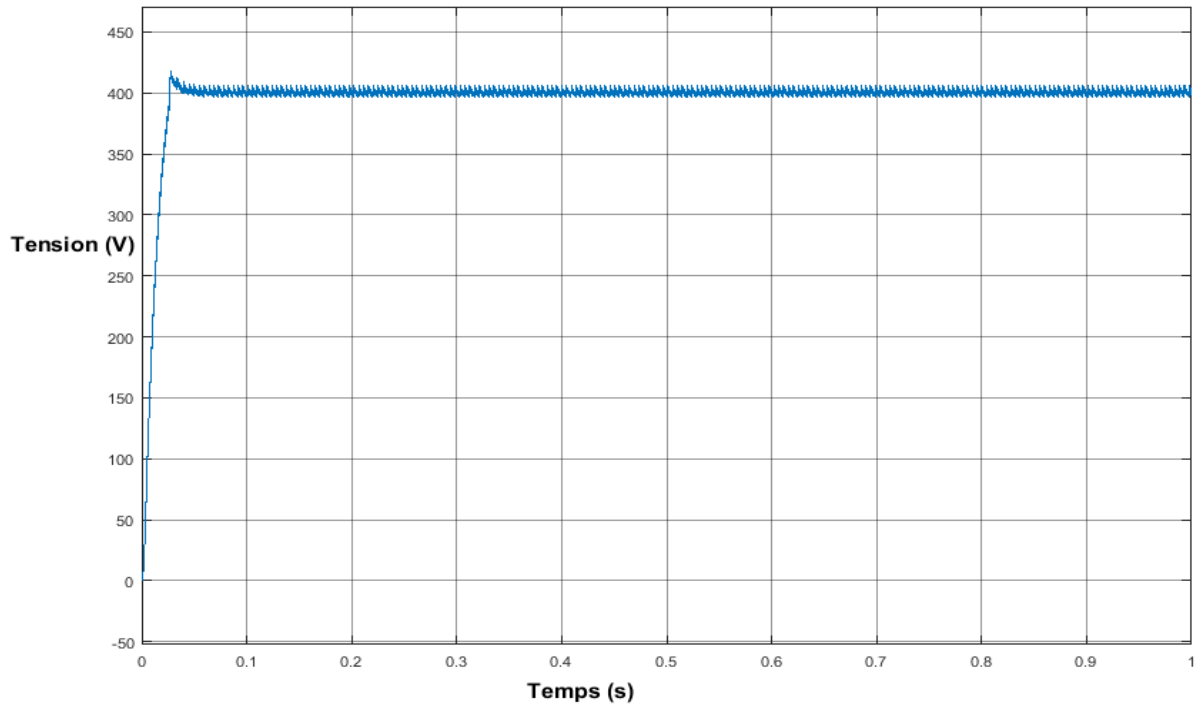


Figure 4-11 Tension de sortie aux bornes de la charge pour $E=1000\text{W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$

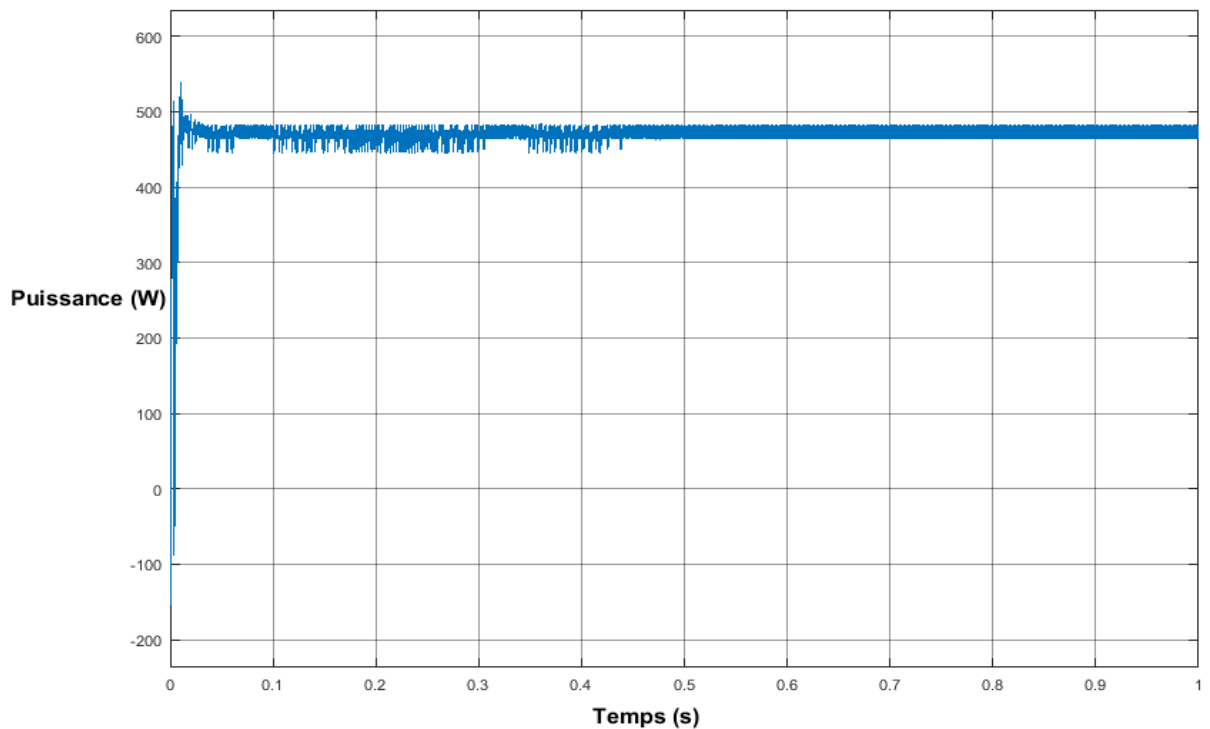


Figure 4-12 Puissance générée par le panneau PV pour $E=1000\text{W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$

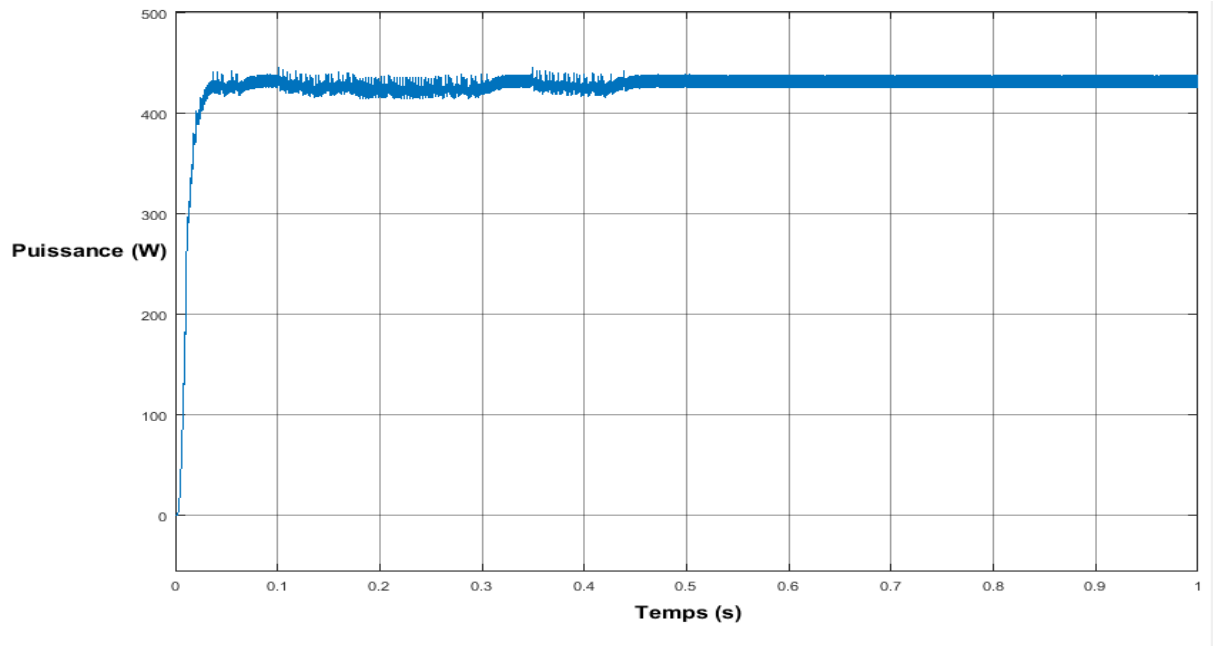


Figure 4-13 Puissance consommé par la charge pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$

Influence de l'éclairement et la température

Les résultats de la simulation avec le modèle de type polycristallin subissant des variations de l'éclairement et la température sont présentés par les figures (4-14) à (4-21), nous avons visualisé la puissance et tension d'entrée du convertisseur ainsi la puissance et tension de sortie du convertisseur (aux bornes de la charge).

Cas de variation de l'éclairement

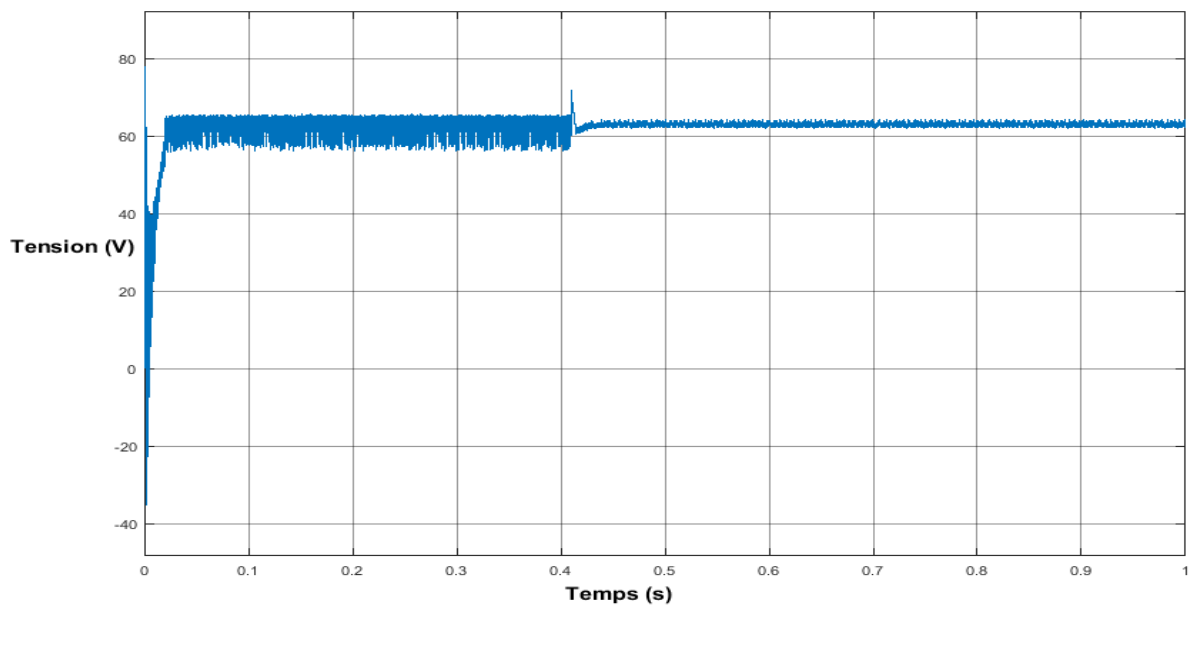


Figure 4-14 Tension générée par le panneau PV pour $T=25^{\circ}\text{C}$ et éclairement variable de $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$.

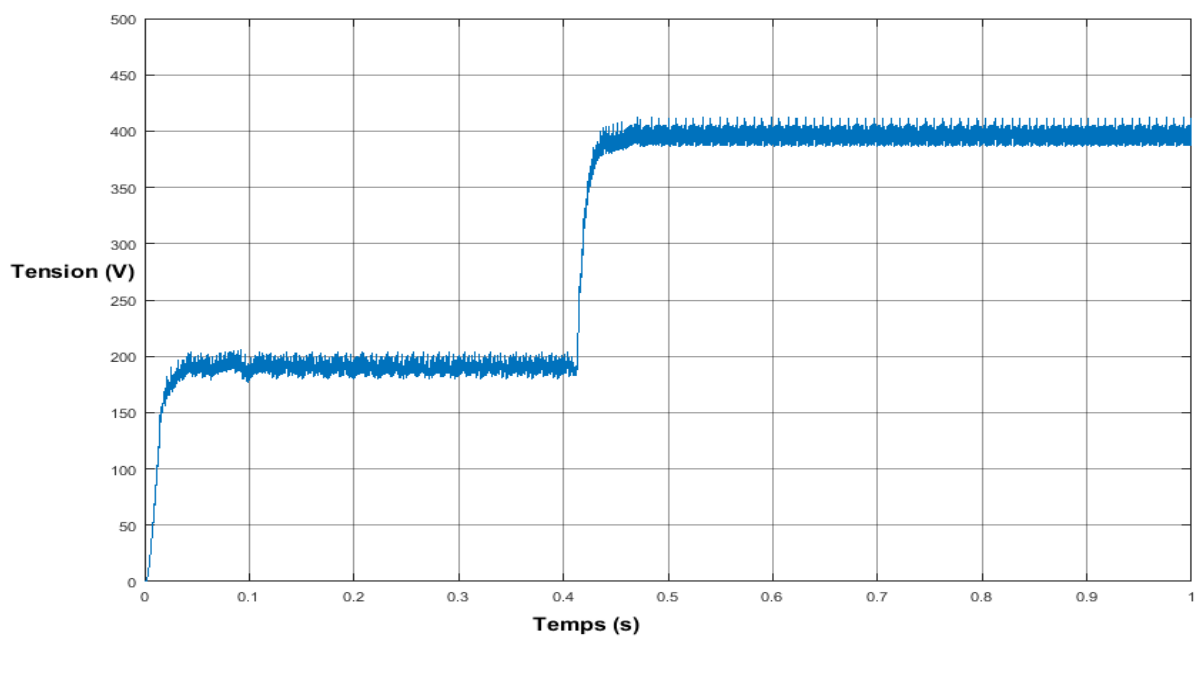


Figure 4-15 Tension aux bornes de la charge pour $T=25^{\circ}\text{C}$ et éclairement variable de $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$.

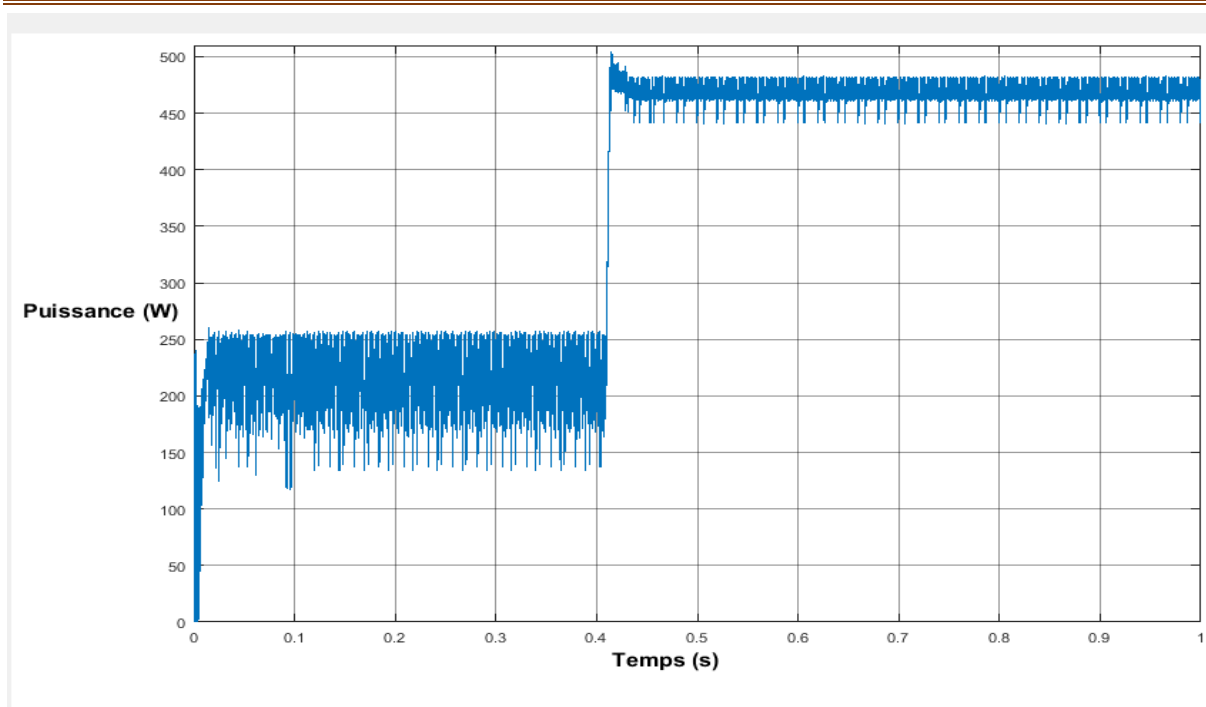


Figure 4-16 Puissance générée par le panneau PV pour $T=25^{\circ}\text{C}$ et éclairement variable $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$

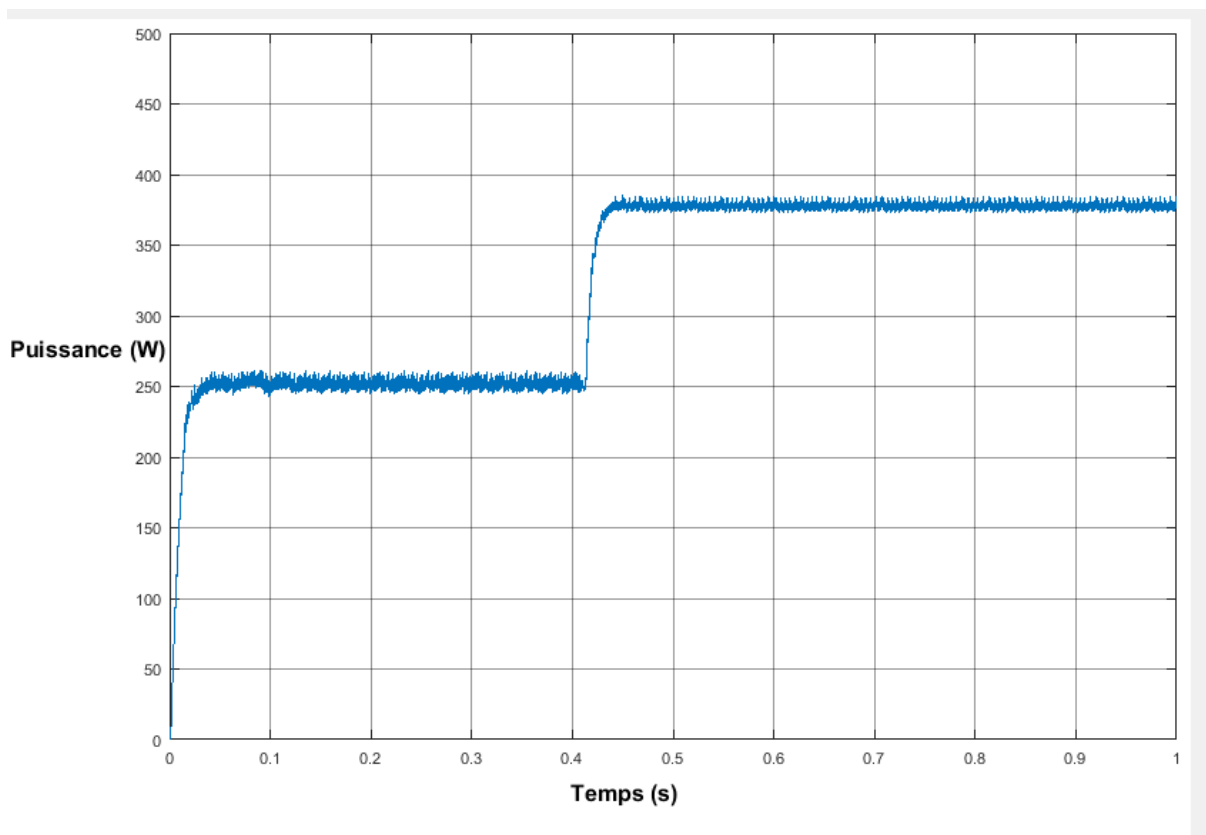


Figure 4-17 Puissance consommé par la charge pour $T=25^{\circ}\text{C}$ et éclairement variable de $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$

La figure (4-14) et La figure (4-15) présentent l'évolution de la tension générée par le panneau PV et celle consommée par la charge. On note que la tension augmente avec l'augmentation de l'éclairement de 500W/m^2 à 1000W/m^2 . La figure (4-16) et La figure (4-17) présentent l'évolution de la puissance générée par le panneau PV et celle aux bornes de la charge. On note que la puissance augmente avec l'augmentation de l'éclairement de 500W/m^2 à 1000W/m^2 .

Cas de la variation de la température

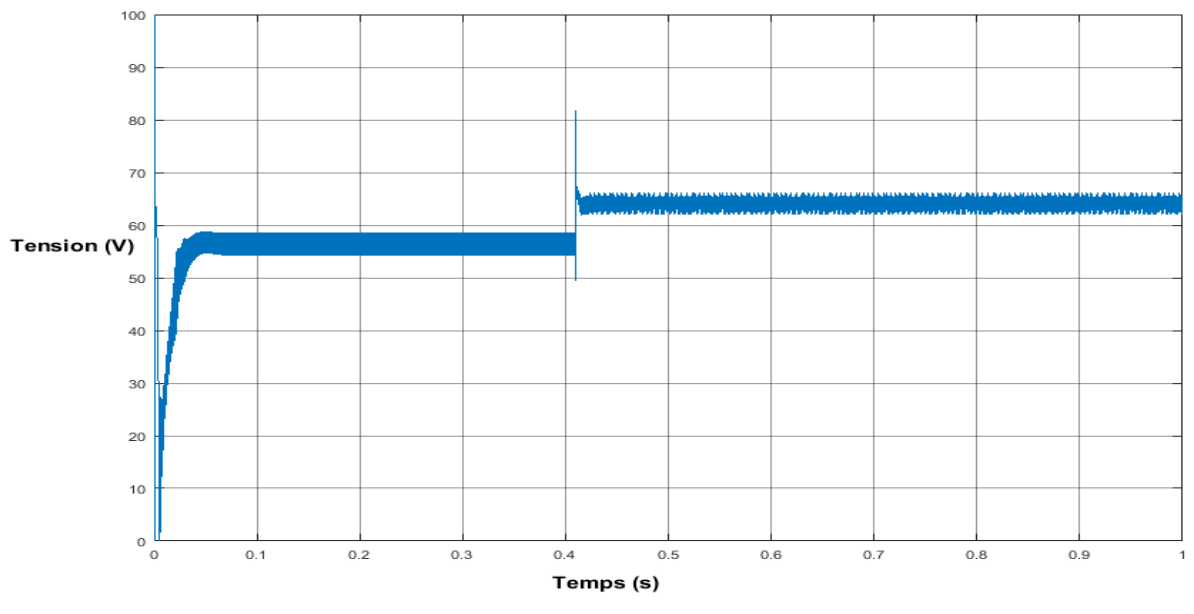


Figure 4-18 Tension générée par le panneau PV pour 1000W/m^2 et température variable de 50°C à 25°C .

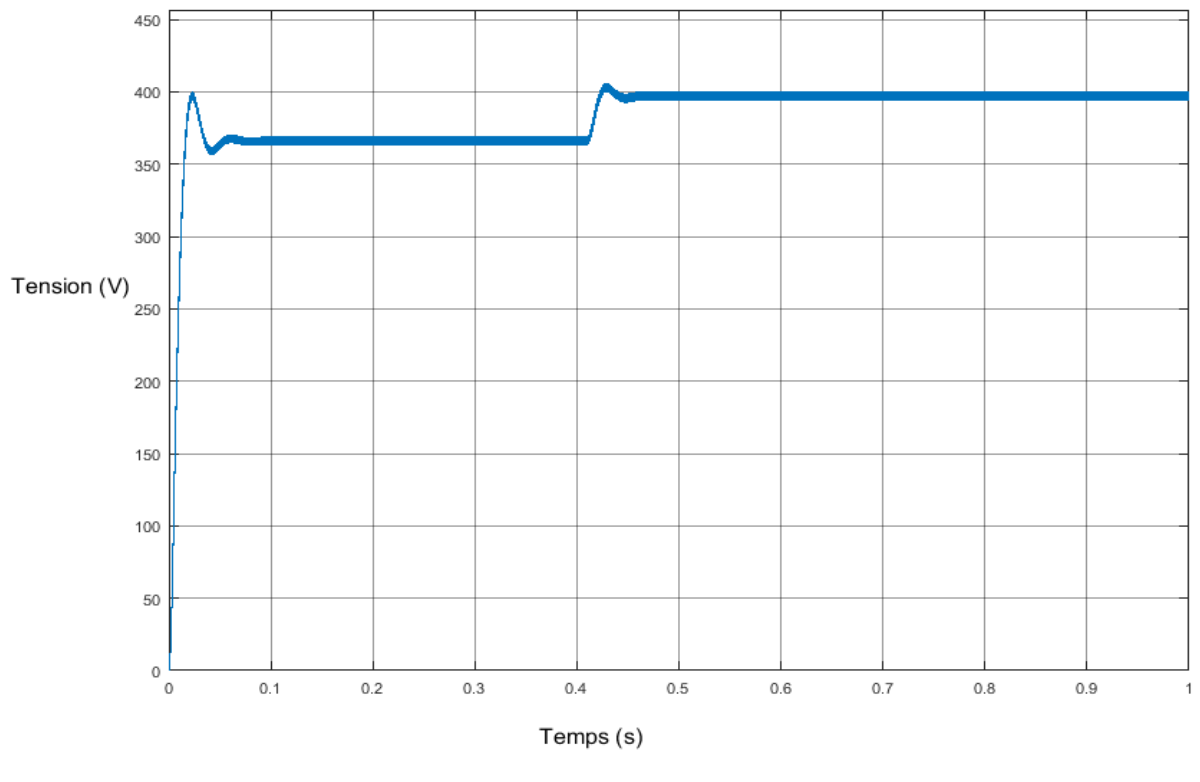


Figure 4-19 Tension aux bornes de la charge pour $1000\text{W}/\text{m}^2$ et température variable de 50°C à 25°C .

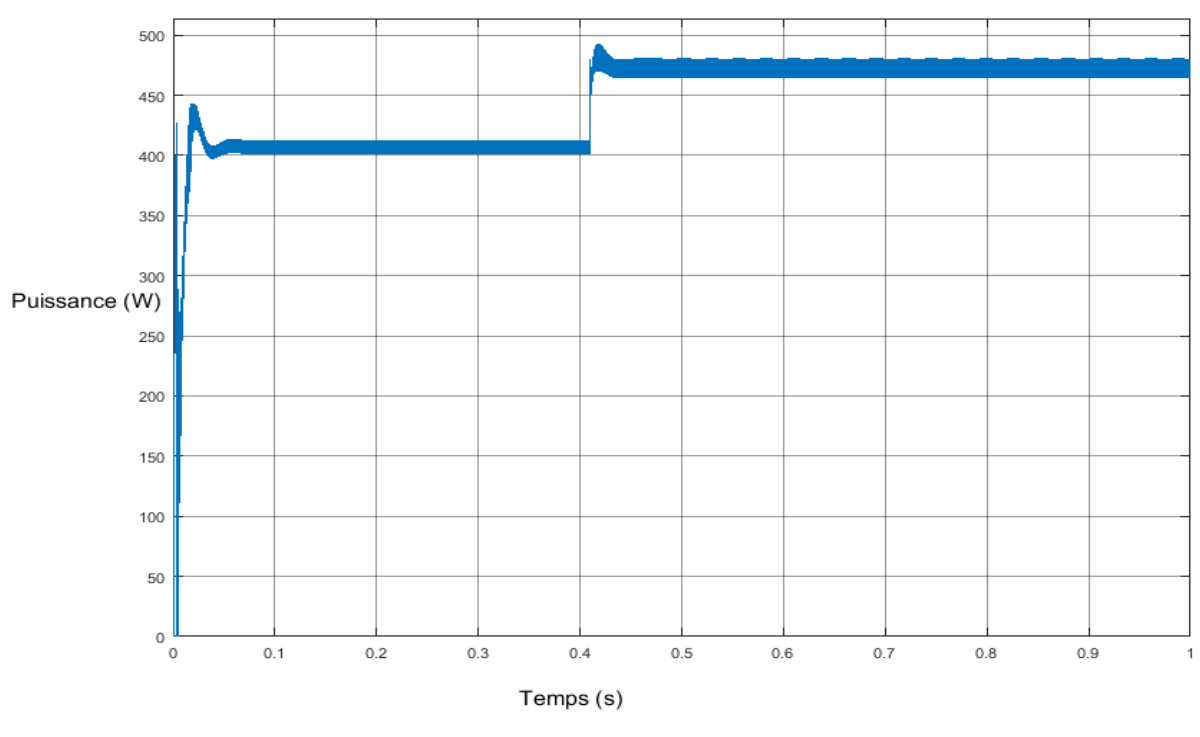


Figure 4-20 Puissance générée par le panneau PV pour $1000\text{W}/\text{m}^2$ et température variable de 50°C à 25°C .

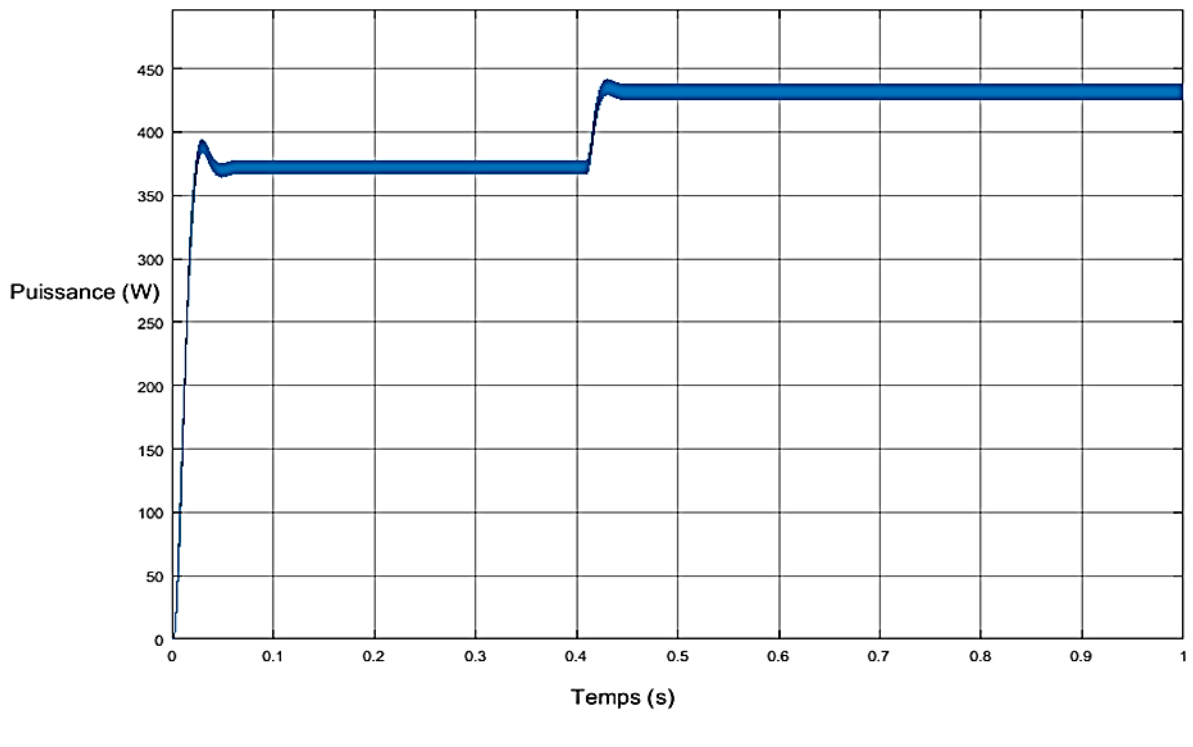


Figure 4-21 Puissance de sortie consommée par la charge $1000\text{W}/\text{m}^2$ et température variable de 50°C à 25°C .

La figure (4-18) et La figure (4-19) présentent l'évolution de la tension générée par le panneau PV et celle aux bornes de la charge. On note que la tension augmente avec diminution de la température (50°C jusqu'à 25°C)

La figure (4-20) et La figure (4-21) présentent l'évolution de la puissance générée par le panneau PV et celle consommée par la charge. On note que la puissance augmente avec diminution de température (50°C jusqu'à 25°C)

4.8.1.2 Les résultats de simulation avec la technique de conductance incrémentale

Les figures (4-22) à (4-23) présentent l'évolution de la tension générée par le panneau PV et celle aux bornes de la charge pour un éclairement $G=1000\text{W}/\text{m}^2$ et une température $T=25^\circ\text{C}$. On note la présence de faibles oscillations au niveau de la tension source et la tension de charge. Les figures (4-24) à (4-25) présentent l'évolution de la puissance générée par le panneau PV et

celle consommée par la charge pour un éclairement $G=1000\text{W/m}^2$ et une température $T=25^\circ\text{C}$. On note une légère diminution de l'amplitude de la puissance générée au niveau de la source et la de charge.

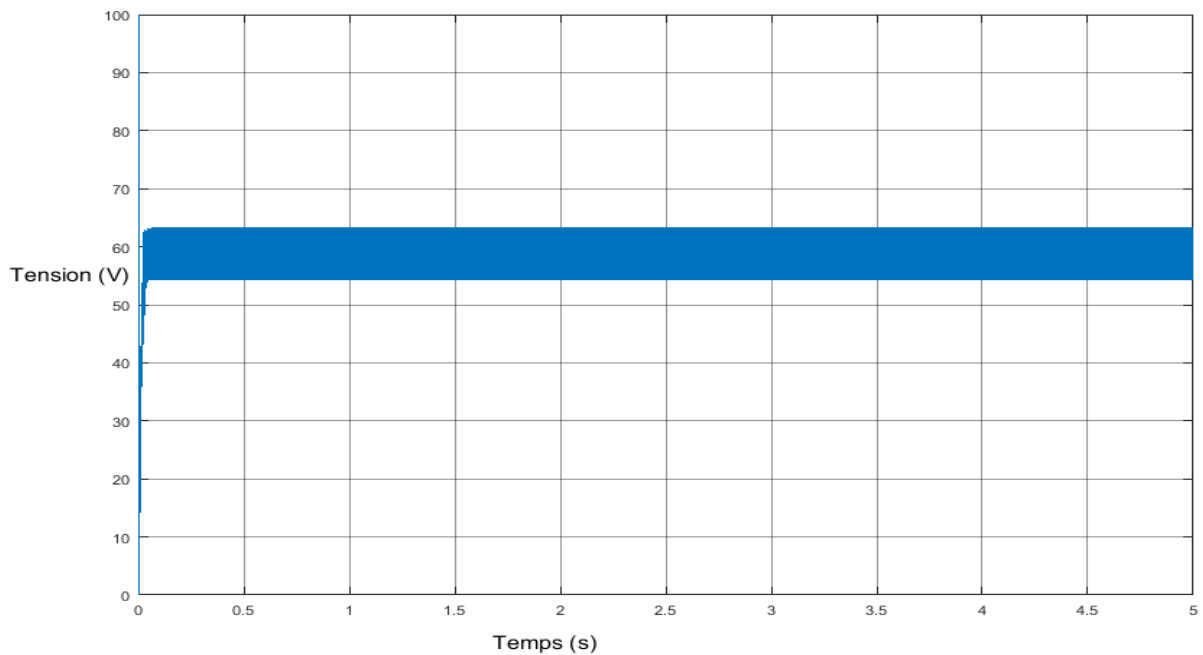


Figure 4-22 Tension générée par le panneau PV pour $E=1000\text{W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$

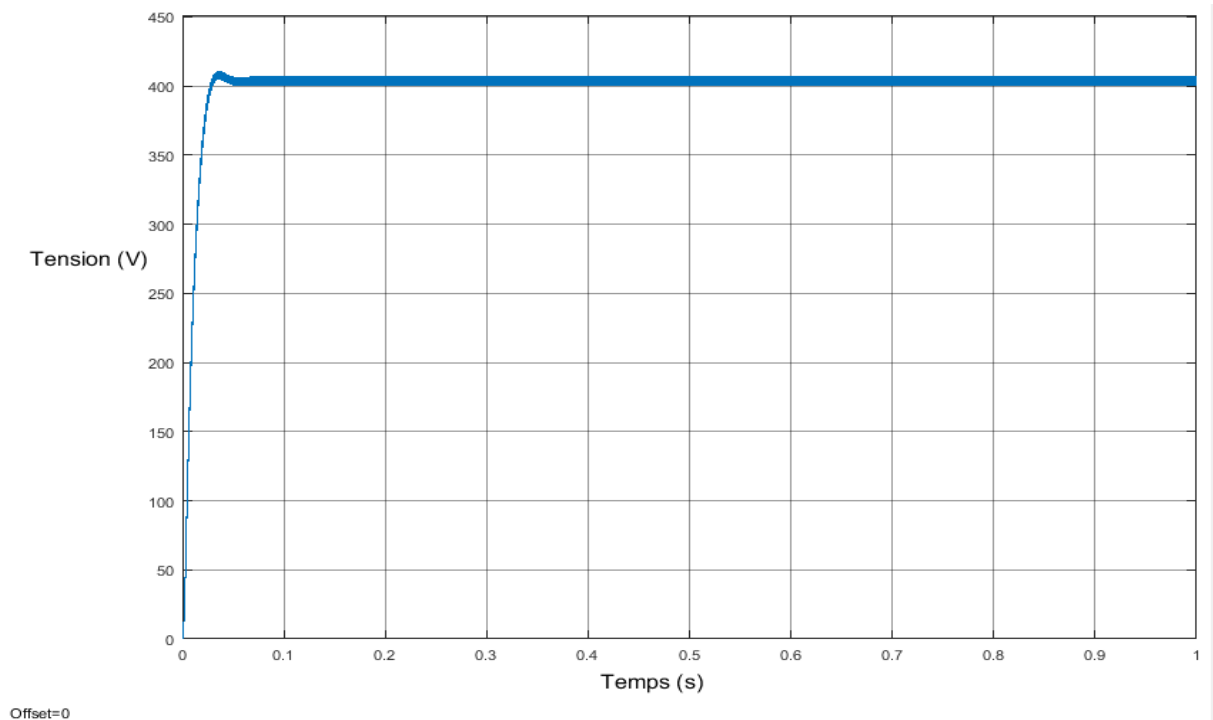


Figure 4-23 Tension aux bornes de la charge pour $E=1000\text{W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$

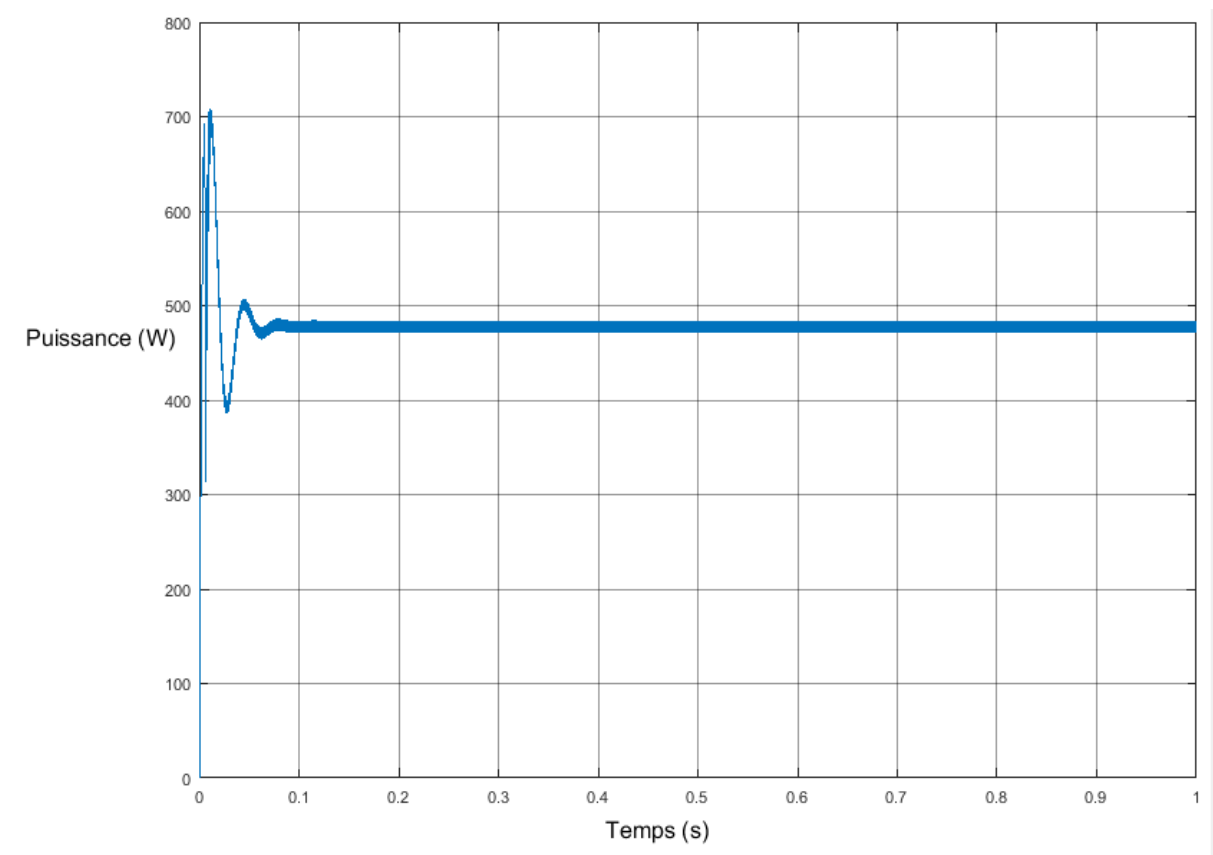


Figure 4-24 Puissance générée par le panneau PV pour $E=1000\text{W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$

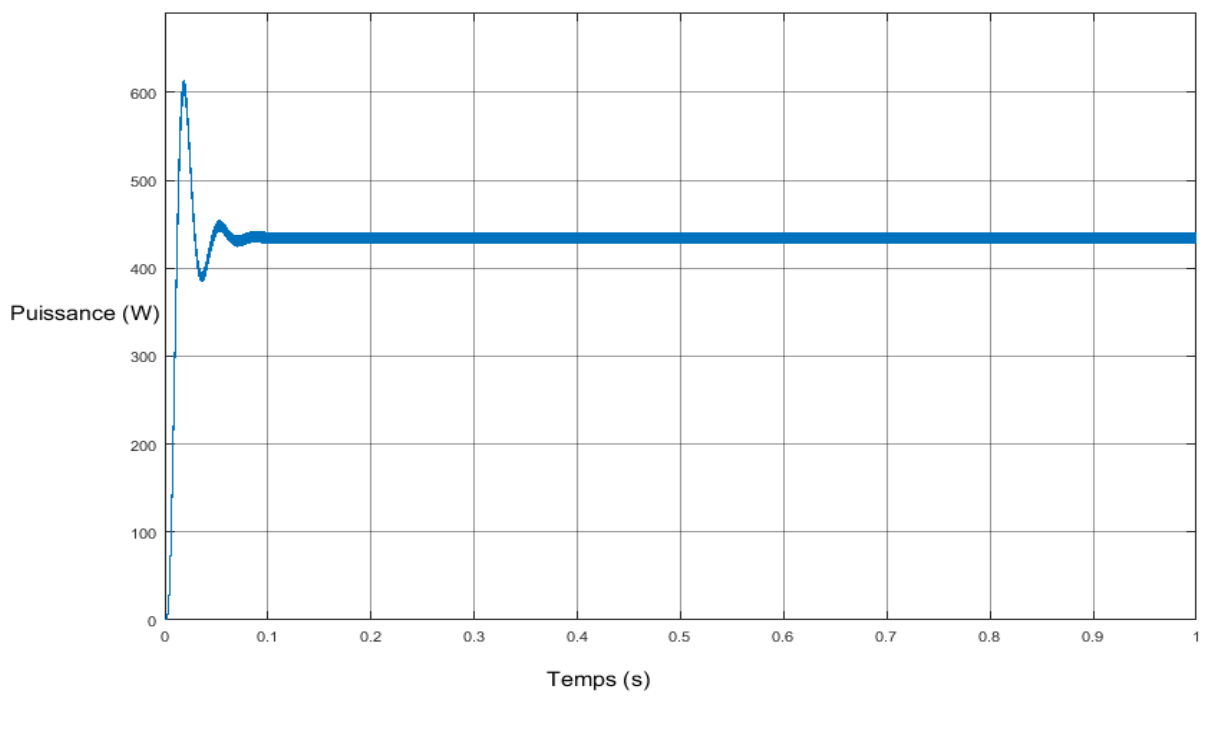


Figure 4-25 Puissance consommé par la charge $E=1000\text{W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$

Comme remarque générale par rapport à l'évolution de la tension et la puissance, malgré que nous ayons démarré la simulation avec des conditions initiales nulles, la commande MPPT incrémental de conductance a permis de retrouver le point de fonctionnement nominal de notre charge pour l'éclairement et température standard.

Cas de variation de l'éclairement

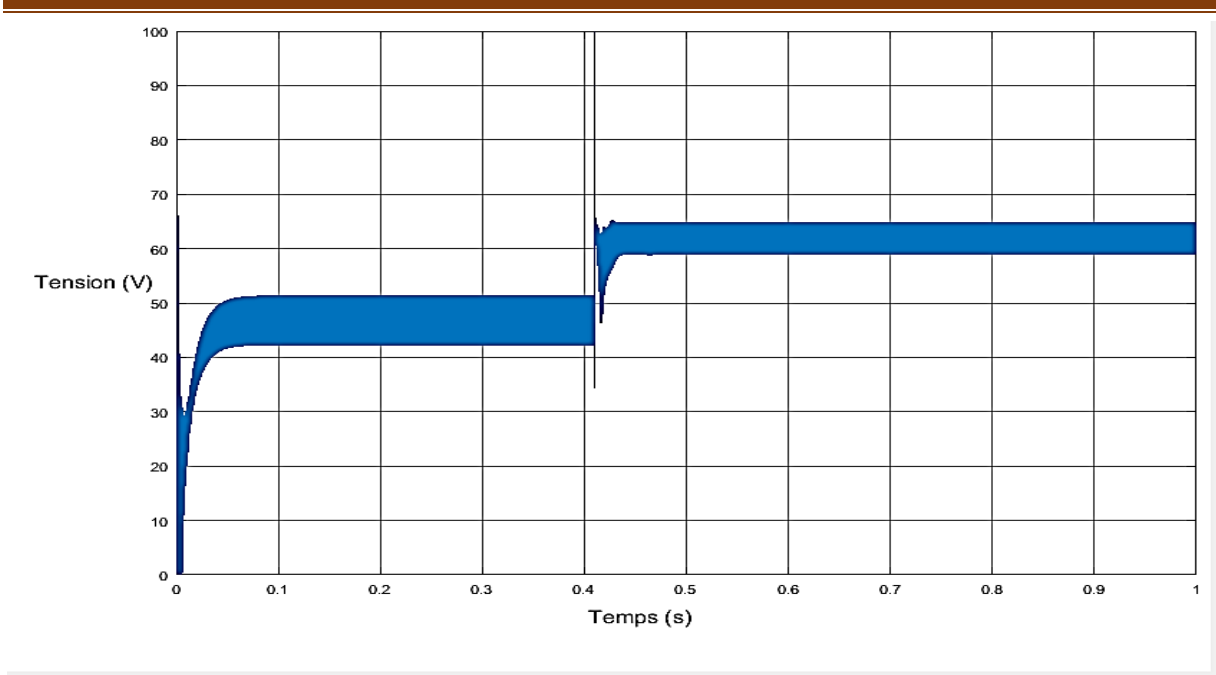


Figure 4-26 Tension générée par le panneau PV pour un éclairement variable 500 W/m² à 1000w/m²

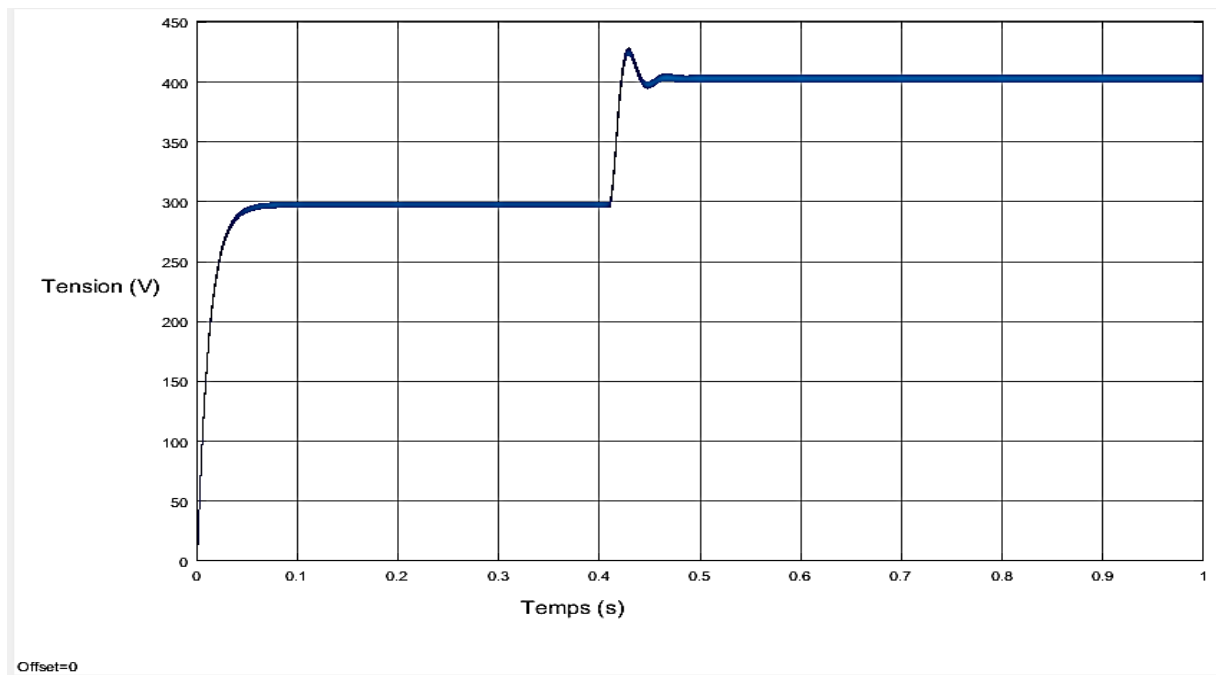


Figure 4-27 Tension aux bornes de la charge un éclairement variable 500W/m² à 1000w/m²

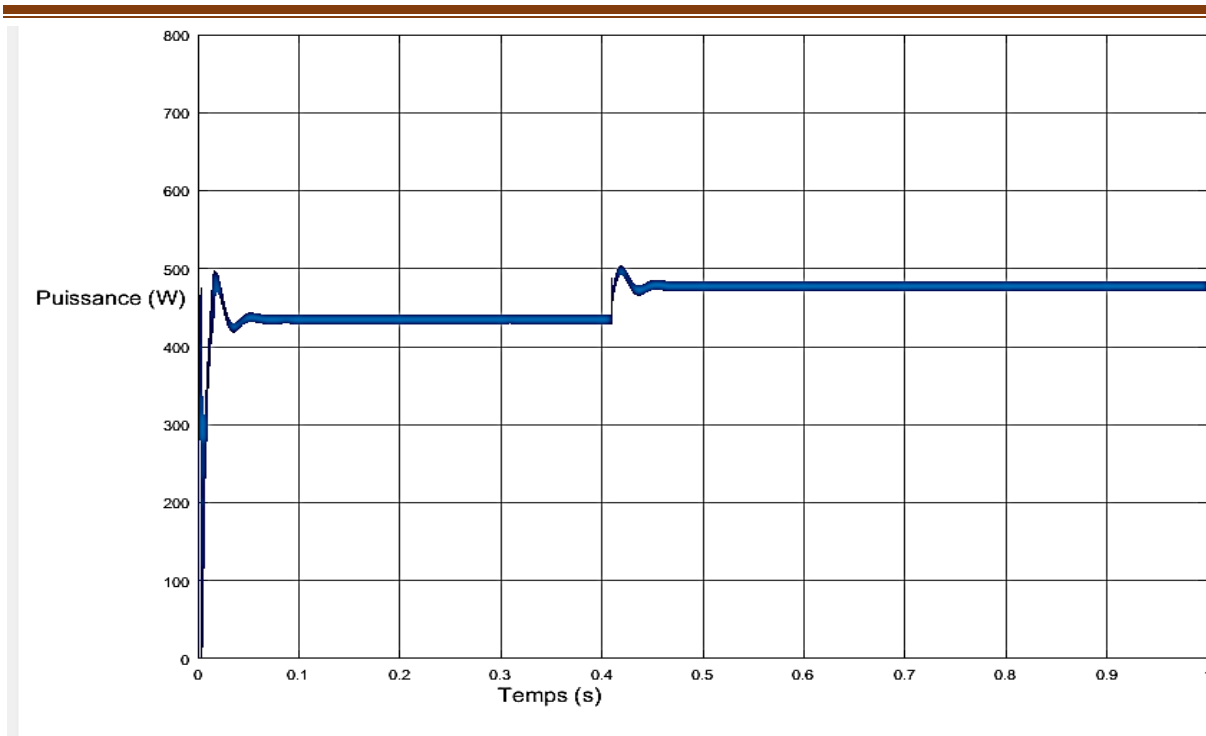


Figure 4-28 Puissance générée par le panneau PV pour un éclairement variable $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$

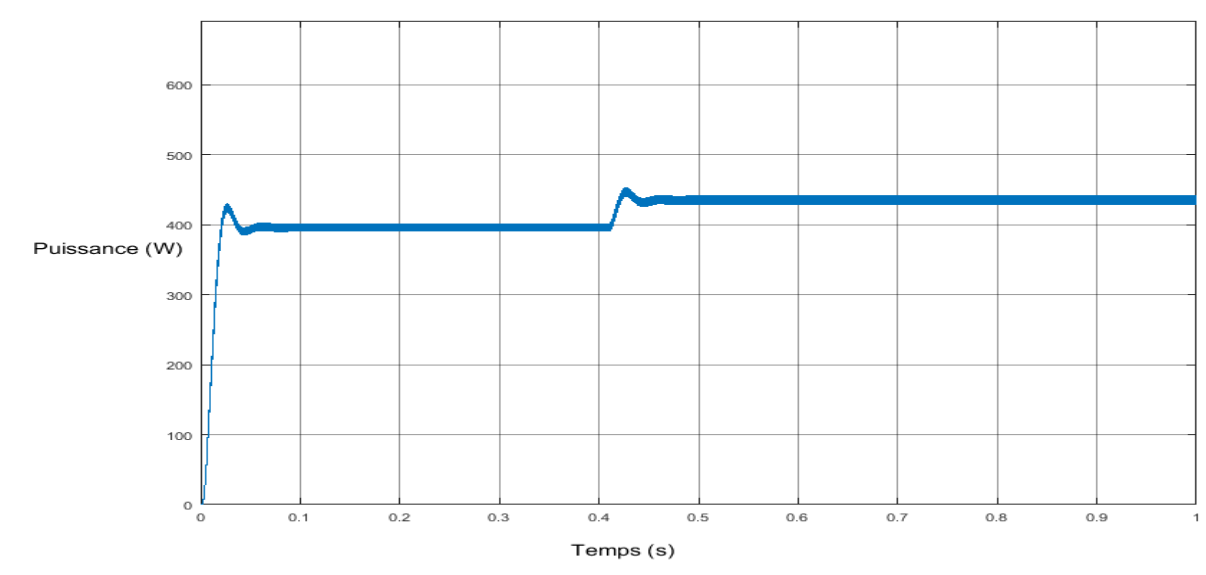


Figure 4-29 Puissance consommé par la charge pour un éclairement variable $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{w}/\text{m}^2$

La figure (4.26) et La figure (4.27) présentent l'évolution de la tension générée par le panneau PV et celle consommée par la charge. On note que la tension augmente avec l'augmentation de l'éclairement de $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$. La figure (4.28) et La figure (4.29) présentent

l'évolution de la puissance générée par le panneau PV et celle aux bornes de la charge. On note que la puissance augmente avec l'augmentation de l'éclairement de 500W/m^2 à 1000W/m^2 .

Cas de variation de température :

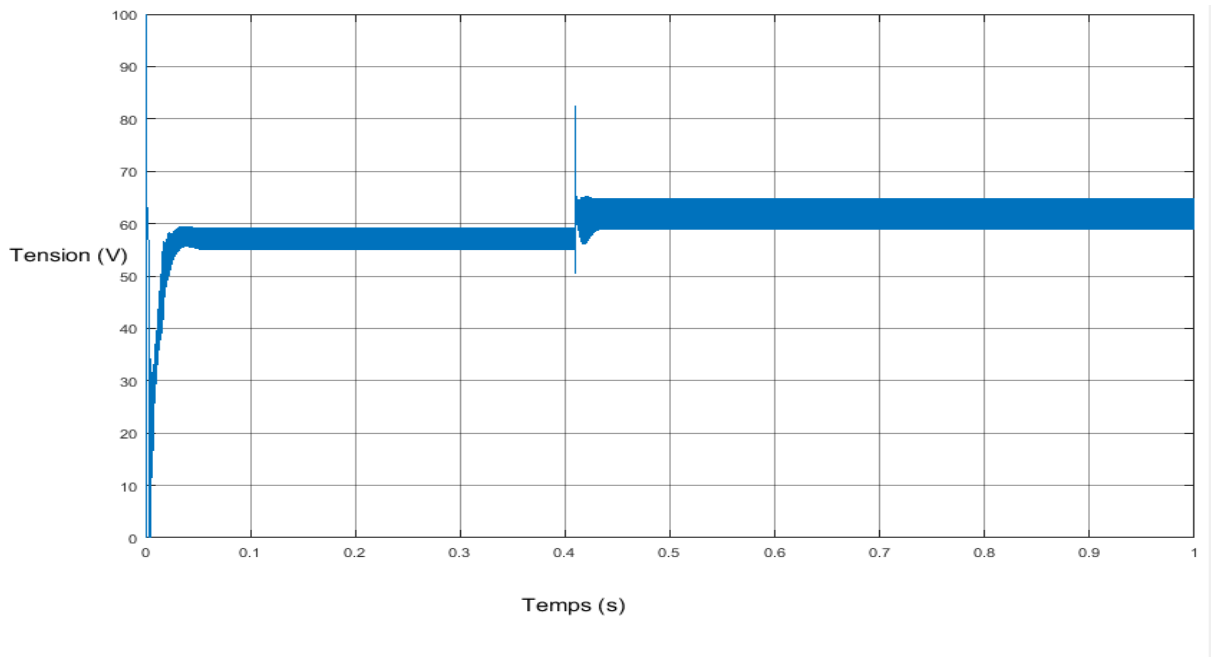


Figure 4-30 Tension générée par le panneau PV avec une variation de température 50°C à 25°C

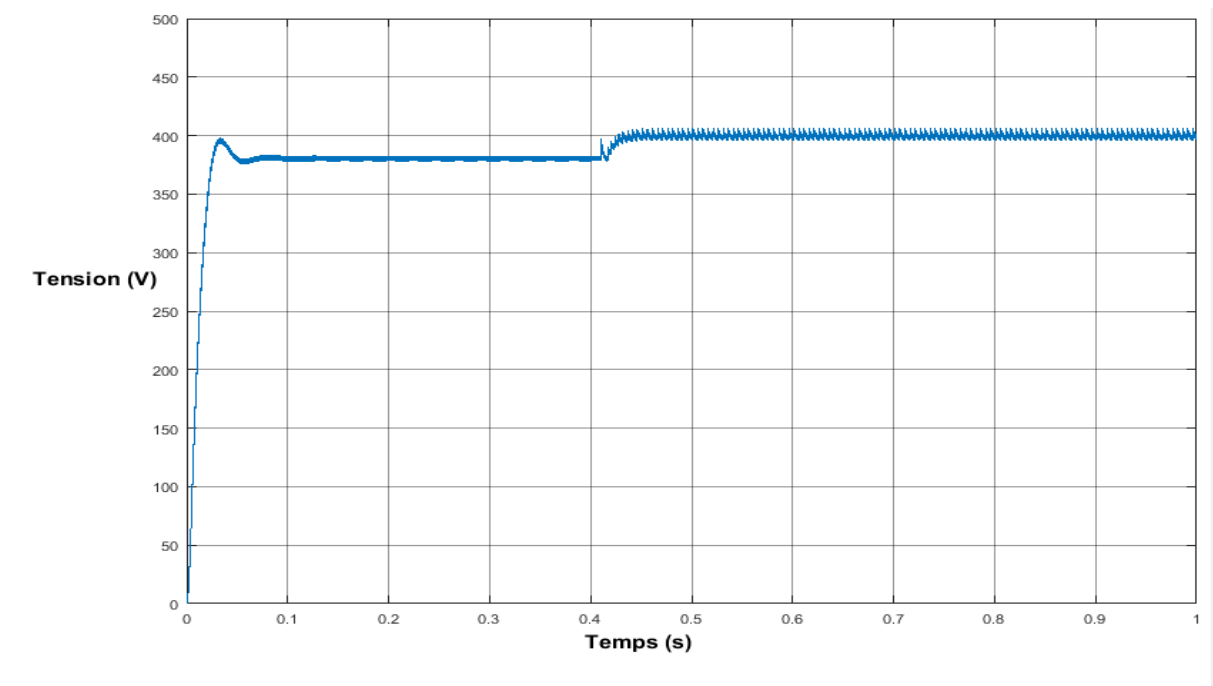


Figure 4-31 Tension aux bornes de la charge avec une variation de température 50°C à 25°C

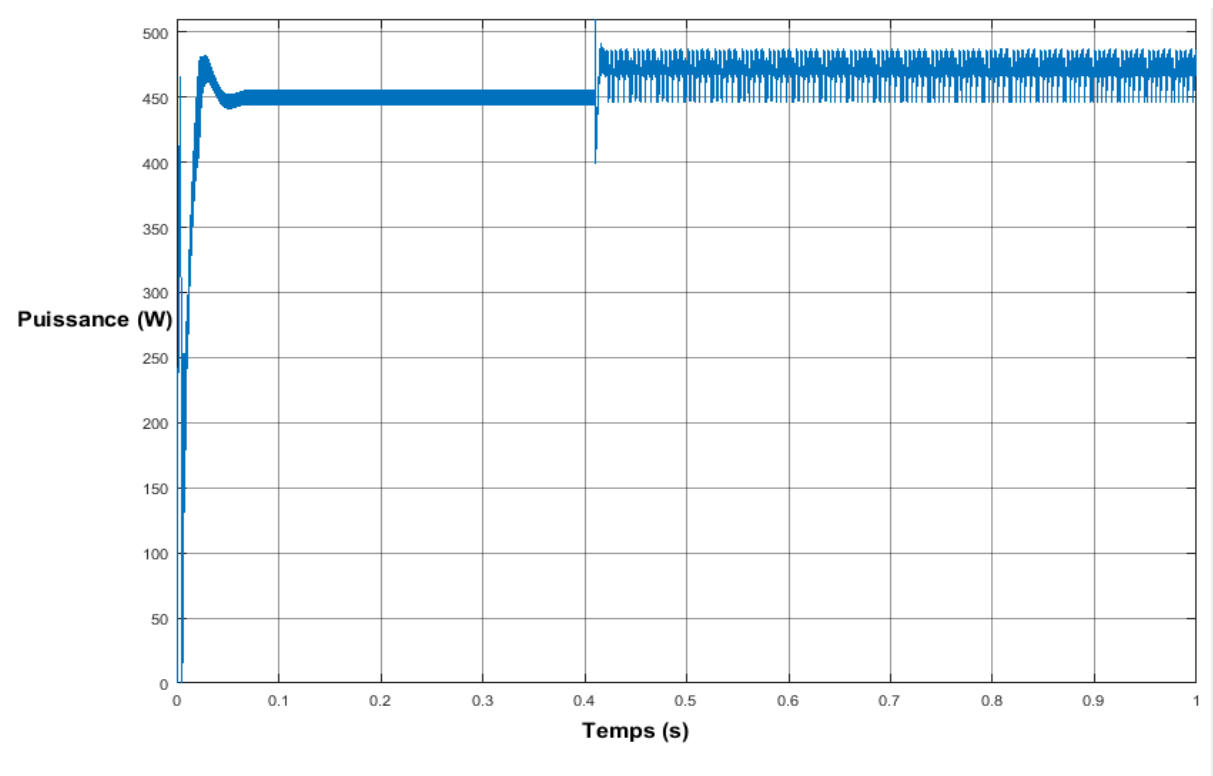


Figure 4-32 Puissance générée de panneau PV avec une variation de température 50°C à 25°C

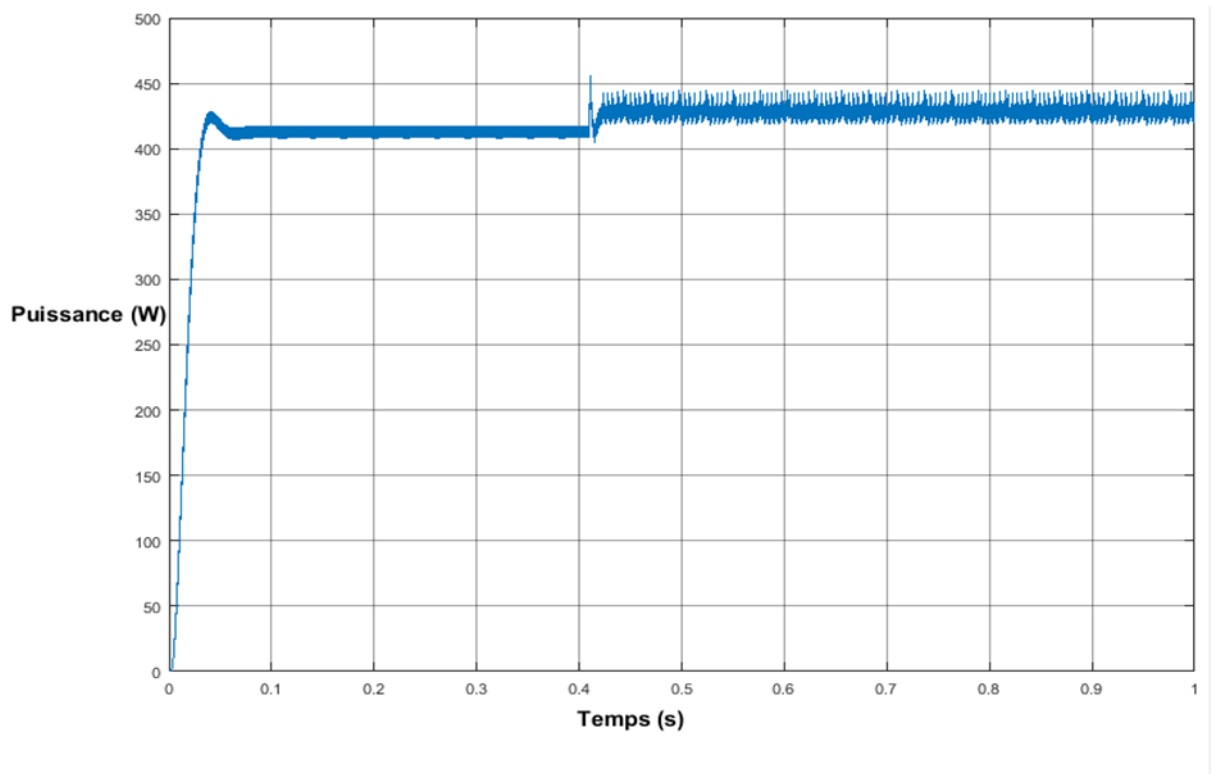


Figure 4-33 Puissance consommé par la charge pour une variation de température 50°C à 25°C

La figure (4-30) et La figure (4-31) présentent l'évolution de la tension générée par le panneau PV et celle aux bornes de la charge. On note que la tension augmente avec la diminution de la température (50°C jusqu'à 25°C).

La figure (4-32) et La figure (4-33) présentent l'évolution de la puissance générée par le panneau PV et celle consommée par la charge. On note que la puissance augmente avec la diminution de la température (50°C jusqu'à 25°C).

La comparaison des résultats obtenus avec les deux commandes MPPT nous a permis de conclure que le GPV du type polycristallin avec la commande de conductance incrémentale converge plus rapidement et présente moins d'oscillations par rapport à la commande perturbée et observe.

4.8.2 Simulation du système PV avec des modules de type couche mince

Dans la partie suivante on va appliquer les mêmes opérations précédentes sur un GPV du type couche mince. Théoriquement ce type a moindre puissance par rapport au polycristallin

4.8.2.1 Les résultats de simulation avec la technique perturbe et observe

Les figures (4-34) et (4-35) présentent l'évolution de la tension générées par le panneau PV et celle de la charge pour un éclairement $G=1000\text{W/m}^2$ et une température $T=25^\circ\text{C}$. On note la présence de faibles oscillations au niveau de la tension source et la tension de charge.

Les figures (4-36) à (4-37) présentent l'évolution de la puissance générées par le panneau PV et celle consommée par la charge pour un éclairement $G=1000\text{W/m}^2$ et une température $T=25^\circ\text{C}$. On note une légère diminution de l'amplitude de la puissance générée au niveau de la source et la de charge.

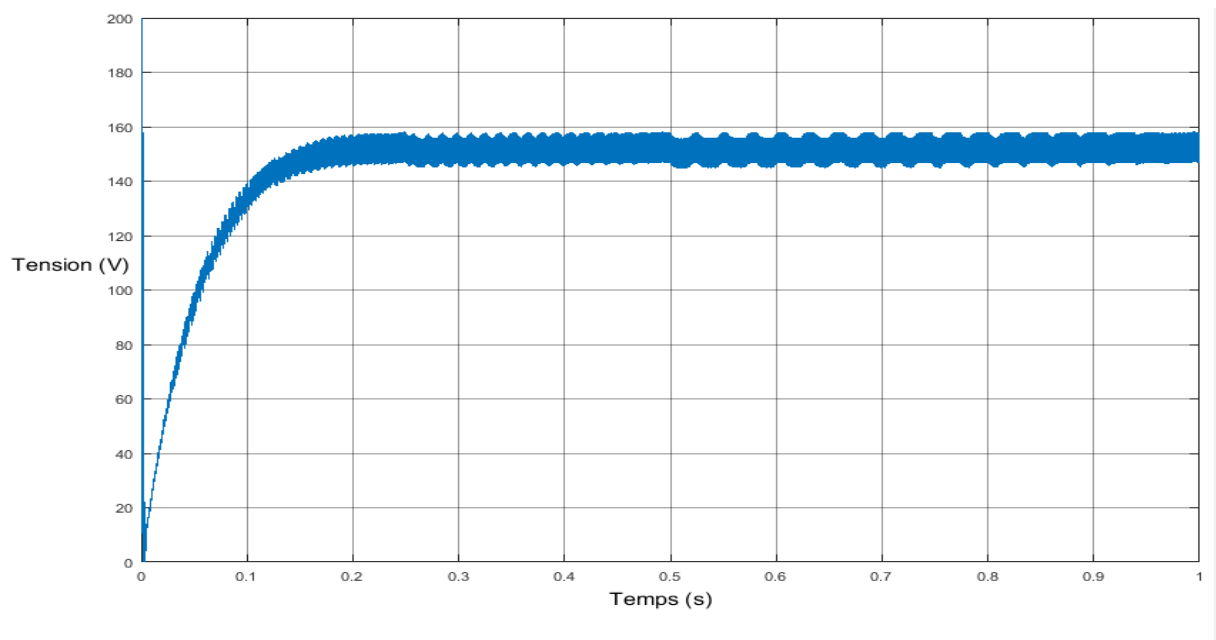


Figure 4-34 Tension générée par le panneau PV pour $E=1000\text{W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$

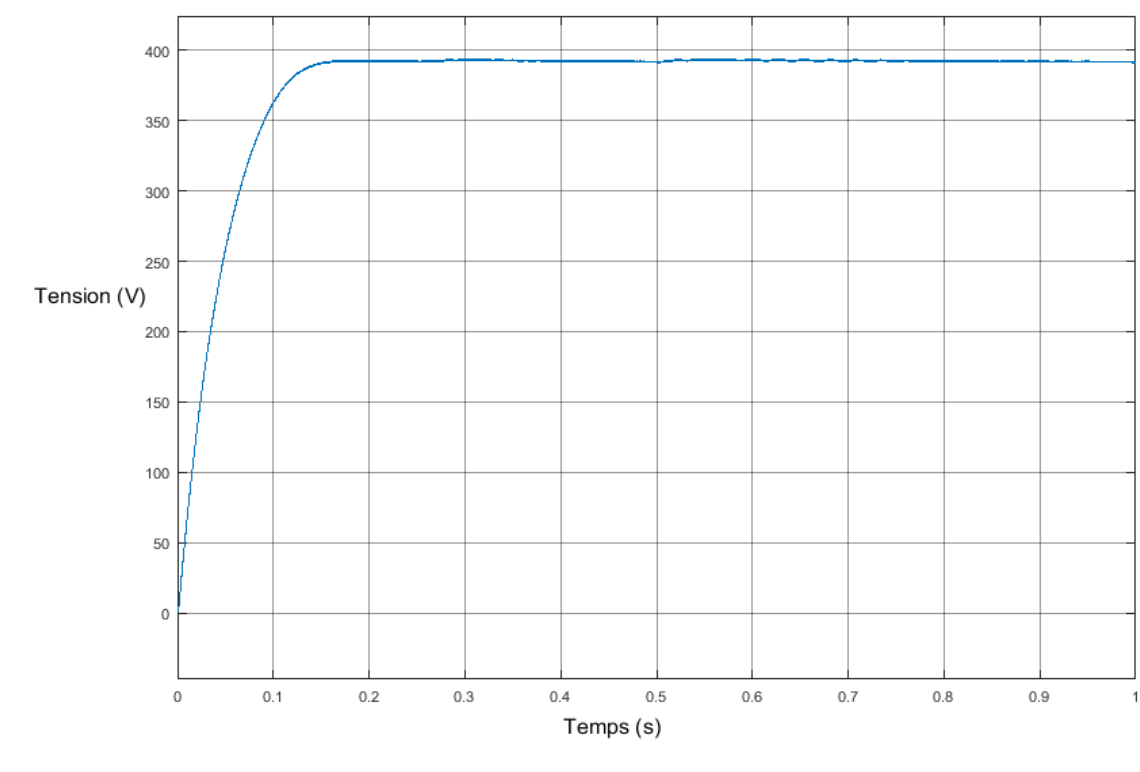


Figure 4-35 Tension aux bornes de la charge pour $E=1000W/m^2$ et $T=25^{\circ}C$

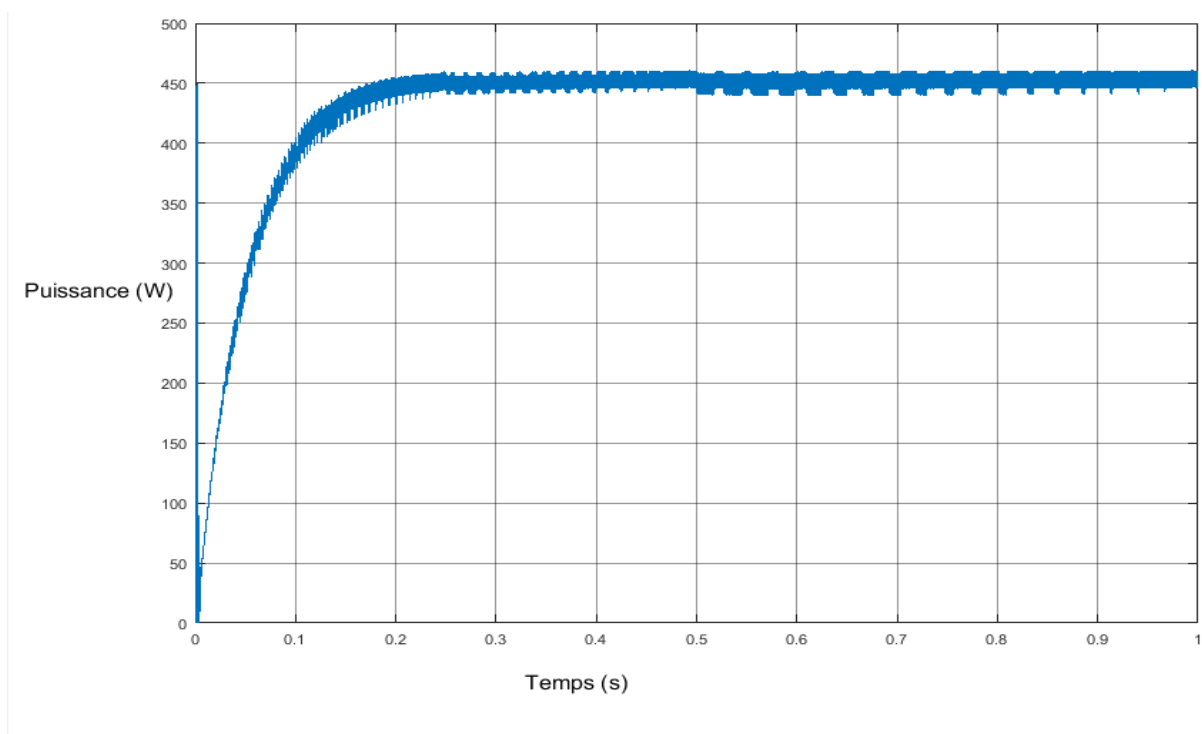


Figure 4-36 Puissance générée par le panneau PV pour $E=1000W/m^2$ et $T=25^{\circ}C$

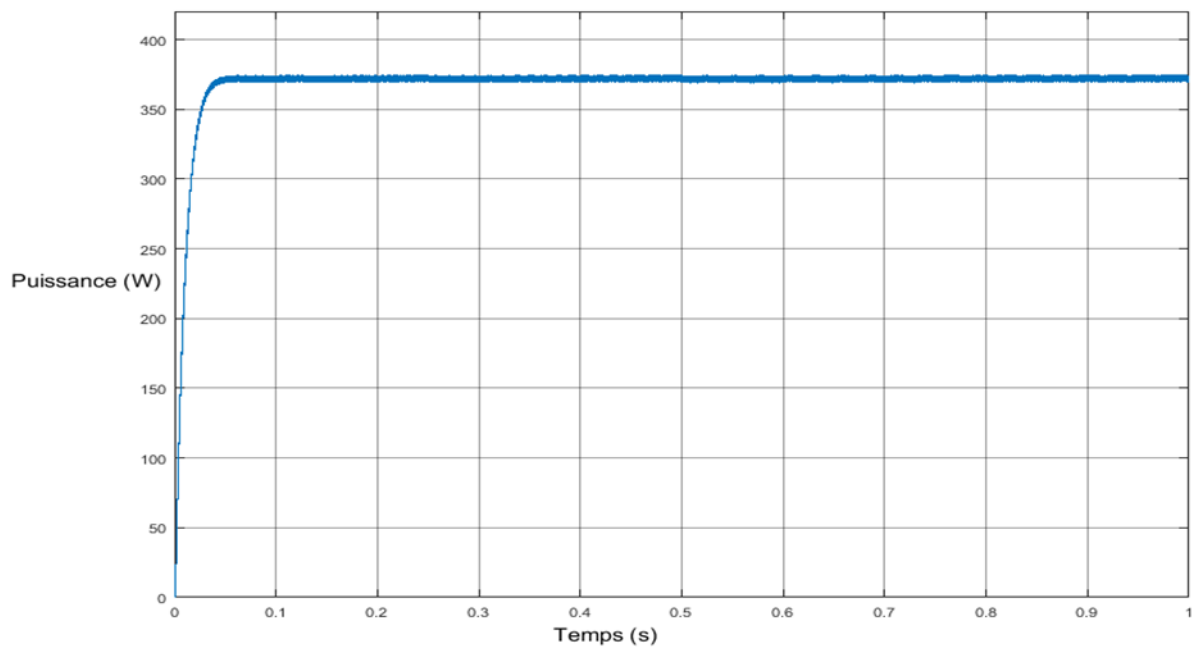


Figure 4-37 Puissance consommé aux bornes de la charge pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$

Cas de variation de l'éclairement

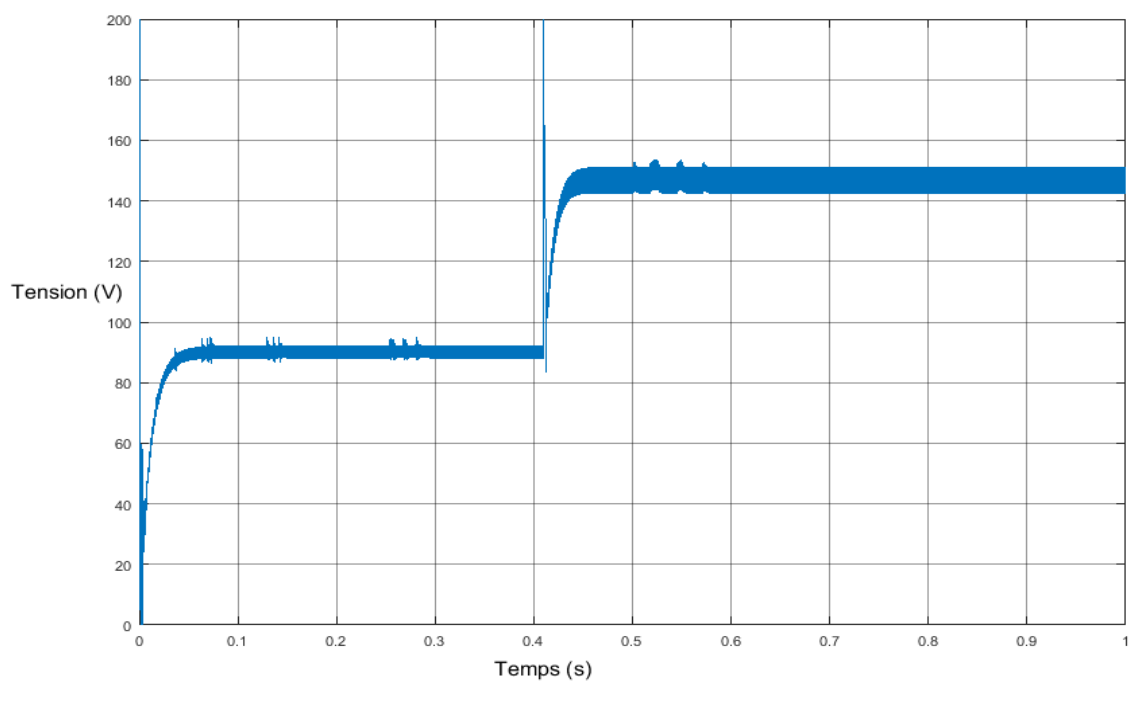


Figure 4-38 Tension générée par le panneau PV avec un éclairement variable $750\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$

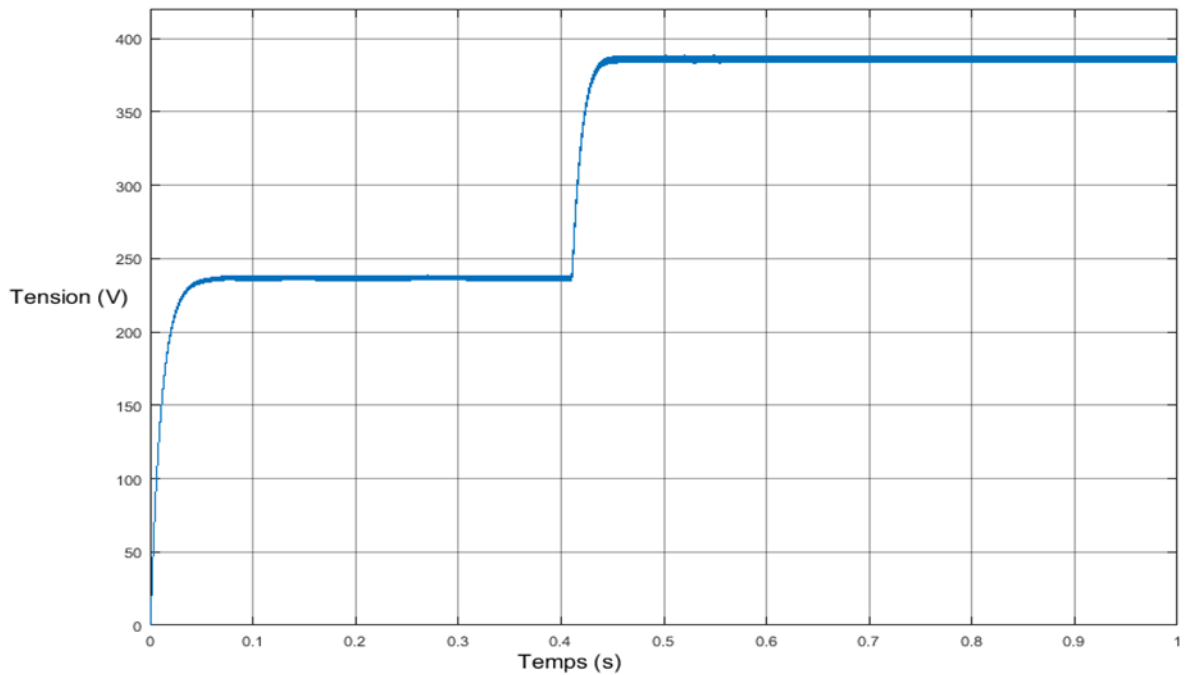


Figure 4-39 Tension aux bornes de la charge pour $T=25^{\circ}\text{C}$ et éclairement variable de $500\text{W}/\text{m}^2$ à

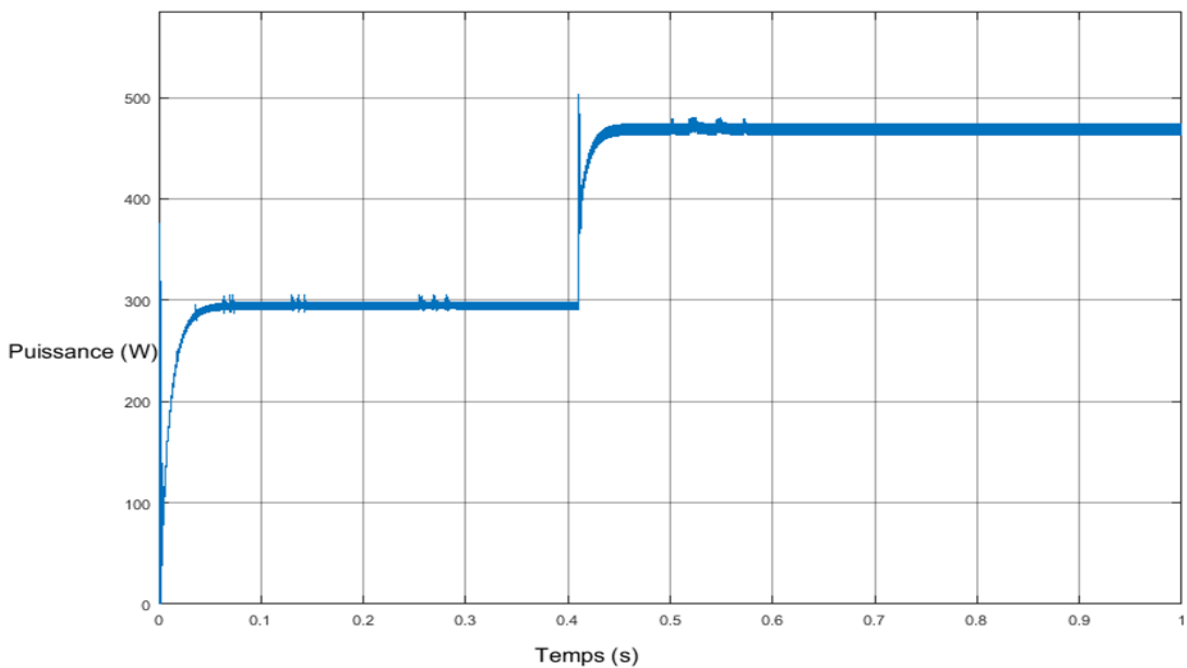


Figure 4-40 Puissance générée par le PV pour $T=25^{\circ}\text{C}$ et éclairement variable

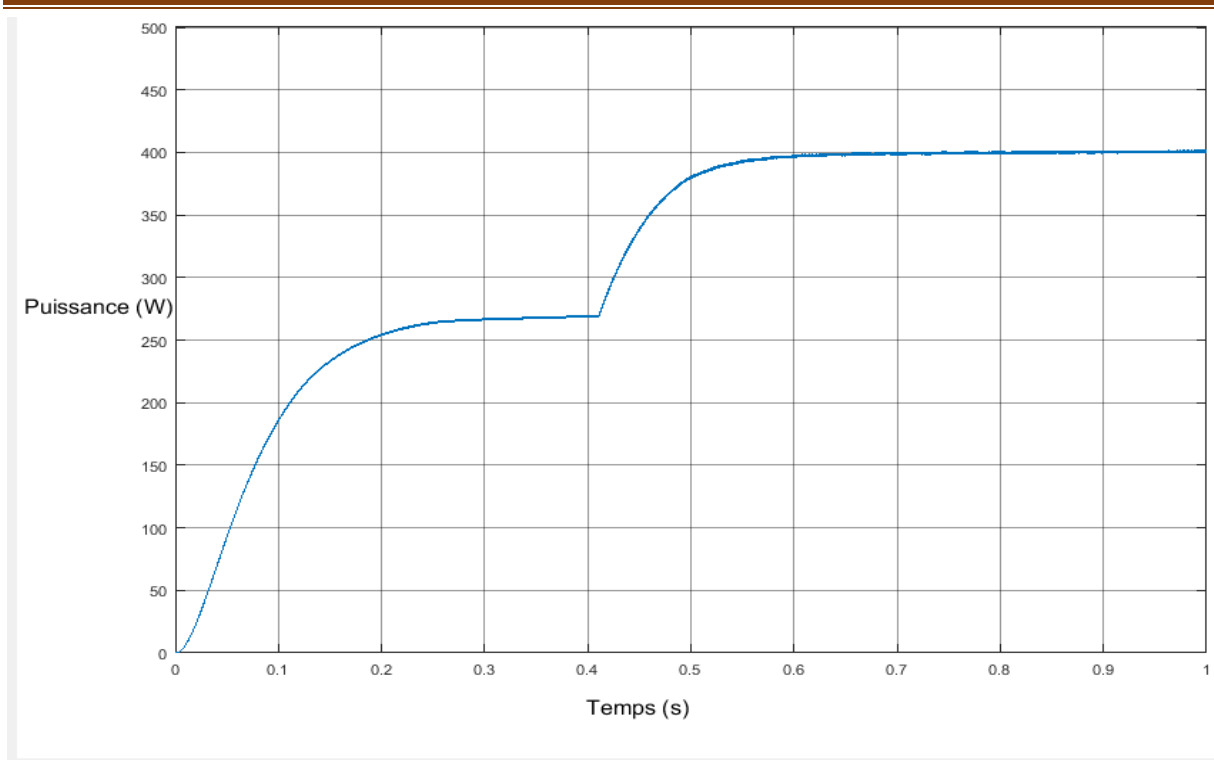


Figure 4-41 Puissance consommé aux bornes de la charge pour $T=25^{\circ}\text{C}$ et éclairement variable

La figure (4-38) et La figure (4-39) présentent l'évolution de la tension générée par le panneau PV et celle consommée par la charge. On note que la tension augmente avec l'augmentation de l'éclairement de $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$. La figure (4-40) et La figure (4-41) présentent l'évolution de la puissance générée par le panneau PV et celle aux bornes de la charge. On note que la puissance augmente avec l'augmentation de l'éclairement de $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$.

Cas de variation de température

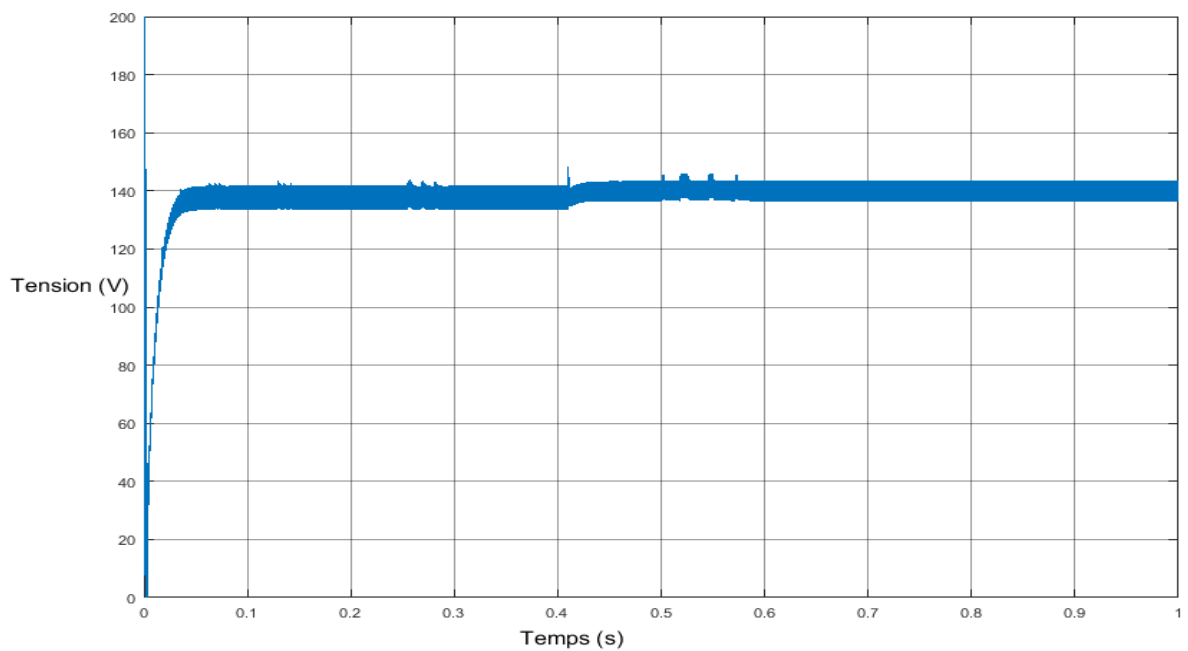


Figure 4-42 Tension générée par le panneau PV pour une variation de température 50°C à 25°C

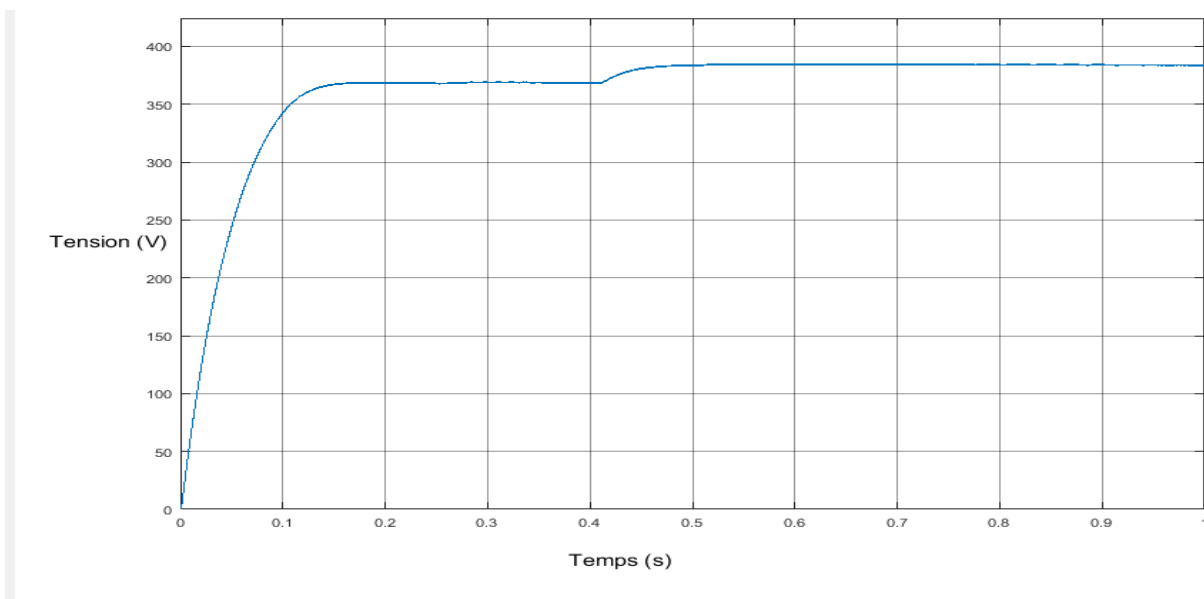


Figure 4-43 : tension de sortie aux bornes de la charge pour 1000W/m² fixe et température variable 50°C à 25°C

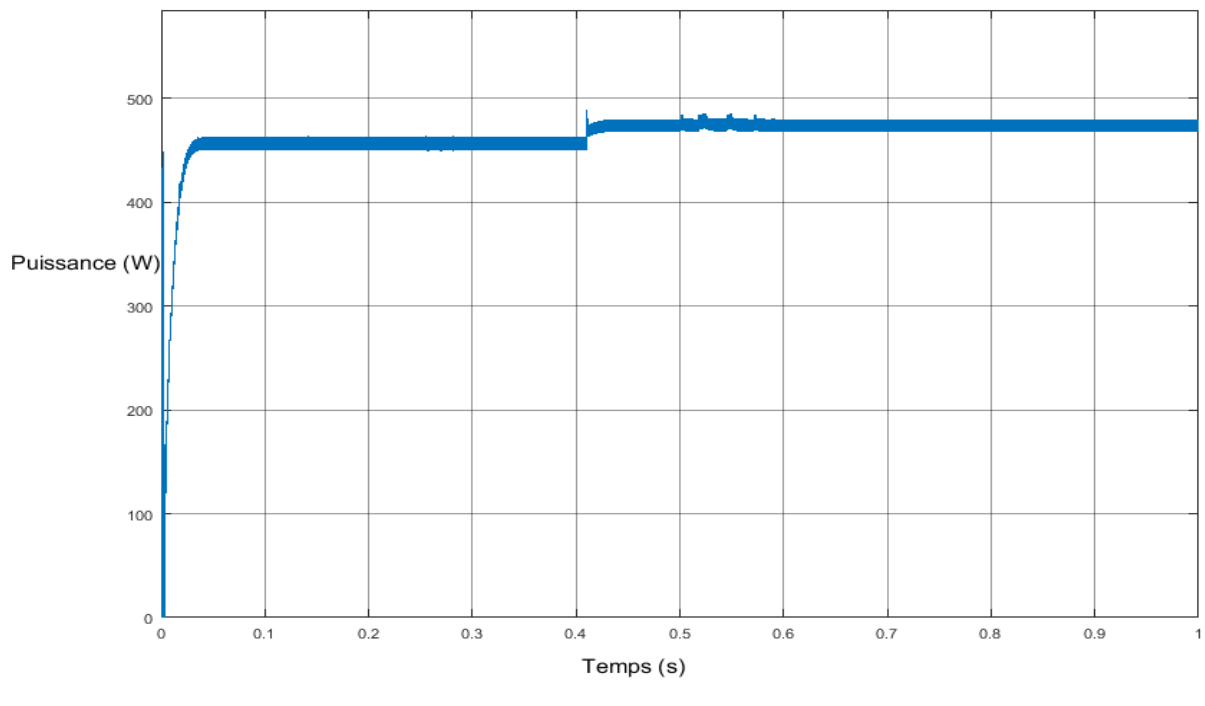


Figure 4-44 Puissance générée par le panneau PV pour une variation de température 50°C à 25°C

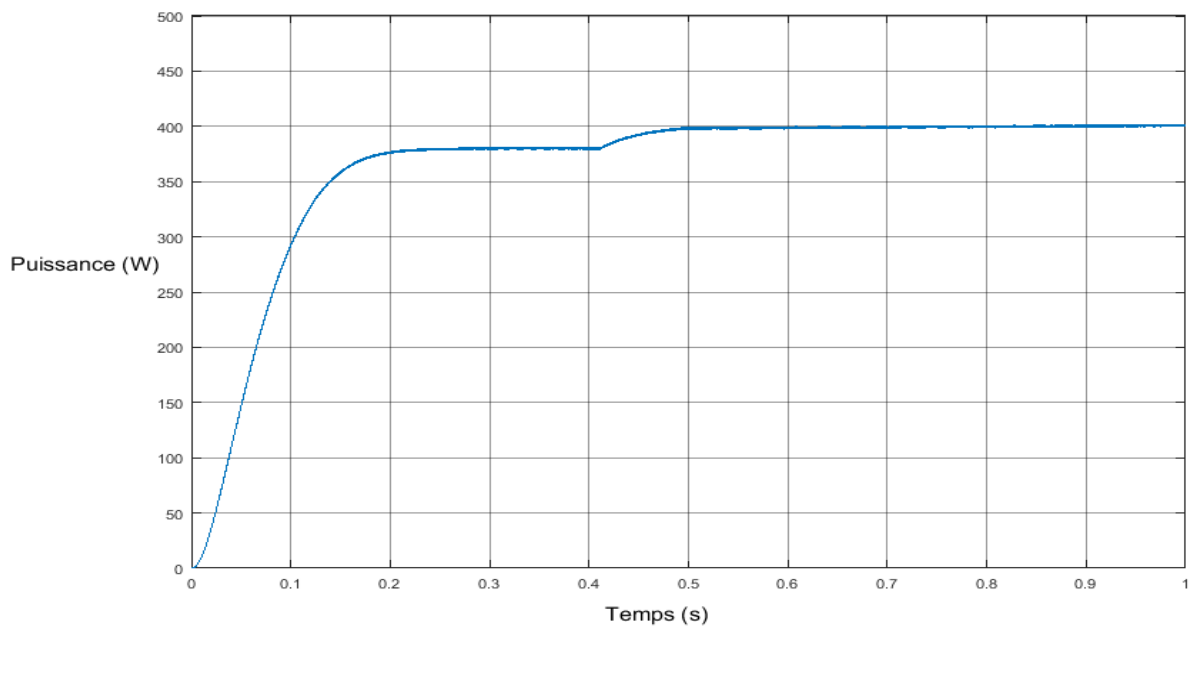


Figure 4-45 Puissance consommée aux bornes de la charge pour 1000W/m² et température variable de 50°C à 25°C.

La figure (4-42) et La figure (4-43) présentent l'évolution de la tension générée par le panneau PV et celle aux bornes de la charge. On note que la tension augmente avec la diminution de la température (50°C jusqu'à 25°C).

La figure (4-44) et La figure (4-45) présentent l'évolution de la puissance générée par le panneau PV et celle consommée par la charge. On note que la puissance augmente avec la diminution de la température (50°C jusqu'à 25°C).

4.8.2.2 Application de la méthode de la conductance incrémentale

Les figures (4-46) à (4-47) présentent l'évolution de la tension générées par le panneau PV et celle aux bornes de la charge pour un éclairement $G=1000\text{W/m}^2$ et une température $T=25^\circ\text{C}$. On note la présence de faibles oscillations au niveau de la tension source et la tension aux bornes de la charge. Les figures (4-48) à (4-49) présentent l'évolution de la puissance générées par le panneau PV et celle consommée par la charge pour un éclairement $G=1000\text{W/m}^2$ et une température $T=25^\circ\text{C}$. On note une légère diminution de l'amplitude de la puissance générée au niveau de la source et la de charge.

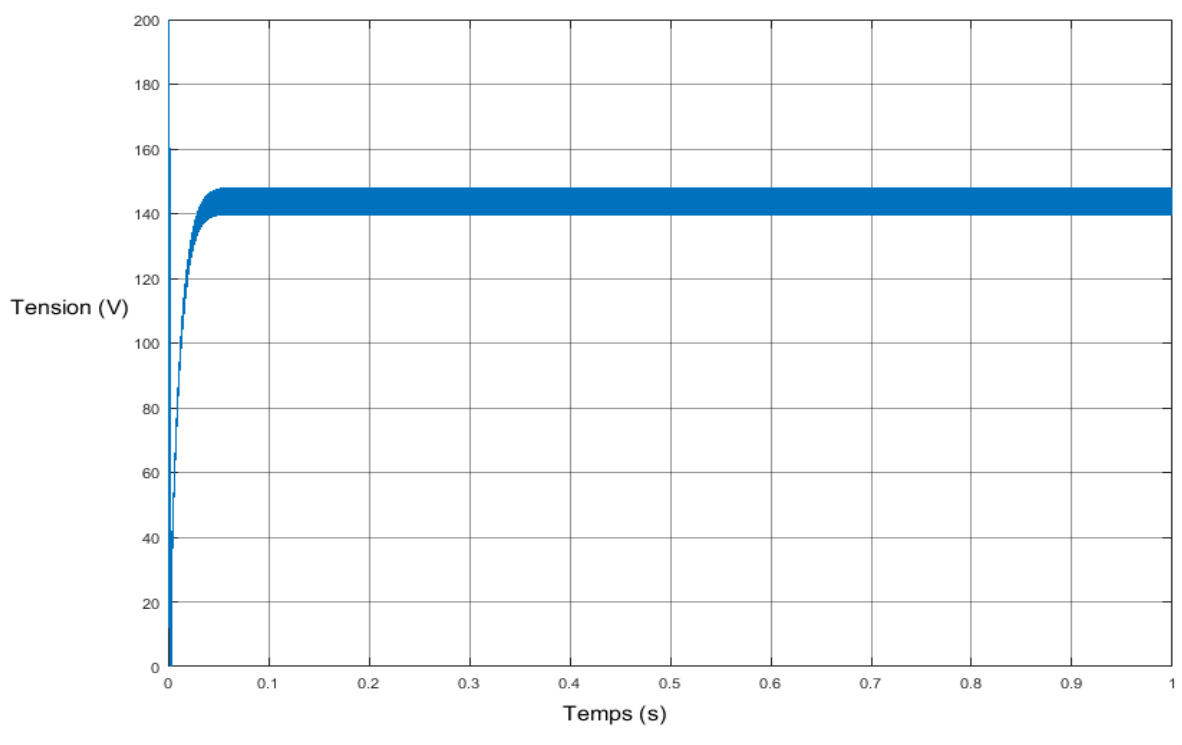


Figure 4-46 Tension générée par le panneau PV pour $E=1000\text{W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$

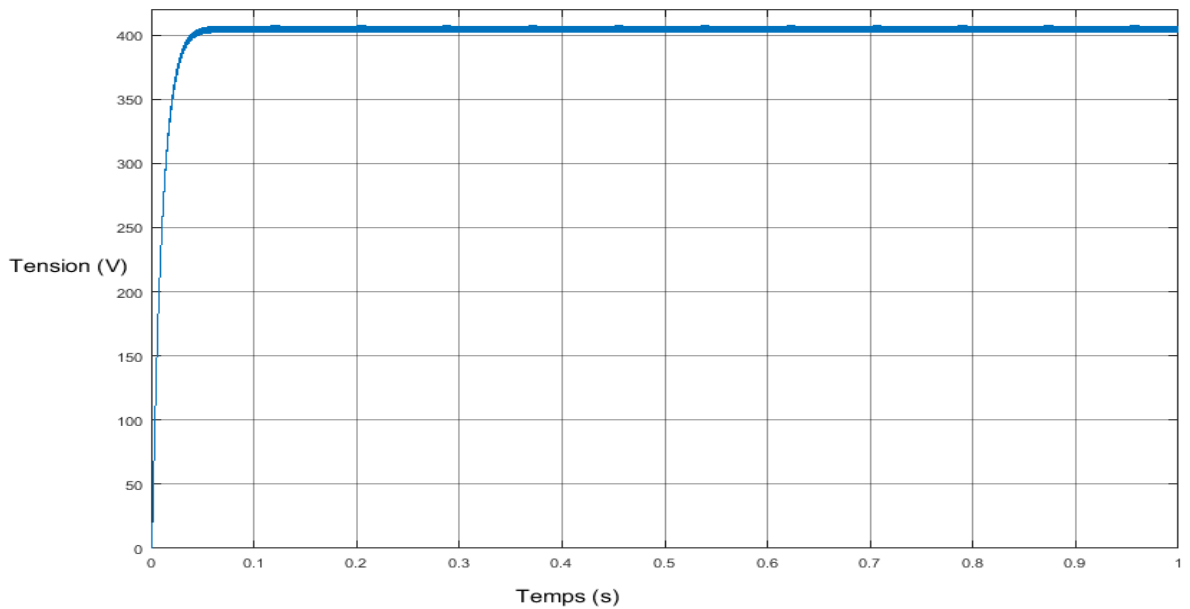


Figure 4-47 Tension aux bornes de la charge pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$

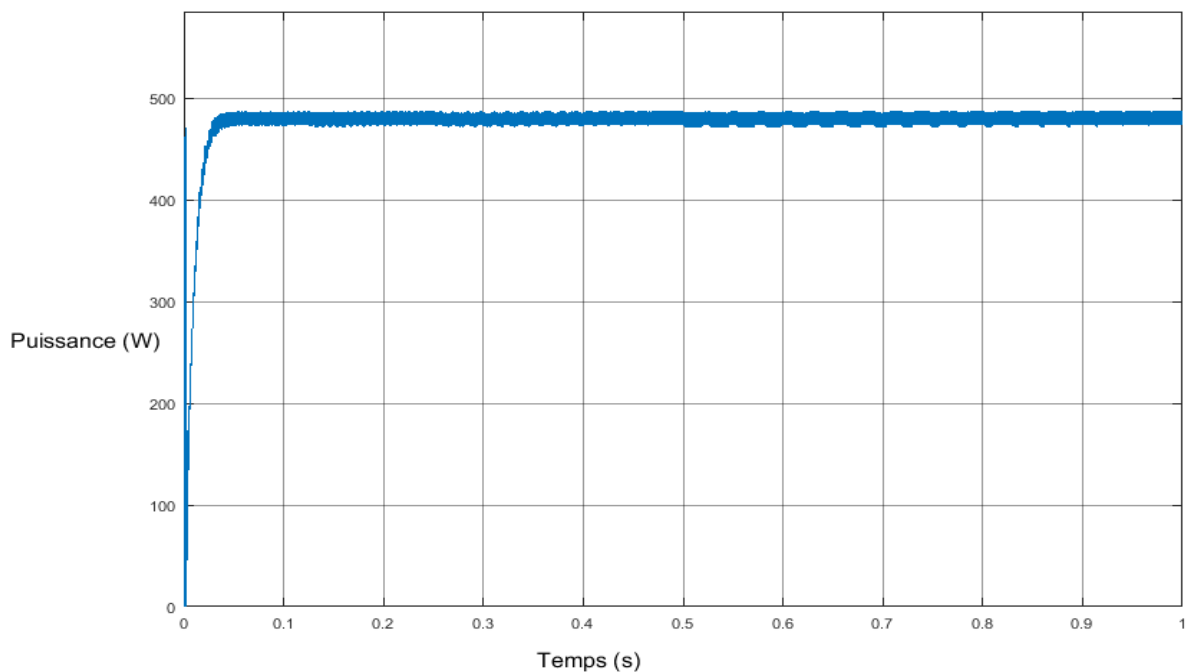


Figure 4-48 Puissance générée par le panneau PV pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$

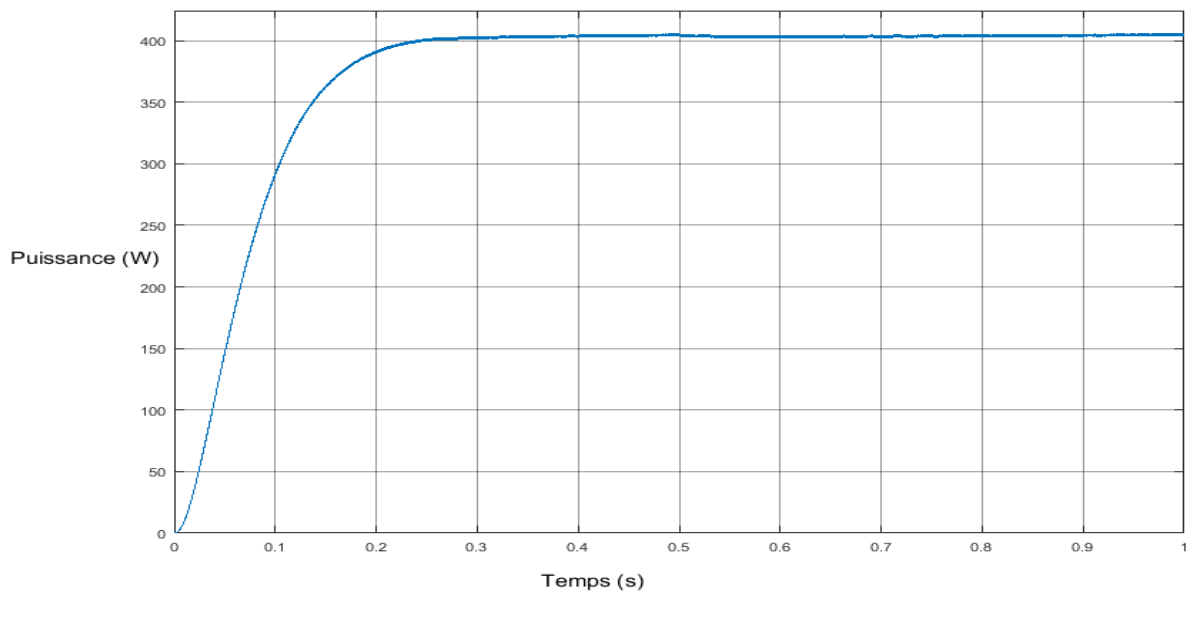


Figure 4-49 Puissance consommé par la charge pour $E=1000\text{W}/\text{m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$

Influence de l'éclairement et la température sur l'évolution instantanées de P et V

Les résultats de la simulation d'un GPV avec des modules du type couche mince subit des variations de l'éclairement et de la température qui sont représentées sur les figures (4-50) à (4-57), nous avons visualisé la puissance et tension d'entrée du convertisseur ainsi la puissance et tension de sortie du convertisseur.

Cas de variation de l'éclairement :

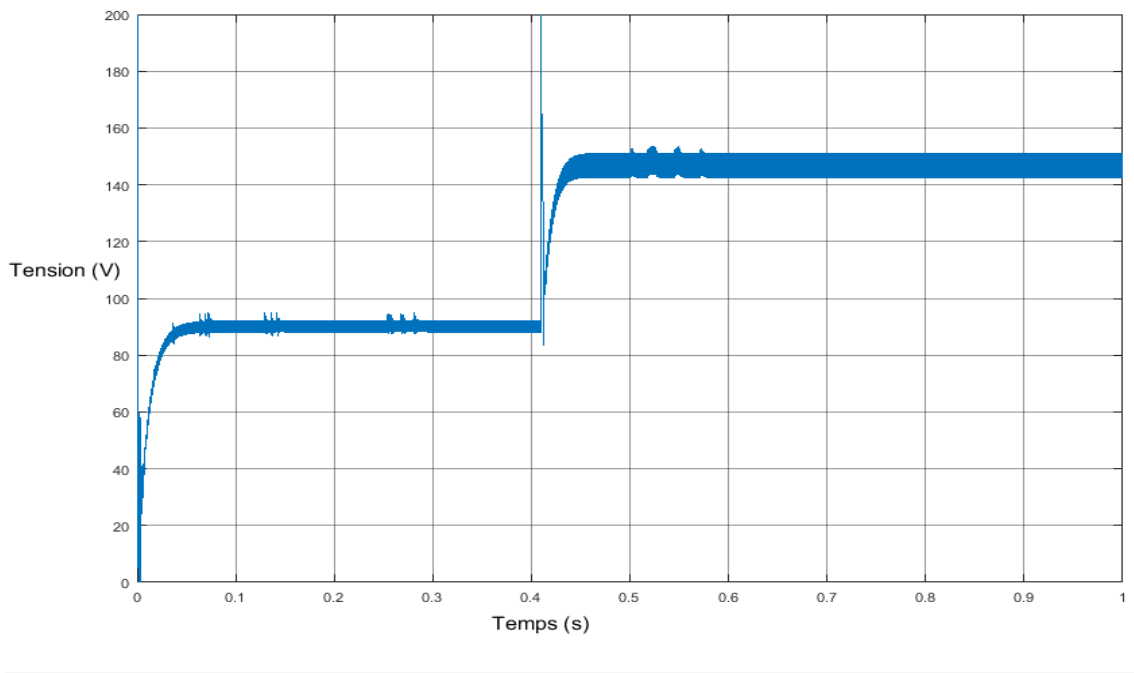


Figure 4-50 Tension générée par le panneau PV avec un éclairement variable $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$

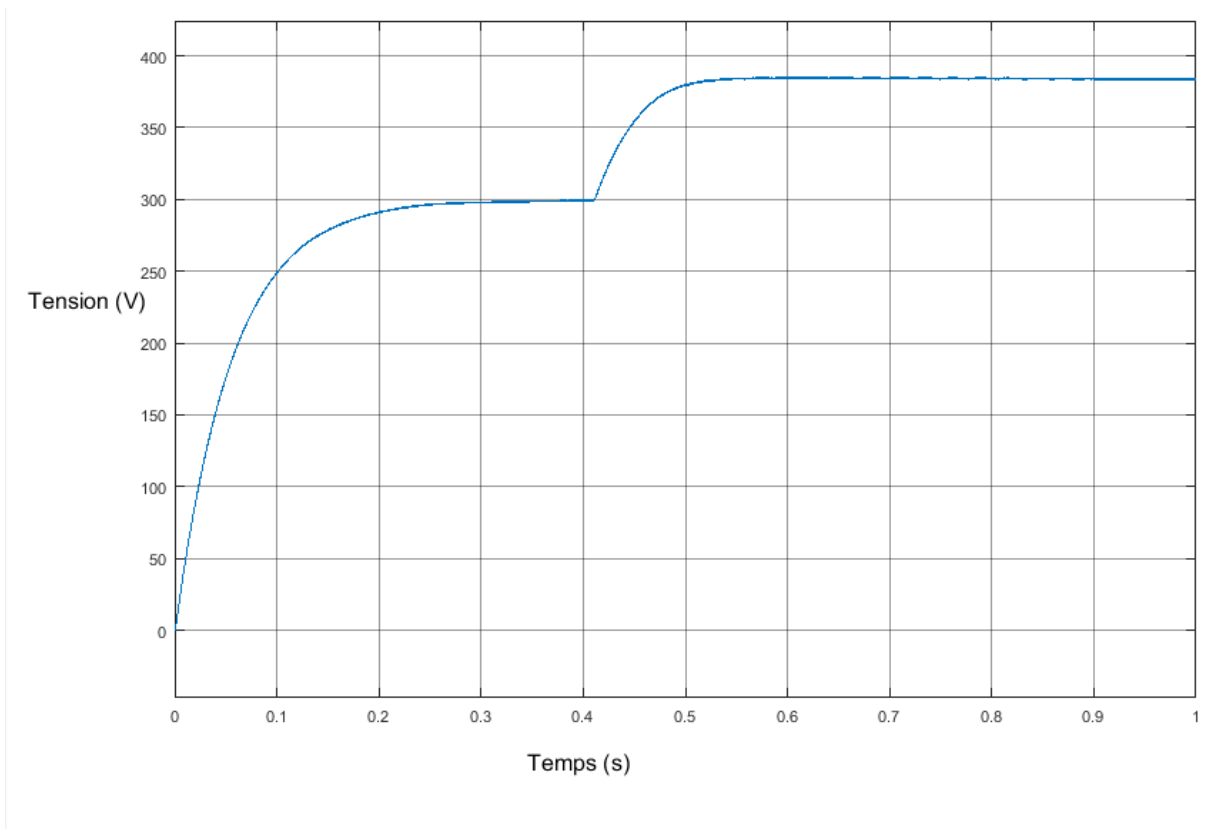


Figure 4-51 Tension aux bornes de la charge pour un éclairement variable $500\text{W}/\text{m}^2$ à $1000\text{W}/\text{m}^2$

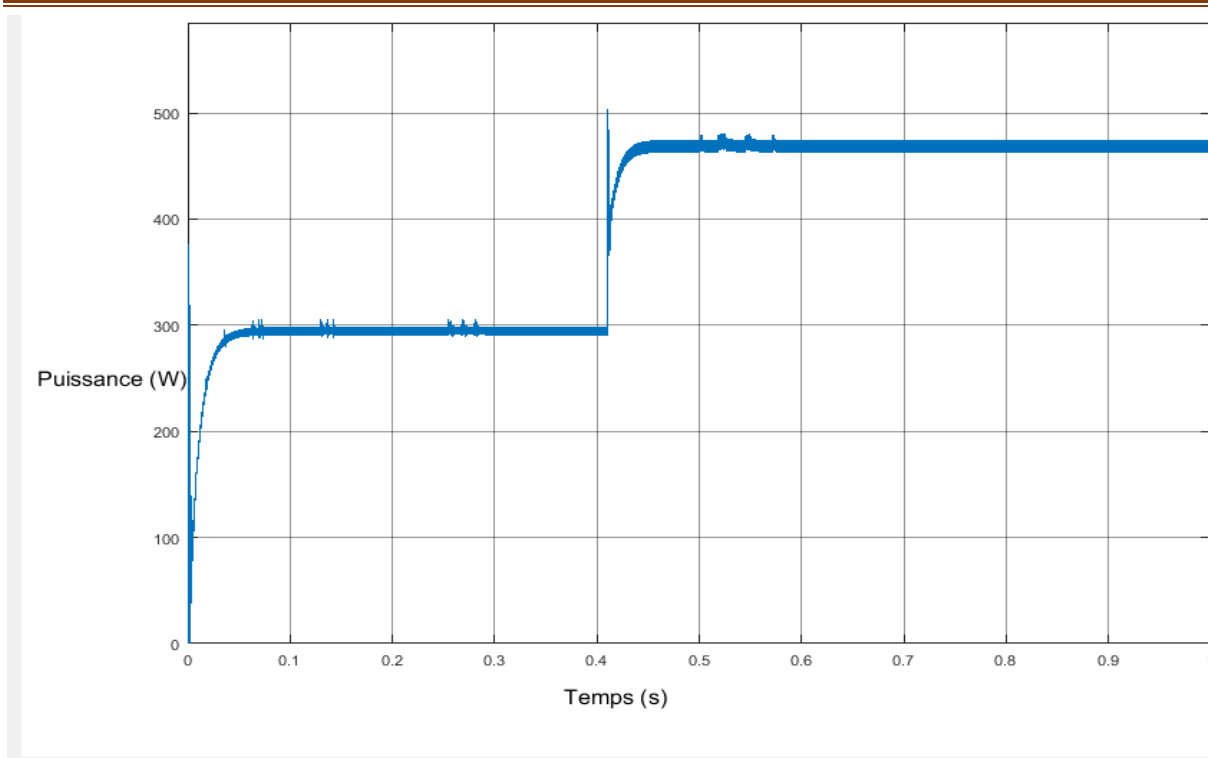


Figure 4-52 Puissance générée par le panneau PV avec un éclairement variable 500 W/m^2 à 1000 W/m^2

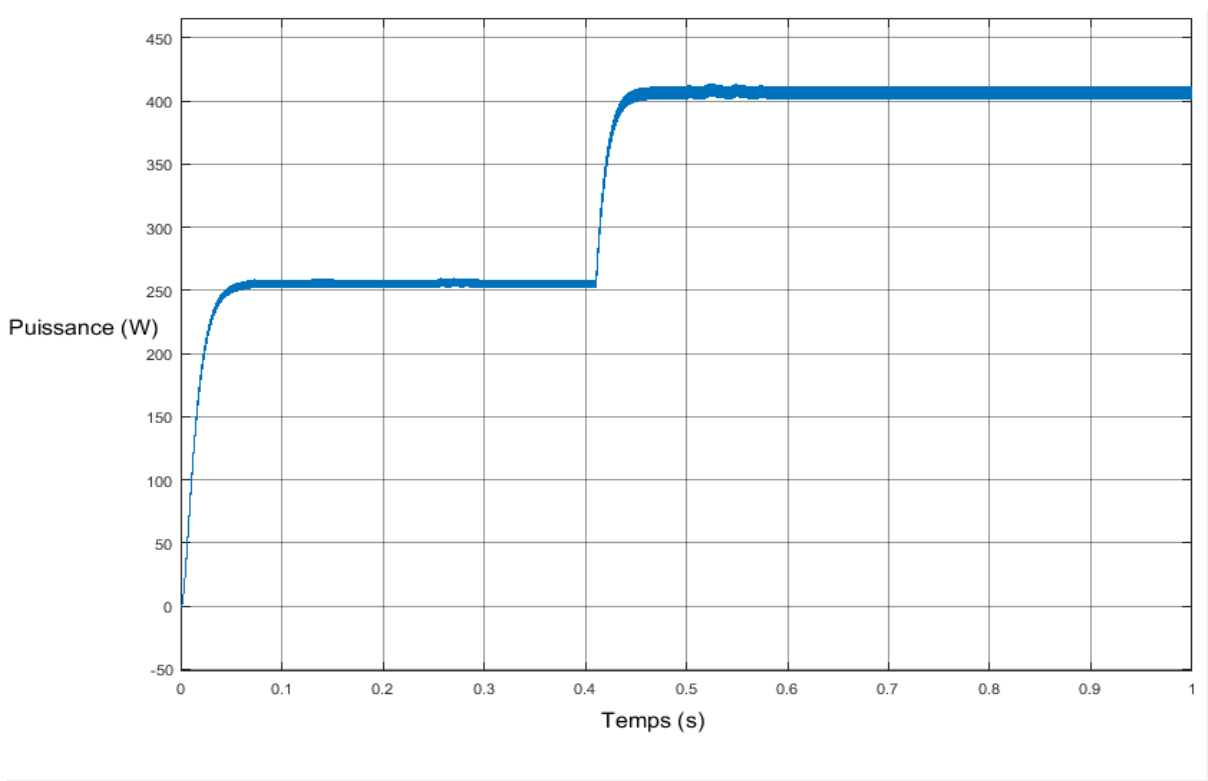


Figure 4-53 Puissance consommé par la charge pour un éclairement variable 500 W/m^2 à 1000 W/m^2

La figure (4-50) et La figure (4-51) présentent l'évolution de la tension générée par le panneau PV et celle consommée par la charge. On note que la tension augmente avec l'augmentation de l'éclairement de 500W/m^2 à 1000W/m^2 . La figure (4-52) et La figure (4-53) présentent l'évolution de la puissance générée par le panneau PV et celle aux bornes de la charge. On note que la puissance augmente avec l'augmentation de l'éclairement de 500W/m^2 à 1000W/m^2 .

Cas de variation de la température

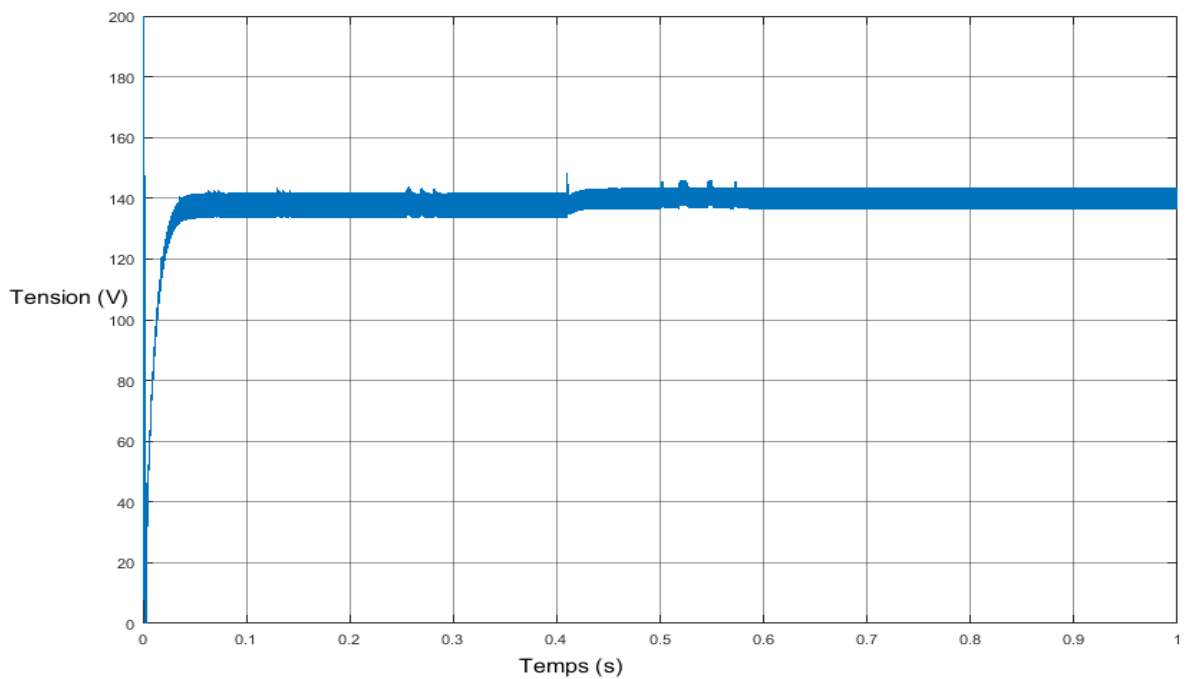


Figure 4-54 Tension générée par le panneau PV pour une variation de température 50°C à 25°C

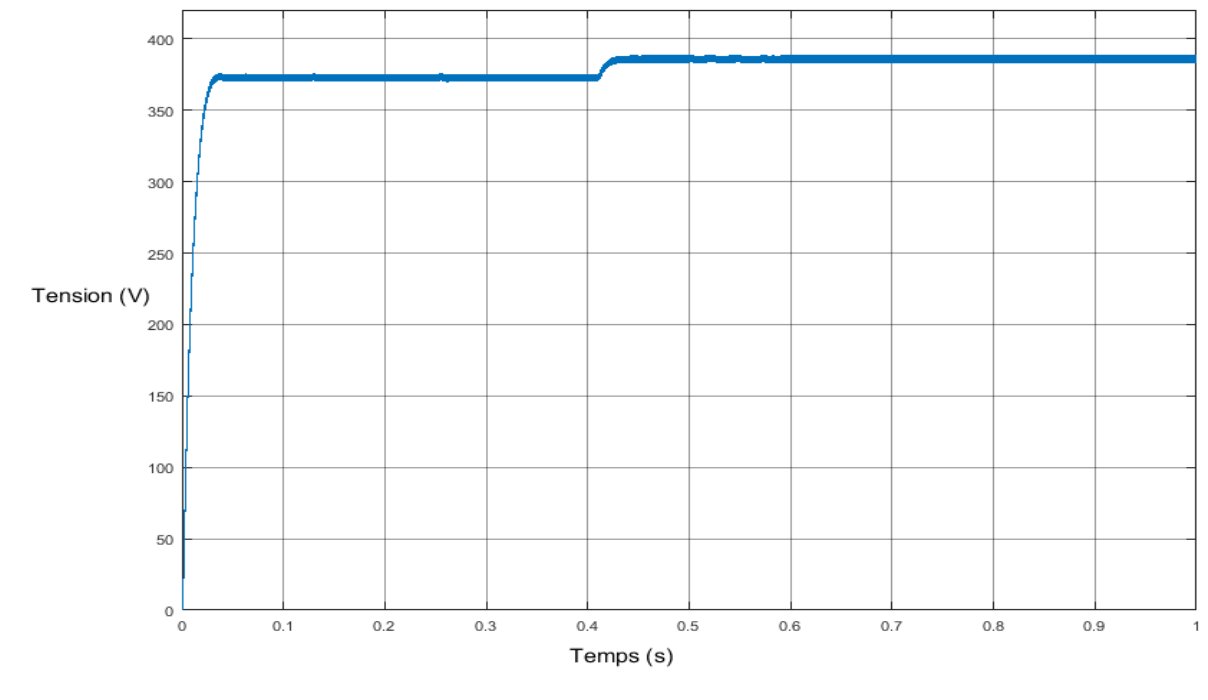


Figure 4-55 Tension aux bornes de la charge pour une variation de température 50°C à 25°C

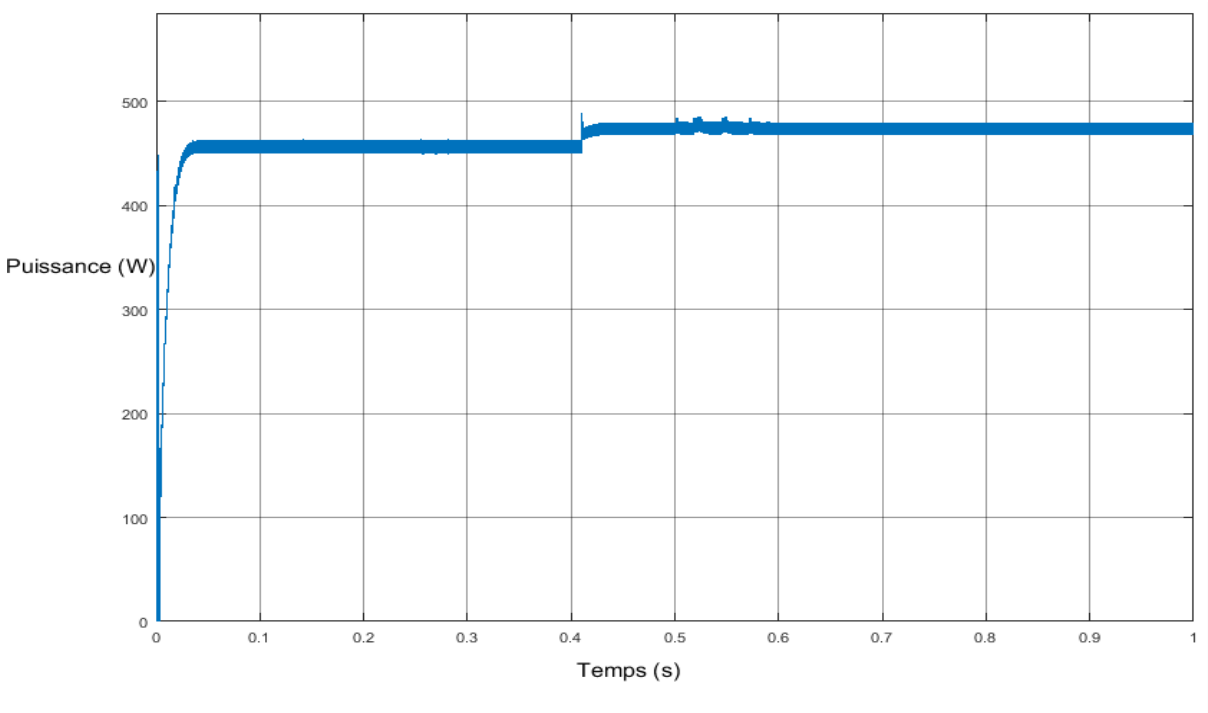


Figure 4-56 Puissance générée par le panneau PV pour une variation de température 50°C à 25°C

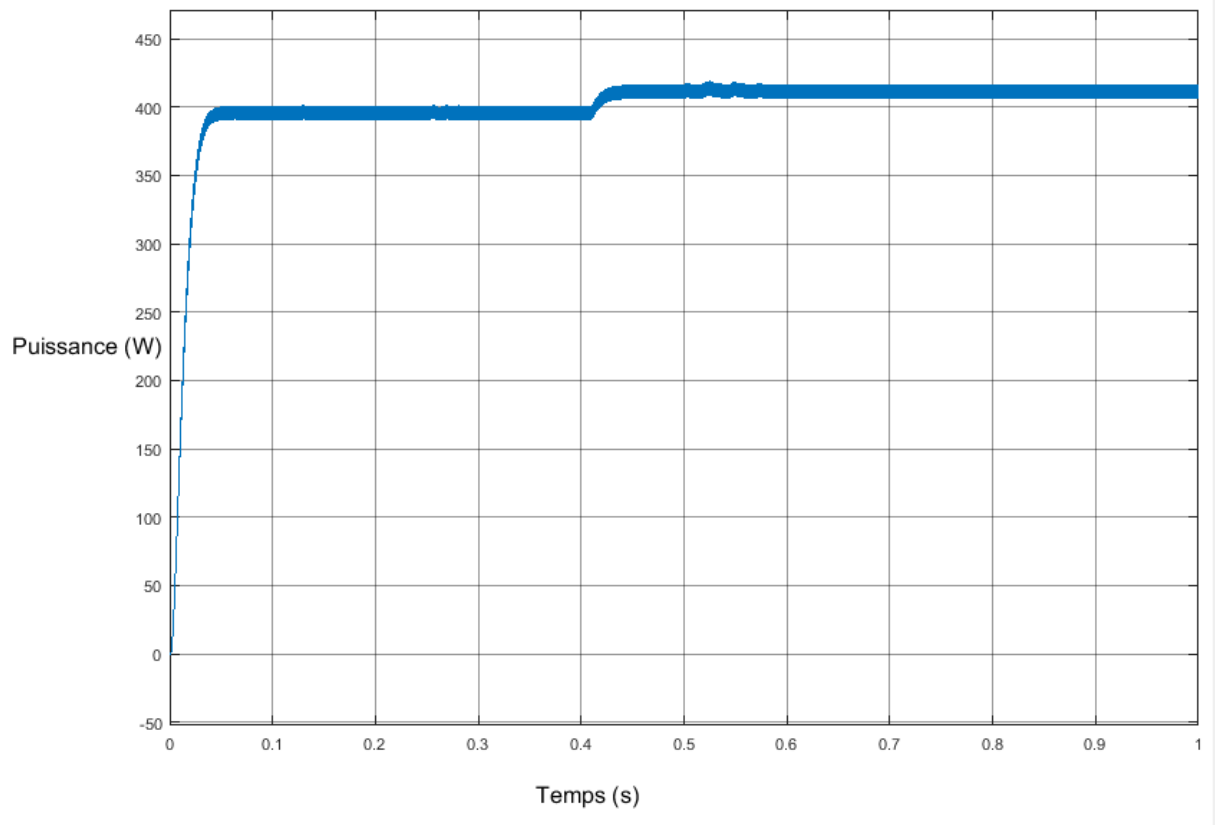


Figure 4-57 Puissance consommé par la charge pour une variation de température 50°C à 25°C

La figure (4-54) et La figure (4-55) présentent l'évolution de la tension générée par le panneau PV et celle aux bornes de la charge. On note que la tension augmente avec la diminution de la température (50°C jusqu'à 25°C).

La figure (4-56) et La figure (4-57) présentent l'évolution de la puissance générée par le panneau PV et celle consommée par la charge. On note que la puissance augmente avec la diminution de la température (50°C jusqu'à 25°C).

Comparaison

Les résultats de simulation sont indiquée dans les tableaux suivants :

Tableau 4-4 Résultats de simulation cas d'environnement stable ($E=1000 \text{ W/m}^2$ et $T= 25^\circ$)

	Panneau	Méthode de P&O	Méthode de Inc-cond
Tension générée par le panneau (V)	Polycristallin	61	62
	Couche mince	150	150
Tension consommée par la charge (V)	Polycristallin	398	400
	Couche mince	390	400
Puissance générée par le panneau (W)	Polycristallin	478	480
	Couche mince	460	478
Puissance consommée par la charge (W)	Polycristallin	438	442
	Couche mince	375	405

Tableau 4-5 Résultats de simulation cas de variation de l'éclairement ($E=500\text{W/m}^2$ et $T= 25^\circ$)

	Panneau	Méthode de P&O	Méthode de Inc-cond
Tension générée par le panneau (V)	Polycristallin	61	62
	Couche mince	90	90
Tension consommée par la charge (V)	Polycristallin	210	305
	Couche mince	245	300
Puissance générée par le panneau (W)	Polycristallin	250	420
	Couche mince	300	302
Puissance consommée par la charge (W)	Polycristallin	252	400
	Couche mince	256	405

Tableau 4-6 Résultats de simulation cas de variation de température ($E=1000 \text{ W/m}^2$ et $T=50^\circ$)

	Panneau	Méthode de P&O	Méthode de Inc-cond
Tension générée par le panneau (V)	Polycristallin	58	62
	Couche mince	142	142
Tension consommée par la charge (V)	Polycristallin	375	380
	Couche mince	360	370
Puissance générée par le panneau (W)	Polycristallin	450	430
	Couche mince	410	412
Puissance consommée par la charge (W)	Polycristallin	408	420
	Couche mince	380	402

4.9 Conclusion

Dans ce chapitre on a étudié la simulation des deux méthodes de MPPT avec deux différents panneaux photovoltaïques. Le résultat de simulation montre que la méthode de conductance incrémentale est poursuivie correctement le MPP par rapport à la méthode de perturbe et observe. En plus la méthode de P&O présente des ondulations inconvénients pour la traction de MPP. On a conclu aussi que le type de panneau polycristallin a un rendement supérieur à celui de panneau de type couche mince.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire est sur la simulation du fonctionnement d'un système photovoltaïque (PV) commandé par une technique MPPT assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur PV. Après la présentation du principe de fonctionnement de la cellule et ses différents types. Les résultats de la simulation du fonctionnement de notre système PV, nous ont permis de visualiser l'effet de la température dont l'augmentation conduit à une baisse de la puissance générée et de même la diminution de l'éclairement la réduit aussi.

Le résumé de l'aspect théorique des deux techniques pour le suivi du point de fonctionnement à puissance maximale, nous a permis de comprendre le principe de maximisation de la puissance du générateur photovoltaïque. Nous avons présenté la méthode la plus utilisée perturbé et observe qui a un organigramme simple à implémenter et qui converge rapidement. La deuxième méthode présentée conductance incrémentale, s'appuie sur la variation de la conductance du circuit, elle a un organigramme plus complexe, qui ne converge pas rapidement et qui est influencé par le pas de simulation, et il y a d'autres méthodes moins utilisées qui ont été présentées dans ce mémoire. En dernier, nous avons fait une application des deux commandes MPPT choisies sur le système PV associant le panneau PV – hacheur – charge, Ces deux méthodes ont été testées pour deux GPV différents. Nous avons ensuite visualisé les résultats pour une variation de la température et de l'éclairement. Ces derniers montrent un fonctionnement satisfaisant malgré les faibles oscillations sur la tension et la puissance générée et ceux au niveau de la charge. Nous pouvons aussi, conclure que :

- Les performances du panneau PV se dégradent avec l'augmentation de la température et la diminution de l'intensité d'éclairement.
- Le convertisseur survolteur fournit une tension à sa sortie supérieure à celle fournie par le panneau PV.
- La commande MPPT adapte le point de fonctionnement du panneau PV à la charge. Comme perspectives nous recommandons la réalisation pratique et l'utilisation d'autres techniques de maximisation de puissances MPPT.
- La méthode de conductance incrémentale est poursuivie correctement le MPP par rapport à la méthode de perturbé et observe. En plus la méthode de P&O présente des ondulations inconvenients pour la traction de MPP.

-Le type de panneau polycristallin a un rendement supérieur à celui de type couche mince.

Liste des Annexes


A1

Caractéristiques électriques (STC: 1kW/m ² , 25°C±2°C et AM 1,5)*			
	A-230P	A-235P	A-240P
Puissance Nominale (0/+5 W)	230 W	235 W	240 W
Rendement du module	14,12%	14,43%	14,74%
Courant au Point de Puissance Maximale (Imp)	7,99 A	8,10 A	8,21 A
Tension au Point de Puissance Maximale (Vmp)	28,87 V	29,04 V	29,21 V
Courant en Court-circuit (Isc)	8,55 A	8,64 A	8,73 A
Tension de Circuit Ouvert (Voc)	36,72 V	36,94 V	37,16 V
Paramètres thermiques			
Coefficient de Température d'Isc (α)	0,04% /°C		
Coefficient de Température de Voc (β)	-0,32% /°C		
Coefficient de Température de P (γ)	-0,43% /°C		
Caractéristiques physiques			
Dimensions (mm ± 2 mm)	1645x990x40		
Poids (kg)	21,5		
Surface (m ²)	1,63		
Type de cellule	Polycristalline 156x156 mm (6 pouces)		
Cellules en série	60 (6x10)		
Verre	Verre trempé ultra-clair de 4 mm		
Cadre	Alliage en aluminium peint au polyester		
Boîte de connexion / Optionnelle	QUAD IP54 / QUAD IP65		
Câbles	Câble Solaire 4 mm ² 1100 mm		
Connecteurs	MC4 ou combinés MC4		

A2

3.2 CARACTERISTIQUES DU PANNEAU A COUCHE MINCE

Caractéristiques électriques (en conditions STC)

Type	FIRST SOLAR FS-380
Pays d'origine	Allemagne
Puissance de crête	80 W _c
Tolérance	±5% 
Rendement du module	11,1%
Tension max (V _{mpp})	48,5 V
Intensité max (I _{mpp})	1,65 A
Tension circuit ouvert	60,8 V
Courant de court-circuit	1,88 A
Tension max. du système	1000 V
Normes de référence	IEC 61730, IEC 61646

Références bibliographiques

[1] [IEA – SHC Task 16](#)

[2] <https://www.lenergiesoutcompris.fr/>

[3] Anne L, Pascal C, Jean-Paul B, Benjamin F, Cellules solaires Les bases de l'énergie photovoltaïque, édition Dunod, 2010.

[4] <https://www.be-atex.com/actualites/focus/les-centrales-biomasse-fonctionnement-avantages-et-inconvenients>

[5] NDIAYE Papa Amadou et KAWTHER Achari, Production d'énergie électrique à partir d'un système photovoltaïque, Université 8 Mai 1945 – Guelma, mémoire de master 2019

[6] FPGA en utilisant la carte ML605 ‘’, Université Mohamed Boudiaf M'sila, 2018.

[7] Traoré M. “ Gestion du système photovoltaïque d'une alimentation privée connecté au réseau ‘’, Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar Annaba, Juin 2017.

[8] <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/hydroelectricite>

[9] BOUCHAKER Amir Abderaouf, BENBRINIS Mouad, ‘’ Structure et Commande d'une installation photovoltaïque en site isolé ‘’, Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar Annaba, Juin 2018.

[10]

http://www.ac_grenoble.fr/college/mezenc.pouzin/IMG/Fonctionnement_D_une_Eolienne.gif

[11] <https://mtaterre.fr/sites/default/files/dossier-mai-2014-article4bis.jpg>

[12] TRAORE Massitan, « GESTION DU SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE D'UNE ALIMENTATION PRIVEE CONNECTE AU RESEAU », Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar ANNABA , juin 2017

[13] BOUHAFNA Khayreddine « Développement d'un système intelligent pour la conduite d'une unité de production d'électricité », mémoire de master, Université BATNA 2, 2015

[14] Anne L, Pascal C, Jean-Paul B, Benjamin F, Cellules solaires Les bases de l'énergie photovoltaïque, édition Dunod, 2010

- [15] BUN Lg, Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV, Université de Grenoble, thèse de doctorat, 2011.
- [16] cours Master 2/ Electronique des systèmes embarqués, module : système d'énergie autonome, Université de Batna 2
- [17] <https://mypower.engie.fr/energie-solaire/conseils/types-cellules-solaires.html>
- [18] <https://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/systemes-photovoltaïques.html>
- [19] Violaine Didier, Rapport rédigé sous la direction de Bruno Gaiddon, « Les onduleurs pour Systèmes Photovoltaïques Fonctionnement, Etat de l'Art et Etude des Performances » Août 2007
- [20] <https://mypower.engie.fr/energie-solaire/conseils/fonctionnement-onduleur-solaire.html>
- [21] Y.Thiaux, J. Seigneurbieux, et al., "Load profile impact on the gross energy requirements of stand-alone photovoltaics systems", Renewable Energy, Elsevier, 2010.
- [22] P. Menanteau, « L'électricité photovoltaïque », IEPE, Grenoble, 1997.
- [23] P. Menanteau, « L'électricité photovoltaïque », IEPE, Grenoble, 1997.
- [24] ALI SLIMANE, Mohand TIGRINE Bachir « Etude Théorique et simulation de la centrale photovoltaïque de GHARDAÏA. » Mémoire de master, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, Juillet 2017
- [25] Moussaoui Nabil, Mektoub Larbi, « Détection et localisation d'un défaut dans un onduleur à deux niveaux destinés à une application photovoltaïque » Mémoire de master, UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA, 2019
- [26] Yassine khalil CHELALI « fiabilité des convertisseurs statiques pour les applications photovoltaïques » mémoire de master, université de Boumerdes 2013
- [27] BENSEHILA YAHIA, BENHAMOU ALI « Modélisation et commande d'un convertisseur à stockage capacitif pour une application photovoltaïque » Université de Boumerdes 2020
- [28] http://www.electrosup.com/convertisseur_seplic.php
- [29] H.J. Möller, 'Semiconductors for Solar Cells', Artech House, Inc, MA, 1993.
-

- [30] Belhadj Mohamed, « Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome » université de Bechar, 2007
- [31] K.Agroui, « Etude du comportement thermique de modules photovoltaïques de technologie manoverre et biverre au silicium cristallin ». Rev.Energ.ren : valorisation (1999) 7-11.
- [32] J.L. Santos, F. Antunes, A. Chehab and C. Cruz, 'A Maximum Power Point Tracker for PV Systems Using a High Performance Boost Converter', Solar Energy, Vol. 80, N°7, pp. 772 – 778, 2006.
- [33] C. Cabal, 'Optimisation Energétique de l'Etage d'Adaptation Electronique Dédié à la Conversion Photovoltaïque', Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse 3, Décembre 2008.
- [34] N. Aouchiche * , M.S. Aït Cheikh 2 et A. Malek « Poursuite du point de puissance maximale d'un système photovoltaïque par les méthodes de l'incrémentation de conductance et la perturbation & observation » Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°3 (2013) 485 – 498
- [35] : S. Sumathi, « Solar PV and wind Energy conversion systems »,springens,switzer land 2015.
- [36] M. Belkacem, « Etude et optimisation d'un transfert d'énergie électrique en conversion photovoltaïque par la recherche du point de puissance Maximale », Mémoire Master, Université de Tlemcen ,2015.
- [37] J. Fadat, 'Chaîne de Conversion d'Energie Photovoltaïque Commande MPPT', La Revue 3EI, N°43, Décembre 2005.
- [38]] Wikipédia. Cellule photovoltaïque.
- [39] INES MAGOUM. Afrik21. <https://www.afrik21.africa/algerie-un-mega-projet-solaire-de-4000-mw-baptise-%E2%80%89tafouk1%E2%80%89bientot-sur-les-rails/>
-

[40] Notton, G., al. (2010). Influence d'un ombrage partiel sur la production électrique d'un module photovoltaïque en silicium monocristallin. Revue des Energies Renouvelables. Vol. 13 N°1, pp 49-62.

[41] Application Report SLVA372C–November 2009–Revised January 2014, Texas instruments

[42] ministère de l'énergie et des mines, www.energy.gov.dz/ énergies renouvelables en Algérie

[43] DERICHE Mohammed Amine « CONTRIBUTION A L'ANALYSE DES PERFORMANCES D'UNE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE. ETUDES DE CAS » Thèse de Doctorat, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES, 2021

[44] edf.fr Le fonctionnement d'une centrale solaire thermique
