

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED– NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :
Énergie renouvelable
Option : **Énergie renouvelable en électrotechnique**

Intitulé :

L'IMPLÉMENTATION DE L'ALGORITHME PSO POUR L'AMÉLIORATION DE LA COMMANDE MPPT D'UN SYSTÈME PV.

Présenté par :

- Bouzerouata walid
- Ait yalla imane

Soutenu le :24 JUIN/2021 devant le Jury :

<i>M.</i>	<i>MCB</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Président</i>
<i>Dr-Khassam Medjdoub</i>	<i>MCB</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Encadreur</i>
<i>M.Meziane Mohammed Amine</i>	<i>MCB</i>	<i>Centre univercitaire Naama</i>	<i>Co-Encadreur</i>
<i>M.</i>	<i>MCA</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Examineur</i>

Nâama – Algérie - 2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Avant tout nous remercions Allah de tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté et la patience pour accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier infiniment nos chers encadrateurs :

❖ Dr Meziane Mohammed Amine.

❖ Dr Khassam Medjdoub.

Pour leur patience, leur orientation et leur remarque constructives.

Nous remercierons aussi tout les enseignants de département science et technologie.

Nous apportons aussi nos remerciements à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

❖ *A ma chère famille :*

Mon père, Ma mère pour leur amour, sacrifices, pensées et soutiens tout au long de mes années d'études qui n'ont jamais cessé de m'encourager que Dieu me les garde

❖ *A mes chers frères :*

Slimane et sur tout le petit poussin Moussa Abdelkhalek

❖ *A ma chère sœur*

Zana hadil je vous souhaite un très bon parcours et plein de succès

❖ *A mes chers amis*

Aymen abdelhadi , yacin teibi , djamal talbi , rabhi salah, lahmar amin , dawdi salem,tahar ataoui, tayab nabbou

Je vous aime infiniment

❖ *A ma chère collègue*

Ait yalla Imane je vous souhaite une vie plein de succès

Bouzerouata Walid ...

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

A mes très chers parents qui ont été la lumière de ma vie. Je voudrai les remercie pour tout ce qui on fait pour moi, pour leurs encouragement, leurs amour, leurs générosité, ... je vous aime

A mes frères Abdelhak et Lokmane et a ma chère sœur Manel pour leurs soutien fraternel

A mon, grand père Abdelkrim et ma grand mère Salíha pour leurs amour

*A mes meilleurs amis et tous se qui ont chers :
Hanane, Asma, Walid*

Aít yalla íman ...

المخلص :

تعتمد طاقة خرج المولد الضوئي GPV على عدة عوامل، بما في ذلك شدة الإشعاع الشمسي ، والخلايا ، إلخ. نظرًا للخصائص الكهربائية غير الخطية القوية للخلايا الكهروضوئية وترابطها ، يمكن تحسين كفاءة النظام من خلال الحلول القائمة على MPPT. هناك طرق MPPT التقليدية التي يتم استخدامها غالبًا ، وهي طريقة الاضطراب والمراقبة (P & O) وطريقة التوصيل الإضافي (IncCond) وما يسمى بالطرق المتقدمة ، مثل PSO. تقدم هذه الرسالة دراسة حول نهج PSO المستوحى من طبيعة وحركة الجزيئات لتحليل ومحاكاة وتقييم نظام الطاقة الكهروضوئية في ظل ظروف التشغيل القياسية والمتغيرة. للقيام بذلك ، تم تطوير نماذج رياضية لمكونات النظام الكهروضوئي (GPV ، محول DC / DC ، PSO (MPPT)). تم الحصول على نتائج المحاكاة باستخدام أداة MATLAB Simulink.

الكلمات المفتاحية : المولد الضوئي، محول DC / DC ، طريقة الاضطراب والمراقبة، طريقة التوصيل الإضافي، PSO

Résumé :

La puissance de sortie du GPV dépend de plusieurs paramètres, notamment l'intensité du rayonnement solaire, les cellules, etc. En raison des fortes caractéristiques électriques non linéaires des PV et de leurs interconnexions, l'efficacité du système peut être améliorée par des solutions basées sur MPPT. Il existe des méthodes MPPT conventionnelles souvent utilisées, à savoir la méthode de perturbation et d'observation (P&O) et la méthode de conductance incrémentale (IncCond) et les méthodes dites avancées, telle que l'optimisation de l'essaim particulier (PSO). Ce mémoire présente une étude sur l'approche PSO inspirée de la nature et du mouvement des molécules afin d'analyser, simuler, et évaluer le système global d'alimentation PV sous des conditions de fonctionnement standard et variables. Pour ce faire des modèles mathématiques des composants du système PV (GPV, convertisseur DC/DC, MPPT (PSO)) ont été développés. Les résultats de simulation, obtenus à l'aide de l'outil MATLAB Simulink.

Mots-clés: PV, convertisseur DC-DC, MPPT. P&O, IncCond, PSO

Abstract:

The output power of the GPV depends on several parameters, including the intensity of solar radiation, cells, etc. Due to the strong nonlinear electrical characteristics of PVs and their interconnections, system efficiency can be improved by MPPT based solutions. There are conventional MPPT methods that are often used, namely the perturbation and observation method (P&O) and the incremental conductance method (IncCond) and the so-called advanced methods, such as the particle swarm optimization (PSO). This dissertation presents a study on the PSO approach inspired by the nature and movement of molecules to analyze, simulate, and evaluate the global PV power system under standard and variable operating conditions. To do this, mathematical models of the components of the PV system (GPV, DC / DC converter, MPPT (PSO)) have been developed. Simulation results, obtained using the MATLAB Simulink tool.

Keywords: PV, DC-D Converter , MPPT. P&O, IncCond, PSO

Table des matières

Remerciement	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	IV
Table des matières.....	VI
Liste des figures.....	IX
Liste des tableaux.....	XII
Liste des abréviations.....	XIII
Liste des symboles	XIV
Introduction générale.....	1

Chapitre I

Etude D'un Système Photovoltaïque

I .1 Introduction	03
I .2 Les énergies renouvelables.....	03
I .2.1 Les énergies renouvelables, c'est quoi ?	03
I .2.2 Quelle est la place des énergies renouvelables ?	04
I .3 Le soleil	04
I .4 Rayonnement solaire	05
I .4.1 Géométrie solaire.....	06
I .4.2 Les types de rayonnement solaire.....	06
I .5 Gisement solaire	07
I .5.1 Gisement solaire Algérie.....	07
I .5.2 Spécification du site de Naama	08
I .6 L'énergie solaire	09
I .6.1 Energie solaire photovoltaïque.....	09

I .6.2 Evolution de l'utilisation de l'énergie solaire.....	09
I .6.3 L'effet photovoltaïque.....	10
I .6.4 Fonctionnement de la cellule photovoltaïque...	11
I .6.5 Description d'un système photovoltaïque.....	12
I .7 Les différents types des systèmes photovoltaïques.....	14
I .7.1 Systèmes autonomes.....	14
I .7.2 Systèmes hybrides.....	14
I .7.3 Système PV accordée au réseau.....	15
I .8 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque....	15
I .9 Conclusion.....	15

Chapitre II

Poursuite du point de puissance maximale

II.1 Introduction	16
II.2 Principe de la commande MPPT	16
II.3 Classification des commandes MPPT.....	16
II.3.1 Classification Des Commandes MPPT Selon Les Paramètres D'entrée	17
II.3.1.1 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS.....	17
II.3.1.2 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur	17
II.3.2 Classification Des Commandes MPPT Selon Le Type De Recherche.....	17
II.3.2.1 MPPT indirect	17
II.3.2.2 MPPT Direct	18

II.4 Les principales techniques de poursuite de MPPT.....	18
II.4.1 Approche de la Tension Constante (CV, Constant Voltage).....	19
II.4.2 Approche Du Courant Constant (Constant Curent).	20
II.4.3 Perturbation Et Observation (P&O), Perturbe And Observe	22
II.4.4 Conductance Incrémentale (IncCond, Incrémental Conductance).....	25
II.4.5 Optimisation d'essaim de particules (PSO).....	27
II.5 Conclusion.....	29

CHAPITRE III

Simulation et évaluation des résultats

III.1 Introduction.....	30
III.2 Modélisation et simulation d'un panneau photovoltaïque....	30
III.3 Modélisation d'un hacheur élévateur (Booste).....	36
III.3.1 Définition	36
III.3.2 principe de fonctionnement	36
III.4 Simulation d'un convertisseur DC/DC Booste.....	39
III.5 simulation de l'algorithme MPPT (PSO).....	40
III.6 résultats de l'algorithme PSO avec les conditions standard....	41
III.7 résultats de l'algorithme PSO avec une variation.....	43
III.8 Conclusion.....	50
Conclusion générale	51
Références Bibliographie.....	53
Annexe	57

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1. Les énergies renouvelables	03
Figure 1.2. la part de l'énergie renouvelable dans la production mondiale...	04
Figure 1.3. le soleil.....	05
Figure I.4. Rayonnement solaire transmis à la terre.....	05
Figure I.5. Les différentes composantes du rayonnement.....	07
Figure I.6. Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné à la latitude du lieu (moyenne annuelle).....	08
Figure I.7. Capacité et ajout mondiaux d'énergie solaire photovoltaïque, 2005-2015...	09
Figure I.8. Schéma de principe de l'effet photovoltaïque	10
Figure I.9. Schéma d'une cellule photovoltaïque.....	11
Figure 1.10. Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque le plus génère....	12

Chapitre II

Figure II.1. schéma de principe du convertisseur MPPT.....	16
Figure II.2. Algorithme de la Tension Constante.....	19
Figure II.3. Algorithme du constant courant.....	21
Figure II.4. Caractéristique de la puissance d'un module photovoltaïque en perturbation & observation $P = f(V)$	22
Figure II.5. l'algorithme de P&O classique.....	23
Figure II.6. Organigramme de l'algorithme incrémentation de conductance.....	25
Figure. II.7. Organigramme de la PSO.....	27

Chapitre III

Figure III 1 Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	30
Figure III 2 : Modèle de générateur PV réalisée dans MATLAB Simulink.(Variation de température).....	32
Figure III.3 : Caractéristique PV courant / tension.....	32

Figure III.4 : Caractéristique PV puissance / tension.....	33
Figure III 5 : Modèle de générateur PV réalisée dans MATLAB / Simulink.(Variation 32de l'irradiation).....	33
Figure III 6 : Caractéristique PV puissance / tension.....	34
Figure III 7 : Caractéristique PV Courant / tension.....	34
Figure III.8 : Topologie d'un convertisseur DC-DC Booste.....	35
Figure III.9 : Cheema de principe pour K fermé.....	35
Figure III.10 : Schéma de principe pour K ouvert.....	36
Figure III.11 : modélisation de convertisseur DC/DC Booste dans MATLAB/SUMILINK.....	38
Figure III.12 : Tensions d'entrée et de sortie du convertisseur BOOST.....	38
Figure III.13 : Model de simulation de l'algorithme MPPT (Particle swarm Optimisation PSO).....	39
Figure III.14 : Courbe des puissances des sorties a)zoom1, b) zoom2.....	40
Figure III.15 : Les conditions standards (IR/T).....	41
Figure III. 16 : Variation de tensions (a) Zoom 1 et (b) Zoom 2.....	41
Figure III.17 Les courbes des deux signaux initiaux.....	42
Figure III.18 : Courbes des puissances (Entrée/sortie) avec la variation des conditions	43
Figure III.19 : L'effet de variation de température sur la puissance	43
Figure III.20 : La variation des tensions a) Zoom 1, b) Zoom 2.....	44
Figure III.21 : Les conditions initiales	45
Figure III.22 : Courbes des puissances (Entrée/sortie) avec la variation des conditions a) Zoom 1 b) Zoom 2.....	46
Figure III.23 : La variation des tensions.....	47

Liste des tableaux

Tableau I.1 :_Caractéristiques principales du soleil.....	03
Tableau I.2 : Spécification du site de Naama	06
Tableau II.1 : Paramètre de l’algorithme PSO	25
Tableau III.1 Comparaison des puissances de sortie de PV et MPPT	50

Liste d'abréviation:

PV : photovoltaïque

G PV : générateur photovoltaïque

PPM : point de puissance maximale

MPPT : poursuite de point de puissance maximal

PSO : optimisation de l'essaim particulier

P&O : perturbation et observation

Liste des symboles

α : Rapport cyclique.

I_0 : Est le courant de saturation inverse de la diode.

N : Le facteur d'idéalité de la diode

Q : C'est la charge de L'électron.

T : La température de celle en KELVEIN

R_S : Resistance série

R_{SH} : Resistance parallèle

I_d : courant de diode

I_{RSH} : Courant de résistance parallèle

I_{RS} : Courant circulant dans la résistance R_S

P : Position de la particule

V : Vitesse.

P_{Best} : Meilleure position de la particule qui correspond à $Local_Dbest$

G_{Best} : Meilleure position du groupe de particule qui correspond à $Global_Dbest$.

$Rand$: Variable aléatoire uniformément distribuée sur un intervalle de $[0, 1]$

I_{PV} / I_{cell} : Courant généré par la cellule (générateur) photovoltaïque

V_{PV} / V_{cell} : tension généré par la cellule (générateur) photovoltaïque

I_{PH} : Courant de la cellule PV (Photo-Courant).

I_0 : Courant de saturation inverse de la diode.

D : diode

K : constante de Boltzmann (1.381×10^{-23} J/k)

q : charge d'électron (1.602×10^{-19} C)

I_{sc} : le courant de court-circuit

V_{oc} : la tension de circuit ouvert

t_{on} : Le temps de la phase de fermeture [S]

L : L'inductance de la bobine [H]

V_e : La tension d'entrée [V]

I_{L-ON} : Le courant de la bobine pendant la phase de fermeture [A]

I_{L-min} : Le courant de la bobine au début de la phase de fermeture [A]

ΔG : Incrémentale conductance

Introduction générale

L'énergie est un facteur de complication indispensable pour l'humanité dans le monde d'aujourd'hui, et sa source est On posera des questions aux humains à l'avenir. Cependant, l'histoire réserve parfois des surprises. Avec La réduction des stocks mondiaux de combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon), Demande énergétique croissante, crainte d'une pollution de plus en plus généralisée, Les énergies renouvelables (solaire, océanique, éolienne, etc.) reviennent au premier plan de l'actualité; leur développement est très bénéfique pour l'environnement.

L'énergie solaire photovoltaïque fait partie des énergies renouvelables utilisées. Elle implique la conversion du rayonnement électromagnétique directement en effet photoélectrique. Les panneaux photovoltaïques sont capables de les convertir en électrons. Par conséquent, l'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable. En raison des fortes caractéristiques électriques non linéaires des PV et de leurs interconnexions, l'efficacité du système peut être améliorée par des solutions utilisant la technique de recherche de point de puissance maximale (dite technique MPPT).

Dans ce contexte, nous nous intéressons principalement à développer ce procédé d'optimisation qui permet au point de puissance maximum du générateur photovoltaïque de bien fonctionner, quelles que soient les conditions météorologiques. Cela nécessite l'implémentation d'une technique de poursuite de point maximale de puissance, telle que la méthode de Perturbation-Observation (P&O), Incrémentation (INC), l'approche Floue (FL) et la méthode Particle Swarm Optimisation (PSO). Ce dernier a fait l'objet d'une attention particulière de la part de certains chercheurs dans le domaine de l'intelligence artificielle. Compte tenu de ses performances, nous l'avons appliqué pour développer une technique MPPT.

Le mémoire présenté est organisé en trois chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présentons des notions générales sur le soleil, l'énergie solaire, l'énergie photovoltaïque bien sûr et quel que information sur le gisement solaire algérien en générale et dans le site de Naama en particulier ;

- Le deuxième chapitre, présentera le principe de la recherche de point maximal, les classifications de la commande MPPT et des études théoriques sur certain de ces méthodes;
- Le troisième chapitre, quant à lui sera détaillera la modélisation et la simulation du système photovoltaïque et le convertisseur statistique BOOST qui sera contrôlé par la commande MPPT tout en donnant les principaux résultats. Et à la fin de cet chapitre nous avons fait une étude comparative avec et sans MPPT.
- Une conclusion générale dressera le bilan de cette étude en donnant quelques perspectives pour de futurs travaux.

CHAPITRE I

Généralité sur l'énergie solaire
photovoltaïque

I .1 Introduction :

L'effet photovoltaïque a été connu en 1839, et cette conversion a entraîné la conversion directe de la lumière du soleil en énergie électrique. [1]

Dans ce chapitre nous allons voir des généralités sur l'énergie photovoltaïque ainsi qu'on va détailler un peu sur le rayonnement solaire pour mieux comprendre les résultats de ce travail. Vers la fin, on va présenter le système photovoltaïque et citer quelques avantages et inconvénients de ce dernier.

I .2 Les énergies renouvelables

I .2.1 Les énergies renouvelables, c'est quoi ?

Le positionnement des énergies renouvelables est une solution suffisante pour épuiser l'énergie. Les ressources en combustibles fossiles peuvent répondre à la demande énergétique mondiale maintenant la puissance tout en protégeant notre environnement. Ils proviennent d'éléments naturels: Le soleil, le vent, les chutes d'eau, les marées, la chaleur de la terre, Les plantes ... nous les appelons énergie «flux», et leur utilisation produit peu ou pas de déchets et d'émissions polluantes. Ce sont les énergies du futur. [2]

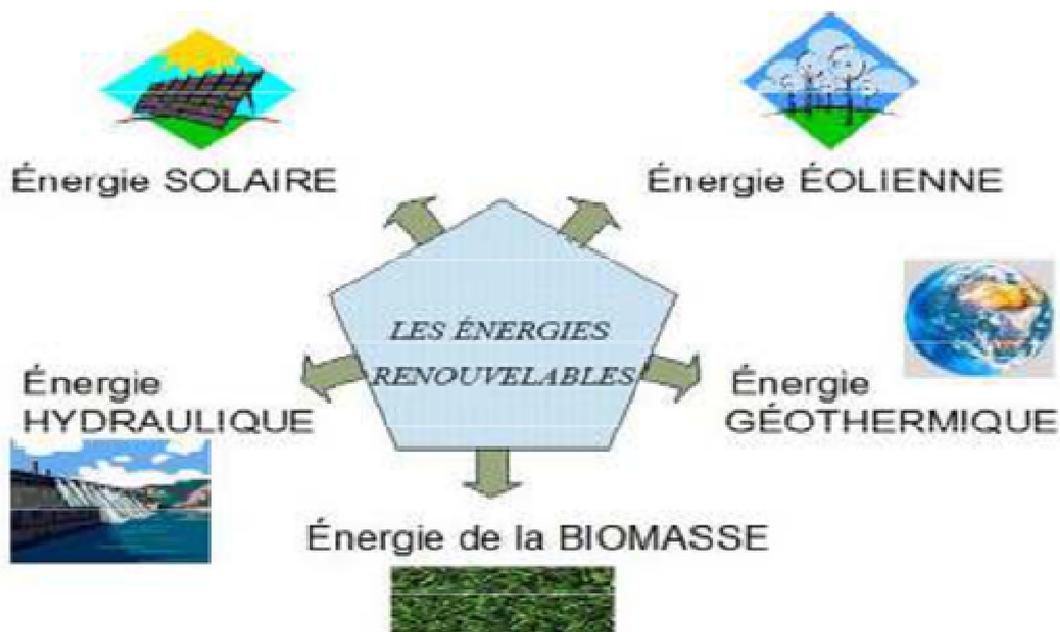


Figure I.1 : Les énergies renouvelables. [3]

En plus de sa nature infinie, ces sources d'énergie sont des sources non polluantes pour la nature. L'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'eau et l'énergie géothermique n'émettent

aucune pollution lors de la production d'énergie. La combustion de la biomasse produit certains gaz polluants, mais la quantité est bien inférieure à celle des combustibles fossiles (comme le charbon ou le fioul). [4]

I .2.2 Quelle est la place des énergies renouvelables?

Dans l'ensemble, la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité est encore très faible. Selon la dernière "World RenewableResources Power Génération List", 20% du courant produit sur terre provient de sources d'énergie renouvelables. La plupart d'entre eux proviennent encore de combustibles fossiles, comme le pétrole ou le charbon (62,7%) et l'énergie nucléaire (17,1%).

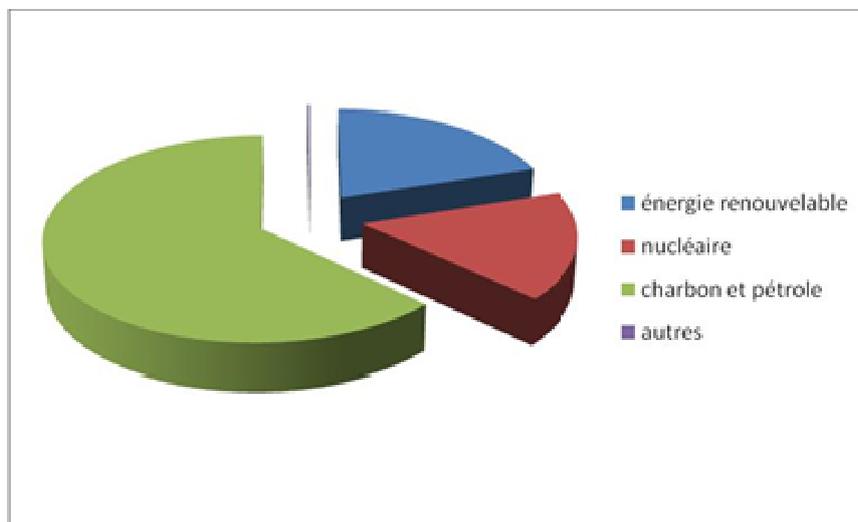


Figure 1.2 : la part de l'énergie renouvelable dans la production mondiale [4]

I .3 le soleil

Notre soleil est une immense boule de gaz composée à 70% d'hydrogène et 28% d'hélium, et les 2% restants représentent la plupart des autres atomes présents dans l'univers. Il ne faut plus oublier que les étoiles sont des usines qui produisent toute la matière de l'univers à partir d'hydrogène. Plus de 60 éléments chimiques ont été identifiés, tels que OH (radical hydroxyle), CH (radical méthyle) et titane, plomb, mercure, chlore, silicium, cuivre, calcium, indium, antimoine, zirconium, rhodium, etc. Par exemple, la découverte de 9 atomes d'or dans 9 trillions d'or d'hydrogène, soit 100 milliards de tonnes d'or (1,1016 tonnes) est insignifiante. En plus des atomes, l'analyse du spectre solaire permet également la découverte de molécules complexes. [5]

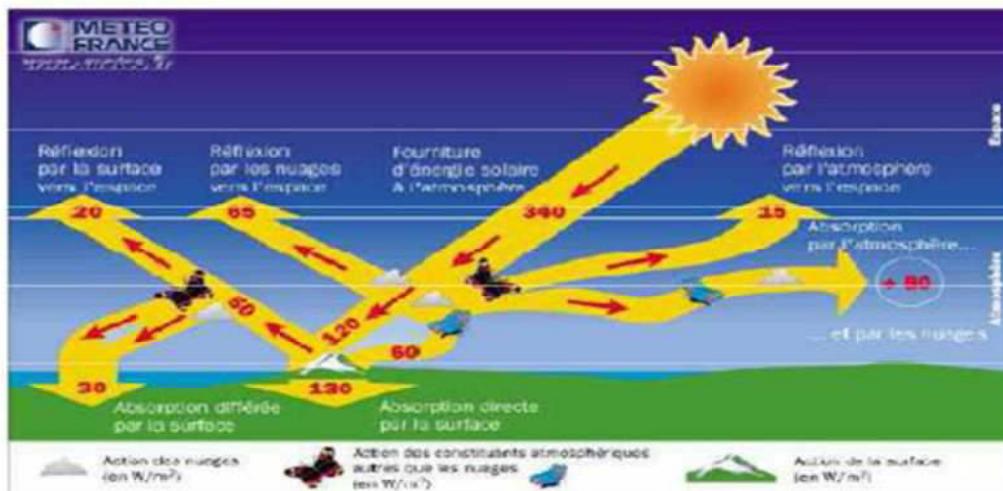
Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau I.1.

Tableau I.1 : Caractéristiques principales du soleil [6].

Diamètre (km)	1392000
Masse (kg)	2.10^{30}
Surface (km²)	$6.09.10^{12}$
Volume (km³)	$1.41.10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m³)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2.5.10^{17}$

I .4 Rayonnement solaire

Sur terre, le rayonnement solaire est reçu par intermittence. Les couches et les nuages qui composent l'atmosphère bloquent les rayons du soleil. De plus, en fonction de l'emplacement considéré, la géométrie pseudo-sphérique de notre planète entraînera des différences de lumière solaire. Son mouvement est à l'origine des phénomènes diurnes et nocturnes, réduisant de moitié le flux solaire perçu. [7]

**Figure I.4 : Rayonnement solaire transmis à la terre.**

I.4.1 Géométrie solaire

L'énergie solaire que reçoit une surface hors atmosphère est régie uniquement par des lois astronomiques et géométriques. Ces dernières faisant intervenir la latitude du lieu, la déclinaison solaire, l'heure du jour et l'orientation de la surface réceptrice. La position du soleil dépend du temps solaire et du jour de l'année. Elle est exprimée par différents angles. [8]

I .4.2 Les types de rayonnement solaire

I .4.2.1 Le rayonnement direct

C'est le rayonnement reçu directement du soleil. Il peut être mesuré à travers un pyromètre. [9]

I .4.2.2 Le rayonnement diffus

C'est le rayonnement provenant de toute la voûte céleste. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages. Il peut être mesuré par un pyromètre avec écran masquant le soleil. [9]

I .4.2.3 Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol

Le rayonnement est-il réfléchi par le sol ou par des objets sur sa surface. Lorsque le sol est fertile, l'albédo peut être important particulièrement réfléchissant (eau, neige). [9]

I .4.2.4 Le rayonnement global

Le rayonnement global peut être divisé en rayonnement direct, rayonnement diffusé et rayonnement réfléchi par le sol. La figure ci-dessous est un diagramme schématique de tous les rayonnements solaires reçus sur le sol. [10]

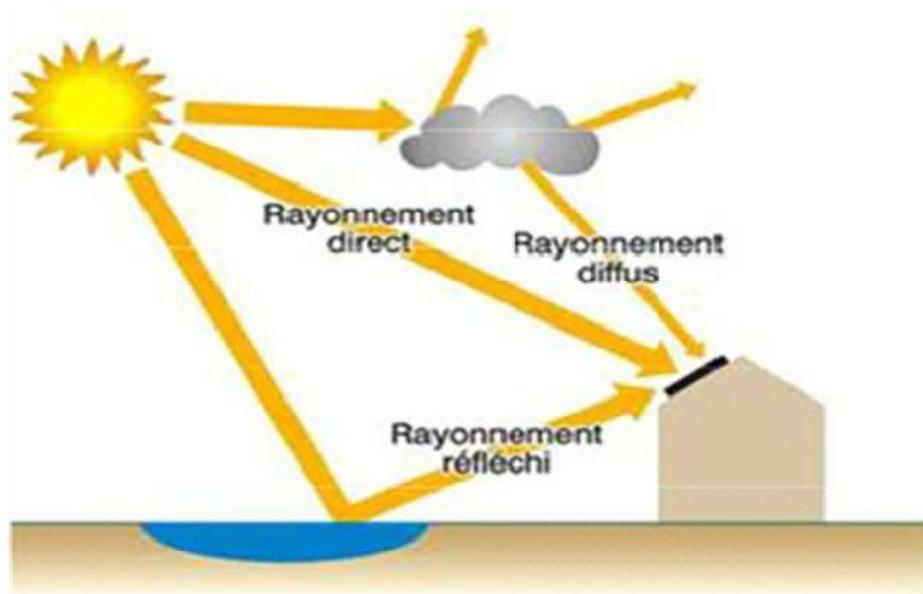


Figure I.5 : Les différentes composantes du rayonnement

I.5 Gisement solaire

I .5.1 Le gisement solaire en Algérie

L'étude du gisement solaire est le début de toute recherche dans le domaine de l'énergie solaire. Le gisement solaire est un ensemble de données qui décrivent l'évolution du rayonnement solaire disponible à un endroit donné et au cours d'une période de temps donnée. Il peut être évalué à partir des données globales de rayonnement solaire. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement éventuel du système solaire, donc dans le cas de la satisfaction de la demande d'énergie, son ajustement de taille est effectué le plus précisément possible. En raison de sa situation géographique, l'Algérie possède l'une des plus hautes fermes solaires au monde. Le temps d'ensoleillement moyen national dépasse 2 000 heures par an. Dans le plateau et le désert du Sahara, cette valeur peut facilement atteindre 3 900 heures. Par conséquent, l'énergie moyenne reçue sur une surface inclinée à la latitude par jour est d'environ 7 kWh / m² / jour. [11]

Elle est répartie comme suit :

- Au Nord : 5,6 kWh/m²/jour
- Au Sud : 7,2 kWh/m²/jour

La figure (I.4) montre l'irradiation globale moyenne annuelle reçue sur plan incliné à la latitude du lieu.

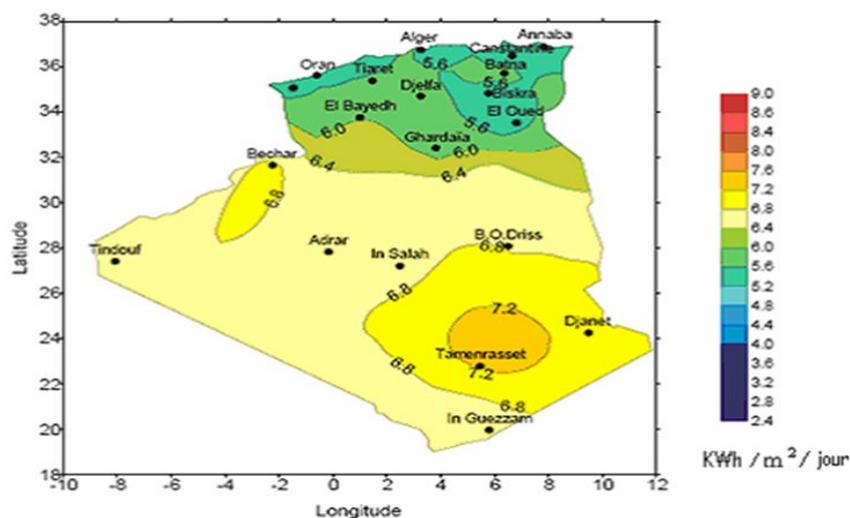


Figure I.6 : Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné à la latitude du lieu (moyenne annuelle).

I .5.2 Spécification de site de Naama

Pour le site de Naama, les spécifications sont données par les grandeurs météorologiques suivantes :

Tableau I.1 : Spécification du site de Naama. [12]

Latitude	33.5332005
Longitude	-0.2858620
Altitude	1145 m
Distance approximative à la surface	8 m
Rayonnement solaire journalier	4,42KW

I.6 L'énergie solaire

I.6.1 Energie solaire photovoltaïque

Dans cette section on va présenter le principe de transformation de l'énergie solaire en électricité.

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe de la photo-énergie contenue dans le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en énergie électrique. Pour cela, il utilise des modules photovoltaïques composés de batteries ou de cellules solaires constituées de matériaux sensibles aux longueurs d'onde visibles qui effectuent cette conversion d'énergie.

La combinaison de plusieurs cellules photovoltaïques série / parallèle produit un générateur photovoltaïque (GPV), qui a une caractéristique courant-tension de repos non linéaire $I(V)$ et présente un point de puissance maximale (PPM), qui dépend du niveau. L'éclairement et la température de la batterie et le vieillissement des composants. [13]

I.6.2 Evolution de l'utilisation de l'énergie solaire

Au cours des dix dernières années, la production d'électricité solaire photovoltaïque a exploité son énorme potentiel. La capacité installée du photovoltaïque a augmenté rapidement. Actuellement, la capacité photovoltaïque mondiale installée est d'environ 227 GW. (Figure I.7) montre la puissance photovoltaïque installée cumulée.

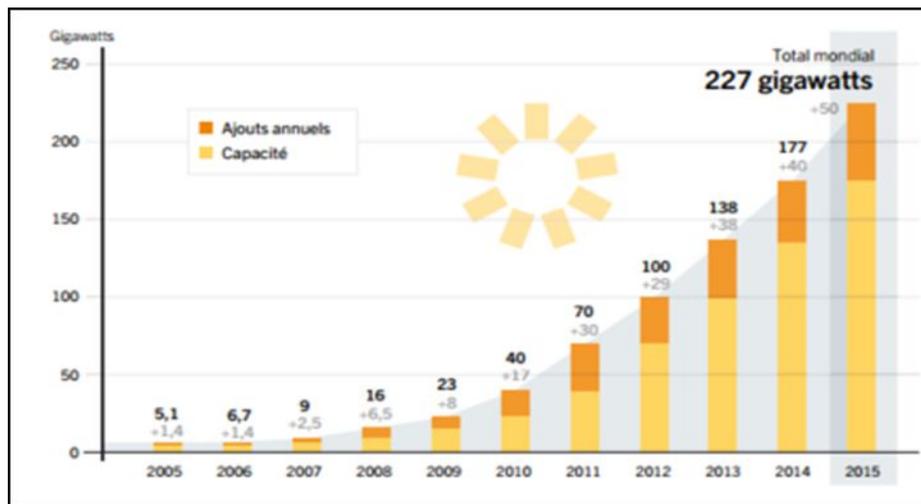


Figure I.7 : Capacité et ajout mondiaux d'énergie solaire photovoltaïque, 2005-2015[14]

I.6.3L'effet photovoltaïque

Le scientifique français Edmond Becquerel a été le premier à découvrir l'effet photoélectrique. Il a découvert que certains matériaux produisent une petite quantité de courant électrique sous l'action de la lumière. Plus tard, en étudiant l'effet photoélectrique, Albert Einstein a découvert que la lumière n'est pas seulement ondulée, mais que l'énergie est transportée par des particules et des photons.

La lumière est une cellule photovoltaïque, qui est composée d'un semi-conducteur dopé avec P2. Ce type de matériau semi-conducteur dopé N3 fait une jonction PN (voir Figure I.8). L'énergie générée par l'absorption des photons dans le matériau est convertie en génération de paires électron-trou par l'électricité. Cette réaction provoque une différence de répartition des charges, qui se traduit par une différence de potentiel électrique, qui est l'effet photovoltaïque. [15]

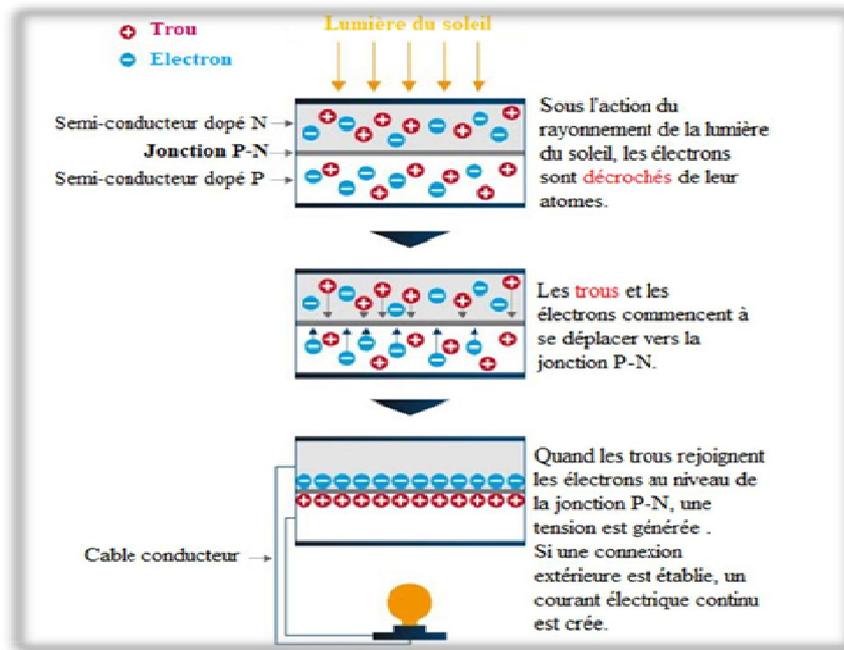


Figure I.8 : Schéma de principe de l'effet photovoltaïque[16].

I .6.4 Fonctionnement de la cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont des dispositifs qui convertissent l'énergie solaire en énergie électrique. Cette conversion est basée sur les trois mécanismes suivants :

Le matériau constituant le dispositif absorbe les photons (l'énergie est supérieure à l'intervalle) ;

Convertir l'énergie photonique en énergie électrique, qui est le processus de création de paires électron / trou dans les matériaux semi-conducteurs ;

Collecte de particules générées dans l'équipement.

Par conséquent, les matériaux constituant la cellule photovoltaïque doivent avoir deux niveaux d'énergie et doivent avoir une conductivité suffisante pour permettre au courant de circuler, les semi-conducteurs présentent donc un intérêt pour l'industrie photovoltaïque.

Afin de collecter les particules générées, un champ électrique est nécessaire pour dissocier le pair électron / trou générées. Pour cette raison, la jonction PN est le plus souvent utilisée. D'autres structures peuvent également être utilisées, telles que l'hétérojonction et Schottky. [17]

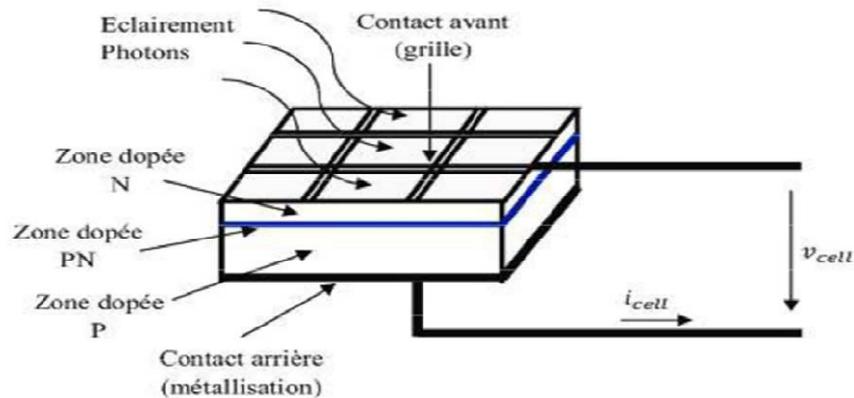


Figure I.8: principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Les photons incidents génèrent des porteurs dans les zones N et P et la zone de charge d'espace. Le comportement du support d'image varie d'une région à l'autre :

Dans la zone N ou P, les porteurs minoritaires qui atteignent la région de charge d'espace sont « envoyés » par le champ électrique dans la région P (pour les trous) ou la région N (pour les électrons), où ils seront majoritaires. . Nous aurons des photos diffusées en cours.

Dans la zone de charge d'espace, le pair électron / trou générées par les photons incidents sont dissociées par le champ électrique : les électrons circuleront vers la région N et les trous vers la région P. [17]

I.6.5 Description d'un système photovoltaïque

Bien que fondamental dans la chaîne que représente un système, le module photovoltaïque à lui seul ne peut pas grand-chose : pour répondre à un besoin défini, il faut en fait l'associer étroitement à un système complet correspondant à une application bien spécifique [18]

Un système photovoltaïque sera donc constitué du générateur précédemment décrit, généralement associé à l'un ou plusieurs des éléments suivants :

- un système d'orientation ou de suivi (rencontré assez rarement sous nos latitudes),
- une gestion électronique (stockage, mise en forme du courant, transfert de l'énergie),
- un stockage palliant la nature aléatoire de la source solaire,
- un convertisseur DC/AC
- une charge en courant continu basse tension ou en courant alternatif standard

La Figure I.9 représente symboliquement un organigramme des divers éléments du système le plus général. Dans la pratique, bien sûr, les systèmes utilisent les éléments appropriés au type de charge et aux conditions locales.

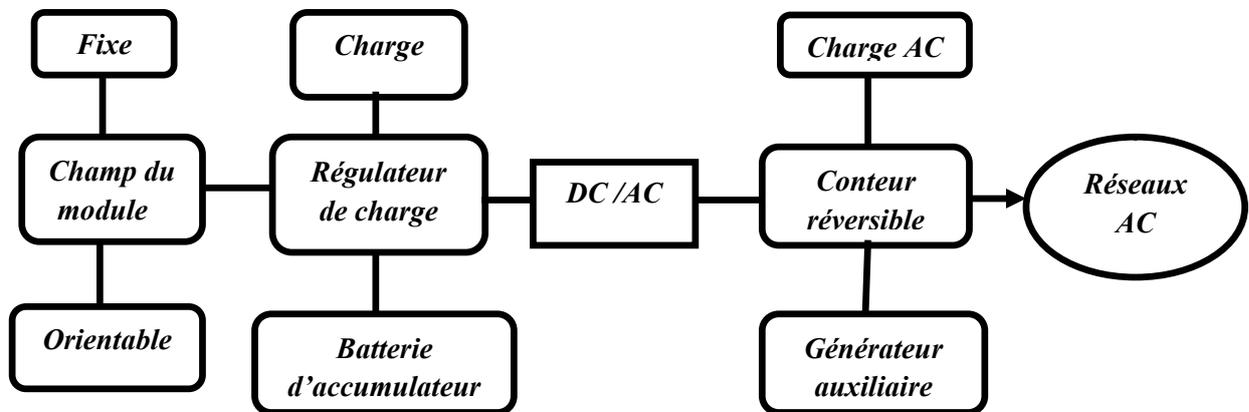


Figure 1.9 : Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque le plus générale

[18]

Les systèmes PV les plus couramment utilisés sont de trois types :

1. Les systèmes PV avec stockage électrique (batterie d'accumulateurs électrochimiques). Ceux-ci alimentent des appareils d'utilisation :
 - soit directement en courant continu
 - soit en courant alternatif par l'intermédiaire d'un convertisseur continu - alternatif (onduleur)
2. Les systèmes à couplage direct sans batterie (fonctionnement dit aussi "au fil du soleil"). Les appareils d'utilisation sont branchés soit directement sur le générateur solaire, soit, éventuellement, par l'intermédiaire d'un convertisseur continu - continu (adaptateur d'impédance).
3. Les systèmes connectés au réseau local par l'intermédiaire d'un onduleur piloté à la fréquence du réseau, le réseau servant de stockage
 Pour les systèmes sans batterie, il y a possibilité d'avoir recours à une forme de stockage qui ne soit pas de nature électrochimique.

I .7 Les différents types des systèmes photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques peuvent être réalisés en trois types selon les besoins : autonomes, connectés au réseau et hybrides.

I.7.1 Systèmes autonomes

Lorsqu'un appareil photovoltaïque n'est pas connecté au réseau de distribution, il est dit autonome ou isolé. Le système photovoltaïque indépendant permet de fournir de l'électricité aux endroits où il n'y a pas de réseau. Par conséquent, l'énergie générée sera utilisée immédiatement (pompage, éclairage, etc.) ou stockée dans la batterie pour une utilisation ultérieure.

Pour ces applications, en raison de limitations techniques ou pour des raisons économiques, il n'est pas toujours possible de mettre en place un réseau d'alimentation électrique traditionnel.

Les performances d'un système indépendant dépendent principalement de l'état de la batterie, qui est l'élément de base de ce type de système. [7]

I.7.2 Systèmes hybrides

Les systèmes hybrides tirent une partie de leur énergie d'une ou plusieurs autres sources, également indépendantes du réseau de distribution. En fait, les générateurs photovoltaïques sont combinés avec des éoliennes ou des générateurs. Carburant ou carburant avec accumulateur d'énergie en même temps. Ce type de système est un bon choix pour les applications qui doivent fournir en permanence une puissance assez élevée.

Les systèmes photovoltaïques hybrides peuvent optimiser l'utilisation combinée de multiples énergies renouvelables et / ou fossiles et des méthodes de stockage associées. [7]

I.7.3 Système PV raccordée au réseau

Les équipements photovoltaïques peuvent être connectés en parallèle avec le réseau. Les panneaux solaires sont connectés en série pour former une "chaîne", elle-même connectée à l'onduleur.

La tâche de l'onduleur est de convertir le courant continu du panneau en courant alternatif. Chaque onduleur est sélectionné en fonction de la puissance du panneau et peut accueillir une ou plusieurs chaînes.

Si la consommation locale est supérieure à la puissance des équipements photovoltaïques, le réseau assurera la sauvegarde. Sinon, l'énergie sera fournie au réseau public et utilisée pour alimenter les consommateurs.

Dans le système connecté au réseau, l'onduleur remplace la batterie. Dans ce cas, l'onduleur est l'élément de base de ces types de systèmes. [7]

I.8 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

I.8.1 Les avantages

- L'énergie photovoltaïque peut être installée partout, même en ville.
- L'énergie photovoltaïque est renouvelable et gratuite.
- Sur les sites isolés, l'énergie photovoltaïque offre une solution pratique pour obtenir de l'électricité à moindre coût.
- Les systèmes photovoltaïques sont fiables : aucune pièce employée n'est en mouvement. Les matériaux utilisés (silicium, verre, aluminium) résistent aux conditions météorologiques extrêmes.
- L'énergie photovoltaïque est totalement modulable et peut donc répondre à un large éventail de besoins. La taille des installations peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de son propriétaire. [19]

I.8.2 les inconvénients

- Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques est élevé.
- Le rendement électrique diminue avec le temps (20% de moins au bout de 20 ans).
- Les panneaux contiennent des produits toxiques et la filière de recyclage n'est pas encore existante.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique par des batteries est nécessaire, le coût du système photovoltaïque augmente.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible. [19]

I.9 conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté des notions sur le gisement solaire en Algérie et en particulier (le site de Naama), le rayonnement solaire, leurs différents types et leur application dans le domaine photovoltaïque, le type des cellules photovoltaïques et leurs caractéristiques.

A la fin on a cité les différents systèmes PV et quelque avantages et inconvénient de ce dernier.

Le chapitre suivant est réservé à la présentation des différentes commandes de MPPT (Maximum Power Point Tracking).

CHAPITRE II

Poursuite du point de puissance
maximale

II.1 Introduction

Il existe des lois de commande spécifiques pour faire fonctionner l'équipement au maximum de ses caractéristiques, sans connaître ces points à l'avance, sans savoir quand ils sont modifiés ou sans savoir ce qui est la raison de ce changement. En termes d'énergie, cela se traduit par le point de puissance maximale. Dans ce chapitre, nous présentons quelques techniques des commandes MPPT.

II.2 Principe de la commande MPPT

La figure (II-1) donne le schéma fonctionnel d'un système de conversion d'énergie. Le système se compose d'un panneau PV, d'un convertisseur DC-DC, d'une commande de poursuite du point de puissance maximale et d'une batterie. La commande MPPT agit sur le rapport cyclique d'une manière automatique.

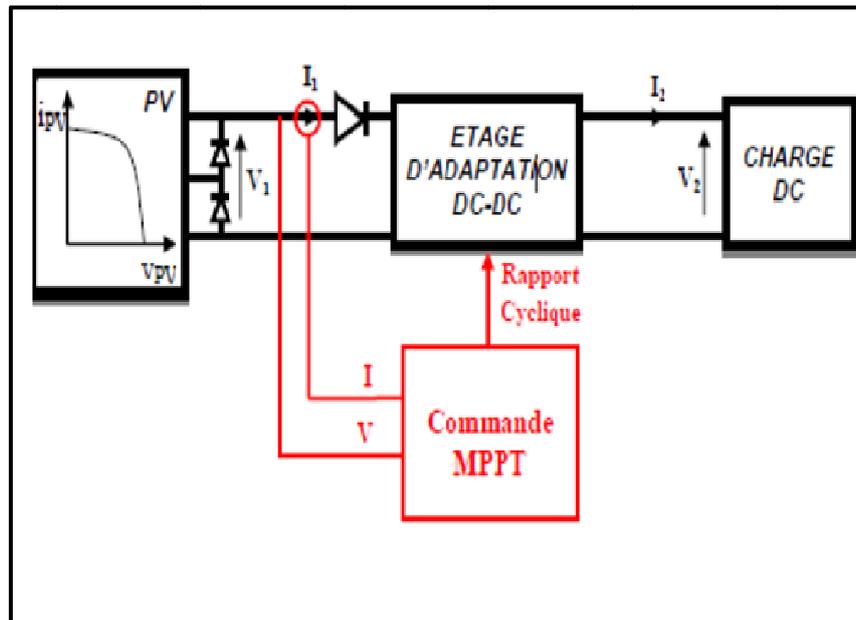


Figure II.1 : schéma de principe du convertisseur MPPT

On compte actuellement un nombre important de technique de commande MPPT, commençant par des techniques simple comme les contrôleurs MPPT basée sur le courant de court-circuit et de la tension en circuit-ouvert, aux contrôleurs plus performants utilisant un algorithme pour atteindre le MPP. [20]

II.3 Classification des commandes MPPT

Nous pouvons classer d'une manière générale les commandes MPPT selon le type d'implémentation électronique : analogique, numérique ou mixte. Il est cependant plus

intéressant de les classer selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande MPPT. [21]

II.3.1 Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée

II.3.1.1 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du convertisseur

Il existe de nombreuses commandes MPPT pour rechercher PPM en fonction de l'évolution de la puissance fournie par GPV. Comme la méthode Perturbe & Observe, l'algorithme d'incrément de conductance utilise la valeur de puissance fournie par le GPV pour appliquer les actions de contrôle appropriées pour surveiller PPM ou Ces commandes sont basées sur la relation proportionnelle entre les meilleurs paramètres qui caractérisent le point de puissance maximale (VOPT et IOPT) et les paramètres caractéristiques du module PV (VOC et ICC), notamment MPPT inspiré des réseaux de neurones. Dans ces séquences, utilisez soit un grand système de stockage informatique qui stocke toutes les situations possibles, soit la séquence est plus similaire. Toutes ces commandes ont les avantages de la précision et de la rapidité de réponse. [21]

II.3.1.2 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur

Dans la littérature, il existe également des algorithmes basés sur des paramètres de sortie CS. Par exemple, la commande MPPT basée sur le courant de sortie maximum est principalement utilisée lorsque la charge est une batterie. Dans tous les systèmes qui utilisent des paramètres de sortie, P_{max} est approximé Par la sortie du convertisseur. En bref, meilleure est l'étape de conversion, plus cette approximation est efficace. D'un autre côté, en général, tous les systèmes avec un seul capteur sont intrinsèquement imprécis. La plupart de ces systèmes ont été conçus à l'origine pour l'espace. [21]

II.3.2 Classification des commandes MPPT selon le type de recherche

II.3.2.1 MPPT indirect :

De telles commandes MPPT utilisent un lien entre la variable de mesure facilement déterminée (Isc ou Voc) et l'emplacement approximatif du MPP. Il calcule également la commande basée sur l'estimation du point de fonctionnement GPV basée sur le modèle de paramètre prédéfini. Il existe également des commandes pour établir le meilleur suivi de

tension en ne considérant que les changements de température de la batterie donnés par le capteur. L'avantage de ces commandes est qu'elles sont faciles à exécuter.

Au lieu de cela, ils conviennent aux systèmes peu coûteux et imprécis qui doivent fonctionner dans des zones géographiques avec peu de changement climatique. [21 22]

II.3.2.2 MPPT Direct :

Ce type de commande MPPT détermine le meilleur point de fonctionnement (MPP) en fonction du courant, de la tension ou de la puissance mesurés dans le système. Par conséquent, il peut réagir à des changements imprévisibles dans le fonctionnement de GPV. Généralement, ces processus sont basés sur des algorithmes de recherche, avec lesquels la courbe de puissance maximale peut être déterminée sans interrompre le fonctionnement. Pour cette raison, la tension du point de fonctionnement augmentera périodiquement. Si la puissance de sortie est élevée, conservez la direction de recherche à l'étape suivante, sinon elle sera inversée. Ensuite, le point de fonctionnement réel oscille autour du MPP. D'autres algorithmes peuvent conserver ce principe de base pour éviter les malentendus. Ces erreurs peuvent se produire, par exemple, en raison d'une différence de direction de recherche, qui est provoquée par une augmentation de puissance, qui est provoquée par une augmentation rapide du niveau de rayonnement. La détermination de la valeur de puissance du générateur PV est très importante pour trouver le MPP. Il est nécessaire de mesurer la tension et le courant du générateur et le produit de ces deux variables.

D'autres algorithmes se basent sur l'introduction de variations sinusoïdales en petit signal sur la fréquence de découpage du convertisseur pour comparer la composante alternative et la composante continue de la tension du GPV et pour ainsi placer le point de fonctionnement du GPV le plus près possible du MPP. L'avantage de ce type de commandes est leurs précisions et leur rapidité de réaction. [21 22]

II.4 Les principales techniques de poursuite de MPPT

Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du GPV. Une synthèse des principaux modes de recherche du PPM existants dans ce chapitre nous a permis de bien identifier l'existant et les points qu'il restait à améliorer. Ceci a constitué la base théorique pour nos travaux concernant les simulations dans le chapitre suivant.

II.4.1 Approche de la tension constante (CV, Constant Voltage)

La méthode de tension constante également appelée la méthode de circuit ouvert (open circuit voltage) est basée sur la mesure en temps réel de la tension de circuit ouvert VOC et la relation linéaire approximative (II-1) liant cette tension avec la tension de point maximal VMPP du GPV : [23 24]

$$V_{MPP} = K_1 \times V_{OC} \quad (II-1)$$

Où k_1 est une constante de proportionnalité. il est généralement compris entre 0.71 et 0.86. Une fois que k_1 est déterminé, le VMPP peut être calculé à l'aide de l'expression précédant (II-1) avec VOC mesurée périodiquement en ouvrant momentanément le convertisseur de puissance (circuit ouvert). La tension VMPP est alors prise comme tension de référence.

Le principe de cette méthode est basé sur la comparaison entre la tension du panneau photovoltaïque réelle VPV et la tension de référence $V_{REF}(V_{MPP})$. Le signal d'erreur est traité pour rendre $V = V_{REF}$ (Figure II.2)

Cette méthode présente deux avantages : une réponse rapide aux fluctuations et non modifications de l'état d'équilibre (même minimes) [23]. Cependant, ces atouts ne peuvent être cachés leur défaillance est due à la tension du panneau de batterie à la lumière du soleil et écart de température et de tension d'alimentation maximale, la tension de référence doit être corrigé pour différents niveaux d'ensoleillement et de température tout au long de l'année. MPP n'est pas toujours compris entre 71% et 78% de la tension Voc. Et n'oubliez pas la perte puissance disponible lorsque la charge est déconnectée du GPV. [25]

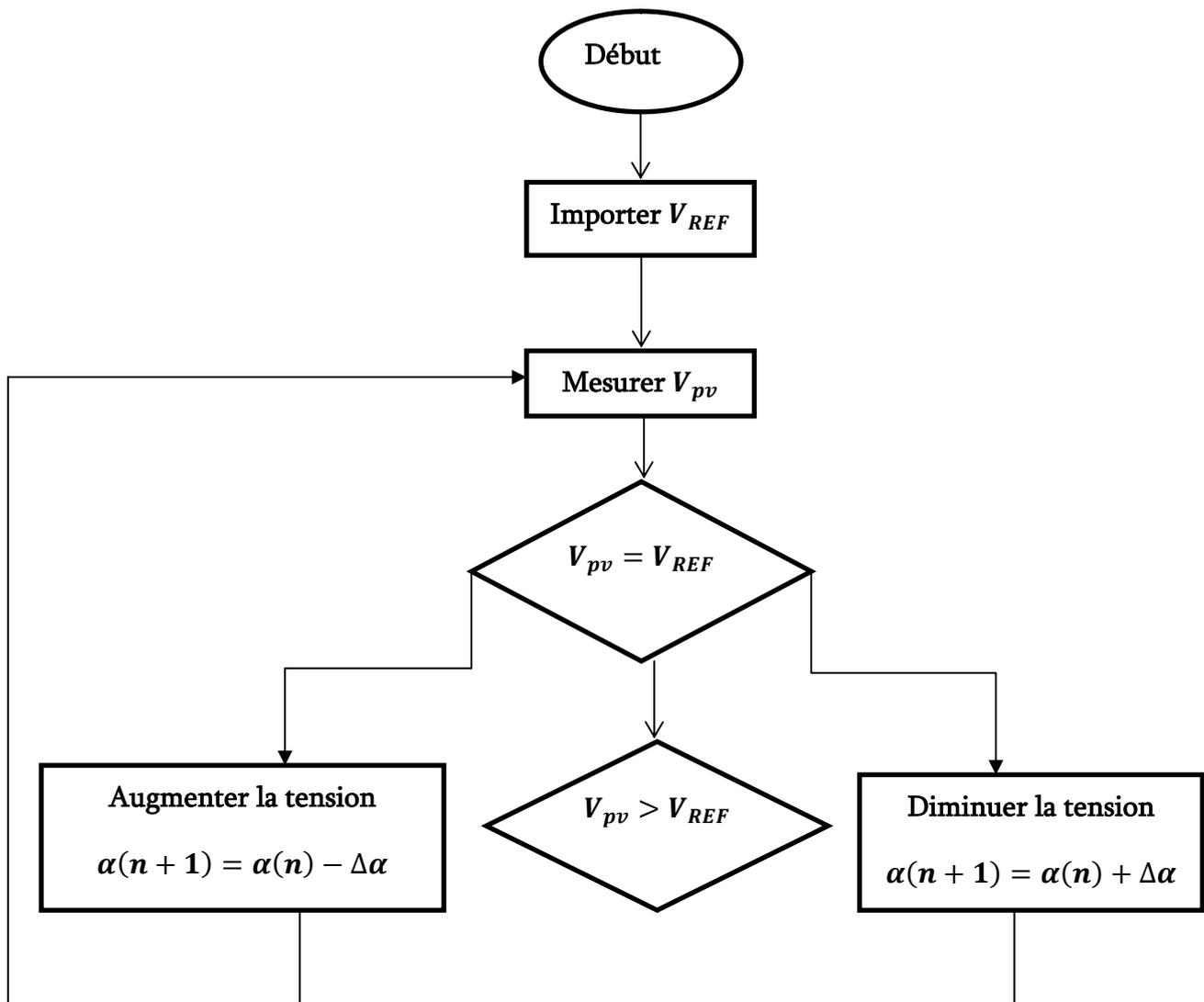


Figure II.2 : Algorithme de la Tension Constante.

II.4.2 Approche du courant constant (Constant Current)

La méthode à courant constant est aussi appelée méthode du court-circuit est basée sur mesure en temps réel du courant de court-circuit I_{cc} et sa relation linéaire Une approximation qui relie ce courant au courant ponctuel maximum I_{MPP} du G_{pv} (II-2) [24] :

$$I_{MPP} = K_2 \times I_{sc} \quad (\text{II-2})$$

Avec K_2 constante de proportionnalité. Comme pour la méthode CV, k_2 est déterminée pour le GPV utilisé. La constante k_2 est généralement comprise entre 0.78 et 0.92 [26]

Il est problématique de mesurer le courant ISC pendant le fonctionnement. Un interrupteur est Habituellement ajouté au convertisseur de puissance pour court-circuiter le panneau et mesurer Utilisez le courant ISC du capteur de courant. Pour cette valeur de courant

constant, calculez la puissance de différentes tensions. Oui c'est le cas la différence entre la puissance calculée et la puissance de crête est supérieure à tolérance, la valeur de tension augmentera ou diminuera, selon puissance gagnée. Pour la tension et le courant MPP correspondants (IMPP), ce processus est répété jusqu'à ce que la différence soit dans la tolérance. [23] Figure II.3

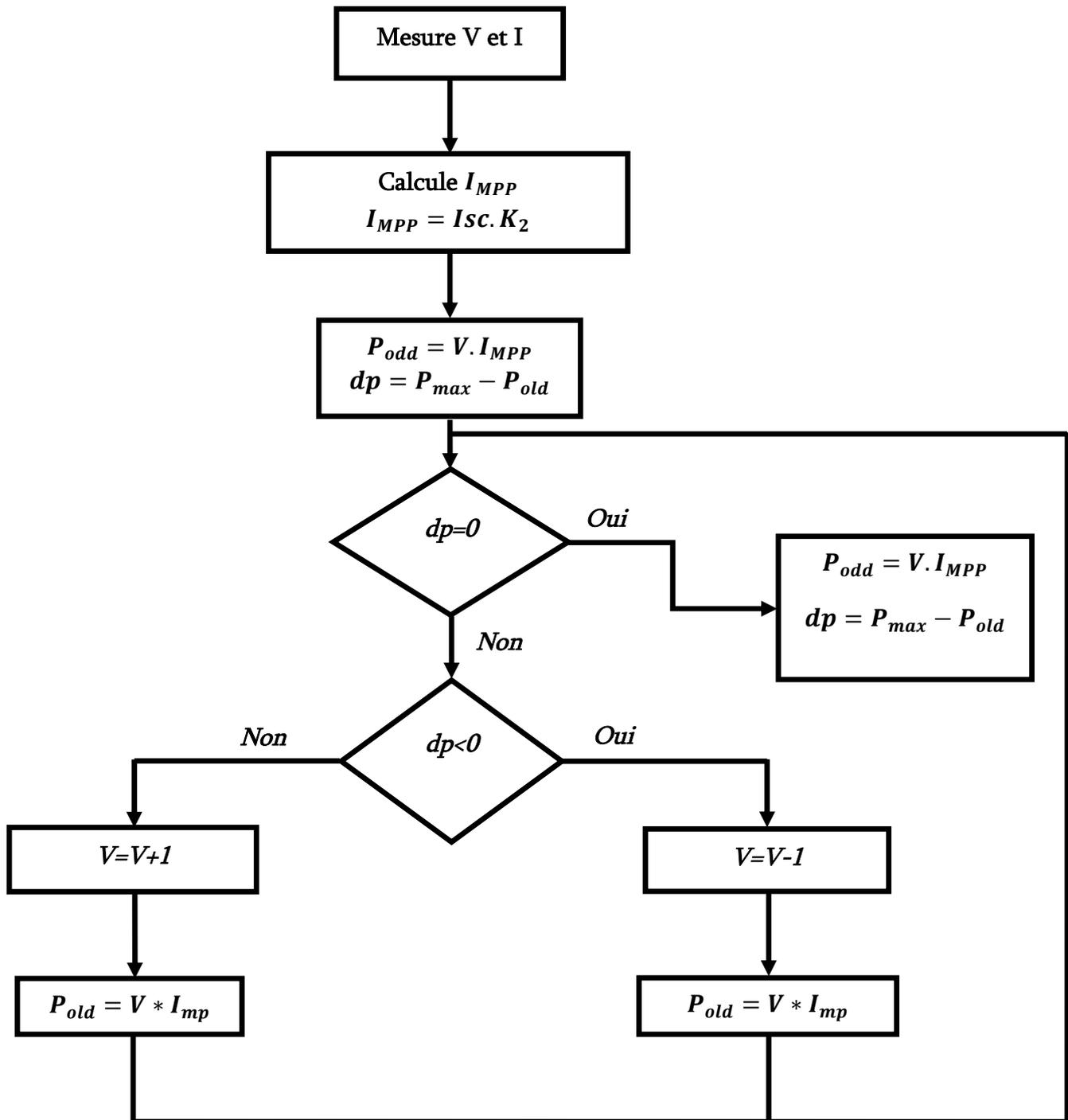


Figure II.3 : Algorithme du constant courant

II.4.3 Perturbation Et Observation (P&O, Perturbe And Observe)

La méthode P&O est généralement la plus utilisée en raison de sa simplicité et sa facilité de réalisation. Comme son nom l'indique, cette méthode repose sur la perturbation (une augmentation ou une diminution) de la tension V_{ref} , ou du courant I_{ref} , et l'observation de la conséquence de cette perturbation sur la puissance mesurée ($P=VI$) [27]. Cependant, la variable idéale qui caractérise le MPP est celle qui varie peu lors d'un changement climatique. La variation du rayonnement affecte davantage le courant que la tension photovoltaïque. Par contre, la variation de la température modifie plus la tension du GPV. Néanmoins, la dynamique de la température est lente et varie sur une plage réduite. Par conséquent, il est préférable de contrôler la tension du GPV [28].

Le principe de commande P&O consiste à provoquer une perturbation de faible valeur sur la tension V_{PV} , ce qui engendre une variation de la puissance [29]. Figure II.4 montre qu'on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{pv} engendre un accroissement de la puissance P_{pv} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $P(V)$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié.

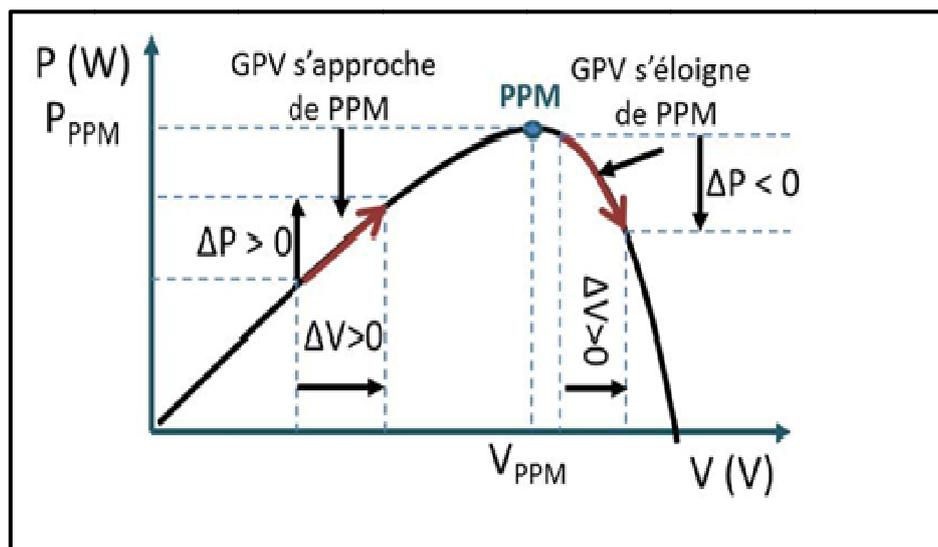


Figure II.4 : Caractéristique de la puissance d'un module photovoltaïque en perturbation & observation $P = f(V)$

L'algorithme P&O fonctionne comme suit :

D'abord on calcule la puissance $P(k)$ et on la compare avec la valeur $P(k-1)$. Ensuite on effectue un test sur le $\Delta V(k)$; s'il est positif par exemple, on est dans le plan gauche de la caractéristique P-V. Ceci veut dire qu'on doit augmenter la tension donc on incrémente le rapport cyclique, et ainsi de suite

La figure II.5 donne l'organigramme de l'algorithme P&O.

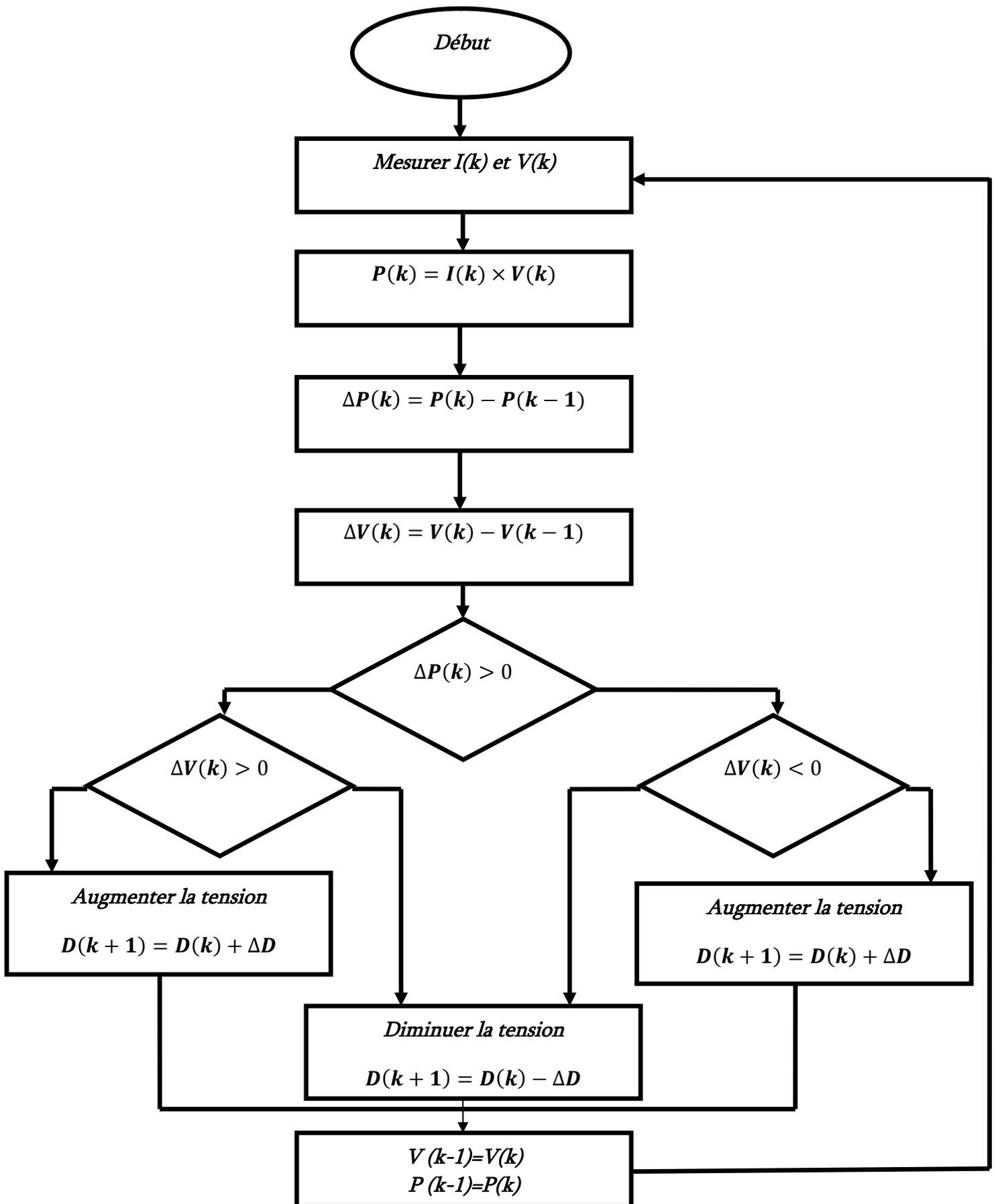


Figure II.5 : l'algorithme de P&O classique

II.4.4 Conductance Incrémentale (IncCond, Incremental Conductance)

Cette méthode repose sur la valeur de l'inductance tirée de la dérivée partielle $\frac{dP}{dV}$ dont l'expression est donnée par :

$$\frac{dP}{dV} = I + V \frac{\partial I}{\partial V} \quad (\text{II.3})$$

$$\frac{dP}{dV} \frac{1}{V} = \frac{I}{V} \frac{\partial I}{\partial V} \quad (\text{II.4})$$

On définit la conductance de la source $G = \frac{I}{V}$ et l'incrémentale conductance $\Delta G = \frac{\partial I}{\partial V}$

Puisque la tension V du panneau est toujours positive, la relation (II.4) explique que le point de puissance maximale MPP est atteint si la conductance G de la source est égale à l'incrémentale conductance ΔG de la source avec un signe moins, et qu'elle est à gauche de ce point lorsque la conductance G est supérieure à l'incrémentale conductance ΔG et vice-versa [30], comme suit :

- $\frac{dP}{dV} > 0$ si $\frac{I}{V} > -\frac{\partial I}{\partial V}$
- $\frac{dP}{dV} = 0$ si $\frac{I}{V} = -\frac{\partial I}{\partial V}$ (II.5)
- $\frac{dP}{dV} < 0$ si $\frac{I}{V} < -\frac{\partial I}{\partial V}$

Pour éviter que la différence dV de la tension du panneau ne devienne nulle, lorsque le MPP est atteint dans les précédents cycles ou par une stabilisation du point de fonctionnement, ce qui conduirait à une division par zéro, l'algorithme fait un test de V . S'il est nul, il teste si le $dI = 0$, si c'est le cas le PPM est atteint et l'algorithme ne fait aucun changement. Dans le cas contraire l'algorithme teste le signe de dI pour déterminer la position du PPM et ajuste la tension de référence correspondante. La figure (II.5) donne l'organigramme de cet algorithme

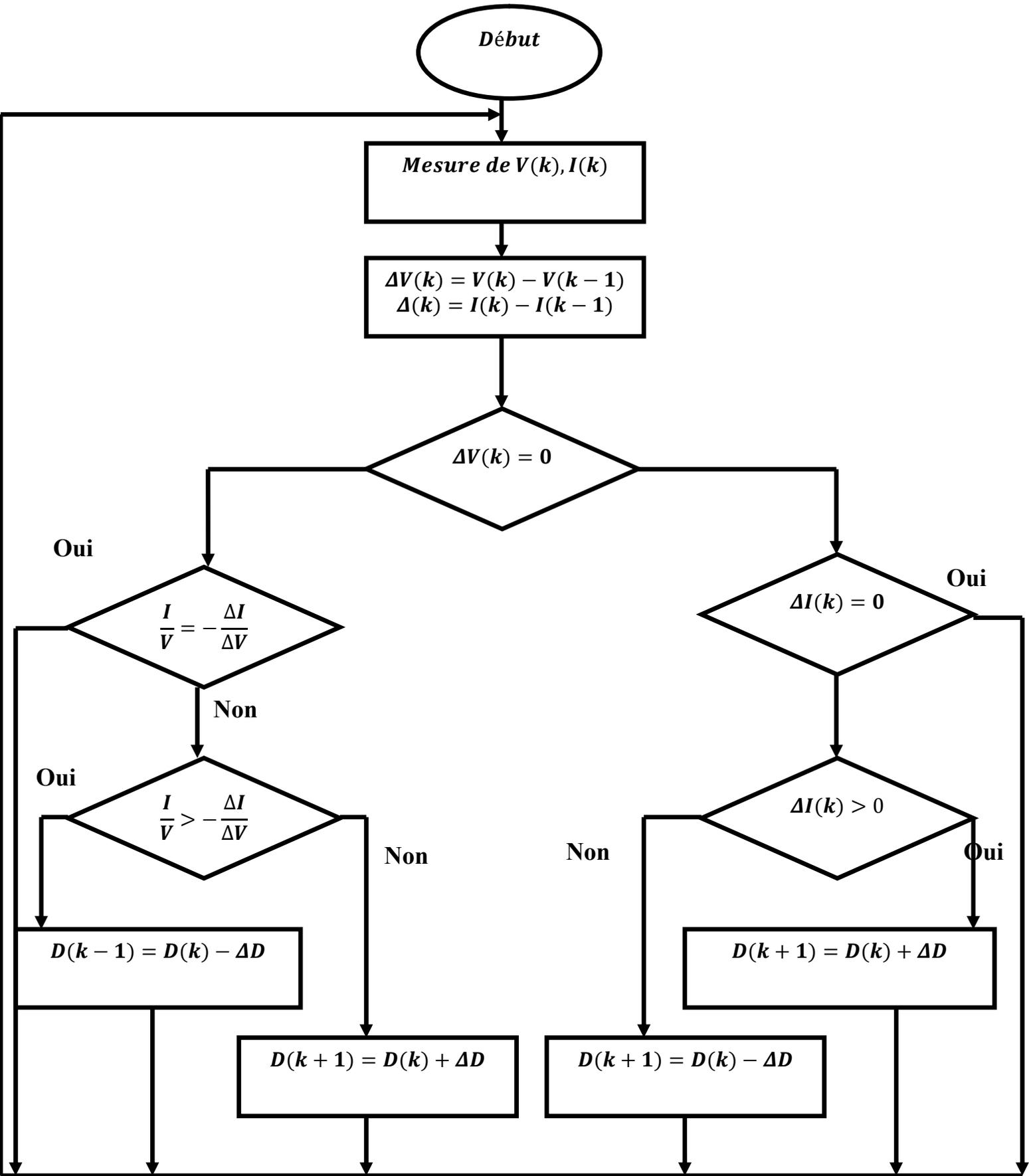


Figure II.5 : Organigramme de l'algorithme incrémentation de conductance.

II.4.5 Optimisation d'essaim de particules (PSO)

En 1995, James Kennedy et Russell Eberhart ont développé l'algorithme d'optimisation d'essaim de particules (Particle swarm optimization (PSO)). Cet algorithme est une technique d'optimisation stochastique inspirée du comportement des animaux tels que les oiseaux [31, 32]. La PSO est une méthode méta-heuristique de recherche globale qui est basée sur l'activité commune et auto-organisationnelle des particules de même groupe [33,34]. Comme le montre la Fig. II.6, cette technique est régie par des règles de déplacement (dans l'espace des solutions), permettant à ces particules de se déplacer progressivement de leurs positions aléatoires pour atteindre une position locale optimale [35]. Le Tableau II.1 donne les paramètres de la PSO, la position de la particule est corrigée en fonction de sa vitesse actualisée (vélocité), la meilleure position personnelle obtenue (P_{Best}) et la meilleure position obtenue au voisinage (G_{Best}). La PSO repose sur les règles, de la mise à jour des positions locales et globale de particules et du groupe, donnée par les équations (II.6, II.7):

$$V_i(t+1) = w * (V_i(t) + c_1 * rand_1 * (P_{Best}(t) - P_i(t)) + c_2 * rand_2 * (G_{Best}(t) - P_i(t))) \quad (II.6)$$

$$P_i(t+1) = P_i(t) + V_i(t+1) \quad (II.7)$$

$$D = PSO(V, I) \quad (II.8)$$

Tableau II.1 : Paramètre de l'algorithme PSO. [36]

	Symboles	Valeur
Nombre d'essaims	Swarm	10
Nombre des itérations	ite-max	20
Poids de l'information locale	c1	0.02
Poids de l'information globale	c2	0.05
Poids de l'inertie	W	0.5
Dimension du problème	Dim	1
Point global de puissance maximale	GMPP	0

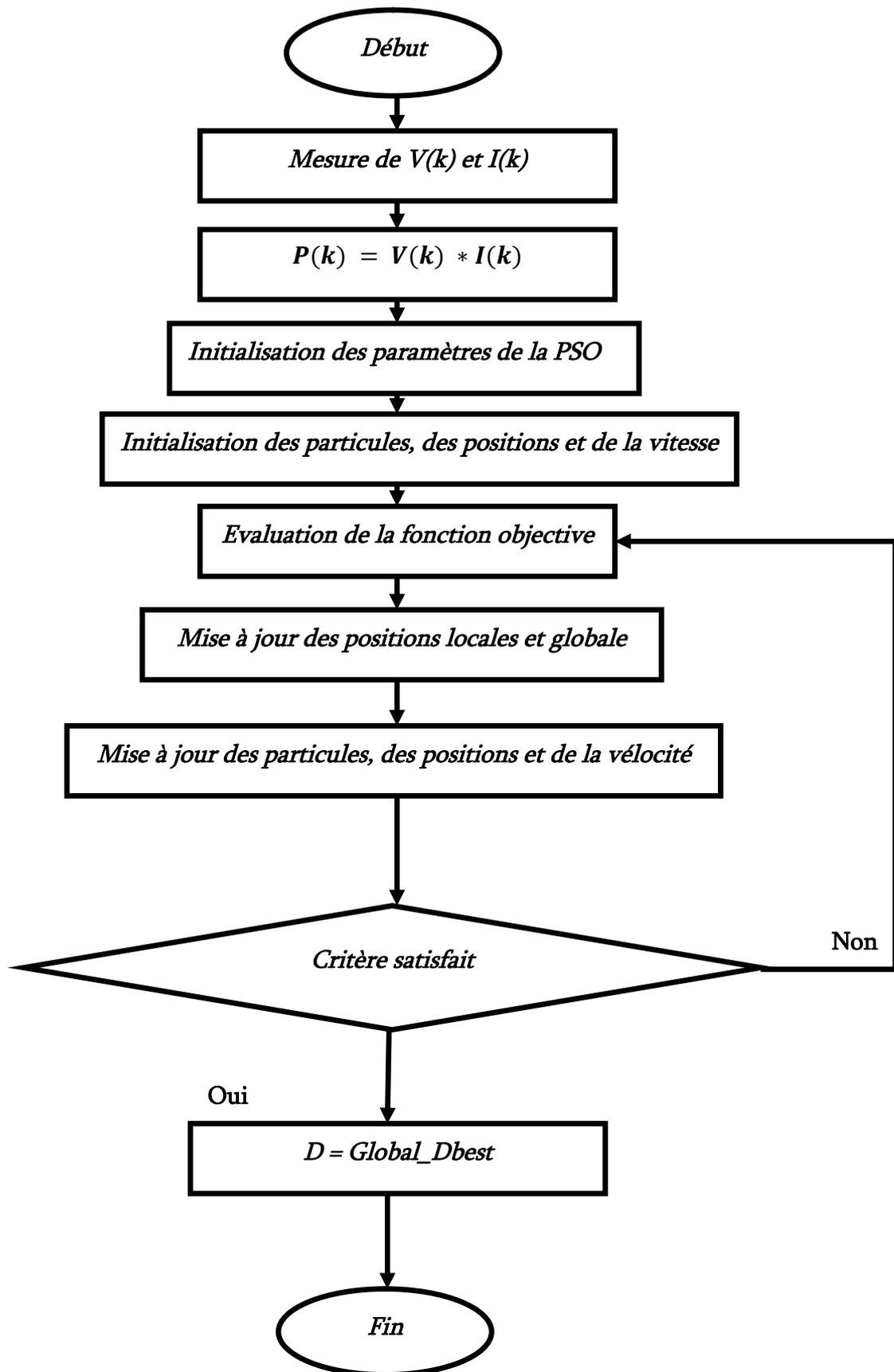


Figure. II.7 : Organigramme de la PSO.[36]

Selon la fig. II.6 L'organigramme PSO consiste à satisfaire l'Equation. (II.8). Cet organigramme repose sur les étapes suivantes : [36]

1. Initialisation des Paramètres de la PSO qui est indiqués dans le Tableau II.1
2. Initialisation des particules, des positions et de la vitesse.
3. L'initialisation des particules revient à attribuer la valeur de zéro aux composantes précédentes et nouvelles des vecteurs P_{PV}

$$PPV_Old = zero(1, swarms) \quad (II.9)$$

$$PPV_New = zero(1, swarms) \quad (II.10)$$

4. L'initialisation des positions revient à attribuer des valeurs aléatoires entre 0 et 1 aux 990 composantes de vecteur de positions qui sont ceux des rapports cycliques :

$$D_Cur = 0.3 * rand(1, swarms) \quad (II.11)$$

5. L'initialisation aléatoire de la vélocité selon l'Equation suivante :

$$Vel = 0.5 * (rand(1, swarms)) * (Vmax - Vin) + Vmin \quad (II.12)$$

6. L'évaluation de la fonction objective dans cet algorithme consiste à comparer la précédente puissance avec la nouvelle puissance (l'Equation suivante) :

$$P_{pv-Old} = P_{PV-New} \quad (II.13)$$

7. Le premier critère d'arrêt à satisfaire repose sur l'Equation. (3.16). Si le GMPP_New est égal au GMPP_Old donc le point de fonctionnement a atteint le GMPP et le rapport cyclique qui lui correspond (D) est égal au meilleur rapport cyclique global (Global_Dbest). La seconde condition pour que l'algorithme PSO s'arrête est d'atteindre le nombre d'étirassions sans satisfaire l'Equation (II.13).

8. La mise à jour des positions et de la vélocité repose sur les Equation. (II.6, II.7).

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons parlé sur le principe de la recherche du point de puissance maximale qui présente une partie très délicate dans notre étude, tout en donnant les différentes classifications des commandes MPPT. Nous avons détaillé les différentes

méthodes MPPT, et surtout la méthode PSO qu'on va développer dans le chapitre prochain.

CHAPITRE III

Simulation et évaluation des résultats

III.1 Introduction :

D'après la partie théorie de notre travail qui contient quelques concepts de base sur le système photovoltaïque, les différentes techniques de MPPT et nous basons sur la technique PSO pour mieux comprendre les résultats de ce travail, nous sommes arrivés à la partie la plus importante de notre mémoire qui est la simulation et l'évolution des résultats.

Ce chapitre va contenir la modélisation des générateurs PV aussi leur simulation sur MATLAB ainsi que la simulation du convertisseur BOOST tout ça pour conclure et étudier la technique MPPT (PSO) et son effet sur la puissance.

III.2 Modélisation et simulation d'un panneau photovoltaïque :

Les cellules solaires sont généralement associées en série et en parallèle, puis encapsulées sous verre pour obtenir un module photovoltaïque. Un générateur PV est constitué de modules interconnectés pour former une unité produisant une puissance continue élevée compatible avec le matériel électrique usuel. Les modules PV sont habituellement branchés en série-parallèle pour augmenter la tension et l'intensité à la sortie du générateur. Les modules interconnectés sont montés sur des supports métalliques et inclinés suivant l'angle désiré en fonction du lieu, cet ensemble est souvent désigné par champ de modules. Par conséquent, les caractéristiques I-V du générateur PV sont basées sur les caractéristiques de la batterie. Le circuit de base est modélisé par le circuit équivalent de la figure 1. Le circuit introduit une source de courant et une diode en parallèle, et compte tenu de ce phénomène, la résistance série R_s et parallèle (parallèle) R_{sh} Dissipatif au niveau cellulaire. [37]

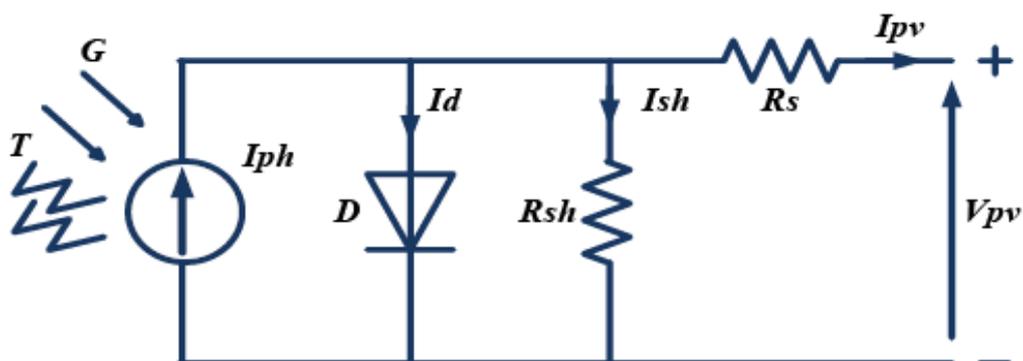


Figure III 1: Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque [38]

L'équation reliant le courant délivré par un module PV constitué par la mise en série de N_s cellules et la tension à ses bornes est donnée par : [39]

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V_{pv} + R_s I_{pv})}{n k T} \right) - 1 \right] - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \quad (\text{III.1})$$

Le générateur PV est simulé après modélisation mathématique suivant un ensemble d'équations : [40]

$$I_{pv} = N_p * I_{ph} - N_p * I_0 \left[\exp \left(\frac{q \left(V_{pv} + \frac{N_s}{N_p} R_s I_{pv} \right)}{N_s n k T} \right) - 1 \right] - \frac{\left(\frac{N_s}{N_p} V_{pv} + R_s * I_{pv} \right)}{R_{sh}} \quad (\text{III.2})$$

Avec :

$$I_{ph} = [I_{scr} + N_i I_0 * T A K - T R K] \frac{G}{1000} \quad (\text{III.3})$$

$$I_{rs} = \frac{I_{scr}}{\exp \left(\frac{q * v_{OC}}{N_s n k t} \right) - 1} \quad (\text{III.4})$$

I_0 : Est le courant de saturation inverse de la diode.

N : Le facteur d'idéalité de la diode

K : est la constante de Boltzmann

Q : C'est la charge de L'électron.

T : La température de celle en KELVEIN

Le modèle de générateur PV est conçu par le logiciel MATLAB / Simulink, illustré a la Figure III.2 :

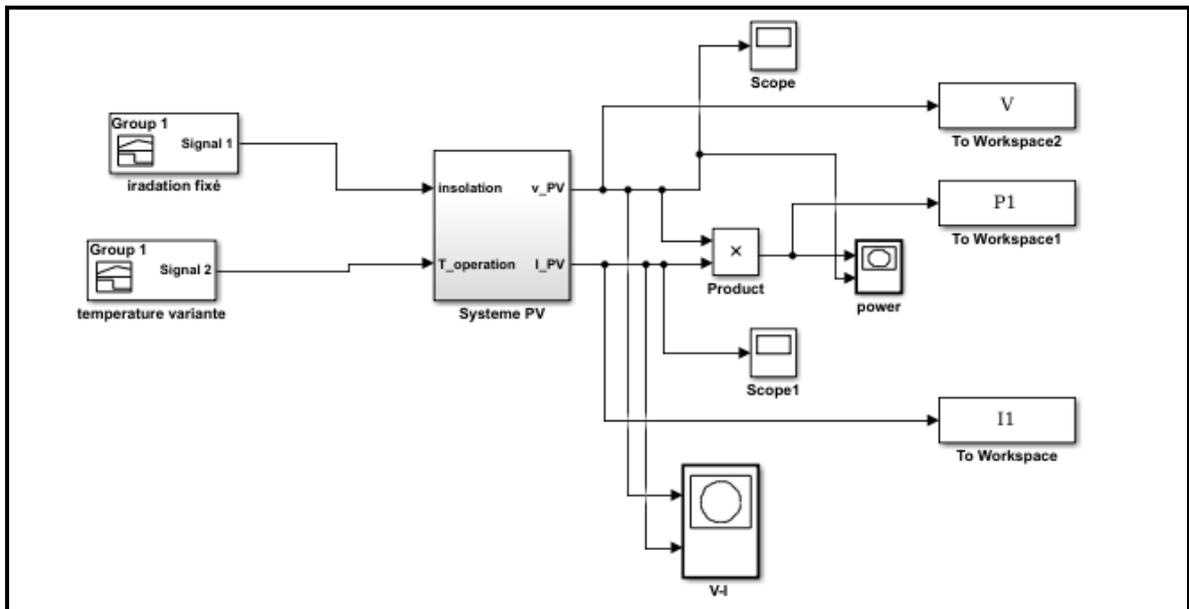


Figure III. 2 : Modèle de générateur PV réalisée dans MATLAB / Simulink.
(Variation de température)

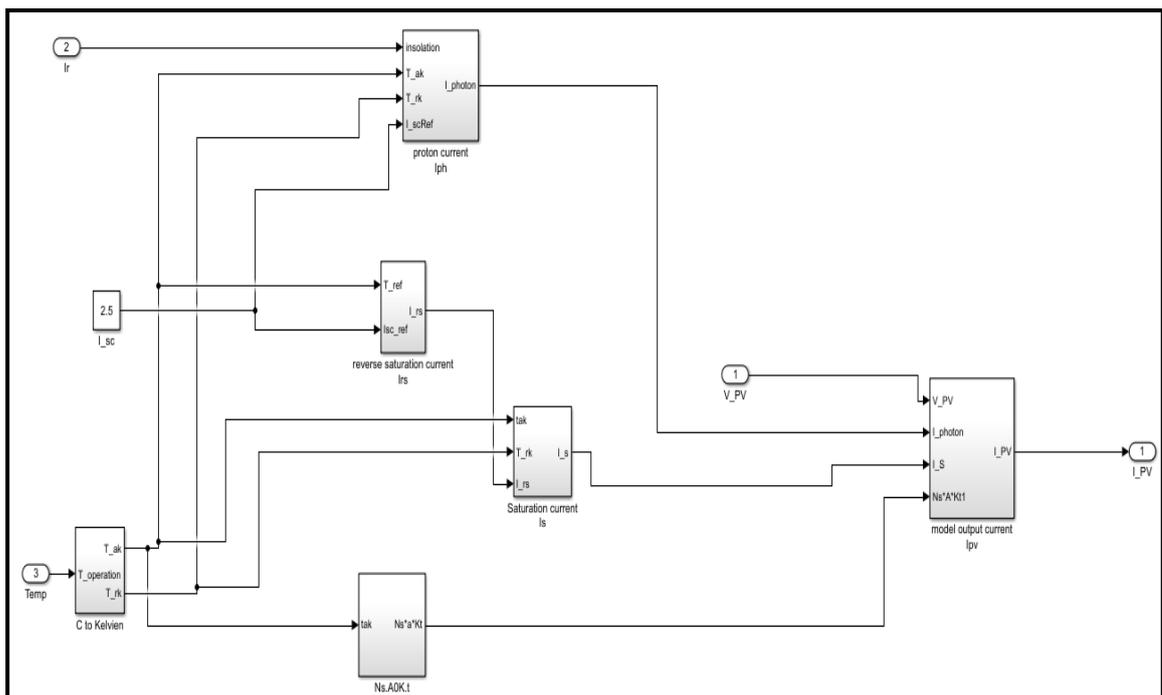


Figure III. 3 : Modèle de générateur PV réalisée dans MATLAB / Simulink.
Subsystem

- 50, 40 et 25 ° C et une irradiation constante de 1000 W / m

Les figures et donnent les caractéristiques électriques I (V) et P (V) d'un générateur PV. Ces courbes ont été tracées à un niveau d'irradiation solaire constant de 1000 W / m² et à une température variante de 25 ° C ,40 et 50 ° C.

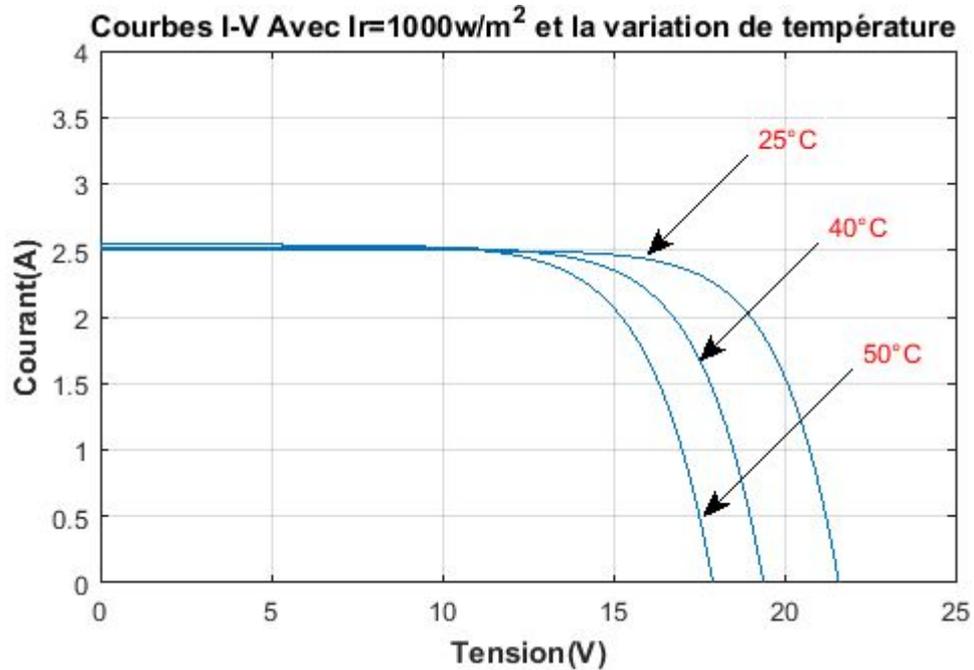


Figure III.4 : Caractéristique PV courant / tension

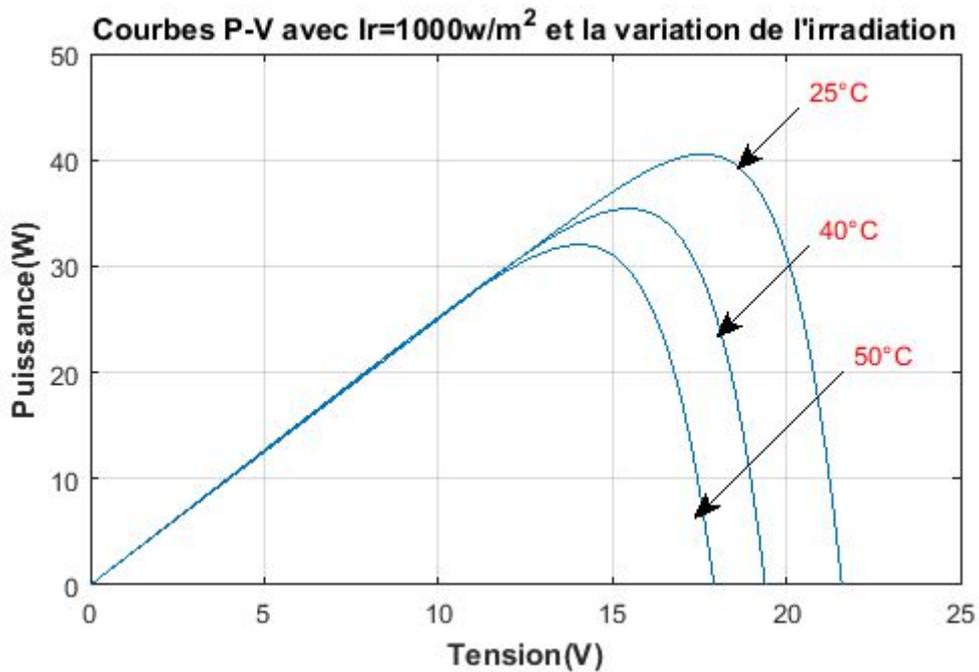


Figure III.5 : Caractéristique PV puissance / tension

Comme une discussion pour ces résultats nous pouvons dire que la température idéale pour une grande puissance et pour un maximal rendement de ce générateur PV est 25° .

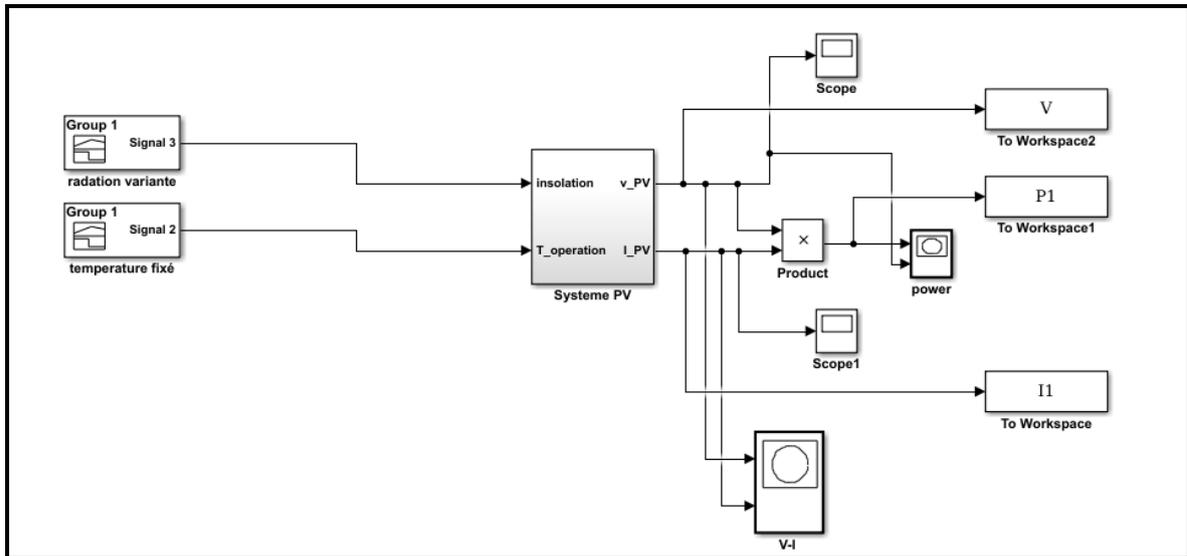


Figure III 6 : Modèle de générateur PV réalisée dans MATLAB / Simulink.
(Variation de l'irradiation)

- **1000, 800 et 600 W / m² et une température constante de 25 ° C :**
Les figures et donnent les caractéristiques électriques I (V) et P (V) d'un générateur PV. Ces courbes ont été tracées à un niveau d'irradiation solaire variante de 600 w/m², 800 w/m² et 1000 W / m² et à une température constante de 25 ° C.

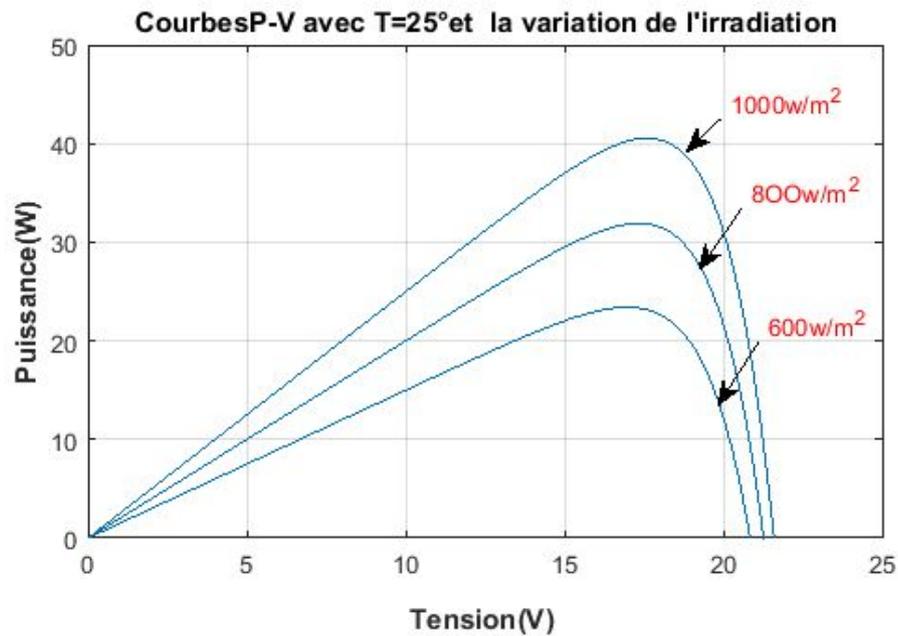


Figure III 7 : Caractéristique PV puissance / tension

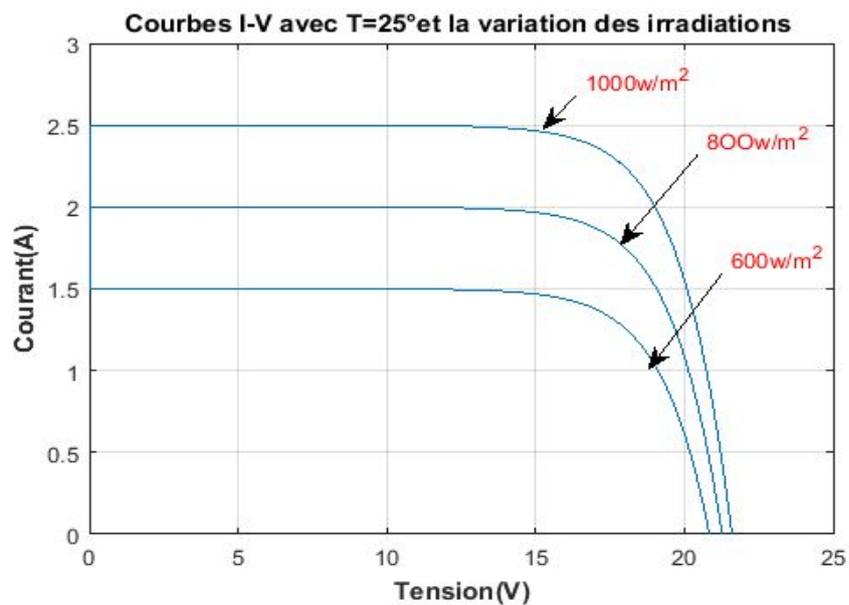


Figure III 8 : Caractéristique PV Courant / tension

D'après les deux expériences en conclu que les meilleures conditions pour une puissance optimale pour ce système photovoltaïque et de température 25°C et 1000w/m2 comme irradiation

III.3 Modélisation d'un hacheur élévateur (Booste, survolteur) :

III.3.1 Définition :

Ce nom est lié au fait que la tension moyenne de sortie V_s est supérieure à celle de l'entrée V_e . Le convertisseur généralement utilisé dans les systèmes PV est le convertisseur élévateur de tension (Booste) [41] il est composé d'une bobine L , une diode D , un condensateur C et d'un interrupteur à semi-conducteur contrôlable K : [42]

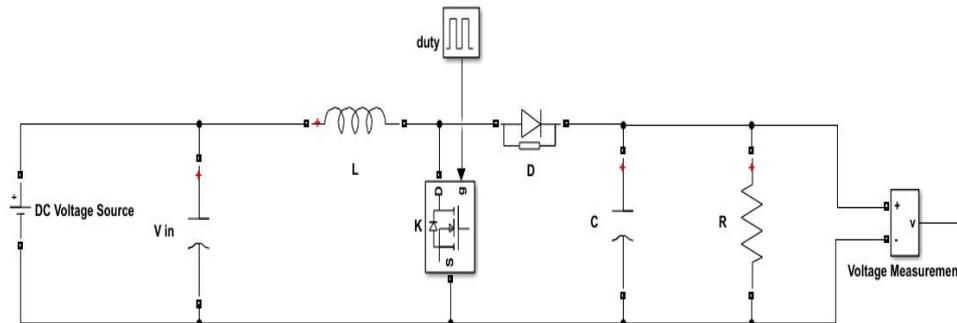


Figure III.9 : Topologie d'un convertisseur DC-DC Booste

III.3.2 principe de fonctionnement :

Nous allons diviser en deux phases distinctes le fonctionnement du hacheur Survolteur selon l'état de l'interrupteur :

- **L'interrupteur K fermé :** Pendant le temps t_{on} l'interrupteur K est fermé le courant traversant la bobine augmente et une énergie est emmagasinée dans la bobine. Le condensateur assure le courant de sortie. [42]

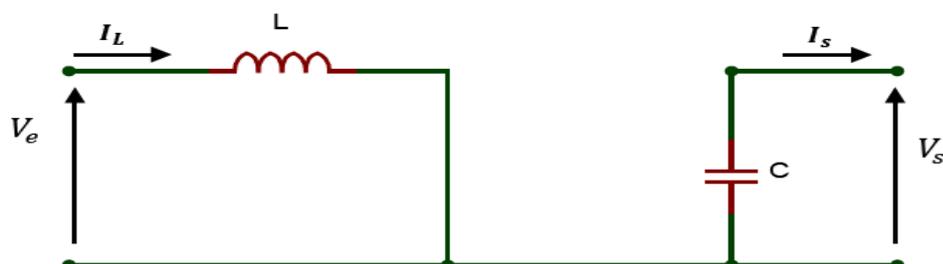


Figure III.10 : Schéma de principe pour K fermé [36]

Les équations qui régissent le fonctionnement du hacheur sur cet intervalle sont : [42]

$$L \frac{dI_L}{dt} = V_e \quad (\text{III.5})$$

$$I_{L-ON} = I_{L-min} + \frac{V_e}{L} t \quad (\text{III.6})$$

A la fin du cycle le courant de la bobine atteint la valeur maximale I_{L-max} donnée par : [42]

$$I_{L-max} = I_{L-min} + \frac{V_e}{L} \times t_{on} \quad (\text{III.7})$$

t_{on} : Le temps de la phase de fermeture [S]

L : L'inductance de la bobine [H]

V_e : La tension d'entrée [V]

I_{L-ON} : Le courant de la bobine pendant la phase de fermeture [A]

I_{L-min} : Le courant de la bobine au début de la phase de fermeture [A]

- **L'interrupteur K ouvert** : L'énergie emmagasinée dans la bobine est transférée vers le condensateur qui se charge, le schéma de principe de cette phase est donné par la Figure III.9 [42]

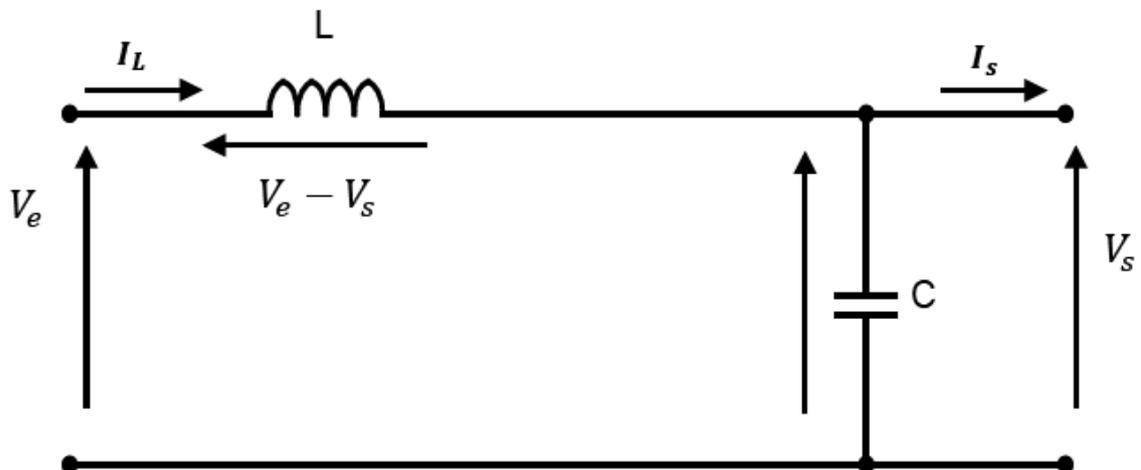


Figure III.11 : Schéma de principe pour K ouvert [42]

Le courant de la bobine est donné par :

$$I_{L\ off} = I_{L\ max} + \frac{V_e - V_s}{L} t \quad (\text{III.9})$$

$$L \frac{dI_L}{dt} = V_e - V_s \quad (\text{III.8})$$

La bobine se décharge ($V_e - V_s < 0$) et à la fin de cette phase (donc la fin de la période), le courant de la bobine reprend sa valeur minimale donnée par :

$$I_{L\ min} = I_{L\ max} + \frac{V_e - V_s}{L} t_{off} \quad (\text{III.10})$$

$I_{L\ off}$: Le courant de la bobine pendant la phase d'ouverture [A]

t_{off} : Le temps de la phase d'ouverture [S]

La période du signal de commande et le rapport cyclique D sont défini par les relations suivantes :

$$T_c = t_{on} + t_{off} \quad (\text{III.11})$$

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (\text{III.12})$$

Les équations et deviennent :

$$I_{L\ max} = I_{L\ min} + \frac{V_e}{L} \times DT_c \quad (\text{III.13})$$

$$I_{L\ max} - I_{L\ min} = + \frac{V_s - V_e}{L} (1 - D)T_c \quad (\text{III.14})$$

Donc on a :

$$V_s = \frac{V_e}{1 - D} \quad (\text{III.15})$$

Si l'on admet que la puissance de sortie est égale à celle de l'entrée (convertisseur sans pertes), le courant de sortie I_s et le courant à l'entrée I_e sont liés par l'équation :

$$I_s = (1 - D)I_e \quad (\text{III.16})$$

La valeur de l'inductance est choisie sur la base du courant d'ondulation de l'inductance estimé à la tension d'entrée maximale, présentée par l'équation :

$$L = \frac{V_s(V_e - V_s)}{\Delta I_L * f_s * V_s} \tag{III.17}$$

Où ΔI_L est le courant d'ondulation de l'inducteur estimé. Pour le mode de conduction continue, l'inductance minimale requise est L_c et calculée comme :

$$C = \frac{D}{R * f_s * \frac{\Delta V_s}{V_s}} \tag{III.18}$$

Où ΔV_s est l'ondulation de tension de sortie souhaitée, pour une ondulation de tension de 1% correspondant à l'équation de tension de sortie devient :

$$C = \frac{D}{R * f_s * 0.01} \tag{III.19}$$

III.4 Simulation d'un convertisseur DC/DC Booste

Ce convertisseur est modélisé par MATLAB / Simulink, étant donné :

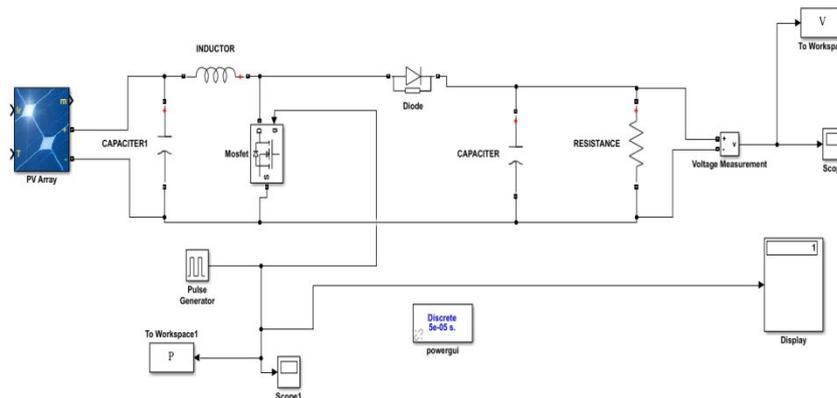


Figure III.12 : modélisation de convertisseur DC/DC Booste dans MATLAB/SUMILINK

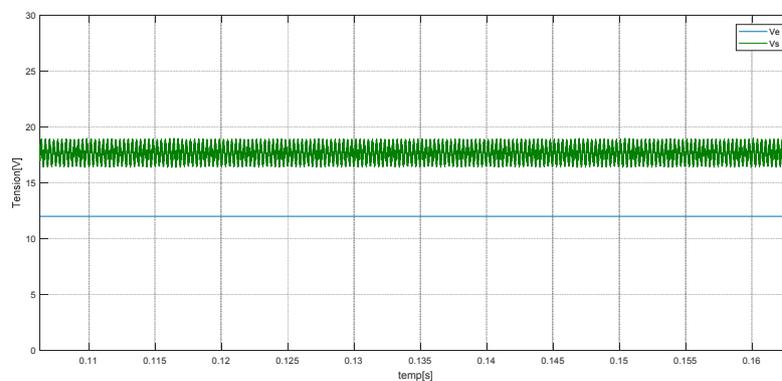


Figure III.13 : Tensions d'entrée et de sortie du convertisseur BOOST

III.5 Simulation de l'algorithme MPPT (PSO)

Cette étude présente une technique de suivi du point de puissance maximale MPPT basée sur la méthode d'optimisation de l'essaim de particules PSO, qui est appliquée à un système photovoltaïque (PV) dans des différentes conditions avec une comparaison des résultats de puissance et de tensions avant et après l'application de la MPPT. Les résultats expérimentaux et de simulation sont présentés pour démontrer l'efficacité de l'algorithme MPPT-PSO proposé.

Nous avons réalisé le modèle de simulation de l'algorithme PSO

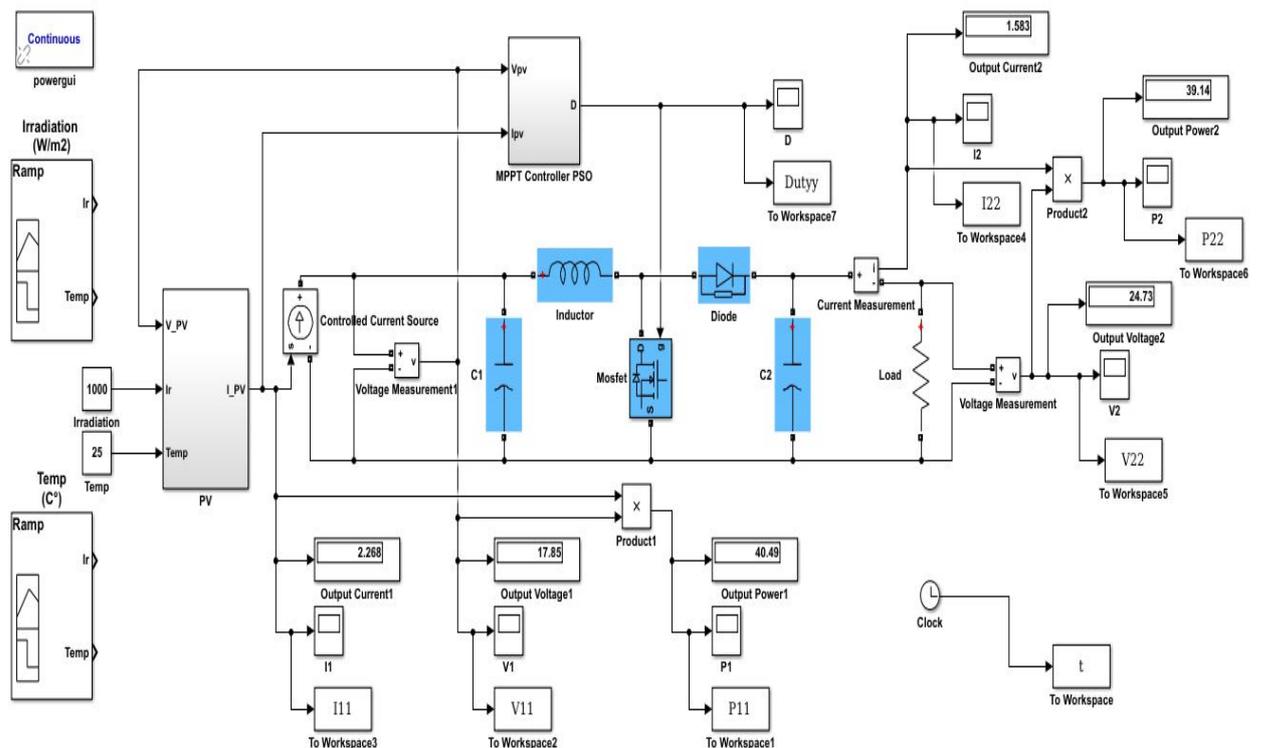


Figure III.14 : Model de simulation de l'algorithme MPPT (Particle Swarm Optimisation PSO)

III.6 Résultats de l'algorithme PSO avec les conditions standards

Dans les conditions standards on prend des valeurs initiales fixes et optimales figure III.15 :

- Irradiation = 1000 W/m^2
- La température = 25°C

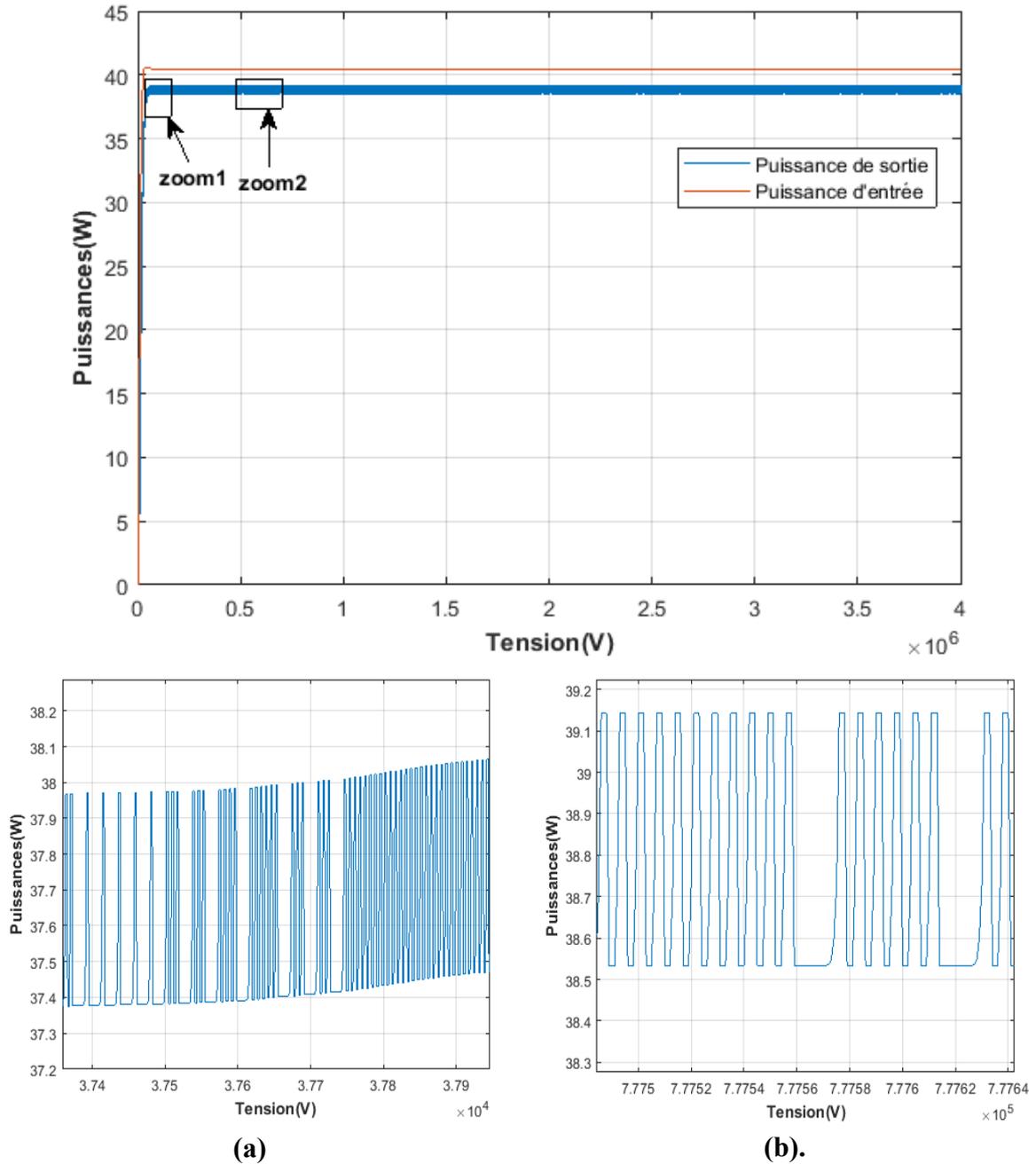


Figure III. 15 : Courbes des puissances dans les conditions standards (a) **Zoom 1** et (b) **Zoom 2**

Discussion : la figure III.15 représente les puissances en fonction de temps dans le cas des conditions standards on remarque que les courbes varient dépendent de la valeur des conditions initiales aussi on remarque que dans les zoom 1 et 2 que les oscillations sont dans les normes

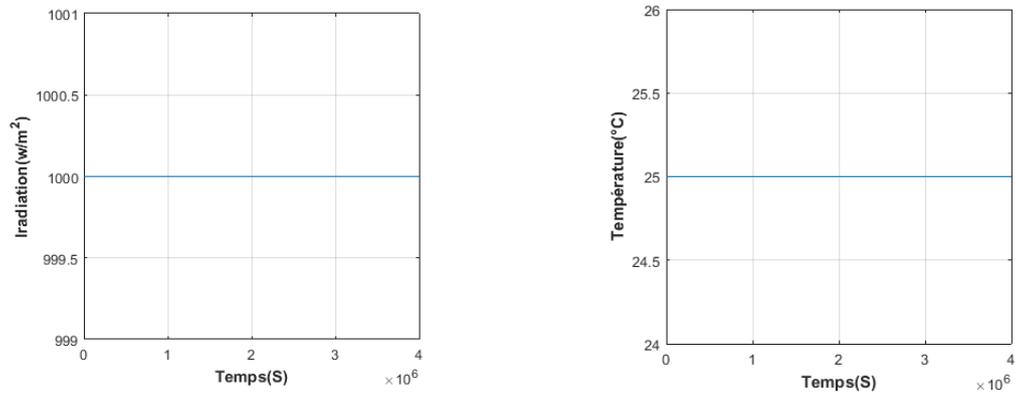


Figure III.16 : Les conditions standards (IR/T)

La figure III.16 représente la différence entre la tension d'entrée et la tension de sortie aussi elle nous éclaire les oscillations ne ont pas une grande amplitude.

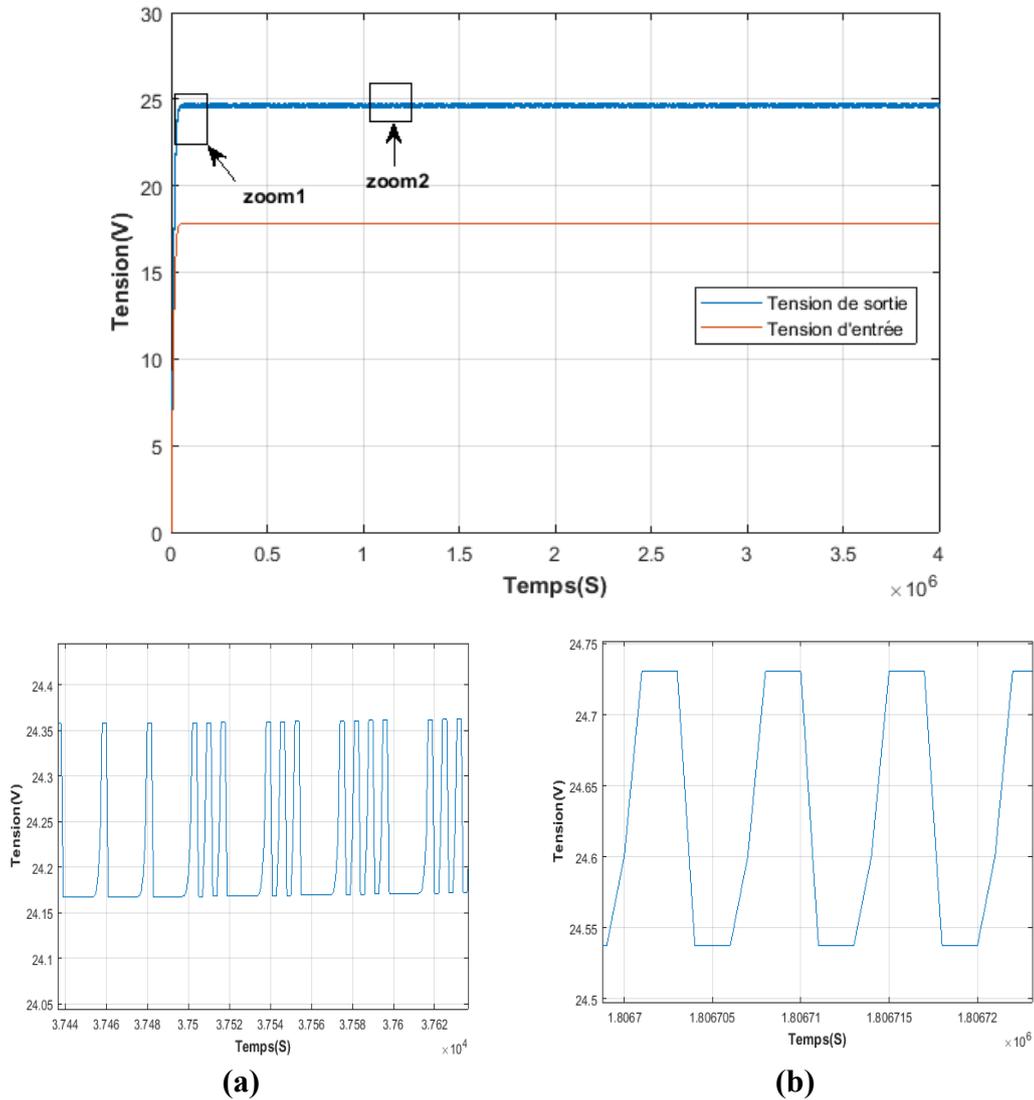


Figure III.17 : Variation de tensions (a) Zoom 1 et (b) Zoom 2

Discussion :

La Figure III.15 est représentent les caractéristiques de la puissance et de sortie et la puissance d'entrée en fonction du temps pour une irradiation constante égale à 1000W/m^2 et une température aussi constant égale a 25°C d'après ces résultats on remarque que le contrôleur PSO répond très rapide pour trouver la meilleur itération pour relever la tension a sont point maximale qui nous donne la puissance maximale possible dans ce cas .

III.7 résultats de l'algorithme PSO avec une variation :

- **Variation de température (50-35-25°C) et irradiation fixe 1000W/m^2 :**

Dans ce cas en va varier dans les conditions, pour l'irradiation (1000 W/m^2) et pour les températures ($50/35/25^\circ\text{C}$)

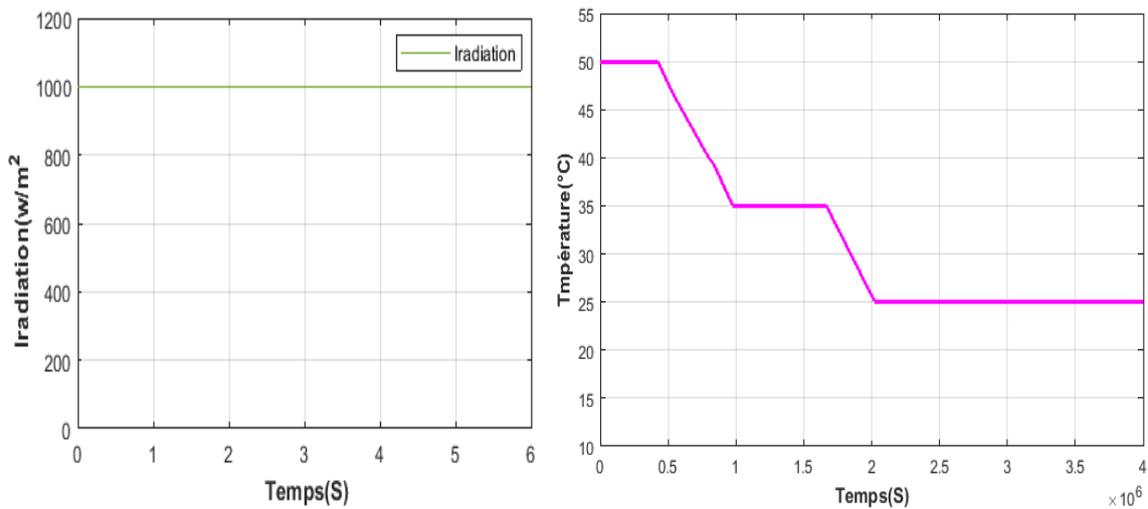


Figure III.18 : Les courbes des deux signaux initiaux

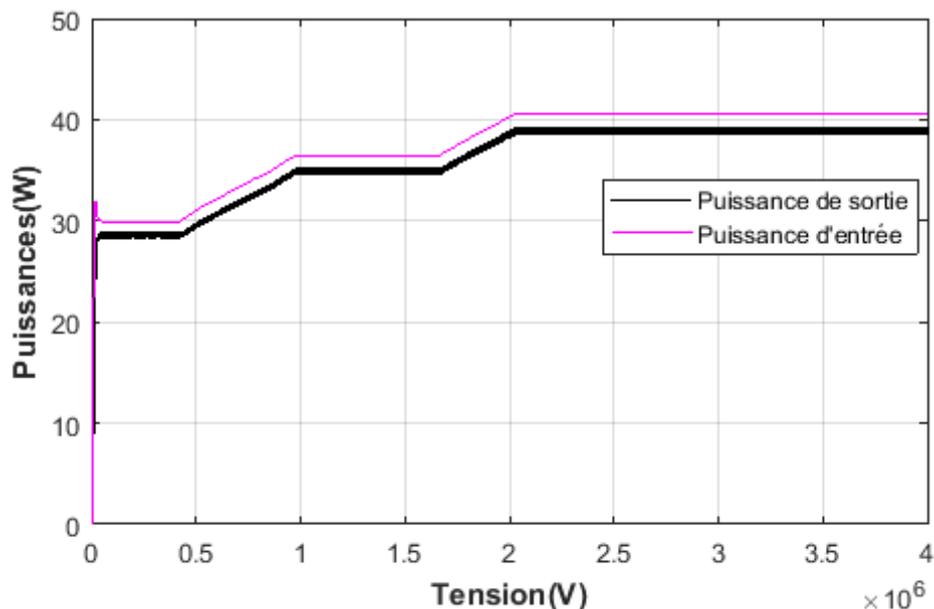


Figure III.19 : Courbes des puissances (Entrée/sortie) avec la variation des conditions

Discussion :

La Figure III.18 représentent les caractéristiques de la puissance de sortie et d'entrée en fonction du temps pour une irradiation constante égale à 1000 W/m^2 et une température variable [$50, 35, 25$] $^\circ\text{C}$ successivement d'après sa en constatent que les deux puissances sont dans une croissance continue sa dépend la variation de température. Aussi grâce à la

MPPT pendant tout le temps de simulation cette dernière nous donne la tension maximale qui sert à donner le meilleur point de puissance.

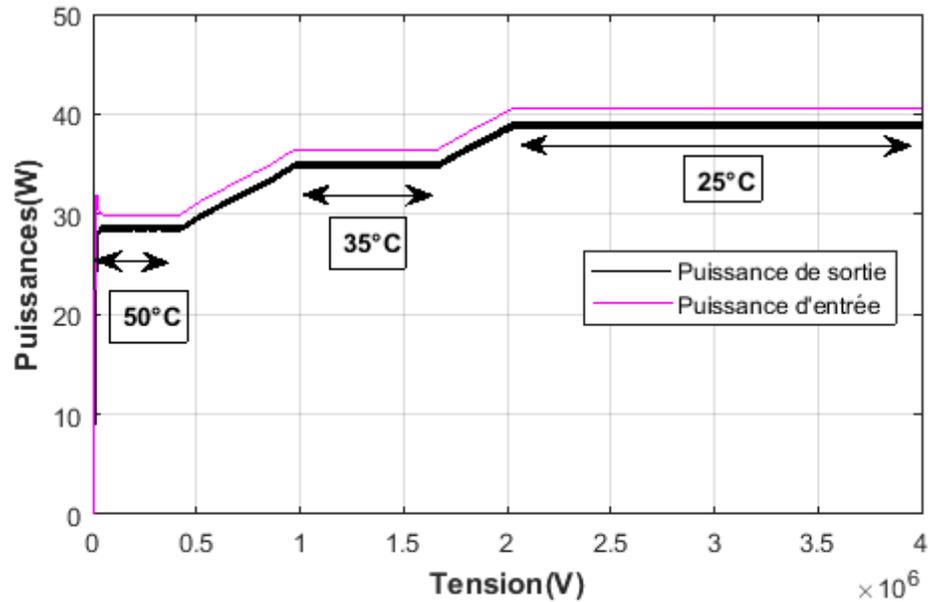


Figure III.20 : L'effet de variation de température sur la puissance

Donc on peut dire que 25°C est confirmé qu'il est la meilleure condition.

La figure III.20 suivante représente la différence entre les tensions d'entrée de booste et de sortie après les itérations de la méthode PSO dans les mêmes conditions de la figure III.19 :

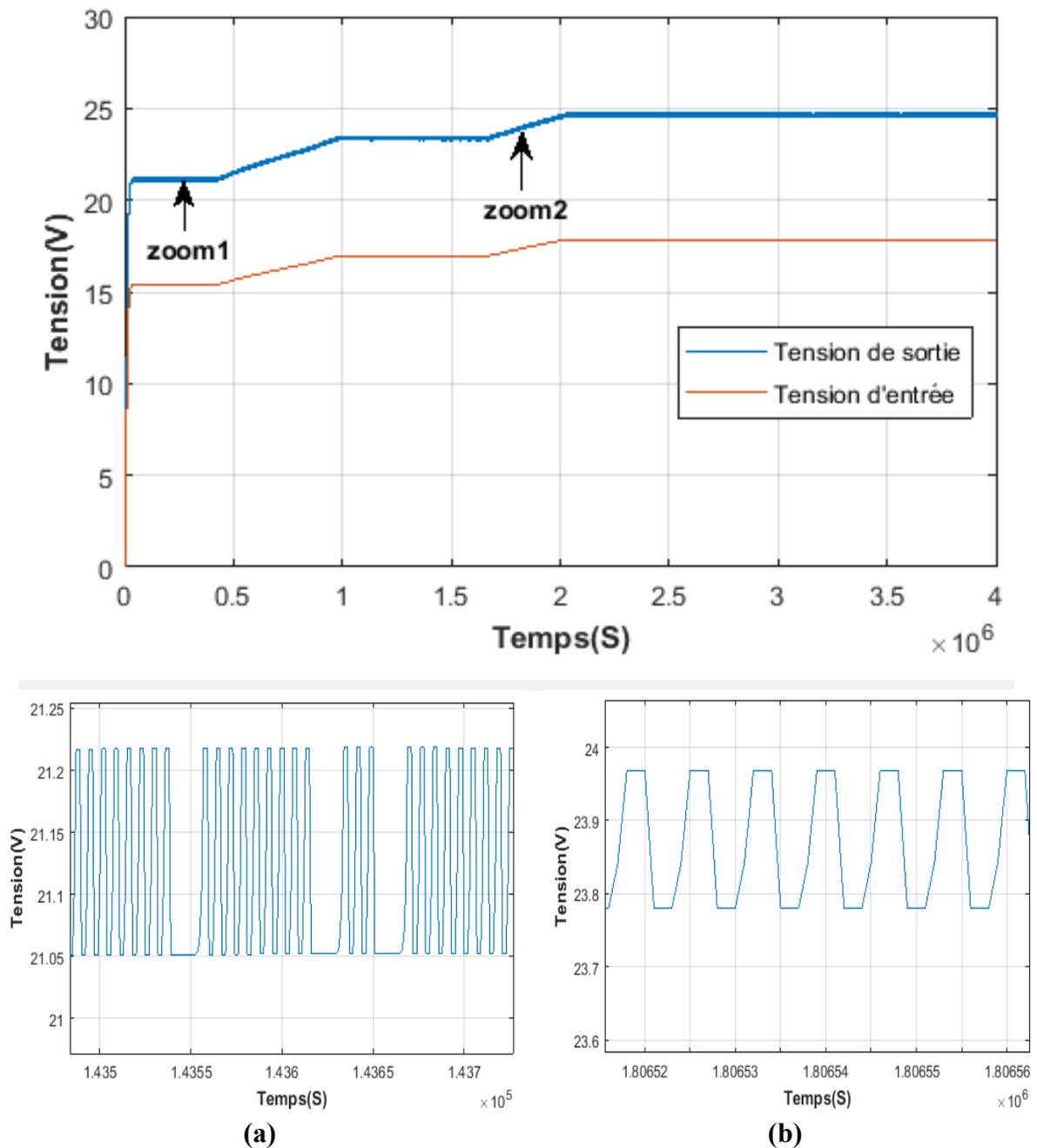


Figure III.21 : La variation des tensions a) Zoom 1, b) Zoom 2

- **Variation d'irradiation (600/800/1000 W/m^2) et température fixe 25 :**

Dans ce cas en va varier dans les conditions, pour l'irradiation (600/800/1000 W/m^2) et pour les températures (25°C).

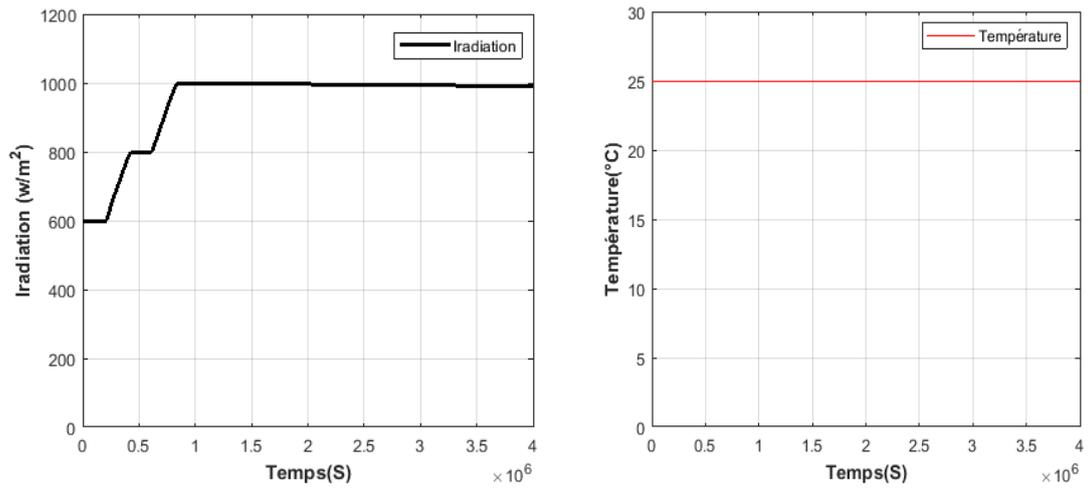


Figure III.22 : Les conditions initiales

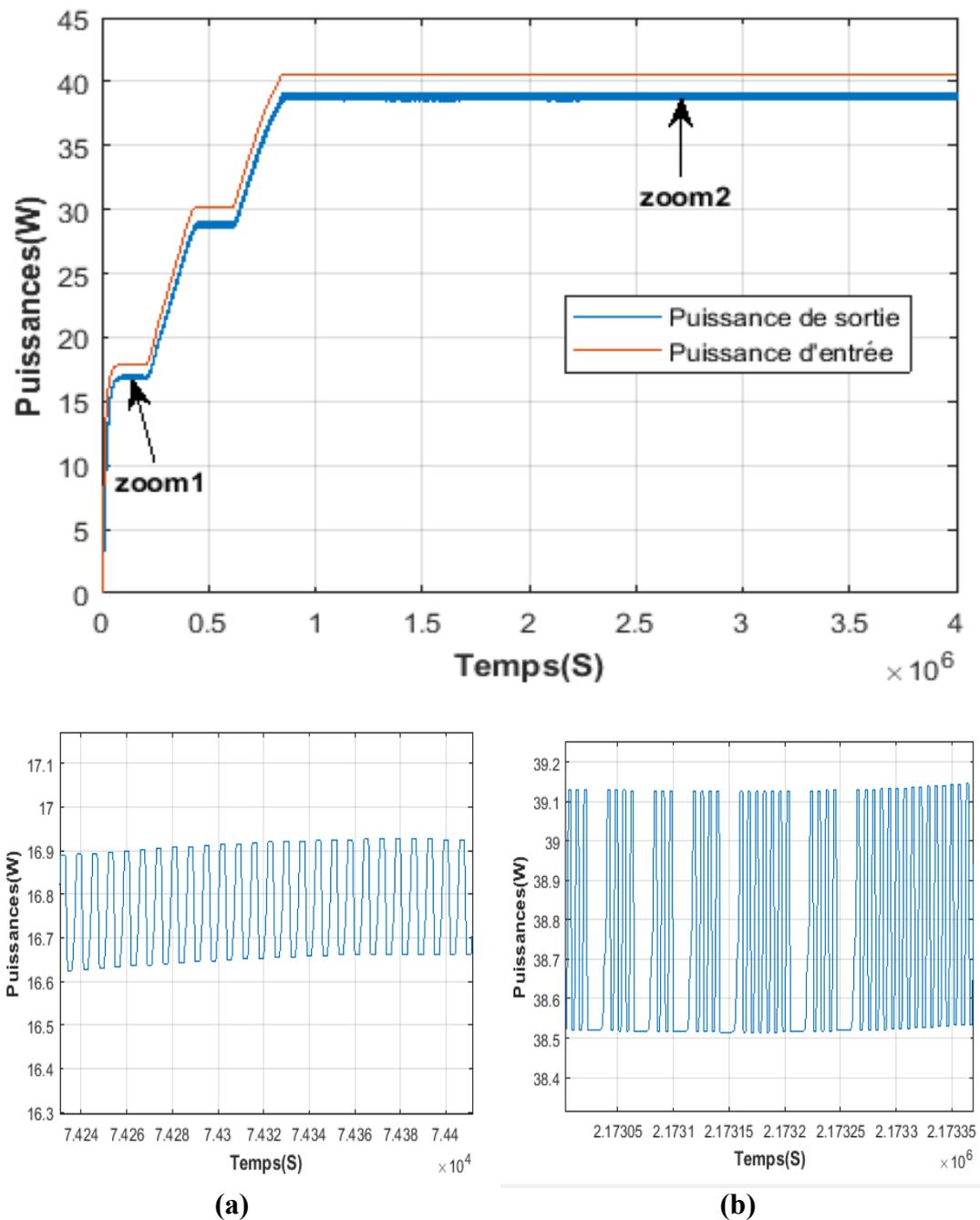


Figure III.23 : Courbes des puissances (Entrée/sortie) avec la variation des conditions a) Zoom 1 b) Zoom 2

Discussion :

La Figure III .22 représentent les caractéristiques de la puissance de sortie et d'entrée en fonction du temps pour une irradiation variable égale à $[600/800/1000\text{W/m}^2]$ et une température fixe $[25]^\circ\text{C}$ d'après sa en constatent que les deux puissance sont dans une croissance continue sa dépend la variation de l'irradiation donc on a une courbe devisé sur trois période il est claire que la troisième période et la plus motivant pour notre système.

Aussi on voit que l'oscillation dans les zooms 1 et 2 est presque négligeable sa c'est une indication de la précision de la technique utilisée dans ce travail.

Donc on peut dire que 25°C et 1000 w/m^2 est confirmés qu'ils sont les meilleurs conditions est les plus adapté à la production d'énergie.

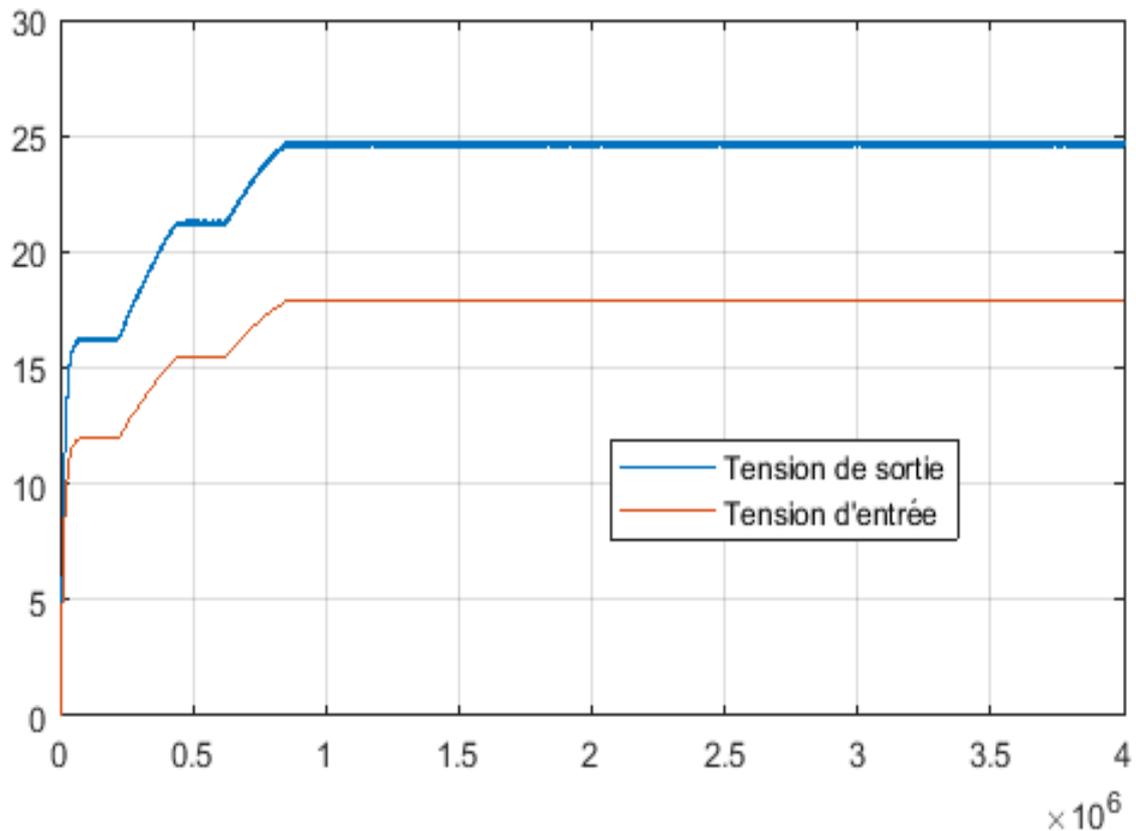


Figure III.24 : La variation des tensions

Discussion

La figure III.23 représente les courbes de tensions d'entrée et de sortie dans le cas de variation de l'irradiation, il est clair que la tension de sortie a été augmentée par rapport à la tension d'entrée.

Tableau III.1 Comparaison des puissances de sortie de PV et MPPT

Température constante 25°C			
Les irradiations solaires (w/m^2)	La puissance maximale (Watt)	La puissance maximale avec la PSO (Watt)	écart %
600 (W/m^2)	18	17.20	0.8
800(W/m^2)	30.94	28.5	2.44
1000 (W/m^2)	41.20	39.42	1.78
Les irradiations solaires constant 1000 (W/m^2)			
La température °C	La puissance maximale (Watt)	La puissance maximale avec la PSO (Watt)	écart %
50 °C	30	26.42	3.6
35 °C	36.4	35	1.4
25 °C	41.2	39.80	1.4

III.8 Conclusion

Dans ce dernier chapitre nous avons présenté une Modélisation et simulation d'un panneau photovoltaïque ainsi qu'une étude sur les convertisseurs DC/DC Booste et en fin il y a la simulation de l'algorithme MPPT (Particle Swarm Optimization) ce chapitre est riche de résultats aussi des discussions qui prouve la valeur et la qualité de cette technique choisie (PSO).

Conclusion générale :

L'objectif de ce travail est d'améliorer l'efficacité des systèmes photovoltaïques avec une technique MPPT (Particle Swarm Optimisation PSO), ce travail est une contribution pour la compréhension de l'importance de la poursuite de point maximum de puissance avec cette technique des technique MPPT.

Donc pour cet objectif nous avons commencé par introduire le lecteur dans le première chapitre au domaine des généralités sur les énergies renouvelables aussi le domaine des systèmes photovoltaïques en rappelant quelque notion sur le rayonnement solaire et le gisement solaire. Nous avons en suit expliquée le fonctionnement de la cellule photovoltaïque après il y à une description des systèmes photovoltaïques et leurs différent types et à la fin un aperçue sur les avantages et les inconvénients de cette énergies photovoltaïque.

Alor dans un deuxième temps sur le deuxième chapitre nous avons faire des études sur la poursuite de point maximum de puissance (MPPT) c'est-à-dire les techniques MPPT mais juste dans la théorie, On a commencé par le principe de la commande MPPT et sa classification selon les paramètres d'entrée aussi selon le type de recherche. Pour ce faire nous avons attaqué les principales techniques de poursuite de MPPT avec leurs algorithmes pour chaque technique, sous formes des organigrammes et comme une initialisation pour le troisième chapitre nous avons classé la technique PSO ver la fin.

Le montage de la simulation, la présentation des résultats, la discussion et la comparaison sont les sujets du dernier chapitre. La section suivante couvre l'ensemble des simulations développées dans l'environnement Matlab/Simulink dans une première pour installer le système photovoltaïque et dans une seconde pour tester la validation de la commande MPPT qui fait l'objet de cette étude. Nous avons développé l'algorithme PSO qui a été

soumise à différents tests avec variation des paramètres atmosphériques (température et irradiation). A la fin de ce chapitre et pour une étude plus profonde nous avons fait une étude comparative avec et sans la technique MPPT PSO.

La commande MPPT basée sur l'approche PSO permet la meilleure connexion entre le générateur photovoltaïque (GPV) et la charge et elle force le de faire fonctionner toujours au point de puissance maximale, cependant, l'étude comparative des résultats de simulation a permis de constater que la commande MPPT-PSO conduit à des meilleurs performances (réduction du temps de réponse et de l'erreur en régime permanent)

A la fin nous souhaitons d'avoir apporté une contribution à l'étude des caractéristiques de système photovoltaïque aussi sur la poursuite de point maximum de puissance MPPT.

Références Bibliographiques

- [1] : Othman ben seddik.fathidjaloud. «Étude et optimisation d'un syspv».Mémoire de master et .université d'Ouargla 2012.
- [2] :SoltaneBelakehal, « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », thèse doctorat, université de Constantine.
- [3] : BOUSSAID MOHAMMED « Modélisation des phénomènes de vieillissement desmodules Photovoltaïques» -thèse de MAGISTERPhysique Electronique et Modélisation, Université de Abou BekrBelkaid de Tlemcen,2011-2012.
- [4] :Zerguine Bilal « Modélisation d'un système de production électrique par la cellule photovoltaïque » - thèse de MAGISTER, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 2010.
- [5] : « réalisation et caractérisation de cellules photovoltaïques organiques obtenues par dépôt physique ». Benoit BROUSSE. Thèse doctorat 2004 UNIVERSITE DE LIMOGES.
- [6] : S. Bouazza, contribution a l'étude d'un générateur photovoltaïque dote de système de suivi du soleil comparaison et application au site de Tlemcen», Thèse de Magister,Université Tlemcen, Mai 2004
- [7] : Anne Labouret_ michelviloz «Energie solaire photovoltaïque -4ème édition » - Edition Dunod, 2005
- [8] : R. M. G. Jaouen, "Energie Solaire Thermique en Espagne Etat Actuel et Objectifs," pp.1–16, 2006.
- [9] : B. Ramdane, b. Dabouz, contribution à l'étude et la commande d'un moteur asynchrone alimenté par un système solaire. Application au pompage photovoltaïque. Enp 203

- [10] : SLAMA Fatah .modélisation d'un système multi générateur spvinterconnectes au réseau électrique .magister eneth.ufasetif.
- [11]:A.Maafi, « A survey on PV activities in Algeria ». RenewableEnergy, 2000.
- [12] :AmraniZoubida, et Amrani Fatima zohrabochra«étude, conception et réalisation d'un système de suivi solaire PV a base d'AARDUINO » mémoire de master 2020
- [13] :HellaliKamelia « Modélisation d'une cellule photovoltaïque Etude Comparative » - thèse de MAGISTER en électrotechnique, Université de Tizi-Ouzou 25/06/2012 .
- [14] :B. Z, “Etude, conception et réalisation d'une commande d'un tracker solaire (suiveur solaire) , master académique,” 2014.
- [15] : HADJI Slimane «Optimisation de la conversion énergétique pour les systèmes à énergie Photovoltaïque» thèse de doctorat, Université de Ferhat Abbas Sétif 1, 2018
- [16]:Z. Jagoo, Tracking solar concentrators: a low budget solution. Springer Science & Business Media, 2013.
- [17] : Hadj Belacemi Mohamed « Modélisation et Etude Expérimentation d'un capteur solaire non vitré et perforé » - thèse de MASTER, Université de Abou BekrBelkaid de Tlemcen, 06/07/2011.
- [18] : Alain Ricaud,Systèmes photovoltaïquesOct-11.doc
- [19] :“<https://www.prime-energy-technics.ch/actualites/histoire-du-photovoltaïque>.”.
- [20] : DJEMAI IlyasZemghassene «Recharge d'une batterie avec un panneau photovoltaïque et poursuite du point de puissance maximale», Mémoire du MasterUNIVERCITE MOULOUDE MAMMERI DE TIZI OUZOU, 2018.
- [21] : M. Angel Cid Pastor, « conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques », docteur de l'institut national des sciences appliquées de toulouse, 2006
- [22] : M. Boukli-Hacene Omar « conception et réalisation d'une génération photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique » magister en automatique productique informatique 2010/2011.
- [23]:Anantapuram, “investigation on potential photovoltaic power modules for higher electrical output” ph.d in electrical engineering, kiranmayi r-jawaharlal 54 ehru technological university, 2012

- [24]: Ahmad Zbeeb, “a new microcontroller-based mppt algorithm for photovoltaic applications” for the degree of master of applied science, Concordia university montreal, quebec, canada,2009.
- [25]: d. Lee, H. Noh, D. Hyun, And I. Choy,”an improved mppt converter using current compensation method for small scaled pv-applications,” IEEE applied power electronics conf. And exposition, vol. 1, pp. 540-545, 2003
- [26]: Akihiro Oi, “design and simulation of photovoltaic water pumping system”, faculty of 55alifornia polytechnic state university, 2005
- [27]:HajarBagheri “advances in electric power engineering” publisher: lulu (usa), 2015
- [28]: Dalia Al Maamoury, Muhamad Bin Mansor, Ali Assim Al Obaidi “active power control for a single-phase grid connected pvsystem”, international journal of scientific & technology research vol 2, issue 3, 2013.
- [29] :Bisker Asma, Chiri Meriem, « commande d’un système photovoltaïque en mode isolé et en mode connecté au réseau », diplôme d’ingénieur d’état en électrotechnique, école nationale polytechnique, 10, av. Hassen badi, el-harrach, algérie, 2012
- [30] : K. Sobaihi, Etude de Réalisation d’un hacheur MPPT à contre réaction de tension, Magister, ENP Algérie, Juin 2003.
- [31]: Altin N, Ozdemir S. Three-phase three-level grid interactive inverter with fuzzy logic based maximum power point tracking controller. Energy ConversManag2013;69:17–26.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.01.012>.
- [32]: Tsang KM, Chan WL. Model based rapid maximum power point tracking for photovoltaic systems. Energy Convers Manag 2013;70:83–9.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.02.018>.
- [33]: Sakthigokulrajan C, Ravi K. Combined role of derived array configurations and MPSO based MPPT in improving the energy yield under partial shading conditions.JBuildEng 2017;9:125–34.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.12.006>.
- [34]: Shi J, Zhang W, Zhang Y, Xue F, Yang T. MPPT for PV systems based on a dormant PSO algorithm. Electr Power Syst Res 2015;123:100–7.
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.02.001>.

- [35]: Lyden S, Haque ME. Maximum Power Point Tracking techniques for photovoltaic systems: A comprehensive review and comparative analysis. *RenewSustainEnergyRev*2015;52:1504–18. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.172>
- [36]: Nedjma Aouchiche. Conception d'une commande MPPT optimale à base d'intelligence artificielle d'un système photovoltaïque. Autre. Université Bourgogne Franche-Comté, 2020. Français. ffNNT : 2020UBFCA001ff. fftel-02902953f
- [37]: Analysis of Effects of Sun's Position in the Sky on Solar Radiation and Solar Panel Output Power authored by Moein Jazayeri, Sener Uysal, Member, IEEE, and Kian Jazayeri published in IEEE 978-1-4673-5943-6/13/\$31.00 ©2013 IEEE.
- [38]: 1st Ressa. Nouredine, 2nd Merabet Leila and 3rd Omeiri Amar. Perturb and Observation MPPT algorithm for the performance of Solar Photovoltaic System 1,2,3 Electrotechnical Engineering Department, Electrotechnical Laboratory, Badji Mokhtar University 23000 Annaba, P.O Box 12, Algeria
- [39]: S. Ndoye, I. Ly, F. Idrissa Barro, o. H. Lemrabott, G. Sissoko, "Modélisation et simulation sous matlab/simulink de la chaîne d'alimentation d'une station relais de télécommunications en énergie solaire photovoltaïque dans une zone isolée du réseau électrique", *journal des sciences*, vol. 9, n° 2, 2009, pp. 45 – 55.
- [40]: Y. Jiang, J. A. Abu Qahouq, M. Orabi, "Matlab/Pspice hybrid simulation modeling of solar PV cell/module", *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Twenty-Sixth Annual IEEE*, 2011, pp. 1244-1250, ISSN 1048-2334.
- [41] S. HADJI, J.-P. GAUBERT, et F. KRIM, « Maximum Power Point Tracking (MPPT) for Photovoltaic systems using open circuit voltage and short circuit current », in *3rd International Conference on Systems and Control*, Algiers, Algeria, 2013, p. 87-92.
- [42]: HADJI Slimane, *Optimisation de la conversion énergétique pour les systèmes à énergie Photovoltaïque*, 10 octobre 2018.

Annexe

MATLAB script file – pso.m

```
clc;
clear;
close all;

function [D1,D2] = PSO(q,i,b,Vpv,Ipv)
persistent P W D j k count current_dutycycl velocity current_power
local_best_power local_best_dutycycl globl_best_dutycycl
global_best_power

D2=0;
D1=0;
if isempty(j)
    j=1;
end
if isempty(k)
    k=1;
end

if isempty(P)
    P=zeros(1,3);
end

if isempty(D)
    D=zeros(1,3);
end

if isempty(count)
    count=0;
end

if isempty(current_dutycycl)
    current_dutycycl=zeros(1,3);
    W=0;
end
if isempty(velocity)
    velocity=zeros(1,3);
end
if isempty(current_power)
    current_power=zeros(1,3);
end
if isempty(local_best_power)
    local_best_power=zeros(1,3);
end
if isempty(local_best_dutycycl)
    local_best_dutycycl=zeros(1,3);
end
if isempty(globl_best_dutycycl)
    globl_best_dutycycl=0;
end

if isempty(global_best_power)
    global_best_power=0;
end
```

```

w= 0.4;
c1= 0.8;
c2=1.2;
R1=0.25;
R2=0.25;

VarMin=0.4;
VarMax=0.95;

if W==1
    %*****MAIN PSO BEGIN*****
if count<10
%START ITTERATION-1
%for popution-1
if i == 1
if j==1
velocity(:,1)= w *velocity(:,1)+ c1*(R1.*(local_best_dutycycl(:,1)-
current_dutycycl(:,1))) +c2*(R2.*(globl_best_dutycycl-
current_dutycycl(:,1)));
current_dutycycl(:,1)=current_dutycycl(:,1)+velocity(:,1);
j=j+1;
else
D(:,1)=current_dutycycl(:,1);
D1=D(:,1);
if b==1
P(:,1)=Vpv*Ipv;
if P(:,1)> local_best_power(:,1)
    local_best_dutycycl(:,1)= current_dutycycl(:,1);
    local_best_power(:,1)=P(:,1);
end
if local_best_power(:,1)> global_best_power
    global_best_power = local_best_power(:,1);
    globl_best_dutycycl=local_best_dutycycl(:,1);
end
D2= globl_best_dutycycl;
end
end
%end for loop-1
%for popution-2
elseif i==2
if j==2
velocity(:,2)= w *velocity(:,2)+ c1*(R1.*(local_best_dutycycl(:,2)-
current_dutycycl(:,2))) +c2*(R2.*(globl_best_dutycycl-
current_dutycycl(:,2)));
current_dutycycl(:,2)=current_dutycycl(:,2)+velocity(:,2);
j=j+1;
else
D(:,2)=current_dutycycl(:,2);
D1=D(:,2);
if b==2
P(:,2)=Vpv*Ipv;
if P(:,2)> local_best_power(:,2)
    local_best_dutycycl(:,2)= current_dutycycl(:,2);
    local_best_power(:,2)=P(:,2);
end
if local_best_power(:,2)> global_best_power
    global_best_power = local_best_power(:,2);

```

```

        globl_best_dutycycl=local_best_dutycycl(:,2);
    end
    D2= globl_best_dutycycl;
end
end
%end for loop-2
%for popoution-3
elseif i==3
    if j==3
        velocity(:,3)=w *velocity(:,3)+ c1*(R1.*(local_best_dutycycl(:,3)-
        current_dutycycl(:,3))) +c2*(R2.*(globl_best_dutycycl-
        current_dutycycl(:,3)));
        current_dutycycl(:,3)=current_dutycycl(:,3)+velocity(:,3);
        count=count+1;
        j=j-2;
    else
        D(:,3)=current_dutycycl(:,3);
        D1=D(:,3);
        if b==3
            P(:,3)=Vpv*Ipv;
            if P(:,3)> local_best_power(:,3)
                local_best_dutycycl(:,3)= current_dutycycl(:,3);
                local_best_power(:,3)=P(:,3);
            end
            if local_best_power(:,3)> global_best_power
                global_best_power = local_best_power(:,3);
                globl_best_dutycycl=local_best_dutycycl(:,3);
            end
            D2= globl_best_dutycycl;
        end
    end
    end
    D1=globl_best_dutycycl;
end
else
%INITIALIZATION
if q==1
%random dutycycle-1
current_dutycycl(q)=0.05; %generate random duty value
D(q)=current_dutycycl(q);
D1=D(q);
velocity(q)=0;
if b==1
P(q)=Vpv*Ipv;
%update personal best
local_best_dutycycl(q)= current_dutycycl(q);
local_best_power(q) = P(q);
if local_best_power(q)> global_best_power
    global_best_power = local_best_power(q);
    globl_best_dutycycl=local_best_dutycycl(q);
end
D2= globl_best_dutycycl;
end
elseif q==2
%random dutycycle-2
current_dutycycl(q)=0.45; %generate random duty value
D(q)=current_dutycycl(q);
D1=D(q);
velocity(q)=0;

```

```

if b==2
P(q)=Vpv*Ipv;
%update personal best
local_best_dutycycl(q)= current_dutycycl(q);
local_best_power(q) = P(q);
if local_best_power(q)> global_best_power
    global_best_power = local_best_power(q);
    globl_best_dutycycl=local_best_dutycycl(q);
end
D2= globl_best_dutycycl;
end
elseif q==3
%random dutycycle-3
current_dutycycl(q)=0.95; %generate random duty value
D(q)=current_dutycycl(q);
D1=D(q);
velocity(q)=0;
if b==3
P(q)=Vpv*Ipv;
%update personal best
local_best_dutycycl(q)= current_dutycycl(q);
local_best_power(q) = P(q);
if local_best_power(q)> global_best_power
    global_best_power = local_best_power(q);
    globl_best_dutycycl=local_best_dutycycl(q);
end
D2= globl_best_dutycycl;
end
elseif q==4
W=1; %To run this loop only once
end
end

```