

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : Science de l'ingénierie
Département : Electrotechnique
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Commande électrique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

MODELISATION ET SIMULATION D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE AVEC COMMANDE MPPT

Présenté par : Aouachria Rayen

Encadrant : Ourici Amel

Grade : MCA

Université Badji Mokhtar/Annaba

Jury de soutenance :

Bouchikha Hocine	Grade MCB	Université Badji Mokhtar	Président
Ourici Amel	Grade MCA	Université Badji Mokhtar	Encadrant
Soltani Fatma	Grade MCA	Université Badji Mokhtar	Examineur

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

Mes remerciements vont tout d'abord à notre Dieu pour la santé et le courage qu'il m'a donnée pour terminer ce modeste travail.

En commençant par remercier tout d'abord mon encadreur Dr Ourici Amel pour sa patience, ses précieux conseils qui ont constitué un rapport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Je tiens à exprimer mes remerciements à Monsieur Dr BOUCHIKHA Hocine, et Dr SOLTANI Fatma, enseignants au département d'électrotechnique pour avoir accepté de faire partie du jury.

Enfin, un merci bien particulier adressé également à mes parents, mon mari, mon frère, mes sœurs, et toute à ta ma famille.

Je remercie aussi tous mes amis, mes camarades, et tous mes Contacts.

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère Bouledroua Noura.

A mon père Salem.

A mon mari Tlili Med Islam qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Sans oublier son famille : le grand père El hadj Bachir Dieu accorde la paix à son âme, la grande mère Chadlia, ses tantes Salima, Souad, Afef, Nadia, Wahida et leur enfants.

Mon beau père, mon beau-frère Oussama et son absence, Dieu lui a ramené mille bons et particulièrement ma belle-mère Dr Djaouahdou Samira (Man).

A mes merveilleuses sœurs Dikra et Chanez qui savent toujours apporter joie et bonheur à toute la famille.

A mon unique et petit frère Med Hichem.

A l'adorable et unique amie Nada et sa famille.

A mon frère Anis et ma tante Wahiba.

A mon grand (père et mère), mes oncles et mes tantes.

Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A tous les cousins, les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant.

RAYEN

Résumé

Parmi nos énergies renouvelables, l'énergie solaire est l'un des éléments importants dans la production d'électricité, car elle contient des cellules photovoltaïques qui sont des meilleurs moyens de produire de l'électricité. Les systèmes photovoltaïques font partie de dynamisme Green Energy qui est un programme ambitieux basé sur l'efficacité énergétique et la durabilité

L'énergie photovoltaïque gagne de plus en plus sa place parmi les énergies alternatives, mais les panneaux solaires, malgré l'évolution des techniques de fabrication, souffrent d'un rendement de conversion d'énergie assez faible. Ce rendement peut être moindre si le générateur photovoltaïque ne fonctionne pas autour d'un point appelé : le point de MPP, puis la poursuite de ce point qui change d'emplacement avec les conditions climatiques. Cette étape est très importante dans la conception d'un système photovoltaïque.

Dans cette étude, nous avons analysé la conception et la simulation du fonctionnement du système photovoltaïque avec la commande MPPT en fonction la méthode de perturbation et de l'observation. Les résultats de la simulation ont été réalisés par le programme MATLAB/SIMULINK.

Mots clés : Energie solaire ; Système photovoltaïque ; MPPT ; Simulation ;
Programme MATLAB/SIMULINK.

Abstract

Among our renewable energies, solar energy is one of the important elements in the production of electricity, because it contains photovoltaic cells which are the best means of producing electricity. The photovoltaic systems are part of the Green Energy dynamism which is an ambitious program based on energy efficiency and sustainability .

Photovoltaic energy is increasingly gaining its place among alternative energies, but solar panels, despite the evolution of manufacturing techniques, suffer from a fairly low energy conversion efficiency. This yield may be lower if the photovoltaic generator does not operate around a point called: the MPP point, then the continuation of this point which changes location with the climatic conditions. This step is very important in the design of a photovoltaic system.

In this study, we analyzed the design and simulation of the operation of the photovoltaic system with the MPPT control according to the method of disturbance and observation. The results of the simulation were carried out by the program MATLAB/SIMULINK.

Keywords: Solar energy; Photovoltaic system; MPPT; Simulation;
MATLAB/SIMULINK program.

ملخص

من بين الطاقات المتجددة لدينا الطاقة الشمسية والتي تعد عنصرًا مهمًا لتوليد الكهرباء، حيث لديها الخلايا الكهروضوئية من أفضل الطرق لتوليد الكهرباء. تعد الأنظمة الكهروضوئية جزءًا من ديناميكية الطاقة الخضراء وهو برنامج يعمد على كفاءة الطاقة والتنمية المستدامة.

تكتسب الطاقة الكهروضوئية مكانتها بشكل متزايد من مصادر الطاقة البديلة، لكن الألواح الشمسية وعلى الرغم من التطور في تقنيات التصنيع، تعاني من كفاءة تحويل طاقة منخفضة إلى حد ما، ويمكن أن تكون هذه الكفاءة أقل إذا لم يعمل المولد الكهروضوئي حول نقطة تسمى: نقطة الطاقة القصوى يعد السعي وراء هذه النقطة التي تغير الموقع مع الظروف لمناخية خطوة مهمة للغاية في تصميم نظام الكهروضوئية.

فبهذه الدراسة قمنا بتحليل التصميم ومحاكاة الاشتغال للنظام الكهروضوئي وفق آلية الاضطراب والملاحظة.

الكلمات المفتاحية: طاقة شمسية؛ النظام الكهروضوئي؛ محاكاة؛ تتبع أقصى نقطة للطاقة؛ تصميم.

Table de matière

	Page
Introduction générale.....	01
Chapitre I : Energie solaire et systèmes photovoltaïques	
I.1. Introduction.....	03
I.2. Energie solaire.....	03
I.3. Cellule photovoltaïque.....	04
I.3.1. Principe de fonctionnement de la cellule PV.....	04
I.3.2. Différents types.....	05
I.3.3 Matériaux semi-conducteurs.....	05
I.3.4. Jonction photovoltaïque	06
I.3.5. Différents types de cellules solaires à base de silicium.....	06
I.4. Modèle mathématique de la cellule	07
1.4.1. Caractéristique courant - tension (I-V).....	10
1.4.2. Fonctionnement à puissance maximale.....	11
I. 5. Caractéristiques d'un module solaire.....	12
I.5.1. Caractéristique I(V).....	12
I.5. 2. Caractéristique P(V).....	13
I.5.3. Zone de fonctionnement.....	14
I.6. Influence de la température.....	18
I.7 Conclusion.....	19

Chapitre II : Commande maximum power point Tracking

II.1. Introduction.....	20
II.2. Définition et fonctionnement de la commande.....	20
II.2.1. Fonctionnement de MPPT.....	21
II.3. Classification des commandes MPPT selon le type de recherche....	21
II.3.1 Méthodes indirectes.....	21
II.3.2 Méthodes directes.....	22
II.4. Commande de MPPT perturbation et observation (P&O, Perturb And Observe).....	23
II.5. Commande MPPT incrémentation de la conductance.....	25
II.6.conclusion.....	26

Chapitre III : Simulation

III.1. Introduction.....	27
III.2. Simulation du système photovoltaïque avec la commande MPPT....	27
III.3. Simulation avec la commande P&O.....	28
III.3.1. Simulation sous des conditions climatiques stables.....	29
III.3.2. Fonctionnement sous des conditions climatiques variables...	35
III.3.3 Analyse des résultats de P&O.....	38
III.4. Conclusion.....	39
Conclusion générale.....	40
Références.....	41

Liste des figures

Figure 1: Structure schématique d'une cellule solaire.....	.05
Figure 2 : Types de cellules solaires.....	07
Figure 3: Circuit électrique équivalent d'une cellule solaire.....	.07
Figure 4: Caractéristique courant - tension (I-V).....	10
Figure 5: Evolution du PPM d'un module photovoltaïque d'une puissance crête de 80W en fonction de la température (a) et de l'éclairement (b).....	11
Figure 6: Caractéristiques I (V).....	12
Figure 7 : Circuit équivalent complet d'une cellule PV.....	13
Figure 8: Caractéristique puissance-tension d'une cellule photovoltaïque... ..	13
Figure 9: Différentes zones de la caractéristique I (V).....	..14
Figure 10: Cellule, module, panneau, champ photovoltaïque.....	15
Figure 11: Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en série.....	16
Figure 12: Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en parallèle.....	17
Figure 13 : Courbes P(V) d'un GPV pour différentes températures à G=1000W/m.....	18
Figure14 : Courbes I(V) d'un GPV pour différentes températures à G=1000W/m.....	19
Figure 15 : Recherche du PPM par la méthode (P&O).....	24
Figure 16 : Algorithme de P&O classique.....	25
Figure 17 : Positionnement du point de fonctionnement suivant le signe de $\frac{dP(PV)}{dV(PV)}$ sur la caractéristique de puissance.....	26
Figure 18 : Modélisation d'un SPV sous MATLAB\SIMULINK.....	28
Figure 19 : Masque des paramètres de la commande P&O.....	29

Figure 20 : Courbe d'un pas de rapport cyclique égal à 0.01.....	30
Figure 21 : Puissance aux bornes du GPV pour un pas de 0.01.....	30
Figure 22 : Tension du générateur photovoltaïque pour un pas de 0.01.....	31
Figure 23 : Puissance de sortie du système pour un pas de 0.01.....	31
Figure 24 : Tension de sortie du système pour un pas de 0.01.....	32
Figure 25 : Courbe d'un pas de rapport cyclique égal à 0.002.....	32
Figure 26 : Courbe de la tension aux bornes du GPV pour un pas de 0.002....	33
Figure 27 : Puissance de sortie du système pour un pas de 0.002.....	33
Figure 28 : Tension à la borne du générateur photovoltaïque pour un pas..... de 0.002.....	34
Figure 29 : Tension de sortie du système pour un pas de 0.002.....	34
Figure 30 : Profile d'un éclairnement injecté dans le générateur photovoltaïque.	35
Figure 31 : Courbe du pas d'un rapport cyclique égal à 0.002.....	35
Figure 32 : Tension aux bornes du générateur photovoltaïque.....	36
Figure 33 : Puissance de sortie du système.....	36
Figure 34 : Tension aux bornes du générateur photovoltaïque.....	37
Figure 35: Tension de sorti du système.....	37
Figure 36 : Module photovoltaïque.....	38
Figure 37 : Panneau photovoltaïque.....	38

Introduction générale

Introduction générale

En raison des changements démographiques et du développement de certaines zones géographiques, la production d'énergie électrique est devenue un enjeu majeur. Cette évolution est marquée par une augmentation significative de la consommation de l'énergie électrique.

La majeure partie de la production énergétique mondiale est basée sur les combustibles fossiles. La surexploitation de ces ressources naturelles a réduit dangereusement les réserves pour les générations futures. A ce rythme, les réserves de combustibles fossiles ne pourront répondre à la demande que pendant encore quelques décennies.

Pour l'énergie électrique, les solutions alternatives sont les énergies renouvelables d'origine solaire, éolienne, géothermique, cascade, marémotrice ou biomasse. L'entreprise produit peu ou pas de déchets ou d'émissions polluantes. Ce sont les énergies du futur. Elles sont aujourd'hui sous-utilisées par rapport à leur potentiel. Cela signifie que les énergies renouvelables ne couvrent que 20 % de la consommation mondiale d'électricité. Le domaine étudié dans ce travail est le photovoltaïque.

L'énergie solaire présente de nombreux avantages. En effet, aucun gaz à effet de serre n'est émis lors de la production de cette électricité renouvelable. La lumière du soleil est omniprésente et presque inépuisable. L'énergie solaire est disponible dans les zones montagneuses, les villages reculés, les centres métropolitains, au sud et au nord. Elle génère de l'énergie distribuée aussi près que possible de l'endroit où les utilisateurs la consomment directement, rendant l'énergie disponible à une grande partie de la population mondiale.

L'exposition extérieure des panneaux photovoltaïques est liée à un ensemble complexe de facteurs (vent, pluie, neige, chaleur, lumière, etc.) qui entraînent une dégradation dans le temps. Par conséquent, cette combinaison de facteurs affecte négativement les performances.

Pour mieux comprendre ces dégradations, des lois séculaires de dégradation électrique et optique des modules photovoltaïques en évolution à long terme sont introduites.

Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés essentiellement au développement d'une procédure d'optimisation qui permet la commande Maximum Power Point Tracking MPPT d'un générateur photovoltaïque (GPV), pour une bonne exploitation quelques soient les conditions météorologiques (température et éclairement). Ceci nécessite l'implémentation d'une technique de MPPT, telle que la méthode de Perturbation-Observation (P&O) et Incrémentation (INC)...etc.

Ce mémoire est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre présente des notions générales sur l'énergie solaire et le système photovoltaïque.

Dans le deuxième chapitre, nous avons étalé le principe de la recherche de point maximal, les classifications de la commande MPPT ainsi que les études théoriques de quelques-unes de ces méthodes.

Le troisième chapitre, montre la simulation du système photovoltaïque avec la commande MPPT. Une étude la méthode P&O a été développée.

Nous terminerons ce travail par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE I

Energie solaire et systèmes photovoltaïques

I.1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. Il utilise pour se faire des modules photovoltaïques composés de cellules. Ces cellules photovoltaïques sont constituées de semi-conducteurs à base de silicium (Si), de germanium (Ge), de sélénium (Se), etc. Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques, car il est très abondant dans la nature. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule [1].

De nos jours et selon le besoin, l'énergie électrique produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stockée en batteries (énergie électrique décentralisée) ou en électricité injectée dans le réseau [2].

I.2. Energie solaire

Cette énergie est produite sous deux formes : le solaire photovoltaïque qui transforme le rayonnement lumineux du soleil en électricité grâce à des panneaux formés de cellules de semi-conducteurs et le solaire thermique qui capte la chaleur du soleil, qu'on utilise comme telle ou bien qu'on transforme en énergie mécanique, puis en électricité.

I.3. Cellule photovoltaïque

La cellule PV est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs de type P-N qui produisent un courant électrique sous l'effet des photons lumineux. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants :

- Absorption des photons par le matériau constituant le dispositif
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création des paires d'électrons/trous dans le matériau semi-conducteur
- Collecte des particules générées dans le dispositif.

I.3.1. Principe de fonctionnement de la cellule PV

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. A travers une charge continue, on peut en plus récolter des porteurs. La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (VOC). Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit (ICC) [3].

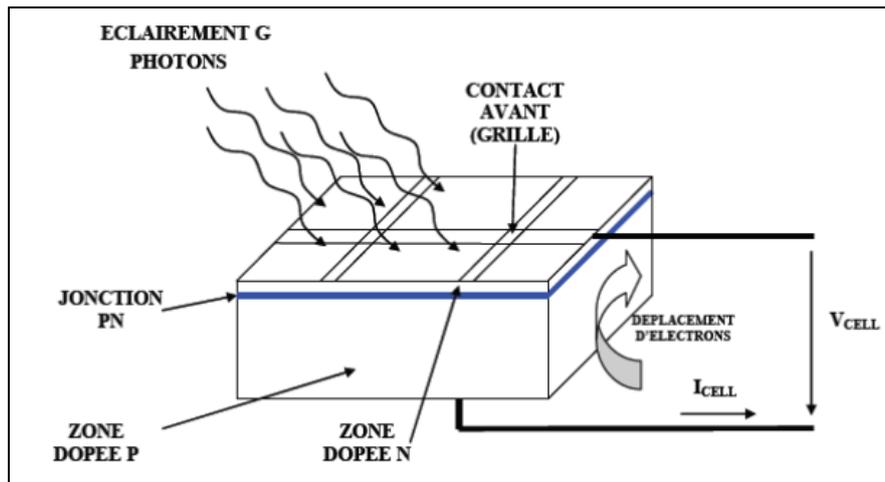


Figure 1 : Structure schématique d'une cellule solaire.

I.3.2. Différents types

On utilise différents matériaux et structures pour améliorer les performances des cellules PV et augmenter le rendement. On distingue plusieurs types de cellules solaires selon leurs structures : les cellules solaires à couche mince, les cellules solaires organiques et les cellules solaires au silicium. Nous présenterons uniquement ces dernières citées, car étant les plus répandues.

I.3.3. Matériaux semi-conducteurs

Dans un **semi-conducteur** : la situation est intermédiaire, les électrons contenus dans la matière ne peuvent circuler que si on leur apporte une énergie pour les libérer de leurs atomes. Quand la lumière pénètre dans un semi-conducteur, ces photons apportent une énergie permettant aux électrons de se déplacer, il y a donc courant électrique sous l'exposition à la lumière.

I.3.4. Jonction photovoltaïque

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium : une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes: positive et négative de la cellule. A travers une charge continue, on peut en plus récolter des porteurs (électron, trou). La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert V_{co} . Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées. Il est appelé courant de court-circuit I_{cc} .

1.3.5. Différents types de cellules solaires à base de silicium

Le silicium est le matériau de base des photopiles. C'est le deuxième élément en termes d'abondance sur notre planète (après l'oxygène), mais il n'existe pas à l'état pur dans la nature (le sable et le quartz en contiennent). Il existe trois catégories principales de photopile au silicium :

➤ Le silicium monocristallin: il est actuellement l'option la plus populaire pour les cellules commerciales bien que beaucoup d'autres matériaux soient disponibles. Leur méthode de production est laborieuse et délicate, et donc, très chère. Il présente un taux de rendement excellent (12 – 16) % allant jusqu'à 24 %) en laboratoire. Le terme « cristallin » implique que tous les atomes dans le matériau PV actif font partie d'une structure cristalline simple où il n'y a aucune perturbation dans les arrangements ordonnés des atomes [4-5] ;

- Le silicium polycristallin: il est composé de petits grains de silicium cristallin. Il a un coût de production moins élevé. L'efficacité de conversion PV pour une cellule à base de silicium polycristallin s'étend de 11 – 13 % (autour de 18 %) en laboratoire) [5] ;
- Le silicium amorphe: les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre, son rendement de conversion est entre 8 – 10 % (autour de 13 % en laboratoire pour une cellule non dégradée) [04] ; [05].

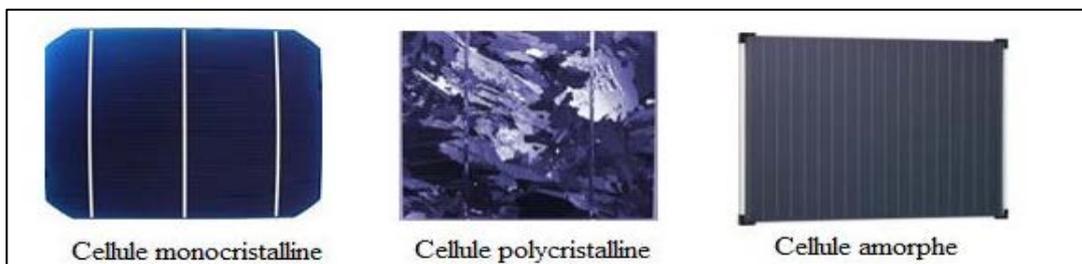


Figure 2 : Types de cellules solaires.

I.4. Modèle mathématique de la cellule

Une cellule PV peut être modélisée par un schéma électrique équivalent qui reproduit son comportement quand elle est éclairée par un faisceau lumineux.

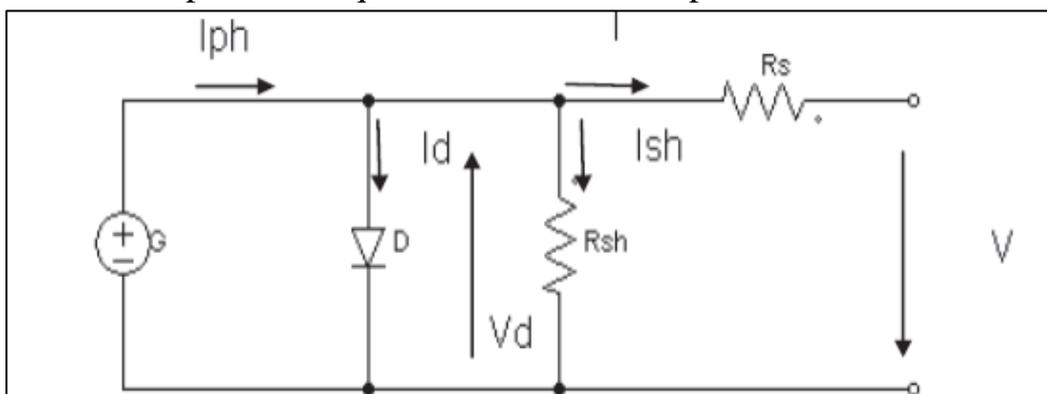


Figure 3 : Circuit électrique équivalent d'une cellule solaire.

En appliquons la loi de Kirchhoff aux nœuds :

$$I_{cel} = I_{ph} - I_d - I_p \quad (1)$$

- Le générateur du courant (I_{ph}): il délivre le courant (I_{ph}) correspondant au courant photo-généré.
- La diode: modélise la jonction P-N, avec I_d : courant électrique à travers la diode.
- La résistance série R_s : modélise les pertes résistives au sein de la photopile. Elle est liée à l'impédance des électrodes et du matériau ; il en résulte que la tension V aux bornes de la cellule est différente de la tension V_j aux bornes de la jonction pn. Ce terme doit idéalement être le plus faible possible pour limiter son influence sur le courant de la cellule.
- La résistance parallèle R_p (résistance shunt R_{sh}): correspond à une résistance de fuite entre les deux zones n et p de la jonction: il en résulte qu'une partie du courant (I_{ph}) sera dérivée par cette résistance et ne pourra être délivrée à la charge. Cette résistance devra être la plus élevée possible [6].

L'expérience montre qu'avec l'obscurité ; une cellule solaire suit le comportement d'une diode classique, elle commence à conduire lorsque la tension appliquée est supérieure à la tension de seuil V_s .

$$V_{th} = \frac{kT}{q} \quad (2)$$

V_{th} : le potentiel thermique en Volt (V)

K : la constante de Boltzmann (1.38066×10^{-23} J/K = 8.61400×10^{-5} eV/K).

T : la température absolue en Kelvin (K)

q : la charge absolue d'un électron en coulomb (1.60281×10^{-19} C)

Sous éclairement, un terme I_{ph} , tenant compte du photo-courant généré est rajouté. Dans le cas d'une cellule photovoltaïque réelle, les effets résistifs et les fuites vers les bords d'autres sont tenus en compte. L'équation de la caractéristique I-V devient :

$$I = I_{Ph} - IS \left(\exp \left(\frac{V+IR_s}{nV_{th}} \right) - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (3)$$

Certains auteurs utilisent la conductance shunt ($G_{sh} = \frac{1}{R_{sh}}$) pour écrire l'équation (1) sous la forme :

$$I = I_{Ph} - IS \left(\exp \left(\frac{V+IR_s}{nV_{th}} \right) - 1 \right) - G_{sh}(V + IR_s) \quad (4)$$

I_s : le courant de saturation en Ampère (A)

n : le facteur de qualité de la diode ; sans dimension

V_{th} : le potentiel thermique en Volt (V)

I_{Ph} : photo-courant généré (proportionnel au rayonnement incident) [6].

1.4.1. Caractéristique courant - tension (I-V)

La Figure (4) montre la caractéristique courant - tension pour une cellule photovoltaïque. Ainsi, si une résistance variable R est connectée aux bornes de la cellule PV, le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection de la caractéristique $I = f(V)$ de la cellule avec la courbe de la charge. Pour une charge résistive, la courbe de charge est une droite avec la pente $1/R$. Par conséquent, si la résistance R est petite, le point de fonctionnement est situé dans la région MB de la courbe. Le courant I varie peu en fonction de la tension (il est presque égal au courant de court-circuit). La cellule se comporte comme un générateur de courant. D'autre part, si la résistance R est grande, la cellule fonctionne dans la région CN. Dans cette zone, la tension de la cellule varie peu en fonction du

courant I : la cellule se comporte comme une source de tension qui est presque égale à la tension de fonctionnement à vide. Dans la région BC sur la courbe, la cellule PV ne peut être caractérisée ni par une source de courant, ni par une source de tension. C'est dans cette zone que se trouve le point pour lequel la puissance fournie est maximale dans des conditions fixées d'éclairement et de température [7].

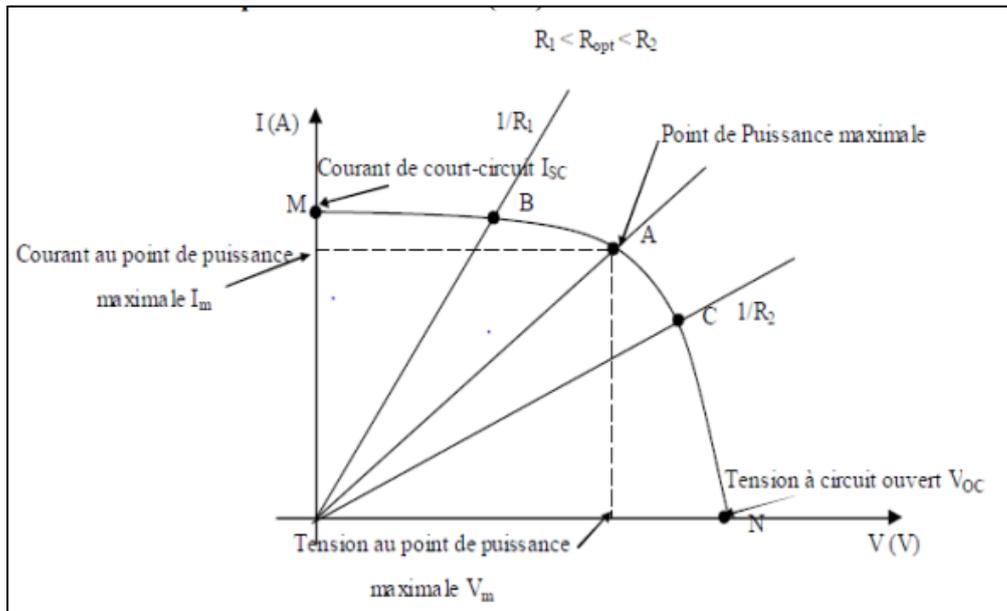


Figure 4 : Caractéristique courant - tension (I-V).

1.4.2. Fonctionnement à puissance maximale

La caractéristique électrique $p(V)$ de ce type de GPV s'avère proche de celle d'une cellule PV aux rapports de proportionnalités près. Ces rapports dépendent du nombre de cellules connectées en série et du nombre de branches de cellules associées en parallèle. Cette caractéristique est également non linéaire et présente un point de puissance maximal (PPM) caractérisé par un courant et une tension nommés respectivement, comme pour la cellule, I_{max} et V_{max} . Sur la figure 5, nous pouvons observer l'évolution du PPM d'un module commercial typique de 80W crêtes constitué de 36 cellules monocristallines en série, en fonction de la température et de l'éclairement.

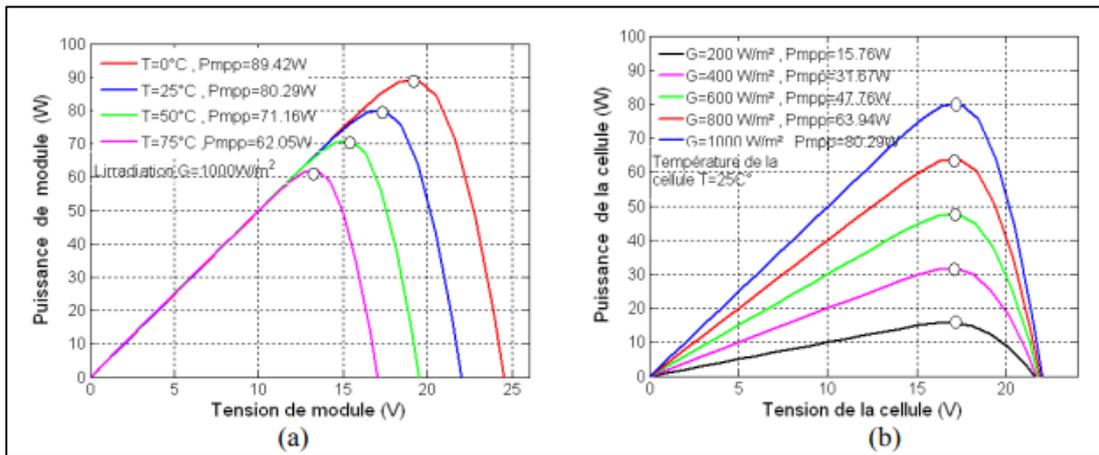


Figure 5 : Evolution du PPM d'un module photovoltaïque d'une puissance crête de 80W en fonction de la température (a) et de l'éclairement (b).

Dans un système électrique comprenant une source et une charge, la recherche du point de fonctionnement optimal par des techniques d'optimisation représente ce qui est le plus important. Dans le cas du photovoltaïque, cette démarche est plus complexe du fait que la caractéristique des cellules dépend fortement de l'ensoleillement et de la température ambiante, entre autres. Il faut trouver un dispositif permettant de fonctionner à tout moment suivant le point de fonctionnement optimal. Différentes méthodes de maximisation de puissance classées en deux catégories : les méthodes indirectes, utilisent des bases de données regroupant les caractéristiques des panneaux photovoltaïques (PV) dans différentes conditions climatiques (température, ensoleillement...) mais aussi des équations mathématiques empiriques permettant de déterminer le point de puissance maximum et les méthodes directes, sont des méthodes qui utilisent les mesures de tension et de courant des panneaux et dont l'algorithme est basé sur la variation de ces mesures. L'avantage de ces algorithmes est qu'ils ne nécessitent pas une connaissance préalable des caractéristiques des panneaux PV. Parmi ces méthodes, on retrouve la méthode de différentiation, la méthode Perturb & Observ (P&O), l'incrément de conductance.

I. 5. Caractéristiques d'un module solaire

I.5.1. Caractéristique I(V)

La cellule photovoltaïque possède une caractéristique I(V) non linéaire (Figure 6). La caractéristique d'une cellule photovoltaïque balaie 3 quadrants sur les 4 existants [8]. Une cellule PV est un récepteur dans le quadrant 2 et dans le quadrant 4. Le fonctionnement dans ces deux quadrants est à proscrire car un risque de destruction par phénomène d'échauffement local (hot spot) est possible. Le fonctionnement dans le quadrant 1 est le fonctionnement normal, en effet dans ce cas la cellule est un générateur, elle produit donc de l'énergie. L'objectif est donc de faire travailler la cellule dans ce quadrant.

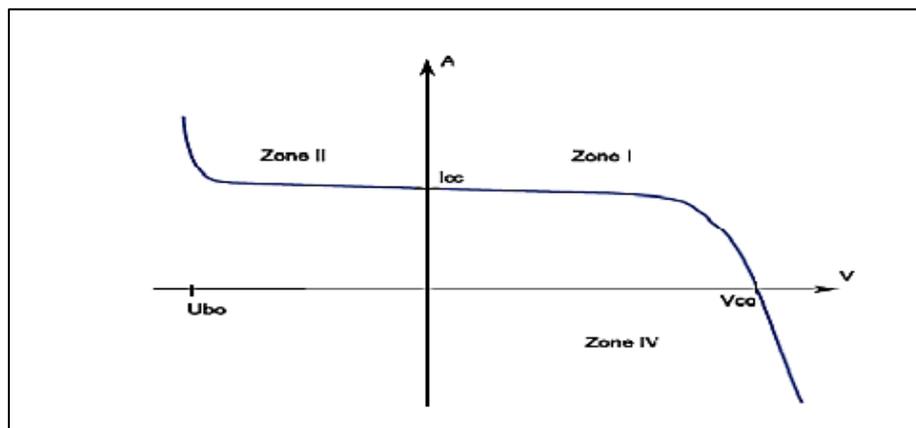


Figure 6: Caractéristiques I (V).

La tension en circuit ouvert (V_{co}) d'une cellule PV est comprise entre 0,3 V et 0,7V selon le matériau utilisé, la température et son état de vieillissement. Son courant de court-circuit (I_{cc}) varie principalement selon le niveau d'éclairement et selon les technologies et les tailles de cellules (entre 5 et 8A pour le silicium cristallin). Une cellule PV peut être modélisée par les schémas présentés sur la figure 7. La Figure 7a modélise la cellule PV dans les 1er et 4ème quadrants. Pour simuler la caractéristique de la cellule dans le 2ème quadrant une quatrième branche est rajoutée en parallèle (Figure 7). Cette branche est constituée d'un générateur de tension U_{bo} (U_{bo} tension d'avalanche) et d'une

diode mise en série. Elle simule le fonctionnement de la cellule PV lorsqu'elle est polarisée en inverse [9].

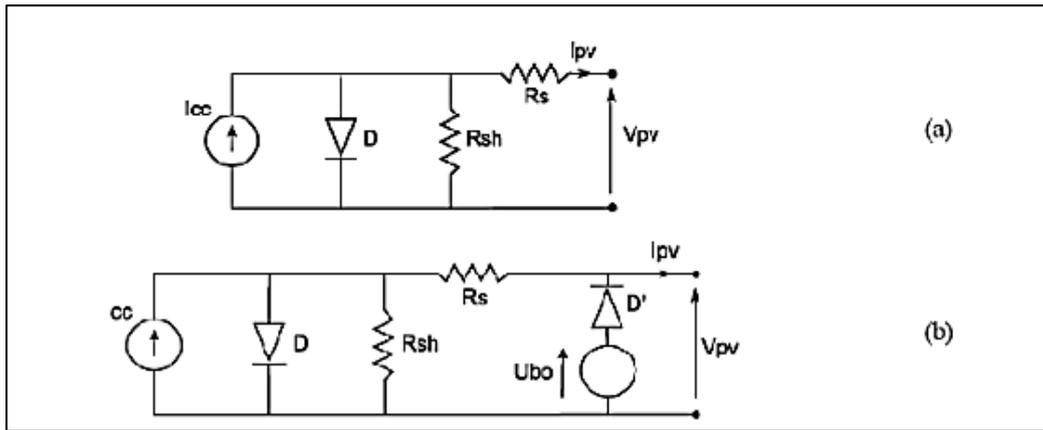


Figure 7 : Circuit équivalent complet d'une cellule PV.

I.5. 2. Caractéristique P(V)

La caractéristique P-V d'une cellule photovoltaïque peut être obtenue à partir de la caractéristique I-V et la relation de la puissance $P = VI$ (Figure.8).

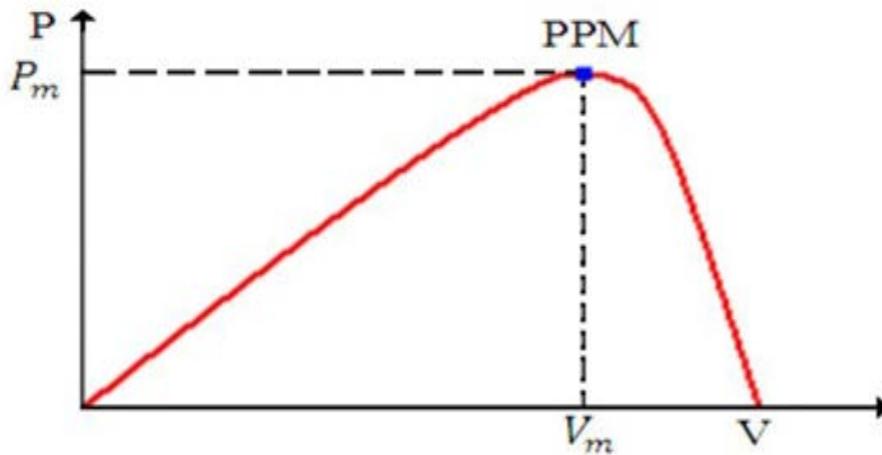


Figure 8 : Caractéristique puissance-tension d'une cellule photovoltaïque

I.5.3. Zone de fonctionnement

Les caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque varient en fonction de la température, de l'éclairement et, de façon générale, des conditions de fonctionnement lorsqu'il est connecté à une charge donnée. Nous rappelons brièvement dans ce paragraphe le comportement du générateur soumis à diverses contraintes. Ces notions sont en effet nécessaires pour comprendre le comportement d'un générateur PV et ensuite effectuer des optimisations de fonctionnement.

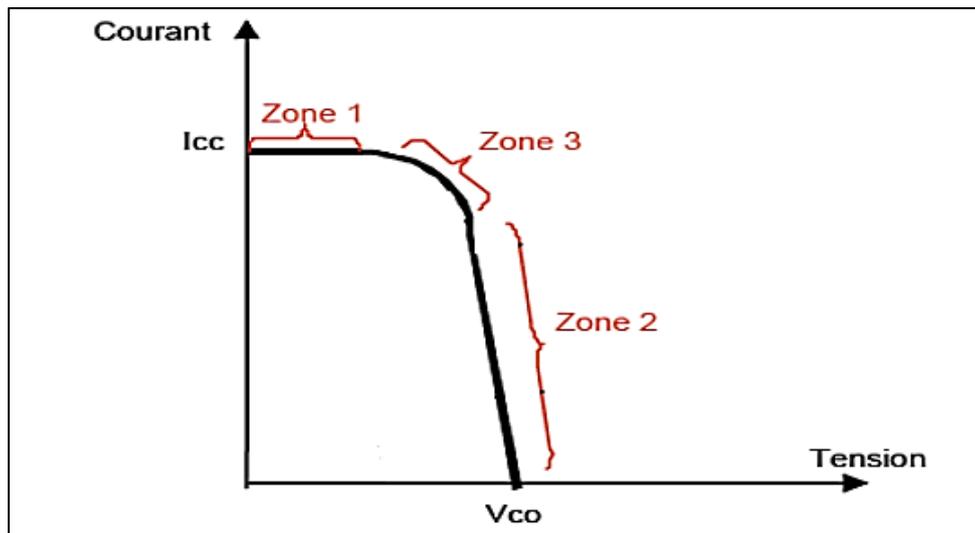


Figure 9 : Différentes zones de la caractéristique I (V).

La caractéristique d'un générateur PV constitué de plusieurs cellules a une allure générale assimilable à celle d'une cellule élémentaire, sous réserve qu'il n'y ait pas de déséquilibre entre les caractéristiques de chaque cellule (irradiation et température uniformes).

Nous pouvons décomposer la caractéristique I(V) d'un générateur photovoltaïque en 3 zones :

Une zone assimilable à un générateur de courant I_{cc} proportionnel à l'irradiation, d'admittance interne pouvant être modélisée par $1/R_{sh}$ (Zone 1),

- Une zone assimilable à un générateur de tension V_{co} d'impédance interne équivalente à la résistance série R_s (Zone 2),
- Une zone où l'impédance interne du générateur varie très fortement de R_s à R_{sh} (zone 3). C'est dans la zone 3 qu'est situé le point de fonctionnement pour lequel la puissance fournie par le générateur est maximale. Ce point est appelé point de puissance optimale, caractérisé par le couple (I_{max}, V_{max}) , et seule une charge dont la caractéristique passe par ce point, permet d'extraire la puissance maximale disponible dans les conditions considérées [10].

I.5.3.1. Liaison des cellules

La cellule solaire, de forme ronde ou carrée est l'élément de base d'un système solaire. Un ensemble de cellules forme un module solaire, dans un module les cellules sont reliées électriquement entre elles et encapsulées, donc protégées des agents extérieurs. Plusieurs modules forment un panneau solaire. Plusieurs panneaux forment un système ou champs solaire, auxquels viennent s'ajouter des protections, un régulateur, un système de stockage de l'énergie (batterie) des appareils de contrôle et de mesure.

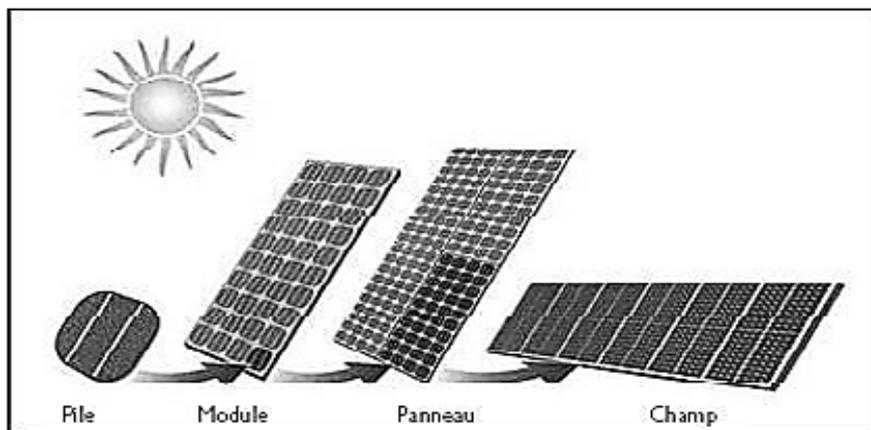


Figure 10 : Cellule, module, panneau, champ photovoltaïque.

Le terme générateur photovoltaïque GPV est utilisé pour désigner, selon l'application considérée, un module ou un panneau PV. Toutefois, il peut faire allusion au système PV tout entier.

La forme générale de la caractéristique $I(V)$ d'un module solaire ou photovoltaïque est identique à celle d'une cellule solaire élémentaire.

I.5.3.2. Association des cellules en série

Une association de (N_s) cellules en série permet d'augmenter la tension du GPV. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule.

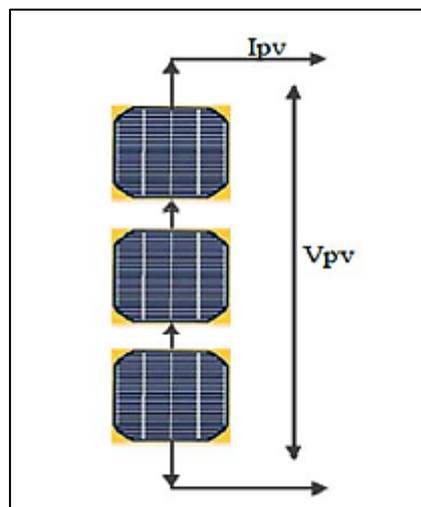


Figure 11 : Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en série.

I.5.3.3. Association des cellules en parallèle

Une association parallèle de (NP) cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. 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 [11].

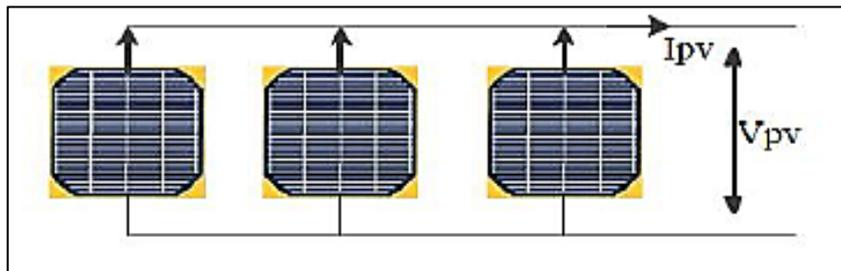


Figure 12 : Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en parallèle.

I.5.3.4. Association mixte des cellules

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représentée ci-dessous, ce qui peut être généralisé sur une gamme de N_s modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant.

Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un GPV [12].

I.6. Influence de la température

La figure (13) et (14) présente respectivement des courbes P(V) et I(V) pour différentes températures de fonctionnement du module photovoltaïque à une irradiation constante. Nous remarquons que la température à une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit.

Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente. On en déduit donc que le panneau peut fournir une tension correcte, même à faible éclairage, par conséquent la puissance extractible diminue. Il est important de savoir que la puissance du panneau diminue environ de 0,5% par chaque degré d'augmentation de la température de la cellule au-dessus de 25 °C. Enfin, il est important de noter que, lorsque l'éclairement est plus faible que 100 W/m² la tension du panneau varie à son tour. Elle baisse avec l'éclairement [13].

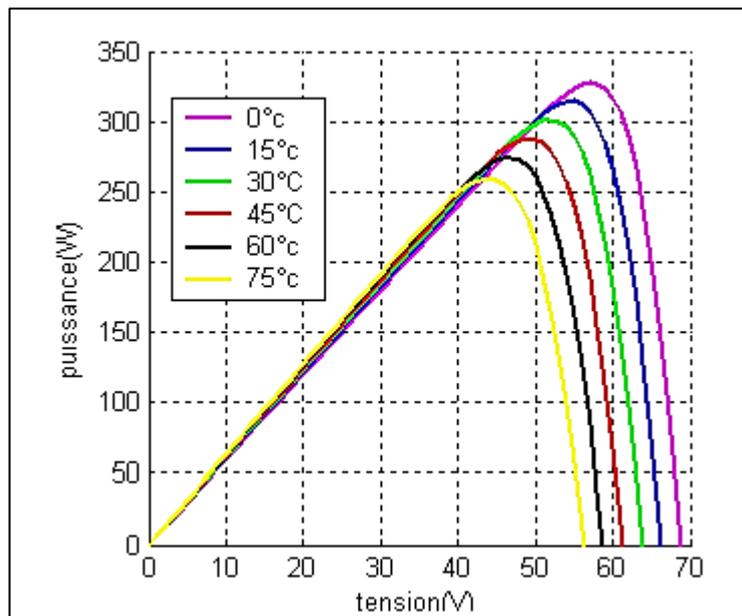


Figure 13 : Courbes P(V) d'un GPV pour différentes températures à $G=1000\text{W/m}^2$.

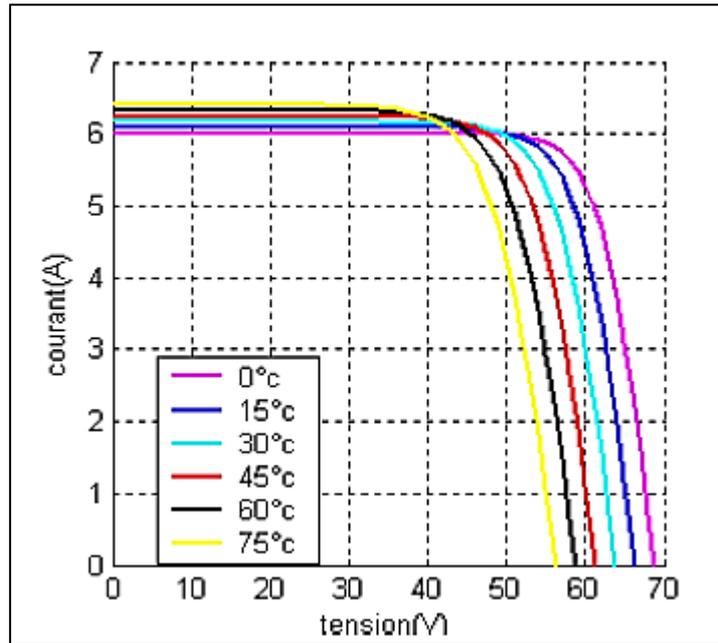


Figure 14 : Courbes I(V) d'un GPV pour différentes températures à $G=1000\text{W/m}$.

I.7. Conclusion

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie renouvelable qui provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité, rendue possible par un système PV.

Dans ce chapitre, nous sommes intéressés au principe de fonctionnement d'une cellule PV ainsi que l'étude de son schéma équivalent. Puis, nous avons considéré les différents paramètres du circuit équivalent qui permettent de tracer la caractéristique I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque et d'un générateur photovoltaïque. Nous avons remarqué que les performances d'un GPV sont fortement influencées par les conditions météorologiques (température).

Les modules PV peuvent être associés en série pour augmenter la tension, en parallèle pour augmenter le courant.

CHAPITRE II

*Commande maximum power
point Tracking*

II.1. Introduction

Le photovoltaïque (PV) est considéré comme une source d'énergie renouvelable populaire en raison de plusieurs avantages, principalement un faible coût d'exploitation, presque sans entretien et respectueux de l'environnement. Pour optimiser l'utilisation de grands réseaux de modules photovoltaïques, le suivi du point de puissance maximale est normalement utilisé en conjonction avec le convertisseur de puissance. L'objectif de MPPT est de s'assurer que le système peut toujours récolter la puissance maximale générée par les panneaux photovoltaïques. Cependant, en raison des conditions environnementales variables, à savoir la température et l'ensoleillement, la courbe caractéristique P-V présente un point de puissance maximale (MPP) qui varie de manière non linéaire avec ces conditions, ce qui pose un défi pour l'algorithme de suivi. À ce jour, diverses méthodes de suivi des MPP ont été proposées. Ces techniques varient en complexité, précision et vitesse. Chaque méthode peut être classée en fonction du type de variable de contrôle qu'elle utilise. Ci-dessous, nous passons aux éléments les plus importants concernant l'MPPT.

II.2. Définition et fonctionnement de la commande

La commande MPPT « Maximum Power Point Tracking » est une méthode permet au générateur PV de travailler à sa puissance maximale quel que soit les conditions météorologiques d'irradiations et de température Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique α d'un convertisseur DC-DC à la valeur adéquate de manière à maximiser continuellement la puissance à la sortie du panneau PV.

II.2.1. Fonctionnement de MPPT

L'efficacité d'un système photovoltaïque n'est améliorée que si le panneau PV est actionné au PPM indépendamment des variations des conditions atmosphériques le procédé de localisation du MPP est basé sur différents modèles de calculs exécutés par des algorithmes de recherches [14].

Plusieurs techniques de MPPT sont proposées dans différentes littératures techniques qui diffèrent dans leurs complexités et leurs mises en œuvre qui dépendent des capteurs utilisés, citons parmi elles (directes et indirectes): P&O – incrémentation par inductance (IC) Hill Climbing. Pour ne pas nous attarder sur les différents aspects de ces différentes méthodes (ce qui n'est en fait pas le but de ce mémoire mais un outil nécessaire dans l'étude de l'ensemble du système générateur photovoltaïque et dans le souci de présenter un aperçu de cette dernière c'est –à-dire le fonctionnement du MPPT, on adopte pour la méthode communément la plus simple et la plus utilisée à savoir la méthode P&O (Perturbe and Observe).

II.3. Classification des commandes MPPT selon le type de recherche

II.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 optimale en prenant en compte uniquement les variations de la température des cellules donnée par un capteur. Ces commandes ont l'avantage d'être simples à réaliser. Elles sont plutôt destinées à des

systèmes peu coûteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où il y a peu de changements climatiques. Parmi ces méthodes, on retrouve la méthode de la tension de circuit ouvert du générateur, la méthode de court-circuit etc... [15].

II.3.2 Méthodes directes

Ce type de commande MPPT détermine le point de fonctionnement optimal (MPP) à partir des courants, tensions ou puissances mesurés dans le système. Il peut donc réagir à des changements imprévisibles du fonctionnement du GPV. Généralement, ces procédures sont basées sur un algorithme de recherche, avec lequel le maximum de la courbe de puissance est déterminé sans interruption du fonctionnement. Pour cela, la tension du point de fonctionnement est incrémentée dans des intervalles réguliers. Si la puissance de sortie est plus grande, alors la direction de recherche est maintenue pour l'étape suivante, sinon elle sera inversée. Le point de fonctionnement réel oscille alors autour du MPP. Ce principe de base peut être préservé par d'autres algorithmes contre des erreurs d'interprétation. Ces erreurs peuvent survenir, par exemple, à cause d'une mauvaise direction de recherche, résultant d'une hausse de puissance qui, est due à une augmentation rapide du niveau de rayonnement. La détermination de la valeur de la puissance du générateur PV, indispensable pour la recherche du MPP, nécessite la mesure de la tension et du courant du générateur, ainsi que la multiplication de ces deux variables. Parmi ces méthodes, on retrouve la méthode de différenciation, la méthode Perturbe & Observe (P&O), l'incrément de conductance, etc.... [15].

II.4. Commande de MPPT perturbation et observation (P&O, Perturb 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 ($P=VI$) [16]. 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 [17].

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 [17]. Figure 15 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.

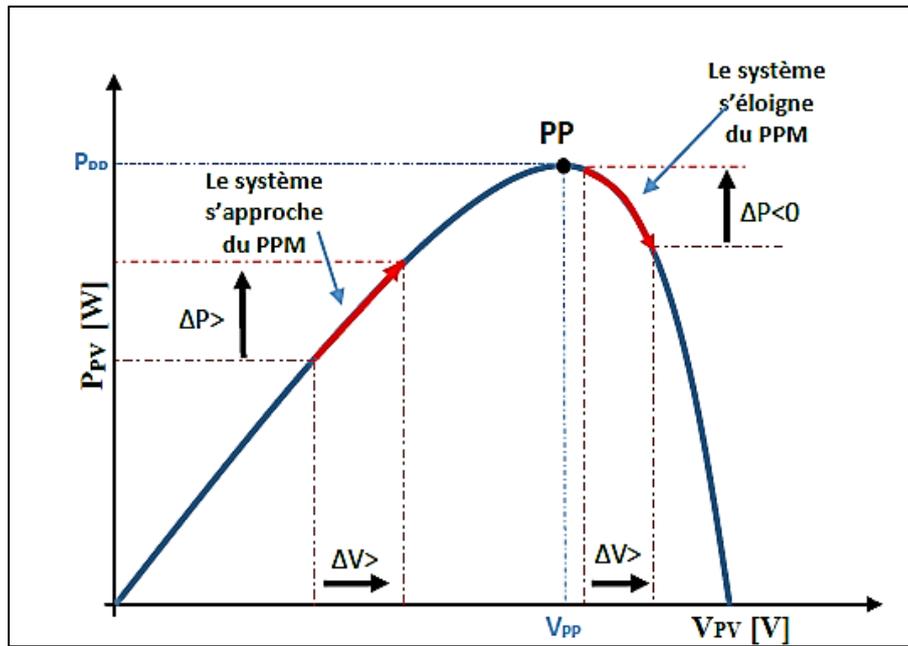


Figure 15 : Recherche du PPM par la méthode (P&O).

A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $p(v)$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du GPV à chaque instant. L'utilisation d'un microprocesseur est plus appropriée pour la réalisation de la méthode P&O, même si des circuits analogiques peuvent être utilisés [18].

La Figure 15 représente l'algorithme classique d'une commande MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension.

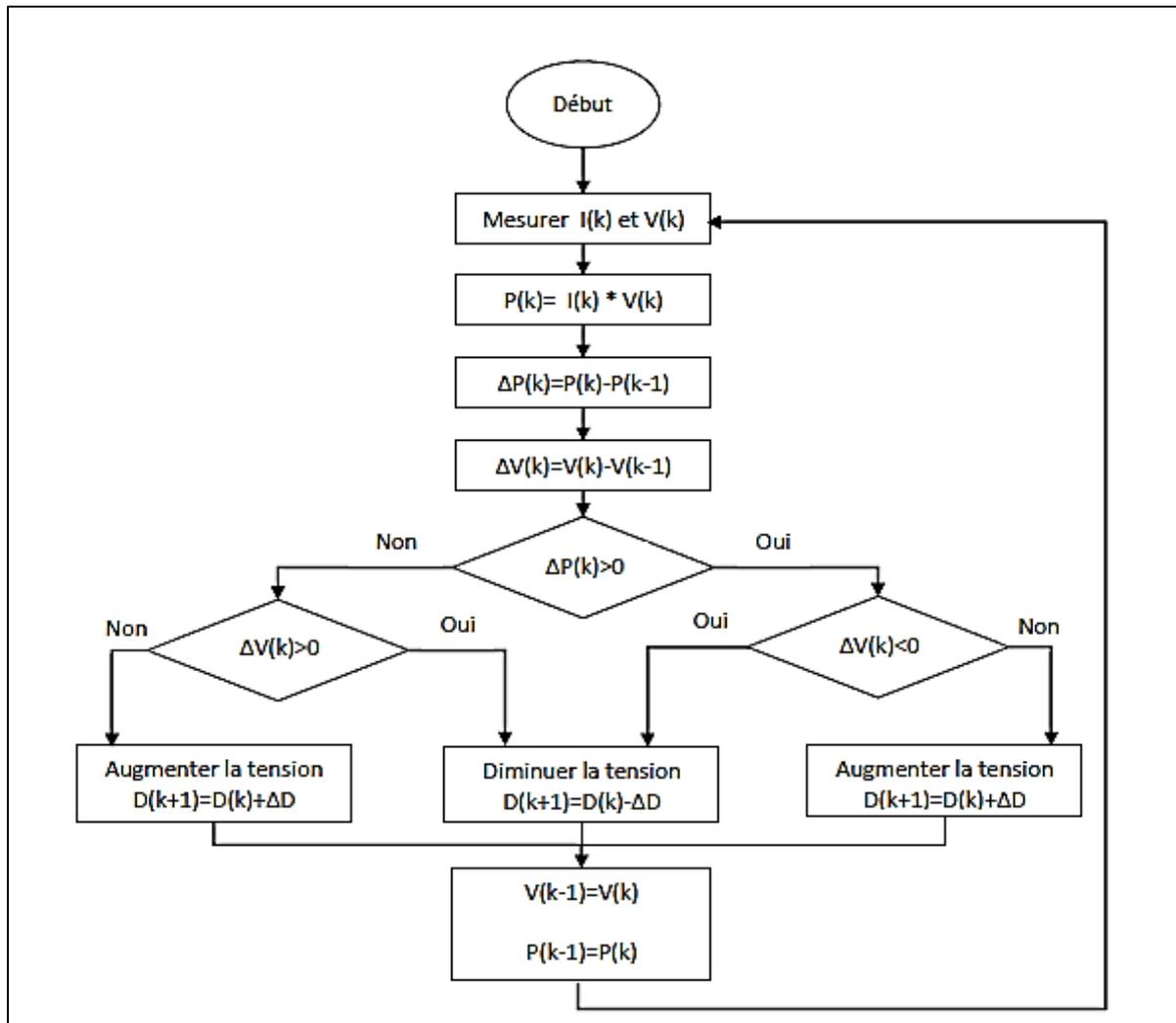


Figure 16 : Algorithme de P&O classique.

II.5. Commande MPPT incrémentation de la conductance

Cette technique se base sur la connaissance de la variation de la conductance du GPV et de ses conséquences sur la position du point de fonctionnement par rapport à un PPM [20]. La conductance d'un module photovoltaïque est définie par le rapport entre le courant et la tension du GPV et sa variation élémentaire (incrément) sont données par :

$$G = \frac{I(pv)}{V(Pv)} \quad (1)$$

$$dG = \frac{dI(pv)}{dV(Pv)} \quad (2)$$

D'autre part, l'évolution de la puissance du module $P_{(PV)}$ par rapport à la tension $V_{(PV)}$ donne la position du point de fonctionnement par rapport au PPM. Lorsque la dérivée de puissance est nulle $\frac{dP(PV)}{dV(PV)} = 0$, cela signifie que l'on est sur le PPM, si elle est positive $\frac{dP(PV)}{dV(PV)} > 0$ le point d'opération se trouve à gauche du maximum, lorsqu'elle est négative $\frac{dP(PV)}{dV(PV)} < 0$, on se situe à droite **Figure 16**.

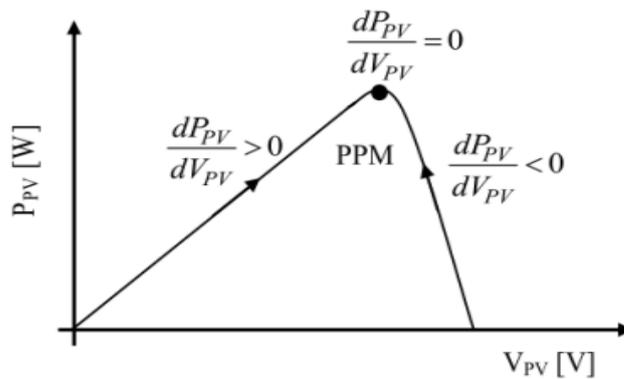


Figure 17 : Positionnement du point de fonctionnement suivant le signe de

$\frac{dP(PV)}{dV(PV)}$ sur la caractéristique de puissance.

II.6.conclusion

Dans ce chapitre, nous avons entamé la partie la plus importante et la plus délicate de cette étude. Il s'agit de présenter le principe de la recherche du point de puissance maximale tout en donnant les différentes classifications des commandes MPPT. Nous avons détaillé les différentes méthodes MPPT rencontrées le plus souvent dans la littérature. L'existence de plusieurs types de commandes MPPT montre que ce domaine de recherche est en perpétuel évolution et qu'il est difficile de trouver une ou plusieurs solutions universelles. Ce chapitre nous servira de support de comparaison avec l'approche de MPPT qu'on va développer dans ce qui suit.

CHAPITRE III

Simulation

III.1. Introduction

La simulation est un outil puissant pour l'évaluation des performances théoriques d'un système. En effet, ce dernier peut être testé sous des conditions facilement contrôlables et ses performances peuvent être aisément surveillées. La procédure de simulation lie les deux principales parties de la conception d'un système, à savoir, l'étude théorique et la réalisation d'un prototype. Vu que des changements dans la conception peuvent facilement être faits à l'étape de la simulation, il est possible d'expérimenter avec un large ensemble de variations des conditions de fonctionnement afin d'aboutir à une solution optimale.

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

III.2. Simulation du système photovoltaïque avec la commande MPPT

Pour tester les fonctionnements des algorithmes modélisés précédemment, on a inséré le bloc de commande MPPT pour le système photovoltaïque, les entrées de la commande sont le courant et la tension du panneau, la sortie représente le pas du rapport cyclique qui génère le signal de modulation PWM.

La Figure 18 illustre le bloc schématique de SIMULINK du système PV adapté par la commande MPPT :

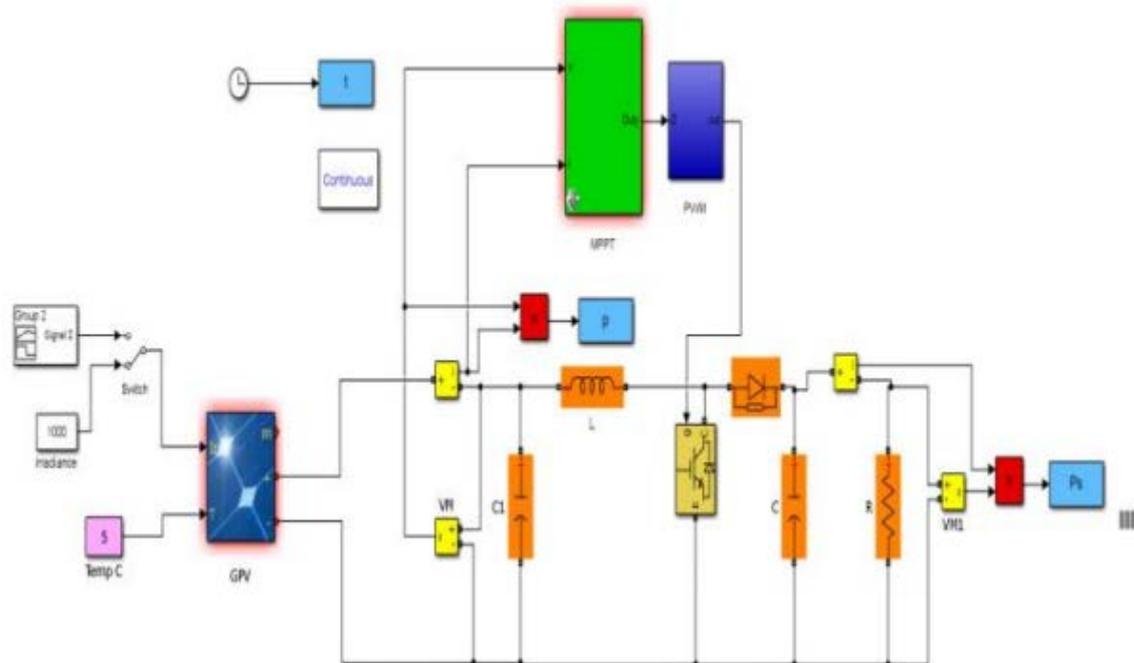


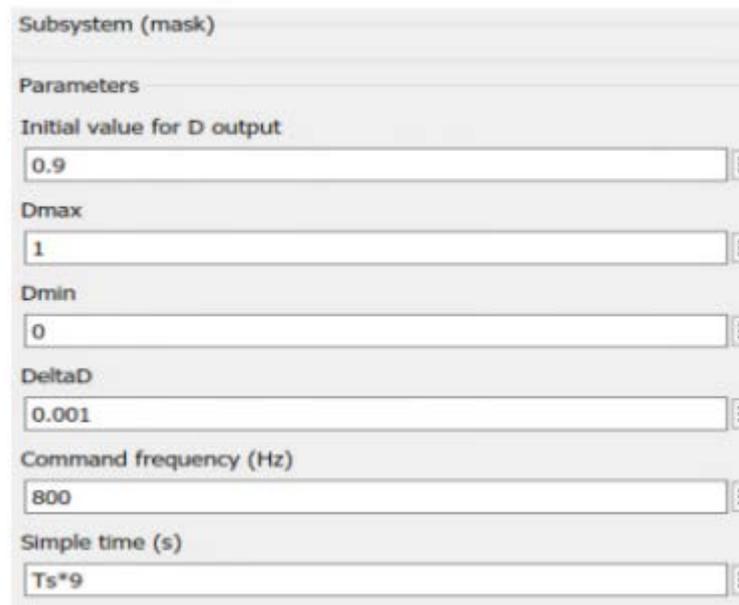
Figure 18 : Modélisation d'un SPV sous MATLAB\SIMULINK.

III.3. Simulation avec la commande P&O

Pour avoir une meilleure connexion entre le GPV et la charge et bénéficier de la puissance maximale, on présente l'une des méthodes de la commande MPPT qui est la méthode P&O, partant de la modélisation de cet algorithme aux résultats des tests.

Le principe est de calculer ΔP et ΔV afin de se rapprocher de la zone du PPM.

Dans le cadre de ce travail, on analyse la conception et la simulation d'une commande MPPT numérique « perturbation et observation » qu'on a appliqué au GPV avec le convertisseur statique débitant sur une charge. Un masque de sous-système est utilisé pour faciliter le paramétrage du rapport cyclique et de la fréquence du MPPT.



Subsystem (mask)

Parameters

Initial value for D output
0.9

Dmax
1

Dmin
0

DeltaD
0.001

Command frequency (Hz)
800

Simple time (s)
Ts*9

Figure 19 : Masque des paramètres de la commande P&O.

III.3.1. Simulation sous des conditions climatiques stables

Pour une évaluation des performances du système photovoltaïque de la commande MPPT du type PO, nous avons simulé le fonctionnement d'un ensemble (GPV-BOOST-MPPT et une charge) sous des conditions atmosphériques fixes (un éclairement 1000 W/m^2 et une température de 25°C)

Les résultats de simulation du fonctionnement du système photovoltaïque muni de la commande MPPT « perturbation et observation » sont représentés par les figures suivantes pour un pas de perturbation de 0.01 et 0.002.

Pas du rapport cyclique $\Delta D=0.01$

Les figures 20, 21, 22, 23 et 24 représentent, respectivement, l'évolution du rapport cyclique, la puissance à l'entrée et à la sortie du Boost, la tension à l'entrée et la sortie du Boost.

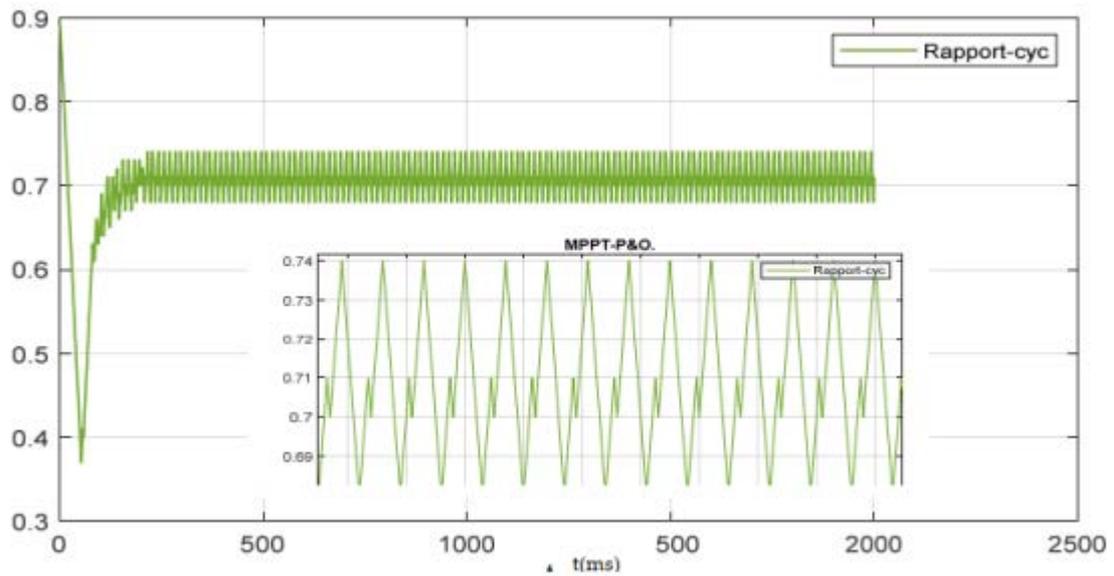


Figure 20 : Courbe d'un pas de rapport cyclique égal à 0.01.

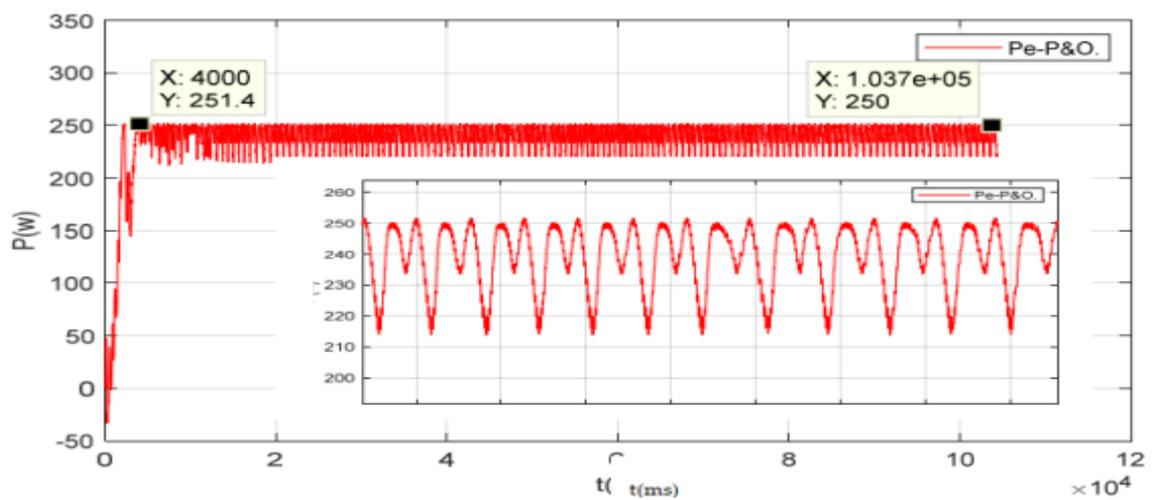


Figure 21 : Puissance aux bornes du GPV pour un pas de 0.01.

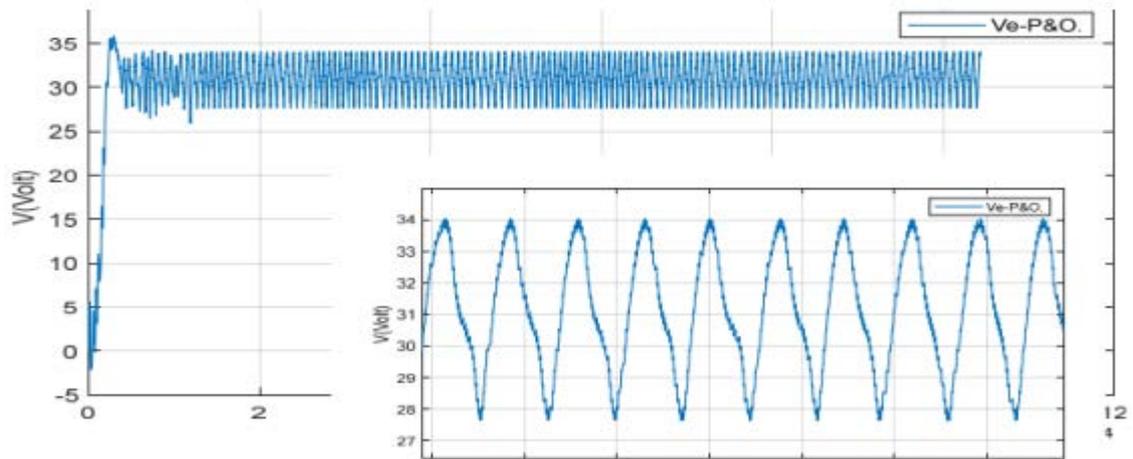


Figure 22 : Tension du générateur photovoltaïque pour un pas de 0.01.

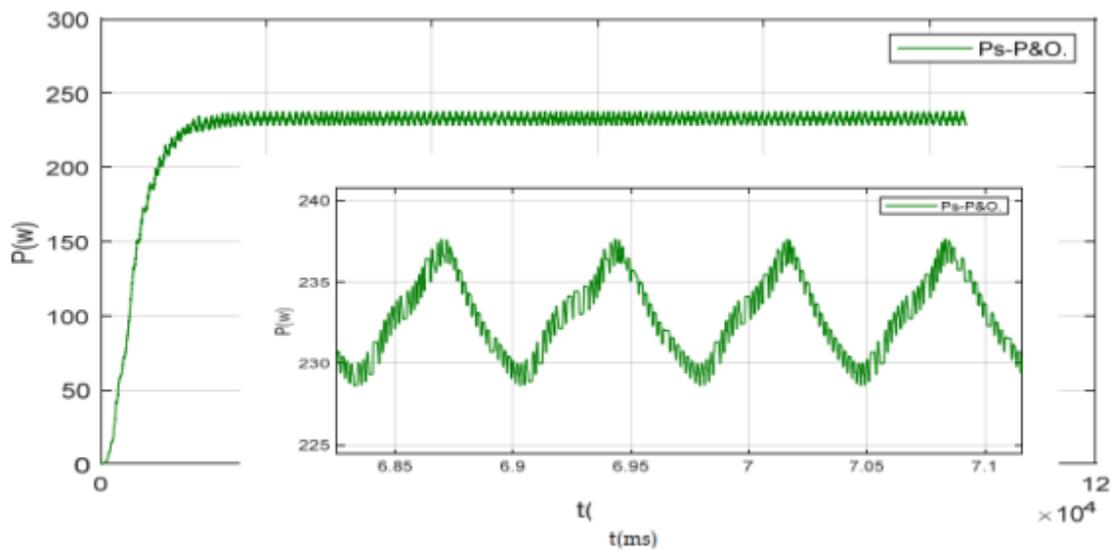


Figure 23 : Puissance de sortie du système pour un pas de 0.01.

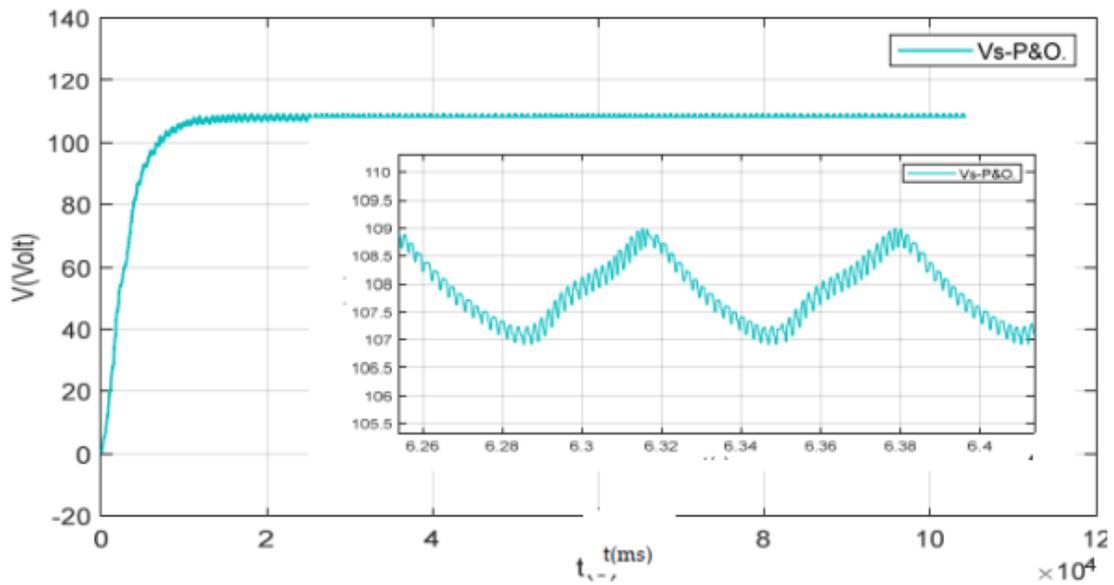


Figure 24 : Tension de sortie du système pour un pas de 0.01.

Pas du rapport cyclique $\Delta D=0.002$

Les figures 25, 26, 27, 28 et 29 représentent, respectivement, l'évolution du rapport cyclique, la puissance à l'entrée et à la sortie du Boost, la tension à l'entrée et la sortie du Boost.

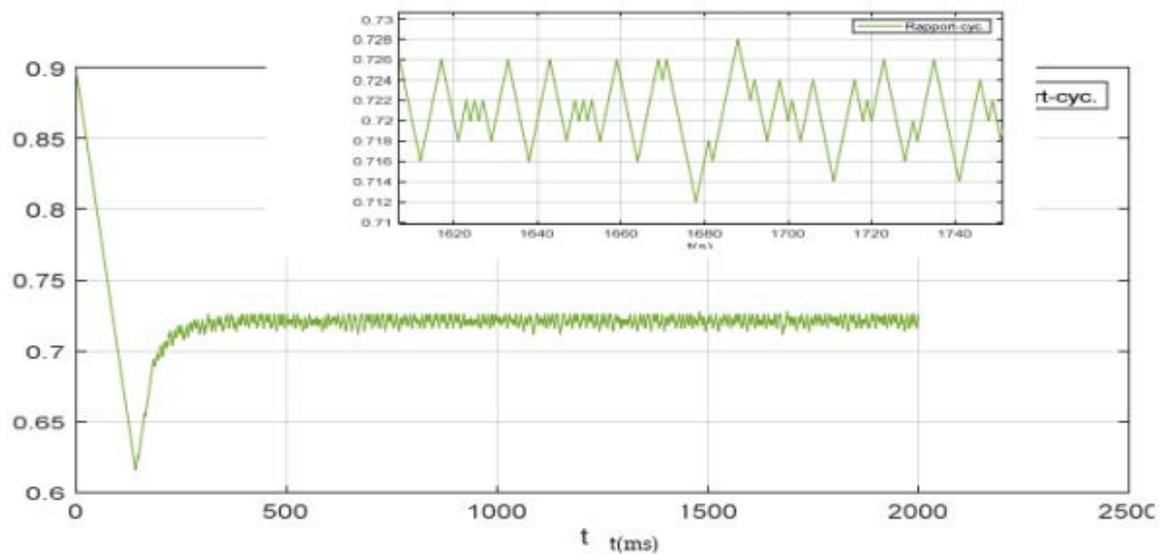


Figure 25 : Courbe d'un pas de rapport cyclique égal à 0.002.

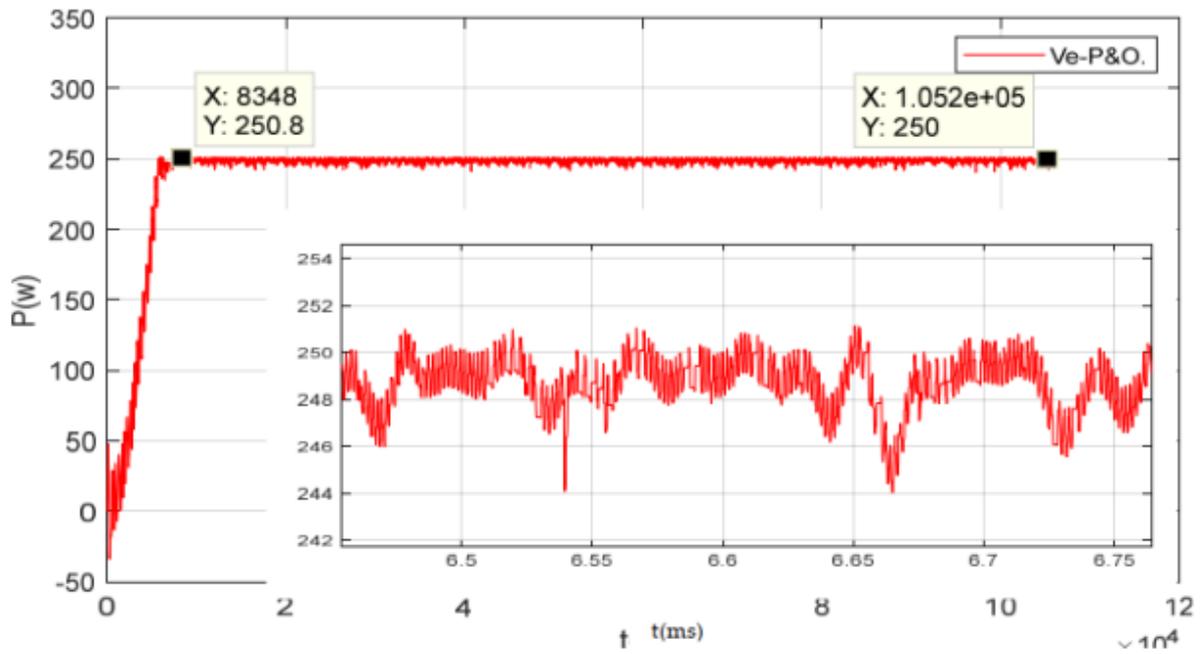


Figure 26 : Courbe de la tension aux bornes du GPV pour un pas de 0.002.

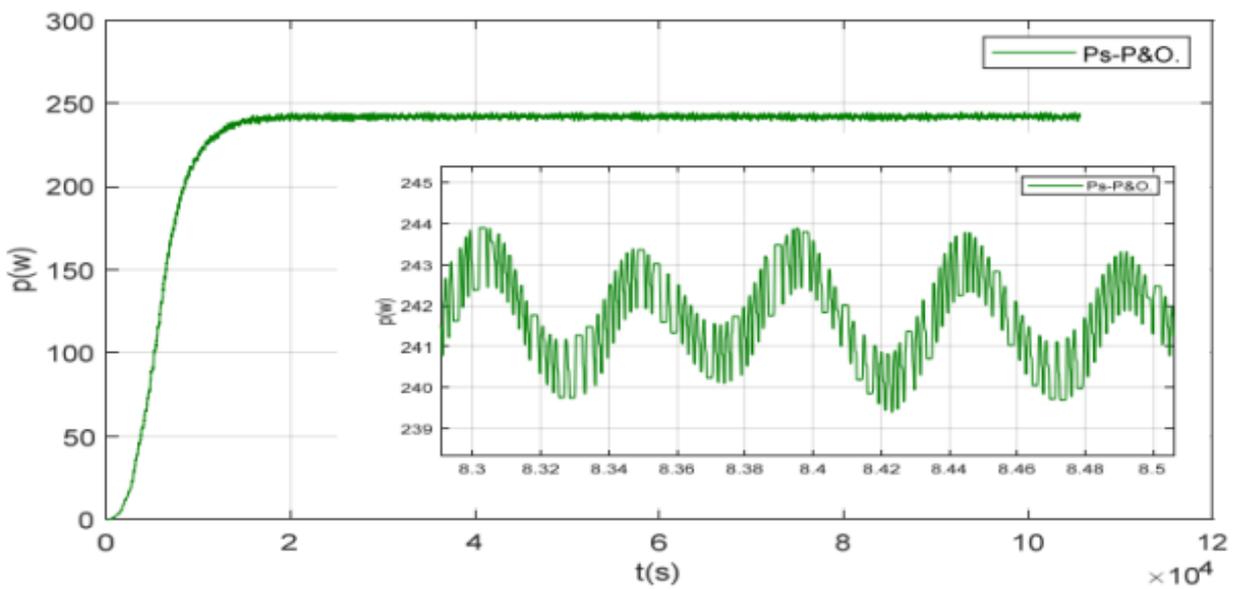


Figure 27 : Puissance de sortie du système pour un pas de 0.002.

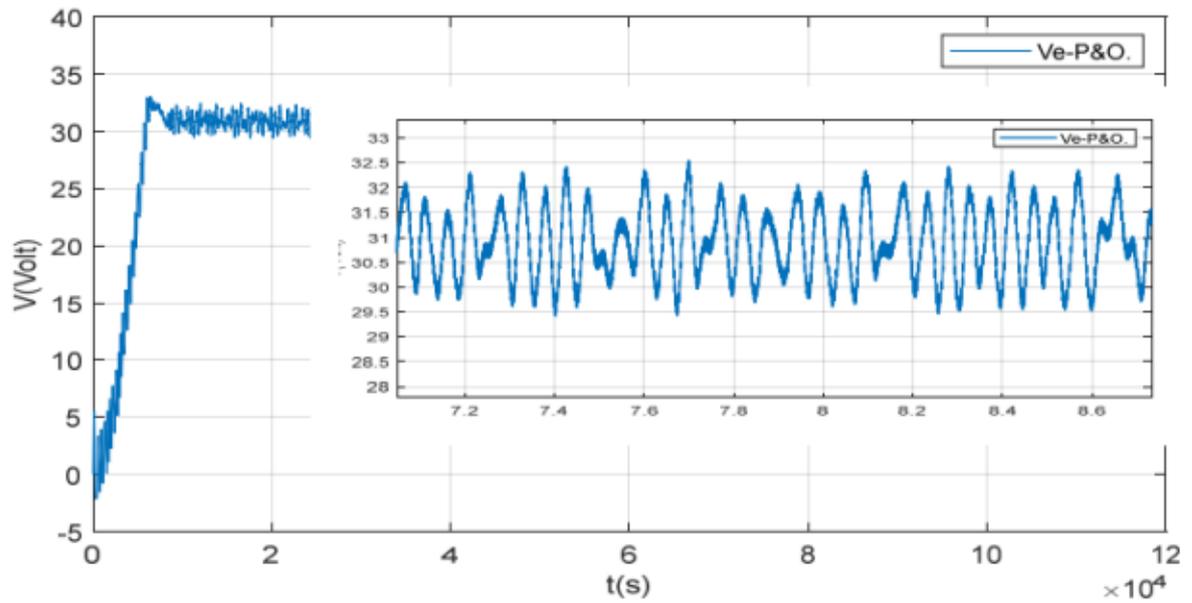


Figure 28 : Tension à la borne du générateur photovoltaïque pour un pas de 0.002.

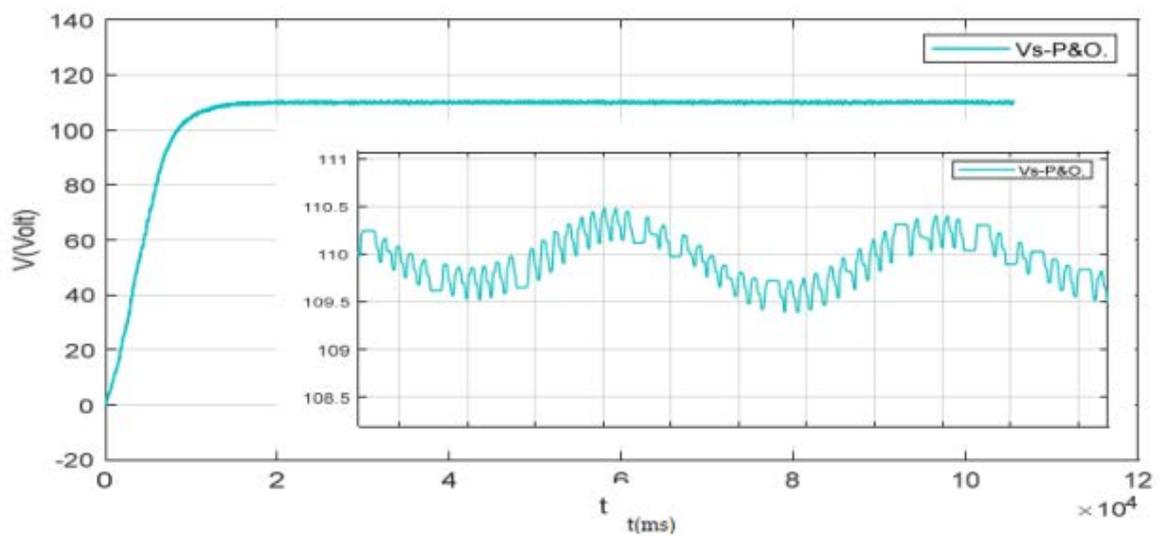


Figure 29 : Tension de sortie du système pour un pas de 0.002.

III.3.2. Fonctionnement sous des conditions climatiques variables

Nous avons testé le fonctionnement du système étudié sous une température fixe de 25°C et un éclairement variable ($200W/m^2$, $1000W/m^2$, $500W/m^2$,) comme illustré dans la figure 30.

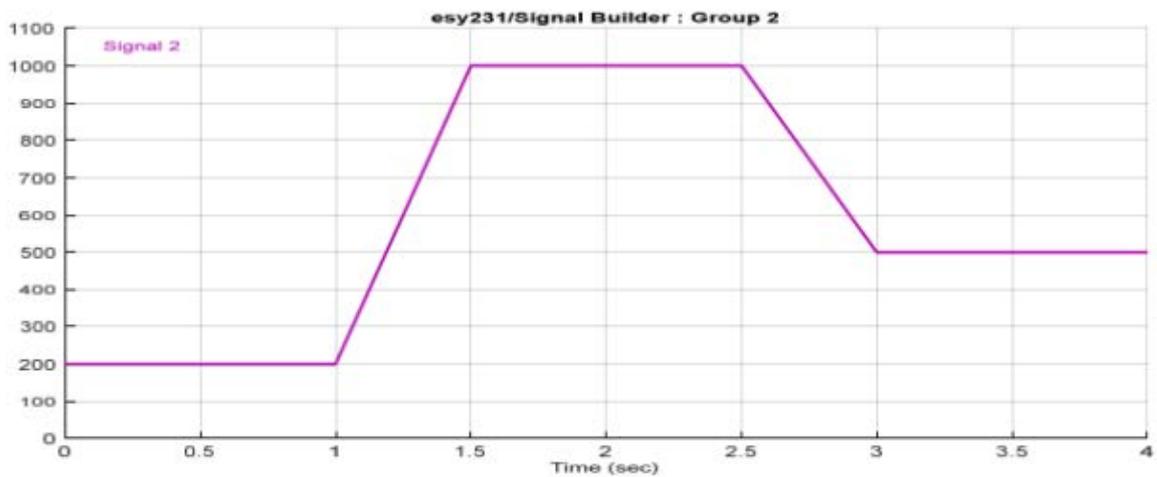


Figure 30 : Profile d'un éclairement injecté dans le générateur photovoltaïque.

La structure nous montre le fonctionnement de la puissance de GPV suivant le changement de l'éclairement, et les figures 31, 32, 33, 34 et 35 nous montrent les résultats.

Pour un pas de 0.002 on a alors :

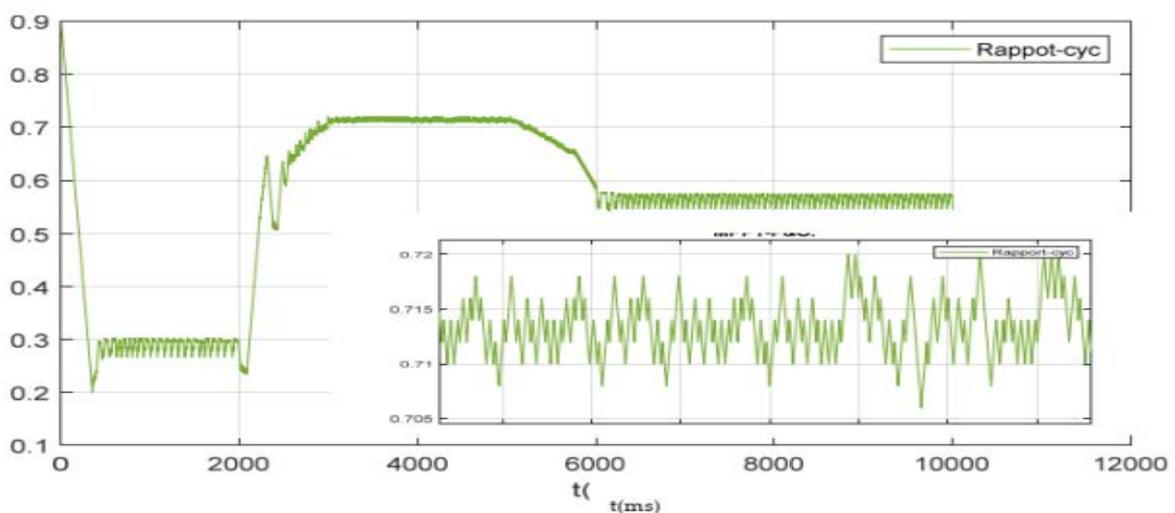


Figure 31 : Courbe du pas d'un rapport cyclique égal à 0.002.

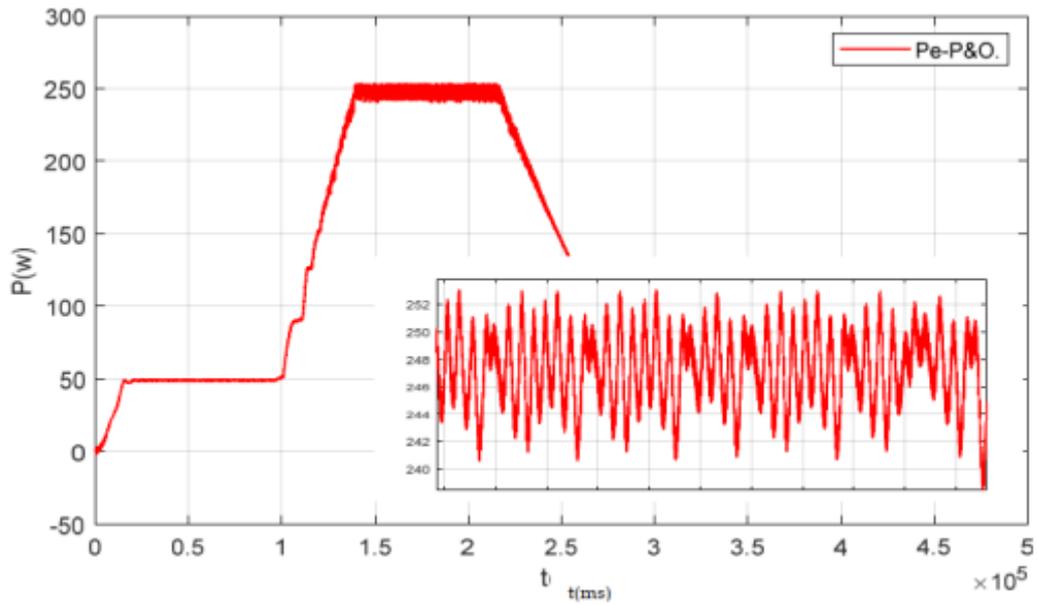


Figure 32 : Tension aux bornes du générateur photovoltaïque.

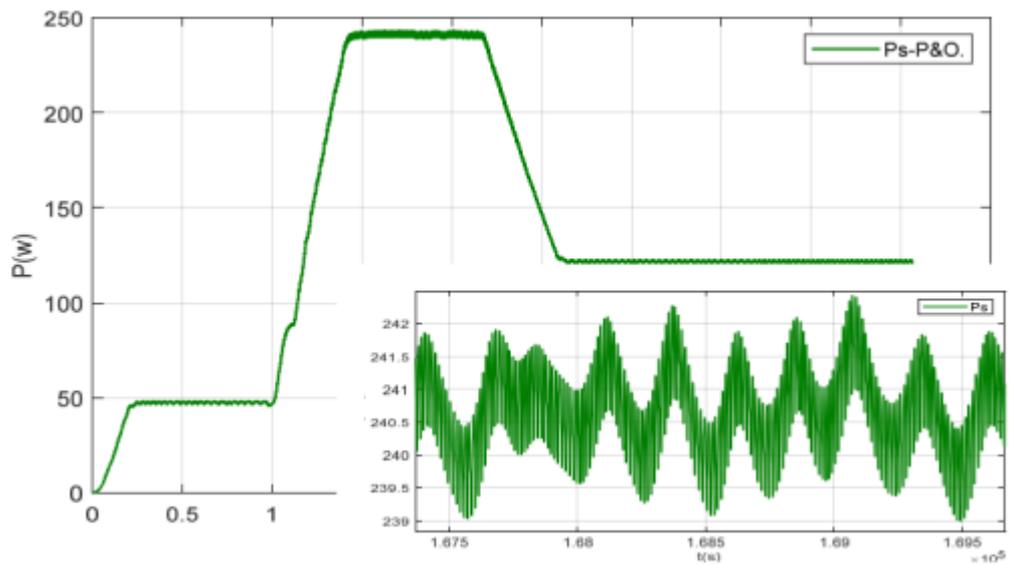


Figure 33 : Puissance de sortie du système.

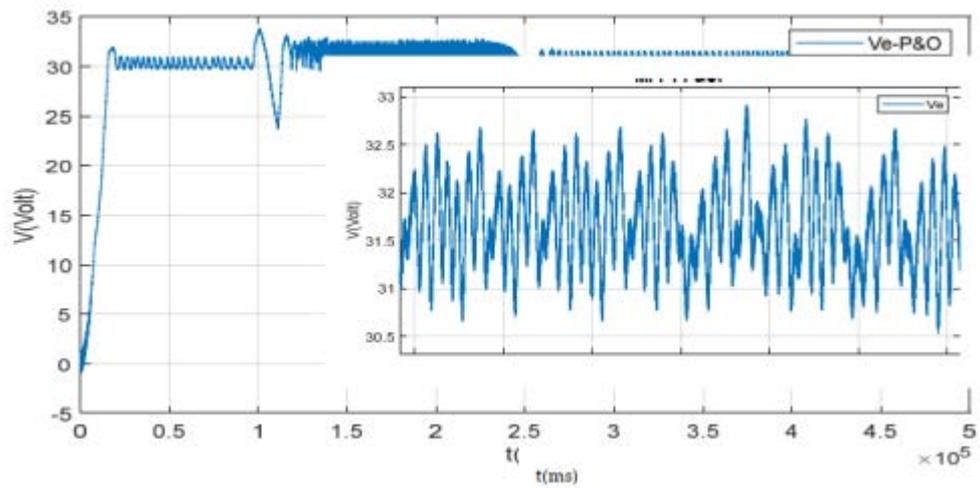


Figure 34 : Tension aux bornes du générateur photovoltaïque.

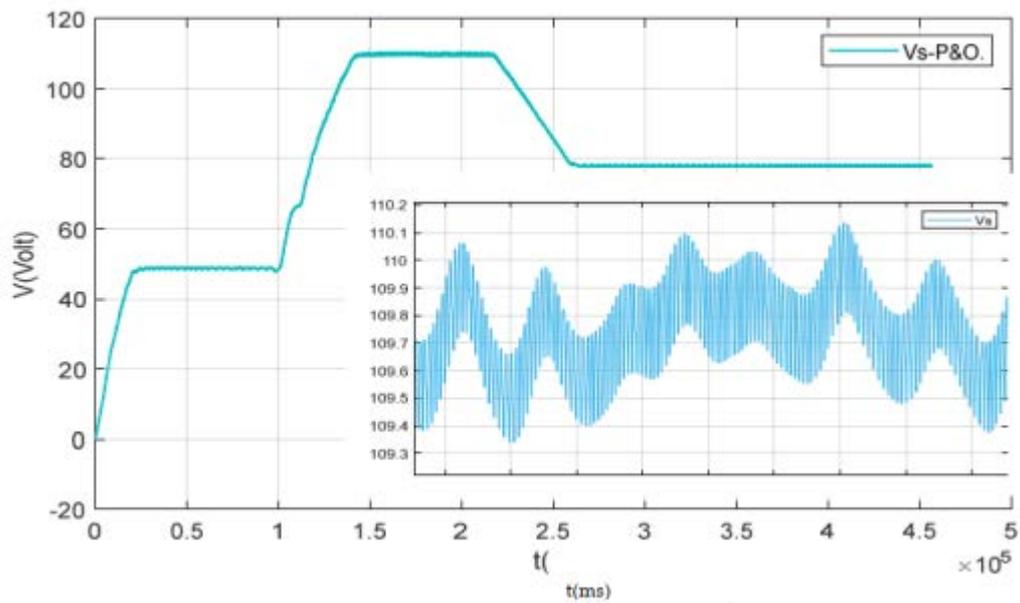


Figure 35 : Tension de sorti du système.

III.3.3 Analyse des résultats de P&O

À partir des résultats obtenus, on remarque que malgré que nous avons démarré la simulation avec des conditions initiales nulles, la commande P&O a permis de retrouver le point de puissance maximale du panneau (la même valeur donnée par le constructeur).

Une caractéristique importante sur les oscillations de la courbe. Avec la présence de la commande P&O, on remarque que : Pour un pas de 0,01 la courbe du rapport cyclique illustrée dans la figure 36 atteint jusqu'à 0,74 avec de grandes oscillations, ce qui conduit à des oscillations importantes de la puissance du PV (Figure 37).



Figure 36 : Module photovoltaïque.



Figure 37 : Panneau photovoltaïque.

À partir des courbes présentées pour les différents cas de simulation, le hacheur survolteur fournit une tension de sortie V_s supérieure à celle du générateur photovoltaïque, car : ≈ 0.7 .

Dans le cas du fonctionnement avec l'irradiation variable, on note que le rapport cyclique varie avec l'éclairement dans le but de poursuivre le PPM.

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre englobe des simulations développées sous l'environnement Matlab/Simulink pour tester à valider les commandes MPPT faisant l'objet de cette étude. Et aussi, nous avons présenté la conception et la simulation d'un contrôleur basé sur des techniques populaires tel que la perturbation et l'observation.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Notre projet l'étude est basé sur l'analyse d'une modélisation et simulation du fonctionnement électrique d'un système photovoltaïque (PV) par une commande numérique (commande MPPT).

Le travail présenté dans ce mémoire traite la simulation d'un algorithme MPPT par la méthode de perturbation et observation (P&O). La méthode P&O est l'un des systèmes les plus largement utilisés dans MPPT. Il vérifie la puissance de la sortie du réseau et compare sa varié à la direction de perturbation de la tension de fonctionnement du réseau lui-même.

- Dans un premier lieu, des notions sur l'énergie solaire et le système photovoltaïque ont été évoquées.
- Dans un second lieu, la commande Maximum power point Tracking a été présentée.
- Les résultats de simulations réalisés ont montré clairement l'intérêt du système photovoltaïque proposé et qui joue un rôle prépondérant dans la fourniture d'énergie et surtout la continuité de service.
- Le système photovoltaïque pourra constituer un moyen très économique et fiable.

Références

- [1] K. Ouabdelkader, H. Mersel, "Modélisation et Contrôle d'un Système Photovoltaïque Connecté au Réseau ", Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2015.
- [2] Salama. F, "Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique ", Mémoire de Magister, Université de Sétif, 2011.
- [3] B. Zerguine, " Modélisation d'un système de production électrique par la cellule photovoltaïque ", Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar Annaba, 2010.
- [4] A. Kawther, "Production d'énergie électrique à partir de l'énerphotovoltaïque", Mémoire de License, Université de Guelma, 2017.
- [5] A. Labouret, M. Viloz, " Energie solaire photovoltaïque ", 3^{ème} édition, DUNOD, Paris, 2006.
- [6] B. Equer, "Energie solaire photovoltaïque (volumel : physique et technologie de la conversion photovoltaïque) ", 1^{ère} édition, ELLIPES, Paris, 1993.
- [7] M. Mehdi, "Injection de l'électricité produite par les énergies renouvelables dans le réseau électrique ", Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen, 2010.
- [8] D. M. Trung, "Elaboration de cellules solaires photovoltaïques à base de polymères conjugués, études des systèmes reticulables ", Thèse de doctorat, Université Bordeaux1, 2009.
- [9] R. Bettignies, "Cellules photovoltaïques organiques dérivées de nouveaux systèmes conjugués ", Thèse de doctorat, Ecole Doctorale d'Angers, 2003.
- [10] A. Corinne, "Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie", Mémoire d'habilitation à diriger les recherches, Université Paul Sabatier Toulouse III, 2003.

- [11] O. Benseddik., F. Djaloud, “ Etude et optimisation d’un système photovoltaïque ”, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2012.
- [12] H. Belghitri, "Modélisation, simulation et optimisation d’un système hybride éolien-photovoltaïque", Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2009.
- [13] M. Madani, FPGA en utilisant la carte ML605 “, Université Mohamed Boudiaf M’sila, 2018.
- [14] I. Nadji, "Etude d’un système photovoltaïque 1kv", Mémoire de Master, USTO, Oran, Algérie, 2016.
- [15] F. BENADEL, Etude Et Simulation D’une Commande MPPT Pour Système PV,mémoire de Master Académique, M’SILLA: département de génie électrique: université de Mohamed Boudiaf - M’SILLA, 2016.
- [16] H. Bagheri, "Advances in electric power engineering", Publisher: lulu (USA), 2015
- [17] D. Al Maamoury, M. Bin Mansor, A. Assim Al Obaidi, "Active power control for a single-phase grid connectedpv system" , International journal of scientific & technology research, vol. 2, Issue 3, 2013.
- [18] A. Bisker, M. Chiri, "Commande d’un système photovoltaïque en mode isolé et en mode connecté au réseau", Mémoire d’ingénieur d’état en électrotechnique, école nationale polytechnique, 10, av. Hassen Badi, El-Harrach, Algérie, 2012.
- [19] A. Oi, "Design and simulation of photovoltaic water pumping system", faculty of cali- forniapolytechnic state university, 2000.
- [20] C. Cédric, "Optimisation énergétique de l’étage d’adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque", Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 2008.