



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et Informatique Industriel

Présenté par

Tahri Haroun

Khelifi Salim

THEME

L'extraction de la puissance maximale d'un système photovoltaïque sous un ombrage partielle

Soutenu le 29/06/2019 devant la commission d'examen composée de :

Mr. Saidi Abdelkader

MCB à l'Université de Khenchela Président

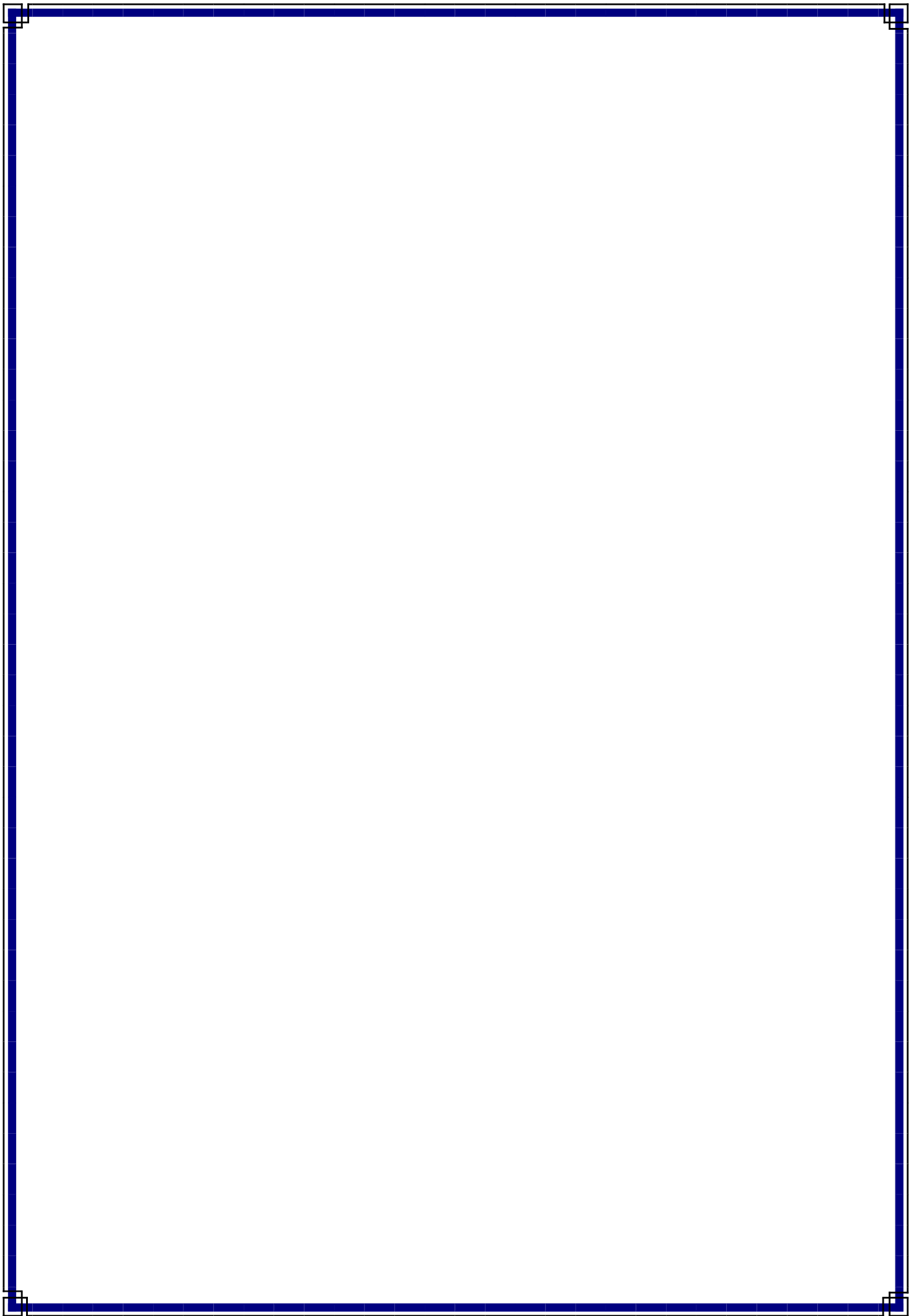
Mr. MENADI Abdelkarim

MCB à l'Université de Khenchela Encadreur

Mme. Aourar Salima

MAA à l'Université de Khenchela Examineur

2021/2022



Dédicaces

Nous dédions ce travail à :

Nos chers parents qui n'ont cessé de nous encourager et de nous pousser vers les horizons. A nos frères et à toute notre famille et à tous ceux qui ont contribué à nos encouragements. Et tous nos professeurs, du primaire à l'université. A tous nos amis et collègues de cette promotion et à tous ceux qui ont participé avec nous de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Haroun, Salim

Remerciement

Nous remercions Dieu Tout-Puissant, qui nous a permis de mener à bien cette recherche scientifique, et qui nous a inspirés par la santé, le bien-être et la détermination ,Toutes ces années scolaires, c'est grâce à lui que ce travail a pu être réalisé.

Nous adressons nos sincères remerciements et notre gratitude au professeur encadrant, Dr: Menadi Abd el Karim, pour tous les conseils et précieuses informations qu'il nous a fournis et qui ont contribué à enrichir le sujet de notre étude dans ses différents aspects.

Nous adressons également nos remerciements aux membres du comité de discussion estimé qui ont accepté de juger ce travail. Sans oublier tous les professeurs du département des Sciences et Technologies de l'université de Khenchela qui nous ont enseigné pendant le cours.

Enfin, nos sincères remerciements à tous nos amis et proches et à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce projet de fin d'études.

Résumé

Les centrales solaires ou les systèmes photovoltaïques sont des cellules solaires, qui sont généralement installées dans des zones disposant de ressources solaires suffisantes et de grands terrains, ils peuvent être également placés sur les toits des maisons ou des bâtiments commerciaux. Des facteurs naturels tels que l'intensité de la lumière et les conditions météorologiques, en raison de l'ombre, qui est causée par la poussière accumulée comme le sable, les feuilles d'arbres, les déjections d'oiseaux, l'ombre des arbres et des bâtiments urbains, et des panneaux solaires mal conçus...etc peuvent affecter les performances des panneaux photovoltaïques.

Dans son ensemble, cette étude présente un modèle de simulation de modules PV exposés à un éclairage non uniforme (avec ombrage partiel). Nous mesurons les propriétés I-V et P-V du panneau photovoltaïque à l'aide du logiciel de simulation MATLAB pour analyser les effets de différents types d'ombrage partiel.

Enfin, nous essayons d'utiliser de puissantes commandes MPPT pour l'effet d'ombrage lors de l'utilisation du système PV dans cette zone.

Mots clés: Photovoltaïque, MATLAB/SIMULINK, ombrage, MPPT..

Abstract

Solar power plants or photovoltaic systems are solar cells, which are usually installed in areas with sufficient solar resources and large land, they can also be placed on the roofs of houses or commercial buildings. Natural factors such as light intensity and weather conditions, due to shade, which is caused by accumulated dust such as sand, tree leaves, bird droppings, shade from trees and urban buildings, and poorly designed solar panels...etc can affect the performance of photovoltaic panels.

As a whole, this study presents a simulation model of PV modules exposed to non-uniform irradiance (with partial shading). We measure the I-V and P-V properties of the photovoltaic panel using MATLAB simulation software to analyze the effects of different types of partial shading.

Finally, we try to use powerful MPPT controls for shading effect when using PV system in this area.

Keywords: MATLAB/SIMULINK photovoltaics, shading, MPPT.

ملخص :

محطات توليد الطاقة الشمسية أو الأنظمة الكهروضوئية هي عبارة عن خلايا شمسية والتي عادة ما يتم تثبيتها في مناطق ذات موارد شمسية كافية وأراضي شاسعة كما يمكن وضعها على أسطح المنازل أو المباني التجارية. إلا أنه وفي بعض الأحيان لا تتعرض اللوحة الكهروضوئية للضوء بالكامل وذلك لارتباطها بعدة عوامل طبيعية كشدة الضوء وحالة الجو ، بسبب الظل والذي يعود سببه إلى الغبار المتراكم مثل الرمل وأوراق الشجر وفضلات الطيور وظلال الأشجار و المباني العمرانية كما يمكن لسوء التصميم للألواح الشمسية ان يؤثر على أداء الألواح الكهروضوئية... الخ.

م هـ في مجملها نموذج محاكاة للوحدات الكهروضوئية المعرضة لـ إضاءة غير موحدة (في ظل وجود تظليل مختلف من التظليل) . نقيس خصائص I-V P-V للوحة الكهروضوئية باستخدام برنامج محاكاة MATLAB لتحليل تأثيرات أنواع مختلفة من التظليل .

أخيراً نحاول استخدام بعض أوامر MPPT القوية لتأثير التظليل عند تشغيل نظام الكهروضوئية في هذه المنطقة.

الكلمات الرئيسية : MATLAB / SIMULINK الكهروضوئية ، التظليل ، MPPT .

Sommaire

Résumé.....	
Abstract.....	
ملخص:	
Sommaire.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des notations et symbole.....	
Introduction générale	1
Chapitre 01 : Recherche bibliographique sur les MPPT sous ombrage partiel.....	3
1. Introduction :	4
2. Définition de MPPT :.....	4
3. Principe de la Commande MPPT :.....	5
4. Classification des techniques MPPT :	6
5 . Les techniques classiques :	6
1. Algorithme de perturbation et observation (P&O) :	6
1-1.Histoire de la technique classique Perturb-and-Observe (P&O) :	8
2. Algorithme Hill-Climbing :	11
3. Algorithme d'incrémentement de la conductance (INC):	13
3.1 Historique de la technique de conductance incrémentielle (INC) :	15
6. Les techniques nouvelles :	17
1. Commande MPPT par la logique de floue :	17
2. Les commandes MPPT de réseaux de neurones artificiels :	20
3. Optimisation d'essaim de particules (PSO) :.....	21
Principe :	21
Utilisation de la PSO pour le MPPT:	22
4. La commande par mode de glissement :	25
Principe de la commande par mode de glissement :	25
5. Méthode de contrôle par recherche d'extremum (ESC):	26

MPPT basée sur ESC :.....	27
6. Méthode de contrôle par recherche d'extremum modifié (ESCM):.....	28
5. Conclusion:	29
Chapitre 02 : modélisation du système et techniques de commande.....	30
1. Introduction:	31
2. Modélisation de système :.....	31
2.1 Modélisation de la cellule PV :.....	31
2.1.1 Model une diode :.....	31
2.1.2 Caractéristique de PV:	34
2.1.3 Influence de l'éclairement et température sur le comportement du module PV :.....	35
2.1.4 Effet de l'ombrage partiel sur le fonctionnement du module PV :.....	37
2.2 Modelés de Convertisseur DC/DC (Hachure):.....	38
2.2.1 Convertisseur élévateur de tension BOOST:.....	39
3. La commande MPPT :.....	41
3.1 Méthode de contrôle par recherche d'extremum (ESC) :.....	41
3.3 Méthode de contrôle par recherche d'extremum modifiée (ECSm) :.....	44
4. Conclusion:	46
Chapitre 03 : Simulation des techniques sous Matlab Simulink et résultats.....	47
1. Introduction :	48
2. Simulation du système photovoltaïque :	48
2.1 Simulation d'un GPV :.....	49
2.2 Simulation du convertisseur Boost :.....	50
2.3 Simulation de la charge :.....	50
2.3 Simulation de la commande MPPT :.....	51
3. Résultats de Simulation :.....	51
A. Cas normale (950 w/m ²) :	52
B. Cas ombrage partielle 1 (850 w/m ²) :	54
C. Cas ombrage partielle 2 (700 w/m ²) :	57
Comparaison entre les deux techniques :	60
4. Conclusion :	61
Conclusion générale.....	62
Perspectives :	62

Sommaire

<i>Référence</i>	64
------------------------	----

Liste des figures

Figure I.1 : Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant un panneau photovoltaïque, un convertisseur BOOST, une commande MPPT et une charge.....	5
Figure I.2 : Principe de la commande MPPT.....	6
Figure I.3 : Caractéristique de fonctionnement de la méthode P&O.....	7
Figure I.4 : Organigramme de la méthode P&O.....	8
Figure I.5 : Principe de la méthode HC.....	12
Figure I.6 : Algorithme de la méthode HC.....	12
Figure I.7 : Caractéristique de fonctionnement de la méthode IC.....	13
Figure I.8 : Organigramme de la méthode INC.....	14
Figure I.9 : Structure de base de la commande floue.....	17
Figure I.10 : Exemple d'un réseau de neurones.....	19
Figure I.11 : Organigramme de la MPPT par PSO.....	22
Figure I.12: Principe de la commande par mode glissant.....	23
Figure I.13 : Schéma fonctionnel du système ESC.....	25
Figure I.14 : Algorithme ESC.....	25
Figure I.15 : Algorithme ESC modifié	26
Figure II.1.Modèle idéal d'une cellule photovoltaïque.....	29
Figure II.2.Modèle réel d'une cellule photovoltaïque.....	31
Figure II.3.Modèle simplifié.....	32
Figure II.4 : Caractéristiques du PV.....	33
Figure II.5 : Caractéristique I-V et P-V d'une cellule($T=25^{\circ}\text{C}$).....	34

Liste des figures

Figure II.6 : Caractéristique I-V et P-V d'une cellule ($E=1\text{KWm}^{-2}$).....	34
Figure II.7 : Courbe de I(V) et P(V) d'un générateur PV de 100KW.....	35
Figure II.8 : Convertisseur DC/DC.....	36
Figure II.9. Schéma d'un convertisseur Boost.....	37
Figure II.10: Circuit équivalent quand l'interrupteur est fermé.....	38
Figure II.11.Circuit équivalent quand l'interrupteur est ouvert.....	38
Figure II.12: Un schéma de principe d'un système de contrôle ESC.....	40
Figure II.13: Illustration de la dynamique de l'ESC.....	42
Figure II.14 : Modifié ESC algorithm.....	43
Figure II.15: Block diagram of the modified ESC algorithm applied to the PV system.....	44
Figure III.1 : Schéma bloc sous Simulink du système global.....	46
Figure III.2 : Modèle de simulation de GPV.....	47
Figure.III.3 : Modèle de simulation du CS BOOST.....	48
Figure III.4 : Modèle de simulation de la charge.....	48
Figure III.5 : modèle de simulation de la commande MPPT (ESC et ESCm).....	49
Figure III.6 : L'ensemble du allures I_{pv} , V_{pv} , P_{pv} , erreur avec MPPT ESC ($E=950\text{w/m}^2$).....	51
Figure III.7 : L'ensemble des courbes I_{pv} , V_{pv} , P_{pv} , erreur avec MPPT ESC mod ($E=950\text{w/m}^2$).....	52
Figure III.8 : Allure du I_{pv} , V_{pv} , P_{pv} , erreur avec ESC cas ombrage $E=850\text{w/m}^2$	53
Figure III.9 : Allure du I_{pv} , V_{pv} , P_{pv} , erreur avec ESC mod cas ombrage $E=850\text{w/m}^2$	54
Figure III.10 : L'ensemble des courbes I, V, P, erreur avec ESC a $E=700\text{w/m}^2$	56

Liste des figures

Figure III.10 : L'ensemble des courbes I, V, P, erreur avec ESC mod a $E=700\text{w/m}^2$57

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Exemple d'une table de vérité pour une commande logique floue.....	18
Tableau III.1 : Paramètres du panneau photovoltaïque.....	47
Tableau III.2 : Comparaison entre ESC et ESC mod dans cas normale $950\text{w}/\text{m}^2$	58
Tableau III.3 : Comparaison entre ESC et ESC mod dans cas d'ombrage Partielle.....	58

Liste des notations et symbole

- I : Courant engendré par la cellule.
- $I_{p\Box}$: Photo-courant.
- I_d : Courant qui passé dans la diode.
- I_{sd} : Courant de saturation de diode.
- V_e : Tension aux bornes de la cellule.
- V_T : tension thermique.
- K : Constant de Boltzmann ($K = 1,38.10^{-23}/K$).
- q : La charge de l'électron ($q = 1,602.10^{-19}c$).
- T : La température de la cellule en kelvin.
- n : facteur de non idéalité de la jonction.
- PMPP : Puissance Maximale d'un Générateur Photovoltaïque
- I_{cc} : Courant de court-circuit d'une cellule ou d'un module solaire (A).
- V_{co} : La tension du circuit ouvert (V).
- E : L'éclairement.
- W : Watt.
- V_{PPM} : La tension au point de puissance maximale.
- I_{PPM} : Le Courant au point de puissance maximale
- V_{pv} : tension à la sortie du générateur PV.
- I_{pv} : Courant à la sortie du générateur PV.
- P_{pv} : Puissance à la sortie du générateur PV.

Abréviations :

- MPPT: Poursuit du point de puissance maximale.
- PV: Photovoltaïque.
- GPV: Générateur Photovoltaïque.
- PPM: Point de Puissance Maximale.
- GMPP : Le point de puissance global.
- P&O: Perturbation et Observation.

Liste des notions et symbole

- HC : Hill-Climbing.
- INC : Conductance incrémentielle
- ESC: Méthode de contrôle par recherche d'extremum (Extremum Seeking Control).
- ESCm: Méthode de contrôle par recherche d'extremum modifiée (Extremum Seeking Control modified).
- DC: Courant Continu (Direct Current).
- PSO : Optimization by particle swarms (ou OEP en français)
- CS : Convertisseur statique.
- OP : Ombrage Partielle.

Introduction générale

L'énergie est l'élément vital du monde et la croissance de son économie, de sorte que la demande mondiale en augmente chaque jour. Afin de répondre à la demande mondiale croissante en énergie, il faudra que tous les pays du monde adoptent de nouvelles technologies tout en continuant à investir dans l'efficacité énergétique et dans les alternatives renouvelables aux énergies fossiles (pétrole et ses dérivés).[1]

La consommation ou la combustion du pétrole entraîne l'émission de gaz, qui constituent une grande partie de l'atmosphère terrestre, ce qui conduit au phénomène de réchauffement climatique dans le temps et donc à une augmentation de la pollution.

Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive des stocks de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures contrairement aux énergies renouvelables comme le soleil, le vent, la chaleur de la terre, l'eau ou la biomasse qui sont à la fois renouvelables et permanent.

Répondre à la demande d'énergie propre dans le monde nécessite l'adoption de nouvelles technologies telles que le recours à l'énergie solaire, qui est exploitée dans de nombreuses régions du monde et peut doubler le taux actuel de consommation d'énergie dans le monde si elle est utilisée correctement, et l'énergie solaire peut être utilisée pour produire directement de l'électricité, ce qui est un facteur clé de ce développement et du développement des sociétés humaines, que ce soit dans le plan d'amélioration des conditions de vie plutôt que de développement d'activités industrielles. Le terme énergie solaire signifie convertir la lumière du soleil en énergie électrique (photovoltaïque) que nous utilisons, c'est-à-dire produire de l'électricité à partir de la lumière : le secret de ce processus réside dans l'utilisation de matériaux semi-conducteurs qui peuvent être adaptés pour libérer des électrons dont l'accélération se traduit par courant électrique.[2]

Le système d'énergie solaire se compose de Gpv, Charge, Hacheur, MPPT, où le contrôleur Maximum Power Point Tracking (MPPT) est conçu pour faire face aux pressions causées par divers changements climatiques ainsi qu'aux facteurs naturels qui affectent négativement les performances dynamiques du système photovoltaïque principalement en termes de capacité à

suivre rapidement le point de puissance global (GMPP) en présence d'autres maximums locaux pendant l'Ombrage Partielle (OP).[3]

Dans le premier chapitre nous présenterons état de l'art sur les techniques MPPT sous ombrage et nous commençons par les techniques classiques : perturbation et observation (P&O), l'incrémentation de conductance (INC) et Hill-Climbing (H-C), et on passe aux les techniques nouvelles : la commande Logique floue, la commande réseaux de neurones artificiels, la technique (PSO), mode glissant, recherche extrême (ESC) et recherche extrême modifier (ESCM).

Dans le deuxième chapitre, nous décrivons la modélisation mathématique du système photovoltaïque, la modélisation hachurée et le tracé des caractéristiques de tension (I-V) et (P-V) de la cellule photovoltaïque, ainsi que la comparaison des commandes ESC et ESC modifiées.

Dans le troisième et dernier chapitre nous présentons les techniques de simulation sous MATLAB et les résultats obtenus.

Enfin, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale qui résume l'étude dans sa partie théorique et simule les résultats.

Chapitre 01 :

Recherche bibliographique sur
les MPPT sous ombrage partiel

1. Introduction :

Le contrôleur de poursuite de point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracking (MPPT)) est conçu pour parer aux contraintes engendrées par différents changements climatiques. Les performances de ce contrôleur dépendent de la rapidité d'atteindre le point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracking (MPP)), de la façon d'osciller autour de ce point et de la robustesse de ce contrôleur face aux changements atmosphériques brutaux tels que l'ombrage partiel (OP). Dernièrement, la technique MPPT est devenue le centre d'intérêt d'un nombre important de recherches afin d'améliorer les performances dynamiques du système PV, principalement en termes d'aptitude à poursuivre rapidement le point de puissance global (GMPP) en présence d'autres maximums locaux durant l'Ombrage Partielle.

Dans ce chapitre, on présentera l'état de l'art de deux catégories pour le suivie du point de fonctionnement à puissance maximale du système photovoltaïque qui sont la stratégie classique et la stratégie nouvelle.

2. Définition de MPPT :

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 d'un convertisseur DC-DC à la valeur adéquate de manière à maximiser continuellement la puissance à la sortie du panneau PV.

Les hacheurs sont utilisés comme interface de puissance à contrôler par le régulateur MPPT, afin d'adapter la tension de sortie du hacheur à la tension requise par la charge. A partir de cette règle et selon le type de contrôleur, on peut raisonner sur plusieurs et différentes méthodes, afin d'extraire le maximum de puissance d'un panneau solaire.[4]

3. Principe de la Commande MPPT :

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un Générateur Photovoltaïque (GPV) de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. [5] Ainsi, quel que soit les conditions météorologiques (température et irradiation), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (VPPM et IPPM). La chaîne de conversion photovoltaïque sera optimisée à travers un convertisseur statique (CS) commandé par une MPPT [6]. Il peut être représenté par le schéma de la Figure I.1.

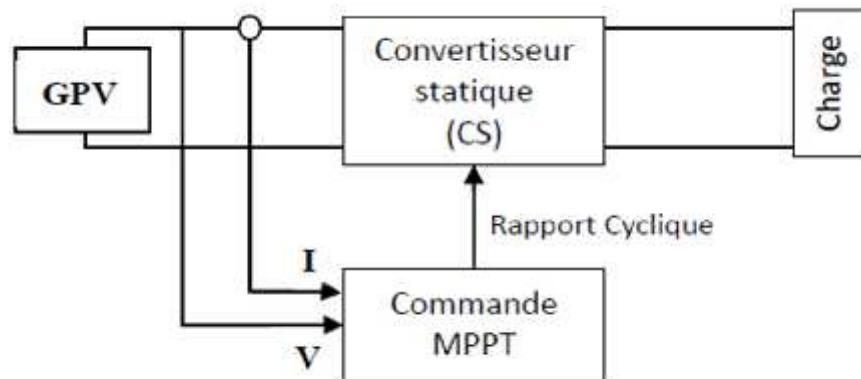


Figure I.1 : Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant un panneau photovoltaïque, un convertisseur BOOST, une commande MPPT et une charge.

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique (CS), à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le MPP. En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du CS en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le MPP [7].

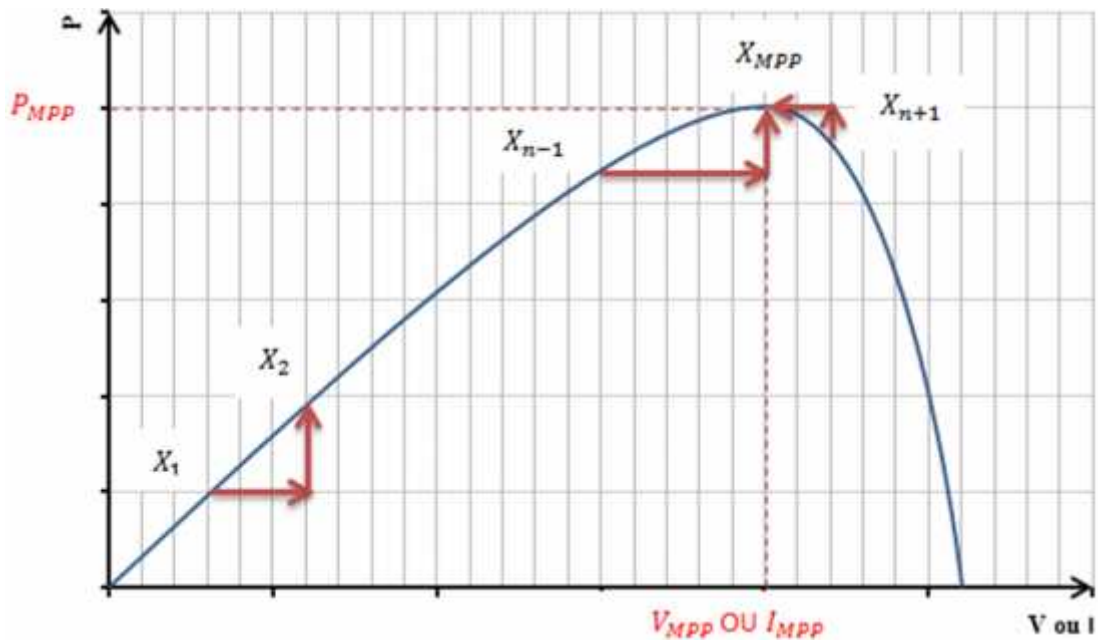


Figure I.2 : Principe de la commande MPPT

4. Classification des techniques MPPT :

Diverses publications sur les commandes assurant un fonctionnement de type commande MPPT apparaissent régulièrement dans la littérature depuis 1968, date de publication de la première loi de commande de ce genre, adaptée à une source d'énergie renouvelable de type photovoltaïque. Etant donné le grand nombre de publications dans ce domaine [3]. Il existe deux types de techniques MPPT :

- les techniques classiques
- les techniques nouvelles

5 . Les techniques classiques :

1. Algorithme de perturbation et observation (P&O) :

L'algorithme de perturbation et observation (communément désignée par P&O) est de type « hill-climbing » (mot anglais qui veut dire « grimper une colline »). Il est le plus utilisé dans la littérature et surtout dans la pratique en raison de sa facilité de mise en œuvre. Cet algorithme a pour objectif de faire fonctionner le système à sa puissance maximale par l'incrément ou

décrémentation de la tension du point de fonctionnement et l'observation de l'effet de cette perturbation sur la puissance débitée par le GPV.[8]

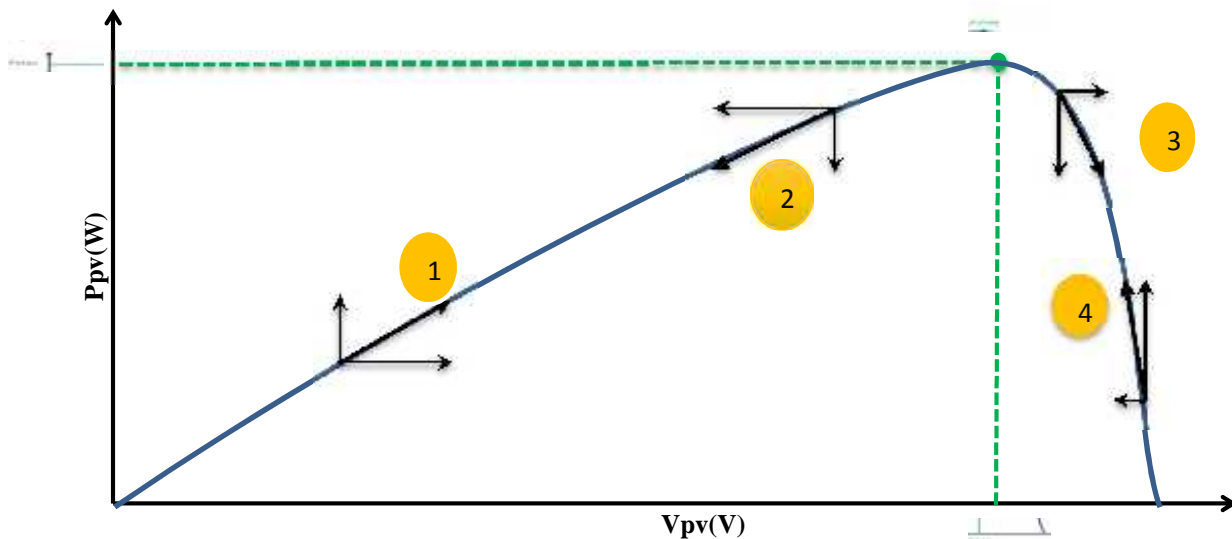


Figure I.3 : Caractéristique de fonctionnement de la méthode P&O.

L'algorithme P&O (Figure I.4) a comme avantage la précision et la rapidité de réaction. Il permet de déterminer le point de puissance maximale pour un ensoleillement et une température ou un niveau de dégradation des caractéristiques. Le problème avec cet algorithme est:

- l'oscillation autour du PPM dans les conditions de fonctionnement normales.
- la mauvaise convergence de l'algorithme dans le cas des variations brusques de la température et/ou de l'ensoleillement.

Il faut noter que ces oscillations peuvent être réduites si on fixe un faible pas d'incrément mais au détriment du temps de convergence. Alors, un compromis doit être fait entre précision et rapidité lors du choix de ce pas de mise à jour. [8]

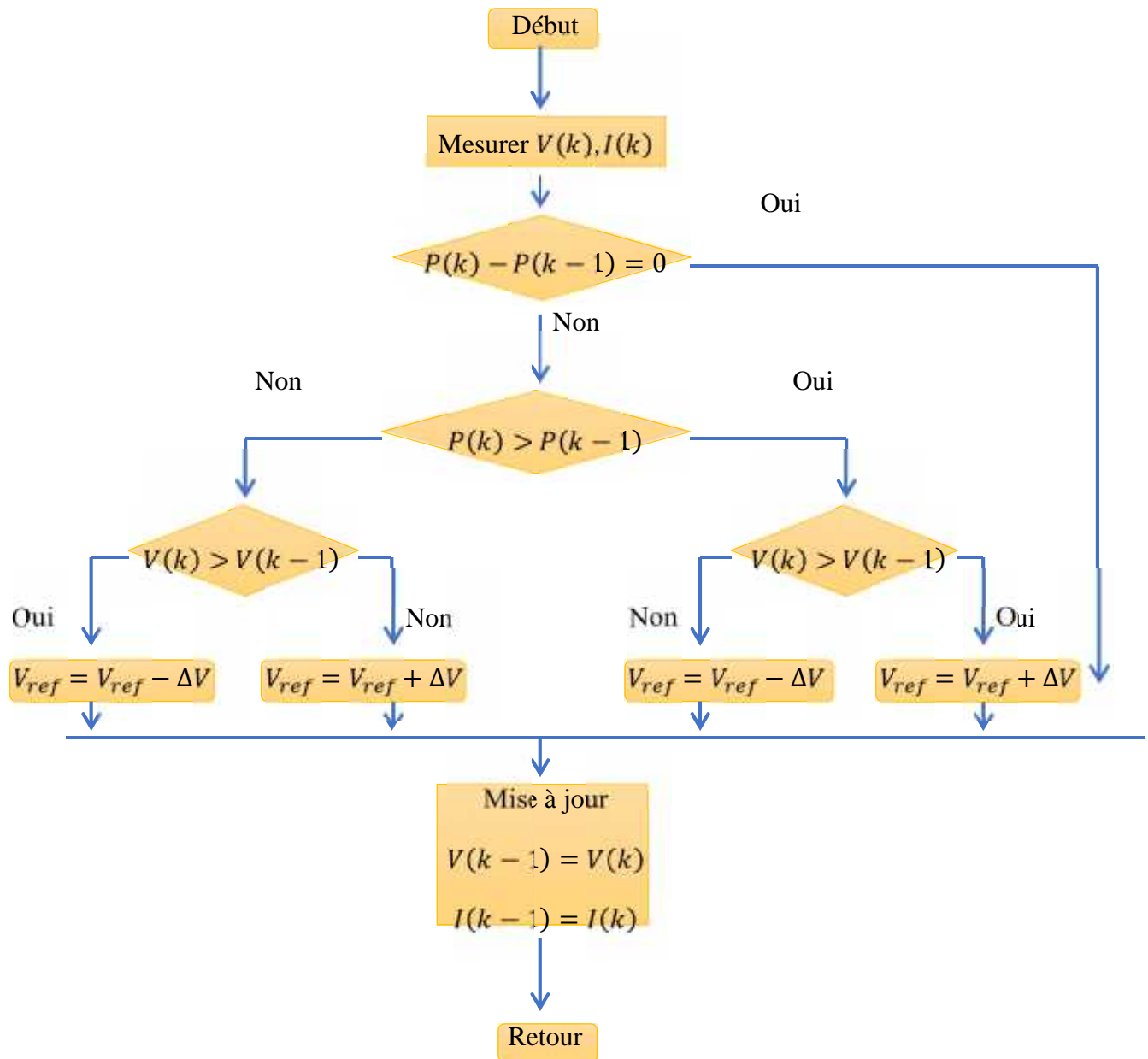


Figure I.4 : Organigramme de la méthode P&O

1-1.Histoire de la technique classique Perturb-and-Observe (P&O) :

En 1979, Fox et al, avait le primat de souligner le principe du P&O en utilisant les fondamentaux de la technique du hill-climbing qui est une technique d'optimisation mathématique qui appartient à la famille de la recherche locale. Schoman et al, ont présenté la version finale de l'organigramme de calcul de la technique P&O classique. Depuis Ensuite, les

chercheurs ont poursuivi le développement de cette technique P&O classique en se basant sur les directions suivantes [9] :

i. Utiliser une taille de pas variable pour améliorer les performances :

En 2013, Bennett et al. Ont proposé une technique P&O modifiée basée sur la résolution de deux problèmes rencontrés par le problème classique : (i) problème de compromis entre sa vitesse de suivi et son amplitude d'oscillation à un niveau d'irradiation uniforme et (ii) son échec sous une irradiation croissante/diminuante avec des pentes. La technique proposée commence à 0,85% Voc et utilise ensuite un petit pas de tension. La taille du pas est décrétementée de 50% lorsque la tension devient proche de V_{mpp} , la tension correspondant au point de puissance maximum. L'efficacité en régime permanent de la technique proposée est égale à 97,1 %, et son efficacité dynamique est égale à 96,33 %.[9]

En 2015, Ahmed et al. Ont proposé une technique basée sur une taille de pas adaptative (V) dans la plage de 0,5 à 2% de la tension en circuit ouvert. Le rapport P/P est considéré pour empêcher la traqueuse de ne pas réussir à suivre le MPP correct en cas de variation soudaine de l'irradiation solaire. De plus, l'efficacité dynamique est améliorée de 2% par rapport à la technique P&O classique. L'efficacité en régime permanent de la technique proposée est égale à 96% et son efficacité dynamique est égale à 93,9%.[9]

ii. Utilisation du paramètre basé sur le courant du module de seuil pour améliorer son efficacité dynamique:

En 2001, Chih-Chiang et al. A proposé une technique basée sur une boucle supplémentaire à combiné avec la technique classique pour résoudre le problème de variation brutale de rayonnement solaire. Cette boucle comprend un paramètre de seuil de courant pour détecter s'il y a est une variation du niveau d'irradiation. Les rendements en régime permanent et dynamique de la technique proposée sont égaux à 83,6%.[9]

iii. Utilisation d'une taille de pas de perturbation fixe pour améliorer les performances :

En 2012, Gomathy et al. Simulé une technique MPPT différente dans MATLAB/Simulink qui a été utilisé pour contrôler le rapport cyclique du convertisseur élévateur DC-DC. Une

technique P&O modifiée avec une taille de pas fixe a été envisagée et a montré meilleures performances en termes de vitesse de suivi.

En 2014, Selmi et al. a présenté une implémentation de la technique P&O classique et l'amélioration de ses performances en cas de variation brutale de l'irradiation solaire. Cependant, cette implémentation n'ai pas été testée sous des variations de rampe d'irradiation niveau ou température ambiante.[9]

iv. Comparaison à trois points au lieu de comparaison à deux points comme dans la technique P&O classique:

En 2005, Jiang et al. Ont proposé une technique visant à éviter le problème d'oscillation de la perturbation de la tension et le problème de la variation soudaine de l'énergie solaire. d'oscillation de la perturbation de la tension et le problème de la variation soudaine de l'irradiation solaire. de l'irradiation solaire. Par rapport à la technique classique, la technique de comparaison de poids en trois points perturbe la tension de fonctionnement du module et compare la tension de fonctionnement du module avec celle de l'irradiation. Perturbe la tension de fonctionnement du module et compare la puissance de sortie du module en trois points de la courbe P puissance de sortie du module en trois points de la courbe P-V. L'efficacité en régime permanent de la technique proposée est égale à 97%, et son efficacité dynamique est égale à 92%.[9]

v. Résoudre le problème de l'ombrage partiel :

En 2003, Kobayashi et al. appliqué une technique de contrôle MPPT à deux étages pour réaliser un système de contrôle relativement simple qui peut suivre le point de puissance maximum réel même sous des niveaux d'irradiation non uniformes. La faisabilité de ce concept de contrôle est confirmée pour une irradiation constante ainsi que pour une irradiation à évolution rapide par une étude de simulation à l'aide des logiciels PSIM et LabView. [9]

En 2007, Amrouche et al. a proposé une technique modifiée pour résoudre le problème de l'ombrage partiel. Cette technique était basée sur la combinaison de la P&O et de la technique du réseau neuronal artificiel.[9]

En 2015, Bharat et al. a utilisé une version améliorée de la technique de suivi du point de puissance maximale P&O en tenant compte des maxima et minima locaux causés par l'ombrage pour sélectionner où suivre la puissance maximale globale et faire fonctionner le panneau solaire à la puissance maximale globale. Cela contribue à améliorer l'efficacité globale du système. La technique a été mise en œuvre sur un panneau solaire de 50 W à l'aide d'un microcontrôleur et d'un convertisseur élévateur.[9]

En 2016, Zengrui et al. ont proposé une nouvelle technique de contrôle de suivi du point de puissance maximale (MPPT) pour le système PV basée sur une technique améliorée d'optimisation de l'essaim de particules (PSO) et une technique de perturbation et d'observation à pas variable (P&O). Tout d'abord, le PSO consiste à rechercher le point de puissance maximum global. Ensuite, la technique P&O à pas variable est utilisée pour suivre avec précision le point de puissance maximum global (GMPP) qui change en fonction des conditions environnementales.[9]

En 2017, Soediby et al. Combiné la technique P&O avec la technique InCond pour suivre le MPP dans des conditions d'ombrage partiel. Les résultats de la simulation ont indiqué que la puissance de sortie du module couvre 99,4 % de la demande de charge dans le système étudié.[9]

2. Algorithme Hill-Climbing :

L'avantage de la méthode MPPT d'escalade est sa simplicité. Il a été prouvé que le système de contrôle P&O MPPT s'écarte parfois du point de fonctionnement maximal en cas de conditions atmosphériques changeant rapidement, telles que des nuages fragmentés. Ce problème peut également se produire avec la méthode d'escalade adaptative. Lorsqu'une augmentation ou une diminution soudaine de l'ensoleillement domine le changement de puissance de sortie PV, selon l'algorithme de suivi HC, le contrôleur peut être confus et diriger le point de fonctionnement dans la mauvaise direction. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que le changement soudain d'insolation ralentisse ou s'arrête. Un autre inconvénient est que cette méthode de suivi simple a du mal à fournir de bonnes performances à la fois en réponse dynamique et en régime permanent car un pas incrémentiel constant du rapport cyclique a été adopté comme paramètre de contrôle. Si le pas incrémentiel du rapport cyclique " a " est petit, le temps de recul est long et le système affiche une mauvaise réponse dynamique. Si un grand pas de rapport cyclique est utilisé, les fluctuations de puissance de sortie sont importantes et la

puissance moyenne est nettement inférieure au maximum, ce qui entraîne un gaspillage d'énergie. Ces problèmes de contrôle peuvent être réduits en apportant quelques modifications à cette méthode. [10]

La technique Hill-Climbing (HC) est une méthode mathématique d'optimisation. Comme son nom l'indique, elle fait monter le point de fonctionnement le long d'une caractéristique pour atteindre le maximum de la fonction puissance du GPV contre le rapport cyclique du convertisseur (Figure I.5). La perturbation est appliquée pour plusieurs itérations sur le paramètre en l'incrémentant ou en le décrémentant de jusqu'à avoir la dérivée $dP/d\alpha$ nulle. La figure 4 présente l'algorithme d'exécution de cette technique. La méthode HC est plus simple à mise en oeuvre car elle possède une seule boucle de régulation. Cependant, elle présente des oscillations et peut même diverger lors du changement rapide des conditions atmosphériques.[8]

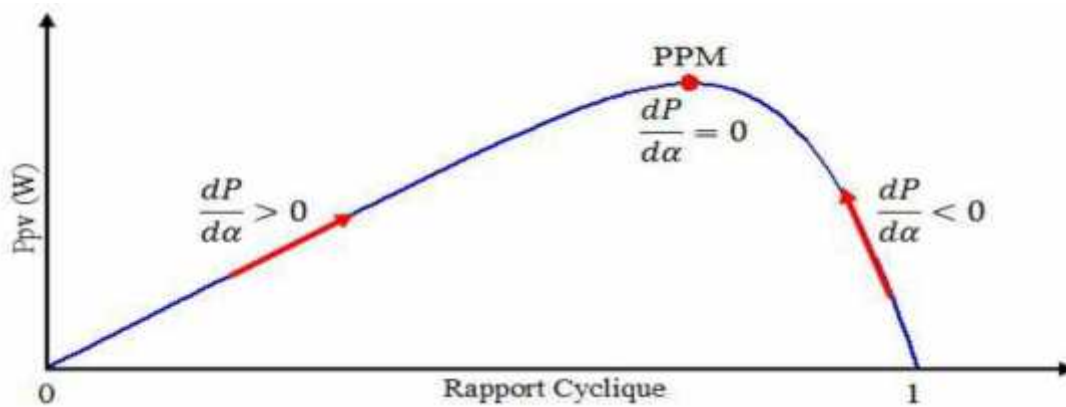


Figure I.5 : Principe de la méthode H-C.

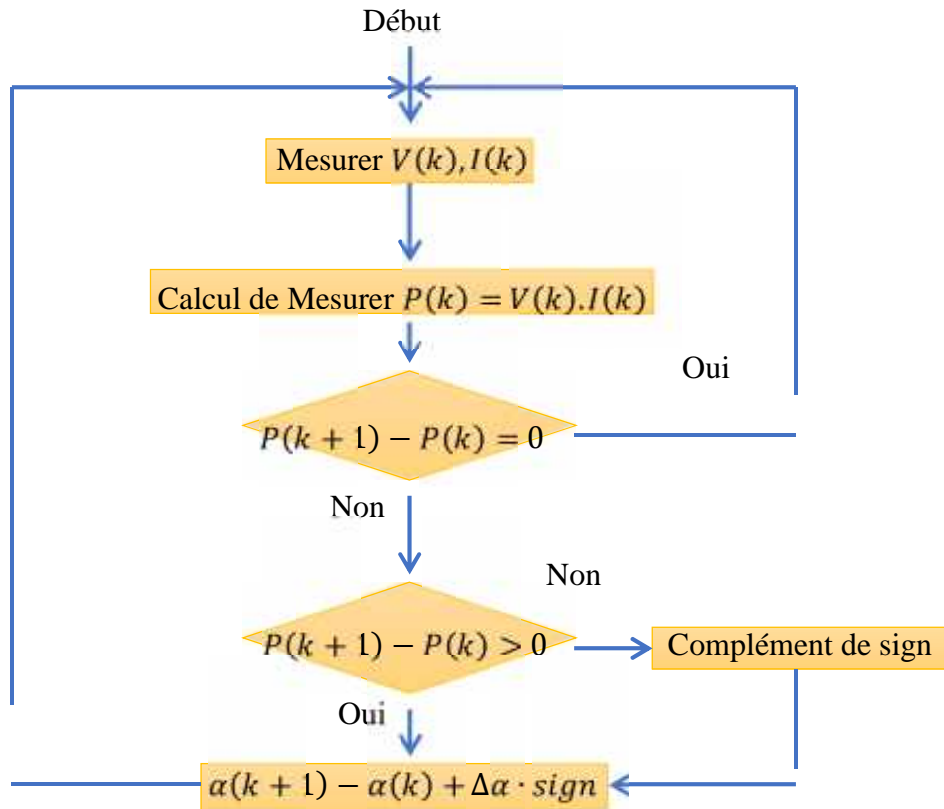


Figure I.6 : Algorithme de la méthode H-C

3. Algorithme d'incrémentement de la conductance (INC):

Le mécanisme de la technique de conductance incrémentielle (INC) est que la pente de la courbe $P - V$ du module est égale à zéro au MPP (par exemple, $dP/dV = 0$ ou $dP/dI = 0$ au MPP). Pour le point de fonctionnement situé à droite du MPP, le suiveur déplace le point de fonctionnement vers le MPP en diminuant la tension de fonctionnement avec une augmentation ultérieure de la puissance de sortie ; c'est-à-dire que la pente dP/dV est négative ($dP/dV < 0$ à droite du MPP). Par contre, lorsque le point de fonctionnement est situé à gauche du MPP, le suiveur déplace le point de fonctionnement vers le MPP en augmentant la tension de fonctionnement avec une augmentation ultérieure de la puissance de sortie ; c'est-à-dire que la pente dP/dV est positive ($dP/dV > 0$ à gauche du MPP). Le suiveur basé sur la technique de conductance incrémentielle compare la conductance de fonctionnement (I/V) à la conductance incrémentielle ($\Delta I/\Delta V$). Le MPP correct est capturé lorsque ($\Delta I/\Delta V$) est égal à ($-I/V$). [9]

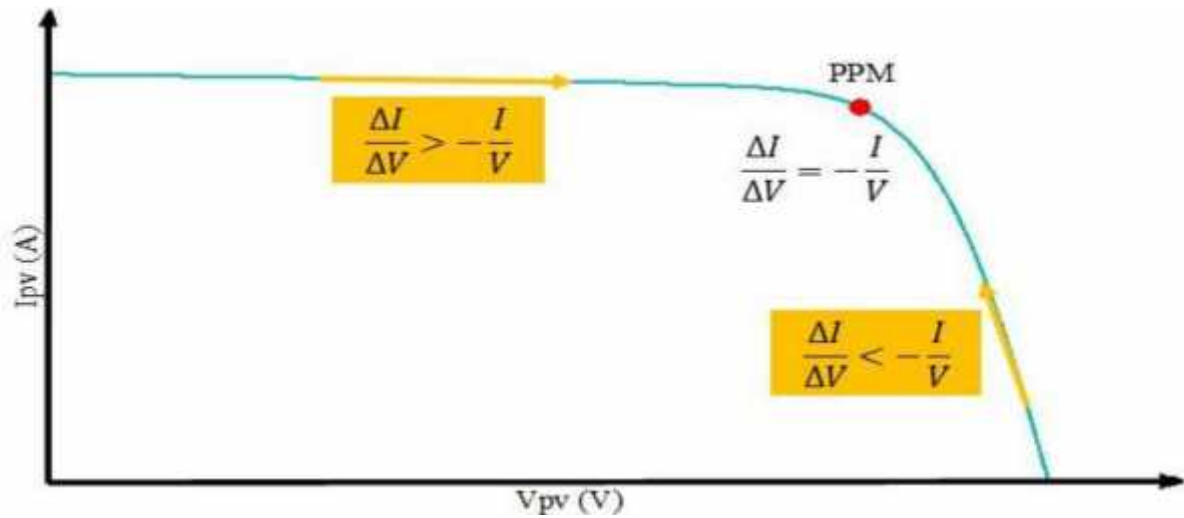


Figure I.7 : Caractéristique de fonctionnement de la méthode INC.

Si $\frac{dP}{dV} = 0 \Rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V}$, le PF est sur le PPM

Si $\frac{dP}{dV} > 0 \Rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V}$, le PF est à gauche du PPM

Si $\frac{dP}{dV} < 0 \Rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V}$, le PF est à droite du PPM

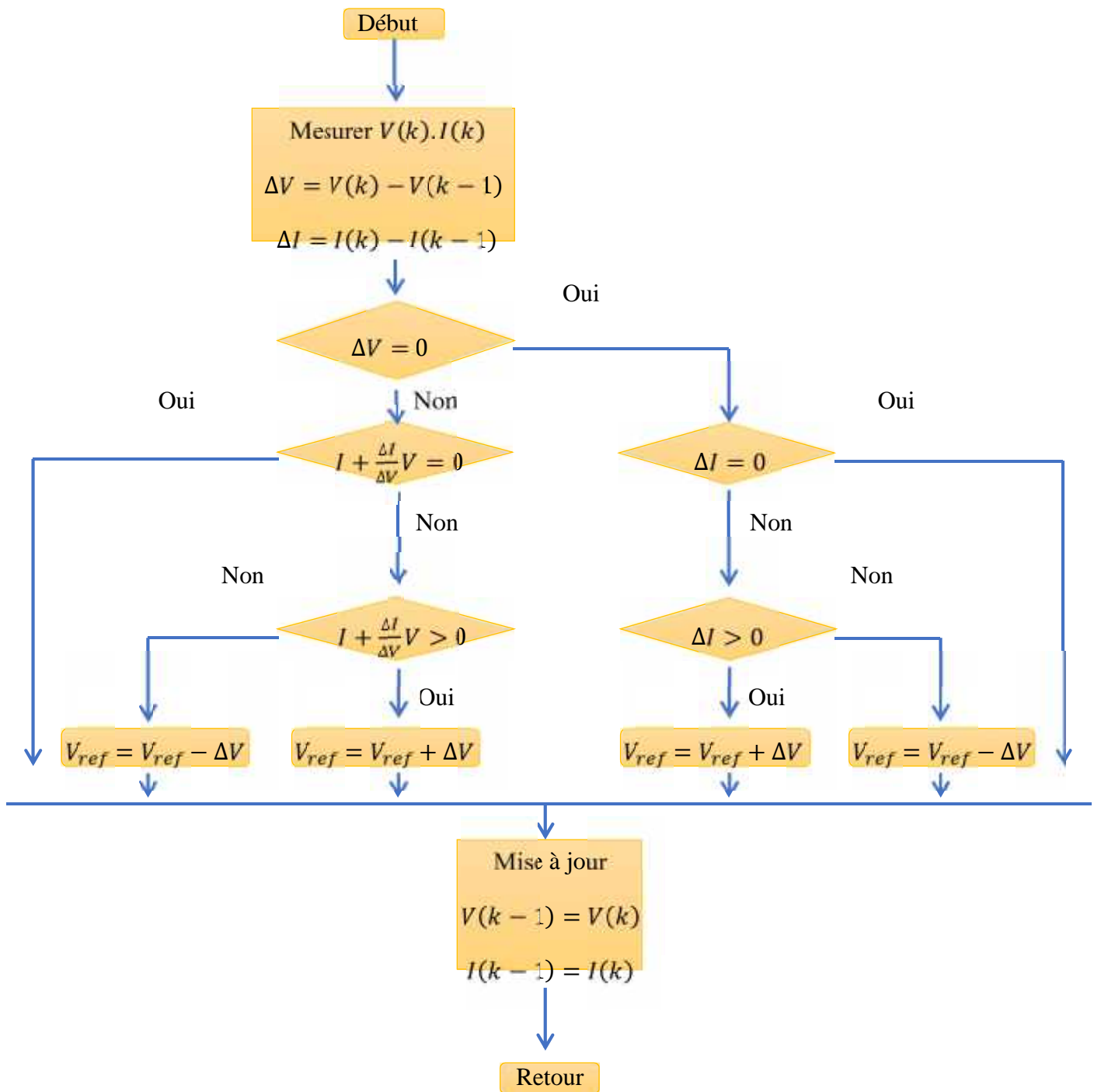


Figure I.8 : Organigramme de la méthode INC.

3.1 Historique de la technique de conductance incrémentielle (INC) :

Le premier chercheur qui a découvert la technique de conductance incrémentielle classique est « Wasynezuk » en 1983, « Phang et Won » a suivi « Wasynezuk » pour améliorer sa version. En 1995, Hussein et al. A présenté la version finale de l'organigramme de calcul de la technique

de conductance incrémentale classique avec un «brevet en instance», Il existe de nombreuses tentatives pour améliorer ses performances dans la littérature en se basant sur les directions suivantes :

i. Utilisation d'un pas de perturbation fixe :

En 2013, Mahamudul et al. Ont proposé une technique IC modifiée pour maximiser l'efficacité du suivi. L'efficacité en régime permanent de la technique modifiée était de 98 contre 97% pour l'efficacité dynamique. Cependant, cette technique n'a pas été testée sous une rampe de variation de l'irradiation solaire ou de la température ambiante.[9]

ii. Résoudre le problème de l'ombrage partiel :

En 2008, Patel et al. a proposé une technique INC modifiée pour résoudre le problème de l'ombrage partiel. Le tracker de cette technique a montré de meilleures performances dans la capture du point de puissance maximum global. Cependant, les oscillations sont restées autour du MPP les mêmes que la technique IC classique.[9]

En 2009, Ji et al. ont proposé une technique modifiée pour capturer le MPP correct dans des conditions d'ombrage partiel. Cette technique modifiée était basée sur la technique IC avec une taille de pas variable. Ce tracker basé sur cette technique essaie de balayer toutes les courbes P – V et d'enregistrer le courant et la tension pour tous les points multi-pics locaux et globaux. Ensuite, il force le point de fonctionnement à coller au pic le plus élevé.[9]

iii. Résistance incrémentale MPPT :

En 2011, Mei et al. Ont proposé une technique MPPT de résistance incrémentielle à pas variable contrôlée par le courant pour résoudre le problème de la vitesse de suivi lente dans des conditions dynamiques et le problème des oscillations dans des conditions de régime permanent. L'efficacité dynamique de cette technique se situe entre 96 et 97,5 %. Cependant, sa précision de suivi est faible par rapport à la technique INC classique.[9]

iv. Incrément de puissance basé sur MPPT :

En 2012 et 2013, Hsieh et al. a proposé une technique INC modifiée basée sur l'incrément de puissance pour résoudre le problème de la faible vitesse de suivi du tracker lorsque le point de

fonctionnement est situé à gauche du MPP sur la courbe I – V. La faible vitesse de suivi est attribuée au changement insignifiant du courant de sortie du module qui est le paramètre principal de la technique INC. C'est pourquoi le tracker ne peut pas détecter s'il y a un changement d'irradiation ou non.[9]

Les avantages :

L'avantage de cet algorithme est la précision et la vitesse de recherche du PPM quand les conditions atmosphériques changent rapidement. Ceci peut être un remède au problème de l'algorithme P&O. Cet algorithme présente des difficultés de mise en oeuvre due à la complexité du circuit de commande et le calcul en temps réel de la dérivée nécessite un processeur de calcul rapide. Autrement dit, l'exécution de la commande INC nécessite plus de temps par rapport P&O. Pratiquement, même INC présente des oscillations autour du PPM.[11]

6. Les techniques nouvelles :

1. Commande MPPT par la logique de floue :

Les commandes basées sur la logique floue (dans la littérature anglo-saxonne Fuzzy Logic Control) sont de plus en plus populaires grâce à l'évolution des microcontrôleurs. L'avantage de ces techniques est qu'elles peuvent fonctionner avec des valeurs d'entrées peu précises et qu'elles n'ont pas besoin de modèle mathématique de grande précision. De plus, elles peuvent traiter des non linéarités. Le principe d'une commande floue se base sur deux variables d'entrées qui sont l'erreur E et le changement d'erreur \dot{E} et une variable de sortie α (variation du rapport cyclique).[12]

La valeur de la variable de sortie, qui pilote le convertisseur statique pour rechercher le PPM, est déterminée à l'aide d'une table de vérité et de l'évolution des paramètres d'entrée.

En général, la commande logique floue comprend donc trois étapes communément nommées dans la littérature [13] :

- la fuzzification,
- la lecture de la table de vérité,
- la defuzzification.

Durant la fuzzification, les variables d'entrées numériques sont converties en variable linguistique pouvant prendre les cinq valeurs suivantes :

- NB: Negative Big,
- NS: Negative Small,
- ZE: Zero,
- PS: Positive Small,
- PB : Positive Big.

Comme le montre la structure de base de la commande logique floue illustrée en figure 9

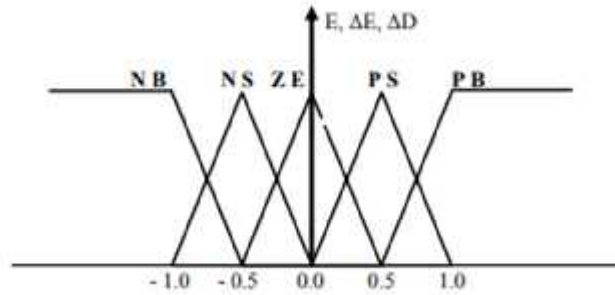


Figure I.9 : Structure de base de la commande floue.

Les paramètres d'entrées E et ΔE sont liés aux équations suivantes :

$$E(n) = \frac{P(n) - P(n-1)}{V(n) - V(n-1)}$$

$$\Delta E(n) = E(n) - E(n-1)$$

Tableau II. Exemple d'une table de vérité pour une commande logique floue.

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

La variable linguistique assignée à α , dépend des différentes combinaisons entre E et E. Par exemple, si les variables d'entrée (E et E), ont comme valeur PB et ZE correspondant à un point de fonctionnement très éloigné du PPM, d'après la table de vérité la valeur donnée à la variable de sortie α est PB, ce qui implique une forte variation positive du rapport cyclique pour atteindre le PPM.

Les variations du rapport cyclique dépendent de la différence de position entre le point de fonctionnement et un PPM. Ainsi, dès que ce dernier s'approche du PPM, les incréments appliqués à $\Delta\alpha$ s'affinent jusqu'à atteindre le PPM. La defuzzification, consiste à convertir cette fois, une variable linguistique en variable numérique. Cette étape ne s'applique qu'à la variable de sortie α , afin de pouvoir piloter le convertisseur de puissance pour atteindre le PPM. Noppadol Khaehintung a démontré en 2004 que l'emploi d'une commande MPPT basée sur le principe de la logique floue permet d'améliorer d'un facteur 8 le temps de réponse par rapport à une commande P&O classique.

En résumé, cette méthode s'avère être très performante lors de changement des conditions climatiques, cependant sa précision en statique est fortement liée à la complexité. De la table de vérité employée entraînant la nécessité du choix obligatoire d'un microcontrôleur ayant une grande capacité de calculs tenant compte des nombreuses disparités des paramètres électriques du panneau.

Ici, typiquement, cette commande peut présenter les meilleures performances en termes de précision et de rapidité de recouvrement de PPM. Mais elle entraîne obligatoirement une consommation énergétique non négligeable liée au microprocesseur ainsi qu'un surcoût. [12] [13] [14]

2. Les commandes MPPT de réseaux de neurones artificiels :

La technique de réseaux de neurones est, elle aussi, de plus en plus utilisée, car elle offre une grande alternative pour résoudre des problèmes complexes. Ces dernières années, l'utilisation de cette méthode dans divers domaines d'application ne cesse d'augmenter car elle fonctionne à partir d'une boîte noire qui n'exige pas d'informations détaillées sur le fonctionnement du système. Elle établit des relations entre les variables d'entrée et de sortie en analysant les précédentes données mémorisées. Un autre avantage est qu'elle peut traiter des problèmes d'une grande complexité grâce à des paramètres interdépendants.[12]

Les réseaux de neurones sont composés généralement de trois couches différenciées, nommées :

- Couche d'entrée (Input layer),
- Couche cachée (Hidden layer),
- Couche de sortie (Output layer).

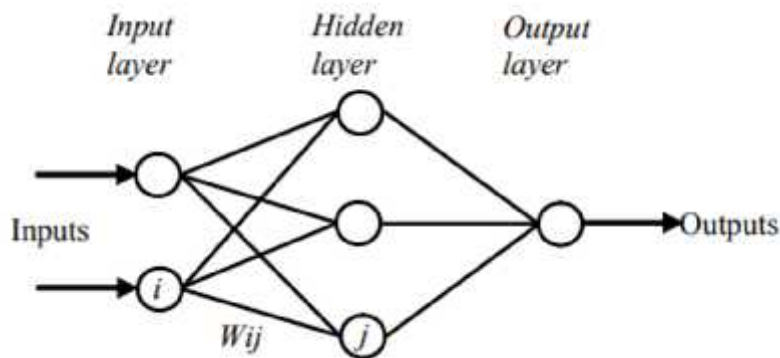


Figure I.10 : Exemple d'un réseau de neurones.

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

La qualité de la recherche du PPM dépend essentiellement de [13]:

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

3. Optimisation d'essaim de particules (PSO) :

Principe :

L'Optimisation par Essaim de Particules (OEP), connu sous le nom anglophone de Particle Swarm Optimization (PSO), est un algorithme inscrit dans la famille des algorithmes évolutionnaires. Il a été proposé par Russel Eberhart (ingénieur en électricité) et James Kennedy (socio psychologue) en 1995.[4]

Cette méthode trouve sa source dans les observations faites lors des simulations informatiques de vols groupés d'oiseaux et de bancs de poissons de Reynold, Heppner & Grenader. Autrement-dit, elle s'inspire fortement de l'observation des relations grégaires d'oiseaux migrateurs, qui pour parcourir de « longues distances » (migration, quête de nourriture, parades aériennes, etc.), doivent optimiser leurs déplacements en termes d'énergie dépensée, de temps, (etc.)La population dans l'algorithme PSO est nommée essaim, chaque individu du groupe est dit

particule. Le déplacement de toute particule (comme indiqué ci-dessus) est régi par des règles et conditions bien spécifiques, influencé par le mouvement des autres particules du voisinage.[15]

Dans un tel contexte ce déplacement à une signification et doit parallèlement répondre à une logique, fondement même du PSO. Il consiste à chercher un optimum dans un voisinage donné, ce déplacement est influé par les trois composantes suivantes :

- Une composante d'inertie : la particule s'efforce de suivre instinctivement son cap de déplacement.
- Une composante cognitive : la particule fait tout pour se diriger vers la meilleure position rencontrée jusqu'à présent.
- Une composante sociale : la particule s'inspire également de l'expérience, du parcours des autres particules, pour se diriger vers la meilleure position rencontrée par ses voisins. [15] [4]

Utilisation de la PSO pour le MPPT:

Dans la recherche du point de puissance maximale on peut prendre le rapport cyclique (qui définit le signal de commande du convertisseur DC/DC) à la place de la position de la particule x , la variation du rapport cyclique comme étant la vitesse du déplacement v , et la fonction fitness étant la puissance correspondante à chaque rapport cyclique .[4]

Les équations d'évaluation sont :

$$Di(t + 1) = Di(t) + \Delta Di(t + 1), i \in \{1, \dots, np\}$$

$$\Delta Di(t + 1) = w\Delta Di(t) + c1r1(Dop_i - Di(t)) + c2r2(Dop_g - Di(t))$$

Où : $Di(t + 1)$: Le rapport cyclique de la particule i à l'instant $(t + 1)$;

$Di(t)$: Le rapport cyclique de la particule i à l'instant t ;

$\Delta Di(t + 1)$: La variation du rapport cyclique de la particule i à l'instant $(t + 1)$;

$\Delta Di(t)$: La variation du rapport cyclique de la particule i à l'instant t ;

Dop_i : Le meilleur rapport cyclique de la particule i ;

Dop_g : Le meilleur rapport cyclique global (de toutes les particules de l'essaim).

A chaque itération on détermine la puissance correspondante à la position de chaque particule de l'essaim, on définit alors la fonction Objectif «Fitness » qui donne le poids chaque rapport cyclique (position d'une particule), la position est meilleure si la puissance correspondante est supérieure.[4] Le logigramme de la Figure I.11 donne les étapes de la poursuite du MPP avec PSO.

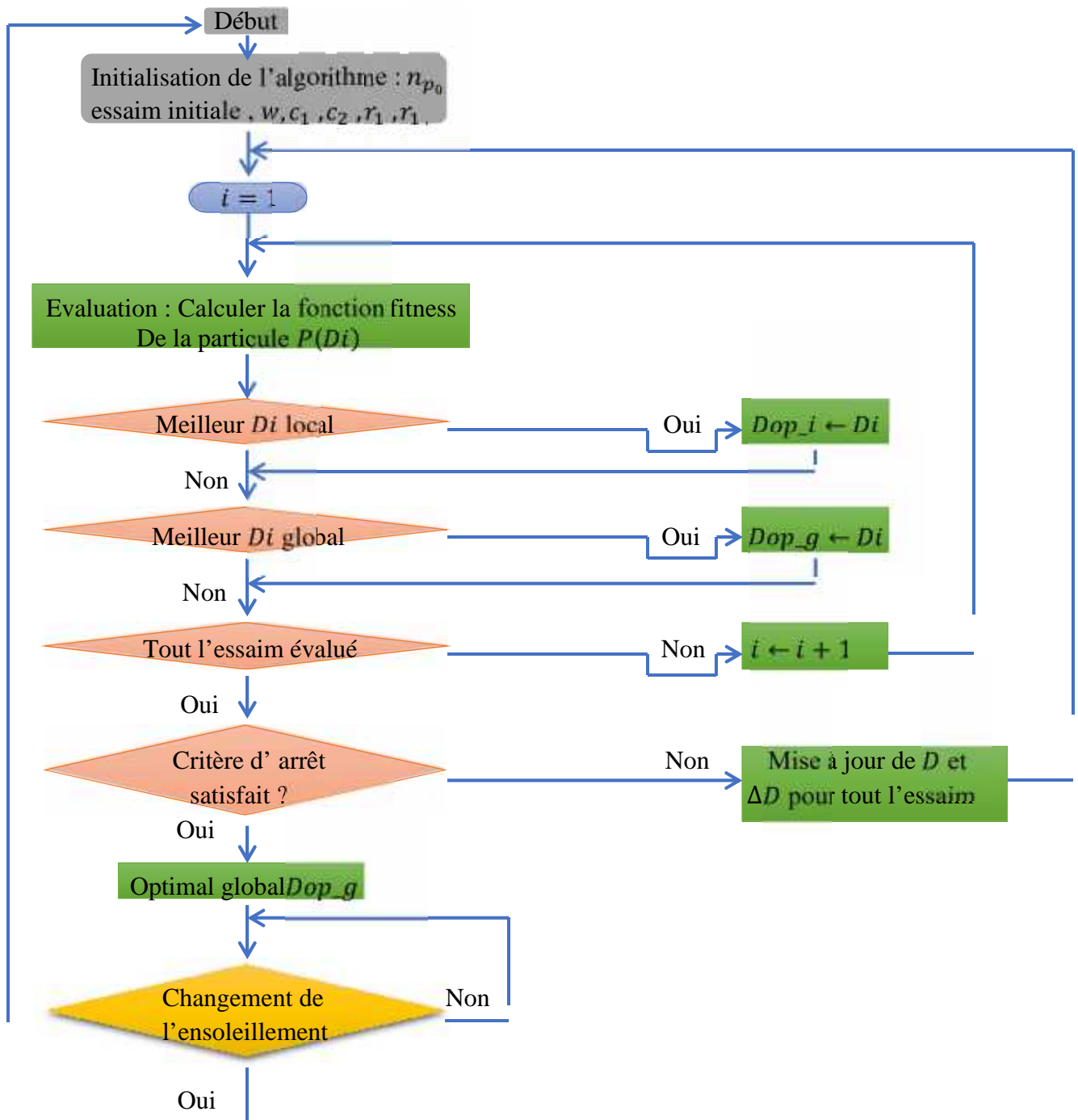


Figure I.11: Organigramme de la MPPT par PSO.

4. La commande par mode de glissement :

Le réglage par mode de glissement est un mode de fonctionnement particulier des systèmes à structure variable. Ses principaux avantages sont la garantie de la stabilité et de la robustesse pour de larges variations des paramètres du système. La théorie des systèmes à structure variable et les modes glissants associés (en anglais sliding mode), est une technique de commande non linéaire. Elle est caractérisée par la discontinuité de la commande au passage par une surface de commutation appelée surface de glissement.

La technique des modes glissants consiste à diriger la trajectoire d'état d'un système vers la surface de glissement et de la faire commuter à l'aide d'une commutation appropriée autour de celle-ci jusqu'au point d'équilibre, d'où le phénomène de glissement.

La discussion qui a lieu au premier congrès de l'IFAC en 1960 entre NEIMRAK et FILLIPOV a été concluante, dans la mesure où un nouveau problème sur la théorie des modes glissants a été posé. Ce n'est que durant cette discussion que l'ambiguïté de la détermination du comportement dynamique du système commandé sur la surface de commutation a été levée. [16]

Principe de la commande par mode de glissement :

La commande par mode glissant est une commande robuste qui se base sur le concept de changement de structure du contrôleur avec l'état du système afin d'obtenir la réponse désirée. Le contrôle généré par la commande par mode glissant est du type tout ou rien. Dans ce type de commande, l'état du système définit l'état de commutation de l'organe de contrôle. L'idée est de diviser l'espace d'état par une frontière de décision appelée surface de glissement, qui délimite deux sous espaces correspondant à deux états possibles de l'organe de commande (figure I.12). La stabilisation sur la surface de glissement est obtenue à l'aide d'une commutation à chaque franchissement de la frontière de décision.[17]

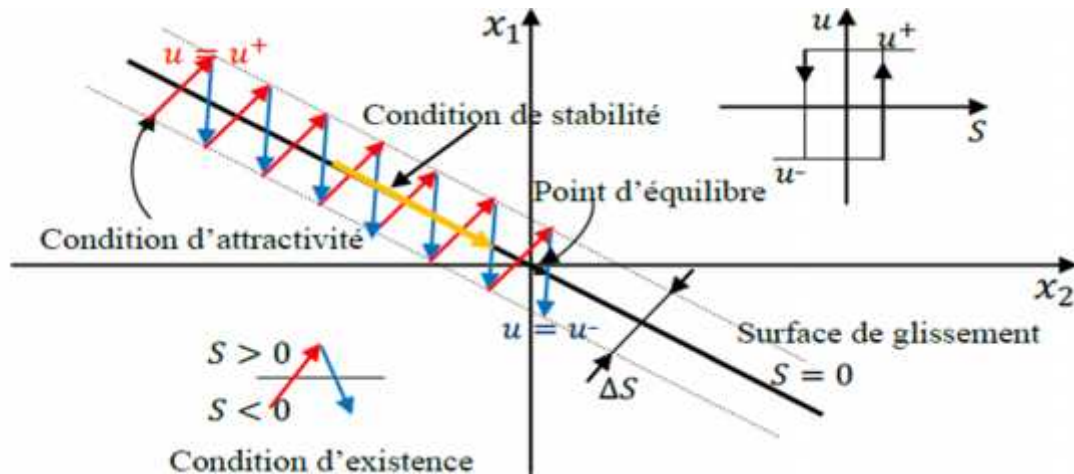


Figure I.12: Principe de la commande par mode glissant.

Les avantages de la commande par mode glissant sont importantes et multiples : la haute précision, la simplicité, l'invariance, la robustesse, etc. Ceci lui permet d'être particulièrement adapté pour les systèmes ayant un modèle imprécis. Dans ce cas, la structure d'un contrôleur comporte deux parties : une partie continue représentant la dynamique du système durant le mode glissant et une autre discontinue représentant la dynamique du système durant le mode de convergence. Cette dernière est importante dans la commande non linéaire car elle a pour rôle d'éliminer les effets d'imprécision et des perturbations sur le modèle. [16]

La conception de la commande peut être effectuée en trois étapes principales et très dépendantes l'une de l'autre :

- Choix de la surface.
- L'établissement des conditions d'existence.
- Détermination de la loi de commande.

5. Méthode de contrôle par recherche d'extremum (ESC):

L'ESC est une classe de stratégies de contrôle auto-optimisâtes presque sans modèle qui peuvent rechercher le paramètre d'entrée optimal inconnu et/ou variant dans le temps concernant un indice de performance donné d'un processus d'usine non linéaire. Leyva et al. ont présenté un schéma MPPT utilisant l'ESC (Extremum Seeking Control) à commutation bien étudié dans les années 1950, ainsi que leur preuve de stabilité de Lyapunov. En fermant la boucle de commande

avec un intégrateur, le signal proportionnel au gradient est ramené à zéro en régime permanent pour atteindre l'optimalité. Comme les informations de gradient sont verrouillées sur la fréquence de tramage sélectionnée, ce schéma est robuste pour traiter le bruit et la variation de la carte de performances. Un tel mérite a été démontré dans des systèmes difficiles, par exemple, la combustion, le chauffage, la ventilation et la climatisation, et les éoliennes. En outre, la méthode convient à une situation à entrées multiples, c'est-à-dire pour PV MPPT multi string. En particulier, sur la base de la loi de mise à jour de Newton proposée dans, Ghaffari et al. MPPT multi chaîne développé avec un ESC de tramage multi-entrées.[18]

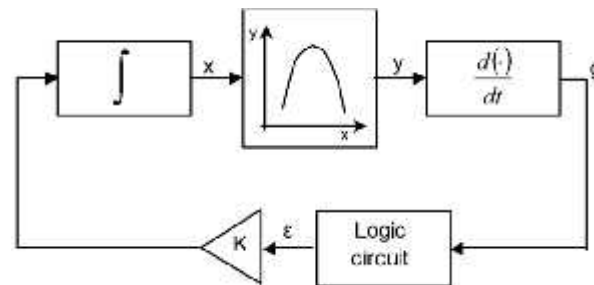


Figure I.13 : Schéma fonctionnel du système ESC.

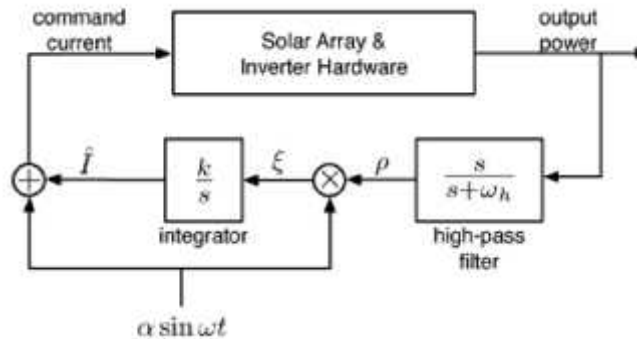


Figure I.14 : Algorithme ESC

MPPT basée sur ESC :

Dans le cas d'un GPV, l'algorithme de ESC forcera le système PV à s'approcher du point de puissance maximale en augmentant ou en diminuant la tension aux bornes du générateur avec une valeur constante de la dérivée temporelle. Pour adapter la tension du générateur, un convertisseur à découpage continu-continu est inséré entre le panneau solaire et une charge. Dans

ce cas, la charge du convertisseur est une batterie et les signaux d'entrée du convertisseur sont la tension du panneau V_{SA} et le courant du panneau I_{SA} . Les variables x et y de la fonction MPPT illustrées à la Figure I.13 à la tension du panneau V_{SA} et à la puissance du panneau P_{SA} , respectivement (où $P_{SA} = I_{SA} * V_{SA}$). La variation de V_{SA} avec une dérivée temporelle constante est obtenue en imposant un tel comportement au rapport cyclique du convertisseur . [18]

6. Méthode de contrôle par recherche d'extremum modifié (ESCM):

Une technique de commande intelligente basée sur l'algorithme ESC pour le suivi du point de puissance maximale (MPP) lors de changements inattendus des conditions atmosphériques est proposée. Cet algorithme vise à augmenter la vitesse de convergence afin d'améliorer les performances du système. Une analyse de stabilité détaillée de cette technique de commande de recherche extrême est fournie pour assurer la convergence du système vers un voisinage ajustable du point de fonctionnement optimal.

Un algorithme ESC modifié qui cherche à réduire le temps de convergence de tous les points de puissance maximale afin d'augmenter le rendement énergétique des systèmes photovoltaïques lors de changements brusques des conditions atmosphériques. Un algorithme ESC modifié (Figure I.15) utilise une perturbation périodique lente ($\sin(\omega_p t)$) ajoutée à la valeur estimée afin de conduire en continu le système vers le point optimal. Le fonctionnement de cet algorithme est similaire à la méthode conventionnelle avec la seule différence qu'un deuxième filtre passe-bas et un intégrateur sont ajoutés au système afin d'augmenter les performances du système.[19]

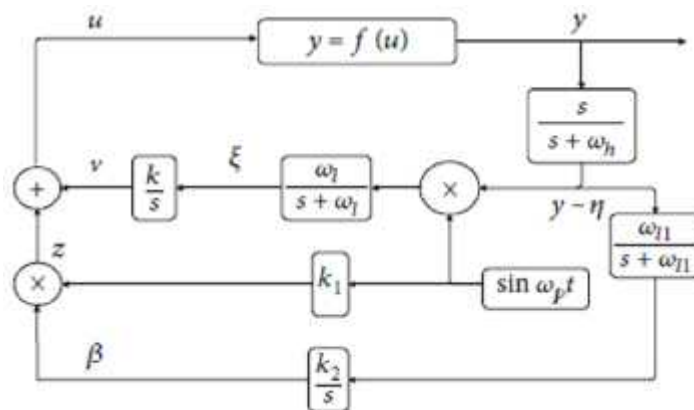


Figure I.15: algorithme ESC modifié.

5. Conclusion:

Dans ce chapitre on a fait une étude du principe de la recherche du point de puissance maximum MPP pour différents méthodes a été envisagée.

Ainsi qu'un rappelle sur les différents algorithmes de cette commande qui existe dans le cas normal et sous ombrage.

Chapitre 02 :

Modélisation du système et
Technique de commande

1. Introduction:

Dans ce chapitre, on présente le fonctionnement du PV. On décrira une modélisation mathématique de système PV : modélisation de la cellule PV, modélisation de l'hachure et tracer les caractéristiques courant-tension (I-V) et puissance-tension (P-V) de la cellule PV en montrant l'influence (éclairage et température) et l'effet de ombrage, afin nous faisons une comparaison entre les commande P&O (Perturbation and observation) ,ESC(Extrimum seeking control) et ESC modifiée.

2. Modélisation de système :

2.1 Modélisation de la cellule PV :

Il existe plusieurs modèles de cellules solaires, dont le but est l'obtention de la caractéristique courant-tension $i=f(V)$ pour l'analyse et l'évaluation des performances des systèmes photovoltaïques. La différence entre ces modèles réside dans la procédure et le nombre des paramètres intervenants dans le calcul de la paire courant-tension.

2.1.1 Model une diode :

a) *Modèle idéal :*

La cellule photovoltaïque est représentée comme une source de courant idéal qui fournit un courant proportionnel à l'éclairage, shuntée avec une diode. Le schéma électrique équivalent de la cellule photovoltaïque pour le modèle idéal est représenté par la figure II.1.[20]

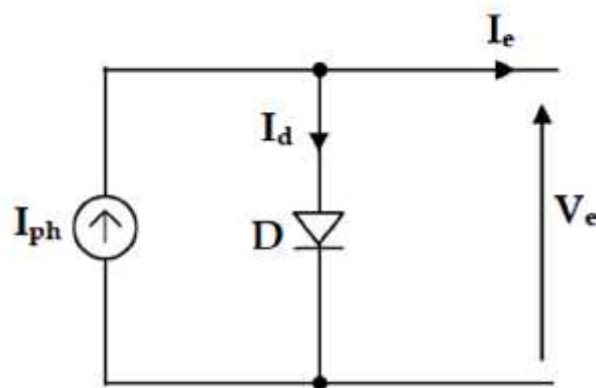


Figure II.1. Modèle idéal d'une cellule photovoltaïque.

A partir du circuit équivalent :

Le courant généré par la cellule PV est donné par la loi des mailles :

$$I = I_{ph} - I_d \quad (\text{II.1})$$

Pour un générateur PV idéal, la tension aux bornes de la résistance est égale à celle aux bornes de la diode :

$$V = V_d \quad (\text{II.2})$$

La diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique I-V est donnée par la relation :

$$I_d = I_{sd} \left[\exp^{\frac{V}{nV_T}} - 1 \right] \quad (\text{II.3})$$

Et

$$V_t = \frac{kT}{q} \quad (\text{II.4})$$

- I : Courant engendré par la cellule.
- I_{ph} : Photo-courant.
- I_d : Courant qui passé dans la diode.
- I_{sd} : Courant de saturation de diode.
- V_e : Tension aux bornes de la cellule.
- V_T : tension thermique.
- K : Constant de Boltzmann ($K = 1,38.10^{-23}/K$).
- q : La charge de l'électron ($q = 1,602.10^{-19}c$).

- T : La température de la cellule en kelvin.
- n : facteur de non idéalité de la jonction.

Donc la relation sera :

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp^{\frac{V}{nV_T}} - 1 \right] \quad (\text{II.5})$$

b) Modèle réel :

Le modèle idéal ne reflète pas avec précision le comportement réel de la cellule. Le modèle réel prend en considération les phénomènes dissipatifs au niveau de la cellule et les pertes ohmiques du matériau. Le circuit équivalent est représenté par la figure II.2. [20]

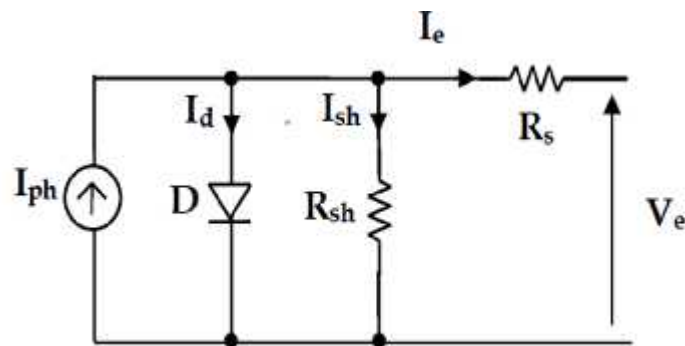


Figure II.2. Modèle réel d'une cellule photovoltaïque.

- R_s : très petite, représente les pertes ohmiques du matériau.
- R_{sh} : suffisamment grande, elle représente le courant parasite.

A partir du circuit équivalent, on a :

$$I_e = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (\text{II.6})$$

Où, le courant qui passe dans la résistance shunt est donné par :

$$I_{sh} = \frac{V_e + R_s I_e}{R_{sh}} \quad (\text{II.7})$$

L'expression finale, qui décrit la caractéristique I-V de la cellule, est donnée comme suit :

$$I_e = I_{ph} - I_{sd} \left(e^{\frac{V_e + R_s I_e}{nV_T}} - 1 \right) - \frac{V_e + R_s I_e}{R_{sh}} \quad (II.8)$$

c) Modèle simplifié :

Un modèle plus simple peut être obtenu par la négligence des courants parasites au niveau de la diode ($R_{sh} \rightarrow \infty$). Ce modèle est montré par la figure II.3.

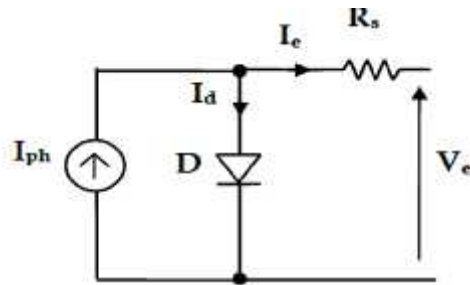


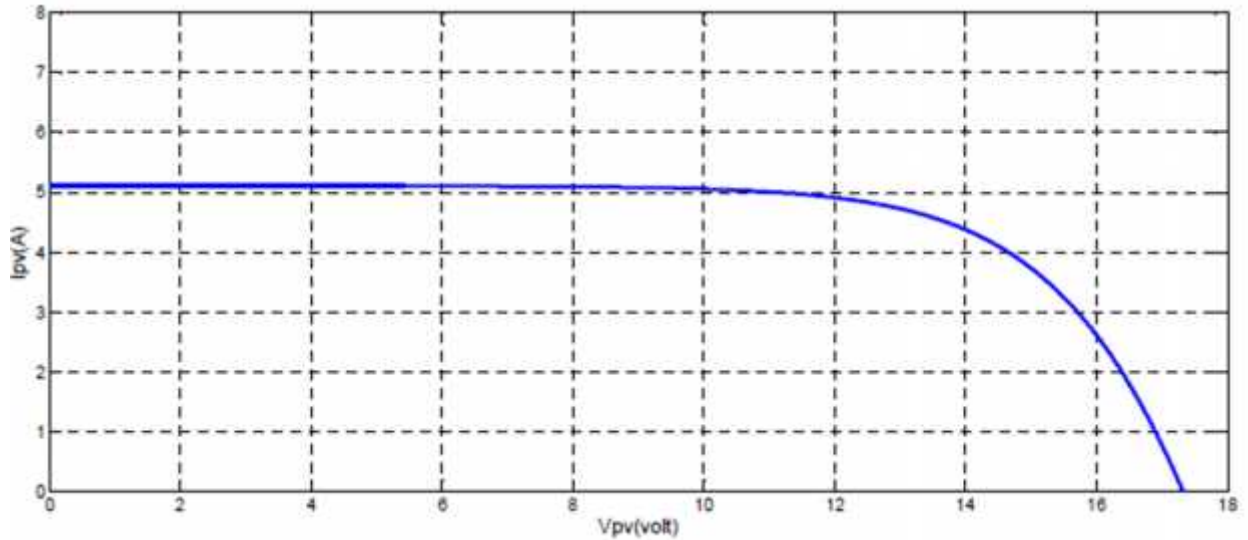
Figure II.3. Modèle simplifié.

Par conséquent, l'expression de la caractéristique I-V donnée par (II.8) devient comme suit :

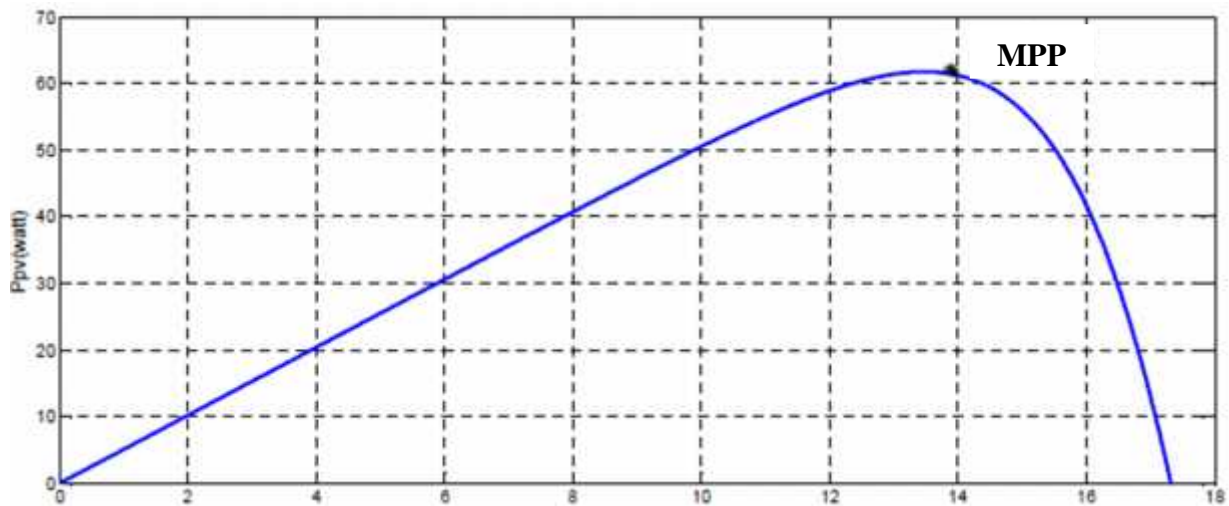
$$I_e = I_{ph} - I_{sd} \left(e^{\frac{V_e + R_s I_e}{nV_T}} - 1 \right) \quad (II.9)$$

2.1.2 Caractéristique de PV:

Le générateur PV est une source à puissance finie, où les figures (II.4.a), et (II.4.b) illustrent respectivement les caractéristiques de courant et de puissance, dans les condition standard ($T=25C^{\circ}$ et $E=1kw/m^2$).



(a) : Caractéristique courant-tension.



(b) : Caractéristique puissance-tension.

Figure II.4 : Caractéristiques du PV

2.1.3 Influence de l'éclairement et température sur le comportement du module PV :

Le comportement du module PV est très sensible aux variations de l'éclairement (E) et de la température (T) car ces variations ont un effet important sur la puissance fournie par le module.

[3]

i. Influence de l'éclairement :

La figure suivante représente Influence de l'éclairement sur les caractéristiques de tension - courant du PV a une température constante 25°C nous notons que le courant est soumis à une grande variation par rapport à la variation de tension, donc l'Influence de l'éclairement affecte grandement le courant.

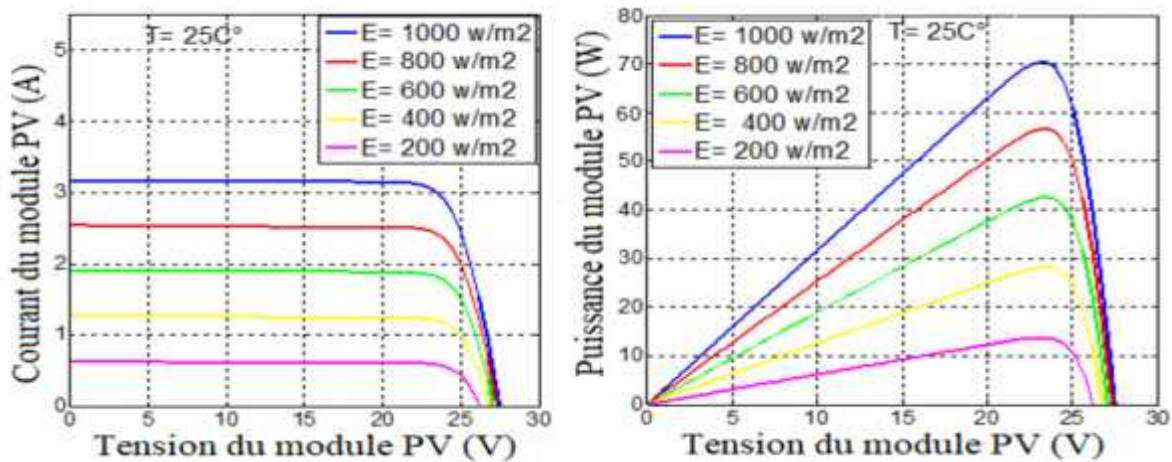


Figure II.5. Caractéristique I-V et P-V d'une cellule ($T=25^{\circ}\text{C}$).

ii. Influence de la température :

La température a un effet très important sur la tension de circuit ouvert et un effet non remarquable sur le courant de court-circuit de la cellule, L'augmentation de la température de travail se traduit au total par une diminution de la puissance maximale disponible. [3]

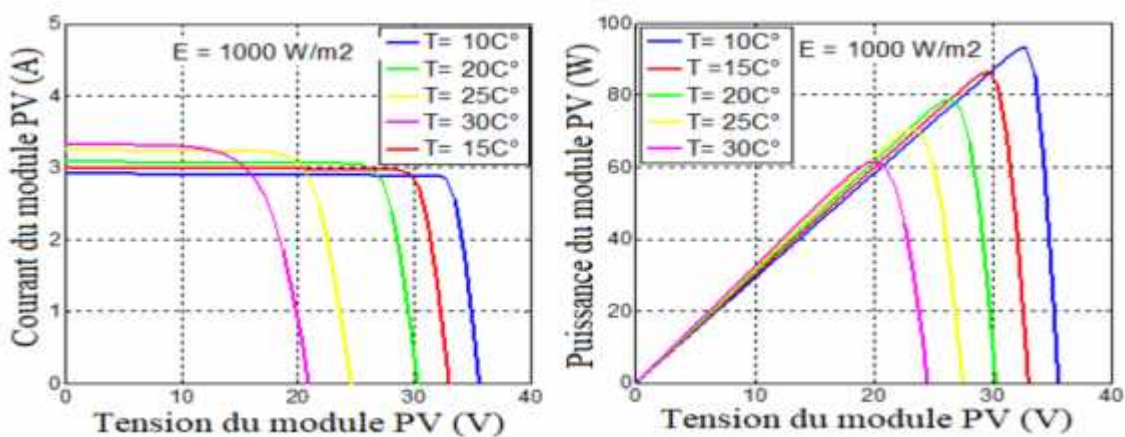


Figure II.6. Caractéristique I-V et P-V d'une cellule ($E=1\text{KWm}^{-2}$).

2.1.4 Effet de l'ombrage partiel sur le fonctionnement du module PV :

L'efficacité de la production l'énergie PV dépend essentiellement des conditions auxquelles est soumis le champ PV à savoir le rayonnement, la température et l'état de la surface de champ PV (salissure, détérioration). Ces facteurs influent directement sur son absorption photonique et affectent par conséquent la productivité des panneaux PV. Le phénomène d'ombrage partiel est un des problèmes qui nuisent au bon fonctionnement d'une centrale PV. L'ombrage partiel est une répartition non uniforme de l'éclairement qui est dû à plusieurs raisons (Fig. II.7). A cet effet, on distingue deux types d'ombrage [21] [3] :

- Ombrage lointain qui correspond à la disparition du soleil derrière la ligne d'horizon.
- Ombrage proche qui est souvent dû à des obstacles inévitables tels que : les lignes électriques, les arbres, les bâtiments voisins, la saleté.

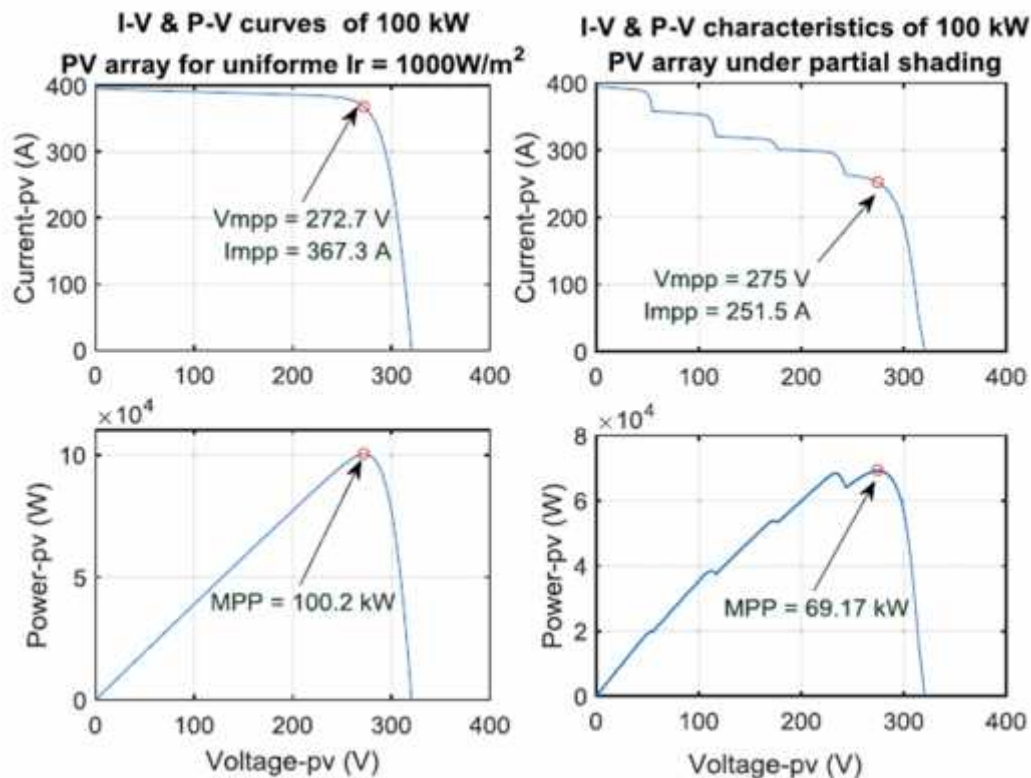


Figure. II.7 : Courbe de I(V) et P(V) d'un générateur PV de 100KW.

Ce phénomène indésirable affecte l'efficacité de la conversion et l'habilité à extraire le maximum de puissance disponible du champ PV en engendrant de multiples maxima locaux. L'ombrage perturbe aussi le fonctionnement des cellules PV causant ainsi deux problèmes :

- Le premier problème c'est celui de mis match qui est dû au fait que le courant total d'un champ PV est limité par le courant du module ombragé (de faible puissance) dans le cas où le courant I_{cc} du module ombragé est supérieur au I_{cc} des modules uniformément éclairés.
- Le second problème est celui du point chaud. Ce problème se produit quand le courant I_{cc} du module ombragé est inférieur au I_{cc} des modules uniformément éclairés donc le module ombragé se conduit comme un récepteur d'énergie reçu par les autres modules PV. Ceci engendre, en plus de la déformation de la courbe I-V (Figure. II.7), l'échauffement de ce module par dissipation de cette énergie et si le point de fonctionnement du module ombragé atteint la tension de claquage [21, 22,3].

2.2 Modelés de Convertisseur DC/DC (Hachure):

Les convertisseurs continu-continu ont pour fonction de fournir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe. Ces convertisseurs sont très utilisés pour l'alimentation et le réglage de la vitesse d'un moteur à courant continu. La représentation symbolique la plus couramment utilisée d'un convertisseur DC/DC est donnée par le schéma suivant [24] :

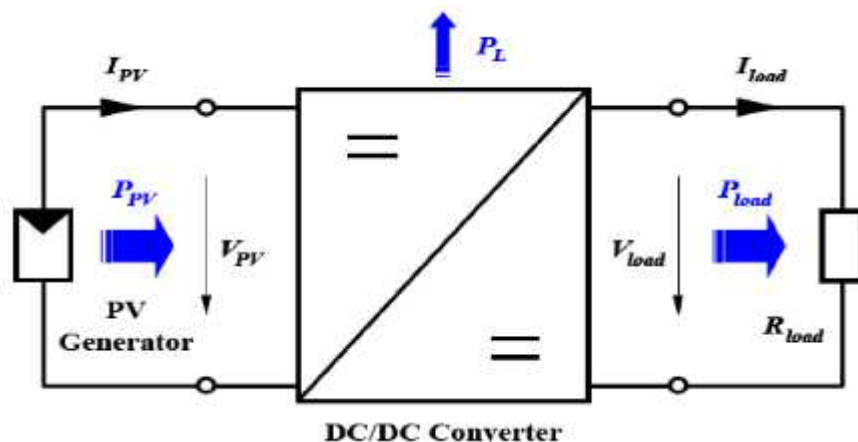


Figure II.8 : Convertisseur DC/DC.

2.2.1 Convertisseur élévateur de tension BOOST:

Un convertisseur BOOST qui peut être souvent trouvé sous le nom de convertisseur survolteur ou hacheur parallèle. Son objectif d'utilisation est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie supérieure.

Il est composé d'un interrupteur K (comme IGBT ou MOSFET) et d'une diode D l'interrupteur K est commandé par un signal à modulation de largeur d'impulsion (MLI) de période de découpage fixe T_d et de rapport cyclique variable .[24]

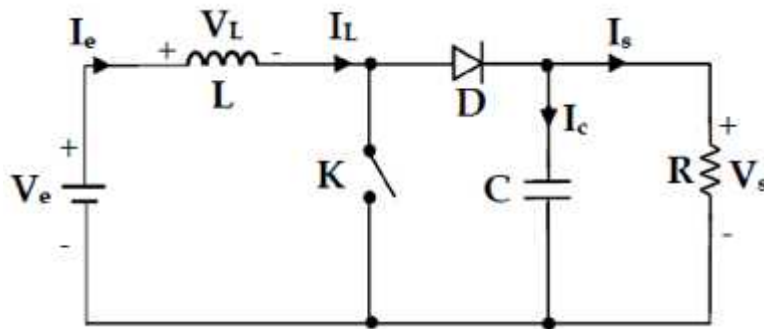


Figure II.9. Schéma d'un convertisseur Boost.

a. Séquences de fonctionnement :

Pour savoir le comportement réel nous devons faire la représentation du circuit équivalent par les deux états du commutateur et de tirer par suite le modèle mathématique reliant les variables d'entrée/sortie.

➤ Première séquence [$0 \rightarrow \alpha T_d$] (cas ferme) :

Pendant la durée $0 - \alpha T_d$, l'interrupteur est fermé, le courant dans l'inductance augmente progressivement et l'énergie va se stocker sous forme magnétique.

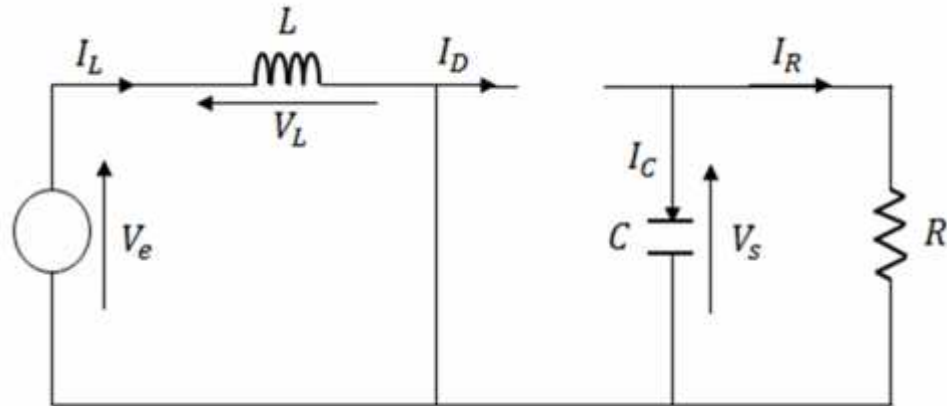


Figure II.10: Circuit équivalent quand l'interrupteur est fermé.

L'application des lois de Kirchhoff donne les équations suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_L}{dt} = \frac{V_e}{L} + \frac{r_L i_L}{L} \\ \frac{dV_s}{dt} = -\frac{V_s}{R \times C} \end{array} \right. \quad (\text{II.10})$$

➤ Deuxième séquence [αT_d - T_d] (cas ouvert) :

Durant cette séquence, l'interrupteur s'ouvre, l'énergie emmagasinée dans l'inductance est déchargée dans la charge et dans le condensateur et la diode assure la continuité du courant dans l'inductance

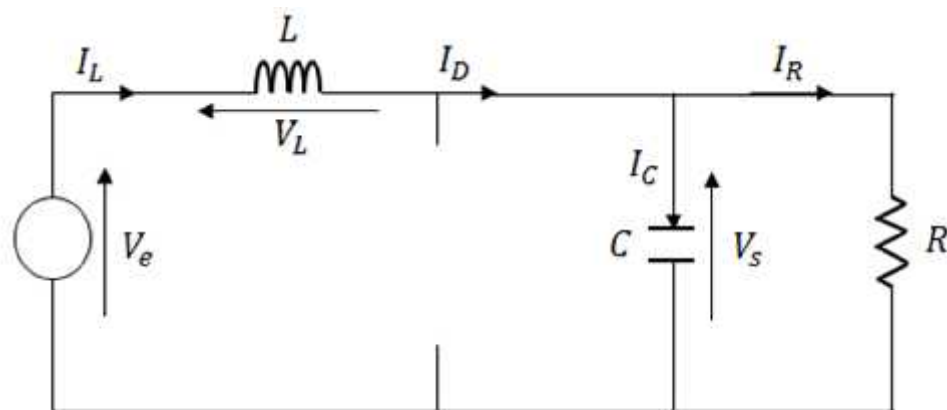


Figure II.11. Circuit équivalent quand l'interrupteur est ouvert.

L'application des lois de Kirchhoff donne les équations suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_L}{dt} = \frac{V_e - r_L i_L - V_s}{L} \\ \frac{dV_s}{dt} = \frac{i_L}{C} - \frac{V_s}{R \times C} \end{array} \right. \quad (\text{II.11})$$

b. Modèle moyen :

Le modèle moyen est donné par les équations suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{I}_L = \frac{1}{L} V_e - \frac{1-\alpha}{L} V_s \\ \dot{V}_s = \frac{1-\alpha}{C} I_L - \frac{1}{RC} V_s \end{array} \right. \quad (\text{II.12})$$

3. La commande MPPT :

3.1 Méthode de contrôle par recherche d'extremum (ESC) :

Développé au 20ème siècle, l'ESC est une approche de contrôle adaptatif qui atteint la cible de contrôle via des signaux filtrés et conducteurs contenant des informations incertaines ou inconnues à certains égards. Un des principaux avantages de l'ESC est qu'il n'exige pas de modèle de système et qu'il est capable d'améliorer ses performances. Les applications de l'ESC peuvent être trouvées dans des problèmes de contrôle non linéaire, et des localisations locales non linéaires minimum et maximum. Il peut exister des extremums locaux pour une courbe caractéristique P-V à la sortie non linéaire dans le cas d'une cellule solaire ombrée [25].

Comme illustré à la figure (II.12), un schéma fonctionnel du système est composé d'un intégrateur, d'un différentiateur, d'un circuit logique et d'un amplificateur. ESC est ensuite appliqué pour suivre le MPP, c'est-à-dire pour localiser le point de puissance maximale sur une courbe y par rapport à x et surmonter le problème de maximum local. Il ressort de la figure (II.12) que [25]:

$$\frac{dx}{dt} = k\varepsilon \tag{II.13}$$

Où $\varepsilon = \pm 1$ et K est une constante positive :

$$g = \frac{dy}{dt} \tag{II.14}$$

Dans le cas où $g < 0$, le signal ε est modifié alors qu'il reste inchangé pour $g = 0$. Le système ESC de la figure II.12 est représenté par l'équation ci-dessus et le circuit logique sert à déterminer s'il est nécessaire de modifier ε [25].

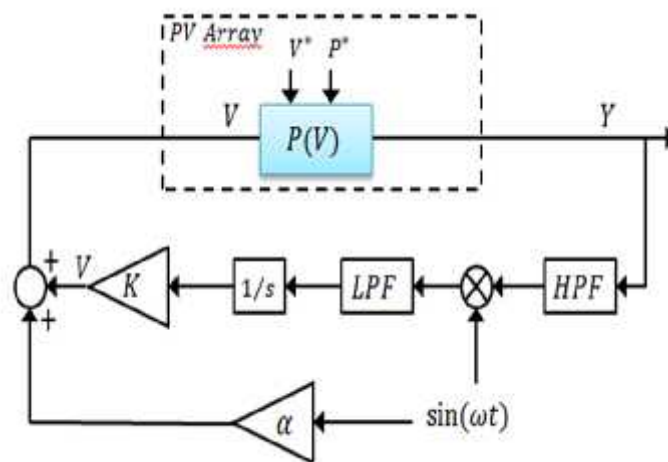


Figure II.12: Un schéma de principe d'un système de contrôle ESC.

La figure II.13 indique les variations de $\frac{dx}{dt}$ et $\frac{dy}{dt}$ des quatre points a, b, c, d :

- a: $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{t=t^-} > 0, \left(\frac{dy}{dt}\right)_{t=t^-} > 0 \quad \left(\frac{dx}{dt}\right)_{t=t^+} = k$
- b: $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{t=t^-} > 0, \left(\frac{dy}{dt}\right)_{t=t^-} < 0 \quad \left(\frac{dx}{dt}\right)_{t=t^+} = -k$
- c: $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{t=t^-} < 0, \left(\frac{dy}{dt}\right)_{t=t^-} > 0 \quad \left(\frac{dx}{dt}\right)_{t=t^+} = -k$
- d: $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{t=t^-} > 0, \left(\frac{dy}{dt}\right)_{t=t^-} < 0 \quad \left(\frac{dx}{dt}\right)_{t=t^+} = k$

Ou
$$\left(\frac{dy}{dx}\right) = \left(\frac{dy}{dt}\right) / \left(\frac{dx}{dt}\right) \quad (\text{II.15})$$

Les quatre cas ci-dessus peuvent être exprimés comme suit:

$$\text{Si } \left(\frac{dy}{dx}\right)\Big|_{t=t^-} > 0 \text{ puis } \left(\frac{dx}{dt}\right)\Big|_{t=t^+} = k \quad (\text{II.16})$$

$$\text{Si } \left(\frac{dy}{dx}\right)\Big|_{t=t^-} < 0 \text{ puis } \left(\frac{dx}{dt}\right)\Big|_{t=t^+} \approx -k \quad (\text{II.17})$$

À partir des équations ci-dessus, on peut obtenir que

$$\frac{dx}{dt} = k * \text{sign}\left(\frac{dy}{dx}\right) \quad (\text{II.18})$$

La figure (II.13) présente une courbe de sortie d'une cellule solaire avec les quatre points a, b, c, d, dans laquelle la mesure de l'algorithme est déterminée par $\frac{dx}{dt}$, tandis que la dynamique est par $\frac{dy}{dx}$. C'est noté d'après l'équation (II-18), le point d'équilibre $\frac{dy}{dx} = 0$, correspond au point extrême de la courbe y par rapport à x sur la figure (II.13), et la dynamique du système dépend de la pente de cette courbe. Afin de prouver la stabilité à un tel point d'équilibre, une fonction de Lyapunov est sélectionnée comme suit [25]:

$$V_{Ly}(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \quad (\text{II.19})$$

Le premier dérivé de l'équation (II.19) donne:

$$V_{Ly}(t) = \frac{dy}{dx} \frac{d^2y}{dx dx} \frac{dy}{dt} = \frac{dy}{dx} \frac{d^2y}{dx dx} \left(k * \text{sign}\left(\frac{dy}{dx}\right)\right) \quad (\text{II.20})$$

La figure II.13 montre que:

$$\frac{d^2y}{dx} < 0 \quad (\text{II.21})$$

$$\frac{dy}{dx} \text{sign}\left(\frac{dy}{dx}\right) > 0 \quad (\text{II.22})$$

Par conséquent, un choix de K positif vérifie $V_{Ly}(t) < 0$, c'est-à-dire une stabilité validée Par rapport aux approches conventionnelles MPPT, l'adoption de l'ESC permet une réponse plus sûre en cas de présence de plus d'un seul extremum [25].

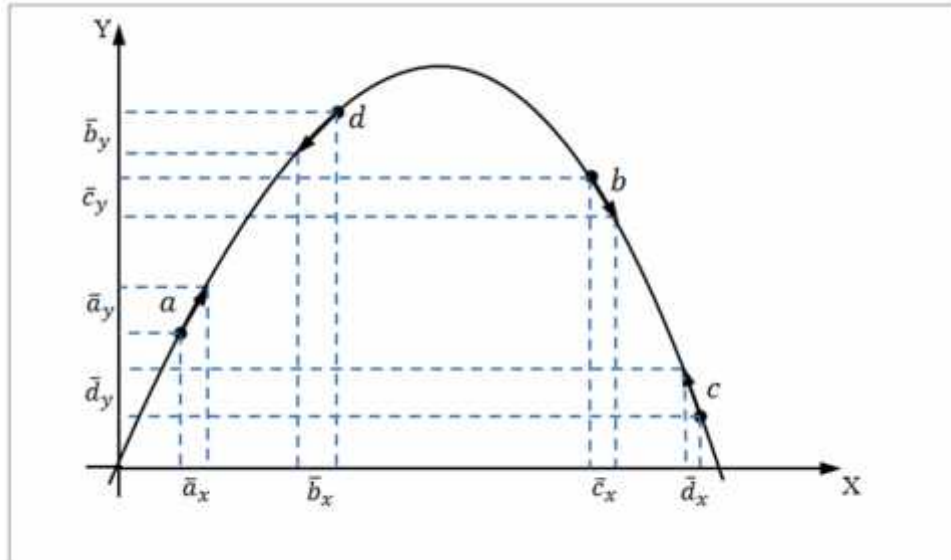


Figure II.13: Illustration de la dynamique de l'ESC.

3.3 Méthode de contrôle par recherche d'extremum modifiée (ECSm) :

Bien que la méthode ESC classique soit avantageuse par rapport aux méthodes d'analyse globales en termes de vitesse de convergence, il faut encore beaucoup de temps pour converger vers chaque point de puissance maximum. L'ESC conventionnel a une performance transitoire relativement lente. L'algorithme ESC modifié qui vise à réduire le temps de convergence pour tous les points de puissance maximum afin d'augmenter le rendement énergétique dans les systèmes photovoltaïques lors de changements brusques dans les conditions atmosphériques. L'algorithme ESC modifié proposé (Figure II.14) utilise une perturbation périodique lente ($\sin(\omega_p t)$) ajoutée à la valeur estimée afin de conduire continuellement le système au point optimal. Le fonctionnement de cet algorithme est similaire à la méthode classique avec la seule différence qu'un second filtre passe-bas et un intégrateur sont ajoutés au système afin d'augmenter les performances du système. [19]

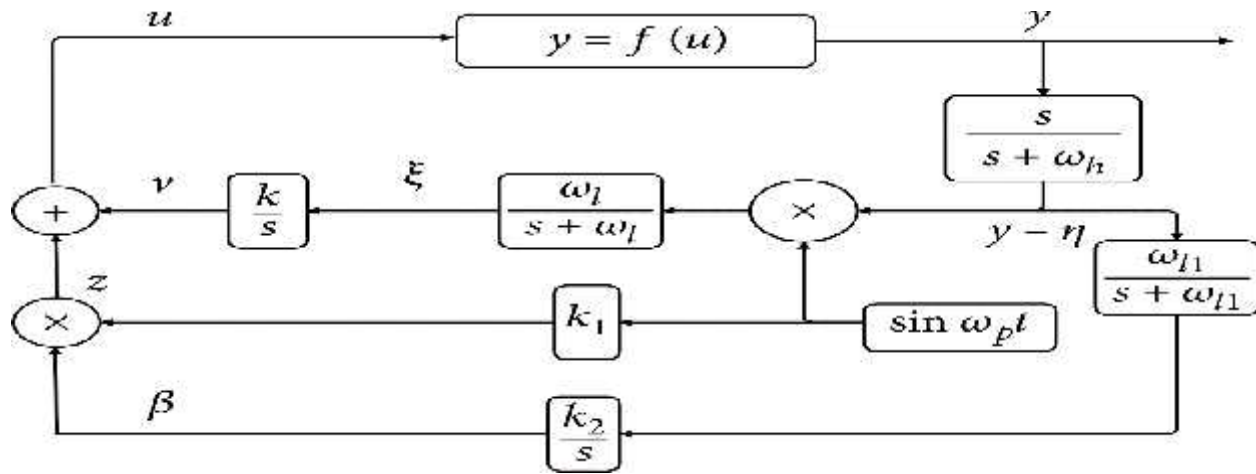


Figure II.14 : algorithme ESC modifié.

Son modèle mathématique est écrit comme suit:

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = k\xi \\ \frac{d\xi}{dt} = -\omega_l\xi + \omega_l(y - \eta)\sin(\omega_p t) \\ \frac{d\eta}{dt} = -\omega_h\eta + \omega_h y \\ y = f(u) = f(v + \beta k_1 \sin(\omega_p t)) \end{cases} \quad (II.23)$$

Par souci de simplification, nous posons $a_1 = k_1$: par conséquent, le système devient :

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = k\xi \\ \frac{d\xi}{dt} = -\omega_l\xi + \omega_l(y - \eta)\sin(\omega_p t) \\ \frac{d\eta}{dt} = -\omega_h\eta + \omega_h y \\ y = f(u) = f(v + a_1 \sin(\omega_p t)) \end{cases} \quad (II.24)$$

Où est l'amplitude du signal de vacarme. Les paramètres ω_p (la fréquence du signal de dither), ω_h (fréquence de coupure du filtre passe-haut), ω_l (fréquence de coupure du premier filtre passe-bas), et k (gain de mise à jour de gradient) ont été choisis dans les mêmes conditions. ω_{l1} (fréquence de coupure du deuxième filtre passe-bas) et k_1 (gain de contrôle) sont obtenus

empiriquement. La figure II.15 montre le schéma fonctionnel de l'algorithme ESC modifié appliqué au système PV.[19]

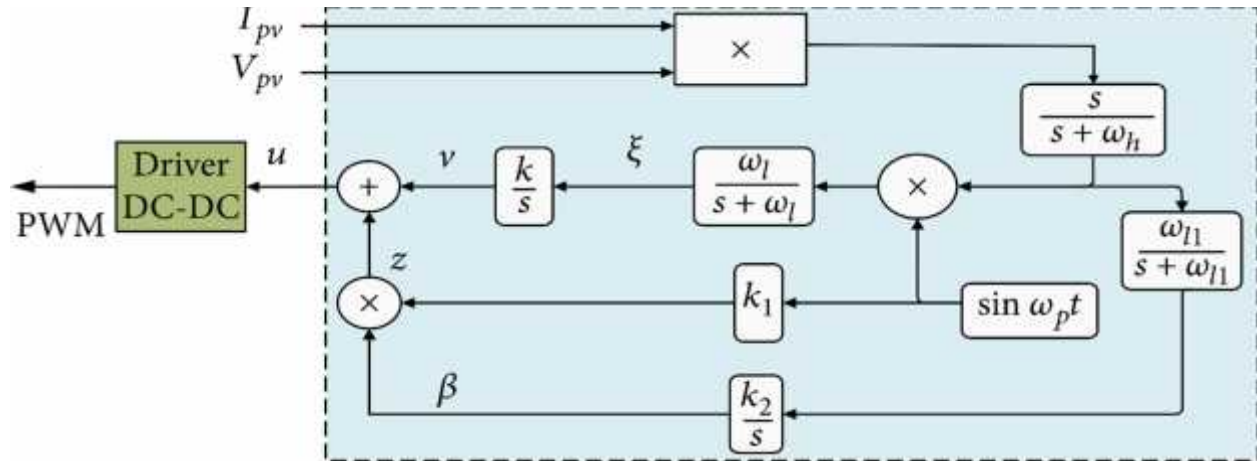


Figure II.15: Block diagram of the modified ESC algorithm applied to the PV system.

4. Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons présenté la modélisation d'un système photovoltaïque en commençant par le générateur photovoltaïque en observant les caractéristiques du générateur photovoltaïque

GPV ainsi que ses performances sous l'influence de quelques paramètres atmosphériques (température et ensoleillement). Puis nous avons détaillé le modèle du convertisseur Boost qui représente étage d'adaptation entre le générateur PV et la charge. Pour la partie commande MPPT.

Chapitre 03 :

Simulation des techniques sous
Matlab Simulink et résultats

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. 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. 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.

2. Simulation du système photovoltaïque :

La Figure III.1 donne le schéma block de notre system photovoltaïque étudié avec l'ensemble des étages simulés: GPV, DC-DC, MPPT et la charge DC.

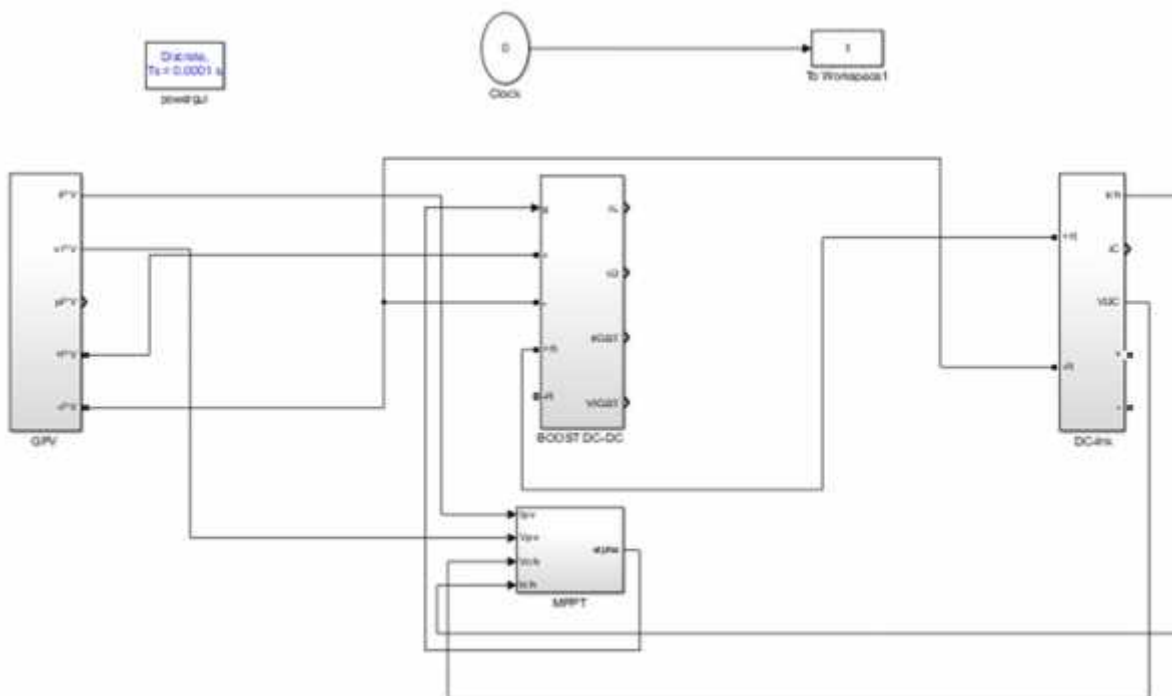


Figure III.1 Schéma bloc sous Simulink du système global.

2.1 Simulation d'un GPV :

GPV contient deux panneau photovoltaïques en série de model monocristalline et fournit une puissance maximum nominale de 85 W la figure III.2 présente modèle de simulation de GPV.

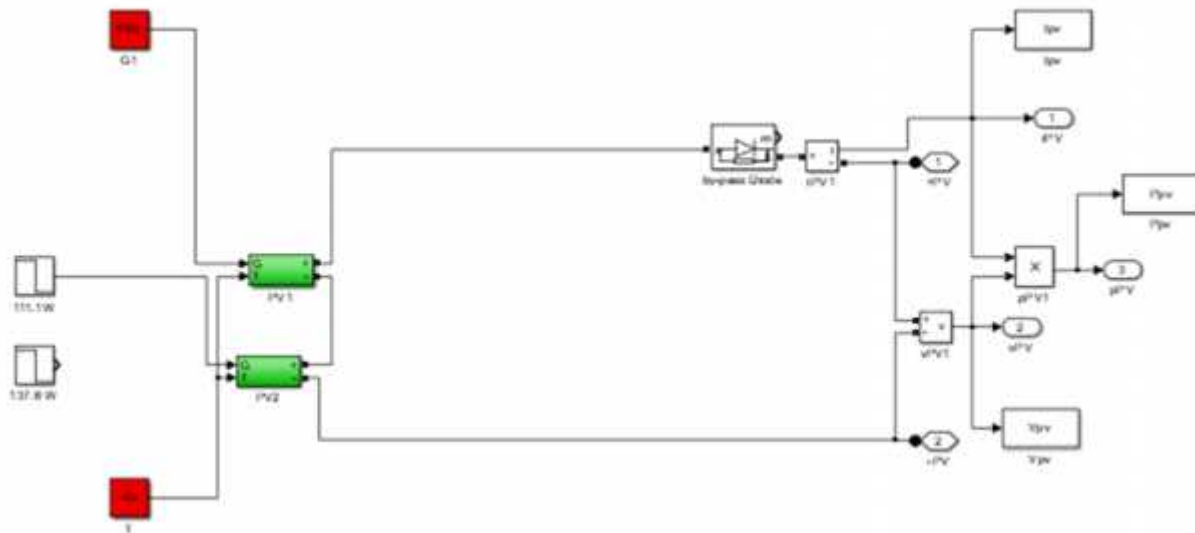


Figure III.2 Modèle de simulation de GPV.

Les caractéristiques physiques et électriques de ce panneau photovoltaïque sont données par le tableau suivant :

Tableau III.1: Paramètres du panneau photovoltaïque.

Ensoleillement standard E	1000 W/m ²
Température standard, T	25 C ⁰
Puissance maximale Pmax	85 W
Tension à Pmax ou tension optimale (Vop)	17.9 V
Courant à Pmax ou courant optimal (Iop)	4.77 A
Tension de circuit ouvert Vco	22 V
Courant de court-circuit Icc	5.2 A

2.2 Simulation du convertisseur Boost :

De la même manière et utilisant le modèle mathématique décrit dans le chapitre II, nous avons modélisé le convertisseur DC-DC boost sous l'environnement Matlab/Simulink.

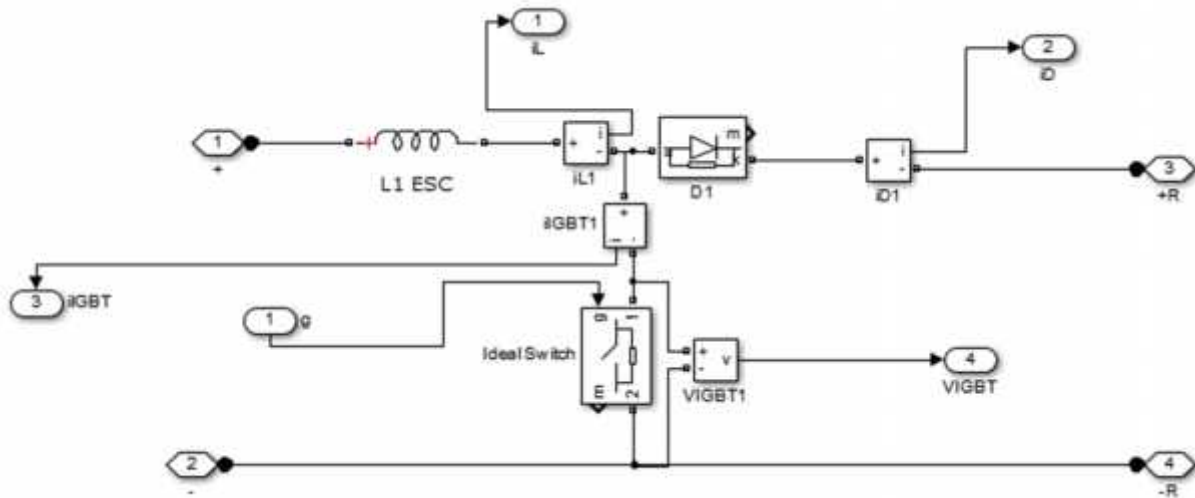


Figure.III.3 Modèle de simulation du CS BOOST.

2.3 Simulation de la charge :

La charge est résistance et capacité la figure suivante présente la charge dans Matlab/Simulink .

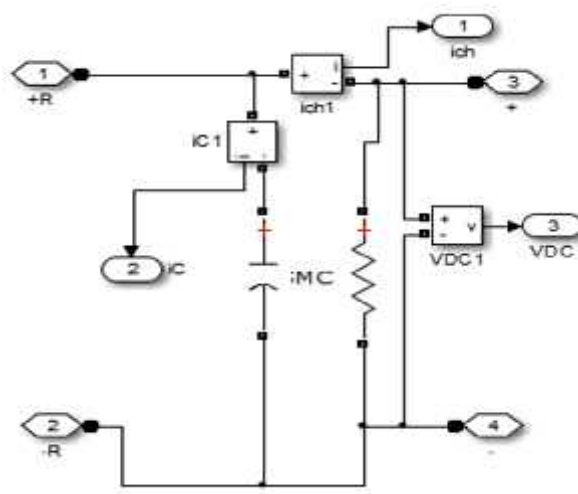


Figure III.4 : Modèle de simulation de la charge.

2.3 Simulation de la commande MPPT :

La commande MPPT « ESC et ESCmod » exige seulement des mesures de tension et du courant du panneau photovoltaïque V_{pv} et I_{pv} respectivement. Elle peut déduire le point de puissance maximale même lors des variations de l'éclairement et la température.

Dans ce travail, on analyse la simulation d'une commande MPPT numérique « perturbation-observation » qu'on applique aux convertisseurs DC-DC survolteur.

Nous avons réalisé les modèles de simulation des technique ESC et ESCm, en nous basant sur les études illustrées dans le chapitre II. La Figure III.5 donne le bloc Simulink.

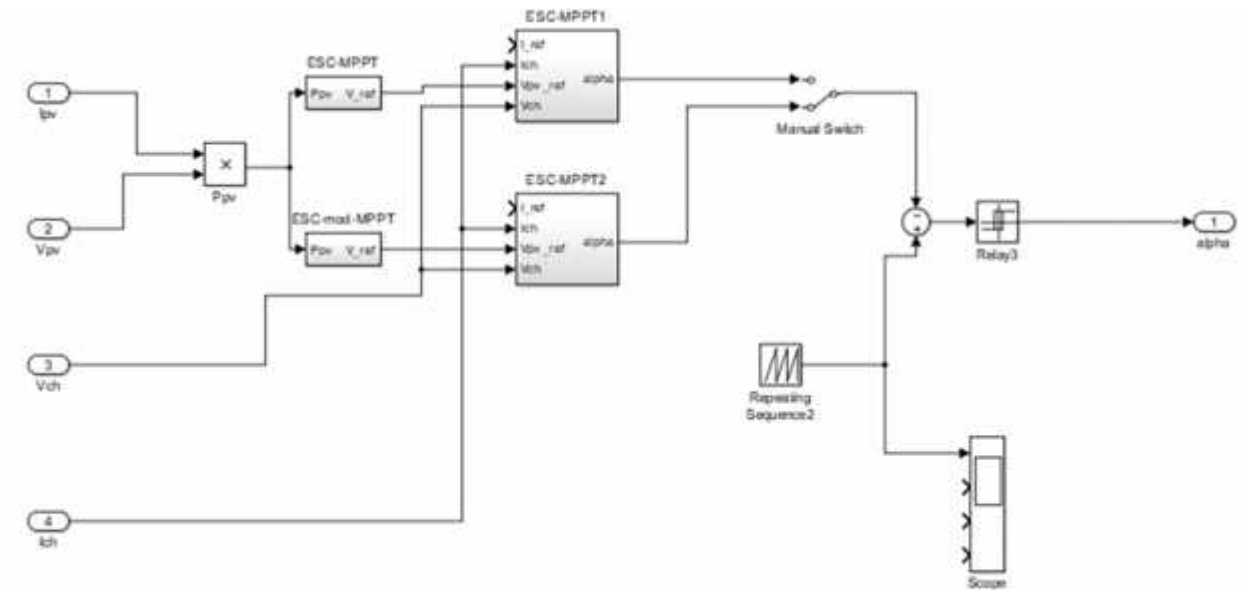


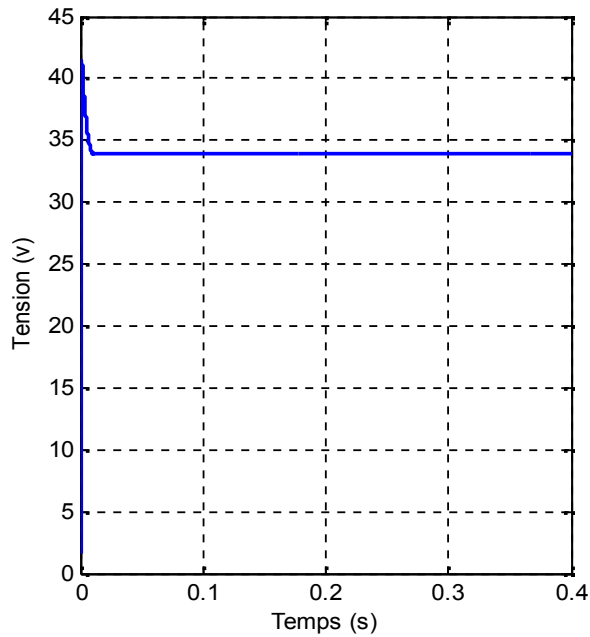
Figure III.5 : modèle de simulation de la commande MPPT (ESC et ESCm).

3. Résultats de Simulation :

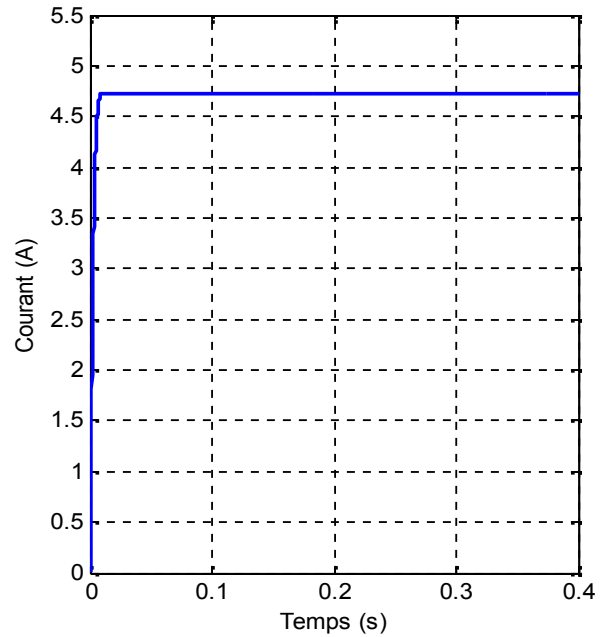
La simulation a été effectuée pour différent éclairement « 950 w/m^2 , 850 w/m^2 et 700 w/m^2 » pour effectuer l'ombrage partielle et on a fixé la température 25 C° et nous utilisé le deux technique ESC et ESCm afin de trouver des courbes « Tension , Courant , Puissance du GPV et Erreur »:

A. Cas normale (950 w/m^2) :

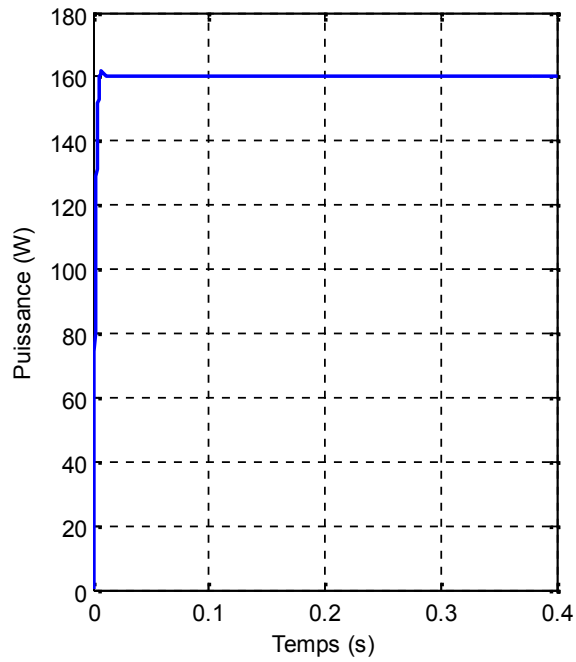
Dans un premier temps, nous vérifions la fonctionnalité et la performance des méthodes MPPT en applique éclairement 950 w/m^2 et la température 25 C° pour les deux techniques .

➤ MPPT ESC :

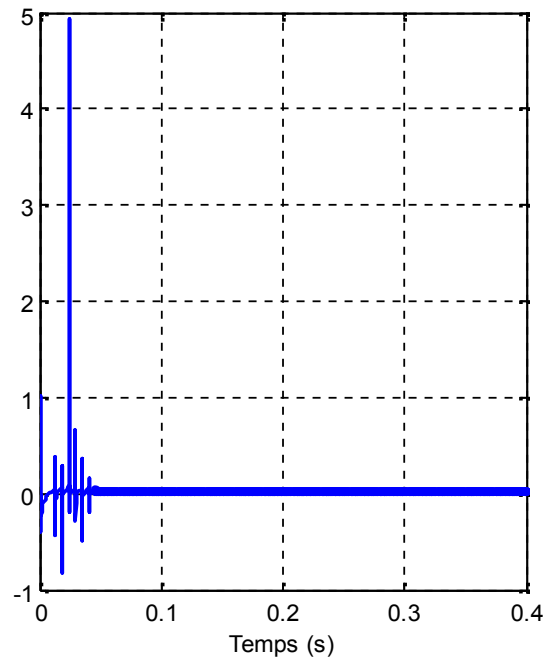
(a) : Tension du GPV.



(b) : Courant du GPV.



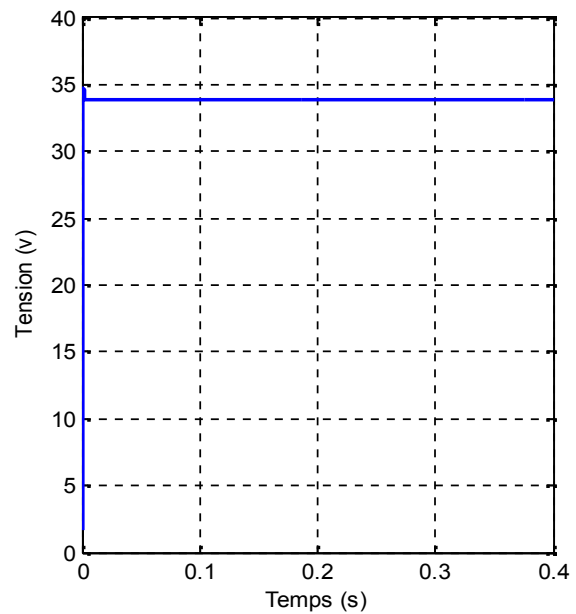
(c) : Puissance du GPV.



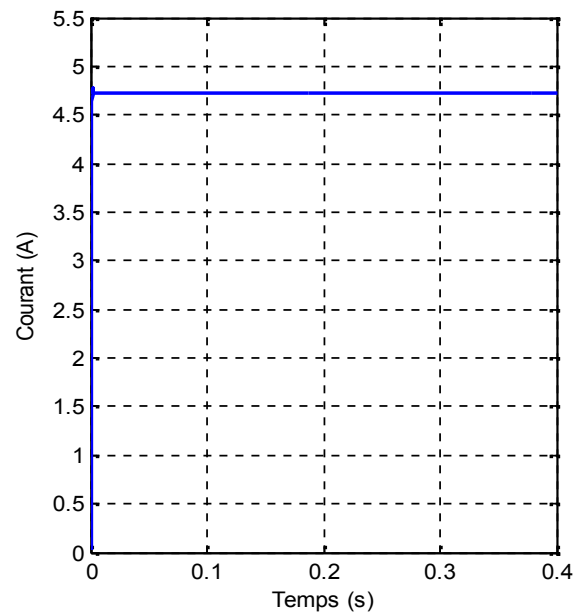
(d) : Erreur

Figure III.6 : L'ensemble des allures I_{pv} , V_{pv} , P_{pv} , erreur avec MPPT ESC ($E=950\text{w/m}^2$).

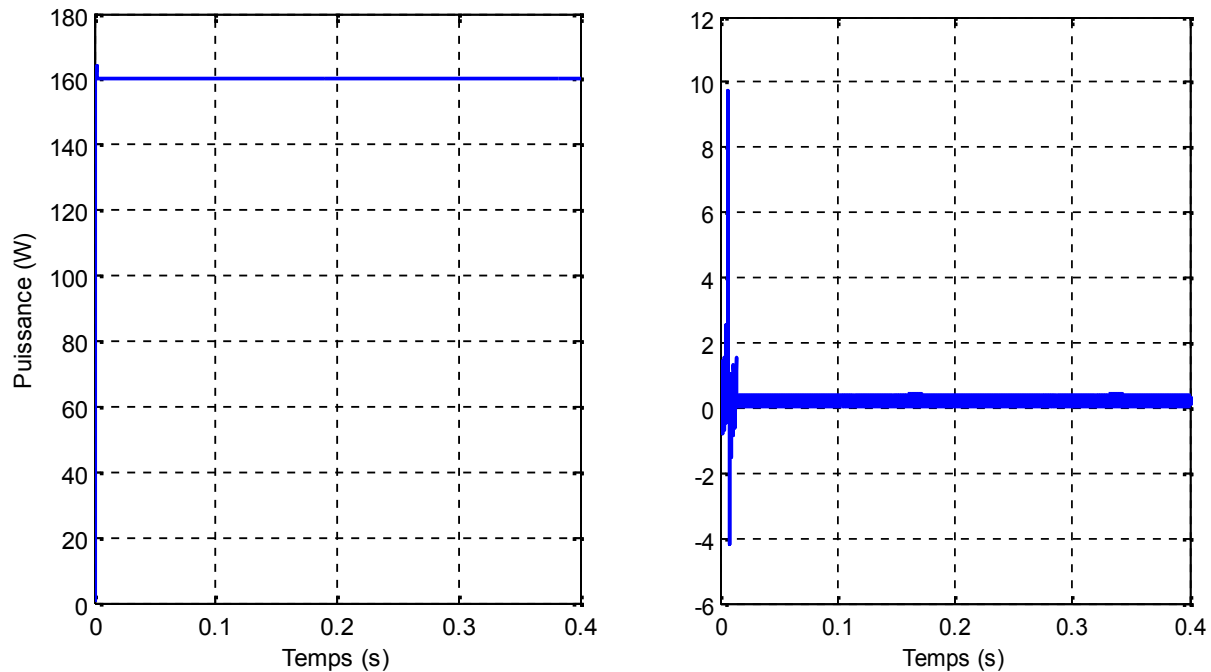
➤ **ESCM (modifié) :**



(a) : Tension du GPV.



(b) : Courant du GPV.



(c) : Puissance du GPV.

(d) : Erreur

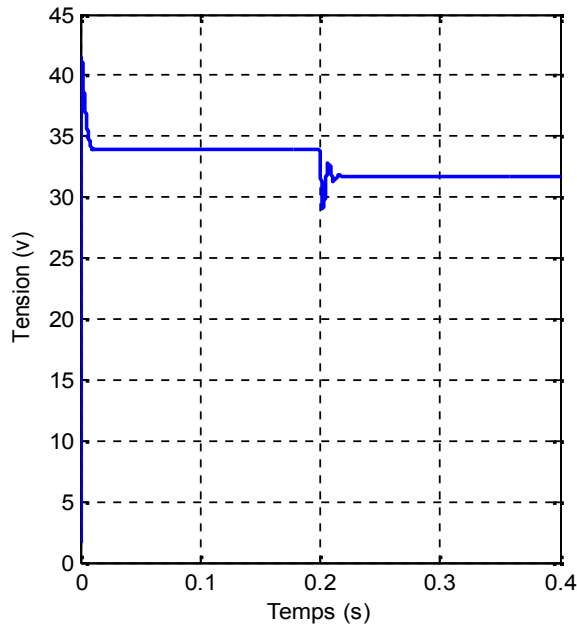
Figure III.7 : L'ensemble des courbes I_{pv} , V_{pv} , P_{pv} , erreur avec MPPT ESC mod ($E=950\text{w/m}^2$).

Les figures III (6,7) présentent les caractéristiques de GPV (P_{pv} , V_{pv} , I_{pv} et Erreur) aux conditions atmosphériques d'une température constante ($T=25^\circ\text{C}$) et éclairement 950w/m^2 on utilisant les techniques MPPT (ESC et ESCm) où on remarque sur la courbe de puissance P_{pv} une stabilité à 160 w avec un temps de réponse $t_r = 0.017$ pour ESC et $t_r=0.005$ pour ESCm, et on remarque aussi que la courbe d'erreur est presque nulle pour ESC par-appoint ESCmod ce qui montre la fiabilité du deux technique dans l'état saint.

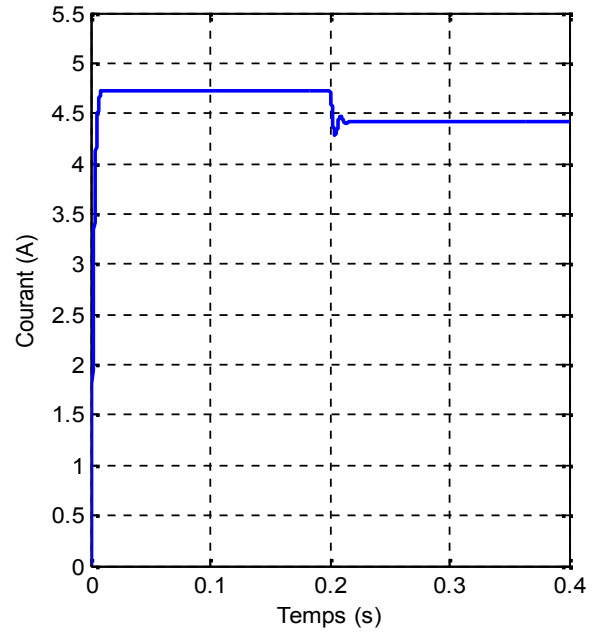
B. Cas ombrage partielle 1 (850 w/m^2) :

Dans ce cas on applique un ombrage partiel sur le générateur photovoltaïque dans l'instant $t=0.2\text{s}$ avec éclairement 850 w/m^2 et température fixe 25 C° sur les deux technique ESC et ESCm.

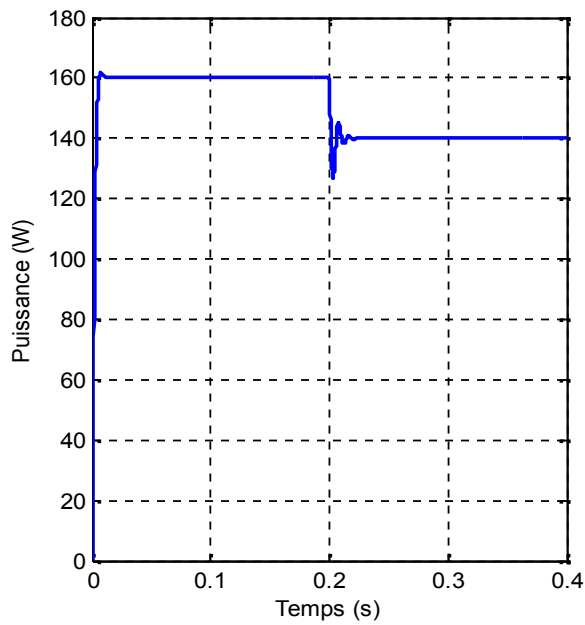
➤ ESC :



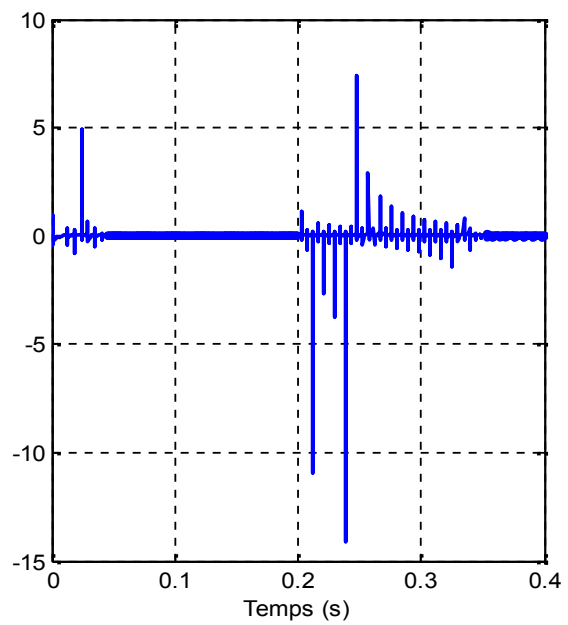
(a) : Tension du GPV.



(b) : Courant du GPV.



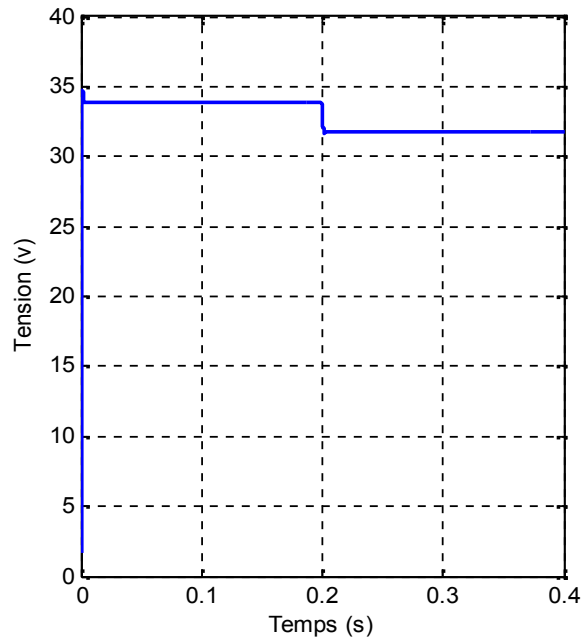
(c) : Puissance du GPV.



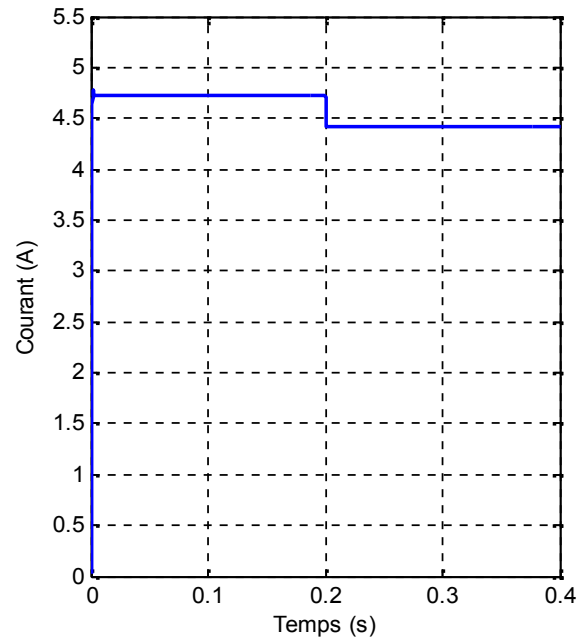
(d) : Erreur

Figure III.8 : Allures du I_{pv} , V_{pv} , P_{pv} , erreur avec ESC cas ombrage $E=850w/m^2$.

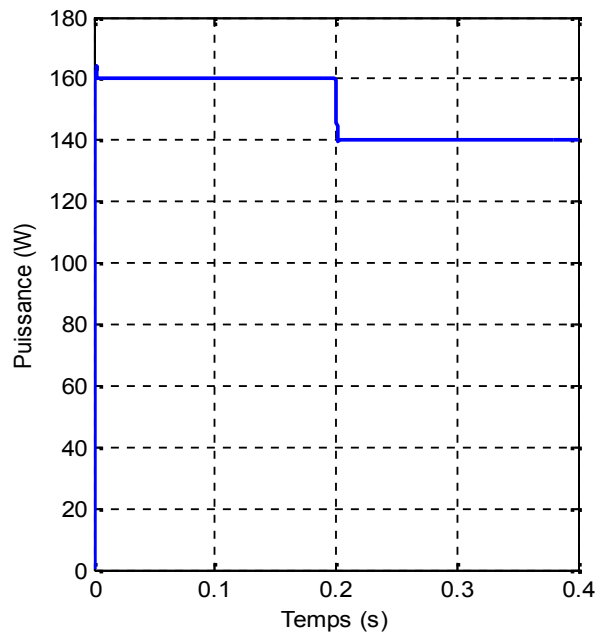
➤ ESCm (modifie) :



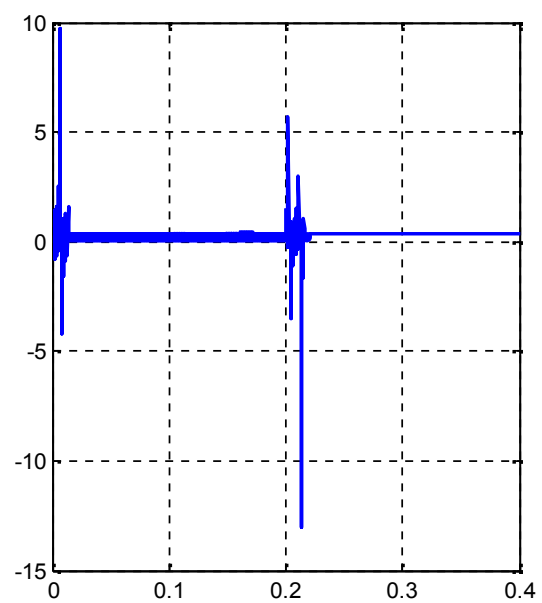
(a) : Tension du GPV.



(b) : Courant du GPV.



(c) : Puissance du GPV.

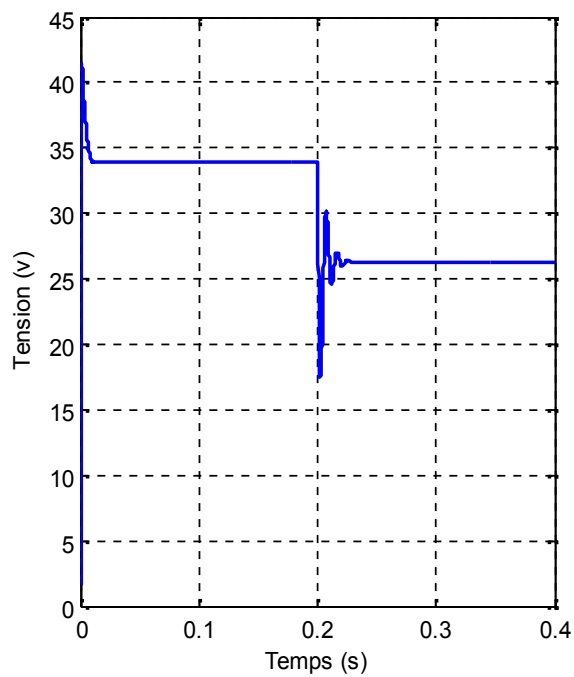


(d) : Erreur

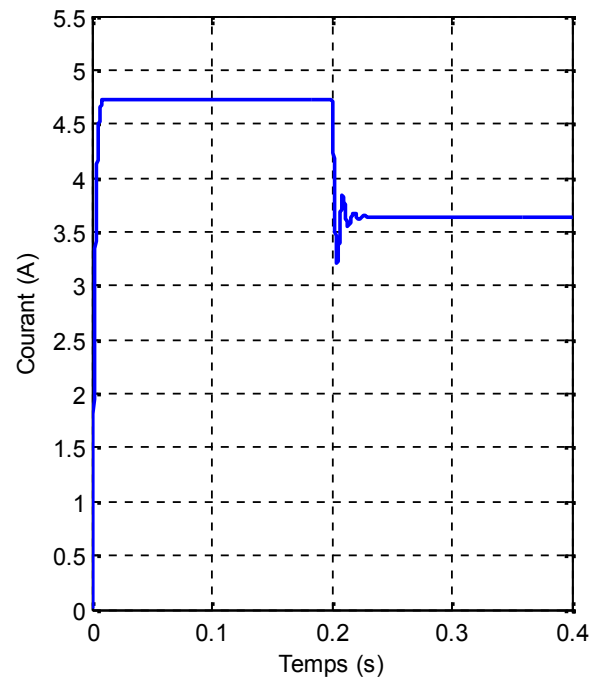
Figure III.9 : Allures du I_{pv} , V_{pv} , P_{pv} , erreur avec ESC mod cas ombrage $E=850w/m^2$

C. Cas ombrage partielle 2 (700 w/m^2) :

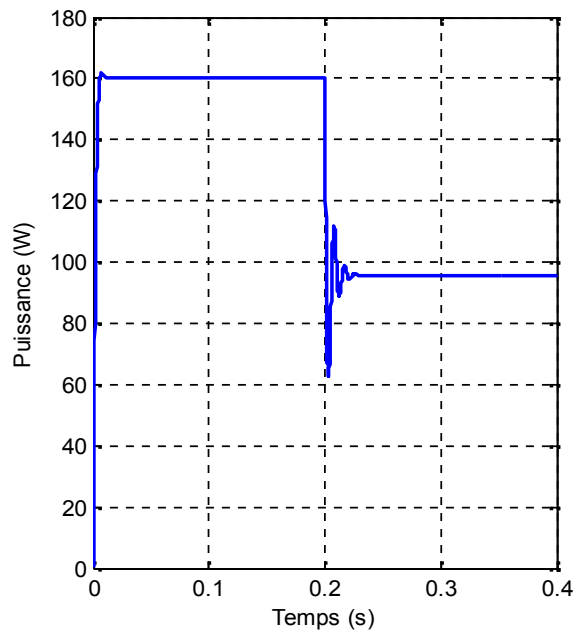
Dans ce cas on applique un éclairage 700 w/m^2 sur le deuxième panneau photovoltaïque et température fixe 25 C° pour les deux technique ESC et ESCm.

➤ ESC :

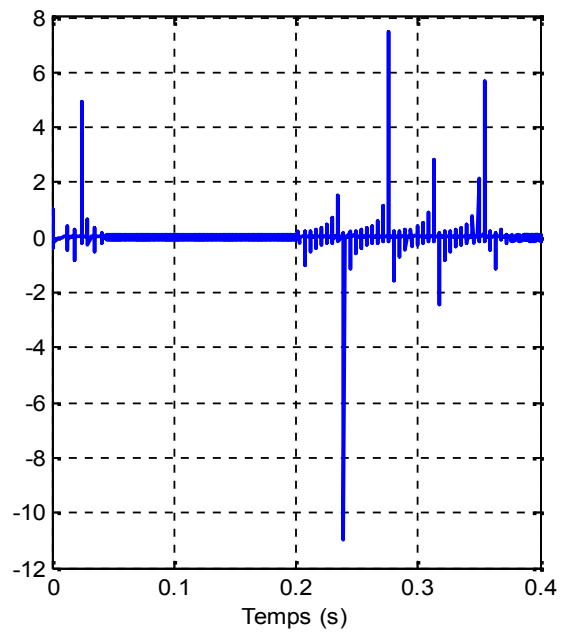
(a) : Tension du GPV.



(b) : Courant du GPV.



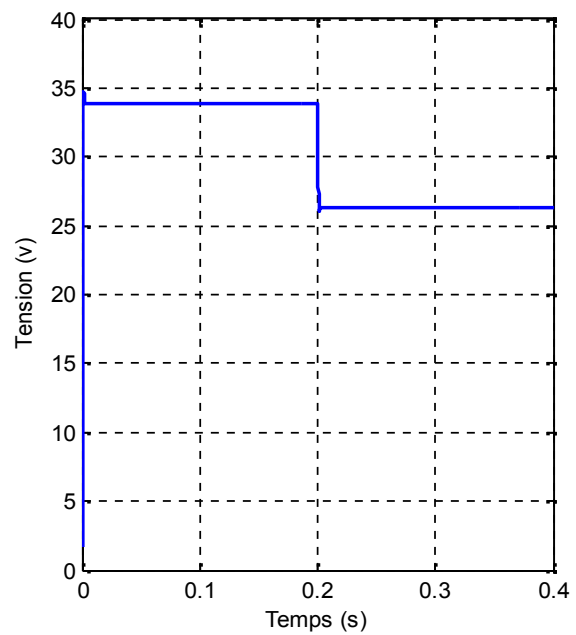
(c) : Puissance du GPV.



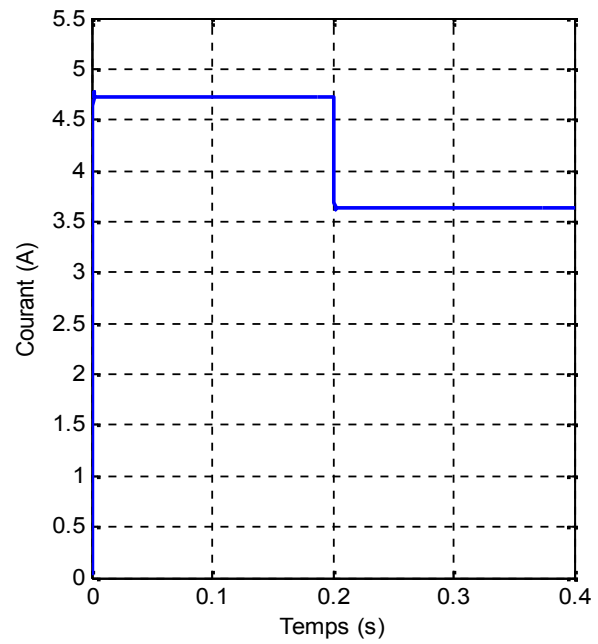
(d) : Erreur.

Figure III.10 : L'ensemble des courbes I, V, P, erreur avec ESC a $E=700\text{w/m}^2$

➤ **ESCM (modifie) :**



(a) : Tension du GPV.



(b) : Courant du GPV.

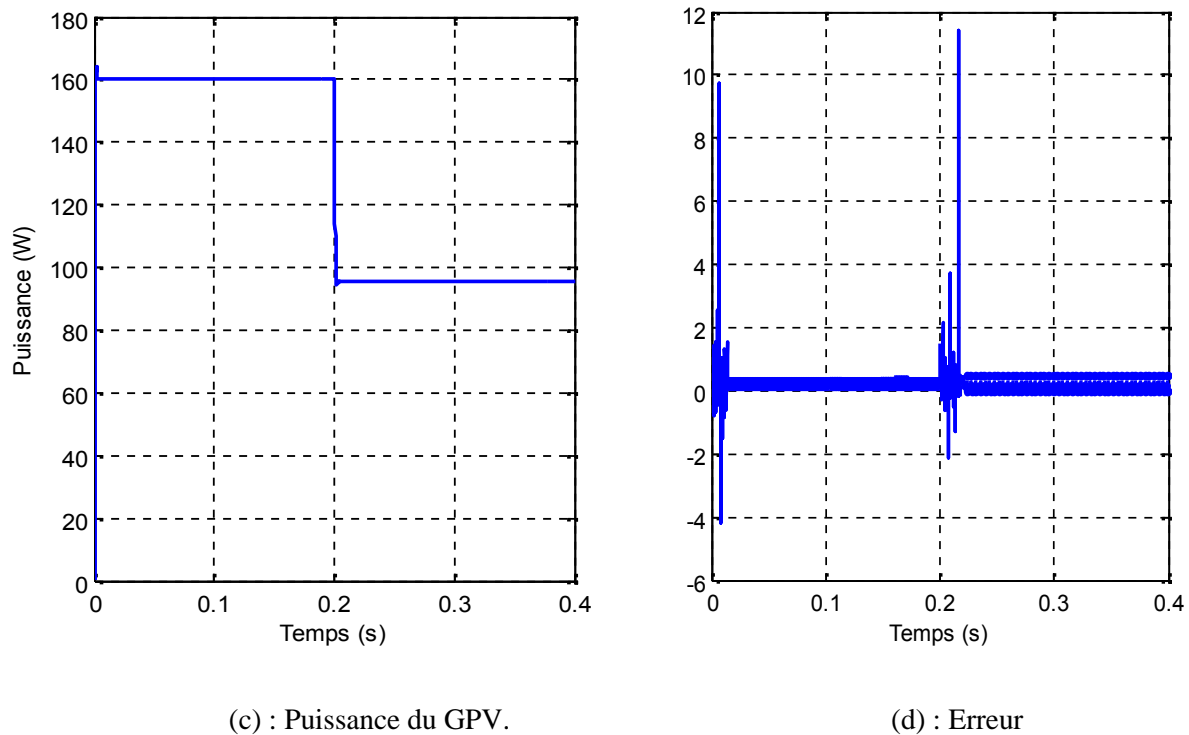


Figure III.11 : L'ensemble des courbes I,V,P ,erreur avec ESC mod a $E=700\text{w/m}^2$.

Les figures III (8-9-10-11) présentent l'influence de l'ombrage partiel sur les caractéristiques de GPV (P_{pv} , V_{pv} , I_{pv} et Erreur) aux conditions atmosphériques d'une température constante ($T=25^\circ\text{C}$) et éclairage variante (850w/m^2 et 700w/m^2) en fonction de temps ou l'on remarque de l'instante 0 a 0.2 s les mêmes courbe en les figure III (6,7) mais pour le moment 0.2 s un changement s'est produit dans les courbe en effet d'une ombrage Partielle il y a une diminution rapide de la puissance et cela est dû à chute de tension dans les deux techniques ESC et ESCm, Dans ESCm, vous pouvez accéder plus rapidement à MPP globale. On note également une modification de la courbe d'erreur due à un changement d'éclairage, mais elle revient rapidement à la stabilité en ESCm avant ESC, ce qui confirme l'efficacité d'ESCm en cas d'ombrage partielle.

Comparaison entre les deux techniques :

Tableau III.2: comparaison entre ESC et ESCm dans cas normale 950w/m².

		<i>ESC</i>	<i>ESCm</i>
Normal (950 w/m²)	Temps de réponse	0.0174	0.00575
	Erreur	0.03	0.027
	Dépassement	1.3	3.95

Le tableau III.3 présenté une comparaison des valeurs (temps de réponse, Erreur et dépassement) entre les deux techniques ESC et ESCm dans cas normal $E=950\text{w/m}^2$ ou l'on note temps de réponse en ESCm $Tr = 0.00575$ s plus rapide qu'en ESC $Tr=0.0174$ s et convergence de la valeur de l'Erreur.

Tableau III.3: comparaison entre ESC et ESCm dans cas d'ombrage partielle.

Ombrage 1 (850 w/m²)	ESC	ESCm
Erreur	0.026	0.026
Chute de Puissance	13	0.4
Temps récompense	0.04	0.0055
Ombrage 2 (700 w/m²)	ESC	ESCm
Erreur	0.022	0.022
chute de Puissance	33.1	1
Temps récompense	0.069	0.0071

Le tableau III.4 présenté une comparaison des valeurs (Erreur, chute de Puissance et Temps récompense) entre les deux techniques ESC et ESCm dans cas d'ombrage partielle 850w/m^2 et 700w/m^2 on remarque égal a la valeur d'erreur et une grande différence dans la valeur de chute de puissance cause par chute de Tension pour ESCm la valeur est très faible et le temps de récompense dans ESCmod est petite en raison de son efficacité.

4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présentés une description des différentes étapes de simulation d'un GPV avec hacheur survolteur, et illustré les schémas block réalisés sous Simulink.

Les résultats de simulation du système photovoltaïque adapté par les commandes MPPT « ESC et ESCm » représentent la tension, le courant, erreur et la puissance générée par le générateur photovoltaïque. Ainsi, la tension, le courant, erreur et la puissance à la sortie du système photovoltaïque.

Comme nous l'avons, les résultats obtenus prouvent l'efficacité de la technique ESCm sur ESC dans des conditions de changement d'éclairement, temps de réponse faible par rapport à ESC et bon temps récompense au MPP globale et stable.

Conclusion générale

L'effet d'ombrage est l'un des facteurs d'influence entraînant une réduction de la puissance de sortie des modules PV et des panneaux, nous avons mené cette étude en trois phases : état de l'art sur les techniques MPPT sous ombrage, Modélisation du système et Technique de commande et nous nous sommes concentrés sur ESC, ESCm et finalement Simulation des techniques sous Matlab Simulink et résultats.

Dans le premier chapitre, nous avons expliqué comment suivre le point d'énergie maximale MPPT sous ombrage partielle et ses techniques valables dans les conditions que nous avons mentionnées Les techniques classiques : P&O, Hill-Climbing, d'incrément de la conductance (INC) et Les techniques nouvelles : PSO , mode de glissement, ESC, ESCm...

Ensuite, nous avons élaboré ; en détail ; la synthèse du modèle mathématique de chaque organe constituant le système photovoltaïque, à savoir le générateur photovoltaïque et le hacheur Boost. Nous nous sommes ensuite intéressés aux techniques de poursuite du point de puissance maximale MPPT qui permettent d'assurer le fonctionnement du système photovoltaïque au MPP, nous avons fait deux techniques nouvelles ESC et ESCm.

Enfin, dans le troisième chapitre, nous avons simulé le système avec les techniques ESC et ESCm dans plusieurs conditions d'éclairement variables à l'aide du programme Matlab/Simulink, et nous avons fait une comparaison entre les résultats extraits Et nous avons constaté que ESCm a de bonnes performances lors du changement soudain d'éclairement avec des performances élevées dans des situations d'éclairage normales, contrairement à ESC, nous l'avons trouvé un peu lent dans le temps de réponse et sa lenteur à atteindre MPP globale après le changement soudain d'éclairement .

Perspectives :

- Essayez de développer les deux techniques ESC et ESCm dans la réalité.
- Faire une amélioration dans les techniques mentionnées précédemment dans des cas d'éclairement plus faible moins de 500 w/m².

Conclusion générale

- Essayez de connecter le système photovoltaïque u réseau électrique avec ces techniques.

Référence

- [1] S. Diaf « Intégration des systèmes à sources renouvelables d'énergie pour la production décentralisée d'électricité en site isolé », Thèse de Doctorat, École Nationale Polytechnique, Alger 2009.
- [2] Dr. B Lalouni Sofia . Cours energie solaire Photovoltaïque , Universite A.mira de Bejaia, 2015.
- [3] Nedjma Aouchiche. Conception d'une commande MPPT optimale à base d'intelligence artificielle d'un système photovoltaïque.. Autre. Université Bourgogne Franche-Comté, 2020. Français.
- [4] K Fatima Zohra, «Commande MPPT pour les panneaux photovoltaïques en ombrage». MASTER EN GENIE ELECTRIQUE,2021.
- [5] B Faiza «Etude Et Simulation D'une Commande MPPT Pour Système PV». MASTER EN GENIE ELECTRIQUE,2016.
- [6] Amarouayache Mohamed, « contribution à l'optimisation d'une chaine de conversion d'énergie photovoltaïque », doctorat en sciences en electrotechnique option ,2014.
- [7] J. Ferrieux, f. Forest, « alimentations a découpage convertisseurs a résonance: principes composants modélisation ». Paris, france: dunod, 1999.
- [8] B ABDELHAKIM. Conception et implémentation d'une commande MPPT de haute performance pour une chaine de conversion photovoltaïque autonome. Thèse doctorat. 2015.
- [9] M. Eltamaly, Y. Abdelaziz . Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems.
- [10] W Xiao, & Dunford, W. G. (n.d.). A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic power systems. 2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No.04CH37551).

- [11]. K. Ishaque, Z Salam . «A review of maximum power point tracking techniques of PV system for uniform insolation and partial shading condition».
- [12] L. salah. Etude comparative des techniques MPPT Perturbation and Observation (P&O), Incremental Conductance (Inc.CoN) et Hill climbing (H.C). MAGISTER EN ELECTROTECHNIQUE .2007.
- [13] C. Cabal. Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque. Micro et nanotechnologies/Microélectronique. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2008.
- [14] M. S. Aït Cheikh, C. Larbes, G.F. Tchoketch Kebir and A. Zerguerras Maximum power point tracking using a fuzzy logic control scheme ”, Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°3 (2007) 387 – 395
- [15] B. a. Anes, Gestion de spectre dans un réseau de radio cognitive en utilisant l'algorithme d'optimisation par essaim des particules, 23 JUIN 2015.
- [16] k kadir,D kahil, Commande par mode glissant d'un hacheur parallèle», Mémoire de Fin d'Études MASTER ACADÉMIQUE, 29 Septembre 2014.
- [17] B. Abdenoure, Commande par mode de glissement des convertisseurs Buck et Boost intégrés dans un système photovoltaïque, Mémoire de Fin d'Études MASTER, 2016.
- [18] Leyva, R., Alonso, C., Queinnec, I., Cid-Pastor, A., Lagrange, D., & Martinez-Salamero, L. (2006). MPPT of photovoltaic systems using extremum - seeking control. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 42(1), 249–258. doi:10.1109/taes.2006.
- [19] A Njomo, G Kenne, R Douanla, L Sonfack. A Modified ESC Algorithm for MPPT Applied to a Photovoltaic System under Varying Environmental Conditions. Hindawi, 2020.
- [20] N Boubekri. la commande non linéaire des systèmes photovoltaïques. Thèse de Master. Université Mohammed Seddik Benyahia – Jijel, 2019.

- [21] J-M Cottier, Mermoud A, Viloz M, Graf J. Centrales photovoltaïques Guide pour le dimensionnement et la réalisation de projets A l'usage des bureaux d'ingénieurs. Programme d'action PACER – Energies renouvelables. Office fédéral des questions conjoncturelles; 1996.
- [22] T Mambrini. Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies. Thèse de Doctorat. Université Paris-Sud École doctorale : STITS, 2014.
- [23] k KADIR, KAHIL D. Commande par mode glissant d'un hacheur parallèle «Application à l'extraction de la puissance» maximale d'un panneau photovoltaïque. Thèse MASTER ACADÉMIQUE. Université Mouloud MAMMERI De Tizi-Ouzou , 2020.
- [24] A HAFFAF, MERZOUGUI H. Commande MPPT pour les systèmes photovoltaïques en utilisant PSO. Thèse de Master. Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 2020.
- [25] Her-Terng Yau and Chen-Han Wu, Comparison of Extremum-Seeking Control Techniques for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems Department of Electrical Engineering, National Chin-Yi University of Technology, japan's, Thesis article Published: 8 December 201.