



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel



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

Aghrou Tahar

Maalmi Mounir

THEME

**Une nouvelle technique de MPPT utilisée sur le
système PV sous irradiations non uniformes**

Soutenu le 29/06/2022 devant la commission d'examen composée de :

| | | |
|-----------------------------|---------------------------------|------------|
| Dr. Djamai Djemoui | MCB à l'Université de Khenchela | Président |
| Mme. Aourar Salima | MAA à l'Université de Khenchela | Examineur |
| Dr. Menadi Abdelkrim | MCB à l'Université de Khenchela | Rapporteur |

Année universitaire : 2021/2022

Dédicace

A ceux qui ont tant sacrifié pour obtenir le plus grand de nos succès, à nos parents. L'amour spécial de nos cœurs pour eux est sans égal, à nos frères. Nos compagnons, sans vous nous ne savions jamais ce que signifierait le combat dans cette vie.

A nos amis Haroun et Salim, nous vous souhaitons du succès, vous êtes dans nos cœurs ou que vous allez. Au Dr. Menadi Abdelkrim un ami avant d'être professeur, nous vous souhaitons beaucoup de succès dans votre vie, nous vous faisons confiance.

A tous ce qui attirent la joie sur nos visages, et mettent la joie dans nos cœurs.

Ce travail vous est dédié.

Tahar, Mounir.

Remercîment

Dieu merci pour la santé et le bien-être de nous pour terminer cette étude qui, nous l'espérons, sera approuvée par lui et le faire fructifier.

Un grande merci à :

Dr. Menadi Abdelkrim, que dieu le sauve, pour sa générosité à superviser cette étude, qui ne nous a pas épargnés par toutes ses informations et références, et pour tous les conseils qu'il a donnés.

Nous remercions également tous les professeurs de la faculté des sciences et technologies, en premier lieu les professeurs du département d'ingénierie industrielle.

Nous remercions le comité de discussion pour ses conseils constructifs et ses critiques, dirigés par

Dr. Djamai Djemoui, Dr. Mme. Aouragh Salima

Un grande merci aux nos collègues d'étude pour leur aide, leurs conseils.

Sommaire

| | |
|---|----|
| Sommaire..... | 1 |
| LISTE DES ABREVIATIONS | |
| Liste des symboles..... | |
| LISTE DES FIGURES | |
| Introduction générale..... | 1 |
| CHAPITRE01 | |
| I. Introduction | 3 |
| II. Commande MPPT | 3 |
| II.1 principe de commande MPPT | 4 |
| III. Les techniques de commande MPPT | 5 |
| III.1 Les stratégies classiques | 5 |
| III.1.1 Algorithme de Perturbation et Observation (P&O) | 5 |
| III.1.2 Algorithme de d'incrémentement de la conductance | 7 |
| III.1.3 Algorithme de Hill Climbing | 9 |
| III.2 Les stratégies évoluées | 10 |
| III.2.1 Algorithme de logique floue | 10 |
| III.2.2 Algorithme MPPT par mode glissant | 11 |
| III.2.3 Algorithme de Contrôle de recherche extrême | 12 |
| III.2.4 Algorithme de « commande de recherche extrême » modifié proposé | 14 |
| III.2.5 Algorithme de PSO | 14 |
| III.2.5.1 LA FAIBLESSE DES TECHNIQUES CONVENTIONNELLES MPPT BASEES SUR L'OPTIMISATION DES ESSAIS DE PARTICULES | 16 |
| III.2.5.2 Application de PSO à MPPT | 17 |
| III.2.6 Algorithme de réseaux de neurones artificiels | 17 |
| IV Conclusion | 19 |
| CHAPITRE02 | |
| I. Introduction..... | 20 |
| II. Modélisation du système photovoltaïque | 20 |
| II.1 Modélisation Panneau Photovoltaïque | 21 |
| II.1.1 Caractéristiques de module photovoltaïque | 22 |

| | |
|---|----|
| II.1.2.1 Influence de l'éclairement | 25 |
| II.1.2.2 Influence de la température | 26 |
| II.1.3 Ombrage des panneaux PV | 27 |
| II.1.3.1 Phénomène d'ombrage sur un module PV | 28 |
| II.1.3.2 Influence de l'ombrage sur les panneaux PV | 28 |
| II.1.3.3 Effet de l'ombrage sur la cellule PV | 29 |
| III Modélisation de convertisseurs DC-DC | 30 |
| III.1 convertisseurs DC-DC (Hacheurs) | 30 |
| III.2 Convertisseur Boost | 30 |
| III.2.3 Le model moyen | 32 |
| IV .Technique de commande | 34 |
| V. Conclusion | 38 |
| CHAPITRE03 | |
| I. Introduction | 39 |
| II. L'outil MATLAB/SIMULINK | 39 |
| III. Simulation du système photovoltaïque | 40 |
| III.1. Simulation du panneau photovoltaïque | 40 |
| III.2. Simulation du convertisseur DC-DC | 41 |
| III.3. Simulation de la commande MPPT étudié | 42 |
| IV. Résultats de la simulation | 43 |
| IV.1 système photovoltaïque avec l'ombrage partiel | 43 |
| V.Conclusion | 51 |
| Conclusion générale | 52 |
| Référence..... | 54 |
| Résumé | 58 |
| | 59 |

LISTE DES ABREVIATIONS

- PV : photovoltaïque
- MPPT : Maximum Power Point Tracking
- GPV : générateur photovoltaïque
- P&O : Perturbation et Observation
- IMPP : courant de point puissance maximal
- VMPP : tension de point puissance maximale
- MPP : Maximum Power Point
- IC : l'incrémentation de conductance
- InCond : l'incrémentation de conductance
- HC : Hill Climbing
- OP : point de fonctionnement du module PV
- PPV : la puissance de sortie du module PV
- SSV : systèmes à structure variable
- ESC : Extremum Seeking Control
- PSO : particule swarme optimisation
- ANN : neuronal network artificiel
- PWM : régulateur de charge (Pulse Width Modulated)
- Tr : temps de réponse
- I-V : caractéristique courant-tension
- P-V : caractéristique puissance-tension

Liste des symboles

α : Le rapport cyclique d'un convertisseur

G : éclairnement

T : température

I_{pv} : Courant de la cellule PV

V_{pv} : Tension de la cellule PV

$\Delta\alpha$: Changement du Rapport cyclique du convertisseur

ΔE : Changement d'erreur

$sign$: Fonction signe

ΔV : Changement de Tension de la cellule PV

V_{ref} : Tension de référence de module photovoltaïque

V : tension de fonctionnement de module photovoltaïque

I : courant de fonctionnement de module photovoltaïque

P : puissance de fonctionnement de module photovoltaïque

E : Erreur

CE : variation d'erreur

D : le rapport cyclique

S : section de la surface de glissement de cellule

w_p : La fréquence du signal de simulation

w_h : Fréquence de coupure du filtre passe-haut

w_l : Fréquence de coupure du premier filtre passe-bas

K : gain de mise à jour du gradient

w_{l1} : fréquence de coupure du deuxième filtre passe – bas

k_1 : Gain de contrôle

$y - \eta$: Sortie du filtre passe-haut

u : command optimal estimé d'entre

I_D : Le courant circulant dans la diode D

I_R : Le courant circulant dans la résistance R

I_{cc} : Le courant de court circuit

K_T : Le coefficient de température de court circuit

ΔT : Le changement de la température de la cellule

E : L'ensoleillement (l'éclairement)

E_n : La surface de panneau PV

I_S : Le courant de saturation

V_{PV} : La tension de panneau PV

R_S : résistance R_s

nV_T : la tension thermique

R_p : résistance R_p

I_{cc} : Le courant de court circuit

V_{CO} : la tension de circuit ouvert

I_{MPP} : le courant de puissance maximal

V_{MPP} : la tension de puissance maximal

I_L : Le courant circulant dans l'inductance

L : l'inductance L

I_{RCH} : Le courant traverse la résistance R_{ch}

R_{ch} : Résistance de charge

K : interrupteur

I_c : Le courant de la conductance

C : la conductance C

V_2 : La tension aux bornes de conductance C

V_1 : La tension fournie par le générateur photovoltaïque

V_L : La tension aux bornes de l'inductance L

r_L : La résistance interne de la bobine L

T : période

γ_i, γ_e et ω_0 : sont des gains positifs

S : surface de glissement

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Principe de l'adaptation d'impédance par MPPT.....04

Figure I.2 : Principe de commande MPPT.....04

Figure I.3 : Organigramme de l'algorithme MPPT de la perturbation & observation.....06

Figure I.4 : Organigramme de l'algorithme de l'incrémentale de la conductance.....08

Figure I.5 : Organigramme de l'algorithme de Hill Climbing.....10

Figure I.6 : Structure d'un système de logique floue.....10

Figure I.7 : l'organigramme d'Algorithme MPPT par mode glissant.....12

Figure I.8 :l'organigramme de technique de Contrôle de recherche extrême.....13

Figure I.9 : Algorithme modifié de l'ESC.....14

Figure I.10 : l'organigramme d'Algorithme de PSO a base MPPT.....16

Figure I.11 : Exemple d'un réseau de neurones.....18

Figure II.1 : Schéma synoptique du système photovoltaïque.....20

Figure II.2 : Schéma équivalent de la cellule photovoltaïque.....21

Figure II.3 : Caractéristique courant-tension.....22

Figure II.4 : Caractéristique puissance tension.....24

Figure II.5 : Influence de l'éclairement sur la Caractéristique (I-V).....25

Figure II.6 : Influence de l'éclairement sur la Caractéristique P -V.....25

Figure II.7 : Influence de la température sur la Caractéristique I -V.....26

Figure II.8 : Influence de la température sur la Caractéristique P -V.....26

Figure II.9 : PV dans des contritions partiellement ombragées causées par l'ombre
D'un arbre.....27

| | |
|---|----|
| Figure II.10. (a) Caractéristiques I-V d'un PV sous l'effet d'ombrage partiel..... | 29 |
| Figure II.10.(b) Caractéristiques P-V d'un PV sous l'effet d'ombrage partiel..... | 29 |
| Figure II.11 : Schéma électrique du convertisseur Boost..... | 30 |
| Figure II.12 : circuit électrique équivalent de la première partie de fonctionnent..... | 31 |
| Figure II.13 : circuit électrique équivalent de la deuxième partie de fonctionnent..... | 31 |
| Figure II.14 : schéma bloc présente la technique de combinaison entre l'ESC modifia Avec la mode glissant..... | 34 |
| Figure II.15 : Principe de la commande MPPT par mode glissant..... | 36 |
| Figure III.1 : Interface graphique de bibliothèque Simulink..... | 39 |
| Figure III.2 : Schéma de simulation d'un panneau PV avec la commande MPPT..... | 40 |
| Figure III 3 : La simulation a été faite pour analyser le fonctionnement du notre Panneau PV..... | 40 |
| Figure III.4 : Schéma block du hacheur survolteur modélisé par MATLAB/Simulink..... | 41 |
| Figure III.5 : La résistance idéale sous MATLAB/Simulink..... | 42 |
| Figure III.6 : Simulation de la commande MPPT proposée sous MATLAB/Simulink..... | 42 |
| Figure III.7 : Puissance du GPV dans STC..... | 43 |
| Figure III.8 : Allure du courant du GPV dans STC..... | 44 |
| Figure III.9 : allure de la tension de GPV dans STC..... | 44 |
| Figure III.10 : L'erreur pour éclairement $E= 950 \text{ w/m}^2$ et température $T=25^\circ\text{C}$ | 45 |
| Figure III.11 : Allure de la puissance cas ombrage partiaf ($950 \text{ w/m}^2 - 800\text{w/m}^2$)..... | 46 |
| Figure III.12 : Allure du courant GPV cas ombrage partiaf ($950 \text{ w/m}^2 - 800\text{w/m}^2$)..... | 47 |
| Figure III.13 : Allure de la tension du GPV cas ombrage partiaf ($950 \text{ w/m}^2 - 800\text{w/m}^2$).... | 47 |
| Figure III.14 : L'erreur pour éclairement variant entre ($950 \text{ w/m}^2 - 800\text{w/m}^2$)..... | 48 |
| Figure III.15 : Allure de la puissance avec ombrage ($950 \text{ w/m}^2 - 700\text{w/m}^2$)..... | 49 |
| Figure III.16 : Allure du courant de GPV avec ombrage ($950 \text{ w/m}^2 - 700\text{w/m}^2$)..... | 49 |
| Figure III.17 : Allure de la tension du GPV avec ombrage ($950 \text{ w/m}^2 - 700\text{w/m}^2$)..... | 50 |
| Figure III.18 : L'erreur de GPV avec ombrage ($950 \text{ w/m}^2 - 700\text{w/m}^2$)..... | 51 |

Introduction générale

En raison de l'augmentation du coût des sources d'énergie classiques, d'une part, et de la limitation des ressources disponibles, d'autre part, l'énergie photovoltaïque s'impose de plus en plus comme l'une des options énergétiques les plus prometteuses, offrant des avantages tels que l'abondance, la production sans pollution et la disponibilité en grandes quantités dans n'importe quelle partie du globe. Actuellement, on assiste à un regain d'intérêt pour les installations à base d'énergie solaire, notamment pour les sites isolés. [1]

Le rayonnement solaire est la ressource énergétique la plus partagée et la plus abondante sur terre, le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans l'espace.

L'effet photovoltaïque permet de transformer l'énergie lumineuse en électricité. Ce principe est basé sur la technologie des semi-conducteurs. Il consiste à utiliser les photons pour libérer des électrons et créer une différence de potentiel entre les brins de la cellule, ce qui entraîne un courant électrique continu. [1]

L'énergie photovoltaïque provient de la conversion directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie est réalisée par l'utilisation d'une cellule photovoltaïque (PV), qui repose sur un phénomène physique connu sous le nom d'effet photovoltaïque, qui implique la génération d'un courant de Foucault lorsque la surface de la cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. La connexion en série/parallèle de plusieurs cellules PV donne lieu à un Panneau photovoltaïque PV présentant une caractéristique courant-tension (I-V) non linéaire et un point de puissance maximale. [2]

L'utilisation d'énergie renouvelable nécessite l'utilisation d'une combinaison de systèmes de commande et de gestion de l'énergie, chaque panneau photovoltaïque fonctionnant à un point maximal s'appelé (MPP), signifie point de puissance maximale, qui est défini par une tension et un courant maximal. Ce point se déplace en fonction des conditions météorologiques (éclairage, température, etc...). [3]

La commande MPPT, 'Maximum Power Point Tracking', est une commande essentielle pour un fonctionnement optimal du système photovoltaïque. Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique en l'amenant à la valeur optimale de manière à maximiser la puissance délivrée par le panneau PV. Pour cette raison, on va présenter et étudier dans ce travail Une nouvelle technique de MPPT utilisée sur système PV sous des radiances non uniformes, pour le but de l'étude de fonctionnement optimal de cellule photovoltaïque PV reliée à un hacheur élévateur DC-DC commandé par les techniques MPPT. [3]

Ce mémoire partagé par 3 chapitres principaux.

Dans le premier chapitre nous allons présenter l'état de l'art des algorithmes de commande MPPT les plus populaires on va commencer par les techniques classiques qui sont : perturbation et observation (P&O), l'incrémentation de conductance (INC) et la commande Hill Climbing (HC), en suite les techniques évoluées : la commande Logique floue (FLC), mode glissant (SMC), recherche extrême (ESC) et recherche extrême modifier (ESCM), et enfin la technique (PSO).

Dans le deuxième chapitre, nous allons intéresser plus à la modélisation de système PV on va présenter la modélisation de la cellule photovoltaïque et ces caractéristiques électriques (P-V, I-V), et l'influence des conditions atmosphériques (l'éclairement et la température) en suite nous sommes étudiés le cas d'ombrage des panneaux PV et nous terminons par la modélisation de convertisseur DC-DC avec leur cas.

A la fin de ce chapitre on va proposer une nouvelle technique de commande MPPT est (la combinaison de la mode glissant avec le contrôle de recherche extrême modifier).

Le troisième chapitre nous allons appliquer la stratégie de commande MPPT proposée a notre système photovoltaïque par sous MATLAB/ SIMULINK

Et discuté les résultats de simulation.

CHAPITRE01

**État de l'art sur les techniques MPPT
sous ombrage**

I. Introduction :

Il existe de nombreuses techniques de suivi du point de puissance maximale sur le marché actuel pour maintenir le fonctionnement du module PV à la puissance maximale.

Les techniques MPPT sont utilisées dans les systèmes photovoltaïques pour maximiser la puissance délivrée par le panneau photovoltaïques en poursuivant continuellement le point de puissance maximale, ce qui n'est pas évident à atteindre ; En effet, ce problème de poursuite fait jusqu'à nos jours l'objet de plusieurs recherches. Aussi, plusieurs méthodes ont été élaborées et utilisées.

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.

II. Commande MPPT :

La commande MPPT, qui signifie "Maximum Power Point Tracking", est essentielle pour obtenir les meilleures performances d'un système solaire. [3]

La technique de suivi du point à puissance maximal (Maximum Power Point Tracking : MPPT) a été développé depuis 1968, cette commande est essentielle pour un fonctionnement optimal du système photovoltaïque. Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique en l'amenant à la valeur optimale de manière à maximiser la puissance délivrée par le panneau PV. [2]

L'idée de cette commande est basée sur la modification automatique du rapport de cycle à la meilleure valeur afin d'optimiser la puissance fournie par le panneau PV.

Une charge en courant continu a été utilisée pour simplifier les circonstances de fonctionnement de cette instruction. Comme on peut le voir sur cette chaîne, dans le cas de la conversion de l'énergie solaire, L'adaptateur peut être réalisé à l'aide d'un convertisseur DC-DC afin que la puissance fournie par le GPV corresponde à la puissance maximale (P_{max}) qu'il génère et puisse alors être transférée directement à la batterie. [3]

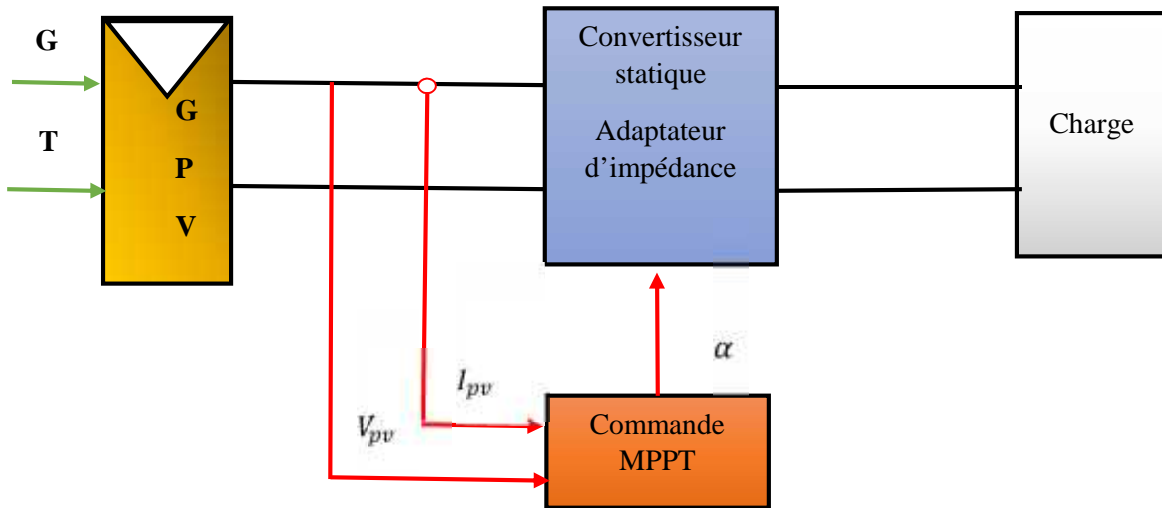


Figure I.1 : Principe de l'adaptation d'impédance par MPPT

II.1 Principe de commande MPPT :

Le but de l'optimisation est d'atteindre ce point de façon continue en agissant automatiquement sur la charge vue par le générateur.

Cette adaptation de charge est en principe réalisée à l'aide d'un convertisseur statique dans lequel les pertes doivent être réduites au minimum et qui peut également assurer une fonction de mise en place d'un générateur de sortie. Différentes approches de la commande de l'adaptateur peuvent être envisagées. [3]

Un contrôleur MPPT permet donc de piloter le convertisseur statique reliant à la charge (une batterie par exemple) et le panneau photovoltaïque de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge à chaque instant. Représente la trajectoire du point de puissance maximale produite par le générateur. [5]

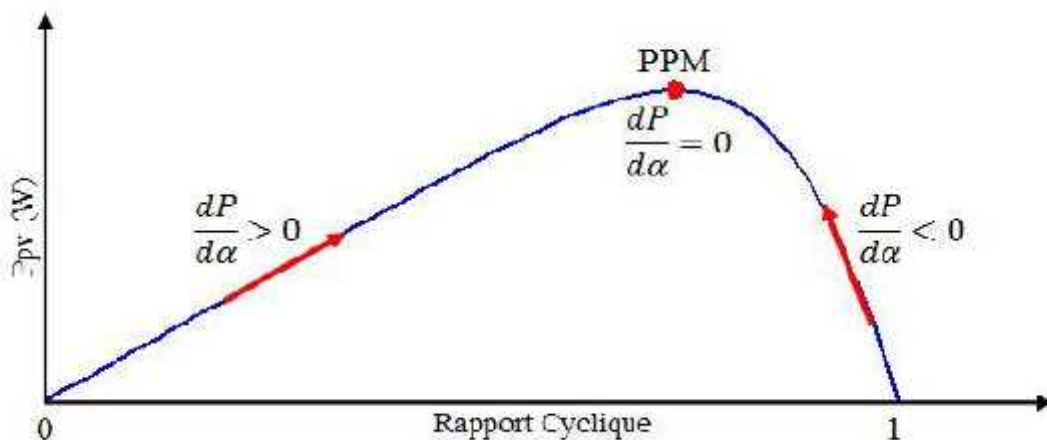


Figure I.2 : Principe de commande MPPT

III. Les techniques de commande MPPT :

Plusieurs méthodes pour déterminer le MPP ont été développées au cours des deux dernières décennies. Ces systèmes diffèrent à plusieurs égards, notamment par le nombre de capteurs requis, leur complexité, leur coût, leur plage d'efficacité, leur vitesse de convergence, le contrôle adéquat de la température pendant l'irradiation et/ou les changements de température, et l'équipement nécessaire à l'installation, entre autres. [2]

La classification des algorithmes de suiveur peut être faite sur la base des approches ou des stratégies de commande qui sont employées. Par conséquent, deux catégories peuvent être présentées :

- les stratégies classiques.
- les stratégies évoluées.

III.1 Les stratégies classiques :

III.1.1 Algorithme de Perturbation et Observation (P&O) :

Cette technique est la plus couramment utilisée parmi toutes les méthodes MPPT en raison de sa simplicité d'exécution et de mise en œuvre. La technique (P&O) peut être facilement programmée.

Et elle fournit des résultats satisfaisants dans le cadre de la convergence. Les algorithmes (P&O) fonctionnent en perturbant périodiquement (c'est-à-dire en augmentant ou en diminuant) la tension aux bornes du réseau et compare la puissance de sortie PV avec celle du cycle de perturbation précédent.[6]

Le principe de cette Algorithme est d'effectuer une perturbation sur la tension du panneau PV tout en agissant sur le rapport cyclique α . [4]

La figure I.3 montre l'organigramme de l'algorithme de la méthode 'P&O', tel qu'il doit être implémenté dans le microprocesseur de contrôle.

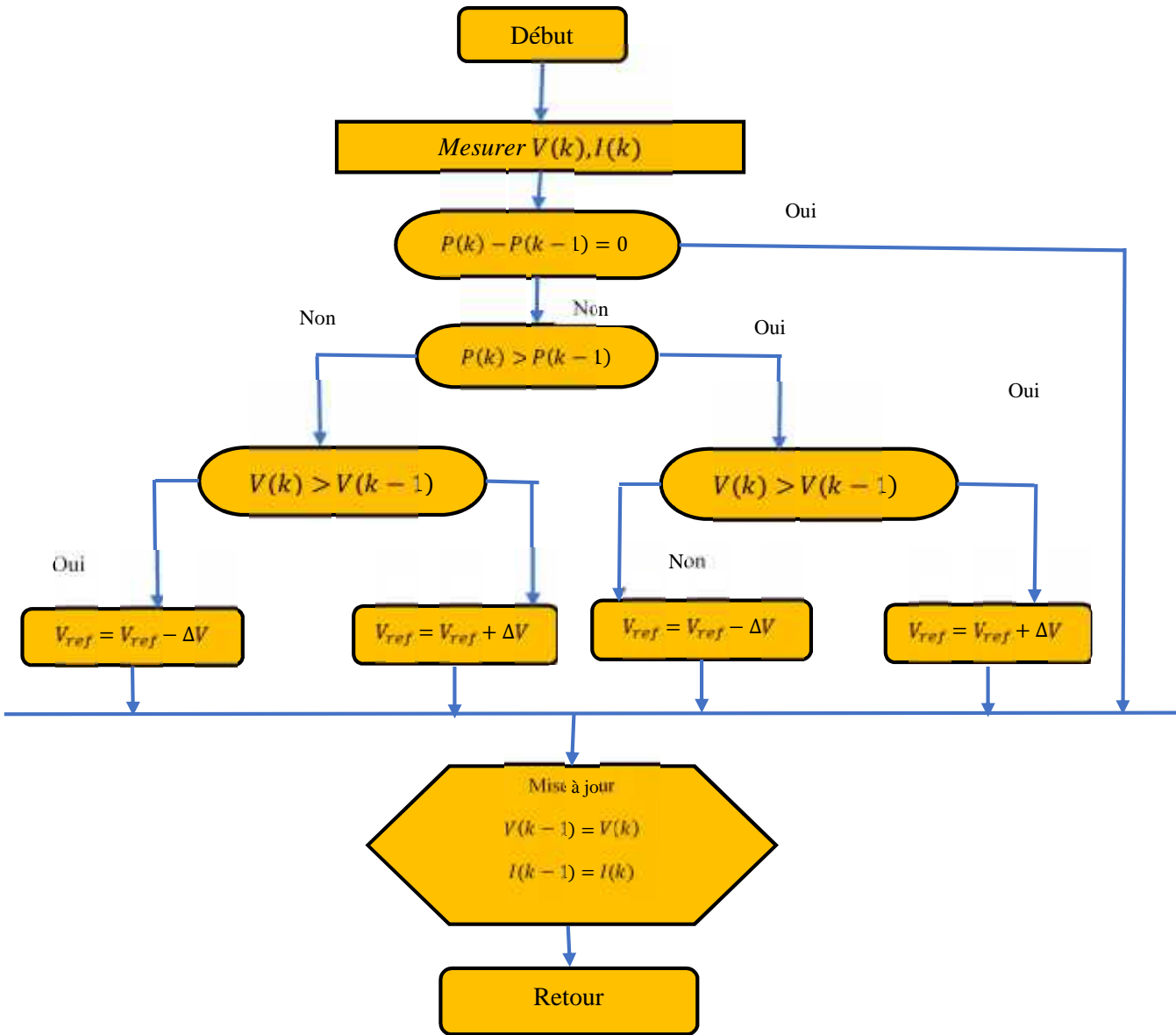


Figure I. 3 : Organigramme de l’algorithme MPPT de la perturbation & observation

• **Historique de la technique classique de perturbation et d'observation (P&O) :**

En 1979, Fox et al. ont été les premiers à souligner le principe de P&O en utilisant les principes fondamentaux de la technique de l'ascension de collines, qui est une optimisation mathématique.

Les fondements de la technique de l'ascension de collines qui est une technique d'optimisation mathématique d'optimisation qui appartient à la famille de la recherche locale. Schoeman et al. ont présenté la version finale de l'organigramme de calcul de la technique classique de P&O. Depuis lors, les chercheurs ont poursuivi le développement de cette technique classique de P&O. [7]

• **Combinaison :**

En 2016, la présentation d'une combinaison entre la méthode classique P&O et la méthode NN où le niveau d'irradiation et la température ambiante sont des variables d'entrée. Les valeurs du courant

(I_{MPP}) et de la tension (V_{MPP}) correspondant au Ce suiveur MPPT basé sur la méthode NN a montré une meilleure performance en comparaison avec la méthode classique. Les valeurs d'efficacité en régime permanent et dynamique de la technique proposée sont égales à 96%. [7]

- **Observation des changements de la tension et de la puissance de sortie du module :**

En 2017, la proposition d'une technique de P&O améliorée pour résoudre le problème de la technique classique sous une variation soudaine d'irradiance solaire. Dans cette technique, la polarité de la perturbation de la tension (V) et de la variation de la puissance (P) est (P) sont prises en compte et multipliées ensemble pour décider où la prochaine perturbation sera dirigée. Dirigée. L'efficacité du suivi a montré des valeurs de dépassement qui peuvent atteindre des valeurs hypothétiques injustifiées de 400%. [7]

- **Résoudre le problème de l'ombrage partiel :**

En 2017, la combinaison de la technique P&O avec la technique In-Cond pour suivre le MPP dans des conditions d'ombrage partiel. Les résultats de la simulation indiquent que la puissance de sortie du module couvre 99,4 % de la demande de la charge dans le système étudié. [7]

- **Observation de la variation du courant de sortie du module :**

En 2018, la proposition d'une technique de P&O modifiée. Les auteurs ont utilisé la polarité de la variation de courant I du module correspondant à la variation de tension V et I/V pour diriger le suiveur vers le bon MPP quelle que soit la valeur de la variation du niveau d'irradiation. L'efficacité en régime permanent de la technique proposée est égale à 99,48 %, et son efficacité dynamique est égale à 98,03 %. [7]

III.1.2 Algorithme de d'incrément de la conductance :

L'algorithme de l'incrément de conductance (IC) est une technique MPPT classique qui utilise deux sondes pour la mesure de la tension V de fonctionnement et du courant I du module PV. Cette méthode repose sur le fait que la dérivée de la puissance P de sortie par rapport à la tension V du module PV est égale à zéro au point de puissance maximale (MPP). [8]

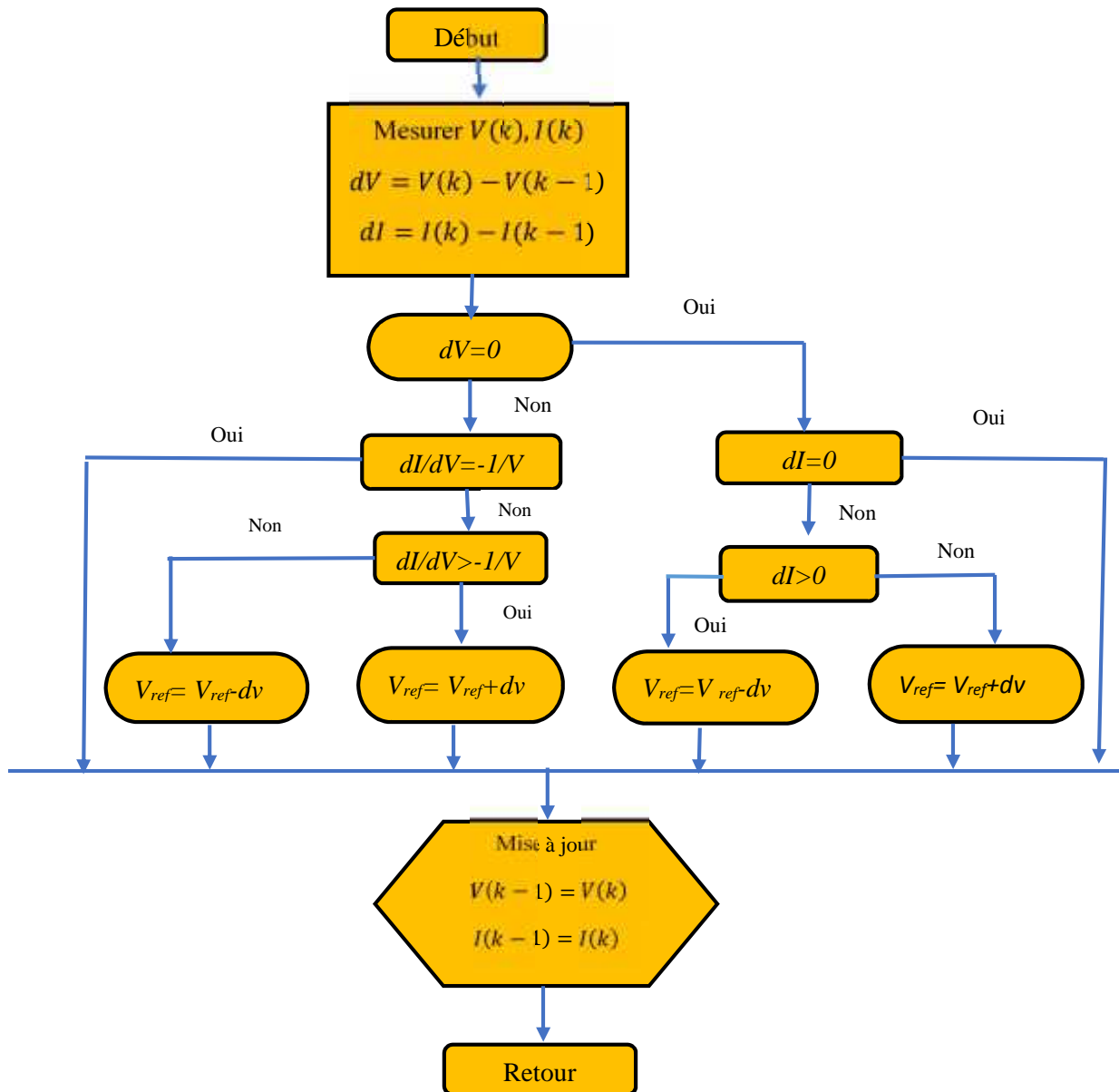


Figure I.4 : Organigramme de l’algorithme de l’incrémentale de la conductance.

• **Historique de la technique de la conductance incrémentale (In-Cond) :**

Le premier chercheur qui a découvert la technique de conductance incrémentale classique est "Wasynezuk" en 1983, les chercheur sont suivi "Wasynezuk" en améliorant sa version, En 1995, Ont présenté la version finale de l'organigramme de calcul de la technique classique de conductance incrémentale avec un "brevet en instance". Il existe de nombreuses tentatives d'amélioration de ses performances dans la littérature basée sur les directions suivantes. [7]

• **Résistance incrémentale basée sur le MPPT :**

En 2011, la proposition d’une technique MPPT à résistance incrémentale à pas variable contrôlée par le courant pour résoudre le problème de la lenteur du suivi dans des conditions dynamiques

et le problème des oscillations en régime permanent. Conditions dynamiques et le problème des oscillations dans des conditions stables.

Le rendement dynamique de cette technique se situe dans une fourchette de 96 à 97,5 %.

Cependant, sa précision de suivi est faible par rapport à la technique classique InCond. [7]

- **Utilisation d'une taille de pas de perturbation fixe :**

En 2013, la proposition d'une technique InCond 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 variation de rampe de l'irradiation solaire ou de la température ambiante. [7]

- **Utilisation d'une taille de pas variable :**

en 2017, la proposition une technique InCond modifiée avec une taille de pas variable. Cette technique a été testée sous des variations soudaines et en rampe de l'irradiation solaire et de la température ambiante. Le rendement dynamique n'a pas dépassé 98 %. [7]

III.1.3 Algorithme de Hill Climbing :

La technique de Hill Climbing (HC) est l'une des plus populaires et des plus simples. et la plus simple des techniques en ligne. Cette technique ne nécessite ni connaissance préalable des caractéristiques du générateur PV, ni mesure du rayonnement solaire et de la température ambiante, et sa mise en œuvre avec des circuits analogiques ou numériques est simple et peu coûteuse. Le principe de fonctionnement de la technique HC est basé sur la perturbation du point de fonctionnement (OP) du module PV en augmentant ou en diminuant le signal de commande (rapport cyclique du convertisseur DC-DC) d'une certaine valeur (taille du pas), en mesurant la puissance de sortie du module PV avant et après la perturbation. [9]

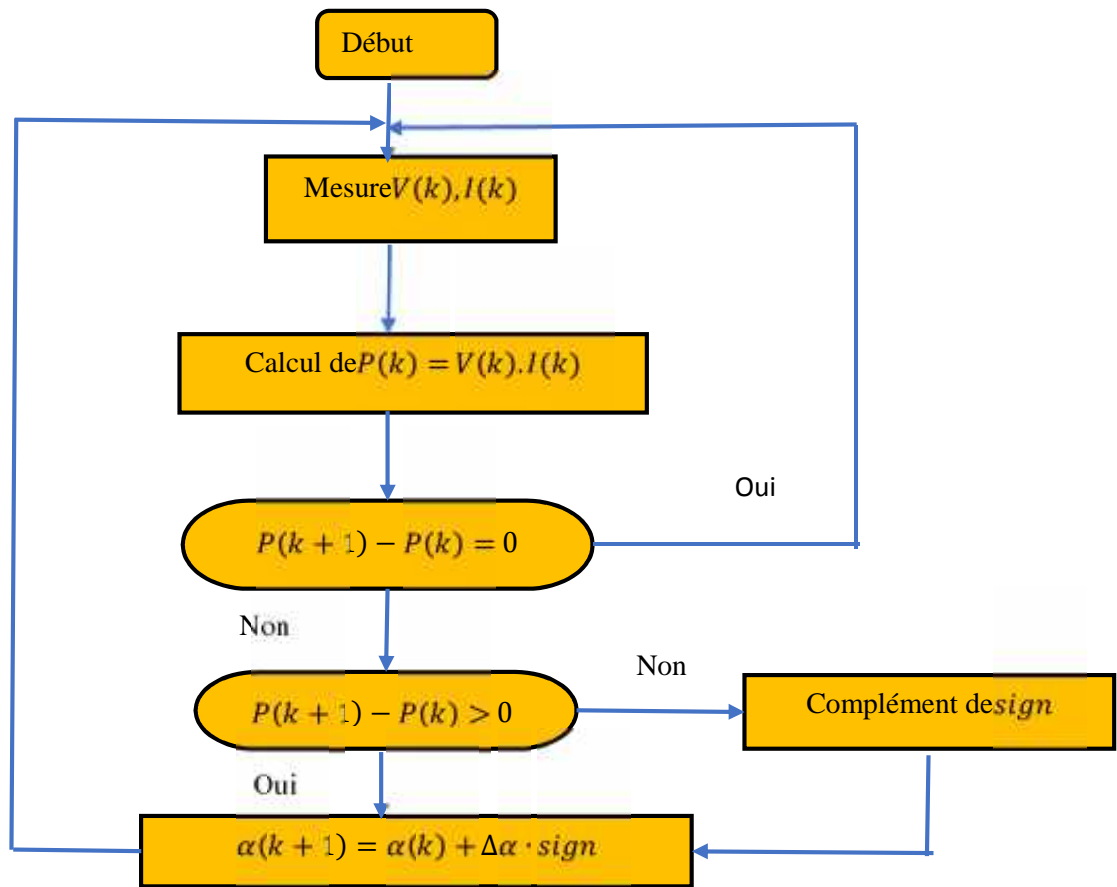


Figure I.5 : Organigramme de l’algorithme de Hill Climbing

III.2 Les stratégies évoluées :

III.2.1 Algorithme de logique floue :

La commande à base de la logique floue a été utilisée dans les systèmes de poursuite du point à maximum de puissance, cette commande offre l’avantage d’être une commande robuste et qui ne nécessite pas la connaissance exacte du modèle mathématique du système. [10]

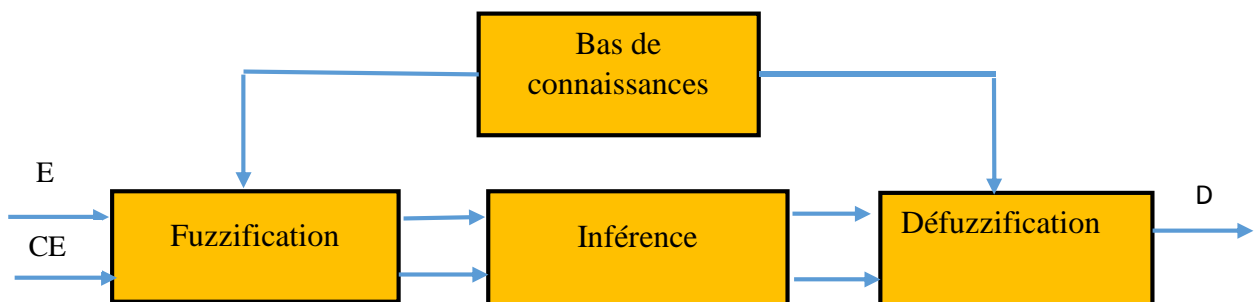


Figure I.6 : Structure d'un système de logique floue.

En particulier, cette commande est mieux adaptée aux systèmes non linéaires. Le fonctionnement de cet algorithme se fait en trois blocs : la fuzzification, l’inférence et la Défuzzification.

La fuzzification permet la conversion des variables physiques d'entrée en ensembles flous.

Dans l'étape d'inférence, on prend des décisions. En effet, on établit des relations logiques entre les entrées et la sortie. [4]

Ñ Historique de la technique de La logique floue :

En premier lieu de préciser que les tentatives d'histoire de la logique floue que nous put identifier ont été rédigées non pas par des historiens des sciences, mais par des contributeurs immédiats aux travaux et débats qui caractérisent ce domaine de recherche depuis la fin des années des années 1960. [11]

La logique floue à un premier article publié en 1965 par un professeur d'automatique de l'Université de Californie à Berkeley, Lotfi Zadeh. [11]

D'autres chercheurs en logique floue, adoptant une posture plus épistémologique, inscrivent le développement de leur objet dans le cadre de l'émergence récente et plus générale d'un nouveau champ de recherches, portant sur le traitement de diverses formes de connaissances imparfaites. [11]

Un quatrième registre historiographique fait remonter l'histoire de la logique floue à l'antiquité grecque. Pour donner une illustration de ce type de narration, on peut par exemple se pencher sur un exposé de présentation de la logique floue élaboré pour un séminaire de formation continue pour ingénieurs aux Etats Unis en 1992. [11]

III.2.2 Algorithme MPPT par mode glissant :

Cette méthode de commande, qui fait partie de la commande robuste, est définit comme un outil de régulation fiable utilisée pour les systèmes électromécaniques et les variations paramétriques.

La commande en mode glissant, qui provient de la théorie des systèmes à structure variable (SSV) et a été utilisée pour la première fois en Union soviétique dans les années 1960, vous permet de réaliser une tâche. Cette commande se traduit par une stabilité, même en cas de fortes variations d'alimentation ou de charge, ainsi que par une bonne réponse dynamique et une mise en œuvre simple. Elle se distingue par une discontinuité de commande au passage d'une surface de commande appelée surface de glissement. [12]

Ces dernières années, le mode de super-torsion (glissement d'un ordre à un ordre supérieur) a été mis en œuvre avec succès comme algorithme MPPT.

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

- L'établissement des conditions d'existences.
- Choix de la surface de glissement.
- Détermination de la loi de commande. [13]

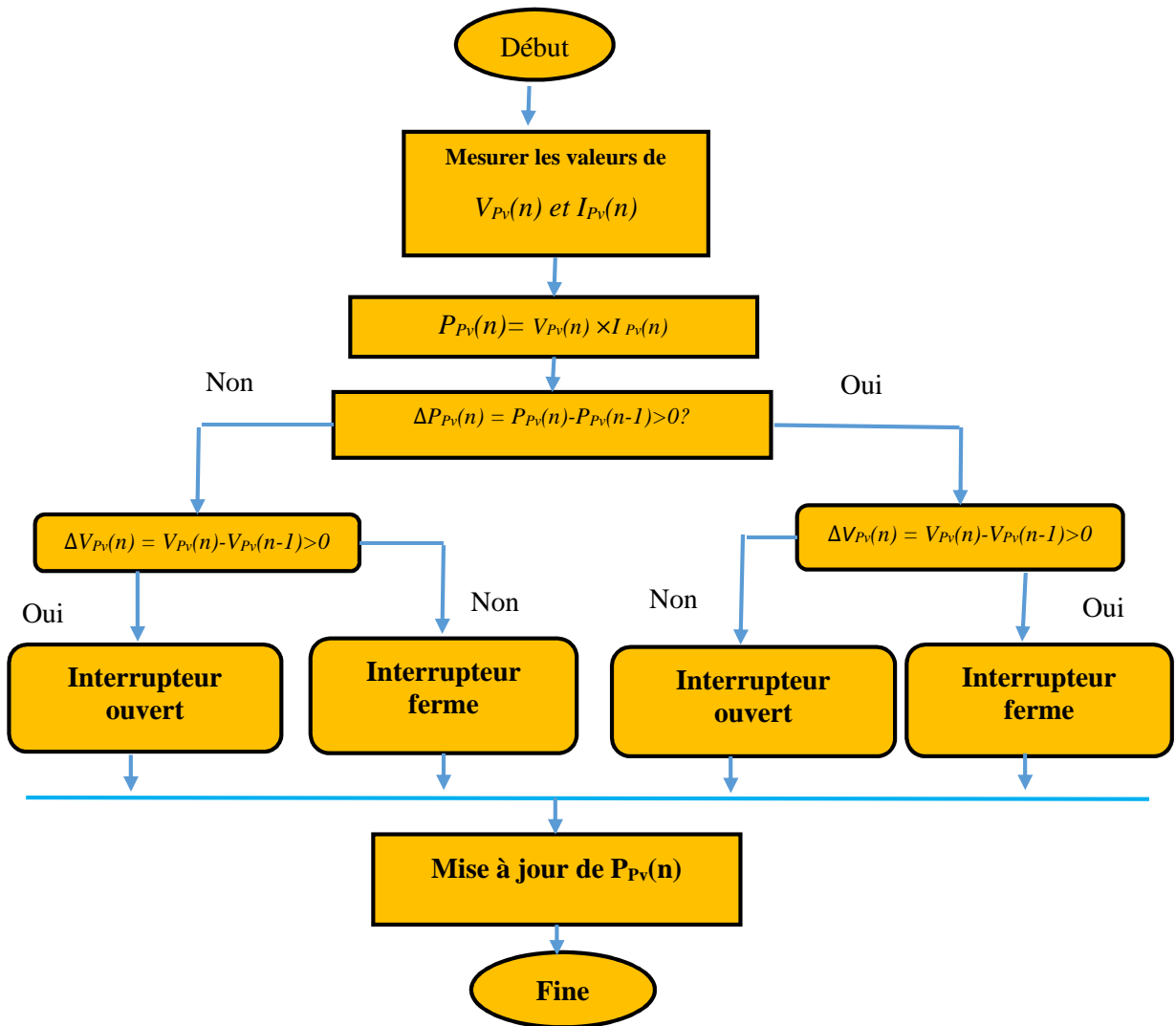


Figure I.7 : l'organigramme d'Algorithme MPPT par mode glissant

III.2.3 Algorithme de Contrôle de recherche extrême :

L'ESC est un optimiseur analogique qui peut converger vers une valeur optimale locale d'une fonction objective inconnue en mesurant le temps de réaction de la fonction. [14]

L'ESC est utilisé lorsque le système est difficile à prévoir ou lorsqu'il varie fortement, par exemple en raison des conditions environnantes, telles que l'irradiance et la température dans notre situation. Bien qu'il ait été prouvé que cette approche converge vers le point de puissance maximale et peut réaliser avec succès le MPPT lorsque la courbe P-V est uni modale, il n'y a aucune garantie que l'algorithme ESC réussira finalement à atteindre le maximum global lorsque la courbe P-V a de nombreux maxima. [15]

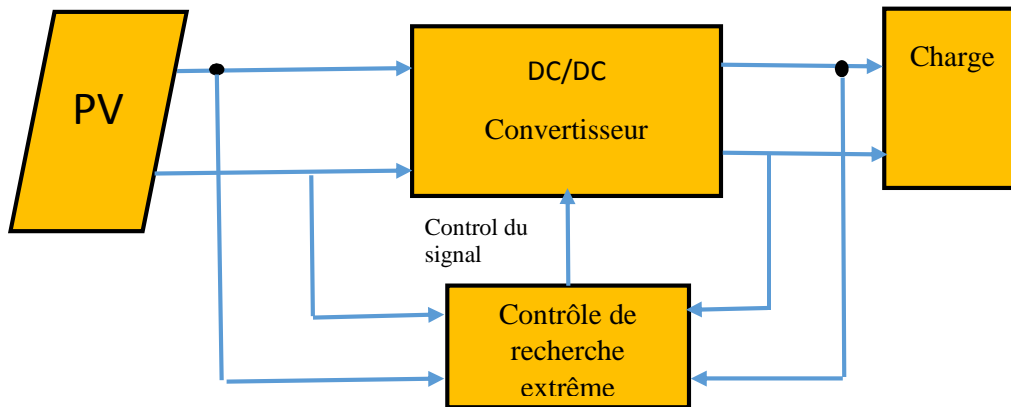


Figure I.8 :l'organigramme de technique de Contrôle de recherche extrême

- **Historique de Contrôle de recherche extrême à base de MPPT :**

- L'approche d'optimisation basée sur l'ESC a été utilisée pour la première fois pour optimiser la transmission de puissance dans les trains électriques dans les années 1920. La première convergence rigoureuse, d'autre part, a été présentée en 2000, preuve à l'appui, en tenant compte du calcul de la moyenne. De cet excellent travail, on trouve de nombreuses applications de l'ESC en optimisation. [14]

- En régulant dynamiquement la tension ou le courant de fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques pour maximiser la puissance de sortie, l'approche de contrôle par recherche d'extremum (ESC) permet une convergence rapide et de bonnes performances en régime permanent. Un MPPT solaire photovoltaïque avec un contrôleur ESC qui utilise l'ondulation naturelle de 120 Hz de l'onduleur a été créée en 2010. La puissance a été estimée dans le MPPT développé en multipliant la tension et le courant mesurés. Pour suivre le MPP en utilisant cette méthode, aucun capteur ou modèle supplémentaire n'est nécessaire. [16]

III.2.4 Algorithme de « commande de recherche extrême » modifié :

Algorithme ESC modifié qui cherche à réduire le temps de convergence pour tous les points de puissance maximale afin d'augmenter le rendement énergétique des systèmes photovoltaïques lors de changements brusques des conditions atmosphériques. L'algorithme ESC modifié proposé (figure I.9) utilise une perturbation périodique lente ($\sin \omega_p t$) ajoutée à la valeur estimée afin d'amener continuellement le système au point optimal. Le fonctionnement de cet algorithme est similaire à celui de la méthode conventionnelle, à la seule différence qu'un second filtre passe-bas et un intégrateur sont ajoutés au système afin d'en augmenter les performances. [17]

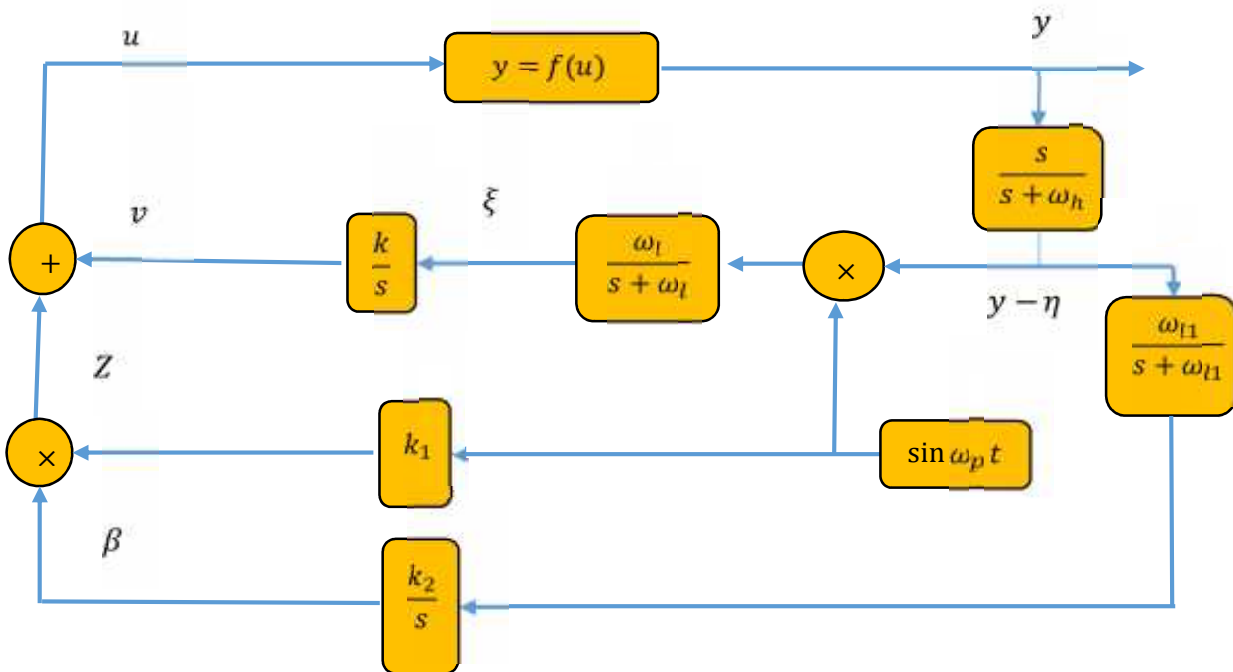


Figure I.9 : Algorithme modifié de l'ESC.

III.2.5 Algorithme de PSO

La technique PSO est une technique d'optimisation stochastique robuste basée sur le mouvement

Et l'intelligence des essaims. Elle applique le concept d'interaction sociale à la résolution de problèmes. Elle utilise un certain nombre d'agents (particules) qui constituent un essaim se déplaçant dans l'espace de recherche à la recherche de la meilleure solution. [18]

Optimisation par essais de particules (PSO) est l'algorithme MPPT le plus couramment utilisé. L'optimisation par essais de particules est la plus utilisée car elle est simple et rapide à résoudre. [19]

PSO est une technique d'optimisation par intelligence en essaim créée par Eberhart et Kennedy en 1995 et inspirée des oiseaux en vol et des poissons en bancs. Plusieurs agents coopératifs sont utilisés dans cet algorithme pour échanger les informations recueillies tout au long de leur processus de recherche respectif.

Le terme "agent" désigne une particule qui suit deux règles de base : suivre la particule la plus performante, et se déplacer dans la direction de la position optimale de la particule. Chaque particule finit par atteindre son objectif de cette manière. S'approche ou se rapproche d'une solution idéale ou quasi-optimale. [20]

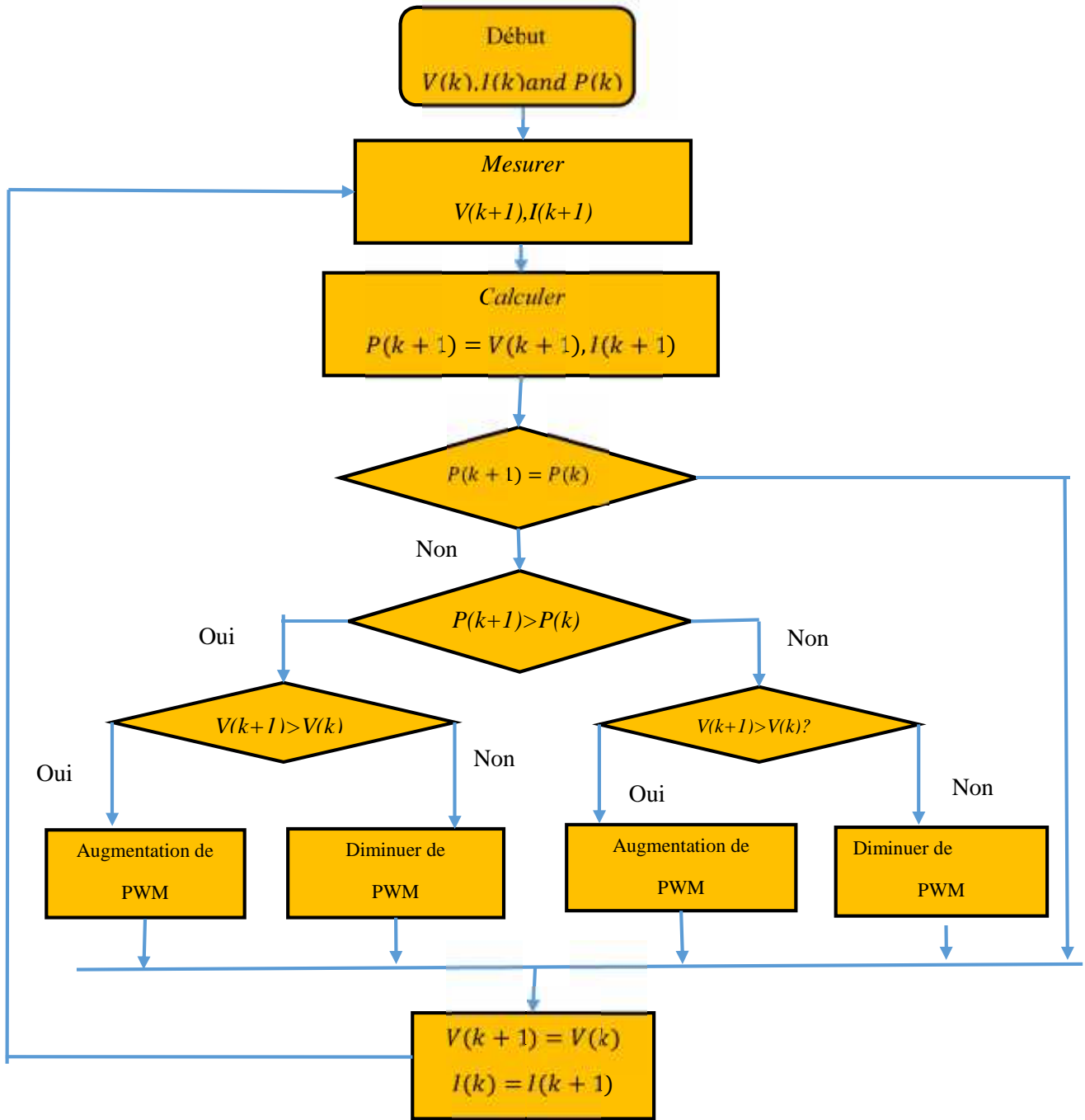


Figure I.10 : l'organigramme d'Algorithme de PSO a base MPPT

III.2.5.1 LA FAIBLESSE DES TECHNIQUES CONVENTIONNELLES MPPT BASEES SUR L'OPTIMISATION DES ESSAIMS DE PARTICULES :

Le PSO conventionnel est rapide et précis lorsqu'il s'agit de rechercher les courbes caractéristiques de sortie de réseaux de modules PV avec des valeurs de crête uniques. Cependant, lorsque certains modules sont ombragés, les poids dans le PSO conventionnel doivent être réajustés de manière

appropriée en fonction des diverses caractéristiques des courbes à pics multiples. Si cette opération n'est pas effectuée, des poids excessivement élevés ou faibles entraînent un échec du suivi.

Ainsi, le MPPT conventionnel basé sur le PSO doit être modifié lorsque certains des modules d'un réseau de modules photovoltaïques sont ombragés. [21]

III.2.5.2 Application de PSO à MPPT :

Cette section décrit l'implémentation de la méthode PSO pour résoudre le problème du contrôleur MPPT dans un système photovoltaïque.

Les principes de fonctionnement d'une méthode PSO de base peuvent être décrits par plusieurs étapes :

Étape 1 : Sélection des paramètres.

Étape 2 : Évaluation de l'aptitude.

Étape 3 : (Mise à jour des meilleures données individuelles et globales).

Étape 4 (Mise à jour de la vitesse et de la position de chaque particule).

Étape 5 (Détermination de la convergence).

Étape 6 (Réinitialisation). [22]

III.2.6 Algorithme de réseaux de neurones artificiels :

La technique des réseaux neuronaux est également de plus en plus populaire car elle offre une alternative puissante pour résoudre des problèmes complexes. L'utilisation de cette méthode dans plusieurs domaines d'application a augmenté ces dernières années, en raison du fait qu'elle opère à partir d'une boîte noire qui manque d'informations détaillées sur le fonctionnement du système. Elle établit des relations entre les variables d'entrée et de sortie en analysant les données enregistrées précédemment. Un autre avantage est que, du fait de paramètres interdépendants, elle peut traiter des problèmes d'une grande complexité. [23]

Un réseau neuronal artificiel ou ANN est un système de traitement de données inspiré des neurones biologiques. En 1943, ils ont modélisé un neurone simple à l'aide de circuits électriques, mais la technologie était limitée à l'époque. [24]

Les réseaux neuronaux sont généralement constitués de trois couches distinctes, appelées :

Couche d'entrée (Input layer).

Couche cachée (Hidden layer).

Couche de sortie (Output layer).

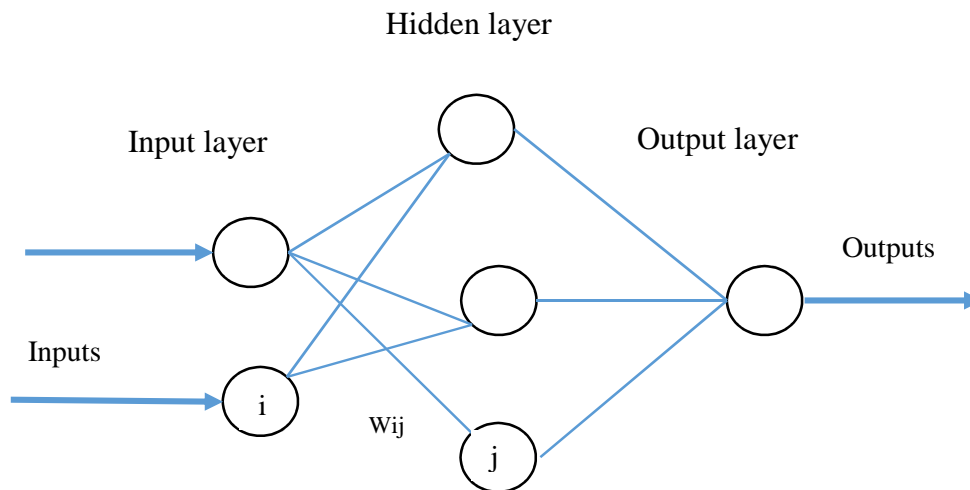


Figure I.11 : Exemple d'un réseau de neurones

L'utilisation du concept NN a donné lieu à un vaste champ de recherche et d'applications dans les systèmes PV.

Applications dans les systèmes PV :

- Prédiction de l'irradiation PV.
- Identification des modèle PV.
- Le dimensionnement du système PV.
- L'optimisation de la structure et les stratégies PV MPPT.

Cette dernière application a attiré l'attention de nombreux chercheurs et ingénieurs en raison de son impact sur les performances de l'ensemble du système.

Le MPPT, considéré comme le cœur du système PV, ajuste la puissance de sortie de l'onduleur ou du convertisseur DC-DC afin de fournir une énergie fiable à la charge. [25]

IV Conclusion :

Dans ce chapitre on a étudié la partie plus importante de fonctionnement d'un système photovoltaïque la poursuite du point maximum de puissance MPPT. Nous avons commencé par une représentation de la commande MPPT, et le principe de recherche du point de la puissance maximale.

Ensuite on a parlé de chacune des méthodes de la commande MPPT, nous avons fait le classement de ces techniques : classiques « Perturbation et observation, incrémentation conductance et hill climbing ». Techniques évoluées « logique floue, mode glissant, Contrôle de recherche extrême, particule swarm optimisation et réseaux de neurons artificiels ».

L'une de ces techniques élimine l'erreur et le temps de réponse et l'autre suit l'ombrage. Nous avons besoin d'une nouvelle technologie qui combine les deux caractéristiques.

Dans le deuxième chapitre nous proposons un algorithme combine deux technique de commande MPPT : SMC minimise l'erreur et le temps de réponse, MESC suivre l'ombrage.

CHAPITRE02

**Modélisation du système
Et Technique de commande**

I. Introduction

Parmi les énergies renouvelables, l'énergie solaire est la source d'énergie la plus encourageante (gratuite) et la plus puissante. L'électricité photovoltaïque est le résultat d'une conversion directe de l'énergie solaire en électricité à l'aide de cellules photovoltaïques.

Les cellules peuvent être groupées pour former des modules. Les modules peuvent être regroupés pour former des champs photovoltaïques. Le terme module est utilisé pour décrire un système photovoltaïque (avec plusieurs cellules connectées en série et / ou parallèle). L'objectif de notre chapitre est d'étudier le comportement des composants de cellule photovoltaïque et faire modélisation de cette cellule PV d'une manière claire et simple.

D'abord on modélise la cellule PV, en suite la modélisation du convertisseur statique (DC-DC) Après cela parler de caractéristiques électriques des panneaux photovoltaïques suivi par la discussion de l'influence de température et de clairment, en fin on traite le cas de l'ombrage.

A la fin de cette partie on propose une nouvelle commande de MPPT basée sur la combinaison de L'ESC modifier (Extremum seeking control modifier) avec le mode glissant d'ordre 1.

II. Modélisation du système photovoltaïque :

- Un système photovoltaïque est composé de quatre (04) blocs essentiels, comme la montre (la figure II.1). Le premier bloc représente la source d'énergie (panneau photovoltaïque), le deuxième bloc est un convertisseur DC-DC statique, et le troisième bloc représente la charge, Le quatrième bloc représente le système de commande, et la fonction principale d'un convertisseur statique est d'agir comme un adaptateur d'impédance, permettant au panneau de fournir la quantité maximale d'énergie. [4]

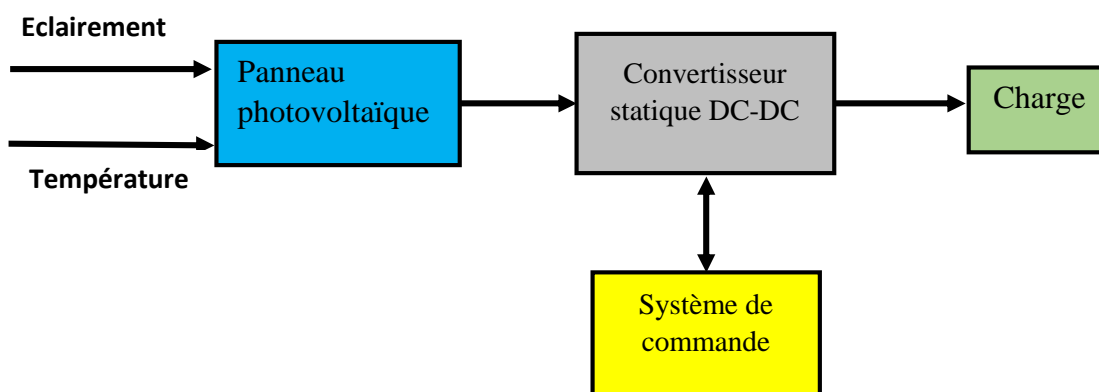


Figure II.1 : Schéma synoptique du système photovoltaïque

II.1 Modélisation de la cellule :

La cellule photovoltaïque est le composant le plus important du panneau solaire. Cette dernière peut être considérée comme une source de courant idéale, fournissant un flux de courant régulier I_{ph} .

En parallèle avec une diode, qui est représentée par la jonction P-N, elle est proportionnelle à la puissance lumineuse incidente. [4]

Par conséquent, la cellule PV peut être modélisée par (la figure II.2), dont les équations correspondantes sont les suivantes :

$$I_{PV} = I_{ph} - I_D - I_R \tag{II-1}$$

Le courant I_{ph} est donné par l'équation suivante :

$$I_{ph} = (I_{cc} + K_i \times \Delta T) \times \frac{E}{E_n} \tag{II-2}$$

L'expression du courant au niveau de la jonction est suivante :

$$I_D = I_S \times \left[\exp\left(\frac{V_{PV} + R_S \times I_{PV}}{nV_T}\right) - 1 \right] \tag{II-3}$$

Le courant dans la résistance R_P est égal à :

$$I_{RP} = \left(\frac{V_{PV} + R_S \times I_{PV}}{R_P} \right) \tag{II-4}$$

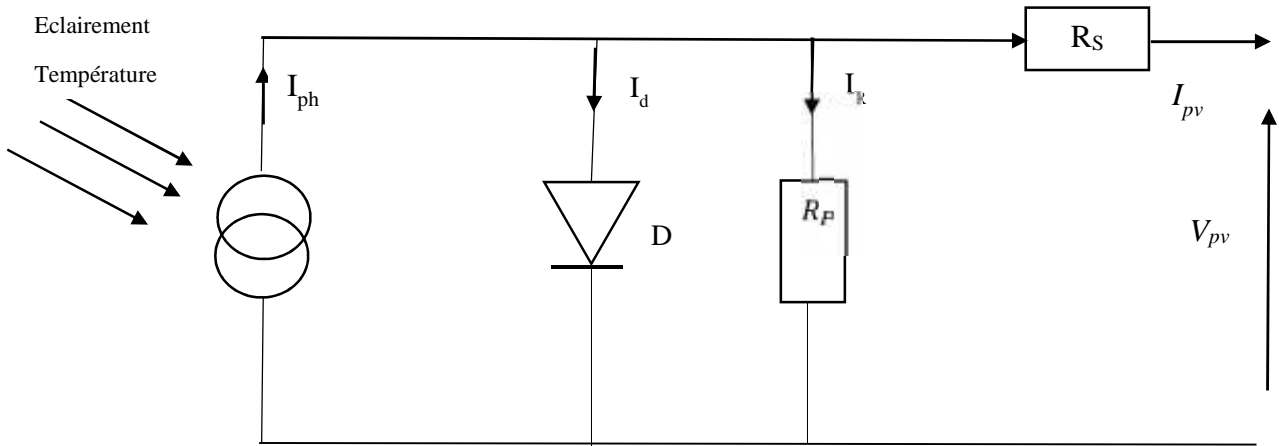


Figure II.2 : Schéma équivalent de la cellule photovoltaïque

II.1.1 Caractéristiques de module photovoltaïque :

Les caractéristiques électriques d'un module photovoltaïque (courant-tension et puissance-tension) varient en fonction de la température et de l'irradiation.

La caractéristique I - V est une caractéristique non linéaire possédant un seul point optimal où la puissance est maximale, 'MPP'. La tension et le courant optimaux correspondants sont I_{mpp} et V_{mpp} .

a) Caractéristique courant-tension d'une cellule PV (I - V) :

La puissance électrique délivrée par une cellule photovoltaïque est le produit de la tension par le courant qu'elle génère. Ces deux grandeurs, courant et tension, dépendent à la fois des propriétés électriques de la cellule mais aussi de la charge électrique à ses bornes.

Les propriétés électriques de la cellule sont synthétisées dans un graphe qu'on appelle caractéristique courant-tension.

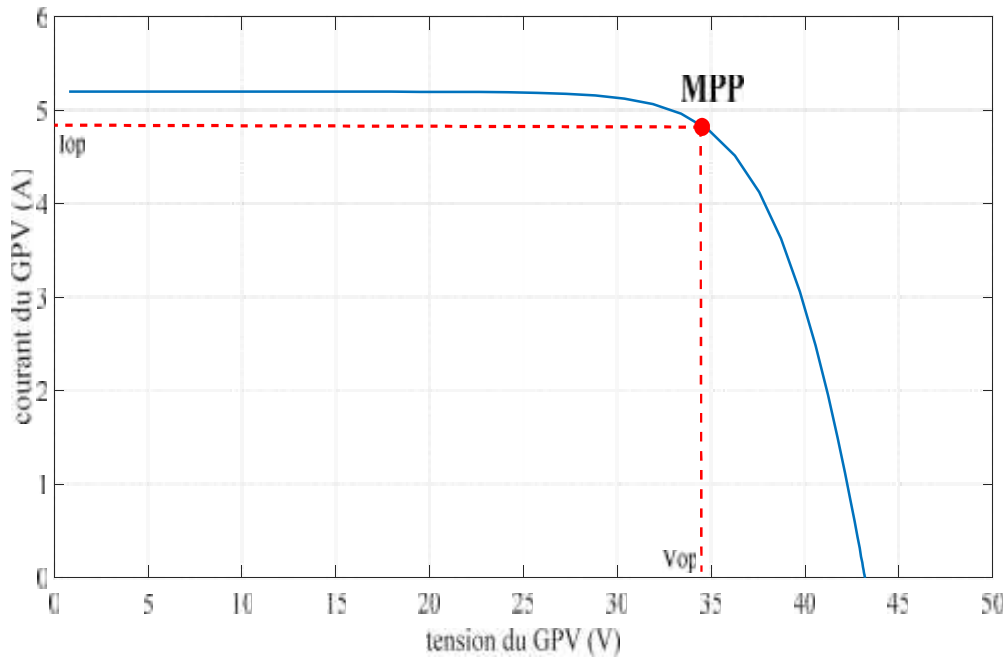


Figure II.3 : Caractéristique courant–tension

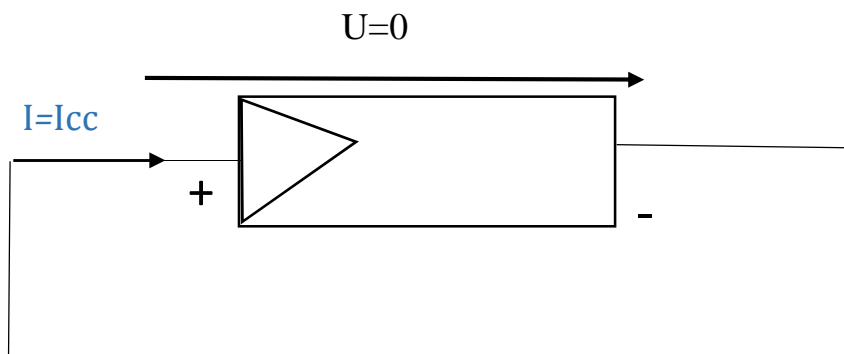
Cette caractéristique courant-tension est une relation entre la tension et le courant délivrés par la cellule photovoltaïque.

Deux données importantes sont à relevées :

- **Le courant de court-circuit noté I_{cc} :**

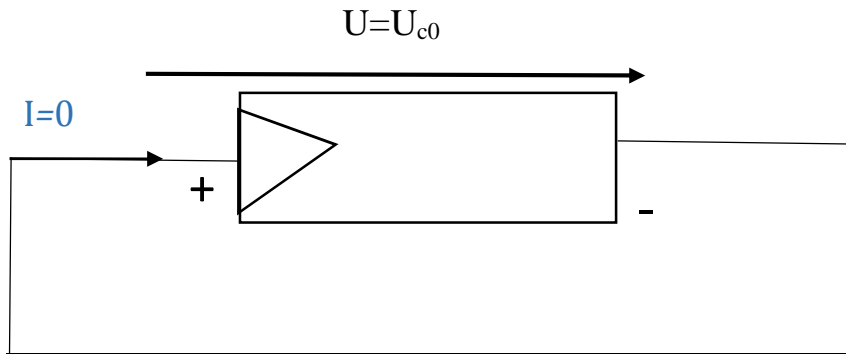
Il s’agit du courant qui traverse la cellule photovoltaïque lorsque celle-ci est court-circuit, c’est-à-dire lorsque le pôle (+) est relié au pôle (-) (la tension à ses bornes est alors nulle).

Dans ce cas, la puissance fournie par la cellule $P = V \times I$ est nulle.



- **La tension en circuit ouvert notée U_{co} :**

Il s'agit de la tension aux bornes de la cellule lorsque celle-ci est en circuit ouvert, c'est-à-dire lorsque le pôle (+) et le pôle (-) sont isolés électriquement de tout autre circuit électrique (le courant la traversant est alors nul). Dans ce cas, la puissance fournie par la cellule $P = V \times I$ est nulle.



b) Caractéristique puissance-tension d'une cellule PV (P-V) :

La puissance fournie par la cellule est tout simplement le produit du courant et de la tension. A partir de la caractéristique courant-tension, il est intéressant de dessiner le graphe de la puissance $P = V \times I$ en fonction de la tension V , qu'on appelle aussi caractéristique puissance-tension.

On retrouve bien les deux cas énoncés précédemment (cellule en court-circuit et cellule en circuit ouvert) pour lesquels la puissance fournie est nulle.

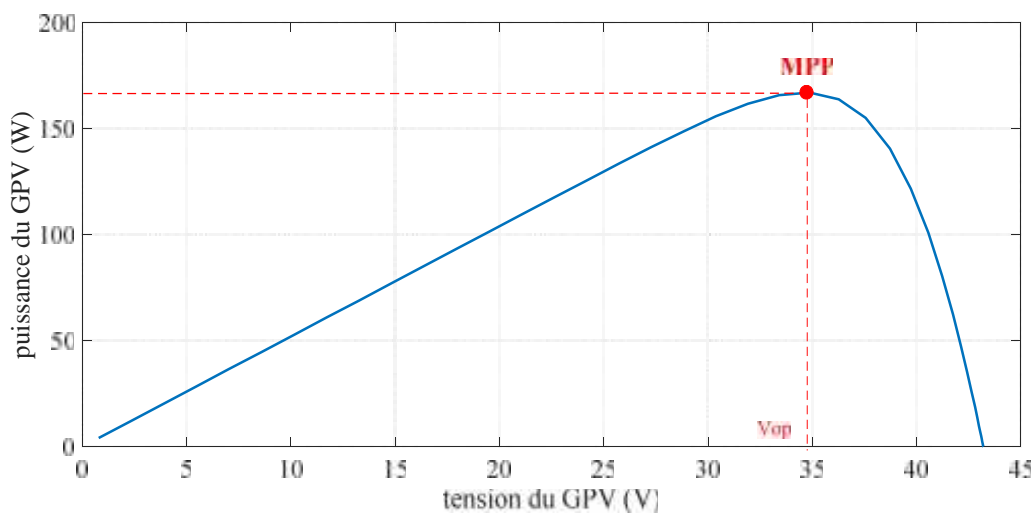


Figure II.4 : Caractéristique puissance tension

Par ailleurs, la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque met en évidence un point de puissance maximum PMPP (MPP signifie en anglais Maximal Power Point, soit Point de Puissance Maximum). Ce point de puissance maximum est le produit d'un courant et d'une tension donnés. On appelle respectivement I_{op} et V_{op} le courant et la tension correspondant au point de puissance maximum, c'est-à-dire tel que $I_{op} \times V_{op} = P_{op}$.

Ainsi, 4 paramètres majeurs permettent de caractériser une cellule photovoltaïque :

- Le courant de court-circuit noté.
- La tension à vide notée V_{co} .
- Le courant de puissance maximale noté.
- La tension de puissance maximale notée.

La valeur des 4 paramètres ci-dessus dépend d'un certain nombre de paramètres dont :

- Le niveau d'éclairement de la cellule.
- La température de la cellule. [26]

II.1.2 Influence de l'éclairement et de la température de system photovoltaïque :

II.1.2.1 Influence de l'éclairement :

Les figures (II.5 et II. 6) représentent les caractéristiques I-V et P-V en fonction de l'éclairement. Il apparaît que le courant du court-circuit augmente avec l'intensité de l'éclairement, et la tension du circuit ouvert augmente légèrement avec l'éclairement.

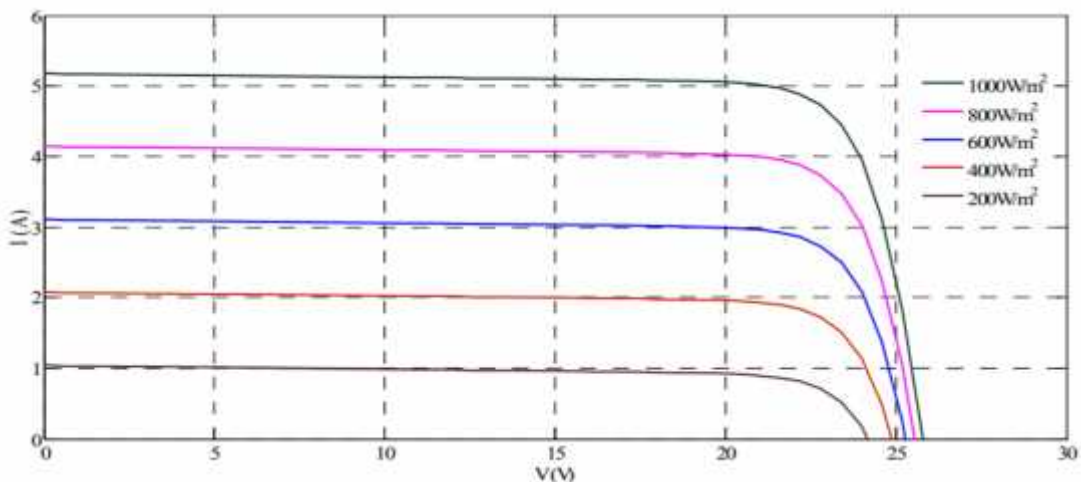


Figure II.5 : Influence de l'éclairement sur la Caractéristique (I-V)

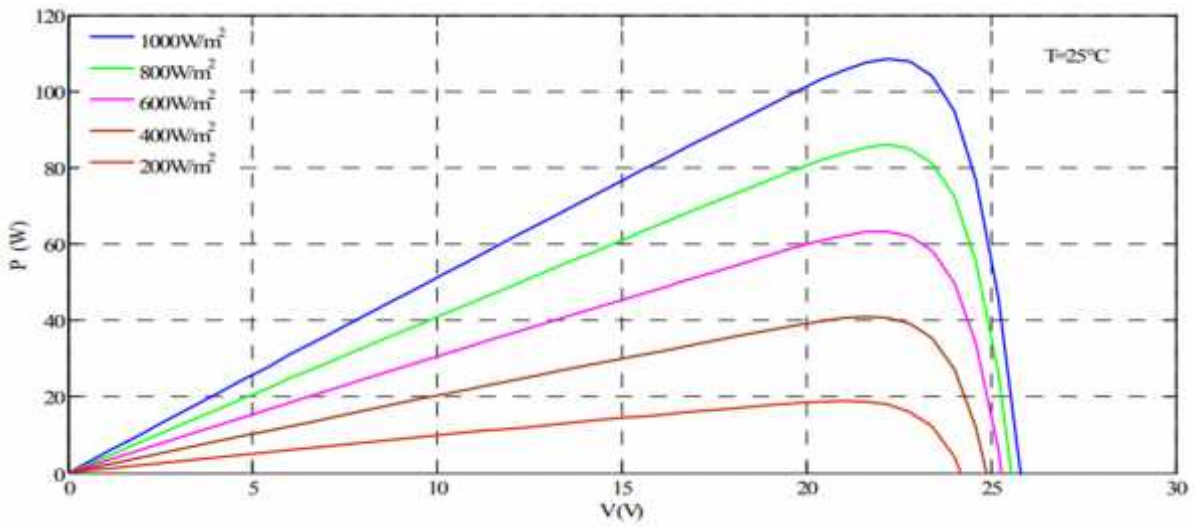


Figure II.6 : Influence de l'éclairement sur la Caractéristique P -V

II.1.2.2 Influence de la température :

Les figures (II. 7 et II. 8) montrent respectivement l'influence de la température sur la caractéristique courant- tension du module photovoltaïque pour un éclairement donné ($E=1kW/m^2$). On remarque que lorsque la température augmente, la tension du circuit ouvert V_{co} diminue alors que le courant de court-circuit I_{cc} augmente.

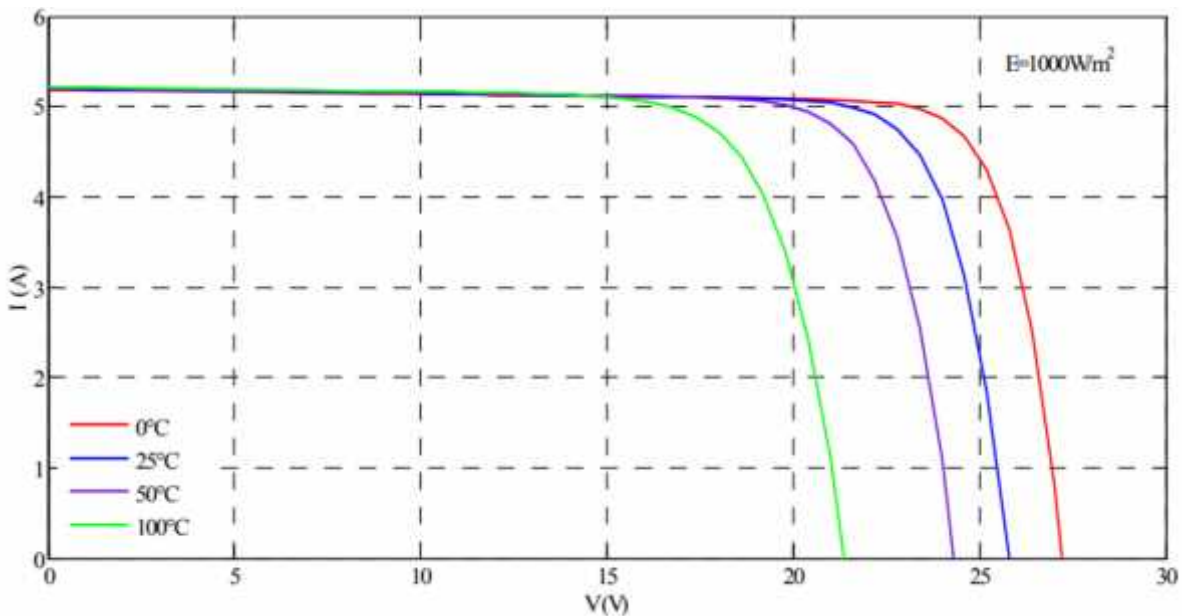


Figure II.7 : Influence de la température sur la Caractéristique I -V

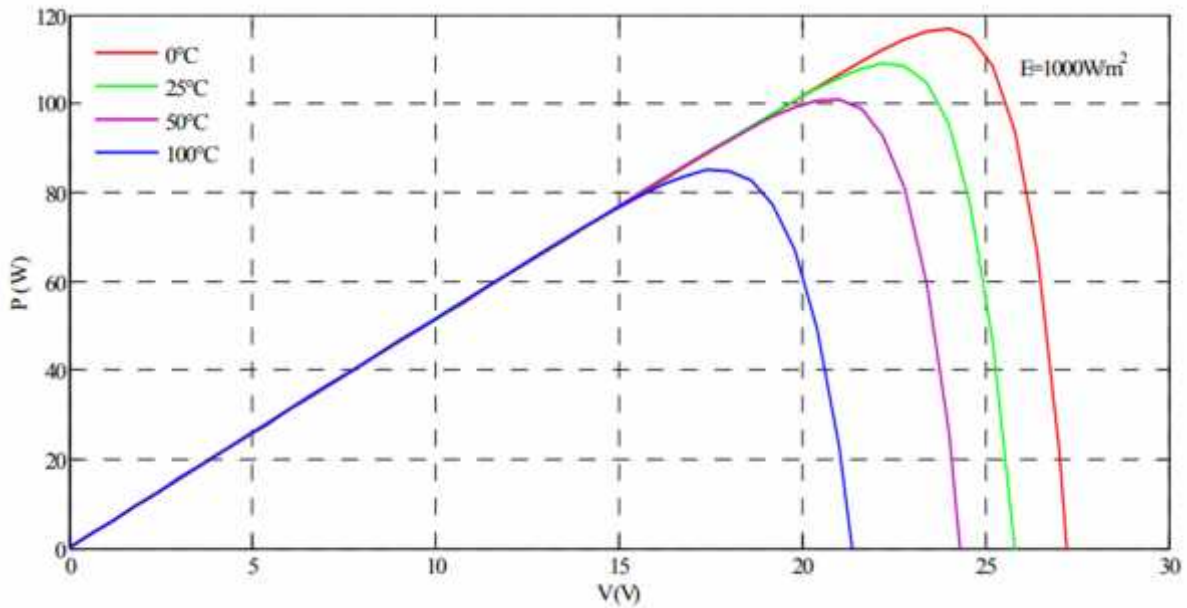


Figure II.8 : Influence de la température sur la Caractéristique P –V

On remarque que la variation de l'éclairement influe visiblement sur le courant de court-circuit et peu sur la tension de circuit ouvert par conséquent la variation de PPM est proportionnelle à l'éclairement. [27]

II.1.3 Ombrage des panneaux PV :

Il se peut qu'un obstacle, de quelques natures qu'il soit (bâtiments, arbres, etc.) fasse de l'ombre aux panneaux solaires.

Un ombrage sur les capteurs photovoltaïques entraine une perte de production d'énergie. Cette perte de production varie en fonction de la taille et de la densité de l'obstacle. Mieux vaut quantifier l'importance de la perte avant d'entreprendre de poser ses panneaux photovoltaïques.

On peut distinguer deux types d'ombrages : ombrage partiel et l'ombrage total. On appelle ombrage total ou complet se qui vient couvrir le panneau (couverture, branche cassée, saleté de toute nature, etc.). L'ombrage partiel laisse passer en partie les rayons du soleil. [3]



Figure II.9 : PV dans des contritions partiellement ombragées causées par l'ombre d'un arbre.

II.1.3.1 Phénomène d'ombrage sur un module PV :

Dans le cas d'une série de cellules PV, la combinaison des tensions est simple si toutes les cellules sont identiques et fonctionnent dans les mêmes conditions d'environnement et de température. Cependant, comme indiqué précédemment, dans des conditions de fonctionnement réelles, si les cellules sont quelque peu différentes ou ne sont pas uniformément éclairées, le comportement électrique est difficile à prévoir et dépend des caractéristiques de chaque cellule ainsi que des conditions d'éclairage. [3]

II.1.3.2 Influence de l'ombrage sur les panneaux PV :

L'ombrage est l'une des causes de défaillance des modules PV. La cellule peut devenir polarisée en inverse, fonctionnant comme une charge au lieu d'un générateur. Cela induit une déformation globale de la caractéristique I-V, la réduction de la puissance de sortie du module et des risques d'échauffement et de dégradation à craindre. Par conséquent, les cellules PV des modules doivent être protégées par des diodes de dérivation. Il est possible que des problèmes de surchauffe ou de sous-dimensionnement des cellules surviennent au niveau des diodes by-pass utilisées pour corriger ces défauts d'obstruction.

Les installations PV dans un milieu urbain sont soumises à des phénomènes d'ombrage partiel ou temporaire, tels que ceux liés à une feuille d'arbre, à des déjections d'oiseaux, à la salissure (polluant

émis par des activités humaines et atmosphériques), à la présence de cheminées, ou bien même à une partie de construction, qui peuvent conduire à une réduction de l'ensoleillement. Cela a pour conséquence de causer une perte de puissance des modules. [3]

II.1.3.3 Effet de l'ombrage sur la cellule PV :

Lorsqu'une ombre d'un objet quelconque est projetée sur un module solaire, le système photovoltaïque en question est considéré comme étant sous l'influence de l'ombrage.

L'ombrage dans les modules solaires induit une déformation globale de la caractéristique I-V de la Figure (II.10 (a)), la réduction de la puissance de sortie du module et des risques d'échauffement puis de dégradations qui sont à redouter (hots spots).

Cet effet implique certaines variations des caractéristiques de courant et de puissance des installations photovoltaïques, ce qui rend difficile ou même limite l'utilisation des algorithmes de MPPT.

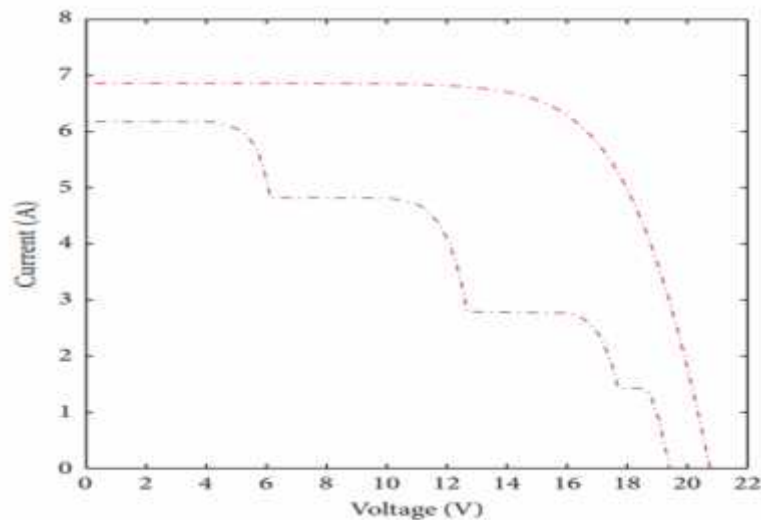


Figure II.10. (a) Caractéristiques I-V d'un PV sous l'effet d'ombrage partiel

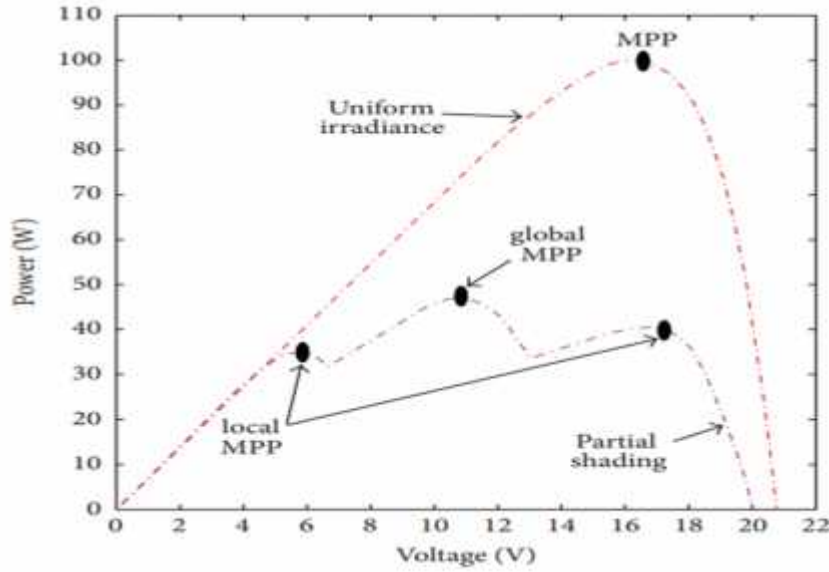


Figure II.10. (b) Caractéristiques P-V d'un PV sous l'effet d'ombrage partiel

La Figure (II.10 (b)) montre comment les caractéristiques P-V d'un panneau PV peuvent être affectées par un ombrage partiel et des conditions variables. La courbe P-V a des pics multiples donc elle a plusieurs Maximum Power Points (PPM) et dans ce cas il existe trois points. Il n'y a qu'une PPM globale et deux PPM locales, où la PPM globale à la valeur la plus élevée dans la courbe P-V. [28]

III Modélisation de convertisseurs DC-DC :

III.1 convertisseurs DC-DC (Hacheurs) :

Le hacheur est un convertisseur continue/continue permettant de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue à un autre niveau de tension (ou de courant). Son utilisation s'avère nécessaire pour stocker l'énergie photovoltaïque dans des batteries, où pour alimenter une charge continue.

Il se compose de condensateurs, d'inductance et de commutateurs. Dans le cas idéal, tous ces dispositifs ont un bon rendement, ils ne consomment aucune puissance active, Les hacheurs sont des convertisseurs continu qui procèdent par découpage d'une grandeur d'entrée continue, tension ou courant et dont la grandeur de sortie est également continue ou à faible ondulation. [29]

III.2 Convertisseur Boost :

Le convertisseur DC-DC transforme la tension de la batterie ou du module en une tension DC différente pour alimenter la charge. Il permet le contrôle de la puissance électrique dans des circuits

fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé. On distingue trois types de convertisseurs : boost, buck – boost, buck. Le modèle que nous avons choisi dans notre étude est le boost.

Le convertisseur DC-DC est une interface qui permet l’adaptation entre le panneau PV et la charge afin d’extraire la puissance maximale du panneau.

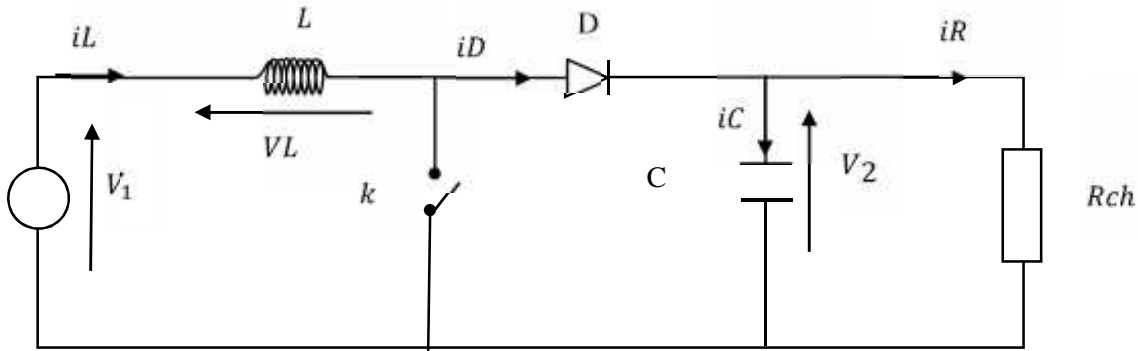


Figure II.11 : Schéma électrique du convertisseur Boost

III.2.1 interrupteur fermé :

Dans ce cas l’interrupteur K est fermé, et la diode D est bloquée.

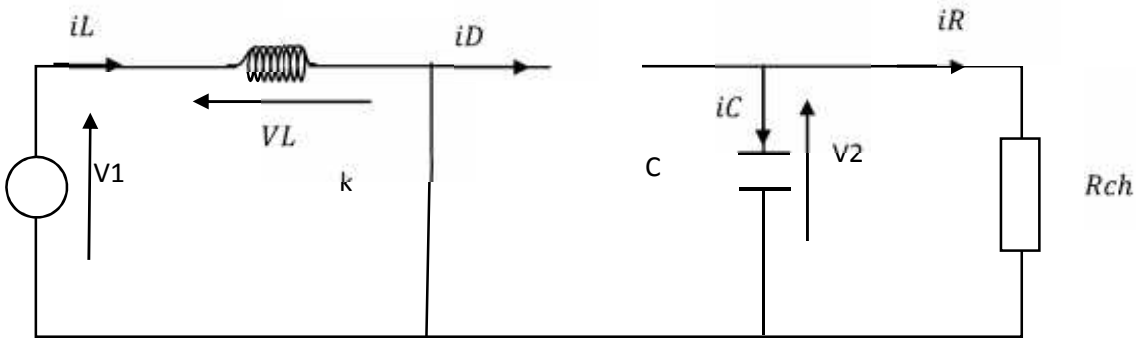


Figure II.12 : circuit électrique équivalent de la première partie de fonctionnement

Pour $t \in [0, \alpha T]$, la diode D est bloquée. Par la suite, le convertisseur peut être modélisé par les équations suivantes :

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_1}{L} + \frac{r_L i_L}{L} \tag{II-5}$$

$$\frac{dV_2}{dt} = - \frac{V_2}{R_{ch} \times C} \tag{II-6}$$

III.2.2 interrupteur ouvert :

Dans ce cas l'interrupteur K est Ouvert, et la diode D est passente.

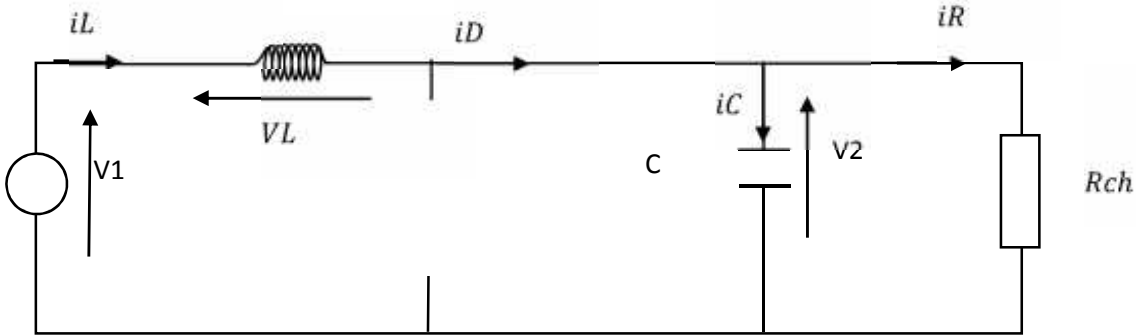


Figure II.13 : circuit électrique équivalent de la deuxième partie de fonctionnent

Pour $t \in [\alpha T, T]$, et la diode D est passente. Par la suite, le convertisseur peut être modélisé par les équations suivantes :

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_1 - r_L i_L - V_2}{L} \tag{II-7}$$

$$\frac{dV_2}{dt} = \frac{i_L}{c} - \frac{V_2}{R_{ch} \times c} \tag{II-8}$$

Où T est la période du convertisseur statique et α , le rapport cyclique. [4]

III.2.3 Le model moyen :

Cas 1 : si l'interrupteur K est fermé, la diode D est bloquée

On a:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_1}{L} + \frac{r_L i_L}{L} \tag{II-9}$$

$$\frac{dV_2}{dt} = - \frac{V_2}{R_{ch} \times c} \tag{II-10}$$

En concédere V_2 comme un variable d'état :

L'équation de modélisation écrit comme suite :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r_L}{L} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{RchC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_1 \quad (\text{II-11})$$

Que peut être écrit sous la forme :

$$\begin{cases} \dot{x} = A_1x + B_1V_1 \\ y = D_1x \end{cases} \quad \text{Avec} \quad D = [0 \quad 1] \quad (\text{II-12})$$

Utilise R_{ch} comme une impédance

$$R_{ch} = \frac{V_2}{i_L} \quad (\text{II-13})$$

Le cas 2 : l'interrupteur K est Ouvert et la diode D est passant

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_1 - r_L i_L - V_2}{L} \quad (\text{II-14})$$

$$\frac{dV_2}{dt} = \frac{i_L}{C} - \frac{V_2}{RchC} \quad (\text{II-15})$$

On a:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{r_L}{L} & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & \frac{-1}{RchC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_1 \quad (\text{II-16})$$

Elle peut être écrite sous forme :

$$\begin{cases} \dot{x} = A_2x + B_2V_1 \\ y = D_2x \end{cases} \quad \text{Avec} \quad D = [0 \quad 1] \quad (\text{II-17})$$

A partir des équations (II-12) et (II-17) on peut déduire l'équation de période complète :

$$\begin{cases} \dot{x} = (A_1x + B_1V_1)\alpha + (A_2x + B_2V_1)(1 - \alpha) \\ V_2 = [D_1\alpha + D_2(1 - \alpha)]x \end{cases} \quad (\text{II-18})$$

Ecrit sous la forme :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -\frac{\alpha}{L}x_2 - \frac{1}{L}V_1 \\ \dot{x}_2 = \frac{1-\alpha}{C}x_1 - \frac{1}{Rch.C}x_2 \end{cases} \quad (II-19)$$

En peut écrire ce forme :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \lambda_1 V_1 - \lambda_1 x_2 u \\ \dot{x}_2 = \lambda_2 x_1 u - \lambda_3 x_2 \end{cases} \quad (II-20)$$

Telle que :

$$\lambda_1 = \frac{1}{L}, \lambda_2 = \frac{1}{C}, \lambda_3 = \frac{1}{Rch.C}, u = (1 - \alpha) \text{ Et } [x_1 \ x_2] = [i_L \ V_2] \text{ , rapport cyclique. [30]}$$

IV .Technique de commande :

Est une combinaison de deux méthodes, à savoir la méthode d'ESC (extremum seeking control) modifié et la méthode de mode glissant.

Cette technique utilisée pour l'amélioration du temps du MPPT et la précision d'atteindre la puissance maximale du GPV dans différentes conditions de fonctionnement surtout cas d'ombrage.

L'algorithme de cette technique défini comme une combinaison de deux techniques (ESC modifié, mode glissant), la première partie du commande permet d'avoir une tension de référence pour atteindre le GMPP afin que l'on connecte la sortie de L'ESC modifié à l'entrée de mode glissant, pour l'amélioration dans les performances du technique proposé comme montre la figure suivante :

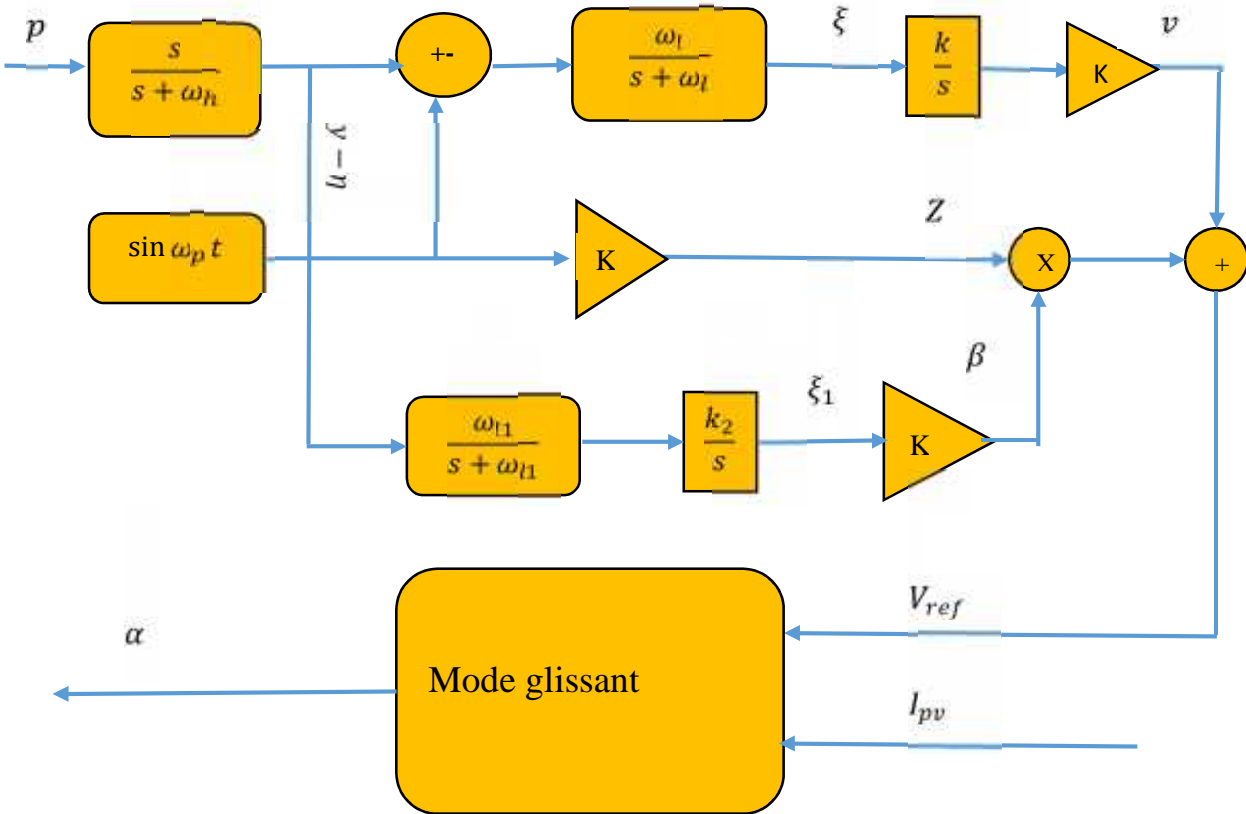


Figure II.14 : schéma bloc présente la technique de combinaison entre l’ESC modifiée avec la mode glissant

a) Les équations correspondantes à la première méthode (ESC) modifiée :

Son modèle mathématique s'écrit comme suit :

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = k\xi \\ \frac{d\xi}{dt} = -\omega_l\xi + \omega_l(y - \eta)\sin(\omega_p t) \\ \frac{d\eta}{dt} = -\omega_h\eta + \omega_h y \end{cases} \quad (II-21)$$

$$\begin{cases} \frac{d\xi_1}{dt} = \omega_{l1}\xi_1 + \omega_{l1}(y - \eta)\sin(\omega_p t) \\ \frac{d\eta}{dt} = -\omega_h\eta + \omega_h y \end{cases} \quad (II-22)[17]$$

b) Les équations correspondantes à la deuxième méthode :

Cette stratégie de commande, faisant partie de la commande robuste, a été généralement appliquée comme outil de régulation fiable des systèmes électromécaniques et des variations paramétriques.

Ces dernières années, le mode glissant d'ordre un et d'ordre supérieur (super torsion) a été mis en œuvre avec succès comme algorithme MPPT. Dans ce travail, seul le mode glissant d'ordre un est utilisé.

Le concept de l'approche peut être introduit par la sélection de la surface de glissement σ , définie comme la condition de conductance incrémentale pour extraire le maximum

De Puissance :

$$\sigma = \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} V_{PV} + I_{PV} \tag{II-23}$$

Elle est basée sur l'observation de la région de fonctionnement, où le rapport cyclique α peut être augmenté ou diminué avec un incrément prédéfini $\Delta\alpha$ au niveau de la suite du signe de la surface pour se rapprocher du point MPP optimal.

$$\alpha(k) = \begin{cases} \alpha(k-1) + \Delta\alpha & \text{pour } \sigma > 0 \\ \alpha(k-1) - \Delta\alpha & \text{pour } \sigma < 0 \end{cases} \tag{II-24}$$

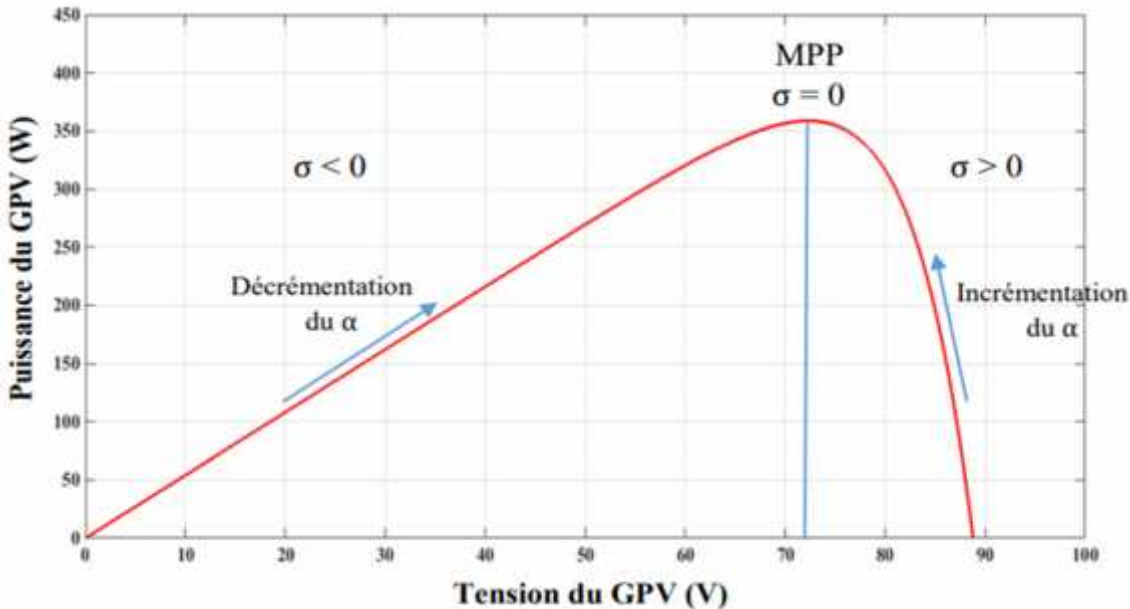


Figure II.15 : Principe de la commande MPPT par mode glissant.

La structure de la commande par mode glissant est constituée de deux parties : la première traite de la quantité équivalente α_{eq} et la seconde fournit la partie stabilisatrice α_n .

$$\alpha = \alpha_{eq} + \alpha_n \tag{II-25}$$

α_{eq} Est dérivé de la condition $\dot{\sigma} = 0$, fournissant le rapport cyclique classique dans l'état d'équilibre. La partie de stabilisation α_n est considérée comme l'effort nécessaire pour rejoindre la condition $\sigma = 0$ quand la commande du système démarre. L'existence du mode glissant peut-être garantie en utilisant le théorème direct de la stabilité selon Lyapounov, comme suit :

On définit une quantité quadratique liée à la surface de glissement, dite fonction candidate de Lyapounov :

$$v = \frac{1}{2} \sigma^2 \tag{II-26}$$

Par conséquent, le gradient de la fonction coût v est dérivé comme suit :

$$\dot{v} = \dot{\sigma} \sigma \tag{II-27}$$

La réalisation de $\dot{v} = 0$ est obtenue si l'équation (II-(25,27)) est maintenu semi-définie négative ($\dot{v} < 0$).

Dans [31] Stolone propose que la partie stabilisante de la commande α_n soit une fonction linéaire de la surface de glissement σ , ce qui permet d'attirer la surface de glissement vers son point d'équilibre $\sigma=0$:

$$\alpha_n = -K\sigma \tag{II-28}$$

Où le choix adéquat du gain K améliore la dynamique du mode de convergence

Comme le rapport cyclique doit être maintenu dans la plage $0 < \alpha < 1$, le signal de contrôle réel est donc synthétisé comme suit :

$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{pour } \alpha \geq 1 \\ \alpha_{eq} - K\sigma & \text{pour } 0 < \alpha < 1 \\ 0 & \text{pour } \alpha \leq 0 \end{cases} \tag{II-29}$$

La variation continue du rapport cyclique dans la gamme spécifiée peut être assurée, si le gain K n'est pas choisi trop grand. Propose que K est ajusté inférieur ou égale à l'admittance maximale côté DC ($K \leq 1 / |R_{ch-max}|$)

Dans notre travail, R_{ch-min} est quantifiée en fonction d'un seuil de puissance extraite au lever du soleil P_{min} , et une parfaite régulation de la tension du bus (V_{DC-ref}).

$$|R_{ch-max}| = \frac{V_{DC-ref}^2}{P_{min}} \tag{II-30}$$

La commande équivalente α_{eq} est déduite, en fixant $\alpha = 0$

$$\alpha_{eq} = 1 - \frac{V_{PV}}{V_{DC}}$$

Qui représente en fait la valeur conventionnelle du hacheur boost. [32]

V. Conclusion :

L'objectif principal de cette partie est de comprendre de mécanisme (le fonctionnement) du système photovoltaïque à travers sa modélisation.

Dans ce chapitre nous avons entamé la modélisation d'un système photovoltaïque, en commençant par le panneau PV , en suite en observant les caractéristiques électriques (courant-tension et puissance-tension) ainsi que les performances sous l'influence de quelques paramètres (température, éclairement) , puis on a étudié le cas de l'ombrage d'une cellule PV , nous avons aussi présenté et modélisé le fonctionnement du hacheur survolteur DC-DC type BOOST .

A la fin de ce chapitre on a présenté une technique de commande MPPT (ESC modifié combiné avec la technique Mode glissant) pour extraire la puissance maximal d'un panneau photovoltaïque due à sa simplicité et à sa fiabilité.

CHAPITRE03

**Simulation des techniques sous Matlab
Simulink et résultats**

I. Introduction :

Dans ce chapitre on présentera l'application de méthode proposée précédemment pour suivre du point de puissance maximal MPP de notre système photovoltaïque, d'ou ce système se compose d'une cellule photovoltaïque, un convertisseur survolteur (boost), et une commande MPPT.

Alors cette partie explique l'utilisation d'un nouvel algorithme de MPPT sur le système photovoltaïque sous des irradiances non uniformes, pour cette raison il faut schématiser les différents parties notre système PV par des blocs en utilisant logiciel MATLAB/SIMULINK, après la simulation on discute les résultats.

Le but de ce chapitre est la réponse de cette question : est-ce que cette technique proposée est efficace ?

II. L'outil MATLAB/SIMULINK :

Le logiciel MATLAB et son extension graphique associée SIMULINK font partie d'un ensemble d'outils intégrés au traitement du signal. [33]

SIMULINK est une plate-forme de simulation multi-domaine et de modélisation des Systèmes dynamiques.

Il fournit un environnement graphique et un ensemble de bibliothèques contenant des blocs de modélisation qui permettent le design précis, la simulation, l'implémentation et le contrôle de systèmes de communications et de traitement du signal.

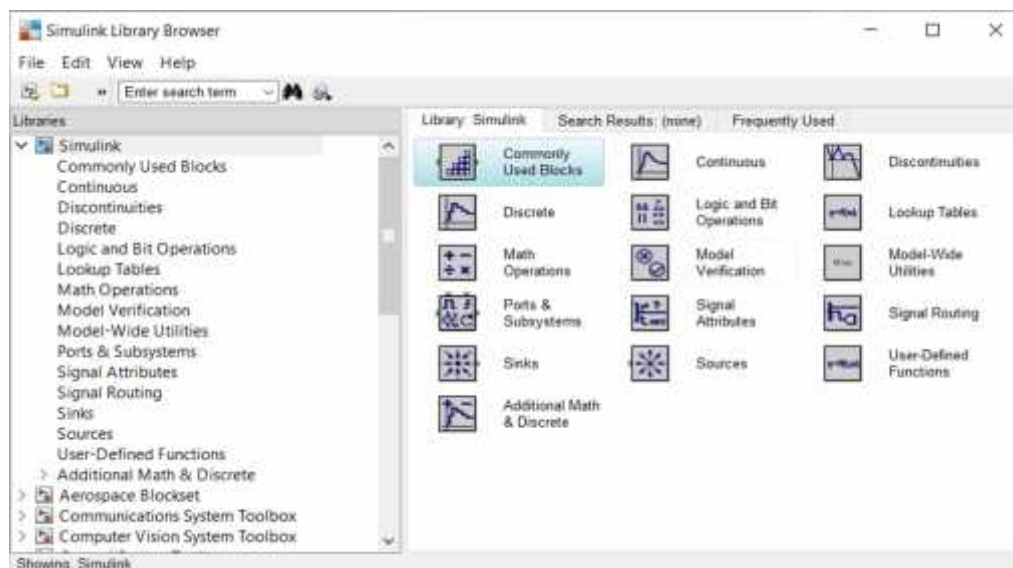


Figure III.1 : Interface graphique de bibliothèque Simulink

III. Simulation du système photovoltaïque :

La figure III.2 donne le schéma block de notre system photovoltaïque étudié avec l'ensemble des étages simulés : panneau PV, DC-DC et MPPT

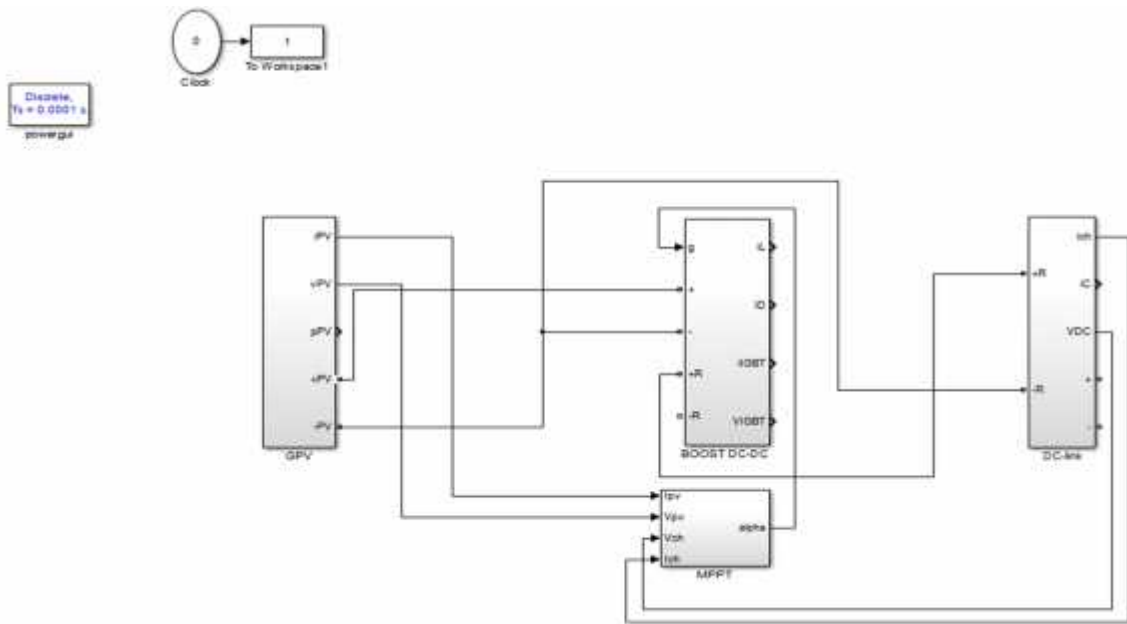


Figure III.2 : Schéma de simulation d'un panneau PV avec la commande MPPT

III.1. Simulation du panneau photovoltaïque :

En utilise deux panneaux photovoltaïque une selle diode en série pour cette simulation, il contient une puissance maximum 85 W.

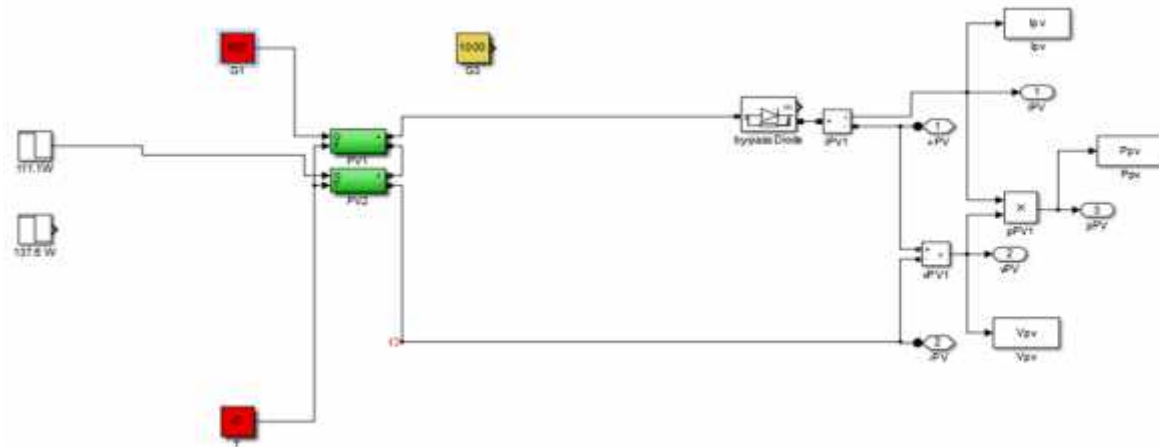


Figure III 3 : Schéma de simulation d'un panneau PV

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

| | |
|--|---------|
| Ensoleillement standard G | 1000 |
| Température standard, T | 25° |
| Puissance maximale Pmax | 85 |
| Tension à Pmax ou tension optimale (Vop) | 17.9000 |
| Courant à Pmax ou courant optimal (Iop) | 4.7700 |
| Tension de circuit ouvert Vco | 22 |
| Courant de court-circuit Icc | 5.2 |

Tableau III.1 : caractéristiques électriques du panneau photovoltaïque

✓ La simulation a été faite pour analyser le fonctionnement de notre panneau PV.

III.2. Simulation du convertisseur DC-DC :

De même façon nous modélisons le convertisseur boost DC-DC pour adapter la tension de GPV à l'aide de la charge par le changement de rapport cyclique .

La figure suivante représente le schéma bloc d'un hacheur Boost sous MATLAB/Simulink.

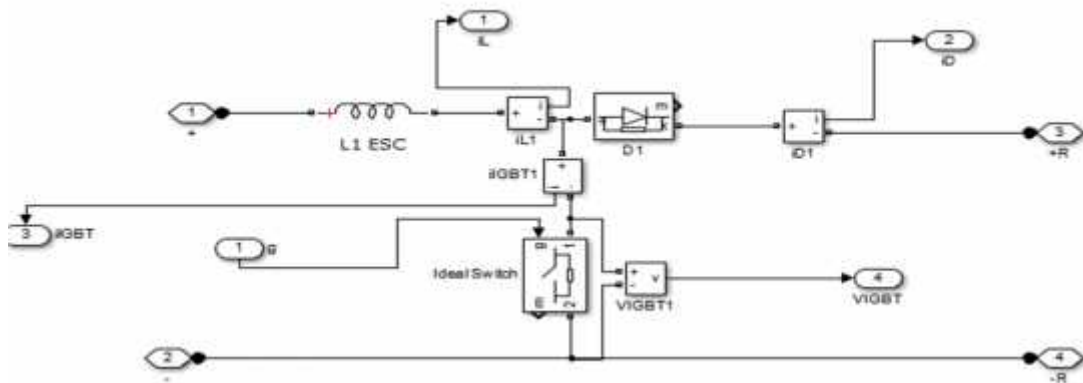


Figure III.4 : Schéma bloc du hacheur survolteur modélisé par MATLAB/Simulink

Ce convertisseur ramène le point de fonctionnement au MPP et crée l'adaptation entre la source et la charge.

La charge sur le côté (DC) est une charge résistive idéale.

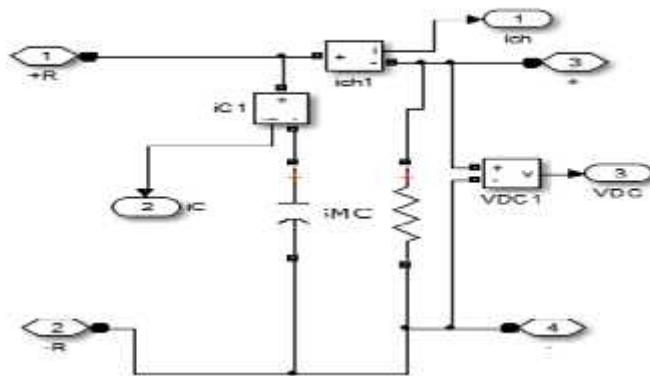


Figure III.5 : La résistance idéale sous MATLAB/Simulink

III.3. Simulation de la commande MPPT étudié :

Afin de démontrer l’efficacité et la robustesse de l’algorithme proposé précédemment dans le deuxième chapitre (ESC avec SMC), différents simulations sont réalisées par l’outil MATLAB/Simulink.

La figure suivante représente une modélisation de la commande MPPT (ESC avec SMC) par logiciel MATLAB/Simulink.

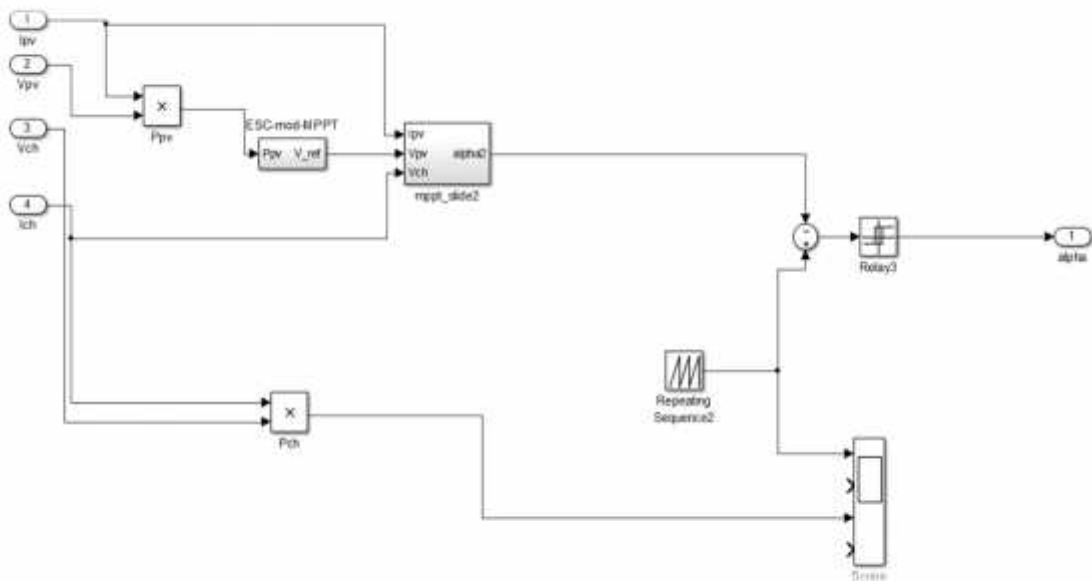


Figure III.6 : Simulation de la commande MPPT proposée sous MATLAB/Simulink

IV. Résultats de la simulation :

Dans ce qui suit nous allons présenter les différents résultats de la simulation :

IV.1 système photovoltaïque avec l'ombrage partiel :

On fait la simulation de l'ensemble (système PV – commande MPPT) pour la variation des conditions climatiques éclairement et température, afin de tester la performance de notre commande MPPT (MESC- SMC), est sa réponse contre l'influence de l'ombrage.

❖ Cas état sain :

Les figures (III7-8-9-10) représentent les allures de puissance, tension, courant et erreur respectivement du générateur photovoltaïque dans l'état sain (conditions climatique standard).

Pour : température constante $T = 25^{\circ}\text{C}$

: Eclairage de $(950 \text{ w}/\text{m}^2)$

On a obtenu les graphes suivants :

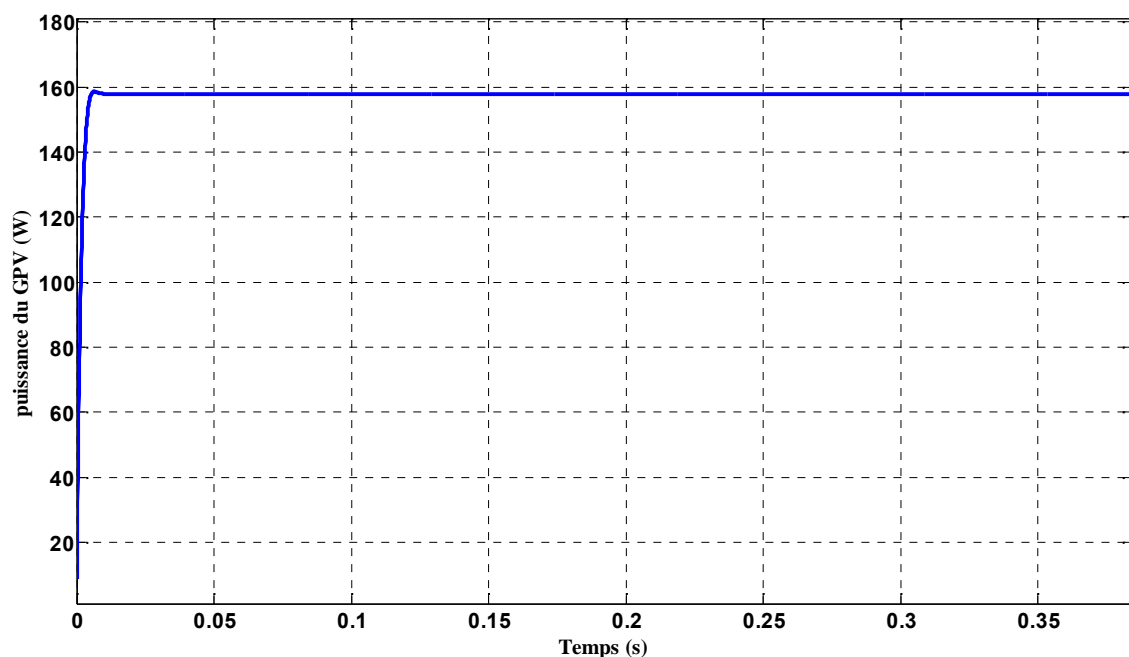


Figure III.7 : Puissance du GPV dans STC

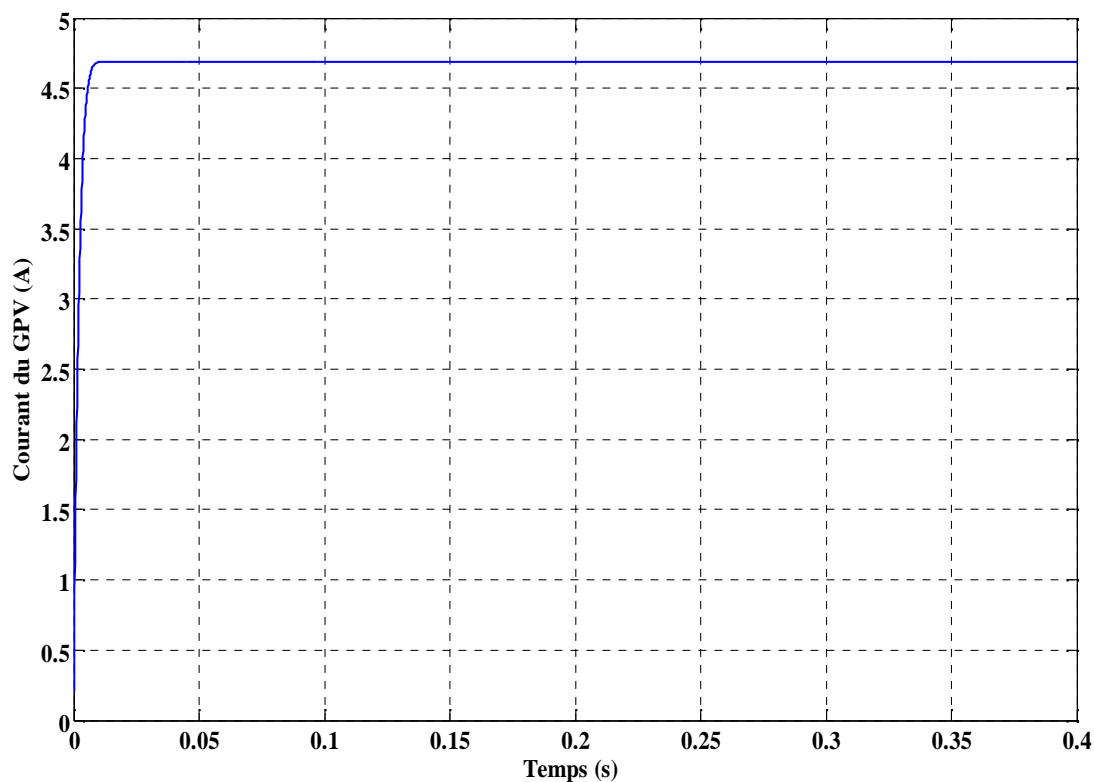


Figure III.8 : Allure du courant du GPV dans STC

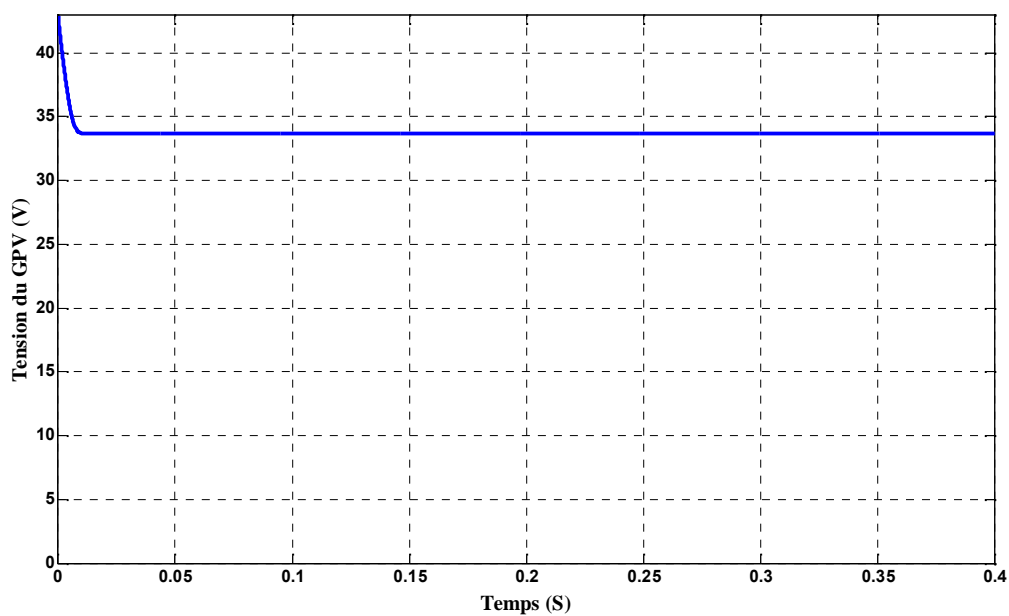


Figure III.9 : allure de la tension de GPV dans STC

D'après les graphes précédents :

- On remarque que la puissance générée par le générateur photovoltaïque atteint sa valeur maximale dans les conditions citées précédemment (159 W) dans un temps de réponse très petit ($T_r=0,014s$), et il se stable jusqu'à la fin de simulation.
- On note une variation inverse entre le courant de court-circuit I_{pv} et la tension de circuit-ouvert V_{pv} .

L'augmentation rapide de I_{pv} correspondant une forte diminution de la tension V_{pv} c'est une relation inverse jusqu'à $T_r=0,014s$. Après cela les valeurs de courant I_{pv} et tension V_{pv} fixes et stables pour tout la simulation.

Cette relation est due à l'utilisation de l'éclairement par le panneau photovoltaïque pour générer le courant I_{pv} et la puissance P_{pv} à l'aide de la tension de circuit-ouvert consommée par la charge.

- L'évolution rapide au niveau des trois allures explique la rapidité et la stabilité de notre commande MPPT pour suivre le point de puissance maximale MPP.

Alors on dit que la commande (MESC-SMC) est robuste et parfaite aux conditions standards.

La courbe suivante représente le cas de l'erreur pour les conditions standards :

Eclairement $E=950\text{ w/m}^2$ et température $T=25^\circ\text{C}$

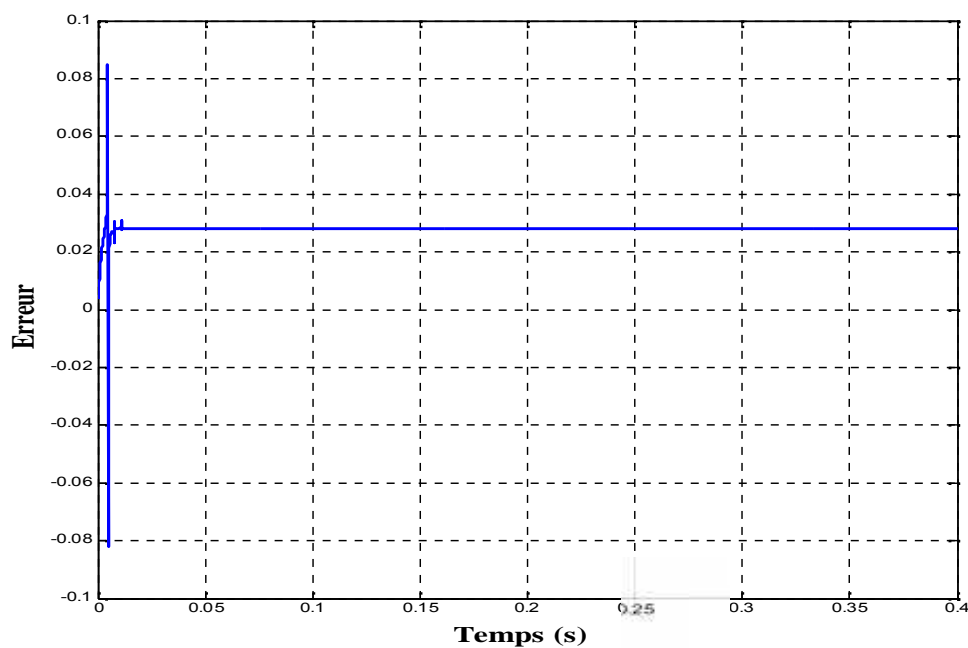


Figure III.10 : L'erreur pour éclairement $E=950\text{ w/m}^2$ et température $T=25^\circ\text{C}$

On voit que l'allure d'erreur est stable à 0,025 après $T=0,01s$ depuis le début de simulation, c'est une preuve que notre commande MPPT est stable dans les conditions standards.

❖ **Cas d'ombrage :**

• **Essai 1 :**

Dans ce cas on applique un ombrage partiel de 50% du surface de GPV avec deux (02) variation d'éclairement.

Les figures III (11-12-13-14) présentent les allures (P_{pv} , V_{pv} , I_{pv} et Erreur E) du GPV aux conditions atmosphériques d'une température constante ($T=25^{\circ}C$) et une variation d'éclairement dans $T=0.2$ s entre ($950 w/m^2 - 800w/m^2$).

On obtenu les courbes ce dessus :

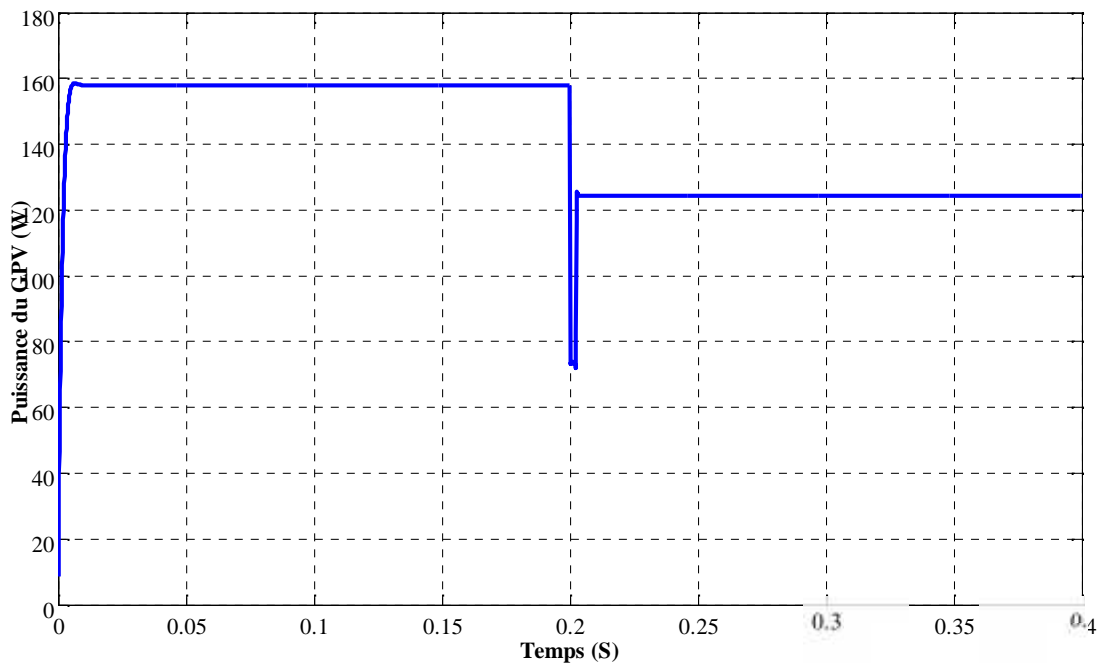


Figure III.11 : Allure de la puissance cas ombrage partiel ($950 w/m^2 - 800w/m^2$)

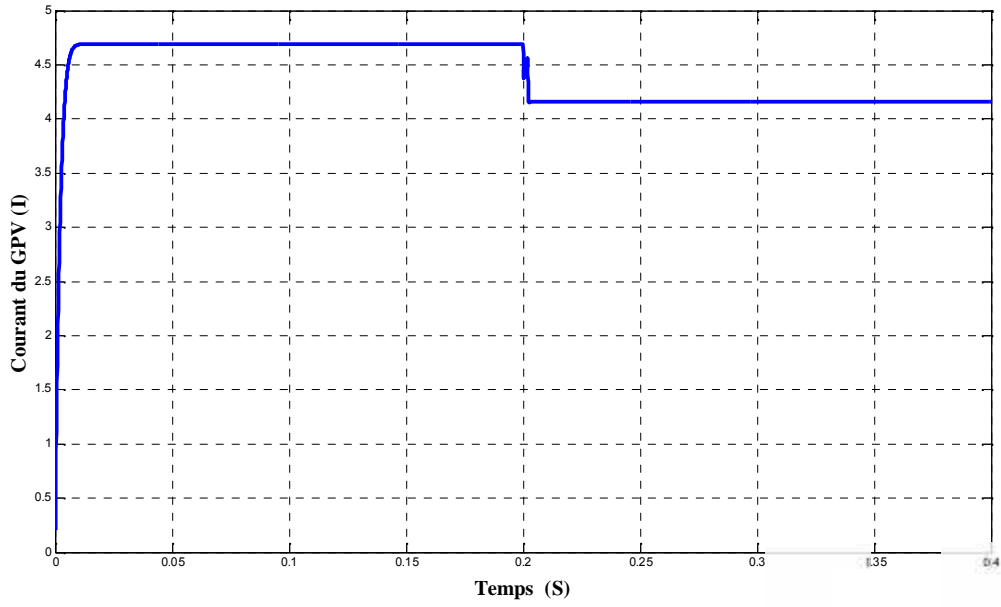


Figure III.12 : Allure du courant GPV cas ombrage partial ($950 w/m^2 - 800w/m^2$)

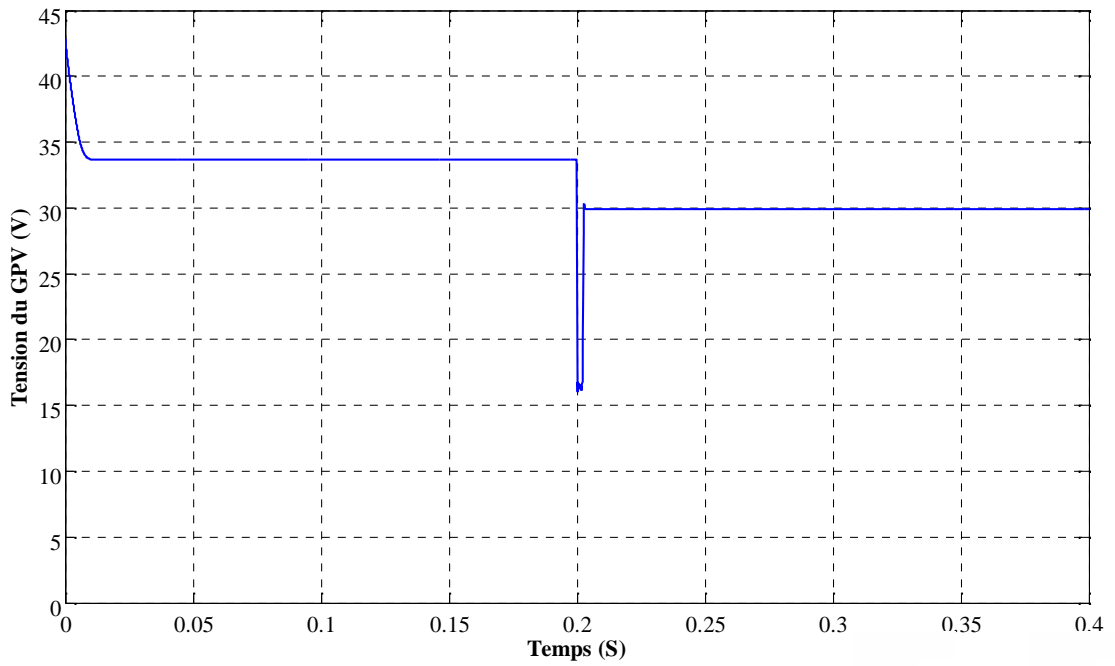


Figure III.13 : Allure de la tension du GPV cas ombrage partial ($950 w/m^2 - 800w/m^2$)

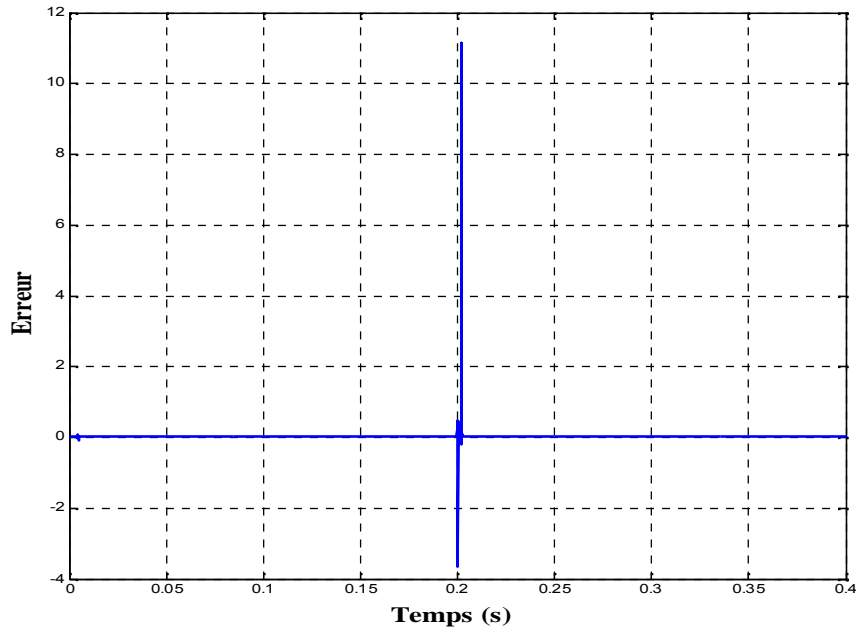


Figure III.14 : L'erreur pour éclairement variant entre ($950 \text{ w/m}^2 - 800 \text{ w/m}^2$)

D'après les figures ci-dessus, on voit que les allures du tension, puissance, courant et erreur de GPV sont divisées en deux parties ; la première partie de $t=0\text{s}$ jusqu'à $t=0.2\text{s}$, on remarque dans cette partie que les grandeurs du GPV atteints à ses valeurs optimale qui correspond à l'éclairement 950 w/m^2 où la puissance du générateur est à sa valeur maximale P_{op} , avec un temps de réponse $t_r=0.014 \text{ s}$; on remarque aussi que les grandeurs V_{op} , I_{op} et P_{op} se stabilisent jusqu'au $t=0.2\text{s}$.

Dans la deuxième partie de simulation ($t=0.2\text{s}$ jusqu'à $t=0.4\text{s}$), on a appliqué un ombrage partiel dans l'instant $t=0.2\text{s}$; on voit que la puissance optimale du générateur photovoltaïque chute brusquement vers le point de puissance locale ($LMPP=75\text{W}$) et après un temps $t=0.005 \text{ s}$ monte jusqu'à le point de puissance globale ($GMPP=123 \text{ W}$) et se stabilise avec aucune oscillation jusqu'à la fin de la simulation.

La figure III.14 qui montre l'erreur de suivi de l'MPPT prouve la technique de commande est fiable puisque dans le démarrage de la simulation on voit que l'erreur une nulle presque et même aussi après la mise d'ombrage partiel se revenir à sa valeur (presque 0).

- **Essai 2 :**

Dans cet essai on a fait un ombrage partiel sur 50% de la surface de GPV mais avec une variation d'éclairement de 950 w/m^2 jusqu'au 700 w/m^2 pour confirmer la fiabilité et la robustesse de la technique proposée.

Les figures III (15-16-17) suivantes par suite représentent les allures de puissance maximale Ppv extraite du panneau photovoltaïque, le courant Ipv généré et la tension optimale correspondante obtenue à partir de (MESC-SMC).

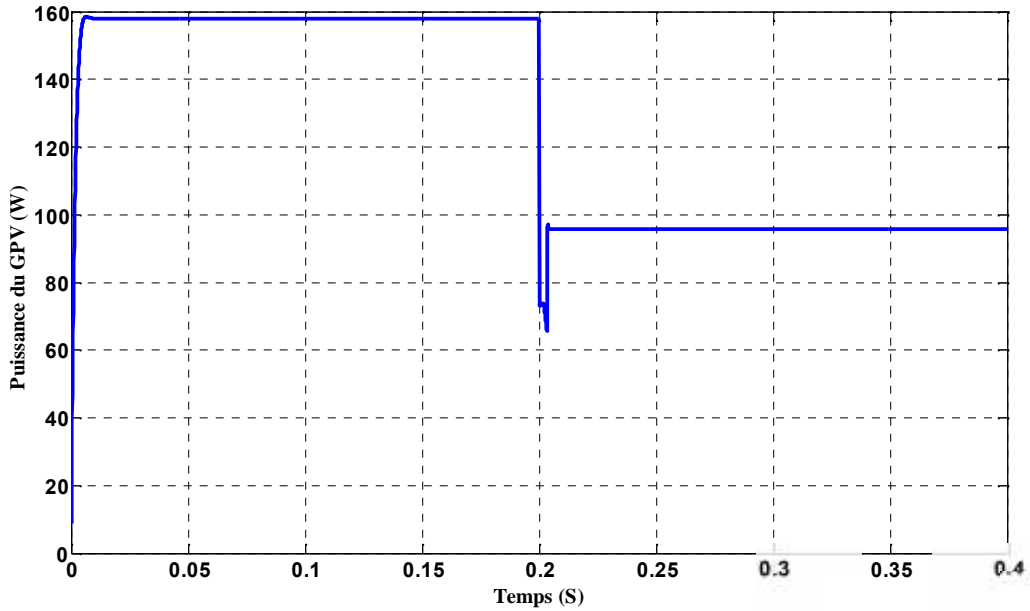


Figure III.15 : Allure de la puissance avec ombrage ($950 \text{ w/m}^2 - 700\text{w/m}^2$)

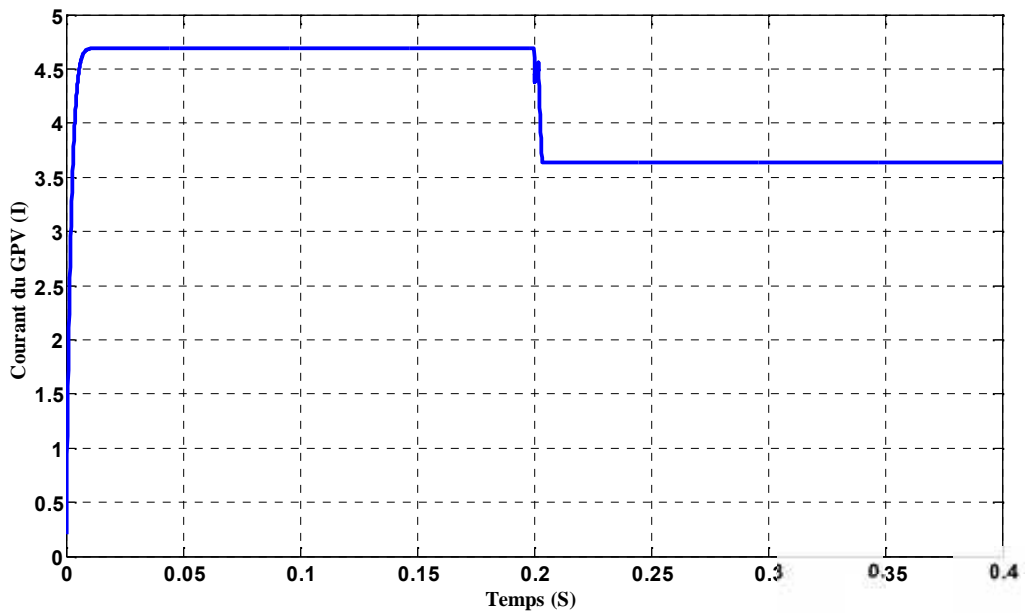


Figure III.16 : Allure du courant de GPV avec ombrage ($950 \text{ w/m}^2 - 700\text{w/m}^2$)

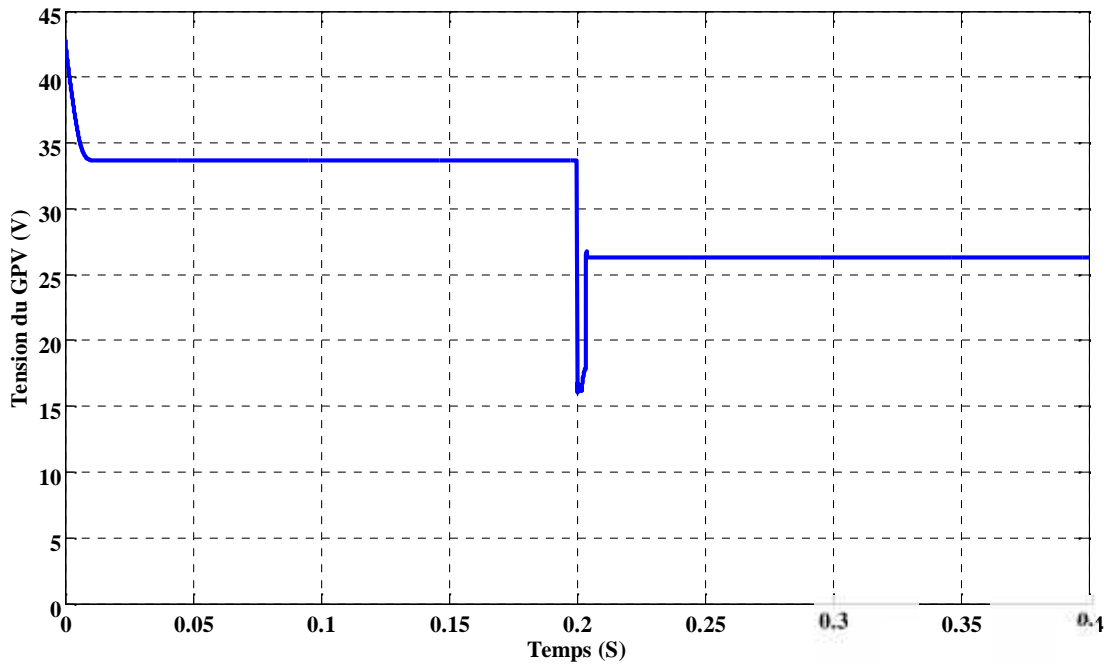


Figure III.17 : Allure de la tension du GPV avec ombrage ($950 \text{ w/m}^2 - 700 \text{ w/m}^2$)

D'après les résultats de simulation montrent dans les trois courbes précédents de la 2^{ème} essai on voit bien que la technique proposé (MESC-SMC) répond rapidement dans un temps $t_r=0.014 \text{ s}$ qui oblige la puissance du GPV tend vers sa valeur maximale et stabilise dans la première partie et après avoir un ombrage dans l'instant $t=0.2 \text{ s}$, la puissance se chute vers la valeur du LMPP=68 W et revenir au GMPP= 98 W rapidement dans un $t_r=0.005 \text{ s}$.

Même on voit dans la figure III.18 que l'erreur de suivi d'MPPT est nulle dans les deux parties ça se preuve la robustesse et la fiabilité de la commande (MESC-SMC).

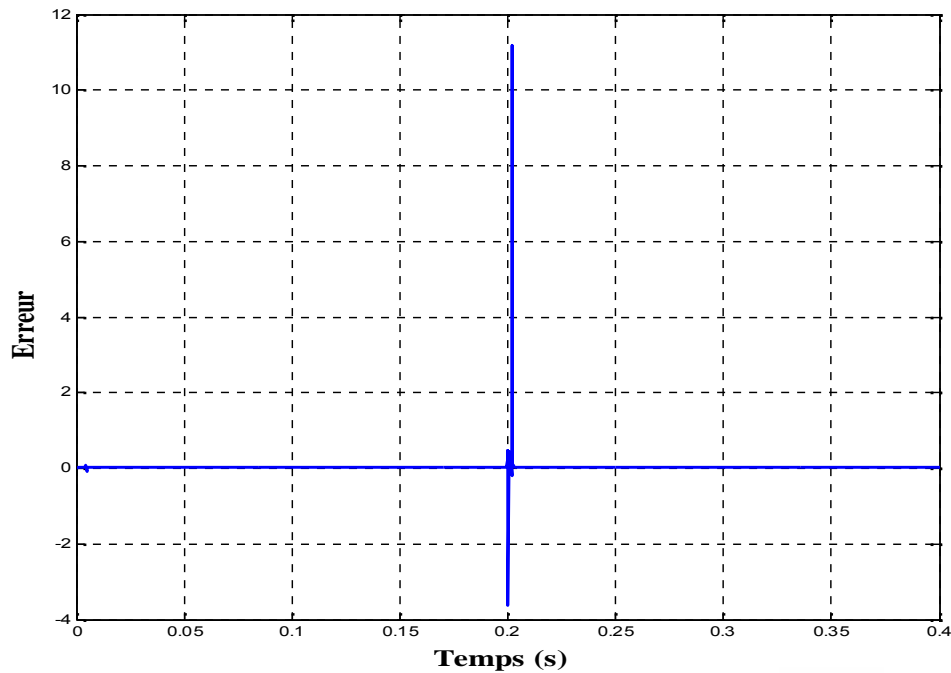


Figure III.18 : L'erreur de GPV avec ombrage ($950 \text{ w/m}^2 - 700 \text{ w/m}^2$)

V. Conclusion :

Nous avons effectué dans ce chapitre la simulation du système photovoltaïque sous différentes conditions de fonctionnement en utilisant l'outil MATLAB/SIMULINK.

Les résultats de simulation du système photovoltaïque adapté par la commande MPPT « MESC-SMC » représentent la tension, le courant et la puissance générées par le générateur photovoltaïque.

Ces résultats montrent que notre commande MPPT « MESC-SMC » donne un bon rendement énergétique avec convergence au point de puissance maximale MPP en cas de l'ombrage,

Donc elle est efficace, robuste et beaucoup plus précise par rapport aux autres méthodes.

Conclusion générale

Pour répondre à la demande d'énergie, la révolution énergétique mondiale consomme beaucoup d'énergie, et la recherche a conduit à l'utilisation de l'énergie solaire (photovoltaïque) comme une source principale d'énergie électrique.

L'utilisation des sources d'énergie renouvelables augmente de façon significative dans le monde. Alors que la demande en énergie électrique augmente. Développés à l'origine pour répondre aux besoins des régions éloignées, désertes et montagneuses, les systèmes photovoltaïques sont aujourd'hui largement utilisés.

Le travail présenté dans ce travail porte sur la modélisation et la simulation du fonctionnement d'un système photovoltaïque (PV) contrôlé par une technique MPPT.

La poursuite de la puissance maximale fournie par le GPV.

Un panneau PV peut avoir des caractéristiques (puissance-tension et courant-tension) et un point de fonctionnement optimal MPP (point de puissance maximale), varié en fonctionnement des conditions climatique (température et éclairage), pour obtenir le meilleur rendement (efficacité et rapidité).

Pour cela on a commencé premièrement dans le chapitre 1 par la présentation des différents algorithmes de commande MPPT d'où nous avons expliqué les stratégies classiques (P&O, INC, HC) puis on a présenté les stratégies nouvelles (FLC, SMC, ESC, ESCM).

Le deuxième chapitre s'est concentré sur l'élaboration de modèle mathématique de système photovoltaïque, on a modélisé la cellule PV, puis étudié les caractéristiques $I(V)$, $P(V)$, en suite nous sommes analysés l'effet de l'ombrage sur le panneau PV. Après cela la modélisation de convertisseur boost DC-DC. Finalement nous avons proposé une technique de commande MPPT c'est (SMC combiné avec ESCM).

Dans le troisième chapitre on a étudié et simulé le système PV et l'algorithme de commande MPPT type (SMC combiné avec ESCM) sous logiciel MATLAB/SUMILINK.

Les résultats de simulation ont été obtenus sous des conditions standards et variables, ont été montrés clairement que notre méthode proposée est rapide est robuste pour suivre de MPP puisque le temps de réponse de au point optimale de la commande MPPT plus petit quelques soient la variation de conditions atmosphérique (l'ensoleillement), et elle ne contient pas des oscillations autour le point de puissance maximale.

Alors d'après les résultats de simulation, l'objectif de cette étude est l'augmentation de la production énergétique d'électricité, on peut dire que la technologie proposée est peut être considérée comme une solution très importante pour le domaine des systèmes photovoltaïques.

Référence

- [1] DR. BELAID LALOUNI SOFIA, COURS ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE, DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE, UNIVERSITE A. MIRA DE BEJAIA, 2014/1015.
- [2] DJELLAL LEILA IMEMNE & DIB YASMINA, ETUDE COMPARATIVE DE DEUX COMMANDES MPPT APPLIQUEES A UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE, 2016 – 2017
- [3] DRIES HANIA, LARBI LYLIA, M’HAND SAID ZOUBIR, SYNTHESE DES METHODES DE COMMANDE MPPT SOUS OMBRAGE TOTAL ET PARTIEL (2019/2020), PROJET DE FIN D’ETUDE- UNIVERSITE A.MIRA-BEJAIA
- [4] H. ABBES , H. ABID , K. LOUKIL , A. TOUMI ET M. ABID -REVUE DES ENERGIES RENOUVELABLES VOL- ETUDE COMPARATIVE DE CINQ ALGORITHMES DE COMMANDE MPPT POUR UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE- 17 N°3 (2014) 435 – 445
- [5] DJAMA CELIA, OUARAB MASSINISSA, IMPLEMENTATION D’UN ALGORITHME MPPT POUR UN GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE SUR MICROCONTROLEUR, MEMOIRE DE FIN DE CYCLE, JUILLET 2014
- [6] M’HAMED SEKOUR AND MOHAMED MANKOUR, A NEW MPPT TECHNIQUE SINUSOIDAL EXTREMUM-SEEKING CONTROL, UNIVERSITY TAHAR MOULAY OF SAIDA, ALGERIA
- [7] ALI M. ELTAMALY, ALMOATAZ Y. ABDELAZIZ EDITORS, MODERN MAXIMUM POWER POINT TRACKING TECHNIQUES FOR PHOTOVOLTAIC ENERGY SYSTEMS,
- [8] NEDJMA AOUCHICHE, CONCEPTION D’UNE COMMANDE MPPT OPTIMALE A BASE D’INTELLIGENCE ARTIFICIELLE D’UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE, AUTRE, UNIVERSITE BOURGOGNE FRANCHE-COMTE, 2020.]
- [9] MOHAMED LASHEENA,B , MAZEN ABDEL-SALAMC, ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT,MAXIMUM POWER POINT TRACKING USING HILL CLIMBING AND ANFIS TECHNIQUES FOR PV APPLICATIONS: A REVIEW AND A NOVEL HYBRID APPROACH,2018
- [10] HANEN ABBES, HAFEDH ABID, KAIS LOUKIL, AHMAD TOUMI, MOHAMED ABID, CONFERENCE INTERNATIONALE DES ENERGIES RENOUVELABLES (CIER’ 13), ETUDE COMPARATIVE DE CINQ ALGORITHMES DE COMMANDE MPPT POUR UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE, ISSN 2356-5608, SOUSSE TUNISIE – 2013

- [11] CLAUDE ROSENAL, HISTOIRE DE LA LOGIQUE FLOUE. UNE APPROCHE SOCIOLOGIQUE DES PRATIQUES DE DEMONSTRATION- REVUE DE SYNTHESE, SPRINGER VERLAG/LAVOISIER, 1998, 4 (4), pp.575-602,
- [12] A BELKAID, CONCEPTION ET IMPLEMENTATION D'UNE COMMANDE MPPT DE HAUTE PERFORMANCE POUR UNE CHAINE DE CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE AUTONOME, THESE DOCTORAT, UNIVERSITE FERHAT ABBAS, SETIF, 2015
- [13] CHEDDADI-FATIMA, BOUMHIDI ISMAIL, SEFRITI SELMA, INTERNATIONAL MEETING ON ADVANCED TECHNOLOGIES IN ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING, COMPARAISON ENTRE LA COMMANDE MPPT PAR MODE GLISSANT ET LA PERTURBATION ET OBSERVATION POUR LES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES.
- [14] RAFAELA DIZARÓ SILVEIRA, GABRIEL PEREIRA DAS NEVES, SÉRGIO AUGUSTO OLIVEIRA DA SILVA, BRUNO AUGUSTO ANGÉLICO-AN ENHANCED MPPT ALGORITHM BASED ON ADAPTIVE EXTREMUM-SEEKING CONTROL APPLIED TO PHOTOVOLTAIC SYSTEMS OPERATING UNDER PARTIAL SHADING-IET RENEWABLE POWER GENERATION-2020/2021
- [15] WALEED NWE SATY, ANTONETA IULIANA BRATCU, AHMAD HABLY- EXTREMUM SEEKING CONTROL TECHNIQUES APPLIED TO PHOTOVOLTAIC SYSTEMS WITH MULTIMODAL POWER CURVES- INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGY RESEARCH AND APPLICATIONS (ICRERA 2013), OCT 2013, MADRID, SPAIN
- [16] OVERALL EXTREMUM SEEKING CONTROL (PAO AND JOHNSON, 2011), WITH LITTLE USE OF A DETAILED MODEL OF THE SYSTEM.
- [17] ARNAUD FLANCLAIR CHOUANI NJOMO, GOD PROMESSE KEN NE, ROSTAND MARK DOUANLA AND LIONEL LEROY SONFACK, A MODIFIED ESC ALGORITHM FOR MPPT APPLIED TO A PHOTOVOLTAIC SYSTEM UNDER VARYING ENVIRONMENTAL CONDITIONS, UNIVERSITÉ DE DSHANG, P.B . 134 BANDJOUN, CAMEROON, 2020.
- [18] O. BEN BELGHITH, L. SBITA, F. BETTAHER, MPPT DESIGN USING PSO TECHNIQUE FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEM CONTROL COMPARING TO FUZZY LOGIC AND P&O CONTROLLERS, ENERGY AND POWER ENGINEERING, 2016, 8, 349-366
- [19] SWARNAV MAJUMDER- JOURNAL OF RESEARCH IN HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCE- DESIGN AND PERFORMANCE OF P&O AND PSO METHODS BASED MPPT ALGORITHMS FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEM VOLUME 8 ~ ISSUE 4 (2020) PP: 52-60 ISSN (ONLINE): 2321-9467-

- [20] PO-CHEN CHENG , BO-REI PENG , YI-HUA LIU , YU-SHAN CHENG AND JIA-WEI HUANG- OPTIMIZATION OF A FUZZY-LOGIC-CONTROL-BASED MPPT ALGORITHM USING THE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION TECHNIQUE - ENERGIES 2015
- [21] M. ABDULKADIR, A. H. M. YATIM, AND S. T. YUSUF, AN IMPROVED PSO-BASED MPPT CONTROL STRATEGY FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS
- [22] RAMDAN B. A. KOAD, AHMED. F. ZOBAA- COMPARISON BETWEEN THE CONVENTIONAL METHODS AND PSO BASED MPPT ALGORITHM FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS.
- [23] HAKOUMI AHMED, BENAMAR ABDELJALIL-COMMANDE MPPT ET CONTROLE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE 3KW PAR LA LOGIQUE FLOUE-MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME : MASTER EN ELECTROTECHNIQUE-UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR
- [24] CESAR G. VILLEGAS-MIER, JUVENAL RODRIGUEZ-RESENDIZ, JOSE M. ÁLVAREZ-ALVARADO, HUGO RODRIGUEZ-RESENDIZ, ANA MARCELA HERRERA-NAVARRO, AND OMAR RODRIGUEZ-ABREO 3, ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN MPPT ALGORITHMS FOR OPTIMISATION OF PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS A: REVIEW
- [25] SABIR MESSALTIA, ABDELGHANI HARRAGA, ABDELHAMID LOUKRIZC, A NEW VARIABLE STEP SIZE NEURAL NETWORKS MPPT CONTROLLER: REVIEW, SIMULATION AND HARDWARE IMPLEMENTATION, RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS.
- [26] http://www.photovoltaique.guidenr.fr/informations_techniques/propriete-electrique-module-photovoltaique/caracteristique-courant-tension-cellule.php
- [27] Abdelaziz Talha- Développement d'une Méthode MPPT pour un Système Photovoltaïque-commande d'un système multi-sources de production d'électricité (photovoltaïque/éolien) avec stockage batteries-Université de Science et Technologie Houari Boumediene-2010
- [28] BENSALÉM Abderrahman- Influence de l'ombrage partiel sur les performances d'un générateur photovoltaïque- Mémoire de projet de fin d'études-Université Ziane Achour-2019
- [29] CHEKKAF Ikram, BOUZIANE Mohammed Amine, Etude et modélisation des hacheurs boost multi-niveaux dédiés aux systèmes photovoltaïques, Mémoire de fin d'étude, ECOLE SUPERIEURE EN SCIENCES APPLIQUEES --T L E M C E N-,2018 /2019
- [30] Hamza SAHRAOUI, Larbi CHRIFI-ALAOUI, Said DRID, Pascal BUSSY, Second Order Sliding Mode Control of DC-DC Converter used in the Photovoltaic System According an Adaptive MPPT,

INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH H. Sahraoui et al., Vol.6, No.2, 2016

[31] G. Notton, V. Lazarov, and L. Stoyanov, "Optimal sizing of a grid-connected PV system for various PV module technologies and inclinations, inverter efficiency characteristics and locations," *Renewable energy*, vol. 35, pp. 541-554, 2010.

[32] MENADI Abdelkrim, *Commande Par Les Techniques Intelligentes D'un Système Photovoltaïque Connecté Au Réseau*, Thèse présentée en vue de l'obtention Du diplôme de Doctorat LMD Spécialité : Génie Electrique Option Estimation et contrôle des systèmes, Soutenue publiquement 2016.

[33] Mr. BELKACEM Mourad, *Etude et optimisation du transfert d'énergie électrique en Conversion photovoltaïque par la recherche du point de puissance maximale (MPPT)*, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID DE TLEMCEN, 2014 - 2015

Résumé

Récemment avec le développement durable, la technologie photovoltaïque a offre potentiels significatifs comme source énergétique renouvelable, en raison de sa demande mondiale croissante, grâce à sa grande nécessité.

Ce travail étudie l'amélioration des performances et la robustesse de système photovoltaïque en utilisant la technologie appropriée.

L'objectif principal est centré sur la proposition d'un algorithme de commande pour suivre le point de puissance maximale générée.

Dans ce travail nous proposons une combinaison de (MESC-SMC) pour trouver le MPP, cet algorithme permettant l'étude problématique des cas de l'ombrage sur les systèmes PV à travers la simulation sous MATLAB/Simulink.

Les mots clés :

MPPT, le point de puissance maximale, système photovoltaïque, MESC-SMC, convertisseur DC-DC.

Abstract

Recently with sustainable development, photovoltaic technology has offered significant potential as a renewable energy source, due to its growing worldwide demand, due to its great need.

This work studies the improvement of performance and robustness of photovoltaic system by using appropriate technology.

The main objective is focused on the proposal of a control algorithm to track the point of maximum generated power.

In this work, we propose a combination of (MESC-SMC) to find the MPP, this algorithm allowing the problematic study of shading cases on PV systems through simulation under MATLAB/SIMULINK.

Keywords:

MPPT, the maximum power point photovoltaic system, MESC-SMC, DC-DC converter.

المخلص

مؤخرا في عصر التنمية عرضت التكنولوجيا الكهروضوئية إمكانيات كبيرة كمصدر طاقي المتزايد عليها عالميا لما لها من أهمية كبيرة.

يدرس هذا تحسين أداء وفعالية النظام الكهروضوئي باستعمال تكنولوجيا الهدف الرئيسي هو اقتراح خوارزمية

في هذا البحث نقترح خوارزمية مدمجة بين (خوارزمية البحث الشديد المطورة وخوارزمية وضع الإنزلاق) بحيث يسمح هذا الدمج بإيجاد نقطة الطاقة ودراسة إشكالية حالات التظليل على مستوى الأنظمة الكهروضوئية من خلال محاكاة تحت ماتلاب/سيميلنك.

الكلمات المفتاحية:

الكهروضوئي

DC-DC , MPP MESC ,SMC