

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique
Université Djilali Bounaama Khemis Miliana



Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Technologie

Mémoire Présenté
Pour l'Obtention de Diplôme

Master

En ÉLECTROTECHNIQUE

Spécialité Électrotechnique Industrielle

Thème

Commande MPPT pour les systèmes
photovoltaïques par les algorithmes
d'optimisations méta-heuristiques

Présenté par
KERRAZ yousra
HAMZA OUI sara

Encadré par
Mr. Ben Youcef Abou Sofiane

Année Universitaire 2022/2023

Dédicace

Avant tous, nous remercions ALLAH de m'avoir donné le courage et la volonté nécessaire à l'élaboration ce modeste travail. Ainsi que les personnes qui ont contribué de près ou de loin qu'ils trouvent ici le témoignage de ma gratitude.

Nous dédions Ce modeste travail à:

Nos très chère mères qui ont toujours sacrifiée pour nous donnons plus soutient possible avec son amour et ses confiance pour être ce que on est la, qu'Allah lui accorde la santé et le Bonheur, durant toute leur vie.

Nos très Cher Père: Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que nous avons toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour nos éducation et bien être Ce travail et le fruit des sacrifices que vous m'avez consentis pour nos éducation et nos formation le long de ces années, qu'Allah lui accorde la santé et le Bonheur, durant toute leur vie

A nos sœur: Raihana et Khadija de nous avoir toujours soutenue et d'avoir toujours cru en nos capacités, tout au long de nos années d'études.

A nos chère frères: Anouar, chokri, ihab, Walid et Rahim.

Remerciement :

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au département électrique de l'université Djilali Bounaama Khemis Miliana-Ain Defla

Nous remercions

Dieu le tout puissant de nous avoir donné la volonté, la santé, et la patience durant toutes ces années, pour accomplir ce travail que nous venions aujourd'hui pour la présentation.

Nous remercions sincèrement

Monsieur: Ben Youcef Abou Sofiane pour leurs aides, sa gentillesse, ses encouragements et ses conseils pendant la période de la réalisation de ce travail.

Nous remercions également tous les membres du jury qui nous ont fait l'honneur en acceptant d'examiner ce travail. Nous remercions tous les enseignants du département génie électrique.

A cette occasion,

Nous remercions également tous ceux qui nous ont soutenus de près ou de loin durant ces dernières années,

Résumé:

En raison d'améliorer la productivité de l'énergie électriques, il est nécessaire de trouver des sources d'énergie renouvelables.

Dance ce mémoire nous avons étudié un système de production à base de l'énergie solaire photovoltaïque. Afin de suivre le meilleur point de puissance maximum nous avons choisi deux méthodes méta-heuristiques l'optimisation par essaim de particule PSO et l'optimisation des loups gris GWO.

Ces deux commandes MPPT ont été adoptées et modélisés dans un environnement de CO-simulation qui combine MATLAB/SIMULINK et PSIM, pour bien étudier l'efficacité de chaque méthode.

Mot clé : PSO, GWO, MPPT, système photovoltaïque

Abstract:

In order to improve the productivity of electrical energy, it is necessary to find renewable energy sources. In this thesis, we studied a photovoltaic solar power generation system. In order to track the best maximum power point, two meta-heuristic methods were chosen: particle swarm optimization (PSO) and gray wolf optimization (GWO). These two MPPT controls were adopted and modeled in a CO-simulation environment combining MATLAB/SIMULINK and PSIM, to study the effectiveness of each method.

Key words: PSO, GWO, MPPT, photovoltaic system

ملخص

نظرا لضرورة تحسين انتاجية الطاقة الكهربائية, من الضروري الحصول على مصادر طاقة متجددة. وقد تطرقنا في هذه المذكرة لدراسة نظام إنتاجي يعتمد على طاقة شمسية كهروضوئية من أجل تتبع أفضل نقطة للطاقة القصوى , اتبعنا طريقتين للتحسين. تحسين بواسطة جمعية الجسيمات PSO وتحسين الذئب الرمادية GWO. تم اعتماد و نمذجة هاتين الخوارزميتين لتتبع نقطة القدرة القصوى في محاكات التشابه المشتركة التي تجمع بين برنامجي MATLAB /SIMULINK و PSIM لدراسة فعالية كل طريقة.

Listes des acronymes et abréviations

PV: Photovoltaïque,

GPV : Générateur Photovoltaïque,

R_s : Résistance série.

R_p : Résistance parallèle.

E_{ph} : Energie de photon,

C : Vitesse de la lumière [m/s],

h : Constante de Planck [$6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s],

λ : Longueur d'onde lumineuse [m],

AM : Nombre de masse d'air,

I_{ph} : Courant fourni par la cellule,

I_{ph} : Le photo-courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température, il est assimilé au courant I_{cc} ,

I_D : Courant circulant dans la diode,

E : L'éclairement absorbé par la cellule,

E : L'éclairement de référence (1000 W/m^2),

I_s : Le courant de saturation inverse de la diode,

G : l'irradiation solaire.

T_{ref} : la température de référence 298 K (25°C).

V_i : tension d'entrée.

V_s : tension de sortie.

CS : convertisseur statique

DC : le rapport cyclique.

V_{ph} : La tension aux bornes de la cellule,

V_T : La potentielle thermodynamique,

k : La constante de Boltzmann ($1,381 \cdot 10^{-19}$ Joules/Kelvin),

Ki : Coefficient de variation du courant (I_{cc}) en fonction de la température ($A=_{K}$).

Tc : La température effective de la cellule en Kelvin,

q : La charge d'un électron ($1,6.10^{-19}C$).

Tc: Température de la cellule en Kelvin,

Icc: Courant de court-circuit,

Vco: Tension de circuit-ouvert,

Pppm : Puissance maximale (V_m, I_m).

PPM : Point de puissance maximale,

MPPT: maximum power point tracking,

GWO: gray wolves optimization.

PSO: Particles Swarm Optimization,

P&O: Perturbe & Observe,

DC-DC : Convertisseur Direct-Current Direct-Current,

STC: Standard Test Conditions ($E=1000W/m^2$ et $T=25^{\circ}C$)

Liste des tableaux:

<i>Tableau 1: Evénements notables dans l’histoire du photovoltaïques [2].....</i>	<i>4</i>
<i>Tableau 2: Rendement des différents types des cellules.</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 3: les résultats de 20 tests</i>	<i>53</i>
<i>Tableau 4: les résultats de 20 tests</i>	<i>56</i>
<i>Tableau 5: les résultats de 20 tests</i>	<i>58</i>
<i>Tableau 6: les résultats de 20 tests</i>	<i>61</i>

Listes des figures:

CHAPITRE01 : Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

Figure I.1: Illustration des deux types d'énergie solaire photovoltaïque et thermique [6].....	5
Figure I.2: Analyse spectrale du rayonnement solaire [3]	6
Figure I.3: Rayonnement solaire globale sur un collecteur photovoltaïque [5].	6
Figure I.4: Schéma d'une jonction PN [9].	7
Figure I.5: Le système photovoltaïque	8
Figure I.6: Cellule monocristalline.....	10
Figure I.7: Cellule poly-cristalline	10
Figure I.8: Cellule amorphe.....	11
Figure I.9: Système photovoltaïque autonome.....	12
Figure I.10: Types des systèmes connectés au réseau	13
Figure I.11: représente le circuit Equivalant d'un model a 5 paramètres	16
Figure I.12: Caractéristique résultante d'un groupement en série de ns cellules identiques .	17
Figure I.13: Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de np cellules identiques	18
Figure I.14: Caractéristique résultante d'un groupement hybride de (np + ns) cellules identiques [16]	18
Figure I.15: Effet de l'ensoleillement sur la caractéristique I-V à T=25°C	19
Figure I.16: Effet de la température sur la caractéristique I-V à un ensoleillement constant 1000 W/m ²	19

CHAPITRE02: La commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

Figure II.1.: Etage d'adaptation entre un GPV et une charge [15]	24
Figure II.2: Le schéma de base du convertisseur survolteur (BOOST CONVERTER).	24
Figure II.3: Le schéma de base du convertisseur dévolteur (BUCK CONVERTER).	25
Figure II.4: Le schéma de base du convertisseur (BUCKBOOST CONVERTER).....	25
Figure II.5: Etage d'adaptation entre un GPV et une charge	26
Figure II.6: Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque	27
Figure II.7: Caractéristique P PV(VPV) d'un panneau solaire [3]	30
Figure II.8: Organigramme de la méthode de perturbation et d'observation [5]	30
Figure II.9: Relation entre PPV ET le rapport cyclique D du convertisseur statique.....	31
Figure II.10: Organigramme de la méthode de hill climbing[3].....	32
Figure II.11: Positionnement du point de fonctionnement suivant le signe de dPPVdVPV sur la caractéristique de puissance [2].	33
Figure II.12: Organigramme de l'algorithme 'INC'	34
Figure II.13: exemple d'un réseau de neurones	35
Figure II.14: Chasse à bulles spirale des baleines à bosse	36

CHAPITRE03: L'optimisation par essaim de particule(PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

<i>Figure III.1: Déplacement d'une particule.</i>	40
<i>Figure III.2: organigramme du PSO.</i>	42
<i>Figure III.3: hiérarchie sociale des loups gris</i>	43
<i>Figure III.4: l'organigramme de l'algorithme GWO [7]</i>	46

CHAPITRE04: Les algorithmes PSO, GWO Simulation et Discussion les résultats

<i>Figure IV.1: La partie électronique de la simulation dans Psim.</i>	50
<i>Figure IV.2:La partie commande de la simulation dans SIMULINK.</i>	50
<i>Figure IV.3: Courbe P-V avec éclairage uniforme de 1000W/m²</i>	51
<i>Figure IV.4: variation de la puissance lors de l'application du PSO.</i>	52
<i>Figure IV.5: variation du rapport cyclique lors de l'application du PSO.</i>	52
<i>Figure IV.6: variation de la puissance lors de l'application du GWO.</i>	53
<i>Figure IV.7: variation du rapport cyclique lors de l'application du GWO.</i>	53
<i>Figure IV.8: Courbe P-V avec des conditions d'ombrage (cas de deux maximums)</i>	54
<i>Figure IV.9: variation de la puissance lors de l'application du PSO.</i>	54
<i>Figure IV.10: variation du rapport cyclique lors de l'application du PSO.</i>	55
<i>Figure IV.11: variation de la puissance lors de l'application du GWO.</i>	55
<i>Figure IV.12: variation du rapport cyclique lors de l'application du GWO.</i>	56
<i>Figure IV.13: Courbe P-V avec des conditions d'ombrage (cas de trois maximums)</i>	56
<i>Figure IV.14: variation de la puissance lors de l'application du PSO.</i>	57
<i>Figure IV.15: variation du rapport cyclique lors de l'application du PSO.</i>	57
<i>Figure IV.16: variation de la puissance lors de l'application du GWO.</i>	58
<i>Figure IV.17: variation du rapport cyclique lors de l'application du GWO.</i>	58
<i>Figure IV.18: Courbe P-V avec des conditions d'ombrage (cas de trois maximums proche)</i>	59
<i>Figure IV.19: variation de la puissance lors de l'application du PSO.</i>	59
<i>Figure IV.20: variation du rapport cyclique lors de l'application du PSO.</i>	60
<i>Figure IV.21: variation de la puissance lors de l'application du GWO.</i>	60
<i>Figure IV.22: variation du rapport cyclique lors de l'application du GWO.</i>	61
<i>Figure IV.23: variation de la puissance lors de l'application du GWO.</i>	62
<i>Figure IV.24: variation du rapport cyclique lors de l'application du GWO.</i>	62
<i>Figure IV.25: variation de la puissance lors de l'application du PSO.</i>	63
<i>Figure IV.26: variation du rapport cyclique lors de l'application du PSO.</i>	63

SOMMAIRE :

Dédicace.....	II
Remerciement :.....	III
Résumé:.....	IV
Listes des acronymes et abréviations	V
Liste des tableaux:.....	VII
Listes des figures:.....	VIII
Introduction générale :.....	1
Chapitre01.....	2
Etat de l'art sur les systèmes photovoltaïques.....	2
I.Introduction:.....	3
II.Historique.....	3
1.Dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :.....	3
III.Energie solaires:.....	4
1.Ressources solaires:	5
IV.Normalisation.....	6
V.Les cellules Photovoltaïques:	7
I.Définition:.....	7
2. Effet photovoltaïque :.....	7
3. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	7
VI.Les systèmes photovoltaïques :.....	8
1. Production d'énergie:.....	8
2 Contrôle de l'énergie	8
3 L'utilisation de l'énergie.....	8
VII.Générateur photovoltaïque (GPV) :.....	9
1/Définition :.....	9
2/Modélisation du générateur photovoltaïque :	9
3/l'effet de l'ombrage :	9
VIII.Composant et système existant :	9
1.Les types de cellules :	9
1.1.1. Silicium Monocristallin.....	9
1.1.2 Silicium Polycristallin	10
1.1.3 Silicium Amorphe	11
2 .Types des systèmes existants.....	12

2.1 Systèmes autonome	12
2.2 Systèmes connectés au réseau	12
IX.Stockage.....	13
X.Les Paramètres des cellules photovoltaïques	15
1.Courant de court-circuit (I_{sc}) :.....	15
2.Tension en circuit ouvert (V_{oc}) :.....	15
3.Courant de puissance maximale (I_{mp}) :	15
4.Tension de puissance maximale (V_{mp}) :.....	15
5.Rendement de conversion (η) :	15
XI.Modèle a 5 paramètres d'une cellule PV	16
1.Association en série	17
2.Association en parallèle	18
3.Association hybride (en série et en parallèle) :.....	18
XII.Influence de l'éclairement et la température sur les courbes $I = f(V)$ et $P = f(V)$	19
XIII.Protection du générateur PV:.....	20
□ La protection par diodes by-pass (ou parallèles) :.....	20
□ La protection par diodes série (ou anti-retour):.....	20
XIV.Avantages et inconvénients d'une installation PV	20
a.Avantage:.....	20
b.Inconvénient:.....	20
XV.Conclusion:.....	21
Chapitre02 :La commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale	22
I.Introduction.....	23
II.Etage d'adaptation entre un Générateur PV et une Charge	23
III.Les convertisseurs DC/DC.....	24
1.Convertisseur Buck.....	24
2.Convertisseur boost.....	24
3.Convertisseur buckboost.....	25
IV.Étage adaptation de Type BOOST:.....	25
V.Principe de la commande MPPT	26
VI.Application du convertisseur DC dans le système PV	27
VII.Aperçu du problème :.....	27
VIII.Classification Des Commandes MPPT	28

1.Classification Des Commandes MPPT Selon Les Paramètres D'entrée.	28
A)Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS.....	28
B)Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur	28
2.Classification Des Commandes MPPT Selon Le Type De Recherche.....	28
A)MPPT Indirect	28
B)MPPT Direct.....	29
IX.Algorithmes classiques de la commande MPPT	29
1.Algorithme Perturber et observer, « P&O »	29
2.Algorithme « Hill Climbing ».....	31
3.Algorithme "incrément de conductance" (IncCond)	32
X.Les méthodes Modernes (méthodes de recherche globale) :.....	34
1.Méthode à base de réseaux de neurones artificiels :.....	34
2.Algorithme d'Optimisation de Baleine (WOA) :	36
XI.Techniques de la commande PWM	36
1.Principe de la commande PWM :	37
XII.Conclusion :.....	37
Chapitre03 :L'optimisation par essaim de particule(PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO).....	38
I.Introduction :.....	39
II.Les méthodes choisies.....	39
1.L'optimisation de l'essaim de particules PSO :.....	39
a)Définition de la méthode PSO :.....	39
b)Formalisation.....	40
c)Parameters du PSO :	40
d)Organigramme de PSO :	42
2.Optimisation des loups gris GWO :	43
a)Inspiration de GWO	43
b)Encerclant les proies	43
c)Chasser	44
d)Procédure GWO	45
Conclusion :.....	47
Chapitre04 :Les algorithmes PSO, GWO Simulation et Discussion les résultats.....	48
I.Introduction :.....	49
II.Présentation du logiciel :.....	49

1.Matlab/Simulink :.....	49
2.Psim :.....	49
III.Résultats de simulation.....	50
IV.Applications de l’algorithme PSO et GWO dans la Commande MPPT :.....	50
1)Eclairement 1000W/m ² (dans les trois modules) :	51
2)Dans les conditions d’ombrage :	54
A.Cas de deux (02) maximums :	54
B.Cas de trois (03) maximums :	56
C.Cas de trois(03) maximums proche:	59
V.Discussion des résultats :.....	63
VI.Conclusion :.....	64
Conclusion générale :.....	65
Annex:.....	66
Caractéristiques du module PV :	66
Bibliographiques:.....	67

Introduction générale :

Dans nos jours les énergies renouvelables jouent un rôle important dans la production de l'électricité et regroupent un certain nombre de filières technologiques (éolienne, solaire.....) dans ce mémoire nous allons travailler sur l'énergie solaire photovoltaïque.

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation du rayonnement solaire en énergie électrique par un équipement bien déterminé contient des cellules photovoltaïques, L'associations de plusieurs cellules photovoltaïques en séries ou bien en parallèles donnent un générateur photovoltaïques(GPV) qui contient une caractéristiques tension-courant non linéaire présentant le point de puissance maximale.

Le problème majeure du système PV est l'effet de l'ombrage sur ces caractéristiques, et cela va minimiser dans l'efficacité de la production de l'énergie électrique.

Dans ce mémoire nous allons étudies l'efficacité des techniques de recherche global (développés) pour trouver le point de puissance maximale dans des conditions d'irradiation non uniforme.

Ce mémoire est organisé en quatre (04) chapitres :

Dans le premier(01) chapitre : nous s'intéressent sur les systèmes photovoltaïques en générale, l'effet PV, cellules PV et ces caractéristiques et nous avons donné une modélisation d'un model a cinq paramètres.

Le deuxième chapitre représente la commande MPPT est ces techniques classique (P&O, INC) et deux technique plus développés, la recherche par des réseaux de neurones et WOA.

Nous avons parlés aussi sur les convertisseurs DC/DC qui jouent un rôle très important dans la convention d'énergie pour qu'elle soit adaptative pour la charge utilisé.

Dans le troisième chapitre nous avons précisé deux méthodes méta-heuristiques, l'optimisation par essaim particulaires PSO et l'optimisation par des loups gris GWO que nous allons l'étudies et les simules dans le chapitre suivant.

Le quatrième chapitre représente le circuit du générateur photovoltaïque et la charge dans une Co-simulation entre PSIM (représente la partie électrique) et MATLAB/SIMULINK (représente la partie commande).

Cette simulation est réalisée pour faire une comparaison entre le PSO et le GWO et l'influence des deux algorithmes sur le système.

Chapitre01

**Etat de l'art sur les systèmes
photovoltaïques**

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

I. Introduction:

Actuellement, la production de l'énergie domestique et dans l'industrie est basée, en grande partie, sur une ressource limitée: le pétrole. Les sources du pétrole deviennent de plus en plus rares, pendant que les demandes énergétiques du monde s'élèvent continuellement. Il est estimé que les réserves mondiales seront épuisées vers 2030 si la consommation n'est pas radicalement modifiée, et au maximum vers 2100 si des efforts sont produits sur la production et la consommation. Etant donné que cette forme d'énergie couvre une grosse partie de la production énergétique actuelle, il s'avère nécessaire de trouver une autre solution pour prendre le relais, la contrainte imposée est d'utiliser une source d'énergie économique et peu polluante car la protection de l'environnement est devenue un point important.

La recherche des ressources d'énergie alternatives est devenue donc une question cruciale de nos jours. Beaucoup de recherches scientifiques ont été menées, non seulement, dans le domaine de la production d'énergie nucléaire, mais également dans le secteur des sources d'énergie illimitées, telles que la production d'électricité par le vent et la transformation d'énergie solaire. Dans ce dernier cas, la conception, l'optimisation et la réalisation des systèmes photovoltaïques sont des problèmes d'actualité puisqu'ils conduisent sûrement à une meilleure exploitation de l'énergie solaire. Pour une installation photovoltaïque, la variation de 50 % de l'éclairement ou de la charge induit une dégradation de la puissance fournie par le générateur PV de l'ordre de 50 %; en plus le générateur PV ne fonctionne plus dans les conditions optimums.

Ces systèmes photovoltaïques générateurs d'électricité peuvent être exploités dans différents lieux: électrification des sites isolés, installation dans les bâtiments ou raccordement direct au réseau d'électricité [1].

II. Historique

Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis 40 ans. Les applications ont commencé avec le programme spatial pour la transmission radio des satellites. Elles se sont poursuivies par des balises en mer et l'équipement des sites isolés dans tous les pays du monde, en utilisant les batteries pour stocker l'énergie électrique pendant les heures hors soleil [4].

1. Dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :

Dates	Evénements
1893	le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.
1875	Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.
1954	trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

	naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.
1958	Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
1973	la première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.
1983	la première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie.
1985	Les cellules à base de Si donnent un rendement > 20% sous le rayonnement solaire.
1994	Des rendements > 30 % avec des cellules à concentration multi jonctions à base de GaInP/GaAs (NREL, USA).
1996	Les cellules solaires hybrides à colorants atteignent un rendement de 11% (EPFL, Switzerland).
1998	Cellules couches minces Cu(InGa) Se ₂ atteignent un rendement de 19% (NREL, US).
2002	Le photovoltaïque installé mondial cumulatif atteint 2000 MW.
2007	Cellules solaires organiques en structure tandem avec un rendement de 6,5 % (UCSB, USA).
2008	Un rendement homologué de 5,9% sur une surface active de 2 cm ² obtenu par Heliatek, BASF et l'Institut de photovoltaïque appliquée (IAPP) de l'Université technique de Dresde (Allemagne).
2009	Cellule polymère simple jonction avec un rendement de 6,1 % à base de PCDTBT et PC70BM (UCSB, USA)Cellule polymère simple jonction avec un rendement de 7,4 % à base de PBDTTT-CF et PC70BM (Solarmer Energy Inc., University of California, University of Chicago, USA).

Tableau 1: Evénements notables dans l'histoire du photovoltaïques [2]

III. Energie solaires:

L'énergie solaire est la source d'énergie la plus abondante sur terre. C'est la source de la plupart des énergies renouvelables, mais elle se dégrade beaucoup. Le rayonnement solaire peut être utilisé pour produire de l'électricité directement à l'aide de semi-conducteurs photovoltaïques, Ou l'énergie solaire thermique pour le chauffage ou la production d'électricité. L'énergie solaire a un potentiel considérable en tant qu'alternative aux autres sources d'énergie. En fait, la terre reçoit chaque année plus de 3 000 heures d'ensoleillement à haute intensité. Avec une optimisation de l'angle de réception, la moyenne journalière annuelle est de 5 à 7 kWh/m²/jour. L'Algérie bénéficie d'environ 3200 heures d'ensoleillement par an et bénéficie de conditions climatiques favorables à l'application de la technologie solaire [7][8].

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

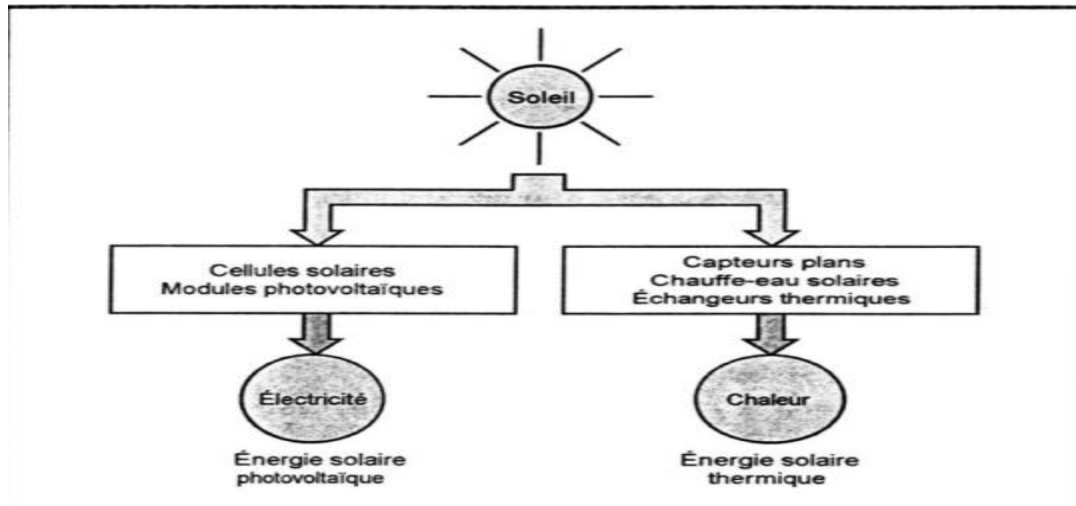


Figure I.1: Illustration des deux types d'énergie solaire photovoltaïque et thermique [6]

1. Ressources solaires:

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique avec des longueurs d'onde allant de 0,22 à 10 micromètres (μm). La figure I.2 montre les changements dans la distribution spectrale d'énergie. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi:

- 9% dans la bande des ultraviolets ($0,4 \mu\text{m}$).
- 47% dans la bande visible ($0,4$ à $0,8 \mu\text{m}$),
- 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$).

La puissance moyenne reçue par l'atmosphère terrestre de ce rayonnement est de 1,37 kilowatt par mètre carré (kW/m^2), plus ou moins 3 %, selon que la Terre s'éloigne ou se rapproche du Soleil sur son orbite. Cependant, l'atmosphère en absorbe une partie, de sorte que l'énergie atteignant la surface de la Terre dépasse rarement $1,2 \text{ kW}/\text{m}^2$ ($1200 \text{ W}/\text{m}^2$). La rotation et l'inclinaison de la Terre font également varier la quantité d'énergie disponible en un point donné en fonction de la latitude, de l'heure et de la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques provoquent des variations horaires et journalières, tantôt augmentant, tantôt diminuant et diffusant le rayonnement solaire [3].

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

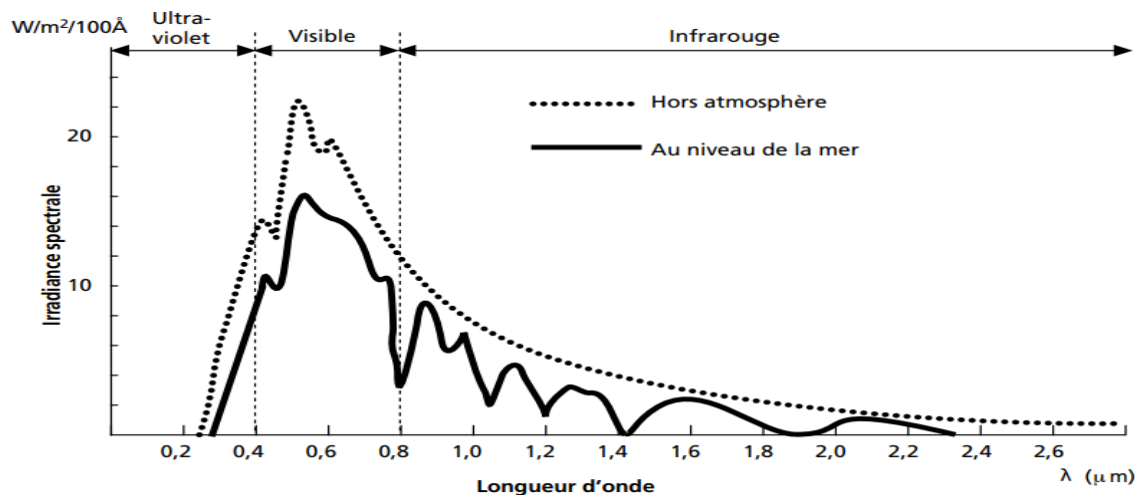


Figure I.2: Analyse spectrale du rayonnement solaire [3]

L'utilisation du rayonnement solaire comme source d'énergie pose donc un problème bien particulier. En effet, le rayonnement solaire n'est pas toujours disponible; en outre, on ne peut l'emmagasiner ni le transporter. Le concepteur d'un système qui emploie le rayonnement solaire comme source d'énergie doit donc déterminer la quantité d'énergie solaire disponible à l'endroit visé et le moment où cette énergie est disponible.

IV. Normalisation

Les conditions standards de qualification des panneaux photovoltaïques sont :

- Un spectre AM 2;
- Un éclairement de 1000 W/m^2 ;
- Une température de 25°C [4].

Les conditions standard de caractérisation sont définies par la norme IEC-609004 de International Electrotechnique commission (IEC) selon une distribution spectrale AM2 globale (la somme des rayonnements directs et diffus), d'intensité 100 mW/cm^2 [5].

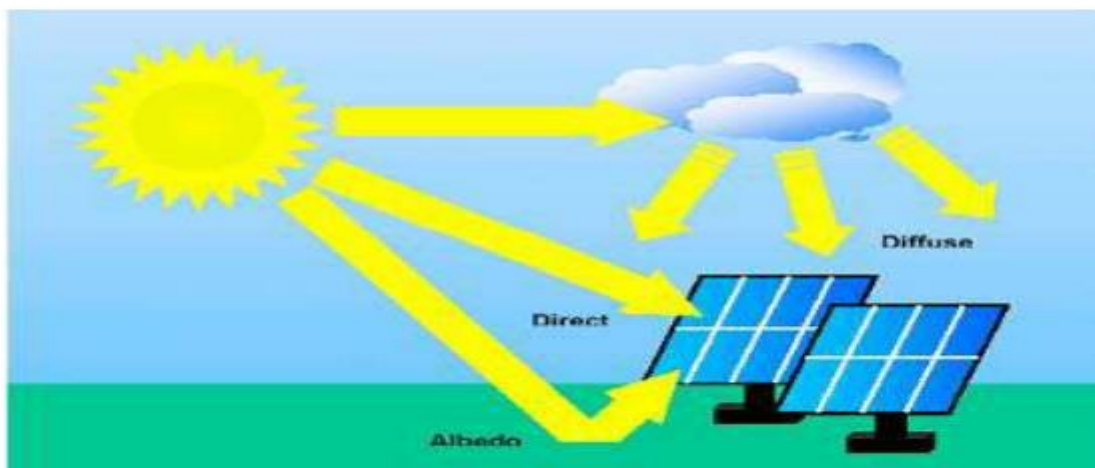


Figure I.3: Rayonnement solaire globale sur un collecteur photovoltaïque [5].

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

V. Les cellules Photovoltaïques:

I. Définition:

Le photovoltaïque est la technologie qui génère de la puissance électrique en courant continu (CC) mesurée en watts (W) ou en kilowatts (kW) à partir de semi-conducteurs lorsqu'ils sont allumés par photons. Tant que la lumière brille sur la cellule solaire (le nom de l'individu Élément PV), il génère de l'énergie électrique. Lorsque la lumière s'arrête, l'électricité s'arrête [21].

2. Effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique, qui convertit la lumière (photons) en électricité grâce à l'utilisation d'un matériau semi-conducteur. Ce dernier possède des propriétés électroniques particulières. Pour constituer une cellule photovoltaïque il faut, à partir de ce matériau, constituer d'une jonction avec une couche supérieure présentant un excès d'électrons (zone dopée n) et une couche inférieure comportant un déficit d'électrons (zone dopée p) ou inversement. L'exposition du semi-conducteur au rayonnement solaire, va créer un excès de charges électriques dans les deux couches, et la mise en contact de deux matériaux de propriété électronique différente, va provoquer un champ électrique [9].

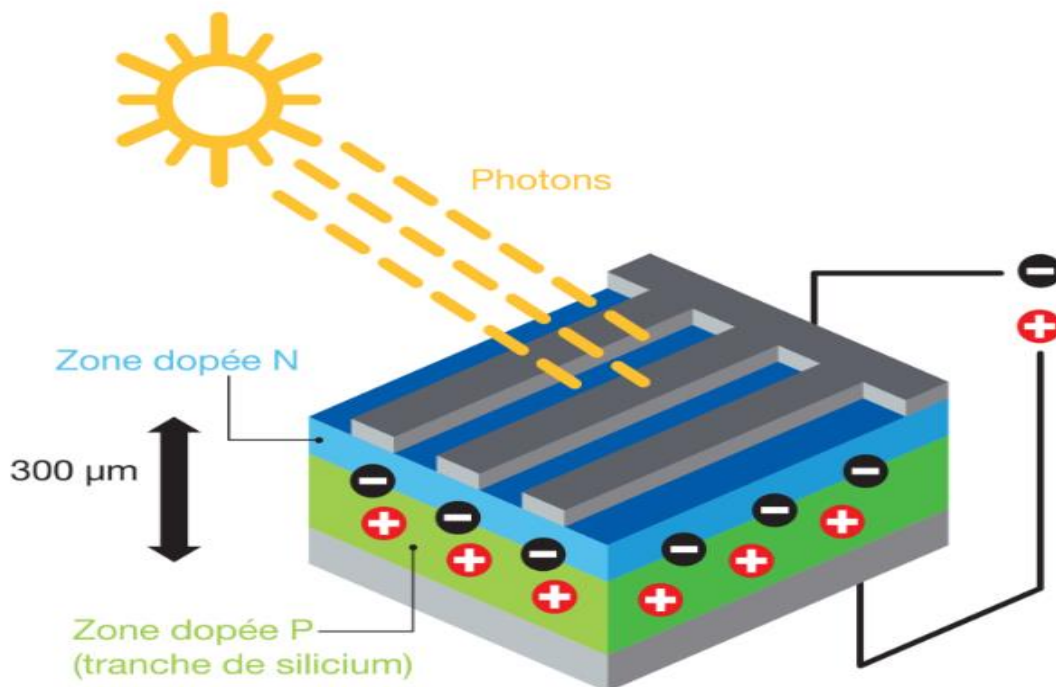


Figure I.4: Schéma d'une jonction PN [9].

3. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

On peut représenter une cellule photovoltaïque, comme une diode plate sensible à la lumière, quand un photon de lumière d'énergie suffisante, heurte un atome sur la partie négative de cette diode, elle excite un électron et l'arrache de sa structure moléculaire, créant ainsi un électron libre sur cette partie. Une photopile est fabriquée de manière à ce que cet électron libre, ne puisse se recombiner facilement avec un atome à charge positive, avant qu'il n'ait accompli un travail utile en passant dans un circuit extérieur. Comme une pile chimique, la cellule photovoltaïque produira de l'électricité à courant continu, mais son énergie produite sera principalement en fonction de la lumière reçue par la photopile [3].

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

VI. Les systèmes photovoltaïques:

Tout système photovoltaïque peut se décomposer en trois parties : une partie production d'énergie, une partie contrôle de cette énergie et une partie utilisation de l'énergie produite. L'analyse précise de chacune de ces fonctions doit être approfondie afin de construire un système fiable techniquement.

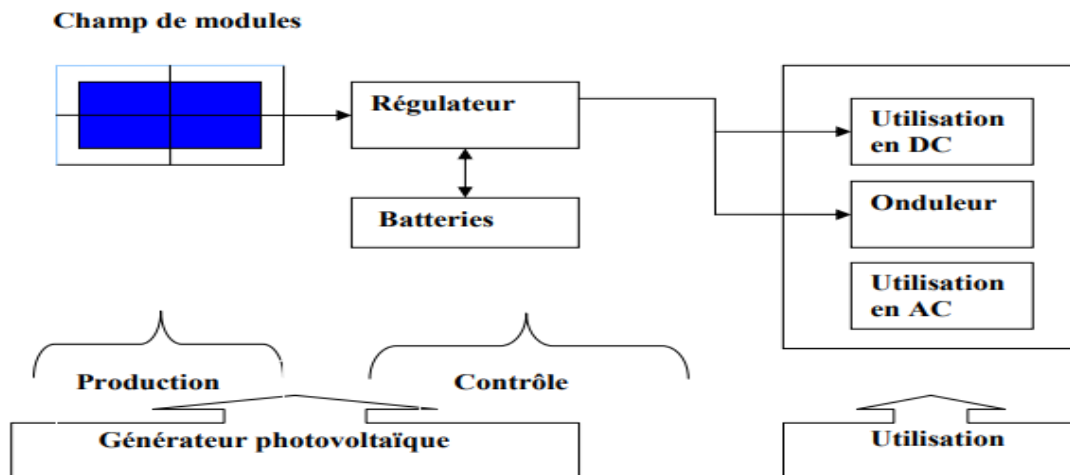


Figure I.5: Le système photovoltaïque

1. Production d'énergie:

Cette partie est essentiellement composée d'un ou plusieurs modules Photovoltaïques. Ces modules formés d'un assemblage des cellules photovoltaïques réalisent la conversion de l'énergie solaire en électricité. Un module photovoltaïque se comporte comme un générateur de courant continu (DC), lorsqu'il est branché sur une batterie de (12V), celle-ci lui imposera sa tension.

2 Contrôle de l'énergie

L'énergie électrique que fournissent ces modules dépend entre autres, de l'ensoleillement et de leur position par rapport au soleil. D'où une irrégularité dans la production d'énergie qui peut ne pas être compatible avec les besoins énergétiques, généralement plus constants. Il est donc souvent nécessaire de contrôler l'approvisionnement en électricité à l'aide d'un système de stockage de l'énergie, avec ou sans régulation.

3 L'utilisation de l'énergie

Cette partie se compose essentiellement d'un ou plusieurs récepteurs: ce sont les différents matériels qui utilisent l'énergie électrique produite et contrôlée (éclairage, pompe). Il est aussi parfois nécessaire de modifier la nature du courant pour certaines applications (conversion du courant continu en courant alternatif au moyen d'un onduleur). On appelle générateur photovoltaïque l'ensemble des deux premières parties, c'est-à-dire les modules couplés aux éléments de contrôle. On appelle système photovoltaïque l'assemblage d'un générateur photovoltaïque à un ou plusieurs récepteurs. Ce découpage en trois parties permet de bien identifier les différents composants des systèmes photovoltaïques et de bien

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

comprendre la logique « production consommation » très particulière à l'utilisation du photovoltaïque [10].

VII. Générateur photovoltaïque (GPV) :

1/Définition :

Un générateur PV (Photovoltaïque) est un système qui convertit directement l'énergie lumineuse du soleil en électricité en utilisant des cellules solaires. Cependant, de manière générale, un générateur PV est composé de plusieurs panneaux solaires interconnectés, qui sont installés sur un support structurel et orientés de manière à recevoir un maximum de rayonnement solaire[23].

2/Modélisation du générateur photovoltaïque :

Les cellules solaires sont généralement associées en série et en parallèle, puis encapsulées sous verre pour obtenir un module photovoltaïque. Un générateur PV est constitué de modules interconnectés pour former une unité produisant une puissance continue élevée compatible avec le matériel électrique usuel. Les modules PV sont habituellement branchés en série-parallèle pour augmenter la tension et l'intensité à la sortie du générateur. Les modules interconnectés sont montés sur des supports métalliques et inclinés suivant l'angle désiré en fonction du lieu, cet ensemble est souvent désigné par champ de modules [25].

3/l'effet de l'ombrage :

Le problème majeur de mise en série est l'ombrage partiel, lorsque l'un des panneaux se retrouve à l'ombre, cette partie sous-irradiée du module peut se trouver polarisée en inverse et devenir réceptrice. Cet échauffement local peut donner lieu à des « points chauds » (hot spot en anglais) elle va s'échauffer ceci provoque l'augmentation de la tension avec un blocage de la circulation du courant produit par les autres modules et risque de se détruire. Ce phénomène est appelé le "Hot spot". Pour éviter ce problème et protéger les cellules, on place des diodes en série appelé diode «by-pass» de façon à court-circuiter les cellules ombrées [24].

VIII. Composant et système existant :

1. Les types de cellules :

Il existe différents types de cellules photovoltaïques, et chaque type possède un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible : de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent. Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle [11] :

1.1.1. Silicium Monocristallin

La cellule de silicium monocristallin est historiquement la plus largement utilisée et commercialisée. La fabrication de cellules de silicium commence avec l'extraction du cristal de dioxyde de silicium. Ce matériel est désoxydé dans de grands fours, purifié et solidifié. Ce processus a atteint une pureté de 98 et 99% ce qui permet un rendement énergétique fort (en

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

effet, plus le revêtement de la cellule est pur, plus l'effet photovoltaïque est facilité). Le silicium est alors fusionné avec une petite quantité de dopant, normalement le bore qui est de type P puis coupé en fines tranches d'environ 300 μm . Après la coupe et le nettoyage des impuretés des tranches, des impuretés de type N sont introduites via un processus de diffusion contrôlée : les tranches de silicium sont exposées à des vapeurs de phosphore dans un four où la température varie de 800 à 1000 $^{\circ}\text{C}$. Parmi les cellules photovoltaïques utilisant le silicium comme matériau de base, les monocristallins sont, en général, celles qui ont les meilleures performances. Ainsi, les cellules solaires commerciales obtenues avec le procédé décrit peuvent atteindre un rendement de 15 à 18%.

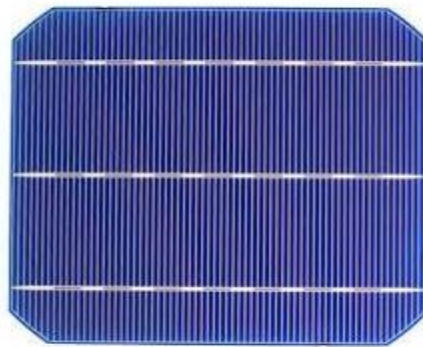


Figure I.6: Cellule monocristalline.

1.1.2 Silicium Polycristallin

Les cellules en silicium poly cristallin sont moins coûteuses que celles en silicium monocristallin car les processus de préparation des cellules sont moins stricts. Leur efficacité est cependant plus faible. Le processus de production est semblable à celui présenté précédemment dans le cas de la Leur intérêt réside dans la multiplicité des formes sous laquelle le revêtement peut se présenter : lingots à découper, ruban ou fil à déposer, Chaque technique permet de produire des cristaux ayant des caractéristiques spécifiques, y compris la taille, la morphologie et la concentration des impuretés. Fabrication de cellule en silicium mais avec un contrôle moins rigoureux. Il en résulte que les cellules obtenues sont moins coûteuses mais aussi moins efficace.



Figure I.7: Cellule poly-cristalline

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

1.1.3 Silicium Amorphe

Les cellules de silicium amorphe diffèrent des cellules présentées précédemment puisque leur structure présente un haut degré de désordre dans la structure des atomes. L'utilisation de silicium amorphe pour les cellules solaires a montré de grands avantages à la fois au niveau des propriétés électriques et le processus de fabrication (processus simple, faiblement consommateur d'énergie, peu coûteux, possibilité de produire des cellules avec grands secteurs). Mais, même avec un coût réduit pour la production, l'utilisation du silicium amorphe a deux inconvénients: le premier est le rendement de conversion faible par rapport aux cellules de mono et polycristallin de silicium. Le deuxième est le fait que les cellules sont affectées par un processus de dégradation dans les premiers mois d'opération, réduisant ainsi leur durabilité. En 1993, la production de cellules photovoltaïques a atteint un sommet à 60 MWp, et le silicium demeure le matériau le plus utilisé. Toutefois, la recherche de matériaux alternatifs est intense et concentrée dans le domaine des films minces, comme le silicium amorphe. La technologie des cellules de films minces n'est pas encore maîtrisée mais pourrait s'avérer intéressante car elle utilise moins de matériau que ceux en structure cristalline et elle nécessite moins d'énergie dans le processus de fabrication.



Figure I.8: Cellule amorphe

Le tableau suivant présente les différents types de cellules avec leurs rendements [11] :

Technologie de cellules	Rendement en Laboratoire	Rendement en production
Silicium Monocristallin	24,7%	13 à 17%
Silicium Polycristallin	19,8%	11 à 15%
Silicium Amorphe	13%	5-9%

Tableau 2: Rendement des différents types des cellules.

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

2.Types des systèmes existants

2.1 Systèmes autonome

Un système photovoltaïque peut fonctionner hors du réseau d'électricité conventionnelle (Offerte par SONELGAS). C'est un système autonome qui exige l'utilisation de batteries pour le stockage d'énergie [10].

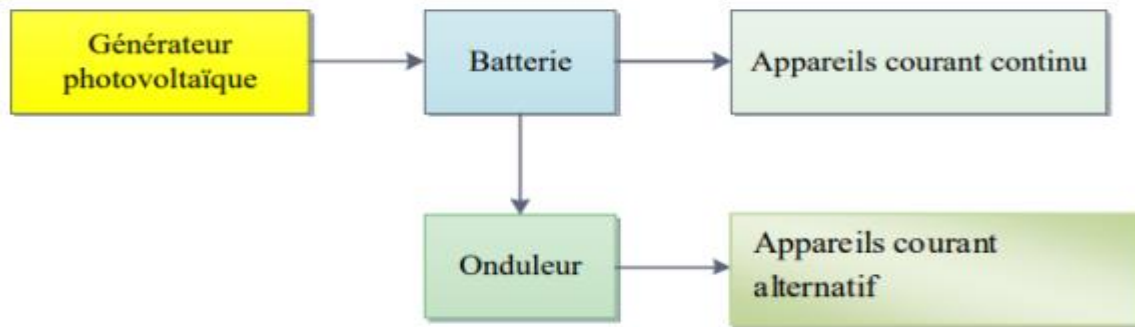


Figure I.9: Système photovoltaïque autonome

2.2 Systèmes connectés au réseau

Les systèmes connectés au réseau sont aujourd'hui prisent sérieusement pour compléter la génération conventionnelle d'énergie dans plusieurs pays industrialisés.

Il y a certainement plusieurs projets de démonstrations connectés aux réseaux qui étudient cette possibilité. Bien qu'ils sont devenus viables dans le développement économique, la participation des Photovoltaïques dans la génération d'énergie de grande échelle est augmentée à cause des effets environnementaux défavorables des sources conventionnelles d'énergie. Les installations photovoltaïques peuvent être raccordées au réseau, ce qui représente une économie importante en investissement et en fonctionnement. Elles utilisent le réseau comme un stock, et transforment la totalité de l'électricité produite en courant alternatif de 220 V ou 380V, ainsi que le photovoltaïque est la seule filière qui peut être installée n'importe où. On distinct deux types d'installations connectées au réseau.

- Installation centralisée : génération de la puissance Photovoltaïque à grand – échelle centralisée dans les stations de puissance Photovoltaïque.
- Installation décentralisée : forme alternative de génération de puissance distribuée dans les unités situées directement dans le lieu du consommateur [10].

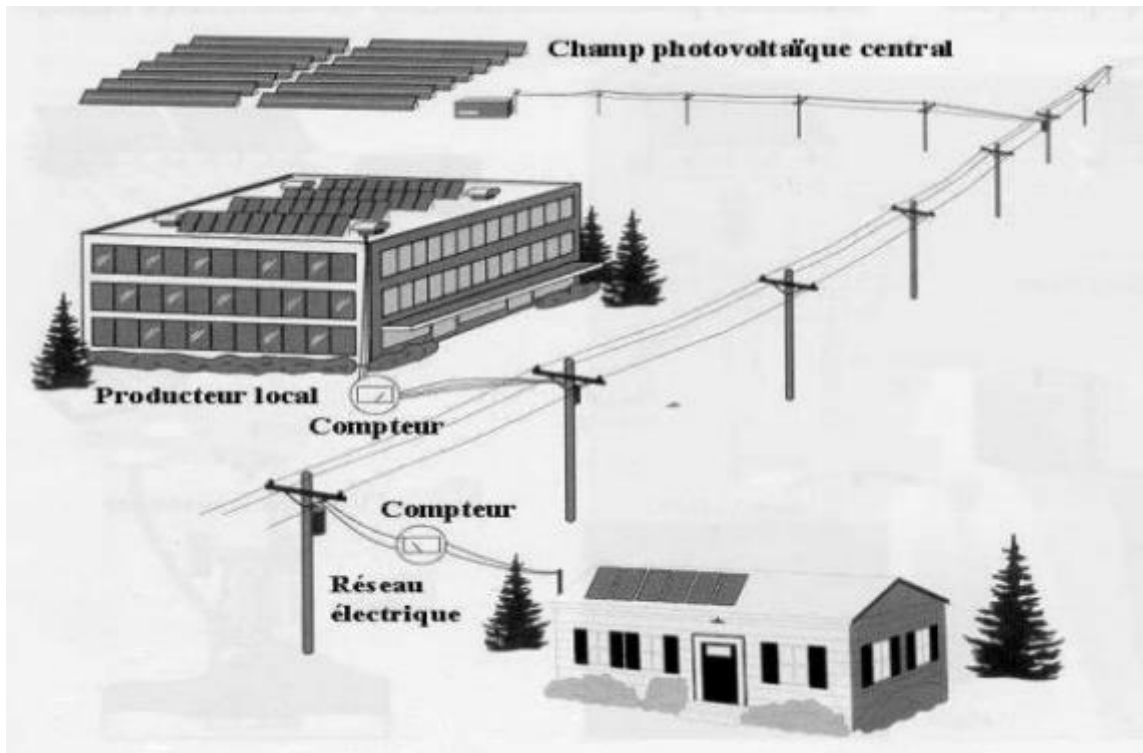


Figure I.10: Types des systèmes connectés au réseau

Eléments constitutifs d'une installation connectée au réseau [13] :

- Les panneaux photovoltaïques
- Un onduleur synchrone qui transforme le courant pour qu'il soit compatible avec les caractéristiques du réseau. C'est "l'interface" entre l'installation et la compagnie d'électricité.
- Un compteur d'énergie (en fait, en général, deux compteurs dans le cas des installations décentralisées).
- Accessoires.

IX. Stockage

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite s'envisager des stockages suivant les conductions météorologiques et qui vont répondre à deux fonction principales [14] :

- Fournir à l'installation de l'électricité lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou par mauvais temps par exemple)
- Fournir à l'installation des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur PV.

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

Les Caractéristiques principales d'une batterie sont :

Capacité en Ampère heure : Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant. Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 Ah peut fournir 200 A pendant une heure, ou 50 A pendant 4 heures, ou 4 A pendant 50 heures.

Il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie tels que : [14]

➤ **Rapports de chargement et déchargement :**

Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.

➤ **Température :**

Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie [14].

➤ **La durée de vie :**

Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles) [15].

➤ **Profondeur de décharge :**

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge. Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle. La majorité des batteries de "cycle profond" fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommager. La profondeur de décharge Cependant, affecte même les batteries de cycle profond. plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite.

➤ **La tension d'utilisation :**

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

➤ **Le rendement :**

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

➤ Le taux d'autodécharge :

L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.

X. Les Paramètres des cellules photovoltaïques

1. Courant de court-circuit (I_{sc}) :

Il s'agit du courant généré par la cellule photovoltaïque lorsqu'elle est court-circuitée, c'est-à-dire lorsque la charge connectée à ses bornes est nulle.

Ce paramètre est mesuré sous des conditions normalisées de test (STC) telles que définies par la norme IEC 60904-3[19].

2. Tension en circuit ouvert (V_{oc}) :

Il s'agit de la tension générée par la cellule photovoltaïque lorsqu'elle est en circuit ouvert, c'est-à-dire lorsque la charge connectée à ses bornes est infinie.

Ce paramètre est également mesuré sous des conditions normalisées de test (STC) telles que définies par la norme IEC 60904-3[19].

3. Courant de puissance maximale (I_{mp}) :

Il s'agit du courant généré par la cellule photovoltaïque lorsque la charge connectée à ses bornes est telle que la puissance de sortie de la cellule est maximale. Ce paramètre est mesuré sous des conditions normalisées de test (STC) telles que définies par la norme IEC 60904-3[19].

4. Tension de puissance maximale (V_{mp}) :

Il s'agit de la tension générée par la cellule photovoltaïque lorsque la charge connectée à ses bornes est telle que la puissance de sortie de la cellule est maximale. Ce paramètre est également mesuré sous des conditions normalisées de test (STC) telles que définies par la norme IEC 60904-3[19].

5. Rendement de conversion (η) :

Il s'agit du rapport entre la puissance électrique de sortie de la cellule photovoltaïque et l'énergie lumineuse incidente sur la surface de la cellule. Ce paramètre est souvent mesuré sous des conditions normalisées de test (STC) telles que définies par la norme IEC 60904-3[20].

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{ff * V_{co} * I_{cc}}{P_{in}} \quad (I.1)$$

P_{in} : Puissance incidente = $P_{solaire} = 100 \text{ W/cm}^2$

La densité de puissance incidente égale à $\frac{P_{in}}{A}$

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

A: section de la cellule

ff Facteur de forme

$$ff = \frac{P_m}{V_{co} * I_{cc}} = \frac{V_m * I_m}{V_{co} * I_{cc}} \quad (I.2)$$

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension à circuit ouvert.

XI. Modèle a 5 paramètres d'une cellule PV

Un modèle de cellule solaire est représenté par une source de courant constant et une diode comme le montre la figure I.11. Le courant généré par la lumière I_L est la quantité de courant produite par les paires électron-trou générées par la lumière solaire. Ce phénomène est appelé effet photovoltaïque. I_L Dépend de l'intensité du feu solaire incident, des caractéristiques du panneau solaire et de la température ambiante.

Le comportement des cellules photovoltaïques (PV) peut être modélisé avec un circuit équivalent illustré à la figure 1. Ce circuit comprend une résistance en série R_S et une diode en parallèle avec une résistance de dérivation, R_{Sh} .

La Résistance R_S est pour :

- ❖ Mouvement du courant à travers l'émetteur et la base de la cellule solaire.
- ❖ Résistance de contact entre le contact métallique et silicium

Résistance de shunt R_{Sh} la plupart y se pose en raison de:

- ❖ Fabrication de défauts, plutôt que de mauvaise conception des cellules solaires.
- ❖ Fuite de courant à travers la cellule, autour des bords du dispositif et entre des contacts de polarité différente.

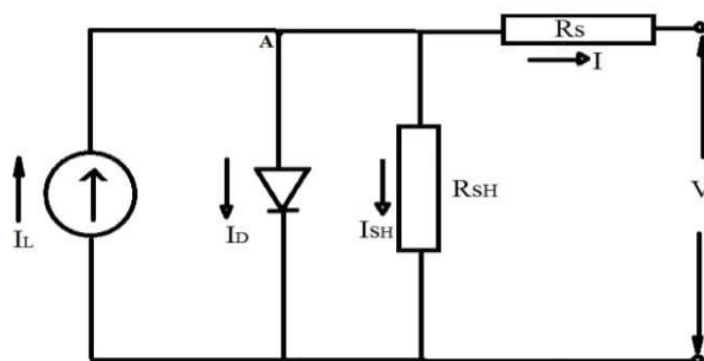


Figure I.11: Représente le circuit Equivalant d'un model a 5 paramètres

L'application de la loi du courant de Kirchhoff (équation 1) sur le circuit équivalent fait en sorte que le courant s'écoule vers la charge.

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

$$I = I_L - I_D - I_{Sh} \quad (I.3)$$

Avec

$$I_D = I_0 \left[e^{\frac{V + I_S - a}{a}} \right] \quad (I.5)$$

Et

$$I_{Sh} = \frac{V + I_S}{R_{Sh}} \quad (I.6)$$

On obtient:

$$I = I_L - I_0 \left[e^{\frac{V + I_S - a}{a}} \right] - \frac{V + I_S}{R_{Sh}} \quad (I.7)$$

Alors les cinq paramètres (à partir desquels le modèle à 5 paramètres obtient son nom) sont a , I_L , I_0 , R_{Sh} , R_S où

a : facteur d'idéalité

I_L : Courant lumineux

I_0 : Courant de saturation inverse des diodes

R_{Sh} : Shunt résistance

R_S : Résistance série [22]

1. Association en série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. [16] La figure I.12 montre la caractéristique résultante obtenue en associant en série n_s cellules identiques.

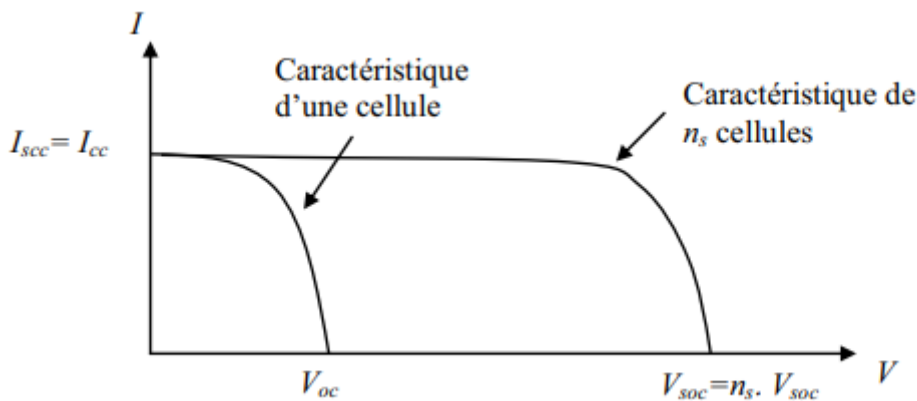


Figure I.12: Caractéristique résultante d'un groupement en série de n_s cellules identiques

2. Association en parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante de groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. [16] La figure I.13 montre la caractéristique résultante obtenue en associant en parallèles n_p cellules identiques.

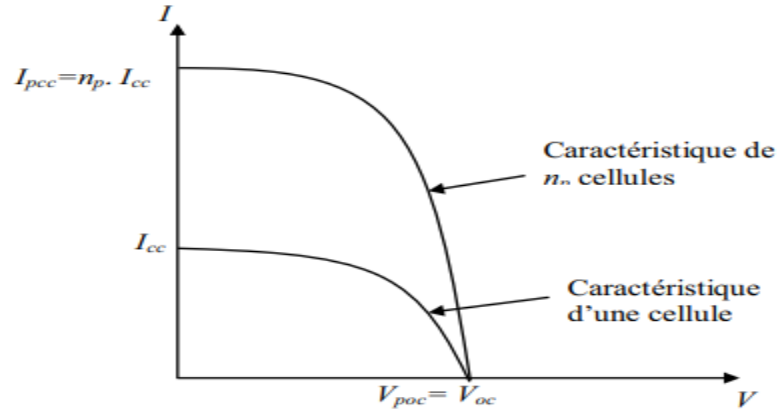


Figure I.13: Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de n_p cellules identiques

3. Association hybride (en série et en parallèle) :

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit total et de la tension à vide totale sont données par les relations :

$$I_{cc}^t = n_p * I_{cc} \quad (I.8)$$

$$V_{oc}^t = n_s * V_{oc} \quad (I.9)$$

Avec :

n_p : Nombre des cellules en parallèle,

n_s : Nombre des cellules en série.

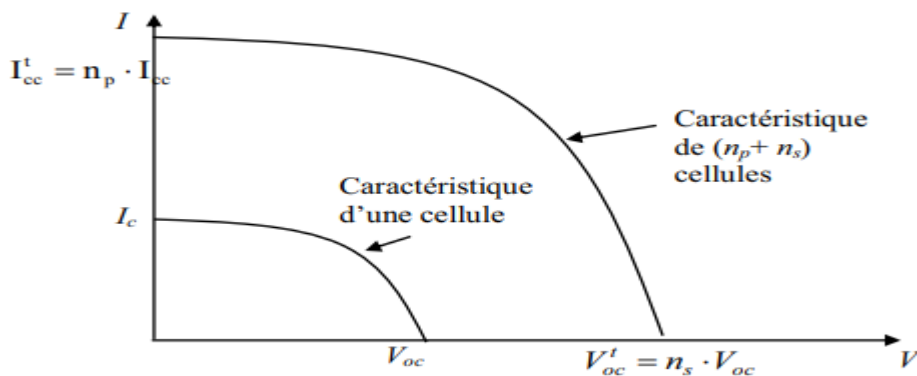


Figure I.14: Caractéristique résultante d'un groupement hybride de $(n_p + n_s)$ cellules identiques [16]

XII. Influence de l'éclairement et la température sur les courbes $I = f(V)$ et $P = f(V)$

Les courbes présentées sur les figures (1.15) et (1.16) montrent l'effet de l'éclairement et la température sur la caractéristique courant-tension d'une cellule PV.

Le courant du module est proportionnel à l'ensoleillement, tandis que la tension du circuit-ouvert change légèrement avec l'ensoleillement. L'augmentation de la température cause une diminution apparente de la V_{co} , par contre elle a un léger effet sur le courant.

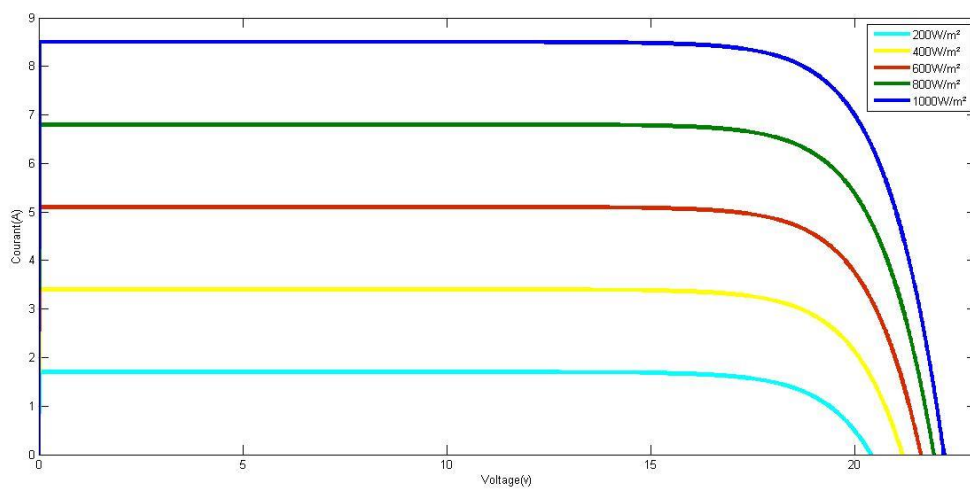


Figure I.15: Effet de l'ensoleillement sur la caractéristique I-V à $T=25^{\circ}\text{C}$

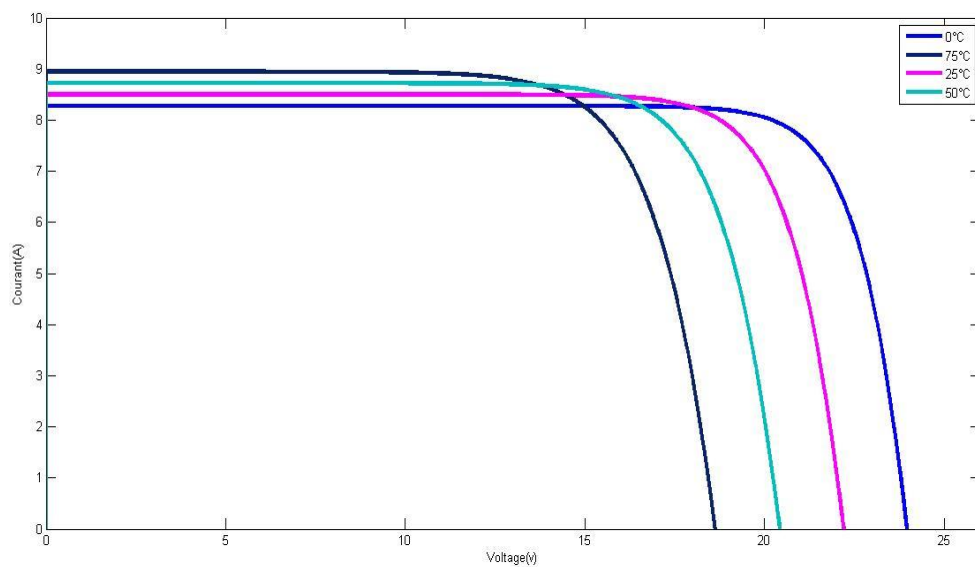


Figure I.16: Effet de la température sur la caractéristique I-V à un ensoleillement constant 1000 W/m^2

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

XIII. Protection du générateur PV:

La protection par diodes by-pass (ou parallèles) :

Installée dans la boîte de jonction du module PV, elle a pour but de protéger les cellules en série dans le cas d'un écart dans le courant entre les cellules provoquée par un ombrage partiel sur certaines cellules [24].

La protection par diodes série (ou anti-retour):

On dispose pour cela de diodes anti- retour mises en série avec le GPV (de blocage). Cette diode est indispensable quand la charge du module PV est une batterie. En fait, cette diode évite que la batterie ne débite sur le module PV pendant la nuit. Elle est placée entre le module et le régulateur [24].

XIV. Avantages et inconvénients d'une installation PV

a. Avantage:

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions [18].

b. Inconvénient:

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % (soit entre 10 et 15 MW/km² par an pour le BENELUX) avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Tributaire des conditions météorologiques. Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes. Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au

Chapitre01 :Etat d'art sur les systèmes photovoltaïques

moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur [18].

XV. Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons fait une bref étude sur les systèmes photovoltaïques qui assurant la conversion du rayonnement solaire en énergie électrique par l'effet photovoltaïque. Cette étude nous permettons d'avoir les points forts de ce système ainsi que les points faibles pour trouver des solutions optimales.

Chapitre02

**La commande MPPT par des algorithmes de
recherche classique et globale**

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

I. Introduction.

La synthèse des différents comportements d'un générateur photovoltaïque, effectuée au chapitre I, montre que dans la plupart des cas, cette source n'est pas correctement adaptée à une charge. Généralement un étage d'adaptation, comprenant un ou plusieurs convertisseurs statiques, permet de transformer les grandeurs électriques continues en grandeurs adaptées à la charge. Cet étage peut être commandé par une ou plusieurs lois de commande afin de maximiser la puissance produite par le générateur.

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, de sa puissance. Ainsi, quelque soient les conditions météorologiques (température et irradiation), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximums (V_{mpp}, I_{mpp}). Pour cela, plusieurs systèmes ont été publiés dans la littérature.

Cette commande spécifique doivent amener le GPV à fonctionner à des points maximums de leurs caractéristiques sans qu'a priori ces points soient connus à l'avance, ni qu'on sache à quel moment ils ont été modifiés (changement aléatoire). Ce type de commande est souvent nommé dans la littérature « Recherche du Point de Puissance Maximum » ou bien « Maximum Power Point Tracking » en anglais (MPPT). Donc la MPP Test une recherche du point de puissance maximal (PPM) tout en assurant une parfaite adaptation entre le générateur et sa charge de façon à transférer le maximum de puissance.

Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT, plus ou moins performantes, basées sur les propriétés du GPV. Une synthèse des principaux modes de recherche du PPM existants dans ce chapitre nous a permis de bien identifier les points à améliorer [26].

II. Etage d'adaptation entre un Générateur PV et une Charge:

Un GPV présente des caractéristiques $I(V)$ non linéaires avec des points de puissance maximaux(PPM). Ces caractéristiques dépendent au niveau d'éclairement et de la température de la cellule. De plus, selon les caractéristiques de la charge sur laquelle le GPV débite, nous pouvons trouver un très fort écart entre la puissance potentielle du générateur et celle réellement transférée à la charge en mode connexion directe. Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV et de la transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le GPV et la charge comme décrit dans la figure II.1 Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de P_{MAX} disponible[37] .

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

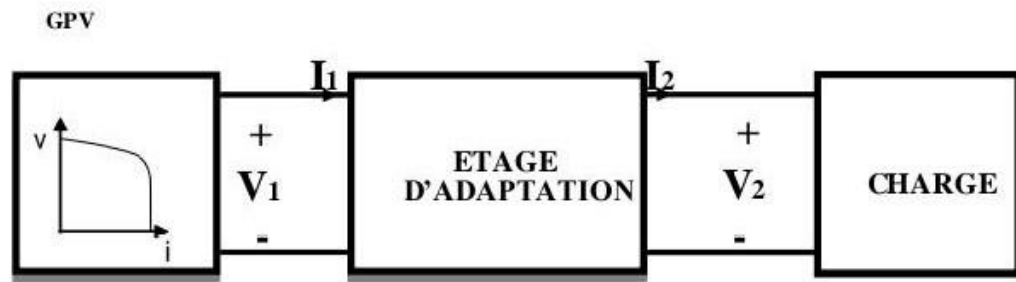


Figure II.1: Etage d'adaptation entre un GPV et une charge [38]

III. Les convertisseurs DC/DC

Les convertisseurs du type continu/continu permettant de contrôler la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé [31].

Selon la position du commutateur et du hacheur, différents types de convertisseurs de tension peuvent être réalisés [11] :

- ❖ Élévateur de tension « BOOST » ou notamment appelé hacheur survolteur.
- ❖ Abaisseur de tension « Buck » ou hacheur dévolteur.
- ❖ Abaisseur/Élévateur de tension « BUCK-BOOST ».

1. . Convertisseur Buck

Un convertisseur Buck, ou hacheur série, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur

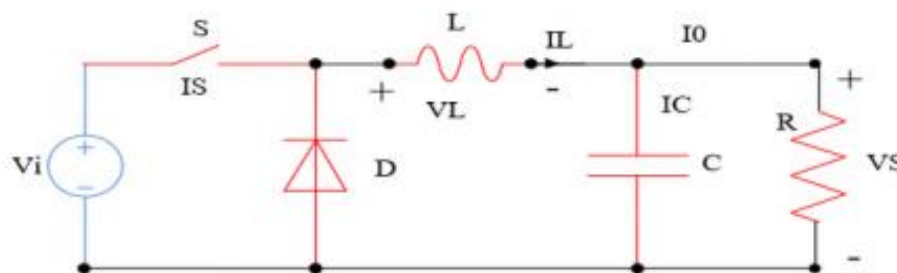


Figure II.2: Le schéma de base du convertisseur survolteur (BOOST CONVERTER).

2. Convertisseur boost

C'est un convertisseur DC/DC, la tension moyenne de sortie est supérieure à la tension d'entrée, comme son nom indique, cette structure demande un interrupteur à amorçage et blocage commandé (MOSFET, IGBT..) et une diode (amorçage et blocage spontanés).

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

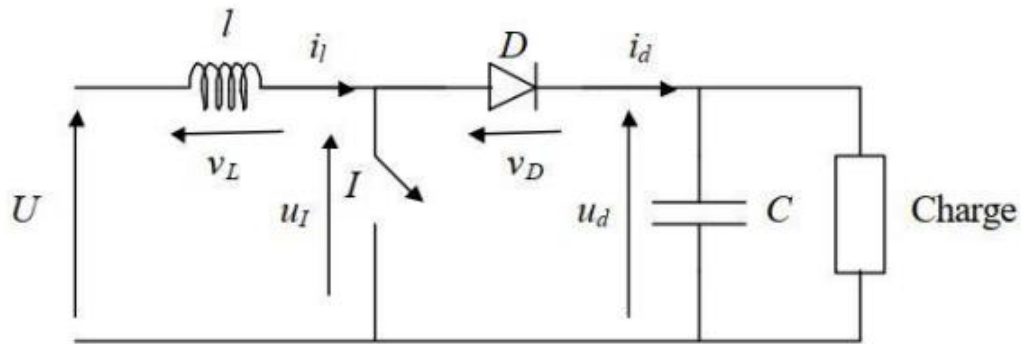


Figure II.3: Le schéma de base du convertisseur dévolteur (BOOST CONVERTER).

L'inductance permet de lisser le courant appliqué par la source et la capacité C permet de limiter l'ondulation de la tension en sortie.

3. Convertisseur buck-boost

Le convertisseur buck-boost combine les propriétés des deux convertisseurs précédentes. Il est utilisé comme un transformateur idéal de n'importe quelle tension d'entrée pour n'importe quelle tension de sortie désirée.

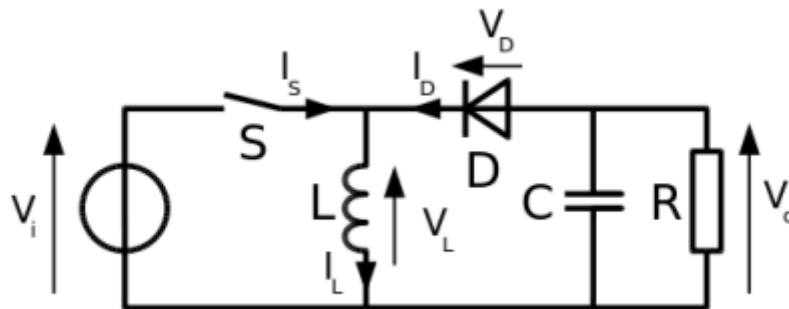


Figure II.4: Le schéma de base du convertisseur (BUCKBOOST CONVERTER)

IV. Étage adaptation de Type BOOST:

Considérons l'exemple de la (figure II.5) correspondant à un convertisseur DC-DC élévateur (boost). Ce type de convertisseur peut être utilisé comme adaptateur source charge lorsque la charge a besoin d'une tension supérieure à celle du générateur PV [39].

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

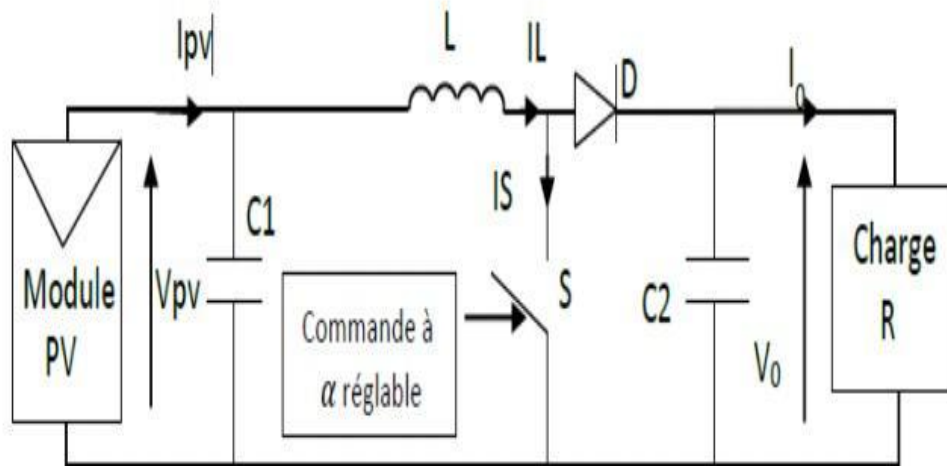


Figure II.5: Etage d'adaptation entre un GPV et une charge

Au premier temps (αT), le transistor (S) est fermé, le courant dans l'inductance croît progressivement, et au fur et à mesure, elle emmagasine de l'énergie, jusqu'à la fin du premier intervalle. Ensuite, le transistor (S) s'ouvre et l'inductance (L) s'opposant à la diminution de courant (I_L), génère une tension qui s'ajoute à la tension de source, qui s'applique sur la charge (R) à travers la diode (D)[40][41].

V. Principe de la commande MPPT

Les panneaux solaires, bien qu'ils soient de plus en plus performants, ont des rendements qui restent assez faibles, c'est pourquoi il faut exploiter le maximum de puissance que peuvent générer tout en réduisant au maximum les pertes d'énergie qui peuvent survenir. La puissance maximale de ces panneaux correspond à un seul point de fonctionnement appelé point de puissance maximale (PPM). Ce point dépend principalement de l'insolation, de la température et des variations de la charge qui sont variables avec le temps. La mise en œuvre d'un algorithme de poursuite du point de puissance maximale est alors nécessaire. Le problème est donc d'effectuer une recherche du PPM tout en assurant une parfaite adaptation entre le générateur et sa charge de façon à transférer le maximum de puissance.[27]

Pour simplifier les conditions de fonctionnement de cette commande, une charge DC est souvent choisie. Comme nous pouvons le voir sur cette chaîne (figure II.6), la commande MPPT est nécessairement associée à un quadripôle possédant des degrés de liberté qui permettent de pouvoir faire une adaptation entre le GPV et la charge. Dans le cas de la conversion solaire, le quadripôle peut être réalisé à l'aide d'un convertisseur DC-DC de telle sorte que la puissance fournie par le GPV corresponde à la puissance maximale qu'il génère et qu'elle puisse ensuite être transférée directement à la charge [28].

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

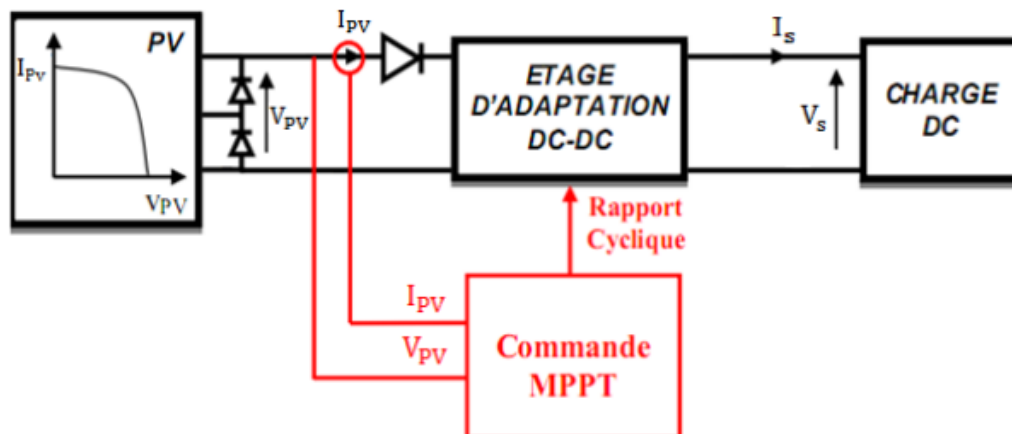


Figure II.6: Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque

La technique de contrôle communément utilisée consiste à agir sur le rapport cyclique de manière automatique pour amener le générateur à sa valeur optimale de fonctionnement qu'elles que soient les instabilités météorologiques ou les variations brutales de charges qui peuvent survenir à tout moment [28].

VI. Application du convertisseur DC dans le système PV

Avec l'utilisation du convertisseur DC-DC et algorithme MPPT, le système solaire PV peut être pleinement utilisé pour produire de l'électricité propre et améliorer la qualité de l'énergie simultanément. Cependant, le suivi de l'énergie solaire photovoltaïque est compliqué en raison de la caractéristique non linéaire de la courbe courant-tension (I-V) PV avec des points de puissance maximum (MPP) distinctifs à différentes conditions de fonctionnement. L'énergie solaire produite par les panneaux photovoltaïques et ses MPP dépend des conditions atmosphériques telles que la température des cellules et l'irradiation solaire. Afin d'optimiser l'énergie solaire photovoltaïque produite, les panneaux photovoltaïques doivent fonctionner à une tension qui correspond à celle du MPP pour extraire la puissance maximale. Ainsi, le convertisseur régulé avec contrôleur MPPT est utilisé pour obtenir la correspondance de charge, extraire la puissance la plus extrême ainsi que d'améliorer l'efficacité du module PV [33], [34]. Le convertisseur DC-DC avec le contrôleur MPPT est intégré au milieu de la charge et du module PV pour s'assurer que le système PV fonctionne à proximité de MPP. Ensuite, le convertisseur DC-DC transfère la tension DC avec le niveau de tension approprié à la charge. Alors, le suivi de point de puissance maximum avec circuit de gestion de puissance (PM-MPPT) est utilisé pour atteindre le rendement élevé du système solaire photovoltaïque [35].

VII. Aperçu du problème :

Le problème pris en compte par les techniques MPPT est de trouver automatiquement la tension VMPP ou IMPP actuelle à laquelle un réseau PV devrait fonctionner pour obtenir la puissance maximale de sortie PMPP sous une température et une irradiancie données. Il est à

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

noter que dans des conditions d'ombrage partiel, dans certains cas, il est possible d'avoir plusieurs maximums locaux, mais dans l'ensemble, il n'y a toujours qu'un véritable maximum. La plupart des techniques réagissent aux changements de l'irradiante et de la température, mais certaines sont particulièrement utiles si la température est à peu près constante.

VIII. Classification Des Commandes MPPT

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

Il est cependant plus intéressant de les classer selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande MPPT [32].

1. Classification Des Commandes MPPT Selon Les Paramètres D'entrée.

A) Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS

Il y a un certain nombre de commandes MPPT qui effectue une recherche du PPM selon l'évolution de la puissance fournie par le GPV. Comme la méthode de Perturb&Observe, les algorithmes d'incrément de conductance qui utilisent la valeur de la puissance fournie par le GPV pour l'application d'une action de contrôle adéquate pour le suivi du PPM ou bien Les commandes qui sont basé sur des relations de proportionnalité entre les paramètres optimaux caractérisant le point de puissance maximal (V_{OPT} et I_{OPT}) et les paramètres caractéristiques du module PV (V_{OC} et I_{CC}). Notamment, les MPPT inspirées des réseaux de neurones. Dans ces commandes, soit on fait appel à des systèmes à mémoires informatiques importantes ayant stocké tous les cas possibles, soit les commandes sont encore une fois de plus approximatives. Toutes ces commandes ont comme avantages leurs précisions et leur rapidité de réaction [32].

B) Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur

Dans la littérature, il existe également des algorithmes basés sur les paramètres de sortie des CS. Par exemple Les commandes MPPT basées sur la maximisation du courant de sortie qui sont principalement utilisées quand la charge est une batterie. Dans tous les systèmes utilisant les paramètres de sortie, une approximation de P_{max} est faite à travers le rendement du convertisseur. En somme, plus l'étage de conversion est bon, plus cette approximation est valable. Par contre, en général, tous les systèmes avec un seul capteur sont par essence, non précis. La plupart de ces systèmes ont été conçus à l'origine pour le spatial [32].

2. Classification Des Commandes MPPT Selon Le Type De Recherche

A) MPPT Indirect

Ce type de commandes MPPT utilise le lien existant entre les variables mesurées (I_{CC} ou V_{OC}), qui peuvent être facilement déterminées, et la position approximative du MPP. Il compte aussi les commandes se basant sur une estimation du point de fonctionnement du GPV réalisée à partir d'un modèle paramétrique défini au préalable. Il existe aussi des commandes qui établissent une poursuite de la tension optimale en prenant en compte

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

uniquement les variations de la température des cellules donnée par un capteur .Ces commandes ont l'avantage d'être simples à réaliser. Elles sont plutôt destinées à des systèmes peu coûteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où il y a peu de changements climatiques [32].

B) MPPT Direct

Ce type de commande MPPT détermine le point de fonctionnement optimal (MPP) à partir des courants, tensions ou puissances mesurés dans le système. Il peut donc réagir à des changements imprévisibles du fonctionnement du GPV. Généralement, ces procédures sont basées sur un algorithme de recherche, avec lequel le maximum de la courbe de puissance est déterminé sans interruption du fonctionnement. Pour cela, la tension du point de fonctionnement est incrémentée dans des intervalles réguliers. Si la puissance de sortie est plus grande, alors la direction de recherche est maintenue pour l'étape suivante, sinon elle sera inversée. Le point de fonctionnement réel oscille alors autour du MPP. Ce principe de base peut être préservé par d'autres algorithmes contre des erreurs d'interprétation. Ces erreurs peuvent survenir, par exemple, à cause d'une mauvaise direction de recherche, résultant d'une hausse de puissance qui est due à une augmentation rapide du niveau de rayonnement. La détermination de la valeur de la puissance du générateur PV, indispensable pour la recherche du MPP, nécessite la mesure de la tension et du courant du générateur, ainsi que la multiplication de ces deux variables. D'autres algorithmes se basent sur l'introduction de variations sinusoïdales en petit signal sur la fréquence de découpage du convertisseur pour comparer la composante alternative et la composante continue de la tension du GPV et pour ainsi placer le point de fonctionnement du GPV le plus près possible du MPP. L'avantage de ce type de commandes est leurs précisions et leur rapidité de réaction [32]

IX. Algorithmes classiques de la commande MPPT

1. Algorithme Perturber et observer, « P&O »

Le principe de cet algorithme est d'effectuer une perturbation sur la tension du panneau PV tout en agissant sur le rapport cyclique α . En effet, suite à cette perturbation, on calcule la puissance fournie par le panneau PV à l'instant k , puis on la compare à la précédente de l'instant $(k - 1)$. Si la puissance augmente, on s'approche du point de puissance maximale, « ppm » et la variation du rapport cyclique est maintenue dans le même sens. Au contraire, si la puissance diminue, on s'éloigne du point de puissance maximale, « PPM ». Alors, on doit inverser le sens de la variation du rapport cyclique [29]

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

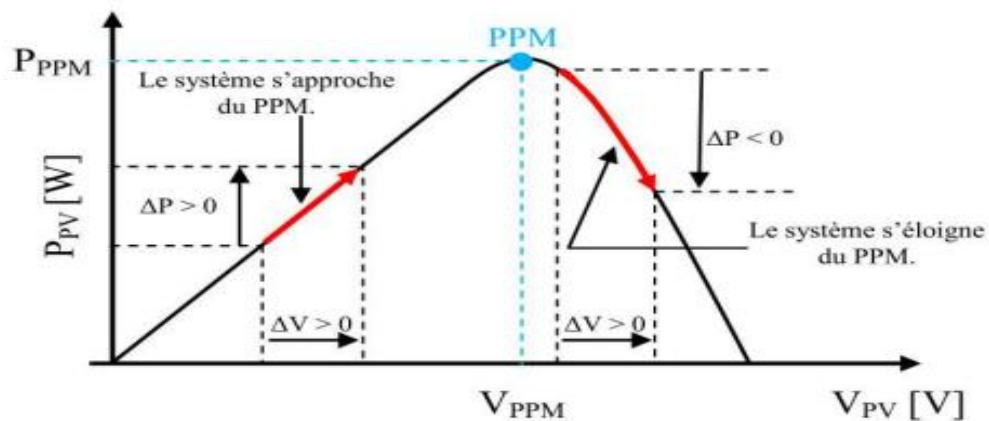


Figure II.7: Caractéristique $P_{PV}(V_{PV})$ d'un panneau solaire [28]

L'organigramme suivant explique comment cette méthode fonctionne :

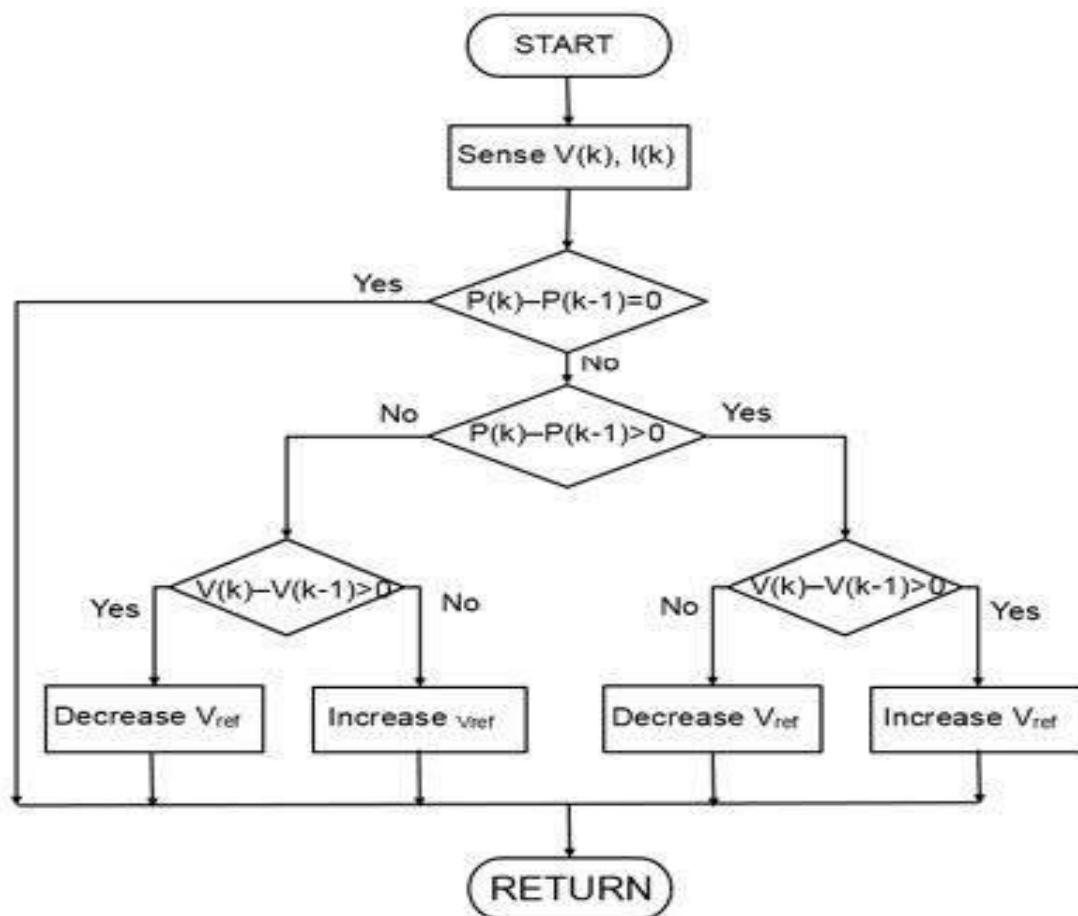


Figure II.8: Organigramme de la méthode de perturbation et d'observation [30].

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

2. Algorithme « Hill Climbing »

La technique de contrôle nommée « Hill Climbing » consiste à faire monter le point de fonctionnement le long de la caractéristique du générateur présentant un maximum. Donc il y'a une relation entre la puissance du panneau et la valeur du rapport cyclique appliqué au CS. Mathématiquement, le PPM est atteinte lorsque dP_{PV}/dD est forcé à zéro par la commande, comme le montre la figure II.9

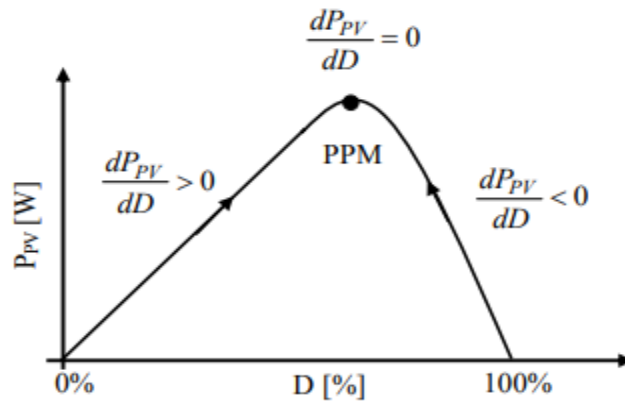


Figure II.9: Relation entre PPV ET le rapport cyclique D du convertisseur statique.

L'algorithme de cette méthode est illustré sur la figure. II.10. La variable Slope correspond à une variable qui prend la valeur « 1 » ou « -1 » suivant la direction que l'on doit donner à la recherche pour augmenter la puissance en sortie du panneau. D et PPV représentent respectivement le rapport cyclique et la puissance du générateur, ΔD symbolise la variable d'incrément du rapport cyclique. Périodiquement, la puissance PPVn est comparée à la valeur déterminée précédemment PPVn-1, en fonction du résultat de la comparaison, le signe de la valeur Slope change ou reste identique. Ce qui a pour effet d'incrémenter ou de décrémenter la valeur du rapport cyclique. Une fois le PPM atteint, le système oscille autour de ce dernier indéfiniment rejoignant alors les compromis à faire entre rapidité et précision comme la méthode précédente et les pertes liées à ces oscillations [28].

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

a) Organigramme de hill climbing :

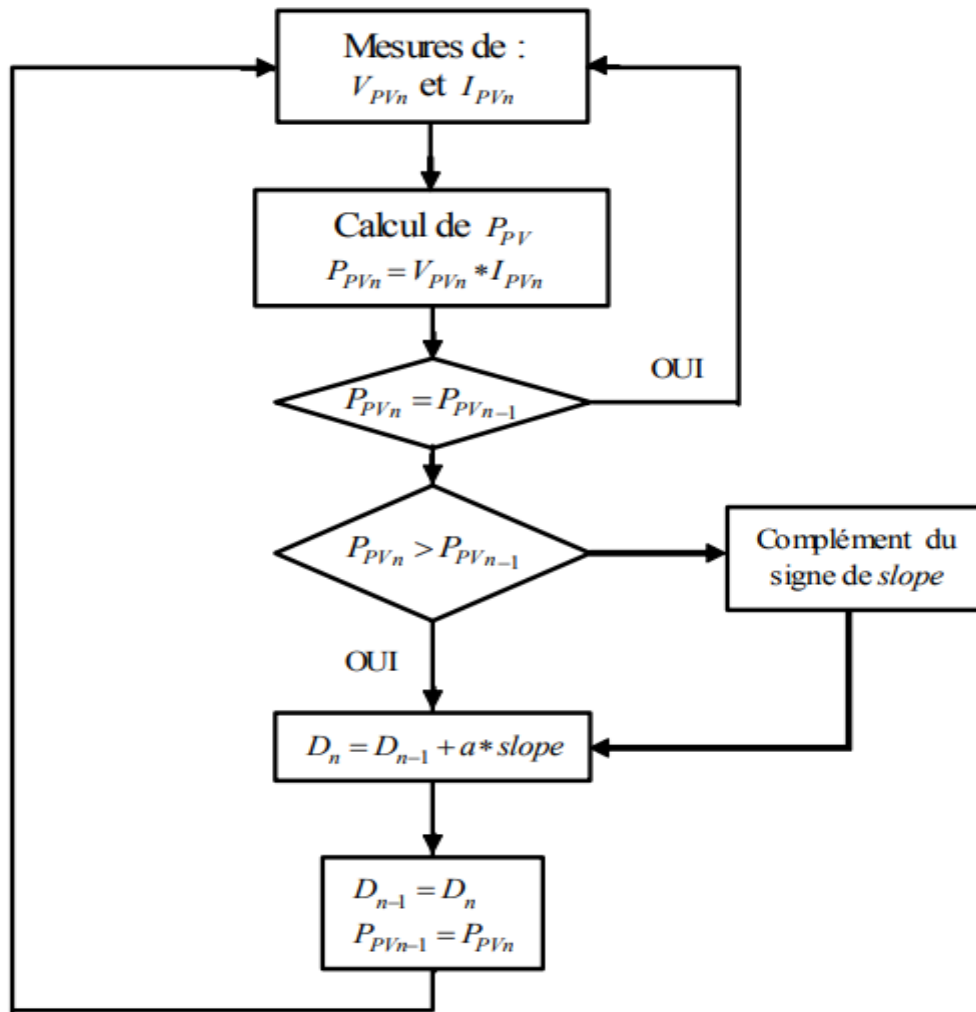


Figure II.10: Organigramme de la méthode de hill climbing[28]

L'avantage de cette dernière technique est qu'elle est simple à mettre en œuvre. Par contre, elle possède les mêmes inconvénients que la méthode P&O concernant des oscillations autour du PPM en régime établi et une perte occasionnelle de la recherche du PPM lors de changement rapide des conditions climatiques.

3. Algorithme "incrément de conductance" (IncCond)

Cette technique se base sur la connaissance de la variation de la conductance(G) du GPV et de ses conséquences sur la position du point de fonctionnement par rapport à un PPM. La conductance d'un module photovoltaïque est définie par le rapport entre le courant et la tension du GPV et sa variation élémentaire (incrément) sont données par [27] :

$$G = \frac{I_{PV}}{V_{PV}} \quad (\text{II.1})$$

$$dG = \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \quad (\text{II.2})$$

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

L'évolution de la puissance du module (P_{PV}) par rapport à la tension (V_{PV}) donne la position du point de fonctionnement par rapport au PPM.

- ❖ Lorsque la dérivée de puissance est nulle ($\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}}=0$), cela signifie que l'on est sur le PPM.
- ❖ ($\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}}>0$), le point d'opération se trouve à gauche du maximum
- ❖ ($\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}}<0$), on se situe à droite (Fig. II.11).

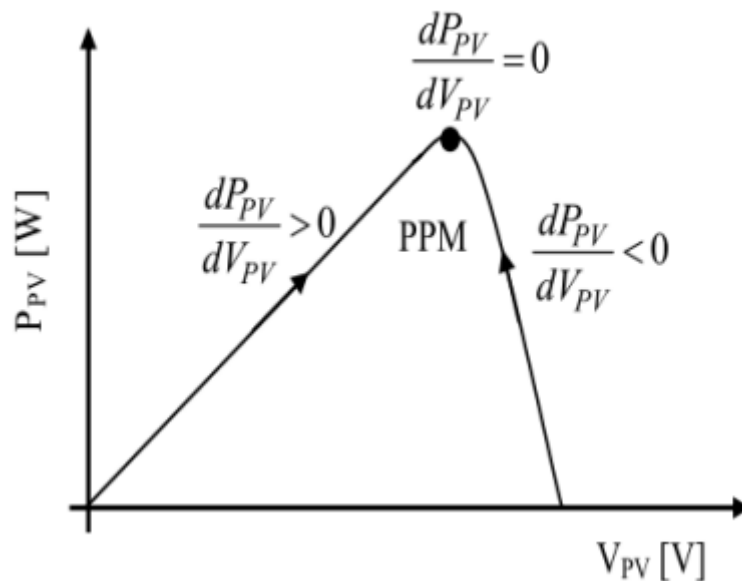


Figure 1711: Positionnement du point de fonctionnement suivant le signe de $\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}}$ sur la caractéristique de puissance [27].

Le principe de cet algorithme est basé sur la connaissance de la valeur de la conductance $G = \frac{I}{V}$ et sur l'incrément de la conductance (dG) pour en déduire la position du point de fonctionnement par rapport au point de puissance maximale, 'PMP'. Si l'incrément de conductance (dG) est supérieur à l'opposé de la conductance ($-G$), on diminue le rapport cyclique. Par contre, si l'incrément de conductance est inférieur à l'opposé de la conductance, on augmente le rapport cyclique. Ce processus est répété jusqu'à atteindre le point de puissance maximale, 'PMP' [28].

a) Organigramme d'INC :

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

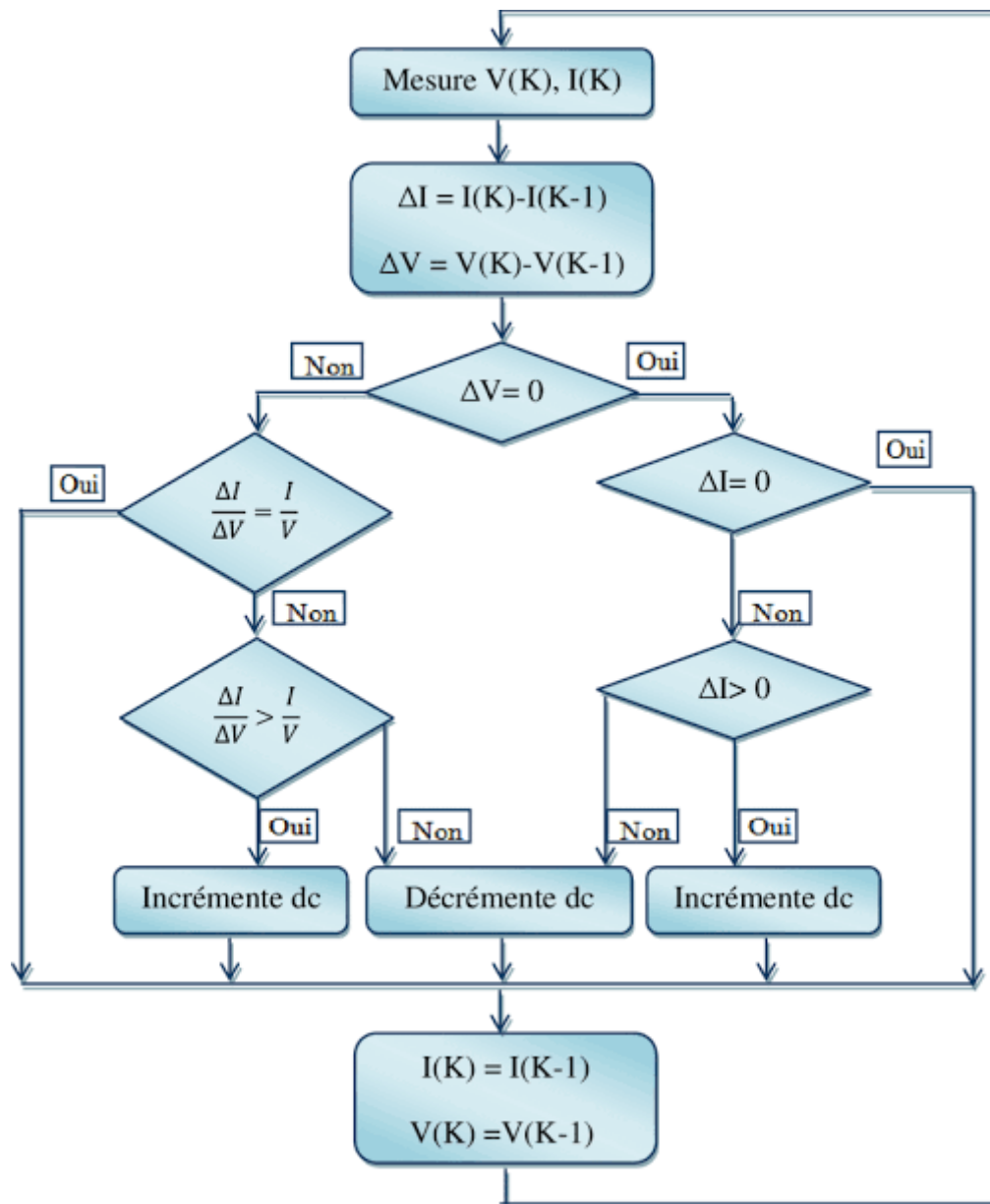


Figure II.12: Organigramme de l'algorithme 'INC'

X. Les méthodes Modernes (méthodes de recherche globale) :

Les méthodes de recherche globale sont des techniques permettant de trouver des solutions optimales aux problèmes d'optimisation en explorant de manière exhaustive ou heuristique l'ensemble de l'espace de recherche., les méthodes de recherche globale cherchent à trouver la meilleure solution possible dans tout l'espace de recherche, parmi ces méthodes nous avons :

1. Méthode à base 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

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

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 a des paramètres interdépendants.

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).

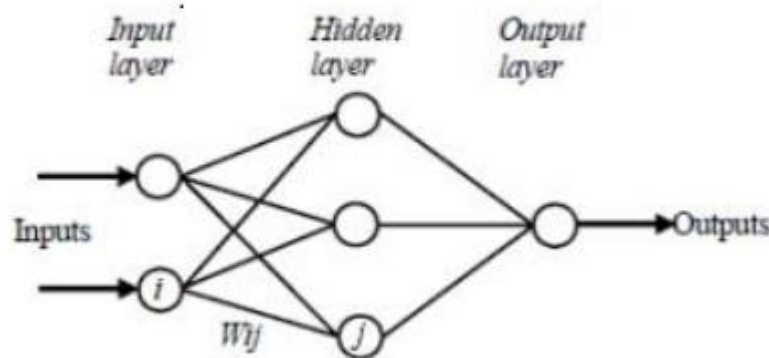


Figure II.13: Exemple d'un réseau de neurones

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 (VOC, ICC) associées ou non a des données atmosphériques comme la température. Ou plusieurs signaux de référence comprenant au moins le rapport cyclique permettant de commander le CS pour fonctionner le plus souvent possible au PPM. La qualité de la recherche du PPM dépend essentiellement de l'algorithme utilisé dans la couche cachée et de la construction proprement dite du réseau. Ainsi, L'importance entre deux nœuds de la valeur du poids choisi W_{ij} est a prendre en compte. Pour identifier avec précision les différents PPM.

Eventuels, les poids W_{ij} doivent être initialement déterminés avec le plus de soin possible a travers des procédures d'apprentissage laborieuses et spécifiques a chaque GPV, chaque site d'implantation et chaque type de charge. De plus, cet apprentissage doit être révisé régulièrement (typiquement chaque mois) pour mettre a jour les relations entre les entrées et les sorties du réseau. Ce qui rend cette commande fastidieuse en entretien et en maintenance [40][41].

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

2. Algorithme d'Optimisation de Baleine (WOA) :

L'algorithme d'optimisation de baleine à bosse (Whales Optimization Algorithm (WOA)) est un nouvel algorithme d'optimisation méta- heuristique. Le WOA est inspiré du comportement de baleines à bosse lors de la chasse. Il est appelé chasse à bulles spirale qui consiste à utiliser des filets de bulles pour encercler et attraper les proies.

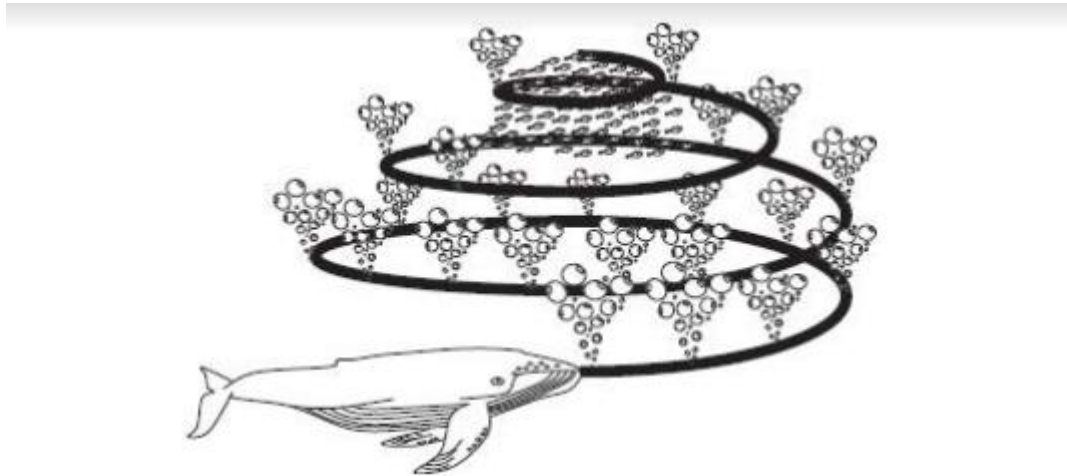


Figure II.14: Chasse à bulles spirale des baleines à bosse

Les agents de recherche (baleines) poursuivent aléatoirement la proie tout en respectant la position des chaque agents de recherche. Ce comportement est basé sur l'proche d'encerclement et de la mise à jour des positions spirale [42,43].

XI. Techniques de la commande PWM

Les techniques de la commande PWM (pulse width modulation), appelée aussi modulation de largeur d'impulsions sont multiples.

Cependant quatre catégories seulement ont été développées et sont donnée comme suit :

- Les modulations sinus-triangle effectuant la comparaison d'un signal de référence à une porteuse, en général triangulaire.
- Les modulations pré-calculées pour lesquelles les angles de commutation sont calculés hors ligne pour annuler certaines composantes du spectre harmonique.
- Les modulations post-calculées encore appelées PWM régulières symétriques ou PWM vectorielles dans lesquelles les angles de commutation sont calculés en ligne.
- Les modulations stochastiques pour lesquelles l'objectif fixé est le blanchiment du spectre (bruit constant et minimal sur l'ensemble du spectre).

Chapitre02 : la commande MPPT par des algorithmes de recherche classique et globale

Les largeurs des impulsions sont réparties suivant une densité de probabilité. Le développement considérable de la technique de modulation de largeur d'impulsion ouvre une large étendue d'application dans les systèmes de commande et beaucoup d'autres fonctions. Elle permet une réalisation souple et rentable des circuits de commande des hacheurs.

1. Principe de la commande PWM :

Le principe de base de la commande PWM est fondé sur le découpage d'une pleine onde rectangulaire. Ainsi la tension de sortie est formée par une succession de créneau d'amplitude égale à la tension continue d'alimentation et de largeur variable. La technique la plus répandue pour l'obtention d'un signal PWM est de comparer deux signaux :

- Le premier, appelé signal de référence, est un signal continu qui varie entre deux seuils définis en fonction de l'application.
- Le second, appelé signal de la porteuse, définit la cadence de la commutation des interrupteurs statiques du convertisseur. C'est un signal de haute fréquence par rapport au signal de référence.
- L'intersection de ces signaux donne les instants de commutation des interrupteurs [36].

XII. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait une brève étude sur les algorithmes classiques pour trouver le point de puissance maximum, mais à cause des changements climatiques comme l'ombrage par exemple on obtient des réductions dans la production d'énergies et un déséquilibre des chaînes de cellules, c'est pour ça on a besoin d'utiliser des diodes (diode bypass et diode anti-retour), mais ces diodes vont provoquer plusieurs problèmes et les techniques classiques ne donnent pas le maximum voulu.

Pour éviter ces problèmes on a besoin d'utiliser des méthodes globales pour trouver le maximum voulu comme les algorithmes méta-heuristiques.

Chapitre03

**L'optimisation par essaim de particule(PSO)
et l'optimisation des loups gris(GWO)**

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

I. Introduction :

L'optimisation est un champ des mathématiques qui cherche à trouver des solutions aux problèmes dont la résolution requiert d'optimiser (minimiser ou maximiser) une fonction sur un ou plusieurs ensembles de valeurs. Elle joue un rôle primordial dans différentes disciplines telles que la recherche opérationnelle, les statistiques, les mathématiques appliquées...etc. Au début, la résolution de ce type de problèmes s'appuyait sur des approches visant à trouver des solutions optimales exactes.

Cependant, comme il n'est pas toujours possible de calculer des solutions exactes notamment lorsque les tailles des espaces des solutions potentielles deviennent assez-grandes, la nouvelle tendance s'orientait vers la recherche des solutions qui rapprochent le mieux possible à la solution optimale [44].

Dans ce chapitre on s'intéresse deux technique méta-heuristiques qui peuvent résoudre des problèmes d'optimisation PSO et le GWO, que nous allons les adaptés au problème de suivi de point de puissance maximale dans les systèmes photovoltaïques.

II. Les méthodes choisies :

1. L'optimisation de l'essaim de particules PSO :

a) Définition de la méthode PSO :

L'optimisation de l'essaim de particules (PSO) est un algorithme d'optimisation de l'intelligence d'essaim développé par Kennedy et Eberhart en 1995, et inspiré par le comportement social des oiseaux et des poissons scolarisés. Dans cet algorithme, plusieurs agents coopératifs sont utilisés pour échanger des informations obtenues dans leur processus de recherche respectif. Chaque agent est référé à une particule suivant deux règles simples, à savoir, suivant la particule la plus performante, et se déplaçant vers la meilleure position trouvée par la particule[45].

Le déplacement d'une particule est influencé par trois composantes : la composante d'inertie, la composante cognitive et la composante sociale. Chacune de ces composantes reflète une partie de l'équation, figure.III.1:

- 1) La composante d'inertie : la particule tend à suivre sa direction courante de déplacement
- 2) La composante cognitive : la particule tend à se diriger vers le meilleur site par lequel elle est déjà passée ;
- 3) La composante sociale : la particule tend à se diriger vers le meilleur site atteint par ses voisines [46].

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

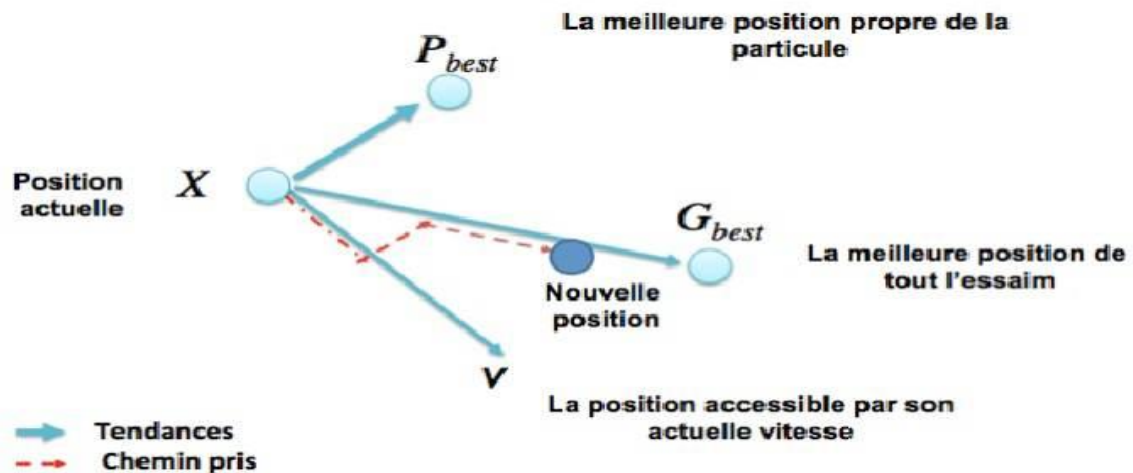


Figure III.1: Déplacement d'une particule.

b) Formalisation

Une particule i de l'essaim dans un espace de dimension D est caractérisée, à l'instant t , par :

- X : sa position dans l'espace de recherche ;
- V : sa vitesse ;
- P_{er} : la position de la meilleure solution par laquelle elle est passée ;
- P_g : la position de la meilleure solution connue de tout l'essaim ;*
- F_{Pers} : la valeur de fitness de sa meilleure solution ;
- F_{Pg} : la valeur de fitness de la meilleure solution connue de tout l'essaim.

Le déplacement de la particule i entre les itérations t et $t+1$ se fait selon les deux équations (1) et (2) [47] :

$$V(t+1) = W V(t) + C_1 r_1 (P_{er}(t) - X(t)) + C_2 r_2 (P_g(t) - X(t)) \quad (\text{III.1})$$

$$X(t+1) = X(t) + V(t+1) \quad (\text{III.2})$$

- C_1 et C_2 : deux constantes qui représentent les coefficients d'accélération, elles peuvent être non constantes dans certains cas selon le problème d'optimisation posé ;
- r_1 et r_2 : deux nombres aléatoires tirés de l'intervalle $[0,1]$.

c) Parameters du PSO:

Nombre de particules :

La quantité de particules allouées à la résolution du problème dépend essentiellement de deux paramètres la taille de l'espace de recherche et le rapport entre les capacités de calcul de

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

la machine et le temps maximum de recherche. Il n'y a pas de règle pour déterminer ce paramètre.

Le nombre d'itérations :

Le nombre d'itération influe énormément sur la résolution du problème d'optimisation : un petit nombre d'itérations peut arrêter le processus de recherche prématurément, tandis que trop d'itérations peuvent compliquer les calculs et prendre plus de temps que disponible [47].

Les composantes de la vitesse :

Les composantes de la vitesse sont des facteurs très importants pour mettre à jour la vitesse de la particule équations (1) et (2) :

-Le terme $w.v_i$ est la composante d'inertie qui fournit une mémoire de la direction du vol précédent, il représente une impulsion qui empêche de changer radicalement l'orientation des Particules afin de polariser l'essaim dans le sens du courant.

-Le terme $C1 \text{ rand}(0,1) (p_i(t) - x_i(t))$: est la composante cognitive qui mesure la performance Des particules par rapport aux performances passées, Elle ressemble à une mémoire Individuelle de la meilleure position pour la particule. L'effet de la composante cognitive Appelée «la nostalgie de la particule » représente la tendance des individus à revenir à des Positions qui les satisfaisaient plus dans le passé.

-Le terme $C2 \text{ rand}(0,1) (p_g(t) - x_i(t))$: est la composante sociale qui mesure la performance Des particules i par rapport à un groupe de particules voisines. L'effet de la composante Sociale est que chaque particule vole vers la meilleure position trouvée par le voisinage de la Particule [48].

Les coefficients d'accélération :

Les coefficients d'accélération $C1$ et $C2$, ainsi que les valeurs aléatoires $\text{rand}(1,0)$ maintiennent l'influence stochastique des composantes cognitives et sociales de la vitesse de La particule.

Algorithme :

L'algorithme de base de la méthode PSO proposé par KEN 1995 [51] commence par une initialisation aléatoire des particules dans leur espace de recherche, en leur attribuant une position et une vitesse initiales. À chaque itération de l'algorithme les particules se déplacent

selon les équations (1) et (2) et les fonctions objectives (fitness) des particules sont calculées afin de pouvoir calculer la meilleure position de toutes P_g . La mise à jour des P_b et P_g est faite à chaque itération suivant l'algorithme de figure.2, Le processus est répété jusqu'à satisfaction du critère d'arrêt.

L'algorithme de cette méthode peut être décrit comme suit :

1ère étape : Initialisation des coefficients $c1$ et $c2$, le coefficient d'inertie (w).

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

2ème étape : La création de la population initiale aléatoirement et le calcul du fitness de chaque particule déterminer (Pbest) la meilleure position de la particule i dans la population actuelle et (Pg best :la meilleure position dans toutes les populations (la meilleure des meilleures).

3ème étape : Calcul de la vitesse et la nouvelle position de chaque particule par l'utilisation des formules (1)et (2).

4ème étape : Calcul du meilleur fitness de la population actuelle et la comparaison avec la précédente pour mettre à jour la meilleure solution de toute la population (Pgbest).

5ème étape : Incrémentation du nombre d'itération $t = t+1$.

6ème étape : si un critère d'arrêt est satisfait aller à la 7ème étape. Autrement, aller à la 3ème étape.

7ème étape : La position enregistrée dans (Pgbest) est la solution optimale.

Figure ci-dessous représente code de l'algorithme de base de la méthode PSO

d) Organigramme de PSO :

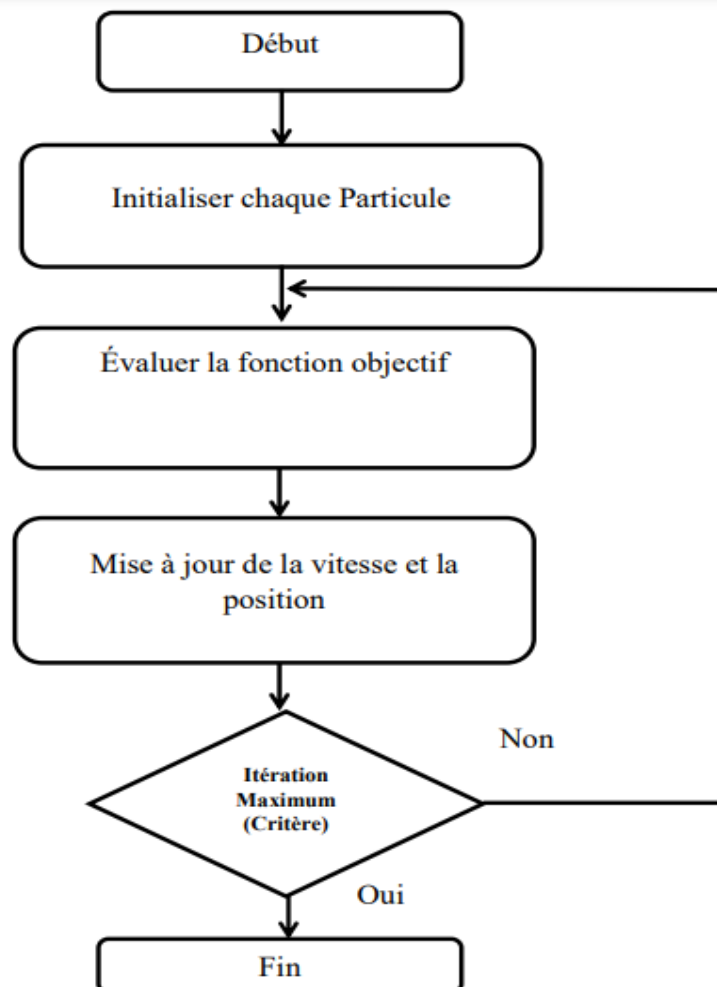


Figure III.2: Organigramme du PSO

2. Optimisation des loups gris GWO :

a) Inspiration de GWO

GWO est une technique d'intelligence d'essaim. L'inspiration de l'algorithme GWO est l'intelligence sociale des meutes de loups gris dans le leadership et la chasse. Dans chaque meute des loups gris, il y a une hiérarchie sociale commune qui dicte le pouvoir et la domination. Le loup le plus puissant est alpha, ce qui conduit toute la meute dans la chasse, la migration et l'alimentation. Lorsque le loup alpha n'est pas dans la meute, malade ou mort, le loup bêta le plus fort prend la tête de la meute. La puissance et la domination de delta et d'oméga sont inférieures à alpha et betas peut être vu dans Figure3. Cette intelligence sociale est l'inspiration principale de l'algorithme GWO. Une autre inspiration est l'approche de chasse des loups gris. Lorsqu'ils chassent une proie, les loups gris suivent un ensemble de mesures efficaces : chasser, encercler, harceler et attaquer, ce qui leur permet de chasser de grandes proies [49].

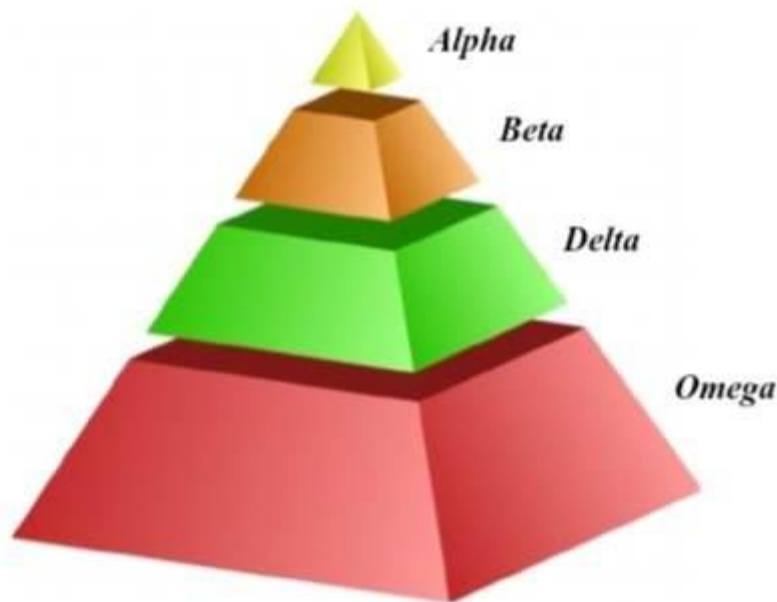


Figure III.3: Hiérarchie sociale des loups gris

b) Encerclant les proies :

La première étape de la chasse est de chasser et d'encercler. Pour modéliser mathématiquement cela, GWO considère deux points dans un espace n-dimensionnel et met à jour l'emplacement de l'un d'eux sur la base de celui d'un autre. L'équation suivante a été proposée pour simuler ceci :

$$X(t+1)=X(t)-A.D \quad (III.3)$$

Ou

$X(t+1)$ est l'emplacement suivant du loup,

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

$X(t)$ est l'emplacement actuel,

A est une matrice coefficient et D est un vecteur qui dépend de l'emplacement de la proie (X_p) et est calculé comme suit :

$$D=|C.X_p(t)-X(t)| \quad (III.4)$$

Où

$$C=2.r_2$$

Remarque : r_2 est un vecteur généré aléatoirement à partir de l'intervalle $[0,1]$.

Avec ces deux équations, une solution est capable de se déplacer autour d'une autre solution. Notez que les équations utilisent des vecteurs, Ceci est appliqué à n'importe quel nombre de dimensions.

Les équations permettant de définir leurs valeurs sont les suivantes :

$$A=2a. r_1-a \quad (III.5)$$

Où

a : est un vecteur dont les valeurs sont diminuées linéairement de 2 à 0 au cours de l'analyse.

r_1 : Est un vecteur généré aléatoirement à partir de l'intervalle $[0,1]$.

c) Chasser

Avec les équations présentées ci-dessus, un loup peut se déplacer à n'importe quel point dans un hyperpère autour de la proie. Cependant, cela ne suffit pas à simuler l'intelligence sociale des loups gris. Il a été dit plus haut que la hiérarchie sociale joue un rôle dans la chasse et la survie des meutes. Pour simuler la hiérarchie sociale, trois meilleures solutions sont considérées comme alpha, bêta et delta. Bien que dans la nature il puisse y avoir plus d'un loup dans chaque catégorie, il est considéré qu'il n'y a qu'une seule solution appartenant à chaque classe dans GWO par souci de simplicité.

Dans GWO, on suppose qu'alpha, beta et delta sont toujours les trois meilleures solutions obtenues jusqu'à présent. L'optimum global des problèmes d'optimisation est inconnu, il a donc été supposé que alpha, bêta et delta ont une bonne idée de son emplacement, ce qui est raisonnable parce qu'ils sont les meilleures solutions dans toute la population. Par conséquent, les autres loups devraient être obligés de mettre à jour leurs positions comme suit :

$$X(t+1)=\frac{1}{3}X1 + \frac{1}{3}X2 + \frac{1}{3}X3 \quad (III.6)$$

Où

$$X1=X\alpha(t)-A.D\alpha$$

$$X2=X\beta(t)-A.D\beta \quad (III.7)$$

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

$$X3=X\delta(t)-A.D\delta$$

Ou

$$D\alpha=|C1.X\alpha-X|$$

$$D\beta=|C1.X\beta-X| \quad (III.8)$$

$$D\delta=|C1.X\delta-X|$$

d) Procédure GWO

L'algorithme GWO est un algorithme d'intelligence d'essaim, soit initie le processus d'optimisation avec un ensemble de solutions aléatoires ; il existe un vecteur pour chaque solution qui maintient les valeurs pour les paramètres du problème. Dans chaque itération, la première étape consiste à calculer la valeur objective de chaque solution. Par conséquent, chaque solution est équipée d'une variable pour stocker sa valeur objective. En plus des vecteurs et des variables mentionnés jusqu'à présent pour enregistrer les données clés en mémoire lors de la résolution des problèmes avec GWO, il y a trois autres vecteurs et trois autres variables. Ces vecteurs et variables stockent les emplacements et les valeurs objectives des loups alpha, bêta et delta dans la mémoire. Ces variables doivent être mises à jour avant le processus de mise à jour des positions. L'algorithme GWO met à jour les solutions à l'aide des équations. Pour calculer ces équations, on calcule la distance entre la solution actuelle et l'alpha, le bêta et le delta devrait être calculée. Les contributions alpha, bêta et delta dans la mise à jour de la position de la solution sont ensuite calculées à. Indépendamment de la valeur critique des solutions et de leurs positions, les principaux paramètres de contrôle de GWO (A,C et a) sont mis à jour pour mettre à jour la position.

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

e) Organigramme de GWO :

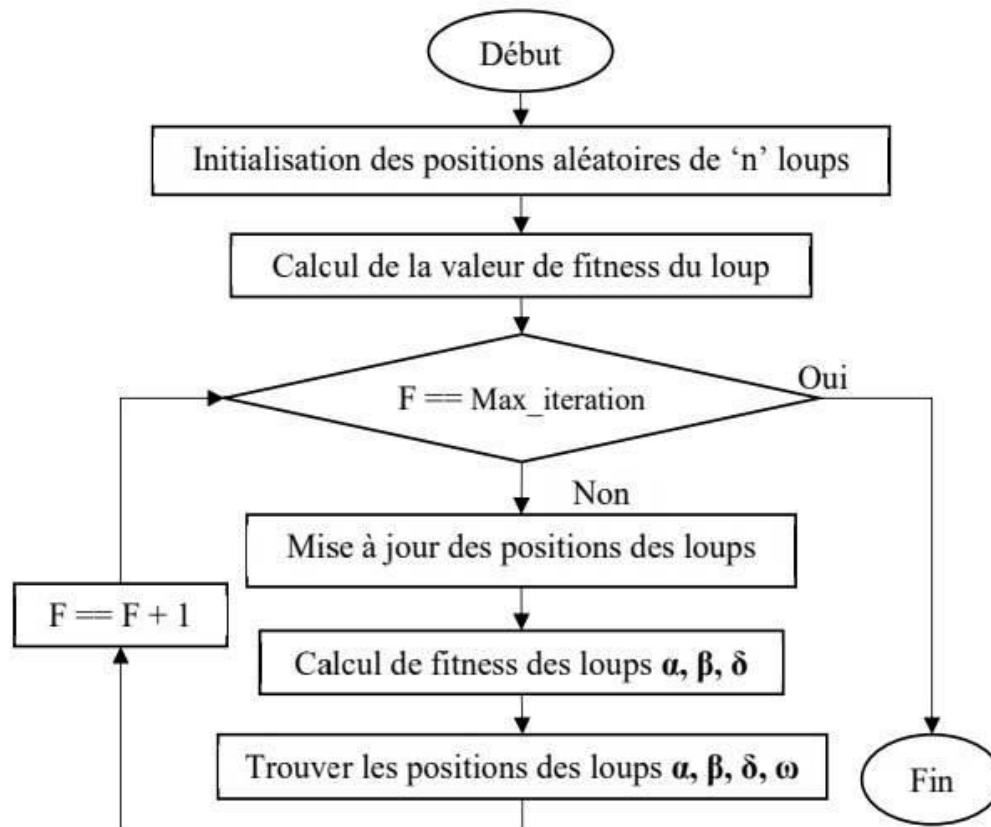


Figure III.4: L'organigramme de l'algorithme GWO [50]

L'algorithme GWO donné par la figure. III.4 se déroule selon les étapes suivantes :

- 1) Initialisation aléatoire des positions des loups α, β, δ dans l'espace de recherche limité par les valeurs minimales et maximales.

On attribue à la position initiale de chaque type de loup la valeur égale à l'infinie.

Alpha position = Beta position = Delta position = zéros

Alpha score = Beta score = Delta score = ∞

- 2) Le calcul de la fonction objective (fitness) consiste à choisir l'indice de performance le plus approprié pour avoir une erreur minimale qui correspond à fitness.

Alpha score, Beta score et Delta score sont comparés à fitness comme suit:

Si Alpha score < fitness, on actualise Alpha score qui sera égale à fitness et on définit la nouvelle position (Alpha position) du loup α qui correspond à Alpha score récent

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

. Si Alpha score > fitness et Beta score < fitness, on actualise Beta score qui sera égale à fitness et on définit la nouvelle position (Beta position) du loup β qui correspond à Beta score récent.

Si Alpha score > fitness et Beta score > fitness et Delta < fitness, on actualise Delta score qui sera égale à fitness et on définit la nouvelle position (Delta position) du loup δ qui correspond à Delta score récent.

3) Cette mise à jour se fait à chaque itération et les paramètres A, C et a sont mis à jour selon les Equations ce qui permet de rétrécir l'espace de recherche et réduire la distance qui sépare les loups de la proie.

4) Le calcul de fitness et la mise à jour des positions des loups se fait à chaque itération jusqu'à atteindre Max itération qui le critère d'arrêt de la GWO

L'application du PSO/GWO dans l'MPPT :

Pour trouver le point de puissance maximale a base du PSO ou bien GWO on dit que :

*Le fitness représente la puissance, et la position représente le rapport cyclique qui va attaquer le convertisseur DC/DC(BOOST)

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons retenu deux méthodes différentes, l'une aussi nouvelle que GWO et l'autre aussi vieille que PSO. Pour cette raison, nous les étudions pratiquement et les comparons dans le chapitre suivant.

Chapitre04

**Les algorithmes PSO, GWO Simulation et
Discussion les résultats**

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

I. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons faire une étude sur les deux algorithmes d'optimisation méta-heuristique PSO et GWO et faire des simulations sur des conditions climatiques variable (cas d'ombrage) pour faire une comparaison entre les deux techniques.

La fiabilité de la méthode d'optimisation utilisée est testée dans un environnement de Co-simulation (MatLab-Simulink / Psim).

II. Présentation du logiciel :

1. Matlab/Simulink :

MATLAB est un langage de programmation de quatrième génération et un environnement d'analyse numérique.

Simulink est un environnement de schémas bloc utilisé pour concevoir des systèmes avec des modèles multi domaines, les simuler avant de passer sur du hardware, puis les déployer sans avoir à écrire de code [52].

2. Psim :

Le PSIM (Physical security information management) est un logiciel qui fournit une interface unique destinée à intégrer de multiples applications de sécurité et de contrôle. Le PSIM permet d'identifier et de résoudre les problèmes de manière proactive [53].

Dans notre étude nous avons effectué une Co-simulation à l'aide de deux logiciels :

- ❖ Psim pour la simulation dynamique de la partie électrique (Hacheur Boost et Panneaux solaires)(FigureIV.1).
- ❖ SimuLink/MatLab pour programmer l'algorithme de la commande MPPT. (figure).

Où

- le bloc Sim Coupler permet de faire le couplage entre les deux logiciels.
- le bloc « MatLabFunction » permet de faire appel à un fichier m-file (.m) contenant le programme de la commande MPPT à base de la technique PSO ou GWO.

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

III. Résultats de simulation

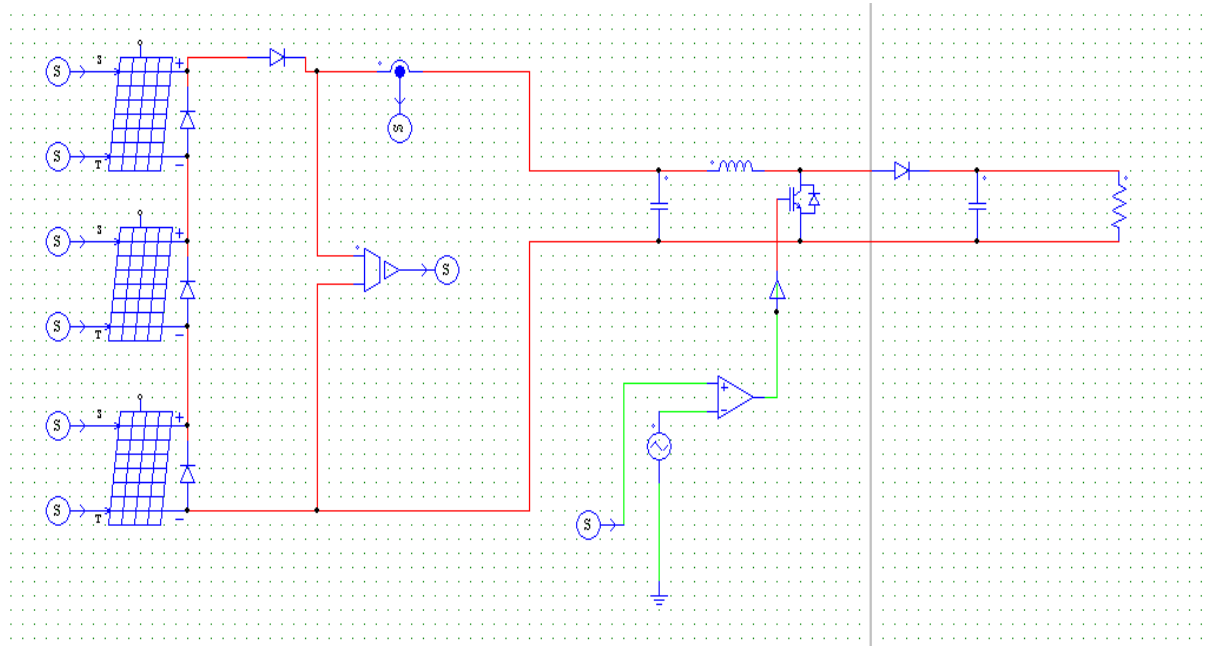


Figure IV.1: La partie électrique de la simulation dans Psim

IV. Applications de l'algorithme PSO et GWO dans la Commande MPPT :

La figure suivante représente la partie commande de la simulation de l'algorithme PSO/GWO sous le logiciel MATLAB/SIMULINK :

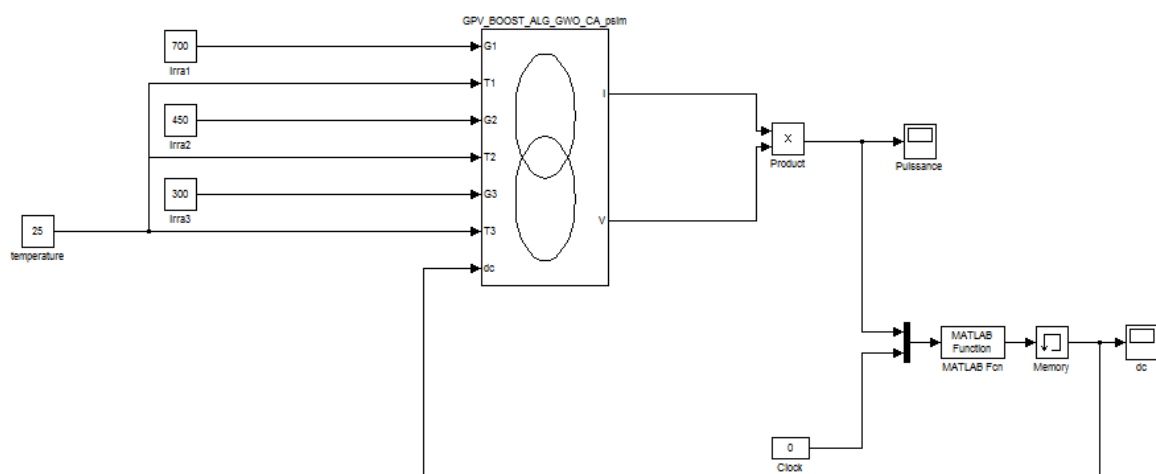


Figure IV.2:La partie commande de la simulation dans SIMULINK

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

Dans cette partie nous allons faire un changement dans l'éclairement pour étudier et comparer la puissance que le panneau peut délivrer en appliquant l'algorithme de la commande MPPT a base des deux la techniques PSO et GWO :

1) Eclairement 1000W/m² (dans les trois modules) :

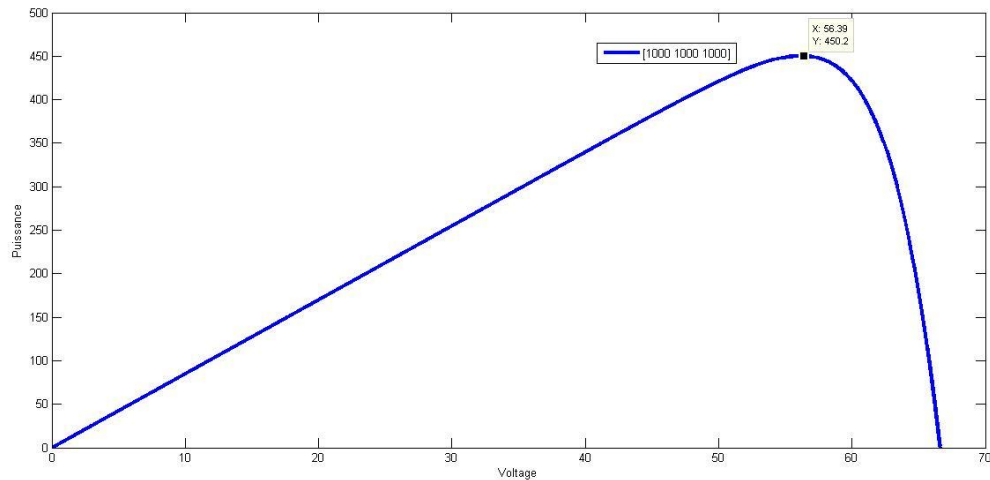


Figure IV.3: Courbe P-V avec éclairement uniforme de 1000W/m²

Ou

Irra1=1000W/m²

Irra2=1000W/m² et T=25°C

Irra3=1000W/m²

D'après la Figure IV.3 nous pouvons voir que le panneau délivre en régime statique

(En faisant une variation linéaire de la tension de 0 jusqu'à Voc) Puissance maximale 450W, ce qui est exactement la puissance maximale qu'il peut délivrer.

Par l'application de la commande MPPT a base de la technique PSO et GWO, on remarque que dans le cas le cas d'un éclairement uniforme l'algorithme converge vers la même valeur de puissance maximale (Figure IV.4)(Figure IV.5)

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

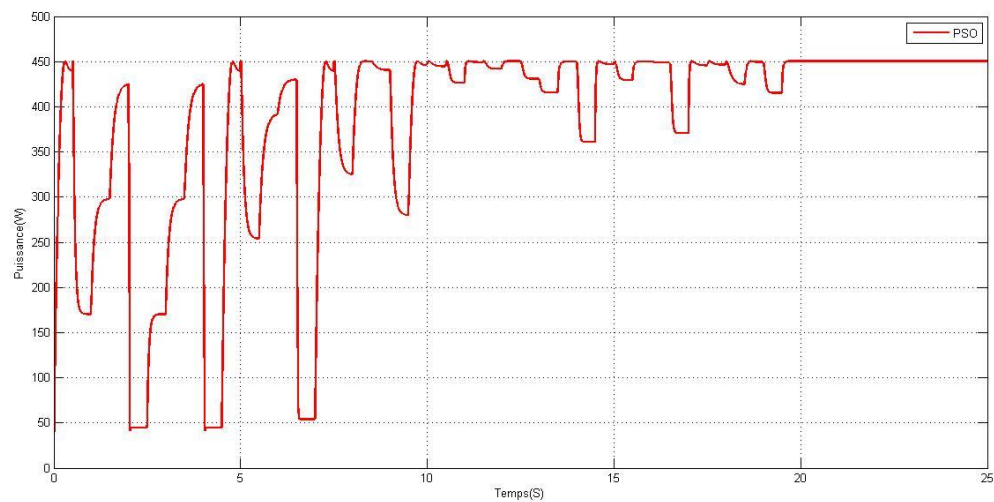


Figure IV.4: Variation de la puissance lors de l'application du PSO

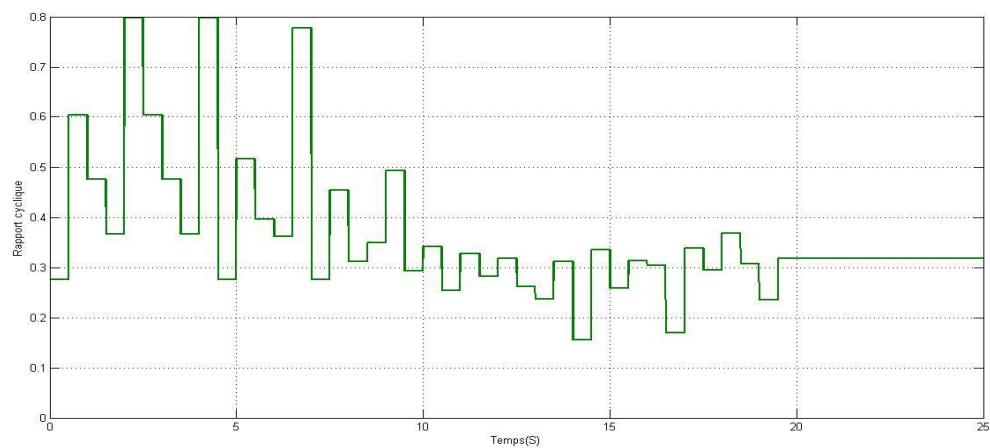


Figure IV.5: Variation du rapport cyclique lors de l'application du PSO

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

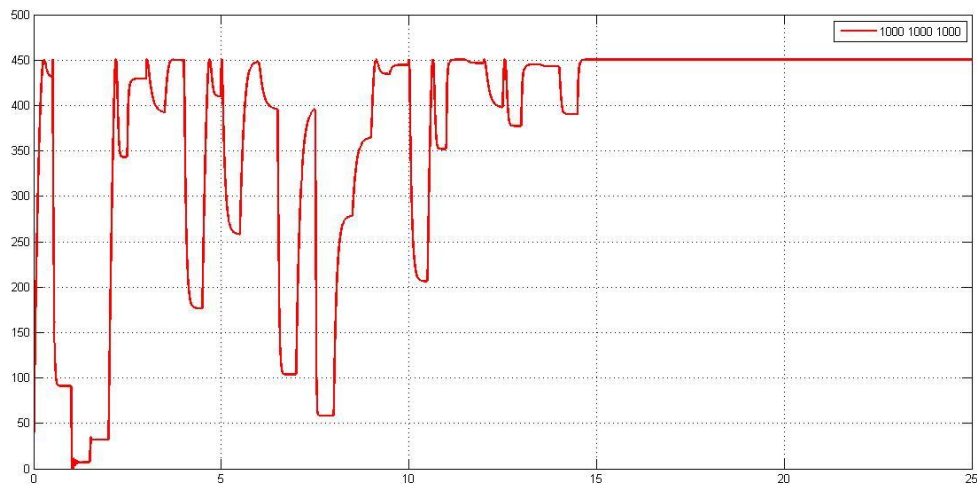


Figure IV.6: Variation de la puissance lors de l'application du GWO

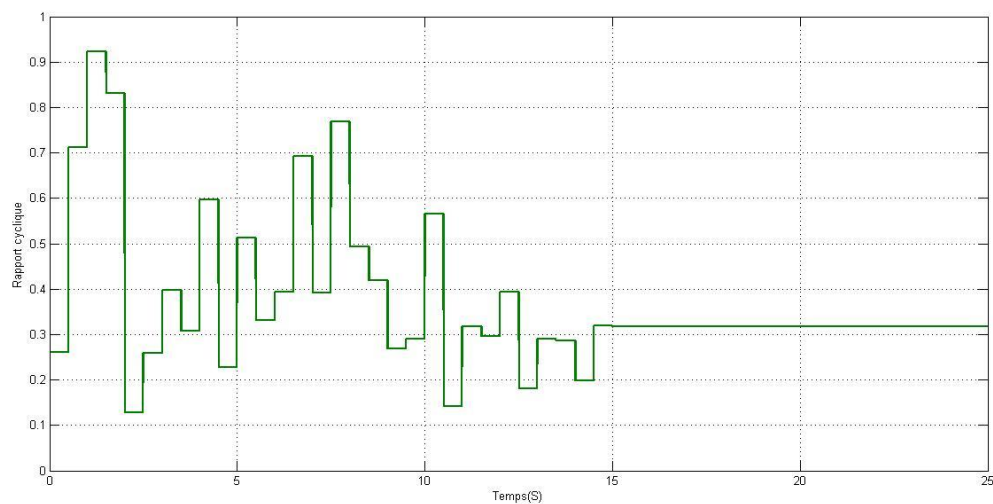


Figure IV.7: Variation du rapport cyclique lors de l'application du GWO

Pour étudier l'efficacité des deux algorithmes PSO et GWO nous allons faire 20 tests sur chaque technique :

	Rapport cyclique DC	Puissance FPg	Nombre d'itérations Iconv
PSO	31.63%	450.179W	8
GWO	31.65%	450.19W	6

Tableau 3: les résultats de 20 tests

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

2) Dans les conditions d'ombrage :

Dans cette partie, nous allons provoquer quelques configurations d'ombrage en donnant des éclaircissements non uniformes :

A. Cas de deux (02) maximums :

En régime statique, et puisque nous avons utilisé les diodes by-pass on obtient deux maximum comme la Figure IV.8 la montre :

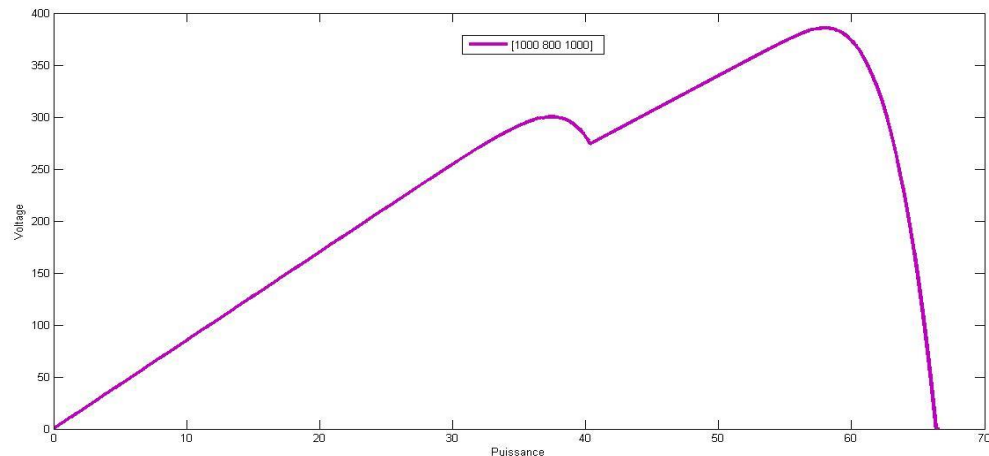


Figure IV.8: Courbe P-V avec des conditions d'ombrage (cas de deux maximums)

Ou

$Irra1=1000W/m^2$

$Irra2=800W/m^2$

et $T=25^{\circ}C$

$Irra3=1000W/m^2$

Par l'application du PSO on obtient les résultats suivants :

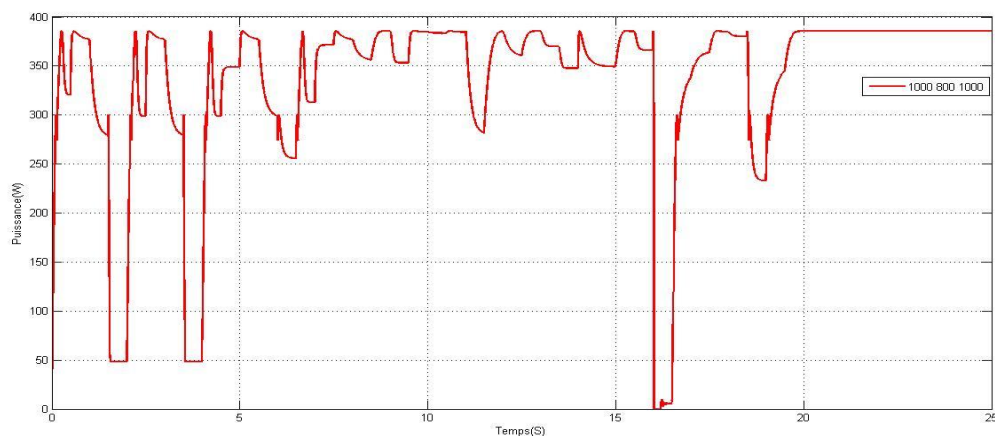


Figure IV.9: Variation de la puissance lors de l'application du PSO

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

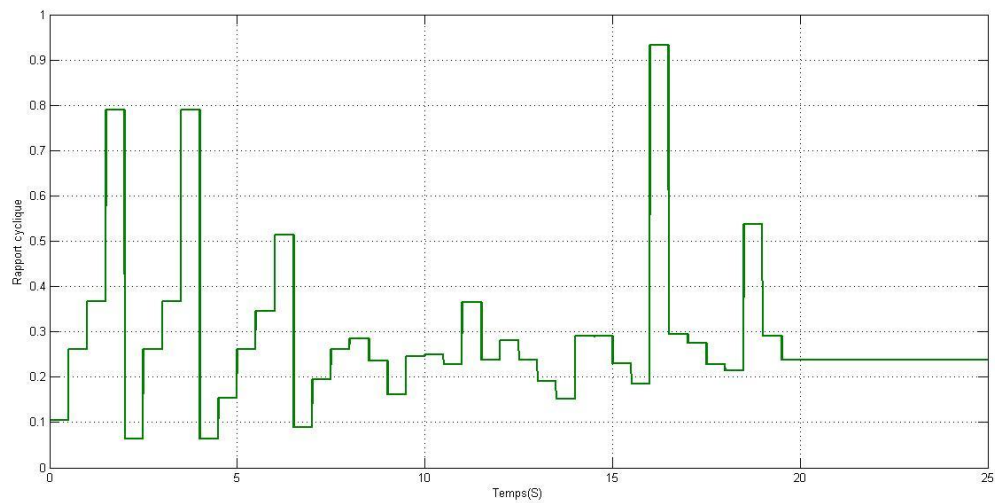


Figure IV.10: Variation du rapport cyclique lors de l'application du PSO

Et par l'application du GWO on obtient :

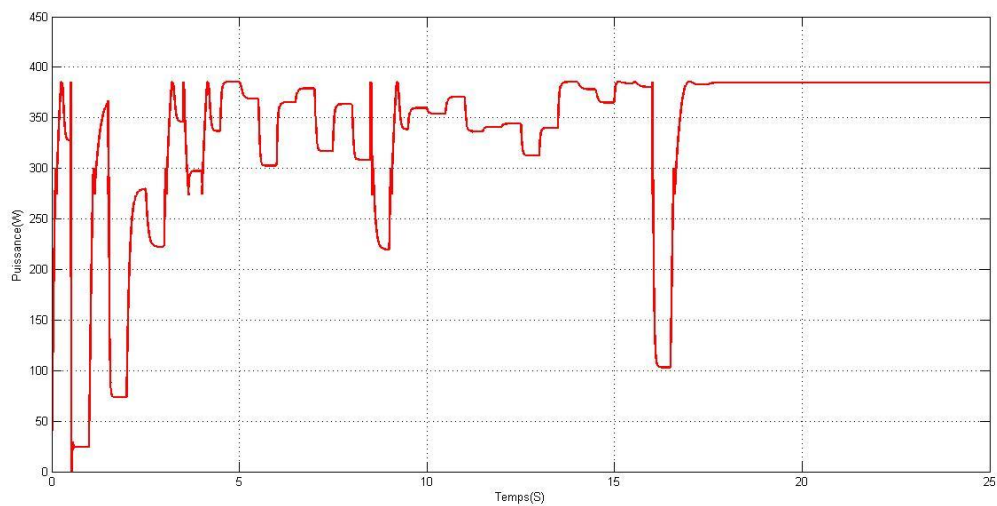


Figure IV.11: Variation de la puissance lors de l'application du GWO

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

Ou

Irra1=100W/m²

Irra2=800W/m²

et T=25°C

Irra3=500W/m²

Par l'application du PSO on obtient les résultats suivants :

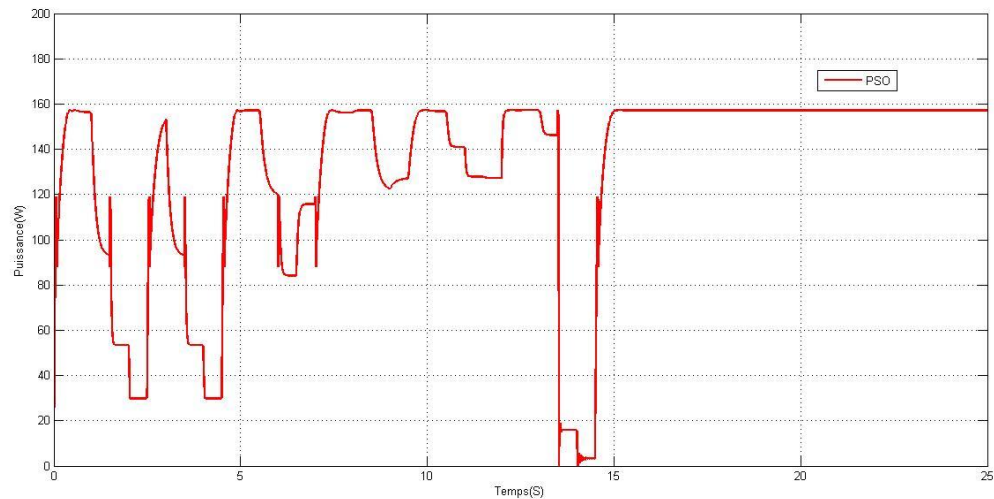


Figure IV.14: Variation de la puissance lors de l'application du PSO

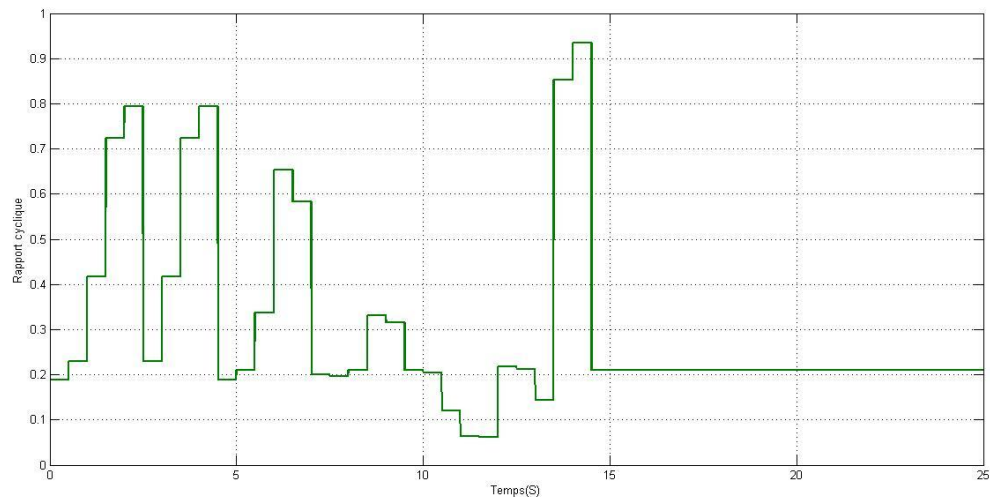


Figure IV.15: Variation du rapport cyclique lors de l'application du PSO

Lorsque on applique GWO :

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

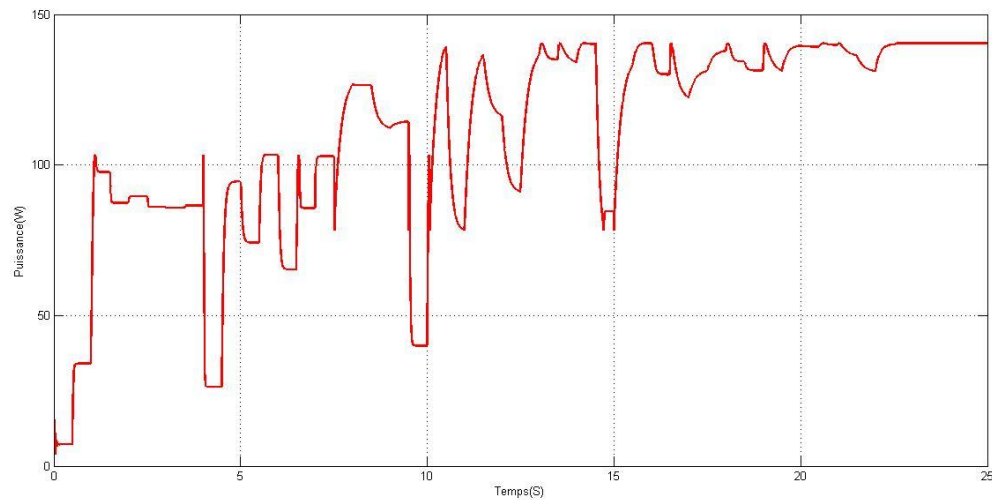


Figure IV.16: Variation de la puissance lors de l'application du GWO

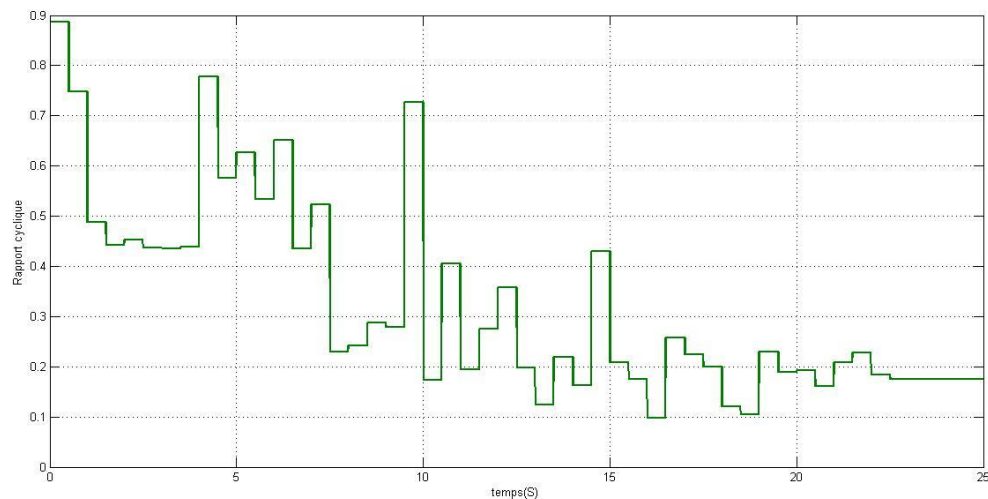


Figure IV.17: Variation du rapport cyclique lors de l'application du GWO

Les résultats obtenus montrent que la technique PSO et GWO dans ce cas converge aussi vers le maximum.

Pour étudier l'efficacité des deux algorithmes PSO et GWO nous allons faire 20 tests sur chaque technique :

	Rapport cyclique DC	Puissance FPg	Nombre d'itérations Iconv
PSO	21.46%	157.91W	6
GWO	21.41%	157.21W	5

Tableau 5: les résultats de 20 tests

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

Mais la convergence du GWO est rapide dans ce cas car elle trouve le maximum dans 5 itérations alors que le PSO la trouve dans 7 itérations.

B. Cas de trois(03) maximums proche :

Dans ce cas-là nous avons trois maximums ou les deux derniers ont presque la même valeur :

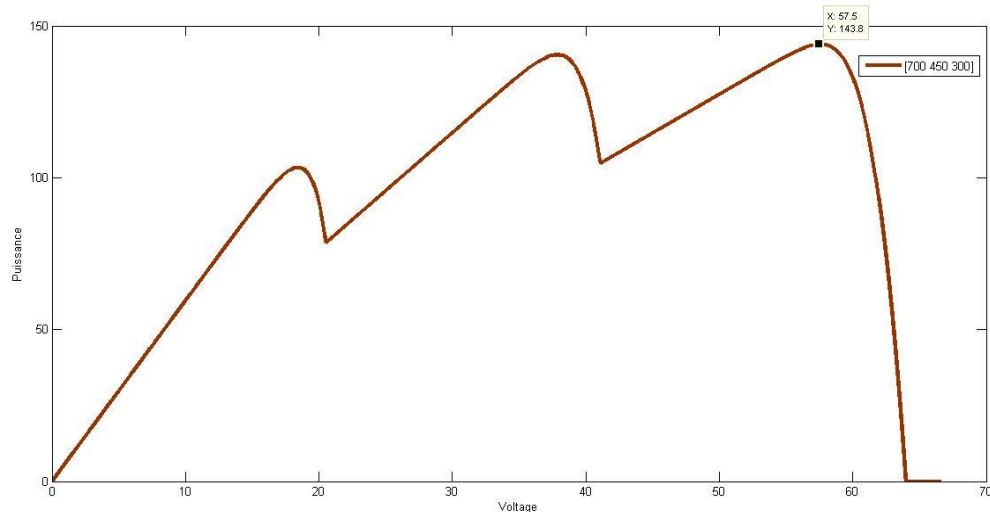


Figure IV.18: Courbe P-V avec des conditions d'ombrage (cas de trois maximums proche)

Ou

$Irra1=700W/m^2$

$Irra2=450W/m^2$

et $T=25^{\circ}C$

$Irra3=300W/m^2$

Par l'application du PSO on obtient les résultats suivants :

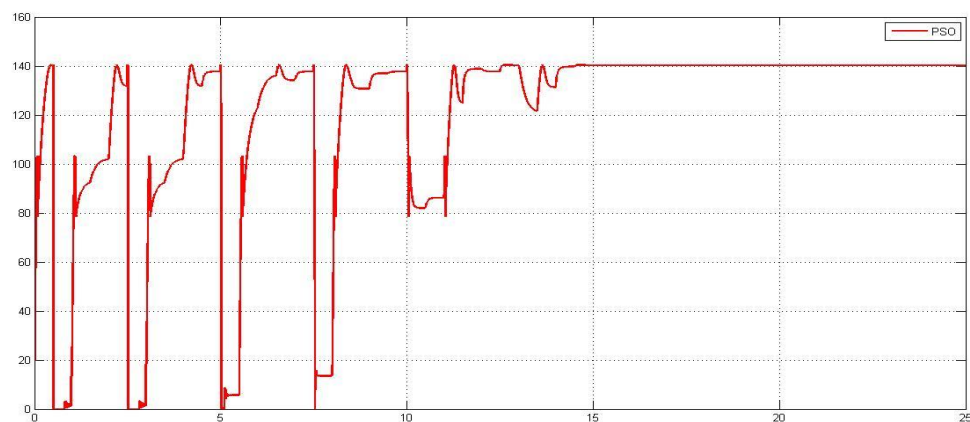


Figure IV.19: Variation de la puissance lors de l'application du PSO

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

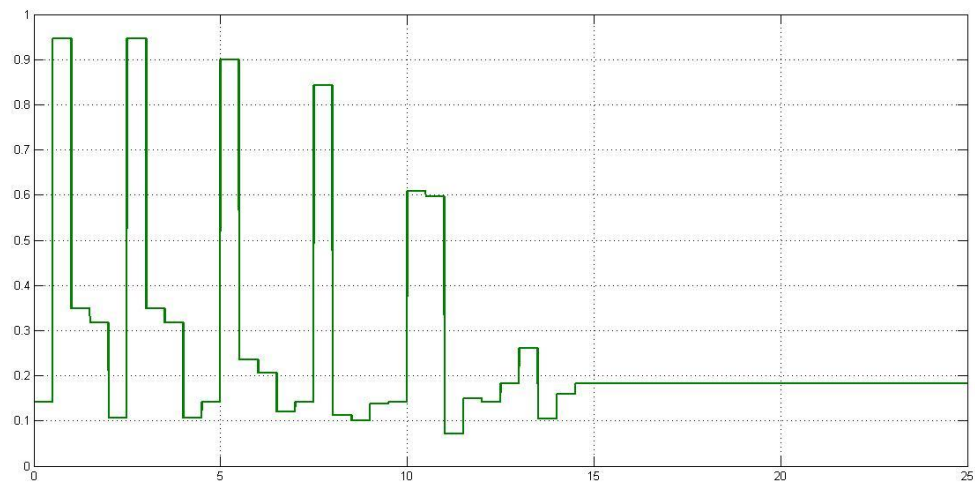


Figure IV.20: Variation du rapport cyclique lors de l'application du PSO

Par l'application du GWO on obtient les résultats suivants :

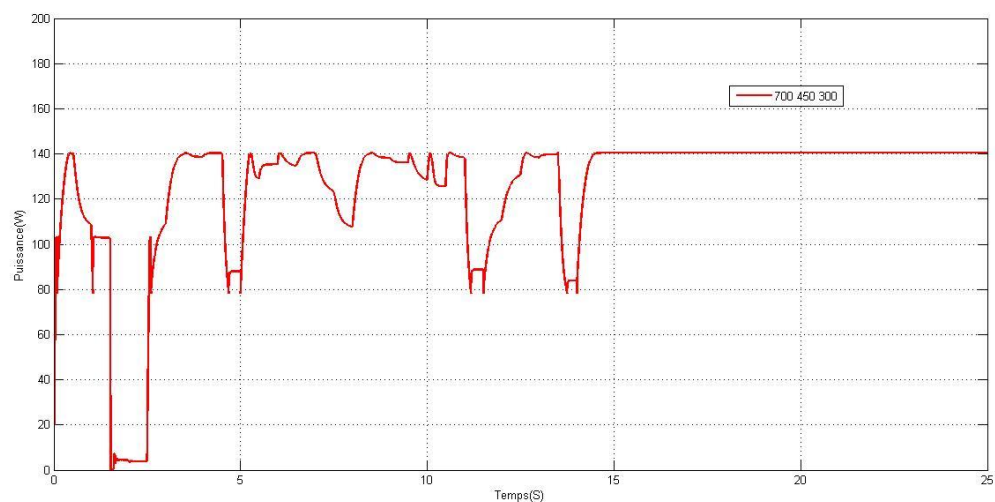


Figure IV.21: Variation de la puissance lors de l'application du GWO

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

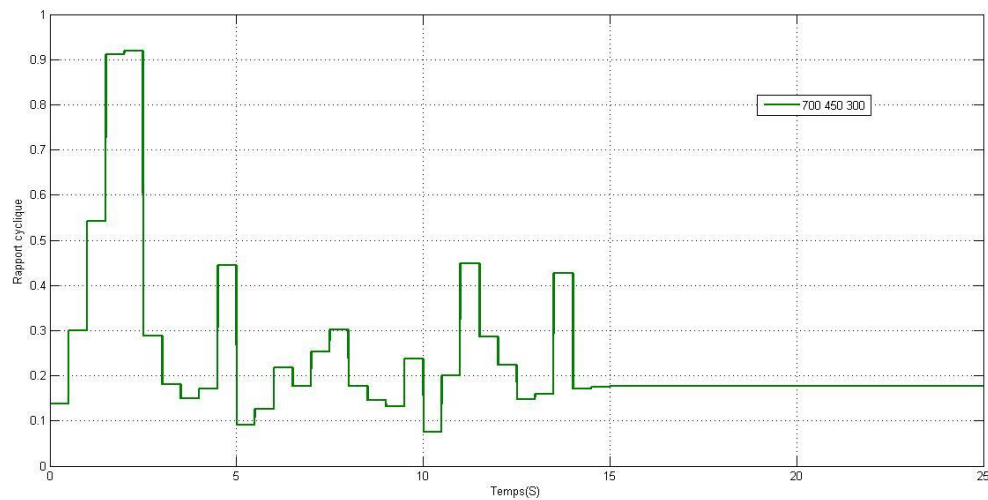


Figure IV.22: Variation du rapport cyclique lors de l'application du GWO

On remarque que dans cette partie l'algorithme converge vers le maximum.

Pour étudier l'efficacité des deux algorithmes PSO et GWO nous allons faire 20 tests sur chaque technique :

	Rapport cyclique DC	Puissance FPg	Nombre d'itérations Iconv
PSO	17.40%	140.38W	8
GWO	17.46%	140.42W	6

Tableau 6: les résultats de 20 tests

On remarque après 20 tests pour chaque technique la convergence vers le maximum du GWO est plus rapide par rapport au PSO.

Ainsi le PSO trouve le maximum 80%(140W), alors que le GWO a trouvé le vrai maximum 95%.

L'effet de l'ombrage instantané(T=30S) au système PV :

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

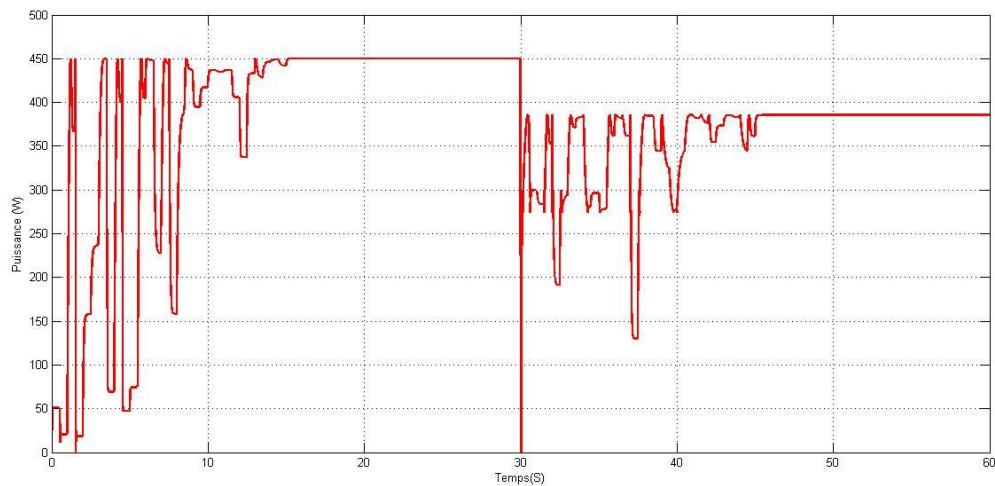


Figure IV.23: Variation de la puissance lors de l'application du GWO lorsqu'on applique un ombrage à $T=30S$

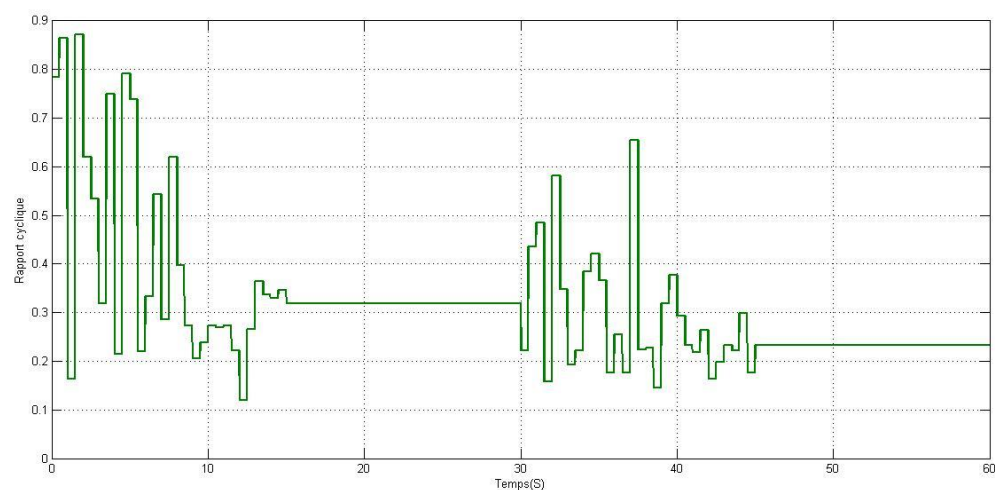


Figure IV.24: Variation du rapport cyclique lors de l'application du GWO lorsqu'on applique un ombrage à $T=30S$

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

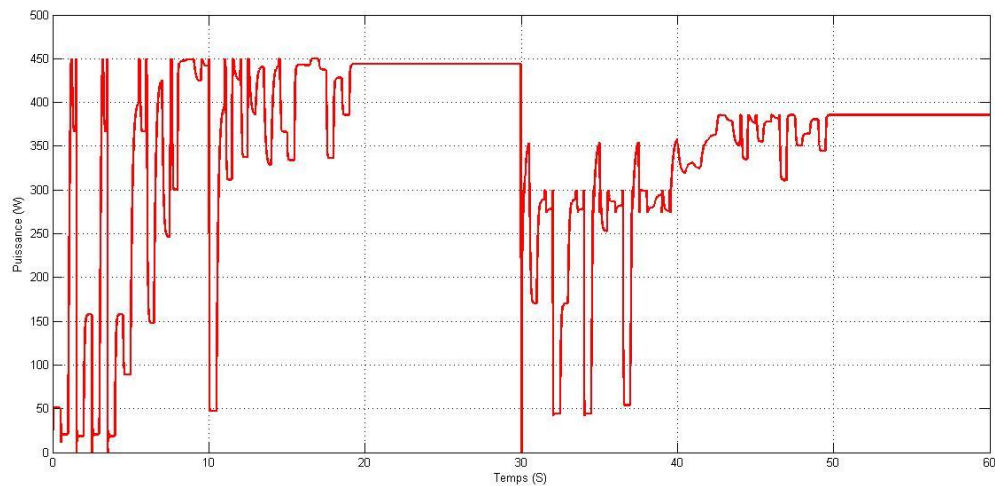


Figure IV.25: Variation de la puissance lors de l'application du PSO lorsqu'on applique un ombrage à T=30S

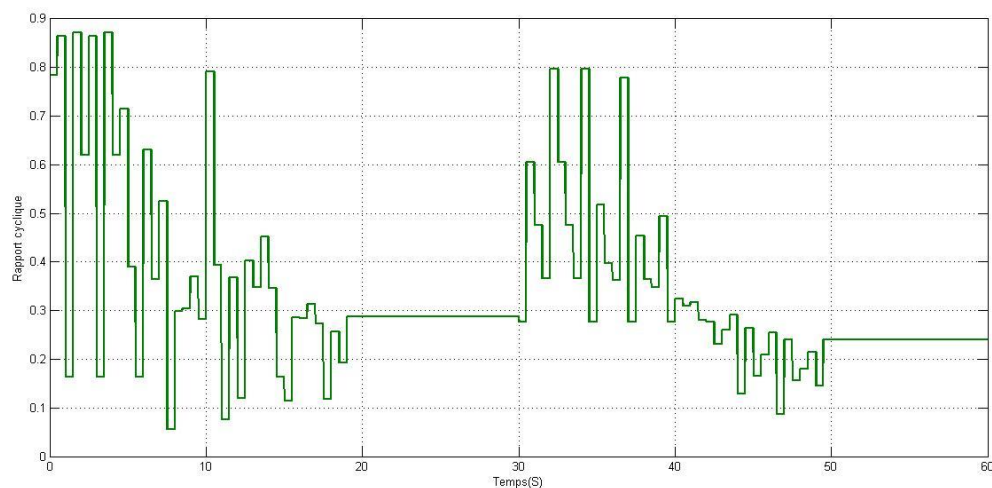


Figure IV.26: Variation du rapport cyclique lors de l'application du PSO lorsqu'on applique un ombrage à T=30S

On remarque que le système converge vers le maximum (450W) si nous avons un éclaircissement uniforme (1000W/m^2), dans l'instant $T=30\text{S}$ et lorsqu'on applique un ombrage le système converge vers le nouveau maximum (385W) avec un retard de 0.5S

V. Discussion des résultats :

Dans tous les cas étudiés on voit que la technique la plus rapide est GWO car elle converge vers le maximum voulu dans un nombre d'itérations moins que la technique du PSO, et c'est le même cas lorsque on parle de la précision, comme nous avons observé dans le troisième cas lorsque nous avons 2 maximum proche

Chapitre03 : L'optimisation par essaim de particule (PSO) et l'optimisation des loups gris(GWO)

- 95% L'algorithme GWO trouve le maximum (140w), et les 5% restant il a trouvés la valeur du 2ieme sommée proche (136W).
- 80% L'algorithme PSO trouve le maximum (140w), et les 5% restant il a trouvés la valeur du 2ieme sommée proche (136W).

VI. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons étudiés l'efficacité de la commande MPPT a base des deux techniques méta-heuristique PSO et GWO dans plusieurs cas d'ombrage.

Les résultats de la comparaison montrant que la commande MPPT à base de GWO a de meilleures performances que la technique de PSO.

Conclusion générale :

Dans cette présentation nous avons examiné ce sujet principalement avec le problème de l'impact de l'ombrage sur la courbe de tension-puissance (P-V) du système photovoltaïque.

Cela nous a conduit à étudier la commande MPPT basée sur les différents types d'algorithmes, parmi ces algorithmes nous avons les techniques classiques comme P&O (la méthode la plus étudiée) qui montre l'échec de ces techniques lors de la recherche du point de puissance maximale sous les conditions d'ombrage, c'est pour ça nous avons utilisé des méthodes de recherche globale et plus efficace.

La comparaison des résultats de simulation entre les deux méthodes méta-heuristiques choisies (PSO et GWO) montre que les techniques de recherche globale sont plus efficaces dans la poursuite du PPM en présence des conditions d'ombrage.

On note aussi que le temps de convergence de l'algorithme d'optimisation des loups gris GWO est rapide par rapport au PSO, ainsi nous avons remarqué après plusieurs tests la précision de ce dernier est moins que GWO.

Donc on conclut que la commande MPPT à base de la technique d'optimisation des loups gris est la plus efficace dans la poursuite du PPM.

Le système étudié répond après 15 à 20S et nous pouvons proposer comme perspective la minimisation du temps de réponse par le bon dimensionnement du convertisseur DC/DC (hacheur) par des équations bien définies.

Annexe:

Caractéristiques du module PV :

Dans cette étude nous allons utiliser les paramètres d'AMERESCO SOLAR DATASHEET :

Les paramètres	Les valeurs
Puissance maximale P_{max}	150 W
Tension au point de puissance max V_{MPP}	18.1V
Courant au point de puissance max I_{MPP}	8.3A
Courant de court-circuit I_{cc}	8.5A
Tension de circuit ouvert V_{oc}	22.2V
Coefficient de température en circuit ouvert (V_{oc}) Kv	-0.360%/°C
Coefficient de température en court-circuit (I_{cc}) Ki	0.105%/°C
Nombre de cellules	36

Les caractéristiques du module PV sous PSIM

Les paramètres	Les valeurs
Résistance série R_s	0.010001(Ohm)
Courant de court-circuit I_{cs0}	8.91A
Courant de saturation I_{s0}	3.5 e-9A
Coefficient de température ct	0. 825A/K

Les caractéristiques du module PV(les paramètres calculer) sous PSIM

Bibliographie:

- [1] K. Kassmi, M. Hamdaoui, et F. Olivié, "Conception et modélisation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique," 2007.
- [2] Dang Minh Trung "élaboration de cellules solaire photovoltaïque à base de polymères conjugués, études des systèmes", thèse de Doctorat, université de Bordeaux 26/11/2009
- [3] E.Schiller. "Le pompage photovoltaïque, manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens". Université d'Ottawa, 1998.
- [4] Z.Bendjellouli. "Contribution à la modélisation d'une cellule solaire". Mémoire de Magister.Université de Bechar, 2009.
- [5] Z.Bendjellouli. "Contribution à la modélisation d'une cellule solaire". Mémoire de Magister.Université de Bechar, 2009.
- [6] Anne Labouret, Michel Villos, Energie solaire photovoltaïque, Le Moniteur, 5-6, 2005.
- [7] Fellah Boumediene, «Système hybride photovoltaïque-éolien, de production d'électricité. Application aux sites de Tlemcen et de Bouzaréah» Thèse de Magister, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, Décembre 2012.
- [8] Abdelmalek Bouden, «Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque». Mémoire de magistère, Université de Constantine, Algérie 2008.
- [9] J.P.Joly."Focus Technique Photovoltaïque Un Nouvel Éclairage". L'Institut National del'Energie Solaire (INES) Paris, mars 2011.
- [10] LAMOUDI MOUHAMED YACINE, BADJ FAHIM NACER EDDINE « Conception et réalisation d'une carte de caractérisation pour panneaux solaires » mémoire de fin d'études ENP, 2008.
- [11] H. S. Kim, N. Okada and K. Takigawa "A Study on Utility InteractivePV System in Harmony with Utility" IEEE Transactions on Conversion Energy 2000 pp : 1179-1184.
- [13] M. Ohnishi and A. Takeoka "Advanced photovoltaic Technologies and Residential Applications" Renewable Energy, Vol. 6, No. 3 (1995) pp : 275-282.
- [14] : N. Achaibou, A Malek , N Bacha « Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV » ; N. spécial (CHEMSS), pp 61-66,2000.
- [15]: I. Tsuda, K . Kurokawa ,K.Nozaqi, «Annual simulation results of photovoltaic system with redox flow battery », solar Energy Materials and solar cells 35,pp 503 – 508,1994.
- [16] Rapport de stage projet de fin d'études Ingénieur Technique Industrielle, Septembre 2006, Réalisation de Technique MPPT numérique, par Alain Bilbao Learreta, Université Virgile.
- [17] H CHENOUFI, 'Optimisation du procédé technologique de réalisation d'une cellule solaire par la technique de diffusion'. Mémoire de Magistère, Université de Batna2005

- [18] : D.Turcotte,M.Ross and F.Sheriff. « Photovoltaic hybrid System Sizing and Simulation Tools » PV Horizon, Canada, 2001.ARTICLE PDF.
- [19]"Photovoltaic (PV) Module Safety Qualification Testing", UL 1703, Underwriters Laboratories Inc., 2013.
- [20]"Measurement of Photovoltaic Properties of Sunlight-Responsive Semiconductor Devices", IEC 60904-1, International Electrotechnical Commission, 2017.
- [21]A. Luque and S. Hegedus, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, 2nd ed. (John Wiley & Sons, Ltd, 2011), pp. 29-45.
- [22]Sarwar, A., Gao, W., & Hussain, A. (2015). Five parameter modelling and simulation of solar PV cell. In 2015 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) (pp. 134-138). IEEE
- [23] Boyle, G. (2012). Renewable Energy: Power for a Sustainable Future. Oxford University Press
- [24]M.saadsaoud, « optimisation de la gestion de l'énergie photovoltaïque utilisée dans une zone agricole » thèse de Doctorat, université de badji Mokhtar, 2017
- [25] Messenger, R. A., & Ventre, J. (2004). Photovoltaic Systems Engineering. CRC Press.
- [26] Aamarouayache Mohamed, « contribution à l'optimisation d'une chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque », doctorat en sciences en électrotechnique option ,2014
- [27] BENDAHOU Djamel, BOUROUIS El-Abbes, «Commande MPPT pour les systèmes photovoltaïques en utilisant l'optimisation par essaim de particules», Master en Electronique, Université SAAD DAHLAB de BLIDA, 2013
- [28] CABAL Cédric, « Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque», thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 2008
- [29] A. Chermitti, O. Boukli-Hacene and S. Mouhadjer, 'Design of a Library of Components for Autonomous Photovoltaic System under Matlab/Simulink', International Journal of Computer Applications, Vol. 53, N°14, 2012.
- [30] BENSACI Wafa, «Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT », Mémoire master, université kasdi Marbah Ouargla,2012.
- [31] K. SOBIAHI, Etude et réalisation d'un hacheur de tracking (MPPT) à contre réaction de tension, Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Algérie, 2003.
- [32] M. Angel Cid Pastor, « conception et realisation de modules photovoltaïques électroniques », docteur de l'institut national des sciences appliquées de toulouse, 2006
- [33] G. Dileep, S. N. Singh. Selection of non-isolated DC-DC converters for solar photovoltaic system. Renew. Sustain. Energy Rev. 2017; 76: 1230–1247.

- [34] S. Saravanan, N. R. Babu. A modified high step-up non-isolated DC-DC converter for PV application. *Rev. Mex. Trastor. Aliment.* 2017; 15(3): 242–249.
- [35] M. Orabi, F. Hilmy, A. Shawky, J. A. Abu Qahouq, E. S. Hasaneen, E. Gomaa. On-chip integrated power management MPPT controller utilizing cell-level architecture for PV solar system. *Sol. Energy.* 2015; 117: 10–28.
- [36] R. CHAPARDE ‘Commande électronique des machines a courant continue’ Eyrolles 1975.
- [37] M. Frederick design and implementation of a digitally controlled stand-alone photovoltaic power supply”, Department of electrical. Power engineering, Norwegian university of science and technology o.s bragstads plass 2e, 7491 Trondheim, Norway.
- [38] Yassine LASMI. Optimisation de la poursuite du point de puissance maximale (MPPT) d’un système photovoltaïque par les techniques intelligentes. Université Sétif -1 (ALGERIE)
- [39] A. Tchapo singo “système d’alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l’habitat énergétiquement autonome”, Thèse de doctorat université Henri Poincaré 2010
- [40] 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.
- [41] L.A. Zadeh, "Information and Control, Fuzzy Sets", vol 8, pp 338-353, 1965
- [42] Mirjalili S, Lewis A. The Whale Optimization Algorithm. *Adv Eng Softw* 2016;95:51–67. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.008>.
- [43] Trivedi IN, Jangir P, Kumar A. A Novel Hybrid PSO-WOA Algorithm for Global Numerical Functions Optimization prngerdv “ A ances in In l te en light systems an dpuomti 2016. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4674.5209>.
- [44] H, Hamana Nazim, « Approche basée méta-heuristique pour la sélection des services d'adaptation de documents multimédia » Master en informatique, Université L’arbi Ben M’hidi - Oum El Bouaghi, 2019
- [45] KENNEDY J., EBERHART R., “Particle Swarm Optimization,” *Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, IEEE Press, vol. 8, no. 3, pp. 1943–1948. 1995
- [46] COOREN Y., Perfectionnement d'un algorithme adaptatif d'Optimisation par Essaim Particulaire. Applications en génie médical et en électronique. Thèse de Doctorat, Université de Paris 12 Val de Marne, France. 2008.
- [47] M. Zemzami, N. Elhami, A. Makhloufi, M. Itmi, et N. Hmina, « Application d’un modèle parallèle de la méthode PSO au problème de transport d’électricité », *Incertitudes et fiabilité des systèmes multiphysiques*, vol. 17, no 1, févr. 2017.

[48]Engelbrecht. AP, “ComputationalIntelligence : An Introduction”, John Wiley and Sons, ch. 16, pp. 289-358,2007.

[49] Mirjalili S. Mirjalili SM, Lewis A. Grey Wolf Optimizer. Adv Eng Softw 2014;69:46-61.

[50]Hossam Faris1•Ibrahim Aljarah1•Mohammed Azmi Al-Betar2•Seyedali Mirjalili,REVIEWGrey wolf optimizer: a review of recent variants and applications 2017.

[51]URL:"https://www.researchgate.net/publication/303886549_Perfectionnement_des_algorithms d'optimisation par essaim particulaire applications en segmentation d'imageset en electronique","accessed: {"date-parts": [2015.6,1]}

[52]_Fr.mathwork.com

[53] <https://www.noemis.fr>