

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Fin d'Étude

Présenté à

L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En Réseaux Électriques

Présenté par

HAMIED Abdelouahed et AHMADI Abdelhafid

Thème

Identification Et Modélisation Des Panneaux Photovoltaïque A L'aide De Méthodes Métaheuristiques

Soutenu le 24/09/2020 Devant le jury composé de :

Mr. MAMMERI OUSSAMA	Maitre de conférences	Président
Mr. GACEM ABDELMALEK	Maitre de conférences	Rapporteur
Mr. LABBI YACINE	Maitre de conférences	Examineur

Année Universitaire 2019/2020

Résumé

Les performances d'un module photovoltaïque peuvent être décrites par la caractéristique I-V qui est affectée par les différents paramètres électrique. Dans ce travail, une technique évolutionnaire basée sur le algorithme de recherche de coucou (CS) et hybridation algorithme de recherche de coucou avec biogéographie (BHCS) été utilisée afin d'extraire les paramètres électriques d'un module photovoltaïque. Basant sur le modèle analytique du courant-tension d'une cellule solaire à une seule diode, double diode, triple diode, ce dernier à été résolu et les résultats sont comparés à ceux expérimentaux où un bon accord est trouvé. De plus, la technique basée sur l'approche des algorithmes de recherche de coucou (CS) et BHCS sont très prometteuse dans la détermination des paramètres électriques d'un module photovoltaïque à partir des mesures expérimentaux de leurs caractéristiques I(V).

Mots-clés: photovoltaïque, cellules solaires, paramètres électriques, CS, BHCS

Abstract

The performance of a photovoltaic module can be described by the I-V characteristic which is affected by the various electrical parameters. In this work, an evolutionary technique based on Cuckoo Search Algorithm (CS) and Cuckoo Search Algorithm with Biogeography (BHCS) hybridization was used to extract the electrical parameters of a photovoltaic module. Based on the current-voltage analytical model of a single-diode, double-diode, triple-diode solar cell, the latter has been solved and the results are compared to experimental ones where a good agreement is found. In addition, the technique based on the approach of cuckoo search algorithms (CS) and BHCS show great promise in determining the electrical parameters of a photovoltaic module from experimental measurements of their I (V) characteristics.

Keywords: photovoltaic, solar cells, electrical parameters, CS, BHCS

ملخص

يمكن وصف أداء الوحدة الكهروضوئية بخاصية I-V التي تتأثر بالمعلمات الكهربائية المختلفة. في هذا العمل ، تم استخدام تقنية تطويرية تعتمد على خوارزمية بحث الوقواق وخوارزمية بحث الوقواق مع تهجين الجغرافيا الحيوية لاستخراج المعلمات الكهربائية للوحدة الكهروضوئية. استناداً إلى النموذج التحليلي للجهد الحالي لخلية شمسية أحادية الصمام الثنائي ، ثنائية الصمام الثنائي ، ثلاثية الصمامات ، تم حل الأخير ومقارنة النتائج بالنتائج التجريبية حيث تم العثور على اتفاق جيد. بالإضافة إلى ذلك تُظهر التقنية القائمة على نهج خوارزميات البحث الوقواق وخوارزمية بحث الوقواق مع تهجين الجغرافيا الحيوية واعدة كبيرة في تحديد المعلمات الكهربائية للوحدة الكهروضوئية من القياسات التجريبية لخصائصها I (V).

الكلمات المفتاحية: الخلايا الكهروضوئية ، الخلايا الشمسية ، المعلمات الكهربائية ، خوارزمية بحث الوقواق وخوارزمية

بحث الوقواق مع تهجين الجغرافيا الحيوية

Dédicace:

nous dédions ce modeste travail :

A nos très chers parents qui nous ont soutenu durant toute la durée de notre études.

A nos très chères sœurs et à nos grande famille.

A tous nos amis.

Nous dédions également notre travail à notre professeurs consultant ainsi qu'à nos

professeurs qui n'ont pas hésité a nous transmettre leur savoir et à être présents

pour nous à tout moment.

*Abdelhafid * abdelouahed*

Remerciements

Nous rendons nos profondes gratitude à dieu

qui

nous a aidé à réaliser ce modeste travail.

Nous exprimons nos profondes gratitude à nos

parents pour leurs encouragements, leurs

soutiens et

pour les sacrifices qu'ils ont enduré.

Nous remercions nos encadreurs:

GACEM Abdelmalek

pour le effort qu'ils ont déployés, pour nous

aider,

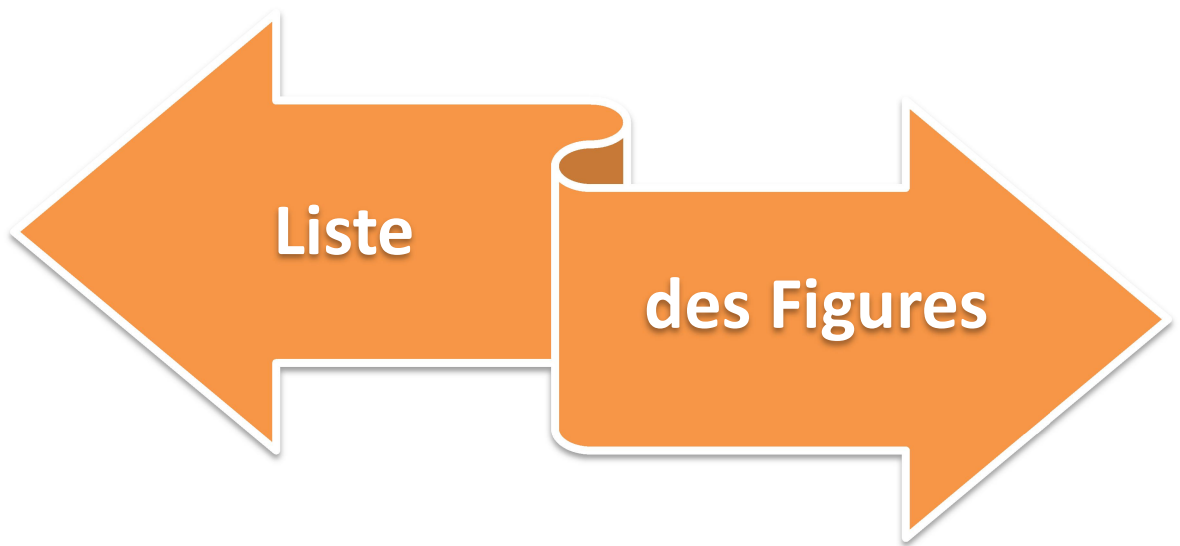
conseiller, encourager et corriger.

Nous remercions aussi tout le corps enseignant

et

administratif qui ont contribué à notre

formation universitaire.



Liste des Figures:**Chapitre I: Etat de l'art photovoltaïque**

Figure I.1: Analyse spectrale du rayonnement solaire.....	06
Figure I.2: Composants du rayonnement solaire.....	07
Figure I.3: Rayonnement solaire capté par un plan horizontal et incliné.....	07
Figure I.4: Intensité de l'ensoleillement reçu sur un plan horizontal et incliné.....	07
Figure I.5: Carte d'Algérie de l'ensoleillement moyen annuel.....	08
Figure I.6: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	10
Figure I.7: Cellule au Silicium Monocristallin.....	11
Figure I.8: Cellule au Silicium Poly-cristallin.....	12
Figure I.9: Cellule au Silicium amorphe en couche mince.....	12
Figure I.10: Film photovoltaïque en silicium nanocristallin.....	13
Figure I.11: Constitution d'un module photovoltaïque.....	14

Chapitre II: Modélisation d'un système photovoltaïque

Figure II.1: Modèle à 3 paramètres.....	18
Figure II.2: Modèle à 4 paramètres (L4P).....	18
Figure II.3: Modèle à 5 paramètres (L5P).....	19
Figure II.4: Modèle à 5 paramètres (2M5P).....	21
Figure II.5: Modèle à 6 paramètres (2M6P).....	21
Figure II.6: Modèle à 7 paramètres (2M7P).....	22
Figure II.7: Modèle à trois diodes avec résistance série.....	23
Figure II.8: Modèle à trois diodes avec résistances série et shunt.....	24
Figure II.9: Modèle de Bishop de la cellule solaire.....	25
Figure II.10: Circuit équivalent du module PV.....	26
Figure II.11: Caractéristique courant-tension.....	28
Figure II.12: Caractéristique puissance-tension.....	28
Figure II.13: Influence de température sur I(V).....	29
Figure II.14: Influence de la température sur P(V).....	29
Figure II.15: Influence de l'éclairement sur I(V).....	29
Figure II.16: Influence de l'éclairement sur P(V).....	29

Figure II.17: L'effet de la résistance série R_s sur la caractéristique ; (a) $I(V)$ et (b) $P(V)$31

Figure II.18: L'effet de la résistance shunt R_{sh} sur la caractéristique ; (a) $I(V)$ et (b) $P(V)$32

Chapitre III: Méthodes Métaheuristiques

Figure III.1. Classification des métaheuristiques.....37

Figure III.2. Exemple d'une solution multiple et unique.....38

Figure III.3 : Un oiseau coucou39

Figure III.4: Exemple de 1000 pas par les vols de Levy en 2 dimensions.....41

Chapitre IV: Simulation et résultats

Figure IV.1: Comparaison des données mesurées et simulées pour un modèle a une seule diode : (a) caractéristique P-V, (b) caractéristique I-V.....49

Figure IV.2: Propriétés d'affinité de la fonction cible RMS en fonction de la itération50

Figure IV.3: Comparaison des données mesurées et simulées pour un modèle a deux diodes : (a) caractéristique P-V, (b) caractéristique I-V.....51

Figure IV.4: Propriétés d'affinité de la fonction cible RMS en fonction de la itération.....51

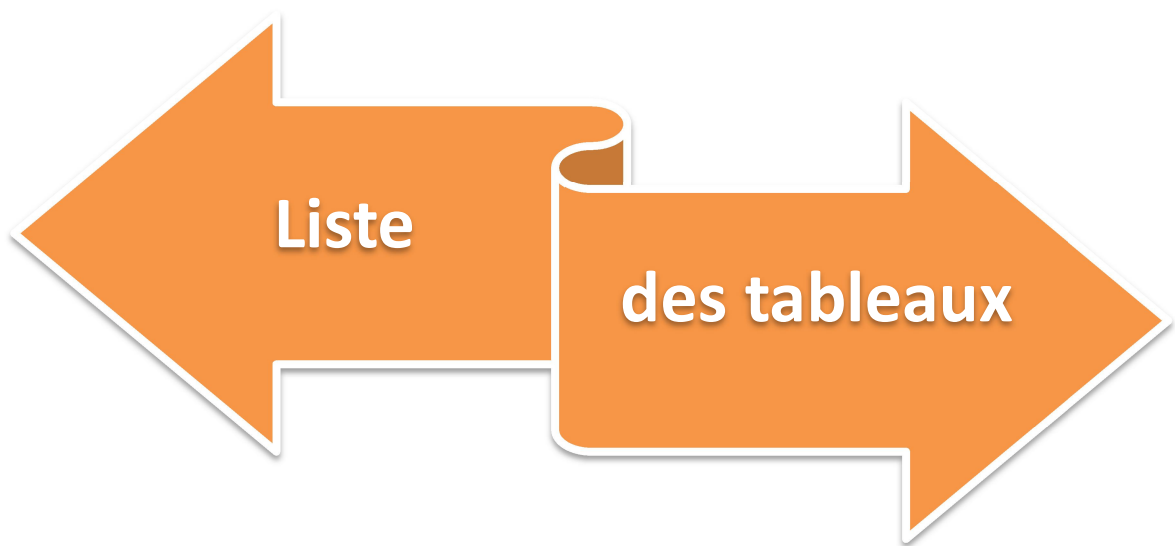
Figure IV.5: Comparaison des données mesurées et simulées pour un modèle a trois diodes : (a) caractéristique P-V, (b) caractéristique I-V.....52

Figure IV.6: Propriétés d'affinité de la fonction cible RMS en fonction de la itération53

Figure IV.7: Comparaison des données mesurées et simulées obtenues avec l'unité Photo watt-PWP201: (a) caractéristique P-V, (b) caractéristique I-V.....54

Figure IV.8: Comparaison des données mesurées et simulées obtenues pour STM6-40 / 36: (a) caractéristique P-V, (b) caractéristique I-V.....55

Figure IV.9: Comparaison des données mesurées et simulées obtenues pour l'unité STP6-120 /36: (a) caractéristique P-V, (b) caractéristique I-V.....57



Liste

des tableaux

Liste des tableaux:**Chapitre I: Etat de l'art photovoltaïque**

Tableau I.1: Taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie.....09

Chapitre II: Modélisation d'un système photovoltaïque

Tableau II.1: es paramètres électriques ($I_{CC}, V_{CO}, P_{max}, FF$) pour chaque valeur de résistance série R_s30

Tableau II.2: les paramètres électriques($I_{CC}, V_{CO}, P_{max}, FF$) pour chaque valeur de résistance shunt R_{sh}32

Chapitre IV: Simulation et résultats

Tableau IV.1:Plage de recherche pour chaque paramètre.....48

Tableau IV.2: Résultats des paramètres électriques d'un modèle à seule diode.....49

Tableau IV.3: Résultats des paramètres électriques d'un modèle a deux diodes.....50

Tableau IV.4: Résultats des paramètres électriques d'un modèle a trois diodes.....52

Tableau IV.5: Résultats des paramètres électriques d'un modèle à seule diode.....53

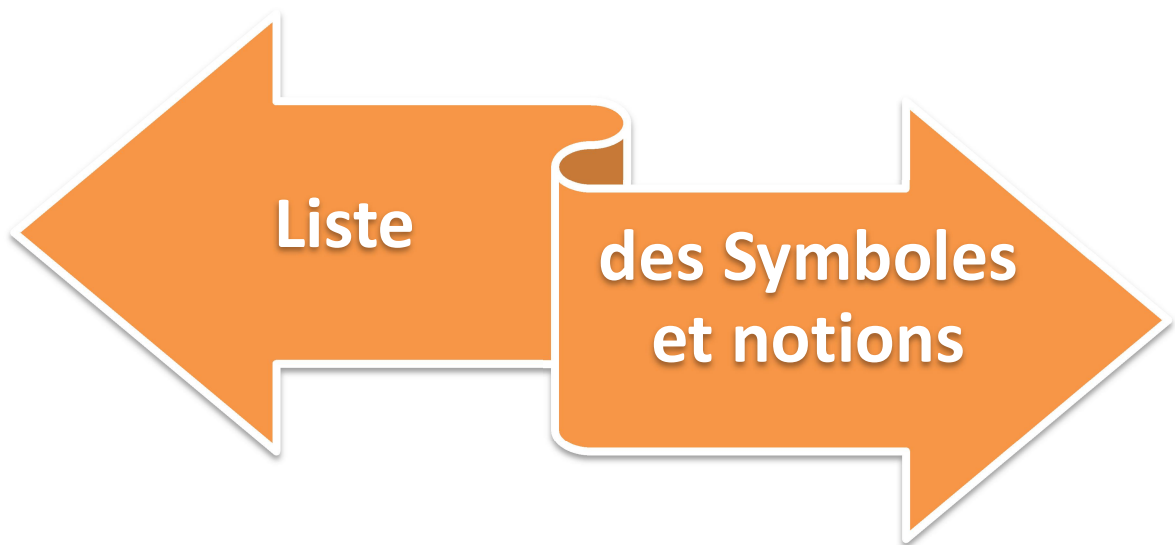
Tableau IV.6:Résultats de simulation pour Photo watt-PWP20154

Tableau IV.7: Résultats des paramètres électriques d'un modèle à seule diode.....55

Tableau IV.8:Résultats de simulation pour STM6-40 / 36.....56

Tableau IV.9: Résultats des paramètres électriques d'un modèle à seule diode56

Tableau IV.10:Résultats de simulation pour STP6-120 / 36.....57



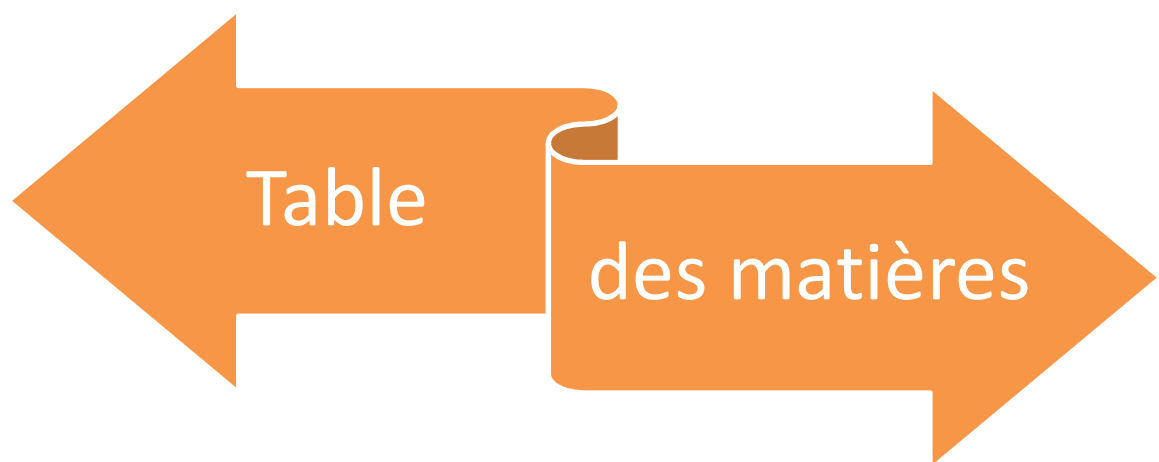
Liste

des Symboles
et notions

Liste des Symboles:

PV :	Photovoltaïque.
P_m :	Puissance maximale (W).
I_m :	Courant de point de Puissance maximale (A).
I_{ph} :	Le photo-courant (A).
I_p :	Courant de résistance parallèle (A).
I_{ch} :	Courant de charge (A).
I_{ph} :	Courant photo génère ou photo courant.
I_{pv} :	Courant délivré par le panneau.
h:	Constant de Planck (6,62 10 ⁻³⁴ j.s) .
h_v :	Energie de la bande de valence.
E_g :	Energie de la bonde interdite.
I_{cc} :	Courant de court-circuit d'une cellule ou d'un module solaire (A).
V_{co}:	La tension du circuit ouvert (V) .
λ :	La longueur d'onde (m) .
T :	Température de la jonction des cellules PV (°K).
R_p:	Résistances parallèle shunt. (Ω)
R_s :	Résistance série (Ω) de la cellule.
N_s :	Nombre de modules dans le panneau en série
N_p :	Nombre de modules dans le panneau en parallèle.
I_s :	Courant de saturation de la diode.
I_d :	Courant dans la diode.
I_{mp} :	Courant à la puissance maximale.
V_{mp} :	Tension à la puissance maximale.
V_t:	Potentiel thermique.
K :	Constante de Boltzmann.
n:	Facteur d'idéalité de la jonction.
I_{s1}:	Courant de saturation inverse de la diode D1.
I_{s2}:	Courant de saturation inverse de la diode D2..
I_{s3}:	Courant de saturation inverse de la diode D3.
V_{t1}:	Potentielle thermo dynamique de la diodeD1.
V_{t2}:	Potentielle thermo dynamique de la diodeD2.

V_{t3}:	Potentielle thermo dynamique de la diodeD2.
$n1$:	Facteur d'idéalité de la jonction de la diodeD1.
$n2$:	Facteur d'idéalité de la jonction de la diodeD2.
$n3$:	Facteur d'idéalité de la jonction de la diodeD3.
c-Si :	Silicium cristallin.
mc-Si :	Silicium monocristallin
pc-Si :	Silicium poly-cristallin.
a-Si :	Silicium amorphe.
CS :	Coucou search
HBCS:	Hybridation algorithme de recherche de coucou avec biogéographie
IAEP:	Puissance d'erreur absolue individuelle (W)
IAEC:	Courant d'erreur absolue individuelle (A)
RMSE:	Racine moyenne signifie erreur



Tables des matières :

LISTE DES FIGURES.....	II
LISTE DES TABLEAUX.....	IV
LISTE DES SYMBOLES ET NOTIONS.....	VII
TABLES DES MATIERES.....	X
INTRODUCTION GENERALE.....	01

CHAPITRE I : ETAT DE L'ART PHOTOVOLTAÏQUE

I.1.Introduction.....	05
I.2.Energie solaire.....	05
I.3.Rayonnement solaire.....	06
I.4.Le gisement solaire en Algérie.....	08
I.5.Historique de la cellule photovoltaïque.....	09
I.6.Principe du fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	10
I.7.Différentes technologies de la cellule photovoltaïque.....	11
I.7.1.Les cellules monocristallines.....	11
I.7.2.Les cellules poly-cristallines.....	11
I.7.3.Les cellules amorphes (cellules de calculatrices par exemple).....	12
I.7.4.Les cellules nanocristallines.....	13
I.8.Les modules photovoltaïques.....	13
I.9.Avantages et inconvénients de la photovoltaïques.....	14
I.9.1.Avantages de la photovoltaïques.....	14
I.9.2Inconvénients de la photovoltaïques.....	14
I.10.Conclusion.....	15

CHAPITRE II : MODELISATION D'UN MODULE PHOTOVOLTAÏQUE

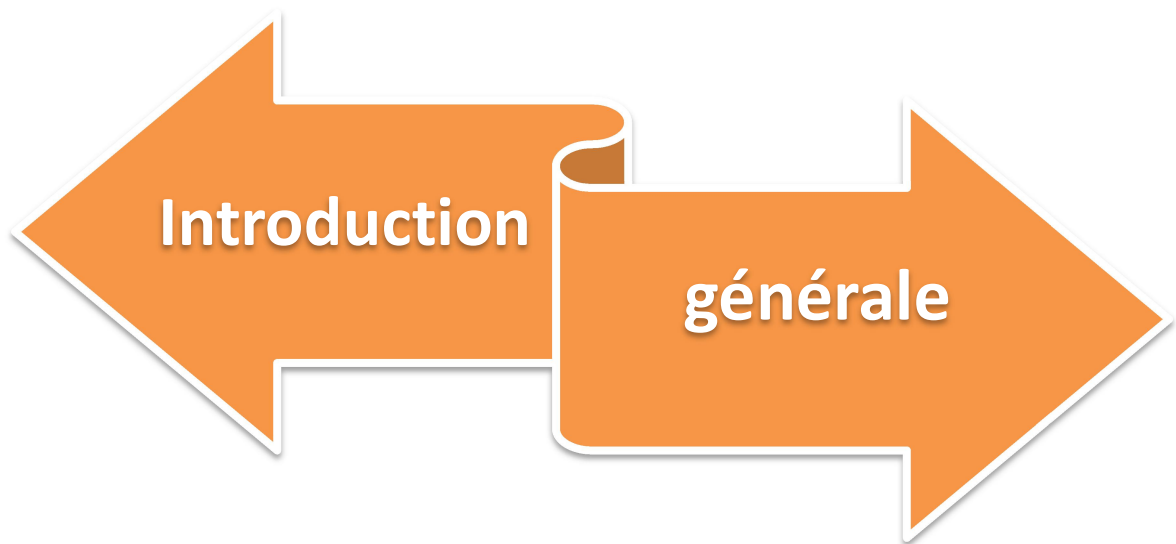
II.1.Introduction.....	17
II.2.Différents modèles électriques d'une cellule photovoltaïque.....	17
II.2.1. Modèle a une seule diode	17
II.2.1.1. Modèle a trois paramètres (L3P).....	17
II.2.1.2. Modèle a quatre paramètres (L4P).....	18
II.2.1.3. Modèle a cinq paramètres (L5P).....	19

II.2.2. Modèle a deux diodes	20
II.2.2.1. Modèle a cinq paramètres (2M5P).....	20
II.2.2.2. Modèle a six paramètres (2M6P).....	21
II.2.2.3. Modèle a sept paramètres (2M7P).....	22
II.2.3. Modèle à trois diodes.....	23
II.2.3.1. Un modèle avec seulement une résistance en série.....	23
II.2.3.2. Un modèle avec des résistances série et shunt.....	24
II.2.4. Modèle de Bishop.....	25
II.3. Modelés électriques d'un module photovoltaïque.....	26
II.4. Caractéristiques électrique d'une cellule photovoltaïque.....	26
II.4.1. La tension à circuit ouvert V_{co}	26
II.4.2. Le courant de court-circuit I_{sc}	27
II.4.3. La Puissance maximale P_{max}	27
II.4.4. Le facteur de qualité.....	27
II.4.5. Le facteur de forme ff.....	27
II.4.6. Rendement énergétique maximum η	27
II.5. Effet climatiques sur une cellule photovoltaïque.....	28
II.5.1. Effet de la température.....	28
II.5.2. Effet de l'Éclairement.....	29
II.6. Effet de paramètre électrique sur une cellule photovoltaïque.....	30
II.6.1. Effet de la résistance série.....	30
II.6.2. Effet de la résistance shunt.....	31
II.7. Méthodes d'extraction des paramètres dans la littérature.....	33
II.8. Conclusion	34
<u>CHAPITRE III : Méthodes Métaheuristiques</u>	
III.1. Introduction.....	36
III.2. Fonction objectif.....	36
III.3. Classification des métaheuristiques.....	37
III.3.1. Les métaheuristiques à solution unique	37
III.3.2. Les métaheuristiques à solution multiple.....	38

III.4. Algorithme de Coucou search (CS).....	38
III.4.1. Principe et paramètres.....	49
III.4.2. Les principales étapes de l’algorithme de recherche coucou.....	40
III.5. L'algorithme de recherche de coucou s'hybride avec la biogéographie.....	42
III.5.1. Suggestion d'algorithme de recherche de coucou hétérogène basé sur la biogéographie.....	42
III.5.2. Stratégie de recherche de coucou hétérogène.....	43
III.5.3. Un facteur de découverte basé sur la biogéographie.....	43
III.5.4. Algorithme global de BHCS.....	44
III.6. Conclusion.....	45

CHAPITRE VI : SIMULATION ET RESULTATS

IV.1. Introduction.....	47
IV.2.Fonction objective.....	47
IV.3.Résultats et analyse de la cellule PV.....	48
IV.3.1. Modèle a une seule diode.....	49
IV.3.2. Modèle a deux diodes.....	50
IV.3.3.Modèle à trois diodes.....	52
IV.4.Résultats sur les modules PV.....	53
IV.4.1.les modules PV Photo watt-PWP201.....	53
IV.4.2.les modules PV STM6-40 / 36.....	55
IV.4.3. les modules PV STP6-120 / 36.....	56
IV.5. Conclusion.....	58
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	60
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	62



Introduction

générale

Introduction générale

L'électricité est aujourd'hui la forme d'énergie la plus aisée à exploiter. Mais avant de la consommer il aura fallu la produire, en général dans des unités de production de grande puissance, la transporter, puis la distribuer vers chaque consommateur. Dans les pays industrialisés, ce système est aujourd'hui très centralisé.

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement. De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources nature elles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures

Par énergie renouvelable, on entend des énergies issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée. Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue

Dans ce contexte général, notre études intéresse à la filière photovoltaïque (PV) qui semble une des plus prometteuses avec un taux de croissance mondial très élevé. L'énergie PV est obtenue directement à partir du rayonnement du soleil. Elle peut même se transformer en énergie électrique grâce à l'effet photovoltaïque. Les panneaux PV composés des cellules PV ont la capacité de transformer les photons en électrons. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable.

Les performances de la cellule solaire, ainsi que du module, peuvent être décrites par la caractéristique courant-tension $I(V)$, qui est habituellement affectée par les différents paramètres de la modélisation électrique de la cellule. L'identification ou l'extraction de ces paramètres s'avère très importante pour mieux comprendre les mécanismes physiques agissant à l'intérieure de la cellule solaire, non seulement pour pouvoir simuler son comportement et optimiser ses différentes caractéristiques mais aussi pour l'augmentation du rendement. Ces paramètres sont : le courant photo généré (I_{ph}), le courant de saturation (I_o), le facteur d'idéalité (n) et les deux résistances série et shunt (R_S, R_{sh})

Des méthodes et des techniques d'étude et d'extraction de ces différents paramètres ont été

développées au paravent. Notre travail se compose de quatre chapitres:

Le premier chapitre présente un rappel des notions préliminaires nécessaires pour la compréhension du comportement de la photovoltaïque, dont nous donnons le principe de fonctionnement de la cellule solaire et ses différentes caractéristiques. Par la suite, nous abordons les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque .

Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude des différents éléments du système photovoltaïque .Modélisation mathématique des éléments constitutifs et des différentes propriétés de générateur PV.

Le troisième chapitre, nous étudierons l'algorithme de recherche de coucou et hybriderons l'algorithme de recherche de coucou avec une biogéographie inspirée de la nature afin d'obtenir les meilleurs résultats.

Le dernier chapitre est d'utiliser une approche basée sur l'algorithme de recherche de coucou pour trouver les paramètres optimaux du courant de saturation, le facteur idéal, la résistance chaîne et shunt pour une fonction de fitness minimale. Ces paramètres seront utilisés pour afficher les propriétés du module PV.



Chapitre I:

**Etat de l'art
photovoltaïque**

I.1. Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pour cette raison que l'homme cherche, depuis longtemps, à mettre à profit cette énergie importante et diffuser sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit par la suite « cellule photovoltaïque ». Dans la nature, l'énergie solaire est souvent disponible en abondance sur toute la surface terrestre, et malgré une atténuation importante lorsqu'elle traverse l'atmosphère, la quantité qui reste est encore assez importante quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur 10 000 W/m^2 crête dans les zones tempérées et jusqu'à 14 000 W/m^2 lorsque l'atmosphère est faiblement polluée [1].

Dans ce chapitre, nous allons donner un bref rappel sur le principe de l'effet photovoltaïque puis une description sur la cellule photovoltaïque, ses performances ainsi que ses principaux types existant dans le monde industriel

I.2. Energie solaire

La distance de la terre au soleil est environ 150 million de kilomètres et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300000 km/h [2], les rayons du soleil mettent donc environ 8minutes à nous parvenir. La constante solaire est la densité d'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au soleil. Sa valeur est communément prise égale à 1360W/m². Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduit à 1000 W/ m² à cause de l'absorption dans l'atmosphère. Albert Einstein à découvert en travaillant sur l'effet photoélectrique que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules, les photons. L'énergie d'un photon étant donnée par la relation

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad I.1$$

Où :

h : La constante de Planck. égale à 6.62.10⁻³⁴ Js⁻¹

C : La vitesse de propagation égale à 3.10⁸ ms⁻¹.

La figure (I-1) représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement en:

- Ultraviolet UV 0.20 < l < 0.38 mm 6.4%.
- Visible 0.38 < l < 0.78 mm 48.0%.
- Infrarouge IR 0.78 < l < 10 mm 45.6%.[3]:

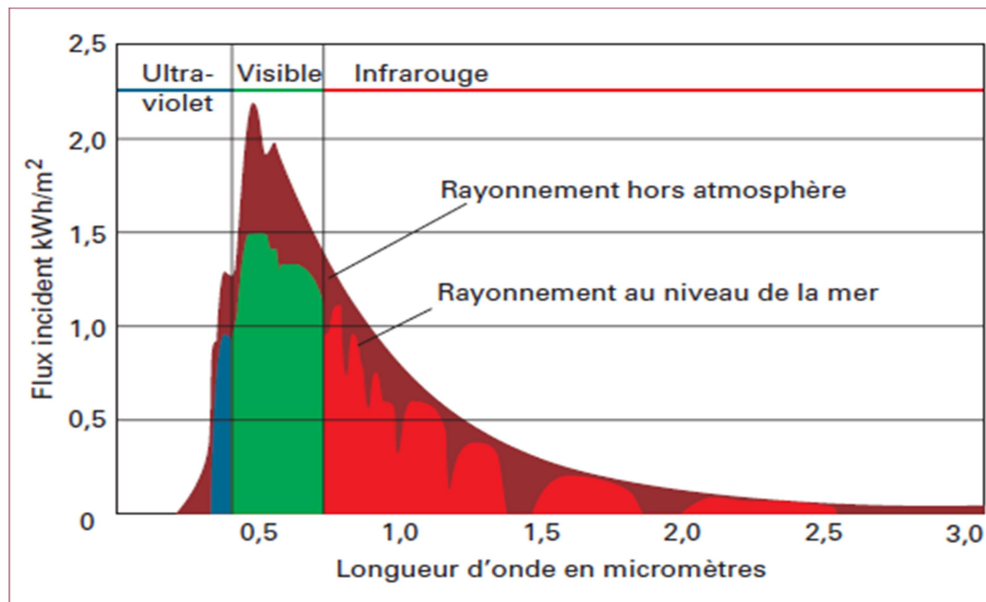


Figure .I.1:Analyse spectrale du rayonnement solaire.

I.3. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est une propagation d'ondes de longueur qui varie entre 0.2 et $4 \times 10^{-6} m$. Il arrive au sol après la perte d'une grande partie de son intensité. Il existe plusieurs types de rayonnement solaire. Parmi lesquels, on peut citer [4]:

- **Rayonnement direct** : C'est un rayonnement qui est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ces rayons sont, en général, devenant en parallèles entre eux et pouvant être mesurés par un appareil de mesure appelé « pyromètre ».
- **Rayonnement diffus** : il est constitué d'une lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). Sa diffusion engendre un phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions.

Dans le ciel, un éclatement des rayons du soleil est souvent produit à la fois par les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières. Cela dépend donc avant tout des conditions purement météorologiques.

- **Rayonnement réfléchi ou albédo du sol** : C'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Ce rayonnement réfléchi peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).
- **Rayonnement global** : il représente la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyromètre ou par un « Solari mètre » sans écran. Il est défini donc par l'expression suivante :

Rayonnement Globale = rayonnement direct + rayonnement diffus + rayonnement réfléchi.

La figure(I.2) donne un exemple expliquant les composants du rayonnement solaire.

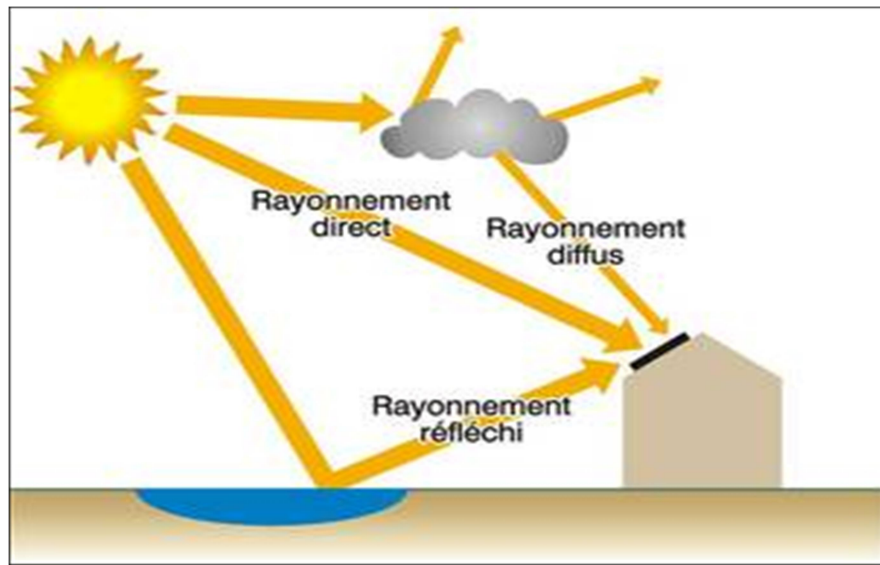


Figure I.2. Composants du rayonnement solaire

L'intensité du rayonnement solaire reçu sur un plan quelconque à un moment donné est appelée irradiation ou éclairement (noté généralement par la lettre G), il s'exprime en watts par mètre carré (W/m^2). La valeur du rayonnement reçu par la surface du module photovoltaïque varie selon la position de ce dernier. Le rayonnement solaire atteint son intensité maximale lorsque le plan du module photovoltaïque est perpendiculaire aux rayons [5]:

Dans la figure I.3 ci-après est illustré l'effet de l'inclinaison des modules photovoltaïques sur l'intensité de l'éclairement reçu sur leurs surfaces du levé au couché du soleil.

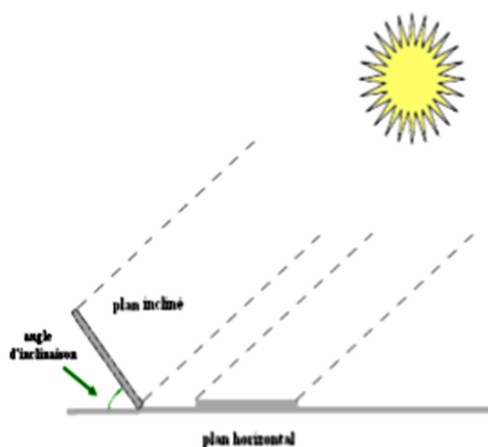


Figure I.3: Rayonnement solaire capté par un plan horizontal et incliné.

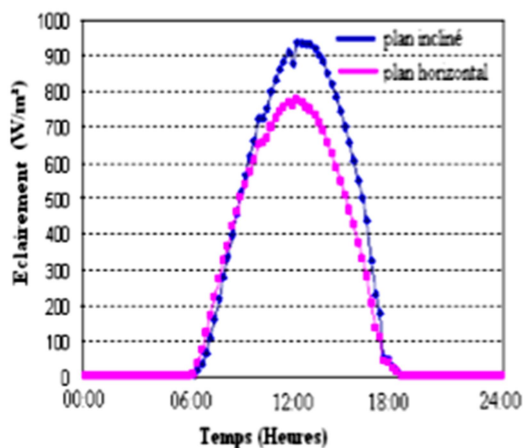


Figure I.4: Intensité de l'ensoleillement reçu sur un plan horizontal et incliné.

I.4. Le gisement solaire en Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [6].

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure (I.5)

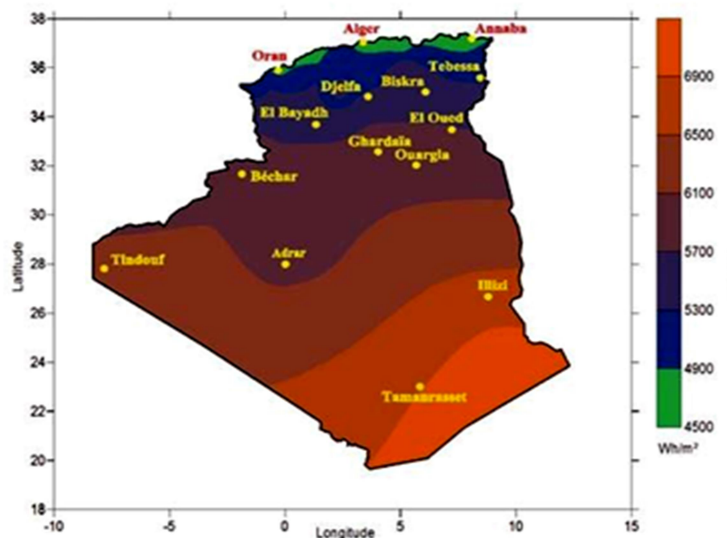


Figure .I.5: Carte d'Algérie de l'ensoleillement moyen annuel

L'Algérie est un pays potentiellement intéressant pour l'exploitation de Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an

Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à HASSI Ramel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau(I.1) selon l'ensoleillement reçu annuellement [7].

Tableau I.1. Taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie.

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie	4%	10%	86%
Durée moyenne d'ensoleillement(Heures=an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m2/an)	1700	1900	2650

I.5.Historique de la cellule photovoltaïque

IL est important de citer les dates les plus importantes dans l'histoire du photovoltaïque qui noté[8] :

1839: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 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 4000km en Australie.

I.6. Principe du fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Une cellule solaire est un dispositif qui permet de convertir l'énergie lumineuse (photons) des rayons solaires en énergie électrique. Cette transformation est basée sur trois mécanismes physiques liés et simultanés [9]:

- La lumière absorbée dans le matériau (des photons dont l'énergie ($E_\lambda = h\nu$) est supérieure à celle associée à la bande interdite E_g).
- La création de paires électron/trou dans la zone de charge d'espace par la conversion de l'énergie du photon en énergie électrique : les électrons vont aller vers la région P, les trous vers la région N, ce phénomène crée un photo-courant de génération. Dans la zone N ou P, les porteurs minoritaires engendrent un photo-courant de diffusion, la résultante de ces deux courants donne un photo courant I_{ph} .
- Collecte des charges générées dans le dispositif ; se fait grâce aux contacts métalliques des régions P et N (électrode et anode).

$h\nu$: énergie de la bande de valence.

E_g : énergie de la bande interdite (eV).

I_{ph} : courant photo généré ou photo courant (A).

La figure (I.6) décrit le Principe du fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [10]:

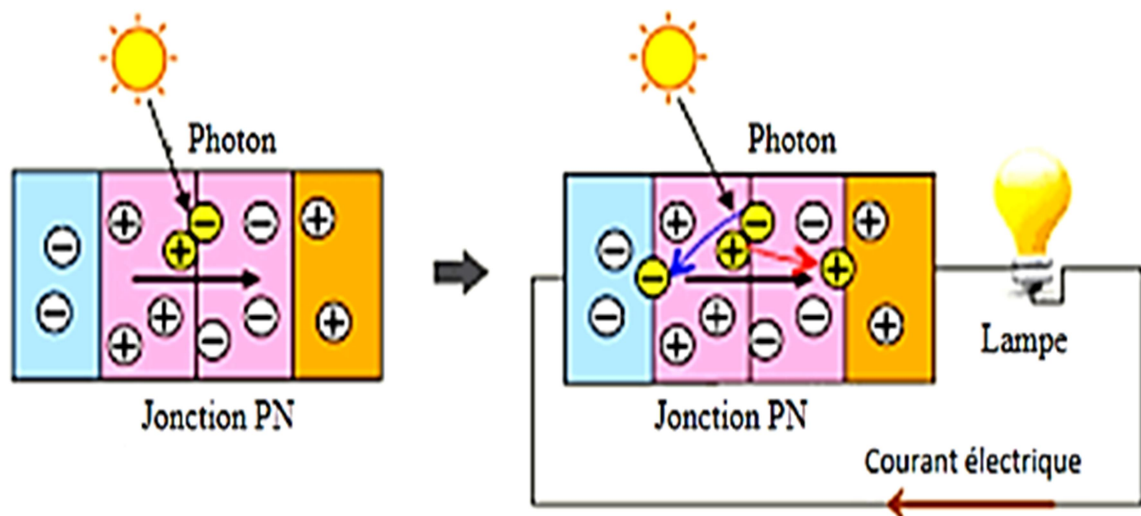


Figure I.6: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

I.7. Différentes technologies de la cellule photovoltaïque

Il existe différents types de cellules en fonction de la nature et des caractéristiques des matériaux utilisés. Le type le plus commun est la cellule de silicium cristallin (Si). Ce matériau est coupé en tranches minces en forme de disque : **monocristallin, poly-cristallin, amorphe ou nanocristallin** en fonction du procédé de fabrication de la barre de silicium [11].

I.7.1. Les cellules monocristallines

Représentent

- La première génération de photopiles
- Un taux de rendement excellent (12-16%) (23% en Laboratoire)
- Une méthode de fabrication laborieuse et difficile, donc très chère
- Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir du cristal pur [11].



Figure 1.7. Cellule au Silicium Monocristallin

I.7.2. Les cellules poly-cristallines

Caractérisées par:

- Coût de production moins élevé
- Procédé nécessitant moins d'énergie
- Rendement 11-13% (18% en Laboratoire) [11].

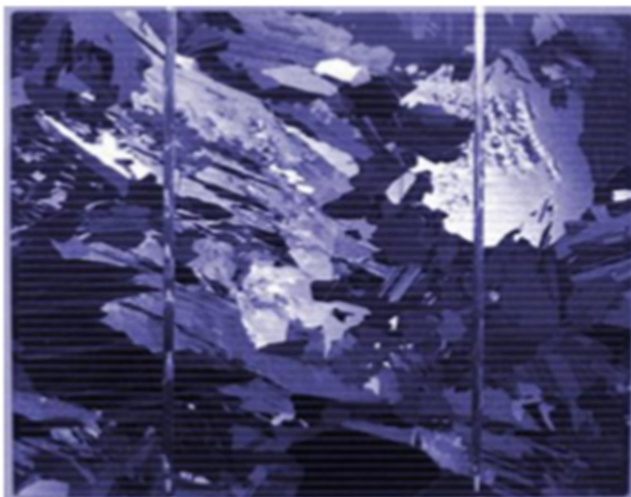


Figure 1.8. Cellule au Silicium Poly-cristallin.

I.7.3. Les cellules amorphes (cellules de calculatrices par exemple):

Tel que:

- Coût de production bien plus bas
- Rendement plus bas : 8-10% (13% en laboratoire)
- Durée de vie plus faible

C'est le silicium amorphe que l'on trouve le plus souvent dans les produits de consommation comme les calculatrices, les montres, etc.... Toutefois, ils réagissent mieux à des températures élevées ou à une lumière diffuse .

De plus, les cellules mono et poly-cristallines sont les types de cellules les plus répandues sur le marché du photovoltaïque (environ 60% de la production) [11].

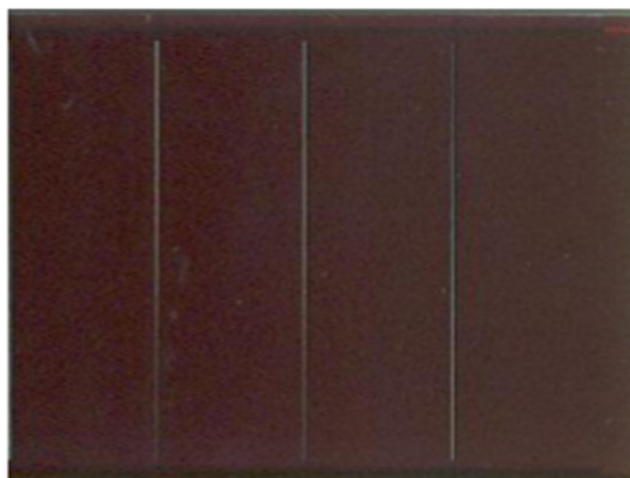


Figure 1.9. Cellule au Silicium amorphe en couche mince.

I.7.4. Les cellules nanocristallines:

Elles montrent:

- Une des dernières générations de photopiles
- Fonctionnent selon un principe qui différencie les fonctions d'absorption de la lumière et de séparation des charges électriques
- Rendement global de 10,4 %, confirmé par des mesures au laboratoire
- Procédé et coût de production bas [11].

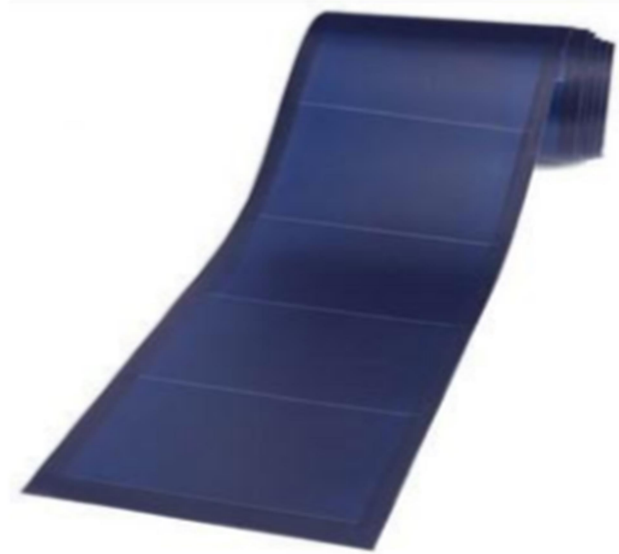


Figure 1.10. Film photovoltaïque en silicium nanocristallin.

I.8. Le module photovoltaïque

Le module photovoltaïque est constitué de cellules associées en série/parallèle encapsulées et protégées. La face avant du module est généralement en verre. Les cellules doivent être enrobées. Le matériau généralement utilisé est l'Acétate d'Éthylène-Vinyl (EVA). La face arrière est réalisée soit en verre (modules dits «bi-verre») soit en composite tedlar/alu/tedlar (plus fragile). Le cadre est généralement en aluminium ou en aluminium anodisé avec une visserie en matériau inoxydable. Le module photovoltaïque joue le rôle de générateur dans le système de production d'électricité. Cette énergie produite par le module photovoltaïque dépend fondamentalement des conditions météorologiques de son fonctionnement et plus particulièrement de l'éclairement solaire et de la température ambiante. Les chutes de puissances dues à l'éclairement (faibles rayonnements, spectre angulaire) et à la température ambiante peuvent atteindre 10 % et 15 % respectivement [12].

La (figure I.11) illustre les composants d'un module photovoltaïque au silicium monocristallin.

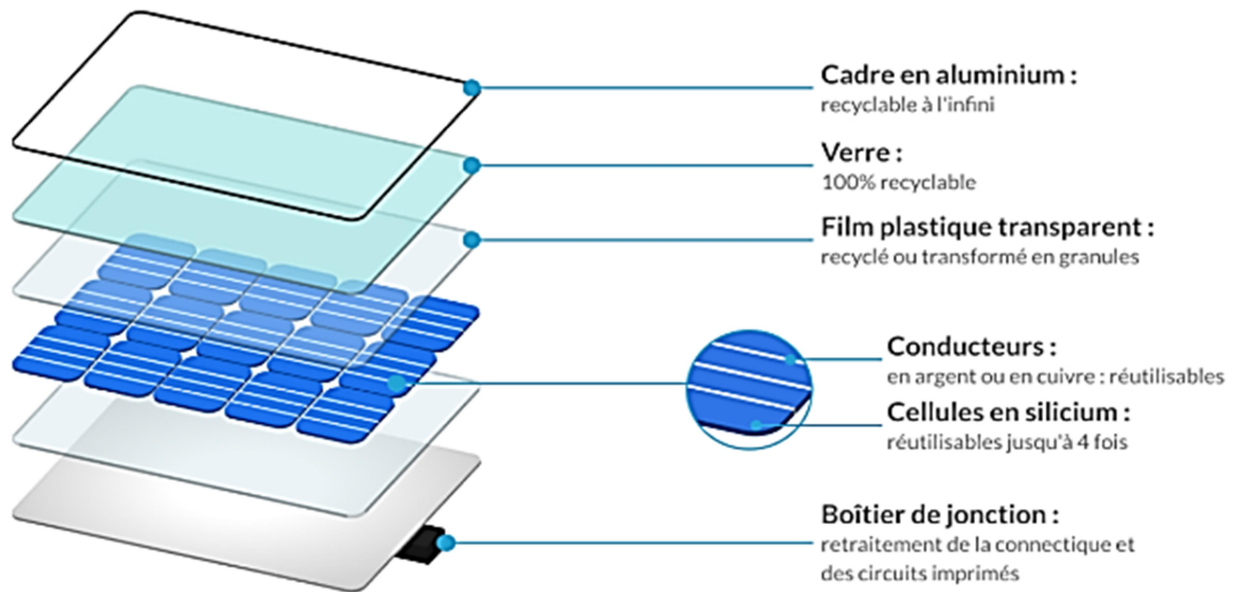


Figure I.11. Constitution d'un module photovoltaïque

I.9. Avantages et inconvénients de l'énergie Photovoltaïque

En tant que source d'énergie électrique, un système photovoltaïque offre des avantages mais aussi des inconvénients.

I.9.1. Avantages du photovoltaïque :

- Les installations photovoltaïques sont en générale de haute fiabilité, peu sujettes à l'usure, elles demandent peu d'entretien
- Le montage des installations photovoltaïques est simple et les installations sont adaptables aux besoins de chaque projet
- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes
- Il s'agit d'une source d'énergie inépuisable
- L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.

I.9.2 Inconvénients du photovoltaïque:

- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles et de l'ordre de 23.4% .
- Dans le cas d'une installation photovoltaïque autonome qui ne revend pas son surplus d'électricité au réseau, il faut inclure des batteries dont le coût reste très élevé

- Le niveau de production d'électricité n'est pas stable et pas prévisible mais dépend du niveau d'ensoleillement. De plus, il n'y a aucune production d'électricité le soir et la nuit
- La durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. De plus, le rendement des cellules photovoltaïques diminue avec le temps qui passe. On parle en général pour les panneaux photovoltaïques, d'une perte de rendement de 1 % par an. [3]

I.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu des concepts sur l'énergie solaire, le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque au silicium en plus du champ solaire en Algérie, puis nous avons discuté des différentes technologies du photovoltaïque, des avantages et des inconvénients de l'énergie photovoltaïque. Dans ce contexte, dans le chapitre suivant, nous introduirons la modélisation de la cellule photovoltaïque ainsi que du générateur photovoltaïque, en étudiant l'effet de la température et de l'illumination sur le rendement.



Chapitre II:

**Modélisation d'un
Système
Photovoltaïques**

II.1 Introduction

La modélisation mathématique des cellules solaire est indispensable pour toute opération d'étude du fonctionnement, d'optimisation du rendement ou de diagnostic du générale un photovoltaïque.

Le module photovoltaïque est présenté généralement par un circuit équivalent dont les paramètres sont calculés expérimentalement en utilisant la caractéristique courant-tension et puissance-tension. Ces paramètres ne sont pas généralement des quantités mesurables ou incluses dans les données de la fabrication. La modélisation de ces dernières s'impose commentée apes cruciale et a conduit à une diversification dans les modèles proposés par les différents chercheurs, leurs différences se situent principalement dans le nombres de diodes la résistance shunt finie ou infinie le facteur d'idéalité constant ou non ainsi que les méthodes numériques utilisées pour détermination des différents paramètres inconnus[13].

II.2.les différents modelés électriques d'une cellule photovoltaïque

La modélisation mathématique d'une cellule photovoltaïque est indispensable pour toute opération d'optimisation du rendement ou de diagnostic du générateur photovoltaïque. La cellule photovoltaïque est représentée généralement par un circuit équivalent dont les paramètres sont calculés à partir des caractéristiques courant-tension en fonction de l'ensoleillement et de la température.

Dans ce qui suit, nous allons présenter les différents modèles électriques d'une cellule photovoltaïque.

II.2.1.Modèle a une seule diode:

Le fonctionnement d'un module photovoltaïque est décrit par le modèle standard à une diode. Il se généralise au modèle des panneaux photovoltaïques considérés comme un ensemble de cellules identiques branchées en série ou parallèle. Une description plus simple est obtenue à partir du modèle à une exponentielle. Ce modèle comporte une diode de moins par rapport au modèle à deux exponentielles, ce qui implique que ce modèle comporte dans l'équation de la caractéristique courant-tension une exponentielle de moins

II.2.1.1.Modèle a trois paramètres (L3P):

Une cellule photovoltaïque peut être décrite de manière simple comme une source idéale de courant qui produit un courant I_L proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode qui correspond à la jonction P-N de la cellule. Il est connu aussi sous le nom L3P

(Lamped,1 Modèle Mécanisme avec 3 paramètres). Pour un générateur photovoltaïque idéal, la tension aux bornes de la résistance est égale à celle aux bornes de la diode [14,15]. Le schéma électrique équivalent de la cellule photovoltaïque pour ce modèle est représenté:

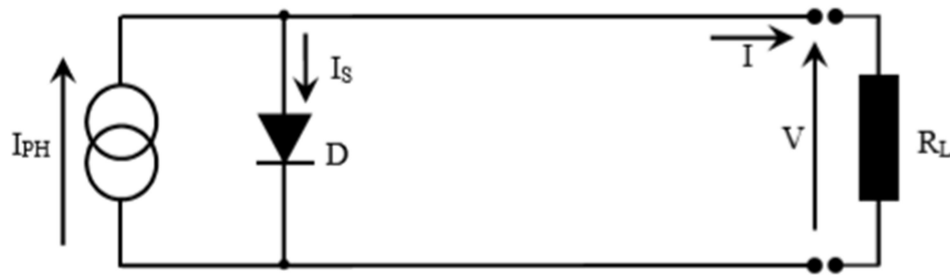


Figure II.1: Modèle à 3 paramètres (L3P)

L'équation décrivant ce modèle est donnée par :

$$I = I_{PH} - I_{S1} \cdot \left(e^{\frac{q.V}{\alpha .K.T}} - 1 \right) \tag{II.1}$$

Les paramètres de ce circuit sont :

- I_{ph} : le courant photonique.
- I_s : courant de saturation.
- α : facteur de qualité de la diode.

II.2.1.2. Modèle a quatre paramètres (L4P):

Le modèle à quatre paramètres est un modèle largement utilisé, il a été étudié par Townsend [15]. Ce modèle traite la cellule photovoltaïque comme une source de courant, dépendante de l'éclairement, connectée en parallèle avec une diode et en série avec une résistance série R_s [14,15].

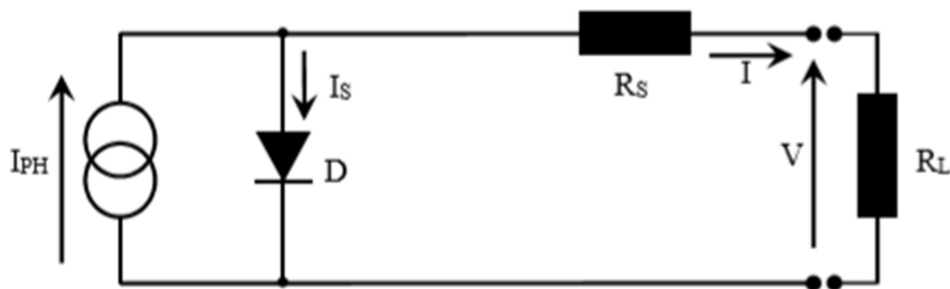


Figure II.2: Modèle à 4 paramètres (L4P)

Les quatre paramètres de ce modèle sont :

- I_{ph} : le courant photonique
- I_s : courant de saturation
- α : facteur de qualité de la diode
- R_s : la résistance séries

Ces paramètres ne sont pas des quantités mesurables et ne sont pas généralement inclus dans les données des fabricants. Par conséquent, ils doivent être déterminés à partir des systèmes des équations $I(V)$ pour différents points de fonctionnement donnés par les fabricants. L'équation décrivant ce modèle est donnée par:

$$I = I_{PH} - I_{S1} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V + R_s I)}{\alpha \cdot K \cdot T}} - 1 \right) \tag{II.2}$$

II.2.1.3. Modèle a cinq paramètres (L5P):

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réelle tient compte d'effets résistifs parasites dues à la fabrication et représenté sur la figure (II.3), Ce schéma équivalent est constitué d'une diode d caractérisant la jonction, une source de courant I_{ph} caractérisant le photo-courant, une résistance série R_s représentant les pertes par effet Joule, et une résistance shunt R_{sh} caractérisant un courant de fuite entre la grille supérieure et le contact arrière qui est généralement très supérieure à R_s .

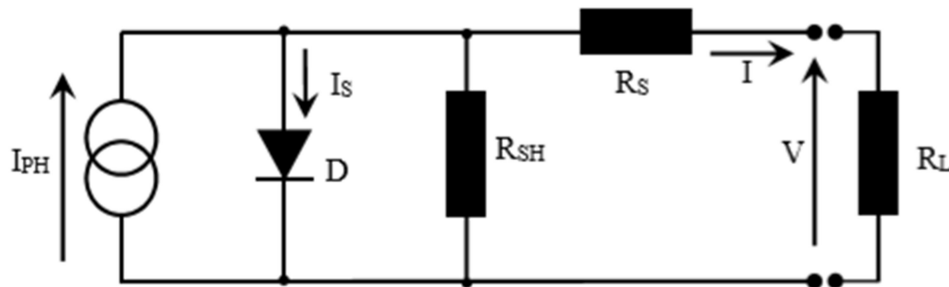


Figure II.3: Modèle à 5 paramètres (L5P)

Dans notre travail, nous avons utilisé le modèle mathématique du module solaire à exponentiel simple.

Le courant de sortie d'une cellule photovoltaïque se met sous la forme mathématique suivante:

$$I = I_{ph} + I_s + I_{sh} \tag{II-3}$$

$$I_{sh} = \frac{V_D}{R_{sh}} \tag{II-4}$$

$$I_s = I_S \left(e^{\frac{V_D}{V_{th}}} - 1 \right) \tag{II-5}$$

$$V_s = V + R_s I \tag{II-6}$$

Alors :

$$I = I_{ph} - I_S \left(e^{\frac{V + R_S I}{V_{th}}} - 1 \right) - \frac{V + R_S I}{R_{sh}} \quad (\text{II-7})$$

Avec:

• I_S : courant de saturation de la diode donné par :

$$I_S = K_1 T^3 e^{-\frac{V_g}{KT}} \quad (\text{II-8})$$

• V_{th} tension thermique à la température T :

$$V_{th} = \frac{KT}{q} \quad (\text{II-9})$$

- V_g : énergie de gap (pour le silicium cristalline est égale à 1.12 eV)
- q : charge d'électron (1.602×10^{-19} C)
- K : constante de Boltzmann (1.381×10^{-23} J/k)
- K_1 : constante ($1.2 \text{ A/cm}^2 \text{ K}^3$)
- T : température effective de la cellule en Kelvin

Le modèle fait donc intervenir les cinq paramètres inconnus suivants :

- I_{PH} : le courant photonique,
- I_S : courant de saturation,
- α : facteur de qualité de la diode
- R_S : la résistance série,
- R_{SH} : la résistance parallèle.

II.2.2. Modèle a deux diodes

II.2.2.1. Modèle a cinq paramètres (2M5P):

Le circuit équivalent de ce modèle à cinq paramètres (2 Modèle Mécanisme avec 5 paramètres) est obtenu en ajoutant encore une simplification au circuit du modèle. Cette simplification se traduit par supposer que la résistance shunt est infinie, et que la résistance série est nulle [14,15]. Le circuit équivalent sera représenté comme suit:

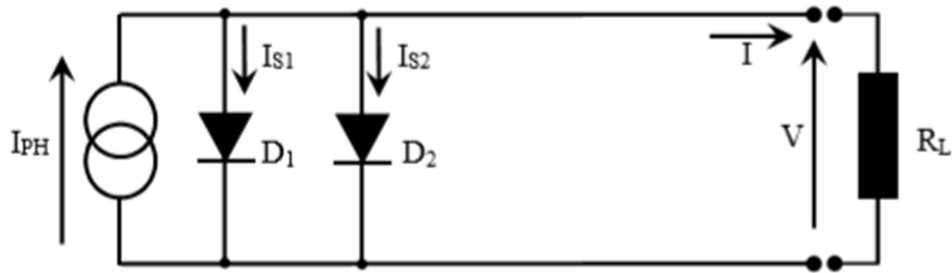


Figure II.4: Modèle à 5 paramètres (2M5P)

La relation courant-tension pour ce circuit aura la forme suivante

$$I = I_{PH} - I_{S1} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V}{\alpha_1 \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - I_{S2} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V}{\alpha_2 \cdot K \cdot T}} - 1 \right) \quad (\text{II.10})$$

Les paramètres de ce circuit sont:

- I_{ph} : le photo-courant.
- I_{S1} : courant inverse de saturation de la diode 1.
- I_{S2} : courant inverse de saturation de la diode 2 .
- α_1 : le facteur de qualité de la diode 1.
- α_2 : le facteur de qualité de la diode 2.

II.2.2.2. Modèle à six paramètres (2M6P):

Si la résistance shunt est considérée infinie ($R_{SH} = \infty$), le nombre de paramètres à déterminer devient 6 et le nom du modèle dans ce cas est 2M6P (2 Modèle Mécanisme avec 6 paramètres). Cette simplification est justifiée par le fait que la résistance shunt est d'habitude beaucoup plus grande que les autres résistances, donc le courant qui la traverse est négligeable. Il consiste aussi en la description mathématique d'un circuit réalisé par la connexion en parallèle de deux diodes [14,15]. La cellule photovoltaïque est représentée par le circuit électrique suivant:

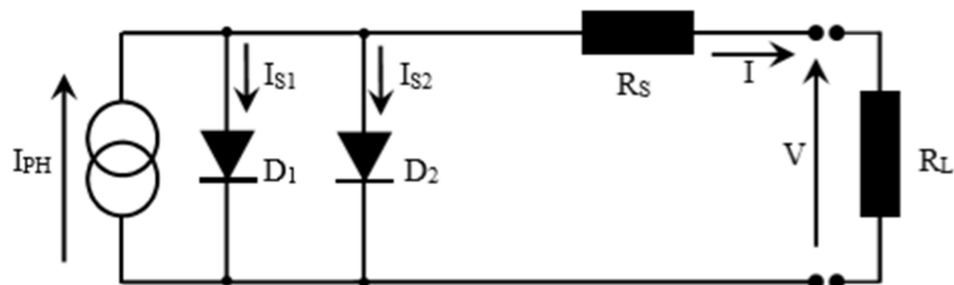


Figure II.5: Modèle à 6 paramètres (2M6P)

La relation courant-tension pour ce circuit aura la forme suivante

$$I = I_{PH} - I_{S1} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V + R_S I)}{\alpha_1 \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - I_{S2} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V + R_S I)}{\alpha_2 \cdot K \cdot T}} - 1 \right) \quad (\text{II.11})$$

Les paramètres de ce circuit sont:

- I_{ph} : le photo-courant.
- I_{S1} : courant inverse de saturation de la diode 1.
- I_{S2} : courant inverse de saturation de la diode 2 .
- α_1 : le facteur de qualité de la diode 1.
- α_2 : le facteur de qualité de la diode 2.
- R_s : la résistance série.

II.2.2.3. Modèle a sept paramètres(2M7P):

Il est connu par le nom 2M7P (2 Modèle Mécanisme avec 7 paramètres). Le fonctionnement d'une cellule solaire peut être modélisé en considérant le schéma électrique équivalent ci-dessous figure(II.6) Il consiste en la description mathématique d'un circuit réalisé par la connexion en parallèle de deux diodes [14, 15]. La résistance série R_s rend compte de la résistivité du matériau, de celle des électrodes et du contact semi-conducteur/métal. Elle doit idéalement être la plus faible possible pour limiter son influence sur le courant de la cellule. Ceci peut être réalisé en optimisant le contact semi-conducteur/métal, et en diminuant la résistivité du matériau utilisé. La résistance parallèle (shunt) R_{SH} traduit quant à elle, la présence d'un courant de fuite, causé par un défaut. Cette valeur devra être la plus élevée possible.

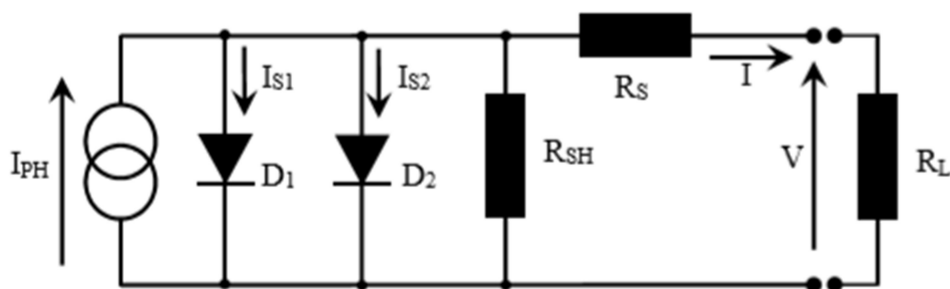


Figure II.6: Modèle à 7 paramètres (2M7P)

Le modèle à deux diodes est représenté par une équation implicite du courant qui ne peut être résolue qu'à l'aide de méthodes itératives. Cette équation caractéristique $I(V)$ est représentée par :

$$I = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{sh} \quad (\text{II.12})$$

$$I = I_{PH} - I_{S1} \cdot \left(e^{\frac{q(V+R_S I)}{\alpha_1 \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - I_{S2} \cdot \left(e^{\frac{q(V+R_S I)}{\alpha_2 \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V + R_S I}{R_{SH}} \quad (\text{II.13})$$

Les paramètres de ce circuit sont:

- I_{ph} : le photo-courant.
- I_{sh} : courant la résistance parallèle R_{sh} .
- I_{S1} : courant inverse de saturation de la diode 1.
- I_{S2} : courant inverse de saturation de la diode 2 .
- α_1 : le facteur de qualité de la diode 1.
- α_2 : le facteur de qualité de la diode 2.
- R_S : la résistance série.
- R_{sh} : la résistance parallèle.

II.2.3.Modèle à trois diodes:

Dans les modèles à une et deux diodes mis en évidence ci-dessus, les pertes internes et les chutes de tension causées par l'afflux de courant dans une cellule PV étaient représentées dans le modèle par la résistance série. La résistance de shunt répond au courant de fuite à la terre dans une cellule PV pratique. Un modèle à une seule diode ne tient pas compte de l'effet de recombinaison d'une diode comme indiqué dans (Vivek & Sawle, 2015); par conséquent, un autre diode est ajoutée en parallèle pour former le modèle à deux diodes. Dans cette section, une troisième diode est ajoutée en parallèle au modèle à deux diodes existant et une étude de ses effets sur la caractérisation I-V et PV est présentée. Deux modèles sont présentés:

II.2.3.1.Un modèle avec seulement une résistance en série:

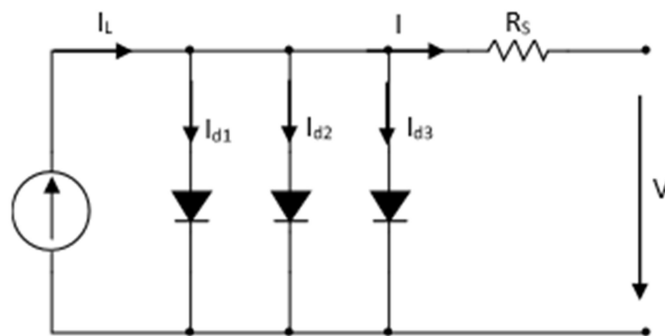


Figure II.7: Modèle à trois diodes avec résistance série

$$I = I_{PH} - I_{d1} \cdot \left(e^{\frac{q(V+R_S I)}{\alpha_1 \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - I_{d2} \cdot \left(e^{\frac{q(V+R_S I)}{\alpha_2 \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - I_{d3} \cdot \left(e^{\frac{q(V+R_S I)}{\alpha_3 \cdot K \cdot T}} - 1 \right) \quad (\text{II-14})$$

Les paramètres de ce circuit sont:

- I_{ph} : le photo-courant.
- I_{d1} : courant inverse de saturation de la diode 1.
- I_{d2} : courant inverse de saturation de la diode 2 .
- I_{d3} : courant inverse de saturation de la diode 2 .
- α_1 : le facteur de qualité de la diode 1.
- α_2 : le facteur de qualité de la diode 2.
- α_3 : le facteur de qualité de la diode 3.
- R_s : la résistance série.

II.2.3.2. Un modèle avec des résistances série et shunt:

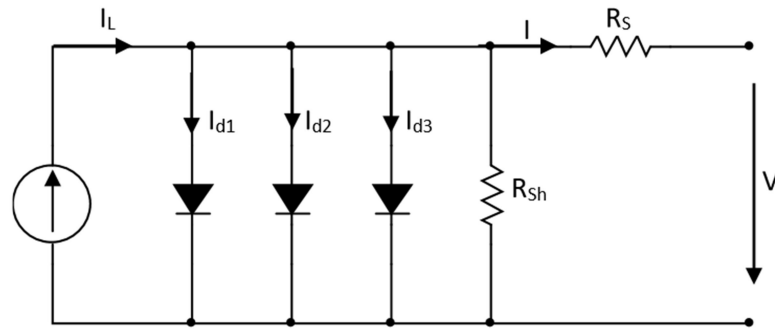


Figure II.8: Modèle à trois diodes avec résistances série et shunt

$$I = I_{PH} - I_{d1} \cdot \left(e^{\frac{q(V+R_S I)}{\alpha_1 \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - I_{d2} \cdot \left(e^{\frac{q(V+R_S I)}{\alpha_2 \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - I_{d3} \cdot \left(e^{\frac{q(V+R_S I)}{\alpha_3 \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V + R_S I}{R_{SH}} \quad (\text{II-15})$$

Les paramètres de ce circuit sont:

- I_{ph} : le photo-courant.
- I_{sh} : courant la résistance parallèle R_{sh} .
- I_{d1} : courant inverse de saturation de la diode 1.
- I_{d2} : courant inverse de saturation de la diode 2 .
- I_{d3} : courant inverse de saturation de la diode 3 .
- α_1 : le facteur de qualité de la diode 1.
- α_2 : le facteur de qualité de la diode 2.
- α_3 : le facteur de qualité de la diode 3.

- R_s : la résistance série.
- R_{sh} : la résistance parallèle.

II.2.4. Modèle de Bishop

Le modèle de Bishop est une version développée du modèle à une seule diode de la cellule solaire. Un terme qui décrit l'effet d'avalanche dans la cellule quand elle fonctionne en régime inverse est ajouté par Bishop (1988) [16]. Ce dernier fait l'hypothèse que l'effet décalquage ne se produit que dans le chemin parallèle comme il est montré en Figure (II.9)

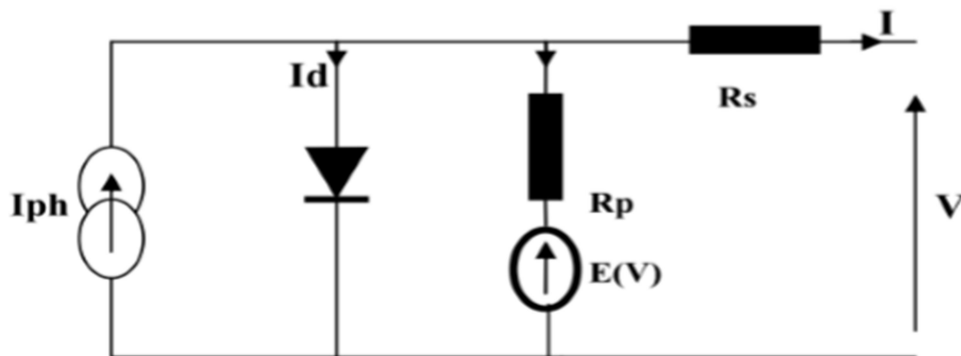


Figure II.9: Modèle de Bishop de la cellule solaire.

$$I = I_{ph} - I_S \left(e^{\frac{V + R_S I}{V_{th}}} - 1 \right) - \frac{V + R_S I}{R_{sh}} \left[1 + k \left(1 - \frac{V + R_S I}{V_b} \right)^{-n} \right] \quad (\text{II-16})$$

Où:

V_b : est la tension de claquage de la cellule (-10 V à -30 V),

n : sont des valeurs constantes données dans le modèle de Bishop [Bishop, 1988], $n \approx 0.1$.

k : est compris entre 3,4 et 4,

Il est possible de faire apparaître la tension thermique $V_{th} = \frac{AKT}{q}$ qui prend en compte la

température de la cellule T

Les paramètres de ce circuit sont :

- I_{PH} : le courant photonique,
- I_S : courant de saturation,
- K : facteur de qualité de la diode
- R_s : la résistance série,
- R_{SH} : la résistance parallèle.

II.3. Modèle électrique d'une module photovoltaïque

Le circuit équivalent du module PV est indiqué dans la figure (II.10). Il peut être vu que le module PV combine plusieurs séries insérées connectées à plusieurs périodes ou en parallèle, et le courant de sortie peut être exprimé comme [17]:

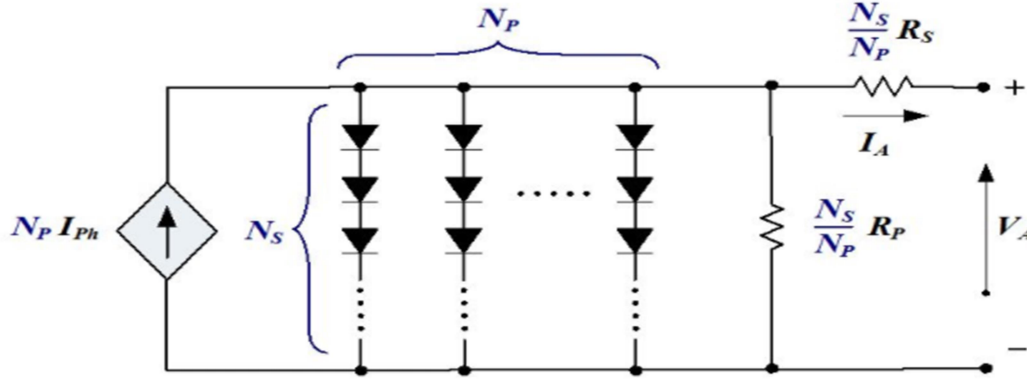


Figure II.10: Circuit équivalent du module PV

$$I = I_{ph}N_p - I_dN_p \left(e^{\left(\frac{V+IR_S N_s/N_p}{aN_sV_t} \right)} - 1 \right) - \frac{V+IR_S N_s}{R_{sh} N_s/N_p} \quad (II-17)$$

Où N_s et N_p représentent respectivement le nombre de cellules connectées en série ou en parallèle. Comme les modules PV utilisés dans les expériences sont tous en série, N_p est mis à 1. Ainsi, Eq. (II.17) peut être représenté comme suit:

$$I = I_{ph} - I_d \left(e^{\left(\frac{V+IR_S N_s}{aN_sV_t} \right)} - 1 \right) - \frac{V+IR_S N_s}{R_{sh} N_s} \quad (II-18)$$

Pour le module PV, cinq paramètres inconnus doivent être extraits, notamment I_{ph}, I_d, R_s, R_{sh} et a.

II.4. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque:

A partir de ces caractéristiques on déduit les paramètres électriques propres à la cellule:

II.4.1. La tension à circuit ouvert V_{co} :

La tension à circuit ouvert est obtenue quand le courant qui traverse la cellule est nul. Elle dépend de la barrière d'énergie et de la résistance shunt. Elle décroît avec la température et varie peu avec l'intensité lumineuse:

$$\bullet V_{co} (I = 0) = V_t \log \left(1 + \frac{I_{sc}}{I_0} \right) \quad (II-19)$$

II.4.2. Le courant de court-circuit I_{sc} :

Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule (en prenant $V=0$ dans le schéma équivalent). Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement, de la mobilité des porteurs et de la température.

On:

$$I_{sc} = I_{ph} \quad (\text{II-20})$$

II.4.3. La Puissance maximale P_{max} :

Pour une cellule solaire idéale, la puissance maximale P_{max} , correspondrait donc à la tension de circuit ouvert V_{max} multipliée par le courant de court-circuit.

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} \quad (\text{II-21})$$

Le produit $(V_{max} \times I_{max})$ donne la puissance maximale qui représente 80% environ du produit $(V_{co} \times I_{sc})$.

II.4.4. Le facteur de qualité:

A est le facteur d'idéalité de la cellule qui dépend des mécanismes de recombinaison dans la zone de charge d'espace (compris entre 1 et 2).

II.4.5. Le facteur de forme ff:

C'est le rapport entre la puissance maximale que peut fournir une cellule et la puissance qu'il est théoriquement possible d'obtenir (puissance optimale):

$$ff = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{co} \times I_{sc}} \quad (\text{II-22})$$

II.4.6. Rendement énergétique maximum η :

Le rendement de la cellule qui correspond au rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule et la puissance solaire incidente : [3]

$$\eta = \frac{V_{max} \times I_{max}}{P_{incidente}} = \frac{P_{max}}{E_f \times S} \quad (\text{II-23})$$

S : Surface de cellule solaire

E_f : Flux incident.

P_{max} : puissance maximale mesurée dans les conditions de référence (STC : Standard Test Condition), c'est-à-dire sous l'ensoleillement de 1000 W/m², spectre AM 1.5 et à la température de 25°C

Les figures (II.11), (II.12) représente les courbes $I = f(V)$ et $P = f(V)$ d'un module photovoltaïque dans des conditions constantes d'irradiation et de température. L'irradiation standard adoptée pour mesurer la réponse des modules photovoltaïques est une intensité

rayonnante de 1000 W/m^2 et une température de 25°C .

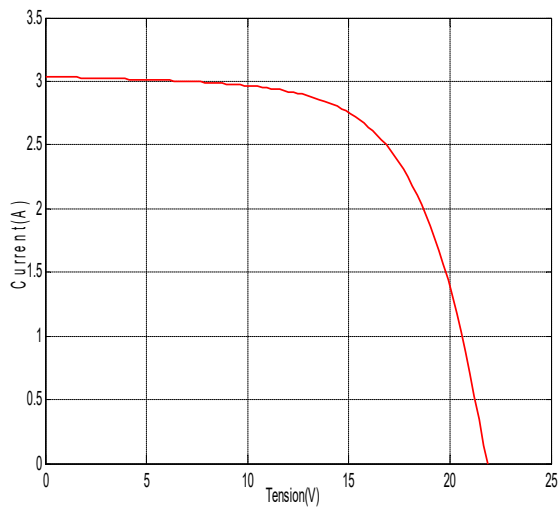


Figure .II-11. Caractéristique courant-tension.

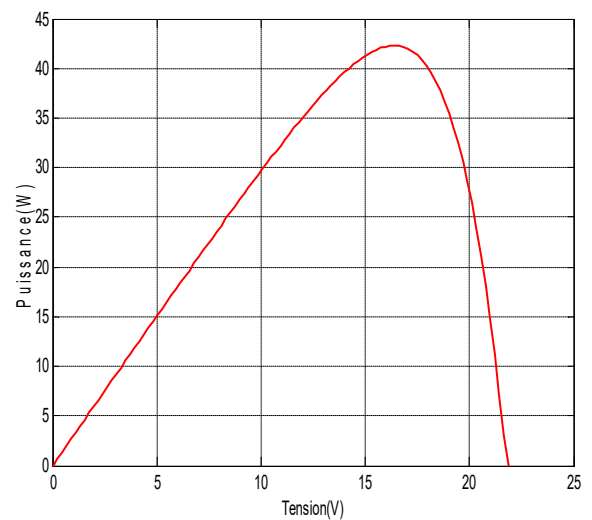


Figure .II-12. Caractéristique puissance-tension.

Afin de voir le bon fonctionnement du modèle étudié, nous avons effectué des simulations suivant les effets des différents paramètres (la température et l'éclairement) sur les caractéristiques courant-tension.

II.5. Effet climatiques une cellule photovoltaïque

II.5.1. Effet de la température:

La température est un paramètre très important dans le fonctionnement des cellules photovoltaïques parce que les propriétés électriques d'un semi-conducteur sont très sensibles à la température. [18]

Nous avons effectué une simulation où nous avons maintenu un éclairement constant ($G=1000 \text{ W/m}^2$) pour différentes températures (25°C , 35°C , 55°C , 65°C).

La courbe des caractéristiques va présenter des différentes allures selon la température. On remarque que l'augmentation de la température entraîne une diminution de la tension de circuit ouvert, ainsi qu'une diminution de la puissance maximale figure (II.13) et (II.14).

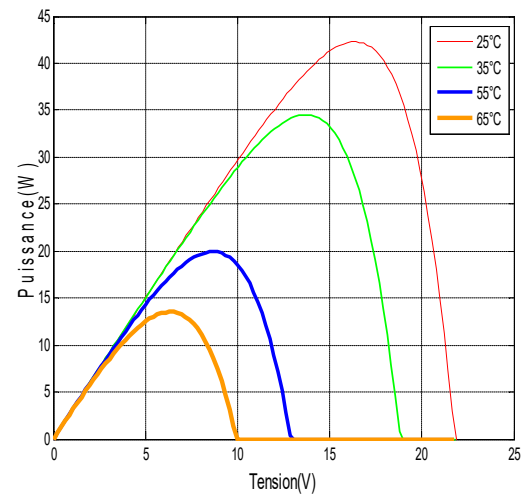
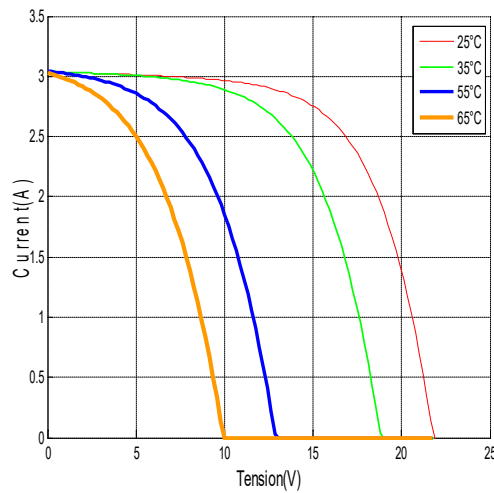


Figure II-13. Influence de température sur I(V). Figure II-14. Influence de la température sur P(V)

II.5.2 . Effet de l'Éclairement:

En faisant varier l'éclairement entre 400 w/m² et 1000 w/m², la caractéristique ($I_{pv}=f(V_{pv})$) est donnée par les figures (II-15),(II-16). On remarque que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairement [15]

L'irradiation standard internationalement accepter pour mesure le réponse des panneaux photovoltaïque est un intensité rayonnante de 1000W/ et une température 25 C°

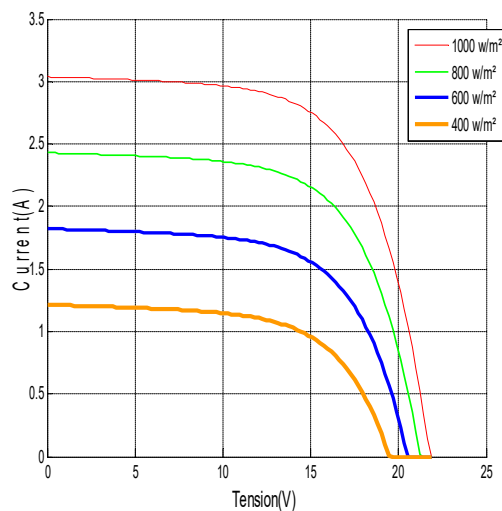


Figure II-15. Influence de l'éclairement sur I(V).

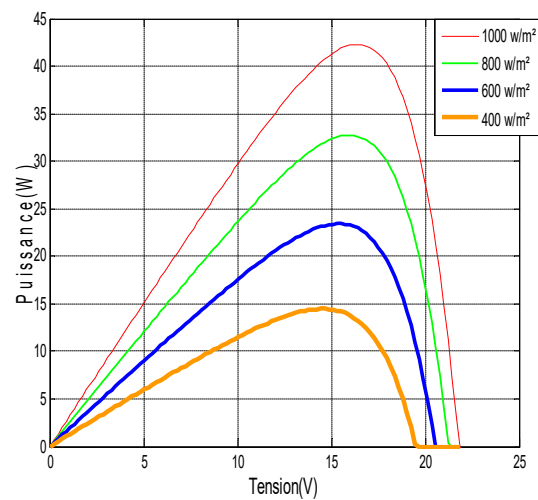


Figure II-16. Influence de l'éclairement sur P(V)

II.6. Effet de paramètre électrique sur une cellule photovoltaïque

Avant d'établir le modèle de cellule solaire à simple diode donné par l'équation. (2), il est important de connaître l'effet des quatre paramètres R_s , R_{sh} , n , et I_0 sur la caractéristique de la cellule solaire qui seront extraites en utilisant les algorithmes génétiques. Il est à noter que les courbes I-V et P-V de cette section représentent les caractéristiques d'un module photovoltaïque de 54 cellules montées en série. Ces courbes sont tracées en utilisant l'expression implicite du modèle à simple diode (Eq; II.7) implémentée dans MATLAB 7.2 ou les résultats de la simulation sont obtenus dans des conditions standards ($T = 300^\circ K$ et $E = 1000 W/m^2$)

II.6.1. Effet de la résistance série:

La résistance série est la résistance interne de la cellule. Elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles [19].

Le tableau (II.1) montre la variations des paramètres électriques (I_{CC} , V_{CO} , P_{max} , FF) en fonction de la de résistance série R_s (0.2 Ω , 0.4 Ω , 0.6 Ω) ou les autre paramètres (R_{sh} , I_0 , n), sont fixés

Tableau II.1: les paramètres électriques (I_{CC} , V_{CO} , P_{max} , FF) pour chaque valeur de résistance série R_s

Paramètres	Valeur		
R_s (Ω)	0.20	0.4	0.6
I_{CC} (A)	8.20	8.19	8.17
V_{CO} (v)	18.99	18.99	18.99
P_{max} (w)	104	63.67	83.86
FF%	66.76	60.22	54.02

Selon le tableau ci-dessus, on remarque que l'augmentation de la résistance série à un effet réductif considérable sur le point de fonctionnement P_{max} et le facteur de forme FF. Ce pendant, la tension du circuit ouvert (V_{CO}) reste stable avec une légère diminution du courant du court-circuit (I_{CC}).

La figure (II.17) montre l'influence de la résistance série sur la caractéristique $I(V)$ et $P(V)$

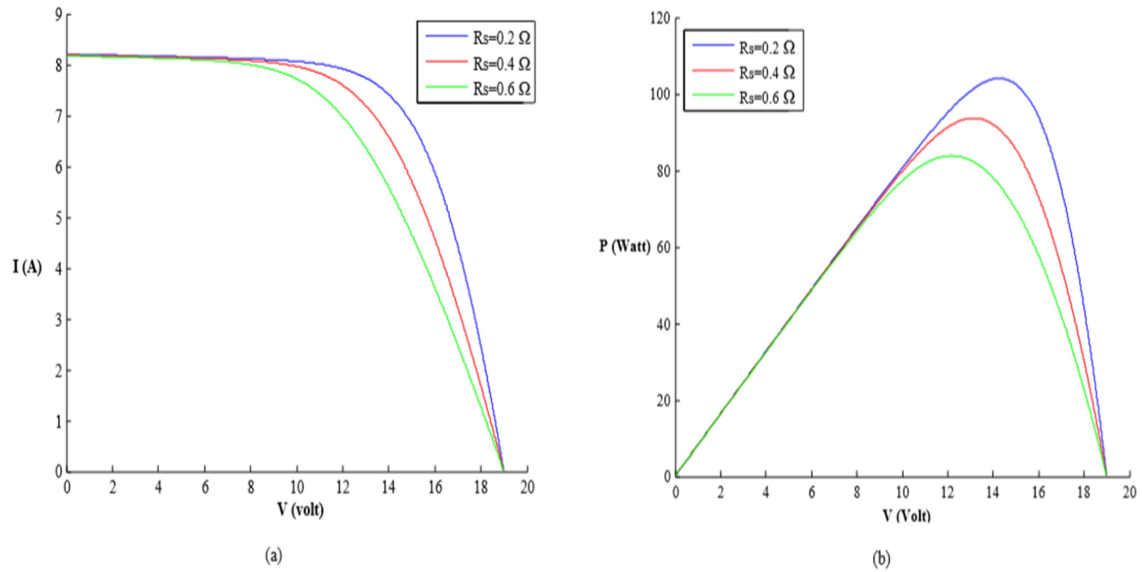


Figure II.17 : L'effet de la résistance série R_s sur la caractéristique ; (a) $I(V)$ et (b) $P(V)$

Comme le montre la figure (II.17), on observe que la tension de circuit ouvert (V_{CO}) ne change pas de valeur ($V_{CO} = 18.99 V$) lorsque on augmente la valeur de la résistance série R_s . Ce pendant les caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ se déforment très rapidement sous une légère variation de R_s de l'ordre de $m\Omega$. Cette influence se traduit par une diminution de la pente des caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ dans la zone où la cellule fonctionne comme une source de tension et une diminution de la tension V_{mp} correspondante au point de fonctionnement (puissance maximale) P_{max} lorsque R_s augmente.

II.6.2. Effet de la résistance shunt:

La résistance shunt est une résistance qui prend en compte les fuites inévitables du Courant qui intervient entre les bornes opposées d'une photopile [20].

Le tableau (II.2) montre la variation des paramètres électriques ($I_{CC}, V_{CO}, P_{max}, FF$) pour des différentes valeurs de la résistance shunt R_{sh} (10 Ω , 20 Ω et 100 Ω) ou les autres paramètres (R_s, I_0, n), sont fixés.

Tableau II.2: les paramètres électriques (I_{CC} , V_{CO} , P_{max} , FF) pour chaque valeur de résistance shunt R_{sh}

Paramètres	Valeur		
$R_s(\Omega)$	10	20	100
$I_{CC}(A)$	8.06	8.14	8.20
$V_{CO}(v)$	21.81	22.04	22.2
$P_{max}(w)$	101.2	115.5	127.2
$FF\%$	57.59	64.39	69.83

D'après le tableau (II.2), on constate que lorsque on augmente la résistance shunt R_{sh} à le point de fonctionnement P_{max} et le facteur de forme FF augmentent d'une façon considérable. Cependant, la tension du circuit ouvert (V_{CO}) et le courant du court-circuit (I_{CC}) augment d'une façon légère.

La figure (II.18) suivant montre l'influence de la résistance shunt (R_{sh}) sur la caractéristique $I(V)$ et $P(V)$.

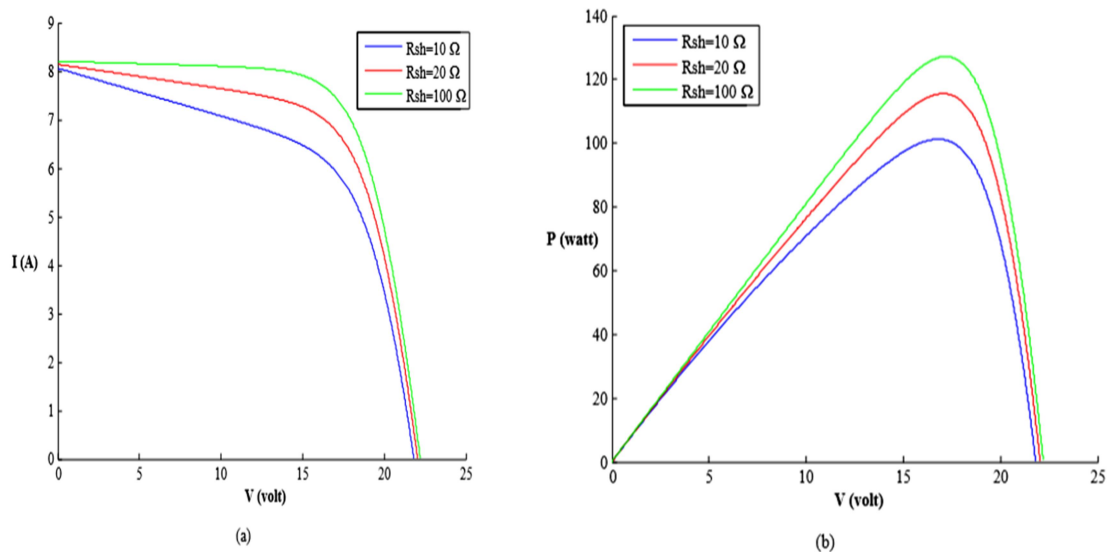


Figure II.18: L'effet de la résistance shunt R_{sh} sur la caractéristique ; (a) $I(V)$ et (b) $P(V)$

Les résultats obtenus (figure II.18) montre une légère augmentation de la tension de circuit ouvert (V_{CO}) et le courant du court-circuit (I_{CC}) due à l'augmentation de R_{sh} . L'influence de R_{sh} est évident sur le comportement des caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ qui se déforment rapidement, cette influence se traduit par une diminution de la pente de la caractéristique $I(V)$ de la cellule dans la zone correspondante à un fonctionnement d'une source de courant (basse tension). En outre, on remarque que lorsque R_s augmente, la tension V_{mp} correspondante au point de fonctionnement

légèrement augmente avec une augmentation importante de la puissance maximale P_{max} (figure II.18.b)

II.7.Méthode d'extraction des paramètres dans la littérature

Plusieurs méthodes graphiques, analytiques et numériques ont été utilisées pour extraire et optimiser ces paramètres. Chacune de ces méthodes, présentent des inconvénients et des avantages, soit au niveau de la complexité de l'utilisation et la précision, soit au niveau de la convergence et la rapidité [21]. La méthode utilisée dans ce travail, concerne la détermination des paramètres électriques intrinsèques (R_s , R_{sh} , I_{SS} et η) du module PV en transformant le courant I et la tension V mesurés à un modèle polynomial. Les paramètres électriques recherchés sont déterminés en fonction des coefficients (a_n) de ce modèle polynomial $I(V) \sim [22]$:

$$\tilde{i}(V) = \sum_{i=0}^{\infty} \partial_i V^i = \partial_0 + \partial_1 \cdot V + \partial_2 \cdot V^2 + \partial_3 \cdot V^3 + \dots + a_n \cdot V^n + \dots Err^{n+1}(V).$$

Ce courant doit vérifier le modèle analytique de l'équation (9) :

$$\tilde{i}(V) = \sum_{i=0}^{\infty} \partial_i V^i = I_0 \left(e^{\frac{V+\tilde{i}R_s}{nV_T}} - 1 \right) + \frac{V+\tilde{i}R_s}{R_{sh}} \quad (\text{II-24})$$

Les coefficients (a_n) de ce modèle sont déterminés par les dérivées successives à l'origine :

$$\tilde{i}(0) = \partial_0, \frac{d\tilde{i}}{dV}(0) = \partial_1, \frac{d^2\tilde{i}}{d^2V}(0) = \partial_2, \dots \quad (\text{II-25})$$

L'erreur et ses dérivées à l'ordre n de cet estimateur, sont nulles à l'origine :

$$Err^{n+1}(0) = 0; \frac{d^n Err^{n+1}}{d^n V}(0) = 0 \quad (\text{II-26})$$

D'après l'utilisation de ces équations, les paramètres électriques (R_s , R_{sh} , I_{SS} et η) sont reliés avec les coefficients (a_n) par les équations suivantes:

$$\partial_0 = \frac{I_{SS} \cdot R_{sh}}{R_{sh} + R_s} \cdot \left[e^{\partial_0 \cdot R_s \cdot \frac{q}{n \cdot K \cdot T}} - 1 \right] \quad (\text{II-27})$$

$$\partial_1 = \frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_s} \cdot \left[\frac{1}{R_{sh}} + k \cdot I_{SS} \cdot (1 + \partial_1 \cdot R_s) \cdot e^{\partial_0 \cdot R_s \cdot \frac{q}{n \cdot K \cdot T}} \right] \quad (\text{II-28})$$

$$\partial_2 = \frac{q}{n \cdot K \cdot T} \cdot \frac{I_{SS} \cdot R_{sh}}{R_{sh} + R_s} \cdot [2\partial_2 \cdot R_s + (1 + \partial_1 \cdot R_s)^2] \cdot e^{\partial_0 \cdot R_s \cdot \frac{q}{n \cdot K \cdot T}} \quad (\text{II-29})$$

$$\partial_3 = \frac{q}{n \cdot K \cdot T} \cdot \frac{I_{SS} \cdot R_{sh}}{R_{sh} + R_s} [1 + R_s \cdot (3\partial_1 + 6\partial_2 + 6\partial_3) + R_s^2 \cdot (3\partial_1^2 + 6\partial_1 \cdot \partial_2) + R_s^3 \cdot \partial_1^3] \cdot e^{\partial_0 \cdot R_s \cdot \frac{q}{n \cdot K \cdot T}} \quad (\text{II-30})$$

La résolution de ce système non linéaire se fait numériquement par plusieurs méthodes (avec la fonction fsovl de Matlab par exemple).

$$B_0 = 1 + \frac{\partial_3}{\partial_2}$$

$$B_1 = 3\partial_1 + 6\partial_2 + 6\partial_3 + \frac{4\partial_1 \partial_3}{\partial_2}$$

Si on pose
$$B_2 = 3\partial_1^2 + 6\partial_1 \cdot \partial_2 + \frac{\partial_1^2 \partial_3}{\partial_2} \quad (\text{II-31})$$

$$B_3 = \partial_1^3$$

$$B_0 + B_1 \cdot R_s + B_2 \cdot R_s^2 + B_3 \cdot R_s^3 = 0 \quad (\text{II-32})$$

La résolution numérique de cette équation permet de déterminer la résistance R_s :

$$R_s = f(B_0, B_1, +B_2, +B_3) \quad (\text{II-33})$$

$$R_{sh} = R_s + \frac{[1+2R_s(\partial_1+\partial_2)+\partial_1^2 R_s^2] \cdot \partial_1}{(\partial_1+\partial_2)+R_s \cdot \partial_1 \cdot (2\partial_1+\partial_2)+\partial_1^3 \cdot R_s^2} \quad (\text{II-34})$$

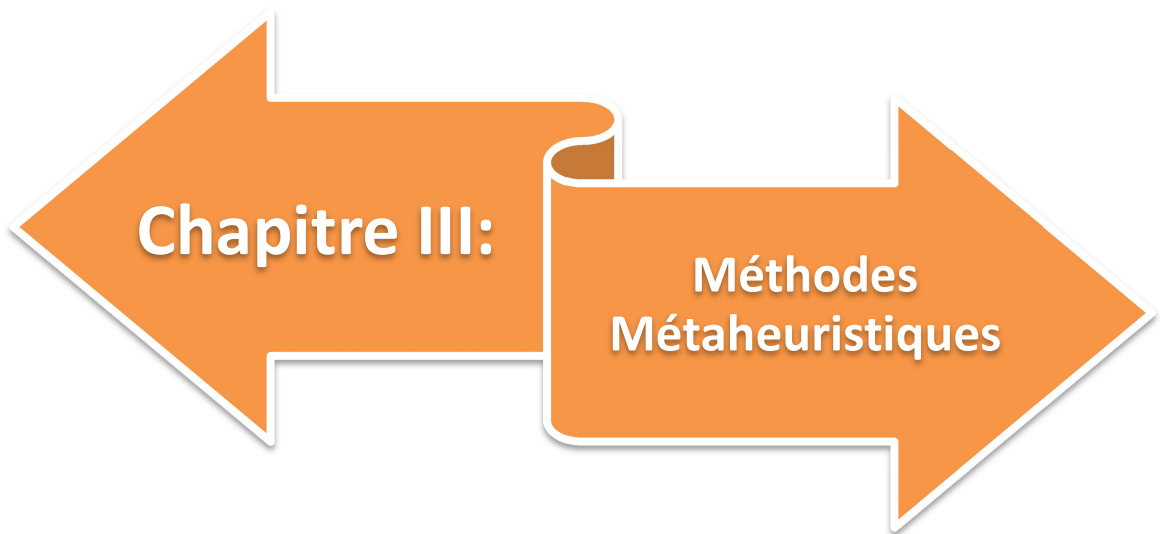
$$I_{SS} = \frac{\partial_0 \cdot (R_{sh} + R_s)}{R_{sh} \cdot [e^{\frac{\partial_0 \cdot R_s}{n \cdot K \cdot T}} - 1]} \quad (\text{II-35})$$

$$n = \frac{q \cdot R_{sh} \cdot I_{SS}}{\partial_0 \cdot K \cdot T \cdot (R_{sh} + R_s)} \cdot \frac{\partial_0}{\partial_2 [2\partial_2 \cdot R_s + (1 + \partial_1 \cdot R_s)^2]} \quad (\text{II-36})$$

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les caractéristiques électriques fondamentales d'une cellule PV et aussi pour un GPV (Générateur photovoltaïque) et les circuits équivalents ont été décrit. Nous avons vu que la cellule PV présente une caractéristique $I=f(V)$ non linéaire.

Nous avons vu sur Matlab l'effet des changements climatiques sur les caractéristiques ($I(V)$ et $P(V)$) de la cellule PV. Ensuite on a présenté les caractéristiques courant-tension et puissance-tension pour une température et un éclairement fixe ($T_c=25^\circ\text{C}$, $G=1000 \text{ W/m}^2$). Ainsi que l'évolution des grandeurs tension, courant et puissance en fonction de temps. Ensuite nous avons étudié l'effet de la variation d'éclairement à température fixe, ce qui nous a permis de conclure que la puissance et le courant augmente avec l'accroissement de l'éclairement et inversement l'augmentation de la température à un effet inverse.



Chapitre III:

**Méthodes
Métaheuristiques**

III.1. Introduction

En ingénierie, de nombreux problèmes nécessitent l'utilisation de méthodes d'optimisation pour atteindre ou obtenir une solution optimale. Les méthodes déterministes semblent répondre à ce besoin, mais le problème de l'idéalisme local est un véritable piège pour un idéal universel. D'où des méthodes stochastiques dites méta-exploratoires qui évitent généralement ce problème et ont une grande capacité à trouver les meilleures sont généralement utilisées [23]. Parmi ces technologies, celles basées sur l'intelligence de groupe, inspirées de la nature.

Dans ce chapitre nous étudier on l'algorithme de recherche de coucou (CS) et l'hybridation de l'algorithme de recherche de coucou avec la biogéographie.

III.2. Fonction objectif

La plupart des métaheuristiques utilisent la fonction objectif en l'état, et font évoluer leur comportement de recherche de l'optimum. Cependant, certains algorithmes, comme la recherche locale guidée, modifient la représentation du problème, en incorporant l'information collectée durant la recherche, directement au sein de la fonction objectif.

Il est donc possible de classer les métaheuristiques selon qu'elles utilisent une fonction objectif statique (qui demeure inchangée tout au long de l'optimisation) ou dynamique (quand la fonction objectif est modifiée au cours de la recherche).

III.3. Classification les méthodes métaheuristiques

La figure suivante représente la classification les méthodes métaheuristiques.

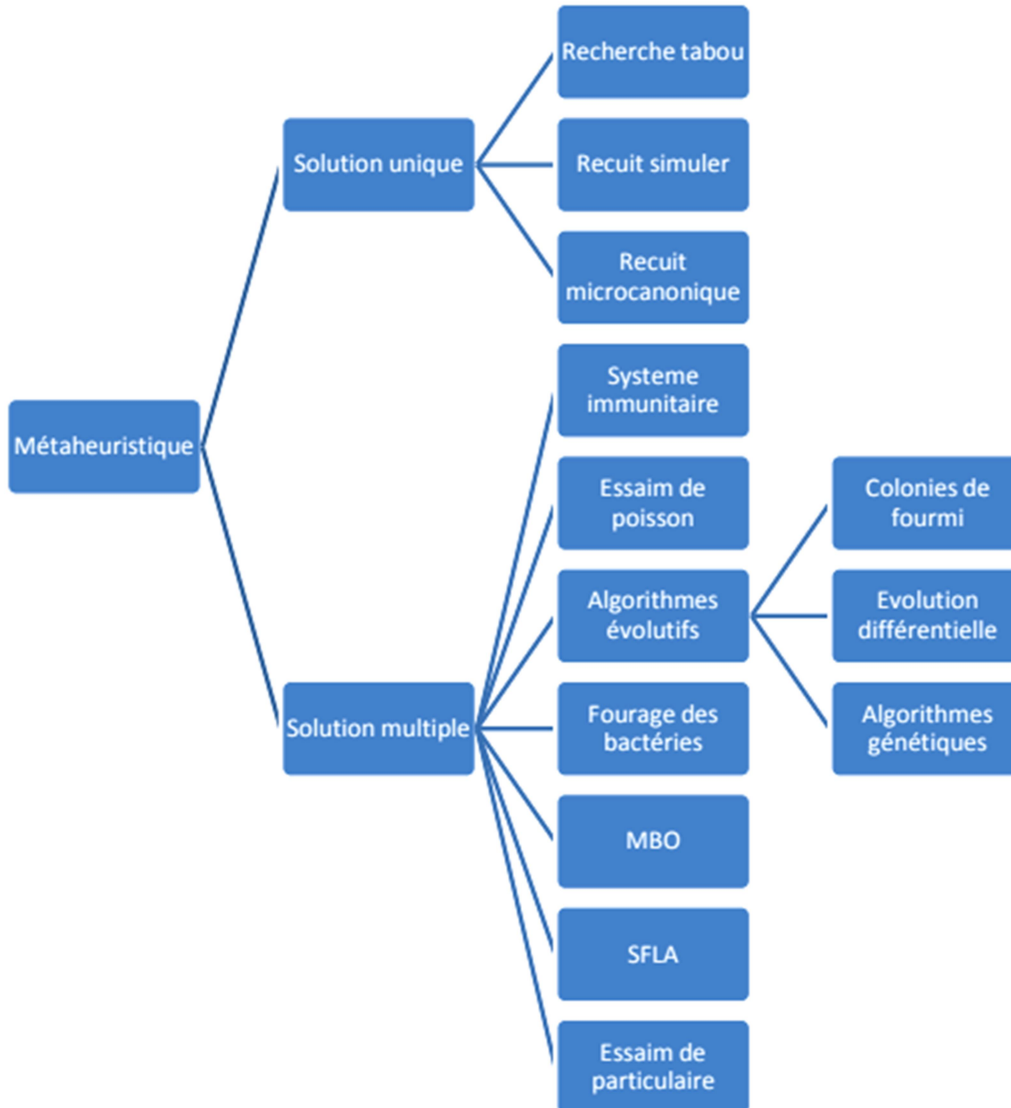


Figure III.1. Classification des métaheuristiques

Les métaheuristiques sont divisées en deux grandes classes:

III.3.1. Les métaheuristiques à solution unique:

sont appelées méthodes de recherche locale ou méthodes de trajectoire, commencent avec une seule solution initiale, et par une amélioration itérative, en construisant un ensemble de solutions de coûts décroissants pour un problème de minimisation. Le processus s'arrête si la solution

courante ne peut pas être améliorée ou si le nombre d'itérations maximum est atteint. Quelques exemples typiques de cette classe : recuit simulé, recherche tabou, et le recuit micro canonique.... etc [24].

III.3.2. Les métaheuristiques à solution multiple:

Travaillent sur un ensemble de points de l'espace de recherche en commençant avec une population de solution initiale puis de l'améliorer au fur et à mesure des itérations. Elles ont une capacité à parcourir les grands espaces de recherche mais n'ont pas un fort pouvoir d'intensification et peuvent avoir tendance à converger lentement. L'objectif de ces méthodes est d'utiliser la population comme un facteur de diversité. Cette métaheuristique en globe : les algorithmes évolutifs (Colonies de fourmi, algorithmes génétiques, Evolution différentielle), Essaim particulaire, SFLA, etc) [25].

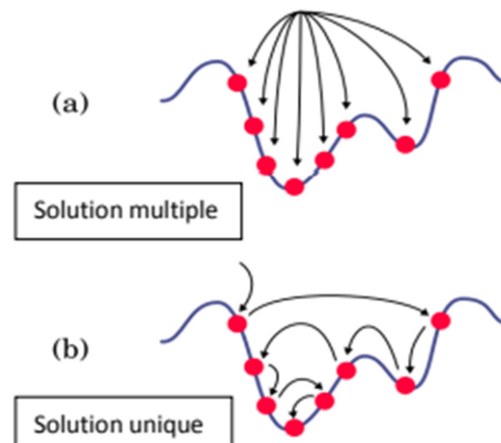


Figure III.2. Exemple d'une solution multiple et unique

III.4. Algorithme de Coucou search (CS)

L'algorithme de Coucou search est une méthode d'optimisation métaheuristique bio inspirée. Elle se base sur le système productif agressif des oiseaux coucou.

Il est calqué sur le comportement des femelles coucou lors de la période de couvaie. Les oiseaux coucou sont des oiseaux fascinants.

Ils se nourrissent principalement d'insectes et de chenilles velues. Ils se nourrissent dans les arbres et les broussailles, à découvert.

Ils vivent aux lisières des forêts et dans les clairières, les fermes, les marais, les dunes côtières et les campagnes ouvertes, les zones cultivées avec des arbres et des buissons, et près des

roselières[26].

Quelques espèces des oiseaux coucou ont un système agressif, en effet :

Ils pondent leurs œufs des nids d'autres oiseaux, ils peuvent aussi enlever les œufs des autres pour augmenter la probabilité d'éclosion de leurs propres œufs. Lorsqu'un oiseau haut découvre qu'un œuf étranger est dans le nid, il engage un conflit direct avec les coucou parasites, comme il abandonne le nid en cours, ou bien il construit un autre ailleurs.



Figure III.3 : Un oiseau coucou

III.4.1. Principe et paramètres

L'algorithme de recherche de coucou jouit de deux capacités : une recherche locale et une autre globale, contrôlées par son paramètre Switch/probabilité de découverte. La recherche

Globale est favorisée par P_a qui prend la valeur $1/4$ (0.25), tandis que la recherche locale est renforcée dans $3/4$ de la population. Cela permet au CS de procéder efficacement tout en balançant entre l'exploration et l'exploitation. Un autre facteur avantageux est le choix des vols de Levy, à la place des marches aléatoires. On ne peut pas, ainsi, négliger le nombre de paramètres réduit qui permet au CS d'être plus générique. En plus de ses avantages, les chercheurs ont constaté que CS a plus de place pour plus d'améliorations, soit en termes de sa source d'inspiration ou au cœur de l'algorithme lui-même. [27]

La force de CS est sa manière d'exploiter et d'explorer l'espace de solutions à l'aide des coucous. Le coucou montre une certaine intelligence de façon à détecter les meilleures solutions. Donc, il représente un outil de contrôle direct pour intensifier ou diversifier les recherches.

III.4.2. Les principales étapes de l'algorithme de recherche coucou [27]:

L'algorithme de la recherche du coucou se résume autour des règles idéales suivantes:

- Chaque œuf du coucou dans un nid représente une solution.
- Chaque oiseau de coucou pondra un seul œuf à la fois, et choisira son nid de façon aléatoire". Donc, chaque individu de la population des coucous a le droit de générer aléatoirement une seule nouvelle solution.
- Les meilleurs nids de meilleure qualité d'œufs nous mèneront vers les nouvelles générations. Ici, on a introduit implicitement la notion d'intensification ou la recherche autour des meilleures solutions.
- Certaines nouvelles solutions doivent être générées par les vols du Lévy autour de la meilleure solution obtenue jusqu'ici. Cela accélérera la recherche locale.
- Le nombre de nids hôtes est fixe, et l'œuf pondu par l'oiseau est découvert par l'hôte avec une probabilité $P_a \in [0,1]$. Dans ce cas, l'oiseau hôte choisi de se débarrasser de l'œuf, ou d'abandonner le nid et de reconstruire un autre nid quelque part.
- Pour la simplification, cette dernière hypothèse sera approximée par la fraction P_a des n nids qui sont remplacées par des nouveaux (nouvelles solutions aléatoires).
- Une fraction importante des nouvelles solutions doivent être générées par randomisation vers des régions lointaines et dont les emplacements doivent être assez loin de la meilleure solution actuelle, ce qui fera que le système ne sera pas pris au piège dans un optimum local.
- Chaque nid peut contenir plusieurs œufs signifiant un ensemble de solutions

La probabilité P_a représente la fraction de N nids qui vont être remplacés par de nouveaux nids (avec de nouvelles solutions aléatoires dans de nouvelles positions dans l'espace de recherche). La qualité d'un nid ou d'une solution est mesurée en fonction de la fonction fitness (fonction objective) qui se varie d'un problème à un autre. [28]

Afin de générer une nouvelle solution $X(t+1)$ pour un coucou i , Yang et Deb ont intégré le vol de Lévy de la manière suivante:

$$X_t(t + 1) = x_t(t) + a \quad (\text{III-1})$$

Où $\alpha > 0$ est la taille du pas, elle est liée au problème traité. La nouvelle solution sera donc générée en fonction de deux facteurs indispensables:

- La position actuelle du coucou.
- La nouvelle direction mesurée par le vol de Lévy.

Le vol de Lévy représente une marche aléatoire dont les pas aléatoires sont définis à partir de la distribution de Lévy (voir équation ci dessous). Il est à noter que la distribution de Lévy a une panoplie de variantes avec une infinité de sens :

$$Lévy \sim u = t^{-\lambda}, (1 < \lambda \leq 3)$$

(III-2)

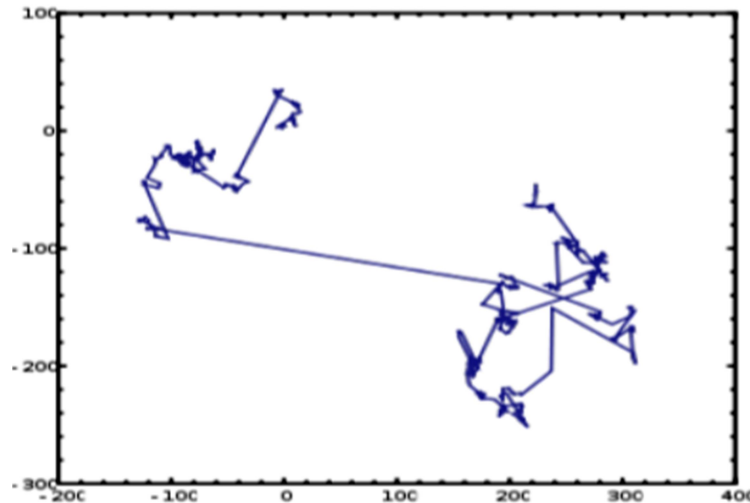


Figure III.4: Exemple de 1000 pas par les vols de Levy en 2 dimensions

Dans le cas de CS, l'emploi du Levy Flight améliore et optimise la recherche : des solutions nouvelles sont générées par une marche aléatoire de Levy autour de la meilleure solution obtenue jusqu'alors, ce qui accélère la recherche globale.

D'un point de vue implémentation, la génération d'un nombre aléatoire avec le Levy Flight suit deux étapes : le choix d'une direction aléatoire et la génération du pas qui doit obéir à la distribution de Levy. La génération d'une direction peut être réalisée à partir d'une distribution uniforme, alors que la génération des pas est plus délicate. Il y a plusieurs méthodes pour y parvenir mais une des plus simples et des plus efficaces consiste à employer les formules de Mantegna pour déterminer le pas s [29]:

$$S = \frac{u}{|v|^{1/\beta}} \quad (\text{III-3})$$

Où u et v sont des distributions gaussiennes centrées telles que:

$$u = N(0, \sigma_u^2), v = N(0, \sigma_v^2) \quad (\text{III-4})$$

Avec:

$$\sigma_u^2 = \frac{\Gamma(1+\beta) \sin(\frac{\pi\beta}{2})}{\Gamma(\frac{1+\beta}{2}) \beta 2^{\frac{\beta-1}{2}}}, \sigma_v^2 = 1 \quad (\text{III-5})$$

Où $\Gamma(z)$ est la fonction Gamma:

$$\Gamma(z) = \int_0^{+\infty} t^{z-1} e^{-t} dt \quad (\text{III-6})$$

Le pseudo-code de l'algorithme ci-dessous résume les étapes générales de l'algorithme de recherche coucou, comme elles sont implémentées dans le code standard du CS [30]:

*Algorithme 1. de la recherche Coucou (CS)***Début***Fonction objectif $f(x)$, $x = (x_1, \dots, x_d)T$* *Générer la population initiale de nids $x_i (= 1, 2, \dots, n)$* **Tant que** ($t < \text{Max Cinération}$) ou (le critère d'arrêt) **faire Pour** chaque coucou i **faire***Obtenir un Coucou aléatoirement par les vols de Levy**Evaluer sa qualité fitness F_i* *Choisir un nid parmi n (soit j) aléatoirement***Fin pour***Si ($F_i < F_j$) (minimisation) alors**Remplacer j par i* **Fin si***Une fraction (p_a) des mauvais nids est abandonnée et des nouveaux sont construits**Garder les meilleures solutions (ou nids avec des solutions de qualité)**Classer les solutions et trouver la meilleure actuelle***Fin tant que***Post-processus des résultats et visualisation***Fin****III.5. L'algorithme de recherche de coucou s'hybride avec la biogéographie****III.5.1. Suggestion d'algorithme de recherche de coucou hétérogène basé sur la biogéographie:**

Comme mentionné ci-dessus, CS utilise principalement les voyages de Levy pour en créer de nouveaux Solutions, ce qui est bon pour explorer la vaste zone. En revanche, BBO l'opérateur de migration est utilisé pour produire de nouvelles solutions, ce qui exploite une zone locale. Dans cet article, nous avons développé un méta-algorithme hybride appelé recherche de coucou hétérogène basée sur la biogéographie.(BHCS), visant à combiner à la fois CS et exploitez BBO. Le BHCS proposé contient deux améliorations principales les étapes, à savoir, la recherche du coucou hétérogène et la biogéographie découverte. Les détails de ces deux phases sont décrits comme suit [31].

III.5.2. Stratégie de recherche de coucou hétérogène:

Dans la première étape d'optimisation, BHCS utilise des coucous hétérogènes stratégie de recherche basée sur la fuite fiscale et le mécanisme quantique. c'est la stratégie a été présentée pour la première fois dans Ding et al. (2015) [32], Cheung et al. (2017) [33], Il est inspiré du mécanisme quantique. Les nouvelles règles de mise à jour pour la recherche sur le coucou hétérogène sont décrites ci-après (Ding et al., 2015[32]; Cheung et coll., 2017[33]):

$$x_i^{nouv} = \begin{cases} x_i^{vie} + a. (x_i - x_g) \oplus Levy(\beta) \frac{2}{3} < sr \leq 1 & (a) \\ \bar{x} + L. (\bar{x} - x_i^{vie}) \frac{1}{3} < sr \leq \frac{2}{3} & (b) \\ x_i^{vie} + \varepsilon. (x_g - x_i^{vie}) & autre (c) \end{cases} \quad (III-7)$$

Où

$L = \delta \ln\left(\frac{1}{\eta}\right)$, $\varepsilon = \delta \exp(\eta)$, x_g est la meilleure solution du moment Répétition;

$\bar{x} = \frac{1}{NP} \sum_{i=1}^{NP} x_i$ est la moyenne de toutes les solutions; Réel et η elle nombres aléatoires dans l'intervalle [0, 1].

De l' E_q . (III-14), on constate que la recherche sur le coucou est hétérogène la stratégie utilise trois équations de mise à jour différentes avec des probabilités égales pour chaque solution. La première équation de modernisation est basée sur le vol de Levi dans le CS d'origine, alors que les deuxième et troisième équations de mise à jour sont basé sur le mécanisme quantique. Employer une modernisation hétérogène les bases peuvent créer diverses solutions pour diversifier la recherche et le vol dans une tendance prometteuse vers la véritable zone mondiale

III.5.3. Un facteur de découverte basé sur la biogéographie:

Dans sa deuxième phase, BHCS utilise une découverte basée sur la biogéographie agent pour générer de nouvelles solutions. L'oiseau hôte peut découvrir des extraterrestres Œufs avec potentiel de p_a , puis anciens nids abandonnés et nouvelle reproduction Nids basés sur un transfert basé sur la biogéographie [31]

Premièrement, la population est triée du meilleur au pire, et chaque solution est ainsi Avec les taux d'immigration μ :

$$\mu_i = E \frac{S_i}{NP} \quad (III-8)$$

Où

$E = 1$ Est le taux de migration maximal; $S_i = NP - i$ est Le nombre d'espèces dans la solution.

Ensuite, le facteur de détection basé sur la biogéographie pour générer sa solution a été décrit dans l'algorithme 2.

Dans l'opérateur de découverte basé sur la biogéographie, les solutions sont pertinentes High Fitness peut partager plus de fonctionnalités avec d'autres solutions, c'est-à-dire Utile pour

améliorer l'exploitation.

Algorithme 2. Déclencheur de détection basé sur la biogéographie[31]

- 1: **pour** $j = 1 \rightarrow D$ **faire**
- 2: **si** $\text{rand} > \text{alors } p_a$
- 3: Sélectionnez une solution x_K avec une probabilité $\propto \mu_K$;
- 4: Génère un nombre aléatoire α entre $[0, 1]$;
- 5: % Effectuer une migration mixte
- 6: $x_{ij}^{\text{nouv}} = \alpha x_{ij}^{\text{vie}} + (1 - \alpha)x_{kj}^{\text{vie}}$;
- 7: **autre**
- 8: $x_{ij}^{\text{nouv}} = x_{ij}^{\text{vie}}$;
- 9: **fin si**
- 10: **fin pour**

III.5.4. Algorithme global de BHCS

En utilisant la recherche de coucou hétérogène et basée sur la biogéographie découverte, l'implantation détaillée de l'algorithme BHCS proposé est montré dans l'algorithme 3.

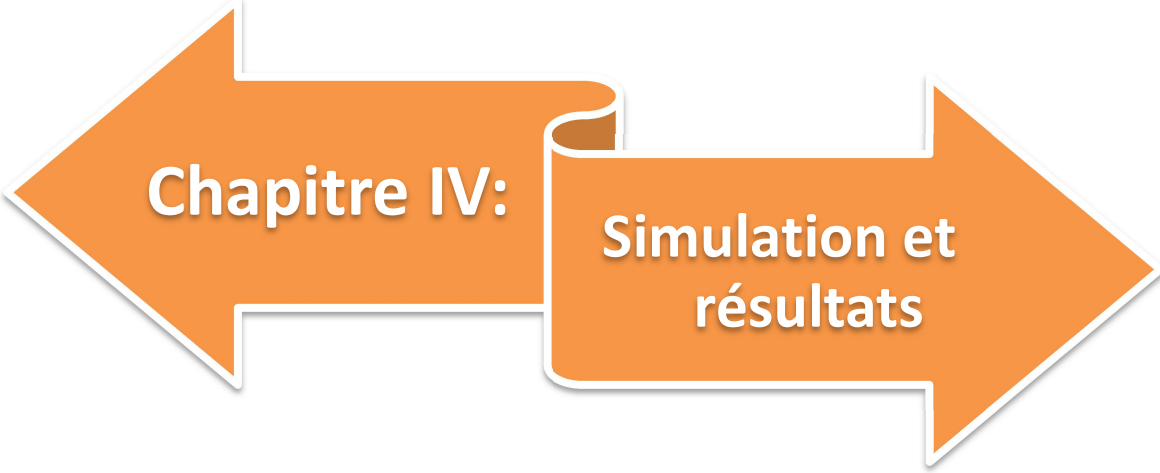
L'algorithme BHCS utilise une structure en cascade pour mettre en œuvre ses deux étapes de recherche. Additionnellement, la coopération de la stratégie de recherche hétérogène du coucou et de l'opérateur de découverte basé sur la biogéographie peut atteindre un équilibre efficace entre exploration et exploitation

Algorithme 3. Recherche de coucou hétérogène basée sur la biogéographie (BHCS)
algorithme[31]

1: Initialisez les nids d'hôtes $x_i (i = 1, \dots, NP)$;
 2: Évaluer la condition physique $f(x_i)$ de chaque nid;
 3: **tant que** la condition terminale n'est pas atteinte **faire**,
 4: % Première étape: stratégie de recherche de coucou hétérogène
 5: **pour** $i=1 \rightarrow NP$ **faire**
 6: Générer un nouveau coucou x_i^{nou} par recherche de coucou hétérogène à l'aide de l'E_{q.}(III-7);
 7: Évaluer la condition physique $f(x_i^{nou})$;
 8: **si** $f(x_i^{nou})$ est mieux que $f(x_i^{vie})$ **alors**;
 9: Remplacer l'ancien nid x_i^{vie} avec x_i^{nou} ;
 10: **fin si**
 11: **fin pour**
 12: % Deuxième étape: opérateur de découverte basé sur la biogéographie
 13: Trier la population du meilleur au pire;
 14: Attribuez à chaque solution un taux d'émigration μ ;
 15: **pour** $i=1 \rightarrow NP$ **faire**
 16: Utilisation de l'**algorithme 1** pour générer une nouvelle solution x_i^{nou} ;
 17: Évaluer la condition physique $f(x_i^{nou})$;
 18: **si** $f(x_i^{nou})$ est mieux que $f(x_i^{vie})$ **alors**;
 19: Remplacer l'ancien nid x_i^{vie} avec x_i^{nou} ;
 20: **fin si**
 21: **fin pour**
 22: Enregistrez la meilleure solution globale x_g ;
 23: **fin pendant**

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons élaboré sur le principe du travail métaheuristique et les avons agencés selon le type de solution étudié, puis nous avons discuté de l'algorithme de recherche du coucou en mentionnant le principe de son travail et ses principales étapes, puis nous avons étudié l'hybridation de l'algorithme de recherche du coucou avec la biogéographie.



IV.1. Introduction

La détermination des paramètres électriques d'une cellule solaire, à partir de la caractéristique $I(V)$ décrivant son fonctionnement, joue un rôle important dans la conception et la fabrication des cellules, permettant d'obtenir des informations sur les mécanismes de transmission électrique. Ce pendant, définir précisément ces paramètres reste un défi pour les chercheurs, ce qui se traduit par une diversité de modèles numériques et de méthodes attribuées à leurs propriétés[34].

L'objectif principal de notre travail est d'extraire les paramètres électriques du panneau PV à l'aide de l'algorithme de recherche de coucou. Les paramètres utilisés dans de nombreux modèles utilisés pour représenter la relation entre le courant et la tension seront obtenus. Les formulaires les plus utilisés sont. Le modèle contient une seule diode, le modèle contient deux diodes et le modèle a trois diodes.

IV.2.Fonction objective

Pour le problème d'extraction de paramètres pour les modèles PV, l'objectif principal c'est l'extraction d'un ensemble de paramètres qui réduisent l'erreur entre mesurez et simulez les données actuelles. L'erreur absolue entre le courant mesuré et simulé est défini comme un erreur absolue courant (IEAC), qui est formulé comme suit:

- Pour le modèle à seule diode:

$$I_{EAC} = \left| I_{ph} - I_d \left[e^{\frac{V+IR_s}{aV_t}} - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} - I \right| \quad (IV-1)$$

- Pour le modèle à deux diodes:

$$I_{EAC} = \left| I_{ph} - I_{d1} \left[e^{\frac{V+IR_s}{a_1V_t}} - 1 \right] - I_{d2} \left[e^{\frac{V+IR_s}{a_2V_t}} - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} - I \right| \quad (IV-2)$$

- Pour le modèle à trois diodes:

$$I_{EAC} = \left| I_{ph} - I_{d1} \left[e^{\frac{V+IR_s}{a_1V_t}} - 1 \right] - I_{d2} \left[e^{\frac{V+IR_s}{a_2V_t}} - 1 \right] - I_{d3} \left[e^{\frac{V+IR_s}{a_3V_t}} - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} - I \right| \quad (IV-3)$$

- Pour le module photovoltaïque:

$$I_{EAC} = \left| I_{ph} - I_d \left[e^{\frac{V+IR_sN_s}{aN_sV_t}} - 1 \right] - \frac{V+IR_sN_s}{R_{sh}N_s} - I \right| \quad (IV-4)$$

Afin de déterminer l'erreur totale entre la jauge et courant simulé, l'erreur quadratique moyenne (RMSE) est utilisée comme fonction objectif:

$$RMSE = f(x) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_{EAC}^2} \quad (IV-5)$$

Où N est le nombre de données mesurées actuelles et x est la résolution un vecteur a des paramètres inconnus à extraire. c'est clair que plus le RMSE est petit, plus les paramètres extraits sont précis [35].

Tableau IV.1: Plage de recherche pour chaque paramètre.

paramètres	Diode: simple /double/triple		Phot watt- PWP-201		STM6-40/36		STP6-120/36	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
$I_{ph}(A)$	0	1	0	2	0	1	0	8
$I_{s1}I_{s2}I_{s3}(\mu A)$	0	1	0	50	0	50	0	50
$R_s(\Omega)$	0	0.5	0	2	0	0.36	0	0.36
$R_{sh}(\Omega)$	0	100	0	2000	0	1000	0	1500
$n_1n_2n_3$	1	2	1	50	1	60	1	50

IV.3.Résultats et analyse de la cellule PV

L'algorithme de recherche de coucou est appliqué à extraire les paramètres de différents modèles PV contenant. Le modèle contient une seule diode, le modèle deux diodes et le modèle trois diodes. Et modèles de modules PV.

- Pour Le modèle une seule diode, le modèle deux diodes et le modèle trois diodes, données courant-tension I(V), d'un diamètre de 57 mm Les ventes de cellules solaires RTC silicium en France sont inférieures à 1000 w/m²pouces 33 °C

- La plage de recherche sera présentée à chaque paramètre du modèle à diode unique, du modèle de diode et du modèle à trois diodes et placée dans table et extraire les courbes de courant et de tension, les comparer et choisir la meilleure, en utilisant l'algorithme de recherche de coucou. Et cet algorithme a été implémenté dans Matlab R2013a. Des expériences comparatives ont été effectuées sur un ordinateur de bureau utilisant Intel(R) Core (TM) i5-4210U CPU @1.70GHz 2.40 GHz , 8 GB de RAM, Windows10, système d'exploitation 64 bits.

IV.3.1. Modèle a une seule diode:

Pour le modèle à diode unique, les paramètres (R_s, R_p, I_{ph}, I_s, n) ont été obtenus en plus de la valeur RMSE. Le tableau suivant l'explique:

Tableau IV.2: Résultats des paramètres électriques d'un modèle à seule diode.

Algorithmes	$I_{ph}(A)$	$I_s (\mu A)$	$R_s (\Omega)$	$R_p (\Omega)$	n	RMSE
CS	0.7607	0.3230	0.0363	53.7185	1.4811	9.8602 e-4
BHCS	0.7608	0.3230	0.0364	53.7185	1.4812	9.8602 e-4
IJAYA[36]	0.7608	0.3281	0.0364	53.7185	1.4811	9.8603 e-4
TLBO[37]	0.7607	0.3294	0.0363	54.3015	1.4831	9.8733 e-4
GOTLBO[38]	0.7608	0.3226	0.0364	53.3388	1.4811	9.8658 e-4

Les paramètres extraits d'un algorithme de recherche de coucou ont été utilisés pour le traçage des courbes I-V et P-V illustrées à (la Figure IV.1). Il est clair que les données expérimentales et de simulation que nous avons obtenues sont très cohérentes pour les courbes I-V et P-V. Notez que certains points de données sont négatifs en (Figure IV.1), où le signe négatif indique le courant ou la tension la direction est opposée à la direction spécifiée, plus précisément, le courant ou la tension inverse.

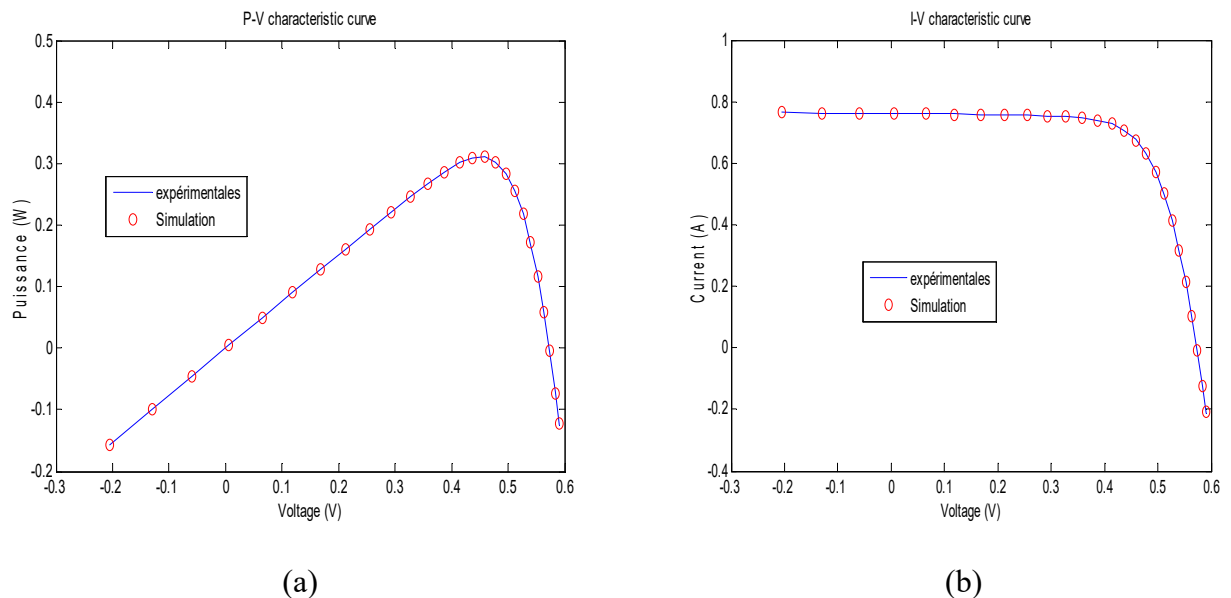


Figure IV.1: Comparaison des données mesurées et simulées pour un modèle a une seule diode : (a) caractéristique P-V, (b) caractéristique I-V.

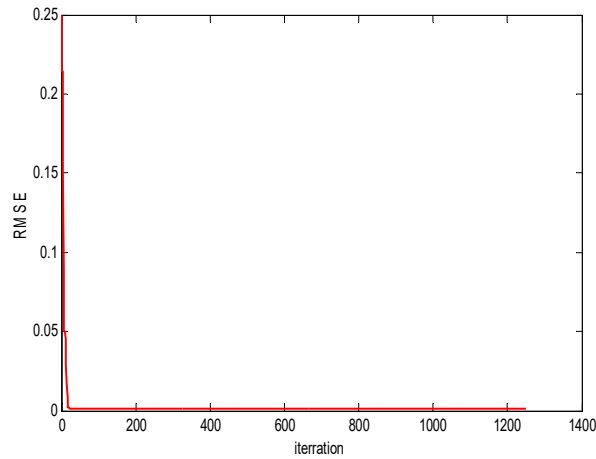


Figure IV.2: Propriétés d'affinité de la fonction cible RMSE en fonction de la itération

IV.3.2. Modèle a deux diodes :

Pour le modèle a deux diodes, il y a sept paramètres inconnus cela augmente la difficulté d'extraction des paramètres à l'aide de l'algorithme d'optimisation. Les sept paramètres et valeurs RMSE ont été obtenus et placés dans un tableau.

Tableau IV.3: Résultats des paramètres électriques d'un modèle a deux diodes.

Algorithmes	$I_{ph}(A)$	$I_{s1}(\mu A)$	$R_s (\Omega)$	$R_p (\Omega)$	n 1	n 2	$I_{s2}(\mu A)$	RMSE
CS	0.7607	0.0635	0.0363	54.7060	1.8143	1.4780	0.3091	9.8938 e-4
BHCS	0.7608	0.2323	0.0367	55.3284	1.4534	2.0000	0.6952	9.8251 e-4
IJAYA[36]	0.7601	0.0050	0.0376	77.8519	1.2186	1.6247	0.7509	9.8293 e-4
TLBO[37]	0.7610	0.2947	0.0366	53.1210	1.4730	1.9938	0.1373	10.069 e-4
GOTLBO[38]	0.7608	0.2717	0.0366	53.6187	1.4668	1.9161	0.2595	9.9544 e-4

Les paramètres extraits de l'algorithme de recherche de coucou ont été utilisés pour tracer les courbes I-V et P-V montrées dans (la Figure IV.2). Il est évident que les données expérimentales et de simulation que nous avons obtenues sont très identiques pour les courbes I-V et P-V.

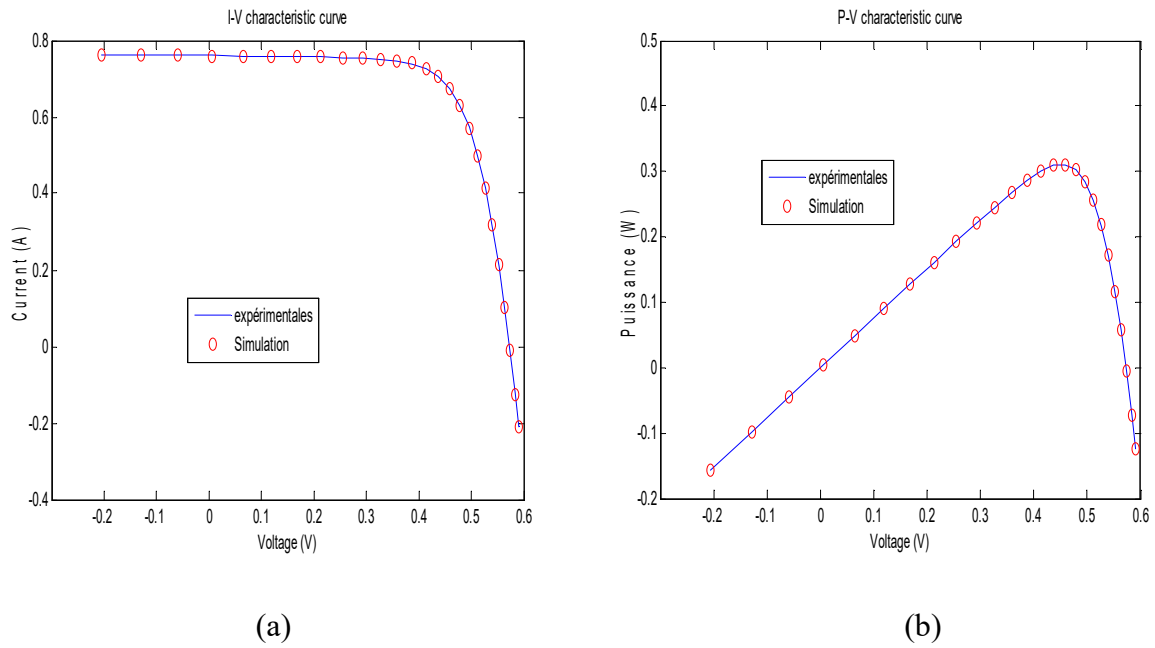


Figure IV.3: Comparaison des données mesurées et simulées pour un modèle a deux diodes : (a) caractéristique I-V, (b) caractéristique P-V

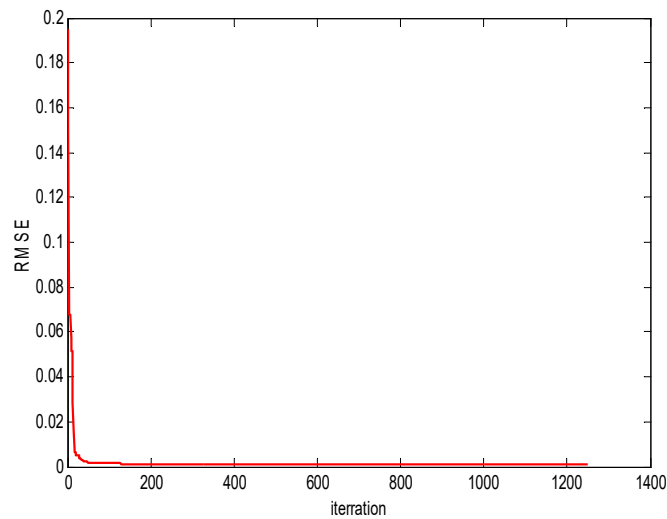


Figure IV.4: Propriétés d'affinité de la fonction cible RMSE en fonction de la itération

IV.3.3. Modèle à trois diodes

Pour le modèle à trois diodes, il existe neuf paramètres inconnus, ce qui rend l'extraction des paramètres à l'aide de l'algorithme d'optimisation plus difficile. Les sept paramètres et valeurs RMSE ont été obtenus et tabulés.

Tableau IV.4: Résultats des paramètres électriques d'un modèle a trois diodes

Algoritmes	$I_{ph}(A)$	$I_{s1}(\mu A)$	$R_s (\Omega)$	$R_p (\Omega)$	n 1	n 2	$I_{s2}(\mu A)$	n 3	$I_{s3}(\mu A)$	RMSE
CS	0.7607	0.4285	0.0363	53.5536	1.5737	1.4801	0.3189	1.6534	0.0035	9.8616 e-4
BHCS	0.7608	0.5739	0.0364	53.777	1.2077	2.000	0.0117	1.4809	0.3219	9.8593 e-4

Les paramètres extraits de l'algorithme de recherche de coucou ont été utilisés pour tracer les courbes I-V et P-V montrées dans (la Figure IV.3). Il est évident que les données expérimentales et de simulation que nous avons obtenues sont très identiques pour les courbes I-V et P-V.

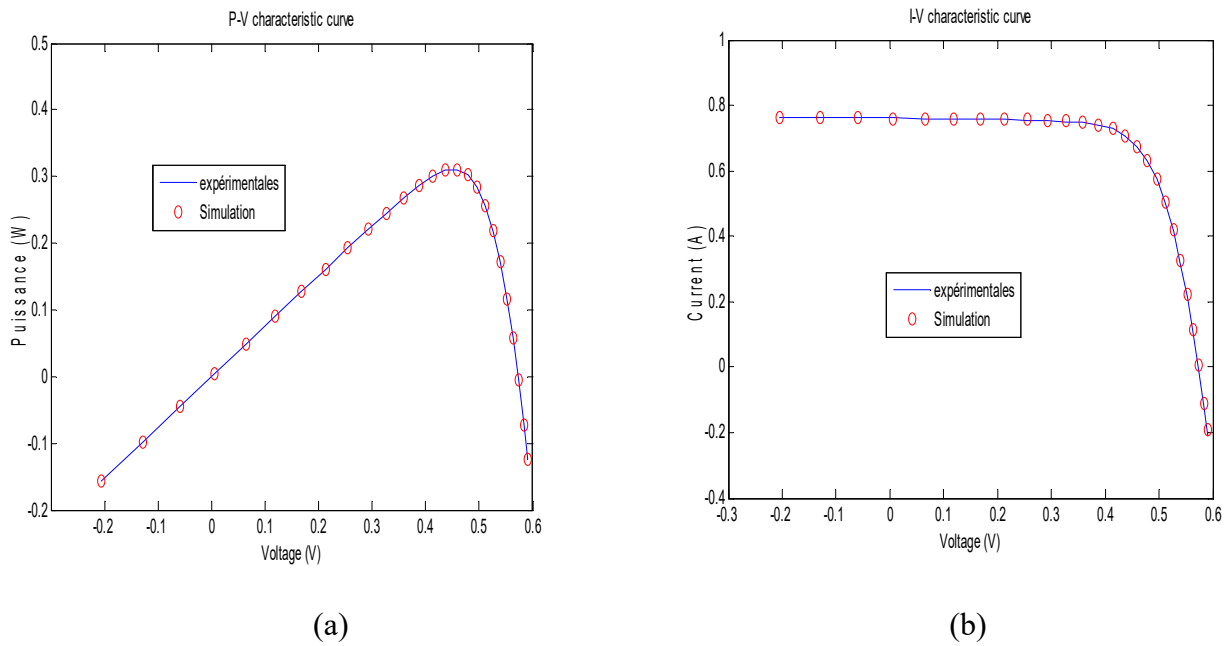


Figure IV.5: Comparaison des données mesurées et simulées pour un modèle a trois diodes :

(a) caractéristique P-V, (b) caractéristique I-V

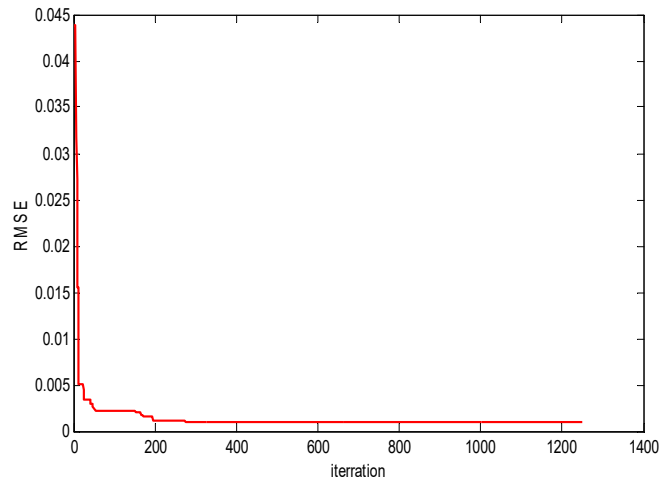


Figure IV.6: Propriétés d'affinité de la fonction cible RMSE en fonction de la itération

IV.4. Résultats sur les modules PV

Les modules PV comprennent trois modules différents : (**Photowatt-PWP201** polycristallin, monocristallin **STM6-40 / 36** et polycristallin **STP6-120 / 36**). Le Photowatt-PWP201 contient 36 cellules reliées entre elles en série. Il est obtenu sous 1000 W / m^2 à 45° C [39].

Le STM6-40 / 36 et le STP6-120 / 36 se composent de 36 cellules connectées en série et mesurées à 51° C et 55° C .

l'efficacité de l'approche. Les résultats des trois modules PV ont été rapportés dans cette section, les valeurs des paramètres PV seront obtenues et les valeurs RMSE seront également obtenues.

IV.4.1. les modules PV Photowatt-PWP201:

Photowatt-PWP201 (composé de 36 cellules en silicium polycristallin en série et fonctionnant à 45° C et 1000 W / m^2)

Tableau IV.5: Résultats des paramètres électriques d'un modèle à seule diode .

Méthode	$I_{ph}(\text{A})$	$I_s(\mu\text{A})$	$R_s(\Omega)$	$R_p(\Omega)$	n	RMSE
CS	1.02513	5.64918	0.03206	173.00477	1.40431	2.88745e-3

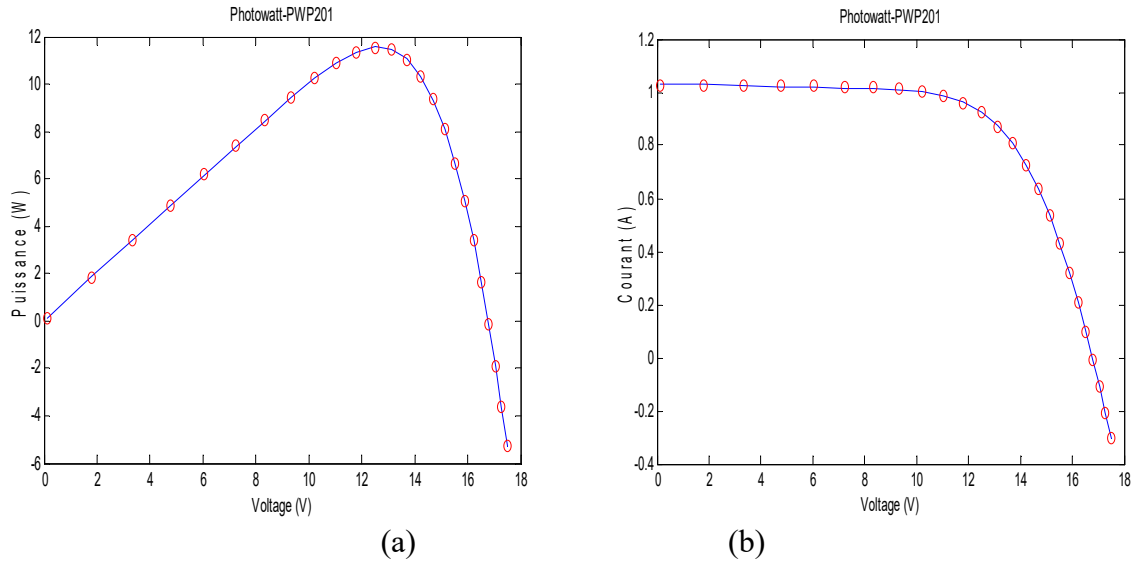


Figure IV.7: Comparaison des données mesurées et simulées obtenues avec l'unité Photowatt-PWP201: (a) caractéristique P-V, (b) caractéristique I-V.

Tableau IV.6: Résultats de simulation pour Photowatt-PWP201

Item	V (V)	I measured (A)	I simulated (A)	IAEC (A)	P measured (W)	P simulated (W)	IAEP (W)
1	0.1248	1.0315	1.02912209	0.00237791	0.1287312	0.12843444	0.00029676
2	1.8093	1.03	1.02738435	0.00261565	1.863579	1.85884651	0.00473249
3	3.3511	1.026	1.02574214	0.00025786	3.4382286	3.43736448	0.00086412
4	4.7622	1.022	1.02410399	0.00210399	4.8669684	4.87698803	0.01001963
5	6.0538	1.018	1.02228341	0.00428341	6.1627684	6.18869931	0.02593091
6	7.2364	1.0155	1.01991740	<u>0.00441740</u>	7.3485642	7.38053027	0.03196607
7	8.3189	1.014	1.01635081	0.00235081	8.4353646	8.45492077	0.01955617
8	9.3097	1.01	1.01049143	0.00049143	9.402797	9.40737207	0.00457507
9	10.2163	1.0035	1.00067876	0.00282124	10.25205705	10.22323442	0.02882263
10	11.0449	0.988	0.98465335	0.00334665	10.9123612	10.87539777	0.03696343
11	11.8018	0.963	0.95969741	0.00330259	11.3651334	11.32615688	0.03897652
12	12.4929	0.9255	0.92304875	0.00245125	11.56217895	11.53155579	0.03062316
13	13.1231	0.8725	0.87258816	0.00008816	11.44990475	11.45106168	0.00115693
14	13.6983	0.8075	0.80731012	0.00018988	11.06137725	11.05877623	0.00260102
15	14.2221	0.7265	0.72795782	0.00145782	10.33235565	10.35308888	0.02073323
16	14.6995	0.6345	0.63646618	0.00196618	9.32683275	9.35573459	0.02890184
17	15.1346	0.5345	0.53569607	0.00119607	8.0894437	8.10754576	0.01810206
18	15.5311	0.4275	0.42881615	0.00131615	6.63954525	6.65998648	0.02044123
19	15.8929	0.3185	0.31866866	0.00016866	5.06188865	5.06456910	0.00268045
20	16.2229	0.2085	0.20785711	0.00064289	3.38247465	3.37204517	0.01042948
21	16.5241	0.101	0.09835421	0.00264579	1.6689341	1.62521481	<u>0.04371929</u>
22	16.7987	-0.008	-0.00816934	0.00016934	-0.1343896	-0.13723426	0.00284466
23	17.0499	-0.111	-0.11096846	0.00003154	-1.8925389	-1.89200116	0.00053774
24	17.2793	-0.209	-0.20911762	0.00011762	-3.6113737	-3.61340604	0.00203234
25	17.4885	-0.303	-0.30202238	0.00097762	-5.2990155	-5.28191833	0.01709717
Σ	-	-	-	0.0417879	-	-	0.40460441

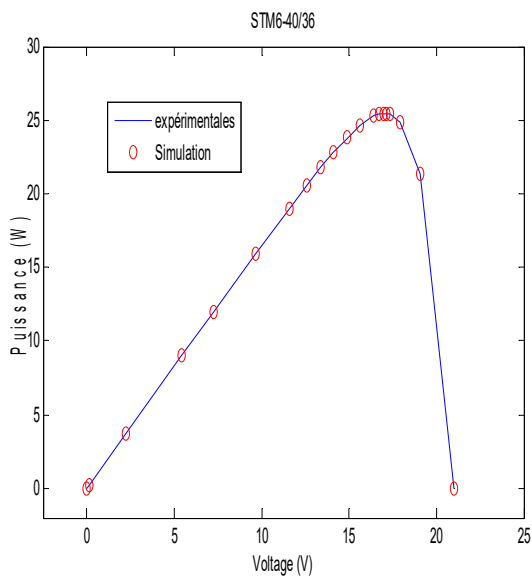
Le nombre en gras signifie le meilleur résultat obtenu à partir de l'algorithme, Le numéro souligné indique la pire valeur parmi les résultats.

IV.4.2.les modules PV STM6-40 / 36:

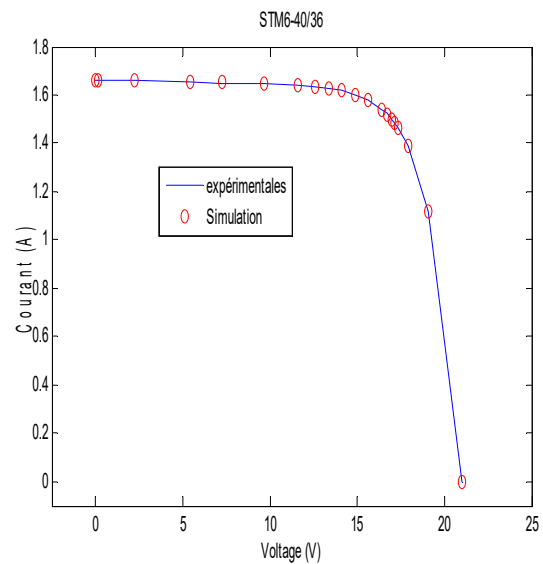
STM6-40 / 36 (composé de 36 cellules en silicium monocristallin en série et fonctionnant à 51°C et $1000\text{W} / \text{m}^2$)

Tableau IV.7: Résultats des paramètres électriques d'un modèle à seule diode .

Methode	I_{ph} (A)	I_s (μA)	R_s (Ω)	R_p (Ω)	n	RMSE
CS	1.66324	2.483107	0.00313	17.73030	1.56055	1.93172 e-3



(a)



(b)

Figure IV.8: Comparaison des données mesurées et simulées obtenues pour STM6-40 / 36:

(a) caractéristique P-V, (b) caractéristique I-V.

Tableau IV.8: Résultats de simulation pour STM6-40 / 36

Item	V (V)	I _{measured} (A)	I _{simulated} (A)	IAEC (A)	P _{measured} (W)	P _{simulated} (W)	IAEP (W)
1	0	1.663	1.66345813	0.00045813	0	0	0
2	0.118	1.663	1.66325224	0.00025224	0.196234	0.19626376	0.00002976
3	2.237	1.661	1.65955120	0.00144880	3.715657	3.71241603	0.00324097
4	5.434	1.653	1.65391444	0.00091444	8.982402	8.98737109	0.00496909
5	7.26	1.65	1.65056575	0.00056575	11.979	11.98310732	0.00410732
6	9.68	1.645	1.64543044	0.00043044	15.9236	15.92776663	0.00416663
7	11.59	1.64	1.63923405	0.00076595	19.0076	18.99872264	0.00887736
8	12.6	1.636	1.63371510	0.00228490	20.6136	20.58481021	0.02878979
9	13.37	1.629	1.62728848	0.00171152	21.77973	21.75684699	0.02288301
10	14.09	1.619	1.61831518	0.00068482	22.81171	22.80206083	0.00964917
11	14.88	1.597	1.60306738	<u>0.00606738</u>	23.76336	23.85364261	<u>0.09028261</u>
12	15.59	1.581	1.58158500	0.00058500	24.64779	24.65691009	0.00912009
13	16.4	1.542	1.54232745	0.00032745	25.2888	25.29417018	0.00537018
14	16.71	1.524	1.52122497	0.00277503	25.46604	25.41966933	0.04637067
15	16.98	1.5	1.49920572	0.00079428	25.47	25.45651315	0.01348685
16	17.13	1.485	1.48527115	0.00027115	25.43805	25.44269473	0.00464473
17	17.32	1.465	1.46564321	0.00064321	25.3738	25.38494047	0.01114047
18	17.91	1.388	1.38759934	0.00040066	24.85908	24.85190419	0.00717581
19	19.08	1.118	1.11837210	0.00037210	21.33144	21.33853973	0.00709973
20	21.02	0	-0.00002131	0.00002131	0	-0.00044803	0.00044803
Σ	-	-	-	0.02177457	-	-	0.28185229

Le nombre en gras signifie le meilleur résultat obtenu à partir de l'algorithme. Le numéro souligné indique la pire valeur parmi les résultats.

IV.4.3.les modules PV STP6-120 / 36:

STP6-120/36 (composé de 36 cellules en silicium polycristallin en série et fonctionnant à 55 ° C et 1000W / m²)

Tableau IV.9: Résultats des paramètres électriques d'un modèle à seule diode .

Méthode	I _{ph} (A)	I _s (μA)	R _s (Ω)	R _p (Ω)	n	RMSE
CS	7.46965	3.97624	0.00434	603.66628	1.30242	1.84034 e-2

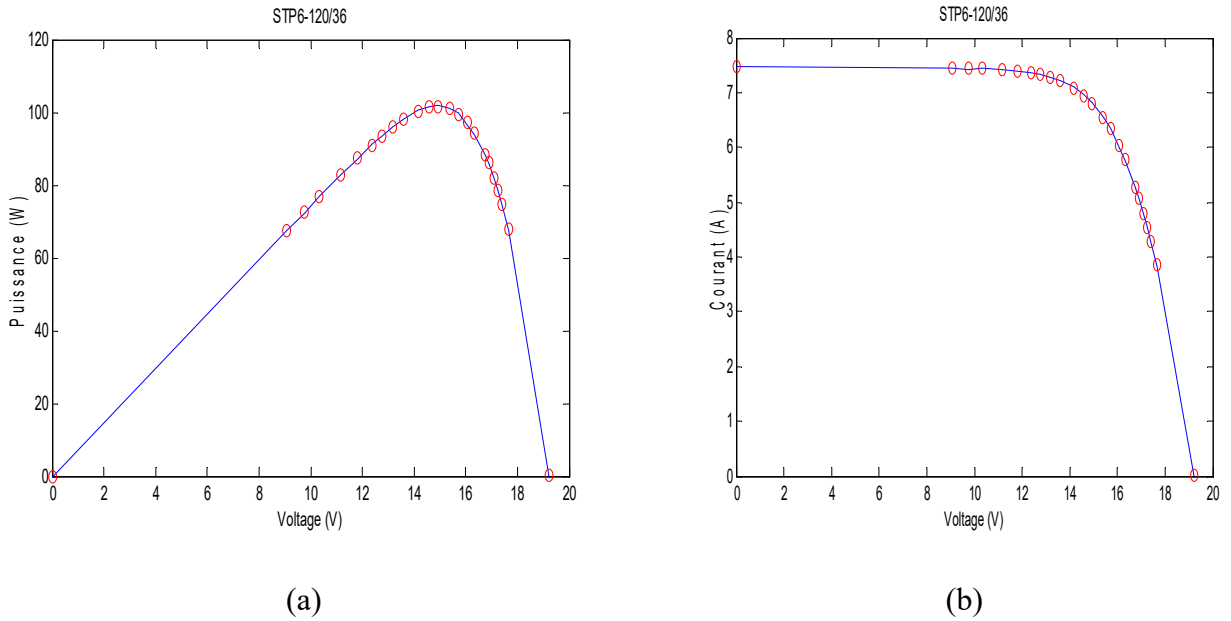


Figure IV.9: Comparaison des données mesurées et simulées obtenues pour l'unité STP6-120 /36: (a) caractéristique P-V, (b) caractéristique I-V.

Tableau IV.10: Résultats de simulation pour STP6-120 / 36

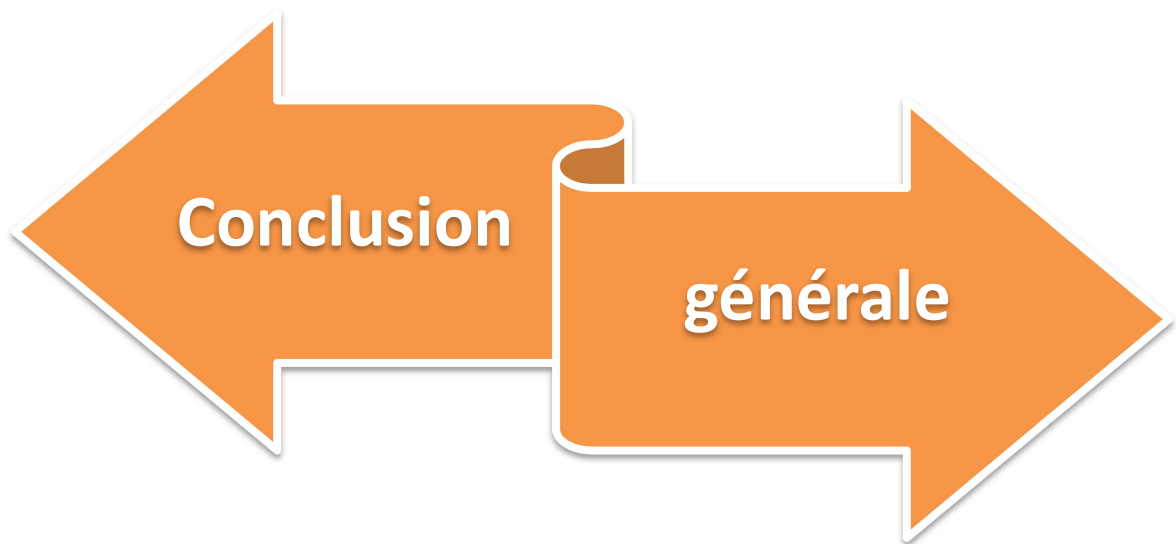
Item	V (V)	I _{measured} (A)	I _{simulated} (A)	I _{AEC} (A)	P _{measured} (W)	P _{simulated} (W)	I _{AEP} (W)
1	0	7.48	7.47098129	0.00901871	0	0	0
2	9.06	7.45	7.45253755	0.00253755	67.497	67.51999023	0.02299023
3	9.74	7.44	7.44671497	0.00671497	72.4656	72.53100378	0.06540378
4	10.32	7.42	7.43909223	0.01909223	76.5744	76.77143185	0.19703185
5	11.17	7.41	7.42026500	0.01026500	82.7697	82.88436008	0.11466008
6	11.81	7.38	7.39587315	0.01587315	87.1578	87.34526186	0.18746186
7	12.36	7.37	7.36326479	0.00673521	91.0932	91.00995282	0.08324718
8	12.74	7.34	7.33148307	0.00851693	93.5116	93.40309430	0.10850570
9	13.16	7.29	7.28412985	0.00587015	95.9364	95.85914884	0.07725116
10	13.59	7.23	7.21776060	0.01223940	98.2557	98.08936657	0.16633343
11	14.17	7.1	7.08813731	0.01186269	100.607	100.43890575	0.16809425
12	14.58	6.97	6.95844905	0.01155095	101.6226	101.45418714	0.16841286
13	14.93	6.83	6.81486011	0.01513989	101.9719	101.74586142	0.22603858
14	15.39	6.58	6.56792937	0.01207063	101.2662	101.08043298	0.18576702
15	15.71	6.36	6.34872743	0.01127257	99.9156	99.73850787	0.17709213
16	16.08	6	6.03749239	0.03749239	96.48	97.08287761	0.60287761
17	16.34	5.75	5.77681380	0.02681380	93.955	94.39313755	0.43813755
18	16.76	5.27	5.27376516	0.00376516	88.3252	88.38830404	0.06310404
19	16.9	5.07	5.08193389	0.01193389	85.683	85.88468272	0.20168272
20	17.1	4.79	4.78583302	0.00416698	81.909	81.83774459	0.07125541
21	17.25	4.56	4.54628941	0.01371059	78.66	78.42349232	0.23650768
22	17.41	4.29	4.27392907	0.01607093	74.6889	74.40910509	0.27979491
23	17.65	3.83	3.83228232	0.00228232	67.5995	67.63978290	0.04028290
24	19.21	0	0.00116434	0.00116434	0	0.02236700	0.02236700
Σ	-	-	-	0.27616043	-	-	3.90429992

Le nombre en gras signifie le meilleur résultat obtenu à partir de l'algorithme. Le numéro souligné indique la pire valeur parmi les résultats.

IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons démontré la possibilité d'appliquer l'algorithme de recherche de coucou (CS) et hybridation algorithme de recherche de coucou avec biogéographie (BHCS) pour étudier le comportement de cellules photovoltaïques simples, doubles et triples. Pour les appareils photoélectriques. L'objectif de ce chapitre est de dériver les paramètres électriques des différents modules PV qui ont été achevés en un temps relativement court.

La politique utilisée sur la propriété expérimentale est appliquée pour tester sa validité. En comparant les résultats expérimentaux avec les résultats obtenus par CS et BHCS, nous constatons que les résultats obtenus sont satisfaisants.



Conclusion

générale

Conclusion générale

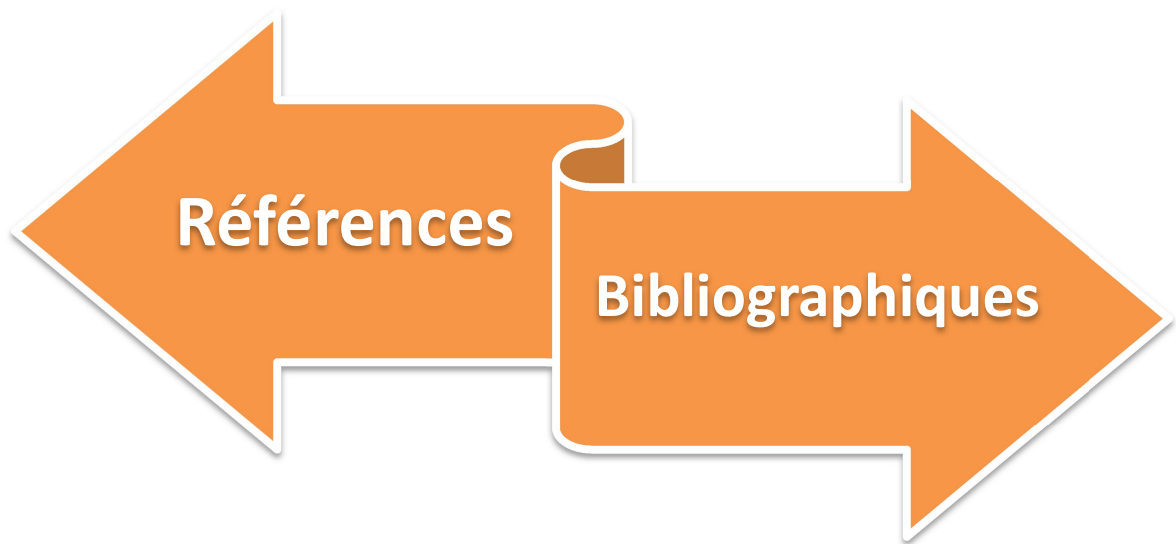
L'énergie solaire est donc transformée en électricité grâce à l'effet photovoltaïque, En effet le silicium contenu dans les semi – conducteurs, nous permet d'utiliser la lumière comme source d'électricité à travers les cellules photovoltaïques. Les panneaux solaires, constitué d'un grand nombre de ces cellules, permet d'utiliser l'effet photovoltaïque dans la vie courante.

L'étude de la caractéristique $I(V)$ d'un module photovoltaïque s'avère très important pour la description de ces performances. En effet, l'estimation des paramètres électriques d'un module photovoltaïque à partir de sa caractéristique $I(V)$ sous éclairnement est un problème non linéaire. La résolution de ce problème par les techniques de programmation traditionnelles, conduit à des résultats moins satisfaisants dépendant des conditions initiaux et menant parfois à des minimums locaux.

Le but de cette thèse est d'extraire différentes variables électriques Modules PV utilisant un algorithme de recherche de coucou (CS) et hybridation algorithme de recherche de coucou avec biogéographie (BHCS). Modèle analytique en déduisant d'un circuit équivalent, on en trouve plusieurs dans la liter autre les modèles sont spéciaux: le modèle a une diode et deux diodes et trois diodes. Caractéristiques la tension actuelle ($I-V$) de ces unités était basée sur un modèle à une diode et deux diodes et trois diodes.

L'algorithme de recherche de coucou (CS) et hybridation algorithme de recherche de coucou avec biogéographie (BHCS) est programmé dans l'environnement MATLAB il a été appliqué à des ouvrages déjà publiés afin de vérifier leur efficacité. L'algorithme est développé il a convergé vers le minimum global après un temps très court et plusieurs générations pas grand. Les résultats obtenus nous semblent très satisfaisants.

La technique basée sur l'approche de l'algorithme de recherche de coucou (CS) et hybridation algorithme de recherche de coucou avec biogéographie (BHCS) est extrêmement importante prometteur dans la détermination des paramètres électriques du module PV dans Une mesure empirique de leurs propriétés est $I(V)$.



Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1]: BENSACI WAFI. Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT. Mémoire de master. Université de Ouargla, Algérie, 2012.
- [2]:J. M. Roman, "State-of-the-art of III-V solar cell fabrication technologies, device designs and applications", Advanced Photo voltaic Cell Design, 2004.
- [3]:D. Narimene : « Etude et optimisation en environnement Matlab/Simulink d'un système de pompage photovoltaïque », Mémoire de Magister, Université des Frères Mentouri Constantine, 2014
- [4]:Olivier Delbard « dictionnaire de l'environnement et du développement durable » univers poche, 2011
- [5]:N.Sadaoui, "Modélisation et extraction automatique des paramètres d'un générateur photovoltaïque", mémoire de Magister , département d'Electrotechnique, Université Ferhat Abbes-Sétif 2010
- [6]:N, Belel. 'Contribution à la réalisation et simulation d'un capteur plan à eau type collecteur', thèse de magistère, Université de Constantine 2016
- [7]: M, Capderou. 'Atlas solaire de l'Algérie', O.P.U, Alger 1985.
- [8]:Mostfaoui Aiha, Mémoire de Fin d'Étude En vue de l'obtention du diplôme de MASTER ACADEMIQUE" Identification des paramètres électriques d'un panneau photovoltaïques en utilisant les algorithmes génétiques.." Centre Universitaire d'El-oued promotion 2018.
- [9]:A. Bousskine, N. Guermouche, 'Contribution à l'étude des systèmes de pompage photovoltaïque ', Mémoire d'ingénieur, Université de Bejaia, 2010.
- [10]: A. Medjhed, 'Extraction des paramètres d'une cellule photovoltaïque en utilisant le modèle à deux exponentielles', Mémoire de magistère énergétique et mécanique des fluides, Université de Sétif 1, 2011.
- [11]: DJELLAL Leila Imemne et DIB Yasmina, «Etude comparative de deux commandes MPPT appliquées à un Système Photovoltaïque», Mémoire de Master en Génie Electrique et Electronique, Option : Réseaux Electriques et Réseaux Electriques Intelligents, Université ABOU BEKR BELKAID, Tlemcen, Année universitaire : 2016 – 2017
- [12]: R. Casas, C. Aguilar, J. Rodrigo, P. Almonacid F. and Pérez-Higueras P ; « Energy conversion and management », Energy Conversion and Management 78 N° 527–536, 2013.

- [13]: K. HELALI, Modélisation d'une cellule photovoltaïque : étude comparative, magistère, Université de TIZI-OUZOU, 2012
- [14]: KAMELIA, H. (2012). Modélisation d'une cellule photovoltaïque: étude comparative. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou
- [15]: Townsend, T.U. (1989). Simplified Performance Modeling of a Direct-Coupled Photovoltaic Systems. University of Wisconsin-Madison
- [16]: J. W. Bishop, "computer simulation of the effects of electrical mismatches in photovoltaic cell interconnection circuits", Solar Cells, vol.25, pp 7389, 1988
- [17]: Oliva D, Aziz MAE, Hassanien AE. Parameter estimation of photovoltaic cells using an improved chaotic whale optimization algorithm. *Apple Energy* 2017;200:141–54.
- [18]: A. Boden : « Analyse optimisée du système de pompage photovoltaïque », Mémoire de Magister, Université des Frères Mentouri-Constantine, 2009
- [19]: Z.M. Salameh and C. Liang, « Optimum Switching Points for Array Reconfiguration Controller », IEEE Conference on Photovoltaic Specialists, pp.971-976. 21-25 May 1990
- [20]: A. Ricaud, « Photopiles solaire : de la physique de conversion photovoltaïque aux filières, matériaux et procédés », presses polytechniques et universitaires romandes 1997.
- [21]: O. Aomari, A. Malaoui, et al. "Implementation of a new analytical technique to determine the electrical parameters of junction models". *Global Journal of Physical Chemistry*, pp 68-72, 2011.
- [22]: Abdessamad Malaoui, Abdelmajid Elmansouri. « Deux nouvelles méthodes complémentaires pour l'extraction optimale des paramètres électriques des jonctions ». *Revue Energies Renouvelables CDER*, Vol. 13, N°2, 2010.
- [23]: Aloui Mourad " Application de la méthode des Essaims de particules au Dispatching économique ", Mémoire de Fin d'Etude En vue de l'obtention du diplôme de MASTER académique, 2013 Université Mohamed Khider Biskra.
- [24] Boussaid, Ilhem. "Perfectionnement de métaheuristiques pour l'optimisation continue". Rapport de thèse de doctorat. Université Paris-Est, 2013.
- [25]: Alaoui, Abdiya. "Application des techniques des métaheuristiques pour l'optimisation de la tâche de la classification de la fouille de données." Rapport de magistère. USTO, 2012.
- [26]: KHAMELI Hayet. KALLAL Hanifa, mémoire de fin d'études Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique" Segmentation d'images satellitaire par Cuckoo Search modifié" Centre université abdelhamid ibn badis mostaganem 2011- 2012

- [27]:Aziz OUAARAB « Résolution de Problèmes d’Optimisation Combinatoire par des Métaheuristiques Inspirées de la Nature : Recherche du Coucou via les Vols de Lévy » - 2015
- [28]:Amira Gherboudj « Méthodes de résolution de problèmes difficiles académiques » 2012-2013
- [29] : Philippe FEYEL « Optimisation des correcteurs par les métaheuristiques – Application à la stabilisation inertielle de ligne de visée »
- [30] : Nature-Inspired Metaheuristic Algorithmes seconde edition, Xin-She Yang
- [31] :Received 30 October 2018; Received in revised form 22 December 2018; Accepted 7 January 2019 . Solar Energy 180 (2019) 192–206 0038-092X/ © 2019 Elsevier Ltd. All rights reserved
- [32]: Ding, X., Xu, Z., Cheung, N.J., Liu, X., 2015. Parameter estimation of Takagi–Sugeno fuzzy system using heterogeneous cuckoo search algorithm. *Neurocomputing* 151, 1332–1342.
- [33]: Cheung, N.J., Ding, X.-M., Shen, H.-B., 2017. A nonhomogeneous cuckoo search algorithm based on quantum mechanism for real parameter optimization. *IEEE Trans. Cybern.* 47, 391–402.
- [34]: A.Salma et B. Wahida , Mémoire de Fin d’Étude En vue de l’obtention du diplôme de MASTER ACADEMIQUE "Extraction des paramètres électriques des modules photovoltaïques basée sur les algorithmes génétiques." Centre Universitaire d’El-oued promotion 2018.
- [35]: Received 13 December 2018; Accepted 20 February 2019 ,Energy Conversion and Management 186 (2019) 293–305 0196-8904/ © 2019 Elsevier Ltd. All rights reserved
- [36]: Yu K, Liang J, Qu B, Chen X, Wang H. Parameters identification of photovoltaic models using an improved jaya optimization algorithm. *Energy Convers Manage* 2017;150:742–53.
- [37]: Rao RV, Savsani VJ, Vakharia DP. Teaching–learning-based optimization: an optimization method for continuous non-linear large scale problems. *Inf Sci* 2012;183(1):1–15.
- [38]: Chen X, Yu K, Du W, Zhao W, Liu G. Parameters identification of solar cell models using generalized oppositional teaching learning based optimization. *Energy* 2016;99:170–80.
- [39]: for determining the solar cell parameters with microcomputers,” *Int. J. Sol. Energy*, vol. 4, no. 1, pp. 1–12, Jan. 1986.