



République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique**



**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
Faculté des Sciences et de la Technologie**

**Mémoire de Fin d'Étude
En vue de l'obtention du diplôme de**

MASTER ACADEMIQUE

**Domaine : Technologie
Filière : Télécommunications
Spécialité : Systèmes de télécommunications**

Thème

**Extraction des paramètres électriques des
modules photovoltaïques basée sur les
algorithmes génétiques.**

Par : AGGAB Salma et BEN AMARA Wahida

Devant les jurys:

Nacereddine Lakhdar	MCA	Encadreur
Medjouri Abdelkader	MCA	Président
Boulila Mohamed	MAA	Examineur

Soutenu en Mai 2018



Remerciements

Nous rendons nos profondes gratitude à dieu qui nous a aidé à réaliser ce modeste travail.

*A la suite Nous tenons à remercier vivement Prof **Lakhdar Nacer eddine**, promotrice qui a proposé et dirigé ce travail.*

*Nous tenons également à remercier messieur **Labi yacine**, et les membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail.*

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, participé à l'élaboration de ce modeste mémoire.



Dédicaces

Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de M' avoir donné le courage et la patience pour réaliser Ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, que dieu les garde et les Protège pour leurs soutien moral et financier, pour Leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A mes frères: Bachire, Aoun, Lamine

A ma soeur: Mabrouka

A tout ma famille, Aux chers amis (es)

A tous ce que j'aime et qui m'aiment, A tous mes collègues d'études

Salma

Dédicaces

Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de M' avoir donné le courage et la patience pour réaliser Ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, que dieu les garde et les Protège pour leurs soutien moral et financier, pour Leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A mes frères: Mida, Akram, Aissa

A ma soeur: Meriem

A tout ma famille, Aux chers amis (es)

A tous ce que j'aime et qui m'aiment, A tous mes collègues d'études

Wahida

Liste des Figures

Liste des figures:

Chapitre I

Figure I.1: Spectre d'émission solaire.....	6
Figure I.2 : Cellule photovoltaïque.....	7
Figure I.3: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	8
Figure I.4: Cellule monocristallin	8
Figure I.5: Cellule Polycristallin	9
Figure I.6: Cellule Amorphe.....	9
Figure I.7 : Cellule multi jonction	10
Figure I.8: Générateur photovoltaïque.....	10
Figure I.9: Association des cellules.....	11
Figure I.10: Association en série.....	11
Figure I.11: Association en parallèle.....	12
Figure I.12: Caractéristique et schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle.....	12
Figure I.13: Différentes zones de la caractéristique I(V)	13
Figure I.14: Caractéristique courant-tension et paramètres physiques d'une cellule photovoltaïque	14
Figure I.15: Caractéristique $I=f(V)$ en fonction de l'éclairement	17
Figure I.16: Caractéristique $P=f(V)$ en fonction de l'éclairement	17
Figure I.17 : Caractéristique $I=f(V)$ en fonction de la température	18
Figure I.18 : Caractéristique $P=f(V)$ en fonction de la température	19

Chapitre II

Figure II.1: Schéma général d'un algorithme génétique.....	24
Figure II.2 : Organisation d'un algorithme génétique.....	25
Figure II.3: Illustration schématique du codage des variables réelles.....	26
Figure II.4: Représentation schématique du fonctionnement de notre algorithme	28
Figure II.5 : La roulette.....	28
Figure II.6 : Le tournoi.....	29
Figure II.7 : Croisement en codage binaire	29
Figure II.8 : Représentation schématique du croisement en 1 point	30
Figure II.9 : Représentation schématique du croisement en 2 points	30
Figure II.10 : Mutation en codage binaire	30
Figure II.11: Représentation schématique d'une mutation dans un chromosome.....	31

Chapitre III

Figure III.1 : Montage électrique pour relever la caractéristique I(V).....	34
Figure III.2 : Organigramme de l'approche évolutionnaire proposée pour la détermination des paramètres électriques du module photovoltaïque	35
Figure III.3: Courbes expérimentales et simulées de la caractéristique I-V des deux modules photovoltaïques	42

Liste des tableaux

Liste des tableaux:

Tableau III.1 : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque de type Pannaux Monocristalline STP275S	33
Tableau III.2 : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque de type Pannaux Thin-Film CHSM 5011T	33
Tableau III.3: Paramètres de GA utilisés dans cette application.....	38
Tableau III.4 : les paramètres extraits pour chaque valeur de l'éclairement des deux panneaux photovoltaïques.	39

Liste des Symboles

Liste des Symboles

h_v : Energie de la bande de valence.

E_g : Energie de la bande interdite.

I_{ph} : Courant photogénéré ou photocourant.

I_{pv} : Courant délivré par le panneau.

I_{sh} : Courant traversant la résistance shunt

V_{pv} : Tension délivré par le panneau

V : Tension.

V_{co} : Tension de circuit ouvert.

I_{cc} : Courant de court-circuit.

I_{obsc} : Courant d'obscurité.

I_s : Courant de saturation de la diode.

I_D : Courant dans la diode.

I_0 : Courant de saturation inverse de la diode.

V_T : Potentiel thermique.

K : Constante de Boltzmann.

n : Facteur d'idéalité de la jonction.

T : Température.

R_s : La résistance série.

R_{sh} : La résistance shunt.

T_c : La température absolue.

$\Lambda(\phi)$: Le flux lumineux incident.

q : La charge de l'électron.

E : L'énergie du photon.

h : La constante de planck.

c : La vitesse de la lumière.

λ : Longueur d'onde.

P : La puissance.

k_1, k_2, k_3, k_4 et m : Des constantes calculées indépendamment a partir des conditions standard météorologique (STC).

I_{mp} : Courant à la puissance maximale.

V_{mp} : Tension à la puissance maximale.

β_{co} : Représente un coefficient de température, d'incrimentation de la tension V_{co} quand la température de la surface augmente de un degré Celsius ($V/^{\circ}C$) (sous les conditions standard de fonctionnement).

α_{cc} : Représente un coefficient de température, d'incrimentation du courant I_{cc} quand la température de la surface augmente de un degré Celsius ($A/^{\circ}C$) (sous les conditions standard de fonctionnement).

$I_{cc,ref}$: Courant de court-circuit de référence.

C_1 et C_2 : Des constantes évaluées au début de l'itération.

AM : Nombre d'air-masse.

β : Angle de l'ensoleillement entre le rayonnement direct du soleil et la normale au plan du capteur.

f_1 : Fonction du nombre d'air-masse.

f_2 : Fonction de l'angle de l'ensoleillement β de rayonnement sur le capteur photovoltaïque.

$V_{co,ref}$: Tension de circuit ouvert de référence.

$V_{mp,ref}$: Tension de puissance maximale de référence

$\alpha_{cc,ref}$: Coefficient de dépendance en température du courant de court-circuit de référence.

β_{mp} : Coefficient de dépendance en température de la tension de

n : Paramètre d'ajustement, est égale au nombre des cellules en série.

Sommaire

Sommaire

LISTE DES FIGURES:	II
LISTE DES TABLEAUX:.....	IV
LISTE DES SYMBOLES	VI
SOMMAIRE	IX
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE	
I.1 INTRODUCTION	5
I.2 ENERGIE SOLAIRE	5
I.3 EFFET PHOTOVOLTAÏQUE	6
<i>I.3.1 Cellule photovoltaïque</i>	<i>7</i>
I.3.1.1 Principe du fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	7
<i>I.3.2 Différentes technologies de la cellule photovoltaïque</i>	<i>8</i>
I.3.2.1 Silicium monocristallin	8
I.3.2.2 Silicium polycristallin	9
I.3.2.3 Silicium Amorphe	9
I.3.2.4 Cellule multi-jonction	10
I.4 GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE	10
<i>I.4.1 Association des cellules :</i>	<i>11</i>
I.4.1.1 Association en série.....	11
I.4.1.2 Association en parallèle	12
I.5 CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE ET SCHÉMA ÉQUIVALENT	12
<i>I.5.1 Zone de fonctionnement du module photovoltaïque</i>	<i>13</i>
<i>I.5.2 Paramètres photovoltaïque</i>	<i>14</i>
I.5.2.1 Courant de court-circuit (I_{cc}).....	15
I.5.2.2 Tension de circuit ouvert (V_{co})	15
I.5.2.3 Facteur de forme FF	16
I.5.2.4 Le rendement η	16
<i>I.5.3 Influence de l'éclairement.....</i>	<i>16</i>
<i>I.5.4 Influence de la température</i>	<i>18</i>
I.6 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE	19
<i>I.6.1 Avantages</i>	<i>19</i>

<i>I.6.2 Inconvénients</i>	19
I.7 CONCLUSION	20

CHAPITRE II : LES ALGORITHMES GÉNÉTIQUES

II.1 INTRODUCTION :	22
II.2 ALGORITHME GÉNÉTIQUE.....	22
<i>II.2.1 Principe d'un algorithme génétique</i>	23
<i>II.2.2 Les grandes Etapes d'un Algorithme génétique</i>	24
II.2.2.1 Codage	25
<i>II.2.2.2 Génération de la population initiale</i>	27
<i>II.2.2.3 Evaluation</i>	27
<i>II.2.2.4 Sélection</i>	28
II.2.2.4.1 La roulette	28
II.2.2.4.2 Le tournoi.....	29
<i>II.2.2.5 Croisement</i>	29
II.2.2.5.1 Croisement en un point	30
II.2.2.5.2 Croisement en deux points.....	30
<i>II.2.2.6 Mutation</i>	30
II.3 CONCLUSION	31

CHAPITRE III : EXTRACTION DES PARAMÈTRES ÉLECTRIQUES

III.1 INTRODUCTION	33
III.2 RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX DE LA CARACTÉRISTIQUE I(V).....	33
III.3 IDENTIFICATION DES PARAMÈTRES ÉLECTRIQUES EN UTILISANT LES ALGORITHMES GÉNÉTIQUES.....	34
<i>III.3.1 Méthodologie de calcul.</i>	34
<i>III.3.2 Définition des paramètres électriques</i>	35
<i>III.3.3 Procédé d'évaluation (fonction de fitness)</i>	36
III.4 RÉSULTATS ET DISCUSSION	37
<i>III.4.1 Implémentation des paramètres de la technique (AG)</i>	37
<i>III.4.2 Extraction des paramètres électriques:</i>	38
III.5 CONCLUSION.....	42
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	43
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	45

Introduction Générale

Introduction générale

Le contrôle et la gestion de l'énergie est désormais une question d'actualité majeure face aux problèmes liés à l'épuisement des réserves d'énergie fossile, notamment sous ces formes liquides ou gazeuses. De plus, les risques en matières environnementales liés aux rejets de CO₂ dans l'atmosphère engendrant le phénomène de l'effet de serre [1], ainsi que ceux provenant de l'élimination des déchets nucléaires suscitent actuellement un vif intérêt pour les énergies renouvelables sous leurs multiples formes. L'intension majeure de la politique énergétique et les efforts des recherches conduisent vers l'augmentation du rendement des systèmes énergétiques renouvelables disponibles et à la conception des technologies rentables. L'énergie solaire est une des sources renouvelables les plus prometteuses, et qui est actuellement utilisée dans le monde entier pour répondre à la demande croissante sur l'énergie électrique.

L'énergie photovoltaïque, reposant sur la transformation directe des rayons lumineux provenant du soleil en électricité, est la plus jeune des énergies renouvelables et elle possède un potentiel important. La production de l'énergie photovoltaïque a subi un taux de croissance soutenable, et a connu un intérêt maximum pendant les trois crises pétrolières, quand le besoin à des énergies de types alternatifs semble dominant. Elle a marqué une augmentation moyenne annuelle de 60% entre 2004 et 2009 [2].

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 photogénéré (I_{ph}), le courant de saturation (I_0), 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 s'articule sur trois 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 .

Introduction générale

Dans Le deuxième chapitre nous exposons les algorithmes génétiques AGs, présentons ensuite le principe de fonctionnement des AGs et leurs caractéristiques principales, puis nous décrivons les différents opérateurs génétiques .

Dans le troisième chapitre, nous présentons le modèle analytique d'une cellule photovoltaïque basé sur une seule diode. De plus, une approche basée sur les algorithmes génétiques sera développée afin d'extraire les paramètres électriques des différents modules photovoltaïques.

CHAPITRE I

Généralités sur L'énergie

Photovoltaïque

I.1 Introduction

Le soleil est une source d'énergie renouvelable considéré comme inépuisable à l'échelle de l'homme, il fournit une énergie importante varie d'une région à une autre de la terre. La puissance émise par le soleil sous forme du rayonnement qui subit de considérables modifications arrivant à la terre, à cause des phénomènes d'absorption et de diffusion.

L'objectif de ce chapitre est basé sur l'énergie solaire et son application dans le domaine photovoltaïque. Nous décrivons ensuite l'effet photovoltaïque sur le rayonnement solaire, le principe de fonctionnement et la caractéristique électrique de la cellule photovoltaïque.

I.2 Energie solaire

Le soleil est constitué principalement de gaz, la production de quantité d'énergie se fait par la fusion du rayonnement solaire. La fusion des atomes d'hydrogène en atomes d'hélium permet d'atteindre une grande température qui peut arriver jusqu'à 20 million de degré Kelvin.

Cette énergie se traduit par l'émission d'un rayonnement composé de longueurs d'ondes comprises entre 0.2 μm et 3 μm [2]. Ce rayonnement solaire est une ressource énergétique renouvelable ; une partie de ce rayonnement peut être exploitée pour la production de la chaleur (solaire thermique) ou de l'électricité : c'est l'énergie solaire photovoltaïque

Le spectre solaire de la surface de la terre n'est plus le même dans l'espace, car il est pondéré par l'absorption des molécules présentes dans l'atmosphère (O_3 , CO_2 , H_2O ,...).

La présence des particules et les conditions climatiques influencent également la valeur réelle du spectre.

Les performances des cellules solaire peut comparer avec qualifier les différents spectres solaire utilisés, la création de la notion d'air Masse (AM), ou << masse atmosphérique >>. La notion d'air masse quantifie la quantité d'énergie absorbée par l'atmosphère en fonction de l'angle Θ du soleil par rapport au zénith. Sa valeur dépend principalement de la pression, de l'altitude et de l'angle d'incidence des rayons lumineux. Le nombre du masse est défini par :

$$AM = \frac{1}{\cos \vartheta} \quad (I.1)$$

L'angle Θ représente l'angle d'élévation du soleil sur l'horizon (90 degré au zénith).

L'intégration de l'irradiante sur la totalité du spectre permet d'obtenir la puissance P (en $W.m^{-2}$) fournie par le rayonnement. Pour simplifier, on utilise les notations suivantes:

- **AM0** : Hors atmosphère (application spatiales). $P \approx 1.36 \text{ kW} \cdot m^{-2}$.
- **AM1** : Le soleil est au zénith du lieu d'observation (l'équateur).
- **AM1.5G** : Spectre standard, le soleil est à 45° . $P \approx 1 \text{ kW} \cdot m^{-2}$

Au sol, le rayonnement solaire a au moins deux composantes : une composante directe et une composante diffuse (rayonnement incident diffusé ou réfléchi par un obstacle : nuages, sol) formant le rayonnement global. La figure (I.1) montre le spectre d'émission solaire [2].

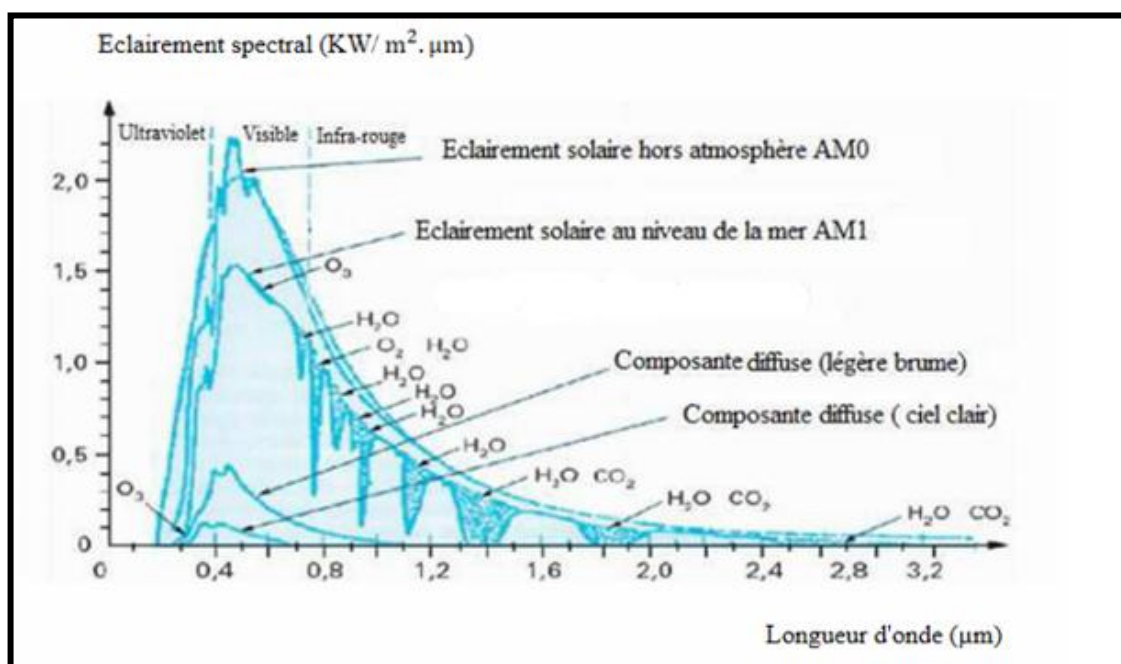


Figure I.1: Spectre d'émission solaire [2].

I.3 Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est un processus de conversion de la lumière en électricité. Il a été présenté pour la première fois à l'académie des sciences en 1839 par le physicien français Antoine Becquerel et son fils Edmond qui ont noté qu'une chaîne d'élément conducteur d'électricité donner une naissance à une tension électrique spontanée quand elle été éclairée, cette découverte sera notamment reprise et expliquer par Albert Einstein en 1912.

Il a mise en application pratique à partir de 1950 dans la réalisation d'une cellule photovoltaïque en silicium d'un rendement très faible 4.5% [3] [4].

I.3.1 Cellule photovoltaïque

Le plus petit élément d'une installation photovoltaïque est la cellule PV (photopile). Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Les cellules photovoltaïques constituées [2] :

- Une couche très fine semi-conductrice telle que le silicium, qui est un matériau
- qui présente une bonne conductivité électrique.
- Une couche antireflet qui permet de passer un maximum des rayons solaires.
- Une grille conductrice sur le dessus (cathode) et en dessous (anode) un métal conducteur.

Il y'a une nouvelle combinaison de multicouches réfléchissants justes en dessous du semi-conducteur qui permet à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement, La figure (I.2) montre une cellule photovoltaïque [5].

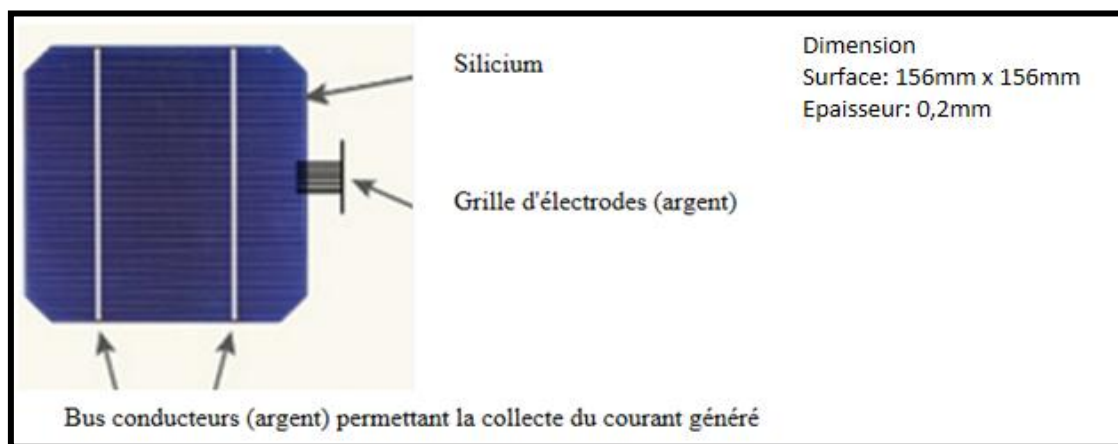


Figure I .2 : Cellule photovoltaïque [5].

I.3.1.1 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 [6]:

- 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.3) décrit le Principe du fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [5] :

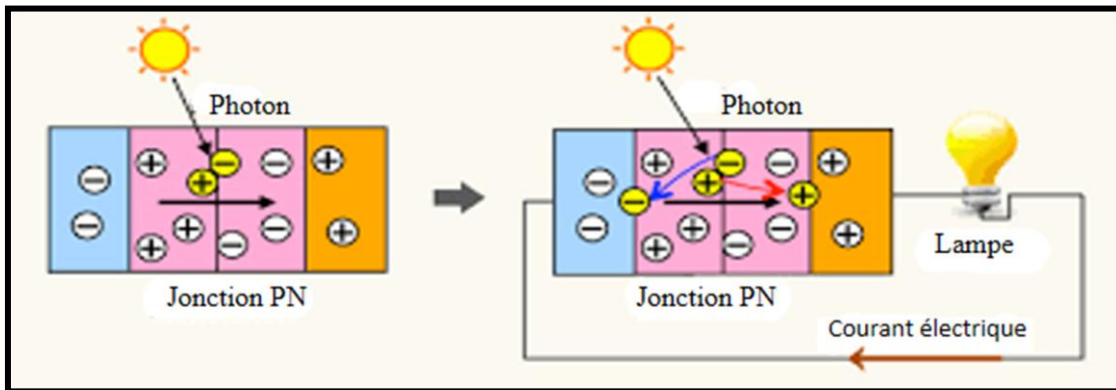


Figure I.3: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [5].

I.3.2 Différentes technologies de la cellule photovoltaïque

Le silicium est un corps semi-conducteur représente l'essentiel de la production mondiale des panneaux photovoltaïques. C'est un matériau extrêmement abondant, non toxique et stable, il y'a plusieurs technologies distinctes de part la nature du silicium employé et sa méthode de fabrication.

I.3.2.1 Silicium monocristallin

Le silicium monocristallin à un rendement très élevé, il est compris entre 12 et 20% [7] pour les cellules industrielles, son coût élevé est aujourd'hui un handicap et le silicium polycristallin est le gagnant sur le terrain devant le silicium monocristallin.

La figure (I.4) montre une cellule de silicium monocristallin [5]:

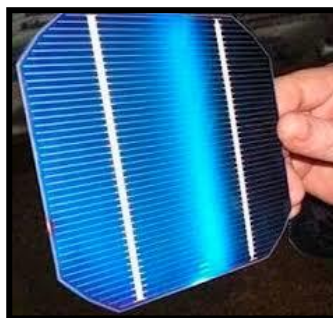


Figure I.4: Cellule monocristallin [5].

I.3.2.2 Silicium polycristallin

Son rendement est légèrement inférieur à celui du silicium monocristallin, il est compris entre 10 et 14% [7] selon la fabricants. Il a une fabrication très simple, donc les coûts de production est plus faibles. La figure (I.5) montre une cellule de silicium polycristallin[5].

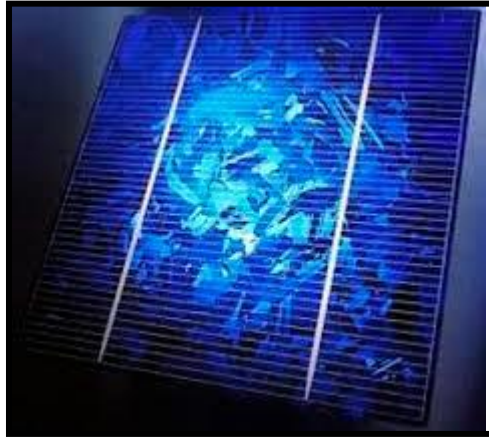


Figure I.5: Cellule Polycristallin [5].

I.3.2.3 Silicium Amorphe

Elle a une structure atomique désordonnée, non cristallisée, un rendement qui ne dépasse pas les 6% [7]. Il peut fonctionner à la présence d'un faible éclaircissement et son coût de production est le plus bas. La figure (I.6) montre une cellule en silicium amorphe[5] :

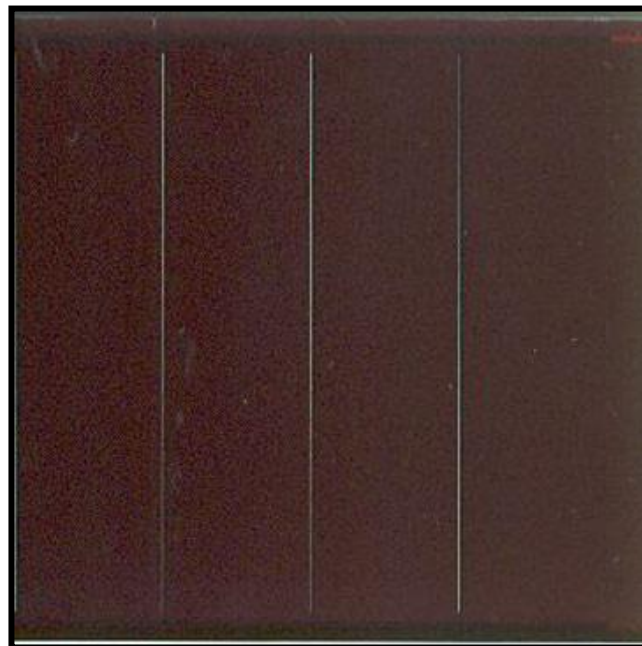


Figure I.6: Cellule Amorphe [5].

I.3.2.4 Cellule multi-jonction

Les cellules multi-jonction ayant une grande efficacité qui permet d'augmenter le rendement, ont été développées pour des applications spatiales, ils sont constitués de plusieurs couches minces de nature différente (utilisant des bandes d'énergie différente), si le photon n'a pas l'énergie suffisante, il passe à la couche suivante et ainsi de suite [6] [8]. La figure(I.7) montre une cellule multi-jonction [5]:

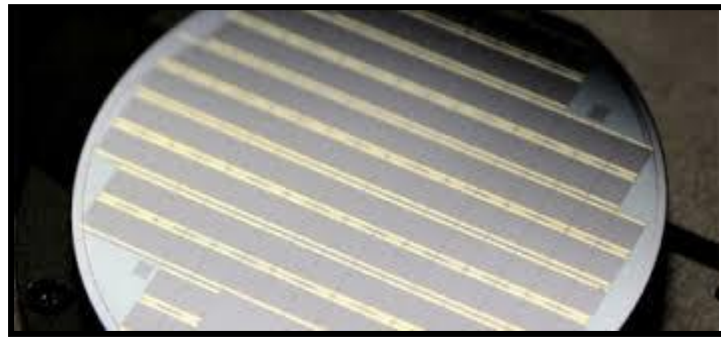


Figure I.7 : Cellule multi jonction [5].

I.4 Générateur photovoltaïque

Unité de base d'un système photovoltaïque est la cellule individuelle, elle ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W [2] avec une tension de moins d'un volt. Pour augmenter la puissance, les cellules doivent être assemblées pour former un module(ou panneau).

La tension augmente par la connexion en série de plusieurs cellules pour un même courant, ainsi que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. L'interconnexion de modules entre eux en série ou en parallèle pour obtenir une puissance plus grande, le générateur photovoltaïque est composé par un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

La figure (I.8) illustre un générateur photovoltaïque [5]:

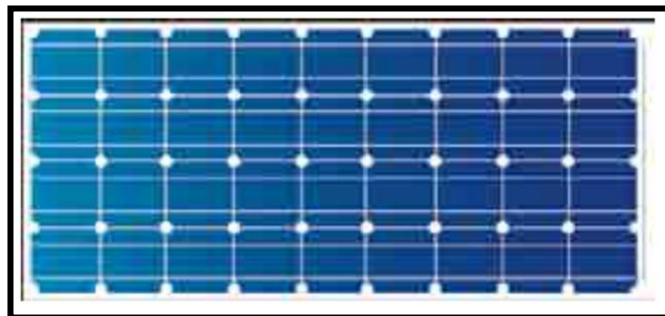


Figure I.8: Générateur photovoltaïque [5].

I.4.1 Association des cellules :

Dans la pratique les cellules solaires ne sont pas utilisées seules mais elles sont regroupées entre elle pour former un module photovoltaïque. Ainsi que le regroupement de ces modules pour former un panneau solaire.

Dans un module les cellules on toujours regroupés en série alors que dans un panneau les modules sont groupés en parallèle ou série parallèle [9].

La figure (I.9) montre une association des cellules [9]:



Figure I.9: Association des cellules [9].

I.4.1.1 Association en série

Dans une association en série, dans toute la branche les cellules produisent le même courant. Les cellules de caractéristique identique c'est les seuls qu'on doit les connecter en série. L'addition de toutes les tensions des cellules sera la tension du panneau. La caractéristique courant tension d'un groupement série sera établie par la courbe I(v) d'une cellule de base est représentée sur la figure ci-dessous [5] :

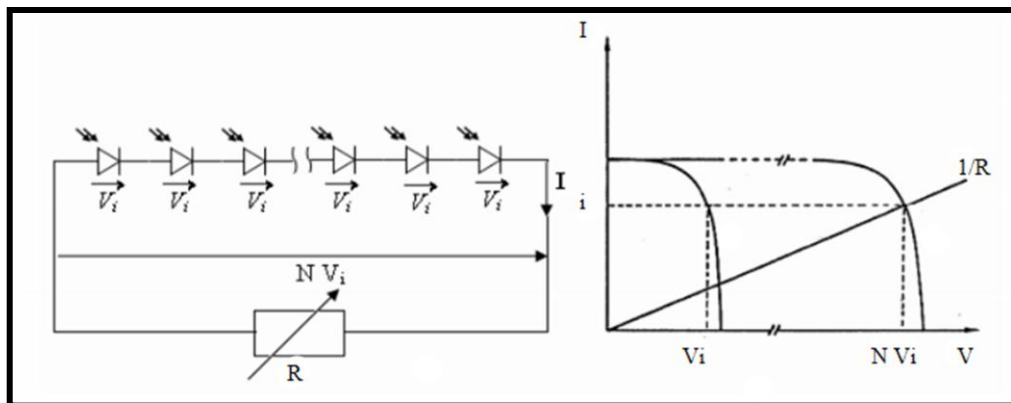


Figure I.10: Association en série [5].

$$V_{cotot} = \sum_{i=0}^N Vi = N \cdot V_{co} \tag{I.2}$$

Avec :

N : Nombre de cellules en série. , V_{co} : tension de circuit ouvert (V).

V : tension (V). , I : courant (A). , I_{cc} : courant de court-circuit (A).

I.4.1.2 Association en parallèle

Dans une association en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension, dans ce cas les courants s'ajoutent. On multiplie point par point pour chaque valeur de tension on obtient la caractéristique du module, voir la figure (I.11). Le courant de la cellule élémentaire par N_p .

Pour les résistances on additionne les inverses des résistances série et parallèle [5].

$$\begin{cases} V_{cctot} = V_{co} \\ I_{cctot} = \sum_{i=1}^{N_p} I_i = N_p \cdot I_{cc} \end{cases} \quad (I.3)$$

Avec :

N_p : nombre de branche en parallèle.

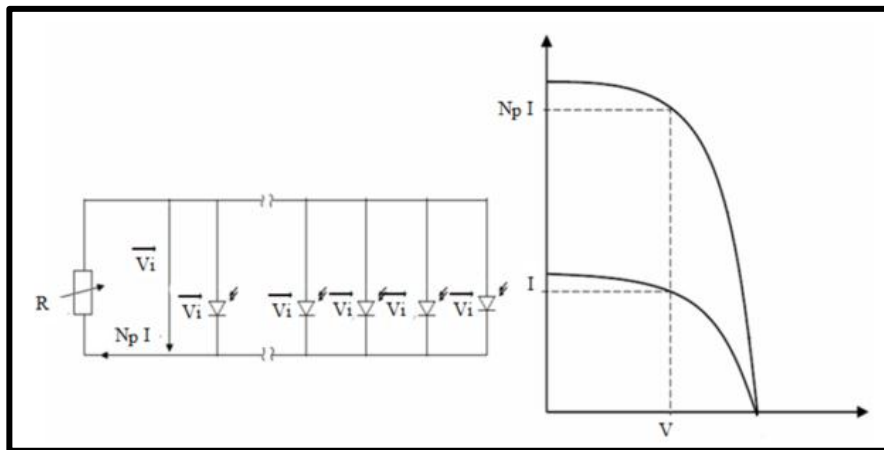


Figure I.11: Association en parallèle [5].

I.5 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque et schéma équivalent

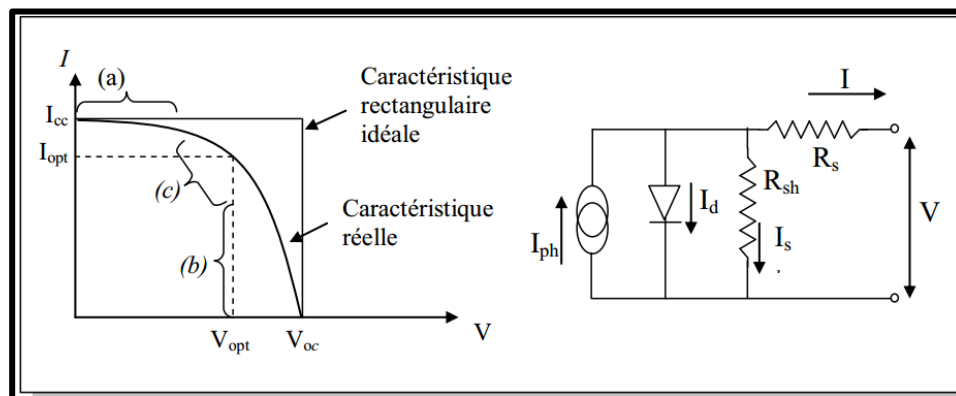


Figure I.12: Caractéristique et schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle [5].

La relation courant-tension de la cellule photovoltaïque est donnéé par:

$$I = I_{ph} - I_{sh} = I_{ph} - I_0 \left(e^{\left(\frac{V+R_s I}{V_t} \right)} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (I.4)$$

La tension thermique de la diode est donnée par :

$$V_t = \frac{AKT}{q} \quad (I.5)$$

Ou:

I_{ph} : est le photo-courant en (A)

I_0 :est le courant de saturation de la diode en (A)

A:est le facteur d'idéalité de la diode

K: est la constant de Boltzmann(en J/K).

q: la charge de electron. (en C)

T: et T est la temperature (en °K).

R_s : la résistance série (Ω).

R_{sh} : la résistance shunt (Ω).

I.5.1 Zone de fonctionnement du module photovoltaïque

Un panneau photovoltaïque a des caractéristiques électriques qui varient en fonction de l'éclairement, la température, et des conditions de fonctionnement lorsqu'il est connecté à une charge donnée. Le comportement du générateur soumis à diverses contraintes.

Donc ces notions sont nécessaires pour comprendre le comportement d'un générateur photovoltaïque et des optimisations de fonctionnement sera effectuer [10]. La figure (I.13) montre les différentes zones de la caractéristique I (V) :

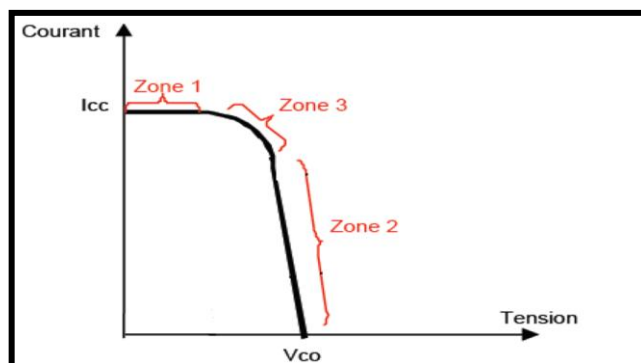


Figure I.13: Différentes zones de la caractéristique I(V) [10].

Un générateur photovoltaïque à une caractéristique qui est constitué de plusieurs cellules qui a une allure générale comme celle d'une cellule élémentaire, chaque cellule ne

doit pas avoir un déséquilibre entre les caractéristiques (irradiation et température uniformes).

La caractéristique $I(V)$ d'un générateur photovoltaïque peut décomposer en trois zones :

- Une zone proportionnée à un générateur de courant I_{cc} assimilable à l'irradiation, on peut modéliser l'admittance interne par $1/R_{sh}$ (zone 1).
- Une zone proportionnée à un générateur de tension V_{co} d'impédance interne équivalente à la résistance série R_s (zone 2).
- Une zone où il y'a une variation très fortement de l'impédance R_s à R_{sh} (zone 3).

R_s : la résistance série (Ω).

R_{sh} : la résistance shunt (Ω).

Le point de fonctionnement pour lequel la puissance fournie par le générateur situé à la zone 3 est maximal. On appelle ce point par le point de puissance optimale, caractérisé par le couple (I_{max}, V_{max}) , il y'a une seule charge dont la caractéristique passe par ce point qui permet d'extraire la puissance maximale disponible dans les conditions considérées [10].

I.5.2 Paramètres photovoltaïque

Une cellule solaire est caractérisée par un ensemble de paramètres appelé paramètres photovoltaïques, on les obtient de la caractéristique $I(V)$.

Une caractéristique courant-tension $I(V)$ dans le noir et sous illumination typique d'une cellule photovoltaïque à jonction PN est représentée sur la figure (I.14). Un bon nombre de paramètres physiques caractéristiques du composant est obtenu par le tracé de cette courbe. Le courant de court-circuit (I_{cc}), la tension à circuit ouvert (V_{co}) et le facteur de forme (FF) du composant [10].

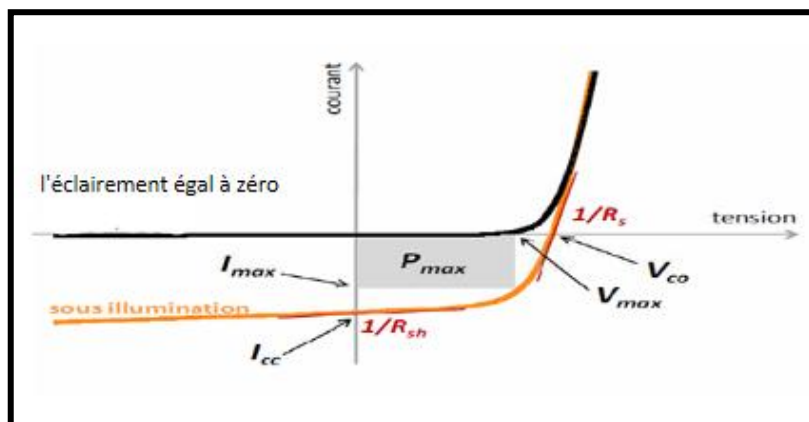


Figure I.14: Caractéristique courant-tension et paramètres physiques d'une cellule photovoltaïque [10].

I.5.2.1 Courant de court-circuit (I_{cc})

On obtient ce courant quand le potentiel appliqué à la cellule est nul. C'est le plus grand courant que la cellule peut fournir. Ce courant est en fonction de la température, la longueur d'onde du rayonnement, la surface active de la cellule et de la mobilité des porteurs.

Ce courant est linéairement dépendant de l'intensité lumineuse reçue.

I.5.2.2 Tension de circuit ouvert (V_{co})

On obtient cette tension aux bornes de la cellule quand elle n'est pas connectée à une charge ou à une charge de résistance infinie. Elle dépend essentiellement du type de cellule solaire, des matériaux de la couche active et de la nature des contacts de la couche activé électrode. L'éclairement de la cellule est le plus important pour effectuer cette opération

D'après équation (I.5) :

$$V_{co} = \frac{K \cdot T_j}{q} \ln \left(\frac{I_{cc}}{I_s} + 1 \right) \quad (I.6)$$

Avec :

$K \cdot T_j / q$: Représentant la potentielle thermodynamique.

T_j : température de jonction.

Suivant le degré d'éclairement deux régimes peuvent être observés.

✓ Régime des faibles flux lumineux : dans ce cas, $I_{cc} \ll I_s$, alors on peut d'écrire :

$$\ln \left(\frac{I_{cc}}{I_s} + 1 \right) = \frac{I_{cc}}{I_s} \quad (I.7)$$

D'où :

$$V_{co} \approx \frac{K \cdot T_j}{q} \cdot \left(\frac{I_{cc}}{I_s} \right) \quad (I.8)$$

C'est la zone de comportement linéaire de la cellule. La formule précédente peut s'écrire aussi $V_{co} = R_0 \cdot I_{cc}$

En posant $R_0 = K \cdot T_j / q \cdot I_s$

R_0 est la résistance interne de la diode en polarisation externe nulle (circuit ouvert) et sous faible flux lumineux.

✓ Régime des flux lumineux suffisamment intenses pour que $I_{cc} \gg I_s$, soit :

$$\frac{I_{cc}}{I_s} \gg 1 \quad (I.9)$$

D'où :

$$V_{co} = \frac{KT}{q} \ln \left(\frac{I_{cc}}{I_s} \right) \quad (I.10)$$

I.5.2.3 Facteur de forme FF

C'est un paramètre important, son utilisation c'est à partir de la caractéristique I(V) pour qualifier la qualité d'une cellule ou d'un générateur photovoltaïque, et représente aussi le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée P_{max} et la puissance formée par le rectangle $I_{cc} \cdot V_{co}$. Quand la puissance exploitable sera grande donc le facteur est grand. L'objet qui fait compromis technologie pour atteindre le plus possible les caractéristiques idéales c'est des meilleures cellules. Ce facteur est défini par la relation suivante :

$$FF = P_{max} / I_{cc} \cdot V_{co} = V_{mp} \cdot I_{mp} / I_{cc} \cdot V_{co} \quad (I.11)$$

P_{max} : La puissance maximale (W).

I_{mp} : Le courant à la puissance maximal de fonctionnement de la cellule photovoltaïque (A)

V_{mp} : La tension à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule photovoltaïque (V)

I.5.2.4 Le rendement η

Le rendement des cellules photovoltaïques désigne le rendement de conversion en puissance, on le considère comme le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente P_i .

$$\eta = P_{max} / P_i \cdot S = FF \cdot I_{cc} \cdot V_{co} / P_i \cdot S \quad (I.12)$$

P_i : La puissance d'éclairement reçue par unité de surface (W).

S : la surface de la cellule photovoltaïque (m^2).

Pour un bon rendement, on augmente le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension à circuit ouvert. La seule connaissance de la valeur qui permet d'évaluer les performances de la cellule est le rendement de conversion qui est un paramètre essentiel.

I.5.3 Influence de l'éclairement

La figure (I.15) représente l'influence de l'éclairement sur la caractéristique I(V) à une température fixe [11].

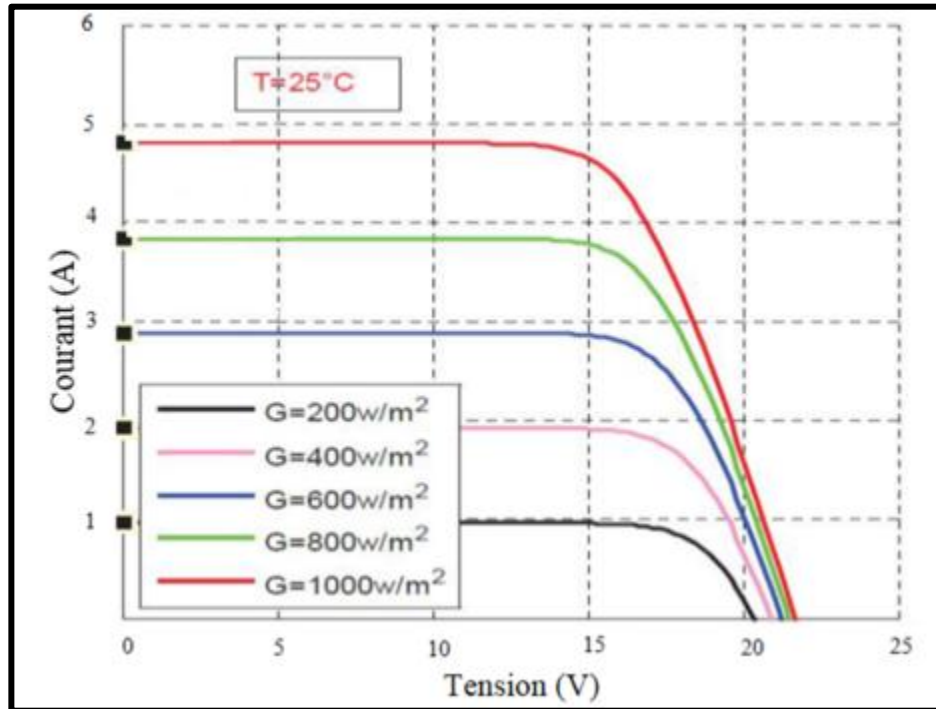


Figure I.15: Caractéristique $I=f(V)$ en fonction de l'éclairement [11].

L'augmentation de l'éclairement influence sur le courant beaucoup plus que la tension.

La figure (I.16) représente l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P(v)$ à température fixe [11].

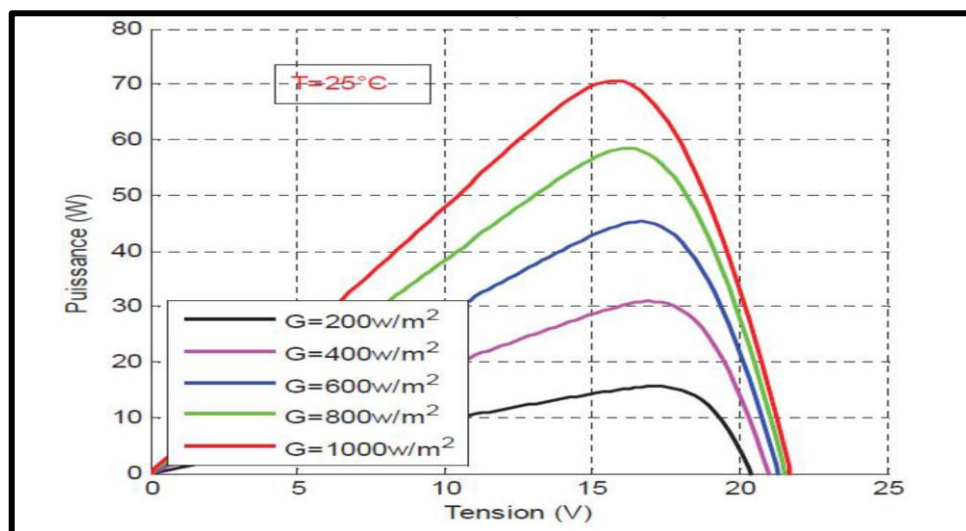


Figure I.16: Caractéristique $P=f(V)$ en fonction de l'éclairement [11].

La puissance optimale P_m augmente avec l'augmentation de l'éclairement, mais les points de tension qui correspondent à la puissance optimale varient peu.

I.5.4 Influence de la température

Une augmentation de la température de la cellule entraîne une dilatation du réseau cristallin. La valeur de la bande interdite E_g diminue, ce qui provoque une augmentation du courant de saturation. À l'inverse, davantage de photons sont absorbés dans les grandes longueurs d'onde, ce qui conduit à une très légère augmentation du courant de court-circuit. Un fonctionnement à la température la plus basse possible permet l'obtention d'un meilleur rendement de conversion. La perte en rendement absolu est évaluée à $-0.45\%/^{\circ}\text{C}$ [14].

Les figures (17,18) montrent l'influence de la température

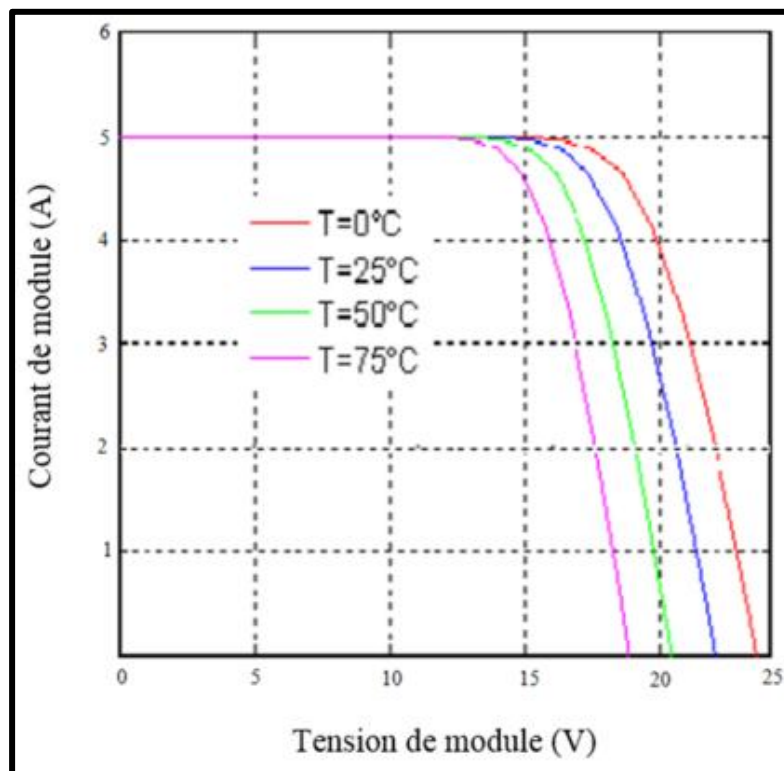


Figure I.17 : Caractéristique $I=f(V)$ en fonction de la température [12].

L'augmentation de la température influence beaucoup plus sur la tension que sur le courant.

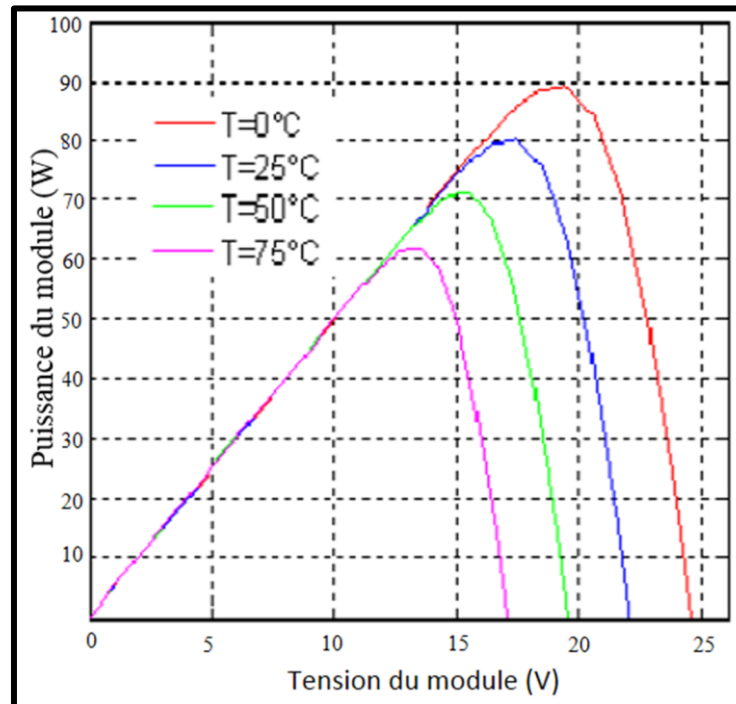


Figure I. 18 : Caractéristique $P=f(V)$ en fonction de la température [12].

La puissance optimale et la tension diminuent avec l'augmentation de la température.

I.6 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

I.6.1 Avantages

- ✓ Une haute fiabilité, elle n'est pas composée par des pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées.
- ✓ Les panneaux photovoltaïque ont le caractère modulaire qui permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétique divers. Ils résistent à des applications de grand puissance.
- ✓ L'énergie photovoltaïque est une source d'énergie gratuite qui n'a pas besoin ni de combustion ni transport.
- ✓ Une très grande qualité sur le plan écologique car il n'est pas polluant, silencieux et il ne comporte aucune perturbation sur le milieu [13].

I.6.2 Inconvénients

- Une haute technologie pour la fabrication et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Un faible rendement de conversion d'un module (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin 28%).

- Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.
- La fiabilité et les performances du système restent équivalentes pour tant qu'une batterie et les composants de régulation associés soient judicieusement choisis.

Les installations de grandes dimensions s'occupent un grand espace[13].

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une description détaillée sur l'énergie solaire, l'effet photovoltaïque et le principe de fonctionnement d'une cellule solaire. Ensuite, nous avons donné les différentes technologies d'une cellule photovoltaïque, ses caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ ainsi que ses paramètres qui varie en fonction de l'éclairement et la température. Finalement, les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque ont été donnés.

CHAPITRE II

Les Algorithmes Génétiques

II.1 Introduction :

Introduits dans les années soixante-dix, les algorithmes génériques sont relativement récents, et de ce fait leurs fondements théoriques sont encore en cours de développement. Les Algorithmes génétiques sont des techniques intelligentes introduites dans l'optimisation des fonctions non linéaires.

L'objectif primordial recherché dans ce chapitre réside dans la présentation de cette approche d'optimisation qui a fait preuve dans l'optimisation des phénomènes non linéaires, l'occurrence le photovoltaïque.

La résolution d'un problème d'optimisation consiste à explorer une espace de recherche afin de maximiser (ou minimiser) une fonction donnée. Les complexités relatives de l'espace de recherche et de la fonction à maximiser conduisent à utiliser des méthodes de résolution radicalement différentes.

En première approximation, on peut dire qu'une méthode de précision est adaptée à un espace de recherche petit et complexe et qu'un espace de recherche grand nécessite plutôt une méthode de recherche représente une évolution d'une variable aléatoire (algorithme génétique). Les algorithmes génétiques sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur les techniques dérivées de la génétique et de l'évolution naturelle [13].

II.2 Algorithme génétique

Les algorithmes génétiques tentent de simuler le processus d'évolution naturelle suivant le modèle darwinien dans un environnement donné. Ils utilisent un vocabulaire similaire à celui de la génétique naturelle. Cependant, les processus naturels auxquels ils font référence sont beaucoup plus complexes. On parlera ainsi d'individu dans une population. L'individu est représenté par un chromosome constitué de gènes qui contiennent les caractères héréditaires de l'individu.

Les principes de sélection, de croisement, de mutation s'inspirent des processus naturels de même nom. Pour un problème d'optimisation donné, un Individu représente un point de l'espace d'états, une solution potentielle. On lui associe la valeur du critère à optimiser, son adaptation. On génère ensuite de façon itérative des populations d'individus sur lesquelles on applique des processus de sélection de croisement et de mutation.

La sélection a pour but de favoriser les meilleurs éléments de la population pour le critère considéré (les mieux adaptés), le croisement et la mutation assurent l'exploration de l'espace d'états.

Au fur et à mesure des générations (itérations), une population des individus mieux adaptés va être créée [14].

Les algorithmes génétiques peuvent être particulièrement utiles dans les domaines suivants:

- Optimisation : optimisation de fonctions, planification, etc..
- Apprentissage : classification, prédiction, robotique, etc...
- Programmation automatique : programmes LISP, automates cellulaires, etc...
- Etude du vivant, du monde réel : marchés économiques, comportements sociaux, systèmes immunitaires, etc...[13].

II.2.1 Principe d'un algorithme génétique

Les principes de base des algorithmes génétiques ont été développés par Holland. Ils ont été inspirés par le mécanisme de sélection naturelle où les meilleurs candidats sont probablement les mieux adaptés aux conditions de concurrence. L'algorithme génétique utilise alors analogie directe avec l'évolution naturelle.

À travers la méthode d'évolution génétique, une solution optimale peut être trouvée être présentée par le dernier gagnant de la technique génétique. Ces algorithmes sont simples et très performants dans la recherche d'une solution optimale [15].

Le fonctionnement des algorithmes génétique est base sur les phases suivantes :

1. Création d'une population initiale.
2. Evaluation chaque chromosome est décodé puis évalué
3. Reproduction création d'une nouvelle population de N chromosomes par l'utilisation d'une méthode de sélection appropriée.
4. Opérateurs génétiques Croisement et mutation de certain chromosome au sein de la nouvelle population.
5. Retour à la phase deux tant que la condition d'arrêt du problème n'est pas satisfaite[3].

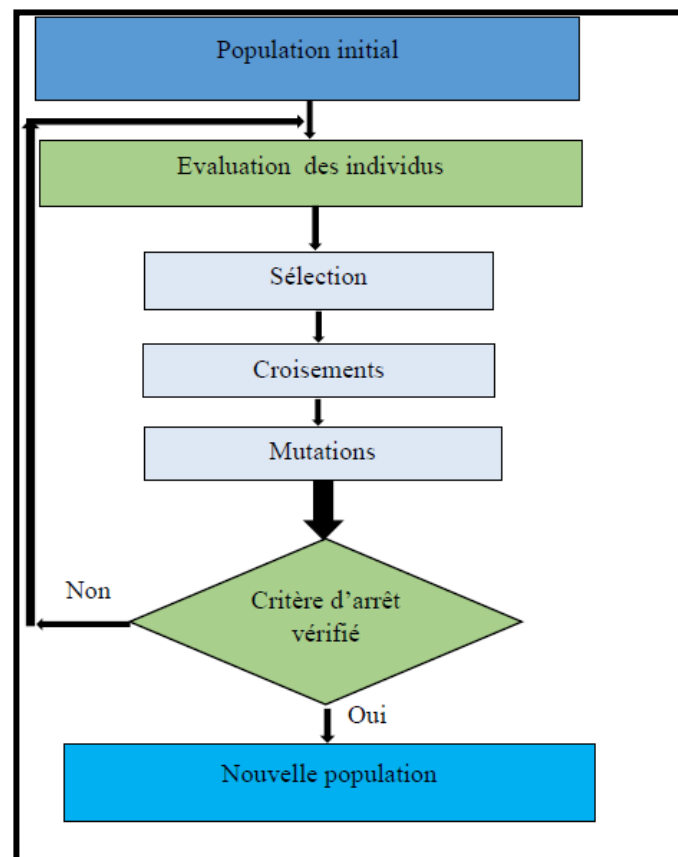


Figure II.1: Schéma général d'un algorithme génétique [3].

II.2.2 Les grandes Etapes d'un Algorithme génétique

Le fonctionnement d'un algorithme génétique consiste à évaluer une population et à en générer une autre de façon itérative grâce aux actions opérées par les opérateurs génétiques.

Le nombre de chromosomes dans une population reste inchangé à travers les diverses générations. Pour mettre en œuvre un algorithme génétique, il faut disposer d'un schéma pour coder les solutions du problème une fonction d'évaluation, une procédure un ensemble d'opérateurs et un ensemble de paramètres qui gouvernent l'élaboration de la population initiale, l'exécution des opérateurs et l'arrêt de génération de nouvelles populations.

De façon générale, un algorithme génétique fonctionne selon les étapes suivantes :

✓ Etape 1

- On génère une population initiale de taille n , représentant le nombre de chromosomes. Puis on choisit au hasard les gènes qui composent chaque chromosome.
- La qualité de la population initiale est très importante pour la génération de meilleures solutions. La diversité de la population est très importante pour éviter la convergence prématurée vers des minimums locaux.

- Cette diversité sa population de définit initialement et se maintient en combinant diverses stratégies de croisement et de mutation.
- ✓ **Etape 2**
- On évalue chaque chromosome par la fonction objective, ce qui permet de déduire sa valeur d'aptitude.
- ✓ **Etape 3**
- On exécute les cycles de génération de populations. Chaque nouvelle génération remplace la précédente. Le nombre de cycle x est déterminé au départ.
- Dans chaque cycle, n chromosomes sont choisis pour reproduction et croisement deux à deux Après la création de la Xème population, les chromosomes vont évoluer de façon telle que cette dernière génération contient des chromosomes qui sont meilleurs que ceux des générations précédentes [16].

II.2.2.1 Codage

Chaque paramètre d'une solution est assimilé à un gène, toutes les valeurs qu'il peut prendre sont les allèles de ce gène, on doit trouver une manière de coder chaque allèle différent de façon unique (établir une bijection entre l'allèle "réel" et sa représentation codée).

Un chromosome est une suite de gène, on peut par exemple choisir de regrouper les paramètres similaires dans un même chromosome (chromosome à un seul brin) et chaque gène sera repérable par sa position : son locus sur le chromosome en question. Chaque individu est représenté par un ensemble de chromosomes, et une population est un ensemble d'individus.

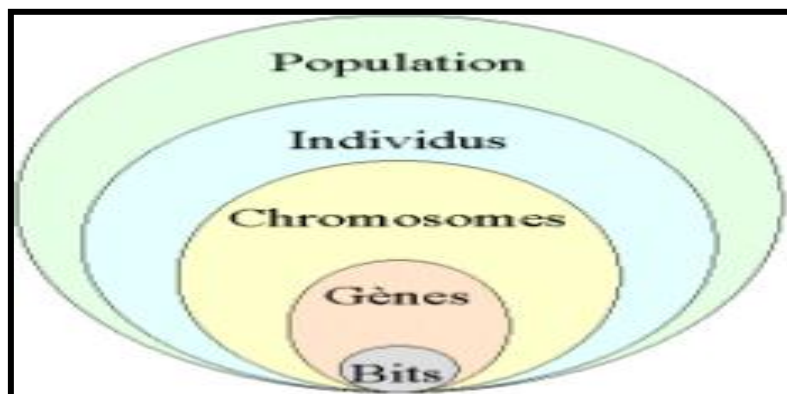


Figure II.2 : Organisation d'un algorithme génétique [17].

Il y a trois principaux types de codage utilisables, et on peut passer de l'un à l'autre relativement facilement :

1. Le codage binaire

C'est le plus utilisé. Chaque gène dispose du même alphabet binaire $\{0, 1\}$. Un gène est alors représenté par un entier long (32 bits), les chromosomes qui sont des suites de gènes sont représentés par des tableaux de gènes et les individus de notre espace de recherche sont représentés par des tableaux de chromosomes.

Ce cas peut être généralisé à tout alphabet allélique n'aire permettant un codage plus intuitif, par exemple pour le problème du voyageur de commerce on peut préférer utiliser l'alphabet allélique $\{c_1, c_2, c_3, \dots, c_n\}$ où c_i représente la ville de numéro i [3].

2. Le codage réel

Cela peut-être utile notamment dans le cas où l'on recherche le maximum d'une fonction réelle.

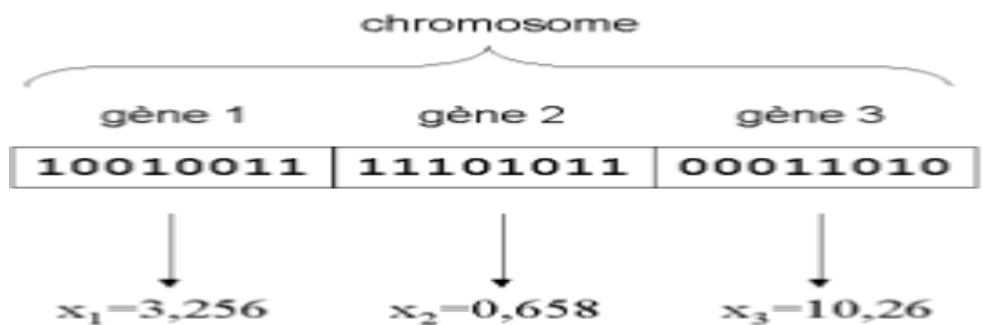


Figure II.3: Illustration schématique du codage des variables réelles [20].

3. Le codage de Gray

Dans le cas d'un codage binaire on utilise souvent la "distance de Hamming" comme mesure de la dis similarité entre deux éléments de population, cette mesure compte les différences de bits de même rang de ces deux séquences, et c'est là que le codage binaire commence à montrer ses limites.

En effet, deux éléments voisins en termes de distance de Hamming ne codent pas nécessairement deux éléments proches dans l'espace de recherche.

Cet inconvénient peut être évité en utilisant un "codage de Gray" : le codage de Gray est un codage qui a comme propriété qu'entre un élément n et un élément $n + 1$, donc voisin dans l'espace de recherche, un seul bit diffère [3].

II.2.2.2 Génération de la population initiale

Le choix de la population initiale d'individus conditionne fortement la rapidité de convergence de l'algorithme. Si la position de l'optimum dans l'espace d'état est totalement inconnue, il est naturel de générer aléatoirement des individus en faisant des tirages uniformes dans chacun des domaines associés aux composantes de l'espace d'état en veillant à ce que les individus produits respectent les contraintes. Si des informations a priori sur le problème sont disponibles, il paraît bien évidemment naturel de générer les individus dans un sous domaine particulier afin d'accélérer la convergence. La nouvelle population est obtenue en remplaçant les plus mauvais Individus de la population courante par leurs fils, reproduits par la phase précédente, si ses fils sont mieux qu'eux. La littérature des AGS (Goldberg, 1989 ; Holland, 1992 ; Man et al. 1996 Schmitt, 2001 ; Petrowski) offre une collection fortement variée de stratégies dont il convient ici d'en citer quelques-unes :

1. La nouvelle population est composée uniquement d'enfants On laisse alors disparaître tous les individus de la population courante. L'inconvénient majeur de cette approche est le risque de perdre le meilleur individu.
2. Les enfants remplacent d'une façon régulière les individus les moins forts de la génération courante.
3. La nouvelle génération est constituée des n meilleurs individus de la population intermédiaire formée d'enfants et de parents [18].

II.2.2.3 Evaluation

Contrairement à bon nombre de méthodes qui requièrent beaucoup d'informations pour pouvoir fonctionner efficacement, les algorithmes génétiques nécessitent peu d'informations, ils fonctionnent essentiellement de manière aveugle.

Pour effectuer une recherche de solutions meilleures, ils n'ont besoin que des valeurs des fonctions objectives associées aux chaînes individuelles.

Ces valeurs ont pour but d'évaluer si un individu est mieux adapté qu'un autre à son environnement.

Ce qui signifie qu'elle quantifie la réponse fournit au problème pour une solution potentielle donnée.

Ainsi, les Individus peuvent être comparés entre eux. Les individus déterminés par la fonction objective (fitness) vont servir au processus de sélection des candidats aptes à la reproduction et au processus de survie des espèces. Cette fonction, propre au problème, est

souvent simple à formuler lorsqu' il y a peu de paramètres. Au contraire, lorsqu'il y a beaucoup de paramètres ou lorsqu'ils sont corrélés, elle est plus difficile à définir. Dans ce cas, la fonction devient une somme pondérée de plusieurs fonctions. Un ajustement des coefficients est alors nécessaire [3].

II.2.2.4 Sélection

Selon la qualité des individus, chacun se voit attribuer un pourcentage de chances d'être choisi pour la reproduction, qui correspond à l'importance relative de la qualité de l'individu par rapport à la qualité totale de la population (voir la figure II.4) [17].

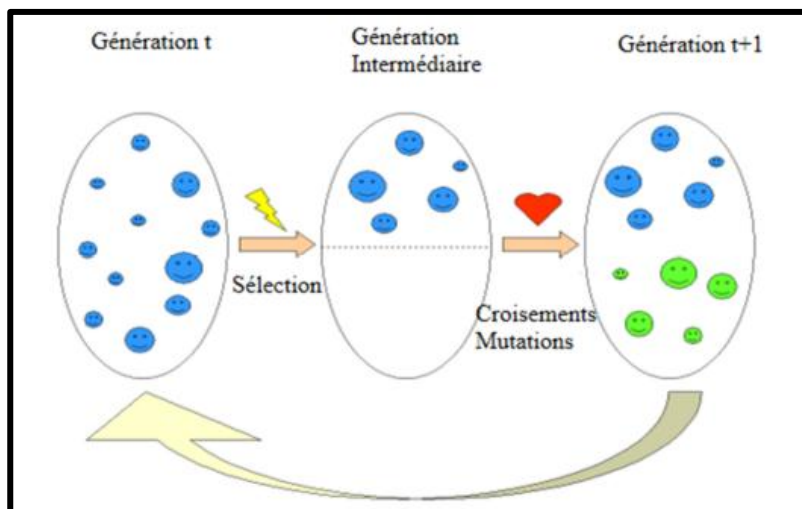


Figure II.4: Représentation schématique du fonctionnement de notre algorithme [20].

II.2.2.4.1 La roulette

Cette méthode exploite la métaphore d'une roulette de casino. La roue est divisée en autant de secteurs que d'individus dans la population. La taille de ces secteurs est proportionnelle à l'adaptation de chaque individu. En faisant tourner la roue, l'individu pointé à l'arrêt de la boule est sélectionné. Les individus les mieux adaptés ont donc plus de chance d'être tirés au sort lors du déroulement du jeu [3]. (voir la figure II.5) [16].

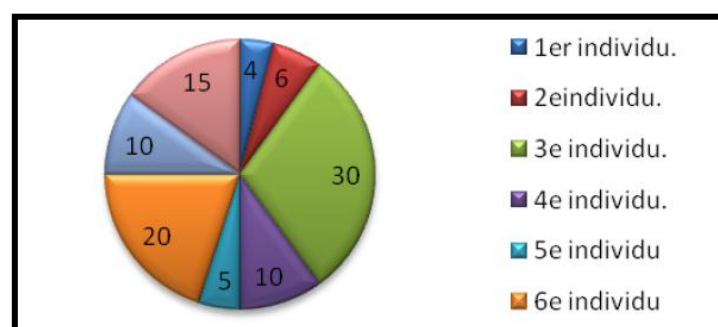


Figure II.5 : La roulette [16].

II.2.2.4.2 Le tournoi

Cette méthode ressemble plus à ce qui se passe dans la réalité. Comme son nom l'indique, elle fait s'affronter deux ou plusieurs individus afin que le meilleur gagne. Plusieurs variantes existent. On peut par exemple faire varier le nombre d'individu qui doivent s'affronter au départ, ou encore permettre ou non que le même individu soit éligible plusieurs fois lors d'un même tournoi [3], (voir la figure II.6)[16].

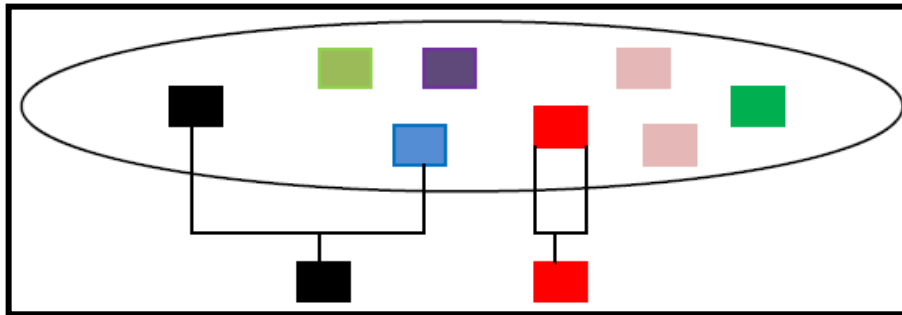


Figure II.6 : Le tournoi [16].

II.2.2.5 Croisement

La figure ci-dessous représente le croisement en codage binaire [19].

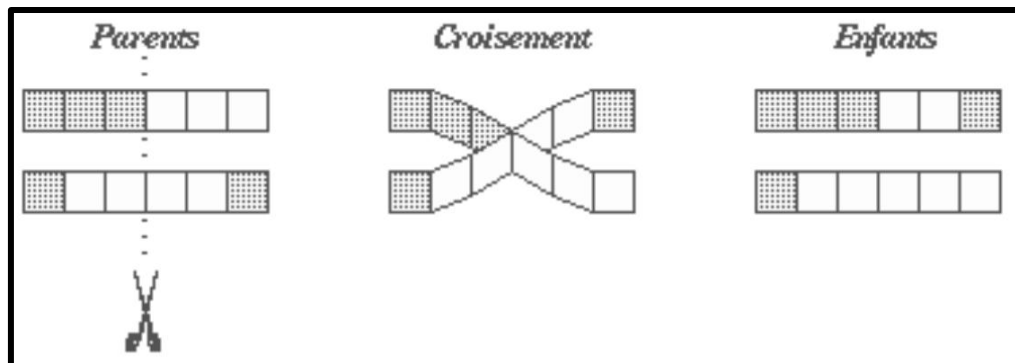


Figure II.7 : Croisement en codage binaire [19].

Principe de fonctionnement

- S'applique sur deux individus différents.
- Résultat : chromosome formé à partir des gènes de ses deux parents.
- Deux enfants sont " produits " pour la génération suivante.
- Un pourcentage de croisement est fixé [20].

II.2.2.5.1 Croisement en un point

On choisit au hasard un point de croisement, pour chaque couple (voir la figure II.8)[20]. Notons que le croisement s’effectue directement au niveau binaire, et non pas au niveau des gènes. Un chromosome peut donc être coupé au milieu d’un gène.

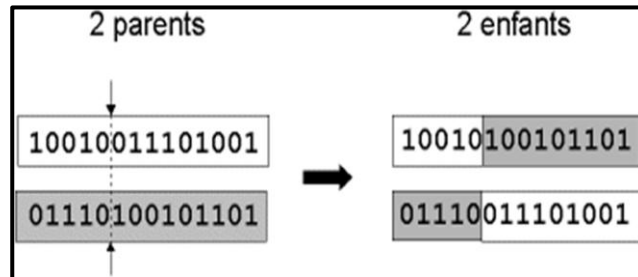


Figure II.8 : Représentation schématique du croisement en 1 point [20].

II.2.2.5.2 Croisement en deux points

On choisit au hasard deux points de croisement (voir la figure III.9) [20]. Par la suite, nous avons utilisé cet opérateur car il est généralement considéré comme plus efficace que le précédent [Beasley, 1993]. Néanmoins nous n’avons pas constaté de différence notable dans la convergence de l’algorithme.

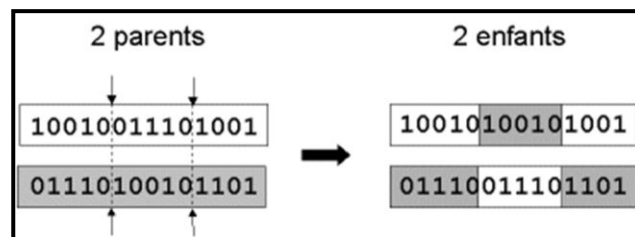


Figure II.9 : Représentation schématique du croisement en 2 points [17].

Notons que d’autres formes de croisement existent, du croisement en k points jusqu’au cas limite du croisement uniforme

II.2.2.6 Mutation

La figure suivante représente la mutation en codage binaire [19].

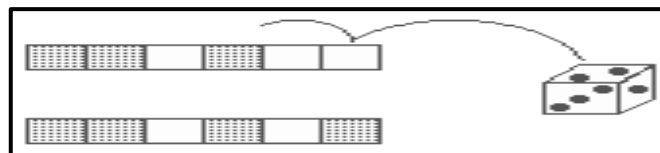


Figure II.10 : Mutation en codage binaire [19].

Principe de fonctionnement

- S'applique sur un seul individu par la modification de l'un ou plusieurs gènes du parent Choisi (s) aléatoirement.
- Un seul nouvel enfant est fourni.
- Un pourcentage de mutation est fixé [19].

Nous définissons une mutation comme étant l'inversion d'un bit dans un chromosome (voir la figure II.11) [17].

Cela revient à modifier aléatoirement la valeur d'un paramètre du dispositif.

Les mutations jouent le rôle de bruit et empêchent l'évolution de se figer.

Elles permettent d'assurer une recherche aussi bien globale que locale, selon le poids et le nombre des bits mutés. De plus, elles garantissent mathématiquement que l'optimum global peut être Atteint.

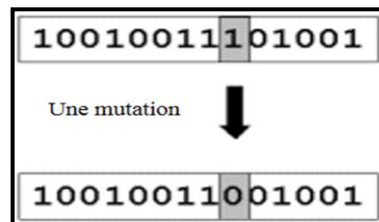


Figure II.11: Représentation schématique d'une mutation dans un chromosome [17].

II .3 Conclusion

Nous pouvons conclure que les Algorithmes géniques sont des algorithmes simples de conception et peuvent résoudre des problèmes assez complexes, la résolution de ces problèmes est obtenue grâce aux opérateurs de reproduction.

Les algorithmes génétiques sont des procédures assez robustes pour résoudre un problème d'optimisation pour la sélection des primitives. Néanmoins elles présentent certaines limites et des difficultés. Ces difficultés reposent sur le choix des bons paramètres tels que : la taille de la population, le nombre de génération, les probabilités de croisement et de mutation et les méthodes des opérateurs de reproduction. Ces paramètres dépendent du problème à résoudre et d'une codification appropriée au problème à solutionner.

CHAPITRE III

Extraction Des Paramètres électriques

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, la validation de la technique d'optimisation est basée sur les principes des algorithmes génétiques tels qu'ils ont été décrits au chapitre précédent. Au début de ce chapitre, la définition des caractéristiques expérimentales des différents panneaux photovoltaïques sera présentée. Ensuite, l'expérience d'identification des paramètres électriques des modules photovoltaïques seront présentés et discutés. L'opération consiste à l'ajustement de chaque courbe synthétique de la caractéristique I-V de chaque panneau pour différents éclairagements et à température ambiante. Cette expérience démontre évidemment l'efficacité et la précision de notre approche proposée (AGs) et valident les paramètres obtenus employés dans le modèle électrique à simple diode. Le but de ce chapitre est de valider les résultats obtenus par notre approche d'optimisation évolutionnaire développée (AGs) en calculant l'erreur relative aux résultats expérimentaux.

III.2 Résultats expérimentaux de la caractéristique I(V)

La base de données expérimentales utilisée dans notre travail est obtenue par deux modules photovoltaïques de type Mon-ocristalline STP275S, Thin-Film CHSM 5011T. Chaque module est composé de 36 cellules solaires montées en série, monocristalline et couche mince, respectivement.

Les caractéristiques électriques de ces deux modules photovoltaïques sont données par les tableaux suivant.

Puissance maximale P_{mpp} (W)	275
Courant de crête maximal I_{mpp} (A)	8.85
Tension de crête maximale V_{mpp} (V)	31.1
Tension à circuit ouvert V_{co} (V)	38.5
Courant de court-circuit I_{sc} (A)	9.34
Nombre de cellules en séries ns	36

Tableau III.1 : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque de type Mon-ocristalline STP275S

Puissance maximale P_{mpp} (W)	130
Courant de crête maximal I_{mpp} (A)	0.965
Tension de crête maximale V_{mpp} (V)	134.7
Tension à circuit ouvert V_{co} (V)	170
Courant de court-circuit I_{cc} (A)	1.140
Nombre de cellules en séries ns	36

Tableau III.2 : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque de type Thin-Film CHSM 5011T

La figure IV.1 illustre le montage électrique utilisé pour tracer la caractéristique $I(V)$. Les points courant-tension de la caractéristique $I(V)$ sont obtenus par la variation de la résistance variable R qui représente la charge ou le point du circuit ouvert ($I=0$) est déterminé pour $R=+\infty$ et le point du court-circuit ($V=0$) est déterminé pour $R=0$.

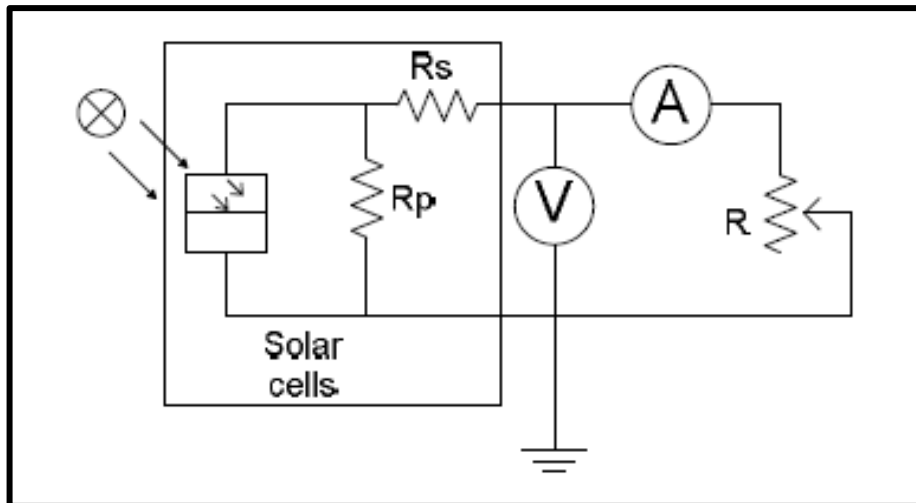


Figure III.1 : Montage électrique pour relever la caractéristique $I(V)$

La base de donnée expérimentale des caractéristiques $I(V)$ pour chaque panneau est obtenue pour différente valeur d'éclairement et à température ambiante. Cette dernière sera exploitée pour extraire les paramètres électriques de chaque module (R_s , R_{sh} , I_0 et n) en utilisant les algorithmes génétiques.

III.3 Identification des paramètres électriques en utilisant les algorithmes génétiques.

III.3.1 Méthodologie de calcul.

La technique d'extraction de paramètres par les AGs fournit des solutions optimales globales de la caractéristique $I-V$ pour chaque module photovoltaïque étudié. Dans la littérature, il existe beaucoup de modèle électrique des modules photovoltaïques (simple diode, double diode, etc...). Dans notre travail on a choisi le modèle à simple diode pratiquement définit par cinq paramètre R_s , R_{sh} , I_0 , n et I_{ph} à cause de sa simplicité et qu'il utilise peu de paramètres. Dans ce chapitre on a considéré que le photo-courant I_{ph} égale le courant de court circuit I_{cc} . Par conséquent le nombre de paramètres électriques (qui seront ajustés par les AGs) est réduit à quatre paramètres qui sont R_s , R_{sh} , I_0 et n .

Dans cette application, on présente l'applicabilité des algorithmes génétiques pour l'extraction des paramètres d'une cellule photovoltaïque en utilisant le modèle électrique à une seule diode.

L'organigramme de l'approche évolutionnaire proposé pour trouver les courbes optimales et ajustées à celles obtenues expérimentale est présenté par la figure III.2. Le procédé d'optimisation arrête le calcul évolutionnaire lorsque le critère d'arrêt soit satisfait.

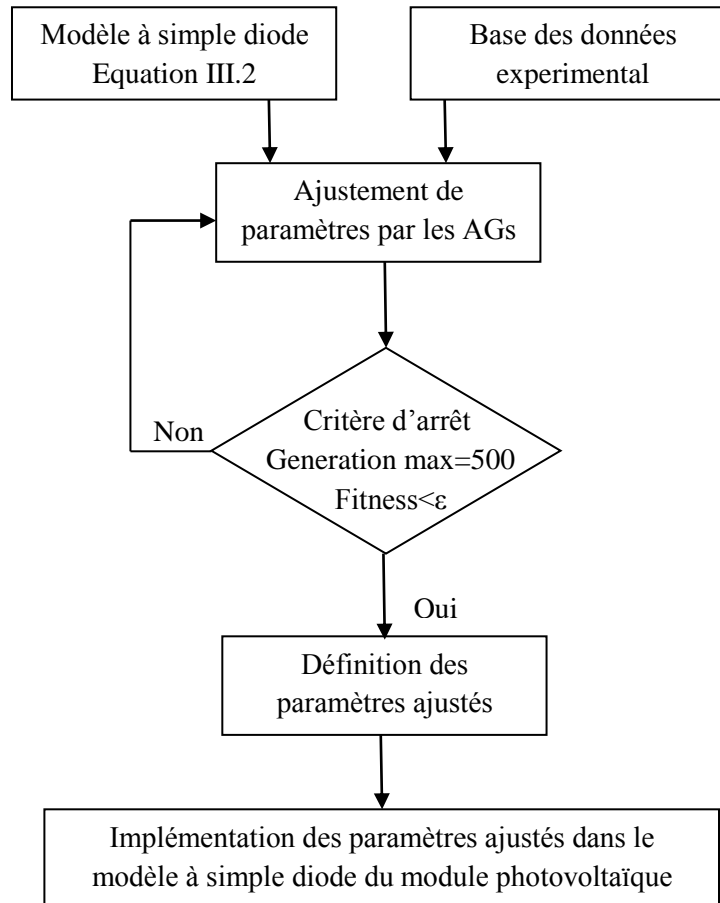


Figure III.2 : Organigramme de l'approche évolutionnaire proposée pour la détermination des paramètres électriques du module photovoltaïque

III.3.2 Définition des paramètres électriques

Dans cette application, les paramètres du modèle à une seule diode (4 paramètres) sont regroupés dans un vecteur appelé chromosome, ces paramètres sont optimisés par la minimisation de la fonction fitness en terme de qualité d'adaptation pour des données expérimentales exploitées.

Selon la caractéristique expérimentale $I-V$ du module photovoltaïque, il est important de trouver la meilleure configuration des paramètres pour ajuster les résultats simulés (expression implicite) en se basant sur les résultats expérimentaux. Les paramètres à ajuster peuvent être définis en tenant en compte la minimisation de l'erreur associée à l'optimisation.

Dans la simulation des modules photovoltaïques, la relation entre le vecteur d'entrée (la tension V et le chromosome C) et la fonction implicite à ajuster le courant (I) est donnée par l'expression:

$$I = h(V, C) \quad (III.1)$$

où : C est le vecteur de paramètres de construction pour le modèle à simple diode du module photovoltaïque qui sera optimisé en utilisant les AGs.

Le nouveau modèle à simple diode qui sera ajusté par les AGs peut être défini comme:

$$I_{GA} = I_{ph} - I_{0_GA} \cdot \left[e^{\frac{q \cdot (V + R_{S_GA} \cdot I)}{n_{GA} \cdot K \cdot T}} - 1 \right] - \frac{V + R_{S_GA} \cdot I}{R_{sh_GA}} \quad (III.2)$$

Les coefficients R_{S_GA} , R_{sh_GA} , I_{0_GA} et n_{GA} représentent les paramètres d'ajustement (les éléments du vecteur C) qui vont être optimisés par les AGs afin d'identifier les paramètres électriques du modèle à simple diode ajusté du module photovoltaïque.

III.3.3 Procédé d'évaluation (fonction de fitness)

La fonction fitness f utilisée pour l'évaluation des chromosomes et l'ajustement des paramètres est définie par:

$$f = \frac{1}{M} \sum_V \left[\frac{I_{exp} - I_{GA}}{I_{exp}} \right]^2 \quad (III.3)$$

où M représente la taille de la base de données expérimentale ' exp ' et ' GA ' indiquent les données expérimentales et les données calculées par la technique des AGs respectivement.

La différence entre les données expérimentales et les données calculées par la technique des AGs s'appelle l'erreur normalisée (l'erreur moyenne quadratique RMS), cette dernière est employée pour évaluer la déformation des courbes $I-V$ calculées par rapport à celles mesurées (expérimentales).

Notre problème d'ajustement de paramètres comprend m points de la caractéristique $I-V$, chacun représente le courant fournit par le module photovoltaïque pour une tension V appliquée.

Notre objectif est de minimiser la fonction fitness (minimisation de RMS) afin d'obtenir la meilleure solution (meilleur chromosome) dans la population pour assurer l'exactitude et la précision de notre modèle à simple diode qui est défini par les paramètres extraits en utilisant les AGs.

III.4 Résultats et discussion

III.4.1 Implémentation des paramètres de la technique (AG)

Pour l'implémentation de la technique AGs, des règles de la boîte d'outil, sous MATLAB, de GA sont utilisées:

- Le tournoi: est la méthode utilisée pour la sélection, cette méthode sélectionne chaque parent par le choix aléatoire des individus puis elle choisi le meilleur individu pour être individu parent.
- Le croisement dispersé 'Scattered cross over': il crée un vecteur binaire aléatoirement, puis il sélectionne les gènes suivant le vecteur créé où le '1' sélectionne le gène du premier parent et le '0' sélectionne le gène du deuxième parent, la combinaison des gènes sélectionnés a le rôle de produire l'enfant de la prochaine génération.
- La mutation uniforme : est un processus en deux étapes. D'abord, l'algorithme choisit une fraction du vecteur d'entrées de l'individu pour la mutation, où chaque entrée a une probabilité d'être mutée (taux de mutation). Dans la deuxième étape, l'algorithme remplace chaque entrée choisie par un nombre aléatoire choisi uniformément à partir du vecteur d'entrées.

Notre processus d'optimisation est assuré par une population de 20 individus pour chaque génération et 300 générations. Les paramètres utilisés dans cette étude sont résumés dans le tableau III.2

Pour cette configuration, la fonction fitness était de Fitness de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-4} et presque 100% des cas soumis ont été étudiés correctement. Ce résultat est obtenu après 50 évaluations des paramètres dans à peu près 5 minutes en utilisant Windows 7 avec un intel core i3(2.20Ghz) avec une RAM (4GB).

Les paramètres de AG	Valeurs
La taille de la population	20
Le nombre Maximum de générations	300
Type de la fonction fitness	Proportionnel
La sélection	Tournoi
Le croisement	Dispersé
La mutation	Uniform

Tableau III.3: Paramètres de GA utilisés dans cette application

III.4.2 Extraction des paramètres électriques:

Dans cette partie, on va optimiser les quatre paramètres du modèle à simple diode ajusté (Eq III.2) pour chaque caractéristique des deux panneaux photovoltaïques à une température ambiante et un éclairement différent.

Le tableau (III.3) résume les résultats des paramètres électriques (R_s, R_{sh}, I_0, n) extraits pour chaque module photovoltaïque pour les conditions de l'éclairement et à la température ambiante.

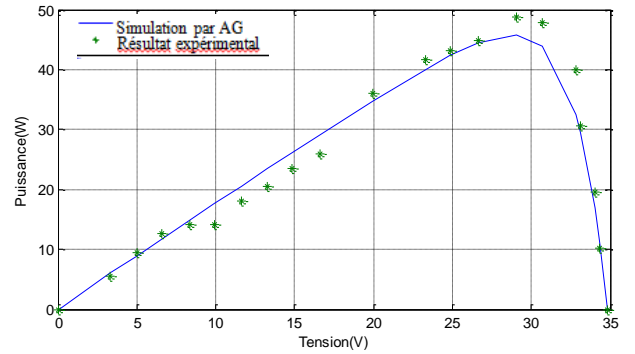
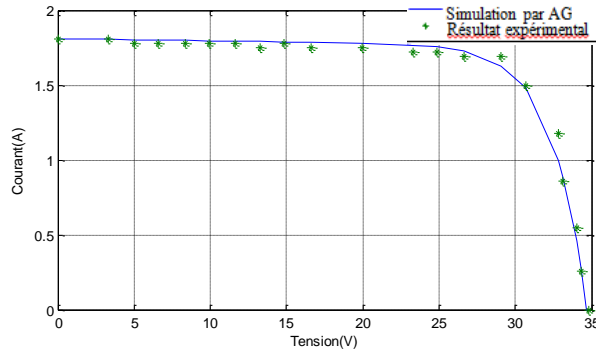
	Paramètres électriques	Mon-ocristalline STP275S	Thin-Film CHSM 5011T
G=200 W/m ²	I _{ph} (A)	1,8681	0,2280
	I _o (A)	2,6127 x10 ⁻⁷	1,3182 x10 ⁻⁹
	R _s (Ω)	0,0150	0,6434
	R _{sh} (Ω)	728,8304	4363,6361
	n	2,3829	1,6914
G=400 W/m ²	I _{ph} (A)	3,7362	0,4560
	I _o (A)	0,9427 x10 ⁻⁷	58,4642x 10 ⁻⁹
	R _s (Ω)	0,0253	0,6434
	R _{sh} (Ω)	535,0935	4363,6361
	n	2,2657	1,6797
G=600 W/m ²	I _{ph} (A)	5,6321	0,6804
	I _o (A)	5,4380 x10 ⁻⁷	78,6194x 10 ⁻⁹
	R _s (Ω)	0,0391	0,8660
	R _{sh} (Ω)	819,0664	2621,4172
	n	2,5022	1,6546
G=800 W/m ²	I _{ph} (A)	7,4724	0,912195
	I _o (A)	3,4129 x10 ⁻⁷	3,9519 x10 ⁻⁹
	R _s (Ω)	0,0365	1,0569
	R _{sh} (Ω)	735,0485	3367,9351
	n	2,4388	1,6250
G=1000 W/m ²	I _{ph} (A)	9,340623	1,1402
	I _o (A)	3,1048 x 10 ⁻⁷	16,0494x 10 ⁻⁹
	R _s (Ω)	0,0156	0,6705
	R _{sh} (Ω)	289,9396	3395,6873
	n	2,4243	1,6197

Tableau III.4 : les paramètres extraits pour chaque valeur de l'éclairement des deux panneaux photovoltaïques.

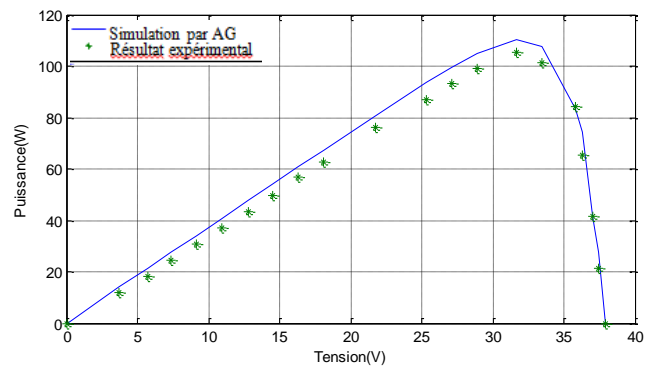
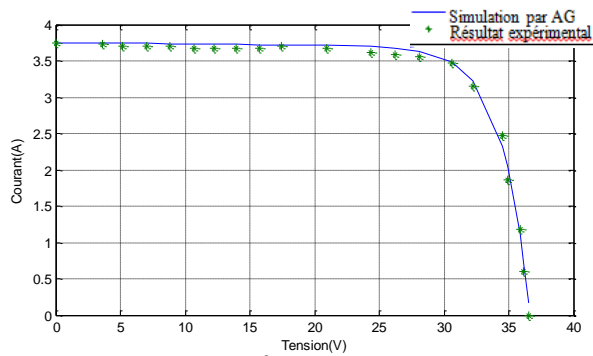
Une fois les paramètres électriques du circuit équivalent sont déterminés, on peut tracer la caractéristique I(V) à l'aide de l'expression du modèle à simple diode (Eq IV.2). La comparaison entre les caractéristiques expérimentales et les caractéristiques simulées sont illustrées dans la figure IV.3.

- Mon-ocristalline STP275S:

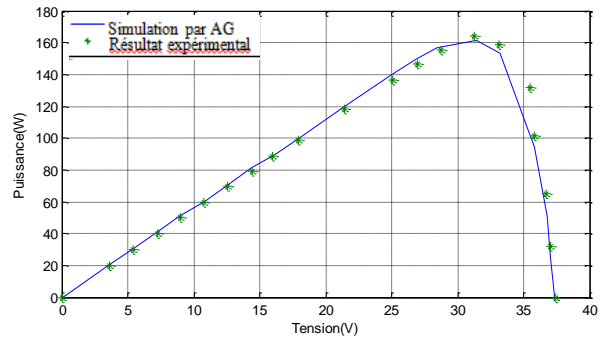
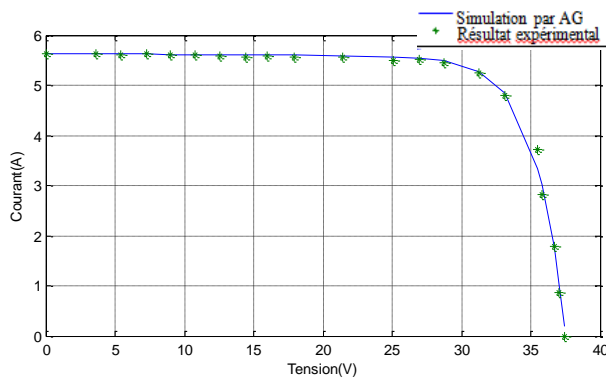
✓ $G=200 \text{ W/m}^2$:



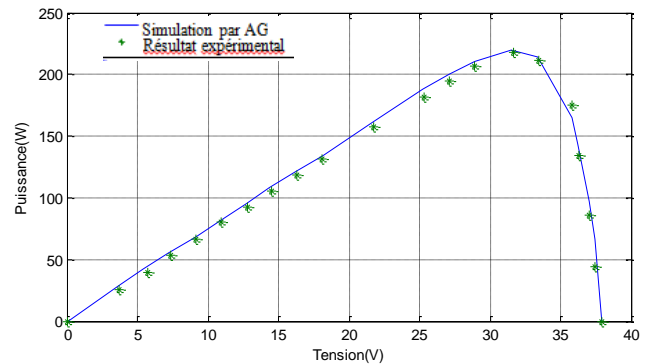
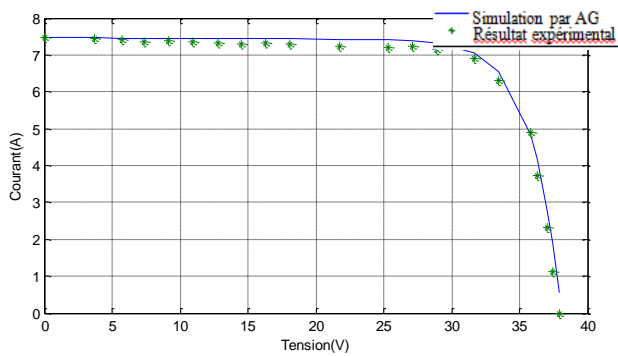
✓ $G=400 \text{ W/m}^2$:



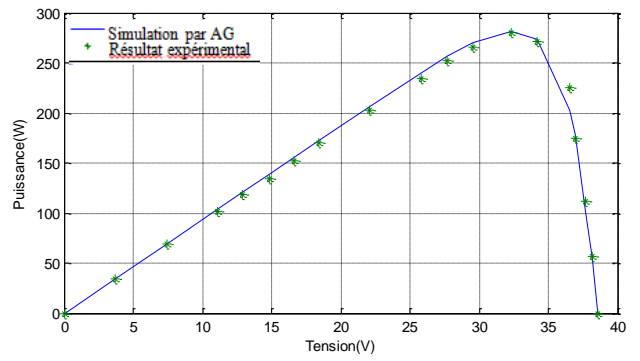
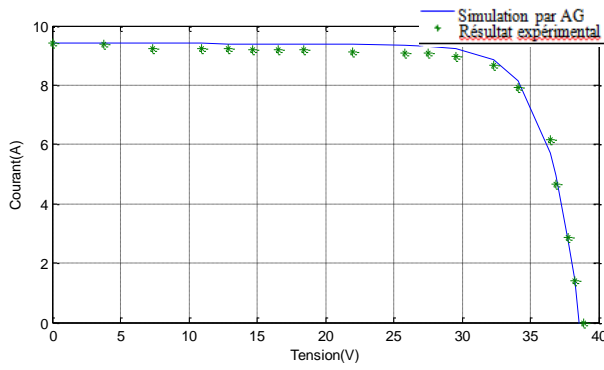
✓ $G=600 \text{ W/m}^2$:



✓ $G=800 \text{ W/m}^2$:

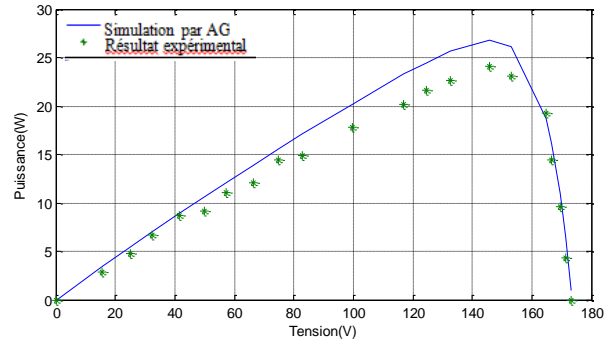
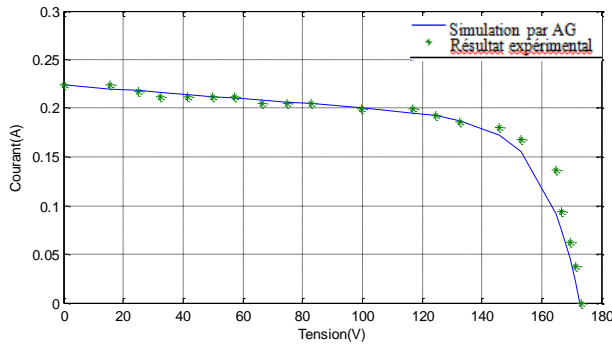


✓ $G=1000 \text{ W/m}^2$:

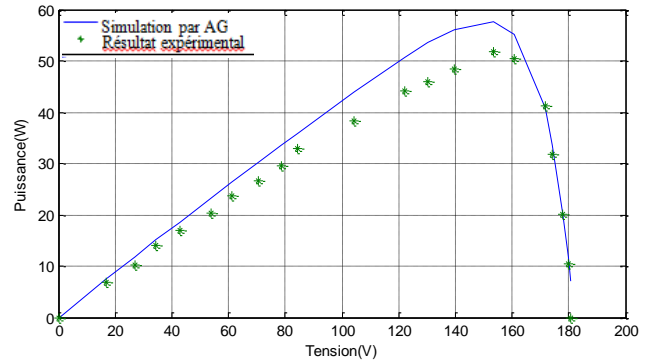
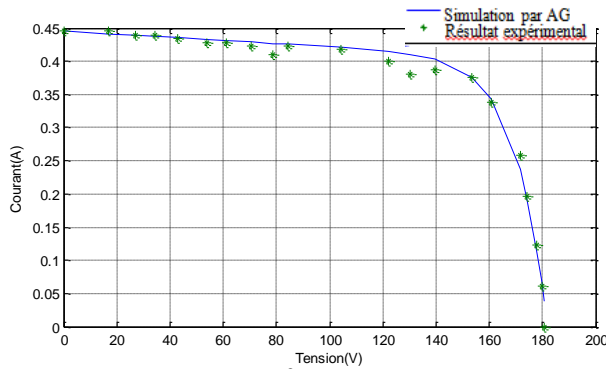


• Thin-Film CHSM 5011T:

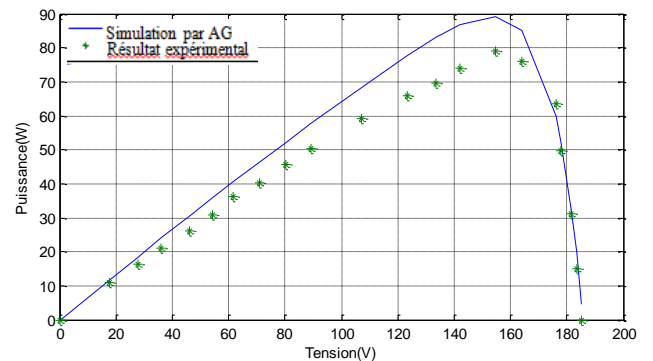
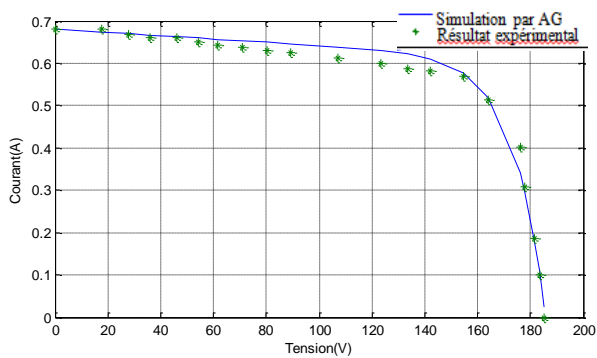
✓ $G=200 \text{ W/m}^2$:



✓ $G=400 \text{ W/m}^2$:



✓ $G=600 \text{ W/m}^2$:



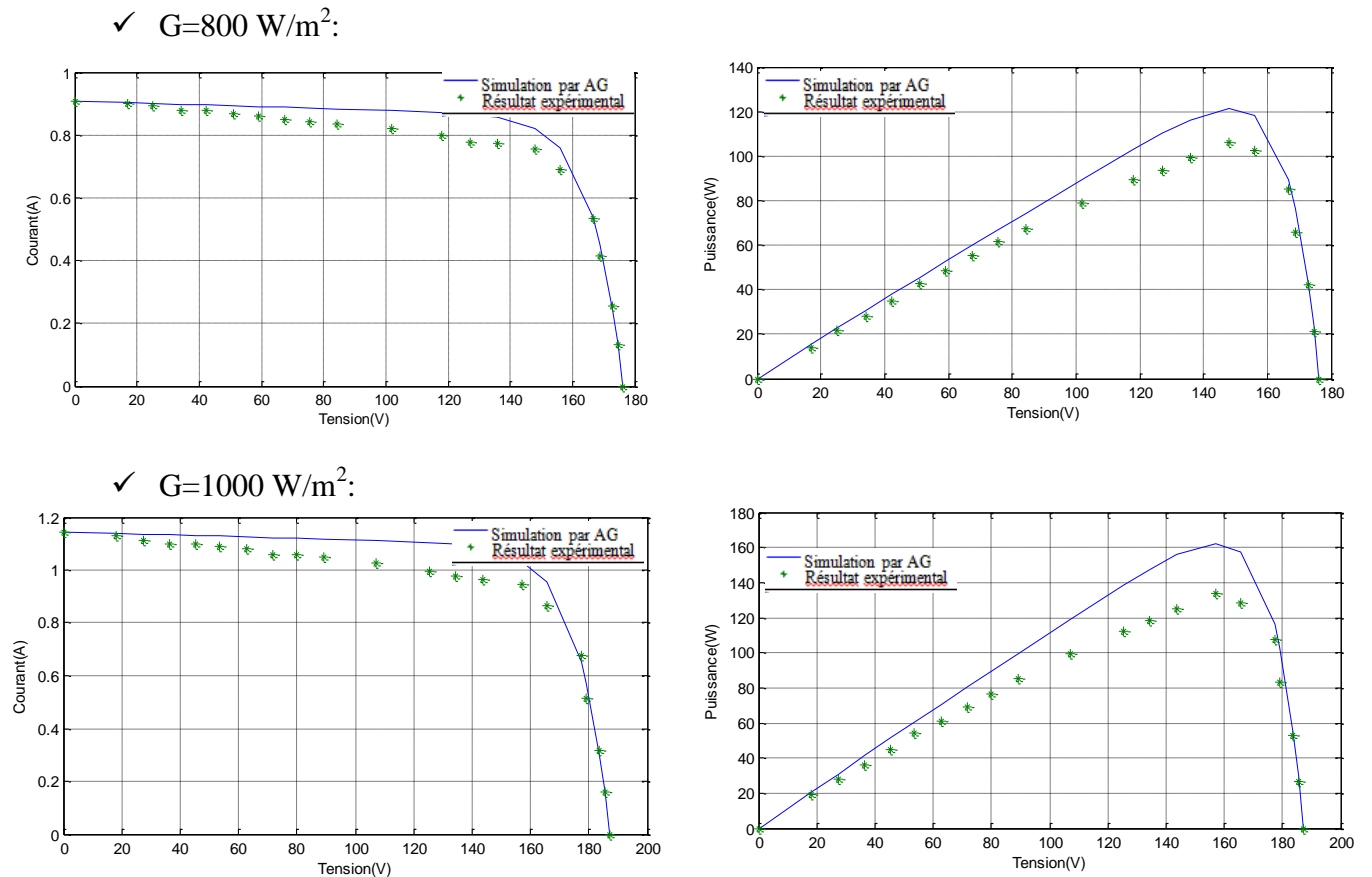


Figure III.3: Courbes expérimentales et simulées de la caractéristique I-V des deux modules photovoltaïques

La figure III.3 montre un bon accord entre les résultats expérimentaux et ceux prévus qui ont été obtenus par la technique des AGs, ce qui montre l'exactitude de notre approche proposée pour extraire les paramètres électriques des modules photovoltaïques.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré l'applicabilité des algorithmes génétiques pour étudier le comportement physique des dispositifs photovoltaïques. L'objectif de ce chapitre était l'extraction des paramètres électriques des différents modules photovoltaïques qui a été accomplie dans un temps relativement faible et sans besoin d'intervention de l'utilisateur pendant le processus d'optimisation

Les résultats indiquent que la technique des AGs présente une meilleure stratégie conventionnelle d'extraction des paramètres, en termes de convergence et exactitude, elle fournit des solutions optimales globales.

Conclusion Générale

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.

Le but dans ce mémoire était l'extraction des paramètres électriques pour différents modules photovoltaïques en utilisant les algorithmes génétiques. Le modèle analytique déduit à partir d'un circuit électrique équivalent, on rencontre dans la littérature plusieurs modèles en particulier les modèle a une diode et a deux diodes. Les caractéristiques courant-tension (I-V) de ces modules ont été basés sur le modèle à simple diode .

Dans la première partie du mémoire nous avons présenté les notions fondamentales nécessaires pour la compréhension du comportement de la cellule photovoltaïque, leur principe de fonctionnement et ses différentes caractéristiques. Ensuite, nous avons donné les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

Pour la deuxième partie nous avons décrit une méthode évolutionnaire qui est les algorithmes génétiques AGs. Leur principe de fonctionnement et leurs caractéristiques principales ont été abordé. Puis, nous avons présenté les différents opérateurs génétiques.

Dans la dernière partie, nous avons donné le modèle analytique d'une cellule photovoltaïque basé sur une seule diode. Ensuite, une approche basée sur les algorithmes génétiques à été développée afin d'extraire les paramètres électriques (I_{ph} , I_0 , R_s , R_{sh} , n) des différents modules photovoltaïques pour différentes valeur d'éclairement .

Enfin, nous avons montré l'applicabilité des algorithmes génétiques pour étudier le comportement physique des dispositifs photovoltaïques. L'extraction des paramètres électriques des modules photovoltaïques a été accomplie dans un temps relativement faible et sans besoin d'intervention de l'utilisateur pendant le processus d'optimisation .

Les résultats indiquent que la technique d'algorithme génétique présente une meilleure stratégie conventionnelle d'extraction de paramètres, en termes de convergence et exactitude, elles fournissent des solutions optimales globales.

Références
Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] H.Reeves, "Mal de terre, Sience ouverte" ,Edition Seuil,Mars2003.
- [2] S. Krou, 'Optimisation des paramètres d'une cellule photovoltaïque par les algorithmes génétique', Mémoire de magistère instrumentation, Université de Sétif 1, 2014.
- [3] D. Ghiles, 'Modélisation des systèmes photovoltaïques avec des techniques du soft computing', Master en automatique, Université de Bejaia, 2015.
- [4] S. Hadji, 'Etude et Modélisation des Cellules Photovoltaïques à Base des Semiconducteurs III-N ', Thèse de Doctorat, Département de Génie Electrique, Université de Bejaia, 2014.
- [5] A. Medjhed, 'Extraction des paramètres d'une cellule photovoltaïque en utilisent le modèle à deux exponentielles', Mémoire de magistère énergétique et mécanique des fluides, Université de Sétif 1, 2011.
- [6] A. Bousskine, N. Guermouche, 'Contribution à l'étude des systèmes de pompage photovoltaïque ', Mémoire d'ingénieur, Université de Bejaia, 2010.
- [7] M. Hamidouche et B. Mokhtari, 'Etude d'un système photovoltaïque', Mémoire de master électrotechnique, Université de Bejaia, 2016.
- [8] M. Dahouenon, 'Le manuel du technicien photovoltaïque', Publication (PERACOD), Dakar Sénégal, 2011.
- [9] Y. Issad et N. Salhi, 'Etude et caractéristique d'un module solaire photovoltaïque', Mémoire d'ingénieur d'état en électronique, Université de Bejaia, 2010.
- [10] K. Helali, 'Modélisation d'une cellule photovoltaïque : étude comparative', Mémoire de magister en électrotechnique, Université de Tizi-Ouzou, 2012.
- [11] F.Hananou et A.Rouabah, 'Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque', Mémoire de master électrotechnique, Université de Ouargla, 2014.
- [12] V.Yannick, 'Modélisation caractérisation et réalisation de nouvelles structures photovoltaïques sur substrat de silicium mince', Thèse présentée pour obtenir le grade de Docteur ', Université de Strasbourg, 2005.

Références Bibliographiques

- [13] M.Mouzaoui et H.Mezri, 'Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque', Mémoire de fin d'études, Université de Bejaia, 2014.
- [14] S.Amédé et R.F.Gérard, 'Algorithme genetique', Thèse de fin d'études, Université de Paris, 2004.
- [15] N.Barnier et P.Brisset, 'Optimisation par algorithme genetique sous contraintes', Ecole nationale de l'Aviation Civile Toulouse, 1999.
- [16] N.Benhmed , 'Optimisation de réseaux de neurones pour la reconnaissance de chiffres manuscrits isolés : sélection et pondération des primitives par algorithmes génétiques', Université de Québec, 2002.
- [17] M.Abdelhak , 'Etude et identification parametrique d'une cellule photovoltaïque organique', Magister en micro electronique, Université de Batna, 2011.
- [18] N.Lassouaoui et L.Hamami et N.Nouali, 'Les algorithmes génétiques application à la segmentation des images', Centre de Recherche sur l'Information Scientifique et Technique, Alger, 2004.
- [19] T.Vallee et M.Yildizoglu , 'Présentation des algorithmes génétiques et de leurs applications en économie', Université de Léon, 2001.
- [20] I.Chouchani, 'Utilisation d'un algorithme génétique pour la composition de service WEB', Mémoire de fin d'études, Université de Québec, 2010.

Résumé:

Dans ce travail, une approche basée sur les algorithmes génétiques (AGs) est utilisée pour extraire les paramètres électriques pour différents modules photovoltaïques. Basé sur les valeurs expérimentales extraites de la fiche technique, la technique des AGs est exploitée pour résoudre le modèle analytique du courant-tension de la cellule solaire à une seule diode. Les résultats analytiques trouvés par la technique des AGs sont comparés à ceux expérimentaux où un bon accord est trouvé. Les résultats indiquent que la technique d'algorithme génétique présente une meilleure stratégie conventionnelle d'extraction de paramètres, en termes de convergence et exactitude, elles fournissent des solutions optimales globales.

Mots clés: cellule solaire, algorithme génétiques, paramètre électriques, caractéristique courant-tension.

Abstract

In this work, an approach based on genetic algorithms (GAs) is used to extract the electrical parameters for different photovoltaic modules. Based on the experimental values extracted from the datasheet, the GA technique is exploited to solve the analytical model of the current-voltage of the single-diode solar cell. The obtained results by the GA are compared to the experimental ones where a good agreement is found. The results indicate that the genetic algorithm technique has a better conventional strategy of parameter extraction, in terms of convergence and accuracy, they provide global optimal solutions.

Key words: -solar cell, genetic algorithm, electrical parameters, current-voltage characteristic.

الملخص

في هذا العمل ، يتم استخدام نهج قائم على الخوارزميات الجينية (AGs) لاستخلاص المعلمات الكهربائية للوحدات الفولطاضوئية المختلفة. استنادا إلى القيم التجريبية المستخرجة من ورقة البيانات ، يتم استغلال تقنية AG لحل النموذج التحليلي للجهد الحالي للخلية الشمسية الثنائية الصمام الثنائي. تتم مقارنة النتائج التحليلية التي توصلت إليها تقنية AG مع النتائج التجريبية حيث تم العثور على اتفاق جيد. تشير النتائج إلى أن تقنية الخوارزمية الجينية لديها استراتيجية تقليدية أفضل لاستخراج المعلمات ، من حيث التقارب والدقة ، فهي توفر حلول مثالية عالمية.

الكلمات المفتاحية: الخلايا الشمسية ، الخوارزمية الجينية ، المعلمات الكهربائية ، خصائص التيار الكهربائي.