



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCCEN

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN PHYSIQUE

Spécialité : Modélisation, Simulation et Applications de la Physique

Par :

M^{elle} BOURSALI Wassila

Sur le thème

Modélisation et simulation de l'influence de la résistance série sur les caractéristiques $I(V)$ $P(V)$ d'une cellule photovoltaïque

Soutenue publiquement le 20/06/2017 devant le jury composé de :

Mr Smaine BEKHECHI	Professeur à l'Université de Tlemcen	Président
Mr Nabil Badr Eddine BRAHMI	MCB à l'Université de Tlemcen	Encadreur
Mr Tayeb BENOUAZ	Professeur à l'Université de Tlemcen	Examinateur
Mr Nasr-Eddine CHABANE SARI	Professeur à l'Université de Tlemcen	Examinateur
Mr Abdelkrim MERAD	Professeur à l'Université de Tlemcen	Examinateur
Mr Abdelhak CHIKHAOUI	MCA à l'Université de Tlemcen	Examinateur

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

Dédicaces

Je dédie ce travail :

Au meilleur homme au monde mon chère père

A la plus belle et tendre femme au monde ma chère maman

A ma chère cousine Nouria

A ma sœur Zahira

A mes sœurs Ibtissem, Faiza, leurs maris et leurs enfants

A la lumière unique de ma vie mon frère Mohammed Réda

A tout ma famille et mes amis

A mes amies Soumia, Nacéra, Zineb, B.Fouzia

A tous qui ont prié pour moi lors j'avais besoin

Wassila

Remerciements

Avant tout, je rends grâce à DIEU tout puissant de m'avoir accordé la volonté et le courage pour réaliser ce mémoire.

Au terme de ce travail je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur Mr BRAHMI Badr eddine Nabil Maître de conférence à l'Université de Tlemcen, pour sa grande disponibilité et ses précieux conseils.

Le Professeur Smaine BEKHECHI à l'université de Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen m'a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse.

Mes remerciements sont aussi adressés au Professeur BENOUAZ Tayeb de l'université de Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen et responsable du LAT, de son intérêt à mon travail et pour avoir acceptés de le juger.

Mes sincères remerciements sont adressés à Messieurs CHABANE SARI Professeur a l'université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen, MERAD Abdelkrim Professeur a l'université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen et CHIKHAOUI Abdelhak Maître de conférence à l'université de Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen qui ont bien voulu faire partie du jury de ce mémoire. Je les remercie vivement pour l'honneur qu'ils me font.

Ce Travail à été réalisé au sein du Laboratoire Automatique Tlemcen (LAT) de L'université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen, Faculté de Sciences. Il n'aurait pas pu se faire sans la collaboration de l'ensemble de ses membres M^{elle} S. Belbachir M^{elle} A.Benmansour . J'ai beaucoup profité de l'expérience et de la disponibilité de tous ceux avec qui j'ai eu l'occasion de discuter.

Ma gratitude va également a, Dr .S.AMARA et Dr.A.BENYOUCEF qui ont toujours su porter un regard critique sur mon travail et de m'avoir guidés tout au long de ce travail.

Je remercie profondément tous mes enseignants et professeurs pour la formation qu'ils m'ont dispensé pendant toute mes années d'études.

Mes remerciements s'adressent à tous les membres de département du physique.

Je remercie tous les collègues de ma promotion.

Je voudrais remercier aussi toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à mes recherches et à l'élaboration de ce mémoire.

Je terminerai en réservant une place toute particulière à ma cousine Nouria qui par sa patience et son appui de chaque instant m'a grandement facilité l'accomplissement de ce travail

Je suis très fier d'avoir fait face à tant de travail et de privations, rendus possible grâce aux encouragements permanents de mes parents qui j'adresse une pensée très tendre et a mon frère et a mes sœurs que j'adresse un grand remerciement pour leurs soutient

Boursali Wassila

Table des matières

Introduction Générale	2
I-Généralités sur les cellules photovoltaïques	6
I.1-Générateur photovoltaïque	6
I.1.1-Module photovoltaïque	7
I.1.2-Cellule photovoltaïque	7
I.1.3-Différents types de cellules photovoltaïques	7
I.1.3.1-Cellules au silicium monocristallin	8
I.1.3.2-Cellules au silicium poly-cristallin (ou multi-cristallin)	8
I.1.3.3-Cellules au silicium amorphe	8
I.1.4-Avantages et inconvénients de l'énergie solaire	9
I.1.4.1-Les avantages de l'énergie solaire	9
I.1.4.2-Inconvénients de l'énergie solaire	10
I.1.5-Principe de fonctionnement	10
I.2-Semi-conducteur	10
I.2.1-Jonction P-N	10
I.3 Conclusion	11
II-Modélisation d'une cellule photovoltaïque	14
II.1 Paramètres photovoltaïques	15
II.1.1 Courant de court-circuit	15
II.1.2 Tension en circuit ouvert	16
II.1.3 Facteur de forme	16
II.1.4 Rendement de conversion d'énergie	17

II.2- Caractéristique $P(v)$ d'une cellule photovoltaïque	17
II.3- Modèle électrique d'une cellule photovoltaïque PV	18
II.3.1 Modèles à une diode	18
II.3.1.1-Modèle à une diode avec trois paramètres	18
II.3.1.2-Modèle à une diode avec quatre paramètres	19
II.3.1.3-Modèle à une diode avec cinq paramètres	20
II.3.2-Modèles à deux diodes	21
II.3.2.1-Modèle à deux diodes avec cinq paramètres	21
II.3.2.2-Modèle à deux diodes avec six paramètres	22
II.3.2.3-Modèle à deux diodes avec sept paramètres	23
II.4- Conclusion	24
III- Influence de la résistance série sur la cellule photovoltaïque	27
A- Etude comparative des différents modèles des cellules PV	28
III.1.1- Etude expérimentale	28
III.1.1.1- Expérience et méthode de mesure	28
III.1.2- Simulation numérique	29
III.1.3- Calcul des grandeurs caractéristiques de la cellule PV	30
III.1.3.1- Calcul du courant maximal et la tension maximale	30
III.1.3.2- Calcul du facteur de forme	31
III.1.3.3- Calcul du rendement maximal	31
III.1.4- Analyse et interprétation des résultats	37
III.1.5- Conclusion	38
B- L'influence de la résistance série	39
III.2.1- Etude expérimentale :	39

III.2.1.1-Grandeurs caractéristiques expérimentales	42
III.2.2-Simulation numérique	43
III.2.2.1-Grandeurs caractéristiques numériques	43
III.2.3-Analyse des résultats	51
III.2.4-Conclusion	52
Conclusion Général	55

Table des Figures

Figure(I.1) : <i>Le lien entre les cellules</i>	7
Figure (1.2) : <i>Différence entre des cellules au silicium monocristallin et des cellules au silicium poly cristallin</i>	8
Figure (1.3) <i>Cellule amorphe</i>	8
Figure (I.4) : <i>Représentation d'une jonction P-N</i>	11
Figure(II.1) : <i>Système photovoltaïque</i>	14
Figure (II.2) : <i>Les caractéristiques I-V sure une cellule PV</i>	15
Figure(II.3) : <i>Caractéristique puissance-tension d'une cellule PV</i>	17
Figure (II.4) : <i>Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à une diode avec trois paramètres</i>	18
Figure (II.5) : <i>Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à une diode avec quatre paramètres</i>	19
Figure (II.6) : <i>Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à une diode avec cinq paramètres</i>	20
Figure (II.7) : <i>Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à deux diodes avec cinq paramètres</i>	21
Figure(II.8) : <i>Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à deux diodes avec six paramètres</i>	22
Figure (II.9) : <i>Schéma équivalent d'une cellule Modèle à deux diodes avec sept paramètres</i>	23
Fig. (III.1) : <i>Module PV</i>	28
Fig. (III.2) : <i>Le montage de l'expérience</i>	28
Figure(III.3) : <i>Le schéma équivalent de montage</i>	29
Fig. (III.4) : <i>la caractéristique I-V expérimentale</i>	32
Figure. (III.5) : <i>la caractéristique P-V expérimentale</i>	32
Figure. (III.6) : <i>la caractéristique I-V de simulation des modèles à une diode et des valeurs expérimentales</i>	33
Figure. (III.7) : <i>la caractéristique P-V de simulation des modèles à une diode et de valeurs expérimentales</i>	33
Figure.(III.8) : <i>la caractéristique I-V de simulation des modèles à deux diodes et des valeurs expérimentales</i>	34
Figure. (III.9) : <i>la caractéristique P-V de simulation des modèles à deux diodes et des valeurs expérimentales</i>	34
Figure. (III.10) : <i>la caractéristique I-V de simulation des modèles et des valeurs expérimentales</i>	35
Figure. (III.11) : <i>la caractéristique P-V de simulation des modèles et des valeurs expérimentales</i>	35
Figure. (III.12) : <i>La puissance maximale par les modèles</i>	36
Figure. (III.13) : <i>Le facteur de forme par les modèles</i>	36
Figure. (III.14) : <i>Le rendement maximal par les modèles</i>	37
Figure(III.15) : <i>Le montage de l'expérience</i>	39

Figure(III.16) : <i>Le schéma équivalent de montage expérimental.</i>	39
Figure(III.17) : <i>La caractéristique expérimentale I-V pour les différentes valeurs de R_s</i>	44
Figure(III.18) : <i>La caractéristique numérique I-V pour les différentes valeurs de R_s</i>	44
Figure(III.19) : <i>La caractéristique expérimentale I-V pour les différentes valeurs de R_s</i>	45
Figure(III.20) : <i>La caractéristique numérique P-V pour les différentes valeurs de R_s</i>	45
Figure(III.21) : <i>La variation de rendement maximale expérimentale en fonction de R_s</i>	46
Figure(III.22) : <i>La variation de Facteur de forme expérimentale en fonction de R_s</i>	46
Figure(III.23) : <i>La variation de la puissance maximale expérimentale en fonction de R_s</i>	47
Figure(III.24) : <i>La variation de rendement maximale numérique en fonction de R_s</i>	47
Figure(III.25) : <i>La variation de la puissance maximale numérique en fonction de R_s</i>	48
Figure(III.26) : <i>La variation de Facteur de forme numérique en fonction de R_s</i>	48
Figure(III.27) : <i>La variation de la tension de circuit ouvert numérique en fonction de R_s</i>	49
Figure(III.28) : <i>La variation de la tension de circuit ouvert expérimentale en fonction de R_s</i>	49
Figure(III.29) : <i>La variation de courant de court circuit numérique en fonction de R_s</i>	49
Figure(III.30) : <i>La variation de courant de court circuit expérimentale en fonction de R_s</i>	49
Figure(III.31) : <i>comparaison entre les valeurs numériques et expérimentales de la tension de circuit ouvert avec la variation de R_s</i>	50
Figure(III.32) : <i>comparaison entre les valeurs de courant de court circuit numériques et expérimentales avec la variation de R_s</i>	50

Liste des Tableaux

Le tableau (I.1) : <i>Avantages et inconvénients pour les technologies les plus utiliser d'une cellule photovoltaïque</i>	9
Tableau(III.1) : <i>Représentation des valeurs expérimentales de la tension, l'intensité du courant, la résistance R_h, la puissance d'un module PV du type poly-cristallin constituée de quatre cellule branché en série.</i>	29
Tableau (III.2) : <i>Les points maximaux pour les différents modèles</i>	31
Tableau (III.3) : <i>Variation de facteur de forme pour les différents modèles</i>	31
Tableau (III.4) : <i>Variation de rendement pour les différents modèles.</i>	31
Tableau(III.5) : <i>Représentation des valeurs expérimentales de la tension, l'intensité du courant, la résistance R_h, la puissance d'un module PV du type poly-cristallin constituée de quatre cellules branché en série, pour $R_s=1\Omega$.</i>	40
Tableau(III.6) : <i>Représentation des valeurs expérimentales de la tension, l'intensité du courant, la résistance R_h, la puissance d'un module PV du type poly-cristallin constituée de quatre cellule branché en série, pour $R_s=1.7\Omega$.</i>	40
Tableau(III.7) : <i>Représentation des valeurs expérimentales de la tension, l'intensité du courant, la résistance R_h, la puissance d'un module PV du type poly-cristallin constituée de quatre cellules branché en série, pour $R_s=5\Omega$.</i>	41
Tableau(III.8) : <i>Représentation des valeurs expérimentales de la tension, l'intensité du courant, la résistance R_h, la puissance d'un module PV du type poly-cristallin constituée de quatre cellules branchées en série, pour $R_s=10\Omega$.</i>	41
Tableau(III.9) : <i>Représentation des valeurs expérimentales de la tension, l'intensité du courant, la résistance R_h, la puissance d'un module PV du type poly-cristallin constituée de quatre cellules branchées en série, pour $R_s=20\Omega$.</i>	42
Tableau (III.10) : <i>Les grandeurs caractéristiques expérimentales pour chaque résistance R_s</i>	42
Tableau (III.11) : <i>Les grandeurs caractéristiques numériques pour chaque résistance R_s</i>	43

Liste des Symboles

η	rendement de conversion
Φ	intensité du flux incident (W/m^2)
I	courant électrique (A)
I_0	courant de saturation de la diode (A)
I_d	courant de la diode
I_{d1}	courant de la diode 1
I_{d2}	courant de la diode 2
I_{cc}	courant de court circuit (A)
I_{01}	courant de saturation de la diode 1(A)
I_{02}	courant de saturation de la diode 2(A)
I_m	valeur maximal du courant (A)
I_{ph}	Photo-courant (A)
K	constante de Boltzmann
n	facteur de qualité de la diode
n_1	facteur de qualité de la diode 1
n_2	facteur de qualité de la diode 2
P_m	puissance maximale délivrée par une cellule solaire (W)
q	charge de l'électron
R_s	résistance série (Ω)
R_p	résistance parallèle (Ω)
R_h	résistance de charge (Ω)
R_m	résistance optimale (Ω)
S	surface de la cellule (m^2)
T	température (K)
V_{co}	tension de circuit ouvert (V)
V	tension (V)
V_m	valeur maximale de la tension (V)
P_i	la capacité globale de la lumière contenue sur la cellule
P_{opt}	la puissance optimale de la cellule solaire
FF	Le facteur de forme

Notations

<i>PV</i>	photovoltaïque
1D3P	Modèle à une diode avec trois paramètres
1D4P	Modèle à une diode avec quatre paramètres
1D5P	Modèle à une diode avec cinq paramètres
2M5P	Modèle à deux diodes avec cinq paramètres
2M6P	Modèle à deux diodes avec six paramètres
2M7P	Modèle à deux diodes avec sept paramètres

Introduction Générale

Introduction Générale

Les sources d'énergie se répartissent en deux grands segments : les matières premières et les phénomènes naturels. De manière générale, les premières fournissent les énergies dites non renouvelable alors que les secondes fournissent les énergies dites renouvelables.

-Les énergies non renouvelables: Ceci est le genre de ressources qui sont en cours d'exécution avec le passage du temps quand il est utilisé de manière intensive, parce qu'ils existent dans la nature, ces sources sont rares, et causent la pollution à l'environnement, comme la source de combustible fossile, le gaz naturel, le pétrole, le charbon...

-Les énergies renouvelables: Les énergies renouvelables sont créées à partir de sources d'énergies naturelles et écologiques comme le soleil, le vent, l'eau, la marée ou les matières organiques, ces énergies sont issues de phénomènes naturels, réguliers ou constants qui les rendent inépuisables. Elles sont également parfois appelées énergies "vertes" ou "propres" car elles émettent moins de CO₂ que les énergies issues de sources fossiles. Aujourd'hui les différents gouvernements cherchent à accroître la part d'énergie d'origine renouvelable sur le marché de l'énergie afin de lutter pour la sauvegarde de l'environnement [2].

L'utilisation de l'énergie solaire comme source d'énergie électrique est la meilleure solution pour obtenir l'énergie libre et sans danger pour l'environnement, la quantité d'énergie du soleil qui atteint la terre par une journée ensoleillée est estimée à 1000W/m². Donc, si ces rayons peuvent fournir de l'énergie à travers l'ensemble des panneaux solaires qui sont placé sur les toits de nos maisons. Alors nous pouvons obtenir une énergie libre adéquate aux exigences de la vie quotidienne.

La conversion directe de la lumière du soleil en énergie électrique est l'une des principales réalisations scientifiques du 20^{ème} siècle, c'est la meilleure technologie actuellement utilisée dans le domaine des énergies renouvelables, cette technique a commencé depuis plusieurs décennies, mais on a introduit la phase d'exploitation réelle lorsqu'ils sont utilisés dans les programmes spatiaux à la fin des années cinquante, des milliers de dizaines de systèmes ont

été installés dans diverses applications telles que l'éclairage, les communications, la pompe à eau, des chargeurs de batterie, et le fonctionnement des réfrigérateurs, des médicaments et d'autres utilisations.

Dans notre pays, l'application du *PV* reste encore modeste. La première utilisation été dans le domaine des télécommunications, après, certain puits dans les hauts plateaux ont été équipés par des systèmes de pompages *PV*. A nos jours, quelques dizaines de village saharien de la région de Tamanrasset et Adrar jouissent des avantages de cette source d'énergie [1].

Le but de ce travail est de modéliser et simuler l'influence de la résistance série sur la caractéristique $I(v)$ $P(v)$ d'une cellule photovoltaïque, pour cela nous avons élaborés les trois chapitres :

➤ Dans le premier chapitre, l'étude sera consacrée à la conversion photovoltaïque. On donnera quelques généralités sur les cellules photovoltaïques, les différents types de cellules solaires et leurs principes de fonctionnement.

➤ Dans le deuxième chapitre on va présenter les paramètres photovoltaïques et les différents modèles électriques des cellules solaires.

➤ Le troisième chapitre qui est le plus important, on la subdiviser en deux grandes parties :

-La première partie : Consiste à étudier l'influence de la résistance série pour les différents modèle de cellules *PV*, Pour cela on va étudier la variation de courant-tension et puissance-tension de chaque modèle avec une comparaison à l'expérience afin de choisir le ou les modèles adapter a notre étude.

-La deuxième partie : cette partie elle va être consacré a l'étude de l'influence de la résistance série sur le ou les modèles choisies lors de la première partie ou on va comparer les résultats expérimentales obtenue au Laboratoire pédagogique des énergies renouvelables du Département de Physique faculté des Sciences université de Tlemcen aux calculs numériques.

Une conclusion termine notre travail.

Références

- [1] Tarek Bouguerra, (2014), *Optimisation d'un système photovoltaïque : Application en continu et en alternatif*, Mémoire De Magister, Constantin
- [2] <https://www.planete-oui.fr/tout-savoir-sur/faq/mon-offre-100-renouvelable>

Chapitre I

Généralités sur les cellules photovoltaïques

Chapitre I

Généralités sur les cellules photovoltaïques

L'énergie est l'ingrédient le plus nécessaire pour maintenir la vie sur la terre. Elle est impliquée dans tous les domaines de la vie, sans exception, parce que l'énergie lumineuse aide l'être humain pour voir les choses, et obtenir la chaleur nécessaire pour alimenter son corps.

Nous pouvons utiliser cette énergie de plusieurs manières :

- Energie passive : utilisation direct du rayonnement solaire.
- Energie thermique : utilisé la chaleur du rayonnement solaire.
- Energie photovoltaïque : transformé le rayonnement solaire en électricité grâce à des cellules photovoltaïques.

Dans ce chapitre on va donner des généralités sur les systèmes photovoltaïques, les différents types de ces cellules, leurs fonctionnements, et les avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

I.1-Générateur photovoltaïque

Un générateur solaire photovoltaïque est composé de modules photovoltaïques eux même composés de cellules photovoltaïques élémentaires connectées entre elle en série et/ou en parallèle.

Toutes les cellules composent un module photovoltaïque doivent être identiques. Les cellules sont soudées deux à deux par un ou plusieurs collecteurs métalliques en forme de ruban comme on peut le voir sur la figure (I.1). Les rubans adhèrent par soudure à la cellule grâce à une lamelle de cuivre [7].

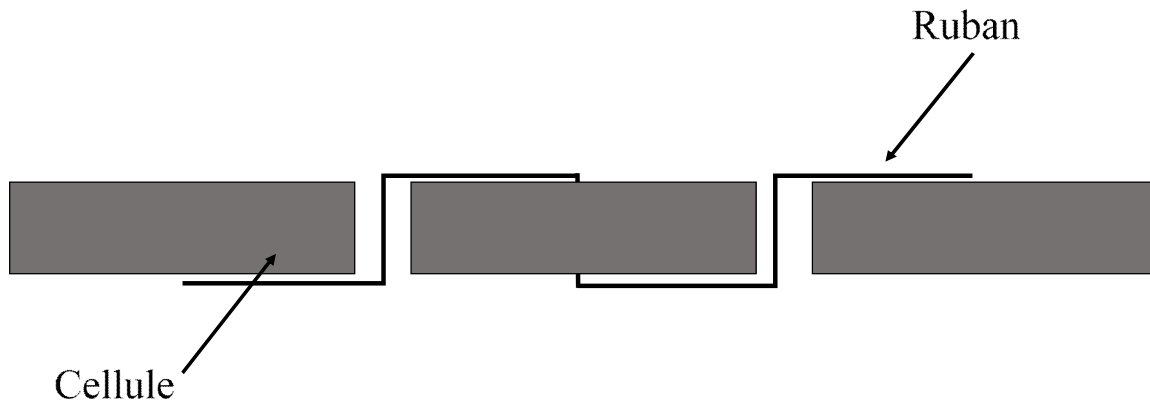


Figure (I.1) :
Le lien entre les cellules

I.1.1-Module photovoltaïque

Le module photovoltaïque est le principal ingrédient dans les systèmes d'énergie solaire composé du plusieurs cellules qui produisent de l'électricité qui est stockée dans des batteries solaires.

I.1.2-Cellule photovoltaïque

Le mot photovoltaïque signifie la nature de travail de la cellule « *Photo* » signifie la lumière et « *Voltaïque* » signifie l'électricité, qui veut dire la conversion de la lumière du soleil en électricité.

On peut donc dire que les cellules solaires sont l'unité de construction principale dans tout système solaire pour produire de l'électricité si elle est exposée directement à la lumière solaire.

I.1.3-Différents types de cellules photovoltaïques

Il existe plusieurs types des cellules qui se différencient par les matériaux utilisés pour les construire, en dehors du prix. Le choix d'un type de cellule n'a que peu de conséquences pour l'utilisateur.

Il existe trois types principaux disponibles sur le marché qui sont :

I.1.3.1-Cellules au silicium monocristallin

Les cellules au silicium monocristallin sont obtenues à partir du refroidissement du silicium fondu qui se solidifie en ne formant qu'un seul cristal.

I.1.3.2-Cellules au silicium poly-cristallin (ou multi-cristallin)

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux qui ne sont pas uniforme d'où on distingue des motifs. Les cellules poly-cristallines sont reconnaissables aux formes irrégulières des cristaux qui apparaissent nettement à l'œil nu [8].

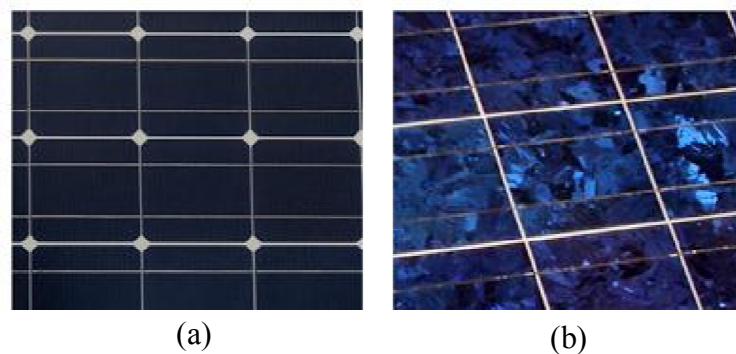


Figure (I.2) :
Différence entre des cellules au silicium monocristallin (a) et des cellules au silicium poly cristallin (b)

I.1.3.3-Cellules au silicium amorphe

Les cellules au silicium amorphe sont des cellules à couche mince, c'est-à-dire qu'elles sont fabriquées en déposant une fine couche de silicium sur un support (ou "substrat"), par exemple du verre. L'épaisseur de silicium utilisée est beaucoup plus faible que pour les cellules mono ou poly-cristallines qui sont réalisées à partir de tranches de silicium.

Les cellules au silicium amorphes sont beaucoup utilisées pour l'alimentation de petits appareils solaires (montre, calculatrice...) [8].



Figure (I.3) :
Cellule amorphe

Les avantages et les inconvénients de différentes technologies de la fabrication des cellules photovoltaïques (PV) sont représenté dans le tableau suivant

Le tableau (I.1) : Avantages et Inconvénients pour les technologies les plus utilisé d'une cellule photovoltaïque.

Type	Durée de vie	Avantages	Inconvénients
Cellule en Silicium Monocristallin	+/- 30 ans	<ul style="list-style-type: none"> • Très bon rendement (environ 150Wc/m²) • Durée de vie importante 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût élevé • Rendement faible sous un faible éclairement
Cellule en Silicium Poly-cristallin	+/- 30 ans	<ul style="list-style-type: none"> • Bon rendement (environ 100Wc/m²) • Durée de vie importante • Meilleur marché que le monocristallin 	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement faible sous un faible éclairement.
Cellule silicium Amorphe en Couche mince	+/- 10 ans	<ul style="list-style-type: none"> • Fonctionnent avec un éclairement faible • Bon marché par rapport aux autres types de cellules • Moins sensible aux températures élevées 	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement faible en plein soleil (environ 60Wc/m²) • Durée de vie courte

I.1.4-Avantages et inconvénients de l'énergie solaire

L'énergie solaire est l'une des énergies renouvelables les plus importantes, elle a plusieurs points positifs, mais il y a aussi quelques inconvénients.

I.1.4.1-Avantages de l'énergie solaire

L'énergie solaire dispose d'une gamme de fonctionnalités d'où on peut noter les avantages les plus importants :

- ✓ L'énergie solaire est la meilleure solution dans les zones reculées qui ne sont pas atteints par les lignes électriques publiques.
- ✓ L'alimentation électrique issue de l'énergie solaire n'est pas polluante et ne produit aucun bruit comme dans le cas des générateurs électriques.
- ✓ Bien que le coût de la création de systèmes d'énergie solaire est cher, mais vous ne payez pas la facture d'électricité pour votre consommation.
- ✓ Vous pouvez installer des systèmes solaires sur les toits ou même sur le dos des places de stationnement comme une solution pour le manque d'espace.

I.1.4.2-Inconvénients de l'énergie solaire

Bien que l'énergie solaire est facilement obtenus, mais elle peut représenter certaines inconvénients :

- ✓ L'énergie solaire ne peut pas être générée, durant les heures de non ensoleillement.
- ✓ Le brouillard et les nuages réduit l'efficacité des systèmes d'énergie solaire.
- ✓ Les panneaux solaires doivent être constamment propres et exempts de poussière afin qu'il puisse fonctionner efficacement.
- ✓ Le cout de l'installation de ce système est très cher.

I.1.5-Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'une installation solaire photovoltaïque est relativement simple. Il s'agit de convertir le rayonnement du soleil en électricité, cette opération repose sur un phénomène physique appelé *effet photovoltaïque*. L'effet photovoltaïque permet à certains matériaux d'émettre des électrons lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Une cellule photovoltaïque est constituée d'un de ces matériaux, généralement du silicium qui est toujours disponible dans la nature, et conçue de telle façon que les électrons émis soient récupérés pour former un courant électrique. Les cellules sont assemblées pour créer un courant suffisamment élevé pour être exploité [9].

I.2-Semi-conducteur

La conversion photovoltaïque se produit dans des matériaux semi-conducteurs. Les électrons contenus dans la matière ne peuvent circuler que si on leur apporte une énergie pour les libérer de leurs atomes. Quand la lumière pénètre dans un semi-conducteur, ses photons apportent une énergie permettant aux électrons de se libérer et de se déplacer dans la matière, il y a donc courant électrique sous exposition à la lumière [4].

Le matériau semi-conducteur comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit d'électrons. Ces deux parties sont respectivement dites « dopées » de type N et de type P. Le dopage des cristaux de silicium consiste à leur ajouter d'autres atomes pour améliorer la conductivité du matériau [10].

I.2.1-Jonction P-N

La cellule solaire se compose essentiellement de deux couches de silicium de matériau semi-conducteur, la couche supérieure de type négatif (type N), et la couche inférieure de type positif (type P) :

- *Type-N* : Le dopant est le phosphore
- *Type-P* : atome de bore

Lors de la liaison de ces deux couches différentes les unes aux autres apparaîtra une ligne de contact entre les deux appelée (Jonction P-N), cette jonction se compose d'un champ électrique dans la zone de couture.

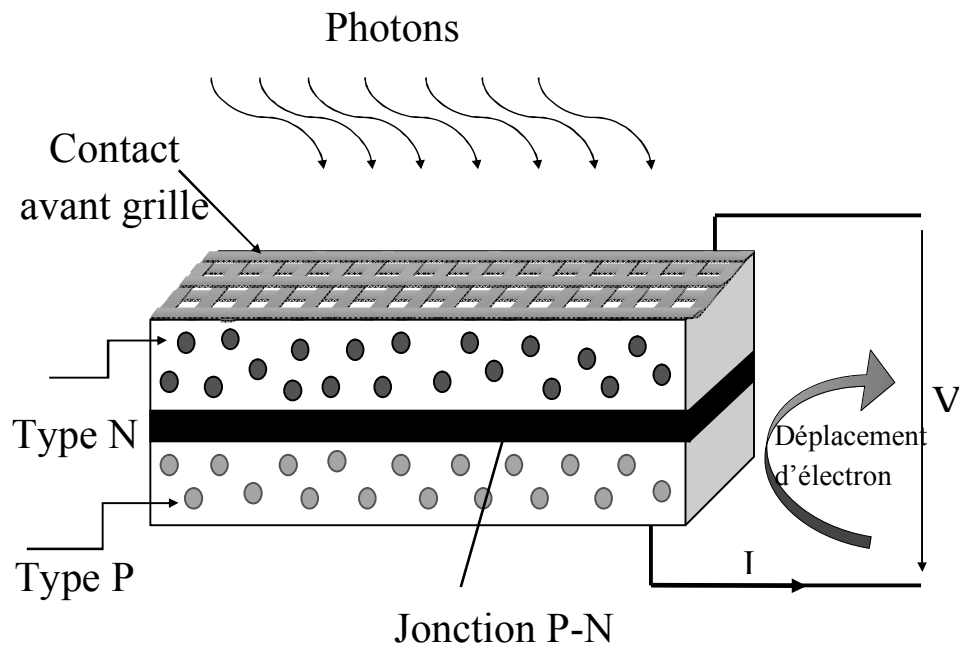


Figure (I.4) :
Représentation d'une jonction P-N

I.3-Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu que l'énergie solaire convertie en source d'énergie électrique est la meilleure solution pour obtenir l'énergie libre et sans danger pour l'environnement, cette énergie électrique est produite par des cellules photovoltaïques. Nous avons présenté le fonctionnement des cellules solaires ce qui nous permet d'introduire les modèles de ce système et tirer la caractéristique $I-V$ à partir de ces circuits, où ils vont être traité dans le chapitre II.

Références

- [1] **W.C.Benmoussa, S.Amara et A.Zerga**, (2007), « *Etude comparative des modèles de la caractéristique courant-tension d'une cellule solaire au silicium monocristallin* », Université de Tlemcen.
- [2] **Alexandra Catana**, (Novembre 2009), *Quelle source d'énergie pour les vingt prochaines années ? Le solaire, une solution*, 3M7 Assistée par L. de Schoulepnikoff Gymnase Auguste Piccard.
- [3] **Hassinée Belhitri Houda**, (2010), *Modélisation, Simulation Et Optimisation d'un Système Hybride Eolien-Photovoltaïque*, Mémoire De Magister, Université de Tlemcen.
- [4] **Jean-Paul Braun, Benjamin Faraggi**, (2010), *Cellules solaires Les bases de l'énergie photovoltaïque (5e édition)*, Paris
- [5] **Elsy Mansour**, (2012), *Modélisation des panneaux photovoltaïques sur compact rio*, Université Libanaise Faculté de Génie II.
- [6] **Tarek Bouguerra**, (2014), *Optimisation d'un système photovoltaïque : Application en continu et en alternatif*, Mémoire De Magister, Université de Constantine.
- Références Web :
- [7] http://www.photovoltaique.guidenr.fr/II_2_assemblage-cellule-photovoltaique.php
- [8] http://www.ecosources.info/dossiers/Types_de_cellules_photovoltaiques
- [9] <http://energie-developpement.blogspot.com/2011/09/fonctionnement-dune-installation.html>
- [10] <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-photovoltaique>

Chapitre II

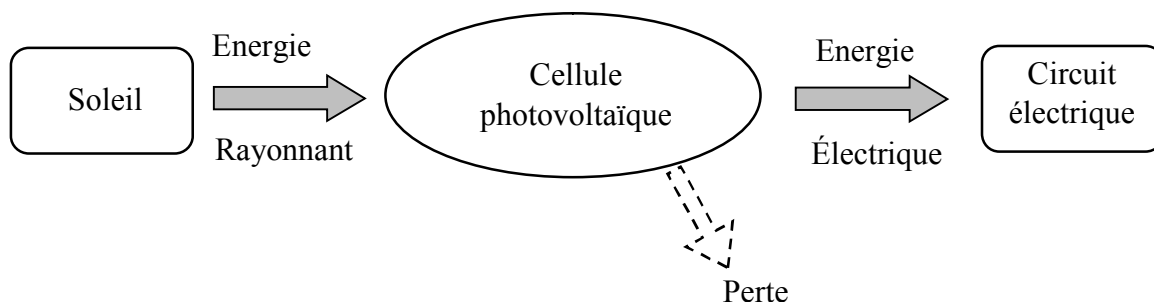
Modélisation d'une cellule photovoltaïque

Chapitre II

Modélisation d'une cellule photovoltaïque

Le module photovoltaïque est représenté généralement par un circuit équivalent dont les paramètres sont calculés expérimentalement en utilisant la caractéristique courant-tension. Dans la littérature, il existe plusieurs types des circuits équivalents de la cellule photovoltaïque.

Dans ce chapitre on va formuler des circuits équivalents de façon générale en décrivant les différents modèles électriques des cellules solaires.



Figure(II.1) :

Système photovoltaïque

II.1-Paramètres photovoltaïques

Sous un éclairage donné, toute cellule photovoltaïque est caractérisée par une courbe courant-tension ($I-V$) représentant l'ensemble des configurations électriques que peut prendre la cellule.

La caractéristique $I(V)$ représente les trois zones essentielles :

- **La zone (1)** : où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.
- **La zone (2)** : représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.
- **La zone (3)** : qui se distingue par une variation de courant correspondant à une tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension [7].

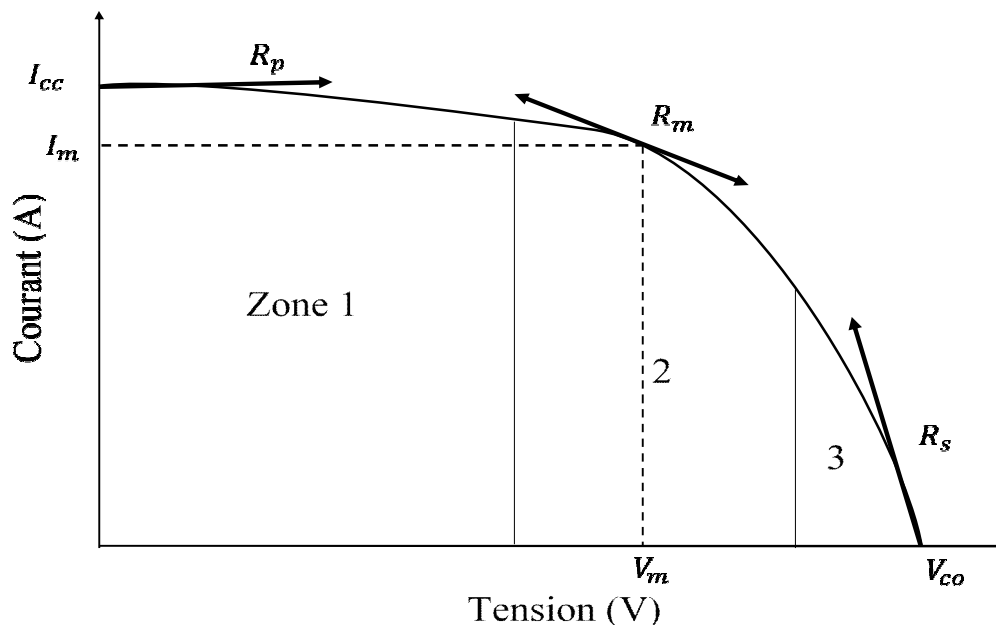


Figure (II.2) :
Les caractéristiques I-V d'une cellule PV

Deux grandeurs physiques définissent cette courbe, qui sont, le courant de court-circuit et la tension en circuit ouvert.

II.1.1-Courant de court-circuit

Le courant de court-circuit noté I_{cc} : il s'agit du courant qui traverse la cellule photovoltaïque lorsque celle-ci est court-circuit, c'est-à-dire lorsque le pôle (+) est relié au pôle(-) (la tension à ses bornes est alors nulle). Dans ce cas, la puissance fournie par la cellule est nulle [11].

L'expression approchée du courant de court-circuit est donnée par :

$$I_{cc} = \frac{I_{ph}}{1 + \frac{R_s}{R_p}} \quad (\text{II.1})$$

Où :

I_{ph} : Photo courant (A)

R_p : Résistance parallèle.

R_s : Résistance série qui est due aux différentes résistances électriques que le courant rencontre sur son parcours.

II.1.2-Tension en circuit ouvert

La tension en circuit ouvert notée V_{co} : il s'agit de la tension aux bornes de la cellule lorsque celle-ci est en circuit ouvert, c'est-à-dire lorsque le pôle (+) et le pôle (-) sont isolés électriquement de tout autre circuit électrique (le courant la traversant est alors nul). Dans ce cas, la puissance fournie par la cellule est nulle [1-11].

$$V_{co} = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{I_{cc}}{I_0} + 1\right) \quad (\text{II.2})$$

Avec :

q : Charge de l'électron = $1,602 \cdot 10^{-19}$ *Coulomb*

K : Constante de Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23}$ *J/K*

T : Température effective de la cellule (*Kelvin*)

I_0 : Représente le courant de saturation inverse de diode (A)

II.1.3-Facteur de forme

La puissance fournie au circuit extérieure par une cellule photovoltaïque sous éclairage dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes de la cellule) [4], cette puissance est maximale pour un point de fonctionnement $P_m (I_m, V_m)$ de la courbe courant-tension.

Le facteur de forme FF c'est le rapport entre la puissance maximale fournie par la cellule et le produit ($I_{cc} \cdot V_{co}$) il est défini par la relation suivante :

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{cc} V_{co}} \quad (\text{II.3})$$

II.1.4-Rendement de conversion d'énergie

Le rendement η des cellules photovoltaïque désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximal délivré par la cellule et la puissance reçue par cette dernière [4].

$$\eta = \frac{V_m I_m}{\phi S} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

S : Surface de la cellule solaire.

ϕ : Flux incident.

(I_m, V_m) : Coordonnées du point de fonctionnement.

II.2-Caractéristique $P(V)$ d'une cellule photovoltaïque

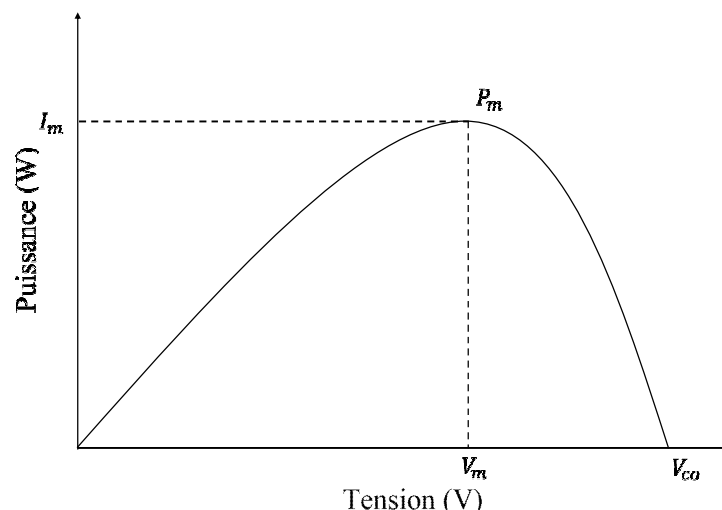
La puissance électrique délivrée par une cellule photovoltaïque est le produit de la tension par le courant qu'elle génère, ces deux grandeurs, courant et tension, dépendent à la fois des propriétés électriques de la cellule mais aussi de la charge électrique à ses bornes. Les propriétés électriques de la cellule sont synthétisées dans un graphe qu'on appelle caractéristique courant-tension (voir la figure II.2). Tout dipôle électrique est entièrement défini par sa caractéristique courant-tension, qui lui est propre [11].

La puissance fournie par la cellule est tout simplement le produit du courant et de la tension.

L'expression de puissance est donnée par l'équation suivante :

$$P = I \cdot V \quad (\text{II.5})$$

A partir de la caractéristique courant-tension, il est intéressant de dessiner le graphe de la puissance en fonction de la tension V (figure(II.3)), qu'on appelle aussi caractéristique puissance-tension



Figure(II.3) :

Caractéristique puissance-tension d'une cellule PV

II.3-Modèle électrique d'une cellule photovoltaïque PV

Le modèle électrique d'une cellule solaire est composé d'une source de courant idéale, branchée avec une ou deux diodes en parallèle et une résistance série R_s . La première diode D1 décrit les propriétés de semi-conducteur de la cellule et la seconde D2 modélise le phénomène de recombinaison des porteurs de charge [2].

Il existe plusieurs modèles pour étudier la variation de la puissance maximale et la caractéristique courant-tension, dans notre travail on va s'intéresser aux modèles à une diode et deux diodes.

II.3.1-Modèles à une diode

II.3.1.1-Modèle à une diode avec trois paramètres

Une Cellule photovoltaïque idéal peut être décrite de manière simple comme une source idéale de courant qui produit un courant I_{ph} proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode [8].

Nous allons donner le circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque à trois paramètres à une seule diode comme il est illustré sur la figure (II.4).

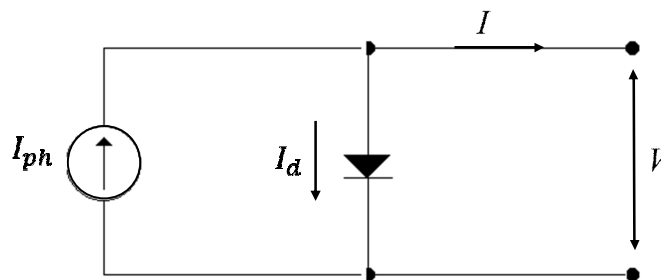


Figure (II.4) :
Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à une diode
Avec trois paramètres

Les trois paramètres de ce circuit sont : Photo-courant ($I_{ph}(A)$), Facteur d'idéalité (n) et Le courant de saturation inverse de la diode ($I_0 (A)$).

Grâce au schéma équivalent (figure II.4) et en appliquant les lois de Kirchhoff on obtient les équations suivantes :

$$I_{ph} - I_d = 0 \quad (\text{II.6})$$

$$I = I_{ph} - I_d \quad (\text{II.7})$$

Le courant de la diode est donné par la formule suivante :

$$I_d = I_0 \left(\exp\left(\frac{qV}{KTn}\right) - 1 \right) \quad (\text{II.8})$$

On remplace l'équation (II.8) dans l'équation (II.7) on obtient l'équation générale de ce modèle :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left(\frac{qV}{KTn}\right) - 1 \right) \quad (\text{II.9})$$

II.3.1.2-Modèle à une diode avec quatre paramètres

Le modèle à quatre paramètres traite la cellule PV comme une source de courant, dépendante l'éclairement, connecté en parallèle avec une diode en série avec une résistance série R_s .

La figure(II.5) illustre le circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque à quatre paramètres à une diode.

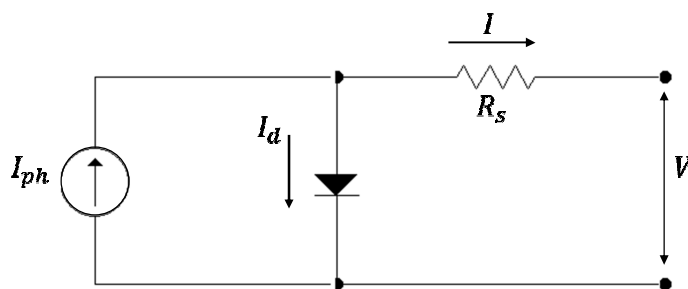


Figure (II.5) :
Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à une diode avec quatre paramètres

La différence de ce modèle par rapport au modèle précédent c'est le quatrième paramètre qui est la résistance $R_s(\Omega)$, cette dernière représente une perte de tension en sortie.

L'équation caractéristique est déduite d'une manière directe à partir des lois de Kirchhoff

$$I = I_{ph} - I_d \quad (\text{II.10})$$

Le courant de diode est donné par la formule suivante :

$$I_d = I_0 \left(\exp\left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn}\right) - 1 \right) \quad (\text{II.11})$$

On remplace l'équation (II.11) dans l'équation (II.10) on obtient l'équation générale de ce modèle :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn}\right) - 1 \right) \quad (\text{II.12})$$

II.3.1.3-Modèle à une diode avec cinq paramètres

Dans le cas d'une cellule *PV* réel, on observe une perte de tension en sortie ainsi que des courants de fuite.

On modélise donc cette perte de tension par une résistance R_s et les courants de fuite par une résistance parallèle R_p [3].

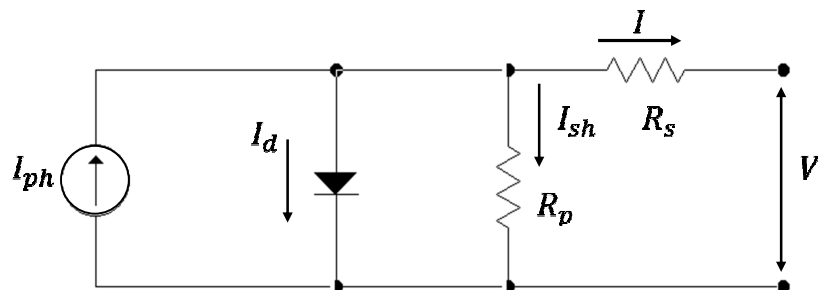


Figure (II.6) :
Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à une diode
Avec cinq paramètres

La différence de ce modèle par rapport au modèle précédent c'est le cinquième paramètre qui est la résistance $R_p(\Omega)$.

Grâce au schéma équivalent (figure II.6) et en utilisant les lois de Kirchhoff on aura les équations suivantes :

$$I = I_{ph} - I_{sh} - I_d \quad (\text{II.13})$$

Le courant de la diode est donné par la formule suivante :

$$I_d = I_0 \left(\exp \left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn} \right) - 1 \right) \quad (\text{II.14})$$

Le courant de la résistance parallèle est donné par la relation :

$$I_{sh} = \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (\text{II.15})$$

On remplace les équations (II.14) et(II.15) dans l'équation (II.13) on obtient l'équation générale de ce modèle :

$$I = I_{ph} - \frac{V + R_s I}{R_p} - I_0 \left(\exp \left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn} \right) - 1 \right) \quad (\text{II.16})$$

II.3.2-Modèles à deux diodes

II.3.2.1-Modèle à deux diodes avec cinq paramètres

Nous avons, cette fois-ci, deux diodes, et le circuit équivalent de ce modèle est obtenu en utilisant un circuit réalisé par la connexion en parallèle de deux diodes, comme il est illustré sur la figure (II.7).

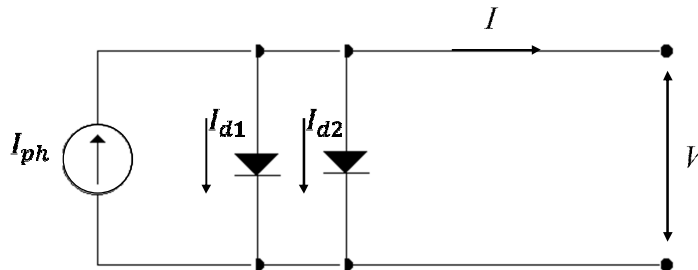


Figure (II.7) :
Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à deux diodes
Avec cinq paramètres

Les cinq paramètres de ce circuit sont : photo-courant ($I_{ph}(A)$), facteur d'idéalité de diode1 (n_1), Facteur d'idéalité de diode2 (n_2), le courant de saturation inverse de la diode1 ($I_{01}(A)$) et le courant de saturation inverse de la diode2 ($I_{02}(A)$).

Grâce au schéma équivalent (figure II.7) et en utilisant les lois de Kirchhoff on obtient les équations suivantes :

$$I = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} \quad (\text{II.17})$$

Les diodes étant des éléments, sa caractéristique $I-V$ est donnée par les relations :

$$I_{d1} = I_{01} \left(\exp\left(\frac{qV}{KTn_1}\right) - 1 \right) \quad (\text{II.18})$$

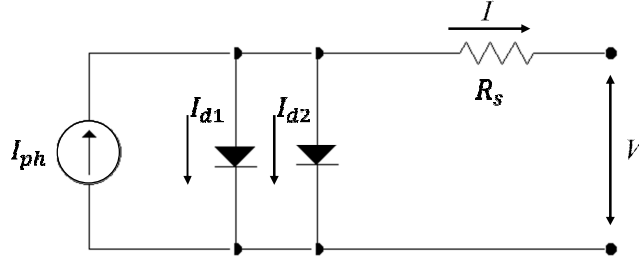
$$I_{d2} = I_{02} \left(\exp\left(\frac{qV}{KTn_2}\right) - 1 \right) \quad (\text{II.19})$$

On remplace les équations (II.18) et (II.19) dans l'équation (II.17) on obtient l'équation générale de ce modèle :

$$I = I_{ph} - I_{01} \left(\exp\left(\frac{qV}{KTn_1}\right) - 1 \right) - I_{02} \left(\exp\left(\frac{qV}{KTn_2}\right) - 1 \right) \quad (\text{II.20})$$

II.3.2.2-Modèle à deux diodes avec six paramètres

Le modèle à deux diodes avec six paramètres traite la cellule *PV* comme une source de courant, dépendante de l'éclairement, branchée avec deux diodes en parallèle et une résistance R_s . Le circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque à deux diodes avec six paramètres est illustré sur la figure(II.8).



Figure(II.8) :

*Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à deux diodes
Avec six paramètres*

La différence de ce modèle par rapport au modèle précédent c'est le sixième paramètre qui est la résistance R_s .

L'équation caractéristique est déduite d'une manière directe à partir des lois de Kirchhoff

$$I = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} \quad (\text{II.21})$$

Les diodes étant des éléments, sa caractéristique $I-V$ est donnée par les relations :

$$I_{d1} = I_{01} \left(\exp \left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn_1} \right) - 1 \right) \quad (\text{II.22})$$

$$I_{d2} = I_{02} \left(\exp \left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn_2} \right) - 1 \right) \quad (\text{II.23})$$

On remplace les équations (II.22) et (II.23) dans l'équation (II.21) on obtient l'équation générale de ce modèle :

$$I = I_{ph} - I_{01} \left(\exp \left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn_1} \right) - 1 \right) - I_{02} \left(\exp \left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn_2} \right) - 1 \right) \quad (\text{II.24})$$

II.3.2.3-Modèle à deux diodes avec sept paramètres

Nous avons, cette fois-ci, sept paramètres, et le schéma du circuit équivalent pour un modèle à deux diodes devient :

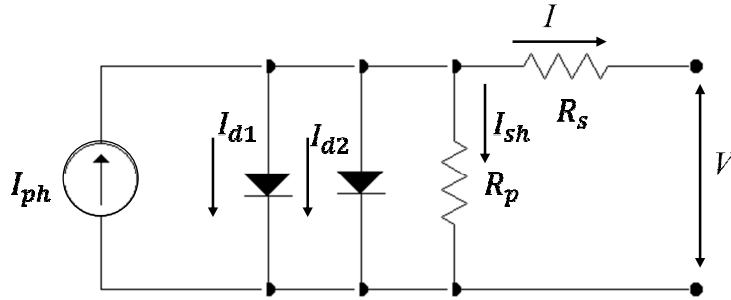


Figure (II.9) :
Schéma équivalent d'une cellule Modèle à deux diodes
Avec sept paramètres

La différence de ce modèle par rapport au modèle précédent c'est le septième paramètre qui est la résistance R_p .

L'équation caractéristique est déduite d'une manière directe à partir des lois de Kirchhoff

$$I = I_{ph} - I_{sh} - I_{d1} - I_{d2} \quad (\text{II.25})$$

Les diodes étant des éléments non linéaires, sa caractéristique I - V est donnée par les relations :

$$I_{d1} = I_{01} \left(\exp \left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn_1} \right) - 1 \right) \quad (\text{II.26})$$

$$I_{d2} = I_{02} \left(\exp \left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn_2} \right) - 1 \right) \quad (\text{II.27})$$

Le courant de la résistance parallèle est donné par la relation :

$$I_{sh} = \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (\text{II.28})$$

On remplace les équations (II.26), (II.27) et (II.28) dans l'équation (II.25) on obtient l'équation générale de ce modèle :

$$I = I_{ph} - \frac{V + R_s I}{R_p} - I_{01} \left(\exp \left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn_1} \right) - 1 \right) - I_{02} \left(\exp \left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn_2} \right) - 1 \right) \quad (\text{II.29})$$

II.4-Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les paramètres d'une cellule photovoltaïque. Les six modèles ont été évalués et chaque modèle est présenté par un circuit équivalent basé sur la modélisation mathématique de la courbe courant-tension.

Dans le chapitre suivant on va analyser les résultats obtenus par l'expérience faite au laboratoire pédagogique des énergies renouvelables du département de Physique, faculté des sciences, université de Tlemcen avec la simulation numérique, puis on va les comparer pour choisir le ou les modèles adaptés afin d'étudier l'influence de la résistance série.

Références

- [1] **W.C. Benmoussa, S. Amara et A. Zerga**, (2007), « *Etude comparative des modèles de la caractéristique courant-tension d'une cellule solaire au silicium monocristallin* », Université de Tlemcen
- [2] **Belhadj Mohammed**, (2008), *Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome*, Université de Bechar
- [3] **A.T.SINGO**, (2010), *Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome* Thèse de doctorats, université Henri Poincaré, Nancy I
- [4] **Hassini née Belghitri Houda**, (2010), *Modélisation, Simulation Et Optimisation d'un Système Hybride Eolien-Photovoltaïque*, Mémoire De Magister, Université de Tlemcen
- [5] **Jean-Paul Braun, Benjamin Faraggi**, (2010), *Cellules solaires Les bases de l'énergie photovoltaïque (5e édition)*, Paris
- [6] **Nouar, A. O. U. N.** (2010). *Etude et modélisation des différents modèles de la cellule photovoltaïque établis sur base de valeurs nominales*, Doctoral dissertation, Thèse de Magister, Université de Constantine. Algérie.
- [7] **Elsy Mansour**, (2012), *Modélisation des panneaux photovoltaïques sur compact rio*, Université Libanaise Faculté de Génie II
- [8] **Otmane Benseddik, Fathi Djaloud**, (2012), *Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque*, Université de Ouargla
- [9] **BENCHERIF, M.** (2013). *Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension*, Thèse de doctorats, Université de Tlemcen.
- [10] **Mr Ferouani Abdelmadjid**, (2016), *Etude par Simulation et Modélisation Electriques des Cellules Photovoltaïques en Couche Mince à base de Cu (In, Ga) Se 2 (CIGS)*, Thèse de doctorats, Université de Tlemcen.
- [11] <http://www.photovoltaique.guidenr.fr/cours-photovoltaïque-autonome-1/caracteristique-courant-tension-cellule-photovoltaïque.php>

Chapitre III

Influence de la résistance série sur la cellule photovoltaïque

Chapitre III

Influence de la résistance série sur une cellule photovoltaïque

Les performances des cellules photovoltaïques sont limitées pour différentes pertes d'énergie, ces pertes sont liées aux paramètres physiques et technologiques de la cellule *PV*, elles sont assimilable à deux résistances série et parallèle. La résistance série est due à la contribution des résistances de base et du front de la jonction et des contacts face avant et arrière [2].

La résistance série de cellule solaire est un paramètre parasite qui dégrade l'efficacité d'une bonne cellule, elle affecte non seulement les caractéristiques lumineuses, mais le courant dans les sombres caractéristiques est également considérablement réduit [1].

Notre travail consiste à l'étude de l'influence de la résistance série R_s sur la caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$, cette influence est très importante aux forts niveaux de polarisation au voisinage de V_{co} .

Dans ce chapitre on va traiter une étude numérique des différents modèles afin de les comparer aux résultats expérimentaux réalisés au niveau de laboratoire pédagogique des énergies renouvelables du département de physique faculté des sciences université de Tlemcen pour choisir la ou les méthodes de modélisation les mieux adapter à notre étude, puis on va étudier l'influence de la résistance série sur une cellule photovoltaïque où on va comparais les résultats expérimentaux ou simulation numériques.

A. Etude comparative des différents modèles des cellules PV

III.1.1-Etude expérimentale

L'expérience est faite sur un module PV de type poly-cristallin constituée de quatre cellules branchées en série (Figure II.1), les mesures ont été effectuées à température de 294.15 K, pour un flux $\phi=250 \text{ W/m}^2$ et une résistance variable Rh .



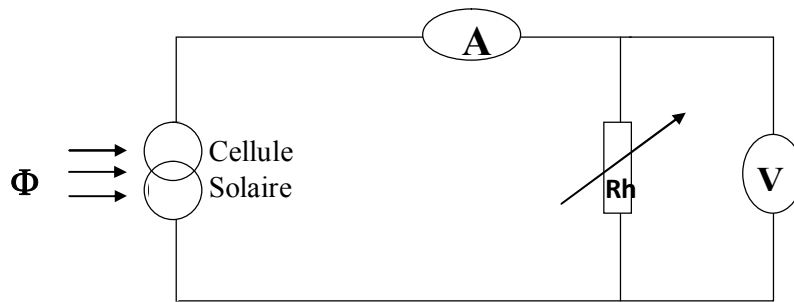
Fig. (III.1) :
Module PV

III.1.1.1-Expérience et méthode de mesure

On a met la cellule, la résistance Rh et l'ampèremètre, respectivement en série, et on a relie le voltmètre au borne de la résistance Rh comme il est montré sur la figure(III.2) et(III.3).



Fig. (III.2):
Le montage de l'expérience



Figure(III.3):
Le schéma équivalent de montage

Ensuite, on va éclairer la cellule PV avec une lumière d'intensité de 250W/m² on varie la résistance R_h pour obtenir les valeurs de l'intensité de courant et de tension.

Les valeurs obtenues sont données dans le tableau suivant :

Tableau(III.1) : Représentation des valeurs expérimentales de la tension, l'intensité du courant, la résistance R_h , la puissance d'un module PV du type polycristallin constitué de quatre cellules branchées en série.

$V(\text{Volt})$	$I(\text{A})$	$R_h(\Omega)$	$P(\text{W})$
0.0100	0.1101	0.0908	0.0011
0.0600	0.1100	0.5455	0.0066
0.1100	0.1100	1.0000	0.0121
0.2600	0.1096	2.3723	0.0285
0.3800	0.1093	3.4767	0.0415
0.5200	0.1091	4.7663	0.0567
0.9100	0.1084	8.3948	0.0986
1.2600	0.1074	11.7318	0.1353
1.6100	0.0976	16.4959	0.1571
1.7200	0.0874	19.6796	0.1503
1.8500	0.0697	26.5423	0.1289
1.9000	0.0586	32.4232	0.1113
1.9700	0.0442	44.5701	0.0871
2.0100	0.0340	59.1176	0.0683
2.0300	0.0296	68.5811	0.0601
2.0700	0.0188	110.1064	0.0389
2.1000	0.0103	203.8835	0.0216
2.1200	0.0063	336.5079	0.0134

D'après le tableau(III.1), on peut tirer les grandeurs caractéristiques (I_{cc} , V_{co}) de la cellule PV. À $I=0$, $V=V_{co}$, donc $V_{co}=2.3/4=0.53\text{Volt}$, à $V=0$, $I=I_{cc}$, donc $I_{cc}=0.1101\text{A}$.

III.1.2-Simulation numérique

Pour simuler notre travail on a choisi d'utiliser le code Python comme support de calcul dont le but est de calculer la variation de l'intensité de courant et de la puissance de cellules solaires en fonction de la tension. Les calculs sont performés par les paramètres de la température de l'expérience ($T= 294,15\text{ K}$), le facteur d'idéalité de diode1 ($n_1= 1$), le facteur

d'idéalité de diode ($n_2=2$), la constante de Boltzmann ($K= 1.3805 \times 10E23 J/K$), la charge de l'électron ($q=1,6 \times 10E19$), le courant de court-circuit ($I_{cc}=0.1101A$), la tension de circuit ouvert ($V_{co}=0.53000Volt$), la résistance série ($R_s= 0.6 \Omega$), la résistance parallèle ($R_p= 600 \Omega$). Pour obtenir les valeurs de l'intensité du courant, la tension et la puissance afin d'analyser les caractéristiques $P-V$, $I-V$, on utilise les modèles suivants :

➤ *Modèle à une diode avec trois paramètres*

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left(\frac{qV}{KTn}\right) - 1 \right) \quad (III.1)$$

➤ *Modèle à une diode avec quatre paramètres*

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn}\right) - 1 \right) \quad (III.2)$$

➤ *Modèle à une diode avec cinq paramètres*

$$I = I_{ph} - \frac{V + R_s I}{R_p} - I_0 \left(\exp\left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn}\right) - 1 \right) \quad (III.3)$$

➤ *Modèle à deux diodes avec cinq paramètres*

$$I = I_{ph} - I_{01} \left(\exp\left(\frac{qV}{KTn_1}\right) - 1 \right) - I_{02} \left(\exp\left(\frac{qV}{KTn_2}\right) - 1 \right) \quad (III.4)$$

➤ *Modèle à deux diodes avec six paramètres*

$$I = I_{ph} - I_{01} \left(\exp\left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn_1}\right) - 1 \right) - I_{02} \left(\exp\left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn_2}\right) - 1 \right) \quad (III.5)$$

➤ *Modèle à deux diodes avec sept paramètres*

$$I = I_{ph} - \frac{V + R_s I}{R_p} - I_{01} \left(\exp\left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn_1}\right) - 1 \right) - I_{02} \left(\exp\left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn_2}\right) - 1 \right) \quad (III.6)$$

III.1.3-Calcul des grandeurs caractéristiques de la cellule PV

III.1.3.1-Calcul du courant maximal et la tension maximale

Pour trouver I_m et V_m il suffit de trouver P_m (la puissance maximale) de la cellule avec $P_m=I_m * V_m$, ceci consiste à maximiser l'aire du rectangle borné par les axes de I et V et par la courbe $I-V$.

Le tableau suivant indique les valeurs de puissance maximale P_m pour chaque modèle ainsi que leurs valeurs expérimentales.

Tableau (III.2) : Les points maximaux pour les différents modèles

	Expérience	1D3P	1D4P	1D5P	2M5P	2M6P	2M7P
P_m	0.03928	0.04744	0.04093	0.04069	0.03906	0.03846	0.03942
I_m	0.09760	0.10313	0.10232	0.10172	0.09766	0.10122	0.09854
V_m	0.40250	0.47000	0.41000	0.41000	0.41000	0.39000	0.41000

III.1.3.2-Calcul du facteur de forme

Le facteur de forme est le plus important. Il est défini comme le rapport entre la puissance maximale de la cellule solaire et la puissance optimale :

$$FF = \frac{P_{max}}{P_{opt}} = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{cc} \cdot V_{co}} \quad (III.7)$$

Le tableau suivant indique les valeurs de facteur de forme pour chaque modèle :

Tableau (III.3) : Variation de facteur de forme pour les différentes modèles

	Expérience	1D3P	1D4P	1D5P	2M5P	2M6P	2M7P
FF	0.67314	0.81298	0.70142	0.69731	0.66937	0.65909	0.67554

III.1.3.3-Calcul du rendement maximal

Le rendement d'une cellule photovoltaïque est le rapport entre l'énergie électrique produite par cette cellule et l'énergie lumineuse reçue sur la surface correspondante.

On obtient alors le rendement par la formule suivante :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_i} \quad (III.8)$$

Où P_i est la capacité globale de la lumière contenue sur la cellule.

Le tableau suivant indique les valeurs de rendement pour chaque modèle :

Tableau (III.4) : Variation de rendement pour les différentes modèles.

	Expérience	1D3P	1D4P	1D5P	2M5P	2M6P	2M7P
η	0.03126	0.03775	0.03257	0.03238	0.033108	0.03061	0.03137

Pour bien interpréter les résultats obtenus à partir des calculs numériques, on a utilisé un logiciel de graphismes (origin 8) telles que les résultats sont illustrés sur les figures suivantes :

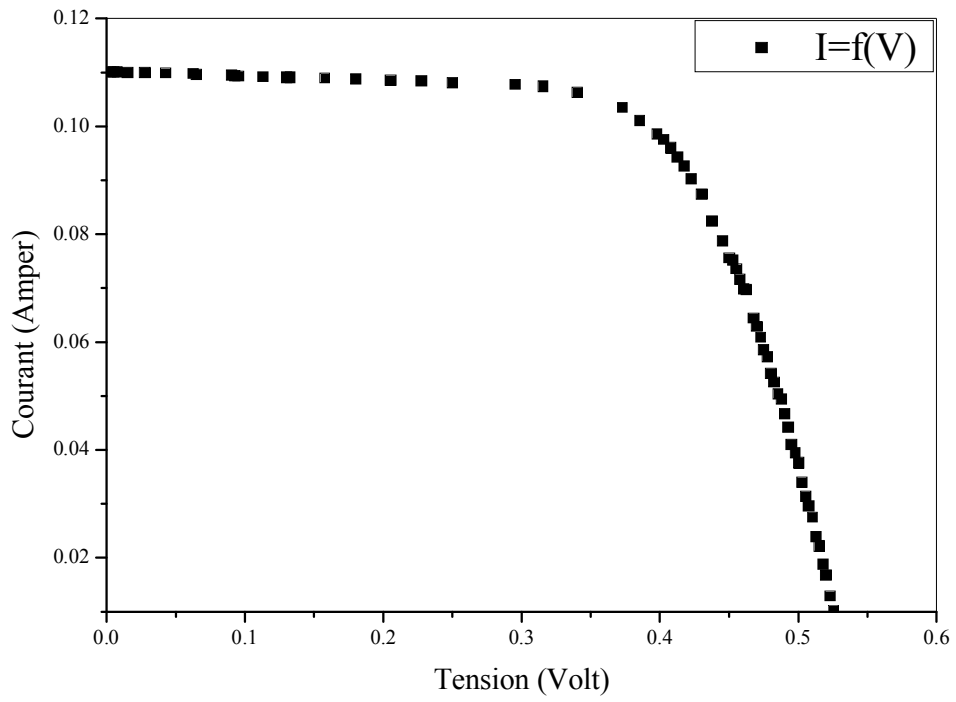


Figure. (III.4) :
La caractéristique I-V expérimentale

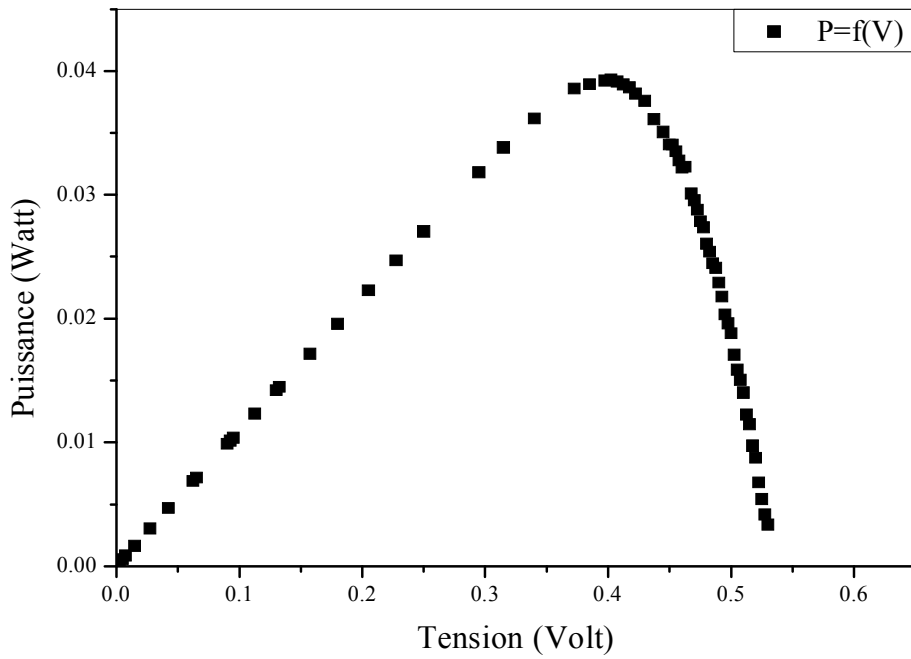


Figure. (III.5) :
La caractéristique P-V expérimentale

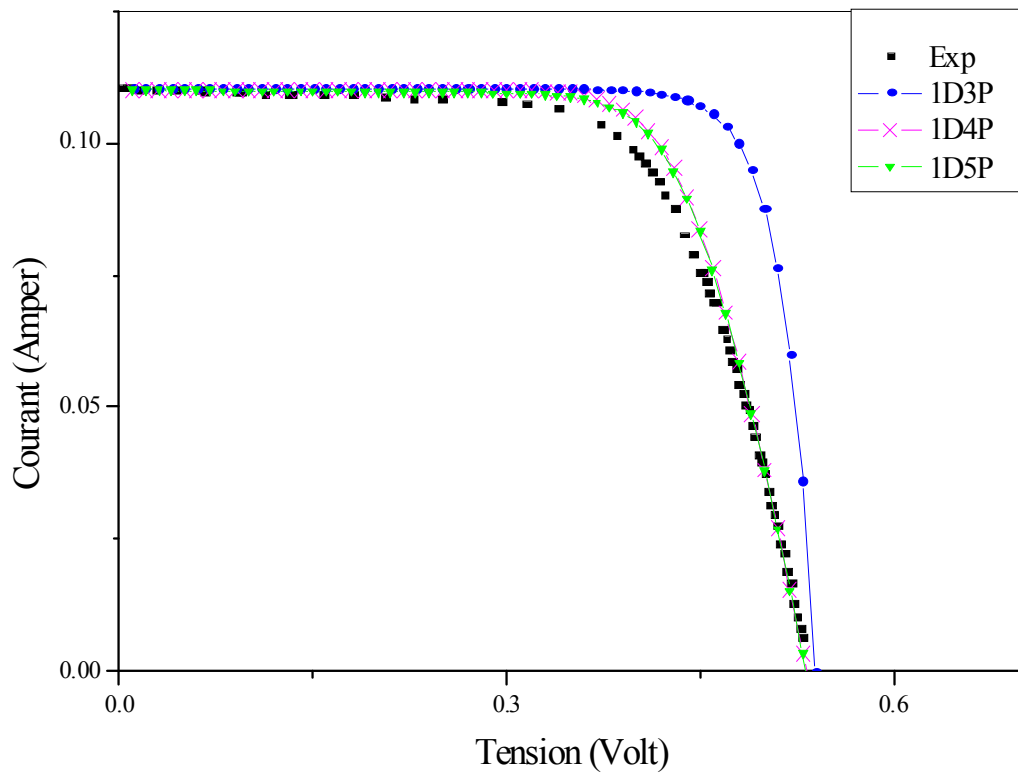


Figure. (III.6) :
La caractéristique I-V de simulation des modèles à une diode et des valeurs expérimentales

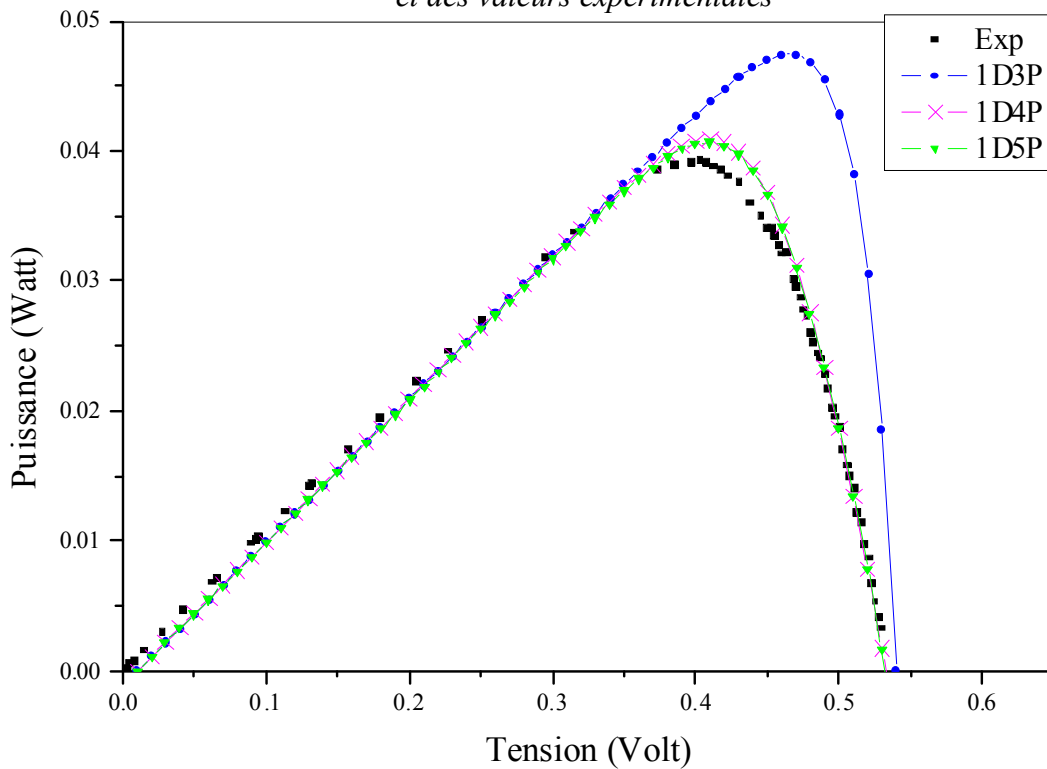


Figure. (III.7) :
La caractéristique P-V de simulation des modèles à une diode et des valeurs expérimentales

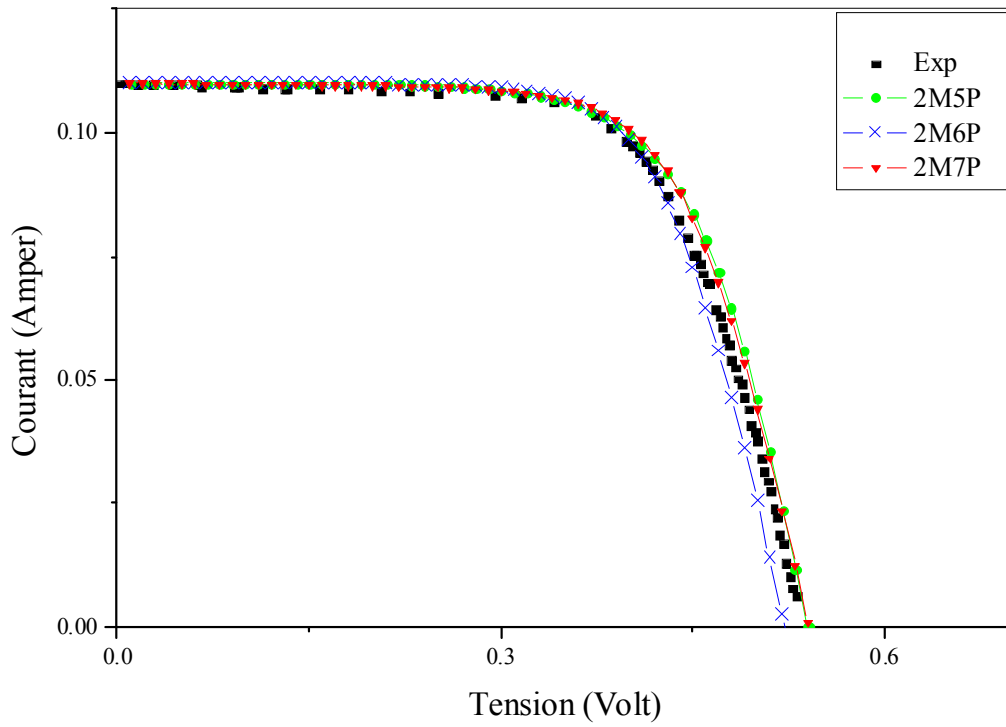


Figure. (III.8) :
La caractéristique I-V de simulation des modèles à deux diodes et des valeurs expérimentales

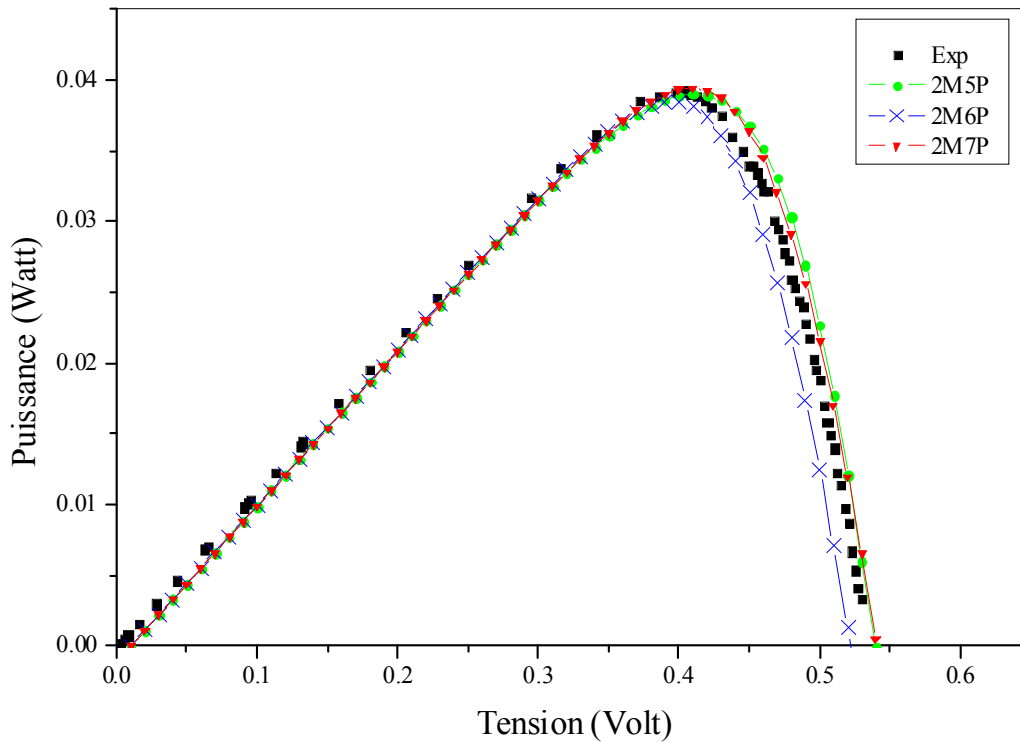


Figure. (III.9) :
La caractéristique P-V de simulation des modèles à deux diode et des valeurs expérimentales

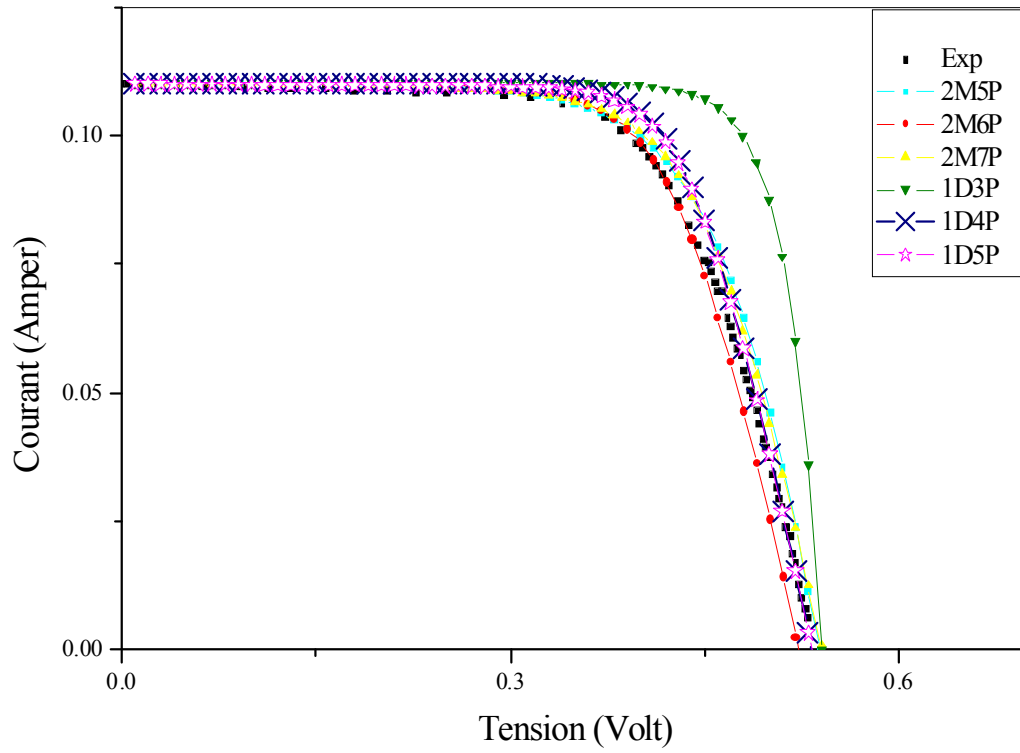


Figure. (III.10) :
*La caractéristique I-V de simulation des modèles
 et des valeurs expérimentales*

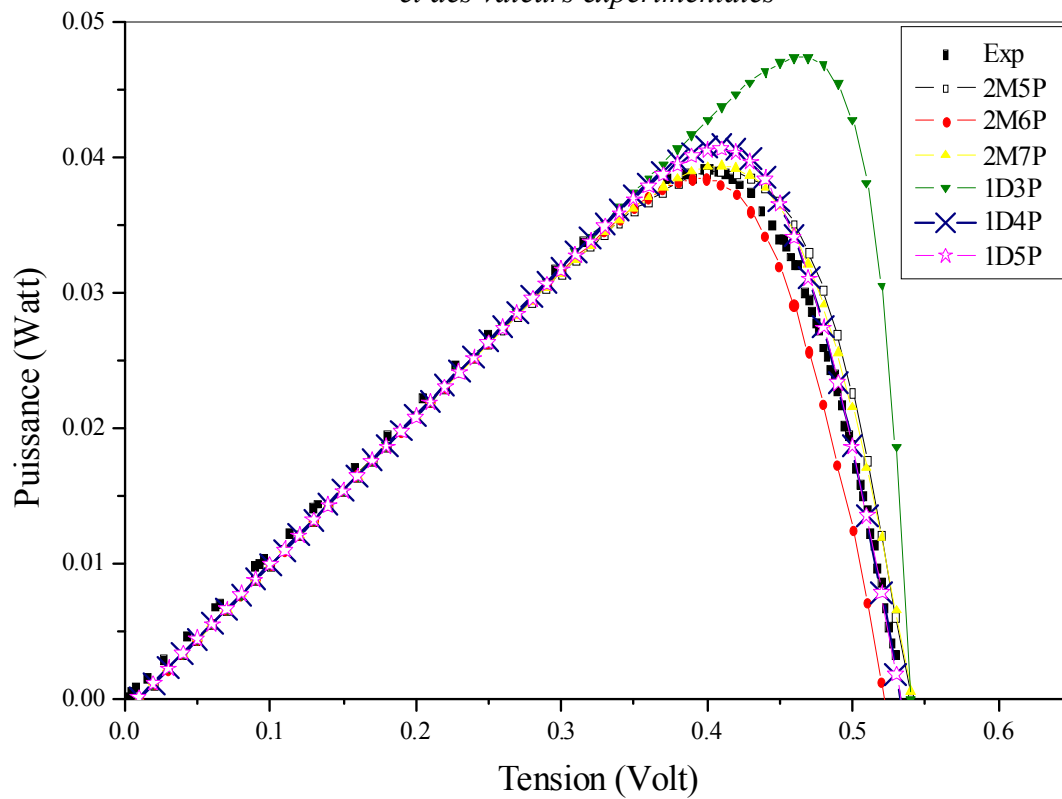


Figure. (III.11) :
*La caractéristique P-V de simulation des modèles
 et des valeurs expérimentales*

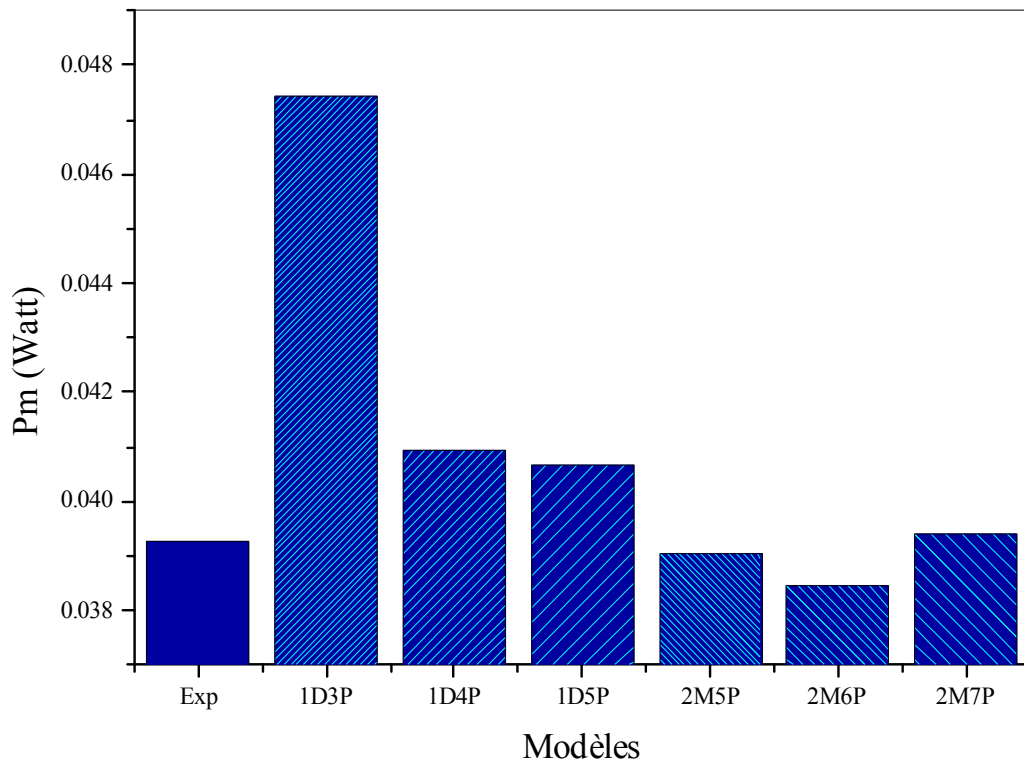


Figure. (III.12) :
La puissance maximale en fonction des modèles

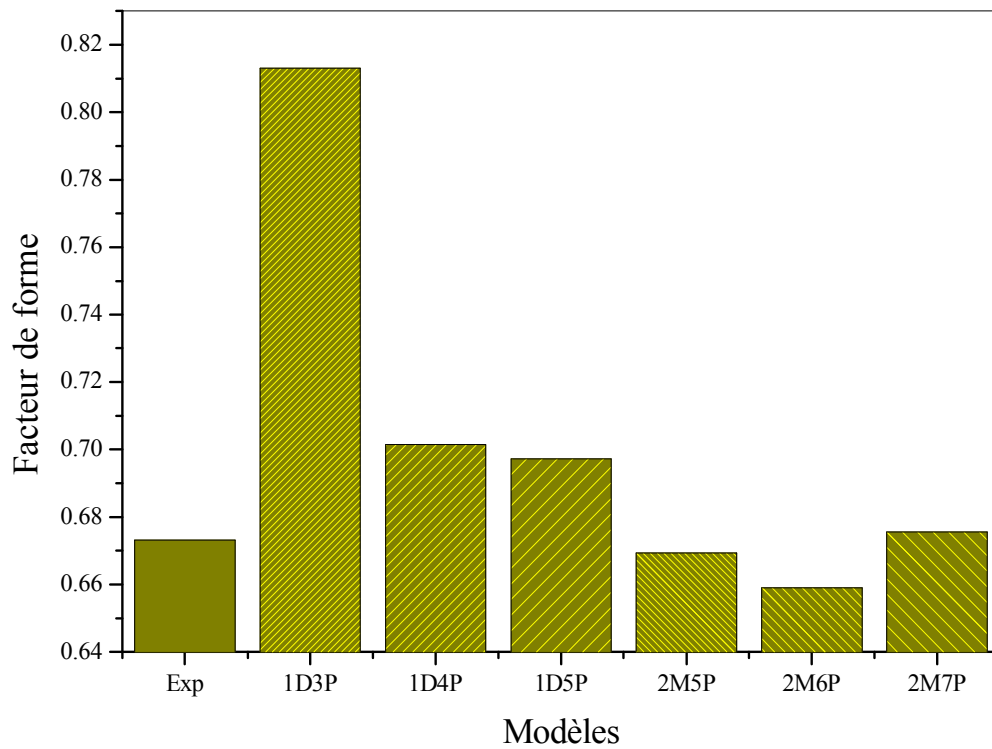


Figure. (III.13) :
Le facteur de forme en fonction des modèles

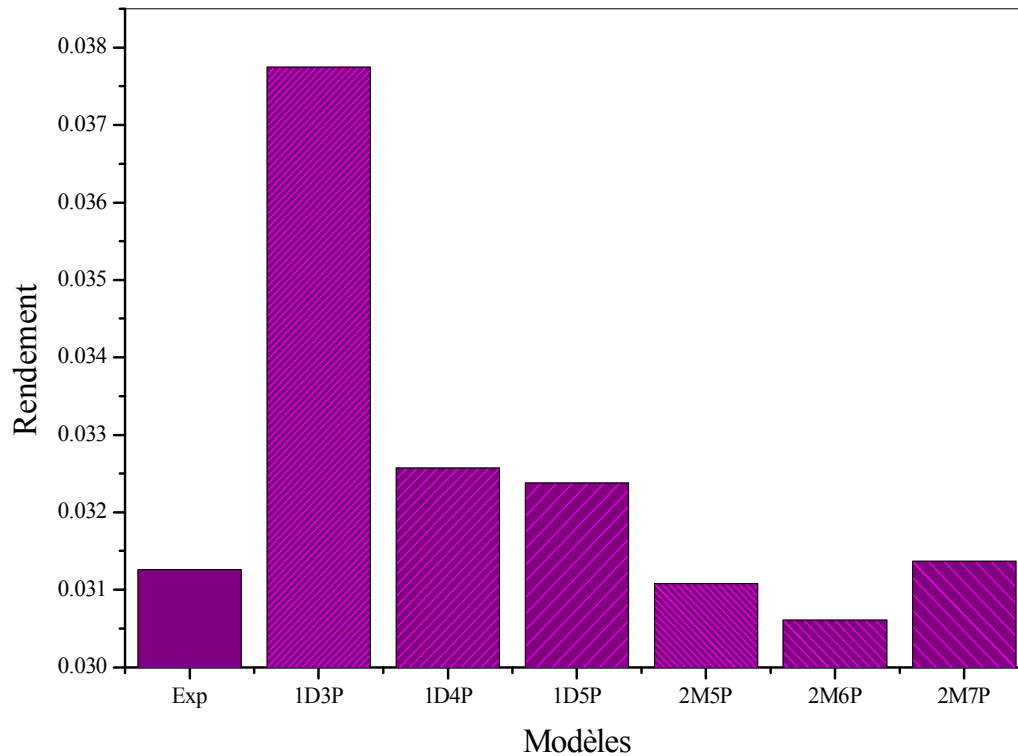


Figure. (III.14) :
Le rendement maximal en fonction des modèles

La simulation a été effectuée en comparant les modèles PV 1D3P, 1D4P, 1D5P, 2M5P, 2M6P, 2M7P avec l'expérience.

III.1.4-Analyse et interprétation des résultats

Les résultats de simulation montrent la comparaison entre les caractéristiques I-V des six modèles évaluées aux courbes expérimentales pour une température de 294.15 K, et un flux $\phi=250 \text{ W/m}^2$.

-Pour la caractéristique courant-tension (figures (III.4), (III.6), (III.8), (III.10)). On remarque que le courant est constant est égale à la valeur de court-circuit (0.1101A) pour des faibles valeurs de tension, à une valeur de tension proche de 0.26volts la courbe converge vers la tension de circuit ouvert.

-Pour la caractéristique puissance-tension (figures (III.5), (III.7), (III.9), (III.11)). On remarque que la puissance augmente fortement jusqu'à la valeur de la puissance max pour enfin converger vers zéro pour une valeur de tension proche de la tension de circuit ouvert.

-On remarque clairement sur les figures (III.6, III.7) qui présentant l'évolution de l'intensité de courant et de la puissance en fonction de la tension des modèles à une diode comparait aux résultats expérimentaux, que le modèle 1D4P est le très bon accord par rapport

au modèle idéal (1D3P) et la courbe expérimentale, ce qui donne une combinaison entre la simplicité et la précision.

-Les figures (III.8, III.9) comparent entre les différents modèles à deux diodes et la courbe expérimentale, ce qui montre que les modèles 2M6P et 2M7P sont en bon accord avec la courbe expérimentale.

-Les Figures (III.10, III.11) montrent la comparaison entre les caractéristiques $I-V$, $P-V$ des six modèles évaluées et aux courbes expérimentales, on voit clairement que le modèle à une exponentielle avec quatre paramètres est le plus proche à l'expérimentale.

-Sur les figures (III.12, III.13, III.14), nous pouvons observer l'évolution du point de puissance maximal d'une cellule PV, le facteur de forme et le rendement maximal en fonction de modèle, on note clairement que le modèle 1D4P donne la bonne approche par rapport au modèle idéal et aux résultats expérimentaux par rapport aux autres modèles.

III.1.6-Conclusion

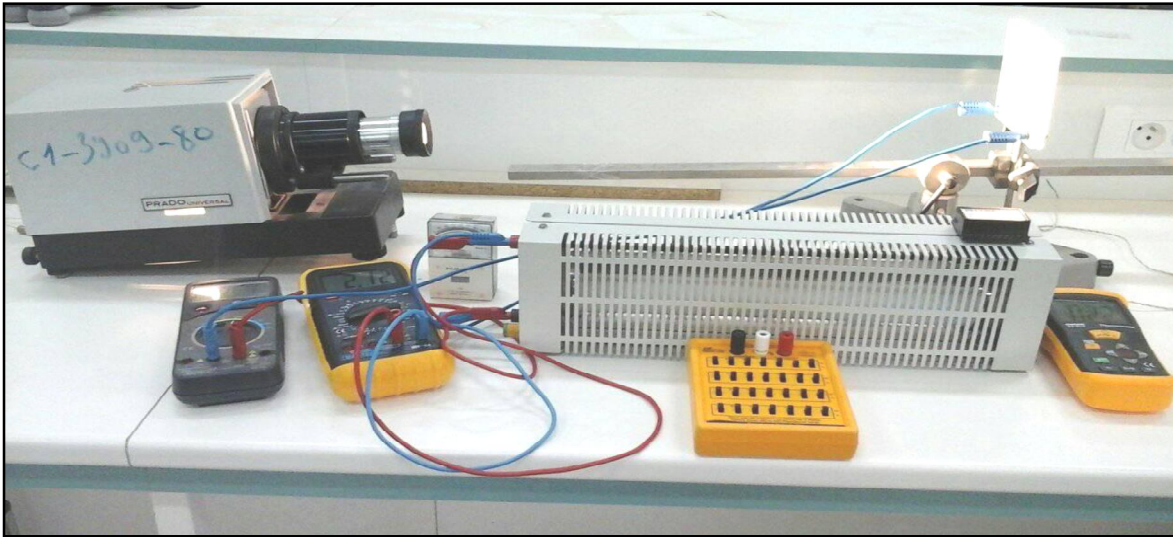
A partir des résultats obtenus on peut conclure que :

- Les modèles 2M7P, 2M6P et 1D4P donnent des meilleures approches par rapport à l'expérience.
- Pour la suite de notre travail on a choisie d'étudier l'influence de la résistance série en comparant les résultats expérimentaux au modèle 1D4P pour la simplicité et la précision de ce dernier.

B. L'influence de la résistance série sur une cellule PV

III.2.1-Etude expérimentale :

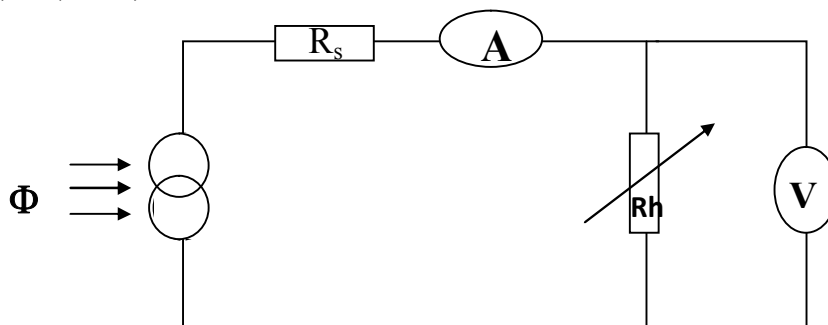
L'expérience est faite sur un module PV de type poly-cristallin constituée de quatre cellules branchées en série (Figure II.1), les mesures ont été effectuées à une température de 295.15 K, pour un flux $\phi=250 \text{ W/m}^2$, avec deux résistance R_s et R_h .



Figure(III.15) :

Le montage de l'expérience

On a met la cellule, la résistance R_h , la résistance R_s et l'ampèremètre, respectivement en série, et on a relie le voltmètre au borne de la résistance R_h comme il est montré sur les figure(III.15) et (III.16).



Figure(III.16) :

Le schéma équivalent de montage expérimentale

Ensuite, on a éclairé la cellule PV avec une lumière d'intensité de 250 W/m^2 on varie la résistance R_h pour obtenir les valeurs de l'intensité de courant et tension pour une résistance $R_s=1\Omega$, on a refait l'expérience pour $R_s=1.7\Omega, 5\Omega, 10\Omega, 20\Omega$.

Les valeurs obtenues sont données dans les tableaux suivants :

Tableau(III.5) : Représentation des valeurs expérimentales de la tension, l'intensité du courant, la résistance R_h , la puissance d'un module PV du type polycristallin constitué de quatre cellules branchées en série, pour $R_s=1\Omega$.

$P(W)$	$R_h(\Omega)$	$I(A)$	$V(Volt)$
0.0000	0.0000	0.1104	0.0000
0.0165	1.3636	0.1100	0.1500
0.0372	3.1079	0.1094	0.3400
0.1093	9.3346	0.1082	1.0100
0.1356	12.0869	0.1059	1.2800
0.1443	14.3713	0.1002	1.4400
0.1457	15.2352	0.0978	1.4900
0.1423	17.7654	0.0895	1.5900
0.1285	23.0254	0.0747	1.7200
0.1164	27.2171	0.0654	1.7800
0.0940	37.6000	0.05	1.8800
0.0803	46.3942	0.0416	1.9300
0.0690	55.6818	0.0352	1.9600
0.0449	91.8552	0.0221	2.0300
0.0367	114.5251	0.0179	2.0500
0.0256	169.1057	0.0123	2.0800
0.0186	234.8315	0.0089	2.0900
0.0133	334.9206	0.0063	2.1100

A partir de ce tableau on peut avoir les valeurs des grandeurs caractéristiques (I_{cc} , V_{co}) de la cellule PV. ($V_{co}=0.5275Volt$ et $I_{cc}=0.1104A$)

Tableau(III.6) : Représentation des valeurs expérimentales de la tension, l'intensité du courant, la résistance R_h , la puissance d'un module PV du type polycristallin constitué de quatre cellules branchées en série, pour $R_s=1.7\Omega$.

$P(W)$	$R_h(\Omega)$	$I(A)$	$V(Volt)$
0.0000	0.0000	0.1119	0.0000
0.0189	1.5233	0.1116	0.1700
0.0368	3.1365	0.1084	0.3400
0.0639	6.6057	0.0984	0.6500
0.0780	11.0846	0.0839	0.9300
0.0801	15.1099	0.0728	1.1000
0.0784	21.5589	0.0603	1.3000
0.1472	14.2857	0.1015	1.4500
0.0745	26.3158	0.0532	1.4000
0.0683	34.2282	0.0447	1.5300
0.0608	43.6997	0.0373	1.6300
0.0521	57.4751	0.0301	1.7300
0.0459	70.5882	0.0255	1.8000
0.0344	104.9724	0.0181	1.9000
0.0281	135.4167	0.0144	1.9500
0.0208	192.3077	0.0104	2.0000
0.0179	230.6818	0.0088	2.0300
0.0152	277.0270	0.0074	2.0500
0.0133	334.9206	0.0063	2.1100

A partir de ce tableau on peut avoir les valeurs des grandeurs caractéristiques (I_{cc} , V_{co}) de la cellule PV. ($V_{co}=0.5275Volt$ et $I_{cc}=0.1119A$)

Tableau(III.7) : Représentation des valeurs expérimentales de la tension, l'intensité du courant, la résistance R_h , la puissance d'un module PV du type polycristallin constitué de quatre cellules branchées en série, pour $R_s=5\Omega$.

$P(W)$	$R_h(\Omega)$	$I(A)$	$V(Volt)$
0.0000	0.0000	0.1148	0.0000
0.0297	2.2747	0.1143	0.2600
0.0622	4.8630	0.1131	0.5500
0.0905	7.4275	0.1104	0.8200
0.1108	11.7284	0.0972	1.1400
0.1112	15.2047	0.0855	1.3000
0.1084	18.0879	0.0774	1.4000
0.0973	24.6815	0.0628	1.5500
0.0858	31.3576	0.0523	1.6400
0.0730	41.9664	0.0417	1.7500
0.0637	51.4205	0.0352	1.8100
0.0515	67.1480	0.0277	1.8600
0.0447	81.6239	0.0234	1.9100
0.0347	113.1429	0.0175	1.9800
0.0299	134.8993	0.0149	2.0100
0.0244	169.1667	0.012	2.0300
0.0181	234.0909	0.0088	2.0600
0.0131	330.1587	0.0063	2.0800

A partir de ce tableau on peut avoir les valeurs des grandeurs caractéristiques (I_{cc} , V_{co}) de la cellule PV. ($V_{co}=0.52Volt$ et $I_{cc}=0.1148A$)

Tableau(III.8) : Représentation des valeurs expérimentales de la tension, l'intensité du courant, la résistance R_h , la puissance d'un module PV du type polycristallin constitué de quatre cellules branchées en série, pour $R_s=10\Omega$.

$P(W)$	$R_h(\Omega)$	$I(A)$	$V(Volt)$
0.0000	0.0000	0.1117	0.0000
0.0190	1.5233	0.1116	0.1700
0.0369	3.1365	0.1084	0.3400
0.0640	6.6057	0.0984	0.6500
0.0780	11.0846	0.0839	0.9300
0.0801	14.2857	0.0749	1.0700
0.0784	21.5589	0.0603	1.3000
0.0745	26.3158	0.0532	1.4000
0.0684	34.2282	0.0447	1.5300
0.0608	43.6997	0.0373	1.6300
0.0521	57.4751	0.0301	1.7300
0.0459	70.5882	0.0255	1.8000
0.0344	104.9724	0.0181	1.9000
0.0281	135.4167	0.0144	1.9500
0.0208	192.3077	0.0104	2.0000
0.0179	230.6818	0.0088	2.0300
0.0152	277.0270	0.0074	2.0500
0.0128	333.8710	0.0062	2.0700

A partir de ce tableau on peut avoir les valeurs des grandeurs caractéristiques (I_{cc} , V_{co}) de la cellule PV. ($V_{co}=0.5175Volt$ et $I_{cc}=0.117A$)

Tableau(III.9) : Représentation des valeurs expérimentales de la tension, l'intensité du courant, la résistance R_h , la puissance d'un module PV du type polycristallin constitué de quatre cellules branchées en série, pour $R_s=20\Omega$.

$V(\text{Volt})$	$I(A)$	$R_h(\Omega)$	$P(W)$
0.0000	0.0856	0.0000	0.0000
0.3000	0.0423	6.6194	0.0118
0.4600	0.0687	6.6958	0.0316
0.6200	0.0621	9.9839	0.0385
0.7300	0.0578	12.6298	0.0422
1.1200	0.0423	26.4775	0.0474
1.0800	0.0437	24.7140	0.0472
1.2300	0.0378	32.5397	0.0465
1.3300	0.0337	39.4659	0.0448
1.4000	0.0308	45.4545	0.0431
1.5100	0.0266	56.7669	0.0402
1.6300	0.0213	76.5258	0.0347
1.7500	0.0163	107.3620	0.0285
1.8400	0.0126	146.0317	0.0232
1.9000	0.0099	191.9192	0.0188
1.9500	0.0081	240.7407	0.0158
1.9800	0.0066	300.0000	0.0131
2.0000	0.0060	333.3333	0.0120

A partir de ce tableau on peut avoir les valeurs des grandeurs caractéristiques (I_{cc} , V_{co}) de la cellule PV. ($V_{co}=0.5\text{Volt}$ et $I_{cc}=0.00856A$)

III.2.1.2-Grandeurs caractéristiques expérimentales

Le tableau suivant résume les valeurs des grandeurs caractéristiques expérimentales pour chaque résistance R_s .

Tableau (III.10) : Les grandeurs caractéristiques expérimentales en fonction de la résistance R_s

R_s	0.6	1	1.7	5	10	20
P_m	0.03928	0.03643	0.03679	0.02779	0.02004	0.01184
I_m	0.09760	0.09780	0.10150	0.0855	0.07490	0.04230
V_m	0.40250	0.37250	0.36250	0.3250	0.26750	0.28000
FF	0.67314	0.62556	0.62333	0.46548	0.34661	0.27673
η	0.03126	0.02899	0.02928	0.02211	0.01594	0.00943
I_{cc}	0.11010	0.11040	0.1190	0.1140	0.1170	0.08560
V_{co}	0.53000	0.52750	0.52750	0.52000	0.51750	0.50000

III.2.2-Simulation numérique

Pour la simulation notre travail on a choisi d'utiliser le code Python comme support a nous programme pour but de calculé la variation de l'intensité de courant et de la puissance de cellules solaires en fonction de la tension. Les calculs sont performés par les paramètres de la température de l'expérience ($T= 295,15 K$), le facteur d'idéalité de la diode ($n= 1$), la constante de Boltzmann ($K = 1.3805 \times 10E23 J/K$), la charge de l'électron ($q = 1,6 \times 10E19$) et la résistance parallèle ($R_p= 600 \Omega$).

En variant la résistance série, ($R_s=0\Omega$, $R_s=0.6\Omega$, $R_s=0.8\Omega$, $R_s=1\Omega$, $R_s=1.2\Omega$, $R_s=1.3\Omega$, $R_s=1.4\Omega$), on va calculer l'intensité I (A), la tension V (Volt) et la puissance $P(W)$ respectivement pour chaque résistance.

Pour l'analyse de ces caractéristiques $P-V$, $I-V$, on utilise le modèle d'une diode avec quatre paramètres déjà présenté au deuxième chapitre, le courant généré par la cellule est donné par l'équation suivante :

➤ *Modèle à une diode avec quatre paramètres*

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left(q \frac{(V + R_s I)}{KTn} \right) - 1 \right) \quad (\text{III.9})$$

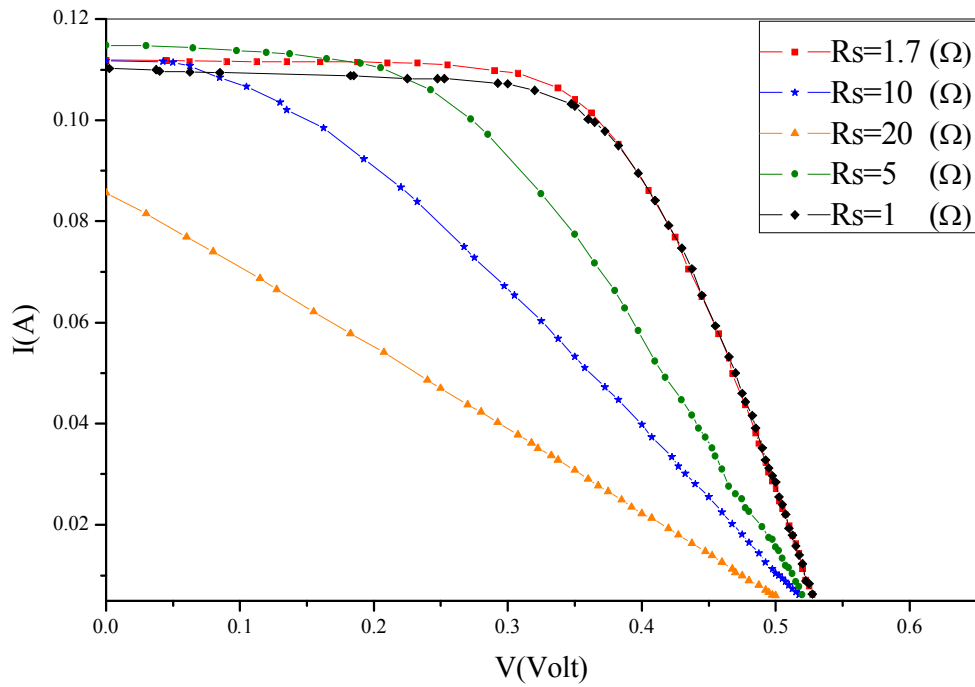
III.2.2.1-Grandeurs caractéristiques numériques

Le tableau suivant indique les valeurs des grandeurs caractéristiques en fonction de la résistance R_s

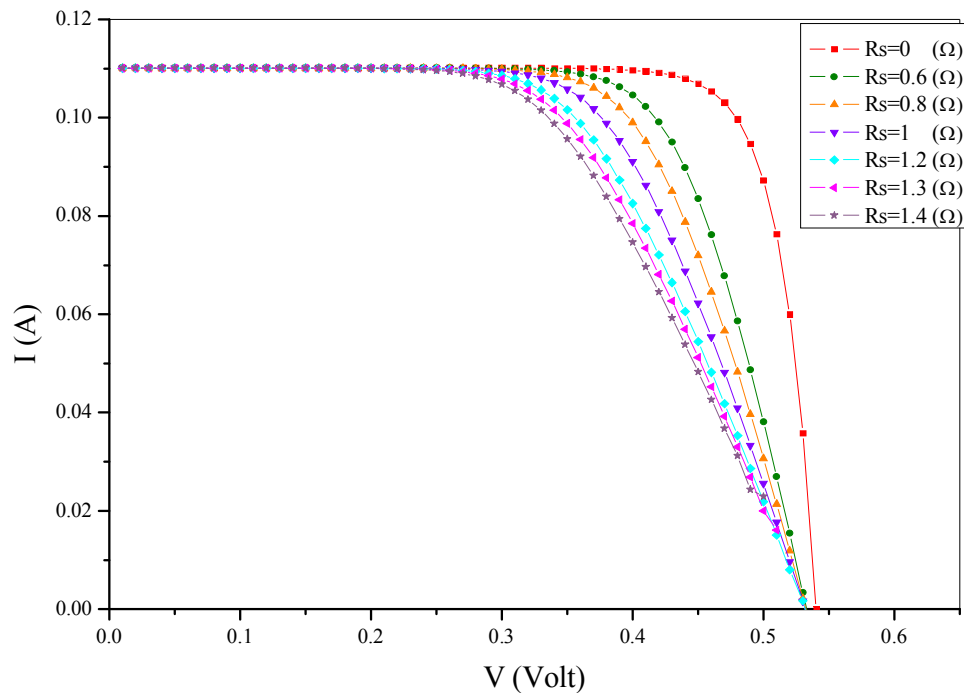
Tableau (III.11) : Les grandeurs caractéristiques en fonction de la résistance R_s

R_s	0	0.6	0.8	1	1.2	1.3	1.4
P_m	0.04741	0.04090	0.03877	0.03666	0.03459	0.03360	0.03260
I_m	0.10306	0.10226	0.10203	0.10182	0.09883	0.09881	0.09879
V_m	0.47000	0.41000	0.39000	0.37000	0.36000	0.35000	0.34000
FF	0.81247	0.70164	0.66547	0.62935	0.59402	0.57713	0.56005
η	0.03773	0.03255	0.03085	0.02917	0.02753	0.02674	0.02594
I_{cc}	0.11010	0.10999	0.10995	0.10992	0.10988	0.10986	0.10984
V_{co}	0.53000	0.529974	0.52997	0.52996	0.52994	0.529941	0.52994

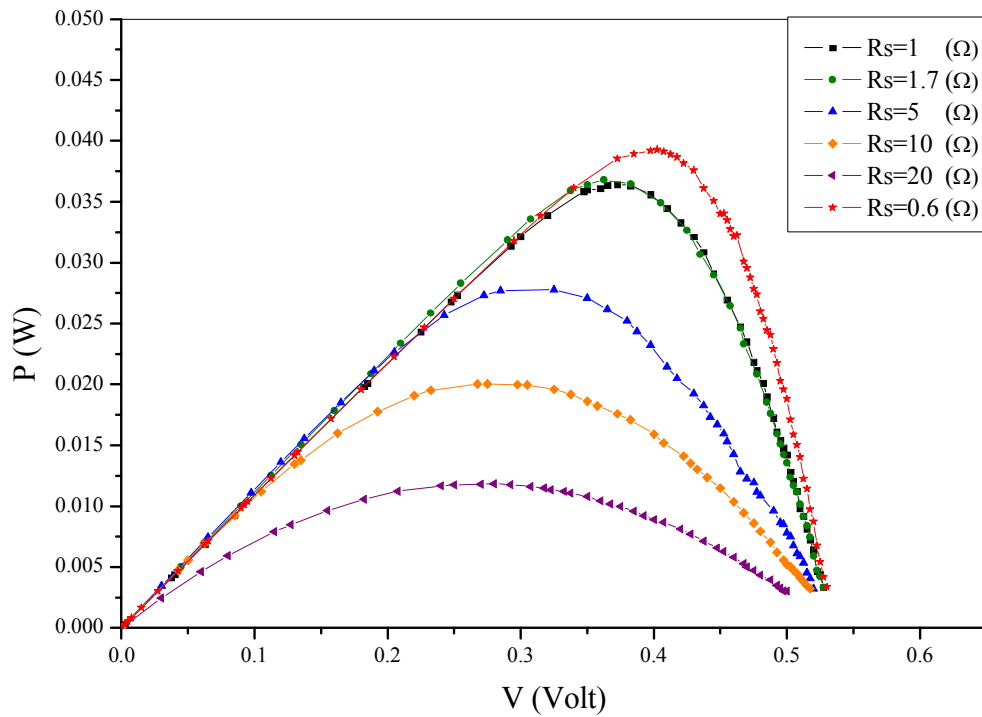
Pour bien interpréter les résultats obtenus à partir des calculs numériques on a utilisé un logiciel de graphismes (origin 8) telles que les résultats sont illustrés sur les figures suivantes



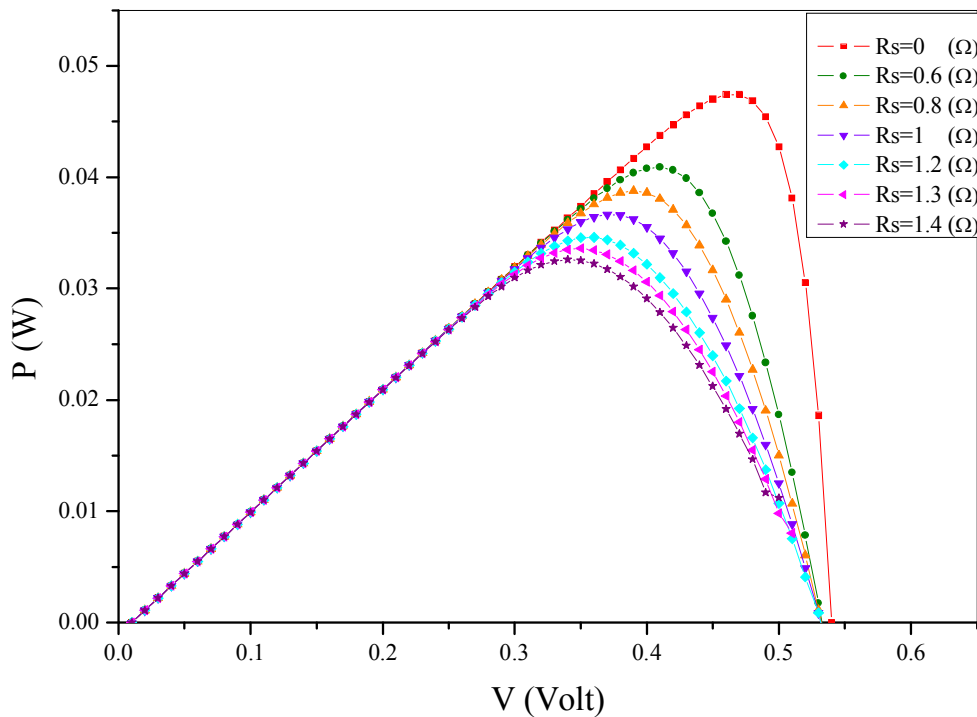
Figure(III.17) :
La caractéristique I-V pour les différentes valeurs expérimentales de R_s



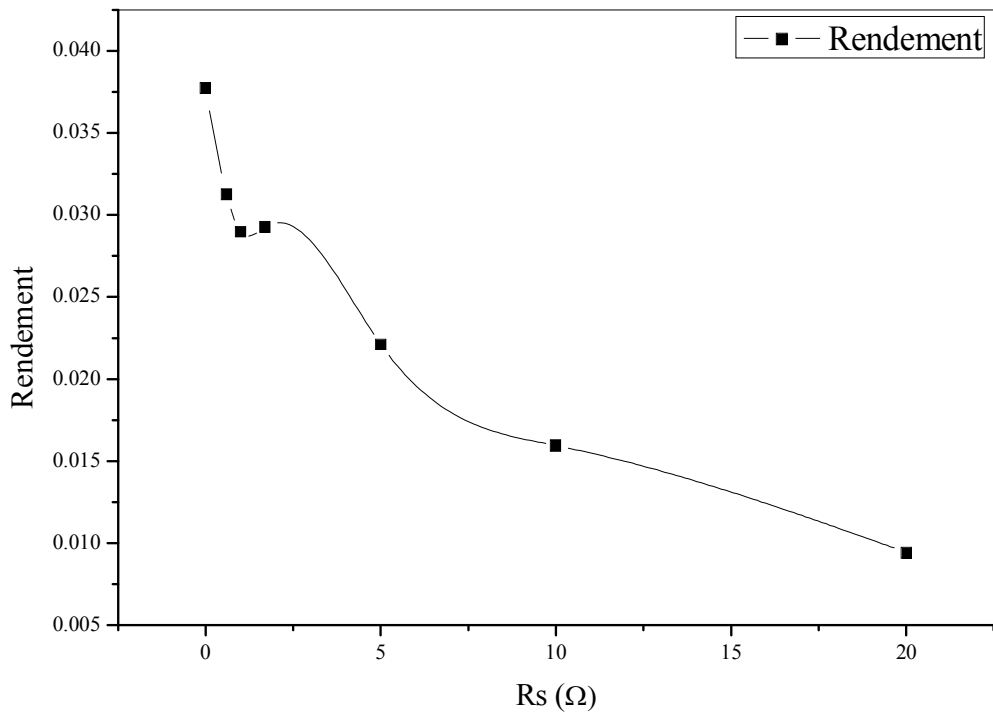
Figure(III.18) :
La caractéristique I-V pour les différentes valeurs numériques de R_s



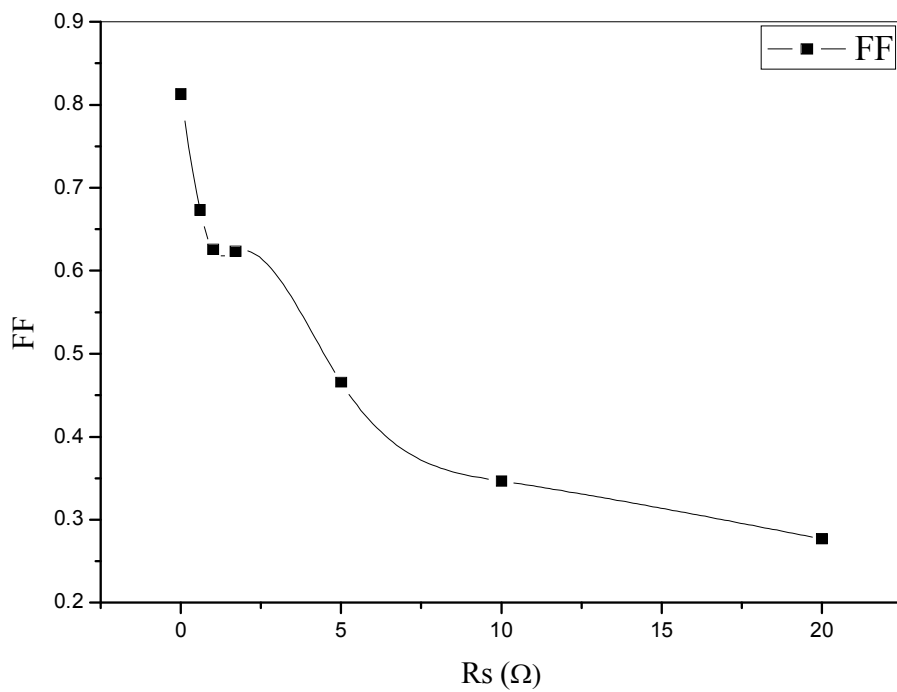
Figure(III.19) :
 La caractéristique I-V pour les différentes valeurs expérimentales de R_s



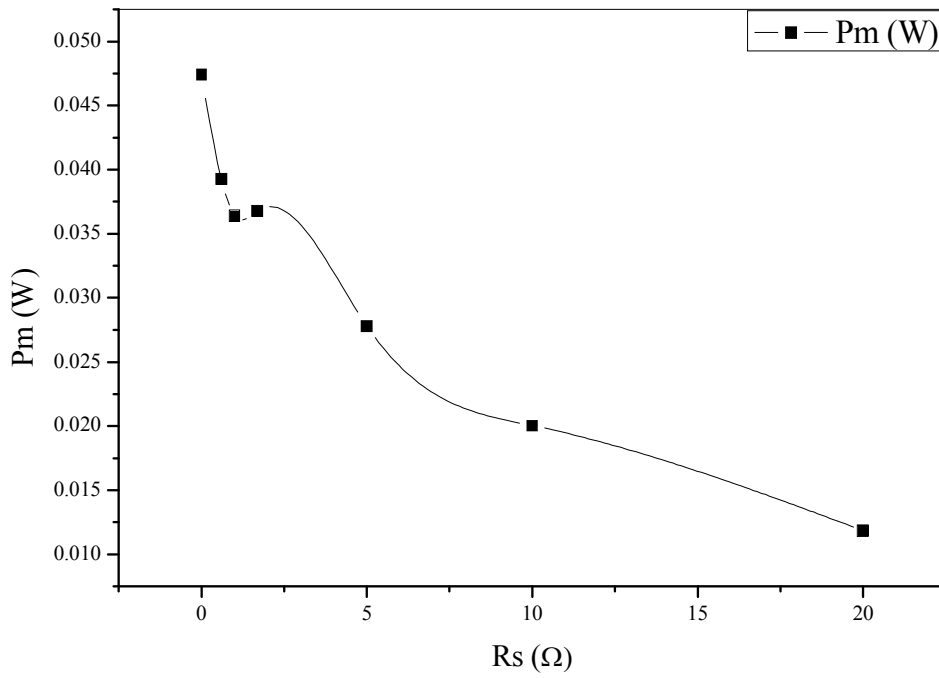
Figure(III.20) :
 La caractéristique P-V pour les différentes valeurs numériques de R_s



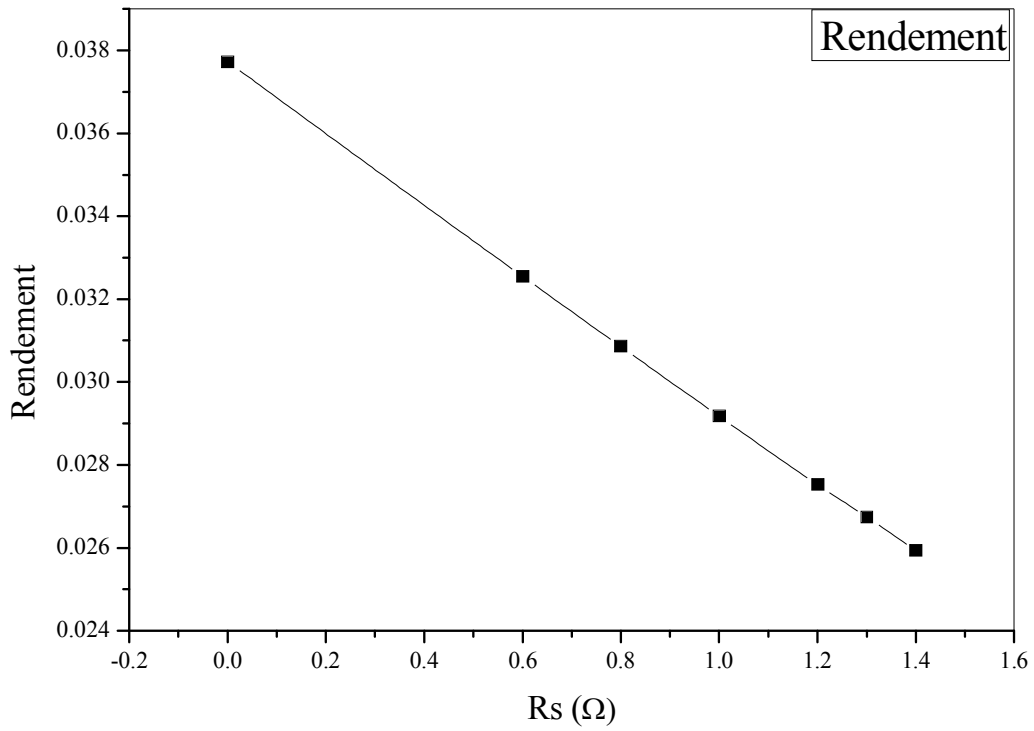
Figure(III.21) :
 La variation de rendement maximale expérimental en fonction de R_s



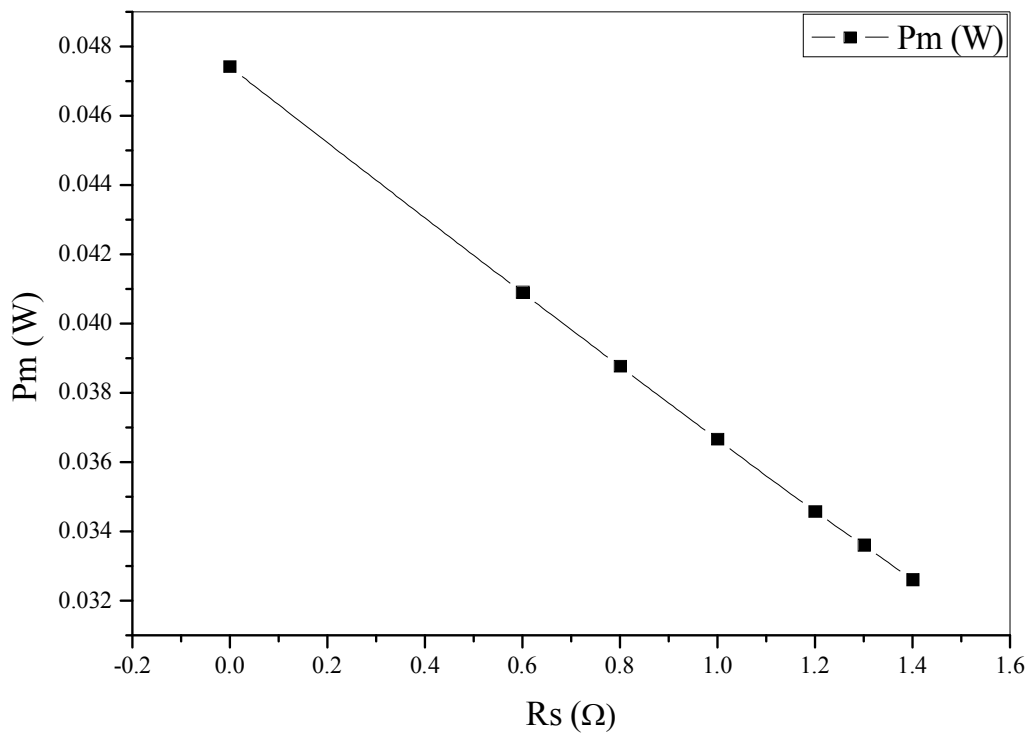
Figure(III.22) :
 La variation de Facteur de forme expérimental en fonction de R_s



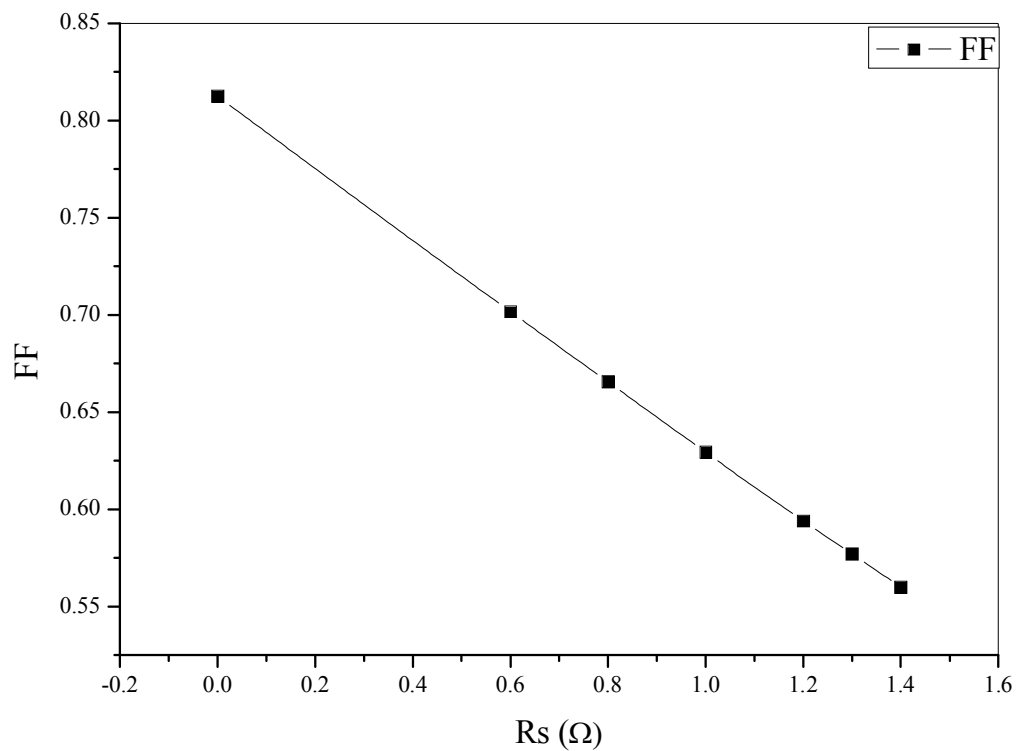
Figure(III.23) :
 La variation de la puissance maximale expérimental en fonction de R_s



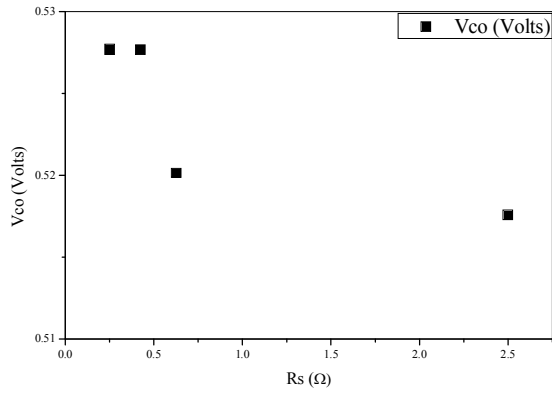
Figure(III.24) :
 La variation de rendement maximale numérique en fonction de R_s

**Figure(III.25) :**

La variation de la puissance maximale numérique en fonction de R_s

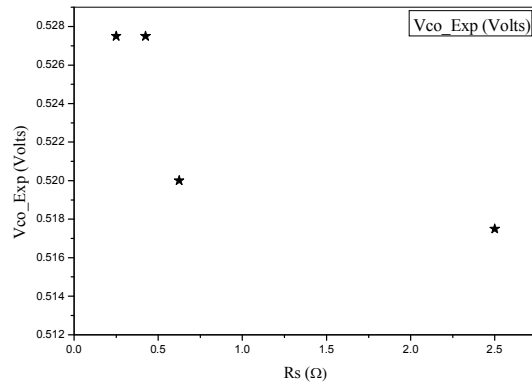
**Figure(III.26)**

La variation de Facteur de forme numérique en fonction de R_s



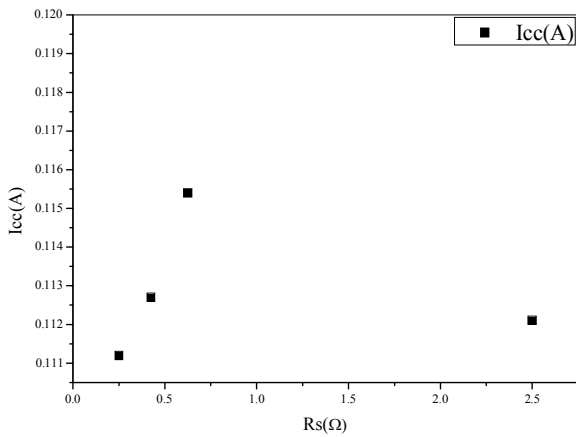
Figure(III.27) :

La variation de la tension de circuit ouvert numérique en fonction de R_s



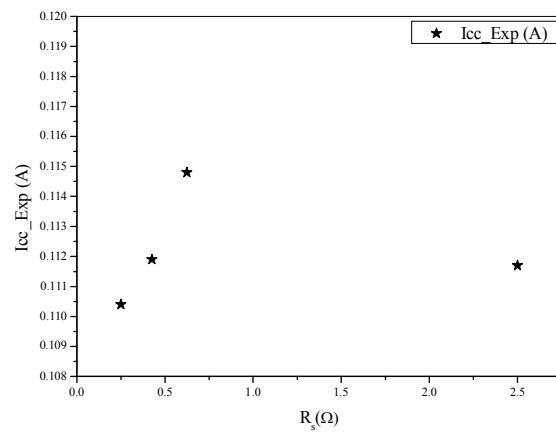
Figure(III.28) :

La variation de la tension de circuit ouvert expérimentale en fonction de R_s



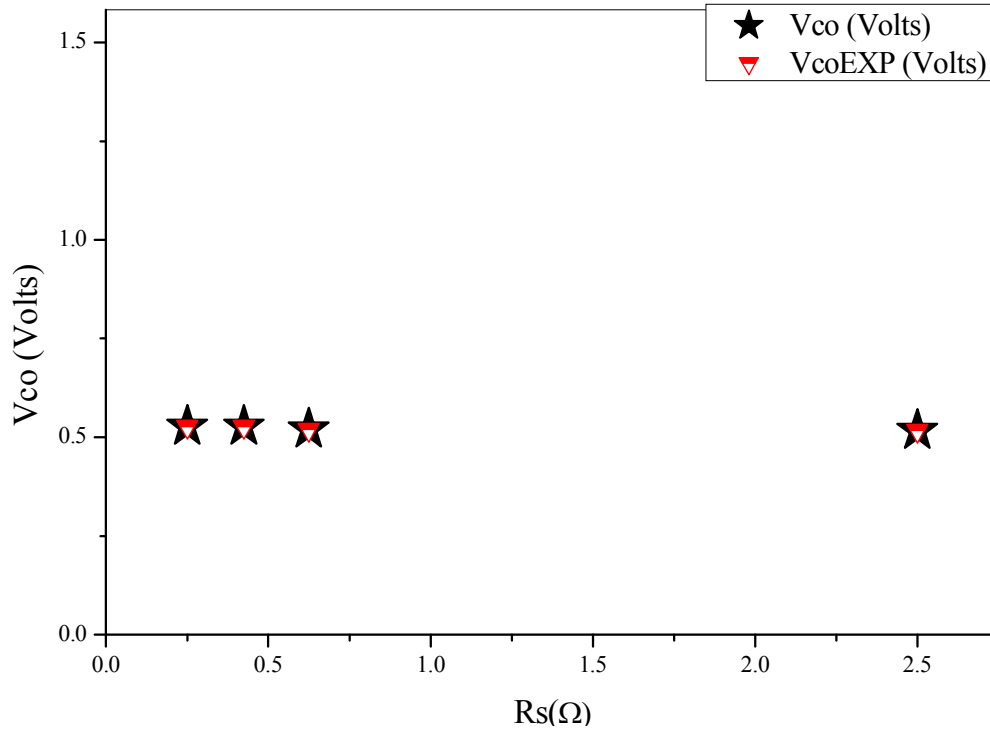
Figure(III.29) :

La variation de courant de court circuit numérique en fonction de R_s



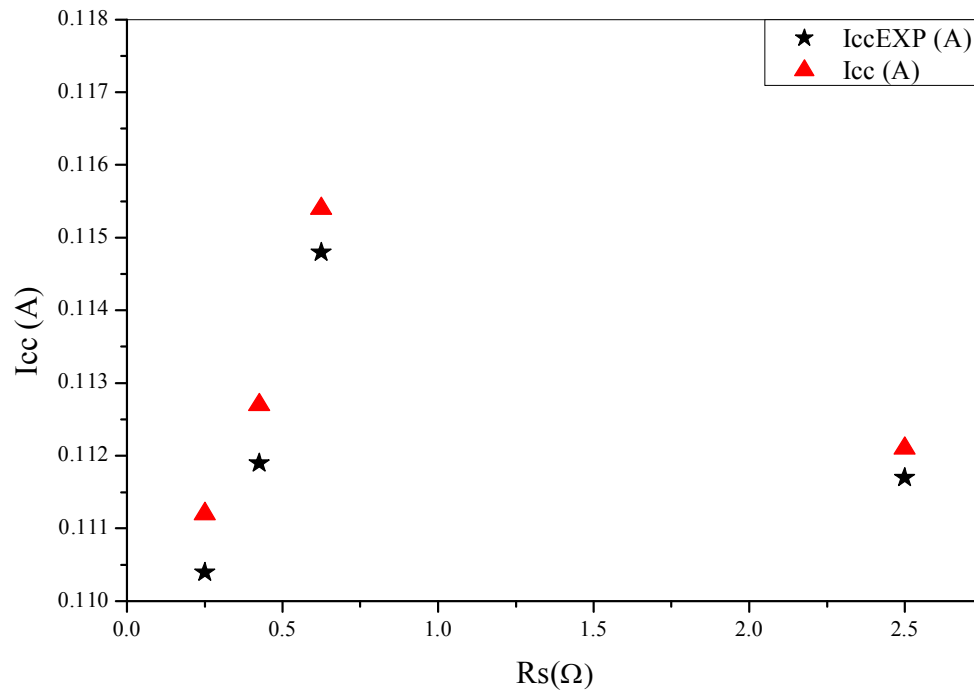
Figure(III.30) :

La variation de courant de court circuit expérimentale en fonction de R_s



Figure(III.31) :

Comparaison entre les valeurs de la tension de circuit ouvert numériques et expérimentales avec la variation de R_s



Figure(III.32) :

Comparaison entre les valeurs de courant de court circuit numériques et expérimentales avec la variation de R_s

III.2.3-Analyse des résultats

Les performances d'une cellule photovoltaïque sont d'autant plus dégradées que R_s est grande

- Les figures (III.17), (III.18) montre l'influence de la résistance série sur la caractéristique $I-V$ numérique et expérimentale, cette influence se traduit par une diminution de la pente de la courbe $I=f(V)$ dans la zone où le panneau fonctionne comme source de tension, à droite du point de puissance maximum.
- Sur les figures (III.19) et(III.20) on voit clairement l'effet de changement de la résistance série d'une cellule solaire sur la caractéristique $P=f(V)$. La valeur de R_s influe négativement sur la puissance. Quand la résistance série augmente la puissance diminue. Par conséquent la puissance maximale de la cellule PV subit une diminution.
- Les figures (III.21), (III.22) et (III.23) montrent l'évaluation du rendement, facteur de forme et la puissance maximale de la cellule PV en fonction de R_s expérimentales, on peut remarquer que ces caractéristiques sont moins fortes pour les grandes valeurs de R_s , cela nous permet de conclure que la décroissance peut expliquer l'influence de la résistance R_s .
- Les figures ((III.24), (III.25), (III.26)) montrent que l'augmentation de la résistance R_s entraîne une diminution nette du rendement, la puissance maximale et le facteur de forme.
- Les figures (III.27) et (III.28) représentent la variation de la tension de circuit ouvert numérique et expérimentale en fonction de R_s , ce qui montre que les valeurs de tension de circuit ouvert pratiquement constants
- Les figures (III.29) et (III.30) montrent que les valeurs de courant de court circuit augmente proportionnellement avec la résistance R_s (ou les valeurs R_s varie entre 0Ω . et 0.7Ω) après ces valeurs le courant de court circuit démunie fortement.
- Les figures ((III.31), (III.32)) représentent une comparaison entre les valeurs expérimentales de tension de circuit ouvert et de courant de court circuit à celle des résultats numériques, on peut conclure que les résultats données par l'expérience est en bonne accord avec les valeurs calculées pour le modèle choisi.

III.2.4-Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'influence de la résistance série sur une cellule photovoltaïque. On a comparé les résultats expérimentaux obtenus au niveau de laboratoire pédagogique des énergies renouvelables avec ceux calculés numériquement, nous avons constaté un bon accord entre l'expérience et le modèle 1D4P choisi pour la simulation, ce qui nous amène à conclure que la cellule *PV* donne une bonne puissance pour des faibles valeurs de résistance série

Références

- [1]Arora, J. D., Verma, A. V., & Bhatnagar, M. (1986). *Variation of series resistance with temperature and illumination level in diffused junction poly-and single-crystalline silicon solar cells*. Journal of materials science letters, 5(12), 1210-1212.
- [2]Zerhouni, F. Z. (2006). *Etude des l'influence de différents agents sur les caractéristiques d'un générateur photovoltaïque*. Technological and scientific reviewCOST, 39-44.
- [3]Yahya A. O. M., Mahmoud A. O., & Youm, I. (2008). *Etude et modélisation d'un générateur photovoltaïque*. Revue des Energies Renouvelables, 11(3), 473-483.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans cette étude, nous avons modélisé et simulé l'influence de la résistance série sur les caractéristiques $I(V)$, $P(V)$ de la cellule PV

Nous avons présenté une étude qui a portée dans un premier temps sur la simulation des six modèles de la cellule PV , afin d'évaluer les paramètres de notre système pour un meilleur rendement, cette modélisation nous a permis d'évaluer la résistance R_s représentant le point d'intérêt de notre étude. Ensuite on a présenté dans la deuxième partie une étude comparative entre le modèle 1D4P choisie et les valeurs expérimentales obtenues au niveau du laboratoire pédagogique des énergies renouvelables du département de physique, faculté des Sciences, université de Tlemcen. Un bon accord entre les données expérimentales mesurées et les données simulées pour les différentes valeurs de résistance série.

A travers cette étude nous avons pu constater que la résistance R_s entraîne une légère diminution du courant de court circuit tandis que la tension de circuit ouvert reste pratiquement constante lorsque R_s varie. Ceci entraîne une diminution de la puissance maximale et du rendement. Donc la résistance R_s doivent être minime pour un bon rendement sur la cellule PV

Enfin le travail entrepris dans le cadre de ce travail ouvre une direction de recherche qui mérite à notre avis, d'être approfondi, en particulier :

- Faire d'autres calculs pour bien maîtriser les techniques de fabrications des cellules photovoltaïques.
- Faire d'autres calculs pour d'autres propriétés physiques tels que voir l'influence de la température.
- Faire des études similaires pour d'autres types de cellule...

Résumé

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir des cellules solaires, ce travail présente une simulation et comparaison des cellules photovoltaïques (PV), afin d'estimer les paramètres, le comportement caractéristique et électrique d'une cellule en tenant compte d'étudier l'influence de la résistance série. Les équations mathématiques développées pour la modélisation de la performance de la cellule PV sont basées sur la caractéristique courant-tension et puissance tension. Les modèles de simulation ont été validés à partir des données expérimentales, ce qui exige une analyse dans le but de faire le meilleur choix. Les résultats de ce modèle ont été comparés aux résultats expérimentaux dans les mêmes conditions de fonctionnement avec la variation de la résistance série, ce qui montre que la cellule PV donne une bonne puissance pour les faibles valeurs de la résistance série.

Mots clés: Simulation - Modélisation - Comparaison - Cellule photovoltaïque - Influence - Résistance série - caractéristiques $I(V)$, $P(V)$.

Abstract

Solar energy is a source of energy that depends on the sun. This energy makes it possible to manufacture electricity from solar cells, this work presents a simulation and comparison of photovoltaic (PV), in order to estimate the parameters, the characteristic and electrical behavior of a cell taking into account studies the influence of the series resistance. The mathematical equations developed for modeling the performance of the PV cell are based on the characteristic current-voltage and power-voltage. The simulation models were validated from the experimental data, which requires an analysis in order to make the best choice. The results of this model were compared with the experimental results under the same conditions of operation with the variation of the series resistance, which shows that the PV cell gives good power for low values of the series resistance.

Keywords: Simulation - Modeling - Comparison - Photovoltaic cell - Influence - Resistance series, characteristic $I(V)$, $P(V)$.

ملخص

الطاقة الشمسية هي مصدر من مصادر الطاقة التي تعتمد على الشمس. هذه الطاقة تؤول إلى صنع الكهرباء عن طريق الخلايا الشمسية. يقدم هذا العمل محاكاة ومقارنة الخلايا الفوتوثنوية وفق الهيكل المقترح وذلك لتقدير إعدادات ومردود الخلية وخصائصها مع الأخذ بعين الاعتبار دراسة تأثير المقاومة التسلسلية. المعادلات الرياضية وضعت من نموذج أداء الخلية PV التي تتأسس على خصائص تيار-توتر و استطاعة-توتر، وقد تم التحقق من صحة نماذج المحاكاة عبر نتائج تجريبية الأمر الذي يتطلب تحليلاً من أجل تحقيق أفضل خيار والأقرب إلى التجربة وتمت مقارنة نتائج المحاكاة مع النتائج التجريبية تحت ظروف التشغيل نفسها مع تغيير المقاومة التسلسلية، وهذا ما بين أن الخلية PV تعطي قوة جيدة لقيم منخفضة للمقاومة التسلسلية

كلمات البحث: المحاكاة- نمذجة- مقارنة- خلية PV- مقاومة تسلسلية- تأثير $I(V)$, $P(V)$.