Extraction des paramètres électriques d’une cellule solaire organique à base de (P3HT : PCBM)

E. Chahid1,2, N. Hamid2, D. Agliz2, M. Feddaoui2, A. Komina3, A. Malaoui1

1 Equipe de Recherche en Electronique, Instrumentation et Mesures (E.R.E.I.M) & Faculté Polydisciplinaire, Université Sultan Moulay Slimane, Beni Mellal, Maroc.

2 Laboratoire Génie de l'Énergie, Matériaux et Systèmes (LGEMS) & Ecole Nationale des Sciences Appliquées, Agadir, Maroc.

3 Laboratoire de Physique, de Nanostructure (LPN) & Ecole Normale Supérieure, Marrakech, Maroc.

Email: chahid2016@yahoo.com

***Résumé- Les cellules photovoltaïques organiques (PVO) suscitent depuis quelques années un intérêt croissant en tant qu'alternative possible au silicium et pourraient apporter de significatives réductions de coût. L’optimisation du rendement de conversion d’énergie des cellules PVO est basée sur la compréhension et l’analyse des paramètres limitatifs de leurs performances. Notre travail présenté porte sur l’extraction des paramètres électriques d’une cellule PVO à base de d’un polymère de poly (3-hexylthiophene) (P3HT) et [6,6]-phényl-C61-butanoate de méthyle (PCBM) à partir de la caractéristique expérimentale courant-tension. La cellule étudiée est modélisée par un circuit électrique à simple diode contenant un photocourant, une diode de courant de saturation et de facteur d’idéalité, une résistance série, une résistance parallèle. La technique d’extraction proposée de ces cinq paramètres électriques est effectuée par la méthode des moindres carrés linéaire. Les résultats du modèle de simulation ont été comparés aux résultats expérimentaux dans les mêmes conditions de fonctionnement et d’environnement climatique et un bon accord a été observé entre les valeurs extraites et les caractéristiques courant- tension (I-V).***

# ***Mots-clés : Cellule photovoltaique organique, modèle à une diode, paramètres électriques, extraction.***

# INTRODUCTION

# Les cellules PhotoVoltaïques Organiques (PVO) ont attiré une attention significative, en raison de la fabrication peu couteuse et de la grande variété de fonctionnalité des matéraiaux organiques [1-3]. Les PVO n’ont pas pour but de remplacer les technologies existantes mais de venir les compléter en s’adaptant aux besoins du marché. Ses caractéristiques de mise en œuvre permettent d’espérer des applications nouvelles telles que des applications flexibles plus adaptées à l’architecture, ou encore permettre le développement de technologies nomades adaptées aux téléphones et aux ordinateurs. Ce pendant, les cellules PVO présentent certains inconvénients qui limitent leur utilisation global dans le domaine de l’énergie solaire, tels que

# leur faible rendement de photoconversion et leur durée de vie limitée vie jugées inférieures à celles des cellules inorganiques. Ces inconvénients nécessitent par conséquent des améliorations pour parvenir à une fiabilité économique et un développement industriel à grande échelle. Dans ce but, des recherches sont activement menées pour améliorer ces points ainsi que pour faciliter la mise en œuvre des matériaux. Ainsi, les rendements de conversion ont doublé au cours des dix dernières années et de nombreux progrès ont été faits notamment concernant la stabilité des matériaux. La performance des cellules organiques dépend de la couche active constituée de matériaux organiques entre les électrodes. Au cours des deux dernières décennies, deux types de cellules solaires organiques ont été intensivement étudiés: celles qui utilisent une seule couche (monocouche) et celles construites avec un empilement de deux couches organiques (bicouches). La conduction de ces matériaux est assurée par la présence du système d’électrons π, ou d'électrons délocalisés sur l'ensemble du squelette de la macromolécule, confère aux systèmes conjugués des propriétés originales par rapport aux systèmes saturés. Par conséquent, la délocalisation des électrons π induit une rigidité de la molécule ou d'une partie de la molécule et, inversement, une distorsion de la planéité des systèmes entraîne une diminution de la longueur de conjugaison. La conduction par les électrons et les trous, ainsi que la présence d’une bande HOMO, d’une bande LUMO, d’une bande interdite [4].

Nous proposons dans cet article, contrairement à la littérature où les résultats sont seulement expérimentaux, une méthode d’estimation des paramètres électriques basé sur la méthode des moindres carrés linéaire pour déterminer les paramètres électriques de la cellule PVO. Cette technique a testée sur une cellule à d’hétérojonction Donneur/Accepteur formée d’un polymère de poly (3-hexylthiophene) (P3HT) qui constitue un semi-conducteur organique donneur et d’une macromolécule fullerene de butanoate de méthyle (PCBM) qui constitue un semi-conducteur organique accepteur.

# Structure des cellules photovoltaiques organiques

# La structure d’une cellule bicouche type hétérojonction est représentée sur la figure 1. La cellule solaire à base de polymères est constituée d’un substrat en verre, d’une anode généralement en ITO (Oxyde d’Etain dopé Indium), d’une cathode métallique (Al), d’une bicouche active constituée de deux semi-conducteurs organiques de types différents dont l’un est un donneur « D » d’électrons et l’autre est un accepteur « A » d’électrons [5]. Cette hétérojonction développent une interface D/A capable de séparer les charges et les donneurs et accepteurs sont choisis du fait que Les niveaux HOMO et LUMO adaptés au transfert et au transport de charges. La couche donneur D est formée d’un polymère de poly (3-hexylthiophene) (P3HT) et la couche A est de grande molécule accepteur (PCBM). Ce choix de molécules pour avoir différence d’énergies entre les LUMO des donneur et accepteur menant à une performance Les électrodes sont choisies de telle sorte que l’on obtienne des contacts ohmiques avec les films organiques. L’anode est en contact avec le donneur d’électrons et la cathode avec l’accepteur d’électrons. L’ITO est souvent utilisé comme électrode semi transparente, car d’une part, il présente une transmittance de plus de 85 % dans le visible et d’autre part il présente un contact ohmique avec certains matériaux transporteurs de trous (MPc, PTCDA…). L’électrode arrière est constituée de métaux comme Al, Ag ou d’alliage Mg:Ag,… qui permettent d’obtenir un contact ohmique avec les matériaux de type n.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Fig.1. Structure d’une cellule hétérojonction organique.

# Principe de fonctionnement d’une cellule solaire organiques

Le principe général de fonctionnement d’une cellule à hétérojonction D/A, appelé aussi bicouche , est représenté sur la Figure 2 peut être décrit par les étapes suivantes :

# Absorption photonique

Lors du passage de la lumière dans la couche active de la cellule photovoltaïque, un photon peut être absorbé par cette couche pour produire une paire électron-trou nommée exciton. La création de cet exciton correspond à la transition d’un électron de la HOMO d’une molécule vers sa LUMO, transition permise par l’apport en énergie du photon absorbé.

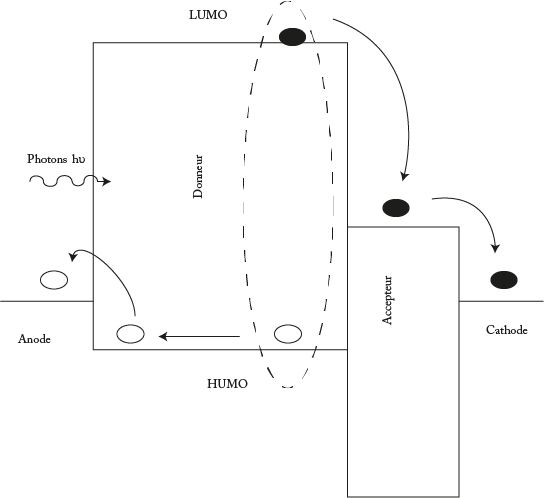


Fig.2. Schéma illustrant le fonctionnement de la PVO.

# Diffusion de l’exciton

# L’exciton diffuse vers l’interface (donneur d’électrons /accepteur d’électrons) entre les matériaux organiques. Si les excitons sont générés à une distance inférieure à (appelée longueur de diffusion de l’ exciton), ils peuvent diffuser jusqu’à l’interface, sinon ils se recombinent [6]. Cette grandeur varie d’un matériau à l’autre et est comprise entre 5 et 20 nm dans les matériaux organiques [7-8].

# séparation des charges

# Lorsque les excitons rejoignent la jonction D/A, La dissociation de l’exciton se fait à l’interface entre les deux matériaux, on obtient alors une paire de polarons: une charge positive (trou) dans le donneur d’électrons et une charge négative (électron) dans l’accepteur[9]. Le facteur déterminant de la dissociation est la différence des niveaux d’énergie entre le niveau LUMO du donneur d’électrons et le niveau LUMO de l’accepteur d’électrons. Si la différence entre ces deux niveaux n’est pas d’au-moins 0.3 eV, la dissociation est peu probable. En revanche, au-delà de cette valeur, le transfert de charge s’effectue normalement et l’exciton est

# dissocié. En plus, Si la durée de vie de l’excitation est suffisante pour que l’exciton rencontre un champ interne, il apparaît une séparation du trou et de l’électron. Cela signifie que l’excitation induite par l’absorption de la

lumière ne conduit pas directement à la création des porteurs de charges électriques libres. Pour dissocier les excitons créés par l’absorption de la lumière, nécessite une énergie supérieure à l’énergie de liaison de la paire électron-trou. Dans les semi-conducteurs organiques, cette énergie de liaison est fonction du matériau et peuvent varier de 0.1 ev à 1.6 ev. De ce fait, à température ambiante, aucune dissociation thermique n’est envisageable, contrairement aux semi-conducteurs inorganiques, dont l’énergie des excitons n’est que de quelques millivoltes.

# Transport des charges vers les électrodes.

# Le transport des porteurs de charges électriques

# vers les électrodes est assuré par le donneur

# d’électrons pour les trous et par l’accepteur

# d’électrons pour les électrons. Les matériaux

# organiques, sont plus connus pour leurs

# propriétés isolantes. Les valeurs publiées, qui

# silicium monocristallin [11] : et

# Le PCBM est un semi-conducteur oraganique de type -n, possédant une mobilité d’électrons entre et [12-14]. Cette mobilité augmente d’un facteur 2 quand il est mélangé avec des polymères.

# collecte des charges aux électrodes

Pour collecter les électrons et les trous dans les matériaux accepteurs et donneurs respectivement, on utilise des électrodes métalliques. Les métaux dont le travail de sortie est faible (Al, Ag, Ca)

sont utilisés pour collecter les électrons et quant aux métaux à fort travail de sortie (Au, Pt)

pourront être utiliser pour collecter les trous. Cependant, pour les cellules solaires, une des deux électrodes devra impérativement être transparente pour laisser passer la lumière. Actuellement, la cathode la plus utilisée dans les cellules solaires organiques est l’oxyde d’indium et d’étain ITO (Indium Tin Oxyde- oxyde d’indium et d’étain) dont la largeur de la bande interdite est de 3.7 eV et dont le travail de sortie est compris entre 4.5 et 4.9 eV.

# Diagramme d’énergie des orbitales frontières

# Dans le cas des matériaux organiques, et par analogie avec les semi-conducteurs inorganiques, on assimile l'orbitale moléculaire la plus haute occupée (HOMO pour Highest Occupied Molecular Orbital) avec la bande de valence (BV) et l'orbitale moléculaire la plus basse non occupée (LUMO pour Lowest Unoccupied Molecular Orbital) avec la bande de conduction (BC). La HOMO est constituée des niveaux électroniques liants π, quant à La LUMO est constituée des niveaux électroniques antiliants π\* vacants. Les bandes HOMO et LUMO ainsi établies permettent alors de définir l'énergie d'oxydation de la molécule ou potentiel d'ionisation (Ip), l'affinité électronique (AE) et la largeur de la bande interdite ou band gap (Eg) comme étant la différence d'énergie entre les bandes permises (Figure 3). Le PCBM est un semi conducteur de type -n, de niveaux d’énergies se situent à la position -3.7 eV pour la LUMO et -6.1 eV pour la HUMO. De même le P3HT est un semi-conducteur de type-p de niveaux d’énergies sont pour la LUMO se

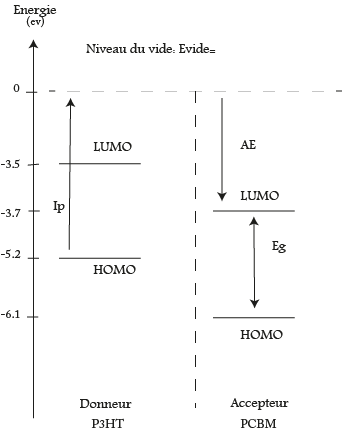


Fig.3. Diagramme d'énergie des polymères donneurt et accepteur utilisés dans la cellule étudiée[15].

# situe à la position -3.5 eV et quant à la HUMO

# est à -5.2 eV. La tension de circuit ouvert Voc peut être déterminée facilement de la différence entre le niveau LUMO du donneur et le niveau HOMO de l’accepteur (Figure 3).

# Caractérisation d’une Cellule photovoltaïque organique PVO

# Schéma équivalent d’une cellule e

Si l’on considère le cas simple d’une cellule

idéale à jonction donneur-accepteur soumise à un flux lumineux, celle-ci fonctionne comme un

générateur de courant. Son schéma équivalent (Figure 4) est représenté par une diode idéale

montée en parallèle avec une source de courant. Rs est une résistance série liée à la résistivité volumique et à l’impédance des électrodes et des matériaux. La pente de la courbe I(V) au point Vco représente l’inverse de la résistance série (1/Rs). Rsh est une résistance parallèle liée aux effets de bord et aux recombinaisons volumiques. La pente de la courbe I(V) au point Icc représente l’inverse de la résistance shunt (1/Rsh). Pour minimiser les pertes, il faut diminuer Rs et augmenter Rsh. Le cas idéal est représenté par Rsh égale à l’infini et Rs égale à zéro [16].

Le circuit électrique équivalent est donné par figure 4.

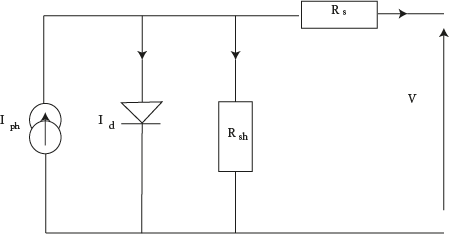


Fig4: Equivalent circuit scheme for an organic solar cell

Le modèle à une diode a été proposé par B. Mazhari pour modéliser les cellules  
solaires organiques [17-19], le circuit électrique équivalent est montré dans la figure (4). Ce modèle contient un générateur à photo-courant , une diode qui représente le courant de diffusion de Shockley [20], avec son courant de saturation et son facteur d’idéalité , deux résistances parasites: la résistance série et la résistance parallèle . L’équation de la caractéristique I(V) de la cellule est:

(1)

Où, est la charge électrique, est la constante de Boltzmann et est la température en Kelvin.

# Le rayonnement solaire

Le soleil est modélisé par un corps noir hors atmosphère émet un rayonnement sphérique sous forme d’onde électromagnétique de longueur d’onde λ possédant une énergie E liée à λ .

Le rayonnement solaire (hors absorption atmosphérique), est assez proche du rayonnement du corps noir à T = 6000K, donc son flux d'émission (*F*) ou la puissance issue initialement de la surface du soleil traverse ultérieurement une sphère de rayon R, obéit à la loi de Planck.

La loi de Planck donne la répartition suivant la longueur d'onde du flux émis (*F*) d'un corps noir à la température T.

 (2)

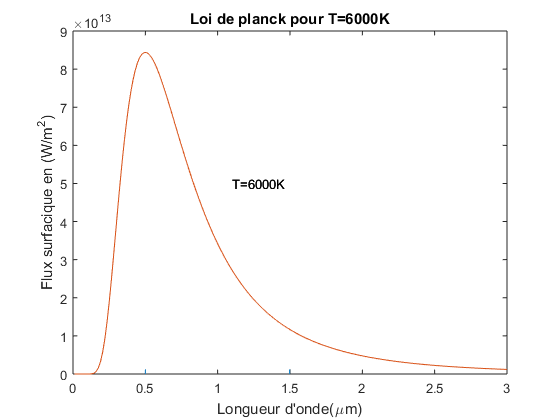


Figure 5. Rayonnement solaire hors absorption atmosphérique à T = 6000 K

La loi de Stefan est la simple intégration de la loi de Planck sur l'ensemble des longueurs d'onde. Ce qui donne :

 (3)

 est la constante de stefane. On vérifie que pour le soleil (T= 5770K), le maximum de l'émission se situe dans le visible alors que pour la Terre il se situe dans l'infrarouge.

* Pour T= 6000K, on a Fi=73 000 kW.m-2. K-4.
* Pour T=300K, on a Fi=459  W.W.m-2. K-4

La puissance reçue, hors atmosphère, est en moyenne d’environ 1360 W/m2 pour une direction perpendiculaire au rayonnement. Elle est noté AM0 (Air Masse 0). Après la traversée de l’atmosphère, cette puissance diminue, du fait de son absorption partielle par les gaz atmosphériques et la vapeur d’eau et on définit de nouvelles références: AM1.5 et AM2 (ou le rayonnement a traversé 1.5 et 2 fois l’épaisseur de l’atmosphère). Ainsi, La puissance reçue à la surface de la terre AM1.5 standard est de l’ordre de 100 mW/cm2 est la référence pour le calcul énergétique au sol. Dans les cellules PVO, le matériau doit absorber les photons au cours de leur propagation dans le matériau. L’atténuation du flux absorbé des photons, en profondeur et la longueur d’onde , est décrite par la loi de Beer-Lambert [21].

(4)

Où est le coefficient d’absorption du semi-conducteur, le flux de photon incidents d’énergie , c'est-à-dire de longueur d’onde , le coefficient de réflexion du semi-conducteur pour le

rayonnement d’énergie . Les photons d’énergie supérieure au gap du matériau entrant dans le semi-conducteur génèrent des paires électron-trous. Le nombre de paires électron-trous créées par seconde est

égal au nombre de photons disparus. Le taux de génération de paires électron-trous est donc

le taux de disparition des photons [22] :

 (6)

Obtenu par la dérivation du flux:

 (5)

# paramètres influençant sur le rendement d’une cellule PVO

Les cellules solaires sont caractérisées par la courbe représentant la densité de courant en fonction de la tension appliquée sous illumination et dans l’obscurité (Figure 6). La performance d’une cellule solaire est évaluée en mesurant quatre caractéristiques principales : la tension de circuit ouvert , la densité de courant de court circuit , le facteur de forme de la courbe  et le rendement de conversion .

* La tension de circuit ouvert  :

Elle correspond à la tension mesurée lorsque le courant généré par le dispositif est nul. Cette tension est proportionnelle à l’écart entre la HOMO du composé donneur et la LUMO du composé accepteur. Elle est cependant influencée par la recombinaison des charges qui ne peut être totalement évitée et qui va donc provoquer une diminution de .

* La densité de courant de court-circuit :

La densité de courant de court-circuit  correspond à la densité maximale générée par le dispositif sous illumination . Il est mesuré lorsque la tension appliquée aux bornes du dispositif est nulle. Sa valeur dépend du nombre de photons absorbés par le matériau et donc de l’épaisseur de la couche active ainsi que de son spectre d’absorption. La mobilité des porteurs de charge et l’efficacité de la séparation des charges à l’interface donneur/accepteur jouent aussi un rôle

important sur la valeur du .

* Le facteur de forme de la courbe  :

Le facteur de forme correspond au rapport de puissance maximale sur la puissance théorique idéale. Il informe sur la capacité du transport des charges dans le dispositif et sur la qualité de l’interface entre le donneur et l’accepteur. On peut définir le facteur de remplissage ou facteur de forme FF par la relation suivante :

 (7)

* Le rendement de conversion  :

Il est déterminé par le rapport de la puissance maximale délivrée par le dispositif sur la puissance lumineuse incidente . C'est le rendement énergétique externe de conversion de puissance. Il est définit par la relation suivante :

 (8)

Ce rendement peut être optimisé en augmentant le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension à circuit ouvert. C'est un paramètre essentiel, car la seule connaissance de sa valeur permet d'évaluer les performances de la cellule.

* Le rendement quantique :

Il est définit comme étant le rapport entre le nombre d'électrons dans le circuit externe et le nombre de photons incidents. Lorsque les photons perdus par réflexion (à la fenêtre de la cellule) et les photons perdus par transmission à travers toute l'épaisseur de la cellule (à cause de l'absorption incomplète) ne sont pas pris en compte, cette grandeur s'appelle alors le rendement quantique interne, IQE (Internal Quantum Efficiency). Dans le cas contraire, ce paramètre s'appelle le rendement quantique externe, EQE (External Quantum Efficiency).

Le rendement quantique externe est définit comme suit :

 (9)

où est le flux lumineux incident,  la charge de l'électron et l'énergie du photon (avec ,  étant la constante de Planck,  la vitesse de la lumière et  la longueur d'onde). En remplaçant les trois constantes par leurs valeurs numériques, on obtient :

 (10)

où  est exprimé en ,  en et  en .

# la méthode des moindres carés (LSM)

L’extraction des paramètres électriques des jonctions D/A des cellules PVO est effectuée par nombreuses techniques. Les méthodes les plus utilisées sont la méthode graphique[23], la méthode de Newton-Raphson [24] et celle de Levenberg Marquardt [25]. Par la suite, nous utiliserons la méthode des moindres carrés linéaire (Least Mean Square LMS) [26].

Le principe de la méthode des moindres carrés consiste à minimiser la somme des carrées des

écarts  appelée fonction objective, entre les N mesures expérimentales et le l'ensemble de N résultats  issu du modèle analytique prédéterminé basé sur l’équation (1).

Avec: ,

Où  : le résidu et N= nombre de points mesurés. La minimisation de la fonction objectif ne peut pas être fait de manière analytiquement intuitive en raison de la forte non-linéarité de la caractéristique I(V). D'où les méthodes numériques pour la régression non linéaire basée sur le principe des moindres carrés pour estimer d’une manière optimale les paramètres électriques , , , et .

Le principe de la méthode les moindres carrés (Least Mean Square LMS ) [27] consiste à approximer la caractéristique I-V par deux droites linéaires dans les deux régions de tensions suivantes :

Pour les tensions basses et négatives, l’équation (1) peut se simplifier sous la forme :

(11)

Ou, , , , . La régression linéaire permet d’évaluer et .

Pour les tensions assez grandes , le comportement de la caractéristique est exponentiel; le courant à travers la cellule s’écrit comme suit:

(12)

Pour évaluer la résistance série *Rs*, le facteur de qualité *n* et le courant de saturation *Is*,  
on utilise *I* au lieu de *V* comme une variable indépendante dans l’équation (12), et nous  
obtenons :

(13)

# Resultats

Dans la suite, nous présentons les résultats obtenus grâce à l’application de la méthode des moindres carrés (LSM). Le test d’application a été appliqué sur la cellule PVO formée de l’hétérojonction D/A (P3HT/ PCBM) qui est représenté par les cinq paramètres électriques

selon le modèle à une diode.

Les paramètres PV extraits, à partir des données mesurées (Ii , Vi) de la cellule PVO de structure P3HT: PCBM, sont regroupés dans le tableau1.

Tableau I

Paramètres calculés basés sur la courbe I(V).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Paramètres**  **électriques** | **Nos calculs** | **Ref[28**] |
|  | 6.59  1.46×10-14  0.84  1038.13  38.85 | 6.4  2.21×10-12  1.068  36400  38.24 |

La figure 5 représente la caractéristique

expérimentale I(V) et celle calculée à partir de l’équation (1). Les courbes obtenues montrent une bonne concordance entre nos résultats théoriques et ceux donnés par l’expérience [28], ce qui preuve la validité de notre technique numérique d’extraction utilisée.

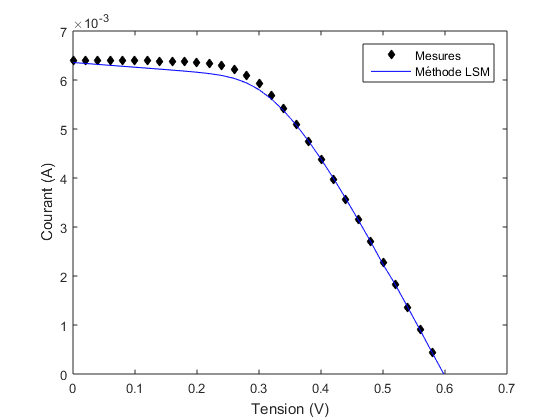


Fig.5. Caractéristiques I-V expérimentale et

calculée de la cellule PVO à base de P3HT:PCBM.

La courbe de la variation de la puissance électrique produite par la cellule est représentée sur la figure 6 lorsqu’elle est soumise aux Conditions Standard de Test (STC), éclairement solaire de 1000 W/m2, température de la cellule PVO égale à 25°C et de répartition spectrale du rayonnement dit AM=1,5.

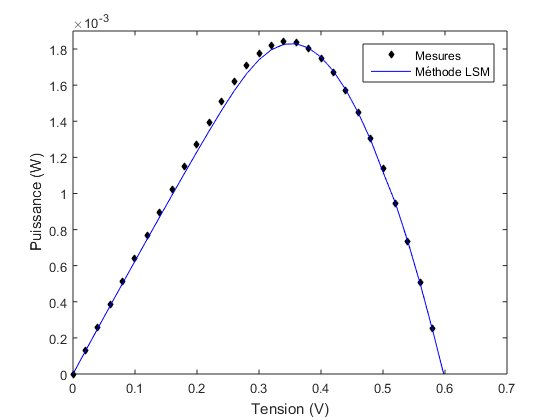


Fig. 6. Caractéristiques P-V expérimentale et calculée de la cellule à base de P3HT:PCBM.

A partir de cette caractéristique, la puissance maximale fournie par 1cm2 de la cellule est de 1.82 mW. Le tableau 2 présente les valeurs des paramètres photovoltaïques de la cellule solaire obtenues à partir de la caractéristique P-V.

Tableau II

Paramètres électriques de la cellule PVO.

|  |  |
| --- | --- |
| **Paramètres**  **électriques** | **Nos calculs** |
|  | 0.6  1.82  46.02  1.82 |

Ce résultat est en accord avec les résultats rapportés dans des études réalisées par plusieurs chercheurs [28]. L’énergie électrique produite par cette cellule PVO est très faible, ceci peut être expliqué par le fait que l’absorption des polymères constituant la couche active est d’une faible gamme des spectre d’absorption en UV-visible. En effet, une partie du rayonnement absorbé n’est pas convertie en énergie électrique : elle se dissipe sous forme de chaleur; c’est pourquoi la température de la cellule (Tc) est toujours plus élevée que la température ambiante (Ta). De plus, les polymères de bas-gap sont définis comme des polymères absorbant la lumière avec des longueurs d'onde au-dessus de 600 nm. Les polymères traditionnels utilisés dans les photovoltaïques organiques, tel que le P3HT, ont une absorption qui se prolongent aux longueurs d'onde de 650 nm[29, 30]. Enfin, la déconjugaison du polymère explique la perte d’absorbance dans le visible et donc la décoloration de l’échantillon constatée à l’échelle macroscopique.

# conclusion

Dans ce travail, nous sommes intéressés à l’extraction des paramètres électriques d’une cellule solaire organique de configuration

ITO/(P3HT :PCBM)/Al à partir de la

caractéristique expérimentale courant-tension (I-V). Le modèle à une diode de l’hétérojonction D/A a été choisi pour caractériser toutes les propriétés et les phénomènes physiques qui se produisent dans la cellule. La technique

développée à base de l’algorithme de la méthode

des moindres carrés a été effectuée pour

extraire les cinq paramètres électriques décrivant la cellule PVO à base de P3HT: PCBM. Les résultats obtenus sont : la densité de photocourant est de 6.59 mA, la tension de circuit ouvert est de 0.6 V, avec un rendement de conversion égale à 1.82%. Ce résultat obtenu est en bon accord avec la littérature éditée auparavant et qui a permis, en outre une meilleure maîtrise des performances

des cellules organiques, en vue de leur

amélioration.

*References*

1. B imitrakopulos, C.D and Malenfant, P.R.L. 2002. Organic Thin Film Transistors for Large Area Electronics. Advanced Materials. Vol. 14 (2), 99 – 117.
2. A.J. Mozer, A.J., and Sariciftci, N.S. 2006. *Conjugated Polymer Photovoltaic Devices and Materials.* Comptes Rendus Chimie. 9 (5-6), 568 – 577.
3. Galagan Y.J., Andriessen R., Rubingh, E., Grossiord N, Blom P. 2010. Toward fully printed Organic Photovoltaics: Processing and Stability. In Proceedings LOPE-C 2010: 88-91.
4. Moliton, A. 2003. Optoélectronique Moléculaire et Polymère: des concepts aux composants, Springer .
5. Nunzi, J.M. 2002. *Organic Photovoltaic Materials and Devices.* Comptes Rendus Physique. 3, 523 – 542
6. Ravi Kishore, V.V.N., Aziz, A., Narashiman, K.L., Periazamy, N., Meenakshi, P.S., Wategaonkar, S. 2002. *On the assignment of the absorption bands in the optical spectrum of Alq3.* Synthetic. Metals. 126, 2-3,199-205.
7. Theander, M., Yartsev, A., Zigmantas, D., Sundström, V., Mammo, W., Andersson, M.R., et Inganäs, O. 2000. *Photoluminescence quenching at a polythiophene /C60 heterojunction.* Physical. Review B. 61, 12957.
8. Kroeze, J.E., Savenije, T.J., Vermeulen, M.J.W. et Warman, J.M. 2003. Contactless Determination of the Photoconductivity Action Spectrum, Exciton Diffusion Length, and Charge Separation Efficiency in Polythiophene-Sensitized TiO2 Bilayers. Journal Physical Chemistry B. 107, 7696.
9. Lemaur, V., Steel, M., Beljonne, D., Brèdas, J.L., Cornil, J. 2005. Photoinduced Charge Generation and Recombination Dynamics in Model Donor/Acceptor Pairs for Organic Solar Cell Applications: A Full Quantum-Chemical Treatment. Journal of the American Chemical Society. 127, 6077-6086.
10. McCulloch, I. 2004. Low-threshold lasers based on a high-mobility semiconducting polymer. Applied. Physics. Letters. 85, 3890.
11. Caironi, M., Agostinelli, T. , Natali, D., and Sampietro, M., Cugola, R. , Catellani, M., and Luzzati, S., External quantum efficiency versus charge carriers mobility polythiophene/methanofullerene based planar photodetectors. 2007. Journal. Applied Physics. 102, 024503.
12. Mihailetchi, V.D., Van Duren, J.K.J., Blom, P.W.M., Hummelen, J.C., Janssen, R.A.J., Kroon, J.M., Rispens, M.T., Verhees, W.J.H., Wienk, M.M. 2003. Adv. Funct. Mater. 13, 43.
13. Waldauf, C., Schilinsky, P., Perisutti, M., Hauch, J., Brabec, C.J. 2003. Adv. Mater. 15, 208.
14. Pacios, R., Nelson, J., Bradley, D.D.C., Brabec, J.C. 2003. Appl. Phys. Lett. 83, 4764.
15. Monestier, F. 2008. Amélioration de l'absorption photonique dans les cellules photovoltaïques organiques. Thèse de Doctorat. Université Paul Cézanne Aix Marseille III. France.
16. Shrotriya, V., EHE, Wu., Li, G., Yao Y., Yang, Y. 2006. Efficient light harvesting in multipledevice stacked structure for polymer solar cells. Appl.Phys. Lett. 88, 064-104.
17. Katz, E.A., Gevorgyan, S., Orynbayev, M.S., and Krebs, F.C. 2006. Out-door testing and long-term stability of plastic solar cells. Eur. Phys. Appl. Phys. 36, 307–311.
18. Yadir, S., Assal, S., Khaidar, M.., Sidki, M., Benhmida, M., Malaoui , A. 2011. Extraction of Solar Cell Physical Parameters Model with Double Exponential from Illuminated I-V Experimental Curve. Global Journal of Physical Chemistry. pp 236-240,
19. Mazhari, B. An improved solar cell circuit model for organic solar cells. 2006. Solar Energy Materials & Solar Cells. 90, 1021-1033.
20. Maoucha, A. 2011. Edude et identification paramétrique d’une cellule photovoltaïque organique. Thèse de Doctorat. Faculté de la technologie. Université de Batna.
21. Charles, J. P., Mekkaoui-Alaoui, I., Bordure, G., and Mialhe, P. 1984. Etude comparative des circuits équivalents à une ou deux diodes en vue d’une simulation précise des photopiles. Revue de Physique Appliquée. 19, 851-857.
22. Sayad, Y. 2009 Détermination de la longueur de diffusion des porteurs de charge minoritaires dans le silicium cristallin par interaction lumière matière. Thèse de Doctorat. N°Ordre 2009-ISAL-0053. Institut national de sciences appliquées de Lyon.
23. Malaoui, A., Barah, E., and Antari, J. 2016. Implementation of a new approach for modeling and determining the electrical parameters of solar cells. International Journal of Innovation and Applied Studies. 15 (2), 329-338.
24. Cheknane, A., Hilal, H., Djeffal, F., Benyoucef, B., Charles, J. P. 2008. An equivalent circuit approach to organic solar cell modelling. Microelectronics Journal. 39, 1173–1180.
25. Malaoui, A., Elmansouri, A. 2010. Deux nouvelles méthodes complémentaires pour l’extraction optimale des paramètres électriques des jonctions. Revue des Energies Renouvelables CDER, Vol. 13, 2.
26. Khalis, M., Mir, Y., Hemine, J., and Zazoui, Z. Extraction of equivalent circuit parameters of solar cell: influence of temperature. 2011. Eur. Phys. J. Appl. Phys. 54, 10102.
27. Bouzidi, K., Chegaar, M., and Bouhemadou, A. 2007. Solar cells parameters evaluation considering the series and shunt resistance. Solar Energy Materials & Solar Cells. 91, 1647-1651.
28. A. Jain, A., and A. Kapoor, A. 2005. A new method to determine the diode ideality factor of real solar cell using Lambert W-function. Solar Energy Materials and Solar Cell. 85, 391-396.
29. Dang, M. T., Hirsch, L. and G. Wantz. 2011. P3HT:PCBM, best seller in polymer photovoltaic research. Adv. Mater. 23, 3597–3602.
30. Pasquier, A. D., Unalan, H. E., Kanwal, A., Miller, S. and M. Chhowalla. 2005. Conducting and transparent single-wall carbon nanotube electrodes for polymer-fullerene solar cells. Appl. Phys. Lett. 87, 203511.