

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf -Mila
Institut des Sciences et de Technologie
Département de Sciences et Technologie



N°Ref :.....

Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme
de MASTER
Spécialité : Électromécanique

Simulation de la cellule photovoltaïque organique à hétérojonction

Réalisé par :

- Bouheroum Oussama
- Abdelli Haroun

Soutenu devant le jury :

Mme. S. DIB
Mr. B. MEHIMMEDATSI
Mme. S. BOUCHEKOUF

Présidente
Examinateur
Promotrice

Année universitaire : 2021/2022

DÉDICACE

Nous dédions ce travail à toutes personnes chères à notre cœur,

Nos très chers parents

Nos frères

Nos sœurs

Toutes nos amies

Toutes familles de science

Nous leurs disons merci.

Remerciement

Avant tout, nous remercions Allah le tout-puissant qui nous adonnés la force pour réaliser cet ouvrage que nous souhaitons qu'il atteigne nos espérances.

*Nous tenons à remercier en premier lieu, mon encadreur, **Mme Bouchekouf Seloua**, Je la remercie de m'avoir accueillie et de m'avoir très vite encouragée à participer à des échanges scientifiques.*

Ces grandes disponibilités, ces rigueurs scientifiques, son enthousiasme, sa patience et ces précieux conseils nous ont permis de travailler dans les meilleures conditions.

*Nous tenons à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à **Mme Dib Samira**, qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de ce mémoire.*

*Nous tenons également à remercier vivement les membres du jury : **Mr MEHIMMEDATSI Mehimmedatsi Boudjamaa** Pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

Je n'oublierai pas la contribution de mes collègues et mes amis de m'avoir encouragé et de me soutenir moralement durant toute la période de sa préparation.

Nomenclature

AM :	air mass.
OPV :	Cellule photovoltaïque organique.
BC :	Bande de conduction.
BV :	Bande de valence.
C60 :	Premier fullerène découvert, le C60, le carbone 60.
PI :	Potentiel d'ionisation.
BI :	Bande interdite.
E_g :	Largeur de la bande interdite.
R_s :	Résistance série.
R_{sh} :	Résistances shunt.
V_{co} :	Tension de circuit ouvert(V).
I_{sc} :	Courant de court-circuit (short-cut) (A).
η :	Rendement des cellules (%).
FF :	Facteur de forme.
T :	Température (°C).
θ :	Angle de pénétration.
c :	Vitesse de la lumière.
λ :	Longueur d'onde.
S :	Surface du photo-générateur (m^2).
E_{cl} :	Eclairement (W/m^2).
I :	Courant fourni par la cellule (A).
V :	Tension aux bornes de la cellule (V).
μ_n :	Mobilité des électrons.

μ_p :	Mobilité des trous.
$\Delta n = n - n_e$:	Densité de excitons générés (les électrons), n_e : la densité à l'équilibre.
n_τ :	La durée de vie des porteurs minoritaires de la région p (les électrons).
$\Delta p = p - p_e$:	La densité des trous générés, p_e : la densité à l'équilibre.
p_τ :	La durée de vie des porteurs minoritaires de la région n (les trous).
G_n :	Le taux de la génération des e^- .
G_p :	Le taux de la génération des e^+ .
$F(\lambda)$:	Le flux des photons incidents par $cm^{-2} s^{-1}$ par unité de longueur d'onde.
R :	Coefficient de réflexion.
α_1 :	Le coefficient d'absorption dans le dérivé d'Oligo thiophène.
X_b :	L'épaisseur de la couche P.
L_p :	La longueur de diffusion des e^+ .
S_n :	La vitesse de recombinaison des électrons à la surface.
α_2 :	Le coefficient d'absorption dans le P.
S_p :	La vitesse de recombinaison des trous au contact arrière.
L_n :	La longueur de diffusion des e^- .
L_p :	La longueur de diffusion des e^+ .
HOMO :	le niveau haut de la bande de valence dans le matériau organique.
LUMO :	le niveau bas de la bande de conduction dans le matériau organique.
I_p :	l'énergie d'ionisation.
I_{ph} :	la photo courante.
I_{Sh} :	le courant shunt.
$\Delta\Phi$:	la différence entre $LUMO_d$ et $LUMO_a$.
A_e :	affinité électrique.
I_p :	Energie d'ionisation.

- P_v** : photovoltaïque.
- MPP** : pigment méthyle pérylène.
- ZnPc** : phtalocyanine de zinc.
- ITO** : indium tin oxyde.
- W_c** : watt Crète.
- W_p** : watt Peak.
- STC** : condition de test standard.
- KTC/q** : représentant la potentielle thermodynamique.
- q** : constant de charge d'électron $1.602 \cdot 10^{-23}$ c.
- K** : constant de Blotzmann $1.38 \cdot 10^{-23}$ j/k.
- CdTe** : tellure de cadmium.
- CIS** : séléniune de cuivre et d'indium.
- CISG** : séléniune de cuivre et d'indium et de gallium.
- Sia** : silisium amorphe.
- h** : constant de Planck.
- v** : la fréquence de radiation.
- D_n** = $\frac{\mu_n KT}{q}$: constante de diffusion des électrons.
- D_p** = $\frac{\mu_p KT}{q}$: constante de diffusion des trous.

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Nomenclature

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale 1

Chapitre 1 : L'énergie et la cellule photovoltaïque

1. Introduction : 3

2. Le gisement solaire..... 3

3. Le rayonnement solaire et le nombre de masse..... 4

4. Les matériaux semi-conducteurs 5

4.1. La jonction PN 6

4.1.1. L'homojonction..... 7

4.1.2. L'hétérojonction 7

5. La cellule photovoltaïque 9

6. Principe de fonctionnement d'une cellule solaire PV 10

7. Les filières technologiques des cellules photovoltaïques..... 11

7.1. Le silicium..... 11

7.1.1. Le silicium monocristallin..... 12

7.1.2. Le silicium multi cristallin (Poly cristallin) 12

7.2. Les couches minces 12

7.3. Cellules organiques et plastiques 14

8. Conclusion..... 14

Chapitre 2 : Présentation de la cellule photovoltaïque organique

1. Introduction :	15
2. Les semi-conducteurs organiques	15
2.1. Définition	15
2.2. Types de Semi-conducteurs organiques	15
2.2.1. Les polymères	15
2.2.2. Les oligomères	16
2.2.3. Les petites molécules	16
2.3. Les systèmes Conjugués Linéaires (système π conjugué)	17
2.4. Les niveaux LUMO HOMO et les bandes d'énergie	17
2.5. Propriétés électronique, optique et de transport des semi-conducteurs organiques..	19
2.5.1. Propriétés électroniques	19
2.5.2. Propriétés optiques	19
2.5.3. Propriétés de transport.	20
3. Principe de fonctionnement d'une cellule solaire organique	20
3.1. Absorption des photons et génération des excitons	20
3.2. Diffusion et dissociation des excitons	21
3.3. Le transport des charges	22
3.4. La collecte des charges.	23
4. Structure des cellules photovoltaïques organiques.	23
4.1. Structure Schottky	24
4.2. Structure hétérojonction	25
4.2.1. Système bicouche	25
4.2.2. Système à réseau interpénétré de deux matériaux	26
5. Caractéristique de la cellule photovoltaïque organique.	27
5.1. Puissance crête d'une cellule PV	27
5.2. Caractéristique courant-tension I(V)	27
5.3. Courant de court-circuit ICC :	27
5.4. Tension à circuit ouvert Vco	28
5.5. Facteur de forme FF	28
5.6. Rendement de conversion en puissance η	29
5.7. Résistance série	29

5.8. Résistance shunt	29
5.9. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque organique.....	30
6. conclusion.....	31

Chapitre 3 : Modélisation de la cellule photovoltaïque organique MPP/ZnPc

1. Introduction	32
2. La cellule organique bicouche MPP/ZnPc	32
3. Modèle de calcul.....	32
3.1. Eclairage, puissance incidente et flux solaire au sol.....	33
3.2. Coefficient d'absorption.....	34
3.2.1. Pour le MPP	34
3.2.2. Pour le ZnPc :	35
3.3. Le champ électrique, $E(x)$	35
3.3.1. Dans le semi-conducteur 1 (MPP)	35
3.3.2. Dans le semi-conducteur 2 (ZnPc)	36
3.4. Calcul de la photo courant de la cellule organique MPP/ZnPc.....	37
3.4.1. La première zone neutre N (le donneur MPP)	38
3.4.2. La deuxième zone neutre P (l'accepteur ZnPc)	39
3.4.3. Le courant dans la zone active (I_g)	40
3.4.4. Densité de photo courant totale, I_{ph}	40
4. Caractéristique courant tension $I(V)$	40
4.1. Caractéristique I-V idéale.....	41
4.2. Caractéristique I-V réelle	41
5. Conclusion.....	42

Chapitre 4 : Résultats et Discussions

1. Introduction	43
2. Modèle de Simulation	43
3. Organigrammes de simulation	45
3.1. Organigramme de calcul du photo courant J_p , J_n , J_{zce} et J_{ph}	45
3.2. Organigramme de la simulation de la caractéristique $I(V)$ [réelle].....	46
4. Simulation des caractéristiques de la cellule MPP/ZnPc	47

4.1. Calcul de photo courant.....	49
4.2. Présentation des caractéristiques I(V) P(V)	51
4.3. Insertion de la couche composite ZnPc/C60	52
5. Conclusion.....	54
Conclusion générale	55
Références Bibliographiques	57
Résumé	

Liste des tableaux

Chapitre 4

Tableau 4-1 : Les caractéristiques de la structure bicouche MPP/ZnPc	52
Tableau 4-2 : performances de la structure bicouche MPP/ZnPc avec la couche composite ZnPc/C60.....	53

Liste des figures

Chapitre 1

Figure 1-1 : Définition du nombre d'air masse (AM) et spectre d'émission du rayonnement solaire homologué par la Société Américaine de Tests et Matériaux (ASTM G173-03).	4
Figure 1-2 : Schéma représentant les conditions AM0, AM1, AM1.	5
Figure 1-3 : Forme quatre liaisons covalentes avec un atome voisin.	6
Figure 1-4 : Génération de la paire électron-trou.	6
Figure 1-5 : La diffusion des trous et l'électron dans la jonction PN.	6
Figure 1-6 : La zone de transition dans la jonction PN.	7
Figure 1-7 : Divers types d'hétérojonctions définis par la position relative des bandes des semi-conducteurs A et B.	8
Figure 1-8 : structure de bandes des cellules solaires à hétérojonctions.	9
Figure 1-9 : Structure la plus simple d'une cellule solaire.	10
Figure 1-10 : Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.	11
Figure 1-11 : Photos de cellules monocristallines et multi cristallines.	12
Figure 1-12 : Deux exemples de modules utilisant le Sia (Silicium amorphe).	13
Figure 1-13 : Cellule PV organique.	14

Chapitre 2

Figure 2-1 : Exemples de polymères semi-conducteurs.	16
Figure 2-2 : Exemples de petites molécules semi-conductrices.	17
Figure 2-3 : Diagramme d'énergie des orbitales moléculaires π obtenu suite à l'augmentation de la conjugaison. Définition de l'affinité électronique A_e , du potentiel d'ionisation I_p	18
Figure 2-4 : Diagramme énergétique d'un matériau semi-conducteur donneur ou accepteur d'électrons	19
Figure 2-5 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque organique.	20
Figure 2-6 : Exciton de Frenkel et de Wannier.	21
Figure 2-7 : Schéma de bande du mélange accepteur-donneur avec la différence LUMOd LUMOd noté $\Delta\Phi$	22
Figure 2-8 : Structure générale d'une cellule photovoltaïque organique	23
Figure 2-9 : Représentation des niveaux d'énergie d'un contact ITO/matériau organique/Al2S3	
Figure 2-10 : Structure d'une cellule hétérojonction plane.	25

Figure 2-11 : Structure d'un réseau interpénétré donneur d'électrons /accepteur d'électrons	26
Figure 2-12 : Les courbes I(V) P(V) d'une cellule solaire.....	27
Figure 2-13 : Tension de circuit ouvert de cellule photovoltaïque organique	28
Figure 2-14 : Détermination graphique de résistance shunt et série.	30
Figure 2-15 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque organique	30

Chapitre 3

Figure 3-1 : Structure de la cellule organique bicouche Substrat/ITO/MPP/ZnPc/Au.....	32
Figure 3-2 : Model géométrique de la structure MPP/ZnPc.	33
Figure 3-3 : Approximation de l'éclairement solaire au sol.	34
Figure 3-4 : (a) Champ et(b) potentiel électrique à l'interface d'une hétérojonction n-p.....	36
Figure 3-5 : Circuit électrique de la cellule MPP/ZnPc.	42

Chapitre 4

Figure 4-1 : Le profil d'absorption dans l'hétérojonction MPP/ZnPc.	44
Figure 4-2 : Distribution de l'éclairement incidente en fonction de La longueur d'onde	47
Figure 4-3 : Nombre de photons incidents en fonction de la longueur d'onde.....	47
Figure 4-4 : Coefficient d'absorption du MPP en fonction de La longueur d'onde	48
Figure 4-5 : Coefficient d'absorption du CIGS en fonction de La longueur d'onde.	49
Figure 4-6 : Densité du courant que déploie le MPP (courant des trous) en fonction de la longueur d'onde.....	49
Figure 4-7 : Densité du courant que déploie le ZnPc (courant des électrons) en fonction de la longueur d'onde.....	50
Figure 4-8 : Densité du courant que déploie la ZCE en fonction de la longueur d'onde.....	51
Figure 4-9 : Les caractéristiques de sortie I(V) et P(V) de la cellule MPP/ZnPc.	52
Figure 4-10 : La caractéristique I(V) pour la structure MPP/ZnPc contient la couche composite ZnPc/C60(1 :1).	53

Introduction générale

Introduction générale

Les énergies renouvelables sont particulièrement intéressantes. En effet, elles sont inépuisables, propres et ne produisant aucun impact sur l'environnement. Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes intéressés à l'énergie solaire photovoltaïque. Elle est obtenue par conversion directe du rayonnement solaire en électricité.

Le photovoltaïque est une des voies qui s'est significativement développée au cours de ces dernières années, avec un taux de croissance de 40 %. Depuis l'obtention d'un rendement voisin de 5% avec des cellules photovoltaïques à base de silicium en 1950, des travaux très concluants ont été effectués afin d'améliorer le rendement de conversion et d'élargir le champ du photovoltaïque à l'échelle industrielle. Le solaire photovoltaïque connaît aujourd'hui un très fort développement et rencontre un succès sans cesse croissant tant en zone urbaine qu'en zone rurale, tant auprès des particuliers que des entreprises. Selon la dernière étude de l'association professionnelle de l'énergie solaire (Enerplan), la production mondiale d'électricité photovoltaïque à l'horizon 2030 pourrait couvrir 60 % des besoins en électricité des pays européens, et d'ici 2040, le photovoltaïque pourrait représenter 20 à 28 % de la production mondiale d'électricité.

De nombreuses filières technologiques existent dans ce domaine. Elles se caractérisent aussi bien par les matériaux employés que par le principe de mise en œuvre. Cependant, le rapport prix/rendement reste le principal défi des chercheurs. Actuellement, la filière matériaux organiques commence à prendre de l'essor vu le coût faible de ces matériaux. Des efforts considérables sont donc fournis pour améliorer les performances des cellules à base de ces matériaux dont le rendement de conversion demeure non satisfaisant.

Dans ce travail, nous sommes intéressées aux cellules photovoltaïques organiques à hétérojonctions D/A. Nous avons choisi une méthode de simulation basée sur la résolution des équations de courants (continuités) pour une hétérostructure bicouche à petites molécules à base de pigment méthyle pérylène (MPP) et le phtalocyanine de zinc(ZnPc) avec comme structure ITO/MPP/ZnPc/Au. Ces derniers ont une bonne stabilité thermique, de hauts coefficients d'absorption ($>10^5\text{cm}^{-1}$), et une conductivité électrique suffisante, bien que l'épaisseur de la couche utile de génération de charge dans les cellules organiques soit beaucoup plus fine que celle des cellules inorganiques, les rendements de conversion de puissance appréciables

peuvent être atteints grâce aux forts coefficients d'absorption. Le (ZnPc) et de type p (donneur d'é), le (MPP) de type n (accepteur d'é).

Ce manuscrit est constitué de quatre chapitres :

- Le premier chapitre est une généralité aux l'énergie et la cellule photovoltaïques.
- Le deuxième chapitre est une présentation des cellules photovoltaïques organiques.
- Le troisième chapitre présente la modélisation de la cellule photovoltaïque organique bicouche MPP/ZnPc.
- Le quatrième chapitre est une présentation des résultats de simulation sous MATLAB.

Une conclusion générale et des perspectives d'amélioration parachèvent ce travail

Chapitre 1 :
L'énergie et la cellule photovoltaïque

1. Introduction :

Les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée. Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue. Il existe plusieurs types de sources d'énergies renouvelables parmi eux : l'énergie hydroélectrique, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie photovoltaïque. Les sources d'énergies renouvelables proviennent directement ou indirectement du soleil.

L'énergie photovoltaïque a connu un développement formidable en l'espace de 50 ans. La recherche spatiale a permis de financer les recherches initiales. La compréhension des phénomènes physiques qui a découlée de ces recherches a permis à de nombreux matériaux d'être développés avec succès par la suite, et petit à petit, avec la baisse du coût des matières utilisées et une meilleure maîtrise de la technologie, les panneaux photovoltaïques ont quitté l'espace pour être utilisés sur la terre.

Une cellule photovoltaïque convertit une partie de l'énergie solaire en énergie électrique. Une cellule photovoltaïque est donc un transducteur qui, dans la majorité des cas, utilise le rayonnement solaire. Il semble par conséquent intéressant de s'intéresser tout d'abord au générateur de ce rayonnement : Le soleil.

2. Le gisement solaire

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0.2 à 4 μm . Le spectre solaire hors atmosphère est comparable à celui d'un corps noir à une température d'environ 5800 K. À la surface de la Terre, le spectre solaire n'est plus le même, car il est pondéré par l'absorption des molécules présentes dans l'atmosphère (O₃, CO₂, H₂O, ...) [1]. Le spectre du rayonnement extraterrestre correspond environ à l'émission d'un corps noir porté à 5800° K. Une courbe standard, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom d'AM₀. Sa distribution en énergie est répartie en : [2]

- Ultraviolet UV 0.20 < λ < 0.38 μm 6.4%
- Visible 0.38 < λ < 0.78 μm 48.0%
- Infrarouge IR 0.78 < λ < 10 μm 45.6%.

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire subit une atténuation et une modification de son spectre. Ainsi la couche d'ozone absorbe la majeure partie du rayonnement

ultra-violet, tandis que la vapeur d'eau absorbe le rayonnement infrarouge. Le rayonnement solaire au sol dépend donc de l'épaisseur de l'atmosphère traversée par les rayons lumineux et n'est donc pas homogène sur toute la surface de la Terre. Pour tenir compte de ces différences, on introduit un coefficient x appelé masse atmosphérique ou nombre d'air masse (AM_x) dont l'expression est :

$$AM = \frac{1}{\sin \theta} \tag{1.1}$$

θ : représente l'élévation du soleil sur l'horizon (90° au zénith) comme le montre. Ainsi lors que le Soleil est au zénith, on dit que l'on a les conditions AM_1 car les rayons lumineux traversent une épaisseur d'atmosphère unité (7,8 km).

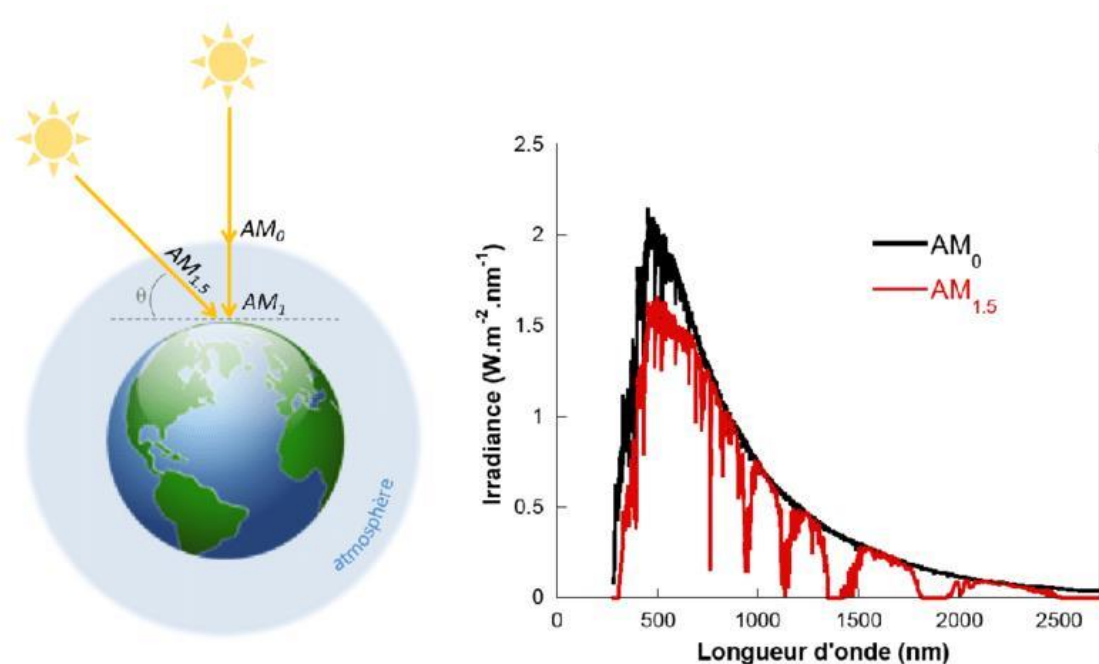


Figure 1-1 : Définition du nombre d'air masse (AM) et spectre d'émission du rayonnement solaire homologué par la Société Américaine de Tests et Matériaux (ASTM G173-03). [3]

3. Le rayonnement solaire et le nombre de masse

- Le soleil représente la source principale de lumière sur notre planète. Cette lumière est une onde électromagnétique qui se propage dans le vide avec une célérité de 3×10^8 m/s. On rappelle que les ondes lumineuses comprennent les radiations visibles, ultraviolettes et infrarouges, c'est le spectre solaire.

La constante solaire représente l'intensité lumineuse issue du soleil. Par convention, elle est considérée normalement incidente sur la surface de la terre. Sa valeur est de 1.4 KW/m^2 au-dessus de la couche atmosphérique [4]. Sur terre, cette valeur est réduite à 1 KW/m^2 par

réflexion et absorption à partir des particules présentes dans la couche atmosphérique. La perte d'énergie solaire causée par l'absorption atmosphérique est appelée la « masse d'air » AM_x , où $x = 1/\sin \theta$, (θ étant l'angle entre l'incidence des rayons lumineux et l'horizontale de la terre). La masse d'air AM_0 correspond à une masse d'air nulle pour la lumière arrivant au-dessus de la couche atmosphérique à incidence normale. La AM_1 correspond au cas où cette lumière arrive à la surface de la terre. La $AM_{1.5}$ désigne la masse d'air rencontrée à la lumière arrivant sur la surface de la terre avec un angle de 48.2° , soit une lumière plus faible du fait de l'épaisseur de la couche atmosphérique traversée. La $AM_{1.5}$ est le standard utilisé pour caractériser les cellules solaires figure.1.2. [4]

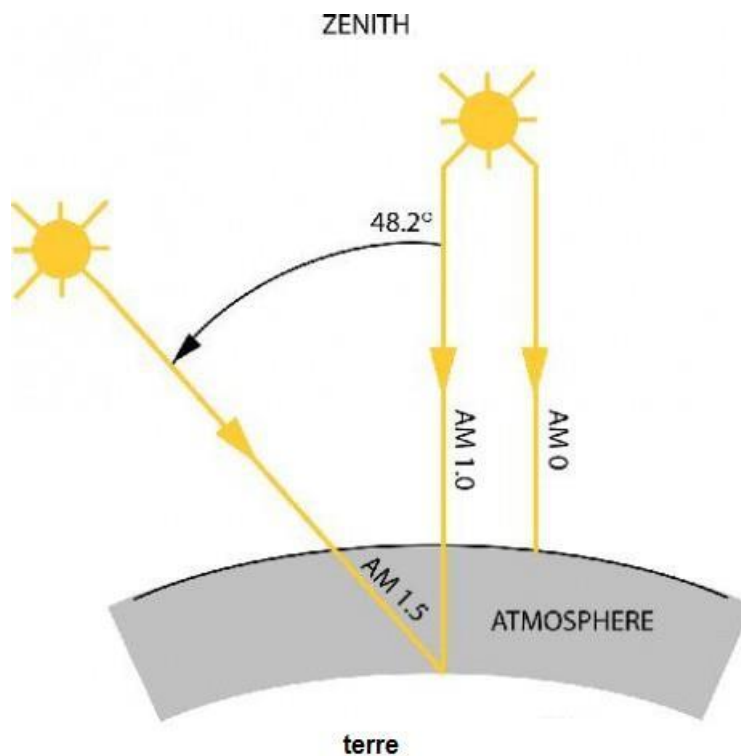


Figure 1-2 : Schéma représentant les conditions AM_0 , AM_1 , $AM_{1.5}$. [5]

Les spectres rattachés à ce standard ont été homologués par l'Organisation Internationale de Standardisation (ISO 9845-1 :1992) et la Société Américaine de Test et Matériaux (ASTM E892-87 : 1992). [4]

4. Les matériaux semi-conducteurs

Les matériaux semi-conducteurs sont des corps dont la résistivité est intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants. Les quatre électrons de valence du silicium permettent de former quatre liaisons covalentes avec un atome voisin. Dans ce cas, tous les électrons sont utilisés et aucun n'est disponible pour créer un courant électrique. [5]

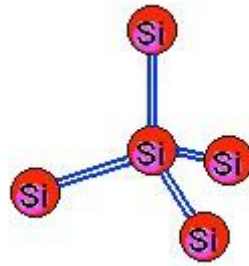


Figure 1-3 : Forme quatre liaisons covalentes avec un atome voisin. [5]

Le silicium, comme tous les semi-conducteurs, a une bande de valence pleine et une bande de conduction vide. Mais grâce à un apport énergétique suffisant, il est possible de faire passer des électrons de la bande de valence (BV) à la bande de conduction (BC), d'où la génération d'électrons libres, figure 1.4. [6]

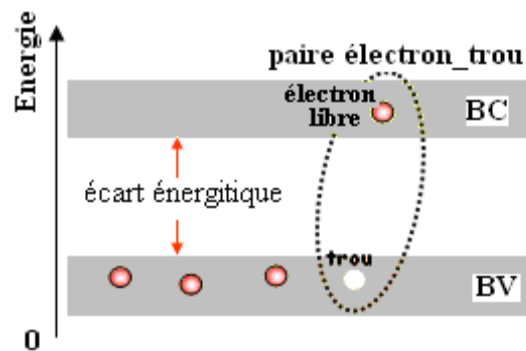


Figure 1-4 : Génération de la paire électron-trou. [6]

4.1. La jonction PN

Une jonction PN est l'accolement d'une région dopé P et d'une région dopée N. Lors de cet assemblage les porteurs de charges libres s'attirent et se recombinent dans la zone de jonction où les porteurs libres disparaissent : c'est la zone de transition. [5]

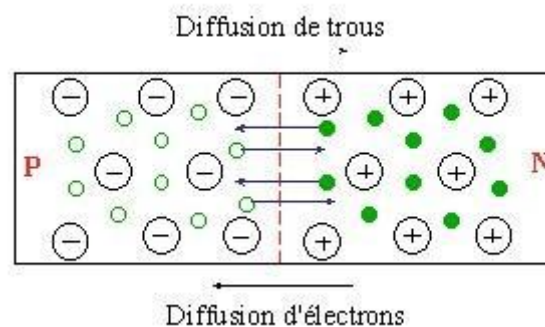


Figure 1-5 : La diffusion des trous et l'électron dans la jonction PN. [5]

Il ne reste donc plus que les ions dans cette zone qui vont créer un champ électrique interne au niveau de la jonction et qui empêche les charges libres restantes dans chaque zone de traverser la jonction pour se recombiner. [5]

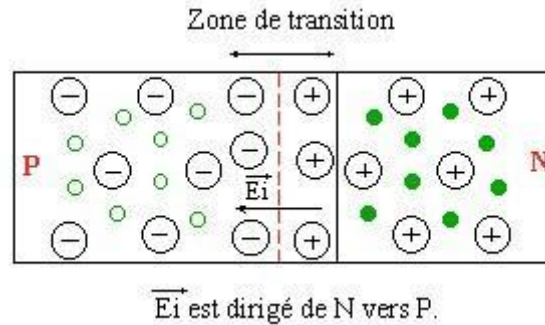


Figure 1-6 : La zone de transition dans la jonction PN. [5]

4.1.1. L'homojonction

Lorsque deux semi-conducteurs de même matériau et de type différents sont au contact l'un de l'autre, il apparaît une barrière de potentiel à l'interface, données par :

$$V_b = V_n - V_p = E_{cp} - E_{cn} \tag{1.2}$$

Où $E_{cp} - E_{cn}$ est la différence d'énergie potentielle des électrons de conduction entre la région de type p et la région de type n. [7]

4.1.2. L'hétérojonction

Les hétérojonctions sont des jonctions formées entre deux semi-conducteurs avec des énergies de gap différentes, plusieurs types d'hétérojonctions sont envisageables, figure 1.7. [8]

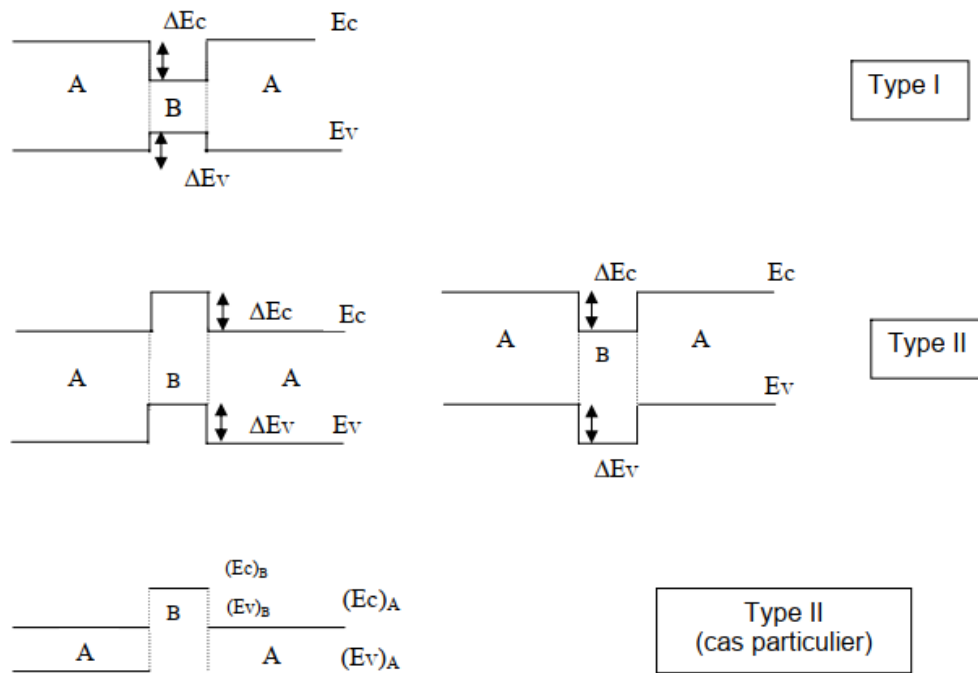


Figure 1-7 : Divers types d'hétérojonctions définis par la position relative des bandes des semi-conducteurs A et B. [9.10]

Une hétérojonction entre deux semi-conducteurs peut être obtenue en faisant croître une couche épitaxiale d'un semi-conducteur 2 sur un semi-conducteur 1 cette croissance exige que les deux matériaux aient les mêmes symétries cristallines dans le plan interfacial, des paramètres cristallins voisins, est puisque l'épitaxie se réalise à T° élevée des coefficients de dilatation thermique voisins. Lorsque les deux semi-conducteurs sont de mêmes types, la jonction est dite isotype, dans le cas contraire elle est anisotype. [11]

L'hétérojonction est la seule solution pour les matériaux qui ne peuvent être dopés de type p et n, c'est le cas du CdS qui n'existe qu'à l'état n [12], grâce à son gap élevé (2,4 eV), il joue un rôle de fenêtre, la figure ci-dessous montre les diagrammes de bandes de quelques hétérojonctions n-p à l'équilibre thermique.

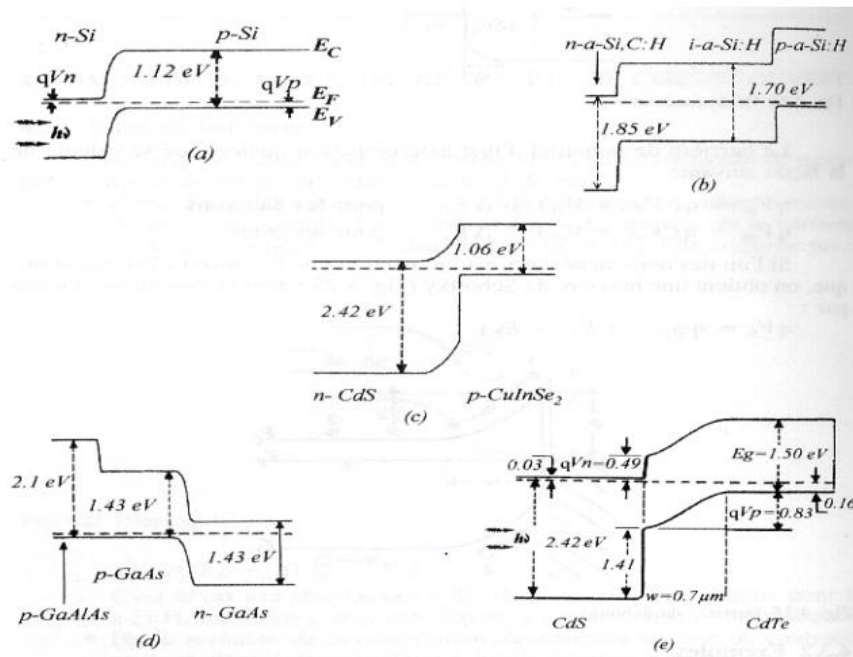


Figure 1-8 : structure de bandes des cellules solaires à hétérojonctions. [10]

5. La cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie.

Lumineuse en énergie électrique. Les cellules photovoltaïques sont constituées :

-D'une fine couche semi-conductrice (matériau possédant une bande interdite, qui joue le rôle de barrière d'énergie que les électrons ne peuvent franchir sans une excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électroniques) tel que le silicium, qui est un matériau présentant une conductivité électrique relativement bonne,

- D'une couche antireflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires,

- D'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode.

- Les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multicouches réfléchissants justes en dessous du semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement.

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule

est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule. [13]

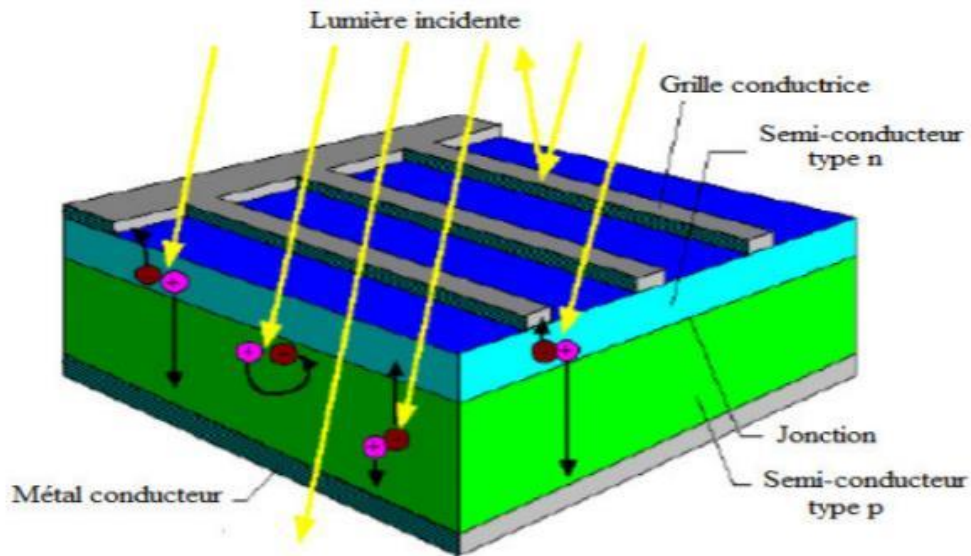


Figure 1-9 : Structure la plus simple d'une cellule solaire. [14]

6. Principe de fonctionnement d'une cellule solaire PV

La cellule solaire est une photodiode à jonction PN de grande surface qui génère un signal électrique sans l'aide d'une source d'énergie auxiliaire. Lorsque les photons issus du soleil frappent la cellule, certains sont réfléchis et d'autres sont transmis ou absorbés dans la cellule solaire, seuls les photons absorbés participent à l'effet photoélectrique. La conversion photovoltaïque met en jeu trois phénomènes physiques, intimement liés et simultanés :

- L'absorption de la lumière dans le matériau,
- Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques,
- La collecte des charges.

Il est donc clair que les matériaux constituant une cellule solaire doivent avoir des propriétés optiques et électriques spécifiques pour permettre la conversion photovoltaïque. Dans le but de collecter les paires électron-trou générées, un champ électrique permettant de dissocier les paires électrons /trou créés est nécessaire. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction PN. Le principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques est illustré sur la figure 1.10. [15]

Les photons incidents génèrent des paires électron-trou dans les régions de type N et P et dans la zone de charge d'espace. Les paires électron-trou générés se comportent différemment suivant la région :

- Dans la zone N et P, les porteurs minoritaires diffusent. Ce qui atteint la zone de charge d'espace sont propulsés par le champ électrique vers la zone P (pour les trous) et vers la zone N (pour les électrons) où ils seront majoritaires. Ce transport de porteurs de charges engendre une photo courant de diffusion.

- Dans la zone de charge d'espace, les paires électron-trou photo générés vont être entraînés par le champ électrique vers la région N (électrons) et la région P (trous). Ce déplacement des photo porteurs donne naissance à un photo courant de génération. Ces deux contributions ensemble ont pour résultat de donner une photo courant total I_{ph} . C'est un courant de porteurs minoritaires. Il est proportionnel à l'intensité lumineuse. [16]

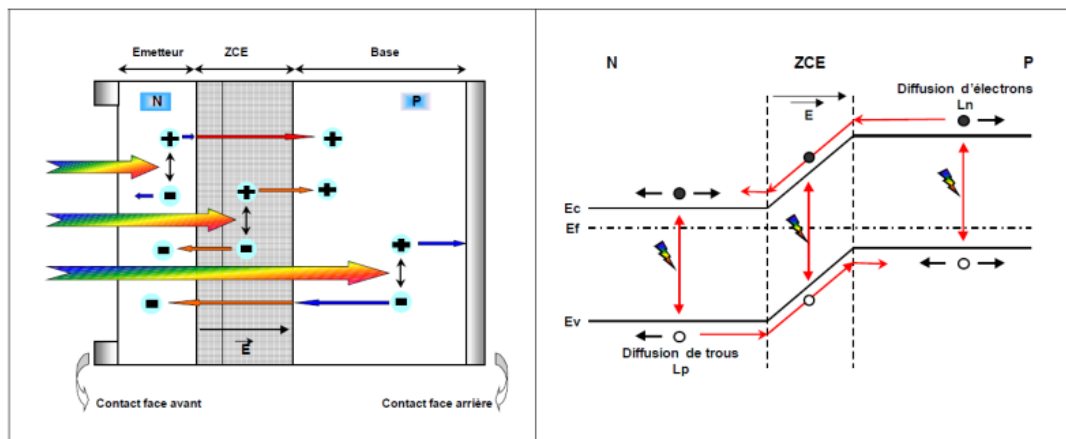


Figure 1-10 : Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque. [16]

7. Les filières technologiques des cellules photovoltaïques

Une cellule photovoltaïque peut être réalisée avec de nombreux semi-conducteurs. En réalité, il existe aujourd'hui trois principales filières technologiques : le silicium cristallin, les couches minces et les cellules organiques. Ces filières se partagent inégalement le marché.

7.1. Le silicium

La filière silicium représente aujourd'hui l'essentiel de la production mondiale des panneaux photovoltaïques. Cette filière comporte deux technologies : le silicium monocristallin et le silicium multi cristallin.

7.1.1. Le silicium monocristallin

Le silicium mono cristallin est difficile à obtenir. En effet, il nécessite un taux de pureté très élevé et donc plusieurs étapes de purification. Ces étapes sont délicates et donc coûteuses. Le rendement du silicium monocristallin est le plus élevé, il est compris entre 12 et 20% pour les cellules industrielles. Son coût élevé est aujourd'hui un handicap et le silicium monocristallin perd du terrain devant le silicium multi cristallin. [17]

7.1.2. Le silicium multi cristallin (Poly cristallin)

Le silicium multi cristallin (Poly cristallin) est devenu aujourd'hui la technologie la plus utilisée, elle représente près de 50% du marché. Ces cellules sont obtenues par coulage de cristaux de silicium, ce qui rend sa structure hétérogène. Son rendement est légèrement inférieur au silicium monocristallin il est compris entre 10 et 14% selon les fabricants. En revanche sa fabrication est beaucoup plus simple, les coûts de production sont donc plus faibles. [17]

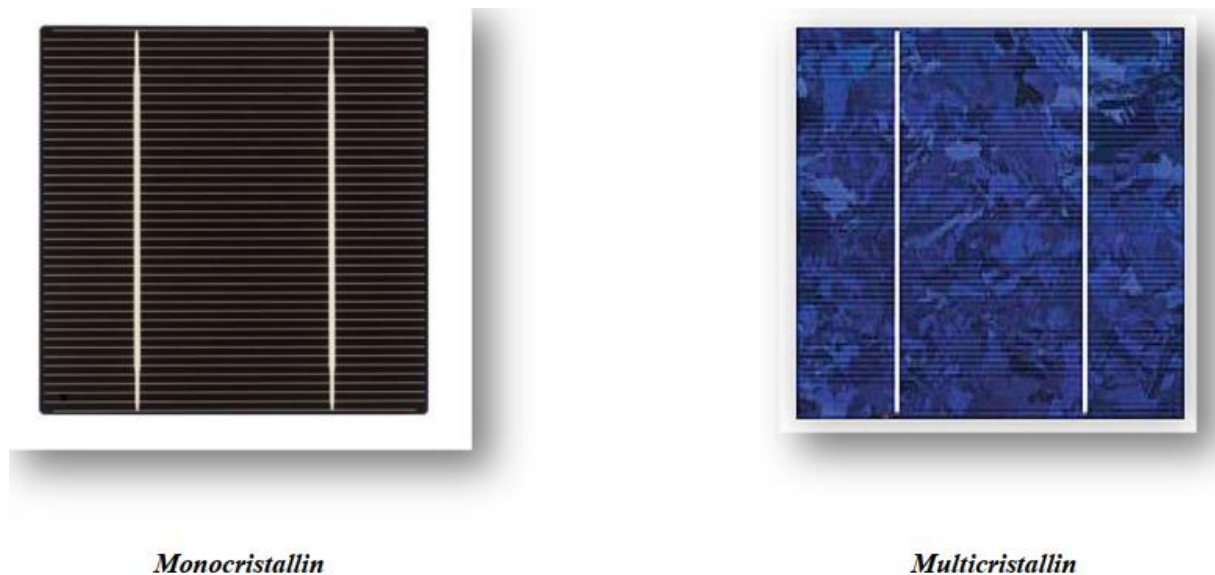


Figure 1-11 : Photos de cellules monocristallines et multi cristallines. [17]

7.2. Les couches minces

Le principal frein au développement du photovoltaïque à très grande échelle reste encore aujourd'hui, malgré la baisse de ces dernières années, le prix trop élevé du kWc. Le kilo watt crête (kWc) est l'unité qui définit la puissance d'un générateur PV aux Conditions de Test Standard (STC) (1000 W.m^{-2} et 25°C). La majorité du prix d'un générateur photovoltaïque provient du silicium et du procédé de purification. Plusieurs types de cellules photovoltaïques visant à diminuer la quantité de matière nécessaire à leur fabrication sont aujourd'hui développés et commencent à être industrialisés. Ces technologies appelées couches minces font

appel à des procédés de fabrication (dépôt sur ruban) visant la diminution de l'épaisseur des cellules. [17]



Module rigide Sharp (115Wc, 1,42 m²)



Module souple Unisolar (68Wc, 1,12 m²)

Figure 1-12 : Deux exemples de modules utilisant le Sia (Silicium amorphe). [17]

La technologie à couche mince dont la plus mure est le silicium amorphe (Sia) représentait en 2008 plus de 7% du marché mondial. L'avantage de cette technique est l'utilisation de substrats à bas coût.

Le silicium est déposé à basse température sur un substrat en verre. De plus, il est possible de déposer ces cellules sur des substrats souples figure 1.11, et ainsi de fabriquer des cellules souples. Son prix est plus faible que les cellules cristallines ; en revanche, le rendement d'une cellule en Sia est inférieur à celui des cellules cristallines, il est d'environ 7%.

Les cellules amorphes captent très bien le rayonnement diffus et sont donc moins sensibles aux variations de rayonnement direct. Ces cellules sont donc une très bonne alternative aux cellules cristallines sur des sites soumis à des ombrages sévères.

D'autres matériaux sont également utilisés dans les filières à couches minces comme le Tellure de Cadmium (CdTe), le di séléniure de cuivre et d'indium (CIS) et de gallium (CIGS). Ces technologies possèdent de bons rendements, pouvant aller jusqu'à 19%. Malgré les potentialités de ces trois technologies, les problèmes de toxicité sur l'environnement et d'approvisionnement en matières premières qu'elles soulèvent les cloisonneront au laboratoire ou à des applications très spécifiques. [17]

7.3. Cellules organiques et plastiques

Les cellules organiques observé depuis 30 ans dans les matériaux semi-conducteurs organiques, l'effet photovoltaïque a connu cette dernière décennie un grand essor.

Initialement donnant des valeurs très faibles de rendement de conversion, cette application particulière des semi-conducteurs organiques commence à attirer l'attention en 1986 lorsque l'équipe de Tang, montre que les rendements proches du pourcent sont atteignables, conformément aux prédictions de Merritt en 1978. La cellule, composée alors d'une bicouche de molécules évaporées sous vide, atteint 0,95% de rendement de conversion. Ces cellules comprennent deux voies : la voie des cellules « humides » et la voie des cellules polymères organiques dites aussi cellules « plastiques ». Les progrès de ces technologies sont très rapides, des records de rendement sont très fréquemment battus (actuellement près de 6%). Le principal frein à ces technologies est actuellement la stabilité de leurs performances ainsi que leur durée de vie (actuellement environ 1000 heures). [17]

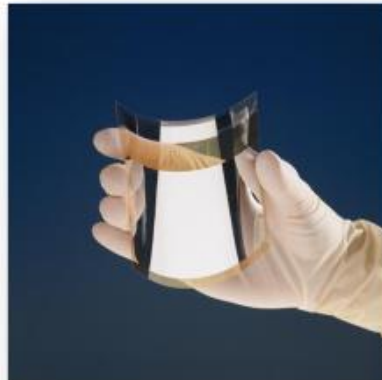


Figure 1-13 : Cellule PV organique. [17]

8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une généralité sur la cellule photovoltaïque. Où nous avons d'abord voulu rappeler le contexte énergétique global et exposé une petite définition sur le gisement solaire, les propriétés structurales et électroniques des semi-conducteurs ensuite une présentation de la cellule photovoltaïque et nous avons terminé par les filières technologiques des cellules photovoltaïques.

Dans le chapitre suivant nous entamons l'étude de la cellule photovoltaïque organique.

Chapitre 2 :
**Présentation de la cellule
photovoltaïque organique**

1. Introduction :

Dans cellule photovoltaïque organique est constituée de matériaux organiques. Ils sont capables de convertir l'énergie fournie par le soleil en une charge électrique et donc en électricité car la lumière du soleil stimule les électrons de ces matériaux. La technologie PV organique a reçu beaucoup d'attention ces derniers temps en raison de son faible coût, de sa flexibilité et de son applicabilité dans de vastes zones. Cela dépend de nombreux paramètres tels que le rayonnement et la température. Par conséquent, il était nécessaire de l'adapter avec un modèle de représentation adapté afin de gérer, d'étudier et de connaître ses caractéristiques et comment il est affecté par divers paramètres.

2. Les semi-conducteurs organiques

2.1. Définition

Un semi-conducteur organique est un composé organique, sous la forme d'un cristal ou d'un polymère, qui montre des propriétés similaires aux semi-conducteurs inorganiques. Ses propriétés sont la conduction par les électrons et les trous, ainsi que la présence d'une bande interdite. Ces matériaux ont donné naissance à l'électronique organique, ou électronique des plastiques. Par organique, on entend que les molécules utilisées sont à base de carbone. On dit organique par opposition aux semi-conducteurs inorganiques, tel le silicium, ou aux conducteurs inorganiques, comme le cuivre. [18]

2.2. Types de Semi-conducteurs organiques

2.2.1. Les polymères

Un polymère est une macromolécule formée de l'enchaînement covalent d'un très grand nombre d'unités de répétition qui dérivent d'un ou de plusieurs monomères (qui sont également appelés motifs) et préparée à partir de molécules appelées monomère. Les polymères sont faits d'un large nombre (10^3) d'unités identiques. Ils sont déposés en films minces à partir de leur solution. [19]

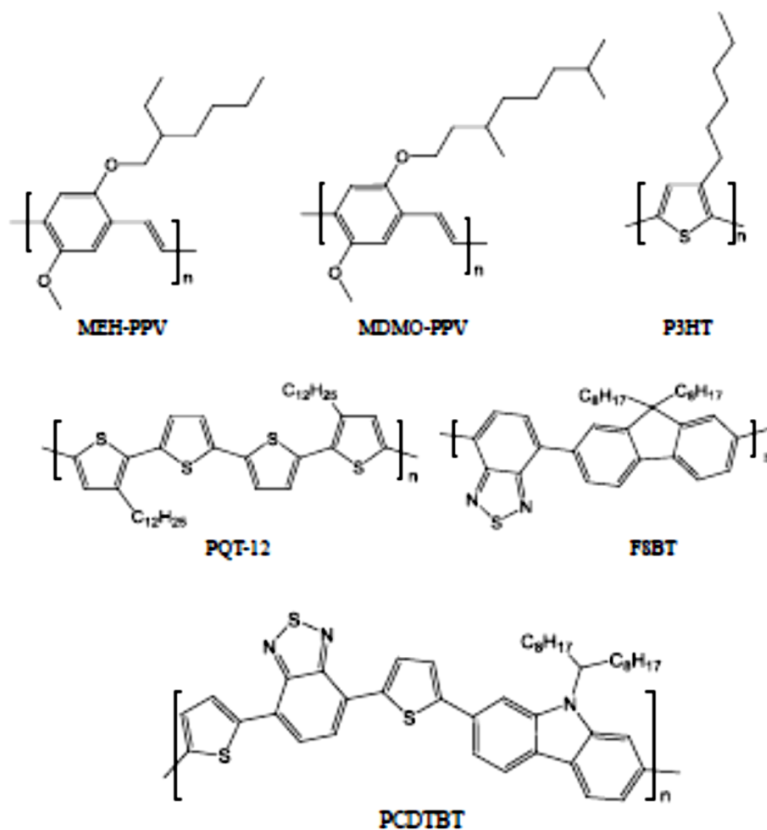


Figure 2-1 : Exemples de polymères semi-conducteurs. [20]

2.2.2. Les oligomères

Les oligomères sont des petits fragments de polymères de longueur définie (2-12 unités). Ils peuvent être solubles ou non, et forment généralement des films minces polycristallins. [19]

2.2.3. Les petites molécules

Les petites molécules sont complémentaires des polymères. Elles sont généralement déposées par évaporation sous vide. [19]

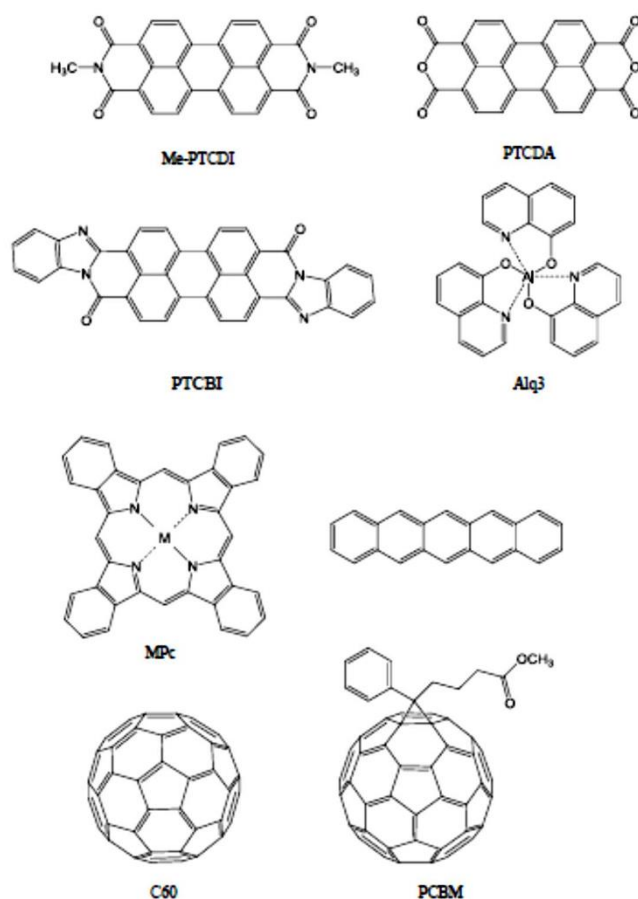


Figure 2-2 : Exemples de petites molécules semi-conductrices. [20]

2.3. Les systèmes Conjugués Linéaires (système π conjugué)

On définit un système conjugué comme un système présentant une alternance de liaisons carbone simples (σ) et liaisons doubles ($\sigma+\pi$), c'est-à-dire que la chaîne principale du polymère doit comporter alternativement des liaisons simples et multiples. Si l'on parle en termes d'orbitales atomiques, c'est l'hybridation des orbitales 2pz du carbone (perpendiculaires à la liaison plane σ) qui forme la liaison π . [19]

2.4. Les niveaux LUMO HOMO et les bandes d'énergie

Les électrons π jouent un rôle majeur dans les systèmes conjugués puisque leur ionisation (éjection ou capture des électrons) est aisée. Au niveau moléculaire, les électrons peuvent être éjectés des plus hauts niveaux électroniques (π) occupés de la molécule (HOMO : Highest Occupied Molecular Orbital) ou capturés dans les plus bas niveaux électroniques (π^*) inoccupés (LUMO : Lowest Unoccupied Molecular Orbital). Par l'allongement de la molécule, l'écart entre chacun des niveaux π (ou π^*) diminue, et la différence d'énergie entre les niveaux HOMO et LUMO diminue aussi. A la limite de la chaîne infinie, les orbitales sont si proches qu'elles forment une bande d'énergie. On parle alors de bande de conduction (BC, ensemble des

orbitales π^*) et de bande de valence (BV, ensemble des orbitales π) séparées par une bande interdite d'énergie E_g . Le modèle des bandes permet alors d'expliquer les propriétés originales des systèmes conjugués en phase solide.

Bien que les termes d'HOMO et LUMO caractérisent la molécule isolée, il est pourtant d'usage d'employer ces termes en phase solide.

Ainsi, même pour un solide, on appellera niveau HOMO, le niveau haut de la bande de valence et LUMO, le niveau bas de la bande de conduction. La bande interdite du matériau, E_g , est l'énergie nécessaire pour former une paire électron-trou et sépare ces deux niveaux. La mesure du gap optique du matériau est un moyen d'estimer la largeur de cette bande interdite.

Enfin, on considère que la position du niveau HOMO par rapport au niveau du vide correspond pour un solide à l'énergie d'ionisation I_p . De même, la position du niveau LUMO par rapport à celui du vide correspond pour un solide à l'affinité électronique A_e . [19]

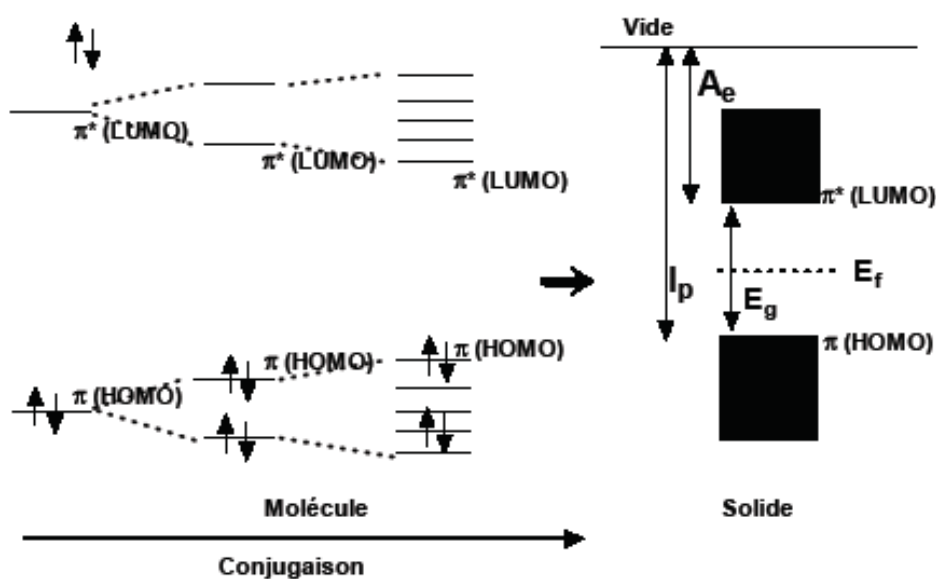


Figure 2-3 : Diagramme d'énergie des orbitales moléculaires π obtenu suite à l'augmentation de la conjugaison. Définition de l'affinité électronique A_e , du potentiel d'ionisation I_p . [19]

La figure 2.3 montre le diagramme des orbitales moléculaires π obtenu par l'allongement d'un système conjugué ou plus généralement par l'augmentation de la conjugaison suite aux interactions entre molécules (empilement dans un solide par exemple). [19]

2.5. Propriétés électronique, optique et de transport des semi-conducteurs organiques

2.5.1. Propriétés électroniques

Par analogie aux semi-conducteurs inorganiques, on peut distinguer deux classes de semi-conducteurs organiques : les matériaux donneurs d'électrons et les matériaux accepteurs d'électrons, cette distinction se fait par la comparaison des positionnements relatifs des niveaux LUMO et HOMO de chacun de ces matériaux figure 2.4. En outre le matériau donneur est celui qui possède le plus faible potentiel d'ionisation tant dis que le matériau accepteur admet la plus forte affinité électronique.

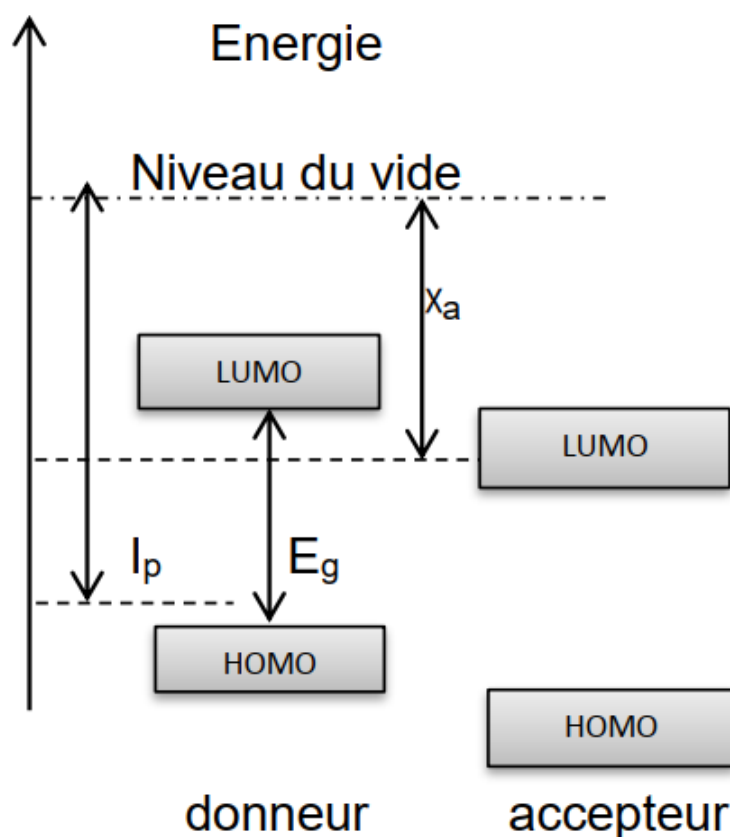


Figure 2-4 : Diagramme énergétique d'un matériau semi-conducteur donneur ou accepteur d'électrons. [21]

2.5.2. Propriétés optiques

Les propriétés d'absorption des semi-conducteurs organiques dépendent directement de la différence d'énergie entre les niveaux LUMO et HOMO donc de la largeur de la bande interdite, de ce fait-là plus part des matériaux organiques permettent l'absorption des photons dans le domaine du visible.

2.5.3. Propriétés de transport

Le modèle de transport observé dans les semi-conducteurs inorganiques et les métaux est rarement observé dans les semi-conducteurs organiques du fait des nombreux défauts de conjugaisons et du couplage électron-phonon. Le transport de charge dans les matériaux semi-conducteurs organiques se fait par sauts successifs ou « hopping », ce transport peut se faire le long de la chaîne conjugué (intramoléculaire), néanmoins ce mode reste insuffisant vu l'existence de défauts structuraux (torsion, rupture de doubles liaisons, repliement de la chaîne).

Le transport intermoléculaire (inter chaîne) permet aux charges de passer d'une molécule à l'autre. Ce mécanisme est lié au couplage entre orbitales π de deux chaînes voisines et est étroitement dépendant de l'organisation des chaînes macromoléculaires les unes par rapport aux autres. Les polymères étant généralement amorphes ou semi-cristallins, la mobilité des charges est dans la plupart des cas limitée par ce transport inter chaîne. [21]

3. Principe de fonctionnement d'une cellule solaire organique

Le fonctionnement des cellules photovoltaïques se base sur la conversion des photons en courant électrique. Dans les semi-conducteurs organiques cela se fait sur plusieurs étapes qui sont schématisés dans la figure 2.5 et que nous allons décrire une par une.

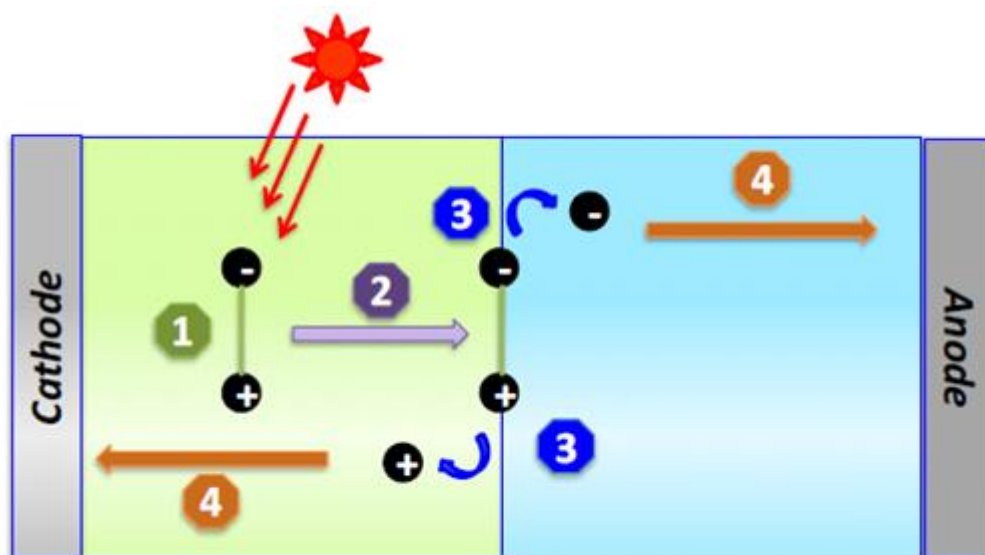


Figure 2-5 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque organique. [22]

3.1. Absorption des photons et génération des excitons

L'absorption d'un photon dans un semi-conducteur organique induit la transition d'un électron de l'HOMO vers le niveau LUMO et la création d'un trou dans l'HOMO qui est liée à

l'électron à cause de la forte interaction coulombienne, on appelle ce couple électron-trou : exciton, cela implique que les charges électriques créées ne sont pas libres. Il existe deux types d'excitons : les excitons de type Frenkel où le couple électron-trou est confiné dans la même unité moléculaire [23] et les excitons de type Wannier-Mott où le couple électron-trou est séparé par une distance plus grande que la distance moléculaire [24].

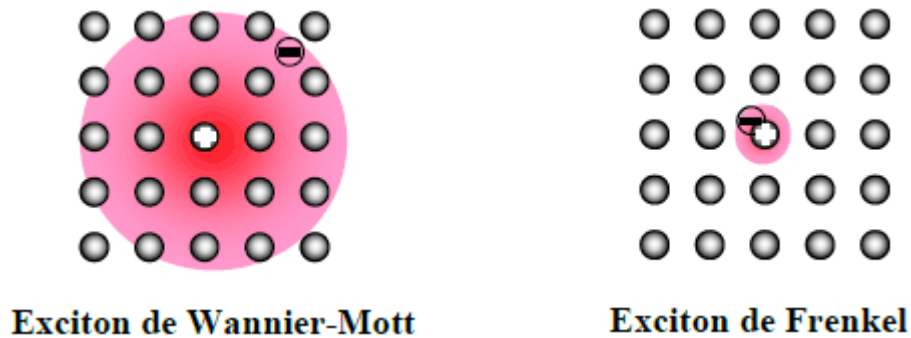


Figure 2-6 : Exciton de Frenkel et de Wannier. [25]

Pour les polymères semi-conducteurs il existe aussi l'exciton intra-chaîne et l'exciton inter-chaîne, le premier indique que la paire électron-trou se situe sur une même chaîne de polymère alors que le deuxième indique que la charge se trouve sur différentes chaînes de polymère

3.2. Diffusion et dissociation des excitons

Les excitons créés par l'absorption des photons sont électriquement neutres, donc pour produire du courant dans les cellules solaires il faut nécessairement dissocier les excitons en charges libres.

Contrairement au cas des semi-conducteurs inorganiques cette dissociation n'est pas aisée et ne peut pas se produire à une température ambiante où l'énergie thermique (quelques meV) ne suffit pas à briser l'énergie de liaison de l'exciton comprise entre 0.1 et 1.4 eV [26.27]. Pour séparer les porteurs de charges et puis les collecter, il faut que les excitons atteignent un site de dissociation. Cette capacité à atteindre un site de dissociation est dépendante de la longueur de diffusion de l'exciton L_d , si la distance entre le lieu de création de l'exciton et le site de dissociation est supérieure à L_d alors il y aura recombinaison. Dans les semi-conducteurs organiques cette grandeur varie entre 5 et 20 nm. [28.29]

Pour parvenir à une dissociation efficace des excitons on peut utiliser deux composés organiques respectivement à caractère donneur d'électrons et accepteur d'électrons. De ce fait la dissociation de l'exciton s'effectue à l'interface de ces deux matériaux.

Le facteur déterminant l'efficacité de la dissociation est la différence d'énergie entre le niveau LUMO du donneur (matériau possédant le niveau HOMO le plus haut des deux composés) et le niveau LUMO de l'accepteur (matériau possédant le niveau HOMO le plus faible des deux composés), cette différence doit être d'au moins 0.3 eV sinon la dissociation sera peu probable.

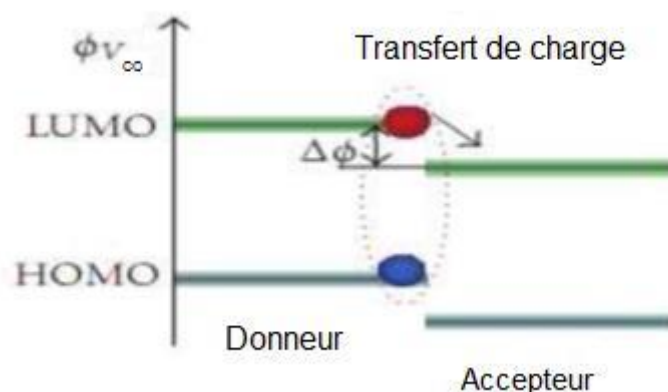


Figure 2-7 : Schéma de bande du mélange accepteur-donneur avec la différence LUMOd LUMOa noté $\Delta\Phi$. [30]

Pour un exciton créé dans le matériau donneur, une fois à l'interface, le trou reste sur le niveau HOMO du donneur puisqu'il est énergétiquement défavorable pour lui d'aller sur un niveau plus bas comme celui de l'accepteur, quant à l'électron il diffuse à partir du niveau LUMO du donneur vers le niveau LUMO de l'accepteur ce qui énergétiquement plus favorable. Par conséquent le trou se situe dans le matériau donneur et l'électron se trouve dans le matériau accepteur. Les deux porteurs de charges sont donc libres.

3.3. Le transport des charges

Le transport des porteurs des charges jusqu'aux électrodes est assuré par le donneur d'électrons pour les trous et par l'accepteur d'électrons pour les électrons [31], cette disposition particulière atténue considérablement les phénomènes de recombinaisons. Les mobilités des trous et des électrons respectivement dans le matériau donneur et dans le matériau accepteur doivent être élevées et proche l'une de l'autre afin d'assurer un bon transport et une bonne balance des charges. Parmi les facteurs pouvant influer sur la mobilité des porteurs de charges on peut citer l'organisation moléculaire qui contribue à l'augmentation de la mobilité et les impuretés qui au contraire influent négativement sur les valeurs de la mobilité. [32]

3.4. La collecte des charges

La collecte des porteurs de charges se fait grâce à deux électrodes. Pour obtenir un bon rendement photovoltaïque les travaux de sortie des électrodes doivent permettre un contact ohmique pour les électrons à l'interface accepteur/cathode et pour les trous à l'interface donneur/anode. De plus les électrodes doivent être bloquants pour les porteurs de charges opposées à ceux qu'elles collectent. Pour la collecte des électrons les métaux dont le travail de sortie est faible comme l'Aluminium, le Calcium et l'Argent sont les plus utilisés, par contre pour la collecte des trous on peut utiliser les métaux à fort travail de sortie comme l'Or et le Platine mais dans les cellules solaires une des deux électrodes devra impérativement être transparente.

L'ITO (indium tin oxyde) est un mélange d'oxyde d'indium et d'oxyde d'étain, c'est un composé transparent possédant une bonne conductivité électrique ce qui fait de lui le matériau le plus utilisé actuellement pour la collecte des trous dans les cellules photovoltaïques organiques.

D'autres oxydes métalliques comme les oxydes de zinc dopés à l'aluminium sont en développement et présentent des propriétés optiques et électriques similaires à l'ITO. Les polymères conducteurs comme le poly (3,4-ethylenedioxythiophène) : poly (4-styrenesulfonate) appelé PEDOT : PSS [33.34] ou la poly aniline (PANI) [35.36] sont beaucoup moins chers mais moins conducteurs.

Enfin l'émergence d'électrode utilisant des nanotubes de carbone [37.38] offrent de bonnes perspectives vues leurs performances et leurs bas coûts.

4. Structure des cellules photovoltaïques organiques

La cellule photovoltaïque de base est constituée d'une ou plusieurs couches actives entourées par des électrodes. Chaque couche de l'empilement doit vérifier certains critères.

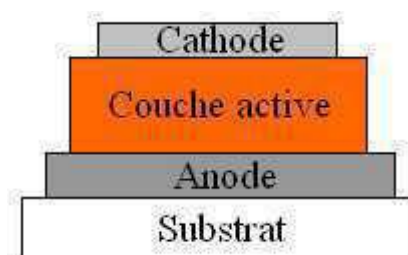


Figure 2-8 : Structure générale d'une cellule photovoltaïque organique

Les éléments importants sont :

- Substrat : rigide (verre) ou flexible (polymère, métal).
- Anode transparente : généralement composée d'oxyde d'indium dopé à l'étain mais il existe d'autres possibilités (nanotubes de carbone, polymères conducteurs...).
- Couche active : composée des semi-conducteurs organiques. Lorsqu'il s'agit de petites molécules, elles sont déposées par sublimation sous vide ou par voie humide. Pour des polymères (molécules plus grosses), elles sont déposées par voie humide, notamment des techniques de couchage rotatif ou de jet d'encre.
- Cathode : Elle est déposée par évaporation sous vide et est le plus souvent composée d'aluminium ou d'argent.

Il faut d'abord vérifier que la lumière incidente ne soit pas absorbée dans les premières couches avant d'atteindre la couche organique. Pour cela on choisit généralement une électrode transparente placée avant la couche organique. Cette électrode transparente est généralement une couche d'oxyde d'étain et d'indium (ITO) qui peut être utilisée en tant qu'anode (dans les cellules classiques) ou cathode (dans les cellules inverses). Puis Les couches photo actives constituées de semi-conducteurs organiques sont déposées à la suite de cette couche d'oxyde. De plus l'ajout d'une électrode métallique épaisse à la fin de l'empilement permet de réfléchir les rayons lumineux transmis dans l'empilement et de faire traverser une seconde fois la couche active. Sans cette couche métallique l'absorption serait diminuée.

Il y a différentes structures de cellules photovoltaïques organiques, on trouve la structure de type Schottky, la structure bicouche (hétérojonction PN) et la structure réseaux interpénétrés (hétérojonction en volume).

4.1. Structure Schottky

C'est la plus simple des cellules photovoltaïques organiques. Il s'agit d'une simple couche de polymère semi-conducteur déposée entre deux électrodes. Une électrode offre un contact ohmique avec le polymère, tandis que la seconde doit offrir des propriétés de redressement du courant.

C'est le champ électrique génère à la surface bloquante qui permet la dissociation des excitons en formant une barrière de potentiel.

Les mobilités des porteurs sont généralement faibles dans de tels matériaux ce qui a tendance à augmenter la valeur de la résistance série.

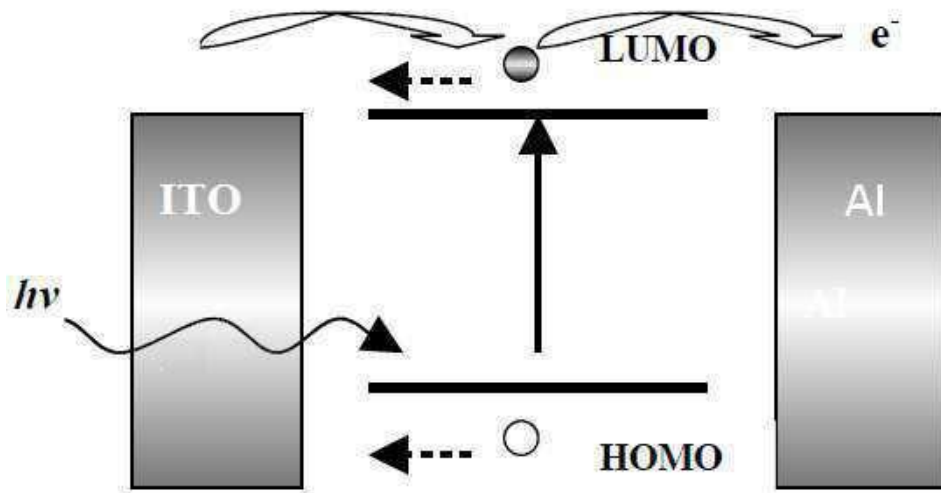


Figure 2-9 : Représentation des niveaux d'énergie d'un contact ITO/matériau organique/Al

4.2. Structure hétérojonction

Dans cette structure la couche active est constituée de deux semi-conducteurs de types différents mis en contact entre deux électrodes. La dissociation des porteurs photo-générés s'effectue alors à l'interface des deux semi-conducteurs. Cette même structure peut être réalisée par :

4.2.1. Système bicouche

Deux couches superposées dans lequel le matériau donneur d'électrons (ou de type P) est en contact avec l'ITO, et le matériau accepteur (de type N) avec l'électrode métallique.

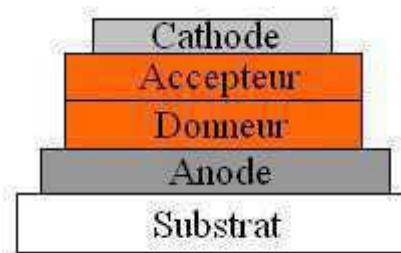


Figure 2-10 : Structure d'une cellule hétérojonction plane.

Dans ce cas, les interfaces donneur d'électrons/anode et accepteur d'électrons/cathode doivent être ohmiques, donc la zone de dissociation des excitons se situe à l'interface entre donneur d'électrons /accepteur d'électrons.

Ces structures ont été développées au début des années 1990 par plusieurs équipes, dont celle de A.J. Heeger à Santa Barbara et les études menées ont démontré l'existence d'un processus de transfert d'électrons photo-induits ultra-rapide entre un polymère conjugué et le C60. [39.40]

Cette structure possède une zone active plus importante à l'interface donneur d'électrons /accepteur d'électrons par rapport à la structure Schottky, en plus de cela, elle a l'avantage de l'amélioration de l'absorption lorsque celle du donneur d'électrons et celle de l'accepteur sont complémentaires. [41]

Le champ électrique crée à cette interface est dû à la différence entre le potentiel d'ionisation du donneur d'électrons et l'affinité électronique de l'accepteur. Il permet la dissociation des excitons qui atteignent ce site. Ainsi, les charges libres vont migrer séparément vers leurs électrodes respectives : les électrons, via l'accepteur, vers la cathode et les trous, via le donneur d'électrons, vers l'anode. Nous nous sommes intéressés à ce type de structure de cellules photovoltaïques pour réaliser nos travaux.

4.2.2. Système à réseau interpénétré de deux matériaux

Cette structure correspond au mélange de matériaux donneur et accepteur des électrons, distribués dans tout le volume de la couche active figure 2.11. Les cellules de ce type présentent une plus grande interface D/A (Donneur d'électrons/Accepteur d'électrons). Les excitons atteignent ainsi plus facilement les sites de dissociation.

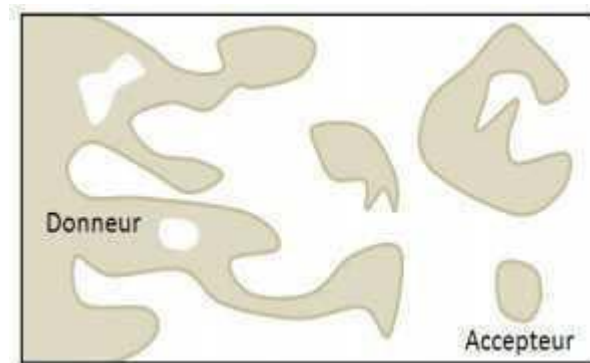


Figure 2-11 : Structure d'un réseau interpénétré donneur d'électrons /accepteur d'électrons

Cette structure a été développée parallèlement par les équipes de A. Heeger et R. Friend en 1995 [42.43], ils ont utilisé comme couche active un mélange de MEH-PPV comme donneur d'électrons et du CN-PPV comme accepteur d'électrons avec un rendement énergétique de 0,9%. L'inconvénient de ce type de structure réside dans la maîtrise de la morphologie de la structure.

5. Caractéristique de la cellule photovoltaïque organique.

5.1. Puissance crête d'une cellule PV

La puissance crête d'une photopile, notée Wc (Watt crête) ou Wp (Watt peak), c'est la puissance mesurée dans les conditions de test standard "STC", tel que l'éclairement $E_{ci}=1000W/m^2$, la température $T= 25^{\circ}C$, avec une répartition spectrale du rayonnement dit AM 1,5. [44]

5.2. Caractéristique courant-tension I(V)

La figure 2.12 montre une caractéristique courant-tension I (V) dans l'obscurité et sous un éclairage typique d'une cellule photovoltaïque à jonction PN. Le tracé de cette courbe permet d'accéder à un grand nombre de paramètres physiques caractéristiques du composant. Les premiers paramètres qui apparaissent sur la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque sont le courant de court-circuit (I_{sc}), la tension en circuit ouvert (V_{co}) et le facteur de forme (FF) du composant. [45]

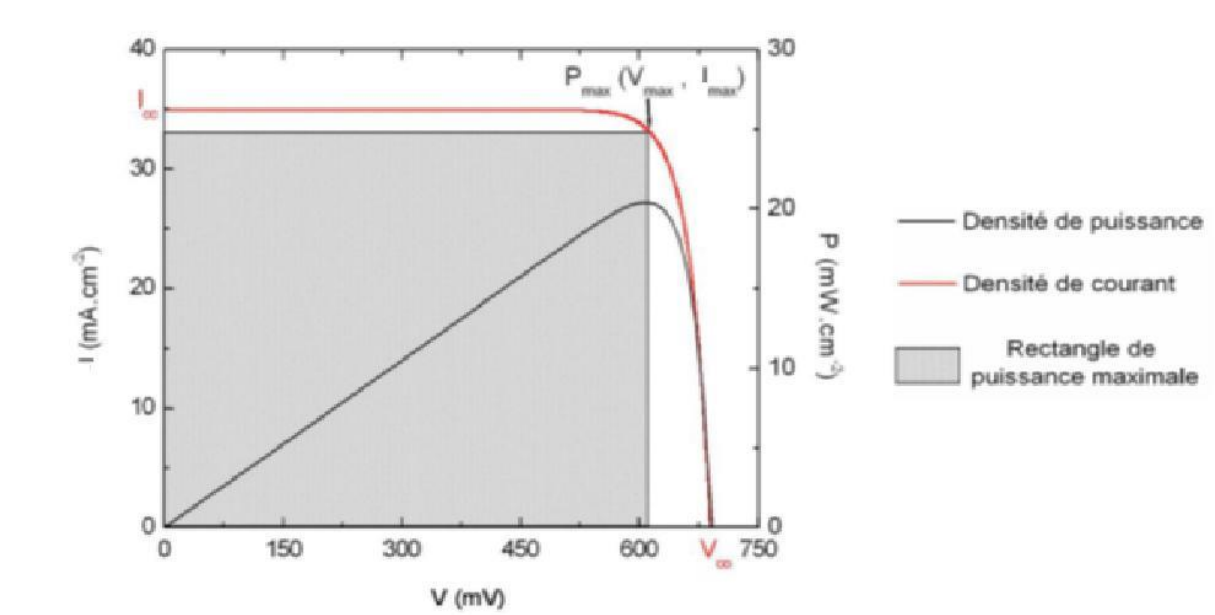


Figure 2-12 : Les courbes I(V) P(V) d'une cellule solaire. [46]

5.3. Courant de court-circuit ICC :

Le courant de court-circuit est le courant débuté par la cellule sous éclairage en court-circuit la sortie. C'est-à-dire que : $I_{sc} (V = 0)$. Pour une cellule solaire idéale le courant de court-circuit est égal au courant photovoltaïque I_{ph} . [46]

5.4. Tension à circuit ouvert V_{co}

La tension de circuit ouvert est la différence de potentiel mesurée aux bornes de la cellule lorsque la sortie est en circuit ouvert. C'est à dire : $V_{co} = V (I=0)$. Pour une cellule solaire idéale la tension de circuit ouvert est donnée par : [46]

$$V_{co} = \frac{KT_c}{q} \log \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) \quad (2.1)$$

KT_c/q : Représentant la potentielle thermodynamique.

T_c : Température absolue.

q : Constante de charge d'électron : $1.602 \cdot 10^{-23} C$

k : Constante de Boltzmann : $1.38 \cdot 10^{-23} J/K$

I_{ph} : Courant photonique.

I_s : Le courant de saturation

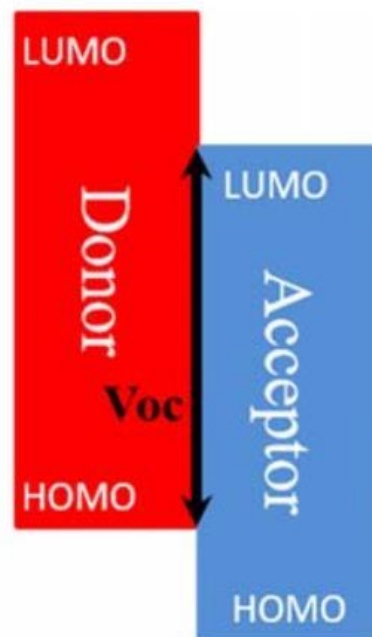


Figure 2-13 : Tension de circuit ouvert de cellule photovoltaïque organique

5.5. Facteur de forme FF

C'est un paramètre qui détermine la puissance maximale de la cellule en conjonction avec les V_{co} et les I_{cc} . Il est défini comme le rapport entre l'énergie maximale de la cellule et le produit des V_{co} et des I_{cc} . Graphiquement, FF est une mesure de "perpendiculaire" à une cellule

et est représenté comme l'aire d'un rectangle plus grand qui s'insère dans la quatrième courbe. Il est déterminé par l'équation suivante :

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} * V_{co}} = \frac{I_{max} * V_{max}}{I_{cc} * V_{co}} \quad (2.2)$$

Où I_{max} et V_{max} représentent respectivement le courant et la tension du point de fonctionnement qui permet d'extraire la puissance maximale (P_{max}) de la cellule.

Plus la valeur de FF est élevée, plus la caractéristique I (V) est grande qui est similaire à celle de la source de courant idéale I_{cc} tant que $V < V_{co}$ et une source de tension idéale $I > I_{sc}$. Dans le cas particulier $FF \rightarrow 1$, l'énergie extraite de la cellule est au maximum.

5.6. Rendement de conversion en puissance η

Le rendement de conversion en puissance η des cellules photovoltaïques se définit comme le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente P_{in} . [45]

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{FF * I_{cc} * V_{co}}{P_{in}} \quad (2.3)$$

L'efficacité maximale de conversion d'une cellule n'a de signification que pour une distribution spectrale et une intensité donnée. L'irradiation standard la plus communément utilisée correspond à un nombre d'air masse AM.

5.7. Résistance série

La résistance série caractérise les pertes par effets Joule de la résistivité du semi-conducteur et les pertes à travers les grilles de collectes et les mauvais contacts ohmiques de la cellule. Les contacts semi-conducteur-électrodes à résistance élevée abaissent appréciablement la tension et le courant de sortie ce qui va limiter le rendement de conversion Figure 2.14. [47]

5.8. Résistance shunt

La résistance parallèle (ou shunt) caractérise les pertes par recombinaison dues aux épaisseurs des régions N et P et de la zone de charge et d'espace. R_{sh} est donc liée directement au processus de fabrication, l'existence de défaut de structures et aux états de surface. Elle traduit l'existence de shunts à travers l'émetteur également, connue sous le nom de résistance de court-circuit Figure 2.14. [47]

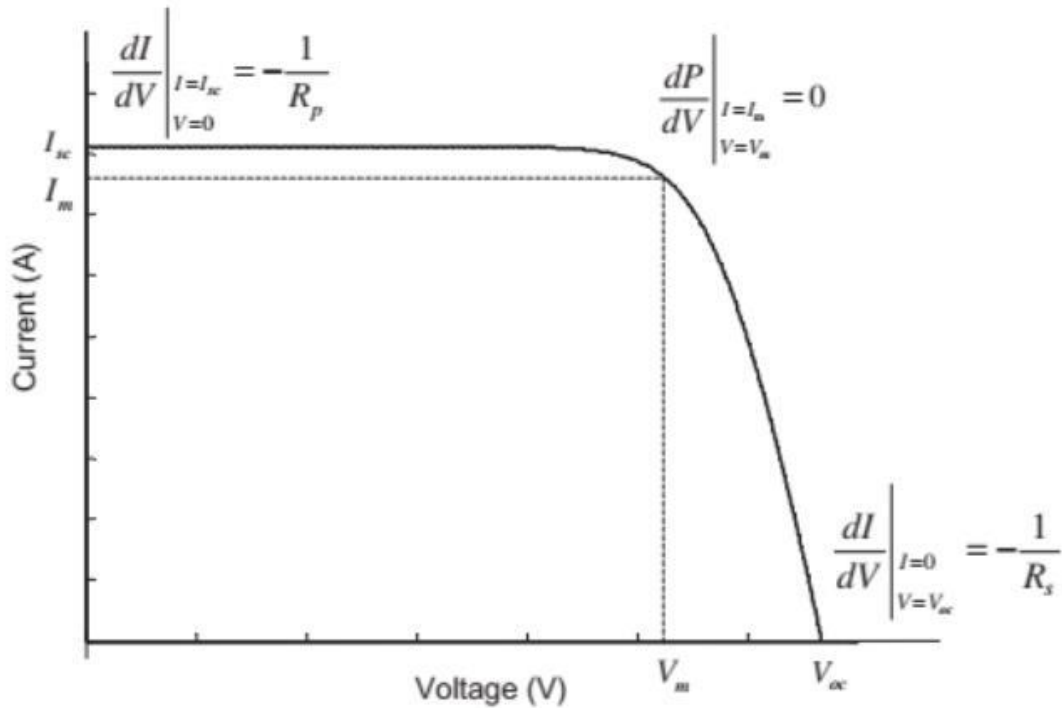


Figure 2-14 : Détermination graphique de résistance shunt et série. [48]

5.9. Schéma équivalent d’une cellule photovoltaïque organique

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 2.15- est représenté par une diode idéale montée en parallèle avec une source de courant.

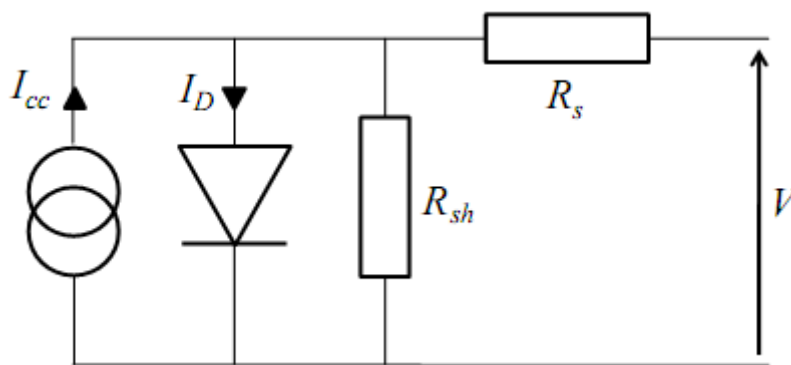


Figure 2-15 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque organique

R_s 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 V_{oc} représente l’inverse de la résistance série ($1/R_s$). R_{sh} est une résistance shunt liée aux effets de bord et aux recombinaisons volumiques. La pente de la courbe $I(V)$ au point I_{cc} représente l’inverse de la résistance shunt

($1/R_{sh}$). En général, la valeur de R_{sh} est plus grande que celle de R_s d'au moins un ordre de grandeur. Pour minimiser les pertes, il faut diminuer R_s et augmenter R_{sh} . Le cas idéal est représenté par R_{sh} égale à l'infini et R_s égale à zéro. [49]

6. Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons découvert les notions et les concepts de base de l'OPVC (organic photovoltaic cell) qui devient une technologie clé pour la prochaine génération, c'est la révolution de l'électronique low-cost. Les OPVC ont plusieurs avantages ; ce sont des cellules potentiellement flexibles, translucides, la technologie polymère permet l'accès à des cellules de grande surface et une facilité d'intégration. Mais Le rendement est encore faible (5%). Ceci nous encourage à étudier un exemple des cellules dans cette voie.

Chapitre 3 :
**Modélisation de la cellule
photovoltaïque organique MPP/ZnPc**

1. Introduction

La modélisation d'une structure de la cellule solaire est l'outil performant qui nous permettra par simulation de lier les caractéristiques photovoltaïques de cette cellule avec les propriétés du matériau et la technologie de fabrication en vue d'améliorer les performances de la cellule.

Dans ce chapitre, nous allons modéliser les caractéristiques et les performances de la cellule organique à hétérojonction MPP/ZnPc. Celles-ci sont basées sur la résolution des équations de continuités et des courants. La nature de ce modèle implique une méthode intégrale basée sur le développement des calculs analytiques des équations différentielles.

2. La cellule organique bicouche MPP/ZnPc

Dans notre étude, nous intéressons à une structure bicouche à base de petites molécules.

L'hétérojonction MPP/ZnPc de la cellule organique ITO/MPP/ZnPc/Au présentée sur la figure 3.1, est une structure donneur/accepteur. Elle permet le transfert efficace des photoélectrons depuis le ZnPc qui joue le rôle de donneur vers l'accepteur le MPP. Les deux électrodes sont constituées de ITO et d'or, 'Au'. L'ITO souvent présente une électrode semi-transparente. L'électrode arrière est constituée d'or, 'Au'. Une couche composée d'un mélange de C60 et de ZnPc, est insérée entre le MPP et ZnPc pour augmenter le nombre de sites de dissociation des excitons. La cellule, que nous avons étudiée, est constituée de la structure : substrat/ITO (30 nm) /MPP (20 nm) /ZnPc (220) /Au (40 nm) [50].

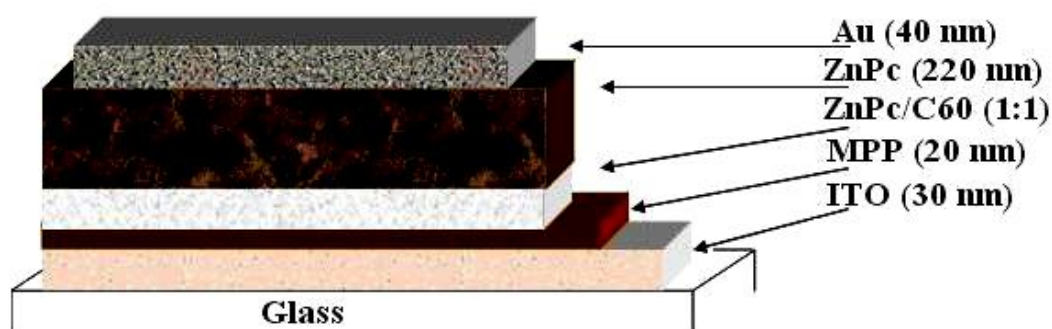


Figure 3-1 : Structure de la cellule organique bicouche Substrat/ITO/MPP/ZnPc/Au [50]

3. Modèle de calcul

Pour la simulation du photocourant de la cellule on utilise la géométrie de la figure 3.2.

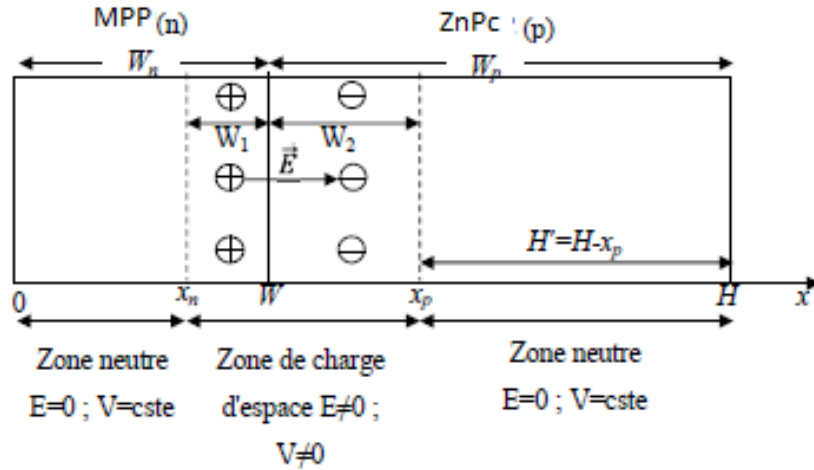


Figure 3-2 : Model géométrique de la structure MPP/ZnPc.

3.1. Eclairage, puissance incidente et flux solaire au sol

D'après [51], l'éclairage solaire au sol est approximé par une fonction non linéaire donnée par :

$$Ecl(\lambda) = 0.06977 + 7.0625 \left| 1 - e^{-(\lambda - 0.26053) / 0.15994} \right| 2.28411 e^{-(\lambda - 0.22285) / 0.26053} \quad (3.1)$$

D'où le flux solaire au sol :

$$f(\lambda) = \frac{Ecl(\lambda)}{h\nu} \quad (3.2)$$

Et la puissance incidente au sol

$$Pi = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} Ecl(\lambda) d\lambda \quad (3.3)$$

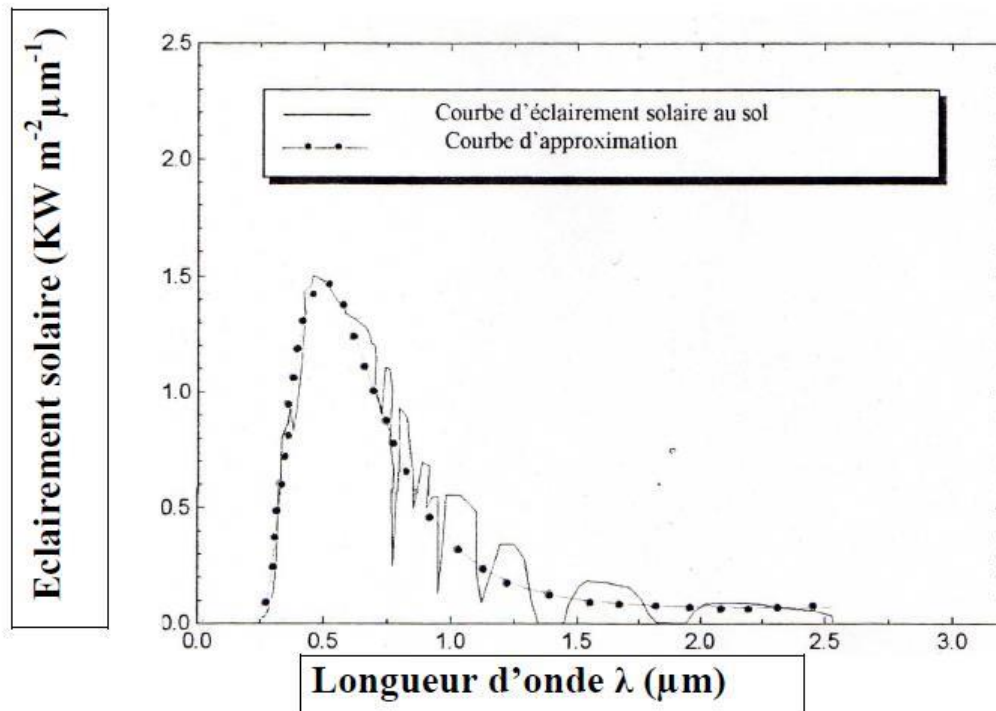


Figure 3-3 : Approximation de l'éclairement solaire au sol.[52].

3.2. Coefficient d'absorption

Le coefficient d'absorption se mesure par le spectrophotomètre, bien que les propriétés structurales et morphologiques soient différentes, presque semblables dans les propriétés optiques.

Les coefficients d'absorptions, pour les deux matériaux : MPP et ZnPc sont donnés par :

3.2.1. Pour le MPP

Le coefficient d'absorption dépend de l'énergie des photons $h\nu$, selon la relation suivante : [53]

$$A_1 = \frac{A}{h\nu} (h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}} \tag{3.4}$$

E_g : énergie de gap du MPP

A : constante.

$$\alpha_1(\lambda) = \frac{A}{E} (E - E_{g1})^{1/2} ; \text{ avec } A=3.224 \cdot 10^4, h\nu = \frac{hc}{\lambda} E_{g1}=2.42eV$$

$$\text{Donc : } \begin{cases} \alpha_1(\lambda) = \frac{3.224 \cdot 10^4}{h\nu} (h\nu - E_{g1})^{1/2} & 0.3 < \lambda < 0.51 \mu\text{m} \\ \alpha_1(\lambda) = 0 & \lambda > 0.51 \end{cases} \tag{3.5}$$

3.2.2. Pour le ZnPc :

De même pour le ZnPc le coefficient d'absorption dépend de l'énergie des photons et donner par [54] :

$$A_2 = B(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (3.6)$$

E_g : énergie de gap du ZnPc.

B : constante.

h : constant de Planck.

ν : la fréquence de radiation

$$\alpha_1(\lambda) = B(h\nu - E_{g2})^{1/2}; \text{ avec } : B = 2.76 * 10^4 . eV^{-1/2} , E_{g2}=1.04eV$$

$$\begin{cases} \alpha_2(\lambda) = 2.76 * 10^4 (h\nu - E_{g2})^{1/2} & 0.3 < \lambda < 1.19 \mu\text{m}; \\ \alpha_2(\lambda) = 0 & \lambda > 1.19 \mu\text{m}; \end{cases} \quad (3.7)$$

3.3. Le champ électrique, $E(x)$

L'hétérojonction (N/P) est équivalent à (MPP de type N/ ZnPc de type P)

a) la région neutre : $E=0$;

b) La zone de charge d'espace : $E \neq 0$;

On calcule le potentiel $V(x)$ dans cette zone et qui comprend deux semi-conducteurs.

L'équation de Poisson s'écrit :

$$\frac{d^2v(x)}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\varepsilon} \quad (3.8)$$

3.3.1. Dans le semi-conducteur 1 (MPP)

$$\rho(x) = eN_{d1}$$

$$\frac{d^2v(x)}{dx^2} = -\frac{eN_{d1}}{\varepsilon_1} \quad (3.9)$$

En intégrant une fois avec la condition $E=0$ en $x = x_1$ on obtient

$$\frac{dv(x)}{dx} = -E(x) = -\frac{eN_{d1}}{\varepsilon_1} (x - x_1) \quad (3.10)$$

En : $x=0$

$$E_{s1} = -\frac{eN_{d1}}{\varepsilon_1} X_1 \quad (3.11)$$

En intégrant une deuxième fois et en appelant V_1 le potentiel de la région neutre du semi-conducteur 1, on obtient

$$V(x) = -\frac{eN_{a1}}{2\epsilon_1}(x - x_1)^2 + V_1 \quad (3.12)$$

3.3.2. Dans le semi-conducteur 2 (ZnPc)

$$\rho(x) = -eN_{a2}$$

$$\frac{d^2v(x)}{dx^2} = -\frac{eN_{a2}}{\epsilon_2} \quad (3.13)$$

$$\frac{dv(x)}{dx} = -E(x) = -\frac{eN_{a2}}{\epsilon_2}(x - x_2) \quad (3.14)$$

En : $x=0$

$$E_{s2} = -\frac{eN_{a2}}{\epsilon_2}X_2 \quad (3.15)$$

$$V(x) = -\frac{eN_{a2}}{2\epsilon_2}(x - x_2)^2 + V_2 \quad (3.16)$$

Le champ et le potentiel électriques sont représentés sur la figure 3.2. La continuité du vecteur de déplacement à l'interface s'écrit: $\epsilon_1 E_{s1} = \epsilon_2 E_{s2}$

$$-eN_{d1}x_1 = eN_{a2}x_2 \quad (3.17)$$

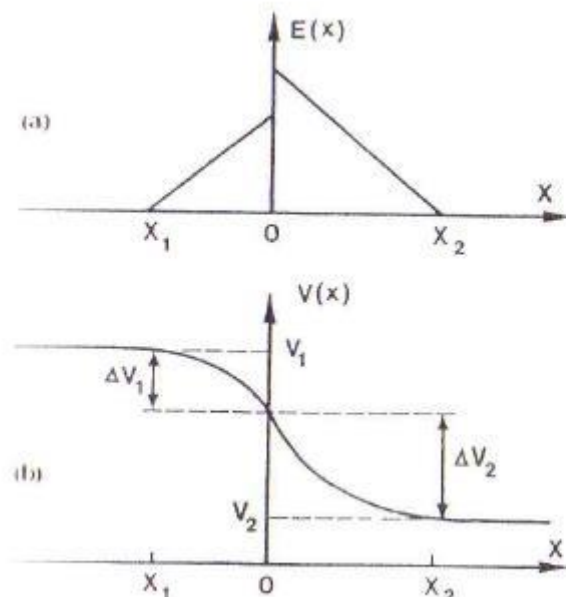


Figure 3-4 : (a) Champ et (b) potentiel électrique à l'interface d'une hétérojonction n-p. [55]

3.4. Calcul de la photo courant de la cellule organique MPP/ZnPc

L'absorption pour la structure bicouche représentée sur la figure 3.1 s'effectue dans les deux couches. Dans cette configuration seuls les excitons générés au voisinage de l'interface sont efficaces à la génération du photocourant, ce photocourant est la somme du courant photo générée au niveau de donneur et le courant dans l'accepteur.

La résolution numérique des équations de continuités et des courants, par la méthode itérative a permis de déterminer la distribution des excitons le long de la cellule et de déduire l'équation qui caractérise le courant pour chaque point de la cellule.

Equations de continuités :

$$\frac{dn}{dt} = G_n - \frac{\Delta n}{\tau_n} + \frac{1}{q} \text{div}(J_n) \quad (3.18)$$

$$\frac{dp}{dt} = G_p - \frac{\Delta p}{\tau_p} + \frac{1}{q} \text{div}(J_p) \quad (3.19)$$

Equations de courants :

$$J_n = q\mu_n nE + \mu_n K T \frac{dn}{dx} \quad (3.20)$$

$$J_p = q\mu_p pE + \mu_p K T \frac{dp}{dx} \quad (3.21)$$

$D_n = \frac{\mu_n K T}{q}$ constante de diffusion des électrons.

$D_p = \frac{\mu_p K T}{q}$: constante de diffusion des trous.

μ_n ; mobilité des électrons.

μ_p ; mobilité des trous.

$\Delta n = n - n_e$, c'est la densité de excitons générés (les électrons), n_e : la densité à l'équilibre.

τ_n ; la durée de vie des porteurs minoritaires de la région p (les électrons).

$\Delta p = p - p_e$, c'est la densité des trous générés, p_e : la densité à l'équilibre.

τ_p ; la durée de vie des porteurs minoritaires de la région n (les trous).

G_n ; le taux de la génération des e^-

G_p ; le taux de la génération des e^+ .

3.4.1. La première zone neutre N (le donneur MPP)

Les minoritaires sont des trous pour le semi-conducteur de type N.

L'équation de continuité s'écrit dans cette région comme :[53].

$$G_p - \frac{P_n - P_{n0}}{\tau_n} - \frac{1}{q} \frac{dj_p}{dx} = 0 \quad (3.22)$$

$G_p = \alpha_1 (1 - R) \exp(-\alpha_1 x)$ désigne le taux de génération des paires électrons/trous.

2) L'équation de densité de courant est alors :

$$J_p = -q\mu_p p_n E - qD_p \frac{dp_n}{dx} \quad (3.23)$$

Dans cette région : $E=0$, donc :

$$J_p = -qD_p \frac{dp_n}{dx} \quad (3.24)$$

On remplace J_p et G_p dans l'équation de continuité, on obtient :

$$D_p \frac{d^2 p_n}{dx^2} + \alpha_1 F (1 - R) \exp(-\alpha_1 x) - \frac{P_n - P_{n0}}{\tau_n} = 0 \quad (3.25)$$

La solution de cette équation est donnée par :

$$P_n - P_{n0} = A_1 \operatorname{ch}\left(\frac{x}{L_p}\right) + B_1 \operatorname{sh}\left(\frac{x}{L_p}\right) - \frac{\alpha_1 F (1 - R) \tau_p}{\alpha^2 L_p^2 - 1} \exp(-\alpha_1 x) \quad (3.26)$$

Où : $L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$: est la longueur de diffusion des trous.

On peut trouver les deux constantes A_1 et B_1 à partir des conditions aux limites :

➤ A la surface, une recombinaison se produit avec une vitesse S_p la condition est

$$D_p \frac{d(P_n - P_{n0})}{dx} = S_p (P_n - P_{n0}) \quad \text{à } x=0 \quad (3.27)$$

➤ A la limite de la jonction la densité des porteurs en excès réduite à zéro par le champ électrique dans la zone de déplétion, ceci est traduit par :

$$p_n - p_{n0} = 0 \quad \text{à } x = x_n \quad (3.28)$$

La densité de photo courant dans cette région est :

$$J_p = -qD_p \left(\frac{dp_n}{dx}\right)_{x_j} \quad (3.29)$$

Donc :

$$J_p = -\left(q \frac{F(1-R)\alpha_p L_p}{\alpha^2 L_p^2 - 1}\right) * \frac{\frac{S_p L_p}{D_p} + \alpha_p L_p - \exp(-\alpha_1 X_j) \left(\frac{S_p L_p}{D_p} \operatorname{ch}\left(\frac{x_j}{L_p}\right) + \operatorname{sh}\left(\frac{x_j}{L_p}\right)\right)}{\frac{\alpha_p L_p}{D_p} \operatorname{sh}\left(\frac{x_j}{L_p}\right) + \operatorname{ch}\left(\frac{x_j}{L_p}\right)} - \alpha_1 l_p \exp(-\alpha_1 x_j) \quad (3.30)$$

Tel que : $L_p = L_{MPP}$.

3.4.2. La deuxième zone neutre P (l'accepteur ZnPc)

Les minoritaires sont des électrons pour le semi-conducteur de type P, on peut écrire :

$$G_n - \frac{n_p - n_{p0}}{\tau_p} - \frac{1}{q} \frac{dJ_n}{dx} = 0 \quad (3.31)$$

$$G(\lambda, x) = \alpha_2(\lambda) \Phi_i(1-R) \exp(-\alpha_1(x_j + w_1)) \exp(-\alpha_2 w_2) \exp(-\alpha_2 x) \quad (3.32)$$

2) L'équation de densité de courant est alors

$$J_n = -q\mu_n n_p E - qD_n \frac{dn_p}{dx} \quad (3.33)$$

Dans cette région $E=0$, donc :

$$J_n = qD_n \frac{dn_p}{dx} \quad (3.34)$$

On remplace J_p et G_p dans l'équation de continuité, on obtient :

$$D_n \frac{d^2 n_p}{dx^2} + \alpha_2 F(1-R) \exp(-\alpha_2 x) - \frac{n_p - n_{p0}}{\tau_n} = 0 \quad (3.35)$$

La solution de cette équation est donnée par :

$$n_p - n_{p0} = A_2 \operatorname{ch}\left(\frac{x}{L_n}\right) + B_2 \operatorname{sh}\left(\frac{x}{L_n}\right) - \frac{\alpha_2 F(1-R)\tau_n}{\alpha^2 L_n^2 - 1} \exp(-\alpha_2 x) \quad (3.36)$$

Où : $L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$ est la longueur de diffusion des trous.

En peut trouver les deux constantes A_1 et B_1 à partir des conditions aux limites : à la surface, une recombinaison se produit avec une vitesse S_p la condition est :

$$-D_p \frac{d(n_p - n_{p0})}{dx} = S_n (n_p - n_{p0}) \quad \text{À } x=H \quad (3.37)$$

A la limite de la jonction la densité des porteurs en excès réduite à zéro par le champ électrique dans la zone de déplétion, ceci est traduit par

$$n_p - n_{p0} = 0 \quad \text{à } x = x_j + W_1 + W_2 \quad (3.38)$$

La densité de photo courant dans cette région est :

$$J_n = qD_n \left(\frac{dn_p}{dx}\right)_{x_j + w_1 + w_2} \quad (3.39)$$

Donc :

$$J_n = \left(\frac{F(1-R)\alpha_2 L_n}{\alpha_2^2 L_n^2 - 1} \exp(-\alpha_1(x_j + w_1) - \alpha_2 w_2) * (\alpha_2 L_n - \frac{S_n L_n + (ch(\frac{H}{L_n}) - \exp(-\alpha_2 H)) + sh(\frac{H}{L_n}) \alpha_2 L_n \exp(-\alpha_2 H)}{D_n}) \right) / \left(\frac{S_n L_n sh(\frac{H}{L_n}) + ch(\frac{H}{L_n})}{D_n} \right) \quad (3.40)$$

Tel que : $L_n = L_{ZnPc}$.

3.4.3. Le courant dans la zone active (I_g)

Les excitons générés dans la zone active (au voisinage de l'interface) sont efficaces au niveau de la dissociation (production des charges).

-L'équation de continuité est exprimée par :

$$\frac{1}{q} \frac{\partial J_n}{\partial x} + G = 0 \quad (3.41)$$

Le courant de génération d'électrons en $x=x_j$ est par conséquent donné par :

$$J_{gn}(x = x_j) = -q \int_{x_j}^{x_j + LMPP + LZnPc} G dx \quad (3.42)$$

$$J_{gn}(x = x_j) = -q \Phi_i (1 - R) \left[\alpha_1 \int_{x_j}^{x_j + LMPP} \exp(-\alpha_1 x) dx + \alpha_2 \int_{x_j + LMPP}^{x_j + LMPP + LZnPc} \exp(-\alpha_2 x) dx \right] \quad (3.43)$$

Donc, le photocourant dans la zone active devient :

$$J_g = q \Phi_i (1 - R) \exp(-\alpha_1 x_j) \left[(1 - \exp(-\alpha_1 L_{MPP})) + \exp(-\alpha_1 L_{MPP}) (1 - \exp(-\alpha_2 L_{ZnPc})) \right] \quad (3.44)$$

3.4.4. Densité de photo courant totale, I_{ph}

La densité de photo courant totale, I_{ph} est obtenue en intégrant la densité de courant J_{ph}(λ) sur toute la gamme du spectre solaire utilisée I_{ph} est donnée par :

$$I_{ph} = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} J_p(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} J_p(\lambda) d\lambda + \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} J_n(\lambda) d\lambda + \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} J_g(\lambda) d\lambda \quad (3.45)$$

4. Caractéristique courant tension I(V)

La principale caractéristique d'une cellule solaire est celle de la variation de la densité de courant débité par la cellule en fonction de la tension à ses bornes, régulièrement appelée caractéristique I-V. À partir de cette caractéristique l'utilisateur peut déduire aisément la densité

de courant de court-circuit, la tension en circuit ouvert, ainsi que la puissance maximale que peut débiter la cellule.

4.1. Caractéristique I-V idéale

La caractéristique I-V idéale est donnée par

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{V}{qU_t}} - 1 \right) \quad (3.46)$$

Si la cellule est en court-circuit c'est à dire ($V=0$ et $I=I_{sc}$) on obtient le courant de court-circuit donné par :

$$I_{ph} = I_{sc} \quad (3.47)$$

Autrement, si la cellule est en circuit ouvert c'est-à-dire ($V=V_{co}$ et $I=0$) on trouve la tension de circuit ouvert donnée par :

$$V_{co} = q U_t \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} \right) \quad (3.48)$$

Entre le point (I, V) = ($I_{sc}, 0$) et le point (I, V) = ($0, V_{co}$) on représente la caractéristique,

I-V. Parallèlement de cette représentation, on calcule la puissance maximale, donnée par :

$$P_m = (IV)_{max} \quad (3.49)$$

Et par conséquent, on peut facilement déduire le facteur de forme et le rendement de conversion, qui sont données respectivement par :

$$FF = \frac{P_m}{I_{sc}V_{co}} \quad (3.50)$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_i} \quad (3.51)$$

4.2. Caractéristique I-V réelle

Dans les cellules solaires, le schéma équivalent doit modifier les équations de courant et de tension pour inclure la résistance série, R_s (résistance de perte ohmique dans la surface frontale) et la résistance shunte, R_{sh} , (résistance de courant de fuite).

Le circuit électrique équivalent pour la structure MPP/ZnPc est donné par la Figure 3.5.

Où $R_S = R_{Au} + R_{ZnPc} + R_{MPP} + R_{ITO}$.

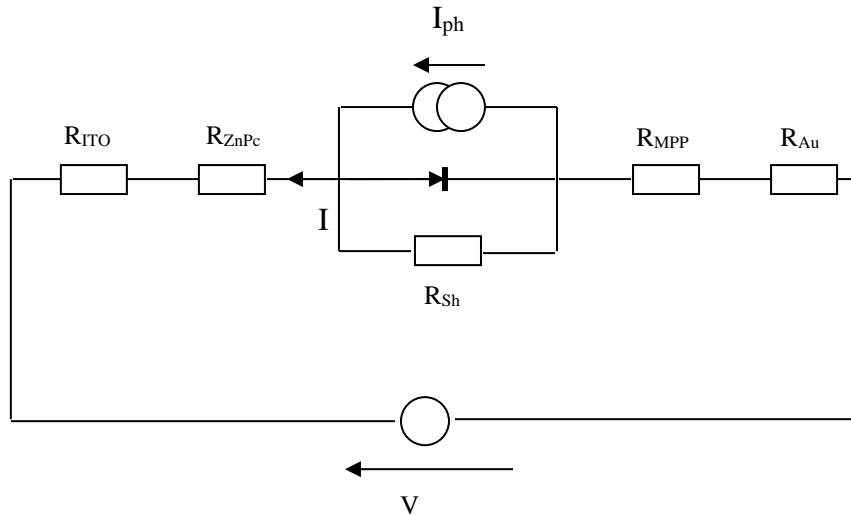


Figure 3-5 : Circuit électrique de la cellule MPP/ZnPc [50].

D'après ce circuit équivalent, nous avons tiré l'équation caractéristique $I(V)$ de la cellule :

$$I(V) = I_{ph} - I_S \left[\exp\left(\frac{V + R_S I}{U_T}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_S I}{R_{Sh}} \quad (3.52)$$

Cette équation est une équation non linéaire qu'on peut résoudre numériquement.

5. Conclusion

Le présent chapitre est destiné pour la présentation du modèle mathématique pour l'étude des caractéristiques de la cellule organique à hétérojonction MPP/ZnPc. Cette étude permet le calcul du photocourant délivré par la cellule utilisant les équations de continuités et des courants impliquant les phénomènes de transport des charges.

Ainsi la caractéristique $I(V)$ pour cette structure, qu'à partir de cette caractéristique on peut déduire aisément la densité de courant de court-circuit, la tension en circuit ouvert, ainsi que le rendement que peut débiter la cellule.

Chapitre 4 :
Résultats et Discussions

1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats obtenus lors de la simulation des caractéristiques de la cellule organique à hétérojonction donneur accepteur (D/A) MPP/ZnPc, pour valider le modèle physique présenté dans le chapitre précédent.

Nous déterminons le photoréactif délivré par la cellule et les caractéristiques $I(V)$, $P(V)$ pour cette structure, qu'à partir de la caractéristique $I(V)$ on peut déduire aisément la densité de courant de court-circuit, la tension en circuit ouvert, ainsi que le rendement que peut débiter la cellule.

2. Modèle de Simulation

Pour réaliser cette modélisation, nous avons utilisé MATLAB comme outil de test et de simulation. Nous avons choisi hétérostructure solaire organique à base de pigment méthyle pérylène (MPP) et le phtalocyanine de zinc (ZnPc) avec comme structure ITO/MPP/ZnPc/Au.

Ces derniers ont une bonne stabilité thermique, de hauts coefficients d'absorption ($>10^5 \text{cm}^{-1}$), et une conductivité électrique suffisante, bien que l'épaisseur de la couche utile de génération de charge dans les cellules organiques soit beaucoup plus fine que celle des cellules inorganiques, les rendements de conversion de puissance appréciables peuvent être atteints grâce aux forts coefficients d'absorption. Le (ZnPc) est de type p (donneur d'é), le (MPP) de type n (accepteur d'é) [56].

Par la suite nous avons les épaisseurs et les longueurs de diffusions des excitons pour les deux couches de l'hétérojonction. Ainsi l'allure de l'absorption caractérisant l'hétérostructure MPP/ZnPc.

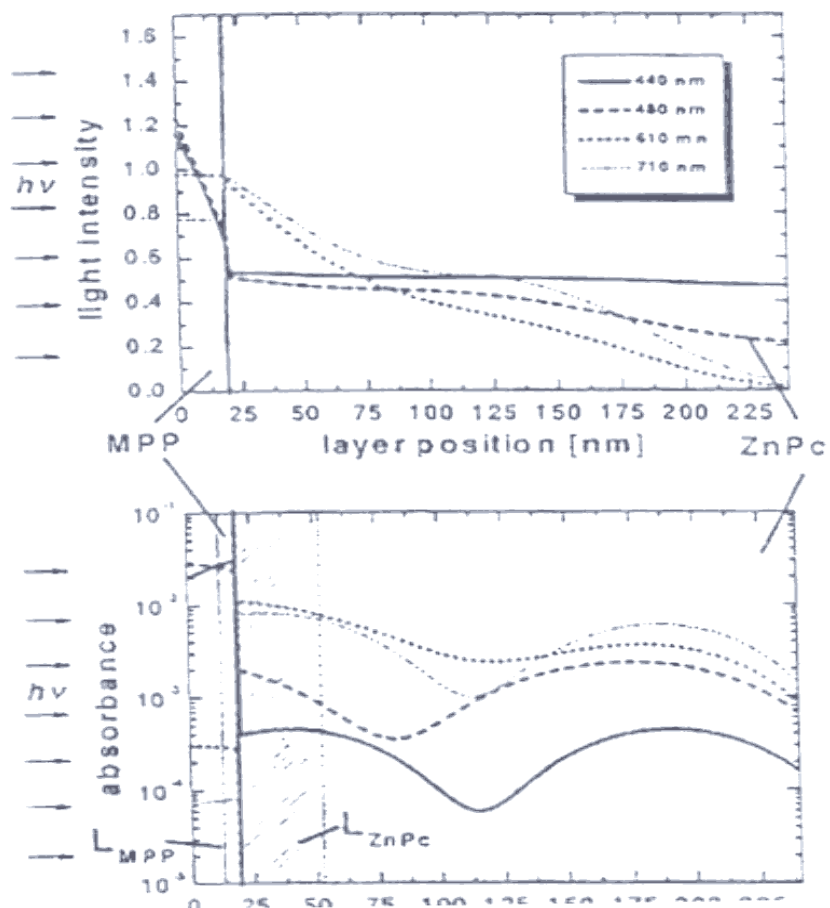


Figure 4-1 : Le profil d'absorption dans l'hétérojonction MPP/ZnPc [57].

L'épaisseur de l'accepteurs $X_a = X_b = 220$ nm.

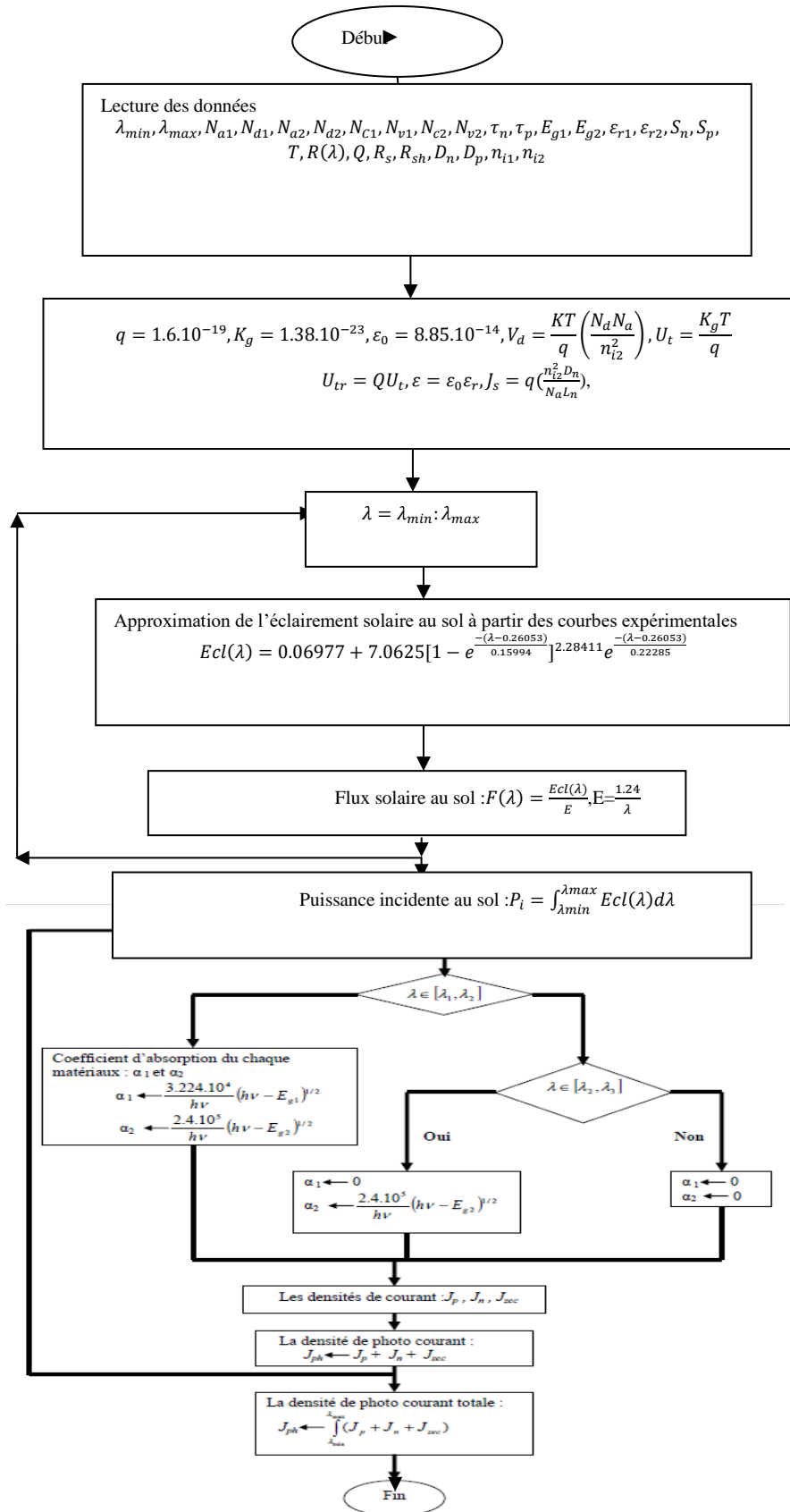
L'épaisseur du donneur $X_d = X_e = 20$ nm.

Longueur de diffusion des donneurs $L_{MPP} = 1$ nm.

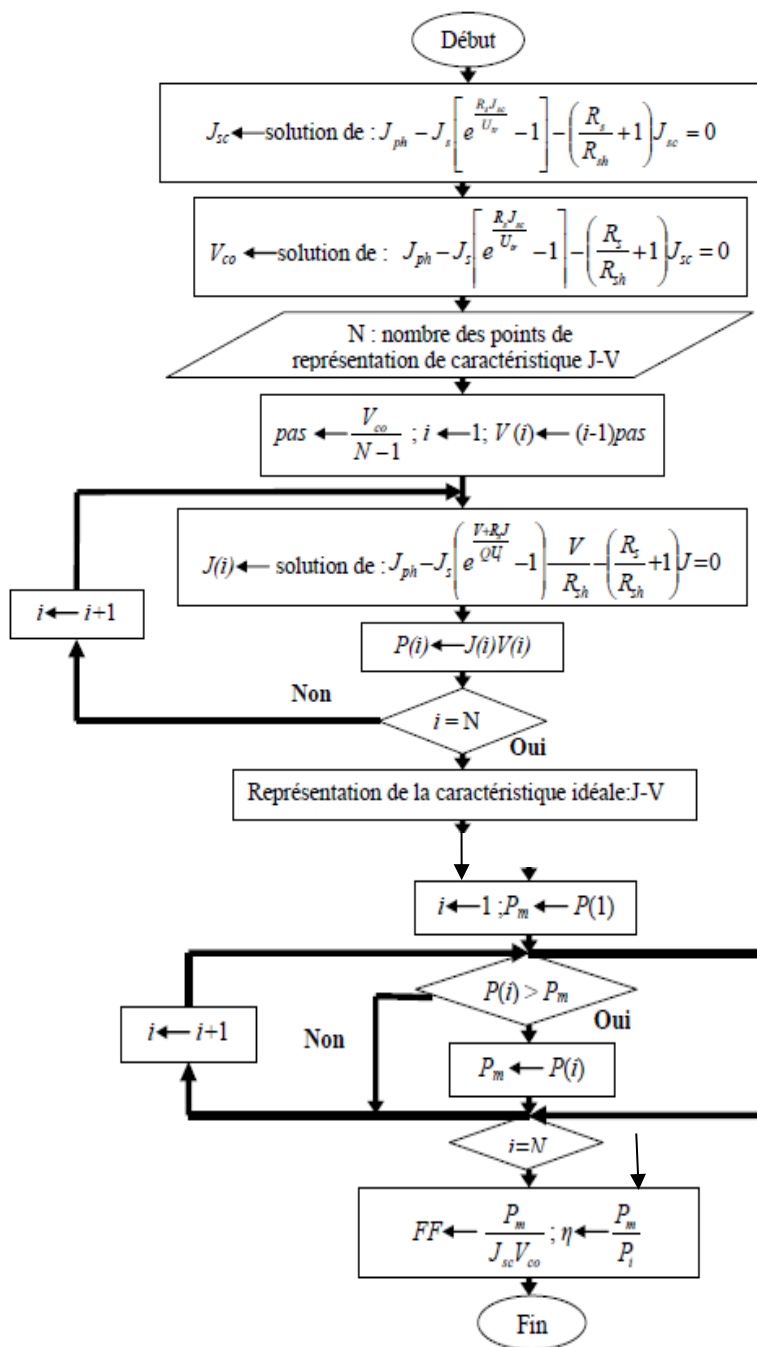
Longueur de diffusion des accepteurs $L_{ZnPc} = 5$ nm.

3. Organigrammes de simulation

3.1. Organigramme de calcul du photo courant J_p , J_n , J_{zce} et J_{ph} [58]



3.2. Organigramme de la simulation de la caractéristique I(V) [réelle] [58]



4. Simulation des caractéristiques de la cellule MPP/ZnPc

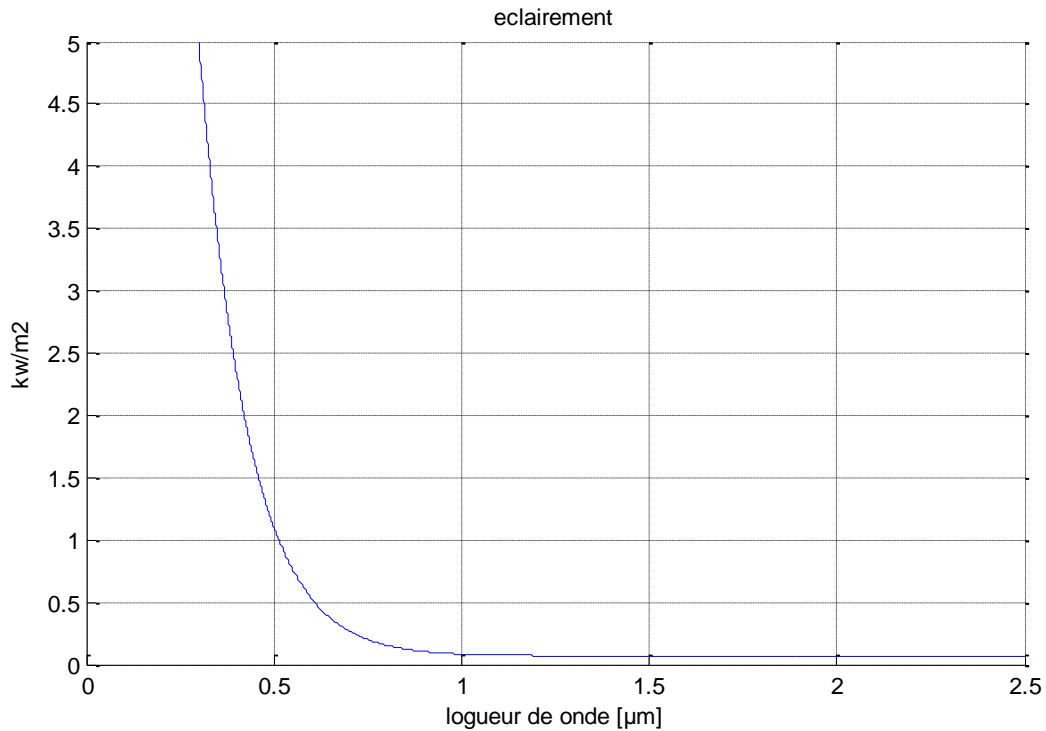


Figure 4-2 : Distribution de l'éclairement incidente en fonction de La longueur d'onde

Cette figure représente l'éclairement solaire incident au sol en fonction de La longueur d'onde. On voit que le nombre des photons diminue exponentiellement, elle a la même allure de variation la distribution spectrale du rayonnement solaire. La cellule est très sensible aux photons incidents dans l'intervalle 0.3μm à 0.75μm, au-delà l'éclairement devient faible.

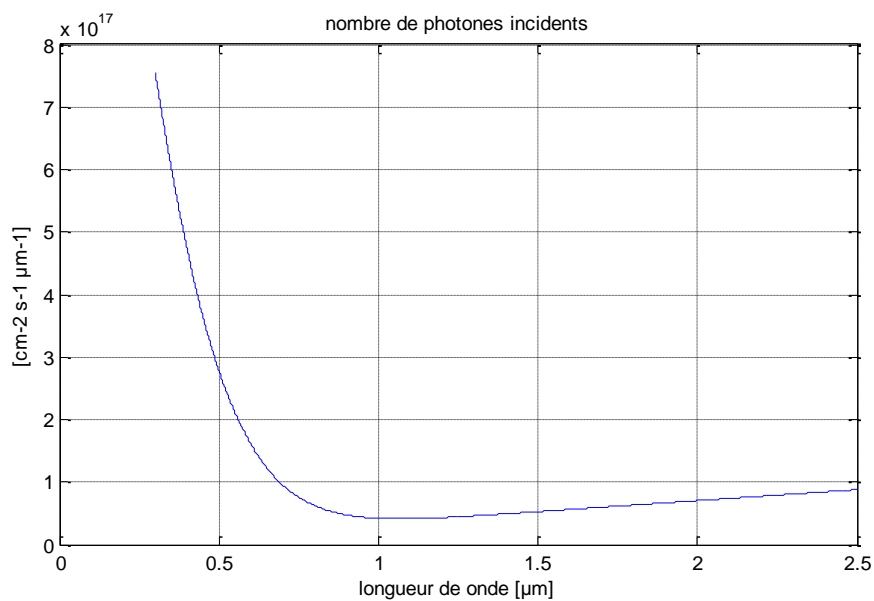


Figure 4-3 : Nombre de photons incidents en fonction de la longueur d'onde.

Cette figure représente le flux des photons incidents, c'est le nombre des photons qui tombent sur une surface par unité de temps. On voit que le nombre des photons diminue exponentiellement et cela est simplement expliqué par les propriétés de la lumière qu'elle est caractérisée par la nature ondulatoire/corpusculaire. La courbe a la même allure de variation la distribution spectrale du rayonnement solaire.

D'un autre terme, le nombre (la quantité) signifie l'aspect corpusculaire, alors que la forme de ce graphe est expliquée par l'aspect ondulatoire de la lumière, donc plus que la longueur d'onde augmente plus le nombre des photons devient faible. Ce résultat nous permet de commencer la simulation de la cellule photovoltaïque à base du ZnPc pour tirer les performances de cette cellule (le courant court-circuit I_{sc} , la tension V_{co} et le rendement).

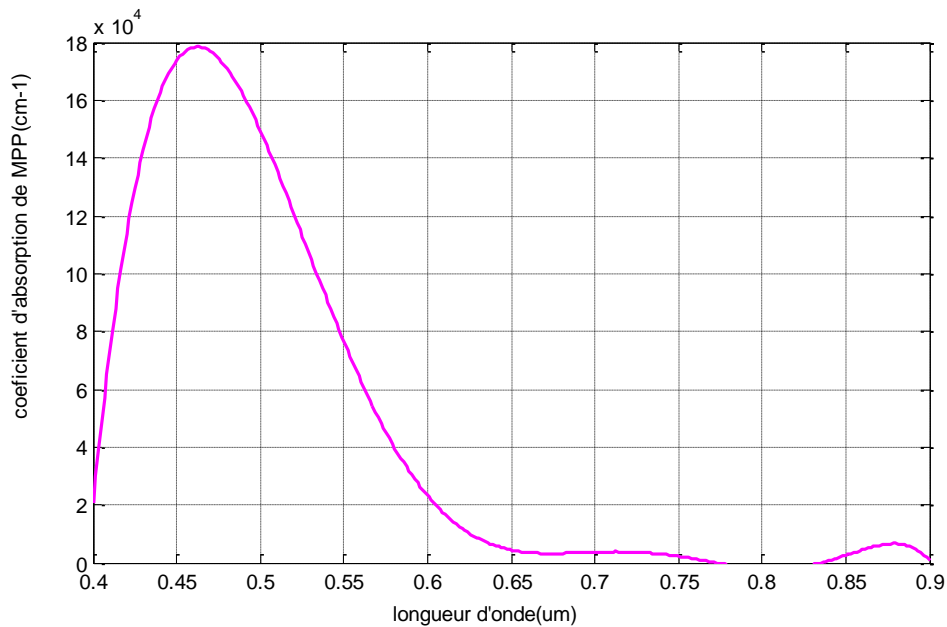


Figure 4-4 : Coefficient d'absorption du MPP en fonction de La longueur d'onde

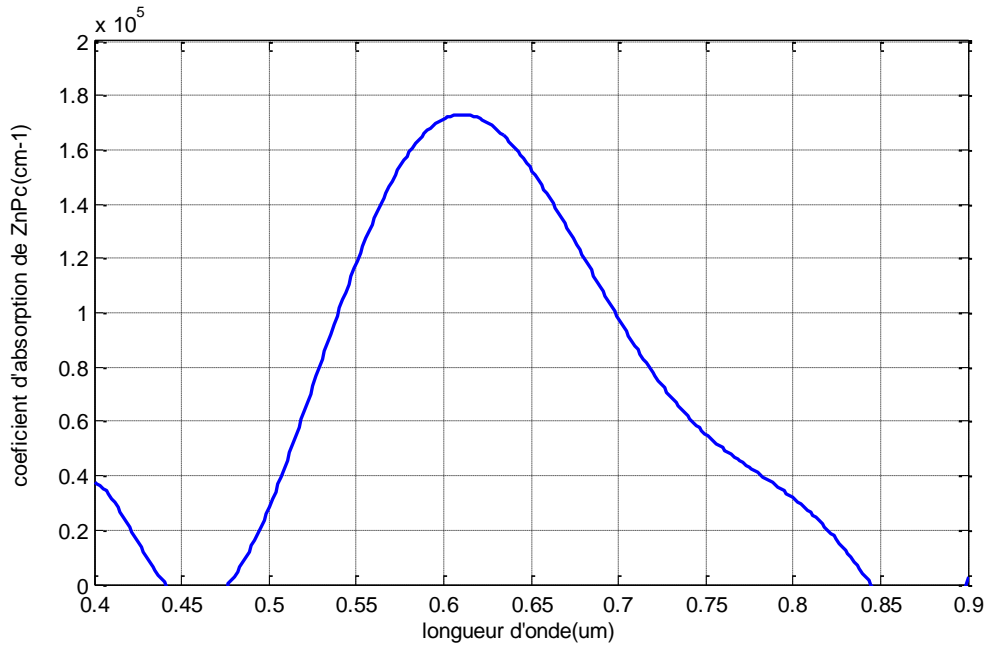


Figure 4-5 : Coefficient d’absorption du CIGS en fonction de La longueur d’onde.

Il est clair sur les figures 4.4 et 4.5 qui représentent le coefficient d'absorption en fonction de la longueur d'onde que, à cause de leur faible gap optique par rapport au MPP, le ZnPc absorbe plus de photons que le MPP. Cela est dû à la différence de surface de chaque couche.

4.1. Calcul de photo courant

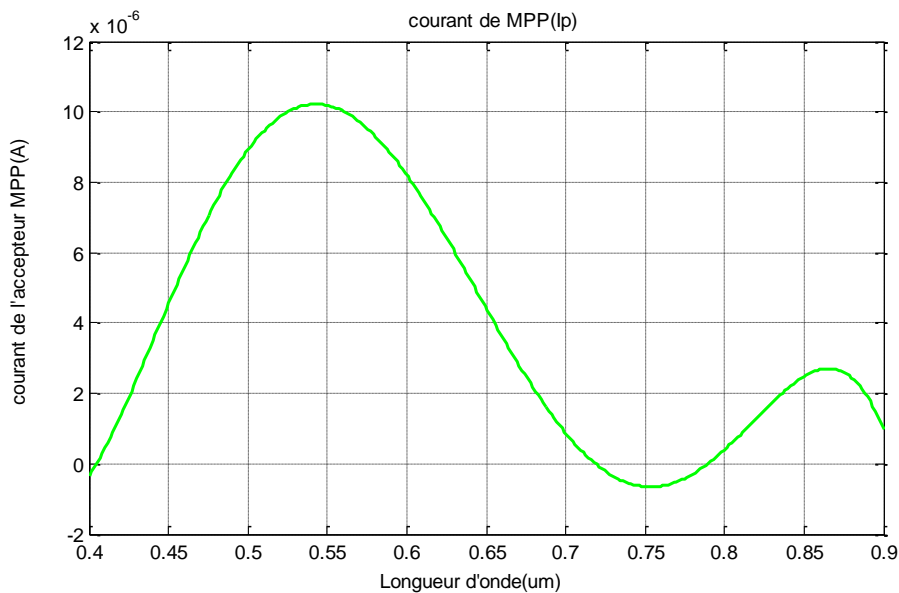


Figure 4-6 : Densité du courant que déploie le MPP (courant des trous) en fonction de la longueur d’onde.

La figure 4.6 montre la variation de la densité du courant des trous dans l'émetteur MPP. La photo courant de MPP munis des excitations énergétiques (le flux incident) varie selon l'allure de la courbe du flux des photons et de coefficient d'absorption.

Nous remarquons que les valeurs de ce courant sont très faibles par rapport aux autres couches par ce qu'il présente un courant de diffusion des trous ainsi que l'épaisseur de MPP est très fin comparant à celui de la base.

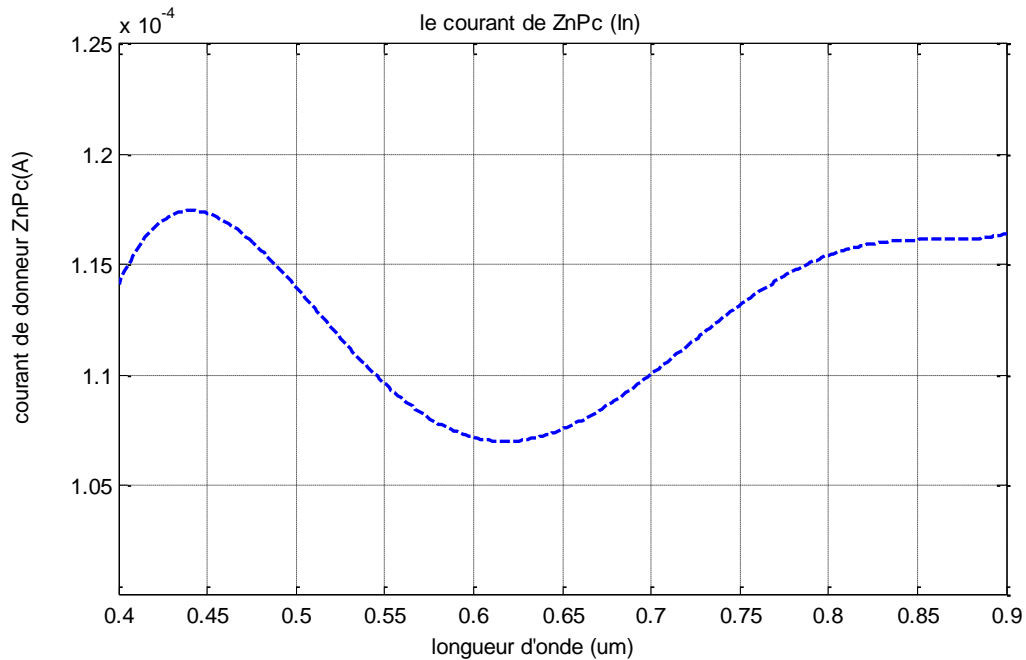


Figure 4-7 : Densité du courant que déploie le ZnPc (courant des électrons) en fonction de la longueur d'onde.

La figure 4.7, représente la photo courant délivrer par la base ZnPc. En effet, le l'accepteur ZnPc présente une absorption importante. Si on compare la densité de courant qu'il déploie avec celle que déploie le MPP on trouve que le ZnPc déploie une densité largement très grande en plus l'avantage que lui donne son large domaine d'absorption ainsi son très grand coefficient d'absorption.

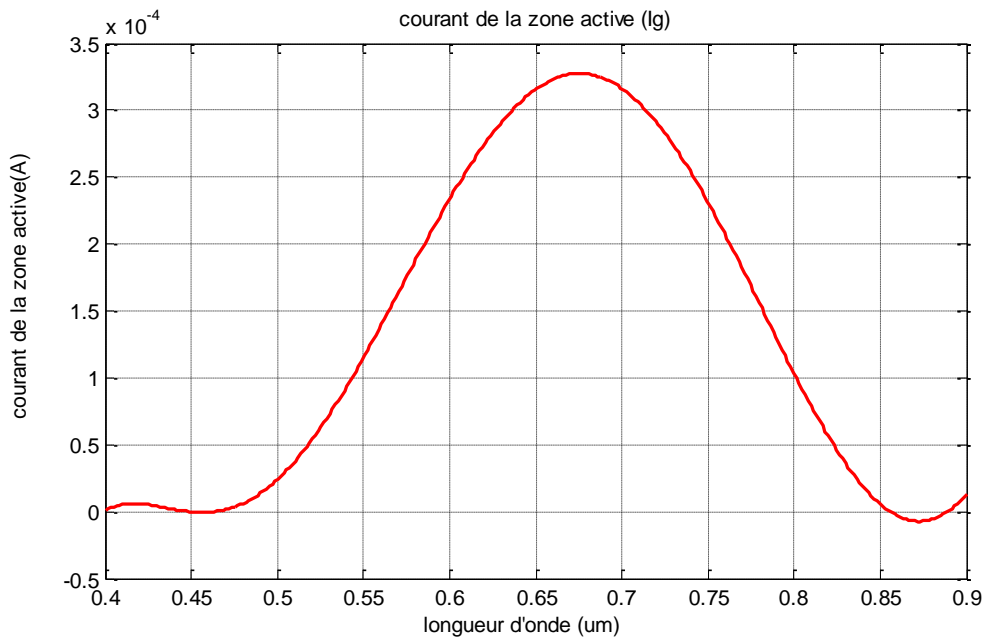


Figure 4-8 : Densité du courant que déploie la ZCE en fonction de la longueur d'onde.

La figure 4.8 nous montre des valeurs intéressantes du photo courant dans la zone active. Ce photocourant est considérable par rapport aux photocourants des couches MPP et ZnPc, figure 4.6 et figure 4.7, il est de l'ordre de mA sur une couche d'épaisseur de 6 nm. Comparant au courant dans la région ZnPc, ce dernier est comparable mais l'épaisseur de cette couche est aussi plus grande (220 nm). Le photocourant de la zone active balaie l'intervalle de 500-800 nm et le maximum est autour de 700 nm.

Ces résultats nous affirment que la génération principale du photocourant est localisée dans la zone active, une région très fine par rapport aux épaisseurs des couches donneur et accepteur. Donc, les excitons générés dans la zone active (au voisinage de l'interface) sont efficaces au niveau de la dissociation (production du photocourant).

4.2. Présentation des caractéristiques I(V) P(V)

Utilisant les conditions de circuit-ouvert et de court-circuit respectivement nous avons abouti aux équations donnant la tension de circuit ouvert et le courant de court-circuit.

La Figure 4.9 représenté les caractéristiques I(V) et P(V). Pour le courant du court-circuit, la tension du circuit-ouvert, le rendement et le facteur de forme, le tableau 4.1 résume ces résultats :

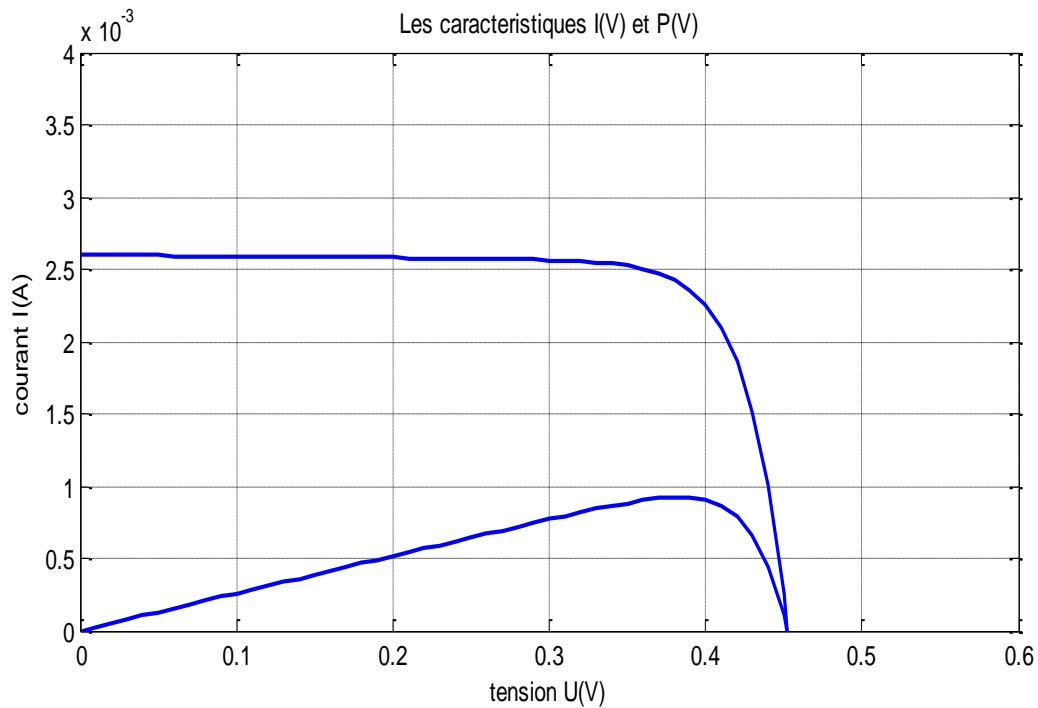


Figure 4-9 : Les caractéristiques de sortie I(V) et P(V) de la cellule MPP/ZnPc.

Tableau 4-1 : Les caractéristiques de la structure bicouche MPP/ZnPc.

Isc(mA/cm ²)	V _{co} (mV)	η(%)	FF(%)
2.6	455	0.72	51.71

4.3. Insertion de la couche composite ZnPc/C60

Pour une amélioration des performances de la cellule bicouche MPP/ZnPc, il faut une augmentation de l'épaisseur de la zone inter faciale pour palier au problème des recombinaisons dues à la non dissociation des excitons créés loin de l'interface de l'hétérojonction.

Pour cette raison une couche composée d'un mélange de C60 et de ZnPc (1 :1) est insérée entre le ZnPc et le MPP d'épaisseur de 30 nm. La valeur du photocourant calculé passe de 2,6 mA à 5,3 mA [50]. La figure 4.10 représente la caractéristique I(V) de cette structure améliorée et une comparaison avec des résultats expérimentaux [50]. Le tableau 4.2 résume les caractéristiques de cette structure.

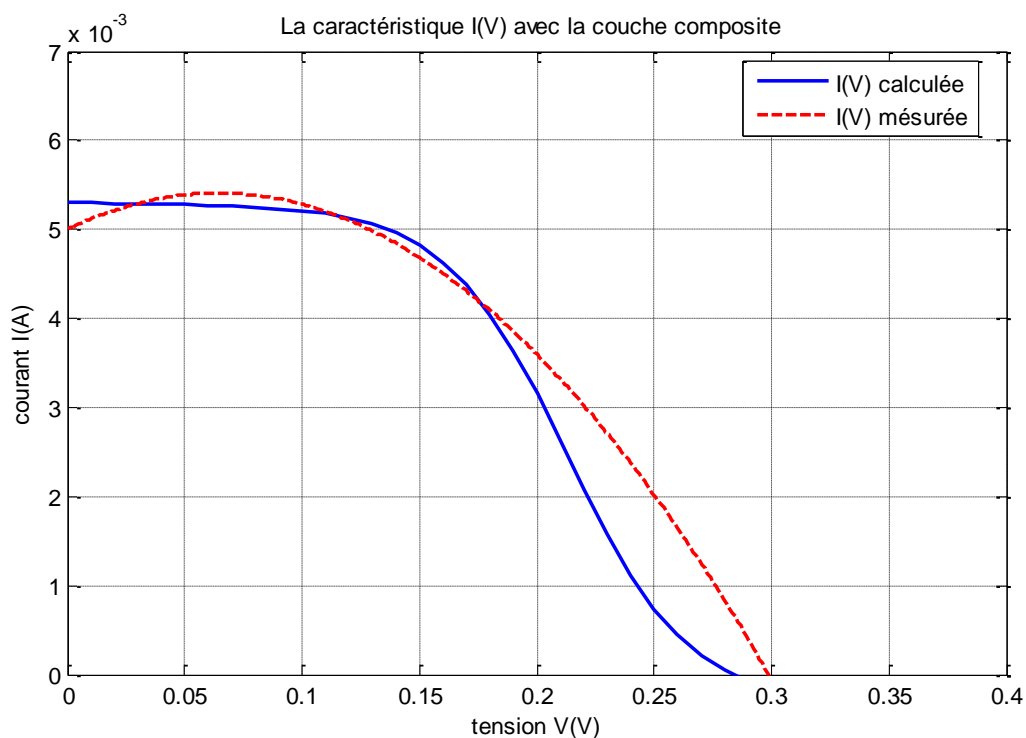


Figure 4-10 : La caractéristique I(V) pour la structure MPP/ZnPc contient la couche composite ZnPc/C60(1 :1).

Tableau 4-2 : performances de la structure bicouche MPP/ZnPc avec la couche composite ZnPc/C60.

Isc(mA/cm2)	Vco(mV)	η (%)	FF (%)
5.3	286.5	1.49	49.31

5. Conclusion

Cette étude calcule le photocourant délivré par la cellule solaire organique bicouche MPP/ZnPc utilisant les équations de continuités et des courants impliquant les phénomènes de transport des charges.

Les valeurs intéressantes du photocourant se trouvent dans la zone active, hors de cette zone (à une distance supérieure des longueurs de diffusion) le photocourant devient très faible. Donc les excitons ne peuvent se dissocier qu'à l'interface MPP/ZnPc, alors que la zone d'absorption est considérablement plus grande que la longueur de diffusion.

L'insertion d'un mélange C60 et ZnPc à l'hétérojonction permet une augmentation de la valeur du photocourant qui passe de 2,6 mA à 5,3 mA et la valeur du rendement de 0,72% à 1,49%.

Les résultats obtenus des caractéristiques de la cellule sont en bon accord avec les résultats expérimentaux [50].

Conclusion générale

Conclusion générale

La demande croissante en énergie nécessite de trouver des alternatives aux combustibles fossiles. Le photovoltaïque s'est fortement développé ces dix dernières années et dans ce contexte, l'OPV se présente comme une alternative innovante pouvant se positionner sur des niches de marché en proposant des dispositifs tout imprimés et flexibles.

Le travail réalisé dans ce mémoire a été basé sur les parties suivantes :

Dans un premier temps, nous avons essayé de faire une revue assez générale sur la technologie photovoltaïque, rappelant les différentes filières technologiques, et nous avons étudié les semi-conducteurs organiques.

Dans la deuxième partie du mémoire, nous avons détaillé le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque organique, ainsi que les différentes architectures référencées pour ce type de cellules dans la littérature. Cette partie nous a permis de comprendre la caractéristique courant-tension et paramètres des cellules solaires organiques.

L'essentiel de ce travail est de présenter les résultats obtenus lors de la simulation des caractéristiques de la cellule organique à hétérojonction donneur accepteur (D/A) MPP/ZnPc, pour valider le modèle mathématique qui permet le calcul des densités de photocourant dans toutes les régions (Les deux zones N et P et la zone de charge d'espace) de la cellule solaire et par conséquent, la détermination de la densité de photocourant totale. Ainsi la caractéristique $I(V)$ pour cette structure, qu'à partir de cette caractéristique qu'on peut déduire aisément la densité de courant de court-circuit, la tension en circuit ouvert, ainsi que le rendement que peut débiter la cellule.

Les valeurs intéressantes du photocourant se trouvent dans la zone active, hors de cette zone (à une distance supérieure des longueurs de diffusion) le photocourant devient très faible. Donc les excitons ne peuvent se dissocier qu'à l'interface MPP/ZnPc, alors que la zone d'absorption est considérablement plus grande que la longueur de diffusion.

L'insertion de la couche composite C60 et ZnPc à l'interface de MPP et ZnPc permet d'améliorer les performances de la cellule par une augmentation de la photo courant de la valeur 2.6 mA/cm² à 5.3 mA/cm² et le rendement passe de 0,72% à 1,49%.

Enfin, nous pouvons dire que pour améliorer les rendements des structures bicouches en doit augmenter les épaisseurs des régions actives, concevoir de nouvelle structure comme la structure interpénétré (composite) ; deux matériaux de natures différentes et non miscibles, l'un

donneur et l'autre accepteur d'électrons sont mélangés intimement afin d'augmenter la surface de la jonction. Ou toute zone d'absorption se trouve près d'une interface où la dissociation des excitons est assurée.

Références Bibliographiques

- [1] L. Protin, S. Astier, Convertisseurs photovoltaïques, Techniques de l'Ingénieur D 3 360.
- [2] Thèse Doctorat, Mr BAILEK Nadiem, Étude et Modélisation du Flux Solaire globale sur surface inclinée dans la région de Touat, Université Djilali liabes Sidi Bel abbes.
- [3] Urien, M. Cellules photovoltaïques organiques à base de nouveaux compolymères à blocs rigide-flexible. Thèse Université Bordeaux 1 (2008).
- [4] Wassim Hoheij, « Réalisation et caractérisation optoélectronique de cellules photovoltaïques organiques », thèse de doctorat, Université de Limoges, 2007
- [5] M. Burgelman, P. Nollet, S. Degrave, "Modelling polycrystalline semi-conducteur solar cells". Thin Solid Films, vol. 361, p. 527-532, (2000).
- [6] F. HEROGUEL, "les cellules photovoltaïques," Ecole Normale Supérieure, Lyon Epreuve de projet, 2007.
- [7] H. Mathieu, "Physique des semi-conducteurs et des composants électronique", Masson, Paris (1998).
- [8] J. krustok ; J.H. Schon ; H. Collan, J. Madsson, E. Bucher, J.APPL.Phys.86(1999), 364
- [9] S. M. Sze « physics of semi conductor devices » john Wiley et sons (2nd edition 1981).
- [10] H. Mathieu, « Physique des semiconducteurs et des composants électroniques » Cours, 2^e CYCLE. Ecoles d'ingénieurs, 5^e édition, Dunod -2001.
- [11] Chamberlain G. A. and Cooney P. J., Photoelectric properties of Aluminium/copper phthalocyanine/gold photovoltaic cells, Chem. Phys. Lett. 1979,66, 88-94
- [12] A. Vapaille, R.Castagné, « Dispositifs et circuits intégrés semiconducteurs »,Bordas 1987.
- [13] Angel Cid Pastor « Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques ». Thèse de Doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.

- [14] Naïma Touafek, Contribution à l'étude d'une cellule solaire en couches minces à base de $\text{CuIn}_{1-x}\text{GaxSe}_2$, Université Des Frères Mentouri (Constantin), 2015, 8p.
- [15] H. Mathieu, "Physique des semiconducteurs et des composants électroniques", 2^{ème} Edition, Masson, 1990.
- [16] M. Madani, « Réalisation Des Couches Antireflets Dans Les Cellules Solaires a Couches Minces ». Thèse de Magister, Abou-BakrBelkaid De Tlemcen. Algérie, (2006).
- [17] Vighetti Stéphane « Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau : Choix et dimensionnement des étages de conversion ». Thèse de doctorat, Université Grenoble, Institut polytechnique de Grenoble, 2010
- [18]. Klauk, H.J.C.S.R., Organic thin-film transistors. 2010. 39(7) : p. 2643-2666.
- [19] Seguy I., Destruel P. and Bock H., An all-columnar bilayer light-emitting diode, Synth. Met. 2000, 111-112, 15-18
- [20] Dang Minh Trung, « Elaboration de cellules solaires photovoltaïques à base de polymères conjugués, études des systèmes réticulables », thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 2009.
- [21] V. Coropceanu, J.Cornil, D.A.da Silva Filho, Y.Olivier, R.Silbey and J.L. Bredas, Charge transport in organic semiconductors, Chem Rev, 107, 926- 952, 2007
- [22]. Dang Minh Trung, « Elaboration de cellules solaires photovoltaïques à base de polymères conjugués, études des systèmes réticulables », thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 2009.
- [23] J. Frenkel, Physical Review 38, 309 (1931).
- [24] G. H. Wannier, Physical Review 52, 191 (1937).
- [25] Hakim Choukri, “ Contrôle de la couleur d'émission d'une diode électroluminescente organique (OLED) multicouche via la diffusion des excitons », Université PARIS XIII, 2008.
- [26] M. Knupfer, Applied Physics A: Materials Science & Processing 77, 623-626 (2003).
- [27] C. H. Lee, G. Yu, D. Moses, and A. J. Heeger, Physical Review B 49, 2396 (1994).
- [28] V. Choong, Y. Park, Y. Gao, T. Wehrmeister, K. Mullen, B. R. Hsieh, and C. W. Tang, Applied Physics Letters 69, 1492-1494 (1996).

- [29] A. K. Ghosh and T. Feng, *Journal of Applied Physics* 49, 5982-5989 (1978).
- [30] Loïc Bailly, « Cellules photovoltaïques organiques souples a grande surface », thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 2010
- [31] M. Urien, G. Wantz, E. Cloutet, L. Hirsch, P. Tardy, L. Vignau, H. Cramail et J.P. Parneix, *Organic Electronics* 2007, 8, 727
- [32] E. Gautier, A. Lorin, J.-M. Nunzi, A. Schalchli, J.-J. Benattar, and D. Vital, *Applied Physics Letters* 69, 1071-1073 (1996).
- [33] T. Ameri, G. Dennler, C. Waldauf, P. Denk, K. Forberich, M. C. Scharber, C. J. Brabec, and K. Hingerl, *Journal of Applied Physics* 103, 084506-6 (2008).
- [34] S. Tan, J. Zhai, B. Xue, M. Wan, Q. Meng, Y. Li, L. Jiang, and D. Zhu, *Langmuir* 20, 2934-2937 (2004).
- [35] A. D. Pasquier, H. E. Unalan, A. Kanwal, S. Miller, and M. Chhowalla, *Applied Physics Letters* 87, 1-3 (2005)
- [36] S. X. Tan, J. Zhai, M. X. Wan, L. Jiang, and D. B. Zhu, *Synthetic Metals* 137, 1511-1512 (2003)
- [37] Y. Feng, X. Ju, W. Feng, H. Zhang, Y. Cheng, J. Liu, A. Fujii, M. Ozaki, and K. Yoshino, *Applied Physics Letters* 94, 123302 (2009).
- [38] A. J. Miller, R. A. Hatton, and S. R. P. Silva, *Applied Physics Letters* 89, 133117-3 (2006).
- [39] N.S. Sariciftci, L. Smilowitz, A.J. Heeger, F. Wudl. *Science*, 258, 1474-1476 (1992).
- [40] N.S. Sariciftci, D. Braun, C. Zhang, V.I. Srdanov, A.J. Heeger, G. Stucky et F. Wudl. *Applied Physics Letters*, 62, 6, 585-587 (1993).
- [41] J. C. Bernède. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 53, 3, 1549-1564 (2008)
- [42] G. Yu and A.J. Heeger. *Journal of Applied Physics*, 78, 4510-4515 (1995).
- [43] J.J.M. Halls, C.A. Walsh, N.C. Greenham, E.A. Marseglia, R.H. Friend, S.C. Moratti, A.B. Holmes. *Nature*, 376, 498-500 (1995).

- [44] Thèse Djaber Berrian Développement des modelés mathématiques d'un générateur photovoltaïque défectueux, Université of Freiburg, Jaune 2015.
- [45] Aziz Halima, Saddek Somia, Modélisation et simulation d'une cellule photovoltaïque organique inversé, Université d'Adrar, Mai 2017
- [46] SOUICI F. 2009. Modélisation d'une cellule solaire en couche mince à base de Cuivre Indium Sélénium (CuInSe₂). Thèse de magister, Université kasdi merbah, ouargla, 90 p.
- [47] Sarah Taleb Dehkordi ', Stabilisation de dispositifs Photovoltaïques organiques par réseaux semiinterpénètres de polymères, thèse de doctorat, De l'Université de Cergy-Pontoise 19 Jul 2016.
- [48] Bouchra Benabdelkrim « Etude et simulation de l'effet de paramètre climatique sur les modules solaires en couche mince en région saharien » universite Adrar\ 2021
- [49] Mathieu Urien, thèse cellules photovoltaïques organiques a base copolymeres a blocs de type rigide-flexible par présente à l'université bordeaux i école doctorale des sciences chimiques le 16 octobre (2008).
- [50] Meissner D. and Rostalski J., Photovoltaics. In 16th European photovoltaic solar energy confirence and Exhibition : Glasgow, UK,2000.
- [51] Chapin D.M, Fuller C.S.and Pearson G. L, « A new silicon pn junction photocell for converting solar radiation into », Electrical power J.Appl; phys, vol, 25, pp.676-677, 677, (1954).
- [52] Souici Fatma-Zohra, Modélisation d'une cellule solaire en couche mince à base de Cuivre Indium Sélénium (CuInSe₂) ;2009.
- [53] Nahel Romain, Caractérisations de couches minces de CuGaS Obtenues Par MOCVD, le 16 décembre 1999.
- [54] MOSTEFA KARA Selma ; etude et simulation de cellules photovoltaïques a couches minces à base de cis et CIGS ; Juin2012.

[55] BOUAFIA MOUNIR DEBLAOUI LAID, Modélisation et simulation d'une cellule Solaire en couche mince à base de di séléniure de Cuivre, d'Indium et de Gallium CIGS ,2011/2012.

[56] B. Brousse, « Réalisation et caractérisation de cellules photovoltaïques organiques obtenues par dépôt physique », Univ-Limoges, 2004.

[57] Petritsch K., Organic solar cell architectures, *Thèse de l'université de Graz (Autriche)* 2000.

[58] Yahia Cherif K.2020. Modélisation de la cellule photovoltaïque bifaciale. Thèse de master. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf -Mila.74p.

Résumé

Actuellement pour le domaine des cellules photovoltaïques, la filière matériaux organiques commence à prendre de l'essor vu de leur particularité à être mise en œuvre par la promesse de la fabrication peu coûteuse et de la grande variété de fonctionnalité des matériaux organiques. Alors que le rendement de conversion est encore non satisfaisant. Nous proposons dans ce travail, une méthode de simulation basée sur la résolution des équations de courants (continuités) pour une hétérostructure solaire organique à base de pigment méthyle pérylène (MPP) et le phtalocyanine de zinc (ZnPc) avec comme structure ITO/MPP/ZnPc/Au.

Cette étude calcule le photocourant délivré par la cellule solaire organique bicouche MPP/ZnPc utilisant les équations de continuités et des courants par analogie aux phénomènes de transport des charges selon le modèle d'une hétérojonction n/p.

Les valeurs intéressantes du photocourant se trouvent dans la zone active, hors de cette zone (à une distance supérieure des longueurs de diffusion) le photocourant devient très faible.

L'insertion de la couche composite C60 et ZnPc à l'interface de MPP et ZnPc permet d'améliorer les performances de la cellule par une augmentation de la photo courant de la valeur 2.6 mA/cm² à 5.3 mA/cm² et le rendement passe de 0,72% à 1,49%

MOT CLES : les cellules photovoltaïques organiques -la structure MPP/ZnPc.

Abstract

Currently in the field of photovoltaic cells, the organic materials sector is beginning to grow in importance, given its special nature, and is being implemented through the promise of inexpensive manufacturing and the wide variety of functionality of organic materials. While the conversion yield is still unsatisfactory. In this work, we propose a simulation method based on the resolution of current equations (continuities) for an organic solar heterostructure based on methyl peroylene pigment (MPP) and zinc phthalocyanin (ZnPc) with as structure ITO/MPP/ZnPc/Au.

This study calculates the photocurrent delivered by the two-layer organic solar cell MPP/ZnPc using the continuities and currents equations by analogy to the load transport phenomena according to the model of a heterojunction n/p.

The interesting values of the photocurrent are in the active zone, outside this zone (at a greater distance from the diffusion lengths) the photocurrent becomes very low.

The insertion of the C60 and ZnPc composite layer at the MPP and ZnPc interface improves cell performance by increasing the current photo from 2.6 mA/cm² to 5.3 mA/cm² and the efficiency increases from 0.72% to 1.49%.

KEYWORDS : organic photovoltaic cells -the MPP/ZnPc structure.

الملخص

في الوقت الحالي، في مجال الخلايا الكهروضوئية، بدأ قطاع المواد العضوية في الإقلاع نظرًا لخصوصياتها التي سيتم تنفيذها من خلال الوعد بالتصنيع غير المكلف والتنوع الواسع في وظائف المواد العضوية. بينما لا تزال كفاءة التحويل غير مرضية. نقترح في هذا العمل، طريقة محاكاة تعتمد على تحليل المعادلات الحالية (الاستمرارية) لهيكل غير متجانس شمسي عضوي قائم على صبغة ميثيل بيريلين (MPP) وفتالوسيانين الزنك (ZnPc) مع بنية ITO/MPP/ZnZc/Au. تحسب هذه الدراسة التيار الضوئي الناتج عن الخلية الشمسية العضوية ثنائية الطبقة MPP/ZnPc باستخدام معادلات الاستمرارية والتيارات بالقياس على ظواهر نقل الشحنة وفقًا لنموذج التداخل غير المتماثل n/p. تم العثور على القيم المثيرة للاهتمام للتيار الضوئي في المنطقة النشطة، خارج هذه المنطقة (على مسافة أكبر من أطوال الانتشار) يصبح التيار الضوئي منخفضًا جدًا.

يتيح إدخال الطبقة المركبة C60 و ZnPc في واجهة MPP و ZnPc تحسين أداء الخلية عن طريق زيادة تيار الصورة من القيمة 2.6 ميلي أمبير / سم² إلى 5.3 ميلي أمبير / سم² وتنتقل الكفاءة من 0.72% إلى 1.49%.

الكلمات الرئيسية: الخلايا الكهروضوئية العضوية – هيكل MPP/ZnPc.