



Journal Homepage: - www.journalijar.com

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/23408

DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/23408>



RESEARCH ARTICLE

STUDY OF THE INFLUENCE OF OPTIMAL BASE THICKNESS ON THE I-V CHARACTERISTICS OF A BIFACIAL SILICON SOLAR CELL UNDER MONOCHROMATIC REAR-SIDE ILLUMINATION IN STEADY-STATE CONDITIONS FOR SHORT WAVELENGTHS

Gilbert Ndiassé Dione^{1,2}, Abdoulaye Gueye^{1,2}, Mohamed Yahya Teyah^{1,2}, Osmane Diassé^{1,3}, Khady Loum^{1,2} and Segá Gueye^{1,3}

1. Groupe International de Recherche en Energie Renouvelable (GIRER). BP. 15003, Dakar, Senegal.
2. Université Iba Der THIAM de Thiès, Senegal.
3. Faculté des Sciences et Technologies de l'éducation et de la Formation-Département de Physique et Chimie, Université Cheikh Anta Diop, Dakar-Senegal.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 4 March 2026

Final Accepted: 8 April 2026

Published: May 2026

Key words:-

bifacial solar cell; silicon; optimum thickness; I-V characteristic; photovoltage; photocurrent; wavelength; recombination.

Abstract

In this work, we investigate the influence of the optimum base thickness on the current-voltage (I-V) characteristics of a bifacial silicon solar cell subjected to monochromatic illumination at low wavelengths under steady-state conditions. The study is based on the analysis of photovoltage and photocurrent density as functions of the junction recombination velocity, the incident wavelength, and the corresponding optimum base thickness. The obtained profiles show that the photovoltage remains maximum and constant at low recombination velocities, corresponding to the open circuit condition, and then decreases as the recombination velocity increases. The results also reveal that the open-circuit voltage increases with wavelength while it decreases as the optimum thickness increases. Furthermore, the short circuit photocurrent density increases with wavelength and decreases with the optimum base thickness. The obtained I-V characteristics highlight the significant influence of optical and geometrical parameters on the electrical performance of the solar cell. This study therefore contributes to the optimization of bifacial silicon photovoltaic cells intended for high-efficiency photovoltaic applications.

"© 2026 by the Author(s). Published by IJAR under CC BY 4.0. Unrestricted use allowed with credit to the author."

Introduction:-

Les cellules photovoltaïques au silicium occupent aujourd'hui une place prépondérante dans la production mondiale d'énergie solaire grâce à leur stabilité, leur abondance et leur rendement de conversion élevé [9, 54,55]. Parmi ces dispositifs, les photopiles bifaciales au silicium suscitent un intérêt croissant en raison de leur capacité à capter le rayonnement lumineux sur les deux faces, permettant ainsi une amélioration significative des performances électriques et énergétiques [1, 2, 4,56].

Corresponding Author:- Segá Gueye

Address:- 1. Groupe International de Recherche en Energie Renouvelable (GIRER). BP. 15003, Dakar, Sénégal.3.Faculté des Sciences et Technologies de l'éducation et de la Formation-Département de Physique et Chimie, Université Cheikh Anta Diop, Dakar-Sénégal.

Cette technologie constitue une voie prometteuse pour les systèmes photovoltaïques à haut rendement destinés aux applications terrestres et spatiales [3,5]. Les performances des photopiles bifaciales dépendent fortement des paramètres physiques, géométriques et optiques intervenant dans les mécanismes de transport des porteurs minoritaires [13,57]. Parmi ces paramètres, l'épaisseur de la base joue un rôle fondamental dans les phénomènes de génération, diffusion et recombinaison des porteurs de charge photogénérés [6, 7,8]. Une base trop épaisse favorise les recombinaisons volumiques avant la collecte des porteurs à la jonction, tandis qu'une base trop mince réduit l'absorption du rayonnement incident. Il devient alors nécessaire de déterminer une épaisseur optimale permettant d'établir un compromis entre absorption optique et limitation des pertes par recombinaison [45, 47, 52,53]. Plusieurs travaux ont été consacrés à l'optimisation de l'épaisseur de la base dans les cellules photovoltaïques au silicium. Les paramètres structuraux sont importants dans l'amélioration du rendement des cellules photovoltaïques cristallines [54-56]. D'autres études théoriques et expérimentales ont porté sur les effets de la longueur d'onde, du champ magnétique, de la température, de la fréquence et de l'irradiation sur les caractéristiques électriques des photopiles bifaciales [19, 20, 27, 28, 47-50].

L'éclairage monochromatique permet de montrer l'influence de la longueur d'onde sur la détermination de l'épaisseur optimale de la base d'une photopile bifaciale (n+/p/p+) au silicium [19,20]. Par ailleurs, les phénomènes de recombinaison à la jonction et à la surface arrière constituent des paramètres essentiels dans l'étude des caractéristiques courant-tension des cellules photovoltaïques [15, 26, 32, 37,41]. Les vitesses de recombinaison traduisent les mécanismes d'échange des porteurs minoritaires au niveau des interfaces de la photopile et influencent directement la phototension de circuit ouvert ainsi que le photocourant de court-circuit [30,31,43,46]. Dans ce travail, nous étudions l'influence de l'épaisseur optimale de la base sur les caractéristiques courant-tension (I-V) d'une photopile bifaciale (n+/p/p+) au silicium soumise à un éclairage monochromatique de faibles longueurs d'onde par la face arrière en régime statique. L'étude repose sur l'analyse de la phototension et de la densité de photocourant en fonction de la vitesse de recombinaison à la jonction, de la longueur d'onde incidente et de l'épaisseur optimale correspondante de la base. L'objectif principal est de mettre en évidence l'effet combiné des paramètres optiques et géométriques sur les performances électriques de la photopile afin de contribuer à l'optimisation des cellules photovoltaïques bifaciales au silicium [12, 19, 20, 45, 49,52].

Theorie:-

Présentation de la photopile:-

Dans ce travail, on considère une photopile bifaciale (n+/p/p+) au silicium, étudiée dans le cadre d'un modèle unidimensionnel [12, 20,45], soumise à un éclairage monochromatique de faibles longueurs d'onde par la face arrière en régime statique [19,20]. L'étude porte sur l'influence de l'épaisseur optimale de la base sur les caractéristiques électriques de la photopile, notamment la phototension et la densité de photocourant, à travers les phénomènes de génération, diffusion et recombinaison des porteurs minoritaires dans la base [13,18,21,57]. La structure de la photopile au silicium considérée est représentée sur la figure (1). Elle est composée principalement de l'émetteur ou face avant de type n+ (comportant des grilles métalliques, fortement dopée en atomes donneurs de phosphore et de faible épaisseur), suivi de la zone de charge d'espace située entre l'émetteur et la base où règne un champ électrique intense permettant la séparation des paires électron-trou photogénérées. La base, de type p, est faiblement dopée en atomes accepteurs trivalents et possède une épaisseur beaucoup plus importante que celle de l'émetteur.

Enfin, la région arrière fortement dopée p+ constitue le Back Surface Field (BSF) [10, 14, 38, 41,42]. Cette région crée un champ électrique arrière permettant de renvoyer vers la jonction émetteur-base les porteurs minoritaires générés près de la face arrière, réduisant ainsi les pertes par recombinaison et améliorant la collecte des charges photogénérées [11,14,38,41,42]. Les paramètres optiques liés à l'absorption du rayonnement lumineux jouent un rôle essentiel dans la génération des porteurs minoritaires au sein de la base [22-24]. Sous éclairage monochromatique par la face arrière, la répartition spatiale des porteurs photogénérés dépend fortement de la longueur d'onde incidente ainsi que de l'épaisseur de la base [19,20,50,53]. Les vitesses de recombinaison à la jonction et à la surface arrière influencent directement les caractéristiques électriques de la photopile, notamment la phototension de circuit ouvert et la densité de photocourant de court-circuit [15,16,26,30-32,46]. Par ailleurs, plusieurs travaux ont montré que l'optimisation de l'épaisseur de la base constitue un facteur essentiel dans l'amélioration des performances des photopiles bifaciales au silicium [45,47,49,51-53]. Une augmentation excessive de l'épaisseur favorise les recombinaisons volumiques des porteurs minoritaires avant leur collecte à la jonction, tandis qu'une faible épaisseur réduit l'absorption des photons incidents dans la base [17,21,37,39]. L'étude de l'épaisseur optimale permet ainsi

d'établir un compromis entre absorption optique et limitation des pertes par recombinaison afin d'améliorer les performances électriques de la photopile [12,19,20,45].

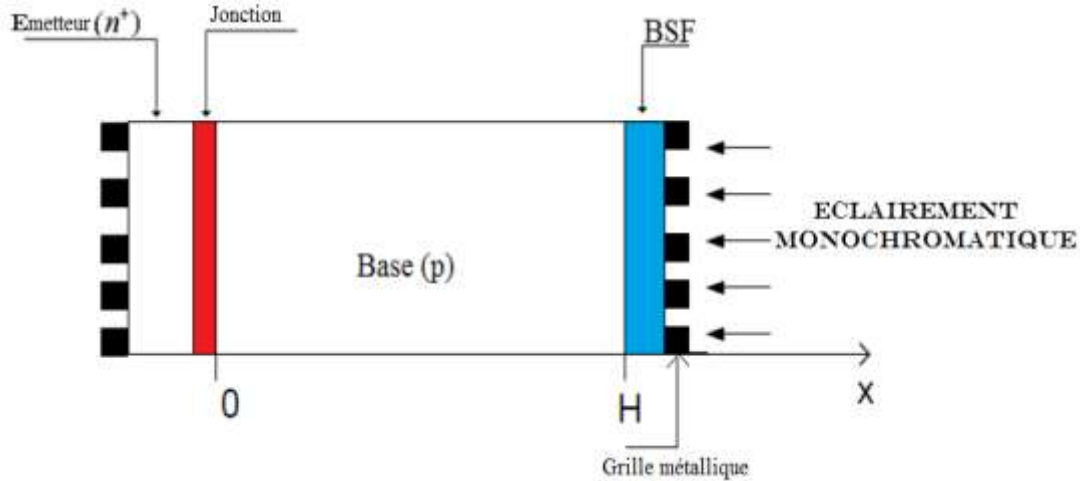


Figure 1 : Photopile bifaciale (n+/p/p+) au silicium eclairee par la face arriere

Equation de continuité :-

Compte tenu des phénomènes de génération, de recombinaison et de diffusion au sein de la photopile eclairee par la face arriere par une lumière monochromatique, l'équation de continuité des porteurs minoritaires de charges en excès dans la base en regime statique est donnee par la relation suivante[13,57]:

$$D \times \frac{\partial^2 \delta(x, \alpha_\lambda)}{\partial x^2} - \frac{\delta(x, \alpha_\lambda)}{\tau} + G(x, \alpha_\lambda) = 0 \quad (1)$$

Où :

D : represente le coefficient de diffusion des electrons dans la base ;

$\delta(x, \alpha_\lambda)$: represente la densité des porteurs minoritaires de charge en excès dans la base.

τ . represente la duree de vie des porteurs minoritaires de charge en excès dans la base.

$$\tau = \frac{L^2}{D} \quad (2)$$

L : represente la longueur de diffusion des porteurs minoritaires de charge en excès dans la base.

Le taux de generation des porteurs photogenere est donne par la relation suivante [21] :

$$G(x, \alpha_\lambda) = \alpha_\lambda \times \phi_\lambda \times (1 - R_\lambda) \times \exp(-\alpha_\lambda \cdot (x - H)) \quad (3)$$

Les coefficients optiques jouent un rôle important dans l'absorption du rayonnement lumineux et la generation des porteurs photogenere dans le silicium [22-24].

α_λ est le coefficient d'absorption monochromatique du materiau pour une longueur d'onde λ ,

R_λ est le coefficient de reflexion monochromatique du materiau pour une longueur d'onde λ ,

ϕ_λ est le flux incident de la lumière monochromatique,

x est profondeur dans la base de la photopile.

La resolution de l'equation (1) a donnee l'expression de la densité de porteurs minoritaires sous la forme suivante :

$$\delta(x, \alpha_\lambda) = A \times c \left(\frac{x}{L}\right) + B \times \text{sh} \left(\frac{x}{L}\right) + K(\alpha_\lambda) \times \exp(-\alpha_\lambda (H - x)) \quad (4)$$

avec : $K(\alpha_\lambda) = \frac{-\alpha_\lambda \times \phi_\lambda \times (1 - R_\lambda) \times L^2}{D \times [\alpha_\lambda^2 \times L^2 - 1]} \quad (5)$

Les conditions aux limites permettent de determiner les constantes d'integration A et B liees au transport des porteurs dans la base de la photopile [32,33].

A la jonction emetteur-base (x = 0)

$$\frac{\partial \delta(x, \alpha_\lambda)}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{S_r}{D} \times \delta(0, \alpha_\lambda) \quad (6)$$

S_f représente la vitesse de recombinaison des porteurs de charge à la jonction imposée par la charge externe et interne (résistance shunt) et caractérise ainsi le point de fonctionnement de la cellule solaire, variant du circuit ouvert à la condition de court-circuit [26-36].

En face arrière ($x = H$)

$$\left. \frac{\partial \delta(x, \alpha_\lambda)}{\partial x} \right|_{x=H} = \frac{-S_b}{D} \delta(H, \alpha_\lambda) \quad (7)$$

S_b représente la vitesse de recombinaison des porteurs minoritaires à la surface arrière. Elle est la conséquence du champ électrique créé par la jonction p/p+ et caractérise la surface de jonction haut-bas [37-45].

Expression de la phototension :-

L'expression de la phototension aux bornes d'une photopile est donnée par la relation de Boltzmann ci-dessous :

$$V_{ph}(S_f, \alpha_\lambda, H_{opt}) = \frac{K_b}{q} \times T \times \ln \left[\frac{N_b}{n_i^2} \cdot \delta(0, \alpha_\lambda, H_{opt}) + 1 \right] \quad (8)$$

Cette relation est largement utilisée dans la modélisation des cellules photovoltaïques au silicium pour relier la densité des porteurs à la phototension développée aux bornes de la jonction [13,57].

n_i représente la concentration intrinsèque égale à 10^{10} cm^{-3} ,

N_b représente le taux de dopage en atomes accepteurs dans la base et égal à 10^{16} cm^{-3} ,

K_b représente la constante de Boltzmann égale à $1,381 \times 10^{-23}$,

T : la température absolue égale à 300°K ,

q représente le charge élémentaire de l'électron égale à $1,610^{-19} \text{ C}$.

Resultats et Discussions:-

Phototension en fonction de la vitesse de recombinaison :-

La figure 2 présente le profil de la phototension en fonction de la vitesse de recombinaison à la face avant S_f pour différentes longueurs d'onde λ associées à différentes profondeurs optimales H_{op} .

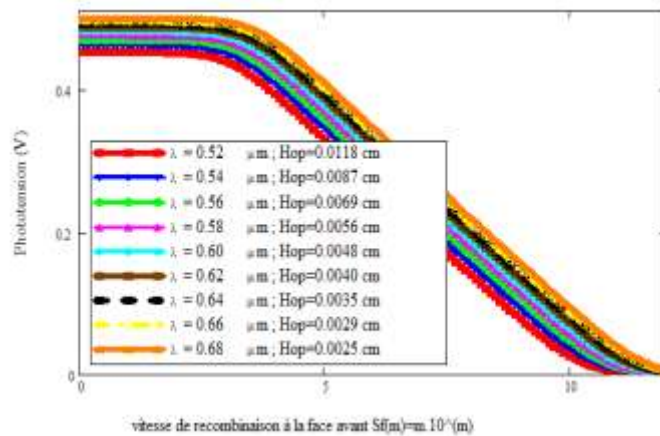


Figure 2: Phototension en fonction de la vitesse de recombinaison à la jonction pour différentes faibles valeurs de la longueur d'onde.

La figure 2 montre que, pour des valeurs de $Sf < 4 \times 10^4$ cm/s, l'amplitude de la phototension demeure maximale et constante, correspondant ainsi à la tension de circuit ouvert. Cette amplitude augmente toutefois avec la longueur d'onde du rayonnement incident. Au-delà de $Sf > 4 \times 10^4$ cm/s, la phototension décroît de manière quasi linéaire lorsque la vitesse de recombinaison à la jonction augmente, jusqu'à devenir pratiquement nulle pour de très grandes valeurs de Sf , correspondant au régime de court-circuit. Cette diminution traduit l'existence d'un gradient très important de densité de porteurs au niveau de la jonction, favorisant leur traversée à travers celle-ci. Le tableau 1 ci-dessous présente les valeurs de la tension de circuit ouvert (V_{co}) extraites de la figure 2 pour les différentes longueurs d'onde de la gamme utilisée, correspondant à chaque épaisseur optimum de la base de la photopile.

λ (μm)	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60	0.62	0.64	0.66	0.68
Hopt(cm)	0.0118	0.0087	0.0069	0.0056	0.0048	0.004	0.0035	0.0029	0.0025
Vco(V)	0.453	0.462	0.470	0.477	0.482	0.487	0.492	0.496	0.501

Le tableau 1a permis de tracer les profils de la tension de circuit ouvert en fonction de la longueur d'onde (figure 3) et de l'épaisseur optimum (figure 4). La figure 3 présente le profil de la tension de circuit ouvert en fonction de la longueur d'onde λ .

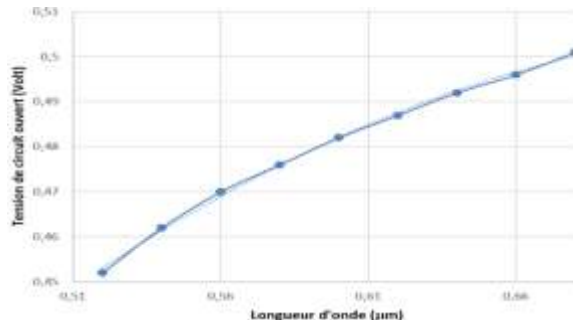


Figure 3 : Tension de circuit ouvert en fonction de la longueur d'onde

L'équation de corrélation mathématique est donnée par:

$V_{co} \text{ (Volt)} = -0,8577\lambda^2 + 1,3234\lambda - 0,0032(9)$ La figure 3, montre que l'amplitude de la tension de circuit ouvert (V_{co}) augmente paraboliquement lorsque la longueur d'onde augmente. La figure 4 présente le profil de la tension de circuit ouvert en fonction de l'épaisseur optimum.

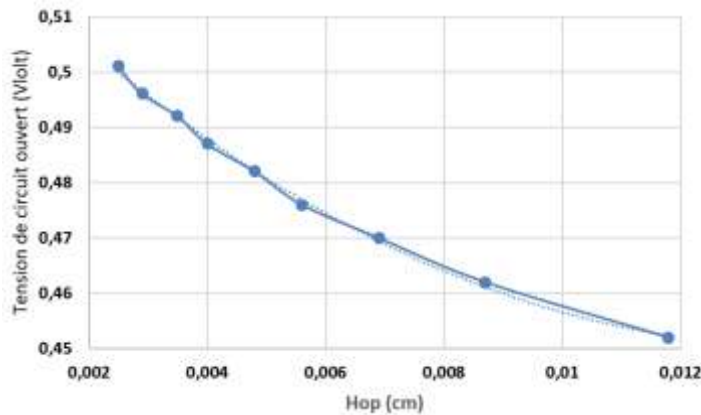


Figure 4: Tension de circuit ouvert en fonction de l'épaisseur optimum

L'équation de corrélation mathématique est donnée par:

$V_{co} \text{ (Volt)} = -371.57\text{Hop}^2 - 10.42\text{Hop} + 0.5236(10)$

La figure 4, montre que l'amplitude de la tension de circuit ouvert (V_{co}) décroît paraboliquement lorsque l'épaisseur optimum augmente.

Caracteristique I(Sf, α_s , Hopt)-V(Sf, α_s , Hopt):-

Les figures 5et 6 illustrent les profils de la densite de photocourant en fonction de la phototension pour differentes valeurs de la longueur d'onde et d'epaisseurs optimums correspondantes.

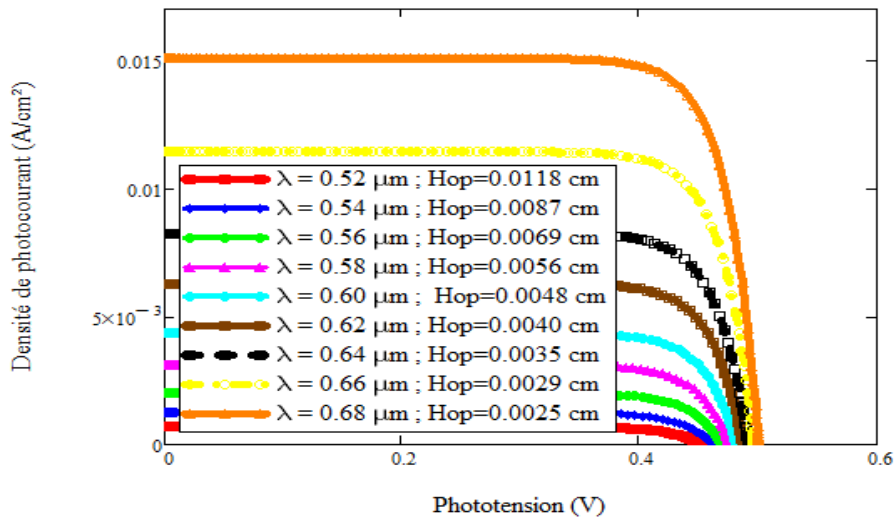


Figure 5 : Densite de photocourant en fonction de la phototension avec $Sb_2=f(\alpha\lambda)$

La figure 5 montre que, pour de faibles valeurs de la phototension, la densite de photocourant est maximale et constante, correspondant au regime de court-circuit. Elle decroit ensuite progressivement jusqu'à s'annuler lorsque la phototension atteint sa valeur maximale associee au circuit ouvert. Par ailleurs, la longueur d'onde incidente et l'epaisseur optimale de la base n'affectent pas la forme generale de la caracteristique I-V, mais influencent uniquement les valeurs du photocourant de court-circuit et de la phototension de circuit ouvert. Le tableau 2 presente les valeurs de la densite de photocourant de court-circuit, extraites de la figure 5 pour differentes faibles longueurs d'onde et d'epaisseurs optimales correspondantes de la base de la photopile.

Tableau 2 : Densite de photocourant de court-circuit en fonction de la longueur d'onde et de l'epaisseur optimum

$\lambda(\mu\text{m})$	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60	0.62	0.64	0.66	0.68
$H_{opt}(\text{cm})$	0.0118	0.0087	0.0069	0.0056	0.0048	0.004	0.0035	0.0029	0.0025
$J_{phcc}(\text{A}\cdot\text{cm}^{-2})$	0.0006	0.0012	0.002	0.003	0.004	0.006	0.0082	0.011	0.015

Le tableau 2a permis de tracer les profils de la densite du photocourantde court circuit en fonction de la longueur d'onde (figure 6) et de l'epaisseur optimum (figure 7).

La figure 6 presente le profil de la densite du photocourantde court circuit en fonction de la longueur d'onde λ .

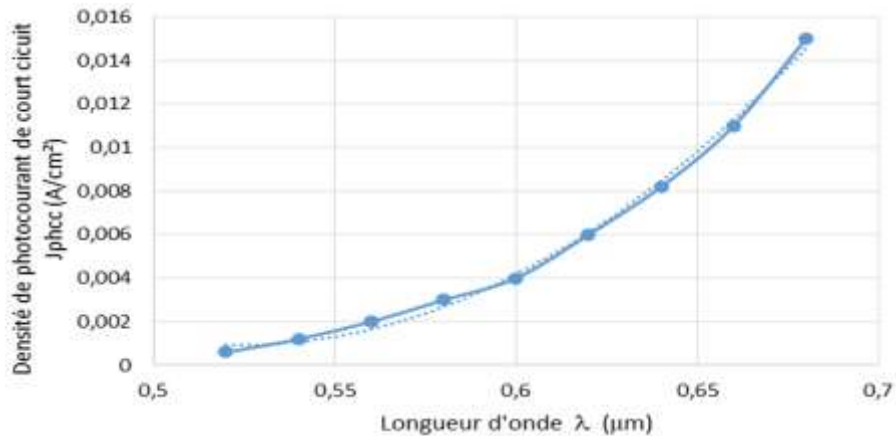


Figure 6 : Profil de la densite de photocourant de court-circuit en fonction de la longueur d'onde

L'équation de corrélation mathématique est donnée par:

$$J_{ph_{cc}}(A/cm^2) = 0,5617\lambda^2 - 0.5887\lambda + 0.1552(11)$$

Nous constatons au niveau de la figure 6, que l'amplitude de la densité de photocourant de court-circuit ($J_{ph_{cc}}$) augmente lorsque la longueur d'onde augmente. La densité de photocourant de court-circuit ($J_{ph_{cc}}$) croît paraboliquement lorsque la longueur d'onde augmente.

La figure 7 présente le profil de la densité de photocourant de court-circuit en fonction de l'épaisseur optimum.

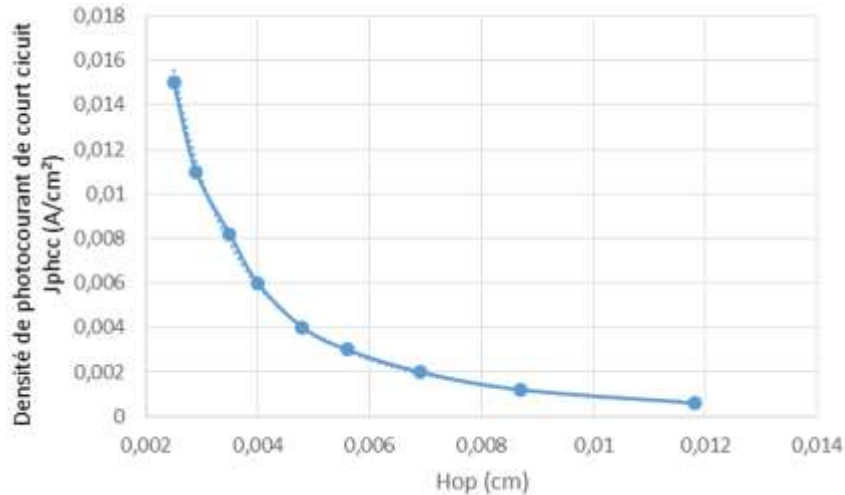


Figure 7: Profil de la densité de photocourant de court-circuit en fonction de l'épaisseur optimum

L'équation de corrélation mathématique est donnée par :

$$J_{ph_{cc}}(A/cm^2) = 7 * 10^{-8} Hop^{-2.063}(12)$$

Au niveau de la figure 6, l'amplitude de la densité de photocourant de court-circuit ($J_{ph_{cc}}$) diminue avec l'épaisseur optimum. Les résultats obtenus montrent que la phototension de circuit ouvert (V_{co}) demeure maximale et pratiquement constante pour de faibles vitesses de recombinaison à la jonction ($S_f < 4 \times 10^4$ cm/s). Cette situation correspond au régime de circuit ouvert, dans lequel les porteurs photogénérés s'accumulent au voisinage de la jonction sans traversée significative de celle-ci. L'augmentation de V_{co} avec la longueur d'onde peut s'expliquer par une meilleure génération des porteurs minoritaires dans la base de la photopile, associée à une réduction des pertes par recombinaison. Ce comportement est cohérent avec les travaux récents sur les cellules photovoltaïques bifaciales au silicium, qui montrent que l'optimisation de l'absorption spectrale améliore directement la phototension et le rendement des dispositifs photovoltaïques [58–60].

Lorsque la vitesse de recombinaison devient élevée ($S_f > 4 \times 10^4$ cm/s), la phototension décroît progressivement jusqu'à tendre vers zéro dans le régime de court-circuit. Cette diminution traduit une augmentation du flux de porteurs traversant la jonction, provoquée par un gradient important de concentration des porteurs minoritaires. Des résultats similaires ont été rapportés dans plusieurs études théoriques et expérimentales consacrées à l'influence des phénomènes de recombinaison sur les performances des photopiles au silicium [61,62]. En effet, une vitesse de recombinaison élevée réduit la durée de vie effective des porteurs et limite l'accumulation de charges responsables de la phototension.

Les résultats du tableau 1 et de la figure 3 montrent également que la tension de circuit ouvert augmente de manière parabolique avec la longueur d'onde incidente. Cette évolution suggère une amélioration de la collecte des porteurs photogénérés pour les longueurs d'onde considérées. Les photons de plus grande longueur d'onde pénètrent davantage dans la base de la photopile, favorisant ainsi une génération volumique plus efficace des porteurs minoritaires. Ce comportement est en accord avec les études de modélisation optoelectronique des cellules solaires bifaciales modernes, qui démontrent que l'optimisation spectrale de l'illumination contribue à l'amélioration des paramètres électriques de sortie [63,64].

Par ailleurs, la diminution de V_{oc} avec l'augmentation de l'épaisseur optimale de la base (figure 4) peut être attribuée à l'accroissement des pertes par recombinaison volumique dans la région active de la cellule. Une base plus épaisse augmente la distance moyenne parcourue par les porteurs minoritaires avant leur collecte, ce qui accroît les probabilités de recombinaison. Ce résultat confirme l'importance du compromis entre absorption optique et transport des charges dans la conception des cellules photovoltaïques au silicium [65].

L'analyse des caractéristiques I-V montre que la densité de photocourant de court-circuit (J_{phcc}) augmente avec la longueur d'onde tandis qu'elle diminue lorsque l'épaisseur optimale de la base augmente. L'augmentation de J_{phcc} avec la longueur d'onde traduit une meilleure génération des porteurs dans la base sous éclairage arrière monochromatique. Cette tendance a également été observée dans les travaux récents sur les cellules bifaciales PERC et TOPCon, où l'optimisation des propriétés spectrales et géométriques améliore significativement la collecte du photocourant [66,67]. Enfin, les résultats obtenus confirment que l'épaisseur optimale de la base constitue un paramètre essentiel pour l'amélioration des performances électriques des cellules solaires bifaciales au silicium. Bien que cette étude soit essentiellement théorique, les tendances observées restent cohérentes avec les modèles physiques récents et les validations expérimentales publiées dans la littérature photovoltaïque contemporaine.

Conclusion:-

Cette étude a permis d'analyser l'influence de l'épaisseur optimale de la base sur les caractéristiques courant-tension (I-V) d'une photopile bifaciale au silicium soumise à un éclairage monochromatique de faibles longueurs d'onde en régime statique. L'analyse des profils de la phototension et de la densité de photocourant en fonction de la vitesse de recombinaison à la jonction a mis en évidence le rôle déterminant des paramètres optiques et géométriques dans le fonctionnement de la photopile. Les résultats obtenus montrent que la phototension demeure maximale et constante aux faibles vitesses de recombinaison, correspondant au régime de circuit ouvert, avant de décroître progressivement lorsque la vitesse de recombinaison augmente. L'étude révèle également que la tension de circuit ouvert augmente avec la longueur d'onde de la lumière incidente alors qu'elle diminue lorsque l'épaisseur optimale de la base devient plus importante.

Par ailleurs, la densité de photocourant de court-circuit augmente avec la longueur d'onde tandis qu'elle décroît avec l'augmentation de l'épaisseur optimale de la base. Les caractéristiques I-V obtenues montrent ainsi que les variations de la longueur d'onde et de l'épaisseur de la base influencent significativement les performances électriques de la photopile bifaciale au silicium. Ces résultats confirment l'importance de l'optimisation de l'épaisseur de la base dans l'amélioration des performances des cellules photovoltaïques bifaciales. Cette optimisation permet de limiter les phénomènes de recombinaison des porteurs minoritaires tout en favorisant une meilleure collecte des charges photogénérées [12,19,20,45,47,49,52]. En perspective, cette étude pourrait être approfondie par la prise en compte de l'influence de la température, de l'irradiation particulaire, des effets fréquentiels ainsi que des conditions réelles d'éclairage sur les performances des photopiles bifaciales au silicium.

References:-

1. Green, M.A. (1995) Silicon Solar Cells Advanced Principles & Practice. Bridge Printer Pty. Ltd., Clayton North.
2. Navruz, T.S. and Saritas, M. (2012) Determination of the Optimum Material Parameters for Intermediate Band Solar Cells Diffusion Model. Progress in Photovoltaics Research and Applications, 22, 593-602. <https://doi.org/10.1002/pip.2283>
3. Yadav, P., Pandey, K., Tripathi, B., Kumar, C.M., Srivastava, S.K., Singh, P.K. and Kumar, M. (2015) An Effective Way to Analyze the Performance Limiting Parameters of a Poly-Crystalline Silicon Solar Cell Fabricated in the Production Line. Solar Energy, 122, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.08.005>
4. R. Aliev, A. Mirzaalimov, S. Aliev (2013). Development and some photovoltaic parameters of a silicon solar generator with vertical p-n junctions. Applied Solar Energy, Vol. 49 issue 2, Pp 59-61 <http://dx.doi.org/10.3103/s0003701x13020011>
5. Chung F; Chung-Feng Jeffery Kuo, Hung-Min Tu, Shin-Wei Liang, Wei-Lun Tsai (2010). Optimization of microcrystalline silicon thin film solar cell isolation processing parameters using ultraviolet laser. Optics & Laser Technology, Vol. 42 issue 6, Pp. 945-955. <http://dx.doi.org/10.1016/j.optlastec.2010.01.013>
6. Lago-Aurrekoetxea, R.M., Del Can, C., Izo, Pou, I. and Luque, A. (2001) Fabrication Process for Thin Silicon Solar Cells. Proceeding 17th European PVSEC, Munich, 1519-1522.

7. Yasar, S., Kahraman, S., Cetinkaya, S., Apaydin, S., Bilican, I. and Uluer, I. (2016). Numerical Thickness Optimization Study of CIGS Based Solar Cells with wxAMPS, *Optik*, 127, 8827-8835. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.06.094>
8. Sayem, A.A., Arafat, Y. and Rahman, M.M. (2014). Thickness Optimization and Composition Grading Effect in Heterojunction CIGS Solar Cell. 8th International Conference on Electrical and Computer Engineering, Dhaka, 20 December 2014, 524-527. <https://doi.org/10.1109/ICECE.2014.7026952>.
9. International Energy Agency. (2023). Trends in photovoltaic applications 2023. IEA PVPS. <https://iea-pvps.org>
10. Le Quang Nam, M. Rodot, M. Ghannam, J. Cppy, P. de Schepper, J. Nijs, (1992) Solar Cells with 15.6% efficiency on multicrystalline silicone, using impurity gettering, back surface field and emitter passivation. *Int. J.Solar Energy*. Vol. 11, pp.273-279.
11. J. Del Alamo, J. Eguren and A. Luque (1980). Operating limits of Al-Alloyed high-low junction for BSF solar cells. *Solid-States-Electronics* Vol. 24, pp. 415- 420.
12. Abdoulaye GUEYE, Sega GUEYE, Youssou TRAORE, Mohamed Yahya TEYAH, JulbertNdiassé DIONE, Idrissa GAYE. Junction and Back Surface Recombination Velocities Approach for Optimum Base Thickness Determination in an Irradiated n⁺-p-p⁺ Silicon Solar Cell. 2026, 13(3) :73-85. www.jsaer.com
13. Sze, S. M., & Ng, K. K. (2021). *Physics of semiconductor devices* (4th ed.). Wiley.
14. J.G. Fossum (1977). Physical Operation of Back-Surface-Field Silicon Solar Cells. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1977, 2, 322-325. <https://doi.org/10.1109/T-ED.1977.18735>
15. Sissoko, G., Museruka, C., Correa, A., Gaye, I. and Ndiaye, A.L. (1996). Light Spectral Effect on Recombination Parameters of Silicon Solar Cell. *World Renewable Energy Congress, Pergamon, Part III*, pp.1487-1490.
16. Zondervan, A., Verhoef, L.A. and Lindholm, F.A. (1988). Measurement Circuits for Silicon-Diode and Solar Cells Lifetime and Surface Recombination Velocity by Electrical Short-Circuit Current Delay. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 35, 85-88. <https://doi.org/10.1109/16.2419>
17. Rose, B.H. and Weaver, H.T. (1983). Determination of Effective Surface Recombination Velocity and Minority-Carrier Lifetime in High-Efficiency Si Solar Cells. *Journal of Applied Physics*, 54, pp.238-247. <https://doi.org/10.1063/1.331693>.
18. Joardar, K., Dondero, R.C. and Schroder, D.K. (1989). A Critical Analysis of the Small-Signal Voltage-Decay Technique for Minority-Carrier Lifetime Measurement in Solar Cells. *Solid-State Electronics*, 32, 479-483. [https://doi.org/10.1016/0038-1101\(89\)90030-0](https://doi.org/10.1016/0038-1101(89)90030-0)
19. Moustapha Thiame, Moussa Camara, Mohamed Lemine Cheikh, Sega Gueye, Ousmane Sow, Mamadou Wadeland Gregoire Sissoko, 2023. Etude d'une photopile bifaciale au silicium en regime statique soumise à un champ magnetique sous eclairement monochromatique par la face arriere: determination de l'epaisseur optimum de la base. *International Journal of advanced Research (IJAR)*, 11(06), 889-901. <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/17141>
20. Gilbert Ndiassé Dione, Hamet Yoro BA, Gora Diop, Malick Ndiaye, Ibrahima Diatta, Khady Loum, Youssou Traore, Moustapha Thiame, Ousmane Sow, Mamadou Wade and S. Gregoire (2022). Bifacial (n + -p-p +) Silicon Solar Cell base thickness optimization, while illuminated by the rear face with monochromatic light of short wavelenths. *International Journal of advanced Research (IJAR)*, 10(09), 409-418. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/15372>.
21. Meier, D.L., Hwang, J.-M. and Campbell, R.B. (1988) The Effect of Doping Density and Injection Level on Minority Carrier Lifetime as Applied to Bifacial Dendritic Web Silicon Solar Cells. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 35, 70-79. <https://doi.org/10.1109/16.2417>.
22. C.T. Ho, J.D. Mathias (1981). Effect of short wavelength illumination on the characteristic bulk diffusion length in ribbon silicon solar cells. *Solid-State Electronics* vol. 24 issue 2 on Pp. 115-120. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-1101\(81\)90004-6](http://dx.doi.org/10.1016/0038-1101(81)90004-6).
23. K.Rajkanan, R. Singh and J. Schewchun (1979). Absorption coefficient of silicon for solar cell calculations. *Solid-State Electronics*, 22,793-795. [https://doi.org/10.1016/0038-1101\(79\)90128-X](https://doi.org/10.1016/0038-1101(79)90128-X).
24. Wusong Tao, Ying Du .The optical properties of solar cells before and after encapsulation. *Solar Energy* Volume 122, December 2015, Pages 718-726. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.10.007>.
25. Mohammad, S.N. (1987). An Alternative Method for the Performance Analysis of Silicon Solar Cells. *Journal of Applied Physics*, 28, pp.767-772. <https://doi.org/10.1063/1.338230>.
26. Sissoko, G., Museruka, C., Correa, A., Gaye, I. and Ndiaye, A.L. (1996). Light Spectral Effect on Recombination Parameters of Silicon Solar Cell. *World Renewable Energy Congress, Pergamon, Part III*, pp.1487-1490.

27. M. Fall, I. Gaye, D. Diarisso, G. Diop, K. Loum, N. Diop, K. Sy, M. Ndiaye and G.Sissoko,. AC Back Surface Recombination Velocity in $n^+ - p - p^+$ Silicon Solar Cell under Monochromatic Light and Temperature. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 2021, 13, 67-81. doi: 10.4236/jemaa.2021.135005.
28. Traore, Y. , Thiam, N. , Thiame, M. , Thiam, A. , Ba, M. , Diouf, M. , Diatta, I. , Mballo, O. , Sow, E. , Wade, M. and Sissoko, G. (2019). AC Recombination Velocity in the Back Surface of a Lamella Silicon Solar Cell under Temperature. *Journal of Modern Physics*, 10, 1235-1246. doi: 10.4236/jmp.2019.1010082
29. Gueye, M. , Diallo, H. , Moustapha, A. , Traore, Y. , Diatta, I. and Sissoko, G. (2018) Ac Recombination Velocity in a Lamella Silicon Solar Cell. *World Journal of Condensed Matter Physics*, 8, 185-196. doi: 10.4236/wjcmp.2018.84013.
30. Ndiaye, E.H., Sahin, G, Dieng, M., Thiam, A, Diallo, H.L., Ndiaye, M. and Sissoko, G. (2015) Study of the Intrinsic Recombination Velocity at the Junction of Silicon Solar under Frequency Modulation and Irradiation. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 3, 1522-1535. <https://doi.org/10.4236/jamp.2015.311177>
31. O. Diasse, A. Diao, I. Ly, M.S. Diouf, I. Diatta, R. Mane, Y. Traore and G.Sissoko (2018). Back Surface Recombination Velocity Modeling in White Biased Silicon Solar Cell under Steady State. *Journal of Modern Physics*, 9, 189-201. <https://doi.org/10.4236/jmp.2018.92012>
32. H.L.Diallo, A.S. Maiga, A. Wereme and G. Sissoko, (2008). New Approach of both Junction and Back Surface Recombination Velocities in a 3D Modelling Study of a Polycrystalline Silicon Solar Cell. *The European Physical Journal Applied Physics*, 42, 193-211. <http://dx.doi.org/10.1051/epjap:2008085>
33. Diao, A., Thiam, N., Zoungrana, M., Sahin, G., Ndiaye, M. and Sissoko, G. (2014) Diffusion Coefficient in Silicon Solar Cell with Applied Magnetic Field and under Frequency: Electric Equivalent Circuits. *World Journal of Condensed Matter Physics*, 4, 84-92. <https://doi.org/10.4236/wjcmp.2014.42013>
34. Zerbo, F.I. Barro, B. Mbow, A. Diao, S. Madougou, F.Zougmore and G. Sissoko, Theoretical Study of Bifacial Silicon Solar Cell under Frequency Modulate white Light: Determination of Recombination Parameters. *Proceedings of the 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris, 7-11 June 2004*, 258-261
35. K. Taretto, U. Rau, Thomas A. Wagner, Jens Werner (2003). A Simple Method to Extract the Diffusion Length from the Output Parameters of Solar Cells - Application to Polycrystalline Silicon. *Solid State Phenomena Vol. 93*, Pp 399-404 <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.93.399>.
36. Sahin, G., Dieng, M., Moujtaba, M., Ngom, M., Thiam, A. and Sissoko, G. (2015) Capacitance of Vertical Parallel Junction Silicon Solar Cell under Monochromatic Modulated Illumination. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 3, 1536-1543. <https://doi.org/10.4236/jamp.2015.311178>.
37. Rosling, M., Bleichner, H., Mundqvist, M. and Nordlander, E. (1992). A Novel Technique for the Simultaneous Measurement of Ambipolar Carrier Lifetime and Diffusion Coefficient in Silicon. *Solid State Electronics*, 35, 1223-1227. [https://doi.org/10.1016/0038-1101\(92\)90153-4](https://doi.org/10.1016/0038-1101(92)90153-4)
38. Fossum, J.G. and Burgess, E.L. (1978) High Efficiency $p^+ - n - n^+$ Back-Surface-Field Solar Cells. *Applied Physics Letters*, 33, 238-240. <https://doi.org/10.1063/1.90311>
39. Rose, B.H. and Weaver, H.T. (1983) Determination of Effective Surface Recombination Velocity and Minority Carrier Lifetime in High-Efficiency Si Solar Cells. *Journal of Applied Physics*, 54, pp.238-247. <https://doi.org/10.1063/1.331693>.
40. Takahashi, Y., Kondo, H., Yamazaki, T., Uraoka, Y. and Fuyuki, T. (2007). Precise Analysis of Surface Recombination Velocity in Crystalline Silicon Solar Cells Using Electroluminescence. *Japanese Journal of Applied Physics*, 46, 1149-1151. <https://doi.org/10.1143/JJAP.46.L1149>
41. J.G. Fossum (1977). Physical Operation of Back-Surface-Field Silicon Solar Cells. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2, 322-325. <https://doi.org/10.1109/T-ED.1977.18735>
42. [80] Le Quang Nam, M. Rodot, M. Ghannam, J. Coppye, P. de Schepper, J. Nijs, D. Sarti, I. Perichaud & S. Martinuzzi. (1992). Solar cells with 15.6% efficiency on multicrystalline silicon, using impurity gettering, back surface field and emitter passivation. *International Journal of Solar Energy*, vol. 11, pp. 273-279 <https://doi.org/10.1080/01425919208909745>
43. F. I. Barro, S. Mbodji, M. Ndiaye, A. S. Maiga and G. Sissoko (2001). Bulk and surface recombination parameters measurement in silicon double sided surface field solar cell under constant white bias light. *Proc.17thEuropean PVSEC Munich* 36, pp.368-371.
44. G. Sissoko, E. Nanema, A. L. Ndiaye, Y. L. B. Bocande and M. Adj. (1996). Minority carrier diffusion length measurement in silicon solar cell under constant white bias light. *Renewable Energy*, Vol 3, pp.1594-1597, 1996.- Pergamon, 0960-1481 / 94\$ 700 +0.00.
45. Omar Dia, Mohamed Abderrahim Ould El Moujtaba, Sega Gueye, Mamadou Lamine Ba, Ibrahima Diatta, Gora Diop, Marcel Sitor Diouf and G. Sissoko (2020) Optimum Thickness Determination Technique as Applied to a

- Series Vertical Junction Silicon Solar Cell Under Polychromatic Illumination: Effect of Irradiation. International Journal of Advanced Research, 8(05), 616-626. <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/10967>.
46. Ly, I., Ndiaye, M., Wade, M., Thiam, N., Sega, Gueye. And Sissoko, G. (2013). Concept of Recombination Velocity Sfc at the Junction of a Bifacial Silicon Solar Cell, in Steady State, Initiating the Short-Circuit Condition. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 5, 203-208. <https://doi.org/10.19026/rjaset.5.5105>
 47. E.L.Y. Maimouna Mint, N. Thiam, M. Ndiaye, Y. Traore, R. Mane, S. El hadji, O. Mballo, M.S. Dieng, C.T. Sarr, I. Ly and G.Sissoko (2020). Surface Recombination Velocity Concept as Applied to Determinate Back Surface Illuminated Silicon Solar Cell Base Optimum Thickness, under Temperature and External Magnetic Field Effects. Journal of Scientific and Engineering Research, 7, 69-77. <http://www.w.jsaer.com>
 48. Sega Diagne, Gora Diop, Richard Mane, Malick Ndiaye, Ibrahima Diatta, Gilbert N Dione, Ousmane Sow, Moustapha Thiame, Mamadou Wade and Gregoire Sissoko (220). Monochromatic lighth of short wavelength as applied to determine (n+/p/p+) silicon solar cell base thickness under the influence of both magnetic field and temperature. International Journal of Engineering Research Updates, 2022, 03(02), 013–025. DOI: <https://doi.org/10.53430/ijeru.2022.3.2.0055>
 49. Ousmane Sow, Sega Gueye, Richard Mane, Gora Diop , Ibrahima Diatta, Khady Loum , Moustapha Thiame, Mamadou Wade and Gregoire Sissoko. (2022).(n+/p/p+) silicon solar cell base thickness optimization under modulated short wavelength illumination, at resonances in both frequency and temperature of minority carriers Diffusion coefficient . International Journal of Engineering Research Updates, 03(02), 040–052. DOI url: <https://doi.org/10.53430/ijeru.2022.3.2.0059>
 50. Mor Sarr, Idrissa Gaye, Seydi Ababacar Ndiaye, Mamadou Lamine Ba, Gora Diop, Ibrahima Diatta, LemrabottHabiboullah, Gregoire Sissoko (2021). Effet de l'irradiation par des particules chargees sur le coefficient de diffusion de la base d'une photopile au silicium (n+-p-p+) : determination de l'epaisseur optimum sous eclairementmonochromatique.International Journal of Advanced Research. 9(03), 127-135. <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/12565>.
 51. Malick Ndiaye, Ousmane Sow, Ibrahima Diatta, Gora Diop, Dibor Faye, KhadyLoum, YoussouTraore, Moustapha Thiame, Mamadou Wade And Gregoire Sissoko (2022). Optimization of the thickness of the doping rate base (Nb) of the (n+/p/p+) silicon solar cell with vertical multi-junction connected in series and placed under monochromatic illumination in frequency modulation. Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences, Vol. 12, N0 4, 266-280. <https://doi.org/10.24214/jcbps.C.12.4.26680>.
 52. Diop, M. , Ba, H. , Thiam, N. , Diatta, I. , Traore, Y. , Ba, M. , Sow, E. , Mballo, O. and Sissoko, G. (2019) Surface Recombination Concept as Applied to Determinate Silicon Solar Cell Base Optimum Thickness with Doping Level Effect. World Journal of Condensed Matter Physics, 9, 102-111. doi: 10.4236/wjcmp.2019.94008.
 53. Meimouna Mint Sidi Dede, Mamadou Lamine Ba, Mamour Amadou Ba, Mor Ndiaye, Sega Gueye, El Hadj Sow, Ibrahima Diatta, Masse Samba Diop, Mamadou Wade, Gregoire Sissoko, (2020). Back Surface Recombination Velocity Dependent of Absorption Coefficient as Applied to Determine Base Optimum Thickness of an n+/p/p+ Silicon Solar Cell. Energy and Power Engineering, 12, 445-458 <https://www.scirp.org/journal/epe>.
 54. Green, M. A. (2022). Silicon solar cells: Advanced principles and practice. Progress in
 55. Glunz, S. W. (2021). High-efficiency crystalline silicon solar cells. Journal of Applied Physics, 129(24), 240901. <https://doi.org/10.1063/5.0054892>
 56. Richter, A., Hermle, M., & Glunz, S. W. (2023). Reassessment of the limiting efficiency for crystalline silicon solar cells. IEEE Journal of Photovoltaics, 13(2), 345–352. <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2023.3245678>
 57. Sze, S. M., & Ng, K. K. (2021). Physics of semiconductor devices (4th ed.). Wiley.
 58. A. Cuevas and C. Del Cañizo, “The role of silicon in photovoltaic technologies,” Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 28, no. 6, pp. 457–468, 2020.DOI : 10.1002/pip.3212
 59. M. A. Green, “Silicon photovoltaic modules: a brief history of the first 50 years,” Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 29, pp. 565–578, 2021.DOI : 10.1002/pip.3374
 60. IEA PVPS, Trends in Photovoltaic Applications 2023, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, 2023.
 61. Disponible sur : <https://iea-pvps.org/>
 62. S. M. Sze and K. K. Ng, Physics of Semiconductor Devices, 4th ed., Wiley, 2021. DOI : 10.1002/9781119429115
 63. P. P. Altermatt, “Models for numerical device simulations of crystalline silicon solar cells,” Journal of Computational Electronics, vol. 21, pp. 104–122, 2022.DOI : 10.1007/s10825-021-01748-6

64. J. Haschke et al., "Spectral effects in bifacial silicon solar cells," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 240, 2022.DOI : 10.1016/j.solmat.2022.111711
65. F. Duerinckx and J. Szlufcik, "Defect passivation and spectral response in silicon solar cells," *Renewable Energy*, vol. 195, pp. 1205–1214, 2022.DOI : 10.1016/j.renene.2022.05.089
66. M. Hermle et al., "Optimized base thickness in high-efficiency silicon solar cells," *Solar Energy*, vol. 231, pp. 113–121, 2022.DOI : 10.1016/j.solener.2021.11.051
67. J. Müller et al., "Performance analysis of bifacial TOPCon silicon solar cells," *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 13, no. 2, pp. 456–464, 2023.DOI : 10.1109/JPHOTOV.2022.3223456
68. A. Richter et al., "Recent progress in crystalline silicon solar cell research," *Nature Energy*, vol. 8, pp. 689–701, 2023.DOI : 10.1038/s41560-023-012345