



Journal Homepage: [-www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI:10.21474/IJAR01/17982
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/17982>



RESEARCH ARTICLE

MAGNÉTORESISTANCE SÉRIE D'UNE PHOTOPILE AU SILICIUM À JONCTIONS VERTICALES CONNECTÉES EN PARALLÈLE EN RÉGIME STATIQUE SOUS ÉCLAIREMENT POLYCHROMATIQUE

Moussa I. Ngom¹, Mohamed Lemine Cheikh¹, Habiboula Lemrabott², Sega Gueye³, Moustapha Thiame⁴ and
Gregoire Sissoko¹

1. Groupe International de Recherche en Energie Renouvelable (GIRER). BP. 15003, Dakar, Sénégal.
2. Ecole Supérieure Mutinational de Télécommunication-Dakar, Sénégal.
3. Faculte des Sciences et Technologies de l'éducation et de la Formation-Departement de Physique et Chimie, Université Cheikh Anta DIOP, Dakar-Sénégal.
4. Université Assane SECK, Ziguinchor, Senegal.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 10 October 2023

Final Accepted: 14 November 2023

Published: December 2023

Key words:-

Photopile A Jonction Verticale Parallele-
Champ Magnetique- Phototension-
ResistanceSerie

Abstract

Une étude théorique de la photopile au silicium polycristallin à jonction verticale parallèle en régime statique sous éclairage polychromatique et sous champ magnétique est présentée. La résolution de l'équation de magnéto-transport relative à la densité des porteurs minoritaires dans la base a permis de déduire les expressions de la phototension, et de la résistance série de la photopile en fonction de la vitesse de recombinaison des porteurs minoritaires de charge à la jonction et de la profondeur z de la photopile pour différentes valeurs du champ magnétique. A partir du profil de variation de la phototension en fonction de la vitesse de recombinaison des porteurs minoritaires de charge à la jonction, la méthode graphique de détermination de la vitesse de recombinaison à la jonction limitant le circuit-ouvert est appliquée. La détermination de ce paramètre phénoménologique a permis de déduire graphiquement la valeur de la résistance série pour différentes valeurs du champ magnétique.

Copy Right, IJAR, 2023.. All rights reserved.

Introduction:-

Notre contribution dans ce travail porte sur l'influence du champ magnétique appliqué [1-4] sur une photopile au silicium à jonctions verticales connectées en parallèle en régime statique sous éclairage polychromatique. La résolution de l'équation de magnéto-transport relative à la densité des porteurs minoritaires de charge en excès dans la base permet d'obtenir l'expression de la densité des porteurs, de la phototension et de la phototension en circuit-ouvert. La résistance série est ensuite déduite à partir du concept de la vitesse de recombinaison à la jonction (S_f) [5-9], en particulier limitant le circuit-ouvert (S_{fco}) [10-14] appliqué à la représentation graphique de la courbe de calibration de l'expression théorique obtenue de la résistance série $R_s(S_f)$ [15-20].

Theorie

La photopile au silicium à jonctions verticales ($n^+/p/n^+/p$) connectées en parallèle [21-31] représentée par la figure. 1, est conçue de telle sorte que l'éclairage incident est parallèle au plan de la zone de charge d'espace. Les émetteurs (n^+) sont connectés entre elles, de même que les bases (p).

Corresponding Author:- Moussa I. Ngom

Address:- Groupe International de Recherche en Energie Renouvelable (GIRER). BP. 15003, Dakar, Sénégal.

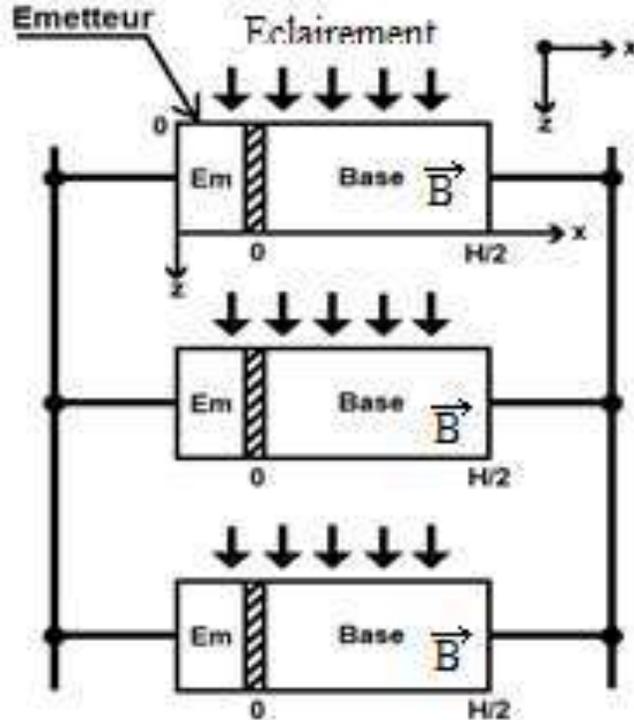


Figure.1:- Photopile à jonctions verticales connectées en parallèle placée sous champ magnétique.

A)Equation se continuité relative à la densité des porteurs minoritaires de charge dans la base

L'équation de magneto-transport [1-4, 22, 30] dans le modèle à (2D) est donnée par

$$\frac{\partial^2 \delta(x)}{\partial x^2} - \frac{\delta(x)}{L^{*2}} = -\frac{G(z)}{D^*} \tag{1}$$

G(z) est le taux de génération des porteurs minoritaires en excès en fonction de la profondeur z et dont l'expression [32]est donnée par l'équation suivante:

$$G(z) = n \sum_{i=1}^3 a_i e^{-b_i z} \tag{2}$$

n est le nombre de soleil (n = 1 pour le cas étudié), a_i et b_i sont les valeurs tabuléesdu rayonnement solaire sous AM (air-masse. 1,5).

Le coefficient de diffusion D* des porteurs minoritaires de charge en excès dans la base sous champ magnétique [2-4] s'exprime par:

$$D^* = \frac{D_0}{[1 + (\mu B)^2]} \tag{3}$$

D₀ est le coefficient de diffusion des porteurs minoritaires de charge en excès dans la base en absence de champ magnétique et (μ) est la mobilité des porteurs minoritaires dans la base.

La longueur de diffusion des porteurs minoritaires L* est donnée par l'expression d'Einstein:

$$L^* = \sqrt{\tau D^*} \tag{4}$$

τ est la durée de vie des porteurs minoritaires photogénérés dans la base de la photopile

La solution générale de l'équation de continuité est donné par :

$$\delta(x, B, S_f) = A \cosh\left(\frac{x}{L^*}\right) + C \sinh\left(\frac{x}{L^*}\right) + \sum_{i=1}^3 K_i e^{-b_i z} \tag{5}$$

avec

$$K_i = \frac{a_i L^{*2}}{D^*} \tag{6}$$

où les coefficients A et C sont déterminés à partir des conditions aux limites suivantes:

- a) A la jonction en x=0

$$\left. \frac{\partial \delta(x)}{\partial x} \right|_{x=0} = \frac{Sf}{D^*} \delta(x)|_{x=0} \tag{7}$$

Sfest la vitesse de recombinaison des porteurs minoritaires de charge à la jonction émetteur-base (x = 0) [5-14].

b) Au milieu de la base, en x = H/2, le gradient de la densité des porteurs est nul [22, 30] :

$$\left. \frac{\partial \delta(x)}{\partial x} \right|_{x=\frac{H}{2}} = 0 \tag{8}$$

Résultats et Discussion:-

La phototension

D’après la relation de Boltzmann l’expression de la phototension est donnée par:

$$V_{ph} = V_T \ln \left[1 + \frac{Nb}{N_0^2} \delta(x = 0, z) \right] \tag{9}$$

avec $V_T = \frac{KT}{q}$ (10)

où : - No est la concentration intrinsèque des porteurs minoritaires ($6,78.10^9 \text{ cm}^{-3}$).

- Nb est le taux de dopage de la base en atomes d’impureté (10^{16} cm^{-3}).

- V_T est la tension thermique.

- k est la constante de Boltzmann ($1,38.10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$) ; T la température absolue.

La **figure. 2**, donne le profil de la phototension en fonction de la vitesse de recombinaison à la jonction, pour différentes valeurs du champ magnétique, respectivement pour des profondeurs, z = 0.002cm (**Figure 2, a**) et z = 0.006cm (**Figure 2, b**).

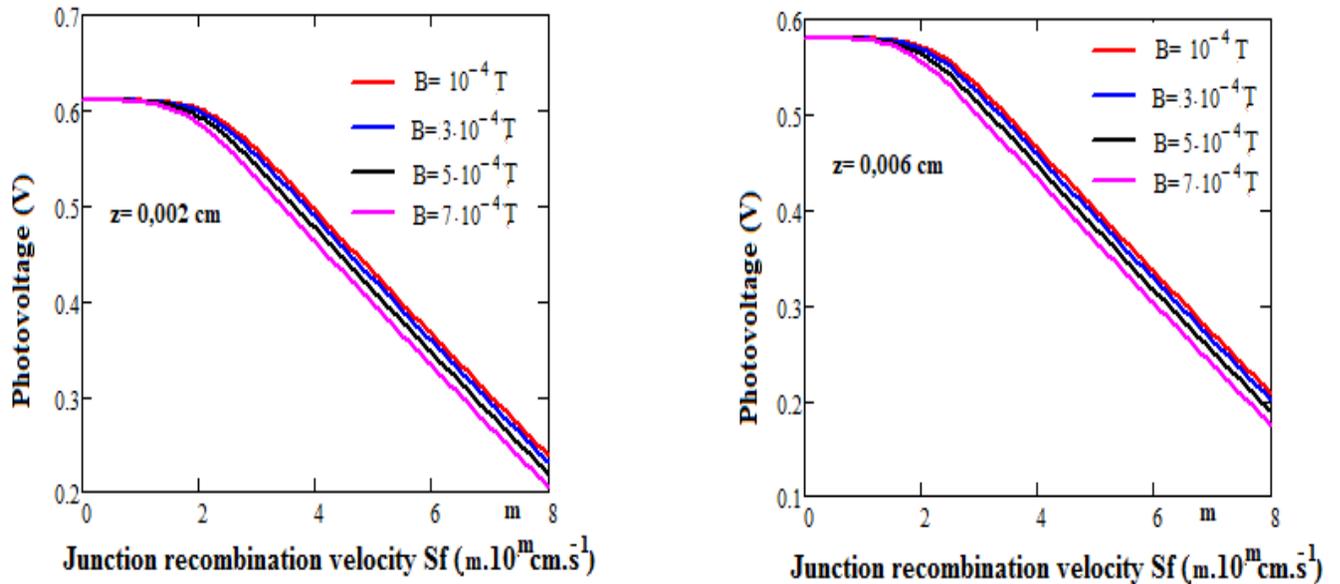


Figure. 2:- Phototension (z= 0,002cm et z= 0,006 cm) en fonction de la vitesse de recombinaison à la jonction pour différentes valeurs du champ magnétique B.

$$D_0 = 26\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}; H = 0,03\text{cm}; \tau = 10^{-5}\text{s}$$

La **figure. 3**, donne pour différentes valeurs du champ magnétique, la phototension (proche du circuit-ouvert) en fonction du logarithme décimal de l’épaisseur z de la photopile, pour la vitesse de recombinaison (Sf) à la jonction de valeur $Sf = 2. 10^2 \text{ cm/s}$.

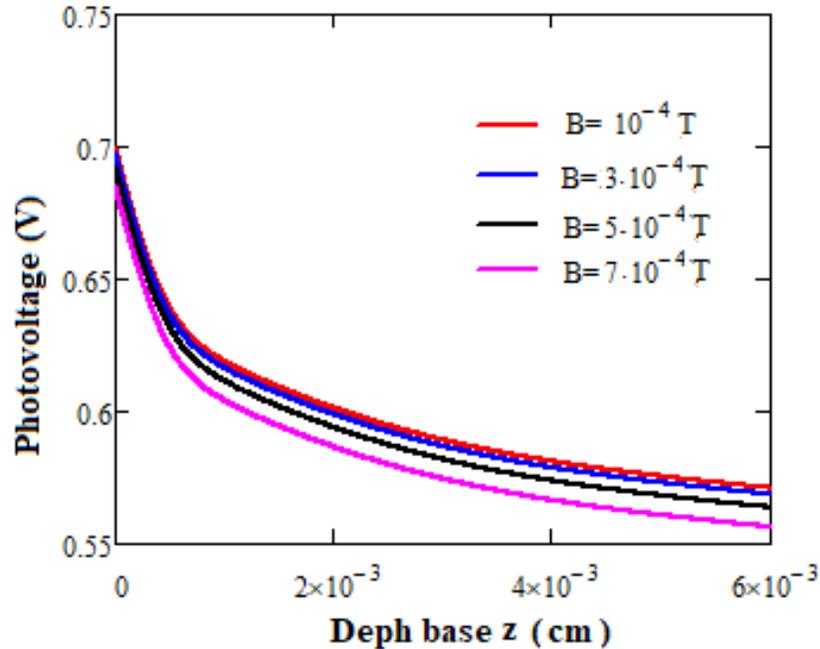


Figure. 3:- Phototension en fonction de la profondeur z de la base pour différentes valeurs du champ magnétique B .
 $D_0 = 26\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$; $H = 0,03\text{cm}$; $\tau = 10^{-5}\text{s}$

Quelle que soit la valeur du champ magnétique, la phototension diminue avec la vitesse de recombinaison à la jonction. En effet pour les petites valeurs de Sf ($Sf < 2.10^2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$) la phototension est quasi constante : c'est la situation de circuit ouvert où les porteurs minoritaires de charge photogénérés sont bloqués et stockés à la jonction. Quand la vitesse Sf augmente ($Sf > 2.10^2$), les porteurs de charge traversent la jonction, ce qui diminue la densité des porteurs de charge stockés voire donc la phototension.

La phototension diminue légèrement avec l'intensité du champ magnétique. Cela est due à la déflexion des porteurs de charge, donc une diminution de la densité de charge à la jonction. Mais cette variation est plus faible au voisinage du circuit-ouvert, due à la faible vitesse (Sf), donc à une faible déflexion (Loi de Lorentz).

La phototension diminue avec l'épaisseur z de la photopile, car la photogénération diminue lorsque l'épaisseur z augmente et provoque ainsi une diminution de la densité des porteurs minoritaires charge au voisinage de la jonction pour générer une phototension.

Phototension en circuit-ouvert

L'expression de la phototension en circuit-ouvert est donnée par :

$$V_{co} = \lim_{Sf \rightarrow 0} V_{ph} \tag{11}$$

Ce qui donne :

$$V_{co} = V_T \ln \left[1 + \frac{Nb}{No^2} \sum_{i=1}^3 \frac{na_i L^2}{D^*} e^{-b_i z} \right] \tag{12}$$

Le profil de la phototension en circuit-ouvert est donné à la **figure. 4**, respectivement en fonction de la profondeur z (**Figure 4, a**) pour différentes valeurs du champ magnétique B , puis en fonction du champ magnétique (**Figure 4, b**), pour différentes valeurs de la profondeur z .

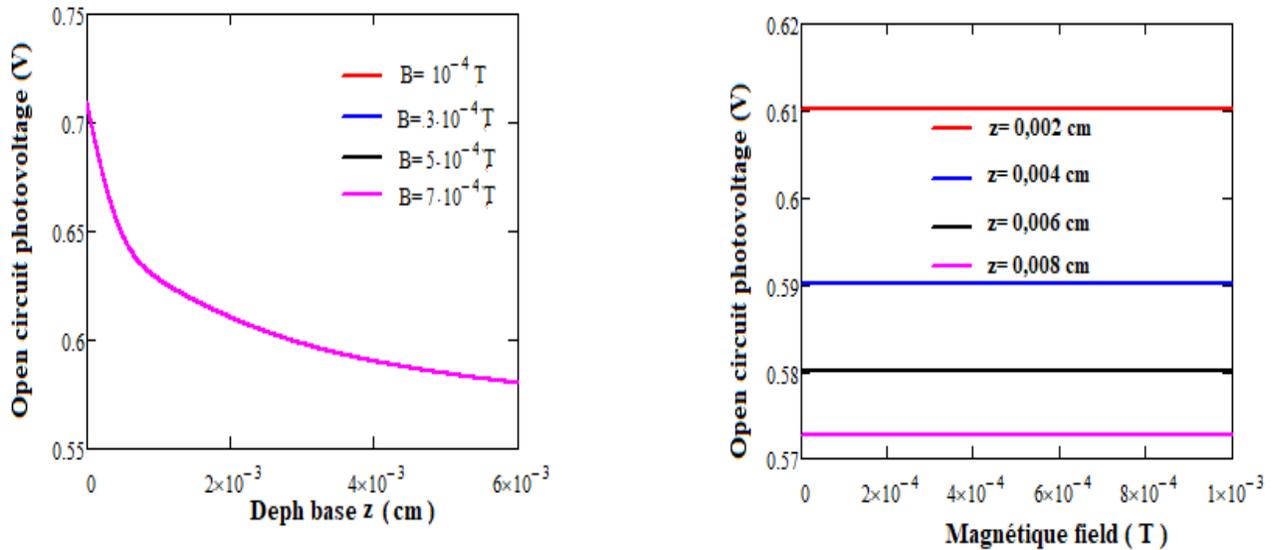


Figure 4:-

<p>a) Phototension en circuit-ouvert en fonction de la profondeur z pour différentes valeurs du champ magnétique B $D_0 = 26\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$; $H = 0,03\text{cm}$; $\tau = 10^{-5}\text{s}$</p>	<p>b) Phototension en circuit-ouvert en fonction du champ magnétique B pour différentes valeurs de la profondeur z. $D_0 = 26\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$; $H = 0,03\text{cm}$; $\tau = 10^{-5}\text{s}$</p>
---	--

Quelle que soit la valeur du champ magnétique, la phototension en circuit-ouvert diminue avec l'épaisseur z de la photopile.

Le champ magnétique n'a presque pas d'effet sur la phototension en circuit-ouvert (Sf faible).

Détermination graphique de la phototension en circuit-ouvert et de la vitesse de recombinaison limitant le circuit-ouvert

La technique de détermination de la vitesse de recombinaison à la jonction limitant la tension en circuit-ouvert Sfc_o[10-14], est donnée à la **figure 5**. Pour cela on s'intéresse à l'intervalle des vitesses (Sf) correspondant au maximum de la courbe, dont la limite supérieure correspond à un point limitant le circuit-ouvert. La projection orthogonale de ce point sur l'axe des ordonnées indique la tension en circuit-ouvert V_{comesurée} et sa projection sur l'axe des abscisses nous donne la vitesse de recombinaison à la jonction limitant le circuit-ouvert Sfc_o.

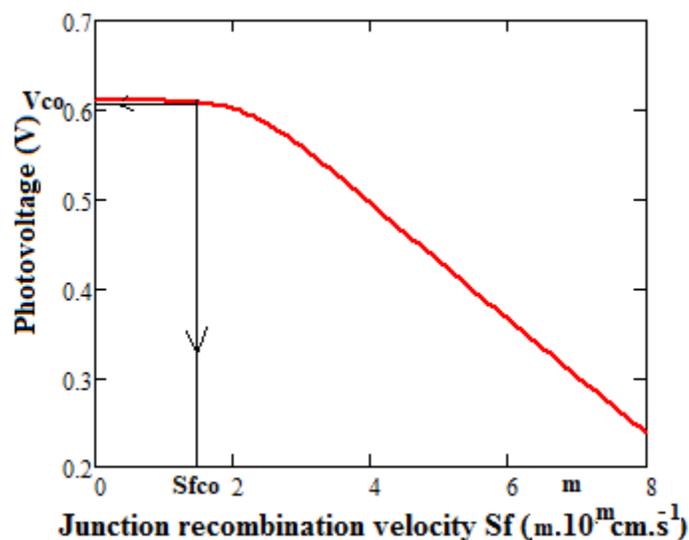


Figure 5:- Méthode de détermination de la phototension en circuit-ouvert et de la vitesse de recombinaison à la jonction limitant le circuit-ouvert.

A partir de la **figure. 2 (a et b)** les résultats de la phototension en circuit-ouvert V_{co} et de la vitesse de recombinaison des porteurs de charge limitant le circuit-ouvert S_{fco} , sont extraites et consignées dans le **tableau. 1**.

Tableau. 1:- Valeurs de la phototension de circuit-ouvert V_{co} , de la vitesse de recombinaison limitant le circuit-ouvert S_{fco} , pour différentes valeurs de la profondeur z de la photopile et du champ magnétique B .

z (cm)	B (T)	V_{co} (V)	S_{fco} (cm/s)
$z = 0,002$	10^{-4}	0,608	47,43
	3.10^{-4}	0,608	35,17
	5.10^{-4}	0,608	19,02
	7.10^{-4}	0,608	13,85
$z = 0,006$	10^{-4}	0,577	63,70
	3.10^{-4}	0,577	47,43
	5.10^{-4}	0,577	35,17
	7.10^{-4}	0,577	19,02

Résistance série

La résistance série R_s est un paramètre fondamental qui dépend de la nature du substrat (resistivité et épaisseur), de la température, de la technologie et matériaux utilisés pour réaliser les contacts sur la photopile. Elle joue un rôle déterminant sur la qualité d'une photopile. Elle caractérise les effets résistifs du matériau et du dispositif de contact utilisé.

Dans cette étude, pour déterminer la résistance série R_s , on considère le fonctionnement de la photopile en situation de circuit ouvert. La photopile fonctionne alors en générateur de tension en série avec une résistance série R_s et une résistance de charge R_{ch} .

Le schéma illustratif de ce dispositif est donné à la **figure. 6** ci-dessous:

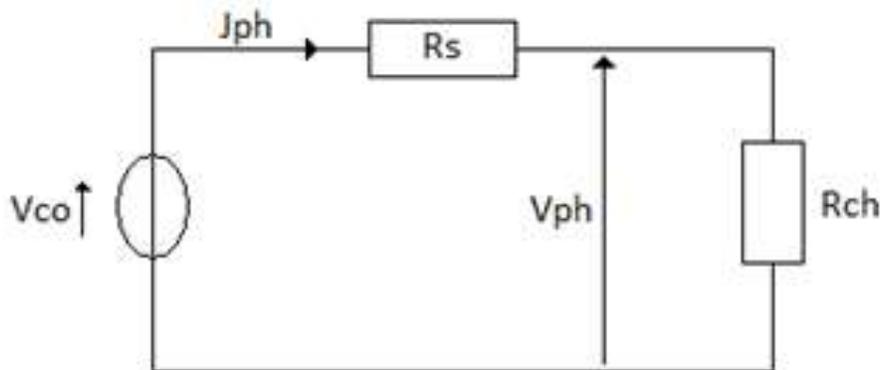


Figure. 6:- Schéma de la photopile en fonctionnement de circuit-ouvert.

Sur la figure, J_{ph} et V_{ph} sont respectivement le photocourant et la phototension ; R_s et R_{ch} sont respectivement la résistance série et la résistance de charge ; V_{co} la phototension en circuit ouvert.

En appliquant la loi des mailles au circuit de la **figure. 6**, l'expression de la résistance série se déduit par [15-20] :

$$R_s = \frac{V_{co} - V_{ph}(S_f, z, B)}{J_{ph}(S_f, z, B)} \quad (13)$$

La **figure. 7**, donne le profil des courbes de modélisation l'expression de la résistance série en fonction de la vitesse de recombinaison à la jonction, pour différentes valeurs du champ magnétique, respectivement pour des profondeurs, $z = 0.002\text{cm}$ et $z = 0.006\text{cm}$.

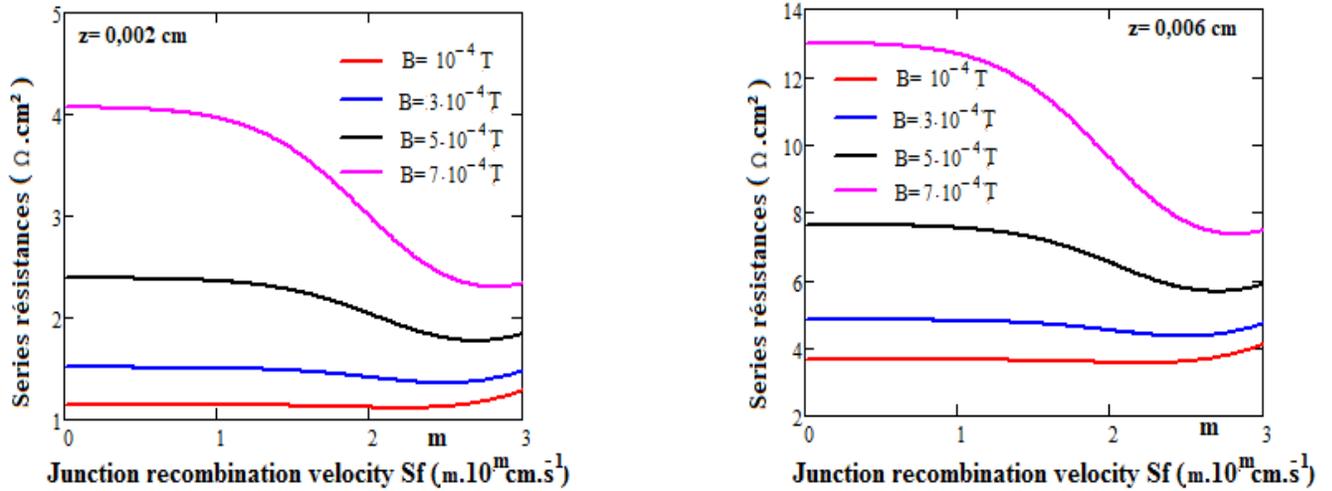


Figure 7:- Résistance série ($z = 0,002 \text{ cm}$ et $z = 0,006 \text{ cm}$) en fonction de la vitesse de recombinaison à la jonction pour différentes valeurs du champ magnétique B.

$$D_0 = 26 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}; H = 0,03 \text{ cm}; \tau = 10^{-5} \text{ s}$$

Le profil des courbes de modélisation de l'expression de la résistance série en fonction de la profondeur z de la photopile pour différentes valeurs du champ magnétique puis en fonction du champ magnétique pour différentes valeurs de la profondeur z est donné respectivement aux figures 8 et 9.

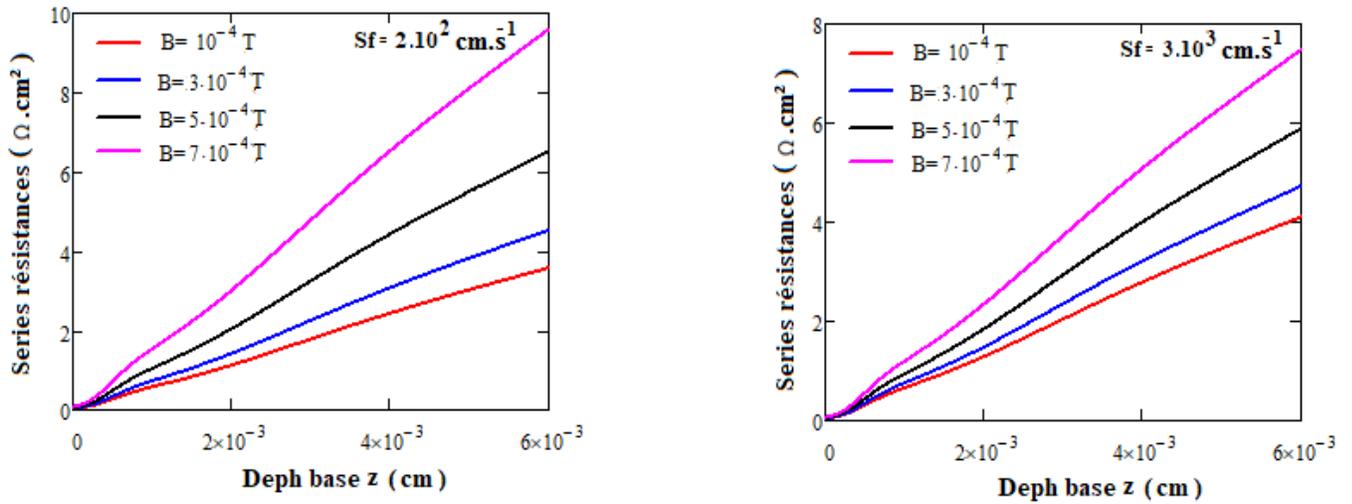


Figure. 8:- Résistance série ($S_f = 2 \cdot 10^2 \text{ cm/s}$, $S_f = 3 \cdot 10^3 \text{ cm/s}$) en fonction de la profondeur z pour différentes valeurs du champ magnétique B.

$$D_0 = 26 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}; H = 0,03 \text{ cm}; \tau = 10^{-5} \text{ s}$$

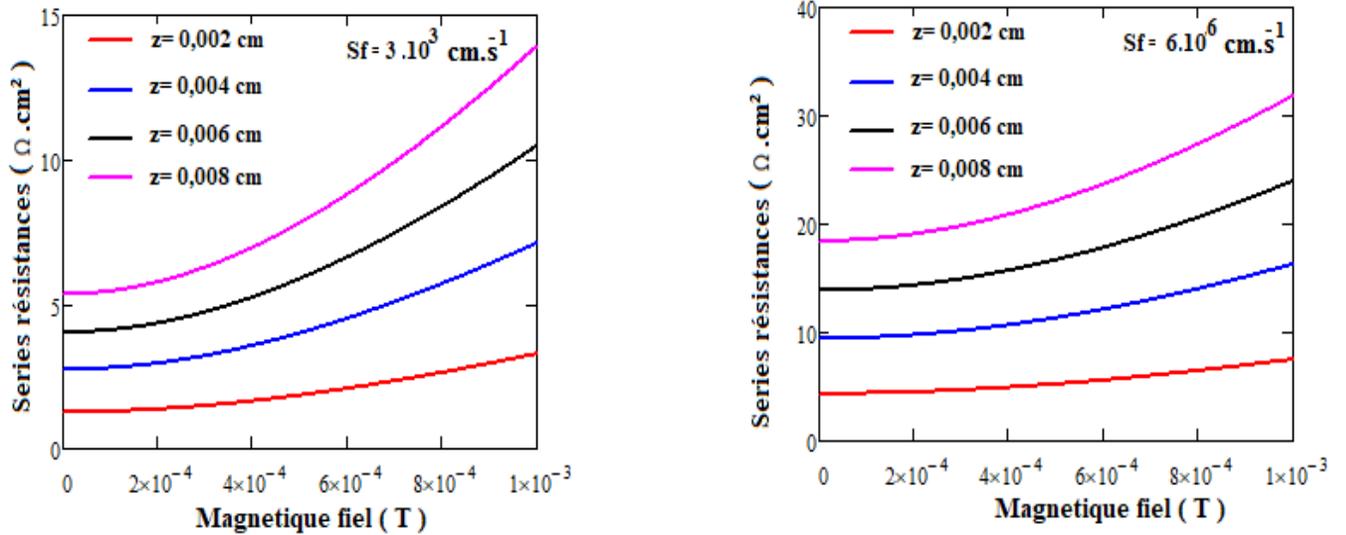


Figure. 9:- Résistance série (Sf= 3.10³ cm/s, Sf= 6.10⁶ cm/s) en fonction du champ magnétique B pour différentes valeurs de la profondeur z.

La résistance Rs diminue avec la vitesse de recombinaison à la jonction Sf au voisinage du circuit-ouvert (0 cm.s⁻¹ < Sf < 2.10² cm.s⁻¹). Cet intervalle est adéquat pour le modèle de générateur, au-delà (Sf > 2.10² cm.s⁻¹) la résistance série augmente avec la vitesse de recombinaison à la jonction Sf, alors le modèle de générateur de tension n'est plus parfait.

Le champ magnétique a pour effet d'augmenter la résistance série : c'est l'effet magnétorésistance. Cette augmentation de la résistance série Rs est due au fait que le blocage des charges au sein du matériau devient important par la présence de champ magnétique qui provoque la diminution de photocourant.

Détermination graphique de la résistance série

La méthode de détermination de la valeur de la résistance série Rs[33-39] est donnée à la **figure. 10** qui donne le profil de la résistance série en fonction de la vitesse de recombinaison à la jonction. La projection de la vitesse de recombinaison limitant le circuit-ouvert (Sfco) sur la courbe donne un point d'intersection dont l'ordonnée représente la résistance série. Les résultats sont consignés dans le **tableau. 2**.

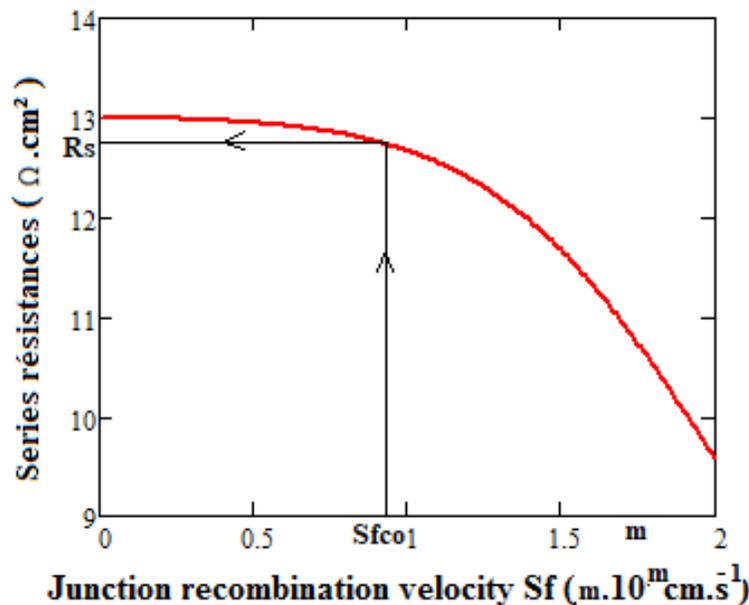


Figure 10:- Méthode de détermination de la résistance série (B= 7.10⁴ T).

Tableau. 2:- Valeurs de la phototension en circuit-ouvert V_{co} , de la vitesse de recombinaison limitant le circuit-ouvert S_{fco} de la résistance série pour différentes valeurs de la profondeur z de la photopile et du champ magnétique B .

z (cm)	B (T)	V_{co} (V)	S_{fco} (cm/s)	R_s ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)
$z = 0,002$	10^{-4}	0,608	47,43	1,133
	3.10^{-4}	0,608	35,17	1,485
	5.10^{-4}	0,608	19,02	2,335
	7.10^{-4}	0,608	13,85	3,925
$z = 0,006$	10^{-4}	0,577	63,70	3,615
	3.10^{-4}	0,577	47,43	4,724
	5.10^{-4}	0,577	35,17	7,334
	7.10^{-4}	0,577	19,02	12,39

Conclusion:-

Dans ce travail, nous avons présenté l'influence du champ magnétique sur la tension en circuit-ouvert et la résistance série d'une photopile au silicium à jonctions verticales connectées en parallèle en régime statique sous éclairage polychromatique. La résolution de l'équation de magnéto-transport nous a permis d'obtenir les expressions de la densité des porteurs minoritaires, et de la phototension. La phototension en circuit-ouvert et la résistance série en sont déduites. Le champ magnétique entraîne la diminution de la vitesse de recombinaison limitant le circuit-ouvert S_{fco} et l'augmentation de la résistance série R_s . Le champ magnétique n'a presque pas d'effet sur la phototension en circuit-ouvert.

References:-

- Vardanyan, R.R., Kerst, U., Wawer, P., Nell, M.E. and Wagemann, H.G. (1998). Method for Measurement of All Recombination Parameters in the Base Region of Solar Cells. 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Vienna, 6-10 July 1998, 191-193.
- Betser, Y., Ritter, D., Bahir, G., Cohen, S. and Serling, J. (1995) Measurement of the Minority Carrier Mobility in the Base of Heterojunction Bipolar Transistors Using a Magneto Transport Method. Applied Physics Letters, 67, 1883-1884. <https://doi.org/10.1063/1.114364>
- F. Toure, M. Zougrana, B. Zouma, S. Mbodji, S. Gueye, A. Diao & G. Sissoko (2012) Influence of Magnetic Field on Electrical Model and Electrical Parameters of a Solar Cell Under Intense Multispectral Illumination. Global Journal of Science Frontier Research (A) Vol. XII, issue VI, Version I, p51-59.
- Flohr, Th. and Helbig, R. (1989) Determination of Minority-Carrier Lifetime and Surface Recombination Velocity by Optical-Beam-Induced-Current Measurements at Different Light Wavelengths. Journal of Applied Physics, 66, 3060-3065.
- G.Sissoko, S. Sivoththanam, M. Rodot and P. Mialhe, Constant Illumination-Induced Open Circuit Voltage Decay (CIOCVD) Method, as Applied to High Efficiency Si Solar Cells for Bulk and Back Surface Characterization. 11th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Montreux, 12-16 October 1992, 352-354.
- Sissoko, G., Museruka, C., Corréa, 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.
- Demesmaeker, E., Symons, J., Nijs, J. and Mertens, R. (1991). The Influence of Surface Recombination on the Limiting Efficiency and Optimum Thickness of Silicon Solar Cells. 10th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisbon, 8-12 April 1991, 66-67. https://doi.org/10.1007/978-94-011-3622-8_17
- Sissoko, A. Correa, E. Nanema, M. N. Diarra, A. L. Ndiaye, M. Adj (1998). Recombination Parameters measurement in silicon double sided surface field cell. Proceeding of the World Renewable Energy Congress, 20 – 25 September, Pp.1856 – 1859.
- I. Ly, Lemrabott, O.H., Dieng, B., Gaye, I., Gueye, S., Diouf, M.S. and Sissoko, G. (2012) Technics of Recombination Parameters Determination and the Validity Domain of a Polycrystalline Bifacial Silicon Solar Cell under Constant Multispectral Illumination in Static Mode. www.cder.dz/spip.php?article535
- Fatimata Ba, boureimaSeibou, mamadou Wade, marcel SitorDiouf, brahima Ly and grégoireSissoko (2016).Equivalent Electric Model of the Junction Recombination Velocity limiting the Open Circuit of a Vertical Parallel Junction Solar Cell under Frequency Modulation. IPASJ International Journal of Electronics & Communication (IJEC), Volume 4, Issue 7, pp.1-11.

11. Diouf, M.S., et al. (2016) Study of the Series Resistance of a Solar Cell Silicon under Magnetic Field from of Junction Surface Recombination Velocity of Minority Charge Carriers at the Junction Limiting the Open Circuit (Sfoc). Journal of Scientific and Engineering Research, 3, 289-297. <http://www.jsaer.com>
12. Diouf, M.S., Sahin, G., Thiam, A., Ngom, M.I., Faye, K., Gaye, D. and Sissoko, G. (2015) Determination of the Junction Surface Recombination Velocity Limiting the Open Circuit (Sfoc) for a Bifacial Silicon Solar Cell under External Electric Field. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, 2, 931-938. <http://www.ijiset.com>
13. Diasse, O., Sam, R.S., Ly Diallo, H., Ndiaye, M., Thiam, N., Mbodji, S. and Sissoko, G. (2012) Solar Cell's Classification by the Determination of the Specific Values of the Back Surface Recombination Velocities in Open Circuit and Short-Circuit Operating Conditions. Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS), 1, 55-59
14. Diouf, M.S., Gaye, I., Thiam, A., Fall, M.F.M., Ly, I. and Sissoko, G. (2014) Junction Recombination Velocity Induced Open Circuit Voltage for a Silicon Solar Cell under External Electric Field. Current Trends in Technology & Sciences, 3, 372-375. <http://www.ctts.in/>
15. M.M. Dione, H. Ly Diallo, M. Wade, I. Ly, M. Thiame, F. Toure, A. GueyeCamara, N. Dieme, Z. NouhouBako, S. Mbodji, F. I. Barro, G. Sissoko . Determination of the shunt and series resistances of a vertical multijunction solar cell under constant multispectral light. 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (2010), pp. 250-254.
16. IbrahimaDiatta, Marcel SitorDiouf, Hameth Yoro Ba, YoussouTraore, OusmaneDiasse, SeydouFaye, GregoireSissoko, (2017). Temperature dependence on series resistance of a silicon solar cell under polychromatic illumination. Journal of Scientific and Engineering Research, 4(8):83-90
17. <https://jsaer.com/archive/volume-4-issue-8-2017/>
18. Ibrahima DIATTA , Ibrahima LY , Mamadou WADE , Marcel Sitor DIOUF , YoussouTraore , Mor NDIAYE , Senghane MBODJI and Grégoire SISSOKO, (2017). Series Resistance Both Temperature and Wavelength Dependent in Silicon Solar Cell under Steady State. International Journal of Emerging Research in Management & Technology ISSN: 2278-9359 (Volume-6, Issue-1) pp. 21-26
19. M. Bashahu and A. Habyarimana (1995). Review and test of methods for determination of the solar cell series resistance. Renewable Energy, 6, 2, pp. 127-138. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(94\)E0021-V](https://doi.org/10.1016/0960-1481(94)E0021-V).
20. M.M. Dione, H. Ly Diallo, M. Wade, I. Ly, M. Thiame, F. Toure, A. GueyeCamara, N. Dieme, Z. NouhouBako, S. Mbodji, F. I. Barro, G. Sissoko . Determination of the shunt and series resistances of a vertical multijunction solar cell under constant multispectral light. 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (2010), pp. 250-254.
21. Barro, F.I., Gaye, S., Deme, M., Diallo, H.L., Samb, M.L., Samoura, A.M., Mbodji, S. and Sissoko, G. (2008) Influence of Grain Size and Grain Boundary Recombination Velocity on the Series and Shunt Resistances of a Poly-Crystalline Silicon Solar Cell. Proceedings of the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Valencia, 1-5 September 2008, 612-615.11
22. Green, M.A. (1995) Silicon Solar Cells Advanced Principles & Practice. Bridge Printer Pty. Ltd., Clayton North.
23. J.F.Wise. Vertical Junction Hardened Solar Cell. US Patent, 1970. 3, 690-953.
24. B.Terheiden, G. Hahn, P. Fath and E.Bucher (2000). The Lamella Silicon Solar Cell. 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Glasgow, 1-5 May, pp.1377-1380.
25. R. Sarfaty, A. Cherkun, R. Pozner, G. Segev, E. Zeierman, Y. Flitsanov, A. Kribus, Y. Rosenwaks. Vertical junction Si micro-cells for concentrating photovoltaics. Proceedings of the 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2011, pp.145-147.
26. Heinbockel, J.H. and Walker, G.H. (1988) Three-Dimensional Models of Conventional and Vertical Junction Laser-Photovoltaic Energy Converters. NASA-TM-403919880014727V.
27. Ngom, M.I., Zouma, B., Zoungrana, M., Thiame, M., Bako, Z.N., Camara, A.G. and Sissoko, G. (2012) Theoretical Study of a Parallel Vertical Multi-Junction Silicon Cell under Multispectral Illumination: Influence of External Magnetic Field on the Electrical Parameters. International Journal of Advanced Technology & Engineering Research, 2, 101-109.
28. Ngom, M.I., Thiam, A., Sahin, G., El Moujtaba, M.A.O., Faye, K., Diouf, M.S. and Sissoko, G. (2015) Influence of Magnetic Field on the Capacitance of a Vertical Junction Parallel Solar Cell in Static Regime, under Multispectral Illumination. International Journal of Pure & Applied Sciences & Technology, 31, 65-75.

29. Paternoster Pierluigi Bellutti Amos Collini Lorenza Ferrario F. Ficorella Francesca Mattedi (2013). Back-Contact Vertical Junction Silicon Solar Cells For Concentrating Photovoltaics. 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, At Paris, 30 Sep-04 Oct, 2013, pp-672-675.
30. Suk-Ho Choi Graphene-Based Vertical-Junction Diodes and Applications. Journal of the Korean Physical Society, Vol. 71, No. 6, September 2017, pp. 311~318.
31. A.Gover and P. Stella (1974). Vertical Multijunction Solar-Cell One-Dimensional Analysis. IEEE Transactions on Electron Devices. Pp, 21, 351-356. [https://doi.org/ 10.1109/T-ED.1974.17927](https://doi.org/10.1109/T-ED.1974.17927)
32. Ayvazian, G.E., Kirakosyan, G.H. and Minasyan, G.A. (2004). Characteristics of Solar Cells with Vertical pn Junction. Proceedings of 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris, 7-11 June 2004, 117-119.
33. Jose Furlan and Slavko Amon. Solid State Electr, Vol.28, No.12, pp. 1241-1243 (1985).
34. H. Ly Diallo, B. Dieng, I. Ly, M.M. Dione, M. Ndiaye, O.H. Lemrabott, Z.N. Bako, A. Wereme And G. Sissoko (2012). Determinations of the Recombination and Electrical Parameters of a Vertical Multijunction Silicon Solar Cell. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 4(16); 2626-2631.
35. M. I. Ngom, Mohamed Lemine Cheikh, M. Yacine Ba, Malick Ndiaye, A. Mamour Ba, Segagueye¹, Moustapha Thiame, Ousmane Sow, Mamadou Wade And Gregoire Sissoko (2023) Magnétorésistance dans une photopile au silicium a jonctions verticales parallèles en régime statique sous éclairnement polychromatique. International Journal of Advanced Research, 11(06), 752-763.
36. M.M. Dione, H. Ly Diallo, M. Wade, I. Ly, M. Thiame, F. Toure, A. Gueye Camara, N. Dieme, Z. Nouhou Bako, S. Mbodji, F. I. Barro, G. Sissoko. Determination of the shunt and series resistances of a vertical multijunction solar cell under constant multispectral light. 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (2010), pp. 250-254.
37. Barro, F.I., Gaye, S., Deme, M., Diallo, H.L., Samb, M.L., Samoura, A.M., Mbodji, S. and Sissoko, G. (2008) Influence of Grain Size and Grain Boundary Recombination Velocity on the Series and Shunt Resistances of a Poly-Crystalline Silicon Solar Cell. Proceedings of the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Valencia, 1-5 September 2008, 612-615.11
38. Wafaa Abd El-Basit, Ashraf Mosleh Abd El-Maksood and Fouad Abd El-Moniem Saad SOLIMAN (2013). Mathematical Model for Photovoltaic Cells. Leonardo Journal of Sciences, Issue 23, pp.13-28. (<http://ljsacademicdirect.org/>).
39. Sissoko, G., Nanéma, E., Corrêa, A., Biteye, P.M., Adj, M. and N'Diaye, A.L. (1998). Silicon Solar Cell Recombination Parameters Determination Using the Illuminated I-V Characteristic. World Renewable Energy Congress, Florence, 20-25 September 1998, 1847-1851.
40. Grégoire Sissoko and Senghane Mbodji (2015). A method to determine the solar cell resistances from single I-V characteristic curve considering the junction recombination velocity (sf). Int. J. Pure Appl. Sci. Technol., 6(2) (2011), pp.103-114-ISSN 2229 – 6107.