

1  
2  
3  
4  
5 **Influence of Temperature, Irradiation, and Frequency Modulation on the Minority Carrier Diffusion**  
6 **Coefficient in a Bifacial Silicon Solar Cell.**

7  
8 **Abstract:**  
9

10 This work focuses on studying the combined influence of temperature, irradiation, and frequency modulation on the  
11 minority carrier diffusion coefficient in the p-type base of a bifacial silicon solar cell ( $n^+/p/p^+$ ). The theoretical model  
12 is based on Einstein's relation, the minority carrier diffusion length, and the introduction of irradiation effects  
13 through the damage coefficient and particle flux. A study of the complex diffusion coefficient under dynamic  
14 frequency regime made it possible to determine the dependence of this coefficient on environmental parameters such  
15 as temperature, irradiation flux, and the damage coefficient.

16 **Key words:-**

17 Bifacial solar cell; diffusion coefficient; minority carriers; irradiation; temperature; frequency modulation; diffusion  
18 length; silicon.

19  
20  
21 **Introduction:-**

22 Les photopiles au silicium constituent l'un des dispositifs les plus utilisés dans la conversion de l'énergie solaire en  
23 énergie électrique en raison de leur stabilité, de leur fiabilité et de leur rendement élevé [1, 9,29]. Les performances  
24 [2–8,30] de ces dispositifs dépendent fortement des propriétés de transport des porteurs minoritaires dans la base,  
25 notamment leur mobilité, leur durée de vie et leur coefficient de diffusion [10–15,21]. Il joue un rôle déterminant  
26 dans le transport des charges photogénérées vers la jonction [16,17], où elles contribuent à la génération du  
27 photocourant. Ce paramètre dépend fortement des conditions environnementales telles que la température,  
28 l'irradiation et la modulation de fréquence [20, 22,25]. L'irradiation, en particulier dans les environnements spatiaux  
29 ou nucléaires, introduit des défauts dans le réseau cristallin, ce qui affecte la mobilité et la durée de vie des porteurs  
30 minoritaires [34]. De même, la température influence les interactions entre les porteurs et le réseau cristallin,  
31 modifiant ainsi leurs propriétés de transport [18, 21,33]. Par ailleurs, en régime dynamique fréquentiel, la réponse  
32 des porteurs minoritaires dépend de la fréquence de modulation de l'excitation lumineuse [20, 22,26]. À haute  
33 fréquence, les porteurs minoritaires ne peuvent plus suivre efficacement la modulation, ce qui affecte leur diffusion  
34 [27,28]. Notre contribution dans cet article est de mener une étude sur le coefficient de diffusion des porteurs  
35 minoritaires dans la base d'une photopile bifaciale au silicium ayant subi l'influence combinée de la température, de  
36 l'irradiation et de la fréquence de modulation.

37 **Théorie**

38 **a) Coefficients de diffusion d'une photopile sous température (T)**

39 L'expression du coefficient de diffusion d'une photopile placée sous température ( $T$ ), caractérisant la capacité des  
40 porteurs minoritaires à se déplacer dans la base p est donnée par la relation d'Einstein [23,24]:

$$D(T) = \mu(T) \cdot \frac{Kb \cdot T}{q} \quad (1)$$

41 Où  $\mu(T)$  est la mobilité des porteurs minoritaires [21], kb la constante de Boltzmann, T la température et q la charge  
42 élémentaire.

43 Avec  $\mu(T) = 1,43 \times 10^9 T^{-2,42}$  (2)

44 
$$L(T) = \sqrt{D(T)\tau} \quad (3)$$

45  $L(T)$  : représente la longueur de diffusion qui est la distance moyenne parcourue par un porteur minoritaire avant  
46 recombinaison.

47 Où  $\tau$  représente la durée de vie moyenne des porteurs minoritaires [11,19].

48 **b) Coefficients de diffusion d'une photopile soumise à une irradiation ( $kl, \Phi p$ )**

49 L'expression du coefficient de diffusion d'une photopile ayant subi une irradiation du flux de particules ( $\Phi$ ) et  
50 d'intensité ( $kl$ )[34,36] est donnée par la relation suivante :

51

$$D(kl, \Phi p) = \frac{L(kl, \Phi p)^2}{\tau} \quad (4)$$

Avec 
$$L(kl, \Phi p) = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{L_0^2} + kl \cdot \Phi p}} \quad (5)$$

52  $L_0$  : représente la longueur de diffusion des porteurs minoritaires de charge dans la base d'une photopile n'ayant pas  
53 subie d'irradiation.

54 **c) Coefficients de diffusion d'une photopile soumise à une irradiation ( $kl, \Phi p$ ) sous température ( $T$ )**

55 L'expression du coefficient de diffusion d'une photopile ayant subi une irradiation du flux de particules ( $\Phi p$ ) et  
56 d'intensité ( $kl$ ) placée sous température ( $T$ ) [21,33] est donnée par l'équation (3)

$$D(kl, \Phi p, T) = \frac{L(kl, \Phi p, T)^2}{\tau} \quad (6)$$

Avec 
$$L(kl, \Phi, T) = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{L(T)^2} + kl \cdot \Phi p}} \quad (7)$$

57

Soit 
$$L(T) = \sqrt{D(T)\tau} \quad (8)$$

$$D(T) = \mu(T) \times \frac{kb \cdot T}{q} \quad (9)$$

- 58 •  $D(kl, \Phi p, T)$  , représente le coefficient de diffusion des électrons générés dans la base (type p) en régime  
59 statique soumise à une irradiation ( $kl, \Phi p$ ) et sous température ( $T$ ).
- 60 •  $L(kl, \Phi p, T)$  , représente la longueur de diffusion des électrons générés dans la base (type p) en régime statique  
61 soumise à une irradiation ( $kl, \Phi p$ ) et sous température ( $T$ ).
- 62 •  $L(T)$  est la longueur de diffusion des porteurs minoritaires dans la base (type p) à température  $T$ .
- 63 •  $D(T)$  est le coefficient de diffusion des porteurs minoritaires dans la base (type p) à température  $T$ .
- 64 •  $\mu(T) = 1,43 \cdot 10^9 \cdot T^{-2,42} \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  , représente la mobilité des porteurs photogénérés dans la base (type p)  
65 en fonction de la température.
- 66 •  $k_b = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ m}^2 \cdot \text{Kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ , représente la constante de Boltzmann.
- 67 •  $\tau$  , représente la durée de vie moyenne des porteurs minoritaires de charge.

68 •  $q = 1,6 \cdot 10^{-19} C$ , représente la charge élémentaire de l'électron.

69 **d) Coefficients de diffusion d'une photopile soumise à une irradiation ( $kl, \Phi p$ ) sous température ( $T$ ) et en**  
70 **modulation de fréquence.**

71 L'expression du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires dans la base (type p) d'une photopile ( $n^+/p/p^+$ ) au  
72 silicium soumise à une irradiation sous température et en modulation de fréquence [20, 22, 26, 27, 31,32] est  
73 donnée par la relation suivante :

$$D(\omega, kl, \Phi p, T) = \frac{L(\omega, kl, \Phi p, T)^2}{\tau} \quad (10)$$

Avec 
$$L(kl, \Phi p) = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{L_0^2} + kl \cdot \Phi p}} \quad (11)$$

Alors 
$$L(\omega, kl, \Phi p, T) = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{L(\omega, T)^2} + kl \cdot \Phi p}} \quad (12)$$

74

$$L(\omega, T) = \sqrt{D(\omega, T) \cdot \tau} \quad (13)$$

75

$$D(\omega, T) = D(T) \left( \frac{1}{1 + (\omega\tau)^2} - \frac{i\omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2} \right) \quad (14)$$

76

$$D(T) = \mu(T) \times \frac{kb \cdot T}{q} \quad (15)$$

- 77 •  $L(kl, \Phi p)$ , est la longueur de diffusion dépendant de l'énergie d'irradiation et du coefficient de dommage.  
78 •  $L(kl, \Phi p, T)$ , est la longueur de diffusion dépendant de l'énergie d'irradiation, du coefficient de dommage et de  
79 la température.  
80 •  $D(kl, \Phi p)$ , représente le coefficient de diffusion des électrons générés dans la base soumise à une irradiation  
81 ( $kl, \Phi p$ ) en régime statique  
82 •  $D(kl, \Phi p, T)$ , représente le coefficient de diffusion des électrons générés dans la base soumise à une irradiation  
83 ( $kl, \Phi p$ ) sous température ( $T$ ) en régime statique.

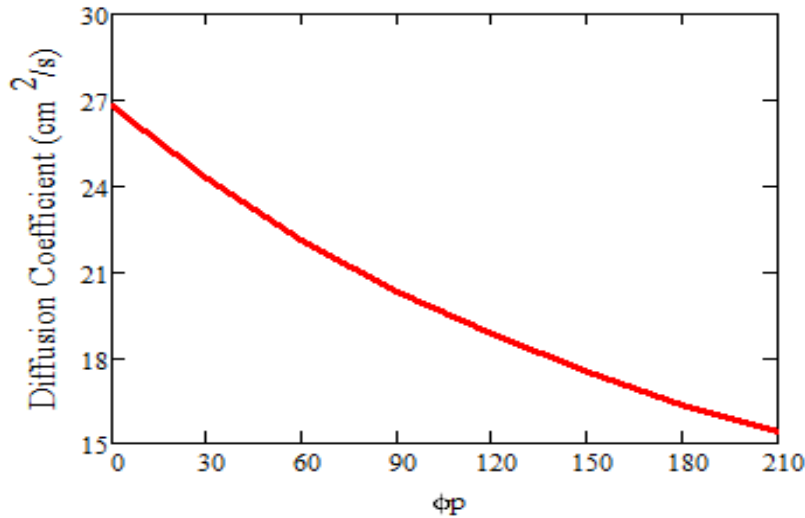
84

## 85 Résultats et discussions

86

### 87 a) Influence du flux d'irradiation sur le coefficient de diffusion

88 La figure 1 montre le profil de du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires en fonction du flux de particules  
89  $\Phi p$  pour  $kl=11 \text{ cm}^2/\text{MeV}$ ,  $T=380 \text{ K}$  et  $W=0$ .



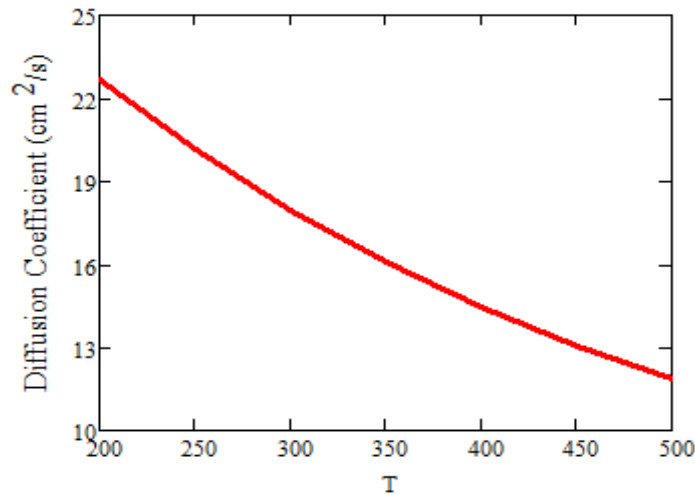
90

91 Figure 1: Coefficient de diffusion en fonction de  $\Phi_p$  pour  $k_l = 11 \text{ cm}^2/\text{MeV}$ ,  $T = 380 \text{ K}$  et  $\omega = 0$

92 Dans cette représentation graphique, nous notons que l'augmentation du flux d'irradiation entraîne une diminution  
 93 du coefficient de diffusion. En effet, l'augmentation du flux d'irradiation entraîne la création de défauts cristallins  
 94 dans le silicium. Ceci a pour conséquence la réduction des porteurs de charges minoritaires de même que leur  
 95 mobilité dans la base P, entraînant une diminution du coefficient de diffusion. Par conséquent, une irradiation élevée  
 96 dégrade fortement les propriétés de transport ce qui réduit les performances de la photopile.

97 **b) Influence de la température sur le coefficient de diffusion**

98 La figure 2 montre le profil de du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires en fonction de la température T,  
 99 pour  $k_l = 11 \text{ cm}^2/\text{MeV}$ ,  $\Phi_p = 220 \text{ MeV}$  et  $W = 0$ .



100

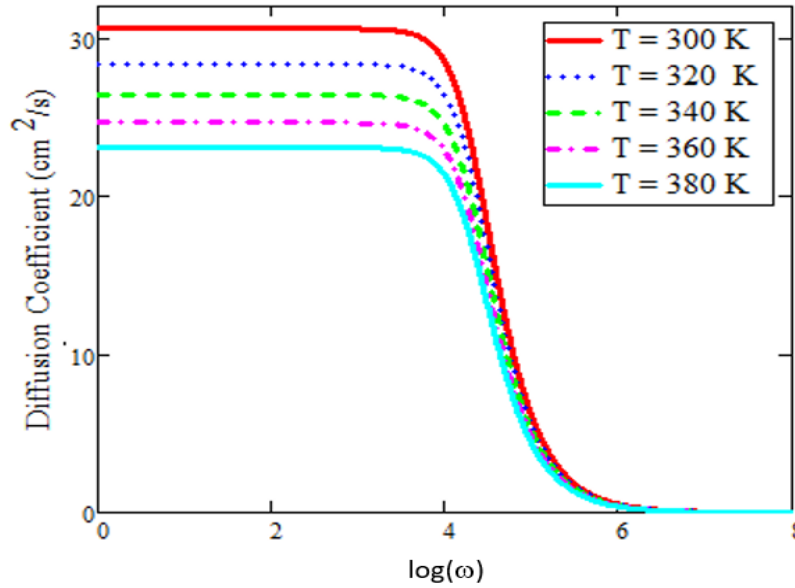
101 Figure 2: Coefficient de diffusion en fonction de T pour  $k_l = 11 \text{ cm}^2/\text{MeV}$ , et  $\Phi_p = 220 \text{ MeV}$  et  $\omega = 0$

102 Dans cette représentation graphique, nous notons que l'augmentation de la température entraîne une diminution du  
 103 coefficient de diffusion. En effet, l'augmentation de la température entraîne des interactions entre les porteurs  
 104 minoritaires de charges. Ceci a pour conséquence la réduction de la mobilité des porteurs de charges minoritaires  
 105 dans la base P, entraînant une diminution du coefficient de diffusion. Par conséquent, une température élevée affecte  
 106 négativement le transport des porteurs dans la base p ce qui ce qui diminue les performances de la photopile.

107 **c) Influence de la fréquence de modulation**

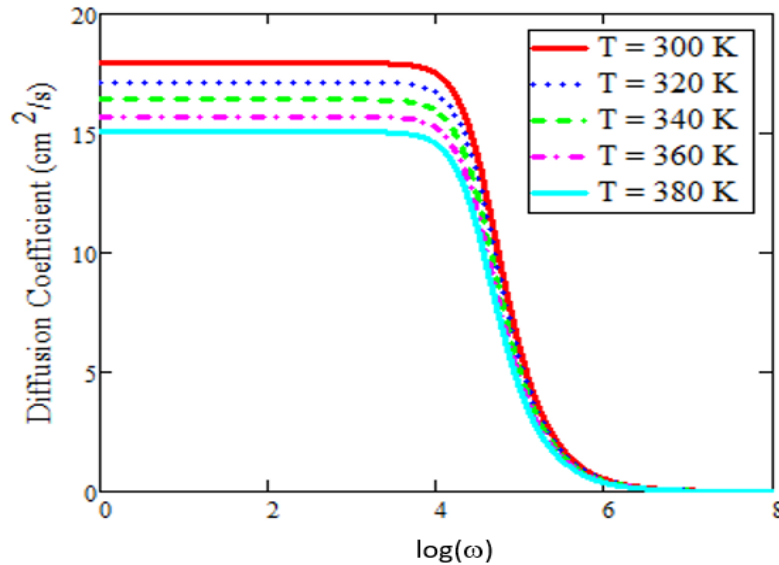
108 Les figures II.6 à II.8 montrent le profil de longueur de diffusion des porteurs minoritaires en fonction de logarithme  
109 décimal de la pulsation.

110 ❖ **Influence de la Température pour  $\Phi_p = 100\text{MeV}$  ,  $k_l = 5\text{cm}^2/\text{MeV}$**



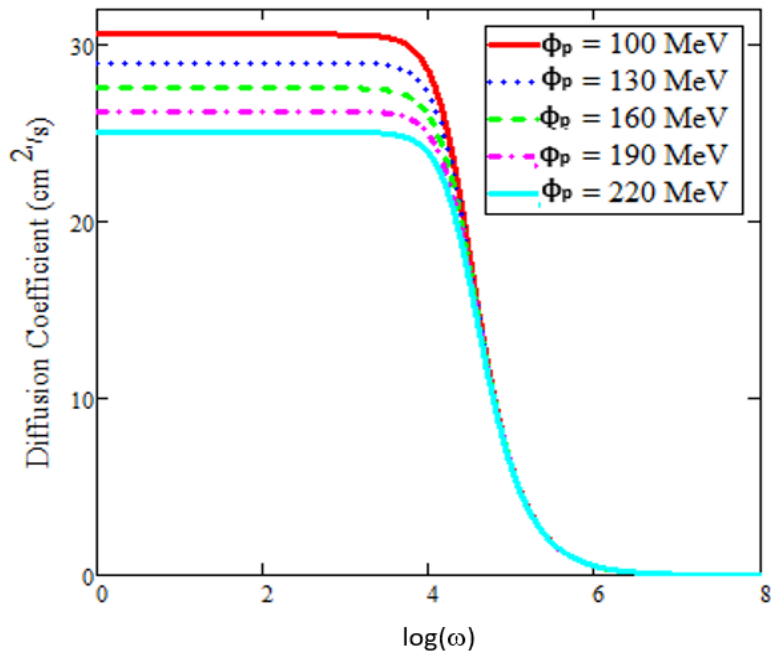
111  
112 Figure 3: Coefficient de diffusion en fonction de la fréquence pour des valeurs de T :  $\phi_p = 100\text{ MeV}$ ,  $k_l = 5$   
113  $\text{cm}^2/\text{MeV}$

114  
115 ❖ **Influence de la Température pour  $\phi_p = 220\text{ MeV}$ ,  $k_l = 11\text{ cm}^2/\text{MeV}$**



116  
117 Figure 4: Coefficient de diffusion en fonction de la fréquence pour des valeurs de T :  $\phi_p = 220\text{ MeV}$ ,  $k_l = 11$   
118  $\text{cm}^2/\text{MeV}$

119 ❖ Influence  $\Phi_p$  pour  $T = 300K$  ,  $kl = 5\text{cm}^2/\text{MeV}$



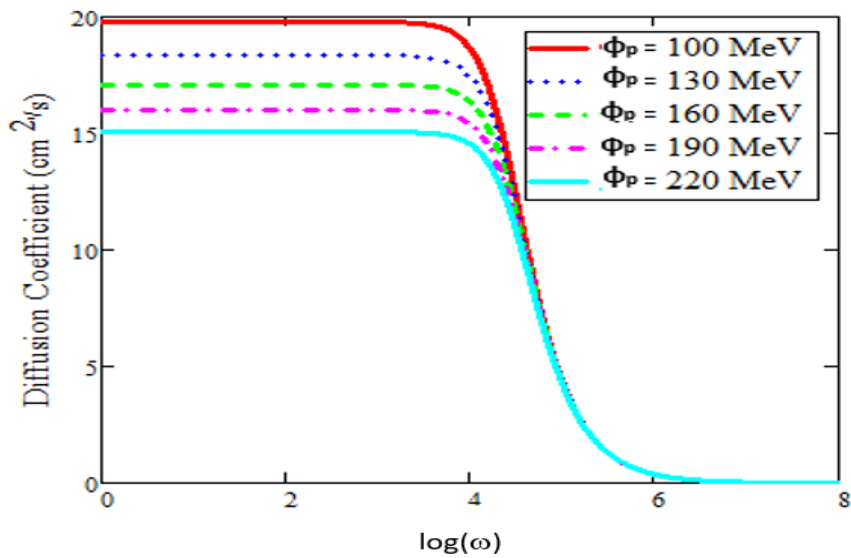
120

121 Figure 5: Coefficient de diffusion en fonction de la fréquence pour des valeurs de  $\phi_p$  :  $T = 300\text{ K}$ ,  $kl = 5\text{ cm}^2/\text{MeV}$

122

123 ❖ Influence  $\Phi_p$  pour  $T = 380K$  ,  $kl = 11\text{cm}^2/\text{MeV}$

124

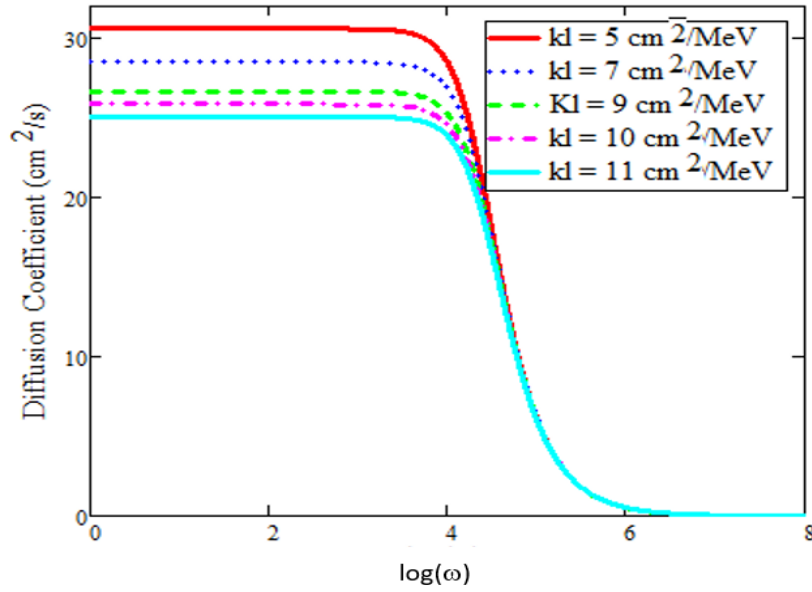


125

126 Figure 6: Coefficient de diffusion en fonction de la fréquence pour des valeurs de  $\phi_p$  :  $T = 380\text{ K}$ ,  $kl = 11\text{ cm}^2/\text{MeV}$

127

128 ❖ Influence  $kl$  pour  $T = 300\text{ k}$ ,  $\phi_p = 100\text{ MeV}$

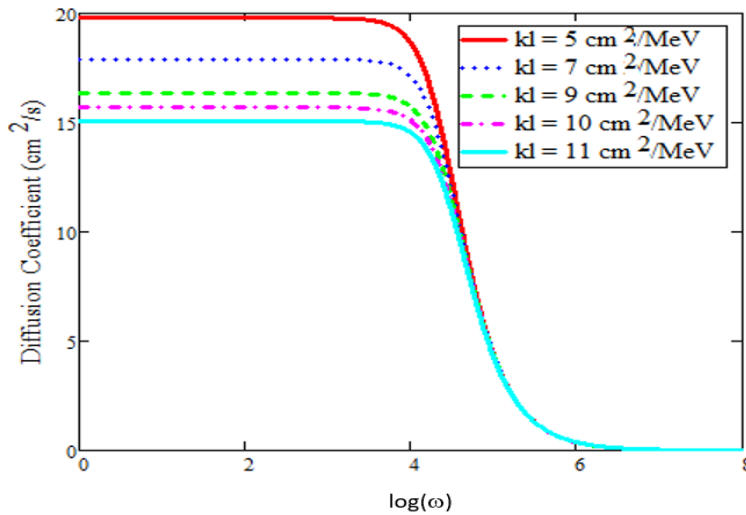


129

130 Figure 7: Coefficient de diffusion en fonction de la fréquence pour des valeurs de  $kl$  :  $T = 300\text{ K}$ ,  $\phi_p = 100\text{ MeV}$

131

132 ❖ Influence de  $kl$  pour  $T = 380\text{ K}$ ,  $\phi_p = 220\text{ MeV}$



133

134 Figure 8: Coefficient de diffusion en fonction de la fréquence pour des valeurs de  $kl$  :  $\phi_p = 220\text{ MeV}$ ,  $T = 380\text{ K}$

135 Dans ces représentations graphiques, nous notons respectivement que pour les basses fréquences et hautes fréquences  
 136 le coefficient de diffusion est élevé et pour celles hautes il diminue progressivement. En effet, À basse fréquence les  
 137 porteurs de charges minoritaires ont suffisamment de temps pour diffuser de manière efficace ce qui donne un  
 138 coefficient de diffusion est maximal. À haute fréquence, le temps de diffusion des porteurs de charges minoritaires  
 139 qui ne peuvent pas suivre la modulation diminue et la diffusion est limitée.

140 d) Influence combinée de l'irradiation, de la température et de la fréquence sur le coefficient de diffusion

141 Les résultats obtenus montrent que l'irradiation, la température et la fréquence de modulation ont une forte  
142 influencent sur le coefficient de diffusion des porteurs minoritaires dans la base p de la photopile. L'irradiation  
143 introduit des défauts dans le réseau cristallin, créant des centres de recombinaison qui réduisent la durée de vie et la  
144 diffusion des porteurs. L'augmentation de la température entraîne une intensification des interactions entre les  
145 porteurs et le réseau cristallin, ce qui diminue leur mobilité et le coefficient de diffusion. De plus, l'augmentation de  
146 la fréquence limite la capacité des porteurs à répondre aux variations de l'excitation lumineuse, réduisant ainsi leur  
147 contribution au transport de charge.

148 Par conséquent, l'effet combiné de l'irradiation, de la température et de la fréquence entraîne une dégradation du  
149 transport des porteurs de charges minoritaires. Ceci entraîne une diminution du coefficient de diffusion et peut  
150 affecter les performances de la photopile.

## 151 **Conclusion**

152 Dans ce travail, nous avons étudié l'influence de la température, de l'irradiation et de la modulation de fréquence sur  
153 le coefficient de diffusion des porteurs minoritaires dans la base d'une photopile bifaciale au silicium. Les résultats  
154 montrent que le coefficient de diffusion diminue lorsque la température augmente, en raison de l'accroissement des  
155 interactions entre les porteurs et les vibrations du réseau cristallin, ce qui réduit leur mobilité. L'irradiation provoque  
156 également une diminution importante du coefficient de diffusion, car elle introduit des défauts cristallins qui  
157 agissent comme centres de recombinaison et perturbent le transport des charges. De plus, l'augmentation de la  
158 fréquence de modulation limite la diffusion des porteurs minoritaires, en réduisant le temps disponible pour leur  
159 déplacement dans la base. L'effet combiné de ces différents paramètres entraîne ainsi une dégradation notable des  
160 propriétés de transport dans le matériau. Cette étude met en évidence l'importance de la maîtrise des conditions  
161 environnementales pour optimiser les performances des photopiles au silicium, notamment dans des environnements  
162 contraignants tels que les applications spatiales.

163

164

## 165 **REFERENCES**

- 166 [1] M.A. Green, (March 1995). Silicon Solar cells advanced principles & practice Printed by Bridge printer  
167 Pty. Ltd. 29-35 Dunning Avenue, Roseberry, Center for photovoltaic Devices and systems; pp.29-35.
- 168 [2] Gover, A. and Stella, P. (1974). Vertical Multijunction Solar-Cell One-Dimensional Analysis. IEEE  
169 Transactions on Electron Devices, Vol. ED-21: 6. pp.351-356, <https://doi.org/10.1109/T-ED.1974.17927>
- 170 [3] A. A. Cuevas, A. luque, and J. M. Ruiz, A. (1980). n+/p/n+ double-sided solar cell for optimal static  
171 concentration, in Proc. 14<sup>th</sup> IEEE Ptotov. Spec. Conf., San Diego, pp.76-81.
- 172 [4] Luque, A., Ruiz, J.M., Cuevas, A., Eguren, J. and Agost, M.G. (1997) Double Side Solar Cells to Improve  
173 Static Concentrator. Photovoltaic Solar Energy Conference, Luxembourg, 269-277.  
174 [https://doi.org/10.1007/978-94-009-9840-7\\_25](https://doi.org/10.1007/978-94-009-9840-7_25)
- 175 [5] Hüber, A., Aberle, A.G. and Hezel, R. (2001) 20% Efficient Bifacial Silicon Solar Cells. Munich 14th  
176 European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1796-1798.
- 177 [6] Wise, J.F. (1970) Vertical Junction Hardened Solar Cell. U.S. Patent 3, 690-953.
- 178 [7] Cuevas, A., Sinton, R.A. and King, R.R. (1991) A Technology-Based Comparison between Two-Sided  
179 and Back-Contact Silicon Solar Cells. The 10th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisbon,  
180 8-12 April 1991, 23-26.
- 181 [8] Bordin, N., Kreinin, L. and Eisenberg, N. (2001) Determination of Recombination Parameters of Bifacial  
182 Silicon Cells with a Two Layer Step-Liked Effect Distribution in the Base Region. Proc. 17th European  
183 PVSEC, Munich, 1495-1498.
- 184 [9] [Martin A. Green \(2013\). High-Efficiency Silicon Solar Cell Concepts. Chapter published 2013 in Solar Cells, Pp. 87-113 http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-386964-7.00005-6](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-386964-7.00005-6)
- 186 [10] Fossum, J.G. and Burgess, E.L. (1978) High Efficiency p+-n-n+ Back-Surface-Field Solar Cells.  
187 Applied Physics Letters, 33, 238-240. <https://doi.org/10.1063/1.90311>

- 188 [11] E.Gaubas and J. Vanhellemont (1996). A simple Technique for the Separation of Bulk and  
 189 Surface Recombination Parameters in Silicon. *Journal of Applied Physics*, 80, 6293-6297.  
 190 <https://doi.org/10.1063/1.363705M>
- 191 [12] Meier, D.L., Hwang, J.-M. and Campbell, R.B. (1988) The Effect of Doping Density and Injection  
 192 Level on Minority Carrier Lifetime as Applied to Bifacial Dendritic Web Silicon Solar Cells. *IEEE*  
 193 *Transactions on Electron Devices*, 35, 70-79.  
 194 <https://doi.org/10.1109/16.2417>
- 195 [13] S. Gupta, P. Ahmed and S. Garg, (1988). A Method for the Determination of the Material  
 196 parameters  $D$ ,  $L$ ,  $S$  and  $\alpha$  from Measured Short-Circuit Photocurrent. *Solar Cells*, 25, 61-72.  
 197 [https://doi.org/10.1016/0379-6787\(88\)90058-0P](https://doi.org/10.1016/0379-6787(88)90058-0P).
- 198 [14] Flohr, Th. and Helbig, R. (1989). Determination of Minority-Carrier Lifetime and Surface  
 199 Recombination Velocity by Optical-Beam-Induced-Current Measurements at Different Light  
 200 Wavelengths. *Journal of Applied Physics*, 66, 3060-3065. <https://doi.org/10.1063/1.344161>
- 201 [15] R. R. Vardanyan, U. Kerst, B. Tierock, H. G. Wagemann (1997). Measurement of recombination  
 202 parameters of solar cell in a magnetic field. *Proceeding of the 14<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy*  
 203 *Conference (Barcelona, Spain)*. Pp 2367-2369.
- 204 [16] Le Quang Nam, M. Rodot, J. Nijs, M. Ghannam and J. Coppye, (1992). Réponse Spectrale de  
 205 Photopiles de Haut Rendement au Silicium Multicristallin. *J. Phys. III France 2* ; pp. 1305-1316
- 206 [17] G.Sissoko, C. Museruka, A. Corréa, I. Gaye and A.L.Ndiaye, Light Spectral Effect on  
 207 Recombination Parameters of Silicon Solar Cell. *World Renewable Energy Congress, Pergamon, Part III*,  
 208 pp.1487-1490.
- 209 [18] Thiam. N, Diao. A, Ndiaye. M, Dieng. A, Thiam.A, Sarr. M, Maiga. A.S and Sissoko G. (2012).  
 210 Electric Equivalent Models of Intrinsic Recombination Velocities of a Bifacial Silicon Solar Cell under  
 211 Frequency Modulation and Magnetic Field Effect. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and*  
 212 *Technology*, 4, 4646-4655.
- 213 [19] R.VanSteenwinkel, M.C. Carotta, G. Martinelli, M. Mercli, L. Passari and D. Palmeri (1990).  
 214 Lifetime Measurement in Solar Cell of Various Thickness and Related Silicon Wafer. *Solar Cells*, 28, 287-  
 215 292. [https://doi.org/10.1016/0379-6787\(90\)90063-BG](https://doi.org/10.1016/0379-6787(90)90063-BG).
- 216 [20] Richard Mane, Ibrahima Ly, Mamadou Wade, IbrahimaDatta, Marcel S. Douf, YoussouTraore,  
 217 Mor Ndiaye, Seni Tamba, Grégoire Sissoko (2017). Minority Carrier Diffusion Coefficient  $D^*(B, T)$ :  
 218 Study in Temperature on a Silicon Solar Cell under Magnetic Field. *Energy and Power Engineering*, 9,  
 219 pp.1-10 <http://www.scirp.org/journal/epe>
- 220 [21] Seydina, D., Mor, N., Ndeye, T., Youssou, T., Mamadou, L.B., Ibrahima, D., Marcel, S.D.,  
 221 Oulimata, M., Amary, T. and Grégoire, S. (2019). Influence of Temperature and Frequency on Minority  
 222 Carrier Diffusion Coefficient in a Silicon Solar Cell Under Magnetic Field. *Energy and Power*  
 223 *Engineering*, 11, 355-361. &<https://doi.org/10.4236/epe.2019.1110023>
- 224 [22] Ibrahima Tall, Boureima Seibou, Mohamed Abderrahim Ould El Moujtaba, Amadou Diao,  
 225 Mamadou Wade, Gregoire Sissoko (2015). Diffusion Coefficient Modeling of a Silicon Solar Cell under  
 226 Irradiation Effect in Frequency: Electric Equivalent Circuit. *International Journal of Engineering Trends*  
 227 *and Technology (IJETT) – Volume 19 Number 2 – p.56-61, Jan 2015* (<http://www.ijettjournal.org>).
- 228 [23] Y. Traore, N. Thiam, M. Thiame, M. L. Ba, M. S. Diouf et G. Sissoko, AC Recombination  
 229 Velocity in the Back Surface of a Lamella Silicon Solar Cell under Temperature. *Journal of Modern*  
 230 *Physics*, 2019, 10, 1235-1246. <https://doi.org/10.4236/jmp.2019.1010082>
- 231 [24] M. Gueye, H. L. Diallo, A. Kosso, M. Moustapha, Y. Traore, I. Diatta et G. Sissoko, Ac  
 232 Recombination Velocity in a Lamella Silicon Solar Cell. *World Journal of Condensed Matter Physics*,  
 233 2018, 8, 185-196.
- 234 [25] I.Ly, M. Ndiaye, M. Wade, N. Thiam, S. Gueye and G. Sissoko, Concept of Recombination  
 235 Velocity  $S_{fcc}$  at the Junction of a Bifacial Silicon Solar Cell, in Steady State, Initiating the Short-Circuit

- 236 Condition. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2013, 5, 203-208.  
237 <https://doi.org/10.19026/rjaset.5.5105>
- 238 [26] Oumar DIA, Mamadou Lamine BA, Gora DIOP, Ibrahima DIATTA, Mor SARR, Mamadou  
239 WADE and Gregoire SISSOKO (2021). Effet De L'énergie D'irradiation Sur La Resistance Serie Dans  
240 Une Photopile (N+/P/P+) Au Silicium A Jonctions Verticales Series. International Journal of Advanced  
241 Research, 9(11), 985-997. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/13832>
- 242 [27] Van Dyk, E. E., & Meyer, E. L. (2004). Analysis of the effect of parasitic resistances on the  
243 performance of photovoltaic modules. Renewable Energy, 29(3), 333-344. doi  
244 :10.1016/s09601481(03)00250-7
- 245 [28] Meyer, E. L., & Ernest van Dyk, E. (n.d.). The effect of reduced shunt resistance and shading on  
246 photovoltaic module performance. Conference Record of the Thirty-First IEEE Photovoltaic Specialists  
247 Conference, 2005. doi :10.1109/pvsc.2005.1488387
- 248 [29] Dione, M. M., Diallo, H. L., Wade, M., Ly, I., Thiame, M., Toure, F., Camara, A. G., Dieme, N.,  
249 Bako, Z. N., Mbodji, S., Barro, F. I., & Sissoko, G. (2011). Determination of the shunt and series  
250 resistances of a vertical multijunction solar cell under constant multispectral light. 26th European  
251 Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 250-254
- 252 [30] Abdoulaye Diop, Richard Mane, Gora Diop, Ibrahima Diatta, Khady Loum, Sega Gueye,  
253 Moustapha Thiame, Ousmane Sow, Mamadou, Wade, Gregoire Sissoko. Bifacial Silicon (N+/P/P+)  
254 Silicon Solar Cell Base Thickness Optimization under Back Illumination of Long Wavelength: Effect of  
255 Diffusion Coefficient Resonance in Temperature under Applied Magnetic Field. Journal of Scientific and  
256 Engineering Research, 2022, 9(11):152-165
- 257 [31] Amadou Mar Ndiaye, Sega Gueye, Ousmane Sow, Gora Diop, Amadou Mamour Ba, Mamadou  
258 Lamine Ba, Ibrahima Diatta, Lemrabott Habiboullah, Gregoire Sissoko. A.C. Recombination Velocity as  
259 Applied to Determine  $n + /p/p +$  Silicon Solar Cell Base Optimum Thickness. Energy and Power  
260 Engineering (EPE), <http://www.scirp.org/journal/epe>, Volume 12, pp: 543-554, 2020.
- 261 [32] Ousmane Sow, Sega Gueye, Richard Mane, Gora Diop, Ibrahima Diatta, Khady Loum, Moustapha  
262 Thiame, Mamadou Wade, Gregoire Sissoko. (n+/p/p+) Silicon solar cell base thickness optimization under  
263 modulated short wavelength illumination, at resonances in both frequency and temperature of minority  
264 carriers' diffusion coefficient. International Journal of Engineering Research Updates,  
265 <https://orionjournals.com/ijeru>, Volume 3, Issue 2 pp : 040-052, 2022.
- 266 [33] Liou J JWong, W.W. (1992) Comparison and Optimization of the Performance of Si and GaAs  
267 Solar Cells. Solar Energy Materials and Solar Cells, 28, 9-28. [https://doi.org/10.1016/0927-0248\(92\)90104-W](https://doi.org/10.1016/0927-0248(92)90104-W)
- 269 [34] Kraner, H. W., Radiation damage in silicon detectors, 2<sup>nd</sup> Pisa Meeting on Advanced Detectors,  
270 Grosseto, Italy, June 3-7 1983.
- 271 [35] Goo-Hwan Shin and Kwangsun Ryu and Hyung-Myung Kim and Kyung-wook Min (2008).  
272 Radiation effect test for single-crystalline and polycrystalline silicon solar cells. Journal of the Korean  
273 Physical Society. Vol. 52, Pp. 843-847. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:120466620>
- 274 [36] M. A. Ould El Moujtaba, M. Ndiaye, A. Diao, M. Thiam, I. F. Barro and G. Sissoko (2012).  
275 Theoretical Study of Influence of Irradiation on a Silicon Solar Cell Under Multispectral Illumination.  
276 Research Journal of Applied Sciences Engineering and Technology, Vol. 23, Issue 4, pp.5068-5073, 2012.
- 277 [37] I. Gaye, R. Sam, A. D. Seré, I. F. Barro, M. A. Ould El Moujtaba, R. Mané, G. Sissoko (2012).  
278 Effect of irradiation on the transient response of a silicon solar cell; International journal of emerging  
279 trends and technologies in computer science (IJETTCS) Volume 1, Issue 3, September-October 2012,  
280 ISSN 2278-6856.
- 281 [38] I. Ly, M. Wade, H. Ly Diallo, M. A. O. El Moujtaba, O. H. Lemrabott, S. Mbodji, O. Diasse, A.  
282 Ndiaye, I. Gaye, F. I. Barro, A. Wereme, G. Sissoko (2011). Irradiation effect on the electrical parameters  
283 of a bifacial silicon solar cell under multispectral illumination», Proceedings of 26th European

- 284 Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition 1DV.4.52 (2011), pp 785-788; [http://www.eupvsec-](http://www.eupvsec-proceedings.com)  
285 [proceedings.com](http://www.eupvsec-proceedings.com)
- 286 [39] Ndeye Madeleine Diop, Boureima Seibou, Mamadou Wade, Marcel Sitor Diouf, Ibrahima Ly,  
287 Hawa Ly Diallo, Gregoire Sissoko (2016). Theoretical Study of Vertical Parallel Junction Silicon Solar  
288 Cell Capacitance under Modulated Polychromatic Illumination: Influence of Irradiation. International  
289 Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) ISSN:2278-3075, Volume-6 Issue-  
290 3, August 2016).
- 291 [40] Mouhamadou Mousliou Diallo, Seni Tamba, Boureima Seibou, Mohamed LemineOuld Cheikh,  
292 Ibrahima Diatta, El Hadji Ndiaye, Youssou Traore, Cheikh Tidiane Sarr, Gregoire Sissoko (2017). Impact  
293 of irradiation on the surface recombination velocity of a back side monochromatic illuminated bifacial  
294 silicon solar cell under frequency modulation, Journal of Scientific and Engineering Research, 2017, 4(1):  
295 29-40
- 296 [41] Ba, M.L., Diallo, H.L., Ba, H.Y., Traore, Y., Diatta, I., Diouf, M.S., Wade, M. and Sissoko, G.  
297 (2018). Irradiation Energy Effect on a Silicon Solar Cell: Maximum Power Point Determination. Journal  
298 of Modern Physics, 9, 2141-2155. <https://doi.org/10.4236/jmp.2018.912135>

UNDER PEER REVIEW