



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

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/23203

DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/23203>



RESEARCH ARTICLE

INFLUENCE OF TEMPERATURE, IRRADIATION, AND FREQUENCY MODULATION ON THE MINORITY CARRIER DIFFUSION COEFFICIENT IN A BIFACIAL SILICON SOLAR CELL

Abdoulaye Gueye^{1,2}, Mohamed Yahya Teyah^{1,2}, Gilbert Ndiassé Dione^{1,2}, Youssou Traore^{1,2}, Khady Loum^{1,2},
Idrissa Gaye^{1,2} and Segha Gueye^{1,3}

1. Groupe International de Recherche en Energie Renouvelable (GIRER). BP. 15003, Dakar, Senegal.
2. Université Iba Der THIAM de Thies, 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: 8 February 2026

Final Accepted: 10 March 2026

Published: April 2026

Key words:-

Bifacial silicon solar cell; minority carrier diffusion coefficient; temperature effect; irradiation energy; frequency modulation; recombination mechanisms; carrier mobility; photovoltaic performance; semiconductor transport theory.

Abstract

This work presents a study of the influence of temperature, irradiation, and frequency modulation on the minority carrier diffusion coefficient in the p-type base region of a bifacial silicon solar cell illuminated only on the front face. The minority carrier diffusion coefficient is one of the key parameters governing the performance of silicon photovoltaic cells, as it directly affects the collection of photogenerated carriers, recombination losses, and the overall conversion efficiency. The study is based on an analytical approach derived from semiconductor transport theory, taking into account the combined effects of temperature, irradiation energy, and frequency modulation on carrier transport within the p-type base region. This method makes it possible to evaluate the evolution of the diffusion coefficient under various physical and environmental conditions. The numerical results show that the minority carrier diffusion coefficient strongly depends on temperature, irradiation level, and frequency modulation, through their influence on minority carrier mobility, defect density, and recombination mechanisms. In particular, the diffusion coefficient decreased significantly as temperature, irradiation energy, and modulation frequency increase. This behavior is mainly attributed to the increase in recombination centers, the creation of irradiation-induced crystalline defects, and the reduction of minority carrier mobility within the semiconductor material.

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

This approach provides a reliable framework for analyzing minority carrier transport in bifacial silicon solar cells illuminated only on the front face and operating under severe environmental and irradiation conditions, thereby contributing to the optimization of photovoltaic device performance and long-term stability.

Corresponding Author:-Segha GUEYE.

Address: -1. Groupe International de Recherche en Energie Renouvelable (GIRER). BP. 15003, Dakar, Senegal.-2. Faculté des Sciences et Technologies de l'éducation et de la Formation-Département de Physique et Chimie, Université Cheikh Anta DIOP, Dakar-Sénégal.

Introduction:-

Les photopiles au silicium occupent une place importante dans le domaine de la conversion photovoltaïque en raison de leur stabilité, de leur durabilité et de leur rendement énergétique élevé[1,9]. Grâce à ces propriétés, elles constituent aujourd'hui l'une des technologies les plus utilisées pour la conversion directe de l'énergie solaire en énergie électrique[2,6]. Parmi les différentes architectures développées, les photopiles bifaciales présentent un intérêt particulier du fait de leur capacité à capter le rayonnement lumineux sur leurs deux faces, avant et arrière, ce qui permet une amélioration significative de l'efficacité de conversion[3, 4, 5,7]. Le fonctionnement de ces dispositifs repose essentiellement sur les mécanismes de génération, de transport et de collecte des porteurs de charges photogénérés dans le matériau semi-conducteur[13]. Dans la base de type p, le transport des porteurs minoritaires de charges constitue un phénomène déterminant pour les performances électriques globales de la cellule solaire. À cet effet, le coefficient de diffusion des porteurs minoritaires, noté D, représente un paramètre fondamental[19], car il traduit la capacité des porteurs photogénérés à se déplacer dans la base avant leur recombinaison. Parmi les paramètres externes influençant ce coefficient, l'irradiation occupe une place importante. En effet, l'exposition du silicium à des radiations énergétiques peut provoquer la création de défauts cristallins et de centres de recombinaison dans le matériau[34,35]. Ces défauts modifient les propriétés électroniques du semi-conducteur en réduisant la durée de vie des porteurs minoritaires et en affectant leur diffusion[36–40].

Plusieurs travaux ont montré que la dégradation induite par l'irradiation entraîne une baisse sensible des performances électriques des photopiles au silicium. La température constitue également un facteur physique majeur dans l'étude du transport des charges. Elle agit directement sur la mobilité des porteurs, la concentration intrinsèque du matériau ainsi que sur les mécanismes de recombinaison[20]. Une augmentation de la température peut modifier la vitesse de déplacement des porteurs et, par conséquent, influencer le coefficient de diffusion ainsi que les performances dynamiques de la cellule. En outre, l'étude en régime dynamique fréquentiel, fondée sur la modulation en fréquence de l'éclairement, constitue une méthode particulièrement efficace pour caractériser les phénomènes de transport des porteurs de charges minoritaires[18, 21,22]. Contrairement au régime statique, cette approche introduit une dépendance fréquentielle des paramètres physiques, permettant une analyse plus fine du comportement dynamique des charges photogénérées[30,32]. Dans ce contexte, l'objectif du présent travail est d'analyser l'influence combinée de l'irradiation, de la température et de la modulation fréquentielle sur le coefficient de diffusion des porteurs de charges minoritaires dans une photopile bifaciale au silicium éclairée uniquement en face avant. Cette étude s'inscrit dans une perspective d'optimisation des performances photovoltaïques en environnement réel et constitue une contribution à une meilleure compréhension des mécanismes physiques régissant le transport des porteurs minoritaires de charges[16,17,33].

Theorie :-

Coefficients de diffusion d'une photopile sous température (T) :-

L'expression du coefficient de diffusion d'une photopile placée sous température (T), caractérisant la capacité des porteurs minoritaires à se déplacer dans la base p est donnée par la relation d'Einstein[1, 11,12,13]:

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

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

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

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

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

Où τ représente la durée de vie moyenne des porteurs minoritaires [14,15].

Coefficients de diffusion d'une photopile soumise à une irradiation (Φ , Φ_p) :-

L'irradiation entraîne une modification de la durée de vie et de la longueur de diffusion des porteurs minoritaires en raison de la création de défauts cristallins [34,35]. Les modèles analytiques décrivant l'influence de l'irradiation sur les paramètres électriques des cellules solaires ont été développés dans plusieurs travaux antérieurs [36, 38].

L'expression du coefficient de diffusion d'une photopile ayant subi une irradiation du flux de particules (Φ_p) et d'intensité (Φ) est donnée par la relation suivante :

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

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

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

Coefficients de diffusion d'une photopile soumise a une irradiation (kl, Φp) sous temperature (T):-

Sous irradiation et temperature, le coefficient de diffusion devient fonction des defauts induits et de la mobilite thermique des porteurs [19]. Ces approches sont coherentes avec les modeles theoriques developpes pour les cellules bifaciales $n^+/p/p^+$ [18,21].

L'expression du coefficient de diffusion d'une photopile ayant subi une irradiation du flux de particules (Φp) et d'intensite (kl) placee sous temperature (T) est donnee par l'equation

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

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

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

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

- $D(kl, \Phi p, T)$, represente le coefficient de diffusion des electrons generes dans la base (type p) en regime statique soumise a une irradiation (kl, Φp) et sous temperature (T).
- $L(kl, \Phi p, T)$, represente la longueur de diffusion des electrons generes dans la base (type p) en regime statique soumise a une irradiation (kl, Φp) et sous temperature (T).
- $L(T)$ est la longueur de diffusion des porteurs minoritaires dans la base (type p) a temperature T.
- $D(T)$ est le coefficient de diffusion des porteurs minoritaires dans la base (type p) a temperature T.
- $k_b = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ m}^2 \cdot \text{Kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, represente la constante de Boltzmann.
- τ , represente la duree de vie moyenne des porteurs minoritaires de charge.
- $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, represente la charge elementaire de l'electron.

Coefficients de diffusion d'une photopile soumise a une irradiation (kl, Φp) sous temperature (T) et en modulation de frequence:-

En regime dynamique, le coefficient de diffusion devient dependant de la pulsation ω [18, 21,30].

La dependance frequentielle permet de mettre en evidence les phenomenes de recombinaison et de transport sous excitation modulee [22,32].

L'expression du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires dans la base (type p) d'une photopile ($n^+/p/p^+$) au silicium soumise a une irradiation sous temperature et en modulation de frequence est donnee par la relation suivante :

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

$$\text{Alors} \quad L(\omega, kl, \Phi p, T) = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{L(\omega, T)^2} + kl \cdot \Phi p}} \quad (11)$$

$$L(\omega, T) = \sqrt{D(\omega, T) \cdot \tau} \quad (12)$$

$$D(\omega, T) = D(T) \left(\frac{1}{1 + (\omega\tau)^2} - \frac{i\omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2} \right) \quad (13)$$

$$D(T) = \mu(T) \times \frac{k_b \cdot T}{q} \quad (14)$$

- $L(\omega, kl, \Phi p, T)$, est le coefficient de diffusion dependant de l'energie d'irradiation, du coefficient de dommage de la temperature et de la frequence de modulation.

- $L(\omega, kl, \Phi_p, T)$, est la longueur de diffusion dependant de l'energie d'irradiation, du coefficient de dommage, de la temperature et de la frequence de modulation.
- $L(\omega, T)$, represente la longueur de diffusion des electrons generes dans la base en fonction de la temperature et de la frequence de modulation
- $D(\omega, T)$, represente le coefficient de diffusion des electrons generes dans la base sous temperature (T) en modulation de frequence.

Resultats et discussions

L'analyse du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires en fonction de la temperature, de l'irradiation et de la frequence demodulation s'inscrit dans les approches theoriques et analytiques developpees dans la litterature pour l'optimisation des performances des cellules solaires bifaciales au silicium. Cette methode d'etude permet de mettre en evidence l'influence combinee des parametres physiques externes sur le transport des charges dans la base de la photopile, conformement aux modeles classiques de diffusion et de recombinaison rapportes dans les travaux anterieurs. [23–26].

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

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

La technique d'analyse adoptee dans cette etude repose, cette fois-ci, sur la representation graphique du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires de charge en fonction du flux d'irradiation, comme illustree a la figure 1.

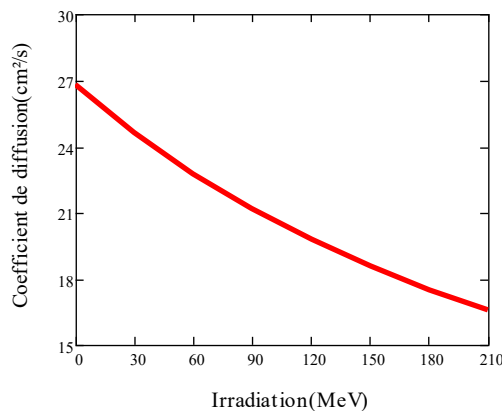


Figure 1: Coefficient de diffusion en fonction de Φ_p pour $kl = 11 \text{ cm}^2/\text{MeV}$, $T = 380 \text{ K}$ et $\omega = 0$

Pour des valeurs donnees du flux d'irradiation Φ_p comprises dans l'intervalle $0 \text{ MeV} < \Phi_p < 210 \text{ MeV}$, la projection des points de la courbe sur l'axe des ordonnees permet d'associer a chaque valeur de Φ_p le coefficient de diffusion correspondant. L'ensemble des valeurs du coefficient de diffusion correspondant a differentes valeurs d'irradiation Φ_p sont donnees dans le **tableau 1**.

Tableau 1 : Coefficient de diffusion en fonction de Φ_p pour $kl = 11 \text{ cm}^2/\text{MeV}$, $T = 380 \text{ K}$ et $\omega = 0$

$\Phi_p(\text{MeV})$	0	30	60	90	120	150	180	210
$D(\text{cm}^2/\text{MeV})$	26,792	24,616	22,766	21,175	19,792	18,579	17,506	16,550

Influence de la temperature sur le coefficient de diffusion :-

La figure 2 montre le profil de du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires en fonction de la temperature T , pour $kl=13 \text{ cm}^2/\text{MeV}$, $\Phi_p = 220 \text{ MeV}$ et $\omega = 0$. La technique d'analyse adoptee dans cette etude repose, cette fois-ci, sur la representation graphique du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires de charge en fonction de la temperature, comme illustree a la figure 2.

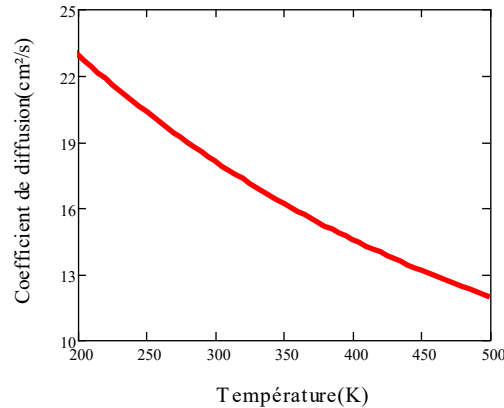


Figure 2: Coefficient de diffusion en fonction de T pour $kl = 13 \text{ cm}^2/\text{MeV}$, et $\phi_p = 220 \text{ MeV}$ et $\omega = 0$

Pour des valeurs données de la température T comprises dans l'intervalle $200\text{K} < T < 500\text{K}$, la projection des points de la courbe sur l'axe des ordonnées permet d'associer à chaque valeur de la température T le coefficient de diffusion correspondant. L'ensemble des valeurs du coefficient de diffusion correspondant à différentes valeurs de la température T sont données dans le **tableau 2**.

Tableau 2 : Coefficient de diffusion en fonction de T pour $kl = 13 \text{ cm}^2/\text{MeV}$, et $\phi_p = 220 \text{ MeV}$ et $\omega = 0$

T(K)	200	250	300	350	400	450	500
D(cm^2/MeV)	22,934	20,327	18,089	16,178	14,547	13,149	11,946

Influence de la fréquence de modulation :-

Les figures 3 à 6 montrent le profil de longueur de diffusion des porteurs minoritaires en fonction de logarithme decimal de la pulsation.

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

La technique d'analyse adoptée dans cette étude repose, cette fois-ci, sur la représentation graphique du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires de charge en fonction du logarithme decimal de la fréquence de modulation ω pour différentes valeurs de la température avec $\Phi_p = 100 \text{ MeV}$, $kl = 5\text{cm}^2/\text{MeV}$, comme illustre à la **figure 3**.

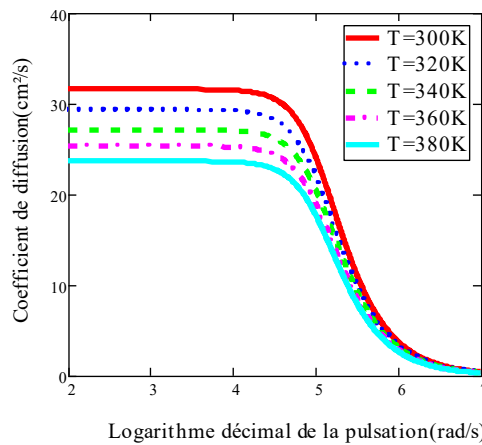


Figure 3: Coefficient de diffusion en fonction de la fréquence pour des valeurs de T : $\phi_p = 100 \text{ MeV}$, $kl = 5 \text{ cm}^2/\text{MeV}$

Pour des valeurs donnees de la temperature T comprises dans l'intervalle $300\text{ K} \leq T \leq 380\text{ K}$, la projection des points des differentes courbes sur l'axe des ordonnees permet d'associer, a chaque valeur de la temperature, le coefficient de diffusion correspondant pour une pulsation donnee dans le **tableau 3**.

Tableau 3 : Coefficient de diffusion en fonction de T pour $kl = 5\text{ cm}^2/\text{MeV}$, et $\phi_p = 100\text{ MeV}$

$\log(\omega)$	$T = 300\text{ K}$	$T = 320\text{ K}$	$T = 340\text{ K}$	$T = 360\text{ K}$	$T = 380\text{ K}$
2	31,564	29,204	27,121	25,274	23,627
3	31,563	29,203	27,121	25,273	23,626
4	31,453	29,098	27,021	25,178	23,536
5	24,143	22,208	20,518	19,034	17,721
6	3,560	3,557	3,331	3,330	2,861

❖ **Influence de la Temperature pour $\phi_p = 220\text{ MeV}$, $kl = 11\text{ cm}^2/\text{MeV}$**

La technique d'analyse adoptee dans cette etude repose, cette fois-ci, sur la representation graphique du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires de charge en fonction du logarithme decimal de la frequence de modulation ω pour differentes valeurs de la temperature avec $\Phi_p = 220\text{ MeV}$, $kl = 11\text{ cm}^2/\text{MeV}$, comme illustre a la **figure 4**.

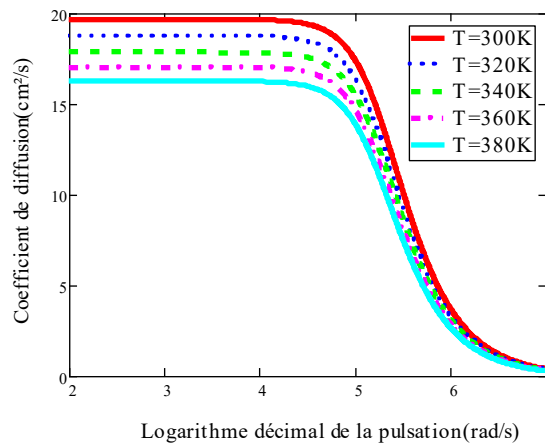


Figure 4: Coefficient de diffusion en fonction de la frequence pour des valeurs de T : $\phi_p = 220\text{ MeV}$, $kl = 11\text{ cm}^2/\text{MeV}$

Pour des valeurs donnees de la temperature T comprises dans l'intervalle $300\text{ K} \leq T \leq 380\text{ K}$, la projection des points des differentes courbes sur l'axe des ordonnees permet d'associer, a chaque valeur de la temperature, le coefficient de diffusion correspondant pour une pulsation donnee dans le **tableau 4**.

Tableau 4 : Coefficient de diffusion en fonction de T pour $kl = 11\text{ cm}^2/\text{MeV}$, et $\phi_p = 220\text{ MeV}$

$\log(\omega)$	$T = 300\text{ K}$	$T = 320\text{ K}$	$T = 340\text{ K}$	$T = 360\text{ K}$	$T = 380\text{ K}$
2	19,653	18,712	17,834	17,017	16,254
3	19,653	18,711	17,834	17,016	16,253
4	19,626	18,684	17,806	16,987	16,224
5	17,234	16,174	15,160	14,565	13,896
6	3,631	3,312	3,263	3,109	2,622

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

La technique d'analyse adoptee dans cette etude repose, cette fois-ci, sur la representation graphique du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires de charge en fonction du logarithme decimal de la frequence de modulation ω pour differentes valeurs d'irradiation avec $T = 300\text{ K}$, $kl = 5\text{ cm}^2/\text{MeV}$, comme illustre a la **figure 5**.

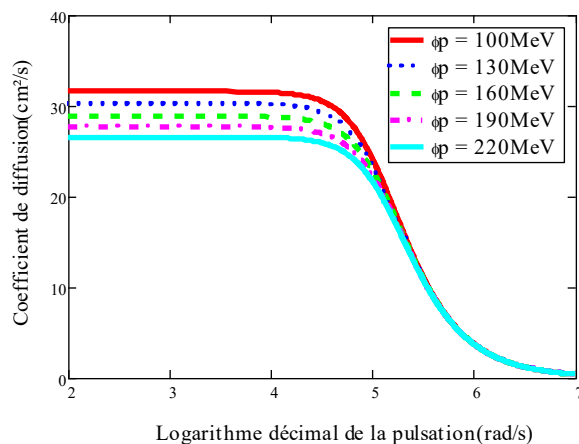


Figure 5: Coefficient de diffusion en fonction de la fréquence pour des valeurs de ϕ_p : $T = 300$ K, $kl = 5$ cm^2/MeV

Pour des valeurs données d'irradiation comprises dans l'intervalle $100 \text{ MeV} \leq \phi_p \leq 220 \text{ MeV}$, la projection des points des différentes courbes sur l'axe des ordonnées permet d'associer, à chaque valeur d'irradiation avec $T = 300$ K, $kl = 5 \text{ cm}^2/\text{MeV}$, le coefficient de diffusion correspondant pour une pulsation donnée dans le **tableau 5**.

Tableau 5 : Coefficient de diffusion en fonction de $\log(\omega)$ pour $kl = 5 \text{ cm}^2/\text{MeV}$, et $T = 300$ K

$\log(\omega)$	$\phi_p = 100 \text{ MeV}$	$\phi_p = 130 \text{ MeV}$	$\phi_p = 160 \text{ MeV}$	$\phi_p = 190 \text{ MeV}$	$\phi_p = 220 \text{ MeV}$
2	31,564	30,137	28,834	27,638	26,538
3	31,563	30,136	28,833	27,638	26,537
4	31,453	30,040	28,749	27,563	26,472
5	24,596	24,414	23,652	22,930	22,244
6	3,701	3,701	3,701	3,701	3,701

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

La technique d'analyse adoptée dans cette étude repose, cette fois-ci, sur la représentation graphique du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires de charge en fonction du logarithme décimal de la fréquence de modulation ω pour différentes valeurs d'irradiation avec $T = 380 \text{ K}$, $kl = 11 \text{ cm}^2/\text{MeV}$, comme illustre à la **figure 6**.

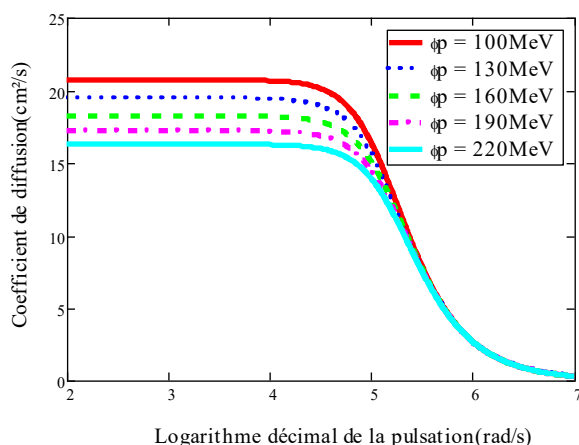


Figure 6: Coefficient de diffusion en fonction de la fréquence pour des valeurs de ϕ_p : $T = 380$ K, $kl = 11$ cm^2/MeV

Pour des valeurs donnees d'irradiation comprises dans l'intervalle $100 \text{ MeV} \leq \phi_p \leq 220 \text{ MeV}$, la projection des points des differentes courbes sur l'axe des ordonnees permet d'associer, a chaque valeur d'irradiation avec $T = 380 \text{ K}$, $kl = 11 \text{ cm}^2/\text{MeV}$, le coefficient de diffusion correspondant pour une pulsation donnee dans le **tableau 6**.

Tableau 6 : Coefficient de diffusion en fonction de T pour $kl = 11 \text{ cm}^2/\text{MeV}$, et $T = 380 \text{ K}$

$\log(\omega)$	$\phi_p = 100 \text{ MeV}$	$\phi_p = 130 \text{ MeV}$	$\phi_p = 160 \text{ MeV}$	$\phi_p = 190 \text{ MeV}$	$\phi_p = 220 \text{ MeV}$
2	20,693	19,371	18,207	17,175	16,254
3	20,693	19,370	18,206	17,175	16,253
4	20,632	19,320	18,165	17,140	16,224
5	16,048	15,885	15,310	14,421	13,896
6	2,6523	2,6523	2,6523	2,6523	2,6523

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

La technique d'analyse adoptee dans cette etude repose, cette fois-ci, sur la representation graphique du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires de charge en fonction du logarithme decimal de la frequence de modulation ω pour differentes valeurs d'irradiation avec $T = 300 \text{ K}$, $\phi_p = 100 \text{ MeV}$, comme illustre a la **figure 7**.

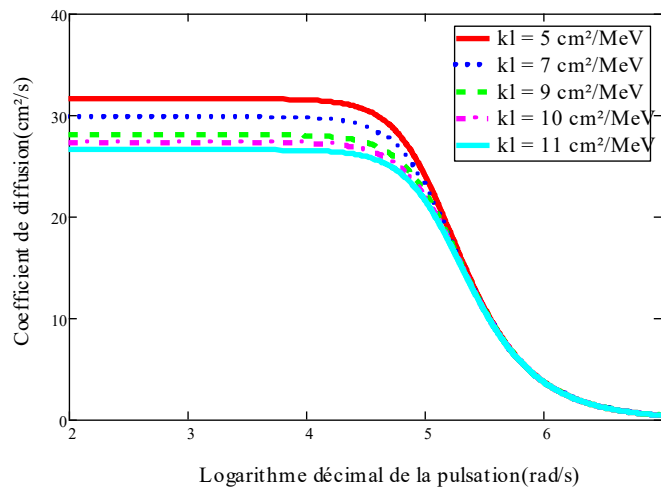


Figure 7: Coefficient de diffusion en fonction de la frequence pour des valeurs de kl : $T = 300 \text{ K}$, $\phi_p = 100 \text{ MeV}$

Pour des valeurs donnees du coefficient de dommage comprises dans l'intervalle $5 \text{ cm}^2/\text{MeV} \leq kl \leq 11 \text{ cm}^2/\text{MeV}$, la projection des points des differentes courbes sur l'axe des ordonnees permet d'associer, a chaque valeur du coefficient de dommage avec $T = 300 \text{ K}$, $\phi_p = 100 \text{ MeV}$, le coefficient de diffusion correspondant pour une pulsation donnee dans le **tableau 7**.

Tableau 7 : Coefficient de diffusion en fonction de kl pour $\phi_p = 100 \text{ MeV}$, et $T = 300 \text{ K}$

$\log(\omega)$	$kl = 5 \text{ cm}^2/\text{MeV}$	$kl = 7 \text{ cm}^2/\text{MeV}$	$kl = 9 \text{ cm}^2/\text{MeV}$	$kl = 10 \text{ cm}^2/\text{MeV}$	$kl = 11 \text{ cm}^2/\text{MeV}$
2	31.564	29.690	28.026	27.262	26.538
3	31.563	29.689	28.025	27.261	26.537
4	31.453	29.597	27.948	27.190	26.472
5	24.143	24.053	23.111	22.300	21.658
6	3.7111	3.7111	3.7111	3.7111	3.7111

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

La technique d'analyse adoptee dans cette etude repose, cette fois-ci, sur la representation graphique du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires de charge en fonction du logarithme decimal de la frequence

de modulation ω pour différentes valeurs d'irradiation avec $T = 380\text{ K}$, $\phi_p = 220\text{ MeV}$, comme illustre a la figure 8.

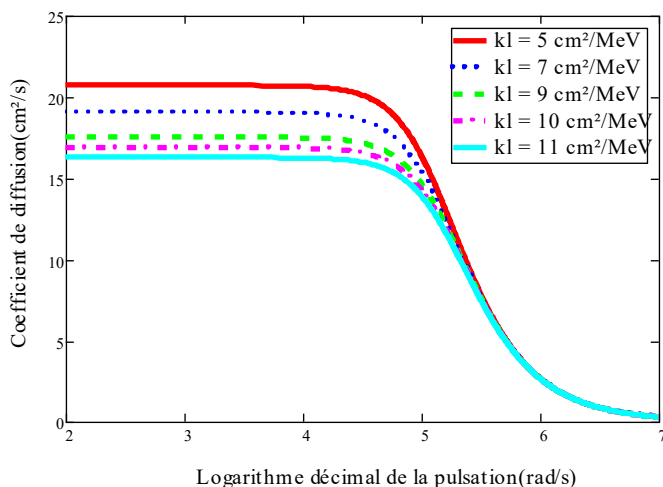


Figure 8: Coefficient de diffusion en fonction de la fréquence pour des valeurs de kl : $\phi_p = 220\text{ MeV}$, $T = 380\text{ K}$. Pour des valeurs données du coefficient de dommage comprises dans l'intervalle $5\text{ cm}^2/\text{MeV} \leq kl \leq 11\text{ cm}^2/\text{MeV}$, la projection des points des différentes courbes sur l'axe des ordonnées permet d'associer, a chaque valeur du coefficient de dommage avec $T = 380\text{ K}$, $\phi_p = 220\text{ MeV}$, le coefficient de diffusion correspondant pour une pulsation donnée dans le tableau 8.

$\log(\omega)$	$kl = 5\text{ cm}^2/\text{MeV}$	$kl = 7\text{ cm}^2/\text{MeV}$	$kl = 9\text{ cm}^2/\text{MeV}$	$kl = 10\text{ cm}^2/\text{MeV}$	$kl = 11\text{ cm}^2/\text{MeV}$
2	20.693	18.967	17.506	16.856	16.254
3	20.693	18.966	17.505	16.856	16.253
4	20.632	18.919	17.468	16.823	16.224
5	16.268	15.388	14.655	14.304	13.896
6	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657

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

Les résultats obtenus montrent que l'irradiation, la température et la fréquence de modulation ont une forte influence sur le coefficient de diffusion des porteurs minoritaires dans la base p de la photopile. L'irradiation introduit des défauts dans le réseau cristallin, créant des centres de recombinaison qui réduisent la durée de vie et la diffusion des porteurs. L'augmentation de la température entraîne une intensification des interactions entre les porteurs et le réseau cristallin, ce qui diminue leur mobilité et le coefficient de diffusion. De plus, l'augmentation de la fréquence limite la capacité des porteurs à répondre aux variations de l'excitation lumineuse, réduisant ainsi leur contribution au transport de charge. Par conséquent, l'effet combiné de l'irradiation, de la température et de la fréquence entraîne une dégradation du transport des porteurs de charges minoritaires. Ceci entraîne une diminution du coefficient de diffusion et peut affecter les performances de la photopile. L'effet combiné de l'irradiation, de la température et de la fréquence entraîne une dégradation du transport des porteurs de charges minoritaires. Ceci entraîne une diminution du coefficient de diffusion et peut affecter les performances de la photopile, notamment en interaction avec les résistances parasites internes et les effets de résistance de shunt rapportés dans la littérature [28,29].

Conclusion:-

Dans ce travail, nous avons étudié l'influence de la température, de l'irradiation et de la modulation de fréquence sur le coefficient de diffusion des porteurs minoritaires dans la base d'une photopile bifaciale au silicium. Les résultats montrent que le coefficient de diffusion diminue lorsque la température augmente, en raison de l'accroissement des interactions entre les porteurs et les vibrations du réseau cristallin, ce qui réduit leur mobilité. L'irradiation provoque également une diminution importante du coefficient de diffusion, car elle introduit des défauts cristallins qui

agissent comme centres de recombinaison et perturbent le transport des charges. De plus, l'augmentation de la fréquence de modulation limite la diffusion des porteurs minoritaires, en réduisant le temps disponible pour leur déplacement dans la base. L'effet combiné de ces différents paramètres entraîne ainsi une dégradation notable des propriétés de transport dans le matériau. Cette étude met en évidence l'importance de la maîtrise des conditions environnementales pour optimiser les performances des photopiles au silicium, notamment dans des environnements contraignants tels que les applications spatiales.

References:-

1. M.A. Green, (March 1995). Silicon Solar cells advanced principles & practice Printed by Bridge printer Pty. Ltd. 29-35 Dunning Avenue, Roseberry, Center for photovoltaic Devices and systems; pp.29-35.
2. Gover, A. and Stella, P. (1974). Vertical Multijunction Solar-Cell One-Dimensional Analysis. IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-21: 6. pp.351-356, <https://doi.org/10.1109/T-ED.1974.17927>
3. A. Cuevas, A. Luque, and J. M. Ruiz, A. (1980). n+/p/n+ double-sided solar cell for optimal static concentration, in Proc. 14th IEEE Photov. Spec. Conf., San Diego, pp.76-81.
4. Luque, A., Ruiz, J.M., Cuevas, A., Eguren, J. and Agost, M.G. (1997) Double Side Solar Cells to Improve Static Concentrator. Photovoltaic Solar Energy Conference, Luxembourg, 269-277. https://doi.org/10.1007/978-94-009-9840-7_25
5. Hüber, A., Aberle, A.G. and Hezel, R. (2001) 20% Efficient Bifacial Silicon Solar Cells. Munich 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1796-1798.
6. Wise, J.F. (1970) Vertical Junction Hardened Solar Cell. U.S. Patent 3, 690-953.
7. Cuevas, A., Sinton, R.A. and King, R.R. (1991) A Technology-Based Comparison between Two-Sided and Back-Contact Silicon Solar Cells. The 10th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisbon, 8-12 April 1991, 23-26.
8. Bordin, N., Kreinin, L. and Eisenberg, N. (2001) Determination of Recombination Parameters of Bifacial Silicon Cells with a Two Layer Step-Like Effect Distribution in the Base Region. Proc. 17th European PVSEC, Munich, 1495-1498.
9. 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>
10. E. Gaubas and J. Vanhellemont (1996). A simple Technique for the Separation of Bulk and Surface Recombination Parameters in Silicon. Journal of Applied Physics, 80, 6293-6297. <https://doi.org/10.1063/1.363705M>
11. 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>
12. S. Gupta, P. Ahmed and S. Garg, (1988). A Method for the Determination of the Material parameters D, L, S and α from Measured Short-Circuit Photocurrent. Solar Cells, 25, 61-72. [https://doi.org/10.1016/0379-6787\(88\)90058-0P](https://doi.org/10.1016/0379-6787(88)90058-0P).
13. 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. <https://doi.org/10.1063/1.344161>
14. R. R. Vardanyan, U. Kerst, B. Tierock, H. G. Wagemann (1997). Measurement of recombination parameters of solar cell in a magnetic field. Proceeding of the 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference (Barcelona, Spain). Pp 2367-2369.
15. Le Quang Nam, M. Rodot, J. Nijs, M. Ghannam and J. Coppye, (1992). Réponse Spectrale de Photopiles de Haut Rendement au Silicium Multicristallin. J. Phys. III France 2 ; pp. 1305-1316
16. G. Sissoko, C. Museruka, A. Correa, I. Gaye and A.L. Ndiaye, Light Spectral Effect on Recombination Parameters of Silicon Solar Cell. World Renewable Energy Congress, Pergamon, Part III, pp.1487-1490.
17. Thiam, N., Diao, A., Ndiaye, M., Dieng, A., Thiam, A., Sarr, M., Maiga, A.S and Sissoko G. (2012). Electric Equivalent Models of Intrinsic Recombination Velocities of a Bifacial Silicon Solar Cell under Frequency Modulation and Magnetic Field Effect. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 4, 4646-4655.
18. R. VanSteenwinkel, M.C. Carotta, G. Martinelli, M. Mercli, L. Passari and D. Palmeri (1990). Lifetime Measurement in Solar Cell of Various Thickness and Related Silicon Wafer. Solar Cells, 28, 287-292. [https://doi.org/10.1016/0379-6787\(90\)90063-BG](https://doi.org/10.1016/0379-6787(90)90063-BG).

19. Richard Mane, Ibrahima Ly, Mamadou Wade, IbrahimaDatta, Marcel S. Douf, YoussouTraore, Mor Ndiaye, SeniTamba, GregoireSissoko (2017). Minority Carrier Diffusion Coefficient $D^*(B, T)$: Study in Temperature on a Silicon Solar Cell under Magnetic Field. *Energy and Power Engineering*, 9, pp.1-10
<http://www.scirp.org/journal/epe>
20. Seydina, D., Mor, N., Ndeye, T., Youssou, T., Mamadou, L.B., Ibrahima, D., Marcel, S.D., Oulimata, M., Amary, T. and Gregoire, S. (2019). Influence of Temperature and Frequency on Minority Carrier Diffusion Coefficient in a Silicon Solar Cell Under Magnetic Field. *Energy and Power Engineering*, 11, 355-361.
&<https://doi.org/10.4236/epe.2019.1110023>
21. Ibrahima Tall, BoureimaSeibou, Mohamed AbderrahimOuld El Moujtaba, AmadouDiao, Mamadou Wade, GregoireSissoko (2015). Diffusion Coefficient Modeling of a Silicon Solar Cell under Irradiation Effect in Frequency: Electric Equivalent Circuit. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)* – Volume 19 Number 2 – p.56-61, Jan 2015 (<http://www.ijettjournal.org>).
22. Y. Traore, N. Thiam, M. Thiame, M. L. Ba, M. S. Diouf et G. Sissoko, AC Recombination Velocity in the Back Surface of a Lamella Silicon Solar Cell under Temperature. *Journal of Modern Physics*, 2019, 10, 1235-1246.
<https://doi.org/10.4236/jmp.2019.1010082>
23. M. Gueye, H. L. Diallo, A. Kosso, M. Moustapha, Y. Traore, I. Diatta et G. Sissoko, Ac Recombination Velocity in a Lamella Silicon Solar Cell. *World Journal of Condensed Matter Physics*, 2018, 8, 185-196.
24. I.Ly, M. Ndiaye, M. Wade, N. Thiam, S. Gueye and G. Sissoko, Concept of Recombination Velocity S_{fcc} 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*, 2013, 5, 203-208.
<https://doi.org/10.19026/rjaset.5.5105>
25. Oumar DIA, Mamadou Lamine BA, Gora DIOP, Ibrahima DIATTA, Mor SARR, Mamadou WADE and Gregoire SISSOKO (2021). Effet De L'energie D'irradiation Sur La ResistanceSerie Dans Une Photopile (N+/P/P+) Au Silicium A Jonctions Verticales Series. *International Journal of Advanced Research*, 9(11), 985-997. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/13832>
26. Van Dyk, E. E., & Meyer, E. L. (2004). Analysis of the effect of parasitic resistances on the performance of photovoltaic modules. *Renewable Energy*, 29(3), 333–344. doi :10.1016/s09601481(03)00250-7
27. Meyer, E. L., & Ernest van Dyk, E. (n.d.). The effect of reduced shunt resistance and shading on photovoltaic module performance. *Conference Record of the Thirty-First IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2005. doi :10.1109/pvsc.2005.1488387
28. Dione, M. M., Diallo, H. L., Wade, M., Ly, I., Thiame, M., Toure, F., Camara, A. G., Dieme, N., Bako, Z. N., Mbodji, S., Barro, F. I., & Sissoko, G. (2011). 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*, 250-254
29. Abdoulaye Diop, Richard Mane, Gora Diop, IbrahimaDiatta, KhadyLoum, Sega Gueye, MoustaphaThiame, Ousmane Sow, Mamadou, Wade, GregoireSissoko. Bifacial Silicon (N+/P/P+) Silicon Solar Cell Base Thickness Optimization under Back Illumination of Long Wavelength: Effect of Diffusion Coefficient Resonance in Temperature under Applied Magnetic Field. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 2022, 9(11):152-165
30. Amadou Mar Ndiaye, Sega Gueye, Ousmane Sow, Gora Diop, AmadouMamour Ba, MamadouLamine Ba, IbrahimaDiatta, LemrabottHabiboullah, GregoireSissoko. A.C. Recombination Velocity as Applied to Determine $n + /p/p +$ Silicon Solar Cell Base Optimum Thickness. *Energy and Power Engineering (EPE)*, <http://www.scirp.org/journal/epe>, Volume 12, pp: 543-554, 2020.
31. Ousmane Sow, Sega Gueye, Richard Mane, Gora Diop, IbrahimaDiatta, KhadyLoum, MoustaphaThiame, Mamadou Wade, GregoireSissoko. (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*, <https://orionjournals.com/ijeru>, Volume 3, Issue 2 pp : 040-052, 2022.
32. Liou J J Wong, W.W. (1992) Comparison and Optimization of the Performance of Si and GaAs 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)
33. Kraner, H. W., Radiation damage in silicon detectors, 2nd Pisa Meeting on Advanced Detectors, Grosetto, Italy, June 3-7 1983.
34. Goo-Hwan Shin and KwangsunRyu and Hyung-Myung Kim and Kyung-wook Min (2008). Radiation effect test for single-crystalline and polycrystalline silicon solar cells. *Journal of the Korean Physical Society*. Vol. 52, Pp. 843-847. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:120466620>

35. M. A. Ould El Moujtaba, M. Ndiaye, A. Diao, M. Thiam, I. F. Barro and G. Sissoko (2012). Theoretical Study of Influence of Irradiation on a Silicon Solar Cell Under Multispectral Illumination. *Research Journal of Applied Sciences Engineering and Technology*, Vol. 23, Issue 4, pp.5068-5073, 2012.
36. Gaye, R. Sam, A. D. Sere, I. F. Barro, M. A. Ould El Moujtaba, R. Mane, G. Sissoko (2012). Effect of irradiation on the transient response of a silicon solar cell; *International journal of emerging trends and technologies in computer science (IJETTCS)* Volume 1, Issue 3, September-October 2012, ISSN 2278-6856.
37. Ly, M. Wade, H. Ly Diallo, M. A. O. El Moujtaba, O. H. Lemrabott, S. Mbodji, O. Diasse, A. Ndiaye, I. Gaye, F. I. Barro, A. Wereme, G. Sissoko (2011). Irradiation effect on the electrical parameters of a bifacial silicon solar cell under multispectral illumination», *Proceedings of 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition 1DV.4.52* (2011), pp 785-788; <http://www.eupvsec-proceedings.com>
38. Ndeye Madeleine Diop, BoureimaSeibou, Mamadou Wade, Marcel SitorDiouf, Ibrahima Ly, Hawa Ly Diallo, GregoireSissoko (2016). Theoretical Study of Vertical Parallel Junction Silicon Solar Cell Capacitance under Modulated Polychromatic Illumination: Influence of Irradiation. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)* ISSN:2278-3075, Volume-6 Issue-3, August 2016).
39. MouhamadouMousliou Diallo, SeniTamba, BoureimaSeibou, Mohamed LemineOuldCheikh, IbrahimaDiatta, El Hadji Ndiaye, Youssou Traore, CheikhTidianeSarr, GregoireSissoko (2017). Impact of irradiation on the surface recombination velocity of a back side monochromatic illuminated bifacial silicon solar cell under frequency modulation, *Journal of Scientific and Engineering Research*, 2017, 4(1): 29-40
40. Ba, M.L., Diallo, H.L., Ba, H.Y., Traore, Y., Diatta, I., Diouf, M.S., Wade, M. and Sissoko, G. (2018). Irradiation Energy Effect on a Silicon Solar Cell: Maximum Power Point Determination. *Journal of Modern Physics*, 9, 2141-2155. <https://doi.org/10.4236/jmp.2018.912135>