



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

## INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/22940  
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/22940>



### RESEARCH ARTICLE

## AC BACK SURFACE RECOMBINATION VELOCITY AND OPTIMUM BASE THICKNESS IN AN IRRADIATED $n^+ - p - p^+$ SILICON SOLAR CELL UNDER TEMPERATURE AND FREQUENCY MODULATION

Abdoulaye Gueye<sup>1,2</sup>, Idrissa Gaye<sup>1,2</sup>, Youssou Traore<sup>1,2</sup>, Khady Loum<sup>1,2</sup> and Seg a Gueye<sup>1,3</sup>

1. Groupe International de Recherche en Energie Renouvelable (GIRER). BP. 15003, Dakar, Senegal.
2. Universite Iba Der THIAM de Thies, Senegal.
3. Faculte des Sciences et Technologies de l'education et de la Formation-Departement de Physique et Chimie, Universite Cheikh Anta DIOP, Dakar-Senegal.

#### Manuscript Info

##### Manuscript History

Received: 08 January 2026  
Final Accepted: 10 February 2026  
Published: March 2026

##### Key words:-

Silicon solar cell, AC recombination velocity, irradiation, optimum base thickness, frequency modulation, temperature.

#### Abstract

This work presents a theoretical study of an irradiated  $n^+ - p - p^+$  bifacial silicon solar cell under AC polychromatic illumination and temperature variation, with the aim of determining the optimum base thickness using the back surface recombination velocity approach. The analysis is based on the resolution of the continuity equation of minority carriers in the base under frequency modulation, taking into account the combined effects of irradiation energy flux, damage coefficient, temperature, and modulation frequency. Analytical expressions of the two components of the back surface recombination velocity,  $S_{b1}$  and  $S_{b2}$ , are derived from the AC photocurrent density. The optimum base thickness is determined from the intersection of  $S_{b1}$  and  $S_{b2}$  profiles as a function of base thickness. Numerical results show that the optimum thickness strongly depends on modulation frequency, temperature, irradiation energy, and damage coefficient through their influence on the minority carrier diffusion coefficient and diffusion length. The optimum thickness decreases with increasing irradiation level and damage coefficient due to enhanced recombination effects, while temperature and frequency significantly modify carrier transport properties. This approach provides a reliable method for optimizing silicon solar cell base thickness under combined environmental and irradiation effects, contributing to the improvement of photovoltaic device performance.

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

#### Introduction:-

Les photopiles bifaciales au silicium representent une technologie photovoltaïque [1, 2-4] avantee permettant une conversion efficace de l'energie solaire grâce a leur capacite a capter le rayonnement sur leurs deux faces. Les performances de ces dispositifs dependent fortement des proprietes de transport et de recombinaison des porteurs

**Corresponding Author:-**Sega Gueye

**Address:-**1. Groupe International de Recherche en Energie Renouvelable (GIRER). BP. 15003, Dakar, Senegal. 3. Faculte des Sciences et Technologies de l'education et de la Formation-Département de Physique et Chimie, Universite Cheikh Anta DIOP, Dakar-Sénégal.

minoritaires dans la base [5,6], ainsi que des paramètres géométriques et des conditions environnementales. Parmi ces paramètres, l'épaisseur de la base et les vitesses de recombinaison aux interfaces jouent un rôle fondamental dans la détermination des performances électriques de la photopile [7,8]. Des travaux récents ont montré que la réduction des pertes par recombinaison de surface constitue un levier majeur d'amélioration du rendement des cellules au silicium [9].

En particulier, les vitesses de recombinaison à la jonction et en face arrière constituent des paramètres essentiels qui caractérisent les pertes de porteurs minoritaires aux interfaces du dispositif [10,11]. Une recombinaison élevée à ces niveaux réduit le nombre de porteurs collectés, ce qui entraîne une diminution du photocourant et du rendement de conversion. L'influence conjointe de la vitesse de recombinaison de surface et de l'épaisseur de la base sur les paramètres électriques, notamment la tension en circuit ouvert et le courant de court-circuit, a été récemment analysée [12] qui montrent l'existence d'une épaisseur optimale dépendant des conditions de recombinaison [13,14]. De même, une étude numérique et expérimentale réalisée [15] met en évidence l'impact significatif de la largeur de la base et des vitesses de recombinaison sur l'efficacité quantique et le rendement global des cellules en silicium multicristallin [16,17].

Par ailleurs, les photopiles utilisées dans des environnements réels sont souvent soumises à des conditions extrêmes, notamment des irradiations élevées, des variations de température et des excitations dynamiques. L'irradiation introduit des défauts dans la structure cristalline du silicium, qui agissent comme des centres de recombinaison et modifient la durée de vie des porteurs minoritaires [18–23]. L'étude de la dégradation des paramètres électriques sous irradiation en régime dynamique a été abordée qui montrent que la fréquence de modulation influence la résistance shunt et les pertes associées [24,25]. La température influence également les propriétés de transport, notamment la mobilité, la durée de vie et le coefficient de diffusion des porteurs [26]. L'effet combiné de la température et de la modulation fréquentielle sur la vitesse de recombinaison en face arrière a été étudié [27], mettant en évidence une dépendance significative des paramètres dynamiques aux conditions thermiques [28,29]. En outre, l'étude en régime dynamique fréquentiel, basée sur la modulation de l'éclairement, constitue une méthode particulièrement efficace pour analyser les phénomènes de transport et de recombinaison des porteurs minoritaires [30,31]. Contrairement au régime statique, ce régime introduit une dépendance fréquentielle des paramètres de diffusion et permet une caractérisation plus fine des mécanismes de recombinaison [32,33]. Dans le cas des cellules bifaciales, l'analyse de la réponse spectrale sous éclairement modulé a également permis d'évaluer l'influence de la recombinaison à la jonction sur l'efficacité quantique [34, 35,36].

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est de déterminer et d'analyser les vitesses de recombinaison à la jonction et en face arrière d'une photopile bifaciale au silicium soumise à une irradiation, à une température donnée et à une excitation en régime dynamique fréquentiel sous éclairement polychromatique. Cette étude repose sur la résolution de l'équation de continuité des porteurs minoritaires dans la base [37,38] et l'application des conditions aux limites aux interfaces [39,40]. Les résultats obtenus permettront de mieux comprendre les mécanismes dynamiques de recombinaison et de contribuer à l'optimisation des performances des photopiles fonctionnant dans des environnements complexes [41,42].

## Theorie :-

### a) Présentation de la photopile :-

Dans ce travail, on considère d'une photopile bifaciale ( $n^+/p/p^+$ ) au silicium, préalablement irradiée ( $kl, \Phi_p$ ) par des particules électriques chargées [43–48], est faite, dans un modèle à une dimension [49], éclairée par une lumière polychromatique en modulation de fréquence [30,31] par la face avant et placée sous variation de la température ( $T$ ) [6,26]. La structure de la photopile au silicium considérée est représentée sur la figure (1), composée principalement de l'émetteur ou face avant de type  $n^+$  (comportant des grilles métalliques, fortement dopée en atomes de phosphore et de faible épaisseur), suivie de la zone de charge d'espace (se trouvant entre l'émetteur et la base où règne un champ électrique intense qui permet de séparer les paires électrons-trous créés.), la base (dopée faiblement en atomes accepteurs trivalents, et d'épaisseur beaucoup plus importante que celle de l'émetteur) et enfin le BSF (back surface Field) de type  $P^+$  [7,10] (zone située en face arrière de la base, elle est surdopée en atomes accepteurs, où règne un champ électrique arrière qui permet de renvoyer vers l'interface émetteur-base les porteurs minoritaires générés près de la face arrière.), est reconnu pour améliorer la collecte des porteurs minoritaires et réduire les pertes par recombinaison en face arrière [11,13]. La symétrie des vitesses de recombinaison aux interfaces de la base montre l'efficacité des photopiles bifaciales et à jonctions verticales connectées en parallèles ou en série [50,55]. Les effets de la température et de l'irradiation par des particules énergétiques sont des facteurs importants [44–48,56–60].

Ces derniers changent la durée de vie, le coefficient de diffusion et les vitesses de recombinaison de porteurs minoritaires de la photopile [6, 26,61]. L'augmentation de la recombinaison volumique et surfacique est produite par les défauts cristallins dus à l'irradiation [46,48, 56,57].

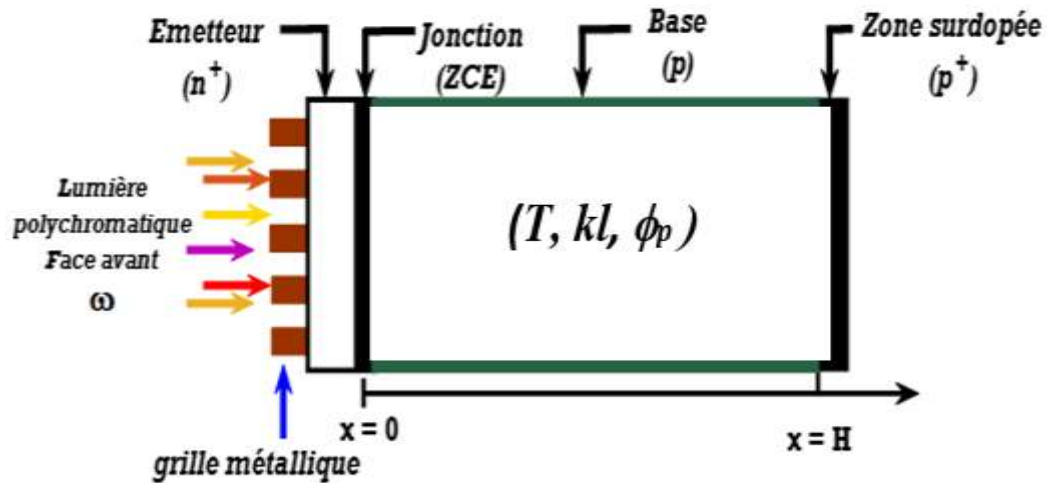


Figure1: structure de la photopile bifaciale au silicium de type ( $n^+/p/p^+$ )

#### b) Equation de continuité :-

L'équation de continuité relative à la densité de porteurs de charge minoritaires photocreats  $\delta(x, t)$  dans la base (p), de la photopile irradiée ( $kl, \Phi_p$ ), sous illumination polychromatique en modulation de fréquence ( $\omega$ ) et sous température ( $T$ ), est donnée par la relation suivante [37,38]:

$\delta(x, t)$  : La densité des porteurs minoritaires en excès dans la base (type p) en fonction de la profondeur ( $x$ ) et du temps ( $t$ )

$G(x, t)$  : Le taux de génération global des charges en fonction de la profondeur ( $x$ ) et du temps ( $t$ )

Où  $\delta(x)$  et  $g(x)$  caractérisent respectivement les parties spatiales de la densité des porteurs de charge et du taux de génération et  $e^{i\omega t}$  la partie temporelle.

La composante spatiale du taux de génération de porteurs minoritaires est donnée par l'expression suivante [63,64]:

$a_i, b_i$  représentent les coefficients obtenus à travers les valeurs tabulées de l'éclairement solaire et dépendent du coefficient d'absorption du silicium avec la longueur d'onde. Il permet de corréler le niveau d'éclairement expérimental au niveau d'éclairement de référence pris sous AM 1.5. .

**En remplaçant chaque grandeur (Eq. 2 et 3) par leurs expressions dans (Eq.1) nous obtenons :**

#### c) Expression du coefficient de diffusion $D^*(\omega, kl, \Phi_p, T)$ :-

L'expression du coefficient de diffusion des porteurs minoritaires dans la base (type p) d'une photopile ( $n^+/p/p^+$ ) au silicium soumise à une irradiation sous température et en modulation de fréquence est donnée par la relation suivante [64,65]:

$$D^*(\omega, kl, \Phi_p, T) = \frac{L^*(\omega, kl, \Phi_p, T)^2}{\tau^*} \quad (6)$$

$$\tau^*(\omega) = \frac{\tau}{1 + j\omega\tau} \quad (7)$$

Cette formulation est largement utilisée pour l'étude du transport dynamique des porteurs minoritaires [28,29].

$D^*(\omega, kl, \Phi_p, T)$  : Coefficient de diffusion complexe

$\tau^*(\omega)$  : Durée de vie complexe

$L^*(\omega, kl, \Phi_p, T)$  : Longueur de diffusion complexe.

#### d) Expression de la longueur de diffusion $L^*(\omega, kl, \Phi_p, T)$ :-

L'expression de la longueur de diffusion des porteurs minoritaires dans la base (type p) d'une photopile ( $n^+/p/p^+$ ) au silicium soumise à une irradiation sous température et en modulation de fréquence est donnée par la relation suivante [5,26]:

#### e) Expression de la densité du photocourant. :-

La densité de photocourant est obtenue à partir du gradient de porteurs minoritaires à la jonction suivant la loi de Fick [38,62] :

#### f) Expression des vitesses de recombinaison en face arrière :-

La représentation du profil de la densité du photocourant en fonction de la vitesse de recombinaison des porteurs minoritaires de charge à la jonction, présente aux grandes valeurs de  $S_f$  [10, 11,39] un palier correspondant à la densité de photocourant de court-circuit. Dans cet intervalle le gradient de la densité de photocourant est nul et s'écrit :

$$\frac{\partial J_{ph\alpha}(\omega, kl, \Phi_p, T)}{\partial S_f} = 0 \quad (10)$$

La résolution de l'équation (18) donne deux solutions distinctes  $S_{b1}$  et  $S_{b2}$  correspondant aux vitesses caractéristiques en face arrière [58, 62,70], représentées par les équations (19) et (20) suivantes :

$$S_{b1}(\omega, kl, \phi_p, T, H) = \sum_{i=1}^3 \left\{ D(\omega, kl, \Phi_p, T) \frac{b_i \left( \operatorname{ch} \left( \frac{H}{L(\omega, kl, \phi_p, T)} \right) - e^{-b_i H} \right) - \frac{1}{L(\omega, kl, \phi_p, T)} \operatorname{sh} \left( \frac{H}{L(\omega, kl, \phi_p, T)} \right)}{\left( \operatorname{ch} \left( \frac{H}{L(\omega, kl, \phi_p, T)} \right) - e^{-b_i H} - b_i L(\omega, kl, \phi_p, x) \operatorname{sh} \left( \frac{H}{L(\omega, kl, \phi_p, T)} \right) \right)} \right\} \quad (11)$$

$$S_{b2}(\omega, kl, \phi_p, T, H) = - \frac{D(\omega, kl, \Phi_p, T) \operatorname{sh} \left( \frac{H}{L(\omega, \phi_p, kl, T)} \right)}{L(\omega, kl, \phi_p, T) \operatorname{ch} \left( \frac{H}{L(\omega, kl, \phi_p, T)} \right)} \quad (12)$$

#### g) Résultats de détermination de l'épaisseur optimum de la base à partir de $S_{b1}$ et $S_{b2}$ :-

La méthode graphique basée sur l'intersection des courbes  $S_{b1}$  et  $S_{b2}$  pour déterminer l'épaisseur optimale de la base est conforme aux approches d'optimisation développées dans la littérature [13, 16,67-78].

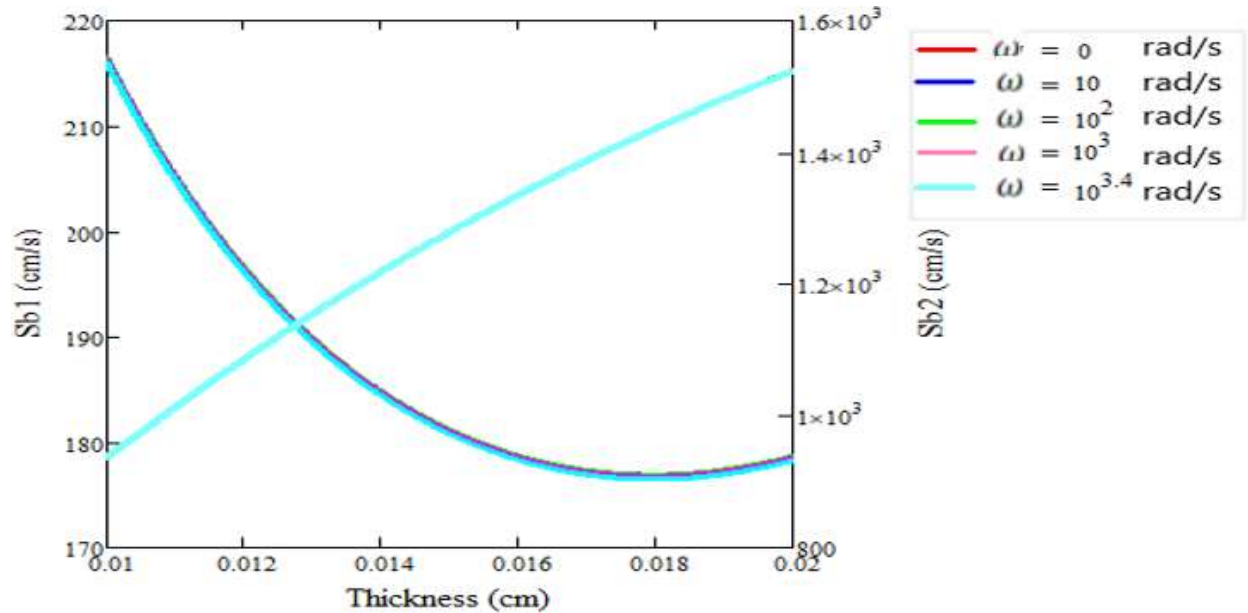


Figure 2 : Sb1 (cm/s) et Sb2 (cm/s) en fonction de l'épaisseur de la base pour des valeurs de fréquences comprises entre  $0 \text{ rad/s} < \omega < 10^4 \text{ rad/s}$  ( $\phi_p = 100 \text{ MeV}$ ,  $k_l = 5 \text{ cm}^2/\text{MeV}$  et  $T = 300 \text{ K}$ )

Pour des valeurs données de la fréquence de modulation ( $\omega$ ) comprises entre  $0 \text{ rad/s} < \omega < 10^4 \text{ rad/s}$ , la projection sur l'axe des abscisses de l'intersection des courbes des expressions de **Sb1** et **Sb2** correspond à la valeur de l'épaisseur optimum. L'ensemble des valeurs de  $H_{opt}$  correspondant à différentes valeurs de la fréquence ( $\omega$ ) de modulation sont données dans le tableau 1.

Tableau 1 :  $H_{opt}$  en fonction de la fréquence ( $\omega$ ) de modulation ( $\phi_p = 100 \text{ MeV}$ ,  $k_l = 5 \text{ cm}^2/\text{MeV}$  et  $T = 300 \text{ K}$ )

W(rad/s)	0	$10^1$	$10^2$	$10^3$	$10^{3.2}$
Sb1(cm/s)	190,94	190,94	190,94	190,94	190,94
Sb2(cm/s)	1135	1135	1135	1135	1135
Hop(cm)	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120
D(cm <sup>2</sup> /s)	30,586	30,586	30,586	30,586	30,586

La technique de détermination de l'épaisseur optimum de la base, s'appuie pour cette fois-ci sur la représentation à la figure 3 des profils, en fonction de l'épaisseur (H) de la base, des expressions des vitesses de recombinaison des porteurs minoritaires de charge en face arrière **Sb1** et **Sb2** pour des valeurs de fréquences comprises entre  $10^4 \text{ rad/s} < \omega < 10^6 \text{ rad/s}$ .

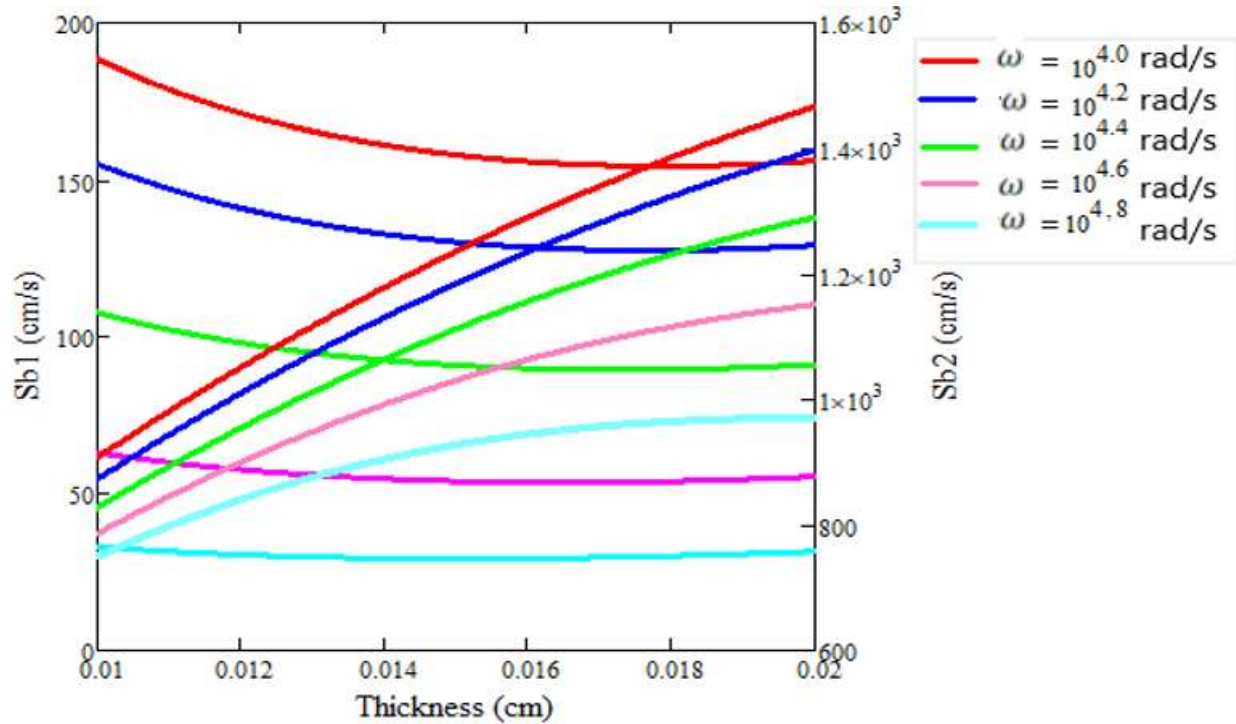


Figure 3 : Sb1 (cm/s) et Sb2 (cm/s) en fonction de l'épaisseur de la base pour des valeurs de fréquences comprises entre  $10^4 \text{ rad/s} < \omega < 10^6 \text{ rad/s}$  ( $\phi_p = 100 \text{ MeV}$ ,  $kl = 5 \text{ cm}^2/\text{MeV}$  et  $T = 300 \text{ K}$ )

Pour une valeur donnée de la fréquence de modulation ( $\omega$ ), la projection sur l'axe des abscisses de l'intersection des courbes des expressions de **Sb1** et **Sb2** correspond à la valeur de l'épaisseur optimum. L'ensemble des valeurs de  $H_{opt}$  correspondant à différentes valeurs de la fréquence ( $\omega$ ) de modulation sont données dans le tableau 2.

Tableau 2 :  $H_{opt}$  en fonction de la fréquence ( $\omega$ ) de modulation ( $\phi_p = 100 \text{ MeV}$ ,  $kl = 5 \text{ cm}^2/\text{MeV}$  et  $T = 300 \text{ K}$ )

W(rad/s)	$10^4$	$10^{4.2}$	$10^{4.4}$	$10^{4.6}$	$10^{4.8}$
Sb1(cm/s)	154,47	128,62	92,455	57,751	33,029
Sb2(cm/s)	1372,4	1243,1	1062,3	888,76	765,14
Hopt(cm)	0,01772	0,01618	0,01402	0,0118	0,01032
D(cm <sup>2</sup> /s)	28,478	25,619	20,751	14,89	9,768

Les variations observées avec la fréquence de modulation confirment les résultats obtenus en régime dynamique fréquentiel [28, 31]. La technique de détermination de l'épaisseur optimum de la base, s'appuie pour cette fois-ci sur la représentation à la figure 4 des profils, en fonction de l'épaisseur (H) de la base, des expressions des vitesses de recombinaison des porteurs minoritaires de charge en face arrière **Sb1** et **Sb2** pour des valeurs de températures données.

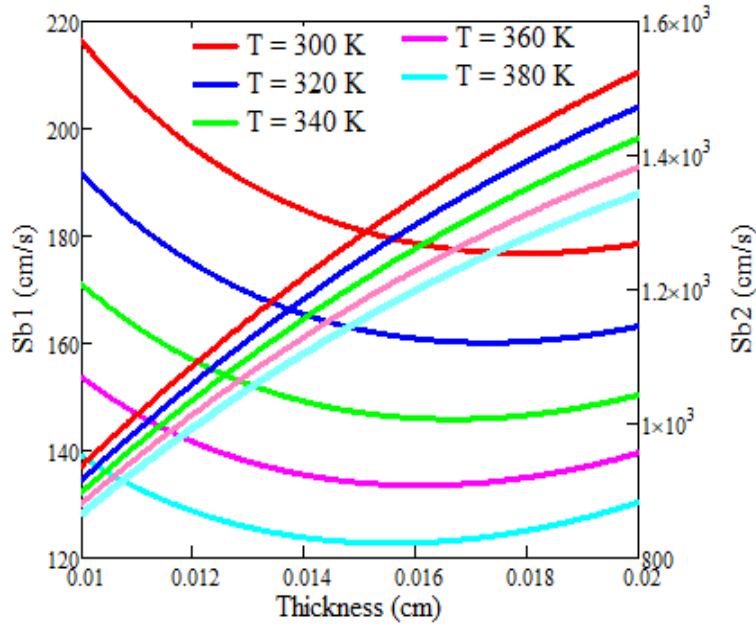


Figure 4 : Sb1 (cm/s) et Sb2 (cm/s) en fonction de l'épaisseur de la base pour des valeurs de températures :  $\omega = 10^3$  rad/s,  $kl = 5 \text{ cm}^2/\text{MeV}$  et  $\phi p = 100 \text{ MeV}$

Pour une valeur donnée de la température, la projection sur l'axe des abscisses de l'intersection des courbes des expressions de Sb1 et Sb2 correspond à la valeur de l'épaisseur optimum. L'ensemble des valeurs de  $H_{opt}$  correspondant à différentes valeurs de la température (T) sont données dans le tableau 3.

Tableau 3 :  $H_{opt}$  en fonction de la température ( $\omega = 10^3$  rad/s,  $kl = 5 \text{ cm}^2/\text{MeV}$  et  $\phi p = 100 \text{ MeV}$ )

T (K)	300	320	340	360	380
Sb1(cm/s)	180,44	166,64	154,21	144,05	134,86
Sb2(cm/s)	1286,6	1173,1	1073,7	992,41	918,87
Hop(cm)	0,01508	0,01378	0,01260	0,01166	0,0108
D(cm <sup>2</sup> /s)	30,573	28,351	26,383	24,630	23,061

La technique de détermination de l'épaisseur optimum de la base, s'appuie pour cette fois-ci sur la représentation à la figure 5 des profils, en fonction de l'épaisseur (H) de la base, des expressions des vitesses de recombinaison des porteurs minoritaires de charge en face arrière Sb1 et Sb2 pour de valeurs de températures données.

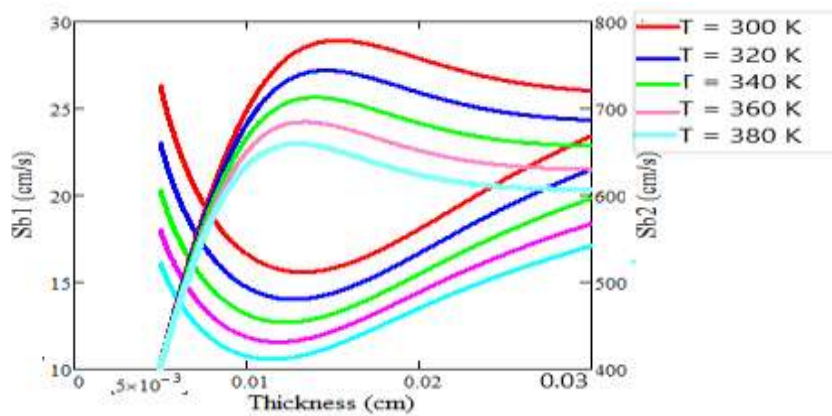


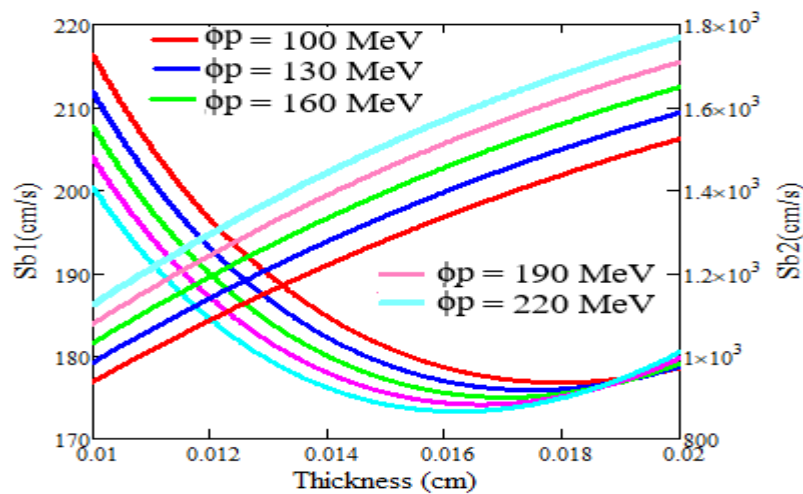
Figure 5 : Sb1 (cm/s) et Sb2 (cm/s) en fonction de l'épaisseur de la base pour des valeurs de la température :  $\omega = 10^5$  rad/s,  $kl = 5 \text{ cm}^2/\text{MeV}$  et  $\phi p = 100 \text{ MeV}$

Pour une valeur donnée de la température, la projection sur l'axe des abscisses de l'intersection des courbes des expressions de **Sb1** et **Sb2** correspond à la valeur de l'épaisseur optimum. L'ensemble des valeurs de  $H_{opt}$  correspondant à différentes valeurs de la température (T) sont données dans le tableau 4.

**Tableau 4 :  $H_{opt}$  en fonction de la température ( $\omega = 10^5$  rad/s,  $kl = 5$  cm<sup>2</sup>/MeV et  $\phi_p = 100$  MeV)**

T (K)	300	320	340	360	380
Sb1(cm/s)	19,608	17,886	16,518	15,362	14,191
Sb2(cm/s)	592,16	557,72	530,36	507,23	483,82
H <sub>opt</sub> (cm)	0,00748	0,00718	0,00682	0,00652	0,00592
D(cm <sup>2</sup> /s)	6,117	5,585	5,127	4,730	4,382

La technique de détermination de l'épaisseur optimum de la base, s'appuie pour cette fois-ci sur la représentation à la figure 6 des profils, en fonction de l'épaisseur (H) de la base, des expressions des vitesses de recombinaison des porteurs minoritaires de charge en face arrière **Sb1** et **Sb2** pour différentes valeurs d'irradiation.



**Figure 6 :  $Sb1$  (cm/s) et  $Sb2$  (cm/s) en fonction de l'épaisseur de la base pour des valeurs de  $\phi_p$  ( $\omega = 10^3$  rad/s,  $kl = 5$  cm<sup>2</sup>/MeV et  $T = 300$  K)**

Pour une valeur donnée de l'irradiation, la projection sur l'axe des abscisses de l'intersection des courbes des expressions de **Sb1** et **Sb2** correspond à la valeur de l'épaisseur optimum. L'ensemble des valeurs de  $H_{opt}$  correspondant à différentes valeurs de l'irradiation ( $\phi_p$ ) sont données dans le tableau 5.

**Tableau 5 :  $H_{opt}$  en fonction de l'irradiation  $\phi_p$  ( $\omega = 10^3$  rad/s,  $kl = 5$  cm<sup>2</sup>/MeV et  $T = 300$  K)**

$\phi_p$ (MeV)	100	130	160	190	220
Sb1(cm/s)	188,44	189,13	189,85	190,33	191,12
Sb2(cm/s)	1168,9	1182,6	1197,1	1206,6	1222,4
H <sub>opt</sub> (cm)	0,01329	0,01236	0,01172	0,01138	0,01102
D(cm <sup>2</sup> /s)	30,573	28,979	27,543	26,242	25,059

La technique de détermination de l'épaisseur optimum de la base, s'appuie pour cette fois-ci sur la représentation à la figure 7 des profils, en fonction de l'épaisseur (H) de la base, des expressions des vitesses de recombinaison des porteurs minoritaires de charge en face arrière **Sb1** et **Sb2** pour différentes valeurs d'irradiation.

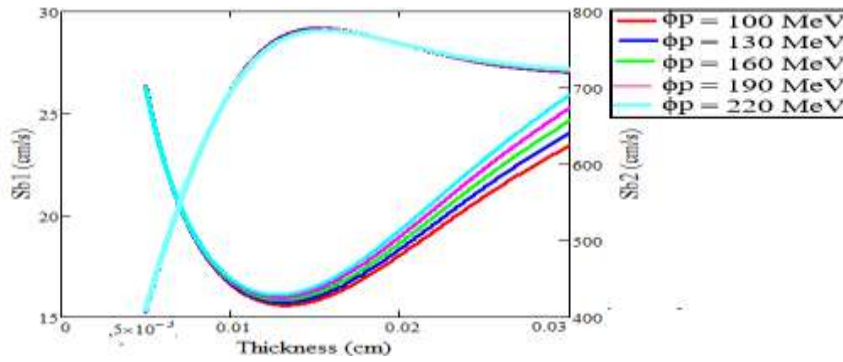


Figure 7 : Sb1 (cm/s) et Sb2 (cm/s) en fonction de l'épaisseur de la base pour des valeurs de  $\phi_p$  ( $\omega = 10^5$  rad/s,  $kl = 5 \text{ cm}^2/\text{MeV}$  et  $T = 300 \text{ K}$ )

Pour une valeur donnée de l'irradiation, la projection sur l'axe des abscisses de l'intersection des courbes des expressions de **Sb1** et **Sb2** correspond a la valeur de l'épaisseur optimum. L'ensemble des valeurs de  $H_{opt}$  correspondant a différentes valeurs de l'irradiation ( $\phi_p$ ) sont données dans le tableau 6.

Tableau 6 :  $H_{opt}$  en fonction de l'irradiation  $\phi_p$  ( $\omega = 10^5$  rad/s,  $kl = 5 \text{ cm}^2/\text{MeV}$  et  $T = 300 \text{ K}$ )

$\Phi_p(\text{MeV})$	100	130	160	190	220
Sb1(cm/s)	20,725	20,725	20,725	20,725	20,725
Sb2(cm/s)	552,32	552,32	552,32	552,32	552,32
$H_{opt}(\text{cm})$	0,00694	0,00694	0,00694	0,00694	0,00694
$D(\text{cm}^2/\text{s})$	6,117	6,104	6,089	6,074	6,058

La technique de détermination de l'épaisseur optimum de la base, s'appuie pour cette fois-ci sur la représentation a la figure 8 des profils, en fonction de l'épaisseur (H) de la base, des expressions des vitesses de recombinaison des porteurs minoritaires de charge en face arriere **Sb1** et **Sb2** pour différentes valeurs du coefficient de dommage (kl).

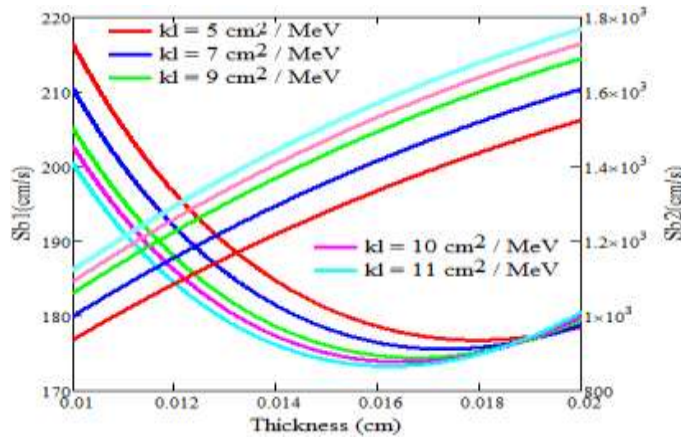


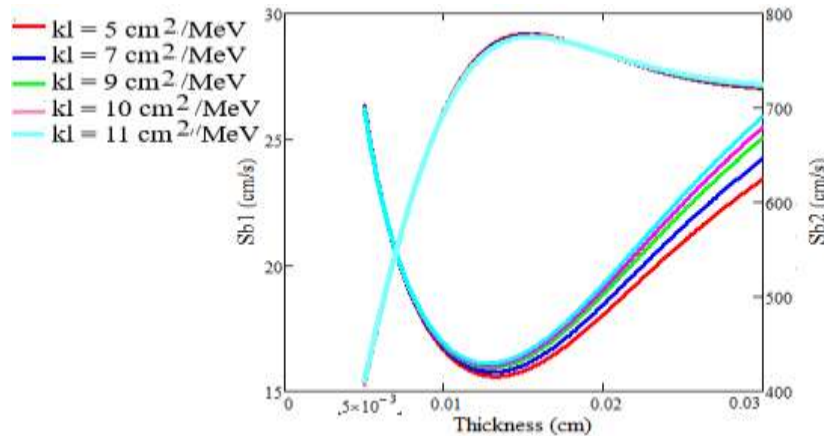
Figure 8 : Sb1 (cm/s) et Sb2 (cm/s) en fonction de l'épaisseur de la base pour des valeurs de  $kl$  ( $\omega = 10^3$  rad/s,  $\phi_p = 100 \text{ MeV}$  et  $T = 300 \text{ K}$ )

Pour une valeur donnée du coefficient de dommage, la projection sur l'axe des abscisses de l'intersection des courbes des expressions de **Sb1** et **Sb2** correspond a la valeur de l'épaisseur optimum. L'ensemble des valeurs de  $H_{opt}$  correspondant a différentes valeurs du coefficient de dommage ( $kl$ ) sont données dans le tableau 7.

**Tableau 7 :Hopt en fonction du coefficient de dommage ( $\omega = 10^3$  rad/s,  $\phi_p = 100$  MeV et  $T = 300$  K)**

Kl(cm <sup>2</sup> /MeV)	5	7	9	10	11
Sb1(cm/s)	188,23	188,86	189,56	190,00	190,65
Sb2(cm/s)	1164,6	1177,3	1191,1	1200,00	1213,00
Hop(cm)	0,01328	0,01264	0,01200	0,01156	0,01108
D(cm <sup>2</sup> /s)	30,573	28,482	26,662	25,836	25,059

La technique de determination de l'epaisseur optimum de la base, s'appuie pour cette fois-ci sur la representation a la figure 9 des profils, en fonction de l'epaisseur (H) de la base, des expressions des vitesses de recombinaison des porteurs minoritaires de charge en face arriere **Sb1** et **Sb2** pour differentes valeurs du coefficient de dommage (kl).

**Figure 9 : Sb1 (cm/s) et Sb2 (cm/s) en fonction de l'epaisseur de la base pour des valeurs de kl ( $\omega = 10^5$  rad/s,  $\phi_p = 100$  MeV et  $T = 300$  K)**

Pour une valeur donnee du coefficient de dommage, la projection sur l'axe des abscisses de l'intersection des courbes des expressions de **Sb1** et **Sb2** correspond a la valeur de l'epaisseur optimum. L'ensemble des valeurs de  $H_{opt}$  correspondant a differentes valeurs du coefficient de dommage (kl) sont donnees dans le tableau 8.

**Tableau 8 :Hopt en fonction du coefficient de dommage ( $\omega = 10^5$  rad/s,  $\phi_p = 100$  MeV et  $T = 300$  K)**

Kl(cm <sup>2</sup> /MeV)	5	7	9	10	11
Sb1(cm/s)	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
Sb2(cm/s)	549,32	549,32	549,32	549,32	549,32
Hop(cm)	0,00692	0,00692	0,00692	0,00692	0,00692
D(cm <sup>2</sup> /s)	6,117	6,099	6,079	6,069	6,058

Les variations observees avec la frequence de modulation confirment les resultats obtenus en regime dynamique frequentiel [29, 32,45].L'influence de la temperature sur l'epaisseur optimale est coherente avec les etudes sur la dependance thermique des parametres de transport [27].Les effets de l'irradiation (kl,  $\Phi_p$ ) sur la reduction de la longueur de diffusion et du coefficient de diffusion sont en accord avec les travaux sur la degradation sous particules energetiques [44-49, 57,58].

### Conclusion:-

Cette etude a permis de determiner et d'analyser les vitesses de recombinaison a la jonction et en face arriere d'une photopile bifaciale au silicium soumise simultanement a une irradiation, a une temperature donnee et a une excitation en regime dynamique frequentiel sous eclairage polychromatique. L'approche adoptee repose sur la resolution de l'equation de continuite des porteurs minoritaires et l'exploitation des conditions aux limites aux interfaces du dispositif. Les resultats obtenus mettent clairement en evidence le role determinant de la recombinaison en face arriere dans le fonctionnement de la photopile. En effet, la face arriere constitue une zone critique ou les porteurs minoritaires peuvent se recombinaison avant d'etre collectes, ce qui entraine une reduction du photocourant genere. Une vitesse de recombinaison elevee en face arriere accentue les pertes de porteurs et degrade

les performances du dispositif. Par conséquent, la maîtrise des propriétés de recombinaison à cette interface constitue un facteur essentiel pour l'optimisation des performances des photopiles bifaciales. L'étude montre également que la fréquence de modulation de l'éclairage exerce une influence dominante sur les vitesses de recombinaison. Lorsque la fréquence augmente, la durée de vie effective des porteurs minoritaires diminue en raison de la nature dynamique du transport, ce qui modifie leur longueur de diffusion et leur probabilité de recombinaison aux interfaces. Cette dépendance fréquentielle confirme l'importance du régime dynamique fréquentiel pour la caractérisation des mécanismes de recombinaison dans les photopiles. Par ailleurs, les résultats révèlent une influence couplée des paramètres d'irradiation, notamment le coefficient de dommage  $k_l$ , le flux de particules  $\Phi_p$  et la température  $T$ . L'irradiation introduit des défauts cristallins qui agissent comme des centres de recombinaison, réduisant ainsi la durée de vie des porteurs minoritaires. La température, quant à elle, modifie les propriétés de transport des porteurs, notamment leur mobilité et leur coefficient de diffusion. L'effet combiné de ces paramètres entraîne une modification significative des vitesses de recombinaison et du comportement global de la photopile. Enfin, la méthode graphique basée sur l'égalité des vitesses de recombinaison à la jonction et en face arrière ( $S_{b1} = S_{b2}$ ) s'est révélée être une méthode efficace et fiable pour l'analyse des mécanismes de recombinaison dans la photopile. Cette approche permet d'identifier les conditions de fonctionnement optimales et de caractériser avec précision l'influence des paramètres physiques et environnementaux sur les performances du dispositif. Ainsi, cette étude contribue à une meilleure compréhension des phénomènes de recombinaison dans les photopiles bifaciales au silicium en régime dynamique fréquentiel et fournit des outils d'analyse utiles pour l'optimisation de leurs performances, en particulier dans des environnements soumis à des irradiations et à des conditions thermiques variables.

### 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. A. Cuevas, A. Luque, and J. M. Ruiz, A, (1980). n+/p/n+ double-sided solar cell for optimal static concentration, in Proc. 14<sup>th</sup> IEEE Photov. Spec. Conf., San Diego, pp.76-81.
3. 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](https://doi.org/10.1007/978-94-009-9840-7_25)
4. Hüber, A., Aberle, A.G. and Hezel, R. (2001) 20% Efficient Bifacial Silicon Solar Cells. Munich 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1796-1798.
5. 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).
6. Konstantinos Misiakos and Dimitris Tsamakis, Electron and Hole Mobilities in Lightly Doped Silicon. Appl. Phys. Lett. 1994, 64(15), 2007-2009. <https://doi.org/10.1063/1.111721>
7. O. Diasse, R. S. Sam, H. L. Diallo, M. Ndiaye, N. Thiam, S. Mbodji and G. Sissoko, 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. International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS), 2012, 2278/6856:18-23
8. Demesmaecker, 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](https://doi.org/10.1007/978-94-011-3622-8_17)
9. Wöhler, F., et al. (2024). Quantifying native and cut edge recombination of silicon solar cells. Solar Energy Materials and Solar Cells, 261, 112567.
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. H.L. Diallo, A. Seïdou. Maïga, A. Wereme and G. Sissoko, New Approach of Both Junction and Back Surface Recombination Velocities in a 3D Modelling Study of a Polycrystalline Silicon Solar Cell. The European Physical Journal Applied Physics, 2008, 42, 203-211. <http://dx.doi.org/10.1051/epjap:2008085>
12. Lin, Y., et al. (2025). The effect of thickness and surface recombination velocity on silicon solar cells. Universe, 6(3), 33.
13. Masse Samba Diop , Hamet Yoro Ba , Ndeye Thiam , Ibrahima Diatta , Youssou Traore , Mamadou Lamine Ba , El Hadji Sow , Oulymata Mballo , Gregoire Sissoko, Surface Recombination Concept as Applied to

- Determinate Silicon Solar Cell Base Optimum Thickness with Doping Level Effect World Journal of Condensed Matter Physics, 2019, 9, 102-111 <https://www.scirp.org/journal/wjcmp>
14. Segal Diagne, Ousmane Sow, Gora Diop, Richard Mane, Ibrahima Diatta, Djiby Ndiongue, Youssou Traore, Lemrabott Habiboullah Mamadou Wade and Gregoire Sissoko, Optimization of silicon solar cell base thickness, while illuminated by a long wavelength monochromatic light: influence of both Lorentz law and Umclapp process. International Journal of Advanced Research, 2022, 10(08), 133-143.
  15. Abdouli, N., et al. (2023). Numerical and experimental study of surface recombination velocities and base width effect in multicrystalline silicon solar cells. Crystals, 13(3), 425. <https://doi.org/10.3390/cryst13030425>
  16. M.M.S.Dede, M.L. Ba, M.A. Ba, M. Ndiaye, S. Gueye, E.H. Sow, I. Diatta, M.S. Diop, M. Wade and G. Sissoko, Back Surface Recombination Velocity Dependent of Absorption Coefficient as Applied to Determine Base Optimum Thickness of an n<sup>+</sup>/p/p<sup>+</sup> Silicon Solar Cell. Energy and Power Engineering, 2020, 12, 445-458.
  17. Iliasse Fagnane Diouf, Ousmane Sow, Gora Diop, Malick Ndiaye, Ibrahima Diatta, Khady Loum, Moustapha Thiame, Mamadou Wade, Gregoire Sissoko. Optimization of the base thickness of a silicon solar cell with multi-vertical junctions connected in series, through dynamic expressions of the recombination velocity on the back side. Journal of Scientific and Engineering Research (JSERBR). <http://www.jsaer.com>, Volume 9, Issue 10 pp: 10-20, 2022.
  18. Ba. M.L., Thiam, N., Thiame, M., Traore, Y., Diop, M.S., Ba, M., Sarr, C.T., Wade, M. and Sissoko, G. (2019). Base Thickness Optimization of a (n<sup>+</sup>-p-p<sup>+</sup>) Silicon Solar Cell in Static Mode under Irradiation of Charged Particles. Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 11, 173-185. <https://doi.org/10.4236/jemaa.2019.1110012>
  19. 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)
  20. Ohshima, T., T. Sumita, M. Imaizumi, S. Kawakita, K. Shimazaki, S. Kuwajima, A. Ohi, And H. Itoh (2005). Evaluation of the Electrical Characteristics of III-V Compounds Solar Cells Irradiated with Protons at Low Temperatures. Proceedings of the 31<sup>st</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference: 806
  21. Kraner, H. W., Radiation damage in silicon detectors, 2<sup>nd</sup> Pisa Meeting on Advanced Detectors, Grosseto, Italy, June 3-7 1983.
  22. Goo-Hwan Shin and Kwangsun Ryu 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>
  23. 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.
  24. 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
  25. 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>
  26. Ibrahima Tall, Boureima Seibou, Mohamed Abderrahim Ould El Moujtaba, Amadou Diao, Mamadou Wade, Gregoire Sissoko (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>).
  27. Kabou, F., et al. (2020). AC back surface recombination in N<sup>+</sup>-P-P<sup>+</sup> silicon solar cell: Effect of temperature. International Journal of Advanced Research, 8(10), 105–113. <https://doi.org/10.21474/ijar01/11273>
  28. 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>
  29. Ndiaye, E.H., Sahin, G, Dieng, M., Thiam, A, Diallo, H.L., Ndiaye, M. and Sissoko, G. (2015) Study of the Intrinsic Recombination Velocity at the Junction of Silicon Solar under Frequency Modulation and Irradiation. Journal of Applied Mathematics and Physics, 3, 1522-1535. <https://doi.org/10.4236/jamp.2015.311177>
  30. Ly Diallo, H., Wade, M., Ly, I., NDiaye, M., Dieng, B., Lemrabott, O.H., Maïga, A.S. and Sissoko. G. (2012). 1D Modeling of a Bifacial Silicon Solar Cell under Frequency Modulation, Monochromatic Illumination: Determination of the Equivalent Electrical Circuit Related to the Surface Recombination Velocity. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 4, 1672-1676. <http://www.maxwell.org>

31. Denise, K., Mamadou, L.B., Mamour, A.B., Gora, D., El Hadj, S., Oulimata, M. and Gregoire, S. (2020) AC Back Surface Recombination in  $n^+ - p - p^+$  Silicon Solar Cell: Effect of Temperature. International Journal of advanced Research (IJAR), 8, 140-151. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/11273>
32. 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.
33. Diao, A. , Thiam, N. , Zoungrana, M. , Sahin, G. , Ndiaye, M. and Sissoko, G. (2014) Diffusion Coefficient in Silicon Solar Cell with Applied Magnetic Field and under Frequency: Electric Equivalent Circuits. World Journal of Condensed Matter Physics, 4, 84-92. doi: 10.4236/wjcmp.2014.42013.
34. Diao, Z., et al. (2023). Spectral response and quantum efficiency of bifacial silicon solar cells under monochromatic illumination. American Journal of Materials Science and Engineering, 11(2), 1–9. <http://pubs.sciepub.com/ajmse/12/2/2>
35. 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.
36. Fall, M. , Gaye, I. , Diarisso, D. , Diop, G. , Loum, K. , Diop, N. , Sy, K. , Ndiaye, M. and Sissoko, G. (2021). AC Back Surface Recombination Velocity in  $n^+ - p - p^+$  Silicon Solar Cell under Monochromatic Light and Temperature. Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 13, 67-81. doi: 10.4236/jemaa.2021.135005.
37. 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>
38. ChihHsin Wang and ArnostNeugroschel (1991). Minority-carrier lifetime and surface recombination velocity measurement by frequency-domain photoluminescence. IEEE transactions on electron devices, vol.38, no. 9, pp2169-2180.
39. 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>
40. O.Diasse. A. Diao, I. Ly, M.S. Diouf. I. Diatta. R.Mane. Y. Traore and G.Sissoko, Back Surface Recombination Velocity Modeling in White Biased Silicon Solar Cell under Steady State. Journal of Modern Physics, 2018, 9, 189-201.
41. Rose, B.H. and Weaver, H.T. (1983) Determination of Effective Surface Recombination Velocity and Minority-Carrier Lifetime in High-Efficiency Si Solar Cells. Journal of Applied Physics, 54, 238-247. <https://doi.org/10.1063/1.331693>
42. Gora Diop, Richard Mane, Ibrahim Diatta, Khady Loum, Sega Gueye, Moustapha Thiame, Ousmane Sow, Mamadou Wade, Gregoire Sissoko. Optimization of the base thickness of an ( $n^+/p/p^+$ ) bifacial silicon solar cell illuminated from the back side, using short-wavelength light: Resonance Effect on the diffusion coefficient in temperature under applied magnetic field. Journal of chemical, biological and physical sciences, www.jcbcs.org, Volume 13, Issue 1, pp: 038 – 052, 2022.
43. Ba. M.L., Thiam, N., Thiame, M., Traore, Y., Diop, M.S., Ba, M., Sarr, C.T., Wade, M. and Sissoko, G. (2019). Base Thickness Optimization of a ( $n^+ - p - p^+$ ) Silicon Solar Cell in Static Mode under Irradiation of Charged Particles. Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 11, 173-185. <https://doi.org/10.4236/jemaa.2019.1110012>
44. Nam, L.Q., Rodot, M., Ghannam, M., Cppye, J. and de Schepper, P.J. (1992) Solar Cells with 15.6% Efficiency on Multicrystalline Silicone, Using Impurity Gettering, back Surface Field and Emitter Passivation. International Journal of Solar Energy, 11, 273-279. <https://doi.org/10.1080/01425919208909745>
45. Ohshima, T., T. Sumita, M. Imaizumi, S. Kawakita, K. Shimazaki, S. Kuwajima, A. Ohi, And H. Itoh (2005). Evaluation of the Electrical Characteristics of III-V Compounds Solar Cells Irradiated with Protons at Low Temperatures. Proceedings of the 31<sup>st</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference: 806
46. Kraner, H. W., Radiation damage in silicon detectors, 2<sup>nd</sup> Pisa Meeting on Advanced Detectors, Grosetto, Italy, June 3-7 1983.
47. Goo-Hwan Shin and Kwangsun Ryu 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>

48. 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.
49. Wise, J.F. (1970) Vertical Junction Hardened Solar Cell. U.S. Patent 3, 690-953.
50. Ayvazian, G.E., Kirakosyan, G.H. and Minasyan, G.A. (2004) Characteristics of Solar Cells with Vertical p-n Junction. *Proceedings of 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Paris, 7-11 June 2004, 117-119
51. Cao, Y., Yang, D., Si, M., Shi, H., & Xue, D. (2018). Model for large magneto resistance effect in p-n junctions. *Applied Physics Express*, 11(6), 061304. doi :10.7567/apex.11.061304
52. 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 Resistance Serie 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>
53. 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
54. 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
55. 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
56. 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.
57. 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>
58. Ndeye Madeleine Diop, Boureima Seibou, Mamadou Wade, Marcel Sitor Diouf, Ibrahima Ly, Hawa Ly Diallo, Gregoire Sissoko (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).
59. Mouhamadou Mousliou Diallo, Seni Tamba, Boureima Seibou, Mohamed Lemine Ould Cheikh, Ibrahima Diatta, El Hadji Ndiaye, Youssou Traore, Cheikh Tidiane Sarr, Gregoire Sissoko (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
60. 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>
61. Rosenzweig, W. (1962) Diffusion Length Measurement by Mean of Ionization Radiation. *The Bell System Technical Journal*, 41, 1573-1588. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1962.tb03995.x>
62. S. Gupta, P. Ahmed and S. Garg, (1988). A Method for the Determination of the Material parameters D, L, S and  $\alpha$  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).
63. Richard Mane, Ibrahima Ly, Mamadou Wade, Ibrahima Datta, Marcel S. Douf, Youssou Traore, Mor Ndiaye, Seni Tamba, Gregoire Sissoko (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>
64. 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>
65. Diao, A. , Thiam, N. , Zougrana, M. , Sahin, G. , Ndiaye, M. and Sissoko, G. (2014) Diffusion Coefficient in Silicon Solar Cell with Applied Magnetic Field and under Frequency: Electric Equivalent Circuits. *World Journal of Condensed Matter Physics*, 4, 84-92. doi: 10.4236/wjcmp.2014.42013.

66. Sissoko, G., Nanema, E., Correa, A., Biteye, P.M., Adj, M. and Ndiaye, A. L (1998). Silicon Solar cell recombination parameters determination using the illuminated I-V characteristic. Renewable Energy, Elsevier Science Ltd, 0960-1481/#. Vol-3, pp.1848–1851.
67. M.Diop, H. Ba, N. Thiam, I. Diatta, Y. Traore, M. Ba, E. Sow, O. Mballo and G.Sissoko, Surface Recombination Concept as Applied to Determinate Silicon Solar Cell Base Optimum Thickness with Doping Level Effect. World Journal of Condensed Matter Physics, 2019, 9, 102-111.
68. F.M. Ndiaye, M.L. Ba, M.A. Ba, G. Diop, I. Diatta, E.H. Sow, O. Mballo and G.Sissoko (2020). Lamella Silicon Optimum Width Determination under Temperature. International Journal of Advanced Research, 2020, 8, 1409-1419.
69. Thiaw, C., Ba, M., Ba, A.M., Diop, G., Diatta, I., Ndiaye, M. and Sissoko, G. (2020) n<sup>+</sup>-p-p<sup>+</sup> Silicon Solar Cell Base Optimum Thickness Determination under Magnetic Field. Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 12, 103-113. <https://doi.org/10.4236/jemaa.2020.127009>
70. Teya, M. , Sow, O. , Loum, K. , Diatta, I. , Diop, G. , Traore, Y. , Wade, M. and Sissoko, G. (2023) Determination of the Base Optimum Thickness of Back Illuminated (n<sup>+</sup>/p/p<sup>+</sup>) Bifacial Silicon Solar Cell, by Help of Diffusion Coefficient at Resonance Frequency. Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 15, 13-24. doi: 10.4236/jemaa.2023.152002.
71. Diop, G. , Sow, O. , Thiame, M. , Mane, R. , Diatta, I. , Loum, K. , Gueye, S. , Wade, M. and Sissoko, G. (2022). Diffusion Coefficient at Double Resonances in Frequency and Temperature, Applied to (n<sup>+</sup>/p/p<sup>+</sup>) Silicon Solar Cell Base Thickness Optimization under Long Wavelength Illumination. Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 14, 89-103. doi: 10.4236/jemaa.2022.148008.
72. KhadyLoum, Ousmane Sow, Gora Diop, Richard Mane, IbrahimaDiatta, MalickNdiaye,SegaGueye, MoustaphaThiame, Mamadou Wade, GregoireSissoko. AC Back Surface Recombination Velocity as Applied to Optimize the Base Thickness under Temperature of an (n<sup>+</sup>-p-p<sup>+</sup>) Bifacial Silicon Solar Cell, Back Illuminated by a Light with Long Wavelength. World Journal of Condensed Matter Physics, <http://www.scirp.org/journal/wjcmp>, Volume13, pp: 40 - 56, 2023.
73. Ousmane Sow, Sega Gueye, Richard Mane, Gora Diop, IbrahimaDiatta, KhadyLoum, MoustaphaThiame, Mamadou Wade, GregoireSissoko. (n<sup>+</sup>/p/p<sup>+</sup>) 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.
74. Gora Diop, Richard Mane,IbrahimaDiatta, KhadyLoum, Sega Gueye, MoustaphaThiame, Ousmane Sow, Mamadou Wade, GregoireSissoko. Optimization of the base thickness of an (n<sup>+</sup>/p/p<sup>+</sup>) bifacial silicon solar cell illuminated from the back side, using short-wavelength light: Resonance Effect on the diffusion coefficient in temperature under applied magnetic field. Journal of chemical, biological and physical sciences, [www.jcbcs.org](http://www.jcbcs.org), Volume 13, Issue 1, pp: 038 – 052, 2022.
75. Khady Loum, Gora Diop, IbrahimaDiatta, Richard Mane, Youssou Traore, Sega Gueye, Ousmane Sow, GregoireSissoko. Derivative of AC recombination velocity of minority carriers as applied to the determination of the optimum base thickness of an (n<sup>+</sup>/p/p<sup>+</sup>) silicon solar cell. Journal of Scientific and Engineering Research (JSERBR). <http://www.jsaer.com>, Volume 10, Issue 3 pp: 1-10, 2023.
76. Matar Niane, Richard Mane, IbrahimaDiatta, Gora Diop, MoussaIbraNgom, MamadouYacine Ba, KhadyLoum, Sega Gueye, Youssou Traore, MoustaphaThiame, Ousmane Sow, Mamadou Wade, GregoireSissoko. AC back surface recombination, as applied to determine (p) base thickness of both conventional and vertical series junction (n<sup>+</sup>/p/p<sup>+</sup>) silicon solar cells under white illumination. Journal of chemical, biological and physical sciences, [www.jcbcs.org](http://www.jcbcs.org), Volume 13, Issue 2, pp: 152 – 163, 2023.
77. Khady Loum, Gora Diop, IbrahimaDiatta, Richard Mane, Malick Ndiaye, Youssou Traore, Sega Gueye, MoustaphaThiame, Ousmane Sow, Mamadou Wade, GregoireSissoko. Derivative of Ac back surface recombination velocity as applied to n<sup>+</sup> /p/p<sup>+</sup> silicon solar cell optimum base thickness determination: Effect of both temperature and frequency. Journal of chemical, biological and physical sciences, [www.jcbcs.org](http://www.jcbcs.org), Volume 13, Issue 2, pp: 139 – 151, 2023.
78. Khady Loum, Gora Diop, IbrahimaDiatta, Richard Mane, MoussaIbraNgom, Youssou Traore , Sega Gueye, MoustaphaThiame, Ousmane Sow, Mamadou Wade, GregoireSissoko. Optimization of the base thickness of the (N<sup>+</sup> /P/P<sup>+</sup>) silicon solar cell in steady state under polychromatic illumination: Influence of temperature and doping rate. Journal of chemical, biological and physical sciences, [www.jcbcs.org](http://www.jcbcs.org), Volume 13, Issue 2, pp: 164 – 175, 2023.