3.1 Introduction

Les caractéristiques courant–tension (I - V) en polarisation directe de la structure p^+nn^+ sont obtenues par résolution numérique des équations de transport. L'effet d'irradiation et de la température sur la caractéristique courant –tension seront présentées et analysée dans ce chapitre.

Nous allons étudier ces caractéristiques on utilisant des fonctions empiriques qui relient le courant avec la tension appliquée. Les paramètres définis dans ces fonctions seront utilisés pour étudier et expliquer le comportement de notre structure avant et après irradiation. Dans cette étude paramétrique, on a choisi trois fonctions.

La fonction standard donnée par Schokly (voir .sec.3.4.2), qu'on a trouvé valable seulement pour une diode non irradiée.

Pour une diode irradiée on travaillé sur deux fonctions :

- La première fonction, proposée par Beattie [30] a donné des résultat faibles. Elle est définie par la relation suivante : $I = I_0.[\exp(V/V_0)^2 - 1] + G.V$

-La deuxième fonction, proposée par Jones et Pherson [17] (voir.sec .3.4.2). Cette fonction a été adopté dan ce travail pour les résultats satisfaisantes qu'elle a donné.

On va commencer ce travail par la présentation des paramètres (concentration et dimension) qui décrivent la structure de la diode à étudier. Ensuite, la caractéristique courante – tension en polarisation directe des deux structures irradiée et non irradiée sont exposées. Dans une autre étape, on va analyser et expliquer le comportement de la caractéristique I-V par l'étude des paramètres qui définissent les fonctions approximatives choisie pour ce travail. On donne ensuite, les effets de la température sur la caractéristique I – V avec discussion. L'effet de la température pour les deux structures (irradiée et non irradiée) sera analysé par l'étude des paramètres des deux fonctions on calculant l'énergie d'activation à partir des courbes des paramètres extrais des fonctions données.

Nous finirons par une conclusion qui donne un résumé sur ce travail.

3.2 Paramètres de la structure étudiée

Dans ce travail nous utilisons une diode plus réelle d'une structure p^+nn^+ à base de silicium. L'épaisseur de la diode est de l'ordre de 300 µm avec une section d'une surface A= 1 cm^2. La région **n** avec une épaisseur importante est la zone active de la diode. Les deux régions $\mathbf{p}^+$ et $\mathbf{n}^+$ sont considérées comme des contacts Fig. (3.1). C'est une structure typique d'un détecteur de particules.

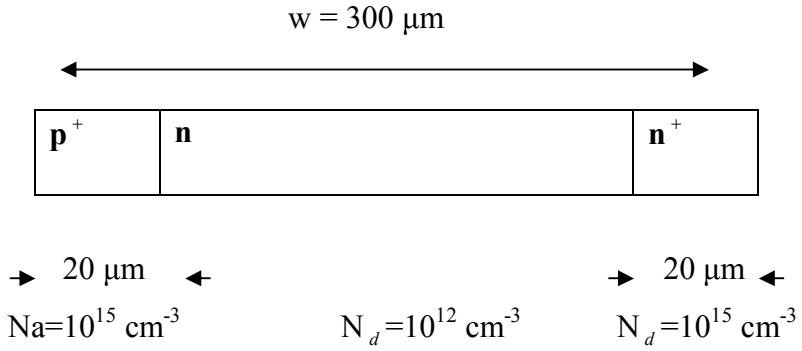

Fig. 3.1 : Schéma présentatif des paramètres de la structure p^+nn^+ étudiée.

Le profile de dopage des trois régions est présenté sur la figure (3.2). Le dopage de la région **n** est $N_d=10^{12}$ cm^{-3}. Le dopage des deux régions de contact $\mathbf{p}^+$ et $\mathbf{n}^+$ est respectivement $Na=10^{15}$ cm^{-3} , $N_d=10^{15}$ cm^{-3}.

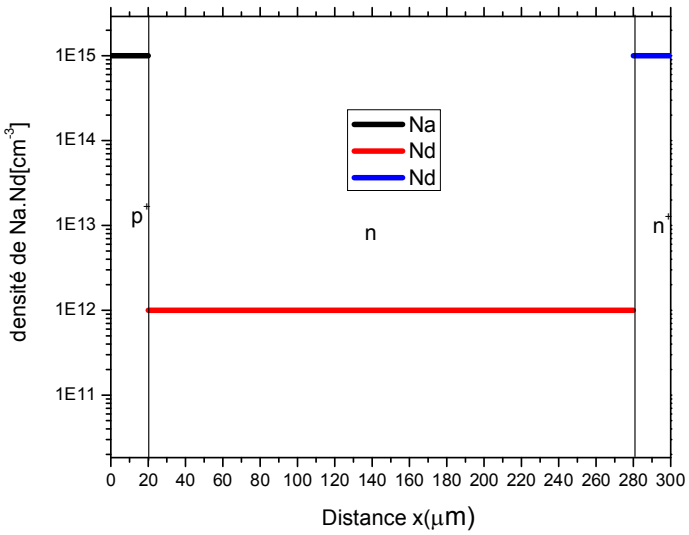

Fig. 3.2 : Profile de dopage de la jonction p^+nn^+ étudiée.

Les pièges considérés dans ce travail sont :les centres de génération - recombinaison données par la concentration Ngr (m^{-3}), les pièges profonds accepteur avec une concentration Nta(cm^{-3}) et les pièges profonds donneurs avec une concentration Ntd (cm^{-3}).

3.3 Rappel des caractéristiques courant – tension

En polarisation directe, le courant dans la diode de temps de vie (silicium non irradié) possède deux branches. Une branche d'une allure exponentielle qui s'étend sur quelques unités da la valeur de (KT/q), suivie d'une autre branche avec une allure linéaire due à la résistance série. Fig. (3.3.) courbe (0i).

Lors de l'utilisation de ces diodes comme des détecteurs de particules, on a observé que leurs caractéristiques changent dramatiquement sous l'effet de fortes irradiations. Les courbes (1i), (2i) et (4i) de la figure (3.3) des diodes irradiées montrent ce changement en comparaison avec la courbe (0i) de la diode non irradiée. On remarque qu'après une certaine valeur de fluence le courant devient ohmique pour des petites valeurs de la tension V_F et continue cette progression pour le reste des valeurs de la tension [17].

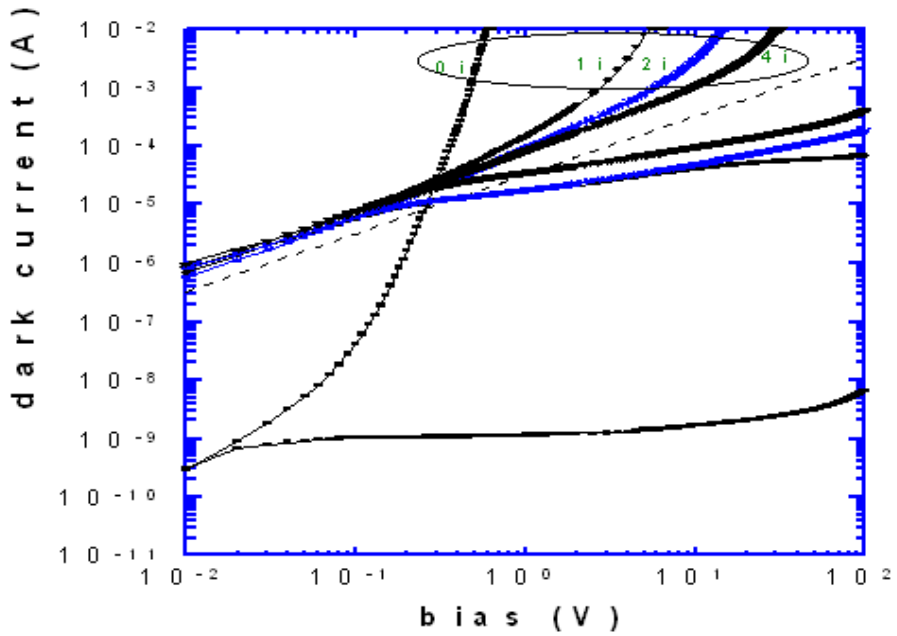

Fig.3.3: Courbe expérimentale de la caractéristique I-V d'une diodes $P^+N^-N^+$ à silicium irradié avec une densité de neutrons 0 (0i), 0.34 (1i), 0.83 (2i) et 2.50 (4i) × 10^{14} ncm^{-2}].Les courbes du courant direct sont indiqués par la lettre i . La résistivité maximale est présentée par une droite discontinue [17].

Le silicium non irradiée est un semiconducteur de temps de vie (défini par le paramètre de temps de vie $\tau_0 < \tau_d$ (τ_d temps de relaxation)). Les études théoriques et expérimentales ont permis de bien comprendre et expliquer le phénomène de transport dans les semi-conducteurs de temps de vie [18 , 19]. Si on considère le cas d'un semiconducteur pur (pas de centre de génération) le courant en polarisation direct a une allure exponentielle exprimée par la loi :

$$I = I_0.\{\ e^{\frac{eV}{KT}} - 1\ \} \tag{3.1}$$

Quand la tension V_F > KT/q, la relation (3.1) peu s'écrire sous la forme approximative :

$$I = I_0.e^{\frac{eV}{KT}} \tag{3.2}$$

Pour une diode réelle il y a deux types de courant en polarisation direct. Un courant de recombinaison du au centres g-r et un courant de diffusion. Pour cela une nouvelle relation reliant le courant I avec la tension direct V est donnée:

$$I = I_0.\{\ e^{\frac{eV}{\eta KT}} - 1\ \} \tag{3.3}$$

η = 1 pour une grande valeur de V (courant de diffusion).

η = 2 pour des petites valeurs de V (courant de recombinaison).

Un autre effet a été observé dans la caractéristique I - V d'une diode non irradiée en polarisation directe à haute tension. C'est l'effet de la résistance Série R_s . Le courant devient ohmique pour des grandes valeurs de V à cause de cette résistance. La relation (3.3) s'écrit de nouveau sous la forme :

$$I(A°) = I_0.\exp(\frac{V - R_s I}{V_0}) \tag{3.4}$$

3.4 Résultats de simulation

3.4.1 Effet d'irradiation sur la caractéristique I - V

L'effet d'irradiation est exprimé par la présence des centres de génération g-r dont la concentration est donnée par Ngr (cm^{-3}), des pièges profonds accepteurs et donneurs qui sont présentés par les concentration Nta et Ntd respectivement.

a) Effet des centres de génération g-r

La figure (3.4) montre la caractéristique I – V en polarisation directe et en présence des centres g-r seul (pas de pièges profonds). La concentration des centre g-r est considérée faible pour Ngr $<10^{15}$ cm^{-3} et forte pour Ngr $>10^{15}$ cm^{-3}.

- Pour des petites valeurs de la tension V le courant I_0 qui est un courant de fuite augmente proportionnellement avec la concentration des centres g-r. I_0 varie de 10^{-8} à 10^{-4} A pour une variation de Ngr entre 10^{10} et 10^{18} cm^{-3} .

-Pour des petites valeurs de la concentration g-r (10^{10} - 10^{14} cm^{-3}), la courbe I – V suit presque l'allure du courant d'une diode non irradiée. Elle est exponentielle pour V petite, puis elle devient ohmique quand la tension V augmente.

- Pour des valeurs larges de la concentration g-r (Ngr > $10^{15} cm^{-3}$) le courant devient de plus en plus ohmique. Les courbes I – V sont limitées par une ligne droite qui représente la valeur de la résistance série R_s.

L'existence d'une branche ohmique montre que le silicium qui est un semi-conducteur de temps de vie est devenu un semi-conducteur de relaxation après irradiation.

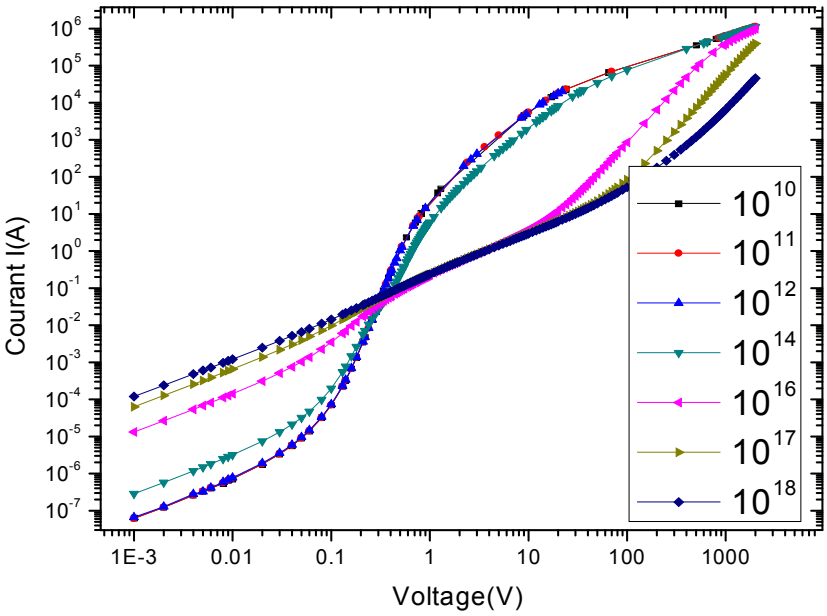

Fig. 3.4 : Caractéristique courant-tension direct en présence des centres Ngr seulement

La figure (3.5) montre la caractéristique I - V_F en polarisation directe, en présence des centres g-r d'une concentration Ngr = (10^{10} -10^{18}) cm^{-3} et des pièges accepteurs avec une concentration Nta =10^{14} cm^{-3}.

La région active de la structure est de type **n,** la création des pièges accepteurs va diminuer la concentration des porteurs libres (les électrons). De la figure (3.5) on peut donner les remarques suivantes :

- Les valeurs du courant de g-r pour des tensions faibles en présence des pièges ont diminué par rapport à celle de la structure en absence des accepteurs. Fig 3.5.a
- Le comportement de relaxation est observé au voisinage d'une concentration de 10^{16} des centres g-r en présence des pièges accepteurs au lieu de 10^{15} en absence des pièges.

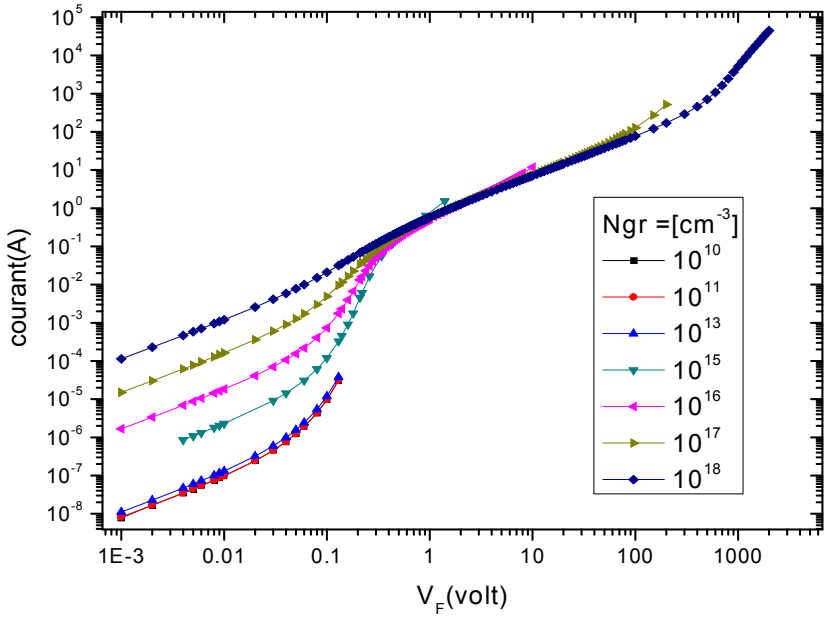

Fig. 3.5.a : Caractéristique (I-V) en présence des centres Ngr et des pièges accepteurs Nta = 10^{14} cm^{-3}.

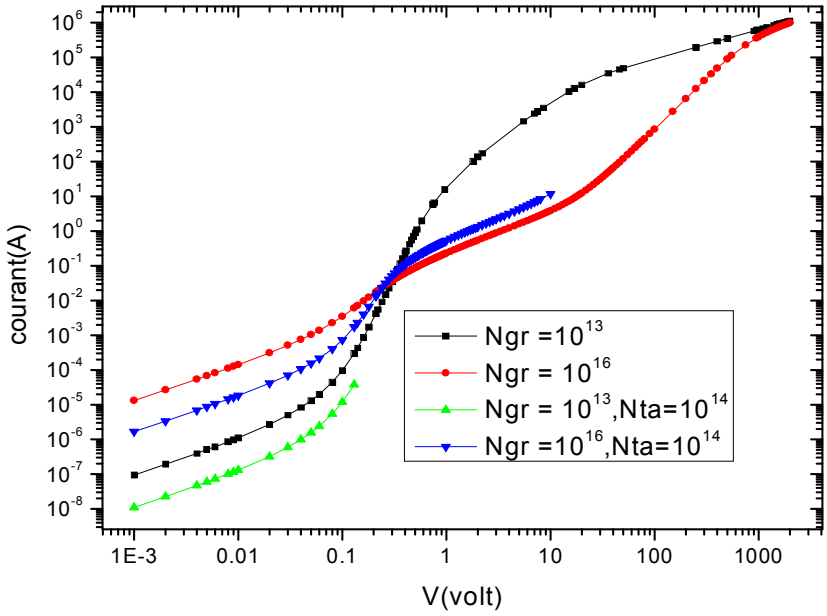

Fig. 3.5.b : Comparaison entre l'effet des centres Ngr en absence et en présence des pièges accepteurs.

Les courbes (I-V) présentant l'effet des centres de génération en présence des pièges donneurs sont tracées sur La figure (3.6). En comparaison avec les courbes (I-V) de la figure 3.4 les pièges donneurs n'on pas de grand effet sur le comportement du courant de génération.

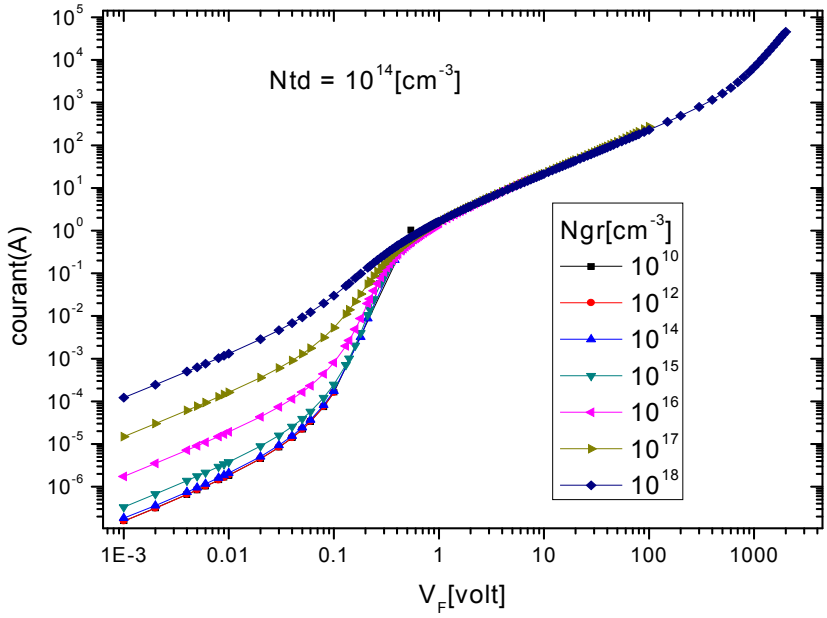

Fig. 3.6 : Caractéristique (I-V) en présence des centres Ngr et des pièges donneurs Ntd = $10^{14}\,cm^{-3}$.

b) Effet des pièges accepteurs

La courbe (I-V) est tracée pour différentes valeurs de la concentration des pièges accepteurs en présence d'une faible concentration des centres g-r. Ngr =10^{11} cm^{-3} .Fig. 3.7.

L'allure du courant est similaire à celle d'une diode conventionnelle. La valeur du courant reste constante pour une variation de la concentration des pièges accepteurs de 10^{10} à $10^{12}\,cm^{-3}$. Puis, elle commence à diminuer. La diminution du courant est due à la diminution des électrons qui sont piégés par les pièges profonds accepteurs.

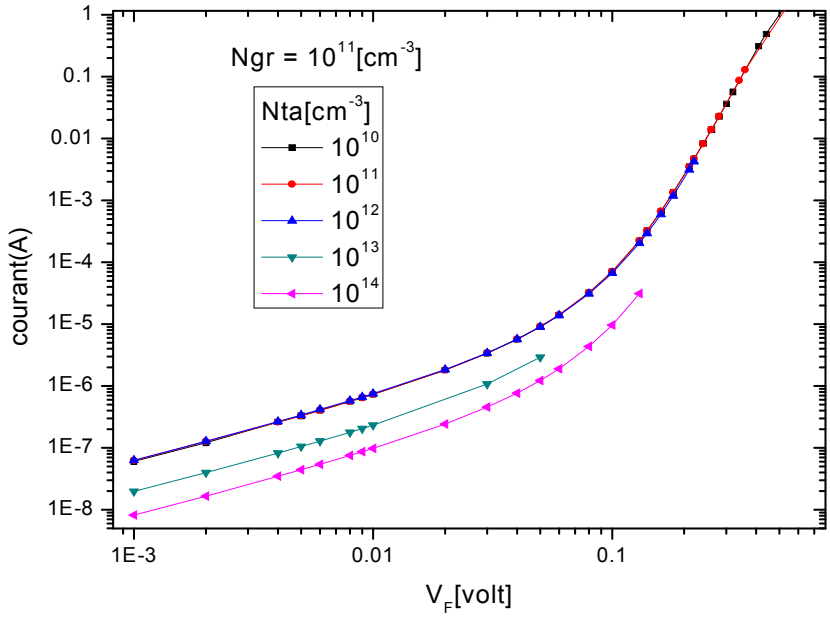

Fig. 3.7 : Caractéristique (I-V) en présence des pièges accepteurs pour une concentration faible des centres g-r . Ngr $=10^{11}\,cm^{-3}$.

Les courbes présentant l'effet des pièges accepteurs en présence d'une large concentration des centres g-r sur le courant I en polarisation direct sont présentées sur la figure (3.8).

On remarque que la valeur du courant diminue quand la concentration des pièges accepteurs augmente. A une valeur donnée de la concentration Nta, le courant augmente de nouveau. Ce comportement exprime l'inversion de type. Pour vérifier cette hypothèse on a tracé les concentration des porteurs de charge n(les électrons) ,p(les trous) pour différentes valeurs des pièges accepteurs sur la figure (3.9) . On peut donner les remarques suivantes :

La région active de la structure étudiée est de type **n** avec une concentration des électrons n= Nd $=10^{12}$ cm^{-3}.

-pour une concentration (Nta $=10^{11}cm^{-3}$) inférieur de la concentration Nd, ($n \rangle p$) le semi-conducteur est de type n.

- pour une concentration (Nta $=10^{14}cm^{-3}$) supérieur de la concentration Nd, ($n \langle p$) le semi-conducteur devient de type p.

- pour une concentration (Nta $=10^{12}cm^{-3}$) très proche de la concentration Nd, ($n \approx p$) le semi-conducteur devient de type intrinsèque. Ce point est dit : point d'inversion.

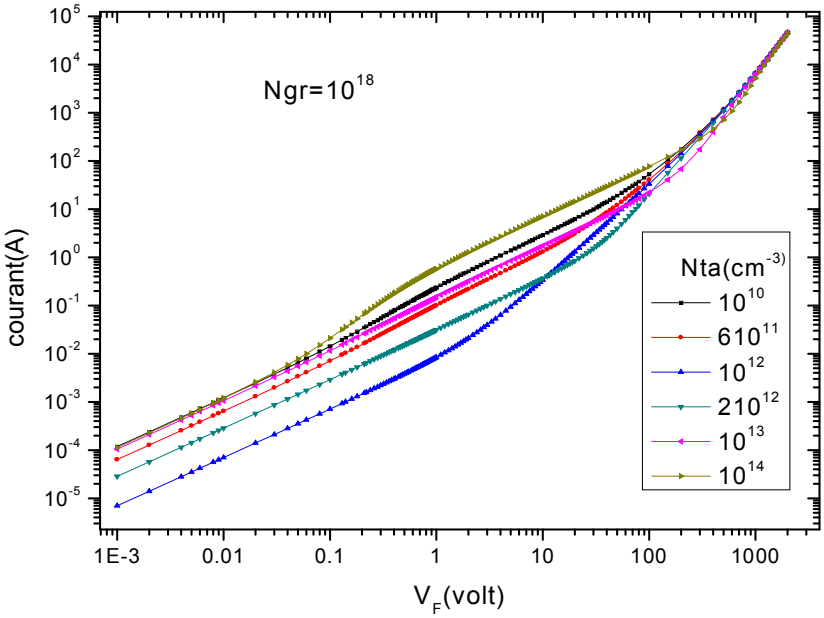

Fig. 3.8 : Caractéristique (I-V) en présence des pièges accepteurs pour une concentration large des centres g-r. Ngr =10^{18} cm^{-3}. La valeur du courant prend une valeur minimale pour une concentration des pièges accepteurs Nta = 10^{12} cm^{-3}.

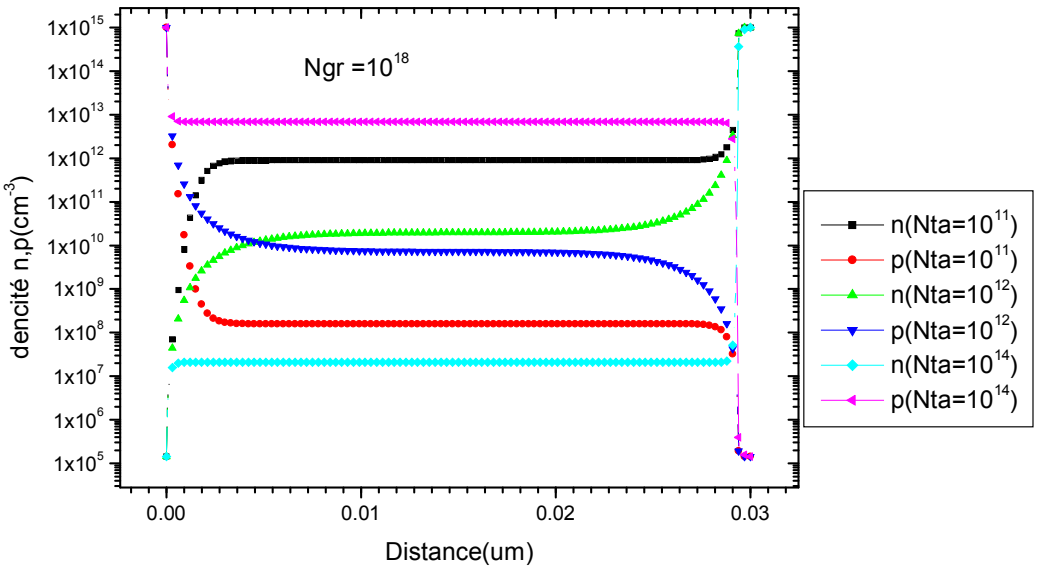

Fig. 3.9 : Variation de la densité des porteurs de charge en fonction des pièges accepteurs en présence d'une large concentration Ngr.

c) Effet des pièges donneurs

Les figures 3.10 et 3.11 présentent l'effet des pièges donneurs en présence de faible et large concentration des centres g-r respectivement. On peut remarquer que les pièges donneurs ont un effet négligeable sur la caractéristique I –V dans les deux cas. Cela est du à la nature de la structure de la diode étudiées qui est de type **n.**

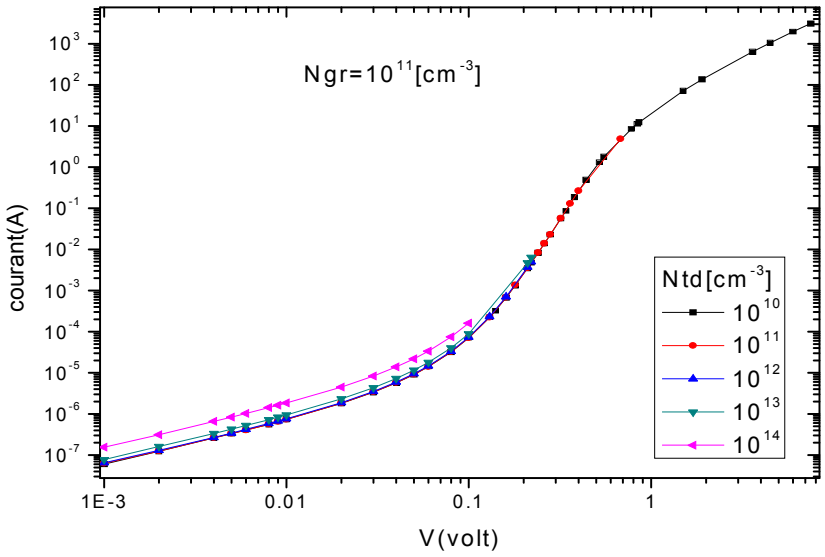

Fig. 3.10 : Caractéristique (I-V) en présence des pièges donneurs pour Ngr=10^{11} [cm^{-3}].

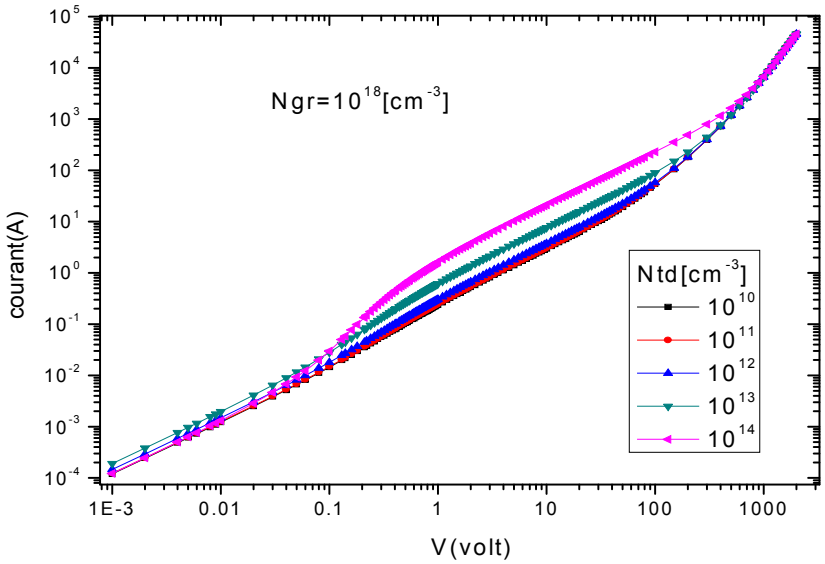

Fig. 3.11 : Caractéristique (I-V) en présence des pièges donneurs pour Ngr =10^{18} [cm^{-3}].

3.4.2 Paramétrisation des caractéristiques I - V d'une diode irradiée

Pour analyser la caractéristique courant – tension en polarisation direct on va étudier les paramètres qui décrivent les deux fonction empiriques F1 et F2 définies si dessus :

- La fonction F1

F1 est la fonction théorique standard qui décrit la caractéristique I-V_F d'une diode non irradiée [4,5]. F1 relie le courant I avec la tension directe appliquée V_F par la relation :

$$\text{F1} : \quad I(A°) = I_0.\exp(\frac{V - R_s I}{V_0}) \tag{3.1}$$

R_s : La résistance série

I_0 : Paramètre décrivant le facteur de l'échelle du courant de saturation.

V_0 : Paramètre décrivant le facteur de l'échelle du potentiel électrique. Il est donné par l'expression suivante :

$$V_0 = \frac{\eta KT}{q} \tag{3.1.a}$$

η : Facteur d'idéalité.

- La fonction F2

F2 est la fonction approximative qui décrit la caractéristique I-V d'une diode irradiée [10,12]. F2 relie le courant I avec la tension appliquée V_F par la relation :

$$I(A°) = G_0.V.Exp(\frac{V}{V_0}) \tag{3.2}$$

$G_0 = \frac{1}{R_0} = \frac{A}{\rho W}$: Paramètre décrivant la conductance.. A et W sont respectivement la surface et l'épaisseur de la diode.

V_0 : Paramètre décrivant le potentiel de la fonction approximative F2.

a) Etude des caractéristiques (I–V) d'une diode non irradié

Une diode non irradiée est définit par le paramètre de temps de vie $\tau_0 < \tau_d$ (τ_d temps de relaxation).Voir sec 1.6.1. Les études théoriques et expérimentales ont permis de bien comprendre et expliquer le phénomène de transport dans les semi-conducteurs de temps de vie [18 ,19].En polarisation directe le courant a une allure exponentielle qui suit la loi $I = I_0.e^{\frac{V}{V_0}}$ quand la tension V < KT/q suivie d'une partie linéaire due à la résistance série. Les résultats numériques présentés dans la figure (3.12) décrit bien ce comportement.

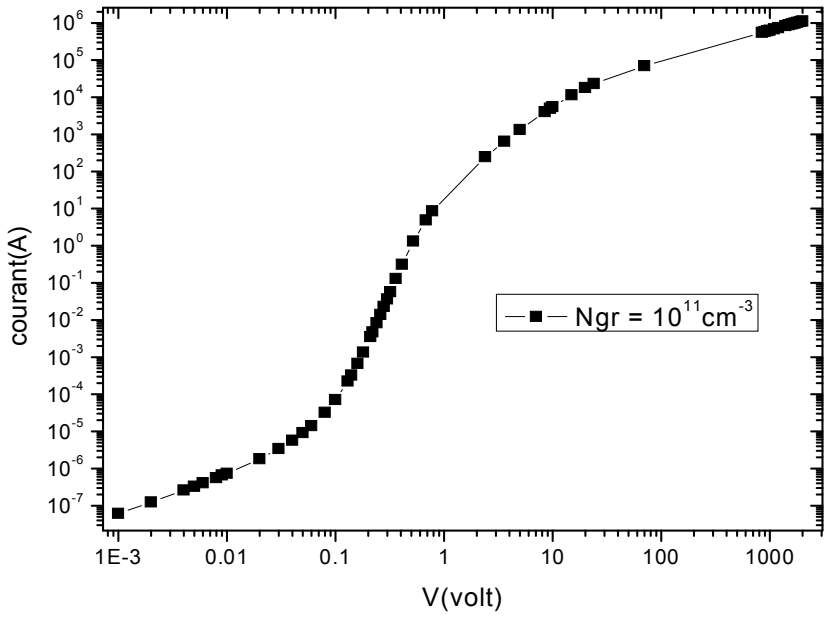

Fig. 3. 12 : Caractéristique I-V d'une diode de silicium à temps de vie (non irradiée).

Pour étudier les paramètres de la fonction F1 définie par la relation (3.1), la courbe I (V) est divisée sur deux intervalles du potentiel V.

1) pour V < 0.1 volt. On a observé que la courbe I-V suit la loi exponentielle :

$$I = I_0.\exp(\frac{V}{V_0}) \tag{3.3}$$

Les valeurs des paramètres I_0, V_0 sont calculées pour une valeur faible de Ngr = $10^{11}\,cm^{-3}$ à partir de la courbe I-V Fig.3.12. Les résultats de calcule donnent :

$I_0 \approx 1.0851\ 10^{-6}$

$V_0 \approx 0.0239$

Le paramètre d'idéalité η est calculé à partir de la relation (3.4.1.a) $\eta = 0.92$. Les calcules expérimentaux montre que η varie entre 1 et 2 [10,7].

La courbe I-V est tracer pour V varie de 0.001 à 0.1 (volt) avec le fitting de la fonction approximative définie par la relation (3.3). Fig. 3.13.

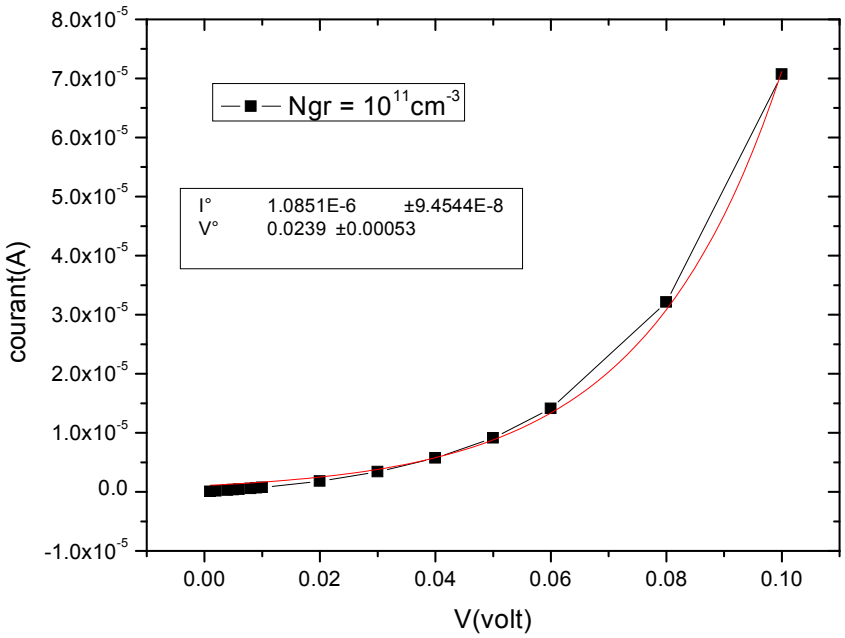

Fig. 3. 13 : Fitting de la courbe I-V pour V<0.1 (v) avec la fonction définie par la relation (3.3).

2) Pour V>>0.1 volt. La courbe du courant est ohmique, cela est du à l'effet de la résistance série R_s. La valeur de R_s est calculée en utilisant la fonction approximative :

$$I = R_s .V \qquad (3.4)$$

A partir de la courbe de la figure (3.14) on trouve : $R_s = 583.43008$

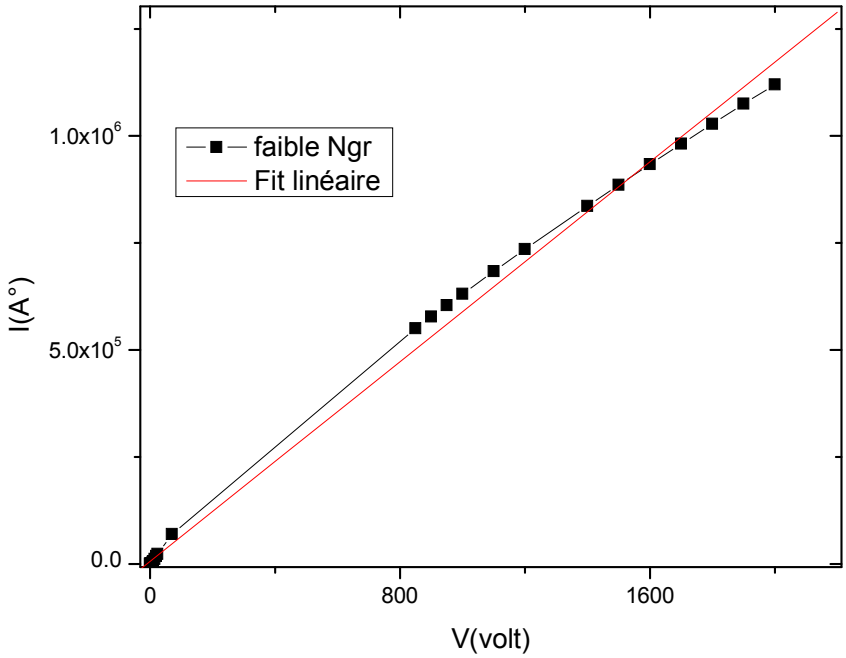

Fig. 3.14 : Fitting de la courbe I-V pour V>>0.1 (volt) avec la fonction définie par la relation (3.4).

Maintenant l'étude des paramètres de la courbe I (V) est faite avec la fonction approximative F1 sur tout l'intervalle de valeurs de V. Pour cela nous avons tracé la courbe V (I) (Fig. 3.15) pour faire le fitting nous avons écrit la fonction F1 sous la forme définie par la relation :

$$V = V_0 \ln(\frac{I}{I_0}) + I.R_s \qquad (3.5)$$

Les valeurs des paramètres I_0 , V_0 , R_s sont :

$I_0 \approx 1.6316\ 10^{-7}$

$V_0 \approx 0.01$

$R_s \approx 623.61662$

On remarque que les deux valeurs de la résistance série R_s calculées par les relations (3.4) et (3.5) respectivement sont comparables.

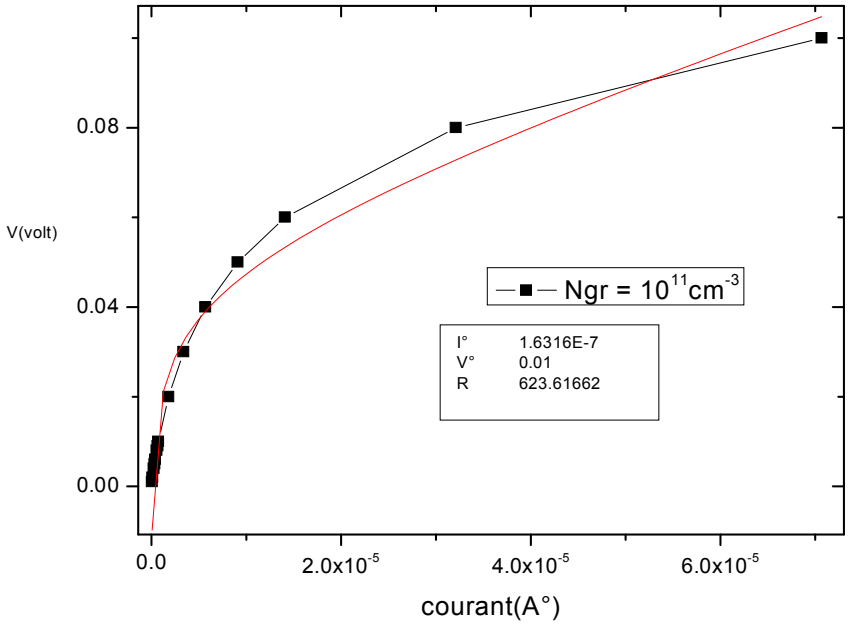

Fig. 3.15 : fitting de la courbe V (I) avec la fonction F1

b) Paramétrisation des caractéristiques (I–V) d'une diode en présence des centres g-r

Après irradiation le silicium devient un semiconducteur de relaxation. La fonction F1 utilisé dans l'étude du comportement du courant dans les semiconducteurs à temps de vie devient incapable de décrire cette caractéristique après irradiation. Une nouvelle fonction F2 (voir sec3.4.2) est proposée. Le fitting fait à partir de cette fonction approximative de la courbe (I- V) présenté dans la figure 3.16 pour une diode irradiée montre que la fonction F2 décrit bien la variation du courant avec la tension V en polarisation direct.

Les paramètres G et V° définis par la fonction F2 seront utilisés pour étudier et décrire l'effet d'irradiation sur le comportement électrique de la diode irradiée.

Sur la figure (3.16) la courbe I – V est tracée pour une valeur de Ngr = 10^{18} cm^{-3}, ensuite on a tracée la courbe de la fonction approximative F2. On remarque la correspondance entre les deux courbes.

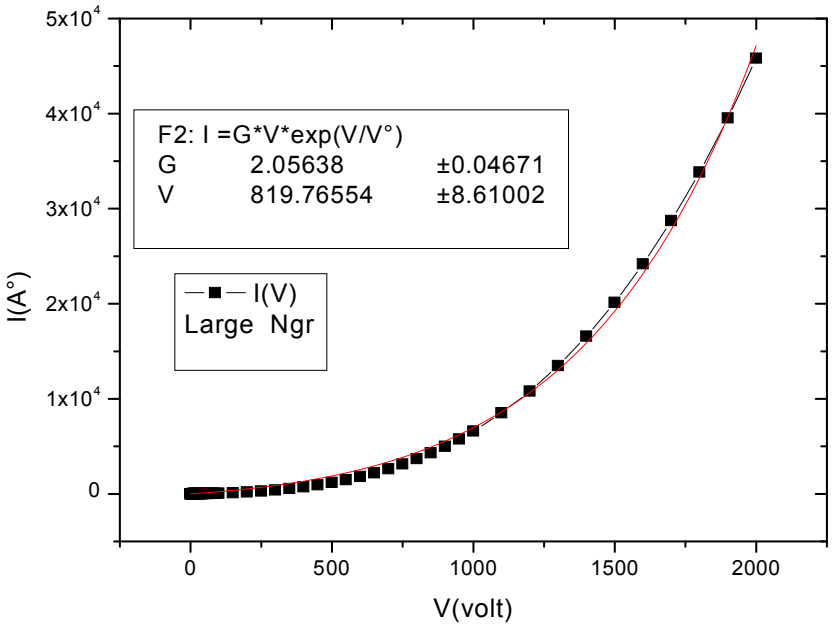

Fig. 3. 16 : Fitting de la caractéristique I-V en présence des centres de génération.

La caractéristique I-V change avec La variation des concentrations des centres Ngr (Fig.3.4). On remarque que les centres g-r on un grand effet sur le courant de génération I_0. Sa valeur varie de 10^{-8} (A°) pour Ngr = 10^{10} cm^{-3} à une valeur de 10^{-4} (A°) pour Ngr 10^{18} cm^{-3}. Soit une augmentation de 10000 fois.

L'analyse de la caractéristique I-V par la fonction F2 permet de définir les paramètres G et V° comme des fonctions de la variable Ngr (10^{16} - 10^{18}).

Les deux fonctions G(Ngr) et V_0(Ngr) sont tracées dans les figures(3.17) et (3.18)respectivement.

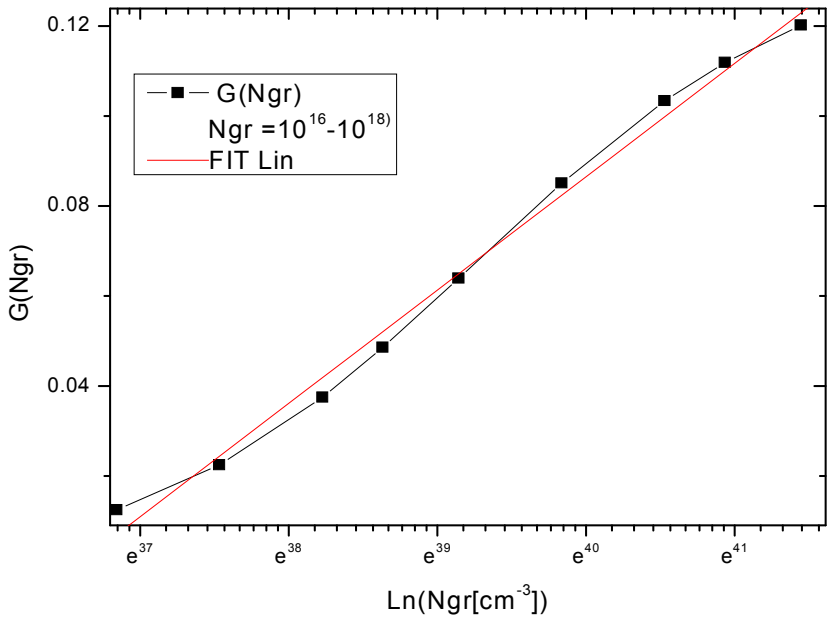

Fig. 3.17 : Fitting du paramètre G pour une concentration de Ngr (10^{16} à 10^{18}) cm^{-3}.

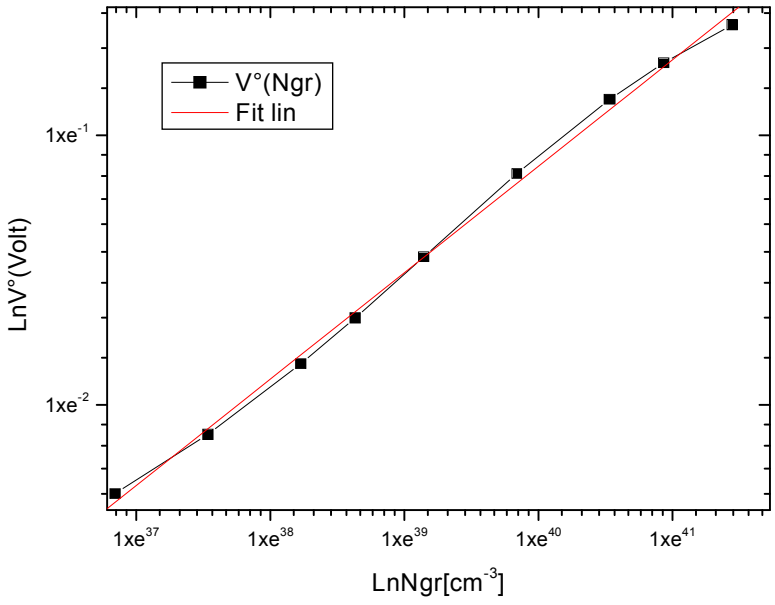

Fig. 3.18 : Fitting du paramètre V° pour une concentration de Ngr (10^{16} à 10^{18}) cm^{-3}.

L'étude de l'effet des centres de génération sur la caractéristique I – V en présence des pièges accepteurs par la fonction F2 montre que les paramètres G et V° qui définissent cette fonction varient linéairement avec la concentration des centres de génération . Les fonctions G(Ngr) et V°(Ngr) sont tracées dans les figures(3.19) et (3.20) respectivement et définies par les relations . Les fonctions G(Ngr) et V°(Ngr) suivent les lois donnés par les relations :

$$\mathbf{G(Ngr)} \quad \propto \quad \mathbf{A \ . \ Ngr} \qquad (3.6.G)$$

$\mathbf{A = 1.16143 \ . \ 10^{-19}}$

$$\mathbf{V°(Ngr)} \propto \mathbf{B \ . \ Ngr} \qquad (3.7.V°)$$

$\mathbf{B = 1.02202 \ . \ 10^{-19}}$

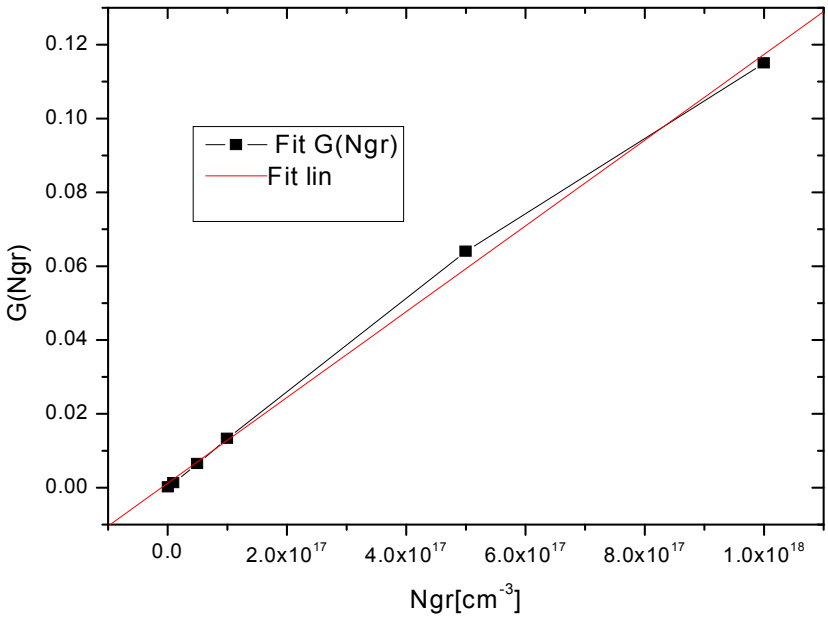

Fig . 3. 19 : Fitting du paramètre G pour une concentration de Ngr (10^{16} à 10^{18}) cm^{-3} en présence des pièges accepteurs Nta =10^{14} cm^{-3}.

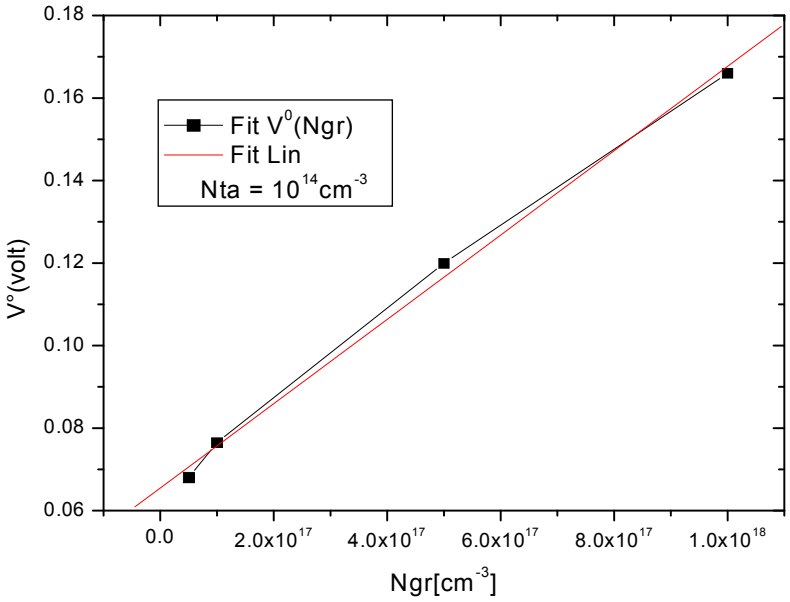

Fig . 3. 20 : Fitting du paramètre V° pour une concentration de Ngr (10^{16} à 10^{18}) cm^{-3} en présence des pièges accepteurs.

c) Etude de l'effet des pièges accepteurs

Les pièges profonds accepteurs sont plus actifs quand leurs niveaux énergétiques se trouvent plus proche de la bande de valence (au dessous du niveau de fermi). Quand un semiconducteur est irradié, il y a une grande probabilité de crier des pièges profonds accepteurs que de crier des pièges donneurs. Cette propriété crie dans un semiconducteur de type **n** une inversion et devient un semiconducteur de type **p** [27]. L'analyse de la courbe I - V avec les paramètres G et V° confirme qualitativement Les deux phénomènes précédents.

Sur la figure (3.8) des courbes de I - V sont tracées pour différentes valeurs de la concentration des pièges accepteurs Nta (10^{10} - 10^{14}) cm^{-3} à un niveau énergétique Ea = 0.46 eV. Le courant diminue avec l'augmentation des pièges accepteurs jusqu'à une valeur minimale qui correspond à une valeur de Nta = 10^{12} cm^{-3}, puis il commence à

augmenter. Ce comportement est expliqué par le phénomène de l'inversion de type du semiconducteur. Voir (sec 3.4.1.e).

Sur la figure (3.21) on a tracé la courbe G(Nta) qui donne les valeurs G en fonction de la concentration Nta des pièges accepteurs profonds pour un niveau énergétique Eta = 0.46 EV. La conductance définie par le paramètre G diminue avec l'augmentation de la concentration Nta des pièges accepteurs jusqu'à une valeur minimale ensuite elle augmente avec Nta. La diminution de la conductance s'explique par la diminution des porteurs majoritaires (les électrons) qui se recombinent avec les trous des pièges accepteurs criés dans le substrat irradié). Après une certaine valeur de Nta qui s'approche de la valeur du dopage Nd de notre diode, les porteurs minoritaires (les trous) deviennent majoritaires et le semiconducteur devient de type **p.** Le point critique qui sépare les deux régions s'appelle le point d'inversion.

On revenant a la section (3.4.1.e), on peut dire que la fonction G (Nta) qui donne la variation du paramètre G en fonction de la concentration des pièges accepteurs exprime qualitativement le phénomène d'inversion de type.

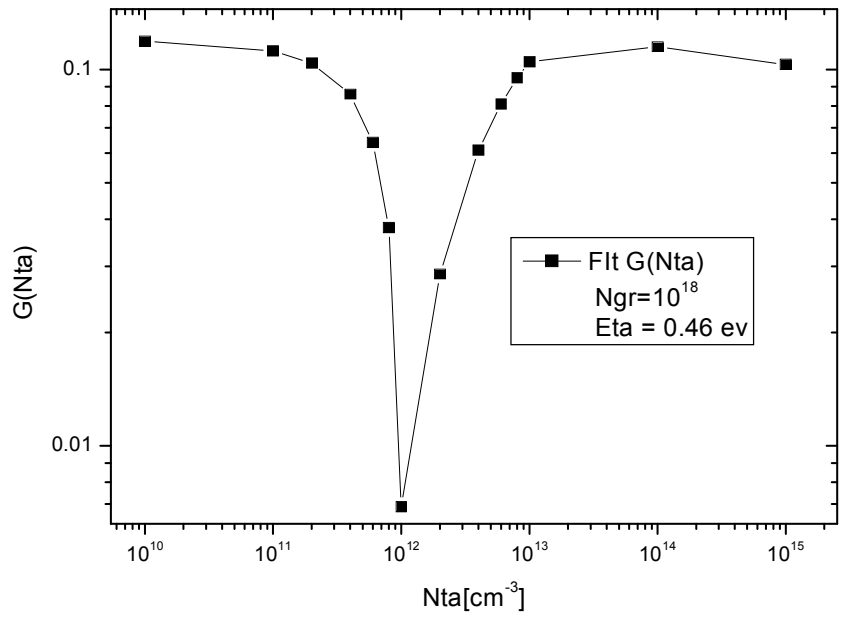

Fig. 3.21 : Fitting du paramètre G en fonction de la variation de la concentration des pièges accepteurs Nta cm^{-3}.

Les valeurs du paramètre G tracées comme une fonction de la concentration Nta pour différents niveaux de pièges accepteurs dans la bande interdite, montrent que le point d'inversion de type change avec le niveau Eta donné. Quand le niveau accepteur s'éloigne de la bande de valence, le point critique (point d'inversion de type) se déplace vers une grande valeur de la concentration des pièges accepteurs Nta. Fig. (3.22).

Le déplacement du point d'inversion vers des grandes valeurs de la concentration Nta des pièges accepteurs, s'explique par le fait que les pièges profonds dans la bande interdite jeu un rôle important comme des pièges accepteurs quand elles sont criée dans des niveaux plus proches de la bande de valence. Ces pièges commencent à perdre se rôle quand elle s'éloignent vers la bande de conduction. Cela s'explique par le fait que les pièges profonds accepteurs sont plus efficaces quand elles sont plus proches de la bande de valence.

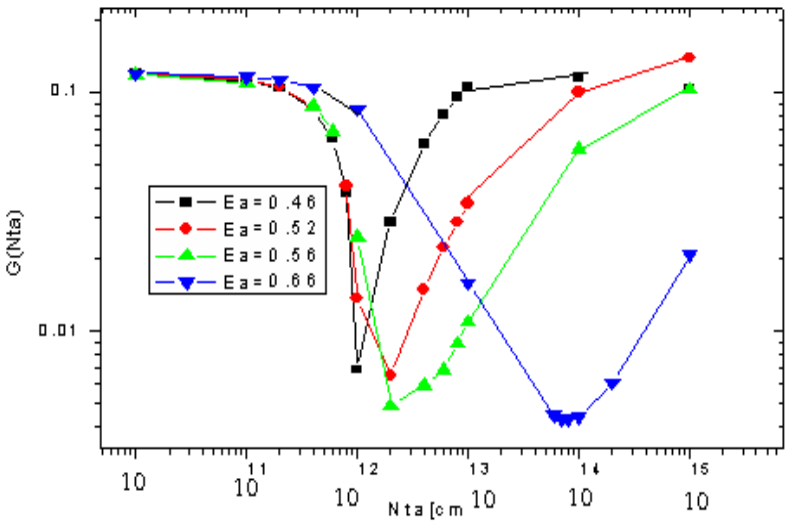

Fig . 3.22 La fonction G (Nta) tracée pour différentes valeurs du niveau de piège accepteur Eta.

3.4.3 Effet de la température sur la caractéristique I - V

Dans cette section on va donner et interpréter les courbes qui représentent la variation de la caractéristique (I-V) en présence des pièges comme des fonctions de la température.

a) Effet de la température en présence de faible g-r

La figure (3.23) présente Effet de la température sur la caractéristique (I-V) en présence de faible g-r (Ngr $=10^{11}\,cm^{-3}$). Les courbes I - V montre que :

- Pour des faibles tensions V, le courant varie proportionnellement avec la température. Ce courant est un courant de génération qui est sensible à la température. Dan ce cas on dit que l'effet de température domine sur l'effet de la tension.

- Quand la tension V devient suffisamment grande, les courbes I-V convergent vers un point commun. Le courant ne devient plus une fonction de la température .Ce courant est un courant de diffusion qui est du à l'application de la tension. On dit que la tension domine sur l'effet de la température à haute tension.

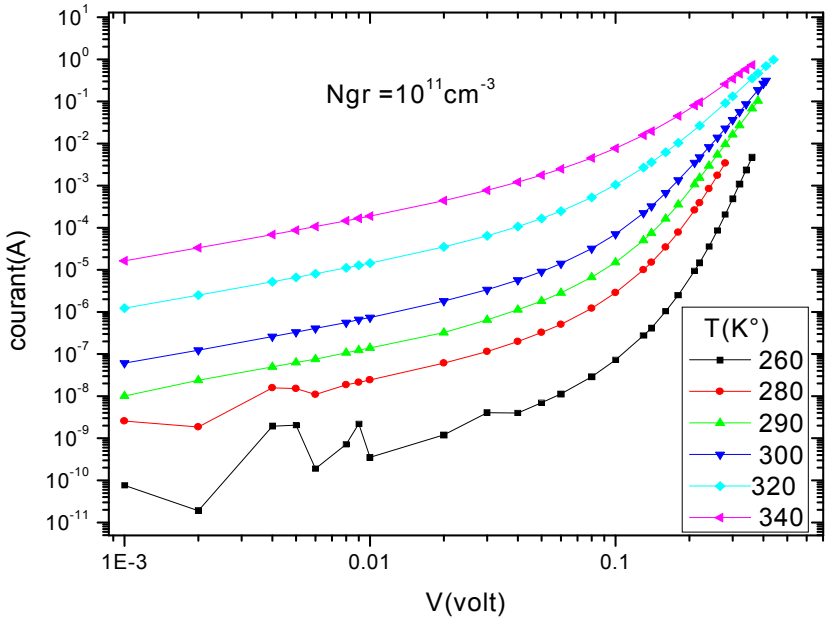

Fig. 3.23 : Effet de la température sur la caractéristique (I-V) en présence de faible g-r.

b) Effet de température en présence d'une large concentration g-r

L'effet de la température sur la caractéristique (I-V) en présence de large concentration des centres g-r (Ngr $=10^{18}\,cm^{-3}$) est présenté sur la figure (3.24). On peut remarquer que la courbe (I-V_F) augmente avec la température est devient de plus en plus ohmique.

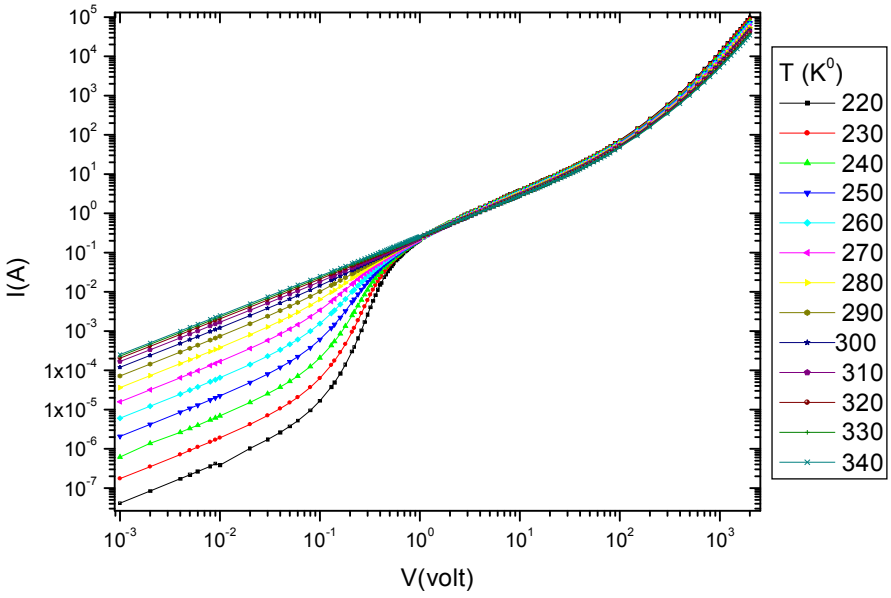

Fig. 3.24 : Effet de la température sur la caractéristique (I-V) en présence de large g-r (Ngr $=10^{18}\,cm^{-3}$).

c) Effet de la température en présence des pièges accepteurs et faibles g-r

La figure (3.25) montre la variation de la caractéristique courant – tension avec la température en présence de faible centre de génération – recombinaison et des piges accepteur. La valeur du courant varie proportionnellement avec la température.

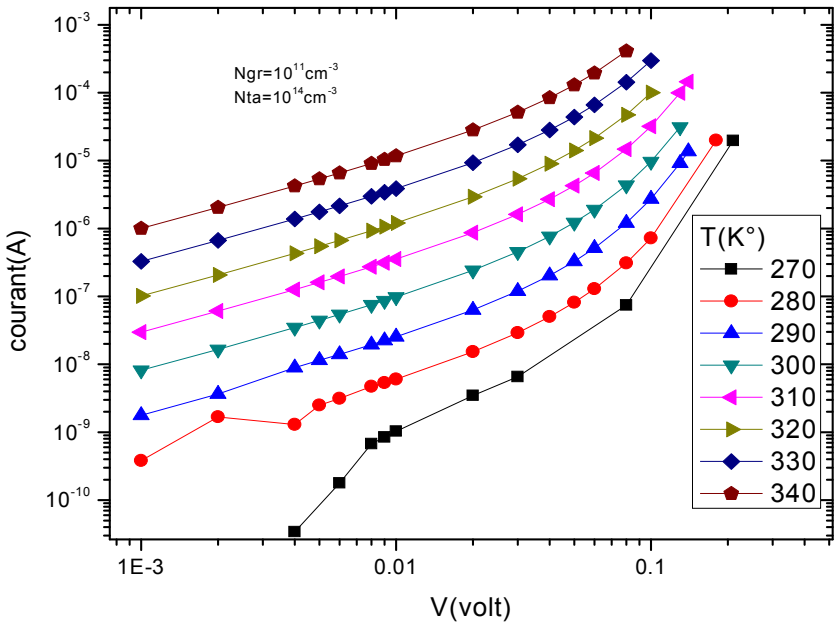

Fig. 3.25 : Effet de la température sur la caractéristique (I-V) en présence de faible g-r (Ngr $=10^{11}\,cm^{-3}$) et des pièges accepteurs (Nta = $10^{14}\,cm^{-3}$).

d) Effet de la température en présence de large g-r et des pièges accepteurs

Sur la figure 3.26 on a tracé l'effet de la température sur la caractéristique I-V d'une diode supposée irradiée. l'irradiation est représentée par la présence d'une large concentration des centres g-r Ngr = $10^{18}\ cm^{-3}$ est des pièges profonds accepteurs Nta =$10^{14}\ cm^{-3}$

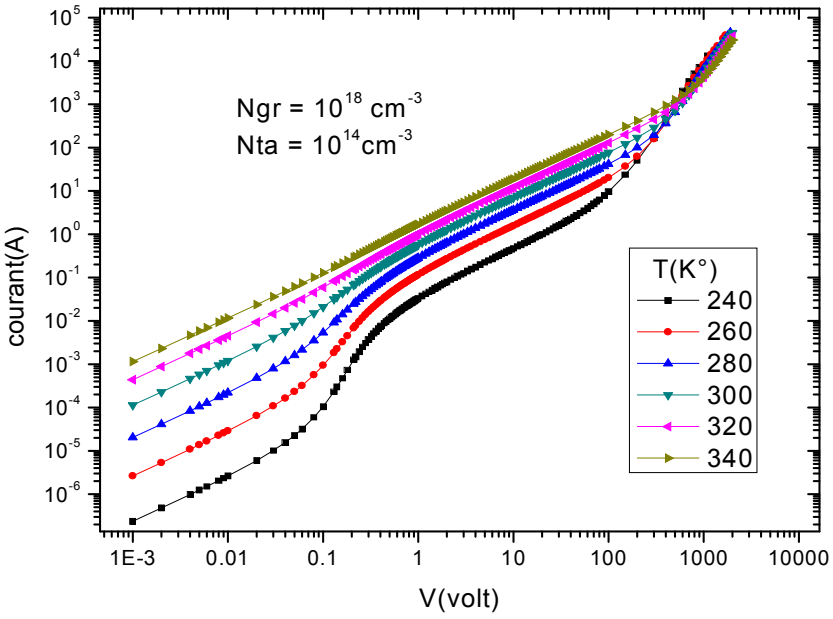

Fig. 3.26 : Effet de la température sur la caractéristique (I-V) en présence de large g-r (Ngr $=10^{18}\,cm^{-3}$) et des pièges accepteurs (Nta = $10^{14}\,cm^{-3}$).

3.4.4 Effet de la température sur les paramètres de la caractéristique I-V_F

Nous étudierons dans cette partie les paramètres des fonction F1 et F2 comme des variables de la température, on faisant le fitting des courbes I-V par la fonction approximative F1 pour une diode non irradiée et la fonction F2 pour une diode non irradiée, à différentes valeurs de la température T.

a) Effet de la température sur les paramètres de la caractéristique I-V_F d'une diode non irradiée

La température a un grand effet sur les performances du silicium en polarisation direct et inverse car les valeurs du courant de diffusion et le courant de recombinaison – génération dépendent beaucoup de la température [19].

L'analyse de l'effet de la température sur la caractéristique I-V d'une diode non irradiée présentée dans la figure (3.23) est faite par l'étude des paramètres I_0 , V_0 définis par la relation (3.4.3). Les courbes I° (T) et V_0 (T) sont présentées dans les figures (3.27) et

(3.28) respectivement et leurs valeurs sont ainsi déduites par le fiting da la fonction (3.4.3). Voir tableau (3.4).

$$\mathbf{I°\ (T)} \quad \propto \quad \mathbf{exp.\ (B\ .\ T)} \qquad (3.8\ .I°)$$

B = 0.16144

La figure (3.28) montre que le paramètre V° reste constant pour une valeur de T <290(K°) puis il varie linéairement selon la loi :

$$\mathbf{V_0(T)} \quad \propto \quad \mathbf{B\ .\ T} \qquad (3.8.V°)$$

B = 10^{-4}

La relation linéaire (3.8.V°) trouvée par le fitting et qui relie V_0 avec la température T, vérifie bien la relation linéaire $V_0(T)$ donnée par relation $V_0 = \frac{\eta KT}{q}$ = C(T).

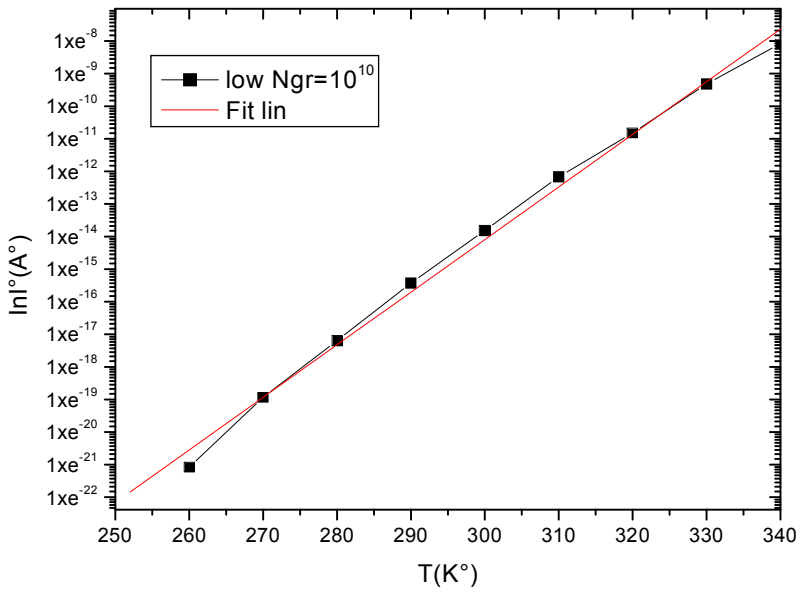

Fig. 3. 27 : Fitting linéaire de la courbe ln (I°) en fonction de la température T.

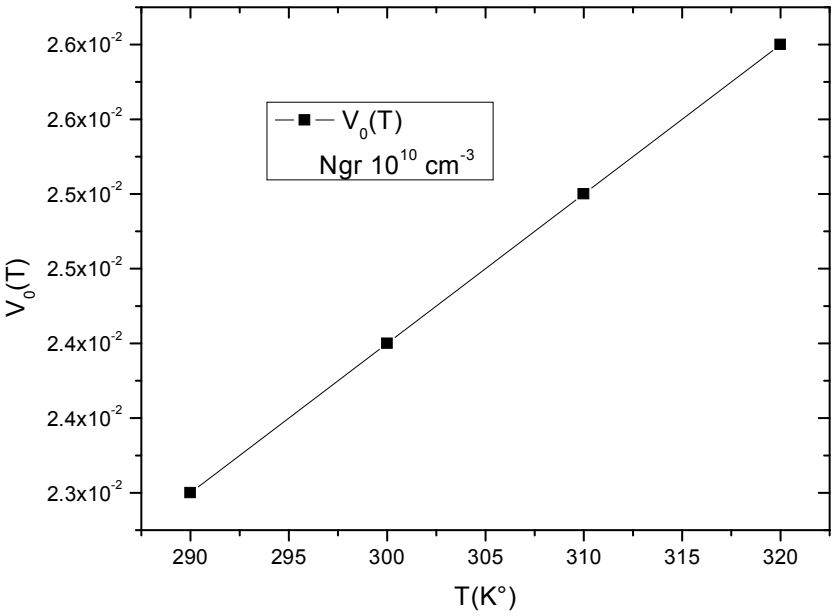

Fig. 3. 28 : Variation du paramètre V° en fonction de la température en présence d'une faible concentration des centres g-r.

b) Effet de la température en présence de large centres de généretion

Les valeurs du paramètre G sont calculées à partir du fitting fait sur les courbes I - V de la figure (3.24). Les valeurs des fonctions G(T) sont données par la courbe tracée dans la figure(3.29) .

-Calcul de l'énergie d'activation E_a :

Le fitting de la fonction lnG (1000/T) fig. (3.29) montre que cette courbe est une droite avec une pente

B = -6.59668

Ce qui implique que : $G \propto \exp.\left(\frac{B.1000}{T}\right) \propto \exp.\left(-\frac{E_a}{K.T}\right)$

Par comparaison on trouve : E_a = **0.569 eV.**

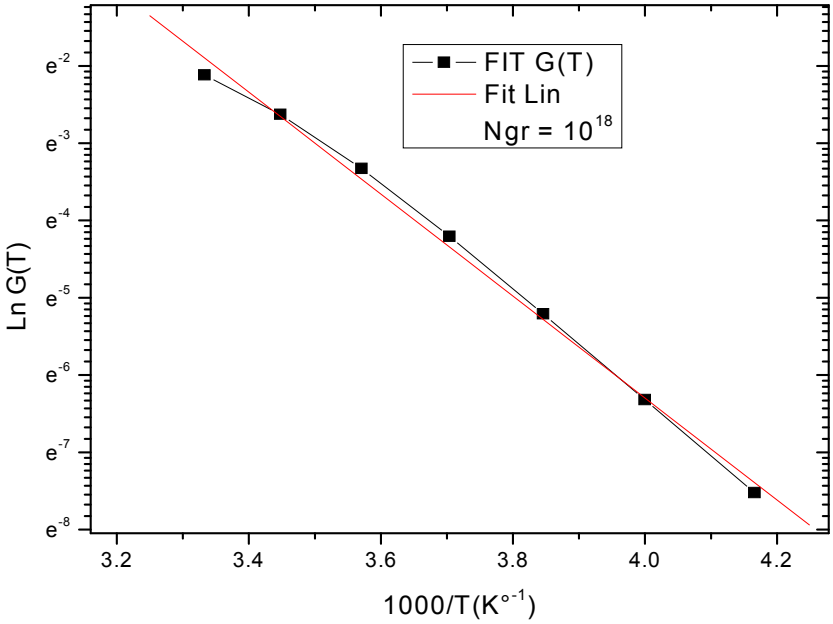

Fig. 3. 29 : Fitting linéaire de la courbe lnG(T) en fonction de la température T, en présence d'une large concentration des centres g-r .Ngr = 10^{18} cm^{-3}.

c) Effet de la température en présence de faible centres de généretion et des pièges accepteurs

Les valeurs des paramètres G et V° sont calculées a partir du fitting fait sur les courbes I - V de la figure(3.25) .Les valeurs de la fonctions G(T) sont tracée dans la figure (3.30).

-Calcul de l'énergie d'activation E_a :

La courbe de la fonction lnG (T) fig. 3.30 est une droite avec une pente B = -12.4537.

$$G(T) \propto \exp.(-\frac{12.4537*10^3}{T}) \propto \exp.(-\frac{E_a}{KT})$$

D'où : **E_a = 1.07 eV**

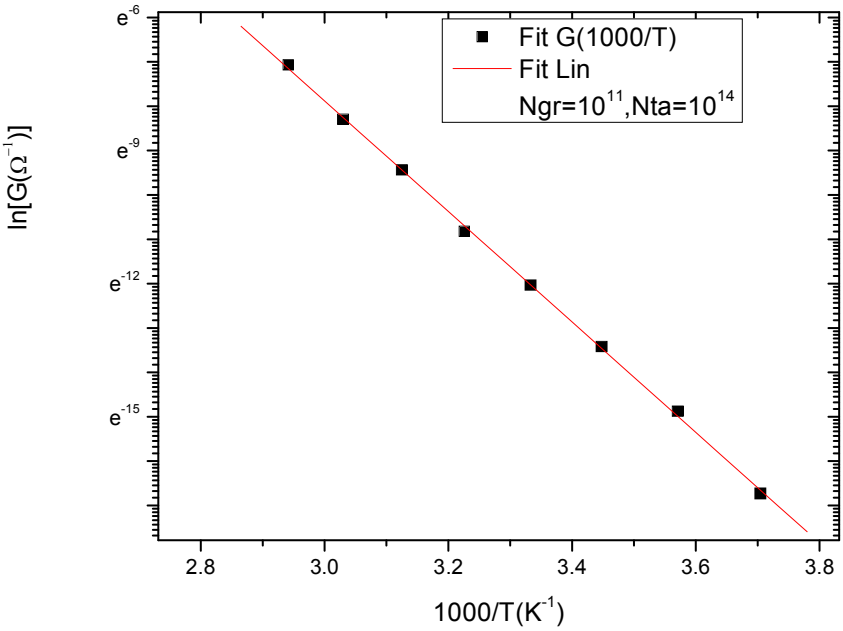

Fig. 3. 30 : Fitting linéaire de la courbe lnG(T) en fonction de la température T, en présence d'une faible concentration des centres g-r et des pièges accepteurs.

d) Effet de la température en présence des centres de généretion et des pièges accepteurs

Les paramètres G et V_0 sont calculés à partir du fitting des courbes de la figure (3.26). Les figure (3.31) et (3.32) présente la courbe de la fonction ln [G (1000/T)] es la courbe $V_0(T)$ respectivement.

-Calcul de l'énergie d'activation E_a :

La pente de la droite du fitting linaire de la fonction ln [G (T)] est :

B = -7.49664

Donc : $G(T) \propto \exp.(\frac{B.1000}{T}) \propto \exp.(-\frac{E_a}{KT})$

Ce qui donne : E_a = **0.647 eV.**

Le calcule de l'énergie d'activation E_a à partir du paramètre de la conductance G montre que : $(E_g/2 = 0.56) < E_a < (E_g = 1.12)$. Ce résultat est en bon accord avec les résultats expérimentaux [6, 29].

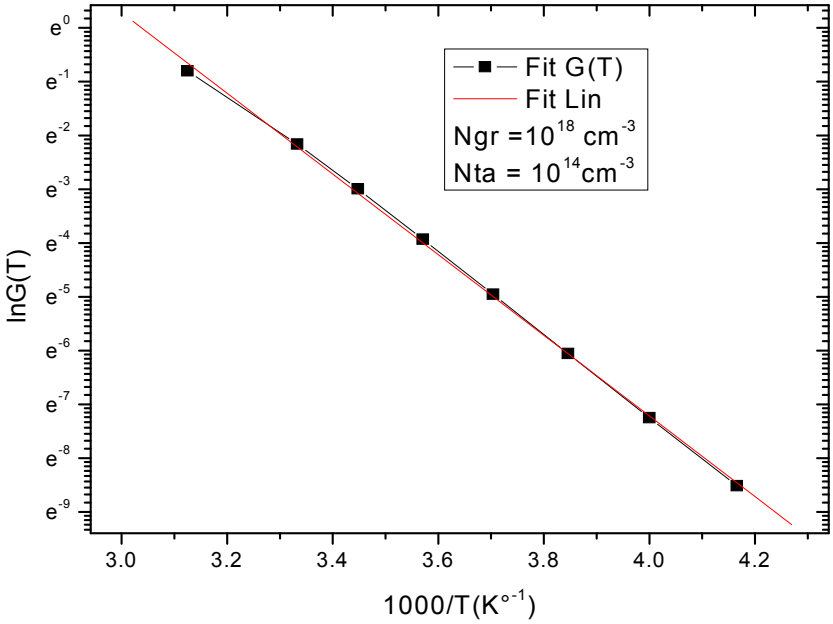

Fig . 3. 31 : Fitting du paramètre G de la fonction F2 en fonction de la température pour Ngr = $10^{18}\,cm^{-3}$ et Nta = $10^{14}\ cm^{-3}$.

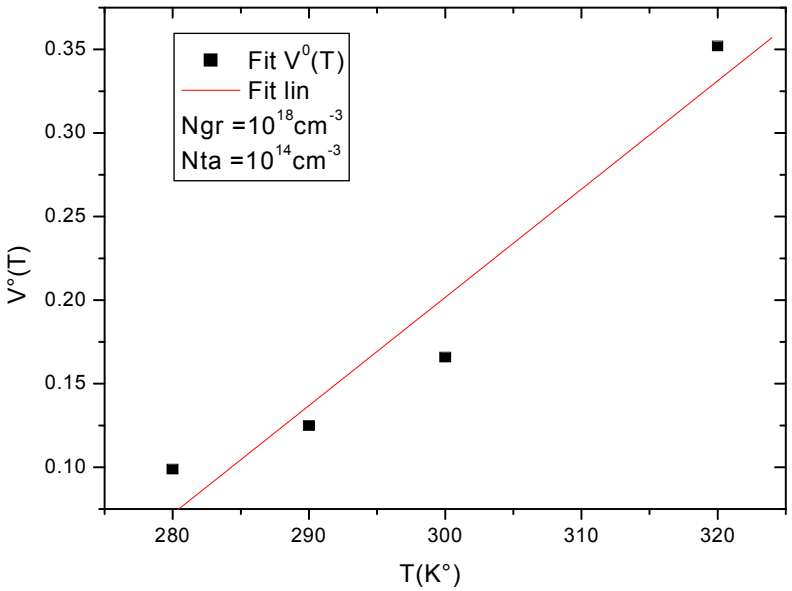

Fig . 3. 32 : Fitting du paramètre V_0 de la fonction F2 en fonction de la température pour Ngr = $10^{18}\,cm^{-3}$ et Nta = $10^{14}\ cm^{-3}$.