

**Introduction :**

Le but de notre travail est l'étude des paramètres de transport électronique à savoir la vitesse, l'énergie et la distributions des charges électronique dans les vallées  $\Gamma$ , L et X pour les deux matériaux SiC et InSb. Pour cela on a utilisé le code de Monte Carlo pour simuler ces derniers. Lors de la simulation, on est passé par plusieurs étapes ; depuis la recherche et la sélection des paramètres nécessaires pour le fonctionnement du code jusqu'à l'obtention des résultats et leur exploitation. On voulait voir l'influence du champ électrique sur les résultats, alors on a pris plusieurs valeurs ; pour le cas du SiC on a pris : 10 kV, 50kV, 100kV, 200kV, 300kV, 400kV, 600kV, 800kV, 1000kV, 1500kV et 2000kV. On a constaté que la plage intéressante à l'étude est pour un champ compris entre 100 et 1000kV vu que le matériau n'est pas sensible aux faibles champs et vu que le champ de claquage est de l'ordre de 1000kV. Pour le cas de l'InSb, on a considéré les valeurs du champ suivantes : 1kV, 5kV, 10kV, 50kV, 100kV, 200kV, 300kV, 500kV car on a remarqué une sensibilité visible du matériau pour les faibles champs et le champ de claquage est de l'ordre de 800kV. Toutefois il est nécessaire de signaler les difficultés rencontrées lors de l'exécution à forts champs appliqués, alors pour contourner le problème nous avons pensé à augmenter la valeur de la dimension des tableaux des énergies (Maximum energy in the scattering table)

On s'est intéressé en suite à voir l'effet de la température sur les résultats, alors pour toutes les valeurs des champs considérées on a varié la température : 100K, 200K, 300K et 400K et ceci pour les deux matériaux. On a remarqué que de meilleurs résultats sont obtenus pour de faibles températures.

En dernier lieu, on voulait voir l'effet du nombre de particules sur les résultats de la simulation, alors toute l'étude faite pour 20000 particules a été refaite pour 50000 particules, on a comparé tous les résultats et on n'a pas trouvé d'intérêt du moment qu'ils étaient presque identiques, bien au contraire, on a trouvé un inconvénient vu que le temps de calcul s'est multiplier par trois à peu près.

Tous les résultats seront présentés ci-après.

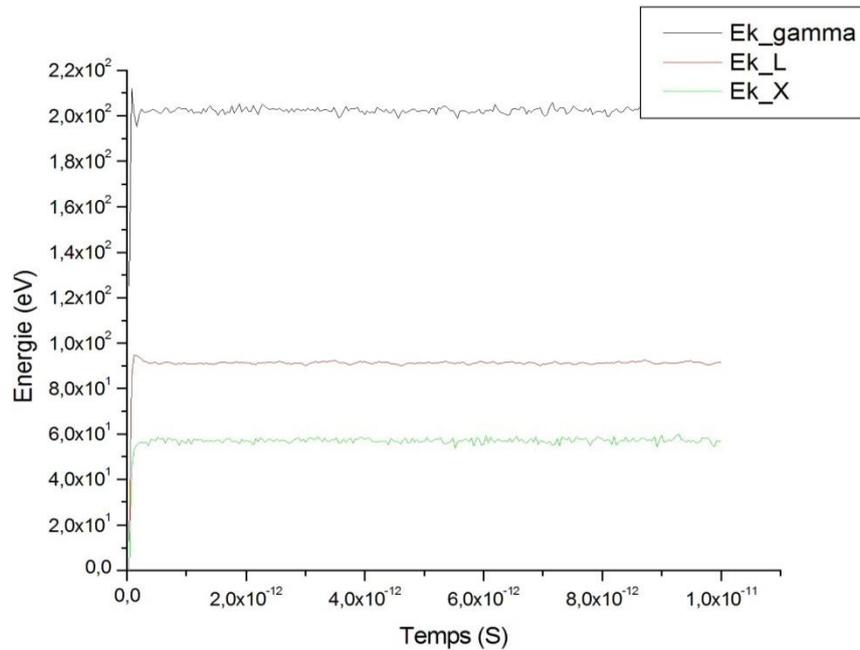
**IV-1-Résultats et interprétations :****IV-1-1Pour SiC (E=600kV/cm) :****a-Variation de l'énergie en fonction du temps :**

Figure IV-1. Variation de l'énergie en fonction du temps pour E=600kV/cm

Quand les porteurs sont soumis à un champ électrique ils vont acquérir de l'énergie. On repère deux phases, pour les trois vallées (Gamma, L, X).

Dés que le champ électrique est appliqué, l'énergie des porteurs augmente de façon très rapide pour atteindre un maximum d'énergie qui est de 200eV pour Gamma 90eV pour L est 55eV pour X.

Après un laps de temps très court (environ  $10^{-14}$  S), on remarque que l'énergie devient constante

**b-Variation de la vitesse en fonction du temps :**

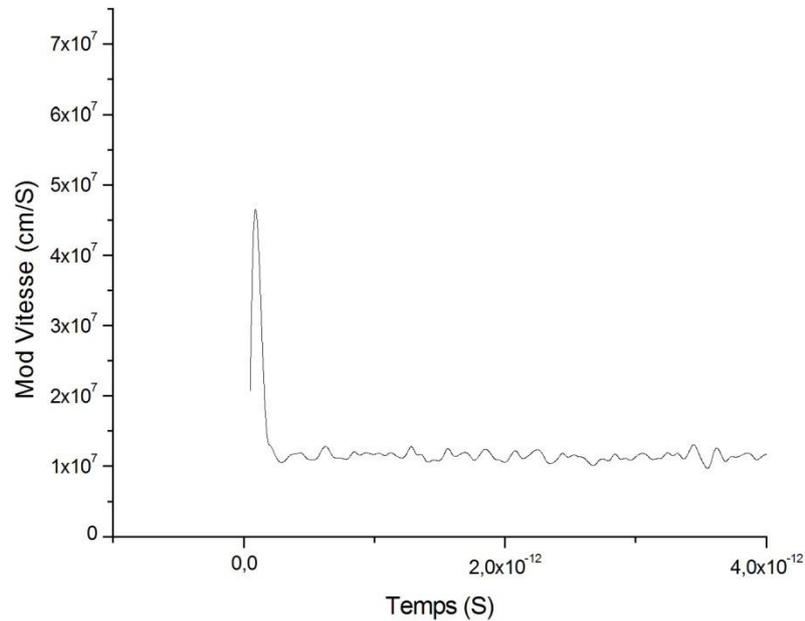


Figure IV-2. Variation de la vitesse en fonction du temps pour  $E=600\text{kV/cm}$

Nous remarquons dans ce graphe trois phases :

Dans la première phase ( $0-10^{-14}\text{S}$ ), la vitesse croît rapidement pour atteindre un maximum qui est d'environ  $5.10^7\text{ cm/S}$

Dans la seconde phase, la vitesse décroît rapidement pour atteindre  $10^7\text{ cm/S}$

Dans la dernière phase, la vitesse reste constante

Au début le gain d'énergie acquis par le porteur libre dans la vallée Gamma, va lui donner une accélération jusqu'à atteindre la vitesse maximal. Dans cette vallée l'électron a une masse faible est une mobilité élevée. Mais quand l'énergie de l'électron atteint l'énergie de transfert vers les vallées L, X, sa masse augmente est sa mobilité diminue et il sera bloqué par les autres porteurs existants déjà dans ces vallée. Sa vitesse va alors diminuer pour tendre vers une valeur stationnaire.

### **c-Variation de la population en fonction du temps :**

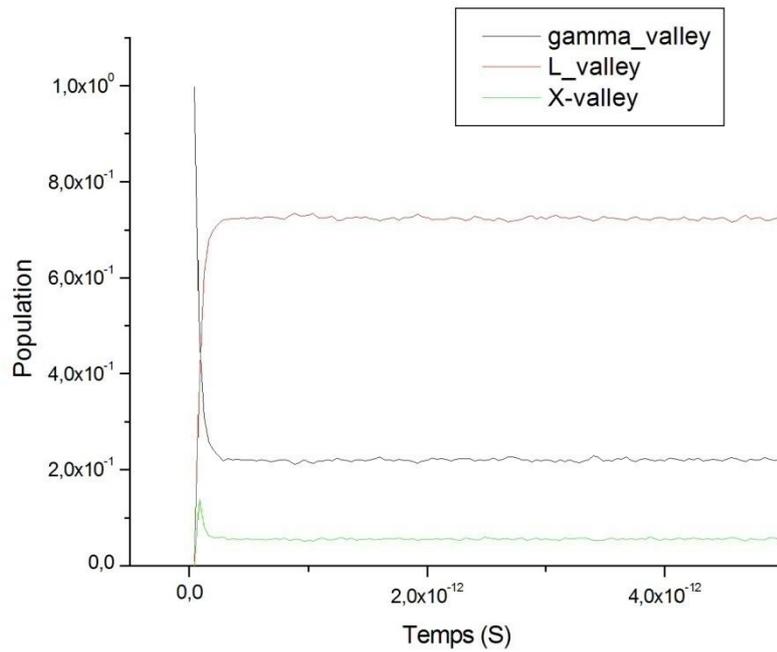


Figure IV-3. Variation de la population en fonction du temps pour  $E=600\text{kV/cm}$

On remarque qu'à  $t=0\text{s}$  la vallée Gamma est occupée par tous les porteurs. Dès que le champ électrique est appliqué ces porteurs acquièrent une énergie.

On remarque aussi qu'il y a inversement de population entre la vallée gamma et L. En effet, quand l'énergie des porteurs est très élevée dans la vallée gamma, des derniers finissent par transférer en vallée L.

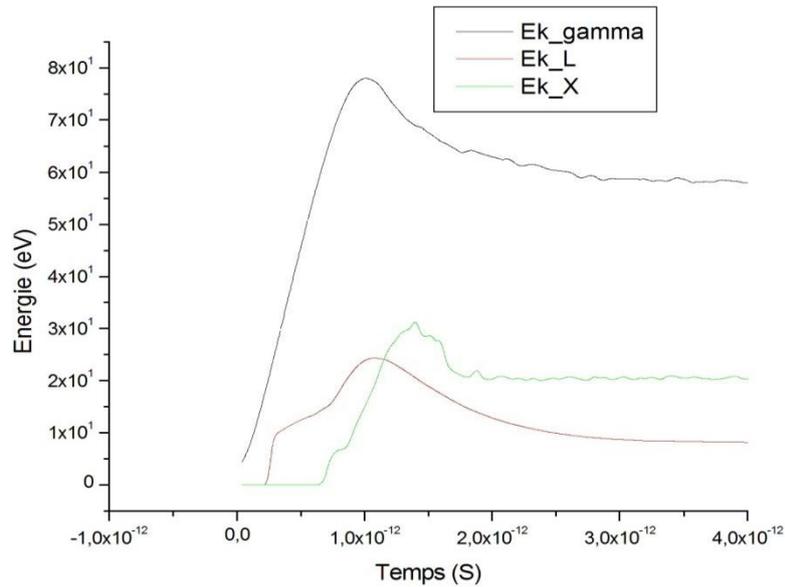
**IV-1-2-Pour InSb (E=10kV/cm) :****a-Variation de l'énergie en fonction du temps :**

Figure IV-4: Variation de l'énergie en fonction du temps pour E=10kV/cm et T=300k

Nous remarquons que pour les trois vallées, l'allure est presque la même, (mais à des valeurs différentes) dans un premier temps l'énergie croît en fonction du temps jusqu'à atteindre une valeur maximal puis décroît légèrement pour ensuite atteindre une valeur stationnaire

**b-Variation de la vitesse en fonction du temps :**

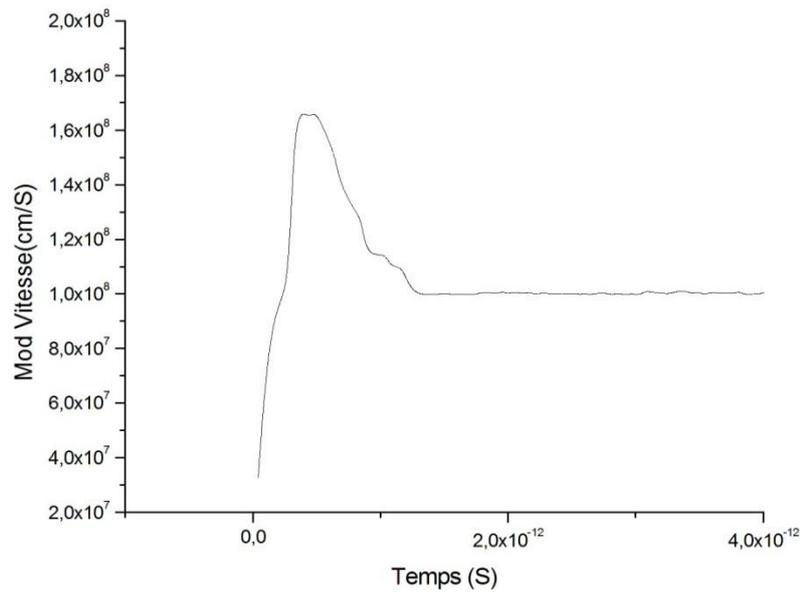


Figure IV-5 : Variation de la vitesse en fonction du temps pour  $E=10\text{kV/cm}$

Nous remarquons que la vitesse augmente rapidement avec le temps et se stabilise à  $T=300\text{k}$ .

- quand  $t=5.10^{-13}$  s, la vitesse atteint une valeur maximal qui est égale à  $1.6.10^8$  cm/s
- ensuite la vitesse décroît avec le temps
- quand  $t > 1.2.10^{-12}$  s la vitesse deviennent stationnaire

### **c-Variation de la population en fonction du temps :**

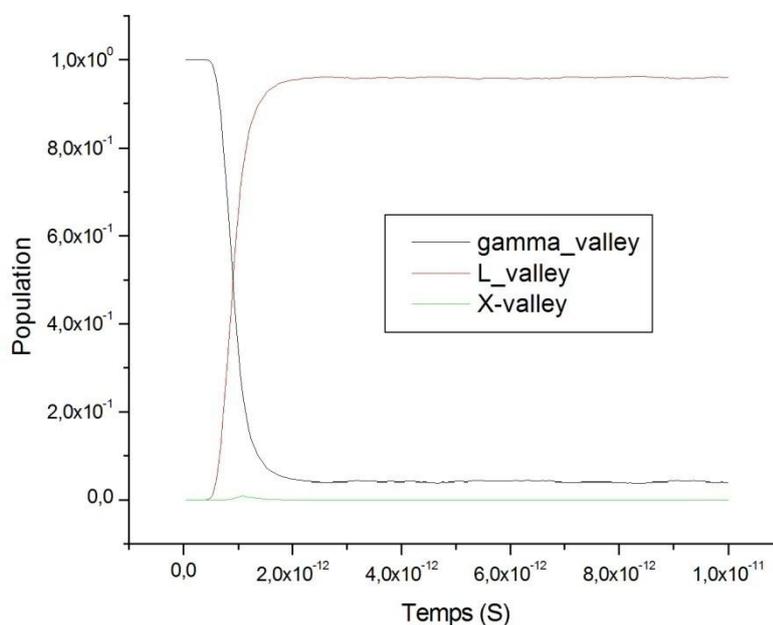


Figure IV-6: Variation de la population en fonction du temps pour  $E=10\text{kV/cm}$  et  $T=300\text{k}$

Nous remarquons qu'à  $t=0\text{s}$  la vallée la plus peuplée est Gamma, ensuite après application du champ électrique on remarque un inversement de la population entre la vallée Gamma et L qui est dû à l'acquisition d'une assez grande énergie de la part des porteurs pour qu'ils passent de la vallée Gamma à L.

#### **IV-1-3-La vitesse en fonction du champ électrique :**

La vitesse est un des paramètres essentiels pour décrire le comportement d'un composé. Dans notre étude nous nous intéressons au module de la vitesse et à la vitesse de dérive qui est une vitesse moyenne de parcours. En effet ; les électrons, sous l'influence de l'énergie thermique, vont avoir un chemin aléatoire, et par conséquent ils ont un parcours nul. Mais quand ils sont soumis à un champ électrique, leur chemin n'est plus aléatoire et la distance parcourue n'est pas nulle.

Après un choc subit par un électron, ce dernier va avoir une composante de vitesse nulle dans le sens parallèle au champ électrique, mais l'effet de l'agitation thermique fait que l'électron reprend de la vitesse, les électrons se déplacent dans le sens contraire du champ.

Les effets des collisions perturbent le mouvement des électrons. Einstein, dans son modèle, a supposé que chaque atome est constitué d'un oscillateur harmonique vibrant d'une manière indépendante. Ces derniers ont un mouvement sinusoïdal et une énergie quantifiée. Le modèle d'Einstein est parfait pour les grandes températures mais il reste insuffisant pour les faibles températures car il néglige les interactions entre les atomes. Debye a amélioré ce modèle en tenant compte des interactions entre plus proches voisins.

Le libre parcours moyen est la distance moyenne parcourue par l'électron entre deux collisions successives. Elle s'approche de la distance d'équilibre entre les ions avec lesquels les électrons entrent en collision dans un gaz d'électrons.

La vitesse instantanée est donnée par :  $v=le/t$

Avec  $le$  : le libre parcours moyen et  $t$  : le temps entre deux collisions.

#### **a-Variation de la vitesse de dérive en fonction du champ pour SiC:**

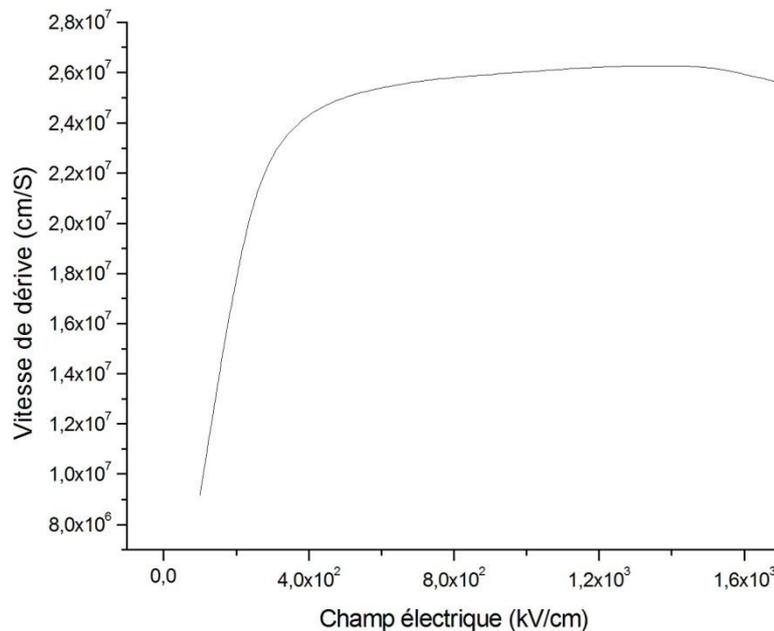


Figure IV-7. Variation de la vitesse de dérive en fonction du champ T=300k

#### **a-Variation de la vitesse de dérive en fonction du champ pour InSb:**

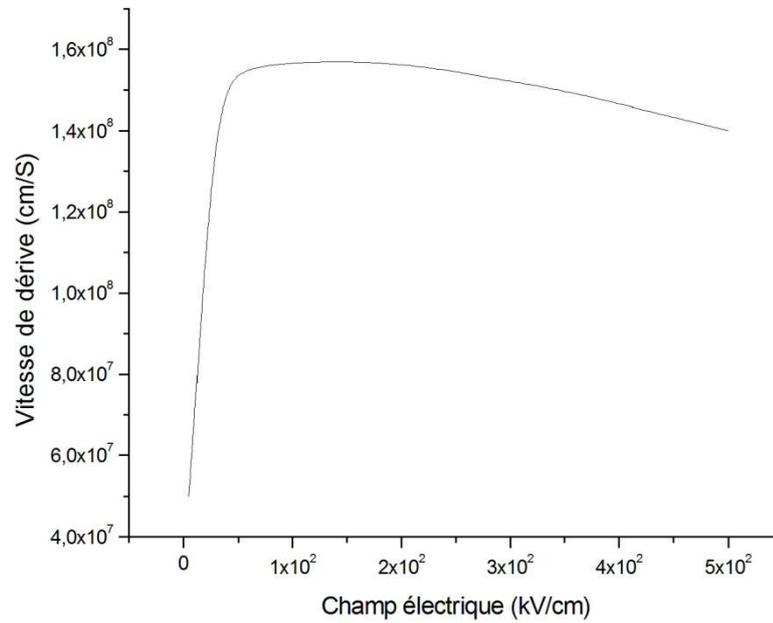


Figure IV-8. Variation de la vitesse de dérive en fonction du champ T=300k

On remarque que la vitesse de dérive augmente avec le champ électrique puis elle atteint une valeur de saturation égale à  $2,6 \cdot 10^7$  cm/s pour des champs élevés  $E=400$  Kv/cm pour le SiC, pour l'InSb la vitesse de saturation est égale à  $15 \cdot 10^7$  cm/s pour  $E=50$  Kv/cm

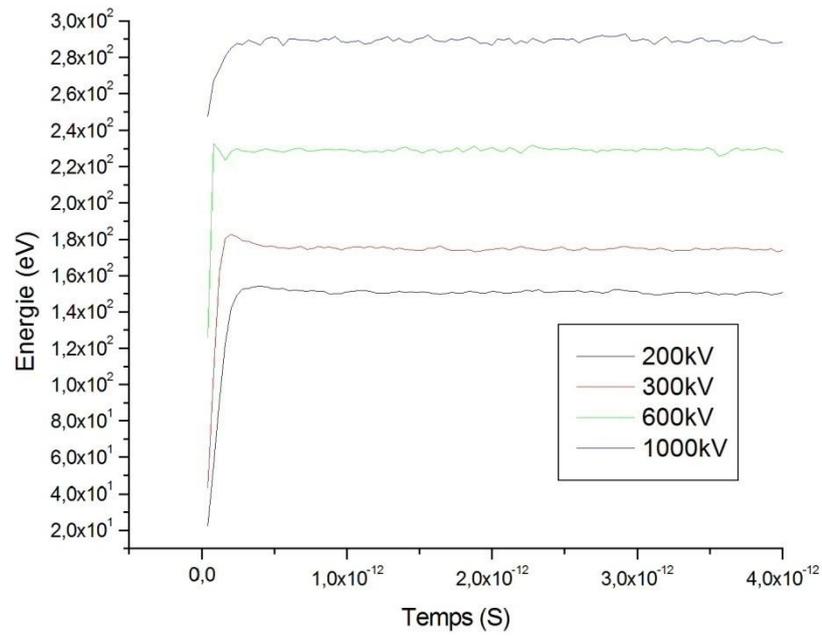
**IV-1-4 : Influence du champ électrique sur le transport électronique :****a-Energie :****I-Pour SiC :**

Figure IV-9. Variation de l'énergie en fonction du temps pour plusieurs valeurs de E

**II-Pour InSb :**

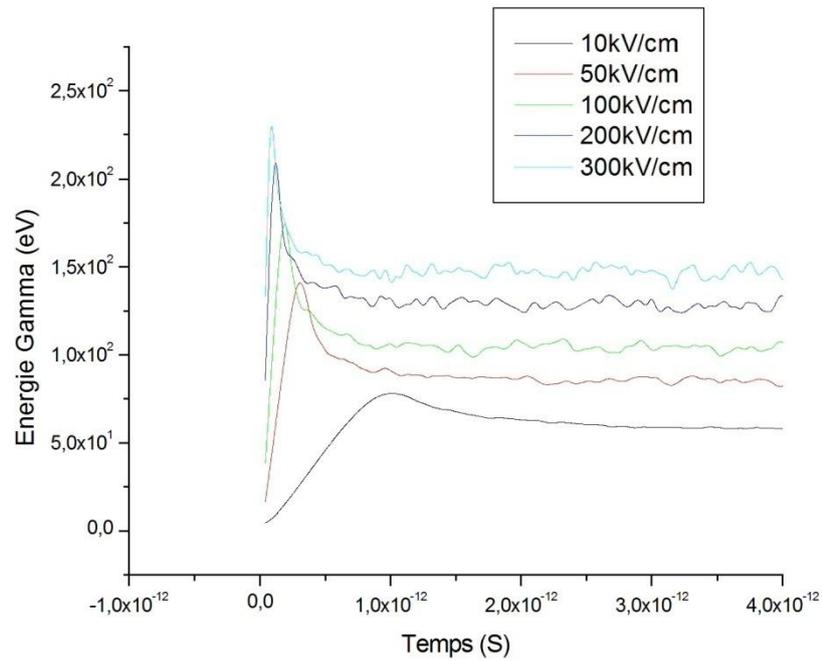


Figure IV-10 : Variation de l'énergie en fonction du temps pour plusieurs valeurs de E

On remarque qu'il y a une augmentation brusque de l'énergie pour atteindre une valeur maximale puis l'énergie devient constante et on peut remarquer aussi que plus le champ est élevé, plus l'énergie est grande

**b-Vitesse :**

**I-Pour SiC :**

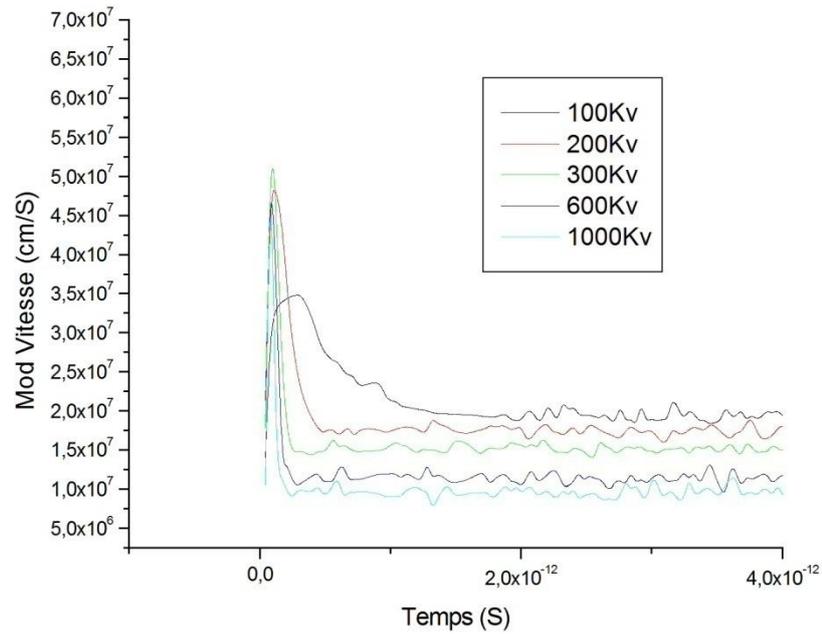


Figure IV-11 : Variation de la vitesse en fonction du temps pour plusieurs valeurs du champ  
 $T=300k$

On voit bien que dans une première période les porteurs sont accélérés et la montée de la vitesse est quasi-linéaire, puis elle atteint sa valeur maximale. Par la suite les collisions deviennent plus nombreuses, ce qui conduit à un étalement de la distribution de l'énergie donc l'énergie moyenne augmente et la vitesse diminue jusqu'à sa valeur statique.

### **c-Population :**

### **I-Pour SiC :**

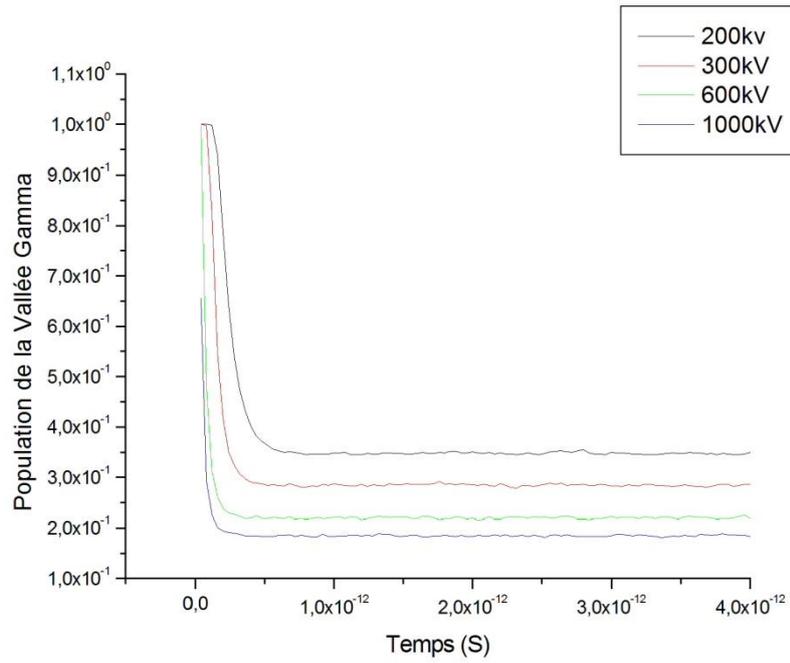


Figure IV-12. Variation de la population en fonction du temps pour plusieurs valeurs du champ  
T=300k

**II-Pour InSb :**

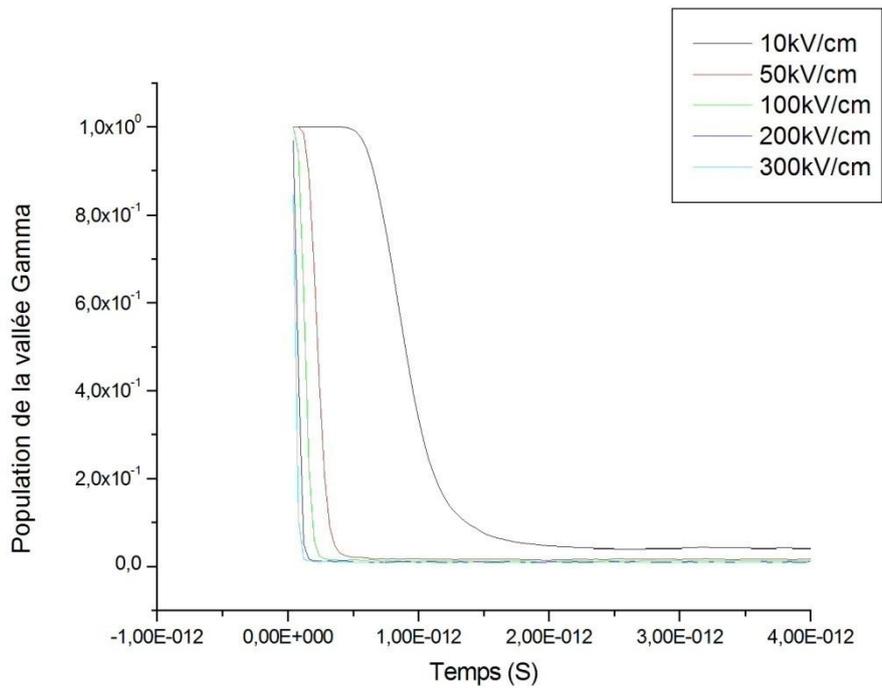


Figure IV-13. Variation de la population en fonction du temps pour plusieurs valeurs du champ  
T=300k

On remarque qu'il y a le phénomène de dépopulation pour la vallée Gamma mais de façon plus ou moins rapide, plus le champ est élevé plus les porteurs passent à la vallée supérieure de façon plus rapide.

#### **IV-1-5-Influence de la température sur l'énergie :**

##### **I-Pour SiC :**

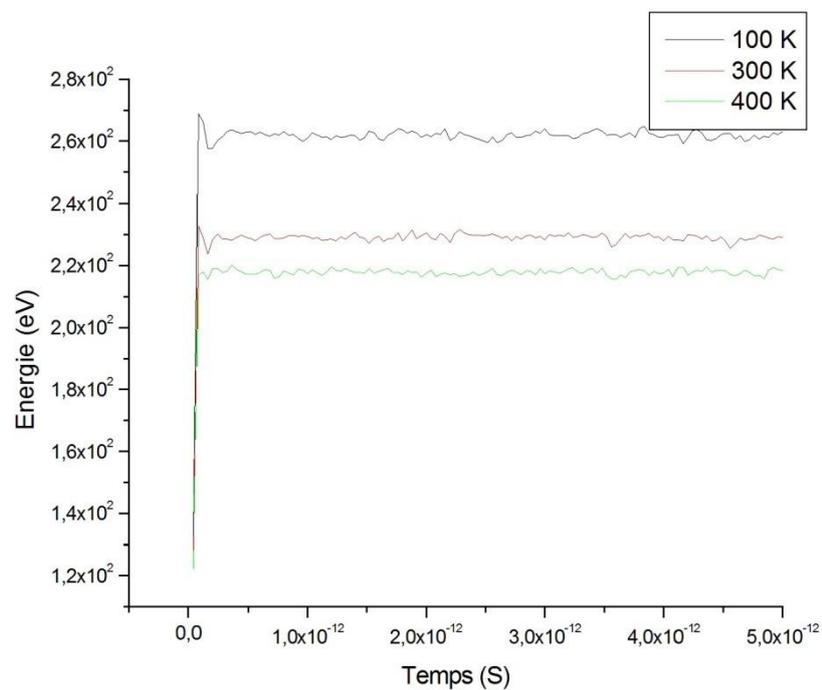


Figure IV-14. Variation de l'énergie en fonction du temps pour  $E=600\text{kV/cm}$  pour différentes valeurs de la température

##### **II-Pour InSb :**

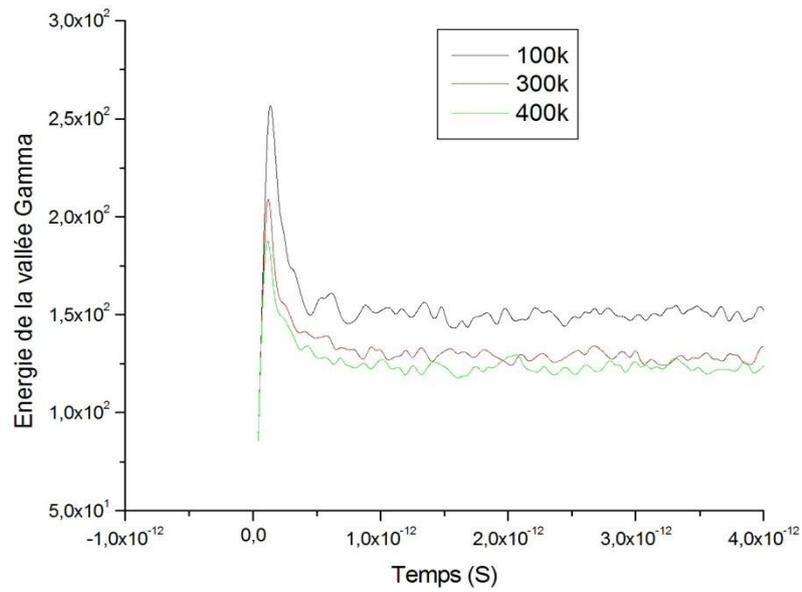


Figure IV-15 : Variation de l'énergie en fonction du temps pour  $E=200\text{kV/cm}$  pour différentes valeurs de la température

Nous pouvons remarquer que plus la température augmente plus l'énergie diminue cela est dû aux collisions entre les porteurs et autres obstacles dans le matériau.

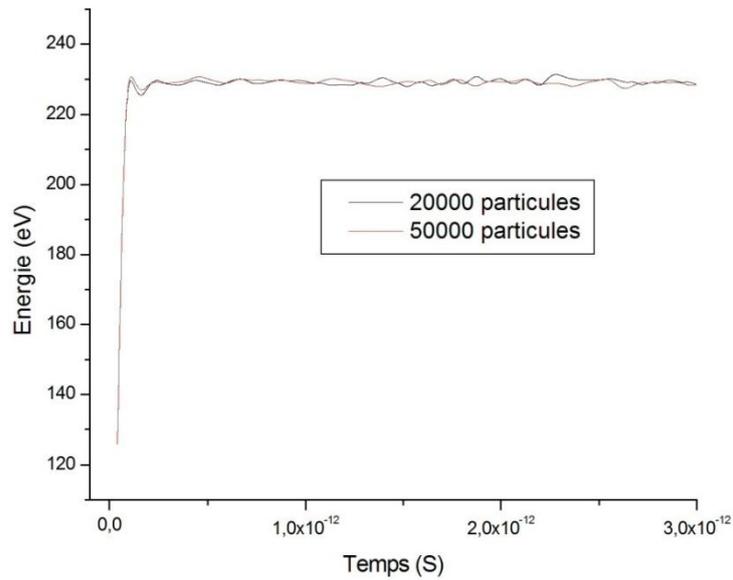
**IV-1-6-Effet du nombre de particules sur l'énergie :****I-Pour SiC :**

Figure IV-16 : Variation de l'énergie en fonction du temps pour  $E=600\text{kV/cm}$   $T=300\text{k}$  pour 20000 et 50000 particules

**II-Pour InSb :**

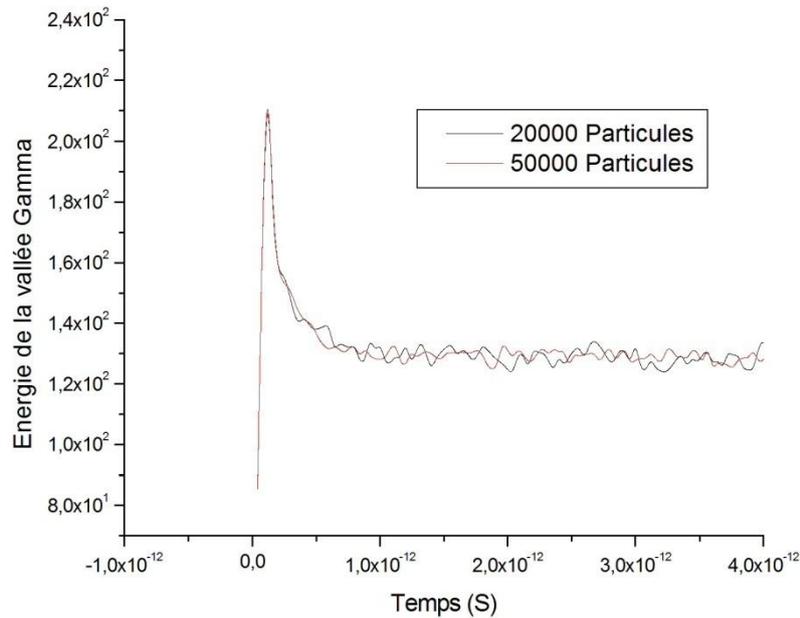


Figure IV-17 : Variation de l'énergie en fonction du temps pour  $E=200\text{kV/cm}$   $T=300\text{k}$  pour 20000 et 50000 particules

Nous remarquons que les deux courbes sont identiques pour 20000 et 500000 particules pour les deux matériaux utilisés, donc il n'y a aucun intérêt à faire varier le nombre de particule dans cette étude

### **Conclusion :**

Les semi-conducteurs SiC et InSb sont des candidats très prometteurs pour la micro-électronique si l'on considère l'estimation de leurs performances en termes de transport électronique par rapport aux matériaux classiques. Le SiC et le InSb pourraient concurrencer rapidement d'autres matériaux dans plusieurs domaines. Nous avons pu remarquer toutefois que le InSb est plus sensible que le SiC par rapport aux champs électrique