



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCCEN

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

MASTER EN PHYSIQUE

Spécialité : Physique Energétique et Energies Renouvelables

Par :

Mlle Imane BOUAZZAOUI

Sur le thème

Simulation d'une Cellule Thermo-photovoltaïque (TPV) à base de Semi-conducteur GaAs et BAs

Soutenu publiquement le 8 juin 2024 9h30 à Tlemcen devant le jury composé de :

Mme BOUCHAOUR Mama
Mr. MERAD Laarej
Mr. BENYOUCEF Abdellah
Mme BENAZZA-DIAF Nadia

MCA
Professeur
MCA
MAA

Université de Tlemcen
Université de Tlemcen
Université de Tlemcen
Université de Tlemcen

Présidente
Encadrant
Examineur
Invitée

Année Universitaire : 2023 ~ 2024

Dédicaces

Je dédie ce travail :

À mon cher père, BOUAZZAOUI Tayeb

Papa, ta sagesse, ton soutien inébranlable et tes encouragements constants ont été ma plus grande source de motivation. Merci de croire en moi et de m'avoir inculqué les valeurs de persévérance et de travail acharné. Ce mémoire est le fruit de ton amour et de tes sacrifices.

À ma chère mère, SEMMACHE Samia

Maman, ton amour inconditionnel, ta patience et tes prières ont toujours été ma lumière dans les moments difficiles. Tu as toujours su trouver les mots justes pour me reconforter et m'encourager. Je te dédie ce travail en reconnaissance de tout ce que tu as fait pour moi.

À mon frère, BOUAZZAOUI Khaled

Khaled, ta détermination et ta réussite en tant que maître de conférences m'ont toujours inspiré. Merci pour tes conseils avisés, ton aide précieuse et ta présence rassurante. Ta réussite académique est un exemple que j'ai cherché à suivre.

À ma sœur, BOUAZZAOUI Radhia, et à son fils Abdelmounaim

Radhia, ta gentillesse et ton soutien affectueux m'ont souvent apporté le réconfort dont j'avais besoin. Et à toi, Abdelmounaim, ton sourire et ta joie de vivre m'ont souvent rappelé l'importance de garder espoir et de rester positif. Je vous remercie tous les deux pour l'amour et le soutien que vous m'avez apportés.

À mes amis de la promotion Physique Énergétique et Énergie Renouvelable

*Ensemble, nous avons partagé des moments de joie, de peine, d'incertitude et de réussite. Chaque éclat de rire, chaque mot d'encouragement, chaque geste de solidarité a nourri mon esprit et mon cœur ; à vous **mes amis** je dédie ce mémoire. Puissent nos liens d'amitié perdurer bien au-delà de ces murs académiques, et que nos chemins se croisent encore et encore dans les défis et les réussites à venir.*

Enfin, je remercie chaleureusement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et en particulier mes collègue SOUFI Hadjer.

Mlle Imane BOUAZZAOUI

Remerciements

J'adresse mes sincères remerciements tout d'abord envers notre Bon Dieu le Tout Puissant de m'avoir accordé la force, la volonté, et la patience nécessaire pour mener à bien ce travail présent.

Ce mémoire a été réalisé à l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen (UABT), au sein du département de physique de la faculté des sciences, et de l'Unité de Recherche sur les Matériaux et les Énergies Renouvelables (URMER), sous la supervision du Professeur Laarej MERAD

Je souhaite exprimer ma sincère reconnaissance au Pr. Laarej MERAD, Ses conseils avisés, et expertise ont grandement enrichi mon travail.

Je tiens également à exprimer mon profond respect à Dr. Mama BOUCHAOUR Maître de Conférences (A) à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté de présider le jury de mon mémoire de master.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers Dr. Abdellah BENYOUCEF, Maître de Conférences (A) à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce travail.

Je souhaite exprimer ma plus profonde gratitude envers Mme. Nadia BENAZZA-DIAF Maître assistante (A) pour sa présence précieuse le jour de ma soutenance de mémoire. Votre participation a ajouté une valeur inestimable à cet événement important.

Mlle Imane BOUAZZAOUI

Table des matières	
Listes des abréviations.....	7
Listes des symboles.....	8
Lettres Greques.....	8
Unités de mesure	8
Liste des figures	9
Liste des tableaux.....	11
INTRODUCTION GENERALE.....	12
Chapitre I : Généralités sur le photovoltaïque et le thermo- photovoltaïque	1
I.1 Introduction.....	3
I.2 Généralités sur les énergies renouvelables	3
ENERGIE SOLAIRE.....	4
ENERGIE EOLIENNE	4
GEOTHERMIE.....	4
HYDRAULIQUE	4
BIOMASSE.....	4
I.2.1 Intérêt des énergies renouvelables	4
I.3 Energie solaire.....	4
I.3.1 Energie solaire photovoltaïque	5
I.3.2 Energie solaire thermique	6
I.3.3 Energie solaire thermodynamique	6
I.4 Rayonnement solaire	6
▪ Rayonnement direct.....	7
▪ L'albédo	7
▪ Rayonnement diffus	7
I.5 Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque	7
I.5.1 Historique	8
I.5.2 Effet photovoltaïque.....	8
I.5.3 Matériaux semi-conducteurs.....	9
I.5.3.1. Semi-conducteur intrinsèque :	9

I.5.3.2. Semi-conducteur extrinsèque :	9
I.5.4 Cellule photovoltaïque	9
I.5.4.1 Principe de fonctionnement.....	10
I.5.4.2 Types de cellules photovoltaïques.....	10
Première génération : Cellules solaires à base de silicium cristallin	11
Deuxième génération : Cellules solaires à couche mince	12
Troisième génération : Cellules solaires à haut rendement et technologies avancées.....	13
I.6 Notions sur le thermophotovoltaïque	14
I.6.1 Historique	14
I.6.2 Système thermophotovoltaïque	15
I.6.3 Principe de fonctionnement.....	16
I.6.4 Cellules Thermophotovoltaïque.....	16
I.6.5 Matériaux utilisés dans les cellules Thermophotovoltaïques (TPV)	17
I.6.6 Applications de cellules Thermophotovoltaïques (TPV).....	17
I.7 Caractéristiques électriques d'une cellule solaire	17
I.8 CONCLUSION	20
Références bibliographiques	21
Chapitre II : Semi-conducteurs III-V	20
II.1 Introduction.....	23
II.2 Arsenic du Gallium (GaAs).....	23
II.3 Propriétés	24
II.3.1 Propriétés structurales.....	24
II.3.2 Propriétés électriques.....	24
II.3.4 Propriétés optiques	26
II.4. Application.....	28
II.5 Arsenic du Bore (BAs)	28
II.5.1 Propriétés	29
II.5.1.1 Structure cristalline.....	29
II.5.1.2 Conductivité thermique.....	29
II.5.1.3 Propriétés mécaniques	29
II.5.1.4 Propriétés optiques.....	30

II.5.1.5 Propriété thermique	30
II.6 Propriétés du BAS pertinentes pour les systèmes TPV.....	31
II.7 Applications	32
II.8 Conclusion.....	32
Référence bibliographique.....	35
Chapitre III : Simulation, Résultats et discussion	38
III.1 INTRODUCTION	37
III.2 Présentation de logiciel Scaps 1D.....	37
III.2.1 Notion de base sur le logiciel Scaps.....	37
III.3 Structures étudiées.....	38
III.3.1 Paramètres physiques et optique des cellules étudiées	39
III.3.2. Analyse des performances de base des structures simulées	41
III.3.3. Étude comparative de cellules solaires à base de GaAs et BAS	42
III.3.3.1 Effet d'épaisseur de la couche active	42
III.3.3.2 Effet de dopage de la couche active.....	46
III.3.3.3 Effet des défauts de la couche active.....	50
III.4 configuration optimisée	54
III.4.1 Rendement quantique	54
III.4.3 Effet de la température	55
• Effet de température sur le V_{co}	55
• Effet de la température sur la densité de courant de court-circuit (J_{sc})	56
• Effet de la température sur le facteur forme (FF)	57
• Effet de la température sur le rendement (η).....	57
III.5 Comparaison	58
III.6 Conclusion :	60
Références bibliographiques	61

Listes des abréviations

PV : Photovoltaïque

TPV : Thermophotovoltaïque

UV : Ultra-Violet

IR : Infrarouge

Eph : Energie des Photons

SC : Semi-Conducteur

ddp : Différence du Potentiel

DSSC : cellules solaires sensibilisées par colorant

NREL : Laboratoire national de l'énergie renouvelable

STC : Condition de Test Standard

T_f : Température de Fusion

T_v : Température de Vaporisation

CZ : Czochralski

FZ : Fusion de Zone

LEC : CZ Encapsulé dans le Liquide

EPV : Epitaxie en Phase Vapeur

MOCVD : Dépôt Chimique en Phase Vapeur par Voie Organométallique

MBE : Molecular Beam Epitaxy

TE : Transfert d'électron

E_g : Energie de Gap

LED : Diode Electroluminescente (Light Emitting Diode).

CVT : Transport Chimique en phase Vapeur

DC : Courant Continu

AC : Courant Alternatif

Listes des symboles

E_{ph} : Energie de Photon

h : Constante du Planck

C : la vitesse de la lumière dans le vide

T : Température

I_{cc} : Courant court-circuit

V_{co} : Tension en circuit-ouvert

K_B : Constante de Boltzmann

e : Charge élémentaire

I_s : courant de saturation

FF : Facteur de Forme

I_m : Courant maximal

V_m : Tension maximale

P_m : Puissance maximale

P_{inc} : Puissance incidente

P_f : Puissance fournie

I : courant

U : Tension

n : Indice de réfraction

Lettres Greques

η : Rendement de la cellule

μ : micron

λ : Longueur d'onde

ϵ_r : Constante diélectrique

Unités de mesure

μm : micron mètre

m : mètre

eV : électron volt

Wc : watt crête
m² : mètre carré
Wp : Watt peak
W : Watt
°C : Degré Celsius
K : Kelvin
J : joule
A : Ampère
V : Volt
mg : milligramme
kg : kilo gramme
GP : Giga Pascal
nm : Nanomètre

Liste des figures

Figure (I.1) : Types d'énergie renouvelable.....	3
Figure (I.2) Type d'énergie solaire.....	5
Figure (I.3) Système photovoltaïque.....	5
Figure (I.4) principe d'une installation solaire thermique.....	6
Figure (I.5) Composants du rayonnement solaire.....	7
Figure (I.6) Conversion photovoltaïque.....	8
Figure (I.7) Composition d'une cellule PV.....	9
Figure (I.8) Générations de cellules solaires conventionnelles.....	11
Figure (I.9) Silicium monocristallin.....	11
Figure (I.10) silicium polycristallin.....	12
Figure (I.11) Cellule solaire à base de silicium amorphe.....	13
Figure (I.12) Système Thermophotovoltaïque.....	15
Figure (I.13) Caractéristique I(V) d'une cellule solaire.....	17

Figure (II.1) GaAs à l'état pur.....	21
Figure (II.2) : Structure cristalline de la maille cubique de GaAs.....	22
Figure (II.3) : Constante diélectrique à haute fréquence dans le GaAs en fonction de la température.....	23
Figure (II.4) : Indice de réfraction dans le GaAs en fonction de la température.....	25
Figure (II.5) : Coefficient d'absorption de GaAs.....	26
Figure (II.6) : (A) Image de microscopie électronique à balayage et (B) photo optique de monocristaux de BAS cultivés par la méthode CVT.....	26
Figure (II.7) : Cristaux cubiques de BAS.....	27
Figure (II.8) : L'indice de réfraction.....	28
Figure (III.1) : Structure de cellules solaires à base de GaAs (a), à base de BAS (b).....	39
Figure (III.2) : Variation de la densité de courant I en fonction du voltage V pour les deux cas GaAs et BAS.....	41
Figure (III.3) : Variation du V_{co} en fonction de l'épaisseur.....	42
Figure (III.4) : Variation du J_{sc} en fonction de l'épaisseur.....	43
Figure (III.5) : Variation du facteur de forme (FF) en fonction de l'épaisseur.....	44
Figure (III.6) : Variation du rendement en fonction de l'épaisseur.....	45
Figure (III.7) : Variation du V_{co} en fonction du dopage de type p.....	46
Figure (III.8) : Variation du J_{sc} en fonction du dopage de type p.....	47
Figure (III.9) : Variation du facteur de forme (FF) en fonction du dopage de type p.....	48
Figure (III.10) : Variation du (η) en fonction du dopage P.....	49
Figure (III.11) : Variation du V_{co} en fonction de la densité des défauts N_t	50
Figure (III.12) : Variation du J_{sc} en fonction de la densité des défauts N_t	51
Figure (III.13) : Variation du facteur de forme (FF) en fonction de la densité des défauts N_t	52
Figure (III.14) : Variation du rendement en fonction de la densité des défauts N_t	53
Figure (III.15) : Rendement quantique des deux structures.....	54
Figure (III.16) : Variation de la V_{co} en fonction de la température.....	55

Figure (III.17) : Variation du J_{sc} en fonction de la température.....	56
Figure (III.18) : Variation du facteur de forme (FF) en fonction de la température.....	57
Figure (III.19) : Variation du rendement (η) en fonction de la température.....	57

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Paramètres physiques des matériaux utilisés	40
Tableau III. 2 : Résultats des structures de base.....	41
Tableau III. 3 : Comparaison des Performances photovoltaïque entre GaAs et BAs en tant que Couche Active.....	58
Tableau III.4 : Comparaison des performances des cellules solaires à base de GaAs avec des études similaires.	59

INTRODUCTION GENERALE

Pendant de nombreuses années, l'humanité s'est largement appuyée sur les énergies fossiles telles que le pétrole, le charbon et le gaz naturel pour satisfaire ses besoins énergétiques. Cependant, cette dépendance a eu des répercussions significatives sur l'environnement, contribuant notamment au changement climatique, à la pollution atmosphérique et à l'épuisement des ressources naturelles. Face à ces enjeux majeurs, la recherche de sources d'énergie alternatives est devenue une priorité mondiale.

Les énergies renouvelables se présentent comme une réponse prometteuse pour satisfaire nos besoins énergétiques tout en limitant notre impact sur l'environnement. En particulier, l'énergie solaire qui offre un potentiel considérable et largement sous-exploité. Les systèmes photovoltaïques (PV), qui transforment directement la lumière solaire en électricité, sont devenus des piliers essentiels de cette transition vers un avenir énergétique plus durable.

Néanmoins, malgré les avancées réalisées dans le domaine du photovoltaïque, des défis subsistent, particulièrement en ce qui concerne l'efficacité énergétique et la gestion de la production intermittente d'électricité. C'est dans ce contexte que les cellules thermophotovoltaïques (TPV) ont émergé comme une solution novatrice. Ces cellules combinent les avantages du photovoltaïque avec la capacité de récupérer l'énergie thermique émise par une source de chaleur, ouvrant ainsi la voie à des perspectives prometteuses pour améliorer l'efficacité énergétique globale.

Ce mémoire traite la simulation d'une cellule thermophotovoltaïque utilisant deux matériaux semi-conducteurs distincts : le GaAs (Arséniure de Gallium) et le BAs (Arséniure de Bore). Leur combinaison bénéficie de propriétés uniques, les rendant idéaux pour une application dans les cellules TPV.

Le GaAs est largement employé dans l'industrie photovoltaïque en raison de sa bande interdite directe et de ses remarquables propriétés de transport électronique. Sa capacité à capturer efficacement la lumière solaire et à convertir l'énergie photonique en énergie électrique en font un choix privilégié pour les cellules solaires hautement performantes.

Concernant le BAs, bien qu'il soit toujours en phase de développement, il suscite un intérêt grandissant en raison de ses propriétés prometteuses pour les applications photovoltaïques. Le BAs possède une bande interdite plus large que le GaAs, ce qui le rend potentiellement adapté pour capter les photons à haute énergie du spectre solaire. Cependant, sa

concrétisation dans les cellules PV reste un défi technique. Le mémoire est divisé comme suit :

Dans le premier chapitre, nous étudions le domaine des énergies renouvelables, mettant en évidence leur importance croissante dans la transition énergétique mondiale. Nous examinons spécifiquement l'énergie solaire photovoltaïque (PV), soulignant son potentiel considérable dans la production d'électricité propre et durable. En outre, nous traitons les cellules thermophotovoltaïques (TPV), une technologie innovante combinant les avantages du PV avec la capacité de récupérer l'énergie thermique, ouvrant ainsi de nouvelles voies pour améliorer l'efficacité énergétique globale.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons de manière générale les semi-conducteurs GaAs et BA. Nous donnons un aperçu succinct de leur structure cristalline et des méthodes clés utilisées pour les produire. Nous examinons également leurs propriétés optoélectroniques, notamment leur bande interdite et leur réaction à l'absorption de la lumière. Enfin, nous effleurons les applications potentielles de ces matériaux dans différents domaines.

Le troisième chapitre, est consacré au logiciel SCAPS pour simuler et optimiser les performances des structures proposées. En variant des paramètres clés tels que l'épaisseur des couches actives, le dopage et la présence de défauts, et en ajustant ces paramètres, nous cherchons à identifier les configurations les plus efficaces pour maximiser le rendement énergétique de ces cellules. De plus, nous examinons l'influence de la température sur les performances photovoltaïques de la cellule, en tenant compte des variations de température qui peuvent survenir dans des conditions réelles d'utilisation ; notamment dans les applications thermo photovoltaïque.

Nous terminons ce manuscrite pour une conclusion et des perspectives.

Chapitre I : Généralités sur le photovoltaïque et le thermo- photovoltaïque

I.1 Introduction

L'énergie solaire joue un rôle crucial dans la diversification du mix énergétique, offrant ainsi une solution respectueuse de l'environnement. Ce chapitre explore les fondements de la production d'électricité par la voie photovoltaïque, Parallèlement, nous explorons le domaine de la thermo-photovoltaïque (TPV), qui va au-delà des frontières du photovoltaïque traditionnel.

I.2 Généralités sur les énergies renouvelables

L'énergie est considérée comme renouvelable lorsqu'elle provient de sources qui se renouvellent constamment par nature, par opposition aux sources non renouvelables dont les stocks s'épuisent. Elles jouent un rôle crucial dans la transition vers un avenir énergétique durable. Ces sources d'énergies sont généralement dérivées du soleil comme le vent, l'eau, la terre, le bois, les déchets (agricoles, végétaux...). Elles sont donc disponibles indéfiniment.

En raison de leur faible bilan carbone (part de CO₂ rejeté lors de leur production), les énergies renouvelables sont aussi appelées énergies propres, vertes ou énergies naturelles. Leur développement est considéré comme l'une des solutions pour lutter contre le changement climatique[1].

Voici les cinq types d'énergies vertes a (Voir figure I.1) :

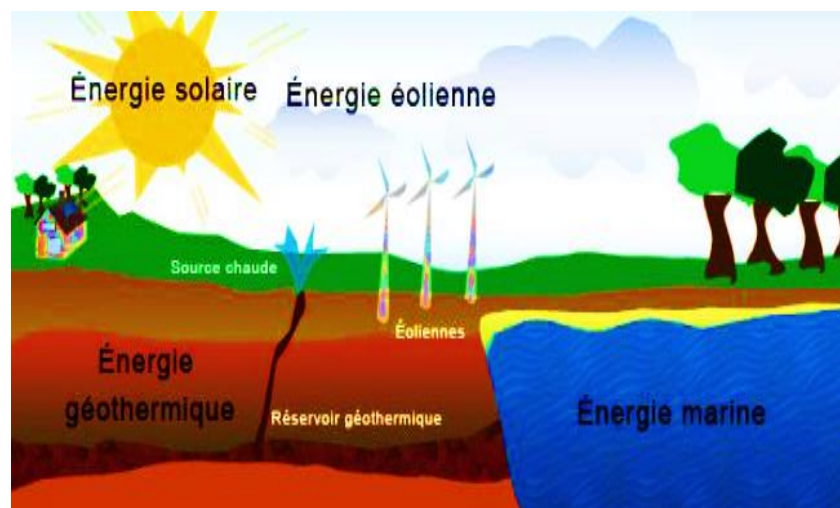


Figure (I.1) : Types d'énergie renouvelable[2]

ENERGIE SOLAIRE : d'où la source est le soleil, elle est exploitée pour la production d'électricité et le chauffage [2].

ENERGIE EOLIENNE : dont la source est le vent, elle exploite l'énergie cinétique du vent afin de produire l'électricité [2].

GEOOTHERMIE : elle exploite la chaleur naturelle contenue dans la terre pour produire d'électricité et de la chaleur [2].

HYDRAULIQUE : elle exploite l'énergie cinétique ou potentielle de l'eau pour la production d'électricité [2].

BIOMASSE : appelée biomasse, car elle utilise la matière organique d'origine végétale ou animale. Elle peut être utilisée directement ou transformée en différentes formes d'énergie, telles que la chaleur, l'électricité ou les biocarburants [2].

I.2.1 Intérêt des énergies renouvelables

Les motivations en faveur des énergies renouvelables sont multiples, la principale étant :

- **Durabilité environnementale**

Les énergies renouvelables réduisent les émissions de gaz à effet de serre [3].

- **Ressources inépuisables**

Les sources des énergies renouvelables sont infinies à l'échelle humaine [3].

- **Innovation technologique**

Favorisant la croissance économique et la compétitivité des industries liées aux énergies propres [3].

- **Économies financières à long terme**

En réduisant les coûts de carburant et en nécessitant moins d'entretien [3]

I.3 Energie solaire

Le potentiel de l'énergie solaire est significatif par rapport à d'autres sources d'énergie en raison de plusieurs avantages [4] ; notamment le soleil est une source propre, abondante partout dans le monde et inépuisable [1]. Les trois types d'énergie solaire sont présentés comme suit : (Voir figure I.2).

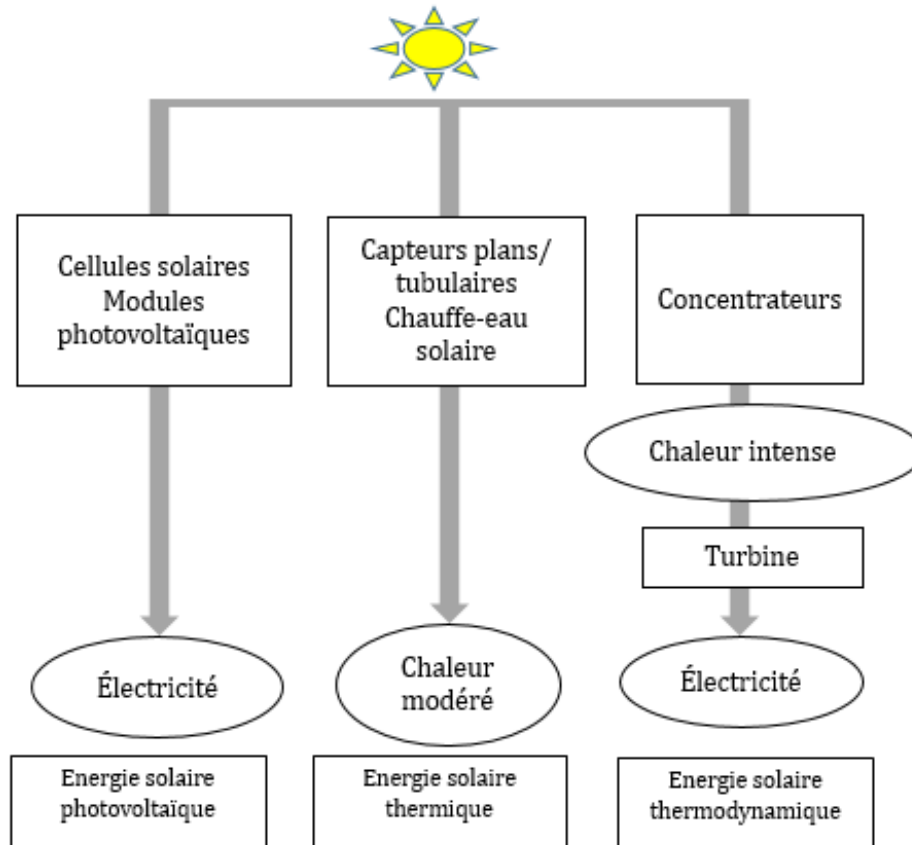


Figure (I.2) : Types d'énergie solaire

I.3.1 Energie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque désigne la production d'électricité grâce à la transformation directe de la lumière solaire en énergie électrique via des cellules photovoltaïques (Voir Figure I.3). Ces cellules utilisent l'effet photoélectrique pour libérer des électrons, générant ainsi un courant électrique lorsque la lumière du soleil les illumine.



Figure (I.3) Système photovoltaïque [1]

I.3.2 Energie solaire thermique

L'énergie solaire thermique exploite la chaleur du soleil pour générer de l'énergie thermique, habituellement, via des capteurs solaires qui absorbent la chaleur solaire (Voir figure I.4). Cette chaleur est ensuite transférée à un fluide caloporteur, lequel est employé pour chauffer de l'eau ou alimenter des systèmes de chauffage.

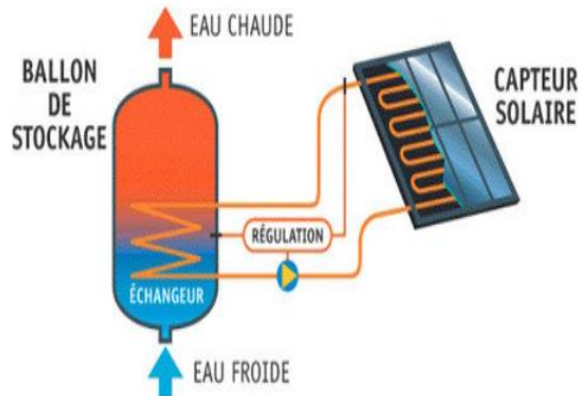


Figure (I.4) principe d'une installation solaire thermique[5]

I.3.3 Energie solaire thermodynamique

L'énergie solaire thermodynamique convertit la chaleur solaire en électricité par des processus thermodynamiques. Elle utilise des miroirs ou des lentilles pour concentrer la lumière solaire sur un récepteur, chauffant ainsi un fluide caloporteur pour produire de la vapeur. Cette vapeur actionne ensuite une turbine connectée à un générateur électrique.

I.4 Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire désigne l'énergie émise lors du processus de fusion de l'hydrogène dans le soleil. Il se compose de toute la gamme d'onde de l'UltraViolet UV ($0.2\mu m$) à l'infrarouge IR ($2.5\mu m$) [6].

Grâce aux modifications que subit le rayonnement en traversant l'atmosphère, on distingue plusieurs composant (Voir figure I.5) au sol [6] :

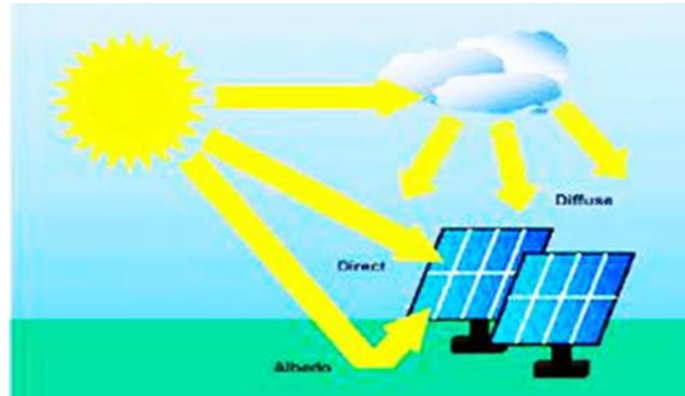


Figure (I.5) : Composants du rayonnement solaire [7]

- **Rayonnement direct :** Résultant d'une exposition directe au soleil [8].
- **L'albédo :** Correspond à la réflexion de la lumière solaire par la surface terrestre [8]. Le rapport entre l'énergie solaire incidente et réfléchi, noté le coefficient d'albédo compris entre 0 et 1 [6].
- **Rayonnement diffus :** C'est celui qui traverse les particules solides et liquides de l'atmosphère, est dispersé de manière non préférentielle dans toutes les directions [8].

Ainsi, le rayonnement global représente la somme de toutes les composantes directe, diffuse et d'albédo [7].

Le rayonnement solaire est constitué d'un nombre incalculable de photons transportant chacun une énergie E_{ph} donnée par [8] :

$$E_{ph} = h \frac{c}{\lambda} \quad (I.1)$$

E_{ph} : Energie de photon (Joule)

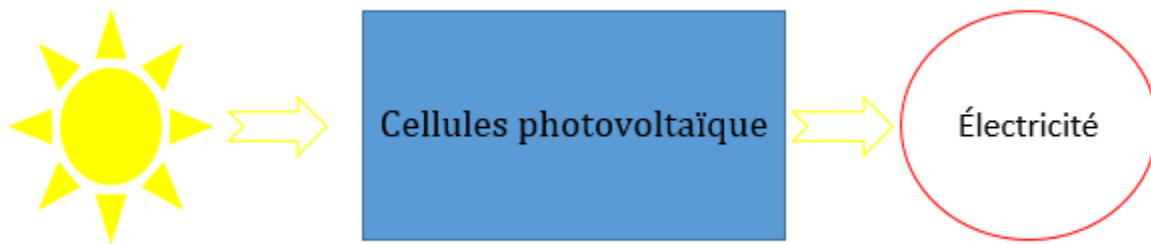
h : Constante de Planck ($6.62 \cdot 10^{-34}$ J/K)

λ : Longueur d'onde (m)

c : Vitesse de la lumière dans le vide ($3 \cdot 10^8$ m/s)

I.5 Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque désigne la conversion directe d'énergie lumineuse (rayonnement solaire) en électricité (courant continu), par le biais d'un matériau semi-conducteur inséré (Voir figure I.6) dans le dispositif (cellule solaire) [9].



Figure(I.6) : Conversion photovoltaïque

I.5.1 Historique

La découverte de l'effet photovoltaïque était en 1839 par le physicien français Edmond Becquerel, grâce un électrolyte et deux électrodes métalliques.

1954 : Les chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une photopile photovoltaïque à rendement acceptable.

1959 : Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires avec efficacité de 9 % sont envoyés dans l'espace.

1973 : La première maison pourvue de l'électricité, par des cellules solaires est érigée à l'Université de Delaware.

1983 : Le premier véhicule propulsé par énergie photovoltaïque, parcourt une distance de 4000 km en Australie.

1990 : Le début des technologies innovantes sur les matériaux, visant à améliorer l'efficacité et à réduire les coûts ; y compris les cellules solaires organiques, les cellules solaires à pérovskite et d'autres technologies avancées.

I.5.2 Effet photovoltaïque

Le terme "photovoltaïque" est un mot grec "photo", signifiant lumière, et "voltaïque", dérivé du nom du physicien italien Alessandro Volta , qui a grandement contribué à la découverte de l'électricité[1]. Littéralement, le photovoltaïque peut être compris comme la "lumière électricité" [10].

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique; c'est la capacité des photons absorbés par le matériau semi-conducteur à créer des porteurs de charges (électron-trou)[1] [4].

I.5.3 Matériaux semi-conducteurs

Contrairement aux conducteurs tels que les métaux, et aux isolants, les semi-conducteurs ont une conductivité électrique modérée [11] [12]. C'est-à-dire qui dépend de plusieurs paramètres, tel que la température, la concentration d'impuretés et le flux qui éclaire ces matériaux. Un semi-conducteur agit comme isolant à 0K [12].

I.5.3.1. Semi-conducteur intrinsèque : C'est un semi-conducteur pur, en fait il n'est pas pollué pas par des impuretés(dopants) [12].

I.5.3.2. Semi-conducteur extrinsèque : C'est un semi-conducteur, auquel on a lui ajoute des impuretés appelé dopants ; afin d'améliorer sa conductivité [13] [12]. Cette opération est appelé le dopage. On distingue deux types de dopage :

- **Type n :** Les dopants ajoutés aux électrons supplémentaires au réseau cristallin du SC (Ils ont un excès d'électrons) [13] [11].
- **Type p :** Les dopants ont un déficit d'électron, ce qui créer des trous dans la structure cristalline [13] [11].

I.5.4 Cellule photovoltaïque

Une cellule solaire appelé aussi « photopile » ; est un moyen qui permet la conversion directe de la lumière en électricité, par le biais d'un semi-conducteur qui repose sur l'effet photovoltaïque[1] [11]. Elle est composée de plusieurs couches (Voir figure I.7).

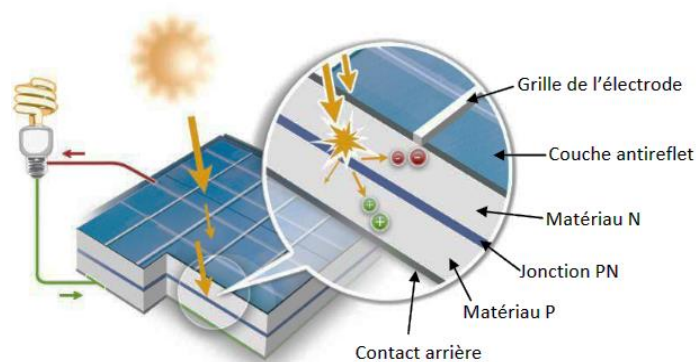


Figure (I.7) Composition d'une cellule PV[14]

Grille de l'électrode : l'électrode déposé dans la face avant, adopte une configuration en forme de grille dans le but d'améliorer la collecte des porteurs tout en permettant le passage de la lumière [15].

Couche antireflet : Cette couche réduit les pertes de lumière par réflexion, permettant ainsi une meilleure absorption de la lumière solaire[13] [15]. Sans cette dernière la cellule agit comme miroir [13].

Matériau N : couche supérieure, composé du matériau SC dopé d'un élément contenant un excès d'électron (les électrons sont majoritaires et les trous minoritaires)[1].

Jonction PN : c'est elle qui repousse les électrons vers la zone n et les trous vers la zone grâce au champ électrique. Ainsi une diode est formée [2].

Matériau P : couche inférieure, composé du matériau SC dopé d'un élément contenant moins d'électron (les trous qui sont majoritaires et les électrons qui sont minoritaires) [1].

Contact arrière : Cette couche sert également de couche réfléchissante pour les photons qui n'ont pas été absorbés à leur premier passage [15].

I.5.4.1 Principe de fonctionnement

La cellule solaire est une jonction PN éclairée. En fait, le matériau semi-conducteur utilisé dans la conversion PV, doit être dopé afin d'améliorer ses caractéristiques, notamment la conductivité.

Alors le côté exposé au soleil, est dopé avec des atomes, donc un excès d'électron (type N), tandis que l'autre côté est dopé avec des éléments qui ont un déficit d'électron dit (type P)[2]. Ainsi, le contact entre ces deux zones permet la création d'un champ électrique[2]. Lorsque cette jonction est éclairée, les photons avec une énergie supérieure ou égale à la largeur de la bande interdite, excitent les électrons, créant ainsi une paire électron-trou[2]. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel (V_{oc}) et, un courant électrique circule [12].

I.5.4.2 Types de cellules photovoltaïques

Il existe énormément des technologies de cellules photovoltaïques, chacune ayant ses propres caractéristiques, avantages et inconvénients.

Voici les trois principales générations de cellules PV (Voir figure I.7) :

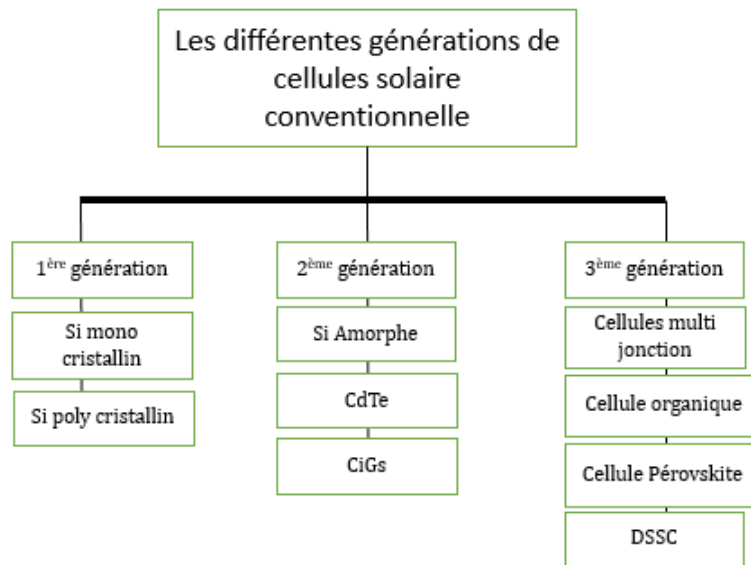


Figure (I.8) Générations de cellules solaires conventionnelles

Première génération : Cellules solaires à base de silicium cristallin

Le silicium cristallin est l'un des matériaux les plus couramment utilisés en industrie photovoltaïque ; grâce à ces propres avantages, son existence en grande quantité à la surface terrestre, et le bon rendement.

Pour la première génération on distingue :

- **Silicium monocristallin**

Le silicium monocristallin (Voir figure I.8), essentiel dans les semi-conducteurs, est utilisé pour les puces et les panneaux solaires. Sa structure cristalline unique garantit des propriétés électroniques stables. Sa fabrication implique un processus de croissance cristalline contrôlée, comme la méthode de tirage Czochralski [6]



Figure (I.9) : Silicium monocristallin [15]

- **Silicium Polycristallin**

Le silicium polycristallin, est une alternative dans l'industrie des semi-conducteurs, présentant une structure composée de plusieurs cristaux de silicium. Comparé au monocristallin, il est moins coûteux à produire, souvent privilégié pour les panneaux solaires et autres applications où des performances légèrement moindres sont acceptables. Sa fabrication nécessite un refroidissement rapide du silicium fondu, créant ainsi une structure cristalline avec plusieurs grains (Voir figure I.10).



Figure (I.10) : Silicium polycristallin [15]

Deuxième génération : Cellules solaires à couche mince

Dans cette génération, le matériau semi-conducteur est appliqué directement par vaporisation sur un support. Les matériaux qui font partie de cette génération sont :

- **Le Silicium amorphe**

Le silicium amorphe, se caractérise par l'absence de structure cristalline ordonnée, ce qui le distingue du silicium cristallin. Utilisé dans divers secteurs tels que la fabrication de cellules solaires et d'écrans plats, il est obtenu par un processus de refroidissement rapide du silicium fondu. En terme de performance, il affiche généralement un rendement de conversion énergétique de 6 à 7 %, soit environ 60 à 70 Wc/m², [16] indiquant la quantité d'énergie électrique produite par unité de surface (Voir figure I.11).

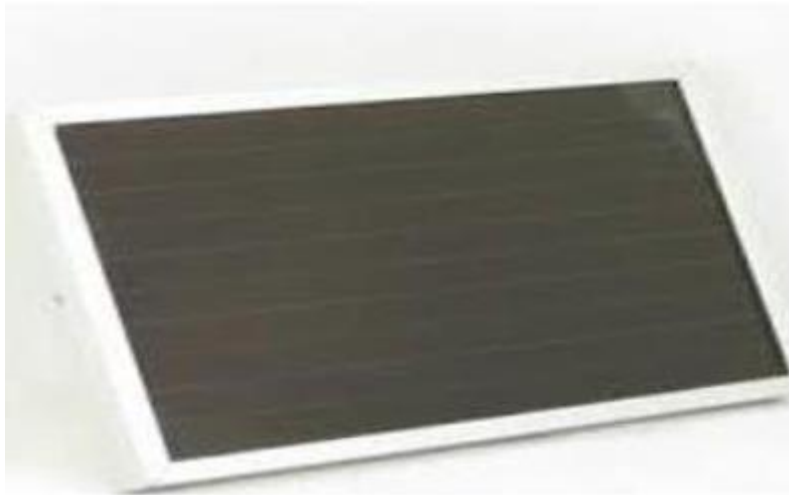


Figure (I.11) : Cellule solaire à base de silicium amorphe [17]

- **Le tellure de cadmium CdTe**

Le CdTe présente des performances notables, mais la toxicité associée au cadmium constitue une préoccupation majeure dans sa fabrication. Ses rendements se situent généralement entre 11 et 15 %, ce qui équivaut à environ 110 à 150 Wc/m^2 [16].

- **Le Cuivre Indium Gallium Sélénium (CIGS) :**

Le CIGS, un alliage composé de cuivre, d'indium, de gallium et de sélénium, présente un coefficient d'absorption optique plus élevé que celui du silicium. Les cellules solaires CIGS, sont plus minces que leurs homologues cristallins, moins risquées pour les ouvriers, les fabricants et l'environnement que les structures basées sur le tellure de cadmium[17].

Troisième génération : Cellules solaires à haut rendement et technologies avancées

Contrairement aux générations précédentes de cellules solaires, les cellules solaires de troisième génération sont élaborées à partir de nouveaux matériaux tels que les nanomatériaux, les fils de silicium, les encres solaires, et les colorants organiques. L'objectif de ce développement est d'accroître l'efficacité de conversion de puissance sur une bande plus large du spectre solaire, tout en étant non toxique et plus économique [2].

On distingue :

- **Cellules multi-jonction**

Elles sont constituées de plusieurs couches minces de matériaux semi-conducteurs, chacun étant conçu pour absorber différentes parties du spectre solaire [2].

- **Cellules organiques**

Ce type offre beaucoup d'avantages tel que, la déposition en grande surface, la fabrication facile et la réalisation sur des substrats flexibles[2] [6].

- **Cellules Pérovskite**

Les cellules solaires à pérovskite sont des dispositifs photovoltaïques qui utilisent des matériaux à base de pérovskite pour convertir la lumière solaire en électricité. Ce type a suscité beaucoup d'attention dans le domaine de la recherche photovoltaïque ; notamment en terme d'efficacité , faible coût de production et leur flexibilité [6].

- **Cellules Solaire Sensibilisé à Colorant (DSSC)**

Les cellules solaires à colorant, également connues sous le nom de DSSC (Cellules solaires sensibilisées par colorant) ou cellules Grätzel, fonctionnent en utilisant une couche de dioxyde de titane (TiO_2), qui est enduite d'un colorant organique absorbant la lumière. Cette couche est ensuite mise en contact avec un électrolyte, une solution aqueuse contenant un couple redox. [2].

I.6 Notions sur le thermophotovoltaïque

I.6.1 Historique

L'invention de la technologie thermophotovoltaïque (TPV) est passée par plusieurs étapes :

1956 : La construction d'un système TPV élémentaire par Dr Henry H, Kolm du Lincoln MIT (Laboratory for Manufacturing and productivity) [22-24]

L'avancement dans le domaine du TPV, en développant des cellules au Ge par les professeurs Wedlock et Gray.

Début de 1960 : Dr Emil Kittl et le Dr Guido Guazzoni ont progressé dans l'étude de cette technologie. Le premier qui a déclaré l'émetteur à haute Température c'est Dr Guazzoni [17-24].

Au milieu des années 1970 : la recherche TPV a connu un ralentissement considérable [22-24].

Dans les années 1980 : le rythme de la recherche TPV, était très bas grâce au manque de financement [17-24].

Début de 1990 : le lancement des programmes sur les recherches TPV, exactement à National Renewable Energy Laboratory (NREL), aux Etats Unis [17-24].

Les trois dernières conférences internationales sur les TPV ; en 2002 à Rome, 2004 à Fribourg et 2006 à Madrid [24]. Avec les progrès récents dans les technologies de semi-conducteurs; des recherches récentes ont identifié le Gallium Antimonide (GaSb), l'Arséniure de Gallium Indium (InGaAs), comme matériaux les plus prometteurs pour les nouvelles cellules TPV nouvelles [22-25].

I.6.2 Système thermophotovoltaïque

Généralement un système Thermophotovoltaïque (TPV) est composé de (Voir figure I.11) :

- **Source de chaleur**

La source de chaleur est le composant responsable de la production de chaleur au sein du système. Elle génère de la chaleur, généralement en brûlant des combustibles fossiles tels que le gaz naturel ou le pétrole. Cette chaleur est ensuite transférée à un émetteur pour le processus ultérieur.

- **Emetteur**

L'émetteur a pour rôle de transformer la chaleur provenant de la source en rayonnement électromagnétique, principalement dans la plage infrarouge. Cette conversion est réalisée grâce à l'utilisation de matériaux spécifiques capables d'émettre de la lumière à des longueurs d'onde particulières. Il existe deux. Types d'émetteurs[18] :

- les émetteurs sélectifs qui sont des émetteurs qui présentent théoriquement une bande interdite étroite avec des valeurs d'émissivité élevées uniquement en correspondance de la bande interdite de la cellule TPV[18].
- les émetteurs à large bande qui ont une émissivité élevée sur tout le spectre de rayonnement. Dans la technologie des émetteurs les matériaux utilisés sont soit des céramiques, soit des métaux. Le matériau le plus utilisé est le carbure de silicium (SiC), à cause de son émissivité élevée qui se situe autour de 0,9 sur l'ensemble du spectre[18].

- **Réseau de cellules PV**

Le réseau photovoltaïque est composé d'une série de cellules solaires qui transforment le rayonnement infrarouge provenant de l'émetteur en électricité. Ces cellules solaires contiennent des matériaux semi-conducteurs capables de produire un courant électrique lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Ce courant électrique peut ensuite être utilisé pour

alimenter des appareils électriques ou être stocké dans des batteries pour une utilisation ultérieure.

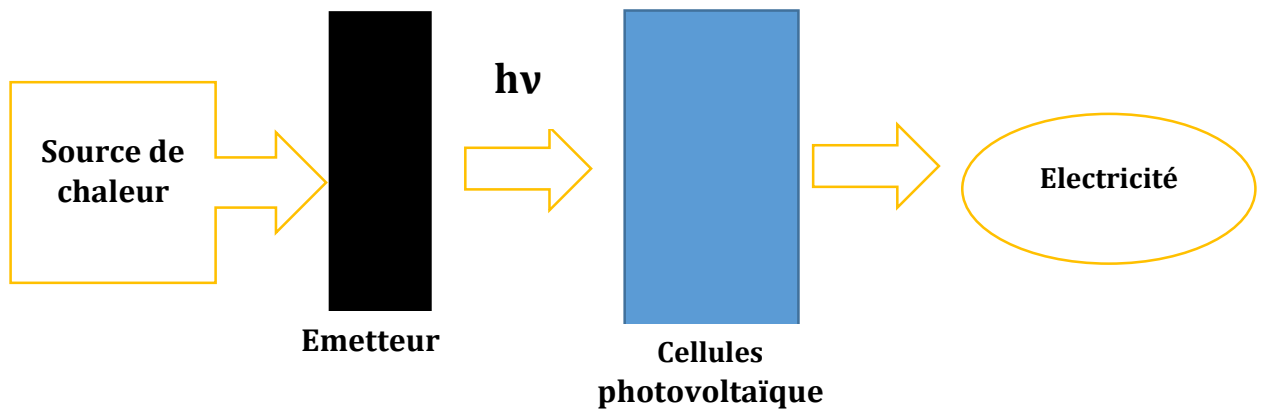


Figure (I.12) : Système Thermophotovoltaïque

I.6.3 Principe de fonctionnement

Le processus commence avec une source chaude, qui chauffe l'émetteur jusqu'à sa longueur d'onde d'émission dans le spectre (IR), en raison de sa température élevée. Puis, l'émetteur transfère le rayonnement thermique de la source chaude vers les cellules thermophotovoltaïques (TPV) via un filtre (système optique) [18]. Finalement ; les cellules thermophotovoltaïques (TPV) captent le rayonnement thermique, où le matériau Semi-Conducteur (SC) se situe et un effet photovoltaïque se manifeste [18].

I.6.4 Cellules Thermophotovoltaïque

Contrairement aux cellules classiques qui convertissent la lumière en électricité ; la cellule thermo photovoltaïque est une technologie qui sert à convertir directement la chaleur en électricité [20]. Elle est appelée cellule TPV car est une cellule d'où la conversion thermique-photovoltaïque se manifeste par le biais d'un matériau semi-conducteur sensible aux IR [20]. Alors le principe d'une cellule solaire dans un système TPV est similaire aux celles d'un système PV ; en effet, est un dispositif à semi-conducteur qui se fonctionne de la même manière de cellule photovoltaïque (PV), sauf que ; les matériaux utilisés dans les cellules thermophotovoltaïques TPV ont une bande interdite ajustées pour correspondre aux énergies des photons émis dans la gamme infrarouge (IR) [17].

I.6.5 Matériaux utilisés dans les cellules Thermophotovoltaïques (TPV)

Le choix des matériaux pour les thermophotovoltaïques (TPV) est souvent le résultat d'une optimisation complexe prenant en compte différents facteurs tel que ; la bande interdite étroite et durabilité et stabilité thermique.

- Cellule Thermophotovoltaïque TPV à base de germanium (Ge) [19].
- Cellule Thermophotovoltaïque TPV à base d'antimoniure de gallium (GaSb) [19].
- Cellules Thermophotovoltaïque TPV basée sur l'alliage de InAs et GaSb : y compris ; InGaSb, GaAsSb, AlGaSb, AlGaAsSb et InAsSbP [19].

I.6.6 Applications de cellules Thermophotovoltaïques (TPV)

Le système TPV est utilisé dans plusieurs domaine tel que :

- Le centrales nucléaires [18]
- Les centrales pétrolière [18]
- Système solaire à concentration [18]
- La biomasse [18]

I.7 Caractéristiques électriques d'une cellule solaire

I.7.1 Puissance crête (W_c ou W_p)

La puissance crête d'une photopile, noté en W_c (Watt crête) ou W_p (Watt peak), représente la puissance mesurée sous les conditions de test standard "STC". Ces conditions comprennent un éclairement ϕ de 1000 W/m^2 , une température T de 25°C , et une répartition spectrale spécifique du rayonnement [20], [21].

I.7.2 Caractéristiques $I(V)$

Les caractéristiques d'une cellule photovoltaïque sont importantes pour évaluer les performances d'un système solaire. Voici comment elles sont généralement représentées (voir figure I.13) :

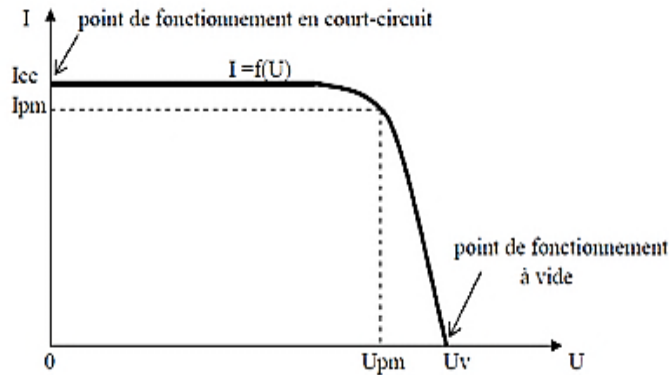


Figure (I.13) : Caractéristique $I(V)$ d'une cellule solaire

I.7.3 Courant court-circuit I_{cc}

Il s'agit de courant court-circuit, lorsque la tension aux bornes de la cellule est nul ($V=0$) [6]. Il augmente de manière linéaire avec l'intensité lumineuse de la cellule et facteurs tels que la surface éclairée, la longueur d'onde du rayonnement, la mobilité des porteurs et la température [21] [6].

I.7.4 Tension en circuit-ouvert V_{co}

La tension à circuit ouvert se produit lorsque le courant traversant la cellule est nul à l'obscurité [6]. Elle est influencée par les matériaux de la bande active [6], diminuant avec l'augmentation de la température et présentant peu de variations en fonction de l'intensité lumineuse [21].

V_{co} est donné par la relation suivante :

$$V_{co} = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{I_{cc}}{I_s} + 1\right) \quad (I.2)$$

V_{co} : Tension en circuit ouvert

K : Constante de Boltzmann 1.38×10^{-23} en Joule par kelvin (J/K).

T : Température absolue en kelvins

q : Charge élémentaire 1.602×10^{-19} en coulomb (C) .

I_{cc} : Courant de court circuit en Ampère (A).

I_s : Courant de saturation en Ampère (A).

I.7.5 Facteur de Forme (FF)

Le facteur de forme (FF), permet à déterminer la qualité de la cellule [6] ; il est donné par :

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{co} \times I_{cc}} = \frac{P_m}{V_{co} \times I_{cc}} \quad (I.3)$$

Avec :

I_m : Courant maximal [A].

V_m : Tension maximal [V].

De ces deux paramètres ; on peut tirer que :

$$P_{max} = I_m \times V_m \quad (I.4)$$

I.7.6 Rendement (η)

Le rendement η des cellules photovoltaïques représente l'efficacité de conversion en puissance. Il est exprimé comme le rapport entre la puissance maximale produite par la cellule et la puissance lumineuse incidente (P_{in}).

$$\eta = \frac{P_f}{P_{inc}} = \frac{FF \times V_{co} \times I_{cc}}{P_{in}} \quad (I.5)$$

Avec :

P_{in} : Puissance incidente [W].

P_f : Puissance fournie [W].

I.7 Rendement quantique

Il mesure l'efficacité avec laquelle les photons incidents sont convertis en porteurs de charge utilisables (électrons et trous) dans le dispositif. Il est donné par la relation suivant :

$$QE = \frac{I_{ph}}{q \phi_0(\lambda)} \quad (I.6)$$

I_{ph} : le photo-courant à la longueur d'onde λ ,

q : est la charge d'un électron,

$\phi_0(\lambda)$: le flux de photons incidents à la longueur d'onde λ .

I.8 CONCLUSION

Nous avons exploré les généralités sur l'énergie solaire, en mettant la lumière sur les principes de base qui sous-tendent l'utilisation de l'énergie solaire dans contextes ; le photovoltaïque et le thermophotovoltaïque, ouvrant ainsi aux bases nécessaires pour la simulation.

Références bibliographiques

- [1] A. Boukari et M. Ouled Abd Salam, « L'impact des énergies renouvelables sur l'environnement », master physique énergétique et énergie renouvelable, université Adrar, 2017.
- [2] D. I. Chacha et S. BOUHNİK, « Etude comparative des cellules solaire de 1er, 2ème et 3ème génération », master génie chimique, université Ouargla, 2023.
- [3] G. Nesrine, « Les ressources en énergies renouvelables », master physique des matériaux, université Bordj Bou Arreridj, 2021.
- [4] Y. Bouguerguour, « Etude expérimental, de l'éclairnement, l'inclinaison et l'orientation de la tension (Voc) d'un panneau photovoltaïque . », master physique énergétique et énergie renouvelable, université Skikda, 2020.
- [5] T. REDDAH, « Etude et dimensionnement d'un système solaire combiné Application: Logement individuel type F3 à Batna », Magistère génie mécanique, université Batna, 2015.
- [6] A. Saidi, « Effet du silicium poreux sur les performances des cellules solaires : Modélisation et simulation », master physique énergétique et énergie renouvelable, université Tlemcen, 2023.
- [7] B. Mhenna et G. Ferhat, « Alimentation d'un moteur à courant continu par une source photovoltaïque », master automatique et informatique industrielle, Tizi-Ouzou, 2018.
- [8] C. Azouaou, « Simulation d'un système hybrid photovoltaïque et éolienne totalement autonome », master électrotechnique, université Tizi-Ouzou, 2010.
- [9] M. Hfayed, « Simulation numérique d'une Cellule solaire (p/n) en GaAs », master physique des matériaux, université Biskra, 2024.
- [10] S. Thabet et A. Yahiaoui, « Effet de l'orientation des panneaux solaires sur la performance d'une installation photovoltaïque. », master physique énergétique et énergie renouvelable, université Tiaret, 2019.
- [11] O. Yahiouche et Z. Hammouda, « Synthèse des matériaux semi-conducteurs à base de soufre: Application en photocatalyse solaire », master génie de l'environnement, université Ouargla, 2018.
- [12] S. Maalla et M. Mansouri, « Simulation numérique des caractéristiques électriques », mémoire de master, université Mohamed Khider de Biskra, 2020.
- [13] F. Mechai, « Etude et simulation des structures photovoltaïques à base de chalcogénures de métaux de transition MX₂ (M= W, Mo; X= S, Se) », magistère électronique, université Tizi-Ouzou, 2016.
- [14] A. CHEHAM et S. EL MAGBED, « Commande robuste d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique », master en Automatique et Système, Université d'Ourgla, 2018.
- [15] V. Gorge, « Caractérisations de matériaux et tests de composants des cellules solaires à base des nitrures des éléments III-V », doctorat Sciences et Technologies de l'Information des télécommunications et des systèmes, Paris-sud 11, 2012.
- [16] M.-E. Tennoune et A. Mahrane, « Étude d'une cellule photovoltaïque en hétérojonction en silicium nanocristallin », master physique des matériaux, université Jijel, 2021.
- [17] A. Labad, « Etude et simulation d'une cellule solaire en CIGS par SCAPS », master système embarqué, université Skikda, Biskra, 2022.
- [18] H. Rabhine, « Modélisation, simulation numérique et optimisation d'un système thermophotovoltaïque à base de cellules en GaSb », master physique énergétique et énergie renouvelable, université Tlemcen, 2023.
- [19] Z. Berkai, « Etude et simulation d'une cellule thermo-photovoltaïque », magistère physique énergétique, université Bechar, 2012.
- [20] K. Benabed, « Etude et simulation d'une cellule solaire à base de chalcopyrites CuInSe₂ avec TCAD-SILVACO », master modélisation et caractérisation des matériaux, université Mostaganem, 2017.

- [21] D. Berrian et S. Bouzaghrou, « Développement des modèles mathématiques d'un générateur photovoltaïque défectueux », master énergie renouvelable et énergie solaire, université Houari Boumedién, 2015.

Chapitre II : Semi-conducteurs III-V

L'arséniure de Gallium GaAs et l'Arséniure de Bore BA

II.1 Introduction

L'arséniure de gallium (GaAs) et l'arséniure de bore (BAs) sont des composés semi-conducteurs cruciaux pour une gamme variée d'applications, notamment dans les dispositifs électroniques, les lasers, les cellules solaires et les capteurs optoélectroniques.

Dans ce chapitre, nous allons examiner les propriétés fondamentales de matériaux, leur structure cristalline, leurs caractéristiques électroniques et optiques, ainsi que leur rôle essentiel dans le domaine technologique contemporain.

II.2 Arsenic du Gallium (GaAs)

Le GaAs, un semi-conducteur de type III-V, est formé de gallium (Ga) provenant de la colonne III et d'arsenic (As) de la colonne V du tableau périodique [22]. Ce composé n'est pas présent à l'état naturel, mais se trouve dans la croûte terrestre à une concentration de 5 à 15 mg/kg, généralement extrait comme un sous-produit de l'extraction de l'aluminium et du zinc à partir de leurs minerais. Dans les années 1920, Goldschmidt a réalisé la première synthèse de GaAs, mettant en évidence sa structure cristalline de type zinc blende (Voir figure III.1) [23].



Figure (II.1) GaAs à l'état pur [24]

II.3 Propriétés

Le (GaAs) présente des propriétés d'émission de lumière, une mobilité électronique élevée, des propriétés électromagnétiques et des propriétés photovoltaïques [23].

II.3.1 Propriétés structurelles

Dans les années 1920, Goldschmidt a créé du (GaAs) et a découvert qu'il avait une structure cristalline cubique appelée sphalérite (ou zincblende). Cette structure présente une symétrie avec une base composée d'une molécule de (GaAs). Chaque cube illustré dans la figure contient quatre molécules de (GaAs) dans un volume de 3 unités cubes. Les liaisons les plus proches ont une longueur de liaison d'environ $\sqrt{3}A/4$, soit ρ , et sont séparées par un angle de liaison tétraédrique d'environ 109,47 degrés[22], [3].

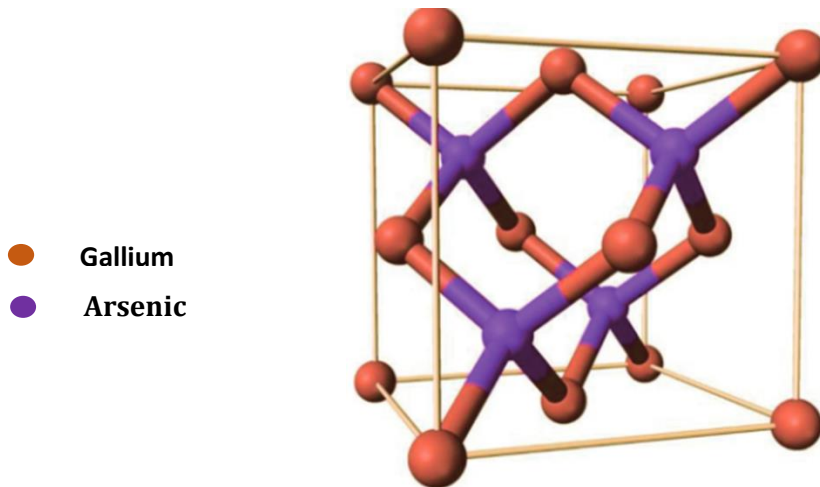


Figure (II.4) : Structure cristalline de la maille cubique de GaAs [26]

II.3.2 Propriétés électriques

Le (GaAs) est un mauvais conducteur électrique lorsqu'il est pur, ce qui signifie qu'il a une faible densité de porteurs de charge qui peuvent se déplacer librement à l'intérieur du matériau. En conséquence, il est souvent qualifié de semi-isolant [6], [26].

La particularité du (GaAs) semi-isolant est qu'il peut être utilisé comme substrat pour fabriquer plusieurs dispositifs électroniques actifs sur une même puce. Chaque dispositif est électriquement isolé des autres grâce aux propriétés semi-isolantes du (GaAs). Cette caractéristique est importante pour la miniaturisation des circuits électroniques, car elle permet de réduire l'espace nécessaire sur la puce [6], [26].

II.3.2.1 Constante diélectrique relative

La constante diélectrique relative (ϵ_r) pour le (GaAs) à température ambiante ; est environ 12.9. C'est une propriété importante qui mesure la capacité du matériau à modifier les champs électriques appliqués. Elle augmente d'une façon monotone avec la température [28].

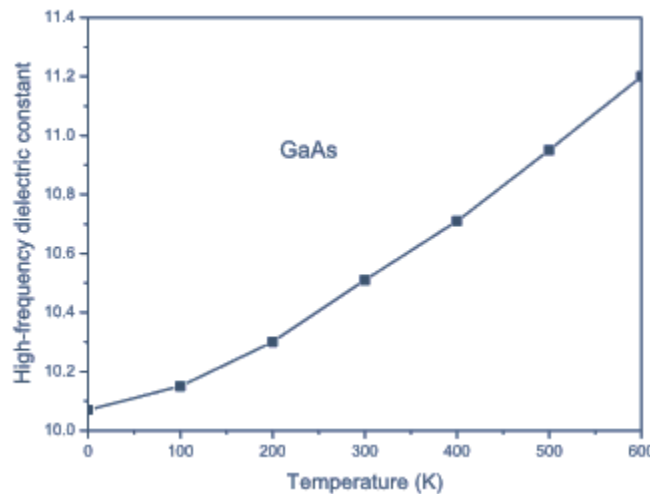


Figure (II.5) : Constante diélectrique à haute fréquence dans le GaAs en fonction de la température [28].

II.3.3 Propriétés électroniques

II.3.3.1 Propriétés de transport du (GaAs)

Le (GaAs) est reconnu pour son phénomène unique appelé "transfert d'électrons", ou effet TE (electron transfert). Ce phénomène se produit lorsque des électrons se déplacent d'une région à une autre de la structure de bande énergétique du matériau sous l'influence d'un champ électrique.

En raison de sa grande mobilité électronique et de ses caractéristiques particulières, le GaAs présente une résistance électrique négative, ce qui signifie que sa résistance diminue avec l'augmentation du champ électrique [27] [24]. Il est notable que La mobilité des porteurs dans le GaAs dépend fortement du dopage et du rapport de compensation.

II.3.3.2 Bande Interdite

La bande interdite directe de l'Arsenic du Gallium est de 1,424 eV à la température ambiante, et l'on considère généralement que sa dépendance à la température suit une relation particulière.

$$E_g(T) = 1.519 - 5.405 \times 10^{-4} \frac{T^2}{(T+204)} \quad [29]$$

II.3.3.3 Dopage

Dopage n et p : Le (GaAs) peut être dopé à la fois de type N (négatif) et de type P (positif). Les éléments du groupe VI, tels que le tellure et le sélénium, agissent généralement comme des donneurs, tandis que les éléments du groupe II, comme le zinc et le magnésium, agissent comme des accepteurs [30] [29].

Dopage semi-isolant : Le (GaAs) peut être dopé de manière à devenir semi-isolant, c'est-à-dire de très haute résistivité. Cela est souvent réalisé en utilisant des accepteurs profonds tels que le chrome et en compensant partiellement le matériau avec des donneurs peu profonds ou en utilisant des dopants spécifiques tels que EL₂ [30] [29].

À des niveaux de dopage relativement bas, l'arsenic du gallium devient dégénéré, ce qui implique qu'il présente des caractéristiques de conductivité similaires à celles des métaux plutôt qu'à celles des semi-conducteurs. Ainsi, même à température ambiante, le matériau peut efficacement conduire le courant. Cette propriété est particulièrement marquante pour le dopage de type n [30] [29].

II.3.4 Propriétés optiques

La propriété optique remarquable du (GaAs) réside dans son efficacité de recombinaison des porteurs de charge à l'hétérojonction, favorisant ainsi la production de lumière dans les dispositifs optoélectroniques tels que les LED à hétérojonction[26].

II.3.4.1 Position de l'absorption

L'absorption se produit à une longueur d'onde d'environ 0,87 micromètres lorsque la température est de 300°C. Cela correspond à un niveau d'énergie spécifique dans le matériau [31].

II.3.4.2 Caractéristiques de l'absorption

Lorsque la lumière est absorbée par le matériau, cela se produit de manière très soudaine et forte à cette longueur d'onde précise. Plus l'énergie de la lumière (photons) augmente, plus le matériau absorbe intensément, et cette augmentation est très rapide et exponentielle. La courbe qui montre cette absorption a une pente très raide, ce qui signifie que le taux d'absorption augmente rapidement avec l'énergie des photons [31].

- **Indice de réfraction**

L'indice de réfraction du (GaAs) augmente de manière monotone avec la température, passant de 3,17 à 3,35 dans la plage de température de 0 à 600 K[28]. Cela indique que les propriétés de propagation de la lumière à travers le matériau varient avec la température. Dans l'infrarouge, l'indice de réfraction du (GaAs) est d'environ 3,299 [28].

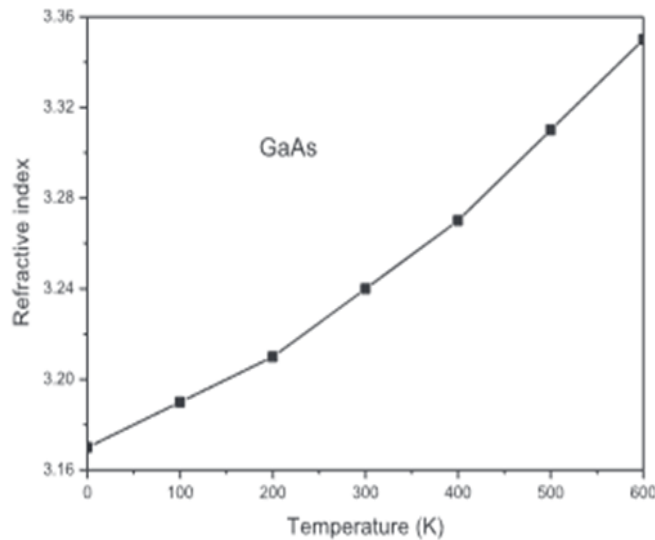


Figure (II.6) : Indice de réfraction dans le GaAs en fonction de la température [28]

- **Coefficient d'absorption**

Le coefficient d'absorption du (GaAs) augmente avec l'augmentation de l'énergie des photons dans une certaine plage [28]. Cette augmentation est observée jusqu'à un maximum à une énergie spécifique, après quoi le coefficient d'absorption commence à diminuer [28].

Il est également important de noter que le (GaAs) ne présente pas d'absorption dans la plage d'énergie correspondant à sa bande interdite, ce qui signifie qu'il n'y a pas d'absorption en dessous de cette énergie spécifique. [23].

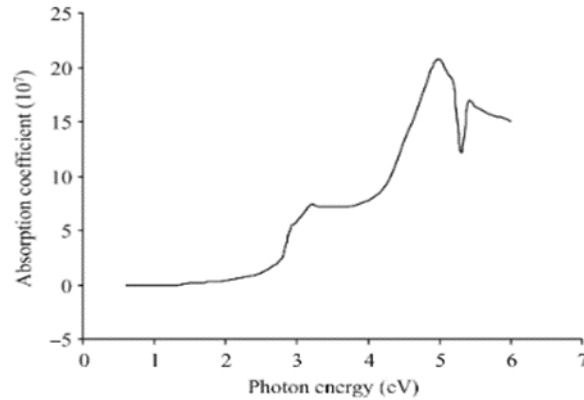


Figure (II.7) : Coefficient d'absorption de GaAs [23]

II.4. Application

Le Gallium Arsenide (GaAs) est un semi-conducteur présentant des caractéristiques distinctives, le positionnant comme un choix optimal pour une multitude d'applications notamment :

- La mobilité électronique élevée du (GaAs) le rend parfait pour des applications à **haute vitesse** comme **les dispositifs micro-ondes, les transistors haute fréquence et l'optoélectronique**.
- La bande directe du (GaAs) lui fait un choix privilégié pour **les diodes électroluminescentes (LED), les cellules solaires et autres dispositifs optoélectroniques**.
- Le (GaAs) présente une grande stabilité thermique, conservant ses performances à températures élevées, ce qui le rend parfait pour l'électronique de puissance et les capteurs haute température.

II.5 Arsenic du Bore (BAs)

le BAs est un semi-conducteur III-V, ce qui signifie qu'il est composé d'éléments du groupe III (bore) et du groupe V (arsenic) dans le tableau périodique des éléments[12], formé par la liaison entre des atomes de bore et d'arsenic dans une structure cristalline de type blende de zinc. Dans cette structure, les atomes de bore et d'arsenic s'entrelacent et sont liés par des liaisons covalentes, avec une constante de maille de 4,78 Å [32].

II.5.1 Propriétés

II.5.1.1 Structure cristalline

La structure cristalline du borure d'arséniure est généralement de type blende de Zinc, également connue sous le nom de structure cubique. Dans cette structure, les atomes de bore et d'arsenic sont disposés de manière régulière dans des motifs de tétraèdres. Cela signifie que chaque atome de bore est entouré par quatre atomes d'arsenic, et vice versa, formant une disposition répétitive dans tout le cristal [32], [33].

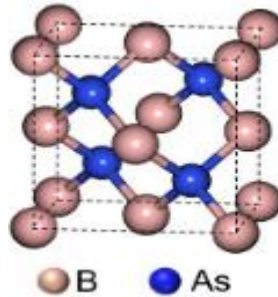


Figure (II.10) : Cristaux cubiques de BAS [32]

II.5.1.2 Conductivité thermique

Le borure d'arséniure de structure Zinc-blende (BAS) semble avoir une excellente conductivité thermique, comme indiqué par des calculs basés sur les principes fondamentaux [16, [35]. À température ambiante, le BAS naturel est prédit avoir une conductivité thermique de plus de $2000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ [36], et cette valeur pourrait dépasser $3000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ pour le BAS avec des isotopes purs. Cela le place dans la même catégorie que le diamant, qui a une conductivité thermique d'environ $2000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, dépassant largement des matériaux traditionnellement utilisés comme conducteurs thermiques, tels que le cuivre (environ $400 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) [37] et le nitrure d'aluminium (environ $300 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) [38] [39]. Cette conductivité thermique exceptionnelle fait du BAS un choix prometteur pour diverses applications nécessitant une gestion thermique hautement efficace [39].

II.5.1.3 Propriétés mécaniques

Une dureté Vickers de 22 GPa indique que le BAS possède une certaine résistance [40], bien qu'elle ne soit pas parmi les plus élevées. Les mesures des modules de Young et de volume se situent respectivement à 388 GPa démontrant ainsi sa robustesse et sa rigidité [40]. Ces caractéristiques mécaniques importantes, combinées à la conductivité thermique

remarquablement élevée, soulignent le fort potentiel d'utilisation du BAAs dans les futures applications des semi-conducteurs [40].

II.5.1.4 Propriétés optiques

○ Indice de réfraction

Lors des mesures expérimentales réalisées, l'indice de réfraction optique du BAAs a été déterminé à 3,29 pour une longueur d'onde de 657 nm et 3.04 (908 nm) à température ambiante[32]. Ce paramètre adimensionnel clé, représenté par la lettre n , est essentiel pour les applications photoniques, car il décrit la vitesse de propagation de la lumière à travers le matériau[32].

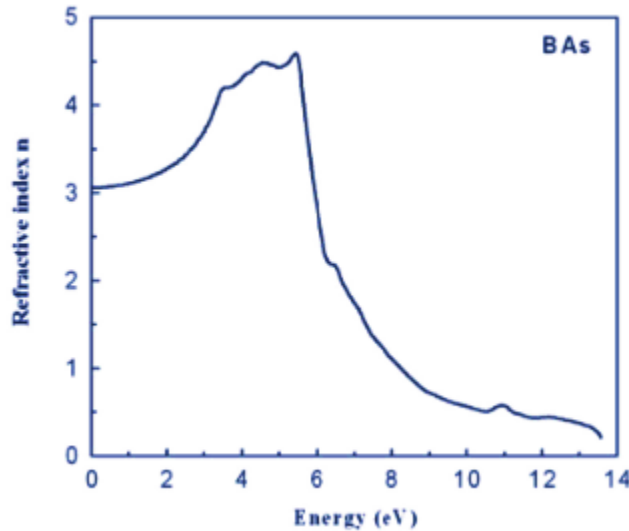


Figure (II.11) L'indice de réfraction [33]

○ Gap d'énergie

À température ambiante, le borure d'arséniure cubique (BAAs) révèle un gap d'énergie optique évalué à 1,82 eV[32]. Ce gap optique joue un rôle crucial dans la détermination de l'absorption optique et du transport électrique dans le matériau solide [32].

II.5.1.5 Propriété thermique

• Coefficient de dilatation thermique

Le coefficient de dilatation thermique linéaire du BAAs est mesuré à $3,85 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, une valeur proche de celle des semi-conducteurs prototypes tels que GaN [32].

II.6 Propriétés du BAS pertinentes pour les systèmes TPV

a. Conductivité thermique élevée

L'Arséniure du Bore (BAS) possède une conductivité thermique exceptionnellement élevée, comparable à celle du diamant. Cette propriété permet de gérer efficacement la chaleur, ce qui est crucial dans les systèmes TPV pour éviter les surchauffes et améliorer la durabilité des composants.

b. Large bande interdite

Le BAS a une large bande interdite ($\sim 1,46$ eV), ce qui le rend idéal pour les cellules photovoltaïques opérant dans le spectre infrarouge proche. Cette bande interdite permet une absorption efficace du rayonnement infrarouge émis par l'émetteur TPV, maximisant ainsi la conversion de l'énergie thermique en énergie électrique.

c. Propriétés électroniques favorables

Le BAS présente des propriétés électroniques intéressantes, telles qu'une mobilité électronique élevée, qui contribuent à une meilleure efficacité de conversion dans les dispositifs photovoltaïques.

d. Stabilité thermique et chimique

Le BAS est stable à haute température, ce qui est essentiel pour les applications TPV où les matériaux sont exposés à des températures élevées. Sa stabilité chimique garantit également une longue durée de vie et une fiabilité accrue des dispositifs.

e. Avantages par rapport à d'autres matériaux

Par rapport à d'autres matériaux utilisés dans les systèmes TPV, comme le silicium ou les composés III-V (comme GaAs), le BAS offre un équilibre optimal entre conductivité thermique, bande interdite et propriétés électroniques. Cela le rend particulièrement prometteur pour des applications TPV haute performance.

f. Innovation et recherche avancée

L'utilisation du BAS dans les systèmes TPV est encore en phase de recherche et développement, offrant une opportunité unique d'explorer et de contribuer à l'innovation dans ce domaine. En choisissant le BAS, l'étude vise à ouvrir de nouvelles voies pour améliorer l'efficacité et la fiabilité des systèmes TPV.

II.7 Applications

- ✚ Les échantillons synthétisés récemment, de qualité supérieure selon les études les plus récentes, suscitent un intérêt grandissant pour le matériau. Cet intérêt s'étend à diverses applications, de l'électronique de puissance aux dispositifs optoélectroniques.
- ✚ L'Arséniure de Bore a été suggéré comme candidat pour le développement de cellules photovoltaïques[41].

II.8 Conclusion

De manière générale, L'Arséniure Gallium (GaAs) et l'Arséniure de Bore (BAs) se distinguent en tant que matériaux semi-conducteurs prometteurs, chacun avec ses propres caractéristiques et applications spécifiques. Le GaAs est largement intégré dans l'industrie des dispositifs électroniques en raison de ses performances électriques supérieures et de sa bande interdite directe. D'un autre côté, le BAs suscite un intérêt croissant pour ses propriétés thermiques remarquables, le positionnant comme un candidat potentiel pour le refroidissement électronique et les applications optoélectroniques. Malgré les propositions d'utilisation du BAs dans les cellules photovoltaïques, son exploitation pratique dans ce domaine demeure à concrétiser.

Référence bibliographique

- [22] J. S. Blakemore, « Semiconducting and other major properties of gallium arsenide », *J. Appl. Phys.*, vol. 53, n° 10, p. R123-R181, 1982.
- [23] J. Akinlami et A. Ashamu, « Optical properties of GaAs », *J. Semicond.*, vol. 34, p. 032002, 2013.
- [24] F. SEDDAR YAGOUB, « Simulation de la croissance de l'arséniure de gallium GaAs par le procédé de dépôt en phase vapeur chimique CVD », mémoire de master, Université Ibn Khaldoun, Tiaret, 2013.
- [25] I. Rima, « Effet de la température sur les performances des cellules solaires à base d'arséniure de gallium GaAs. », mémoire de master, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ozzou, 2017.
- [26] T. Tabbakh, R. Aljohany, H. Alhazmi, et R. Alsulami, « Elastic, Optical, Transport, and Structural Properties of GaAs », in *Post-Transition Metals*, London: IntechOpen, 2021, p. 75-91.
- [27] M. Yoshikawa, K. Iwagami, et H. Ishida, « Characterization of carrier concentration and stress in GaAs metal-semiconductor field-effect transistor by cathodoluminescence spectroscopy », *J. Appl. Phys.*, vol. 84, n° 3, p. 1693-1696, 1998.
- [28] A. K. M, A. H, et B. N, « Temperature dependence of the optical and lattice vibration properties in gallium arsenide », n° 167, p. 366-371, 2018.
- [29] T. E. Schlesinger, « Gallium Arsenide », in *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, 2001, p. 3431-3435.
- [30] J. S. Blakemore, « Semiconducting and other major properties of gallium arsenide », *J. Appl. Phys.*, vol. 53, n° 10, p. R123-R181, oct. 1982.
- [31] D. J. Oliver, « Gallium arsenide », *Phys. Bull.*, vol. 16, n° 4, p. 121, 1965.
- [32] J. S. Kang, M. Li, H. Wu, H. Nguyen, et Y. Hu, « Basic physical properties of cubic boron arsenide », *Appl. Phys. Lett.*, vol. 115, n° 12, p. 6, 2019.
- [33] M. Guemou, A. Abdiche, R. Riane, et R. Khenata, « Ab initio study of the structural, electronic and optical properties of BAs and BN compounds and BNxAs_{1-x} alloys », *Phys. B Condens. Matter*, vol. 436, p. 33-40, 2014.
- [34] L. Lindsay, D. A. Broido, et T. L. Reinecke, « First-Principles Determination of Ultrahigh Thermal Conductivity of Boron Arsenide: A Competitor for Diamond? », *Phys. Rev. Lett.*, vol. 111, n° 2, p. 025901, 2013.
- [35] H. Ma *et al.*, « Boron arsenide phonon dispersion from inelastic x-ray scattering: Potential for ultrahigh thermal conductivity », *Phys. Rev. B*, vol. 94, n° 22, p. 220303, 2016.
- [36] L. Wei, P. K. Kuo, R. L. Thomas, T. R. Anthony, et W. F. Banholzer, « Thermal conductivity of isotopically modified single crystal diamond », *Phys. Rev. Lett.*, vol. 70, n° 24, p. 3764-3767, juin 1993.
- [37] F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman, et A. S. Lavine, *Fundamentals of heat and mass transfer*, vol. 6. Wiley New York, 1996.
- [38] G. A. Slack, « Nonmetallic crystals with high thermal conductivity », *J. Phys. Chem. Solids*, vol. 34, n° 2, p. 321-335, 1973.
- [39] F. Tian *et al.*, « Seeded growth of boron arsenide single crystals with high thermal conductivity », *Appl. Phys. Lett.*, vol. 112, n° 3, p. 5, 2018.
- [40] F. Tian *et al.*, « Mechanical properties of boron arsenide single crystal », *Appl. Phys. Lett.*, vol. 114, n° 13, p. 131903, 2019.
- [41] J. F. Geisz *et al.*, « BGalnAs alloys lattice matched to GaAs », *Appl. Phys. Lett.*, vol. 76, n° 11, p. 1443-1445, 2000.

Chapitre III : Simulation, Résultats et discussion

III.1 INTRODUCTION

Ce chapitre examine les simulations des matériaux semi-conducteurs GaAs et BA_s à l'aide du SCAPS. Nous présentons notre méthodologie, mettant en évidence les paramètres essentiels pris en compte. En analysant les courbes des performances Photovoltaïque et les rendements quantiques, nous explorons les performances des cellules solaires. Enfin, nous discutons des tendances observées, des différences entre GaAs et BA_s, et des implications pour le développement futur des cellules solaires à haut rendement.

III.2 Présentation de logiciel Scaps 1D

SCAPS (Solar Cell Capacitance Simulator) développé et présenté à l'Université de Gand en Belgique [42]. En comparaison avec d'autres logiciels similaires, SCAPS se distingue par sa capacité à simuler le plus large éventail de mesures électriques en courant alternatif (AC) et en courant continu (DC), comprenant notamment la tension de circuit ouvert (V_{oc}), la densité de courant de court-circuit (J_{sc}), le facteur de remplissage ($FF\%$), l'efficacité quantique ($QE\%$), ainsi que des analyses telles que la spectroscopie en tension de capacité $C(V)$, la spectroscopie en fréquence de capacité $C(f)$, les profils de génération et de recombinaison, la réponse spectrale, la structure de bande d'énergie de l'hétérojonction, la distribution du champ électrique, et les densités de courant des porteurs. Toutes ces mesures peuvent être calculées et obtenues dans des conditions de lumière et d'obscurité, ainsi qu'à différentes températures et niveaux d'illumination[43]. Par ailleurs, SCAPS offre la possibilité d'intégrer jusqu'à sept couches supplémentaires à la structure de la cellule, permettant une modélisation plus précise. Les propriétés physiques et électroniques de ces couches et contacts doivent être importées dans leurs sections spécifiques correspondantes.

III.2.1 Notion de base sur le logiciel Scaps

SCAPS emploie une approche mathématique appelée "différences finies" pour résoudre les équations qui détaillent le comportement électrique des semi-conducteurs. Ces équations englobent l'équation de Poisson, qui explique le mouvement du courant électrique à travers le semi-conducteur, ainsi que les équations de continuité des électrons et des trous, qui décrivent comment les charges électriques circulent à l'intérieur du matériau[42].

Voici un aperçu général pour le fonctionnement du logiciel Scaps ;

- **Ouverture du logiciel**

Quand vous démarrez SCAPS, vous êtes généralement accueilli par une fenêtre d'accueil ; cette interface peut légèrement différer selon la version de SCAPS que vous utilisez. Pour ouvrir SCAPS, vous avez la possibilité de cliquer deux fois sur son icône ou de lancer l'exécution à partir de la ligne de commande, selon votre système d'exploitation.

- **Première page ou interface**

Après avoir ouvert le logiciel, vous êtes habituellement dirigé vers une page d'accueil ou une interface principale. Cette interface peut contenir plusieurs éléments, tels que des boutons pour créer de nouveaux projets, ouvrir des projets déjà existants, ainsi que des options de configuration.

- **Définition de la structure**

Lorsque vous cliquez sur le bouton "**set problem**", vous accédez à une fenêtre où vous pouvez ajouter des couches en cliquant sur (**add layer**) ; Une nouvelle fenêtre s'ouvre, vous permettant de saisir les paramètres requis. Considérant que la première couche que vous déposez est celle située au-dessus du contact arrière. vous approuvez les modifications en cliquant sur le bouton "**Add**".

- **Exécution de la simulation**

Après avoir configuré tous les paramètres requis, vous sélectionnez la caractéristique que vous souhaitez simuler et précisez les conditions de fonctionnement telles que la température, l'éclairage ou l'obscurité, la plage de longueurs d'onde, etc. Enfin, vous lancez la simulation en appuyant sur le bouton « **calculate single shot** ». SCAPS effectuera alors les calculs nécessaires en fonction des paramètres que vous avez définis.

- **Analyse des résultats**

À la fin de la simulation, les résultats sont généralement présentés par SCAPS sous forme de graphiques, de tableaux ou d'autres représentations visuelles dans son interface. Vous avez alors la possibilité d'analyser ces résultats afin de mieux appréhender le comportement de votre système photovoltaïque dans diverses conditions et ainsi optimiser sa conception.

III.3 Structures étudiées

Les structures étudiées (Voir figure III.1), dans cette recherche l'une à base d'arsenic du gallium (GaAs) et l'autre à base d'arsenic du bore (BAs) comprennent des configurations

similaires dans des conditions équivalentes afin d'obtenir une comparaison précise. Dans les deux hétérostructures, l'Oxyde de Cuivre (CuO) est utilisé comme couche de transport de trous facilitant ainsi la collecte efficace des porteurs de charge positifs générés dans la couche active du dispositif photovoltaïque, le Disulfure de Tungstène (WS₂) comme couche de transport d'électrons facilite la collecte efficace des porteurs de charge négatifs générés dans la couche active. Le FTO, en fonctionnant comme une électrode transparente, établit une interface conductrice entre la couche active et le circuit externe, minimisant ainsi les pertes de tension et favorisant l'efficacité du transfert de l'énergie solaire en électricité.

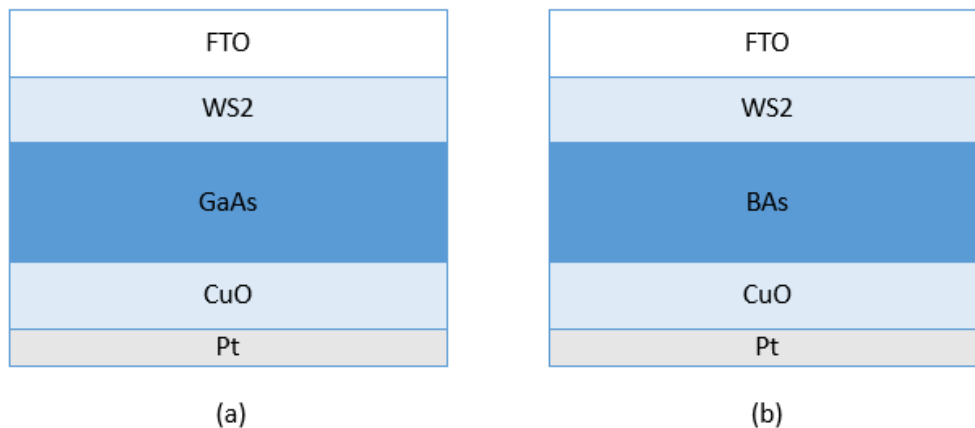


Figure (III.1) : Structure de cellules solaires à base de GaAs (a), à base de BAAs (b)

III.3.1 Paramètres physiques et optique des cellules étudiées

Le tableau (III.1), ci-dessous contient les paramètres clés des matériaux employés dans la simulation des cellules examinées.

Paramètres	CuO	GaAs	WS2	FTO	BAs
Epaisseur μ_m	0.1	Variable	0.2	0.015	Variable
Energie de gap (ev)	2.17	1.42	1.870	3.5	1.46 [44] [45]
Affinité électronique (ev)	3.2	4.07	4.3	4	4.495 [46]
Permittivité diélectrique (relative)	7.110	13.8	11.9	9	9.02 [46]
Densité d'état effective de la bande de conduction (cm^{-3})	2.02×10^{17}	2.2×10^{18}	1×10^{17}	2×10^{18}	3.0×10^{17} [46]
Densité d'état effective de la bande de valence (cm^{-3})	1.1×10^{19}	1.8×10^{19}	2.4×10^{19}	1.8×10^{19}	5.58×10^{18} [46]
Mobilité des électrons (cm^2/Vs)	200	8800 [47]	260	20	1400
Mobilité des trous (cm^2/Vs)	81	400	51	10	2100
Concentration de dopage des donneurs (cm^{-3})	0	0	10^{17}	10^{19}	0
Concentration de dopage des accepteurs cm^{-3}	10^{16}	variable	0	0	variable
Références	[48]	[49]	[50][10]	[52]	[53]

Tableau(III.1) : Paramètres physiques des matériaux utilisés

III.3.2. Analyse des performances de base des structures simulées

Le tableau ci-dessous présente les résultats des simulations menées en utilisant des modèles de base sans tenir compte la variation d'épaisseur, du dopage, et des défauts. Cette approche nous permet d'évaluer les performances de base de chaque structure dans des conditions similaires, idéales, et de comparer leurs caractéristiques photovoltaïques initiales.

Structures	V _{co} (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)
Pt/CuO/GaAs/WS ₂ /FTO	1.0997	24.3669	83.71	22.43
Pt/CuO/BAs/WS ₂ /FTO	1.2270	23.2075	83.91	23.89

Tableau (III. 2) : Résultats des structures de base simulés

D'après les résultats obtenus dans le tableau ci-dessus ; on constate bien que le GaAs ait produit un courant de court-circuit légèrement supérieur, le BAs a compensé cela avec un meilleur facteur de remplissage, ce qui a conduit à une efficacité de conversion photovoltaïque globalement supérieure dans cette configuration spécifique. Cela suggère que le BAs pourrait présenter des avantages en termes de gestion des charges et de réduction des pertes internes par rapport au GaAs dans cette application particulière.

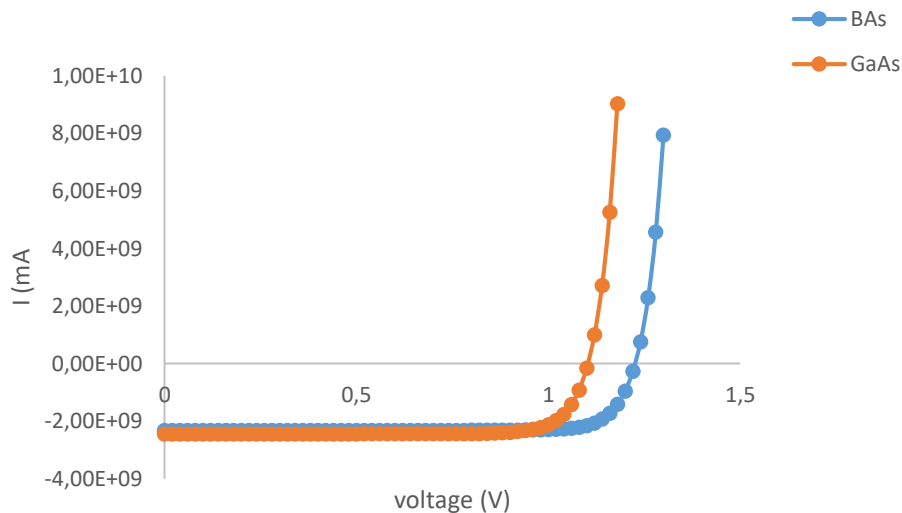


Figure (III.2) : Variation de la densité de courant I en fonction du voltage V pour les deux cas GaAs et BAs

III.3.3. Étude comparative de cellules solaires à base de GaAs et BAs

Dans cette étude comparative, nous évaluons les performances des cellules solaires à base de GaAs, un matériau établi, et du BAs, un matériau émergent pour les applications photovoltaïques. En manipulant l'épaisseur de la couche active, le dopage et en considérant les défauts, nous analysons leur impact sur les performances photovoltaïques, pour mieux comprendre les capacités et les limites de ces matériaux dans le domaine de l'énergie solaire.

III.3.3.1 Effet d'épaisseur de la couche active

Nous examinons des épaisseurs allant de 0,25 à 3 micromètres pour trouver le point optimal d'absorption de la lumière, assurant ainsi une efficacité élevée. De plus, nous identifions le seuil critique où l'efficacité diminue avec l'augmentation de l'épaisseur, fournissant ainsi des indications essentielles pour concevoir des cellules solaires performantes tout en optimisant l'utilisation des matériaux.

- **Variation du V_{co} en fonction de l'épaisseur**

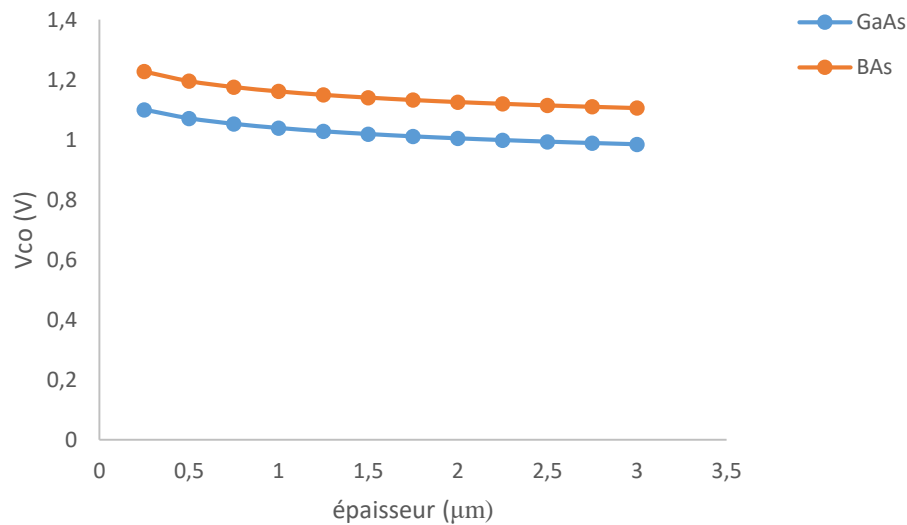


Figure (III.3) : Variation du V_{co} en fonction de l'épaisseur

La figure (III.3), présente deux courbes distinctes : l'une pour le GaAs et l'autre pour le BAs. Ces courbes illustrent la variation de la tension de circuit ouvert (V_{co}) en fonction de l'épaisseur de la couche active des matériaux dans une cellule solaire. Il est remarquable que la V_{co} diminue à mesure que l'épaisseur de la couche active augmente pour les deux matériaux. Toutefois, il est intéressant de noter que, pour une épaisseur donnée, la courbe correspondant au BAs demeure systématiquement au-dessus de celle du GaAs.

La diminution de la V_{co} avec l'augmentation de l'épaisseur de la couche active peut s'expliquer comme suit :

À mesure que l'épaisseur de la couche active augmente, les porteurs de charge, à savoir les électrons et les trous, doivent parcourir une distance accrue pour atteindre les électrodes de la cellule solaire. Cette augmentation de la distance augmente la probabilité de leur recombinaison avant d'atteindre les électrodes, ce qui entraîne une réduction de la tension générée par la cellule.

Une augmentation de l'épaisseur de la couche active peut aussi provoquer une absorption plus importante de la lumière par cette même couche. Par conséquent, une quantité moindre de lumière parvient à la jonction p-n, ce qui diminue la tension produite par la cellule.

La bande interdite du BAs est plus étendue que celle du GaAs. Cette différence implique que les électrons et les trous dans le BAs nécessitent une énergie supérieure pour se recombiner. Par conséquent, la recombinaison des porteurs de charge est réduite, ce qui se traduit par une (V_{co}) plus élevée que la GaAs.

- **Variation du J_{sc} en fonction de l'épaisseur**

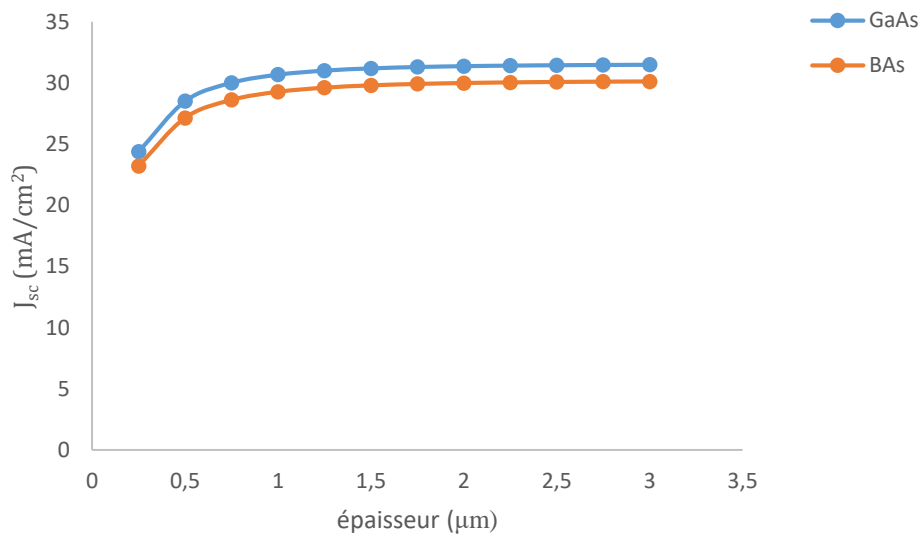


Figure (III.4) : Variation du J_{sc} en fonction de l'épaisseur

L'illustration présente deux courbes (Voir figure III.4) distinctes : l'une pour le GaAs et l'autre pour le BAs, représentant le courant de court-circuit (J_{sc}) par rapport à l'épaisseur de la couche active dans une cellule solaire. Il est observé que le J_{sc} augmente à mesure que l'épaisseur de la couche active croît pour les deux matériaux. Pour le GaAs, cette

augmentation se poursuit d'une épaisseur de 0.25 micromètre à 1,5 μm au-delà de celle-ci, le J_{sc} commence à augmenter légèrement, voire se stabilise. Notamment, pour une épaisseur donnée, la courbe du GaAs demeure systématiquement au-dessus de celle du BAs.

Une augmentation de l'épaisseur de la couche active permet à davantage de photons de pénétrer et de se convertir en paires électron-trou, ce qui entraîne une augmentation du courant produit par la cellule solaire. Au-delà d'une certaine épaisseur de la couche active, le J_{sc} peut se stabiliser car la quantité de lumière absorbée atteint un point de saturation. Une fois que la couche active est suffisamment épaisse, l'ajout de matériau n'augmente pas sensiblement l'absorption de la lumière, ce qui stabilise le J_{sc} .

Malgré l'augmentation du J_{sc} avec l'épaisseur de la couche active pour les deux matériaux, la courbe du GaAs reste toujours supérieure à celle du BAs en raison de sa mobilité électronique plus élevée. Ainsi, pour une épaisseur de couche active donnée, le GaAs génère plus de courant en raison de la rapidité de déplacement de ses électrons, même si le BAs montre également une augmentation du J_{sc} .

- **Variation du FF en fonction de l'épaisseur**

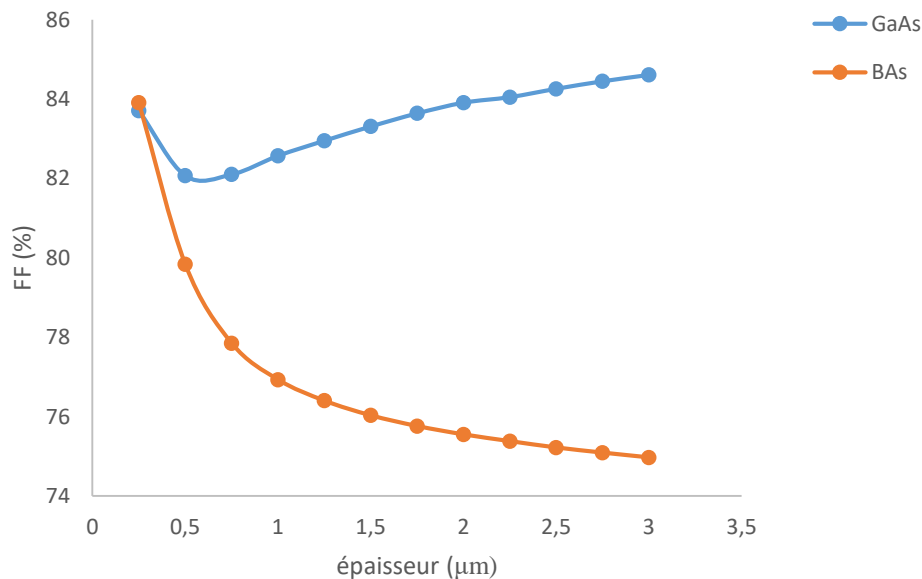


Figure (III.5) : Variation du facteur de forme (FF) en fonction de l'épaisseur

La figure (III.5), présente deux graphiques, chacun représentant le facteur de forme en relation avec l'épaisseur de la couche active pour le GaAs et le BAs dans une cellule solaire. Il est notable que Le FF diminue initialement jusqu'à environ 0,5 μm . Ensuite, le FF augmente

légèrement avec l'augmentation de l'épaisseur. L'augmentation initiale de l'épaisseur augmente et les pertes résistives, ce qui diminue le FF. Toutefois; après l'augmentation initiale de l'épaisseur, le matériau atteint un point où les pertes résistives sont compensées par une meilleure gestion des recombinaisons et une meilleure séparation des porteurs de charge, augmentant ainsi le FF.

En revanche, à la différence du GaAs, on constate que le facteur de forme du BAs semble légèrement décroître à mesure que l'épaisseur de la couche active augmente.

La réduction du facteur de forme avec l'augmentation de l'épaisseur de la couche active suggère une diminution de la qualité du matériau à mesure que cette couche s'épaissit. Cette observation peut résulter d'une favorisation de la recombinaison.

- **Variation du η en fonction de l'épaisseur**

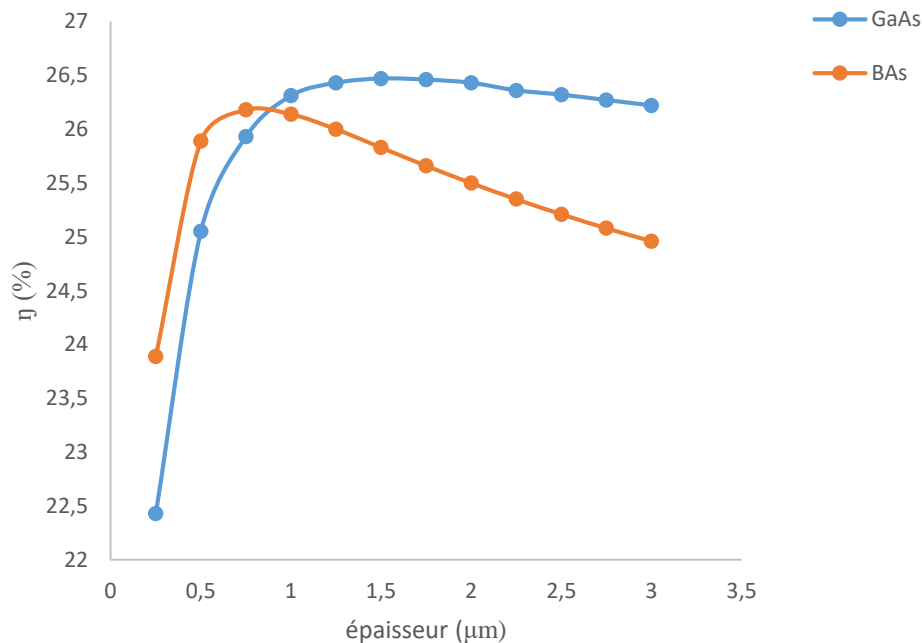


Figure (III.6) : Variation du rendement en fonction de l'épaisseur

La figure (III.6), présente la variation du rendement en fonction de l'épaisseur de la couche active, il est notable que pour une gamme d'épaisseurs allant de 0,25 à 1,75 l'efficacité augmente pour le GaAs, au-delà de cette dernière le rendement diminue légèrement voir se stabilise. Cela indique qu'une meilleure absorption de la lumière et une meilleure gestion des porteurs de charge. Au-delà de 1,75 μm , la plupart des photons incidents sont déjà absorbés, et des gains supplémentaires d'efficacité sont dus à des effets marginaux.

Bien que le BA suit une tendance similaire au GaAs, dans la plage 0.25 à 0.75, la diminution au-delà de cette dernière elle est plus prononcée suggérant des effets néfastes tels que les recombinaisons non radiatives ou les imperfections diminuant ainsi l'efficacité de cellules.

III.3.3.2 Effet de dopage de la couche active

Nous analysons les effets des différentes concentrations de dopage, allant de faibles dopages ($1E14$ - $1E15$) à forts dopages ($1E18$ - $1E19$), sur les paramètres clés tels que J_{sc} , V_{co} , FF et PCE. Cette étude nous permet d'identifier les niveaux de dopage les plus efficaces pour optimiser les performances des cellules solaires.

- **Variation du V_{co} en fonction de dopage de la couche active**

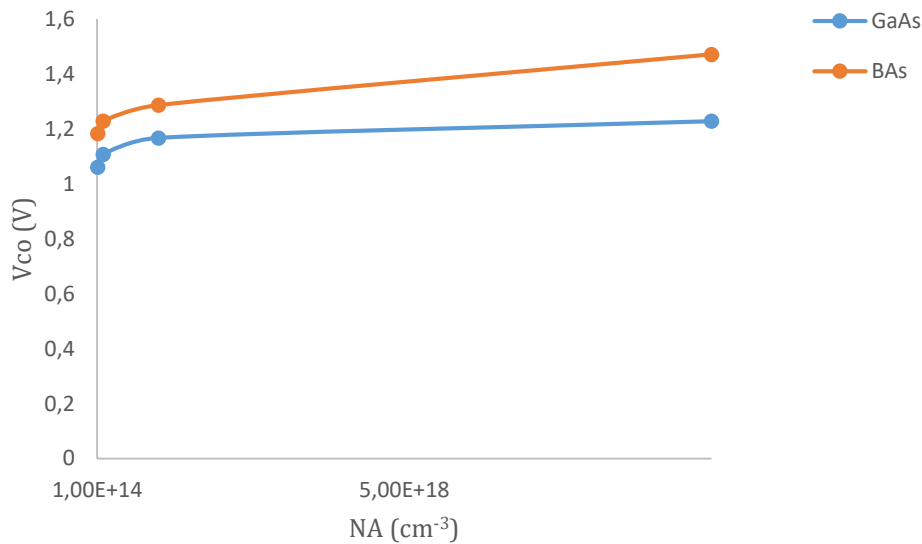


Figure (III.7) : Variation du V_{co} en fonction du dopage de type p

La figure (III.7), montre deux graphiques de la tension de circuit ouvert (V_{co}) par rapport au dopage de type p pour les matériaux GaAs et BA dans une cellule solaire. La V_{co} augmente avec le dopage pour les deux matériaux, mais pour chaque niveau de dopage de type p, la courbe du BA est toujours au-dessus de celle du GaAs.

Lorsque la concentration de dopage de type p augmente, davantage de trous sont introduits dans la couche active. Cette augmentation de la densité de trous réduit la largeur de la zone de déplétion dans la jonction p-n. En conséquence, les pertes par recombinaison de porteurs de charge dans cette zone diminuent, favorisant ainsi une augmentation de la tension de circuit ouvert V_{co} .

- **Variation du J_{sc} en fonction de dopage de la couche active**

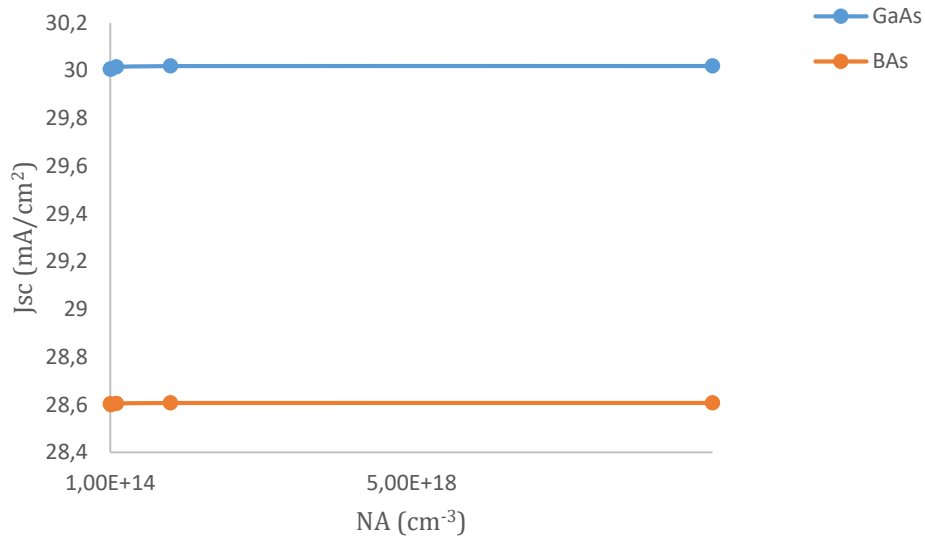


Figure (III.8) : Variation du J_{sc} en fonction du dopage de type p

D'après la figure (III.8), montre la variation du courant de court-circuit (J_{sc}) en fonction de la concentration de dopage de type P (N_A) pour les matériaux GaAs et BAs.

Le J_{sc} reste pratiquement constant à environ 30 mA/cm² malgré l'augmentation de la concentration de dopage N_A de 1,00E+14 à 1,00E+19 cm⁻³ ; De manière similaire, le J_{sc} pour BAs reste constant à environ 28,6 mA/cm² à travers la même gamme de concentrations de dopage.

Cette constance indique que pour, l'augmentation de la concentration de dopage n'a pas d'effet significatif sur la génération et la collecte des porteurs de charge. La cellule est probablement déjà optimisée pour la collecte des photons, et le dopage supplémentaire n'apporte pas d'amélioration notable dans cette gamme de concentrations.

- **Variation du facteur de forme (FF) en fonction de dopage de la couche active**

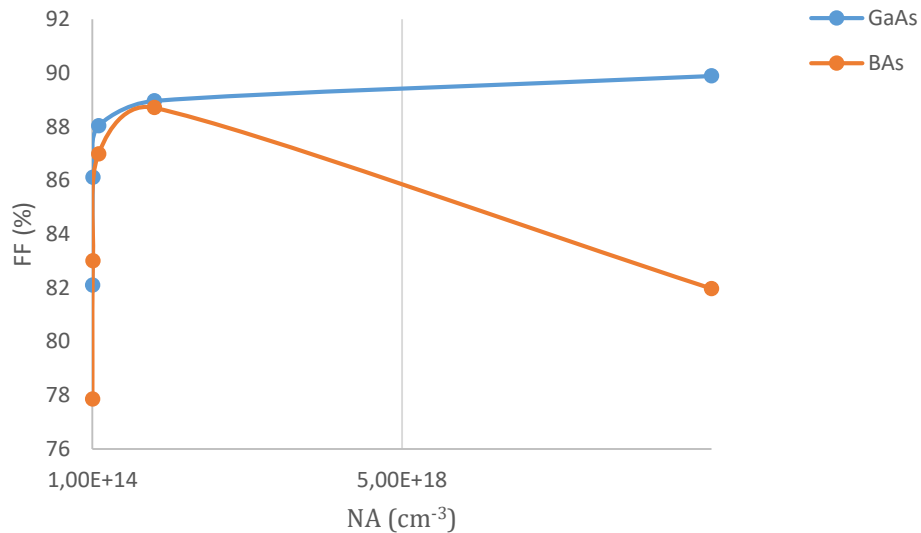


Figure (III.9) : Variation du facteur de forme (FF) en fonction du dopage de type P

De manière générale, une augmentation de la concentration de dopage de type p semble favoriser l'amélioration du facteur de forme (FF) dans les deux matériaux, le GaAs et le BAs (Voir figure III.9). Cette observation suggère que le dopage de type p exerce un impact positif sur la mobilité des porteurs de charge dans ces semi-conducteurs. Dans le cas du GaAs, on constate une augmentation régulière du facteur de forme (FF) à mesure que la concentration de dopage augmente, ce qui implique une amélioration constante de la conductivité du matériau. En ce qui concerne le BAs, bien que le facteur de forme (FF) augmente initialement de manière significative, il montre une tendance à la diminution à des concentrations de dopage très élevées. Cette baisse pourrait signaler des phénomènes de saturation ou de recombinaison, suggérant qu'il existe un seuil au-delà duquel l'effet du dopage devient moins favorable.

- **Variation du rendement (η) en fonction de dopage de la couche active**

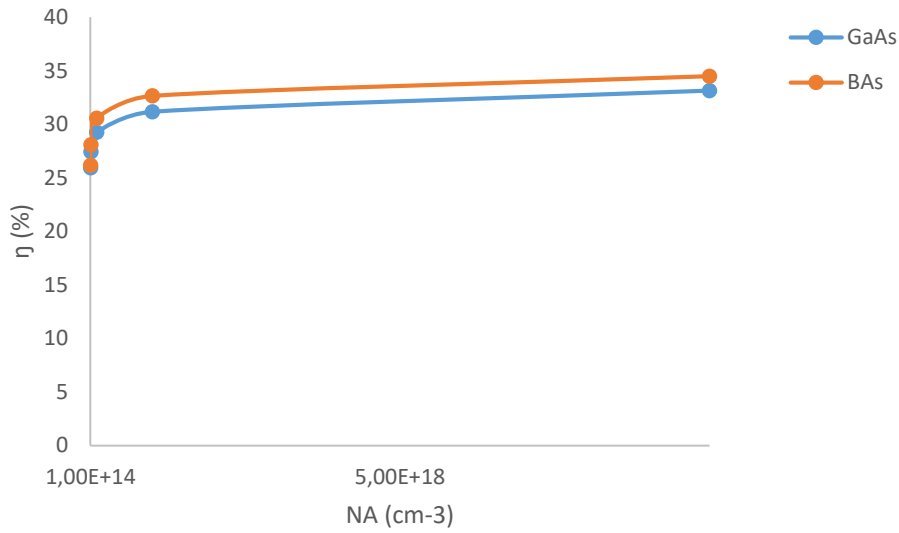


Figure (III.10) : Variation du (η) en fonction du dopage P

La figure (III.10), montre deux graphiques du rendement en fonction du dopage de type p pour les matériaux GaAs et BAs dans une cellule solaire. Le rendement augmente avec le dopage pour les deux matériaux.

Dans le cas du GaAs, cette augmentation est marquée, passant de 27.42 à 33.14 pour des concentrations de dopage de $1E14$ à $1E18$. Cette progression du PCE indique une meilleure efficacité dans la conversion de l'énergie lumineuse en électricité avec un dopage accru. L'augmentation de la concentration de porteurs de charge positifs (trous) grâce au dopage de type p améliore la séparation des charges, facilitant ainsi la conversion efficace de l'énergie. De manière similaire, pour le BAs, le rendement augmente également avec le dopage de type p. Cependant, une légère hausse du PCE de 32.65% à 34.49% entre les concentrations de dopage de $1E18$ et $1E19$ suggère une possible saturation. Ceci indique que bien que le dopage de type p continue à améliorer l'efficacité de conversion photovoltaïque dans une certaine mesure, des limites peuvent apparaître en raison de phénomènes tels que la recombinaison des porteurs de charge ou la saturation des sites de dopage.

III.3.3.3 Effet des défauts de la couche active

En explorant une gamme de valeurs pour la densité des défauts, nous pourrions observer comment ces variations influent sur les caractéristiques électriques de la cellule solaire. Cette analyse nous permettra de définir la densité de défauts optimale, ce qui contribuera à améliorer la performance globale de la cellule solaire.

- **Variation du facteur de forme (V_{co}) en fonction de dopage de la couche active**

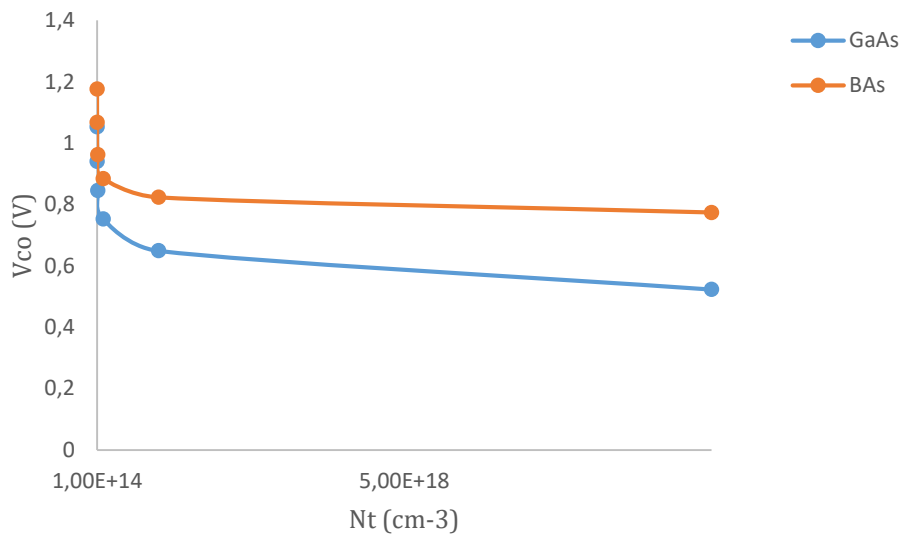


Figure (III.11) : Variation du V_{co} en fonction de la densité des défauts N_t

On constate une diminution progressive de la tension en circuit ouvert V_{co} aussi bien pour le GaAs que pour le BAAs à mesure que le nombre de défauts dans la couche cristalline augmente. Cette diminution débute généralement de manière légère pour ensuite devenir plus marquée à des niveaux de défauts plus élevés.

Comparativement, bien que le BAAs puisse présenter initialement une V_{co} légèrement supérieure au GaAs, sa baisse de V_{co} semble être plus marquée à des niveaux de défauts plus élevés ; suggérant ainsi une sensibilité accrue aux défauts par rapport au GaAs.

Pour les deux matériaux, la tension en circuit ouvert V_{co} diminue avec l'augmentation du nombre de défauts dans la couche cristalline. Ceci est conforme à l'idée que les défauts perturbent la structure cristalline régulière, limitant la mobilité des porteurs de charge et donc influençant la tension en circuit ouvert.

- **Variation courant de court-circuit (J_{sc}) en fonction de dopage de la couche active**

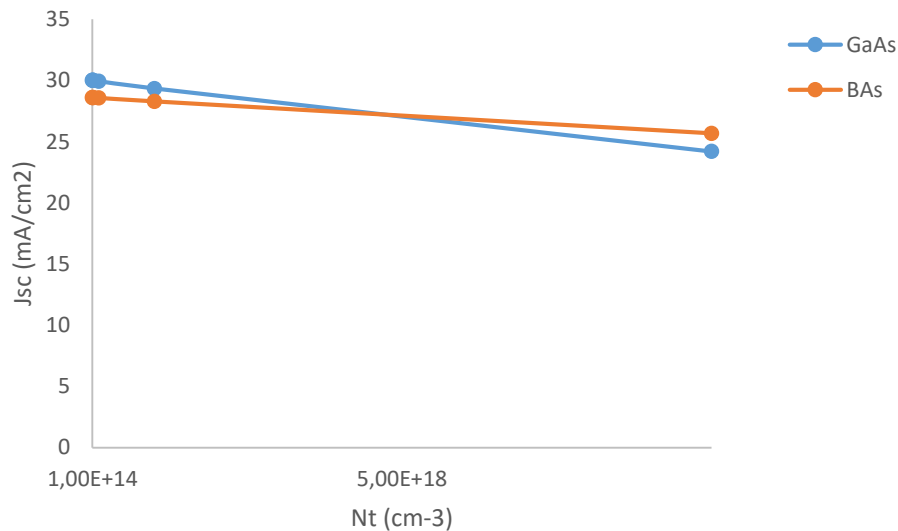


Figure (III.12) : Variation du J_{sc} en fonction de la densité des défauts N_t

Les graphiques (Voir figure III.12) illustrent que le courant de court-circuit (J_{sc}) diminue progressivement à mesure que la densité des défauts (N_t) augmente pour les matériaux GaAs et BAs.

La réduction de J_{sc} avec l'augmentation de N_t est due à l'augmentation des centres de recombinaison dans le matériau [13]. Ces défauts augmentent la probabilité de recombinaison des électrons et des trous avant qu'ils ne participent au courant, ce qui diminue J_{sc} . Bien que GaAs soit initialement plus performant, il devient plus sensible aux défauts à des densités élevées.

- **Variation du facteur de forme (FF) en fonction de la densité des défauts**

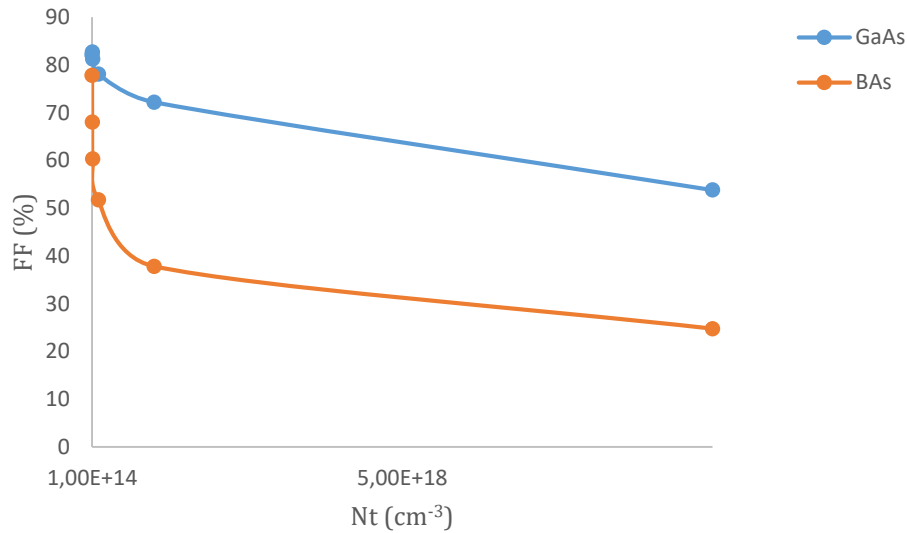


Figure (III.13) : Variation du facteur de forme (FF) en fonction de la densité des défauts N_t

D'après la figure (III.13), initialement, le GaAs affiche un facteur de remplissage (FF) légèrement supérieur au BAs, cependant, les deux matériaux connaissent des baisses similaires du FF à mesure que les défauts augmentent.

La baisse du facteur de forme (FF) en fonction de l'augmentation des défauts dans la couche cristalline peut être expliquée par la favorisation de la recombinaison des porteurs de charge, ce qui diminue le nombre de porteurs disponibles pour le courant de sortie. En fait, certains défauts peuvent bloquer ou disperser la lumière incidente, ce qui limite la formation de paires électron-trou et contribue à la baisse du facteur de forme (FF).

- **Variation du facteur de forme(η) en fonction de la densité des défauts**

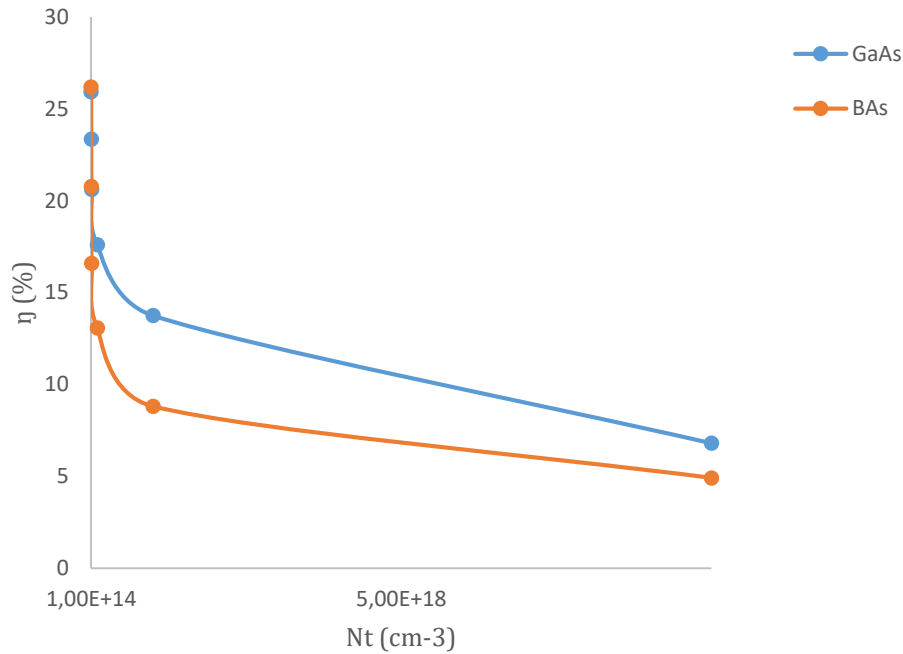


Figure (III.14) : Variation du rendement en fonction de la densité des défauts N_t

Initialement, le BAs affiche un rendement de conversion énergétique (PCE) légèrement supérieur à celui du GaAs, mais les deux matériaux connaissent des baisses similaires du PCE à mesure que les défauts augmentent.

Le facteur de forme (FF) évalue l'efficacité de conversion de l'énergie lumineuse en électricité, en considérant la qualité du matériau ainsi que les pertes ohmiques et de recombinaison. Une réduction du FF signifie une baisse d'efficacité, ce qui se traduit inévitablement par une diminution du rendement global du dispositif.

Donc, lorsque le FF, la J_{sc} et le V_{co} baissent en raison des défauts cristallins, cela conduit généralement à une réduction du rendement global de conversion d'énergie (PCE) du dispositif photovoltaïque.

III.4 configuration optimisée

Après avoir effectué une série d'analyses approfondies sur les variations d'épaisseurs, le dopage, et les défauts ; la cellule solaire optimisée présente une épaisseur de $0.75\mu\text{m}$, une concentration de dopage de $1\text{E}18\text{ cm}^{-3}$ et une densité des défauts de $1\text{E}14\text{ cm}^{-3}$. Cette optimisation permet de donner une efficacité de 31.17% pour la structure à base de GaAs et 32.65 % pour l'une à base de BAs.

III.4.1 Rendement quantique

D'après la figure (III.13), Le GaAs montre un rendement quantique légèrement supérieur, mais la différence n'est pas significative. Les deux matériaux sont efficaces pour une large gamme de longueurs d'onde.

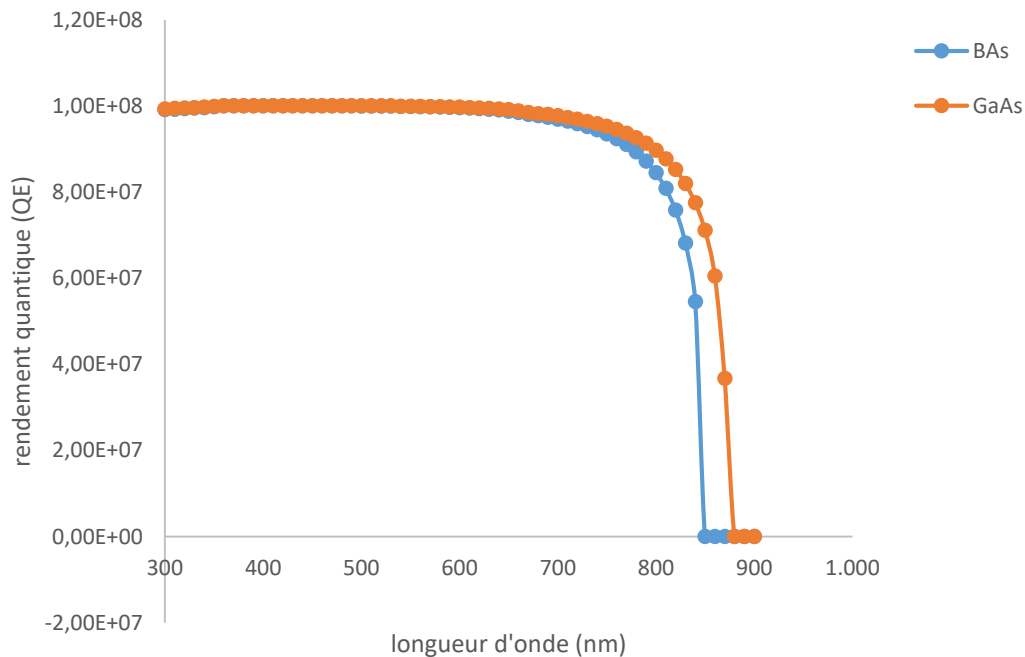


Figure (III.15) : Rendement quantique des deux structures

III.4.3 Effet de la température

Après avoir optimisé la cellule photovoltaïque en termes d'épaisseur de la couche active, de dopage et de gestion des défauts, il est crucial d'étudier son comportement face à des variations de température extrêmement élevées. Cette étape permet d'identifier les conditions de fonctionnement optimales pour garantir une performance stable et maximale, ce qui est essentiel, notamment pour les applications thermophotovoltaïques, où les matériaux doivent fonctionner efficacement dans des environnements à température extrêmement élevée.

- **Effet de température sur le V_{co}**

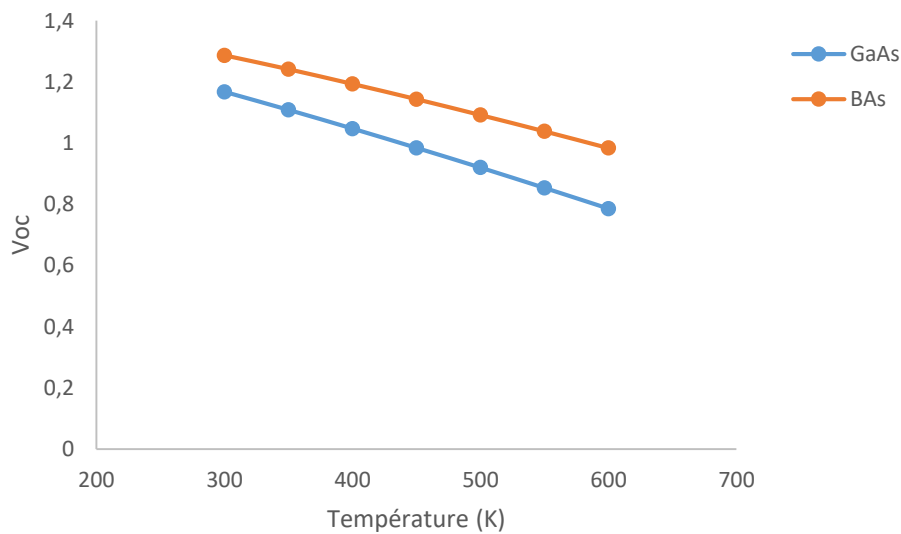


Figure (III.16) : Variation de la V_{co} en fonction de la température

Selon la figure (III.16), la diminution du V_{co} observée avec l'augmentation de la température pour les deux matériaux, le BAs maintient une valeur plus élevée. Cela indique une stabilité supérieure ou une sensibilité réduite aux variations de température par rapport au GaAs.

À des températures élevées, les porteurs de charge gagnent en énergie thermique, augmentant leur mobilité à travers le matériau et réduisant la tension en circuit ouvert. De plus, l'augmentation de la température peut accroître les taux de recombinaison des porteurs de charge, réduisant ainsi leur durée de vie moyenne et la tension en circuit ouvert.

- **Effet de la température sur la densité de courant de court-circuit (J_{sc})**

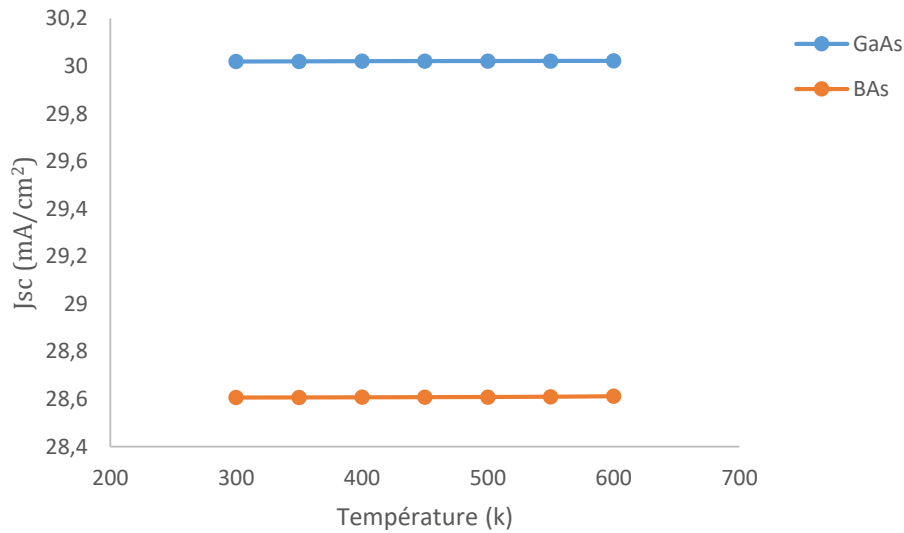


Figure (III.17) : Variation du J_{sc} en fonction de la température

Les observations des valeurs de J_{sc} en fonction de la température pour les deux matériaux (voir figure III.17) démontrent une stabilité remarquable de la densité de courant de court-circuit (J_{sc}) à mesure que la température augmente. Dans le cas du GaAs, les valeurs de J_{sc} restent pratiquement constantes dans la plage de température de 300 K à 500 K, avec une variation légère d'environ $0,0012 \text{ mA/cm}^2$ sur cette plage de température. De manière similaire, pour le BAAs, les valeurs de J_{sc} demeurent stables avec une variation minimale de $0,0012 \text{ mA/cm}^2$ sur la même plage de température.

La constance du J_{sc} (densité de courant de court-circuit) montre que la température n'a pas un impact significatif sur la génération de courant de court-circuit, confirmant une bonne stabilité en termes de réponse photonique.

- **Effet de la température sur le facteur forme (FF)**

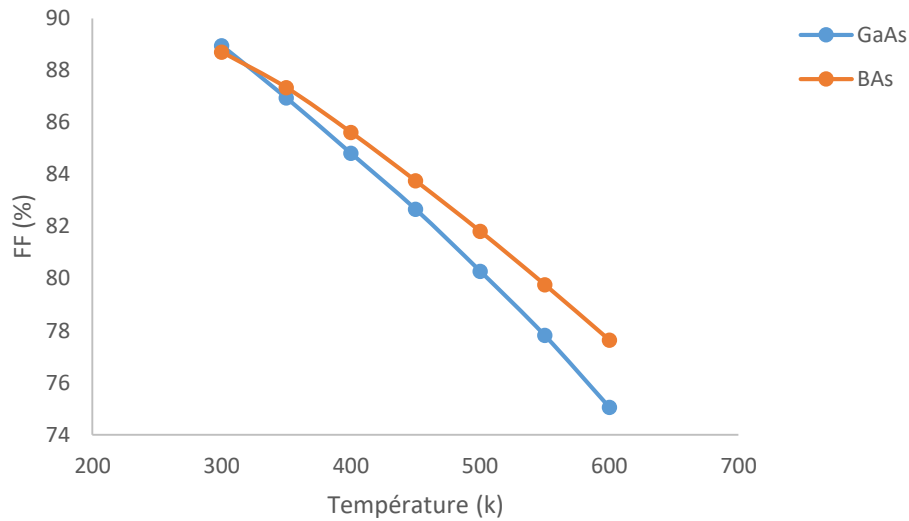


Figure (III.18) : Variation du facteur de forme (FF) en fonction de la température

La figure (III.18), montre l'évolution du facteur de forme (FF) en fonction de la température pour deux matériaux : GaAs (Arséniure de Gallium) et BAAs (Arséniure de Bore). Le facteur de forme (FF) diminue avec l'augmentation de la température pour les deux matériaux cela indique que l'efficacité de conversion de l'énergie des dispositifs à base de ces matériaux diminue à des températures plus élevées. Ceci est typique pour les dispositifs semi-conducteurs car la recombinaison non radiative des porteurs de charge augmente avec la température.

- **Effet de la température sur le rendement (η)**

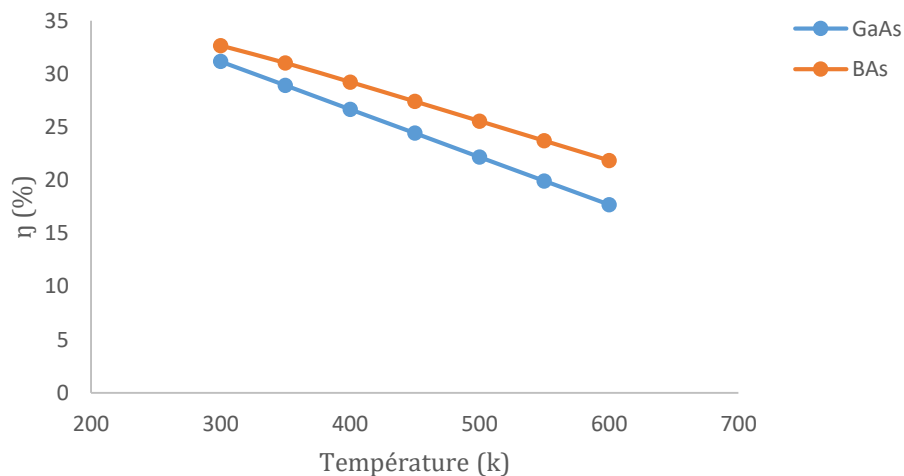


Figure (III.19) : Variation du rendement (η) en fonction de la température

L'efficacité de conversion diminue avec l'augmentation de la température pour les deux matériaux. Bien que le courant de court-circuit (I_{sc}) reste presque stable, l'efficacité de conversion diminue. Cette diminution de l'efficacité peut être principalement attribuée à une baisse du facteur de forme (FF) et de la tension en circuit ouvert (V_{oc}) avec l'augmentation de la température. La stabilité du ISC suggère que les photons sont toujours efficacement convertis en porteurs de charge, mais ces porteurs de charge subissent plus de recombinaison non radiative à des températures plus élevées. Cela réduit la V_{oc} et FF, ce qui conduit à une baisse globale de l'efficacité de conversion.

III.5 Comparaison

Finally, les performances des deux structures proposées, l'une à base de GaAs et l'autre à base de BAs, ont été comparées en termes de conversion photovoltaïque (voir tableau 2). Cette comparaison vise à apprécier l'efficacité des deux matériaux semi-conducteurs dans leur utilisation en tant que matériaux actifs dans les cellules solaires. Pour mettre en perspective les résultats et évaluer les avancées réalisées par cette étude, la structure GaAs proposée dans ce travail a été comparée aux travaux précédents (voir tableau 3).

structures	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)
Pt/CuO/GaAs/WS ₂ /FTO	1.1738	30.6877	89.27	31.17
Pt/CuO/BAs/WS ₂ /FTO	1.2805	29.2739	88.75	32.65

Tableau III. 3 : Comparaison des performances photovoltaïque entre GaAs et BAs en tant que couche active

Ces résultats indiquent que bien que le GaAs soit un matériau performant, le BAAs présente des avantages importants en termes de stabilité thermique et d'efficacité de conversion, ce qui pourrait en faire une alternative prometteuse pour les applications à haute température, notamment les applications thermo photovoltaïques.

Référence	V_{co} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)
Mohammed Azza, El Hadi Chahid et al. (2022) [54]	0.85	24.52	85.70	21.05
Ajay Kumar; Melvin S. Thomas et al (2022) [55]	1.0275	31.68	88.49	30.16
Deepak Jha, Anamika Dixit et al (2022)	1.08	26.88	88.85	26.01
Ala'eddin A. Saif, M. Albishri et al (2023) [47]	1.02	47.96	87.48	30.88
Ce travail (2024)	1.1738	30.6877	89.27	31.17

Tableau (III.4) : Comparaison des performances des cellules solaires à base de GaAs avec des études similaires.

Le Tableau III.4 présente une comparaison de notre travail avec d'autres études qui ont travaillé sur le GaAs. Cette comparaison montre que nous avons obtenu de bons résultats avec des épaisseurs moindres et en utilisant des matériaux abondants, faciles à fabriquer et moins toxiques. Ces caractéristiques permettent de réduire les pertes de matière et de respecter l'environnement.

III.6 Conclusion :

Cette étude comparative se focalise sur l'évaluation des performances de deux types de cellules solaires : une à base de GaAs et une à base de BAs. En examinant une gamme de paramètres de performance dans des conditions similaires, On cherche à déterminer les avantages et les limitations de chaque matériau dans le contexte des applications photovoltaïques. Ouvrant ainsi la voie à de nouvelles avancées dans le domaine de l'énergie solaire ; en particulier les applications thermophotovoltaïques.

Références bibliographiques

- [42] M. Burgelman, P. Nollet, et S. Degrave, « Modelling polycrystalline semiconductor solar cells », *Thin Solid Films*, vol. 361, p. 527-532, 2000.
- [43] N. Khoshsir et N. Md Yunus, « Numerical simulation of CIGS thin film solar cells using SCAPS-1D », *J. Photochem. Photobiol. Chem.*, p. 63-67, 2013.
- [44] R. M. Wentzcovitch et M. L. Cohen, « Theory of structural and electronic properties of BAs », *J. Phys. C Solid State Phys.*, vol. 19, n° 34, p. 6791, 1986.
- [45] A. Boudjemline, M. M. Islam, L. Louail, et B. Diawara, « Electronic and optical properties of BAs under pressure », *Phys. B Condens. Matter*, vol. 406, n° 22, p. 4272-4277, 2011.
- [46] K. Bushick, K. Mengle, N. Sanders, et E. Kioupakis, « Band structure and carrier effective masses of boron arsenide: Effects of quasiparticle and spin-orbit coupling corrections », *Appl. Phys. Lett.*, vol. 114, n° 2, p. 022101, 2019.
- [47] A. Saif, « High-Efficiency homojunction GaAs solar cell using InGaP as FSF and AlGaInP as BSF », vol. 12, p. 8.
- [48] B. Bachiri et K. Rahmoun, « Investigation and Improved Performance of MASnBr_3 Perovskites Solar Cells with Porous Silicon Layer », in *Advanced Computational Techniques for Renewable Energy Systems*, vol. 591, M. Hatti, Éd., Springer International Publishing, 2023, p. 826-832.
- [49] K. Ajay, M. S. Thomas, P. Gulshan, A. Jain, et N. Gupta, « Performance Evolution of GaAs-Based Solar Cell Towards >30% Efficiency for Space Applications », *IEEE*, vol. 1, n° 978, p. 3728-6654.
- [50] H. Soufi, K. Rahmoune, et M. E. A. Slimani, *Device simulation of Cesium Tin Iodide Based Perovskite Solar cell*. LAB LAMBERT Academic Publishing, 2024.
- [51] N. Rono, A. E. Merad, J. K. Kibet, B. S. Martincigh, et V. O. Nyamori, « Optimization of Hole Transport Layer Materials for a Lead-Free Perovskite Solar Cell Based on Formamidinium Tin Iodide », *Energy Technol.*, vol. 9, n° 12, p. 2100859, 2021.
- [52] S. H. Zyoud *et al.*, « Numerical modeling of high conversion efficiency FTO/ZnO/CdS/CZTS/MO thin film-based solar cells: Using SCAPS-1D software », *Crystals*, vol. 11, n° 12, p. 1468, 2021.
- [53] J. Shin *et al.*, « High ambipolar mobility in cubic boron arsenide », *Science*, vol. 377, n° 6604, p. 437-440, 2022.
- [54] M. Tridane, A. Malaoui, et S. Belaaouad, « Numerical Simulation of pin GaAs Photovoltaic Cell Using SCAPS-1D », 2022.
- [55] A. Kumar, M. S. Thomas, G. Pareek, A. Jain, et N. Gupta, « Performance Evolution of GaAs-Based Solar Cell Towards > 30% Efficiency for Space Applications », *IEEE*, 2022, p. 1-3.

Conclusion Générale et Perspectives

Avec la demande croissante en énergie et la conscience environnementale grandissante, les énergies renouvelables sont désormais prioritaires. Malgré leurs avantages, comme la réduction des émissions de gaz à effet de serre, elles présentent encore des limites, notamment en termes d'efficacité et de continuité de l'approvisionnement énergétique. Pour améliorer cela, les cellules thermophotovoltaïques (TPV) émergent comme une solution prometteuse, convertissant la chaleur en électricité via le rayonnement infrarouge, avec le choix des matériaux semi-conducteurs étant crucial pour maximiser leurs performances.

Dans ce mémoire, nous avons mené une étude en choisissant deux matériaux semi-conducteurs de type III-V, le GaAs largement employé dans l'industrie photovoltaïque en raison de sa bande interdite directe et de ses remarquables propriétés de transport électronique offrant des avantages significatifs tels qu'une efficacité de conversion élevée, une meilleure résistance aux radiations et une performance fiable à des températures élevées, ce qui en fait un matériau idéal pour les applications solaires avancées. Parallèlement le BAs, actuellement en cours de développement, attire l'attention dans l'industrie des cellules solaires grâce à sa conductivité thermique exceptionnelles qui lui fait un très bon choix pour des applications à température élevé; notamment le domaine thermophotovoltaïque.

Nous avons exploré les énergies renouvelables et leur rôle crucial dans la transition énergétique mondiale, en mettant l'accent sur le potentiel de l'énergie solaire photovoltaïque (PV) pour produire de l'électricité propre. Nous abordons également les cellules thermophotovoltaïques (TPV), une technologie innovante qui combine les avantages du PV avec la récupération de l'énergie thermique, visant à améliorer l'efficacité énergétique globale.

Nous avons présenté les semi-conducteurs GaAs et BAs, en décrivant leur structure cristalline et les méthodes de production clés. Nous examinons leurs propriétés optoélectroniques, telles que leur bande interdite et leur réponse à l'absorption de la lumière, et évoquons leurs applications potentielles dans divers domaines.

La proposition de deux structures de configuration similaire, l'une à base de GaAs et l'autre à base de BAs, dans le but d'évaluer les avantages et les limitations de chaque matériau dans le contexte des applications photovoltaïques. Les simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel Scaps 1D, examinant une gamme de paramètres de performance dans des conditions

similaires, notamment l'influence de la température sur ces matériaux. En utilisant le logiciel SCAPS 1D, nous avons optimisé les performances des deux matériaux en ajustant divers paramètres, ce qui a révélé que les deux sont efficaces sur une large gamme de longueurs d'onde allant du visible au proche infrarouge. Les résultats ont montré que le GaAs présente un rendement quantique légèrement supérieur, mais le BAS se distingue par une meilleure stabilité thermique et une efficacité de conversion significative.

Bien que le GaAs reste un matériau de référence pour les cellules photovoltaïque et thermophotovoltaïques, le BAS émerge comme une alternative viable et prometteuse, offrant une combinaison intéressante de stabilité thermique, d'efficacité énergétique ; ce qui est fait notre travail ouvre des perspectives nouvelles pour le développement de cellules TPV plus durables et performantes, soulignant l'importance de continuer à explorer et à optimiser les matériaux semi-conducteurs pour répondre aux défis énergétiques futurs.

Mlle Imane BOUAZZAoui

Soutenue le 8 Juin 2024

**Thème : Simulation d'une cellule thermophotovoltaïque à base de GaAs et
BAs**

Nature : Master Physique Énergétique et Energies Renouvelables

Résumé :

Les cellules thermophotovoltaïques (TPV) sont des dispositifs capables de convertir la chaleur en électricité en utilisant l'effet photovoltaïque. Elles fonctionnent en absorbant le rayonnement thermique émis par une source de chaleur, puis en le transformant en électricité grâce à des matériaux semi-conducteurs spécifiques.

Dans le présent travail, nous étudions deux matériaux semi-conducteurs type III-V. dans le tableau périodique ; l'Arsenic du Gallium et l'Arsenic du Bore (BAs) un matériau émergent, dans le but d'évaluer les avantages et les limitations de chaque matériau pour des applications photovoltaïques. Les simulations sont réalisées en utilisant le logiciel Scaps 1D en examinant une gamme de paramètres de performance dans des conditions similaires. L'influence de la température sur ces matériaux, ouvrent ainsi la voie à des applications Thermophotovoltaïque (TPV) plus efficaces et durables.

Mots clés : cellules thermophotovoltaïques, semi-conducteur, GaAs, BAs, Scaps 1D.

Abstract

Thermophotovoltaic (TPV) cells are devices capable of converting heat into electricity using the photovoltaic effect. They work by absorbing thermal radiation emitted by a heat source and then transforming it into electricity through specific semiconductor materials.

In the present work, we study two type III-V semiconductor materials from the periodic table: Gallium Arsenide and Boron Arsenide (BAs), an emerging material, with the aim of evaluating the advantages and limitations of each material for photovoltaic applications. Simulations are carried out using the Scaps 1D software, examining a range of performance parameters under similar conditions. The influence of temperature on these materials paves the way for more efficient and sustainable thermophotovoltaic (TPV) applications.

Keywords: thermophotovoltaic cells, semi conductor, GaAs, BAs, Scaps 1D.

ملخص

الخلايا الكهروضوئية الحرارية (TPV) هي أجهزة قادرة على تحويل الحرارة إلى كهرباء باستخدام التأثير الكهروضوئي. وهي تعمل عن طريق امتصاص الإشعاع الحراري المنبعث من مصدر الحرارة ثم تحويله إلى كهرباء من خلال مواد أشباه الموصلات المحددة. في العمل الحالي، ندرس مادتين أشباه موصلات من النوع III-V من الجدول الدوري: زرنيخيد الجاليوم وزرنيخيد البورون (BAs)، وهي مادة ناشئة، بهدف تقييم مزايا وقيود كل مادة لتطبيقات الطاقة الكهروضوئية. يتم إجراء عمليات المحاكاة باستخدام برنامج Scaps 1D، وفحص مجموعة من معلمات الأداء في ظل ظروف مماثلة. يمهد تأثير درجة الحرارة على هذه المواد الطريق لتطبيقات الطاقة الكهروضوئية الحرارية (TPV) الأكثر كفاءة واستدامة.

الكلمات المفتاحية : الحرارية، الضوئية أشباه الموصلات، GaAs , BAs, Scaps 1D