

# Pertes énergétiques dans la cellule $Hg_{0,42}Cd_{0,58}Te/GaAs$

Dr KABORE M'bi<sup>1</sup> et Pr KOUADJA K.<sup>2</sup>

## RESUME

L'amélioration des rendements est une préoccupation toujours d'actualité dans le domaine de la conversion photovoltaïque. Les efforts fournis ont permis de réduire les pertes (effet joule, phénomène de recombinaison, ombrage, réflexion, transparence...). Nous avons évalué dans ce travail deux pertes de la cellule  $Hg_{0,42}Cd_{0,58}Te/GaAs$  notamment celles liées à la transparence et à la thermistance. Cette évaluation a permis de montrer l'importance de ces deux pertes mais la plus importante est celle liée à la thermistance (30,32% de l'énergie incidente) contre 5,54% pour les pertes liées à la transparence.

## ABSTRACT

The improvement of the outputs is a concern always of topicality in the field of photovoltaic conversion. The provided efforts made it possible to reduce the losses (Joule effect, phenomenon of recombination, shade, reflexion, transparency...). We have evaluated in this work two losses of the  $Hg_{0,42}Cd_{0,58}Te / GaAs$  cellular in particular those related on the transparency and of the thermistor. This evaluation show they are the most significant losses but most significant is that against related to the thermistor (30,32% of incidental energy) 5,54% for the losses related to the transparency.

### Liste des symboles

- Na, Nd : Concentration des accepteurs et des donneurs.
- Sn, Sp : Vitesse de recombinaison superficielle des électrons et des trous
- I<sub>cc</sub> : Courant de court-circuit.
- V<sub>co</sub> : Tension de circuit ouvert.
- P<sub>m</sub> : puissance maximale délivrée par le tandem.
- Y<sub>n</sub>, Y<sub>p</sub> : Epaisseurs des couches dopées de type N et P.
- η : Rendement de conversion photovoltaïque (η = P<sub>m</sub>/P<sub>in</sub>)
- P<sub>in</sub> : Puissance du rayonnement incident
- V<sub>m</sub>, I<sub>m</sub> : Tension et courant au point du rendement maximum du tandem.
- I<sub>rn</sub>, I<sub>lim</sub> : Courant de recombinaison et d'injection au point de rendement maximum.
- X<sub>fe</sub> : Epaisseur de la fenêtre.
- dx : Epaisseur de la couche d'oxyde.
- Rs : Résistance série.

Dans ce qui suit un indice complémentaire noté 1, 2 ou 3 précisera que les quantités précédemment indiquées sont calculées pour les cellules GaAs (1),

$Hg_{0,42}Cd_{0,58}Te$  (2), ou la fenêtre Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As (3).

## INTRODUCTION

Il s'agit ici d'évaluer deux pertes importantes dans la cellule photovoltaïque  $Hg_{0,42}Cd_{0,58}Te/GaAs$ . C'est notamment les pertes par thermistance et les pertes par transparence. Cette structure a fait l'objet d'une étude théorique. Elle a consisté à une optimisation de la structure  $Hg_{1-x}Cd_xTe/GaAs$  en fonction du paramètre stœchiométrique x, des paramètres physiques et géométriques (annexe1). Il s'agit notamment des dopages, des profondeurs de jonction et des vitesses de recombinaisons (thèse Université de Cocody-Abidjan 1999) [1]. Cette optimisation a montré qu'un rendement de 27,80% peut être obtenu ( tableau 1).

Le tableau 1 présente les performances du tandem optimal et les contributions des cellules GaAs et  $Hg_{0,42}Cd_{0,58}Te$  (x=0,58 est le paramètre stœchiométrique optimum) issues de cette optimisation. Les différents paramètres physiques et géométriques qui conduisent à ces performances sont indiqués dans le tableau 2. Ces résultats tiennent compte des pertes par transparence et par thermistance. Les matériaux GaAs et  $Hg_{0,42}Cd_{0,58}Te$  ont respectivement pour gap 1,43eV et 0,72eV [2]. A partir de cette cellule optimale obtenue nous allons déterminer ce que représentent les puissances perdues par thermistance et par transparence.

Performances	GaAs (cellule1)	$Hg_{0,42}Cd_{0,58}Te$ (cellule2)	Tandem
I <sub>cc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	26,79	26,00	26,00
V <sub>co</sub> (mV)	949	297	1246
I <sub>m</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	25	23	23
I <sub>rn</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	0,48	1,02	.....
I <sub>rn</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	1,24	0,02	.....
V <sub>m</sub> (mV)	853	217	1072
FF	0,84	0,70	0,83
η (%)	22,20	5,60	27,80

**Tableau1** : Performances du tandem optimal et les contributions des deux cellules qui le composent

Dr KABORE M'bi (1) et Pr KOUADJA Koumenan (2).

(1) Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/Institut Universitaire de Technologie

Bp 1091 Bobo-Dioulasso;

e-mail : [mibi\\_kabore@univ-ouaga.bf](mailto:mibi_kabore@univ-ouaga.bf) / [mb\\_kabore@yahoo.fr](mailto:mb_kabore@yahoo.fr)

(2) Université Abidjan-Cocody de la Côte d'Ivoire

Paramètres physiques		Paramètres géométriques	
Na1=10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>	Na2=2.10 <sup>16</sup> cm <sup>-3</sup>	y1p=0,8µm	y2n50µm
Nd1=5.10 <sup>17</sup> cm <sup>-3</sup>	Nd2=3.10 <sup>13</sup> cm <sup>-3</sup>	y1n=1,2µm	y2p=20µm
Na3=10 <sup>20</sup> cm <sup>-3</sup>	S2p=10cm/s	Xfe=0,02µm	dx=0,1µm
S1p=10cm/s	S2n=10cm/s		
indice d'oxyde n1=1.9	nature de la surface: texturisée(ST)		
Rs=0Ω	teneur en Aluminium de la fenêtre Al <sub>y</sub> Ga <sub>1-y</sub> As (y=1)		

**Tableau 2 : Paramètres physiques et géométriques du tandem optimal**

Outre les pertes directes d'énergie dues à la thermistance, cette énergie perdue provoque un échauffement de la cellule photovoltaïque. Ceci provoque une dégradation des performances de la cellule. En effet la concentration intrinsèque des porteurs augmente avec la température, d'où une dégradation de la tension de diffusion et donc une baisse de la tension de sortie. Le rendement de collecte des porteurs subit aussi une baisse provoquée par la diminution de la longueur de diffusion de ceux-ci. Les photons dont l'énergie est inférieure à la bande interdite du matériau traversent sans être absorbés. Cette énergie constitue les pertes par transparence. Les cellules multi-jonctions à structure monolithique permettent de réduire ces deux pertes mais le nombre de cellules qui composent une telle structure est limitée par deux contraintes importantes : l'une a pour origine le désaccord de maille des matériaux impliqués, l'autre provient du fait qu'au point de fonctionnement les deux cellules sont parcourues par le même courant.

**I- PERTES PAR THERMISTANCE**

Les pertes par thermistance sont dues à l'utilisation partielle de l'énergie du photon pour la création des paires électron-trous. Un grand nombre de photons absorbés possèdent une énergie plus grande que celle nécessaire pour la création des porteurs. L'énergie nécessaire pour la création des porteurs est égale à la largeur de la bande interdite (gap). L'excès de l'énergie du photon est perdue sous forme de chaleur. L'expression suivante permet d'évaluer cette perte [3].

$$P_{th} = \int_{\lambda_g}^{\infty} q \Phi_0(\lambda) [1 - r(\lambda)] [1 - \exp(-\alpha(\lambda)H)] [E(\lambda) - E_g] d\lambda \quad (1)$$

- Φ<sub>0</sub>(λ) : flux de photons incident
- r(λ) : coefficient de réflexion
- α(λ) : coefficient d'absorption de la cellule.
- H : épaisseur de la cellule.
- E(λ) : énergie des photons incidents.

Eg : gap de la cellule.

L'adaptation de l'expression (1) à notre structure (figure1) donne :

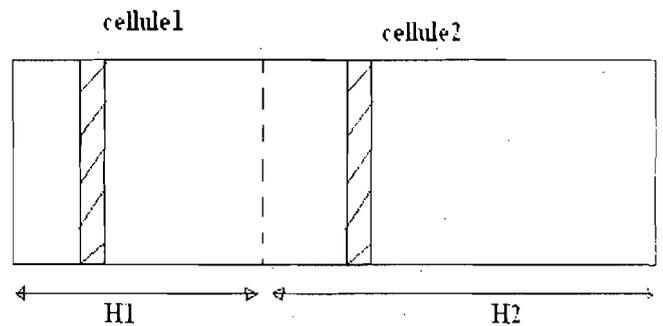
- pour la première cellule :

$$P_{th1} = \int_{\lambda_{g1}}^{\infty} q \Phi_0(\lambda) [1 - r(\lambda)] [1 - \exp(-\alpha_1(\lambda)H_1)] [E(\lambda) - E_{g1}] d\lambda \quad (2)$$

- pour la deuxième cellule :

$$(3) P_{th2} = \int_{\lambda_{g2}}^{\infty} q \Phi_0(\lambda) [1 - r(\lambda)] \exp(-\alpha_1(\lambda)H_1) [1 - \exp(-\alpha_2(\lambda)H_2)] [E(\lambda) - E_{g2}] d\lambda$$

et P<sub>th</sub> = P<sub>th1</sub> + P<sub>th2</sub> pour le tandem.



**Figure1 : structure physique du tandem**

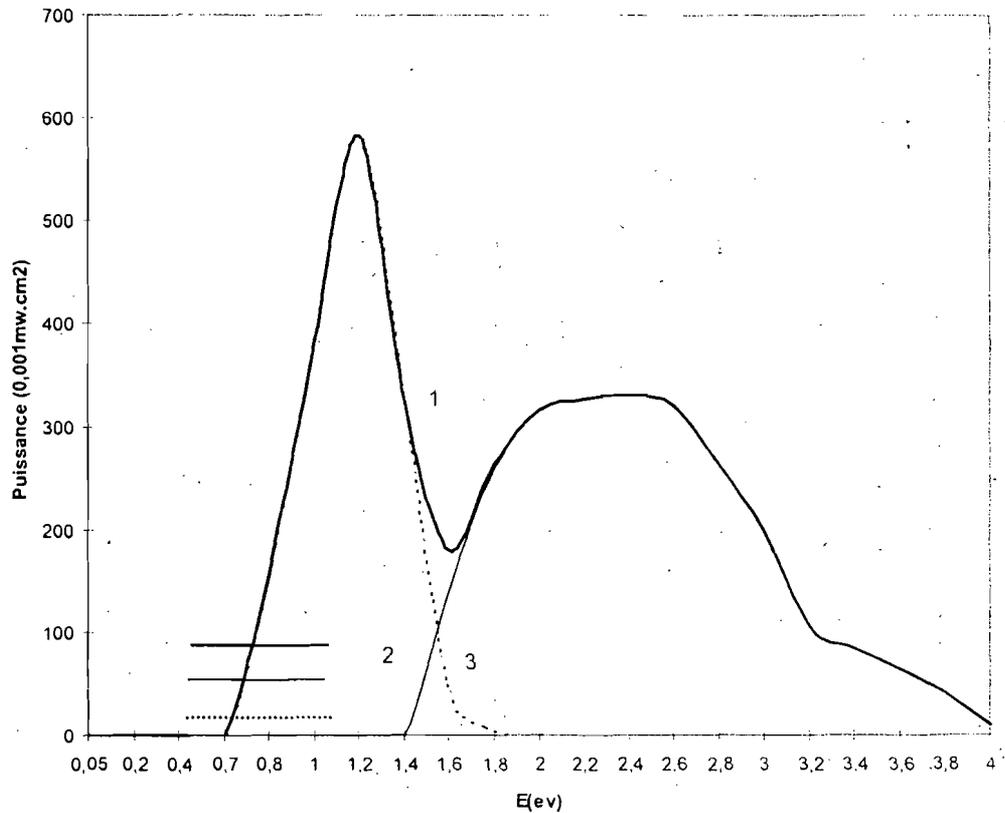
Cellule1 : GaAs

Cellule2 : Hg<sub>0,42</sub>Cd<sub>0,58</sub>Te

Nous avons calculé les énergies perdues par thermistance dans le tandem et les deux cellules qui la composent. Nous avons confiné les résultats dans le tableau(3) et tracé la courbe des puissances perdues par thermistance pour le tandem et les deux cellules en fonction de l'énergie du photon figure(2). Le rayonnement utilisé est le AM1 (annexe2) [4].

Cellules	Puissances perdues par thermistance(mW/cm <sup>2</sup> )
GaAs	19,56
Hg <sub>0,42</sub> Cd <sub>0,58</sub> Te	9,63
Tandem	29,19

**Tableau 3: puissance perdue par thermistance dans le tandem et les deux cellules qui la composent**



**Figure 2 : Courbes comparatives des puissances perdues par thermistance (Pth) dans le tandem(1) et dans les cellules GaAs(2) et Hg<sub>0,42</sub>Cd<sub>0,58</sub>Te(3)**  
 Tandem (1) Pth  
 GaAs (2) Pth1  
 Hg<sub>0,42</sub>Cd<sub>0,58</sub>Te (3) Pth2  
 Pth = Pth1 + Pth2

**II- PERTES PAR TRANSPARENCE**

Plus le gap est petit, plus la portion du spectre de l'énergie utilisée dans la conversion photovoltaïque est large [5]. Les matériaux dont la bande interdite (gap) est petite absorbent une très grande partie de l'énergie reçue et par conséquent les pertes par transparence restent faibles.

L'énergie (P<sub>tr</sub>) perdue par transparence est donnée par la relation (4).

$$P_{tr} = \int_0^{\infty} P_{in}(\lambda) \exp[-\alpha_1(\lambda)H_1] \exp[-\alpha_2(\lambda)H_2] d\lambda \quad (4)$$

P<sub>in</sub>: puissance incidente du rayonnement.

Nous avons répertorié dans le tableau suivant les pourcentages des énergies absorbées(P<sub>abs</sub>), transmises(P<sub>tr</sub>) et perdues par thermistance(P<sub>th</sub>).

Cellules	P <sub>abs</sub> (%)	P <sub>tr</sub> (%)	P <sub>th</sub> (%)	P <sub>m</sub> (%)
GaAs	63,40	34,60	20,32	22,20
Hg <sub>0,42</sub> Cd <sub>0,58</sub> Te	29,00	5,54	10,00	5,60
Tandem	92,40	5,54	30,32	27,80

**Tableau 4 : pourcentages des énergies absorbées(P<sub>abs</sub>), transmises(P<sub>tr</sub>) et perdues par thermistance(P<sub>th</sub>)**  
 P<sub>m</sub> : puissance fournie par la cellule

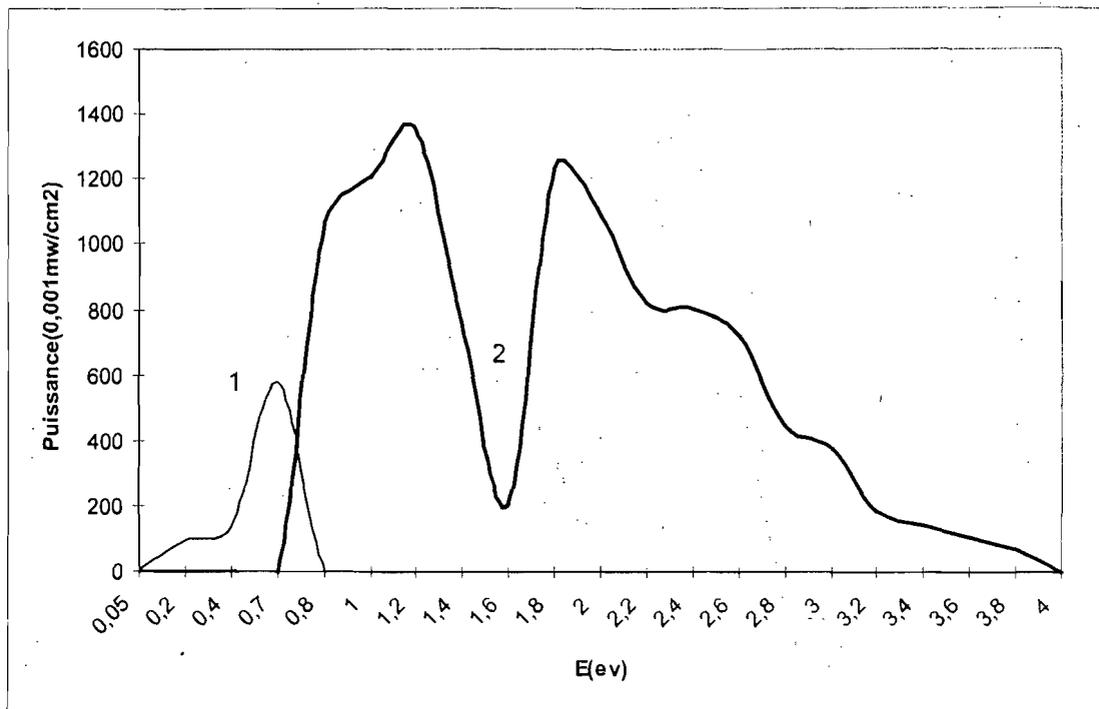


Figure 3 : Energie absorbée (2) et transmise (1) par le tandem en fonction de l'énergie du photon

Ces différentes données montrent que les énergies absorbées dans les cellules GaAs et  $Hg_{0,42}Cd_{0,58}Te$  représentent respectivement 63,40% et 29,00%. Ces énergies peuvent être réparties en trois groupes :

- 20,32% et 10,00% de ces énergies sont perdues par thermistance respectivement dans les cellules GaAs et  $Hg_{0,42}Cd_{0,58}Te$  ;
- Environ 22,2% et 5,60% représentent les contributions des cellules GaAs et  $Hg_{0,42}Cd_{0,58}Te$  au rendement fourni par le tandem ;
- 20,88% et 13,40% peuvent être attribuées à d'autres pertes notamment celles liées aux phénomènes de recombinaison respectivement dans les cellules GaAs et  $Hg_{0,42}Cd_{0,58}Te$ .

L'analyse de ces résultats montre que les pertes dans les photopiles sont essentiellement constituées

par celles liées à la transparence, à la thermistance et aux phénomènes de recombinaison.

**CONCLUSION**

L'évaluation des deux pertes a montré que les pertes par thermistance sont les plus importantes.

En effet environ 30,32% de la puissance incidente sont perdues par thermistance contre 5,54% pour les pertes par transparence.

L'optimisation du tandem a été faite en supposant que la température reste constante et égale à 300°K [1]. Cependant on considère les variations de température dues à l'effet Joule on pourrait mesurer leur impact réel sur les performances du tandem.

**ANNEXE 1**

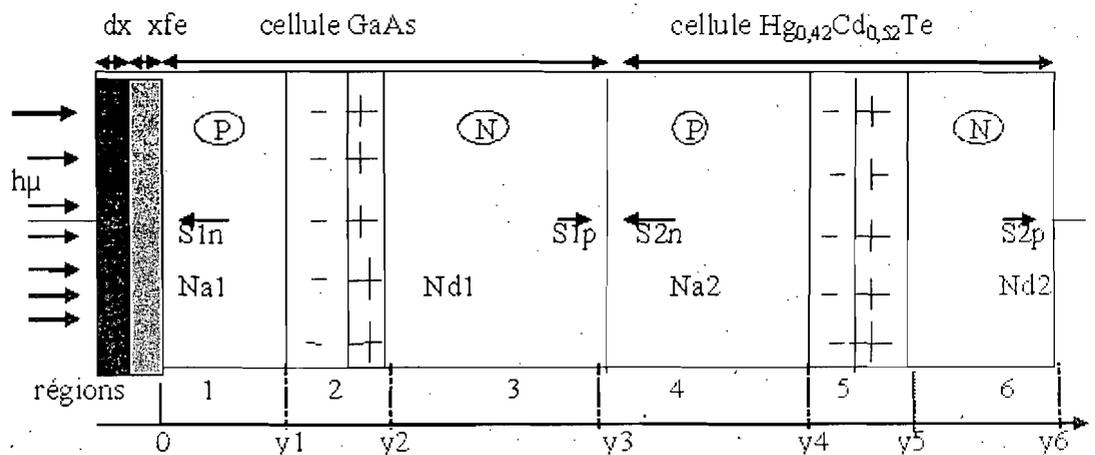


Figure 4 : Différentes régions du tandem

dx : épaisseur de la couche d'oxyde.  
xfe : épaisseur de la fenêtre.

ANNEXE 2  
SPECTRE AM1 [4]

$p_{in}$ (mW/cm <sup>2</sup> )	$\lambda$ ( $\mu$ m)	$p_{in}$ (mW/cm <sup>2</sup> )	$\lambda$ ( $\mu$ m)	$p_{in}$ (mW/cm <sup>2</sup> )	$\lambda$ ( $\mu$ m)	$p_{in}$ (mW/cm <sup>2</sup> )	$\lambda$ ( $\mu$ m)	$p_{in}$ (mW/cm <sup>2</sup> )	$\lambda$ ( $\mu$ m)
0,02	0,3104	3,7	0,3881	21,32	0,5174	55,7	0,7761	86,01	1,5523
0,03	0,3124	3,91	0,3911	22,14	0,5229	57,04	0,7885	87,18	1,6024
0,04	0,3144	4,13	0,3942	22,99	0,5284	58,4	0,8012	88,32	1,6558
0,06	0,3164	4,38	0,3974	23,86	0,5341	59,66	0,8143	89,40	1,7129
0,09	0,3184	4,66	0,4006	24,73	0,5399	61,00	0,8279	90,40	1,7741
0,13	0,3205	4,99	0,4038	25,61	0,5458	62,28	0,8419	91,03	1,8398
0,19	0,3225	5,35	0,4071	26,49	0,5519	63,08	0,8564	91,16	1,9106
0,24	0,3246	5,74	0,4105	27,39	0,5581	63,86	0,8715	91,49	1,9870
0,31	0,3268	6,14	0,4139	28,3	0,5645	64,61	0,8870	92,09	2,0699
0,38	0,3289	6,56	0,4174	29,24	0,5709	65,38	0,9031	92,74	2,1599
0,46	0,3311	6,99	0,4209	30,21	0,5776	66,18	0,9199	93,40	2,2580
0,55	0,3334	7,42	0,4245	31,20	0,5844	66,69	0,9372	94,04	2,3656
0,64	0,3356	7,85	0,4282	32,22	0,5913	67,28	0,9553	94,44	2,4839
0,74	0,3379	8,29	0,4319	33,24	0,5985	68,05	0,9740	94,56	2,6146
0,85	0,3402	8,74	0,4357	34,28	0,6058	69,22	0,9935	94,61	2,7599
0,96	0,3426	9,23	0,4396	35,34	0,6132	70,48	1,0137	94,67	2,9223
1,08	0,3446	9,77	0,4435	36,42	0,6209	71,85	1,0349	94,78	3,1050
1,2	0,3473	10,34	0,4475	37,52	0,6288	73,19	1,0569	94,96	3,3120
1,32	0,3498	10,95	0,4516	38,63	0,6368	74,5	1,0799	95,23	3,5486
1,45	0,3523	11,6	0,4557	39,77	0,6451	75,75	1,1039	95,51	3,8216
1,59	0,3548	12,26	0,4599	40,92	0,6536	76,54	1,1289	95,75	4,1402
1,73	0,3573	12,94	0,4642	42,1	0,6623	77,03	1,1552	95,92	4,5167
1,88	0,3599	13,63	0,4686	43,29	0,6712	77,99	1,1827	96,07	4,9685
2,03	0,3626	14,34	0,4731	44,5	0,6804	79,25	1,2116	96,10	5,5207
2,19	0,3652	15,07	0,4776	45,12	0,6899	80,51	1,2419	96,10	6,2110
2,36	0,3679	15,83	0,4822	46,97	0,6996	81,68	1,2737	96,10	7,0986
2,54	0,3707	16,58	0,4870	48,23	0,7096	82,88	1,3072	96,13	8,2823
2,72	0,3735	17,33	0,4918	49,5	0,7199	83,78	1,3427	96,18	9,9397
2,91	0,3763	18,11	0,4967	50,72	0,7305	84,13	1,3798	96,22	12,4263
3,1	0,3792	18,9	0,5017	52,01	0,7414	84,21	1,4193	96,24	16,5723
3,3	0,3821	19,7	0,5069	53,32	0,7526	84,47	1,4610	96,26	24,8699
3,49	0,3850	20,51	0,5121	54,43	0,7642	84,98	1,5053	96,26	49,8090

$\lambda$  = longueur d'onde

BIBLIOGRAPHIE

- KABORE M'bi** Etude et modélisation du tandem GaAs/Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te  
Thèse Université d'Abidjan Cocody décembre 1999
- S. M. SZE** Physics of semiconductor devices 2<sup>nd</sup> Edition 1981
- BERNARD BEAUMONT** Conversion photovoltaïque solaire multispectrale: propriété des cellules (Ga,In)As épitaxiées sur In P. Thèse Université de Nice 1987.
- A. BAYE** Données solaires pour différentes caractéristiques atmosphériques. CNRS Groupe de physique du solide-énergie solaire Antpolis BP 1-06560 Vabonne. 1980
- R. A. ARNDT, J.F. ALLISON, J.G. HAYOS and MEULENBERG jr**  
Optical propertie of comsat non-reflective cell Comsat Laboratories  
Clarksburg, Maryland 20734