

SYSTEME LASER SOLAIRE FONCTIONNE EN MONOMODE ET MULTIMODE POMPE PAR DIFFERENTS FORME DE GUIDES DE LUMIERE EN SILICE FONDUE

R.Bouadjemine^(a), D.Liang^(b), J.Almeida^(b), D.Louhibi^(a), A.Kellou^(c)

^{a)} CDTA BP 17, Cité 20 Aout 1956, Baba Hassan, Alger, Algérie, 16000

^{b)} Departamento de Física, FCT, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516, Portugal

^{c)} USTHB BP 32 El-Alia, Bab-Ezzouar, Alger, Algerie, 16000

rbouadjemine@cdta.dz

Résumé : Notre travail consiste à optimiser les différents paramètres de pompage d'un système laser solaire, en utilisant une technique de calcul numérique dit « Ray-tracing » à l'aide du logiciel ZEMAX. Il a aussi pour objectif d'optimiser les paramètres du résonateur optique afin d'obtenir un rendement laser maximum en régimes multimodes et monomode TEM₀₀, en utilisant le logiciel LASCAD. Ce système laser est constitué d'un système de collection et de concentration des rayonnements solaires grâce à un héliostat-miroir parabolique, d'un guide de lumière en silice fondue, d'une tête laser constituée d'une cavité de pompage de différentes formes assurant un bon couplage des rayonnements solaires vers le barreau laser Nd :YAG, et d'un système de refroidissement.

Mots Clés : Nd:YAG, pompage solaire, guide de lumière, système héliostat-miroir parabolique.

1. Introduction

La source de lumière la plus couramment rencontrée est, bien entendu, la lumière du soleil. L'idée de pomper un laser par l'énergie solaire existe déjà [1], depuis l'invention du laser. Le regain d'intérêt de cette technique de pompage se justifie par un aspect économique (développement des énergies renouvelables) ainsi que par des aspects scientifiques. La conversion de la lumière solaire en lumière laser par un pompage solaire direct ou indirect a

beaucoup d'importance de plus en plus. Beaucoup de prototypes de laser solaire sont développés dans la littérature pour optimiser l'efficacité et le rendement de laser [2,3].

Le laser solaire trouve de nombreuses applications telles que, la communication spatiale, le traitement des matériaux à haute température, la génération d'électricité (cellules solaires, cellules thermoélectriques, moteur Stirling), le marquage et la découpe, la production de l'hydrogène et de magnésium [4,5].

Le pompage solaire présente de nombreux avantages par rapport aux autres sources de pompage, il offre une grande efficacité, l'énergie utilisée est inépuisable (énergie renouvelables) et gratuite. Par contre, l'inconvénient principal demeure dans la disponibilité limitée de la lumière solaire.

Dans ce travail, nous avons optimisé numériquement notre système laser solaire, dont le pompage est transverse au moyen d'un système héliostat-miroir parabolique. Différentes formes de guide de lumière, à savoir une forme simple ou courbée, ont été étudiées. Ce guide de lumière transforme la tache lumineuse quasi-gaussienne en son entrée en une répartition de lumière uniforme de forme rectangulaire au niveau de la cavité de pompage, permettant de pomper de manière efficace le barreau laser Nd :YAG. La nature du matériau de ce guide est de la silice fondue. Cette dernière est un matériau optique idéal pour le pompage solaire du laser Nd : YAG car elle présente de nombreux avantages:

- Une transparence aux longueurs d'ondes du d'absorption du Nd:YAG.
- Un faible coefficient de dilatation thermique.
- Une grande résistance au choc thermique.
- Une pureté optique de 99,999%.

2. Etude numérique du laser solaire avec différentes formes de guide de lumière en silice fondue

La figure 1 représente le schéma simplifié du système laser solaire avec un miroir parabolique comme concentrateur primaire. Nous avons effectué une étude numérique consistant en l'optimisation du rendement laser. Nous avons d'abord conçu notre guide de lumière en silice fondue, en utilisant le logiciel AUTOCAD, avec différentes formes de façon à obtenir une distribution homogène à la sortie de guide de lumière et une meilleure efficacité de transfert des rayonnements solaires vers le barreau laser Nd : YAG. La deuxième étape consiste à calculer la puissance maximale de pompage absorbée par le barreau laser pour différentes

formes de cavité de pompage, à savoir les formes V et CPC-V, à l'aide du logiciel ZEMAX. La dernière étape consiste en la détermination des performances du faisceau laser en régimes monomode TEM_{00} et multimode, en utilisant le logiciel LASCAD.

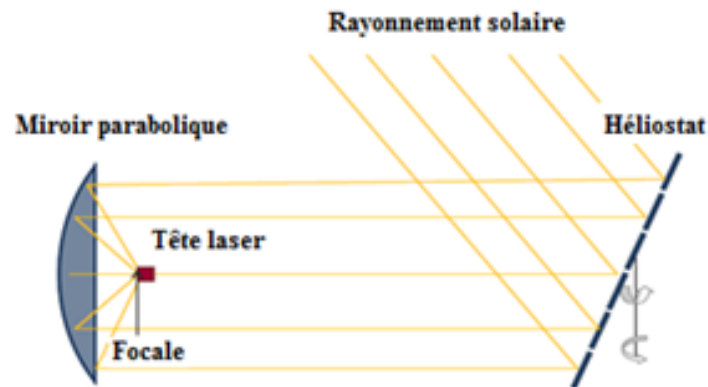
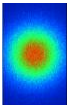
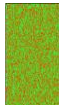
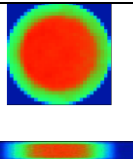
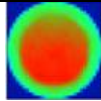
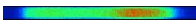
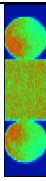
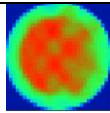
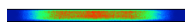
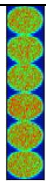
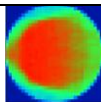


Fig.1. Schéma simplifié d'un système laser solaire.

Les principaux résultats de notre étude sont récapitulés dans le tableau 1.

Tableau1 : Performances du laser solaire en régimes monomode TEM_{00} et multimode.

Forme du Guide de lumière	Distribution de la lumière de pompage /efficacité de transfert			Distribution de la lumière de pompage absorbée par le barreau	Puissance laser (W)	
	Détecteur à l'entrée	Détecteur à la sortie	(%)		Mod e $TE_{M_{00}}$	Multimode
rectangulaire(16.4×8.4/58/16.8×10.4) 			95	 D=4mm, L=30mm	10.3	16.5

				68.7 W		
Deux sections courbées (16×19/120/38×8) 			93. 5	  D=3mm, L=50mm 79.2W	10.9 7	18.3
Trois sections courbées (16×15/120/32×8) 			94	  D=3mm, L=50mm 77.3	10.5	17.6
Six sections courbées (15/120/36×6) 			92	  D=3mm, L=50mm, 76.3	10.1	16.3

3. Discussion des résultats de simulation

Nous avons étudié un système laser solaire, dont le guide de lumière est de forme rectangulaire, de longueur de 58 mm, de dimensions de (16.4×8.4), et de (16.8×10.4), aux faces d'entrée et de sortie, respectivement. Ce guide de lumière assure une distribution homogène en sortie avec une efficacité de transfert de 95%. La cavité de pompage est de forme 3V ($V_1=14^\circ$, $V_2=49^\circ$, $V_3=195^\circ$) pour concentrer les rayonnements de pompage vers le barreau laser Nd:YAG d'un diamètre de 4mm et d'une longueur de 30 mm. La simulation entreprise révèle qu'une distribution homogène de la lumière de pompage, absorbée par le barreau laser, a été obtenue dans les directions longitudinale et transversale. Une puissance laser de 10.3 W a été calculée pour un fonctionnement en mode TEM_{00} , et de 16.5W pour un fonctionnement multimode.

Le second guide de lumière considéré présente une courbure. Il a une section courbée quasi-rectangulaire de dimensions (16×19) mm à la face d'entrée et une section rectangulaire de (38×8) mm à la face de sortie. Ce guide de lumière de longueur de 120 mm assure un transfert des rayonnements solaires vers une cavité de pompage de forme 2V ($V_1=25^\circ$, $V_2=60^\circ$), dans laquelle un barreau laser Nd :YAG d'un diamètre de 3mm et d'une longueur de 50mm est placé. Ce guide de lumière a permis d'obtenir une efficacité de transfert de 93.5 %, et une puissance de pompage absorbée par le barreau laser de 79.2 W, avec une symétrie de la distribution des rayonnements de pompage le long du barreau. Des puissances laser de 9.8 W et de 16.9 W ont été calculées pour un fonctionnement en mode TEM₀₀, et pour un fonctionnement multimodes, respectivement.

Pour un guide de lumière de longueur de 120 mm ayant une section rectangulaire directe de dimensions (16×15) mm à la face d'entrée et deux sections circulaires courbées de dimensions (38×8) mm à la face de sortie. Une légère amélioration de l'efficacité de transfert de 94% a été obtenue. La cavité de pompage considérée est de forme 2V ($V_1=38^\circ$, $V_2=66^\circ$). Les dimensions du barreau laser sont similaires à celui considéré dans le premier cas. Une puissance de pompage absorbée par le barreau laser de 80.3W a été calculée, mais avec une mauvaise distribution des rayonnements de pompage le long du barreau laser. Des puissances laser de 10.5 W pour un fonctionnement en mode TEM₀₀, et de 17.6W pour un fonctionnement multimodes, ont été calculées.

Dans ce travail, nous avons également étudié le cas d'un guide de lumière ayant une section circulaire de diamètre de 15 mm à la face d'entrée et six sections circulaires courbées de dimension de (36×4)mm à la face de sortie. La longueur du guide est de 120 mm. Une distribution homogène à la face de sortie du guide de 89% a été atteinte. La cavité de pompage considérée pour ce cas est de forme 2D-CPC-V ($V=40^\circ$). Une puissance de pompage absorbée de 75.6 W avec une distribution non-homogène des rayonnements de pompage le long du barreau a été obtenue. Des puissances laser de 10.1 W et de 16.3 W, pour un fonctionnement monomode TEM₀₀ et pour un fonctionnement multimode, respectivement.

4. Conclusion

L'optimisation du laser solaire avec différentes géométries du guide de lumière en silice fondue a été effectuée numériquement, à l'aide des logiciels ZEMAX et LASCAD. Les résultats des simulations numériques ont permis d'optimiser les paramètres de pompage ainsi

que les paramètres du résonateur optique. Ces résultats nous permettront dans nos futurs travaux de réaliser un système laser solaire avec un rendement élevé.

Références bibliographiques

- [1] C. G. Young, Appl. Opt. 5, 993 (1966)
- [2] J. Almeida, et.al, and E. Guillot, Appl. Phys. ISSN 0946-2171(2015)
- [3] D. Liang, et.al, Appl. Phys. B - Laser and Optics 111, 305-311 (2013)
- [4] M. Oliveira, et.al, Sol. Energ. Mat. Sol. Cells 155, 430-435 (2016)
- [5] Space Solar Power: Limitless clean energy from space, National Space Society, March 26 (2013)