

LIMITES THERMIQUES DE FOURS SOLAIRES ALIMENTES PAR FIBRES OPTIQUES

C. Zidani, F. Benyarou, A. Amara et B. Benyoucef
Laboratoire de Matériaux et Energies Renouvelables (L.M.E.R)
Université de Tlemcen, BP 119 Tlemcen 13000,
Tél/ Fax : 043 21 58 89
E-Mail : Zidani.Chafika@caramail.com

RESUME

La difficulté d'utiliser l'énergie solaire est sa faible densité de puissance. Pour résoudre ce problème il devient nécessaire d'utiliser des systèmes à concentrations, mais cette utilisation présente un certain nombre d'inconvénients qui la rendent peu commode et difficilement adaptable. On est amené à transporter une fois concentrée jusqu'au dispositif d'utilisation. Les fibres optiques sont capables de transporter quelques dizaines de Watts à quelques dizaines de mètres avec des faibles atténuations donc sans échauffement (pertes thermiques négligeables).

Un flux de 1000 W/m^2 permet de disposer à l'extrémité d'un conducteur de lumière de 1mm de diamètre, une puissance radiative de 2W, avec cette faible puissance on peut atteindre une température de 320°C donc la réalisation des fours solaires.

L'effet de serre dans un capteur plan photo-thermique permet une augmentation de température jusqu'à l'équilibre du système.

Dans ce travail nous présentons l'augmentation de température d'équilibre en concevant un capteur sphérique éclairé par fibres optiques. Ce dernier a l'avantage de conserver toute l'énergie qui lui est fournie avec un rendement de conversion élevé.

Mots clés

Energie solaire, Four solaire, Four monofibre, L'enceinte, fibre optique.

ABSTRACT

The main difficulty in using solar energy is its low density, to solve this problem a concentrating system is commonly proposed. But this utilisation presents an inconvenience that give back and a difficulty from adaptable. We can be brought to transport concentrated it once until the device of utilization. The optical fibres are able to transport about ten Watts therefore to about ten meters with a weak attenuations. (Negligible thermal losses).

A flux of 1000 W/m^2 permits to dispose to the extremity of a conductor of light with 1mm of diameter a power of 2W, with this weak strength one can reach a temperature of 320°C therefore the realization of the solar ovens.

The greenhouse effect in a photo-thermal plane feeler permits an increase of temperature until the equilibrate of the system.

In this work we present the increase of the equilibrate temperature while conceiving an illuminated spherical feeler by optical fibres. This last has the advantage to preserve the all energy provided with an output of conversion raised.

Key words

Solar energy, Solar oven, monofibre oven, the enclosure, optical fibre

1. INTRODUCTION

Les fibres optiques sont des tubes capillaires de faible diamètre composés de deux types de matériaux naturels ou synthétiques, elles transmettent la lumière le long d'un trajet rectiligne ou incurvé suivant le principe de réflexion totale interne. Ces caractéristiques permettent de multiples applications dans des domaines aussi variés que possible, l'un des domaines est leur utilisation en industrie solaire (transport lumineux concentré dans la réalisation des fours solaires,...). Cette technique a été limitée par quelques inconvénients tel que l'utilisation des réflecteurs à symétrie axiale, adaptation de l'ouverture, le déplacement du concentrateur et du récepteur suivant la course du soleil [1]. Dans notre étude nous proposons d'étudier les performances d'un montage expérimental d'alimentation d'un four solaire à partir d'un concentrateur à haute performance et des fibres optiques.

2. DISPOSITIF UTILISE POUR LA CONCENTRATION D'ENERGIE SOLAIRE

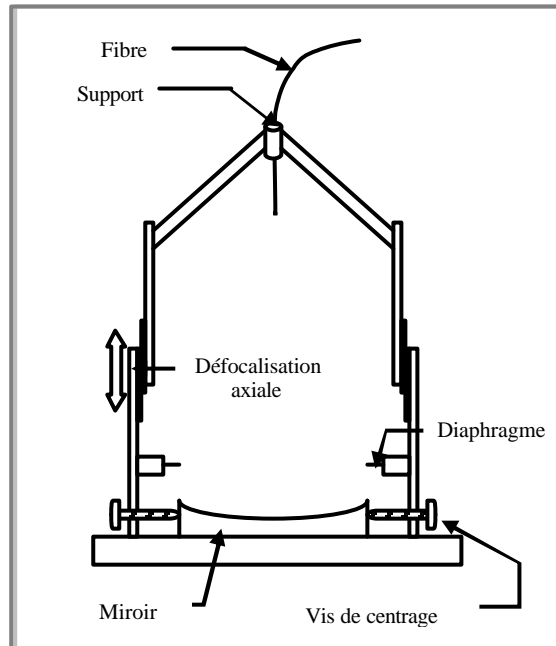


Fig 1: Schéma du dispositif utilisé dans le Transport de L'énergie Solaire Concentrée par Fibre Optique [2].

La fibre optique :

Nous choisissons une fibre adaptée de façon adéquate dans notre étude. La fibre choisie est la QSF1000 composée d'un cœur de quartz et de silice de 1mm de diamètre d , une ouverture $\theta_1=20^\circ$, un coefficient d'atténuation $\tau = 3 \text{ dB/km}$ pour une longueur d'onde $\lambda=0.82\mu\text{m}$.

Le concentrateur :

La brillance radiale B n'est pas considérée comme uniforme, elle dépend de la distance apparente au centre, d'où sa valeur moyenne dans ce cas est de $\bar{B} = 10^7 \text{ W.sr}^{-1} . \text{m}^{-2}$.

Pour disposer localement des températures élevées, il faut que la densité de puissance D_s pour un élément de surface soit élevée. Pour cela, il faut qu'elle soit supérieure à celle qui arrive normalement à D_i (densité incidente sur une surface perpendiculaire aux rayons solaires), d'où on définit la concentration locale $C(M)$ par l'équation suivante [3] :

$$C(M) = \frac{D_s(M)}{D_i} \quad (1)$$

La concentration optimale est donnée par :

$$C_{\text{opt}} = \frac{\sin^2 \theta_1}{\varepsilon_0^2} = C_{\text{max}} \cdot \sin^2 \theta_1 \quad (2)$$

Avec $\varepsilon_0 = 4.654 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$, est le diamètre apparent du soleil.

Le concentrateur qui permet d'approcher au mieux la concentration optimale est le miroir parabolique. Il présente un facteur de concentration optimale (C/C_{opt}) avec une perte de 2 % lorsqu'on dépasse la concentration optimale, d'où on récupère des pertes de puissance importantes [3].

Le miroir parabolique utilisé a les caractéristiques suivantes : une distance focale $f=10.38$ cm, un rayon $R_c=36,6$ mm et un diamètre de 68mm.

3. PUISSANCE DE SORTIE DE LA FIBRE

Elle dépend :

- Du flux incident, pour notre étude la densité de puissance moyenne est égale à 1 kW/m^2 .
- De la réflectivité du miroir qui n'est jamais parfaite et qu'on peut la rendre beaucoup plus réfléchissante par une évaporation sous vide d'argent ou d'aluminium (leurs réflectivité est de 92 % pour Ag et 73 % pour Al).

Les pertes de la fibre (Réflexion vitreuse à l'entrée et la sortie est 3.5 % pour chacune, l'atténuation τ du cœur est de 2.10^{-2} dB/m. [4])

Dans notre étude nous évaluons les effets consécutifs au traitement de surface d'un miroir parabolique en utilisant la fibre optique Q.S.F.1000 d'une longueur de 5m et en essayant de déterminer le réglage permettant d'obtenir la puissance maximale (voir figure2) :

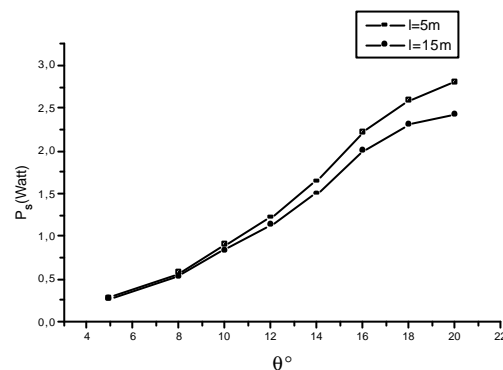


Fig 2 : Influence de la longueur de la fibre sur la puissance P_s pour les différentes ouvertures du concentrateur.

D'après cette figure, nous remarquons l'influence de la longueur de la fibre. Les résultats obtenus montrent que les pertes de puissance sont proportionnelles aux longueurs de la fibre.

4. LA REALISATION DU FOUR MONOFIBRE

Nous avons maintenant un appareillage dont les caractéristiques sont connues et qui permet de disposer à l'extrémité d'un conducteur de lumière, une puissance radiative de l'ordre de 2 W. Parmi les applications que nous envisageons, nous sommes limités à une approche des systèmes thermiques destinés à l'obtention de très hautes températures. Avec seulement une puissance de 2 W, de meilleurs résultats sont obtenus. Cependant, nous multiplions sur un même panneau des systèmes analogues à celui que nous venons de décrire en obtenant autant de fois de puissance de 2 W que de modules. L'ensemble des fibres constitue un câble pouvant apporter la puissance vers un récepteur fixe et bien isolé [5]. En effet, contrairement à ce qui se passe avec les fours solaires traditionnels, ce récepteur peut être enfermé dans une enceinte dans laquelle on place des ouvertures pour le passage des extrémités des fibres seront ménagées.

Ainsi les résultats sont obtenus avec un prototype constitué d'une enceinte sphérique entourant un récepteur éclairé par une seule fibre. A partir de ce modèle de base, en augmentant le nombre de fibres jusqu'à couvrir la totalité de la paroi de l'enceinte. En créant le vide autour du récepteur, nous éliminons les pertes par convection. Du fait que la paroi intérieure est réfléchissante, les pertes radiatives sont minimisées.

4.1 Dispositif expérimental et résultats obtenus [4]

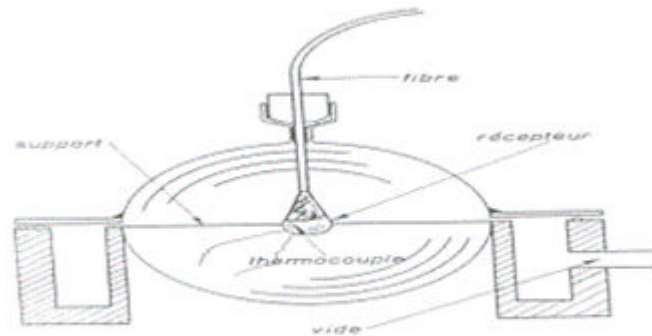


Fig 3: Dispositif expérimental réalisé

Le récepteur que nous utilisons est une sphère d'Aluminium de 15 mm de diamètre dont la surface a été noircie par une oxydation anodique pour la rendre plus absorbante au rayonnement solaire (au moins à une température voisine de l'ambiante). La mesure de sa température est assurée par un thermocouple Nickel-Chrome-Nickel allié, fixé sur une sphère. On enregistre, en fonction du temps, la différence de potentiel aux bornes de ce thermocouple.

L'enceinte a été réalisée à partir d'un ballon de verre de 10 cm de diamètre qui a été scié suivant un grand cercle. L'un des deux hémisphères est fixé sur un cylindre métallique creux utilisé à la fois comme socle et comme pièce de liaison vers une pompe à palettes. L'autre hémisphère comporte une traversée étanche permettant le passage de la fibre optique.

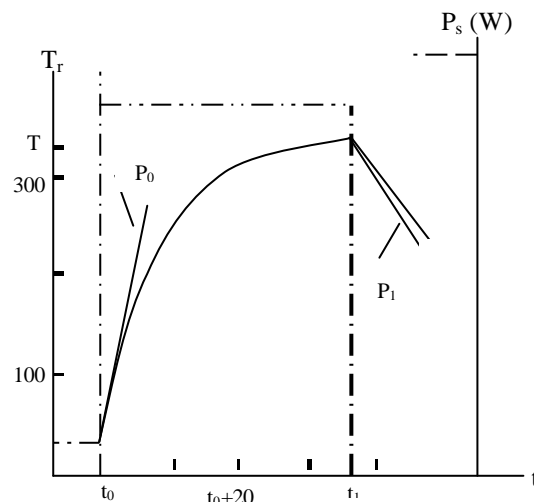


Fig 4 : variation de la température, la puissance en sortie de la fibre en fonction du temps

L'enregistrement a été réalisé à un moment où l'ensoleillement permettait d'avoir une puissance disponible, en sortie de la fibre égale à 1,5 w. On note que malgré cette faible puissance la température d'équilibre de la sphère atteindra les 320° C. On retiendra aussi, que les pentes aux instants où la puissance est injectée, d'une part, et où elle est supprimée d'autre part, sont respectivement : $P_0 = 0,27 \text{ K/s}$ et $P_1 = -0,26 \text{ K/s}$ (voir fig 4).

4.2 Le four solaire Multifibres

Pour avoir des températures plus élevées, il faudra injecter plus de puissance. Pour des raisons déjà développées, il n'est pas question de faire passer plus de puissance dans une fibre [6]. Par contre, il paraît facile d'éclairer le récepteur par plusieurs conducteurs provenant de modules identiques à celui précédemment décrit. Nous proposons d'étudier les limites thermiques d'un tel système.

(Le nombre de modules d'alimentation a la valeur maximale compatible avec la géométrie du système).

Les extrémités des fibres optiques se comportent, vis-à-vis du récepteur, comme des sources de rayonnement quasi-angle au sommet égal à l'ouverture du concentrateur. Dans ces conditions, on observe sur un plan perpendiculaire à l'axe de la fibre, un disque lumineux uniforme dont le diamètre dépend de la distance qui sépare ce plan et la fibre. La densité de puissance dans ce disque est toujours inférieure à la densité en sortie de la fibre et superposer sur le récepteur, les faisceaux de lumière émergents.

Afin de limiter le rayonnement thermique de récepteur, il faut que sa surface S soit minimale ; il est indispensable, aussi que ce récepteur intercepte en totalité les cônes de lumière issus de chaque fibre.

La solution idéale est obtenue pour un récepteur sphérique, les fibres sont distribuées sur une sphère concentrique de rayon $R = r / \sin \theta_0$.

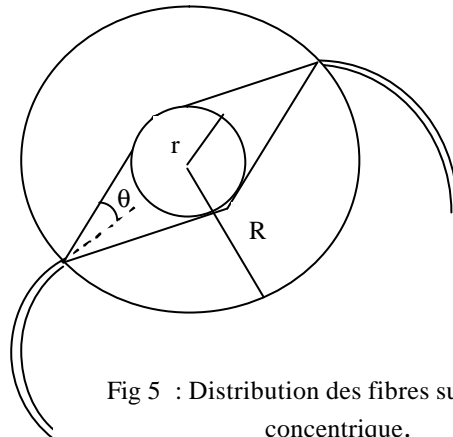


Fig 5 : Distribution des fibres sur la sphère concentrique.

4.3 Températures limites

A l'équilibre, la température T_e du récepteur est telle que la puissance qu'il rayonne est égale à celle qu'il reçoit. S'il s'agit d'un corps noir, on peut écrire [2] :

$$S_r T_e = C_r D_i S_r, \text{ qui conduit, pour } \eta = \eta_0, \text{ à : } * T_e^4 = \frac{1}{S} r \cdot D_i C_{\max}$$

Quelques valeurs numériques sont regroupées dans le tableau qui suit :

	Cas idéal : $\rho' = 1$ $D_I = D_H = 1350 \text{ W m}^{-2}$	Cas pratique: $\rho' = 0,75$ $D_I = 1000 \text{ W m}^{-2}$
Quel que soit θ_0	$T_e = 5790 \text{ K}$	$T_e = 4980 \text{ K}$

Tous ces cas sont idéaux: La paroi intérieure de l'enceinte est intégralement tapissée d'extrémités de conducteurs de lumière.

5. CONCLUSION

L'énergie solaire concentrée peut être transportée avec des conducteurs de lumière, cette technique s'avère très prometteuse quant aux applications thermiques. Elle devrait permettre une utilisation de l'énergie solaire concentrée avec des rendements de puissance qui peuvent dépasser les 50 % (Températures atteintes à 1500 et 3000° C), parmi ces applications : les fours solaires.

RÉFÉRENCES

[1]: H. Yugami; M. Yano; H. Naito; G. Flamant « Concentration of fiber transmitted solar energy by CPC for solar thermal utilization », journal de physique. IV; ISSN 1115-4339; Fra ; Da. 1999; Vol.9 ; pr3.545-pr3-549; Bibli.8

[2] : C. Zidani, « Etude du transport d'énergie solaire par fibres optique. Application aux systèmes à concentrations », Thèse de Magister, Université de Tlemcen, 2002.

[3] : J.M.Cariou, L.Martin, J.Dugas, Advances in ceramics, vol.2 physics of fiber optics, PP 557-563.

[4] : Jean-Michel Cariou. Thèse de doctorat Es science,. Université Paul Sabatier Toulouse 1984.

[5] : P.Ferdinand, S.Dalbin, « Le domaine des capteurs à fibres optique », analyse bibliométrique et prospective, Rapport EDF-HP/22/88, 10 Septembre 1988.

[6]: Dawei liang; Fraser Monteiro I; Fraser Monteiro ML «Fiber-Optic solar energy transmission and concentration. Euros N 1999», solar energy materials and solar cells; ISSN 0927-0248; NLD; 1998; Vol.54; No. 1-4; PP.323-331; Bibli. 6 ref.