HAL
open science

Comparaison entre un capteur à aérogel de silice et d'autres capteurs plans

Fayza Ben Yelles, Batoul Benabadji, Boumediene Benyoucef, Zakariya Ziani

To cite this version:

Fayza Ben Yelles, Batoul Benabadji, Boumediene Benyoucef, Zakariya Ziani. Comparaison entre un capteur à aérogel de silice et d'autres capteurs plans. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00162352

HAL Id: hal-00162352

https://hal.science/hal-00162352v1

Submitted on 29 Aug 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

COMPARAISON ENTRE UN CAPTEUR A AEROGEL DE SILICE ET D'AUTRES CAPTEURS PLANS

Fayza BEN YELLES, Batoul BENABADJI, Boumediène BENYOUCEF, Zakariya ZIANI.
Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelables U. R. M. E. R
Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, 13000, Algérie
Fayza_energetique_2004@yahoo.fr, batabadji@yahoo.fr
b_benyoucef@mail.univ-tlemcen.dz, z_zaki100@yahoo.fr

Résumé: Dans notre travail, le matériau que nous avons utilisé est l'aérogel de silice: matériaux poreux de faible conductivité thermique. Pour cela une nouvelle conception de capteurs, où le matériau isolant est placé au dessus de l'absorbeur a été mise au point dans le but de limiter ou minimiser les différentes pertes thermiques. Enfin nous avons fait une comparaison antre un capteur à aérogel de Silice et d'autres capteurs plans sans ce matériau, simple ou double vitrage, avec ou sans absorbeur sélectif.
Mots clés: capteur, aérogel de silice, matériau poreux.

1. INTRODUCTION

Les matériaux isolants transparents utilisés en conversion thermique permettent un maximum de transmission solaire et le refoulement d'une partie de l'énergie thermique, cette dernière ayant été absorbée et convertie en énergie basse température par un corps absorbant placé en dessous de l'isolant transparent. Parmi ces matériaux, celui qui est le plus utilisé et le plus développé est l'aérogel de silice. [1,2]

2. PROPRIETES GENERALES DU MATERIAU

L'aérogel de silice est un matériau solide basse densité (sa densité variant de 80 à 270 Kg/m^3), transparent, poreux (sa porosité variant de 35 à 90%). Son indice de réfraction varie de 1,2 à 1,05. Pour une épaisseur du matériau de l'ordre de 20mm, la transmittance solaire normale est de 90% avec une incertitude de ±2%. Sa conductivité thermique est de l'ordre de 0,02W/m-K. Le matériau est stable jusqu'à une température de 750°C et une pression de 300 KPa. Sa fragilité et sa perméabilité vis à vis de l'eau liquide nous impose la couverture en verre du capteur. [3]

3. MODES DE TRANSFERTS THERMIQUES DANS LES ISOLANTS TRANSPARENTS

Les modes fondamentaux de transferts thermiques dans les milieux poreux sont :

- La conduction à travers le fluide interstitiel (l'air dans notre cas).
- Le rayonnement qui se propage à l'intérieur des pores et est essentiellement absorbé et diffusé par les particules solides.
- La conduction dans la fraction solide.
- La convection naturelle de l'air dans les pores

La convection dans les pores peut être négligée vu la dimension des pores.
La conduction dans la fraction solide peut être négligée si le matériau est à forte porosité (>90%). Donc c'est la conduction et le rayonnement qui sont essentiellement responsables de la transmission de la chaleur dans des proportions que nous évaluerons ultérieurement. [1,2]

4. CONCEPTION DES CAPTEURS A AEROGEL DE SILICE

Une nouvelle conception de capteur, où l'aérogel de Silice est placé au dessus de l'absorbeur a été mise au point en vue de limiter les pertes thermiques.

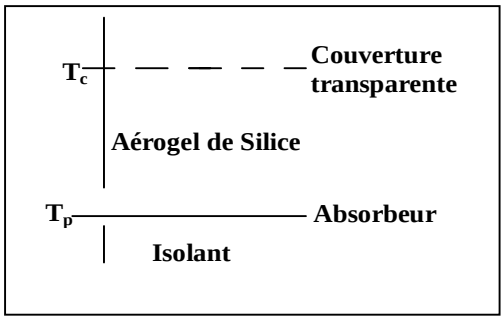

Figure 1 : conception des capteurs à aérogel de silice. [2]

4.1. La conduction à travers l'aérogel de silice

Nielson [1,2] a montré que l a conductibilité thermique croît linéairement avec la température. La conductivité thermique de l'aérogel de silice ayant une densité de 109 Kg/m^3 est : K= 0,0178 W/ m-K à 50°c. Le coefficient de pertes thermiques par conduction est donné par :

$$U_c = K/L \qquad (1)$$

4.2. Le rayonnement à travers l'aérogel de silice

Le transfert thermique par radiation va être influencé par la conduction à travers l'aérogel de silice aux limites. Le rayonnement infrarouge émis par l'absorbeur vers la vitre de recouvrement contribue à l'augmentation du transfert thermique par radiation dans le matériau. Caps [4] donne une relation semi empirique pour le transfert thermique par radiation de l'absorbeur vers la vitre de recouvrement à travers le matériau, de la forme :

$$q_r = \frac{n^2 \sigma \left(T_p^4 - T_c^4\right)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 + \frac{3}{4\tau_0}\right)} \qquad (2)$$

Où ε_p et ε_c sont les émissivités des parois et τ_0 est la profondeur optique égale à σ_a L.

4.3. Concept de coefficient de pertes globales du capteur

Ce concept a été développé afin de simplifier la formulation mathématique du problème de pertes thermiques. [1,2]

Dans ce qui suit nous faisons les considérations suivantes pour simplifier notre analyse :

- Les parois latérales isolent parfaitement le capteur de telle sorte que le transfert thermique soit adimensionnel de la surface inférieure (absorbeur) vers la surface supérieure (vitre de recouvrement).
- La radiation solaire d'intensité G_0 frappe la surface supérieure en incidence normale. Une fraction (1- χ) est réfléchie.
- L'isolant transparent est considéré comme un milieu gris. Toutes ses propriétés radiatives sont indépendantes de la longueur d'onde.

- L'absorbeur est supposé être en contact direct avec l'une des faces de transparent de telle sorte qu'il n'y ait pas de discontinuité de température à l'interface absorbeur- isolant. De même la vitre de recouvrement avec l'autre face.
- Les propriétés du matériau telles que sa densité et sa conductivité thermique ne varient pas en fonction de la position.

4.4. Estimation des pertes de différents éléments du capteur

Le tableau suivant englobe les propriétés physiques du matériau utilisé.

ρ *(Kg/m³)*	K *(W/m- k)*	n	τ	Porosité *%*
109	0,0178	1,02	0,92± 0,02	35 à 90

Tableau 1 : propriété de l'aérogel de silice utilisé [1,2]

Le coefficient de pertes par conduction dans le matériau est donné [4] par : $U_c = K/L$ (3)

Où K= 0,0178 W/ m-K à 50°c avec un coefficient de température de 35.10^{-6} W/ m-K^2 [5]

Le coefficient de pertes par rayonnement de l'absorbeur vers la vitre de recouvrement à travers le matériau est donné par : $Ur_{p-c} = \dfrac{n^2 \sigma \left(T_p^4 + T_c^4\right)\left(T_p - T_c\right)}{\left(\dfrac{1}{\varepsilon_p} + \dfrac{1}{\varepsilon_c} - 1 + \dfrac{3}{4\tau_0}\right)}$ (4)

Le coefficient de pertes par rayonnement de la vitre de recouvrement vers le ciel [6] est :

$$Ur_{c-s} = \varepsilon_c \sigma \left(T_c^2 + T_s^2\right)\left(T_c + T_s\right) \quad (5)$$

Le coefficient de pertes par convection dû au vent [6] est : $U_w = 5.7 + 3.8V$ (6)

Le coefficient de pertes par la face avant du capteur est :

$$U_t = \left(\frac{1}{U_c + Ur_{p-c}} + \frac{1}{U_w + Ur_{c-s}}\right)^{-1} \quad (7)$$

4.5. Estimation de la température de la vitre de recouvrement

La température de la vitre de recouvrement est calculée en notant que les pertes thermiques de l'absorbeur vers la vitre sont les mêmes que celles de l'absorbeur vers le milieu ambiant [2]. Ainsi : $T_c = T_p - \dfrac{U_t\left(T_p - T_a\right)}{U_c + Ur_{p-c}}$ (8)

La procédure commence par un choix de T_c, calculer les différents coefficients de pertes thermiques, les injecter dans l'équation (8) pour calculer la nouvelle valeur de T_c.

4.6. Résultats des calculs

T_a *°C*	T_v *°C*	U_c *W/m².K*	Ur_{p-c} *W/m².K*	Ur_{c-s} *W/m².K*
60	12,78	0,908	0,691	1,515
100	15,71	0,977	0,853	1,723
140	19,36	1,048	4,599	1,953

Tableau 2: Coefficients de pertes thermiques par l'avant du capteur, pour une épaisseur de 20mm d'aérogel de silice.

5. ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTS CAPTEURS

Dans cette étude, nous avons considérés des capteurs de même dimension et constitués par les mêmes éléments tels que l'absorbeur, la couverture en verre et l'isolant arrière.

5.1. Identification des capteurs

Nous nous sommes limités à étudier les capteurs suivants :
Capteur simple vitrage à absorbeur non sélectif : csas, sss, sv.
Capteur simple vitrage à absorbeur sélectif : csas, ass, sv.
Capteur double vitrage à absorbeur non sélectif : csas, sss, dv.
Capteur double vitrage à absorbeur sélectif : csas, ass, dv.

Et nous avons comparé les résultats avec ceux d'un capteur simple vitrage à aérogel de Silice et muni d'un absorbeur non sélectif : caas, sss, sv.

5.2. Résultats

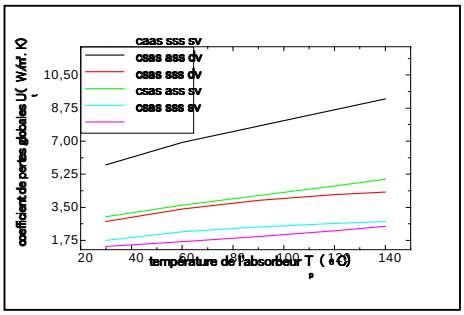

Figure 2: Variation de la température de la vitre de recouvrement de capteur en fonction de la température de l'absorbeur.

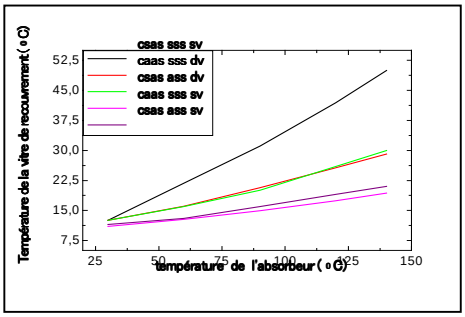

Figure 3: Variation du coefficient de pertes globales de l'absorbeur vers le haut du capteur.

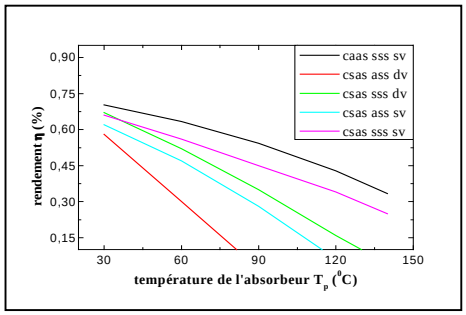

Figure 4 : Variation des rendements de différents capteurs en fonction de la température de l'absorbeur.

5.3. Discussion et interprétation des résultats

La figure 2 donne la variation de la vitre de recouvrement des différents capteurs, pris dans les mêmes conditions expérimentales, en fonction de la température de l'absorbeur. Nous remarquons que la température de la vitre de couverture d'un capteur simple vitrage à absorbeur non sélectif peut atteindre 50^0 C alors qu'un capteur simple vitrage dont la veine d'air immobile est remplacée par de l'aérogel de Silice ne dépasse pas 20^0 C.

La figure 3 donne la variation du coefficient de pertes par la face avant des mêmes capteurs en fonction de la température de l'absorbeur. Nous remarquons que le coefficient de

pertes d'un capteur à aérogel de Silice est minime si nous le comparons avec celui des autres configurations de capteurs. Donc nous pouvons dire que l'aérogel de silice à faible conductivité thermique est un très bon isolant de la face avant du capteur.

La figure 4 nous informe sur les performances des différents capteurs sous incidence normale G= 800 W/m². Pour un capteur simple vitrage sans surface sélective, le rendement s'annule à partir d'une température de l'absorbeur de 80^0 C, alors que pour un capteur à aérogel de silice, le rendement thermique est de l'ordre de 50%.

CONCLUSION

Pour réduire les pertes par la face avant d'un capteur plan et pour optimiser son rendement, nous avons remplacé la veine d'air immobile située entre l'absorbeur et la vitre de recouvrement par un matériau isolant transparent: l'aérogel de silice qui est le matériau solide de faible conductivité thermique et de forte porosité. Nous avons conçu un capteur solaire plan simple vitrage à absorbeur non sélectif. Nous avons calculé le coefficient de pertes par conduction et par rayonnement à travers le milieu absorbant et diffusant en tenant compte des paramètres optiques propres du matériau. Nous avons estimé ainsi le coefficient de pertes globales du capteur solaire plan à aérogel de silice. Enfin une étude comparative est faites entre un capteur à aérogel de silice et d'autres capteurs simple et double vitrage munis ou non d'un absorbeur sélectif et nous concluons que le matériau utilisé : aérogel de silice est un super isolant transparent de la face avant du capteur solaire plan.

Nomenclature

Symboles

G Irradiation solaire incidente, *W/m²*

K Conductivité thermique du matériau, *W/m.K*

L Epaisseur du matériau, *m*

n Indice de réfraction,

T Température, *K*

V Vitesse du vent, *m/s*

U Coefficient de pertes, *W/m².K*

Symboles grecs

σ Constante de Stephen-Boltzman, $W/m^2.K^4$

ε Emissivité de la surface

ρ Densité du matériau, Kg/m^3

τ Profondeur optique

η Rendement thermique du capteur

α Absorptivité d'une surface

Indices

p Absorbeur (plate)

c Vitre (cover), conduction

r Rayonnement

w Vent (wind)

t Avant (top)

b Arrière (back)

L Globa

Références

[1] B. Ben Yelles, Analyse par CAO de l'effet de diffusion des Matériaux poreux utilisés en conversion photovoltaïque. *Thèse de Magister*, pp 19-30, 1995.

[2] F. Ben Yelles, Transferts thermiques dans un milieu isolant transparent. Application à un capteur plan. *Projet de fin d'étude*, pp 9-15 2003.

[3] S. Svendsen and K. I. Jensen. Flate plate solar collector with monolithic silica aerogel. Presented at *Congress of the international Solar Energy Society, hamburg, Federal Republic of Germany*, 13-18 September 1987.

[4] R. Caps and J. Fricke. Infrared Radiative heat transfer in highly transparent silica aerogel. *Solar Energy*, Volume 36, N° 04, pp 361- 364, 1986.

[5] K.G.T Holands et K. Lynkaran. Analytical model for the thermal conductance of compound, Honeycomb transparent insulation with experimental validation. *Solar Energy*, Vol 51, N° 03, pp 223- 227, 1993.

[6] D. Büttner, R. Caps, U. Hunemann, A. Kadur et J. Fricke. Thermal loss coefficient of low density silica aerogel tiles. *Solar Energy*, Volume 40, N° 01, pp 13- 15, 1988.