

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DE TLEMCEM
INSTITUT DES SCIENCES EXACTES

THESE

DE MAGISTER EN PHYSIQUE ÉNERGETIQUE

Présentée par

M^{lle} BENYELLES BATOUL

T H E M E

Analyse par CAO
de l'Effet de Diffusion des Matériaux Poreux
utilisés en Conversion Photo-Thermique

Soutenue le 1995 devant la Commission d'Examen :

| | | |
|--------------------|-----------------|---|
| Président | M' B. KHELIFA | Professeur Université d'Oran |
| Directeur de thèse | M' B. BENYOUCEF | Professeur Université de Tlemcen |
| Examineurs | M' A. AOURAG | Maître de conférence - Université de Sidi-Bel-Abbès |
| | M' M. BELHAMEL | Maître de Recherche C.D.E.R - Alger |
| | M' F. BENYAROU | Chargé de cours Université de Tlemcen |

DEDICACES

A

Mon père, ma mère pour leur soutien

*Mon frère **Kamel-Eddine***

*Mes soeurs, en particulier **Faïza***

*Mon neveu **Ahmed Khaled Yassin***

*Tous (tes) mes amis (es) en particulier **Amina et Naïma***

*Aux familles **Benyelles et Hadj Slimane.***

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude à Monsieur **B.BENYOUCEF**, Professeur à l'Université de Tlemcen, qui par ses enseignements et ses conseils a été un guide précieux dans l'élaboration de ce travail.

Je remercie très chaleureusement Monsieur le Professeur **B.KHELIFA**, de l'Université d'Oran, pour ses conseils tout au long de ce travail et pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury de thèse.

Mes remerciements les plus élogieux vont à Monsieur **H.AOURAG**, Maître de conférence à l'Université de Sidi Bel-Abbès pour avoir accepté de juger notre travail et de participer au jury de thèse.

Je formule mes sincères remerciements à Monsieur **M.BELHAMEL**, Maître de recherche au C.D.E.R (Bouzerréah) à Alger de nous avoir honoré par sa présence au jury.

Que Monsieur **F. BENYAROU**, Chargé de cours à l'Université de Tlemcen, veuille trouver ici, l'expression de ma grande estime et ma reconnaissance pour ses conseils et pour avoir accepté de faire partie du jury de thèse.

Mon amie **F.I. HAKEM**, Maître assistante à l'Université à Tlemcen, qui poursuit actuellement ses recherches en vue d'un Doctorat, m'a été d'une aide précieuse dans la partie simulation. Qu'elle trouve ici l'expression de ma grande reconnaissance.

Je tiens également à exprimer mes remerciements aux membres du Laboratoire d'Informatique de l'Université de Tlemcen en particulier Monsieur **C. BEDJAOUI**.

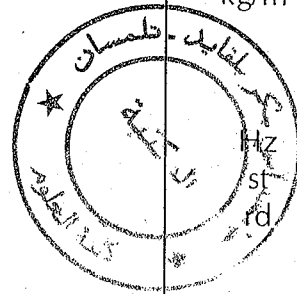
Enfin, je remercie toutes les personnes des **E.T.S. BEKHTI Informatique**, ayant contribué à la réalisation de cette thèse, en particulier Monsieur **M. BEKHTI**.

NOMENCLATURE (I)

| SYMBOLE | SIGNIFICATIONS | UNITE |
|----------------|--|--------------------|
| b | Facteur de rétrodiffusion | |
| c,d | Constantes de l'équation donnant T | K/m, K |
| D | Diamètre d'une particule sphérique | m |
| f _v | Fraction de volume | |
| G | Irradiance solaire incidente | W/m ² |
| K | Conductivité thermique du matériau | W/mK |
| L | Epaisseur du matériau | m |
| M | Nombre d'intervalles | |
| N | Nombre de particules par unité de volume | /m ³ |
| n | Indice de réfraction du matériau | |
| p | Fonction de phase angulaire | |
| Q | Efficacité | |
| q ⁺ | Flux radiatif dans la direction des Y positifs | W/m ² |
| q ⁻ | Flux radiatif dans la direction des Y négatifs | W/m ² |
| q' | Flux radiatif net | W/m ² |
| T | Température | K |
| V | Vitesse du vent | m/s |
| V | Volume | m ³ |
| x | Paramètre de taille de la particule | m |
| U | Coefficient de pertes | W/m ² K |
| y | Position | m |

NOMENCLATURE (II)

| SYMBOLES GRECS | Significations | Unité |
|---------------------|--|-------------|
| α, β | Coefficients dépendants des paramètres radiatifs du matériau | m^{-1} |
| σ | Constante de Stephen-Boltzmann | $W/m.K^4$ |
| σ_a | Coefficient d'absorption | $W/m^2.K^4$ |
| σ_s | Coefficient de diffusion | m^{-1} |
| σ_e | Coefficient d'extinction | m^{-1} |
| ϵ | Emissivité d'une surface | m^{-1} |
| λ | Longueur d'onde | m |
| ρ | Densité du matériau | kg/m^3 |
| τ | Profondeur optique = $\sigma_a \cdot \gamma$ | |
| τ_o | Epaisseur optique = $\sigma_a \cdot L$ | |
| ω | Albédo = σ_s / σ_e | |
| γ | fréquence de rayonnement | Hz |
| Ω | angle solide | sr |
| θ | angle polaire | rd |
| $\mu = \cos\theta$ | direction après diffusion | |
| $\mu' = \cos\theta$ | direction d'incidence | |
| Δ' | direction d'incidence | |
| Δ | direction après diffusion | |
| η | rendement thermique du capteur | |
| χ | réflectivité d'une surface | |
| α' | absorptivité d'une surface | |



| INDICES | SIGNIFICATIONS |
|---------|------------------------------------|
| a | Absorption, ambient |
| e | Extinction |
| s | Diffusion (scattering), ciel (sky) |
| p | Absorbeur (plate) |
| c | Vitre (cover), Conduction |
| r | Rayonnement |
| w | Vent (Wind) |
| t | Avant (Top) |
| b | Arrière (Back) |
| L | Global |

SOMMAIRE

| | |
|---|----------|
| INTRODUCTION | 1 |
| CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES CAPTEURS PLANS | 4 |
| I.1. Présentation des différents types de capteurs solaires | 5 |
| I.1.1. Les capteurs solaires à air à simple passage | 5 |
| I.1.2. Les capteurs à double couverture transparente | 5 |
| I.1.3. Les capteurs à plusieurs passages | 6 |
| I.1.4. Les capteurs mixtes | 7 |
| I.1.5. Le type de capteur étudié | 7 |
| I.2. Constitution des capteurs plans à air étudiés | 8 |
| I.2.1. Les vitrages | 8 |
| I.2.2. L'absorbeur | 9 |
| I.2.3. L'isolant | 9 |
| I.2.4. Le boîtier | 9 |
| I.3. Caractéristiques des différents éléments constituant le capteur | 9 |
| I.3.1. La couverture transparente | 10 |
| I.3.2. L'absorbeur | 11 |
| I.3.3. Les isolants | 13 |
| a. Les isolants minéraux | 13 |
| b. Les isolants d'origine végétale | 13 |
| c. Les isolants organiques de synthèse | 13 |
| I.4. Bilan Energétique d'un capteur | 14 |
| I.4.1. Bilan thermique de la vitre | 14 |
| I.4.2. Bilan thermique de l'absorbeur | 14 |
| I.4.3. Bilan thermique du fluide caloporteur à l'intérieur du capteur .. | 15 |
| I.5. Etudes simplifiées des différents modèles utilisés pour le calcul du rendement d'un capteur | 15 |
| I.5.1. Modèle de Bliss-Hottel et Whillier | 15 |
| I.5.2. Modèle de Sacadura | 16 |
| I.5.3. Modèle de Letz | 16 |
| I.5.4. Choix du modèle | 17 |

| | |
|---|---------------|
| CHAPITRE II : APPORT DES ISOLANTS TRANSPARENTS DANS LA CONVERSION THERMIQUE | 18 |
| II.1. Introduction | 19 |
| II.2. L'aérogel de silice : un isolant transparent | 19 |
| II.2.1. Préparation de l'aérogel de silice | 19 |
| II.2.2. Propriétés générales du matériau | 19 |
| II.2.3. Modes fondamentaux de transfert thermique dans les isolants transparents | 20 |
| II.3. Conception des capteurs à aérogel de silice | 20 |
| II.3.1. La conduction à travers L'aérogel de silice | 21 |
| II.3.2. Le rayonnement à travers L'aérogel de silice | 21 |
| II.3.3. Concept de coefficients de pertes globales du capteur | 21 |
| II.3.3.1. Analogie électrique des pertes des différents éléments du capteur | 22 |
| II.3.3.2. Estimation des pertes des différents éléments du capteur | 22 |
| II.3.3.3. Estimation de la température de la vitre de recouvrement | 24 |
| II.3.3.4. Résultats des calculs | 25 |
| II.4. Etude comparative des différents capteurs | 26 |
| II.4.1 Identification des capteurs | 26 |
| II.4.2. Résultats | 26 |
| CHAPITRE III : EFFETS DE LA POROSITE DE L'AEROGEL DE SILICE SUR LE COEFFICIENT DE PERTES PAR RADIATION | 33 |
| III.1. Introduction | 34 |
| III.2. Propriétés radiatives | 34 |
| CHAPITRE IV : TRANSFERTS RADIATIFS DANS LES MILIEUX DIFFUSANTS | 40 |
| IV.1. Introduction | 41 |
| IV.2. Equations de transfert | 41 |
| IV.2.1. Expressions générales | 41 |
| IV.2.2. Milieu absorbant, diffusant et émissif | 42 |
| IV.2.3. Cas d'un milieu gris | 43 |
| IV.2.3.1. Aspect théorique | 43 |
| IV.2.3.2. Méthode de résolution | 45 |
| IV.2.3.3. Résultats et discussion | 46 |
| CONCLUSION | 62 |
| BIBLIOGRAPHIE | 64 |

INTRODUCTION

Les matériaux isolants transparents utilisés en conversion thermique permettent un maximum de transmission solaire et le refoulement d'une grande 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 : matériau poreux et de basse densité.

Pour cela, une nouvelle conception de capteurs, où le matériau isolant est placé au dessus de l'absorbeur, a été mise au point en vue de limiter les pertes thermiques.

Caps a donné une relation semi-empirique exprimant le flux thermique émis de l'absorbeur à travers l'isolant en fonction de sa température, en tenant compte uniquement du coefficient d'absorption du matériau.

Svendsen et Jensen ont conçu un capteur à aérogel de silice et ont calculé le coefficient de pertes globales, ainsi que le rendement du capteur. Lors de l'expérimentation, ils observent une nette différence entre la courbe expérimentale et celle "calculée".

Le but de notre travail est de :

- Comparer les capteurs à aérogel de silice avec d'autres cités dans l'étude bibliographique, dont la veine d'air immobile est remplie d'air.
- Montrer l'influence de la porosité des matériaux isolants transparents sur le coefficient de pertes par rayonnement, de l'absorbeur vers l'extérieur à travers l'aérogel de silice.
- Réexprimer le flux thermique à partir de tous les coefficients propres du matériau, à savoir les coefficients d'absorption, de diffusion et d'émission, à partir du modèle à deux flux, mis au point par Tong et Tien, Schuster et Schwarzschild.
- Evaluer le rendement du capteur en espérant s'approcher le plus de la courbe expérimentale donnée par Jensen et Svendsen.

Le travail qui nous a été confié, a fait l'objet de quatre aspects théoriques : Après un rappel des travaux antérieurs sur les capteurs solaires plans dans l'étude bibliographique, nous trouverons dans le second chapitre une comparaison entre les capteurs solaires usuels, avec celui à aérogel de silice. Le troisième chapitre est relatif à l'effet de la porosité du matériau utilisé sur le coefficient de pertes par rayonnement. Enfin, le quatrième et dernier chapitre concerne l'étude du flux radiatif émis par l'absorbeur, en utilisant un modèle satisfaisant aux transferts radiatifs dans les milieux diffusants. Ensuite, nous avons procédé à des simulations des différents paramètres caractérisant le milieu.

CHAPITRE I
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES CAPTEURS PLANS

I.1. PRESENTATION DES DIFFERENTS TYPES DE CAPTEURS

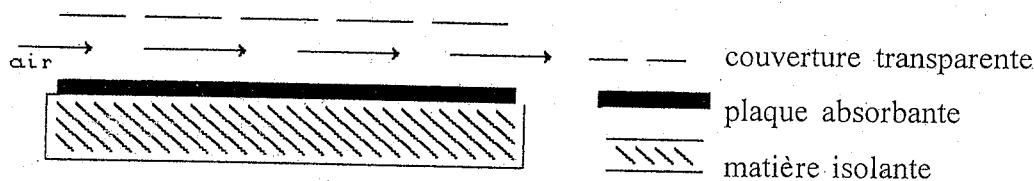
SOLAIRES :

De nombreuses recherches en vue d'approfondir l'étude sur la performance des capteurs solaires à air ont eu lieu. Nous donnerons dans ce qui suit, les différents types de capteurs .

I.1.1 Les capteurs solaires à air à simple passage:

On distingue plusieurs capteurs regroupés sous cette appellation :

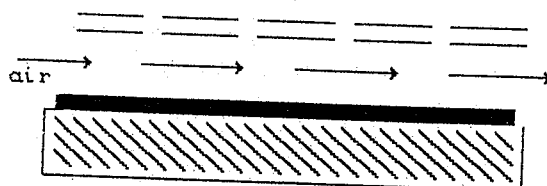
Les capteurs à une seule couverture transparente et dont l'air circule entre cette couverture et l'absorbeur.



Type 1.

Les différentes études portant sur la nature de la couverture et de l'absorbeur ont été faites [1-2]. On montre que ces études permettent d'apprécier le rôle des différents éléments constituant le capteur. Cependant, la faible performance obtenue est due à l'échange par convection entre la vitre de recouvrement et le milieu extérieur.

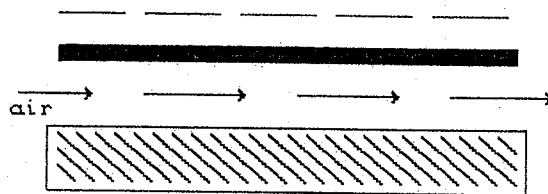
I.1.2. Les capteurs à double couverture transparente :



Type 2

Ces types de capteurs présentent de bonnes performances. La double couverture transparente permet de réduire les pertes par l'avant de l'insolateur .

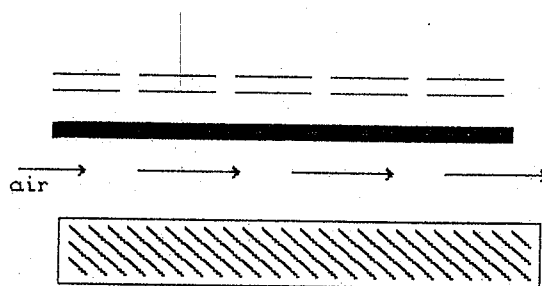
Parker [1] montre qu'un capteur muni d'un seul vitrage et dont l'air circule entre l'absorbeur et l'isolant est plus performant que le type 1.



Type 3

Cette meilleure performance est due à la présence d'une veine d'air immobile réduisant ainsi les pertes par l'avant du capteur par convection.

En modifiant ce type de capteur par utilisation d'une double couverture transparente, on constate que la performance de ce dernier ne peut que s'améliorer [1]. On a donc réduit l'échange convectif de l'air ambiant avec le capteur.

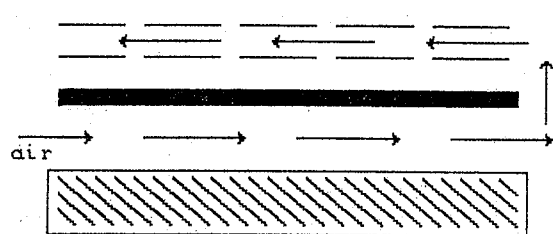


Type 4

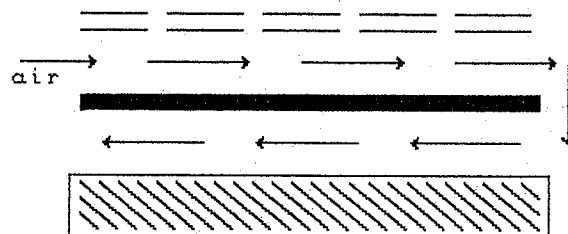
Le type 4 a une bonne performance par rapport aux types 1 et 3 et a à peu près les mêmes rendements que les types 5 et 7 .

I.1.3. Les capteurs à plusieurs passages :

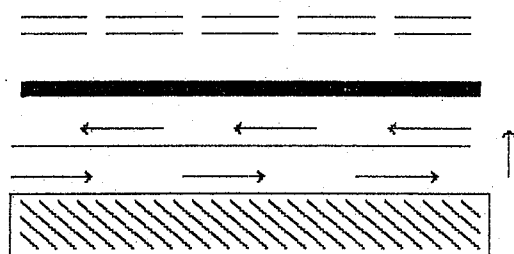
En fait, il s'agit de deux veines d'air mobiles.



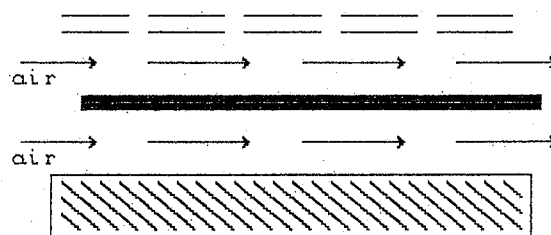
Type 5



Type 6



Type 7



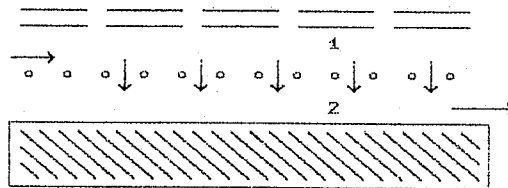
Type 8

L'étude des performances de ces insolateurs montre que le type 6 présente une bonne performance par rapport aux autres. Le type 8 qui lui divise le fluide caloporteur en deux tranches, présente une performance faible par rapport aux autres. Quant au type l'effet de la deuxième veine (entre paroi poreuse et l'isolant) est pratiquement négligeable [3].

L'inconvénient pour le type 5 est la création de la buée au cas où l'air contient de la vapeur d'eau, ce qui réduirait la transmission solaire. Le type 7 quant à lui a l'inconvénient d'augmenter l'inertie du capteur.

I.1.4 Les capteurs mixtes :

Ce sont les capteurs présentant un absorbeur poreux ou sous forme de grilles laissant passer l'air de la veine 1 à la veine 2.



Type 9

Ces types de capteurs ont été étudiés par Lof et Willier, Akyurt et Selcuk, Micquel et Rampazzo et ont pu confirmer que ce type présentait de bonnes performances[3].

I.1.5. Le type de capteur étudié :

Après l'analyse des différents types de capteurs solaires à air présentés, nous avons opté pour le type 3. La performance liée à ce type est bien entendue inférieure à certains d'entre eux, mais avec l'utilisation d'un isolant transparent dans la veine d'air immobile, nous espérons atteindre et même dépasser les performances de toutes les conceptions représentées au 1.

I.2. CONSTITUTION DES CAPTEURS PLANS A AIR ETUDIÉS

La performance d'un capteur solaire dépend de sa conception [4]. Un capteur bien isolé aura une meilleure performance qu'un autre mal conçu. Dans notre travail, nous avons pris en compte ce concept et avons considéré nos capteurs de telle sorte que les pertes par rayonnement latérales et arrières soient les plus réduites possibles (négligeables par rapport aux pertes avants du capteur).

Le capteur est essentiellement constitué de quatre parties :

I.2.1. Les vitrages :

De grande transparence au flux solaire visible, opaque à l'infrarouge lointain (de grande longueur d'onde), ce sont la face avant du capteur.

I.2.2. L'absorbeur :

Il échange la chaleur récupérée avec le fluide caloporteur.

I.2.3. L'isolant :

Placé à l'arrière de l'absorbeur, il est en général opaque au rayonnement visible et opaque à l'infrarouge lointain.

I.2.4. Le boîtier :

Il assure la cohérence des trois parties précédentes.

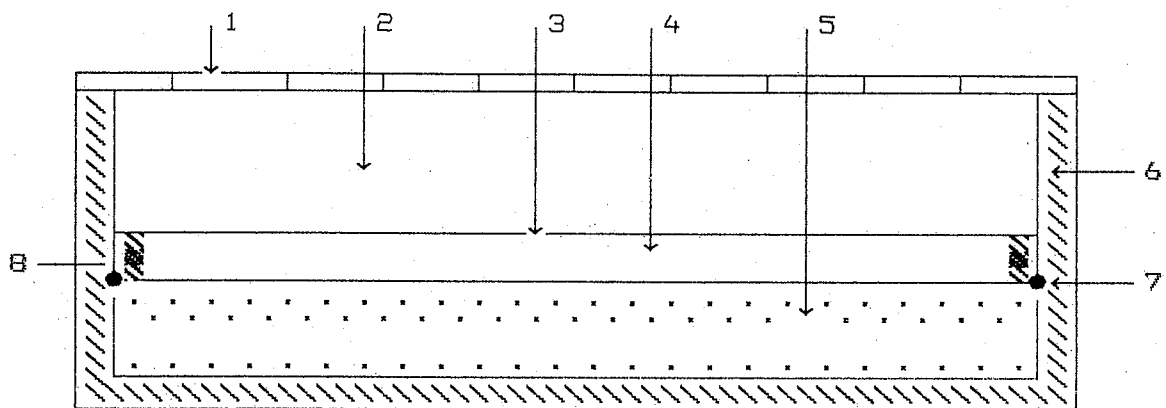


Fig 1 : Coupe transversale d'un capteur plan

1. Couverture transparente
2. Veine d'air immobile
3. Absorbeur (plaque de métal noirci)
4. Veine d'air mobile
5. Isolant (polystyrène)
6. coffre ou boîtier (bois ou métal)
7. coulées de mastic (assurant l'étanchéité)
8. Support de l'absorbeur

I.3. CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS ELEMENTS CONSTITUANT LE CAPTEUR

I.3.1. La couverture transparente :

Son utilisation permet de réduire les pertes par convection et émission vers l'avant du capteur. Il convient de prendre un matériau pouvant laisser passer le maximum de rayonnement solaire et piéger tout celui émis de l'absorbeur

- Le verre : avec une épaisseur de 3 mm, le verre laisse passer entre 84 et 95 % du rayonnement solaire sous une incidence normale [2].

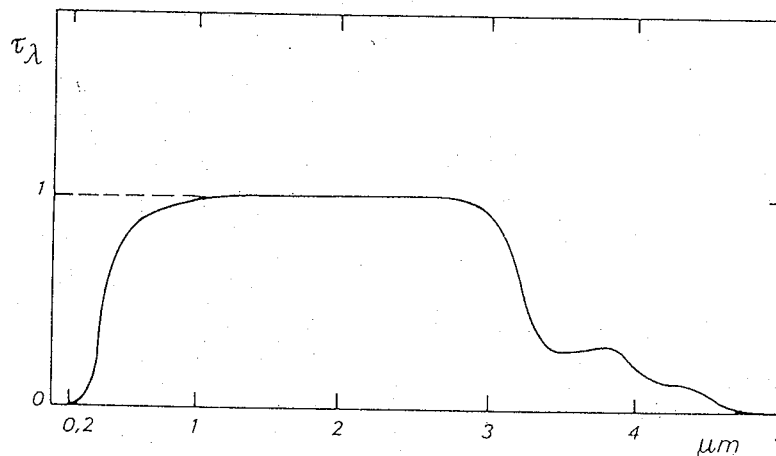


Fig 2 : Transmission du verre (ici 2mm d'épaisseur)

On améliore la performance d'un capteur en utilisant un double vitrage. Ceci permet de diminuer les pertes vers l'atmosphère. Il faut aussi souligner que le double vitrage réduit la transmission qui selon la nature du verre, peut atteindre 86 % [5-6]. L'inconvénient avec le verre est qu'il résiste difficilement aux chocs mécaniques et thermiques.

- Le polyméthacrylate de méthyle :

Plus connu sous le nom de plexiglass, il peut remplacer le verre. Il est moins fragile que ce dernier mais présente l'inconvénient de ne supporter une température supérieure à 95 °C. Son coefficient de transmission est plus faible que celui du verre, de l'ordre de 83 % [7].

- Le polycarbonate :

Ce matériau souvent utilisé dans les capteurs a l'avantage d'avoir une solidité mécanique à toute épreuve et facile à découper pour l'utilisation et de réduire l'inertie du capteur pour sa légèreté [7].

| matériau | épaisseur(mm) | densité (Kg/m ³) | T | R | A | T | R | A |
|----------------|---------------|---------------------------------|-----------|-----|-----|-------------|-------|-------|
| | | | solaire % | | | thermique % | | |
| <u>plaques</u> | | | | | | | | |
| verre | 3 - 4 | 2500 | 83-91 | 8-9 | 1-8 | 0-3 | 11-15 | 85-88 |
| acrylique | 2 - 3 | 1156-1400 | 88-92 | 9 | 3 | 2 | 8 | 90 |
| polycarbonate | 3 | 1187-1250 | 76-89 | 16 | 8 | 4-6 | \ | \ |
| G.R.P | 1 | 1500-1800 | 82-90 | 9 | 9 | 3-6 | 5 | 92 |

**Tableau 1 : Propriétés optiques de quelques matériaux utilisés
comme couverture de capteurs**

T : transmission

R : réflexion

A : absorption

G R P : polyester renforcé de fibres de verre. (Glass reinforced polyester)

Si on résume les propriétés du tableau 1, le verre est le matériau idéal pour couvrir un capteur solaire.

I.3.2. L'absorbeur :

Sa fonction est d'absorber les radiations solaires et de transférer la chaleur au fluide caloporteur. L'absorbeur idéal serait celui qui absorberait toute l'énergie correspondant au spectre solaire (de longueur d'onde λ inférieure à 3 μm) et qui émettrait faiblement dans l'infrarouge lointain (λ supérieur à 3 μm) [2-7].

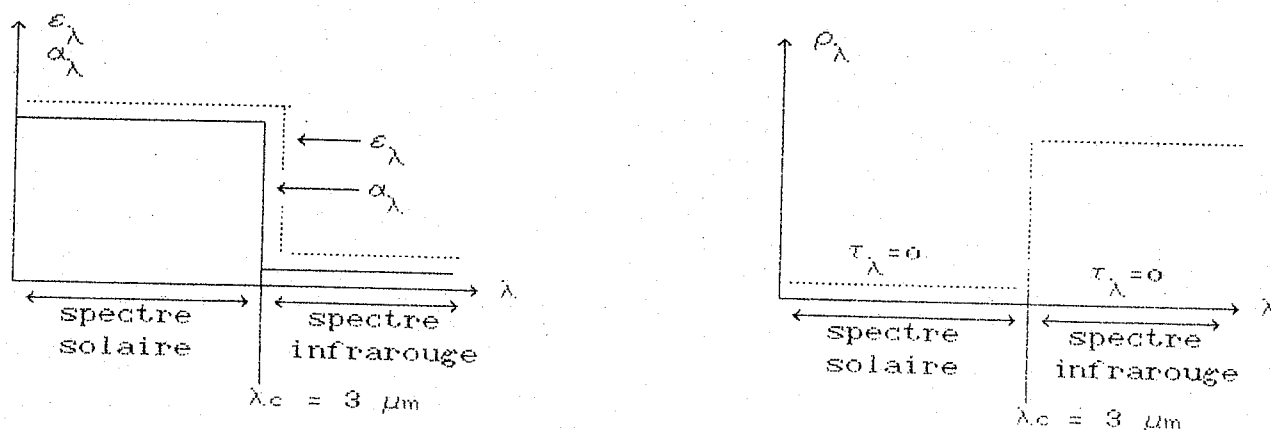


Fig 3 : L'absorbeur idéal

De nombreuses recherches ont été menées et d'autres en cours, pour s'approcher des caractéristiques présentées ci dessus [2]. Nous donnons dans le tableau ci dessous les résultats de certains de ces travaux :

| Nature | Pouvoir absorbant pour le rayonnement solaire | Pouvoir émissif pour l'infrarouge lointain |
|------------------------------|---|--|
| chrome noir | 0.95 - 0.97 | 0.09 - 0.13 |
| cuivre oxydé | 0.85 | 0.10 |
| fer oxydé | 0.85 | 0.12 |
| sulfate de Nickel et de zinc | 0.95 | 0.07 |
| maxorb * | 0.97 | 0.09 |

Tableau 2.

* Le maxorb est un film sélectif qui se présente comme un autocollant pouvant recouvrir n'importe quelle surface.

En plus de ces propriétés, le bon absorbeur doit avoir une bonne conductivité thermique et une faible inertie thermique. Le tableau ci-dessus permet d'avoir une idée sur les conductivités des différents métaux utilisés comme absorbeurs [3].

| Métal | Cuivre | | Acier | | Zinc | | Aluminium | | Magnésium | | Argent | |
|------------------------------|--------|-----|-------|-----|------|-----|-----------|-----|-----------|-----|--------|-----|
| Température °C | 20 | 100 | 20 | 100 | 20 | 100 | 100 | 200 | 20 | 100 | 20 | 100 |
| Conductivité thermique W/m-K | 390 | 380 | 46 | 45 | 123 | \ | 205 | 230 | 154 | \ | 420 | \ |

Tableau 3

Vu le coût élevé des absorbeurs sélectifs, on préfère souvent utiliser des plaques de métaux noircis à la peinture noire-mat qui de toute façon permettent d'atteindre de bons rendements.

I.3.3. Les isolants :

Il existe plusieurs sortes d'isolants. On distingue trois grandes familles:

a. Les isolants minéraux:

- La laine de verre
- La vermiculite

Ces isolants ont l'avantage de supporter la chaleur sans se dégrader à des températures supérieures à 250 °C [7].

b. Les isolants d'origine végétale:

- le bois [$K = 0.13 - 0.40$ (W/(m-K) entre 0 - 200 °C]
- le bois aggloméré [$K = 0.05 - 0.10$ (W/(m-K))]
- la sciure de bois [$K = 0.11$ (W/(m-K))]
- les cendres de végétaux

Ces isolants abondants dans les pays tropicaux peuvent être d'un grand intérêt car non seulement ils supportent la chaleur mais sont pratiquement gratuits dans ces régions [7].

c. Les isolants organiques de synthèse : le tableau ci dessous permet d'avoir une idée sur les propriétés thermiques de quelques matériaux isolants.

| Matériaux | Conductivité thermique à 25 °C (W/(m-K)) | Température Maximale (°C) |
|------------------------|--|---------------------------|
| Fibre de verre | 0.032 | 343 |
| Mousse de polystyrène | 0.029 - 0.040 | 74 |
| Mousse de polyuréthane | 0.023 | 104 |
| Mousse de phénol | 0.033 | 135 |
| Mousse d'isocyanure | 0.025 | 121 |

Tableau 4

I.4. BILAN ENERGETIQUE D'UN CAPTEUR

Les équations suivantes forment l'ensemble des équations caractérisant un capteur plan.

I.4.1 Bilan thermique de la vitre :

$$M_c C_c \frac{dT_c}{dt} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (1)$$

avec

| | |
|---|---|
| $Q_1 = S_c \cdot G_c \cdot \alpha_c$ | quantité de chaleur absorbée par la vitre |
| $Q_2 = S_c \cdot \sigma \cdot \epsilon_c \cdot (T_p^4 - T_c^4)$ | chaleur rayonnée de l'absorbeur vers la vitre |
| $Q_3 = S_c \cdot h_{p-c} \cdot (T_p - T_c)$ | chaleur convective de l'absorbeur vers la vitre |
| $Q_4 = S_c \cdot \sigma \cdot \epsilon_c \cdot (T_c^4 - T_s^4)$ | chaleur rayonnée de la vitre vers le ciel |
| $Q_5 = S_c \cdot h_{c-a} \cdot (T_c - T_a)$ | chaleur convective de la vitre vers le milieu extérieur (ambient) |

I.4.2 Bilan thermique de l'absorbeur :

$$M_p C_p \frac{dT_p}{dt} = S_c \cdot G_c \cdot \alpha_c \cdot \tau_c - Q_2 - Q_3 - Q_6 \quad (2)$$

avec

| | |
|---|--|
| $Q_6 = S_c \cdot h_{p-f} \cdot (T_p - T_f)$ | chaleur convective de l'absorbeur vers le fluide caloporteur |
|---|--|

$T_f = (T_s + T_e)/2$ T_s : température de sortie du fluide

T_e : température d'entrée du fluide

I.4.3 Bilan thermique du fluide caloporteur à l'intérieur du capteur :

$$M_f C_f \frac{dT_f}{dt} = Q_6 - Q_7 - Q_8 \quad (3)$$

avec

$$Q_7 = h_{cf-a} \cdot A \cdot (T_f - T_a) \quad \text{chaleur échangée par conductibilité - convection}$$

entre le fluide et l'extérieur

$$Q_8 = m_f \cdot C_f \cdot (T_s - T_e) \quad \text{chaleur emportée par le fluide caloporteur}$$

I.5. ETUDES SIMPLIFIEES DES DIFFERENTS MODELES UTILISES POUR LE CALCUL DU RENDEMENT D'UN CAPTEUR

Cette étude nous permettra de comprendre l'influence de certains paramètres négligés en passant d'un modèle à un autre [3]. Elle nous conduira aussi à expliquer le modèle choisi pour calculer les rendements de nos capteurs à isolant transparent placé entre l'absorbeur et la vitre de recouvrement.

I.5.1. Modèle de Bliss-Hottel et Whillier :

Selon ces auteurs [8-9-10], le rendement d'un capteur solaire est donné par l'expression:

$$\eta = \left((\tau \alpha) - U_L \left(\frac{T_f - T_a}{G_c} \right) \right) \quad (4)$$

avec

T_f : température du fluide caloporteur, égale à la température de l'absorbeur

si le capteur est très bien isolé

T_a : température ambiante

$(\tau\alpha)$: coefficient de transmission-absorption du capteur

U_L : coefficient de pertes globales du capteur

G_c : éclairement global reçu par le capteur

I.5.2. Modèle de Sacadura

Selon ce modèle [3], le rendement est donné par :

$$\eta = (\tau \alpha)_e - \frac{U_L}{G_c} \left(\frac{1}{2} + \frac{T_e - T_a}{T_s - T_e} \right) \quad (5)$$

T_e : température d'entrée du fluide caloporteur

T_s : température de sortie du fluide caloporteur

I.5.3. Modèle de Letz :

Ce modèle est l'un des modèles les plus complets car il tient compte non seulement de l'humidité relative de l'air et du débit de fuite de l'air entrant dans le capteur par aspiration du ventilateur mais aussi de la température d'entrée et de sortie de ce dernier [3]. Il définit le rendement du capteur comme suit :

$$\eta = \frac{\dot{V} \frac{1 + 1.88x}{V_s} (T_s - T_e) - t_{vf} \frac{T_s}{T_a} (T_a - T_e)}{G_c S_c} \quad (6)$$

\dot{V} : débit volumétrique

x : humidité relative de l'air

t_{vf} : taux de fuite d'air dans le capteur

V_s : volume massique de l'air à la sortie du capteur

T_e, T_s, T_a : sont respectivement les températures d'entrée, de sortie et ambiante de l'air

G_c : puissance incidente du rayonnement solaire

S_c : surface du capteur

Ce modèle est plus simple pour le calcul de rendement car il ne fait pas intervenir le coefficient de pertes globales difficile à calculer en tout temps.

I.5.4. Choix du modèle:

A partir des données d'expérimentation, relatives au capteur étudié, nous allons évaluer le rendement du capteur en tenant compte des déperditions par les faces avant et arrière du capteur, et en l'absence d'un système de stockage, nous avons opté pour le modèle de Bliss-Hottel, tout en considérant que le fluide caloporteur est à la température de l'absorbeur d'où l'expression du rendement:

$$\eta = (\tau \cdot \alpha) - U_L \frac{T_p - T_a}{G_c} \quad (7)$$

CHAPITRE II
APPORT DES ISOLANTS TRANSPARENTS DANS LA
CONVERSION THERMIQUE

II. 1. INTRODUCTION :

L'isolant transparent est le terme donné à tout matériau apte à transmettre une grande part du rayonnement solaire incident d'une part, et à refouler toute ou grande partie de l'énergie thermique d'autre part, cette dernière ayant été absorbée et convertie en énergie basse température par un corps absorbant placé en dessous de l'isolant transparent [11].

Ces derniers incluent les couches multiples de plastiques transparents, les aérogels, les nids d'abeille, les structures capillaires, ...etc [12-13].

II. 2. L'aérogel de silice : un isolant transparent

II. 2. 1. Préparation de l'aérogel de silice :

L'isolant transparent le plus utilisé et le plus développé est l'aérogel de silice [14-15-16]. Il est obtenu par un processus de sol-gel suivi d'un processus d'extraction supercritique du solvant. Brièvement, une solution colloïdale de silice, est mélangée avec de l'eau, un alcool et une combinaison de catalyseurs. On assistera à 2 phénomènes : l'hydrolyse et la floculation : c'est à dire que la stabilité de la solution colloïdale est détruite : les grains de silice se soudent deux à deux, puis se rassemblent en amas plus importants qui grossissent eux mêmes. La manipulation est réalisée dans un autoclave de telle sorte que lors de la montée en température (280 °C environ), la pression atteinte soit de l'ordre de 120 bars. L'évacuation du solvant se fait en 2 à 4 heures environ . Le matériau solide, basse densité, résultant est appelé aérogel de silice.

II.2.2. Propriétés générales du matériau :

C'est un matériau solide basse densité (sa densité variant de 80 à 270 kg/m³), transparent, poreux (sa porosité variant de 35 à 98 %, la taille des pores allant de 10 à 20 nm).[]

Son indice de réfraction varie de 1.02 à 1.05. Pour une épaisseur du matériau de l'ordre de 20 mm, la transmittance solaire normale est de 90 % avec une incertitude de ± 2 %

Sa conductivité thermique est de l'ordre de 0.020 W/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 [17].

II.2.3. Modes fondamentaux de transfert thermique dans les isolants transparents.

Les matériaux poreux de faible densité, se comportent comme des milieux semi transparents diffusants, dans lesquels la propagation de la chaleur peut avoir lieu par différents modes de transfert couplés [18-19].

Les modes fondamentaux de transfert dans les milieux poreux sont :

- La conduction à travers le fluide intersticiel (l'air dans notre cas)
- Le rayonnement qui se propage à l'intérieur des pores et est partiellement 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 chaleur dans des proportions que nous évaluerons ultérieurement.

II. 3. Conception des capteurs à aérogel de silice :

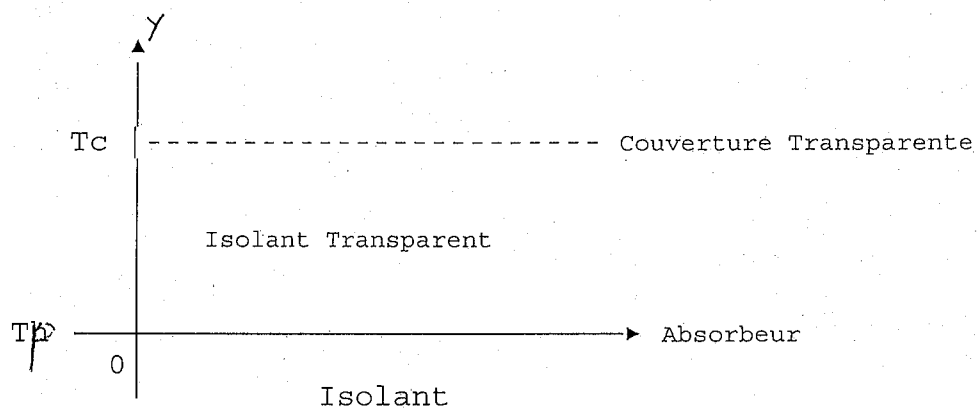


Fig 4 : Capteur à aérogel de silice

II. 3.1. La conduction à travers L'aérogel de silice.

Nielsson [20] a montré que la conductibilité thermique croît linéairement avec la température. La conductivité thermique de l'aérogel de silice, ayant une densité de 109 Kg/m^3 , est $K = 0,0178 \text{ W/m-K}$ à $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Le coefficient de pertes thermiques par conduction est donné par :

$$U_c = K/L \quad (8)$$

où L est l'épaisseur du matériau .

II. 3. 2. Le rayonnement à travers L'aérogel de silice:

Le transfert thermique par radiation va être influencé par la conduction à travers l'aérogel aux limites. Le rayonnement infrarouge émis par l'absorbeur et la vitre de recouvrement contribue à l'augmentation du transfert thermique par radiation dans le matériau.

Caps [21] donne une relation semi-empirique pour le transfert thermique par radiation q^r de l'absorbeur vers la vitre de recouvrement à travers le matériau, de la forme:

$$q^r = \frac{n^2 \sigma (T_p^4 - T_c^4)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 + \frac{3}{4 \tau_0} \right)} \quad (9)$$

où ε' et ε'' sont les émissivités des parois

τ_0 est la profondeur optique = $\sigma_a \cdot y$

II.3.3. Concept de coefficients de pertes globales du capteur :

Il a été développé le concept de pertes globales du collecteur afin de simplifier la formulation mathématique du problème de pertes thermiques [22-23].

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 est adimensionnel de la surface inférieure (absorbeur) vers la surface supérieure (vitre de couverture).

- La radiation solaire d'intensité G_0 frappe la surface supérieure en incidence normale. Une fraction $(1 - \chi)$ est réfléchiée.
- 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 à une température constante et uniforme.
- L'absorbeur est supposé être en contact direct avec l'une des faces de l'isolant 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 .

II.3.3.1. Analogie électrique des pertes des différents éléments du capteur

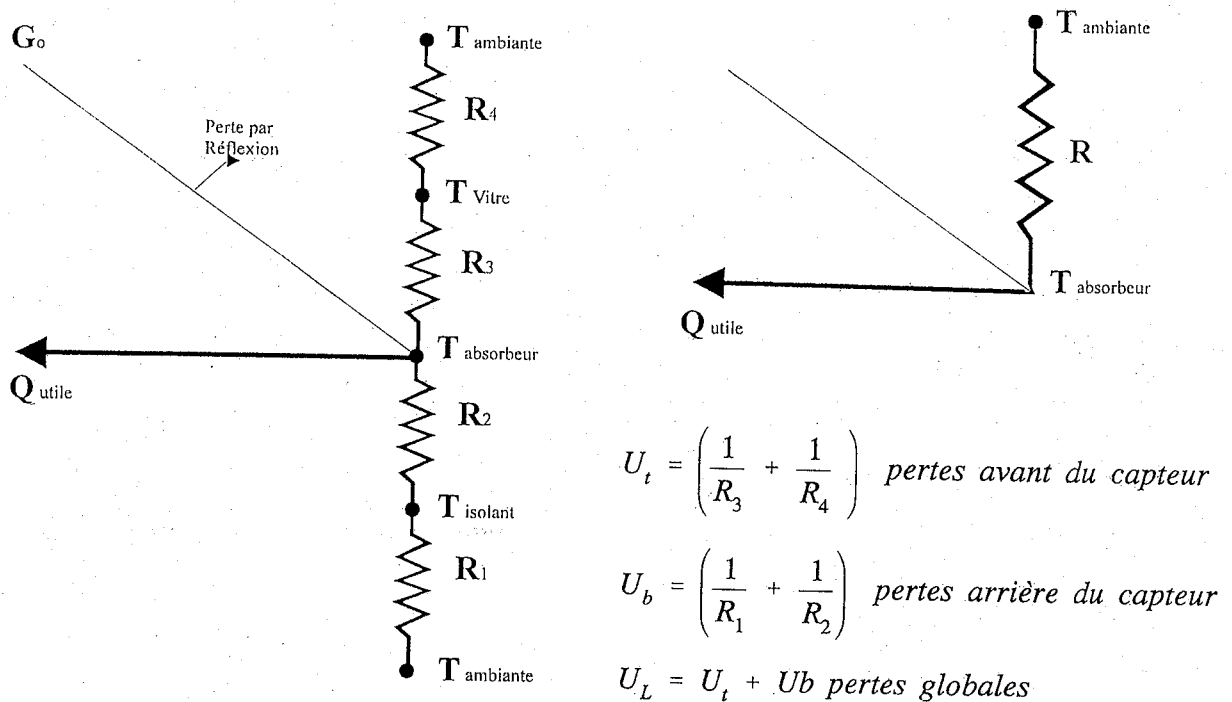


Fig 5 : Schéma global et schéma équivalent

II.3.3.2. Estimation des pertes des différents éléments du capteur :

Le tableau suivant englobera les propriétés physiques du matériau utilisé lors de nos calculs

| | |
|------------------------|-----------------|
| $\rho = 109$ | kg/m^3 |
| $K = 0.0178$ | W/m-K |
| $n = 1.02$ | |
| $\tau = 0.92 \pm 0.02$ | |

Tableau 5 : Propriétés physiques de l'aérogel de silice utilisé

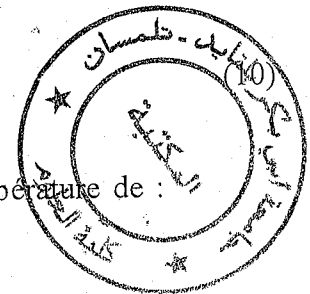
| | |
|------------------------|--------------------|
| $G = 800$ | W/m^2 |
| $T_a = 10$ | $^{\circ}\text{C}$ |
| $V = 5$ | m/s |
| $L = 0,02$ | m |
| $\varepsilon_p = 0,95$ | |
| $\varepsilon_c = 0,88$ | |
| $\alpha'_p = 0.95$ | |

Tableau 6 : Propriétés du système

Le coefficient de pertes par conduction dans le matériau est donné par [20] :

$$U_c = K / L$$

avec $K = 0,0178 \text{ W / m-K}$ à 50°C avec un coefficient de température de :
 $35.10^{-6} \text{ W/m-K}^2$



Le coefficient de pertes par rayonnement de l'absorbeur vers la vitre à travers le matériau est donné par : [21-24]

$$U_{r_{p-c}} = \frac{n^2 \sigma (T_p^2 + T_c^2) (T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 + \frac{3}{4 \tau_o}} \quad (11)$$

Coefficient de pertes par rayonnement de la vitre vers le ciel [22] :

$$U_{r_{c-s}} = \epsilon_c \sigma (T_c^2 + T_s^2) (T_c + T_s) \quad (12)$$

Coefficient de pertes par convection du au vent [22]:

$$U_w = 5,7 + 3,8 * V \quad (13)$$

Le coefficient d'échanges de la face avant du capteur avec l'air ambiant est un des points sur lequel l'unanimité est loin d'être faite au sein des différents groupes de recherche. Dans notre étude, nous nous sommes tenus aux corrélations de Hottel et Woertz [1] définissant le coefficient d'échange comme suit :

$$U_w = 5.67 + 3.86 * V$$

Une autre étude a été menée par A et M Meinel [4] qui font état de plus de quatre formulations différentes, qui diffèrent très sensiblement l'une de l'autre. En réalité l'échange vitre-ciel est dépendant de la vitesse du vent, mais également du gradient thermique entre la vitre de recouvrement et l'air ambiant, condition de la création de mouvements de convection naturelle et d'éventuelles turbulences. Notons que la formule de Hottel et Woertz conduit à un coefficient indépendant de la température.

Le coefficient de pertes par l'avant du capteur est donné par :

$$U_t = \left(\frac{1}{U_c + U_{r_{p-c}}} + \frac{1}{U_w + U_{r_{c-s}}} \right)^{-1} \quad (14)$$

II.3.3.3. Estimation de la température de la vitre de recouvrement :

La température de la vitre varie avec celle de l'absorbeur. Elle 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. []

Ainsi ;

$$T_c = T_p - \frac{U_t (T_p - T_a)}{U_c + U_{r_{p-c}}} \quad (15)$$

La procédure commence par un choix de T_c , calculer les différents coefficients de pertes thermiques, les injecter dans l'équation (15) pour calculer la nouvelle valeur de T_c .

II.3.3.4. Résultats des calculs :

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| Température de l'absorbeur (°C) | 60 | 100 | 140 |
| Température de la vitre estimée (°C) | 12.78 | 15.71 | 19.36 |
| Coefficients de pertes : (W/m ² -K) | | | |
| U_c | 0.908 | 0.977 | 1.048 |
| U_{r-p-c} | 0.691 | 0.853 | 1.045 |
| U_{r-c-s} | 4.451 | 4.517 | 4.599 |
| U_t | 1.515 | 1.723 | 1.953 |

Tableau 7 : Coefficients de pertes thermiques par l'avant du capteur, pour une épaisseur de 20 mm d'aérogel de silice

| Face avant | Face arrière | Total |
|------------|--------------|-------|
| 1.723 | 0.6 | 2.323 |

Tableau 8 : Coefficients de pertes thermiques en W/m²-K, température de l'absorbeur 100°C, vitesse du vent 5 m/s.

II. 4. Etude comparative des différents capteurs :

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

II.4.1. Identification des capteurs :

Pour toutes les configurations citées dans l'étude bibliographiques, nous nous sommes limités aux capteurs suivants :

capteur simple vitrage à absorbeur non sélectif : sa, sss, 1v

capteur simple vitrage à absorbeur sélectif : sa, ass, 1v

capteur double vitrage à absorbeur non sélectif : sa, sss, 2v

capteur double vitrage à absorbeur sélectif : sa, ass, 2v

et avons comparé les résultats avec ceux d'un capteur simple vitrage à aéro-gel de silice et muni d'un absorbeur non sélectif : aa, sss, 1v

Pour tous les capteurs considérés, le fluide caloporteur circule en dessous de la plaque absorbante.

II.4.2. Résultats :

Les tableaux dressés ci-après correspondent aux conditions d'expérimentation suivantes:

$$G = 800 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = 10^\circ\text{C}$$

$$V = 5 \text{ m/s}$$

$$\varepsilon_p = 0.95$$

$$\varepsilon_c = 0.88$$

$$L1 = 2.5 \text{ cm}$$

| T_p | T_c | U_{conv} | $U_{r-a,c}$ | U_{r-a} | U_t | η |
|-------|-------|------------|-------------|-----------|-------|--------|
| 30 | 14.05 | 2.47 | 4.91 | 4.48 | 5.89 | 0.59 |
| 40 | 16.46 | 2.75 | 5.23 | 4.54 | 6.27 | 0.50 |
| 50 | 19.06 | 2.96 | 5.57 | 4.61 | 6.61 | 0.40 |
| 60 | 21.83 | 3.12 | 5.93 | 4.67 | 6.92 | 0.30 |
| 70 | 24.77 | 3.25 | 6.31 | 4.75 | 7.22 | 0.19 |
| 80 | 27.87 | 3.35 | 6.72 | 4.83 | 7.51 | 0.05 |
| 90 | 31.14 | 3.43 | 7.14 | 4.91 | 7.80 | 0.02 |
| 100 | 34.58 | 3.50 | 7.57 | 5.00 | 8.08 | 0.00 |
| 110 | 38.17 | 3.55 | 8.07 | 5.10 | 8.36 | 0.00 |
| 120 | 41.94 | 3.60 | 8.57 | 5.20 | 8.65 | 0.00 |
| 130 | 45.87 | 3.63 | 9.10 | 5.31 | 8.94 | 0.00 |
| 140 | 49.97 | 3.65 | 9.66 | 5.42 | 9.23 | 0.00 |

Tableau 9 : Capteur simple vitrage à absorbeur non sélectif

$\epsilon_p = 0.10$ $\epsilon_c = 0.88$ $L1 = 2.5 \text{ cm}$

| T_p | T_v | U_{conv} | $U_{r_{a-c}}$ | $U_{r_{c-a}}$ | U_t | η |
|-------|-------|------------|---------------|---------------|-------|--------|
| 30 | 11.97 | 2.57 | 0.57 | 4.43 | 2.83 | 0.66 |
| 40 | 13.23 | 2.87 | 0.60 | 4.46 | 3.10 | 0.62 |
| 50 | 14.59 | 3.10 | 0.64 | 4.50 | 3.31 | 0.57 |
| 60 | 16.03 | 3.28 | 0.68 | 4.53 | 3.48 | 0.52 |
| 70 | 17.53 | 3.43 | 0.71 | 4.57 | 3.63 | 0.46 |
| 80 | 19.07 | 3.55 | 0.75 | 4.61 | 3.75 | 0.41 |
| 90 | 20.66 | 3.65 | 0.80 | 4.65 | 3.87 | 0.35 |
| 100 | 22.29 | 3.74 | 0.84 | 4.69 | 3.97 | 0.29 |
| 110 | 23.95 | 3.81 | 0.89 | 4.73 | 3.06 | 0.23 |
| 120 | 25.65 | 3.88 | 0.94 | 4.77 | 4.17 | 0.16 |
| 130 | 27.37 | 3.93 | 0.99 | 4.82 | 4.22 | 0.10 |
| 140 | 29.12 | 3.98 | 1.05 | 4.86 | 4.30 | 0.039 |

Tableau 10 : Capteur simple vitrage à absorbeur sélectif

$\epsilon_p = 0.95$ $\epsilon_c = 0.88$ $L1 = 2.5 \text{ cm}$ $L2 = 2.5 \text{ cm}$

| T_p | T_{c1} | T_{c2} | $U_{conv_{p-c1}}$ | $U_{conv_{c1-c2}}$ | $U_{r_{p-c1}}$ | $U_{r_{c1-c2}}$ | $U_{r_{c2-a}}$ | U_t | η |
|-------|----------|----------|-------------------|--------------------|----------------|-----------------|----------------|-------|--------|
| 30 | 21.57 | 12.06 | 2.012 | 2.123 | 5.098 | 4.347 | 4.439 | 3.034 | 0.62 |
| 40 | 27.44 | 13.36 | 2.243 | 2.382 | 5.516 | 4.511 | 4.47 | 3.244 | 0.58 |
| 50 | 33.56 | 14.73 | 2.401 | 2.589 | 5.964 | 4.688 | 4.503 | 3.434 | 0.53 |
| 60 | 39.83 | 16.21 | 2.518 | 2.757 | 6.440 | 4.877 | 4.539 | 3.612 | 0.47 |
| 70 | 46.22 | 17.80 | 2.608 | 2.898 | 6.946 | 5.076 | 4.578 | 3.785 | 0.41 |
| 80 | 52.74 | 19.49 | 2.677 | 3.019 | 7.481 | 5.288 | 4.619 | 3.954 | 0.35 |
| 90 | 59.39 | 21.29 | 2.728 | 3.124 | 8.048 | 5.512 | 4.664 | 4.121 | 0.28 |
| 100 | 66.17 | 23.19 | 2.766 | 3.216 | 8.647 | 5.749 | 4.712 | 4.289 | 0.21 |
| 110 | 73.07 | 25.20 | 2.793 | 3.297 | 9.280 | 6.000 | 4.763 | 4.458 | 0.14 |
| 120 | 80.09 | 27.33 | 2.809 | 3.368 | 9.948 | 6.266 | 4.817 | 4.628 | 0.06 |
| 130 | 87.23 | 29.56 | 2.817 | 3.431 | 10.653 | 6.546 | 4.875 | 4.801 | 0.00 |
| 140 | 94.48 | 31.92 | 2.818 | 3.485 | 11.395 | 6.842 | 4.936 | 4.977 | 0.00 |

Tableau 11 : Capteur double vitrage à absorbeur non sélectif

$\epsilon_p = 0.10$ $\epsilon_c = 0.88$ $L1 = 2.5 \text{ cm}$ $L2=2 \text{ cm}$

| T_p | T_{c1} | T_{c2} | $U_{\text{conv}_{p-e1}}$ | $U_{\text{conv}_{c1-c2}}$ | $U_{r_{p-e1}}$ | $U_{r_{c1-c2}}$ | $U_{r_{c2-a}}$ | U_t | η |
|-------|----------|----------|--------------------------|---------------------------|----------------|-----------------|----------------|-------|--------|
| 30 | 17.53 | 11.24 | 2.28 | 1.876 | 0.586 | 4.238 | 4.419 | 1.829 | 0.656 |
| 40 | 21.32 | 12.06 | 2.551 | 2.106 | 0.628 | 4.341 | 4.439 | 1.984 | 0.627 |
| 50 | 25.41 | 12.92 | 2.741 | 2.300 | 0.673 | 4.454 | 4.459 | 2.104 | 0.596 |
| 60 | 32.54 | 13.82 | 2.890 | 2.459 | 0.721 | 4.571 | 4.481 | 2.204 | 0.564 |
| 70 | 33.70 | 14.76 | 3.010 | 2.593 | 0.771 | 4.692 | 4.504 | 2.294 | 0.529 |
| 80 | 37.87 | 15.74 | 3.109 | 2.708 | 0.823 | 4.817 | 4.527 | 2.373 | 0.494 |
| 90 | 42.05 | 16.75 | 3.191 | 2.809 | 0.878 | 4.945 | 4.552 | 2.445 | 0.457 |
| 100 | 46.24 | 17.80 | 3.259 | 2.899 | 0.935 | 5.077 | 4.578 | 2.513 | 0.419 |
| 110 | 50.42 | 18.88 | 3.316 | 2.978 | 0.995 | 5.212 | 4.604 | 2.576 | 0.379 |
| 120 | 54.60 | 19.98 | 3.364 | 3.050 | 1.057 | 5.350 | 4.631 | 2.636 | 0.339 |
| 130 | 58.78 | 21.11 | 3.403 | 3.116 | 1.122 | 5.491 | 4.660 | 2.693 | 0.298 |
| 140 | 62.95 | 22.27 | 3.434 | 3.175 | 1.190 | 5.635 | 4.689 | 2.749 | 0.255 |

Tableau 12 : Capteur double vitrage à absorbeur sélectif

$\epsilon_p = 0.95$ $\epsilon_c = 0.88$ $L = 20 \text{ mm}$

| T_p | T_c | $U_{r_{p-c}}$ | $U_{r_{c-a}}$ | U_t | η |
|-------|-------|---------------|---------------|-------|--------|
| 30 | 10.94 | 0.587 | 4.412 | 1.374 | 0.703 |
| 40 | 11.46 | 0.620 | 4.424 | 1.420 | 0.684 |
| 50 | 12.01 | 0.654 | 4.437 | 1.467 | 0.664 |
| 60 | 12.60 | 0.691 | 4.451 | 1.515 | 0.643 |
| 70 | 13.22 | 0.729 | 4.466 | 1.565 | 0.620 |
| 80 | 13.88 | 0.768 | 4.482 | 1.616 | 0.596 |
| 90 | 14.57 | 0.810 | 4.499 | 1.669 | 0.571 |
| 100 | 15.31 | 0.853 | 4.517 | 1.723 | 0.544 |
| 110 | 16.08 | 0.898 | 4.536 | 1.778 | 0.515 |
| 120 | 16.90 | 0.945 | 4.556 | 1.835 | 0.485 |
| 130 | 17.76 | 0.994 | 4.577 | 1.893 | 0.454 |
| 140 | 18.67 | 1.045 | 4.599 | 1.953 | 0.420 |

Tableau 13 : Capteur à aérogel de silice à absorbeur non sélectif, simple vitrage

La simple lecture des tableaux 9 et 11 fait apparaître que les mécanismes d'échange sont dominés par les processus radiatifs lorsque les surfaces ne sont pas sélectives au contraire, dès que l'absorbeur bénéficie d'un revêtement à faible émissivité infrarouge (tableaux 10 et 12), les échanges par convection-conduction sont prédominants.

Dans le tableau 13, l'absorbeur n'est pas une surface sélective et pourtant le flux thermique émis de l'absorbeur, traversé à travers l'aérogel de silice et transmis à l'extérieur, est comparable à celui donné dans les tableaux 10 et 12.

Ceci montre que l'aérogel de silice à faible conductivité thermique est un très bon isolant de la face avant du capteur.

Le graphe 1 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°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 °C .

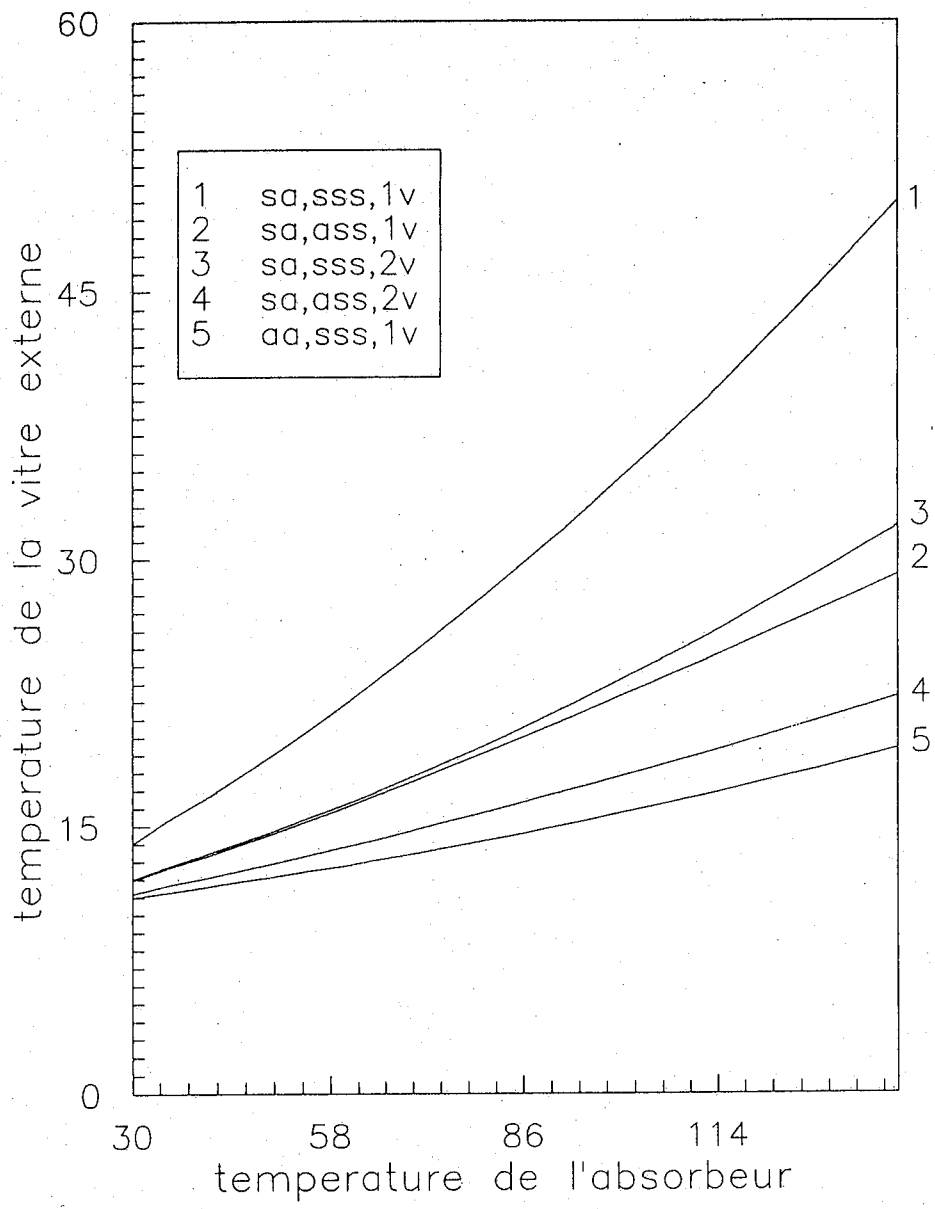
Le graphe 2 nous donne la variation du coefficient de pertes par la face avant des mêmes capteurs en fonction de la température de l'absorbeur .

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.

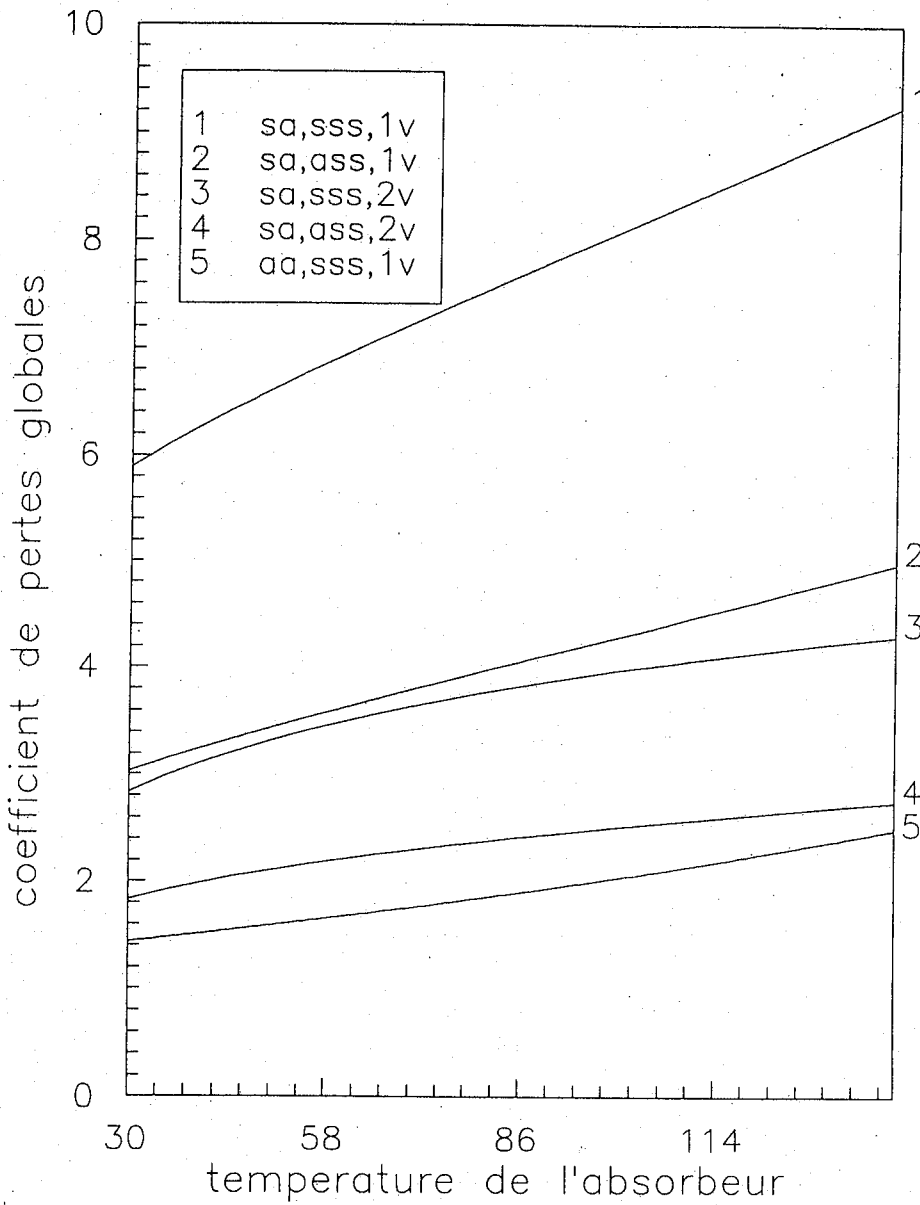
Donc nous pouvons dire que l'aérogel de silice est un très bon isolant de la face avant du capteur.

Le graphe 3 nous informe sur les performances des différents capteurs sous incidence normale $G = 800 \text{ W/m}^2$.

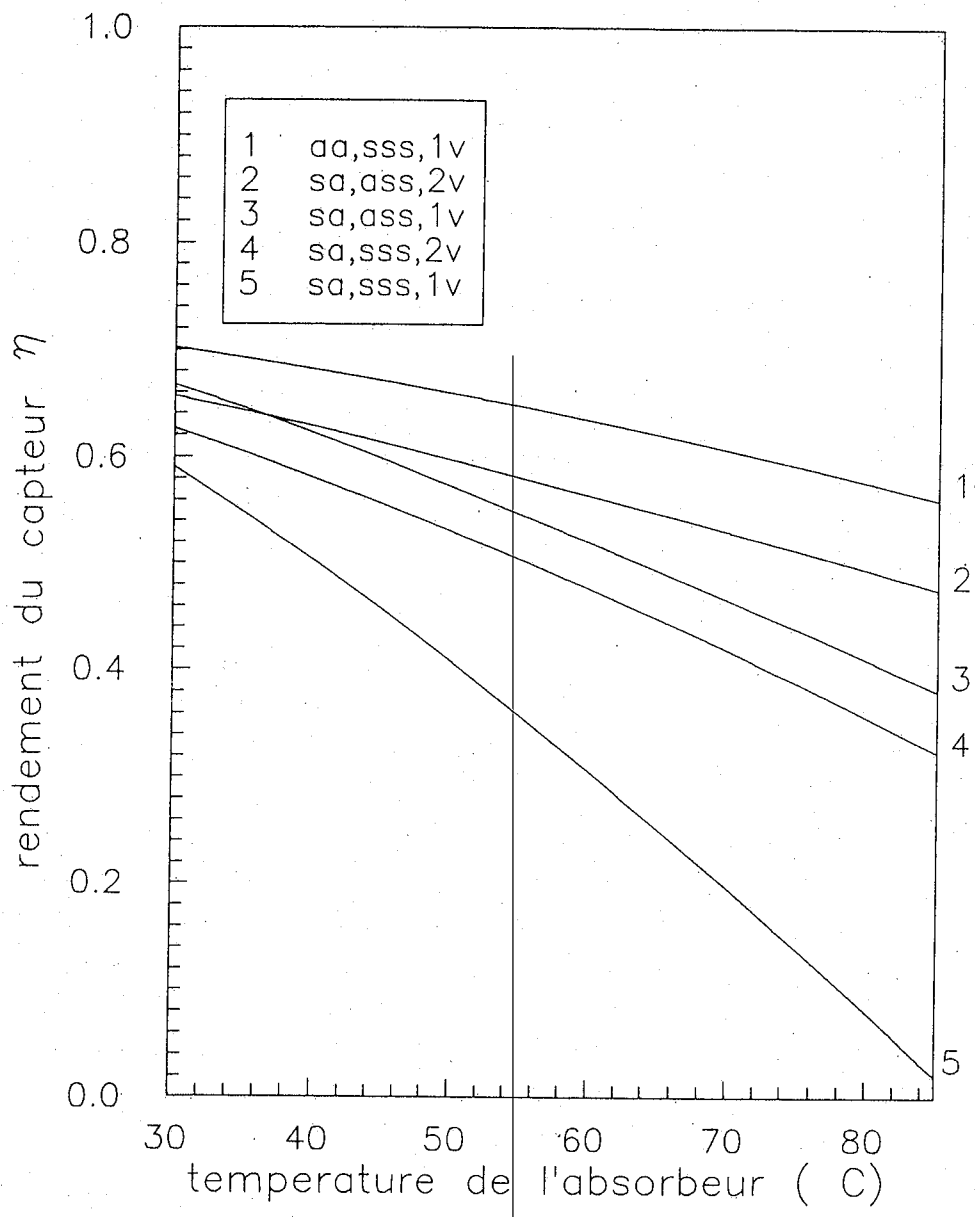
Pour un capteur simple vitrage sans surface sélective, le rendement thermique s'annule à partir d'une température de l'absorbeur de 90°C, alors que pour un capteur à aérogel de silice, le rendement thermique est de l'ordre de 50 %.



graphe 1 température de la vitre de recouvrement du capteur en fonction de la température de l'absorbeur.
 $T_a=10\text{ C}, V=5\text{m/s}, L_1=0.02\text{m}, L_2=0.025\text{m}$



graphe 2 variation du coefficient de pertes globales
 de l'absorbeur vers le haut du capteur
 $T_a = 10\text{ }^\circ\text{C}$, $V = 5\text{ m/s}$, $L_1 = 0.02\text{ m}$, $L_2 = 0.025\text{ m}$



graphe 3 rendement des differents capteurs en fonction de la temperature de l'absorbeur
 $T_a=10\text{ C}, V=5\text{m/s}, L_1=0.02\text{m}, L_2=0.025\text{m}$

CHAPITRE III
EFFETS DE LA POROSITE DE L'AEROGEL DE SILICE SUR
LE COEFFICIENT DE PERTES PAR RADIATION

III.1. INTRODUCTION

L'isolant poreux, constitué de deux phases, l'une solide et l'autre gazeuse (l'air dans notre cas) est illustré par la figure 6 [24-25]:

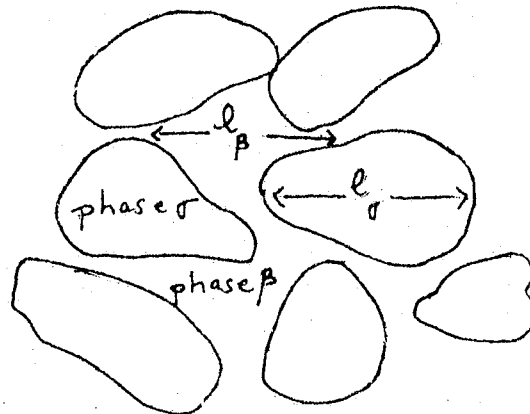


Fig. 6: Les deux phases du système.

Le matériau, en plus de ses aspects morphologiques à savoir la taille et la forme des pores, est caractérisé par la fraction de volume occupé par la phase solide:

$$f_{v\sigma} = \frac{V_{\sigma}}{V_{moy}} \quad (16)$$

avec $f_{v\sigma} = 1 - f_{v\beta}$.

où V_{moy} est le volume moyen à l'intérieur duquel on peut définir une température moyenne.

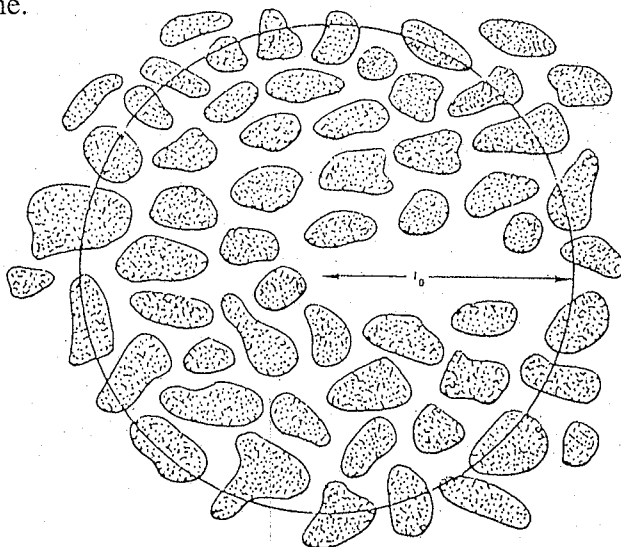


Fig. 7 : Volume moyen

2. Propriétés radiatives

La théorie de Mie-généralisation de la théorie de Rayleigh [26-27] est utilisée pour calculer les coefficients d'absorption et de diffusion, vu que la longueur d'onde est très grande devant la taille de la particule diffusante.

Le paramètre fondamental est alors :

$$x = \pi D/\lambda \quad (17)$$

où D est le diamètre de la particule supposée sphérique.

En plus du paramètre de taille x, la théorie de Mie utilise le facteur d'efficacité de diffusion [28] défini comme suit :

$$Q_s = \frac{\text{section efficace de diffusion}}{\text{section géométrique de la particule}} \quad (18)$$

les facteurs d'efficacité d'absorption et d'extinction, quant à eux sont définis par :

$$Q_a = \frac{\text{section efficace d'absorption}}{\text{section géométrique de la particule}} \quad (19)$$

$$Q_e = Q_a + Q_s \quad (20)$$

Pour des particules monodimensionnelles de rayon r, on a :

$$\sigma_e = N \cdot \pi r^2 \cdot Q_e \quad (21)$$

où N est le nombre de particules par unité de volume.

Dans le cas d'un matériau réel, le coefficient d'extinction varie avec la température moyenne à l'intérieur du milieu d'où la difficulté du choix d'une seule valeur du coefficient d'extinction, d'où le recours à la modélisation dite multibandes: le coefficient d'extinction est alors supposé constant sur une bande de largeur $d\lambda$, ce qui permet, en modifiant sa valeur d'une bande à l'autre, de bien suivre le spectre.

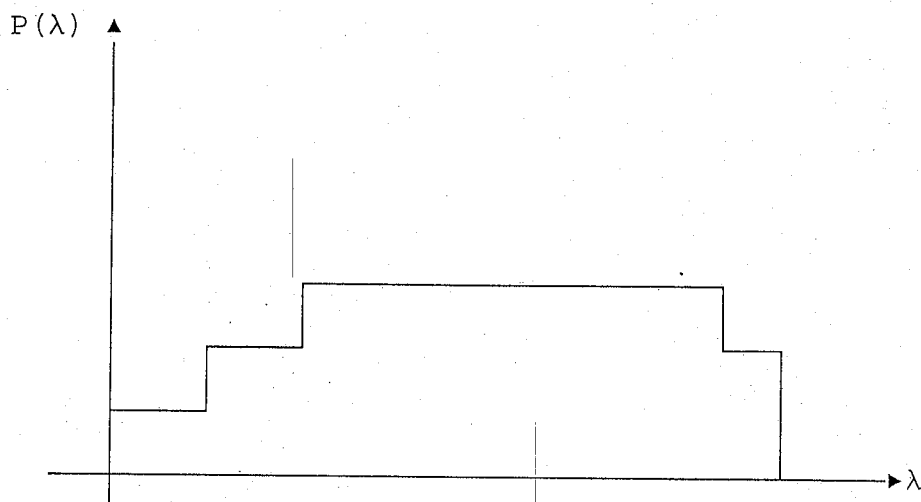


Fig.8 : Modèle gris par bandes, où $p(\lambda)$ représente une propriété variant avec λ .

On voit alors clairement le risque lié à la représentation d'un matériau réel à l'aide d'une seule valeur du coefficient d'extinction et par suite d'absorption, fut-elle moyennée sur le spectre. Il existe en effet plusieurs types de moyennes donc plusieurs valeurs possibles pour le coefficient d'absorption correspondant : aussi avons-nous préféré revenir en définitive à l'approche du matériau gris (vu le manque de données).

Dans le travail effectué par Chu et Tseng [30] pour le calcul des propriétés radiatives des milieux poreux, ces deux auteurs montrent que :

$$\sigma_e = \frac{3f_v}{2D} \cdot Q_e \quad (22)$$

La formule (22) n'est valable que pour des fractions de volume inférieures à 0,2.

Soit, pour un nombre donné N de particules par unité de volume, nous avons la relation suivante:

$$\frac{\sigma_e}{Q_e} = N \pi r^2 = \frac{3 f_v}{2D} \quad (23)$$

A partir de cette double égalité, nous retenons qu'à chaque coefficient d'extinction correspond une fraction de volume solide donc un taux de porosité bien déterminé .

Le coefficient d'extinction est exprimé par la loi de Beer [27], lequel intervient dans l'expression de la transmission, qui sur le trajet de longueur y, a pour expression

$$\tau = \exp (- \sigma_e y) \tag{24}$$

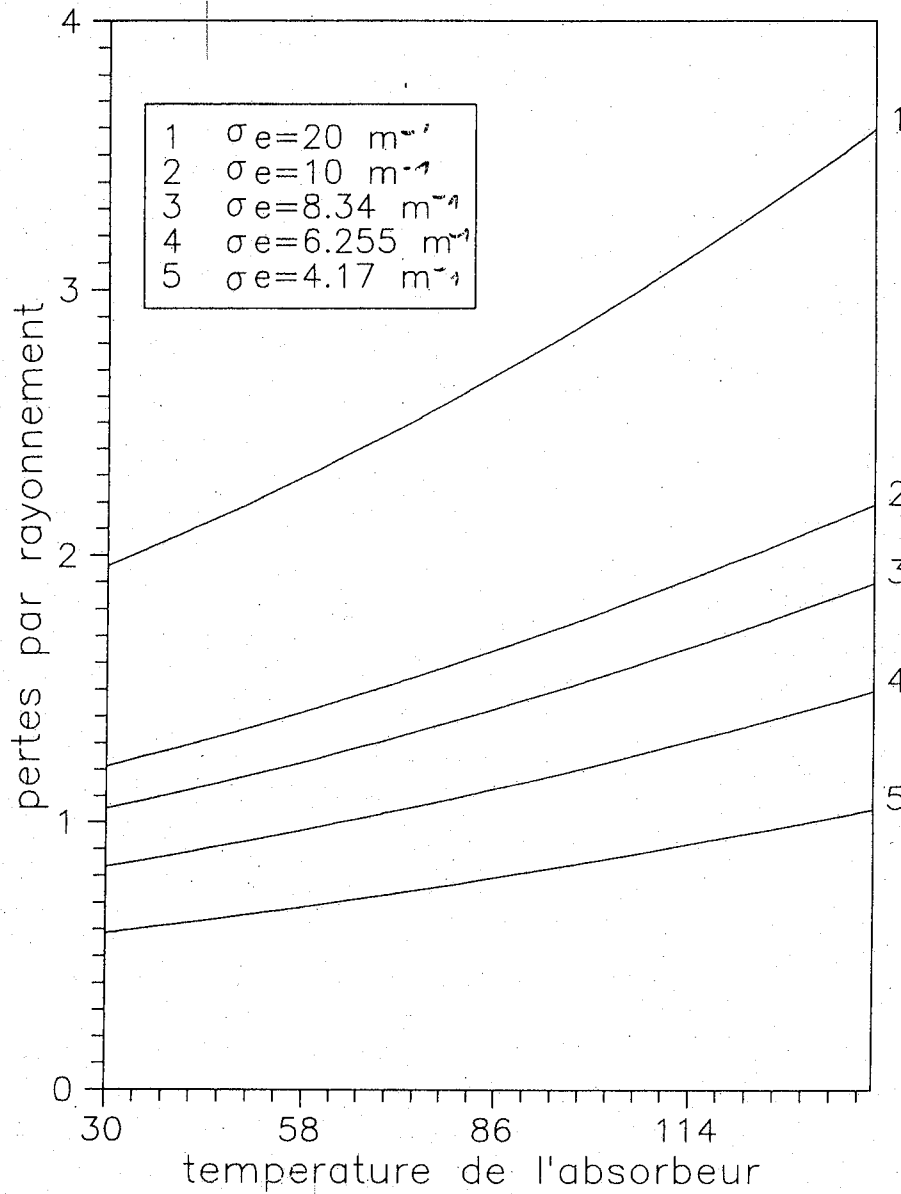
Pour une transmission très grande du matériau, correspondant à un coefficient d'extinction très faible, les dimensions des particules sont très petites devant les longueurs d'onde. Nous pouvons donc supposés que lorsque la transmission diminue, la taille des particules augmente, ainsi que la fraction de volume solide et par suite le taux de porosité diminue.

Dans le tableau ci après, nous dressons le tableau donnant le coefficient de pertes par radiation à travers une épaisseur L = 20 mm d'aérogel de silice à différents taux de porosité.

| | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Coefficient d'extinction σ_e (m^{-1}) | 4,17 | 6,225 | 8,34 | 10 | 20 |
| Transmittance τ (%) | 92 | 88,24 | 84,63 | 81,87 | 67,03 |
| Fraction de volume solide f_v | 0,0176 | 0,0214 | 0,0305 | 0,0419 | 0,1149 |
| Taux de porosité $(1-f_v) \times 100$ (%) | 98,24 | 97,86 | 96,95 | 95,81 | 88,51 |
| U_r ($W/m^2 \cdot K$) | 0,853 | 1,213 | 1,539 | 1,776 | 2,895 |

Tableau 13 : Variation du coefficient de pertes par radiation de l'aérogel de silice en fonction du taux de porosité du matériau ($T_p = 100^\circ C$)

Le graphe représentatif $U_r = f(T_p)$ pour différentes valeurs du coefficient d'extinction nous montre que les pertes par radiation augmentent avec la température et qu'ils deviennent de plus en plus importants avec l'augmentation du coefficient d'extinction, comme l'indique le graphe $U_r = f(\sigma_e)$. Nous pouvons donc conclure que plus le matériau est poreux et plus il isole parfaitement la face avant d'un capteur.



graphe 4 variation du coefficient de pertes par rayonnement en fonction de la température de l'absorbeur pour différentes valeurs du coefficient d'extinction

CHAPITRE IV

TRANSFERTS RADIATIFS DANS LES MILIEUX DIFFUSANTS

Dans cette partie, nous nous proposons d'exprimer le flux radiatif à travers l'aérogel de silice, matériau diffusant de la lumière.

IV.1 Introduction :

La longueur de pénétration du rayonnement thermique, c'est à dire compris entre les longueurs d'onde allant de 0.1 à 30 μm environ, à l'intérieur d'un matériau dépend essentiellement de ce dernier [32-33].

Il est donc nécessaire d'envisager la propagation du rayonnement de la substance, des photons étant émis, absorbés et diffusés tout le long du trajet.

Un milieu est caractérisé par ses coefficients monochromatiques d'absorption $\sigma_{a\nu}$, de diffusion σ_s , et d'émission ϵ_ν , qui varient fortement avec la fréquence ν .

L'introduction de la diffusion, en plus de l'absorption fait intervenir la fonction angulaire $p_\nu(\Delta' \rightarrow \Delta)$ qui traduit la probabilité pour qu'un flux arrivant selon Δ' soit diffusé selon Δ [28].

IV.2. Equations de transfert :

IV.2.1. Expressions générales :

Sur le plan macroscopique, lorsqu'un rayonnement électromagnétique se propage selon un trajet [Os) fig.9, à l'intérieur d'un milieu quelconque (anisotrope et inhomogène), les échanges d'énergie radiative s'expriment à l'aide des trois coefficients monochromatiques d'absorption, de diffusion et d'émission.

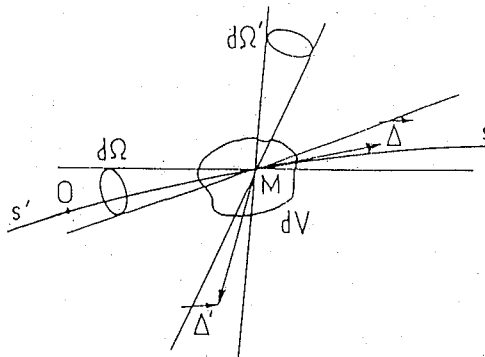


Fig.9 : Interaction d'un rayonnement se propageant selon [Os) avec un élément matériel de volume dV .

En effet, à partir d'un flux de luminance $L(\Delta)$ incident au point M selon le vecteur unitaire Δ , les puissances volumiques rapportées à l'unité d'angle solide $d\Omega$ et à l'intervalle de fréquence dv , respectivement absorbée et diffusée par dV dans toutes les directions sont :

$$\sigma_{a_v} L_v(\Delta) dv \text{ et } \sigma_{s_v} L_v(\Delta) dv \quad (25)$$

Dans les mêmes conditions, la puissance volumique émise et celle diffusée par dV selon Δ à partir du flux provenant de toutes les directions Δ' sont données par :

$$\epsilon_v dv \text{ et } \sigma_s \frac{1}{4\pi} \int_{4\pi} L(\Delta') p_v(\Delta' \rightarrow \Delta) d\Omega' dv \quad (26)$$

où $p_v(\Delta' \rightarrow \Delta)$ est la fonction angulaire de diffusion

$p_v(\Delta' \rightarrow \Delta) d\Omega'/4\pi$ traduit la probabilité pour qu'un flux arrivant selon Δ' soit diffusé selon Δ dans l'angle solide $d\Omega'$ de telle sorte que :

$$\int_{4\pi} \frac{1}{4\pi} p_v(\Delta' \rightarrow \Delta) d\Omega' = 1 \quad (27)$$

Pour un milieu donné, σ_{a_v} , σ_{s_v} et ϵ_v dépendent des conditions locales de températures et de pressions au point M ainsi que de la fréquence v .

$$\text{où } \sigma_{e_v} = \sigma_{a_v} + \sigma_{s_v} \text{ est le coefficient d'extinction} \quad (28)$$

IV.2.2. Milieu absorbant, diffusant et émissif :

L'étude du phénomène de diffusion implique l'introduction de quelques hypothèses simplificatrices à savoir :

- Les particules sont sphériques et de même diamètre moyen
- Le milieu est considéré comme continu et isotrope de telle sorte que la fonction angulaire de diffusion devient égale à 1 [34].

• Le rayonnement est isotrope dans chacune des deux hémisphères correspondant à $\mu = \cos\theta > 0$ et $\mu = \cos\theta < 0$ (fig.10) pour que les luminances L^+ et L^- dans le sens positif et négatif soient indépendantes de la direction Δ [28].

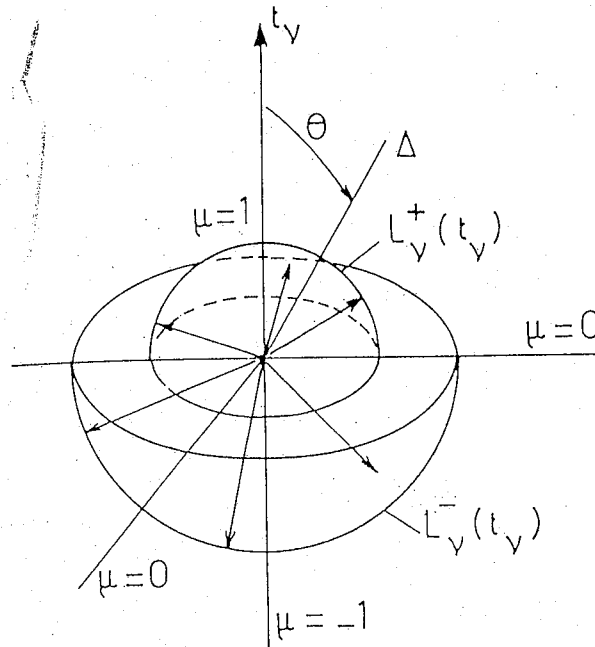


Fig 10 : Approximation fondée sur l'isotropie des intensités

$$I_v^+, \cos\theta > 0 \text{ et } I_v^-, \cos\theta < 0$$

IV.2.3. Cas d'un milieu gris :

Les propriétés radiatives sont indépendantes de la longueur d'onde ou de la fréquence.

2.3.1. Aspect théorique :

Comme nous l'avons vu précédemment, le modèle satisfaisant pour le transfert radiatif à travers les milieux absorbants et diffusants tient compte de l'absorption, de la diffusion et de l'émission de chaque tranche élémentaire du milieu.

Deux flux en sens inverse sont pris en considération, la rétrodiffusion de l'un contribuant au renforcement de l'autre, ce modèle, dit à deux flux, tient compte des paramètres optiques d'absorption, de diffusion et d'extinction.

Soit un milieu homogène limité par deux surfaces planes, et soit un axe [Oy) orthogonal à ces surfaces.

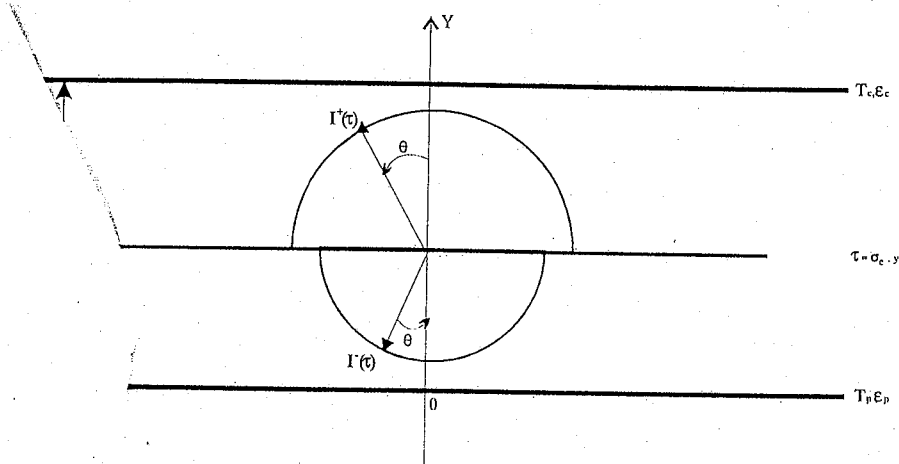


Fig 11: Modèle physique du système.

Le transfert thermique par conduction et par rayonnement à travers le milieu d'épaisseur L est régi par les équations suivantes :

$$K \frac{d^2 T}{dy^2} - \frac{dq^r}{dy} = 0 \quad (29)$$

$$\frac{dq^+}{dy} = -2\sigma_a q^+ - 2\sigma_s q^+ + 2n^2 \epsilon \sigma_a \sigma T^4 + 2\sigma_s b q^- \quad (30a)$$

$$\frac{dq^-}{dy} = -2\sigma_a q^- - 2\sigma_s b q^- + 2n^2 \epsilon \sigma_a \sigma T^4 + 2\sigma_s b q^+ \quad (30b)$$

$$q^r = q^+ - q^- \quad (31)$$

L'équation (29) est l'équation d'énergie. Dans le premier membre de l'égalité, le premier terme est un terme conductif, le second est un terme radiatif. Les équations (30a) et (30b) constituent les équations des deux flux pour décrire le transfert thermique par radiation.

L'équation (30a) représente la variation du flux radiatif dans la direction des y positifs.

Dans le second membre, apparaissent les termes comme suit :

- L'atténuation due à l'absorption
- L'atténuation due à la diffusion
- Le renforcement par émission
- Le renforcement par rétrodiffusion

Les termes de l'équation (30b) ont les mêmes significations que celles de l'équation (30a) mais pour le flux radiatif dans la direction des y négatifs.

Les conditions aux limites pour les équations (30a) et (30b) sont couplées à l'équation (29) par l'équation (31).

Les conditions aux limites pour les équations (30a) et (30b) sont :

Pour $y = 0$

$$q^+ = \varepsilon_p \sigma T_p^A + (1 - \chi_p) q^- \quad (32a)$$

et $y = L$

$$q^- = \varepsilon_c \sigma T_c^A + (1 - \chi_c) q^+ \quad (32b)$$

Les seconds membres des équations (32a) et (32b) représentent un terme émissif et un terme réfléchif. En appliquant la loi de Kirschoff, χ peut être assimilée à ε .

2.3.2. Méthode de résolution :

Nous avons divisé l'épaisseur du matériau en M intervalles. Pour une distribution de température donnée, les équations précédentes forment l'ensemble des équations à résoudre pour chaque point de la grille. Mais dans notre cas, le champ de température $T(M)$ en chaque point M du milieu étant inconnu, nous allons choisir une distribution adéquate pour la résolution de notre système. Considérons une tranche élémentaire d'épaisseur dy du matériau, tel que dy soit très grand devant les dimensions des particules formant le matériau et très petit devant l'épaisseur globale du milieu. Dans ce cas, nous pouvons trouver une température T uniforme dans tout le volume moyen et par suite nous pouvons considérer que la distribution à l'intérieur du milieu poreux est linéaire.

$$T(y) = cy + d$$

où d est la température de l'absorbeur

et $c = (T_c - T_p)/L$.

En remplaçant T par son expression dans l'éq. (29), nous obtenons pour q_i^+ et q_i^- les relations suivantes :

$$q_i^+ = - \left(\frac{\beta}{c} \right) e^{(\alpha/c)T_i} \int_{T_{i+1}}^{T_i} z^4 e^{-(\alpha/c)z} dz e^{\alpha y_i} \quad (33)$$

$$\text{avec } \int_a^b z^4 e^{-\alpha z} dz = - \left(\frac{z^4}{\alpha} + 4 \frac{z^3}{\alpha^2} + 12 \frac{z^2}{\alpha^3} + \frac{24z}{\alpha^4} + \frac{24}{\alpha^5} \right) e^{-\alpha z} \Big|_a^b \quad (34)$$

et

$$q_i^- = \left(\frac{\beta}{c} \right) e^{-(\alpha/c)T_i} \int_{T_{i+1}}^{T_i} z^4 e^{(\alpha/c)z} dz e^{-\alpha y_i} \quad (35)$$

avec

$$\int_a^b z^4 e^{\alpha z} dz = \left(\frac{z^4}{\alpha} - \frac{4z^3}{\alpha^2} + \frac{12z^2}{\alpha^3} - \frac{24z}{\alpha^4} + \frac{24}{\alpha^5} \right) e^{\alpha z} \Big|_a^b \quad (36)$$

où

$$\alpha = -2\sigma_a + 2(-2\sigma_s b)$$

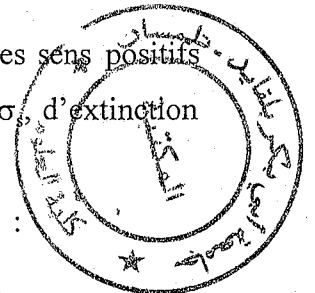
$$\beta = 2n^2 \varepsilon \sigma_a \sigma (1 + \frac{2\sigma_s b}{\sigma_a})$$

une fois q_i^+ et q_i^- connus, q_i^r l'est aussi.

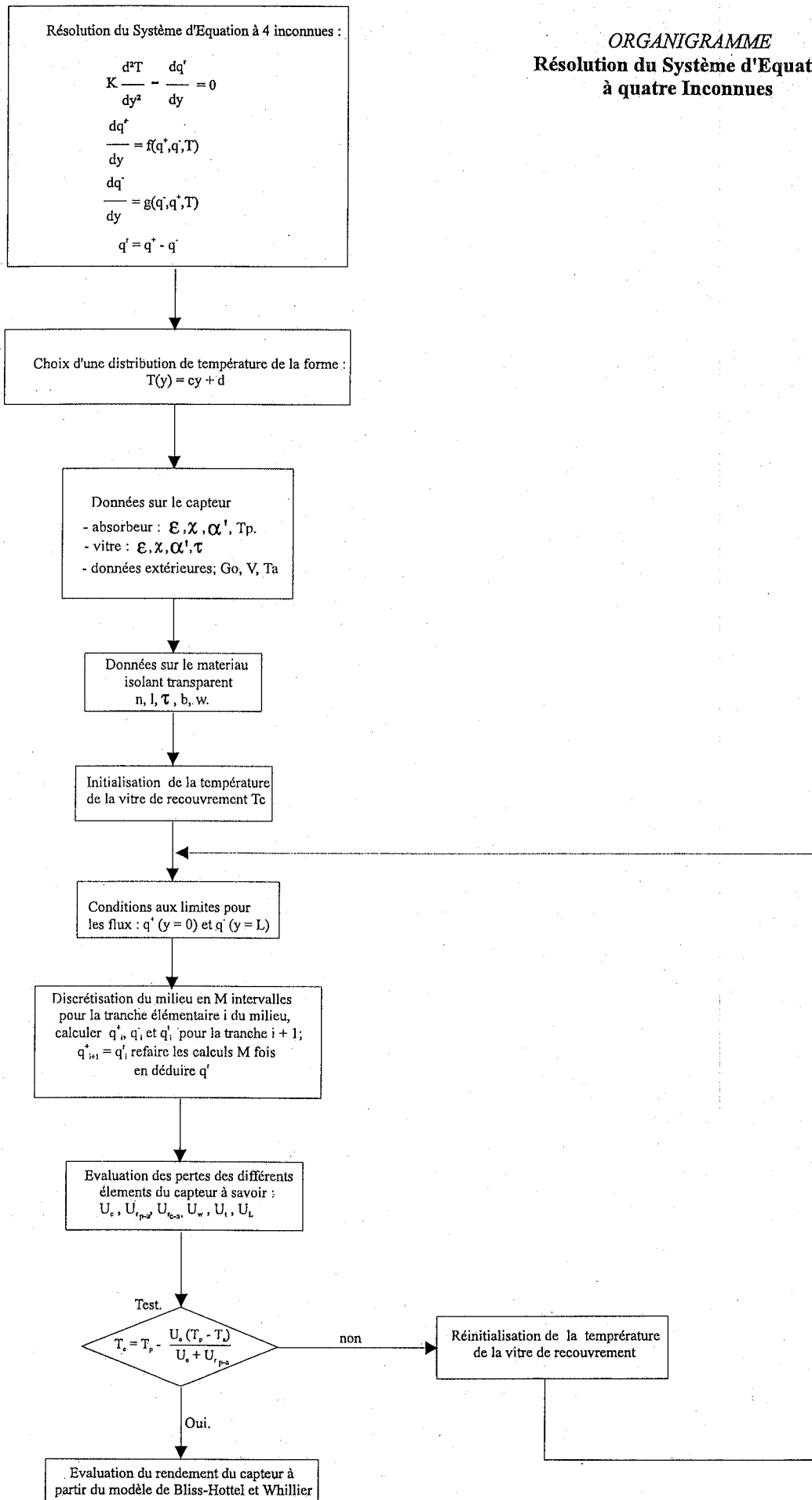
2.3.3. Résultats et discussion :

Comme nous venons de le voir précédemment, les flux dans les sens positifs et négatifs dépendent des coefficients d'absorption σ_a , de diffusion σ_s , d'extinction σ_e , d'émission ε , du facteur de rétrodiffusion b et de l'albédo ω .

A partir des résultats trouvés, nous dressons le tableau suivant :



ORGANIGRAMME
Résolution du Système d'Equations
à quatre Inconnues



| Tp(°C) | b | 0,03 | | | 0,5 | | | 0,7 | | |
|--------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | ϵ ω | 0,05 | 0,4 | 0,9 | 0,05 | 0,4 | 0,9 | 0,05 | 0,4 | 0,9 |
| 60 | 0,1 | 0,157 | 1,274 | 2,912 | 0,164 | 1,328 | 3,038 | 0,171 | 1,383 | 3,166 |
| | 0,3 | 0,144 | 1,166 | 2,661 | 0,164 | 1,328 | 3,038 | 0,184 | 1,492 | 3,421 |
| | 0,5 | 0,131 | 1,058 | 2,412 | 0,164 | 1,328 | 3,038 | 0,197 | 1,602 | 3,678 |
| 100 | 0,1 | 0,209 | 1,692 | 3,877 | 0,217 | 1,764 | 4,046 | 0,226 | 1,836 | 4,216 |
| | 0,3 | 0,191 | 1,547 | 3,541 | 0,217 | 1,764 | 4,046 | 0,244 | 1,982 | 4,558 |
| | 0,5 | 0,173 | 1,404 | 3,207 | 0,217 | 1,764 | 4,046 | 0,362 | 2,129 | 4,903 |
| 140 | 0,1 | 0,274 | 2,214 | 5,118 | 0,285 | 2,322 | 5,343 | 0,297 | 2,418 | 5,569 |
| | 0,3 | 0,251 | 2,036 | 4,672 | 0,285 | 2,322 | 5,343 | 0,320 | 2,610 | 6,024 |
| | 0,5 | 0,228 | 1,847 | 4,230 | 0,285 | 2,322 | 5,343 | 0,344 | 2,804 | 6,483 |

Tableau 14 : Coefficient de pertes thermiques à travers l'aérogel de silice d'épaisseur 20mm pour différentes valeurs de la température de l'absorbeur.

Sur les graphes 6...14, la variation du flux thermique émis en fonction de la température de l'absorbeur est étudiée pour des émissivités différentes de l'aérogel de silice, pour différentes valeurs de l'albédo et pour différents facteurs de rétrodiffusion.

Nous remarquons que le flux est très faible variant de 7 à 16 W/m² environ pour des températures allant de 30 à 140°C et pour une émissivité très faible (graphes 6,7,8).

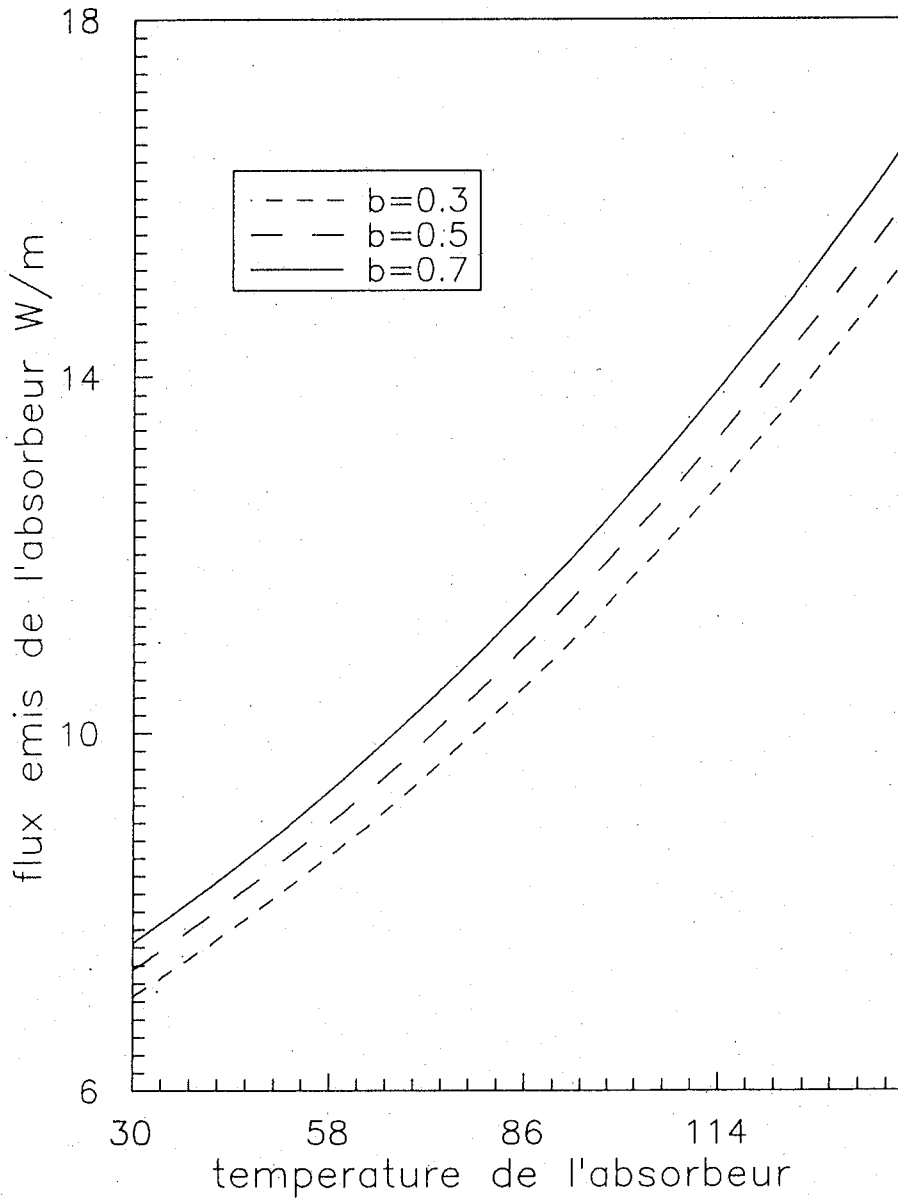
L'influence de b devient de plus en plus importante quand l'albédo augmente pour une émissivité de 0,4 (graphes 9,10,11), le flux devient important et atteint 160 W/m² pour une température uniforme de l'absorbeur $T_p = 140^\circ\text{C}$.

Dans les graphes 12,13,14, le flux émis est très important excédant les 300W/m² pour une température de l'absorbeur supérieure à 100°C d'où les pertes par radiation sont alors très grandes et alors le matériau n'isole plus la face avant du capteur.

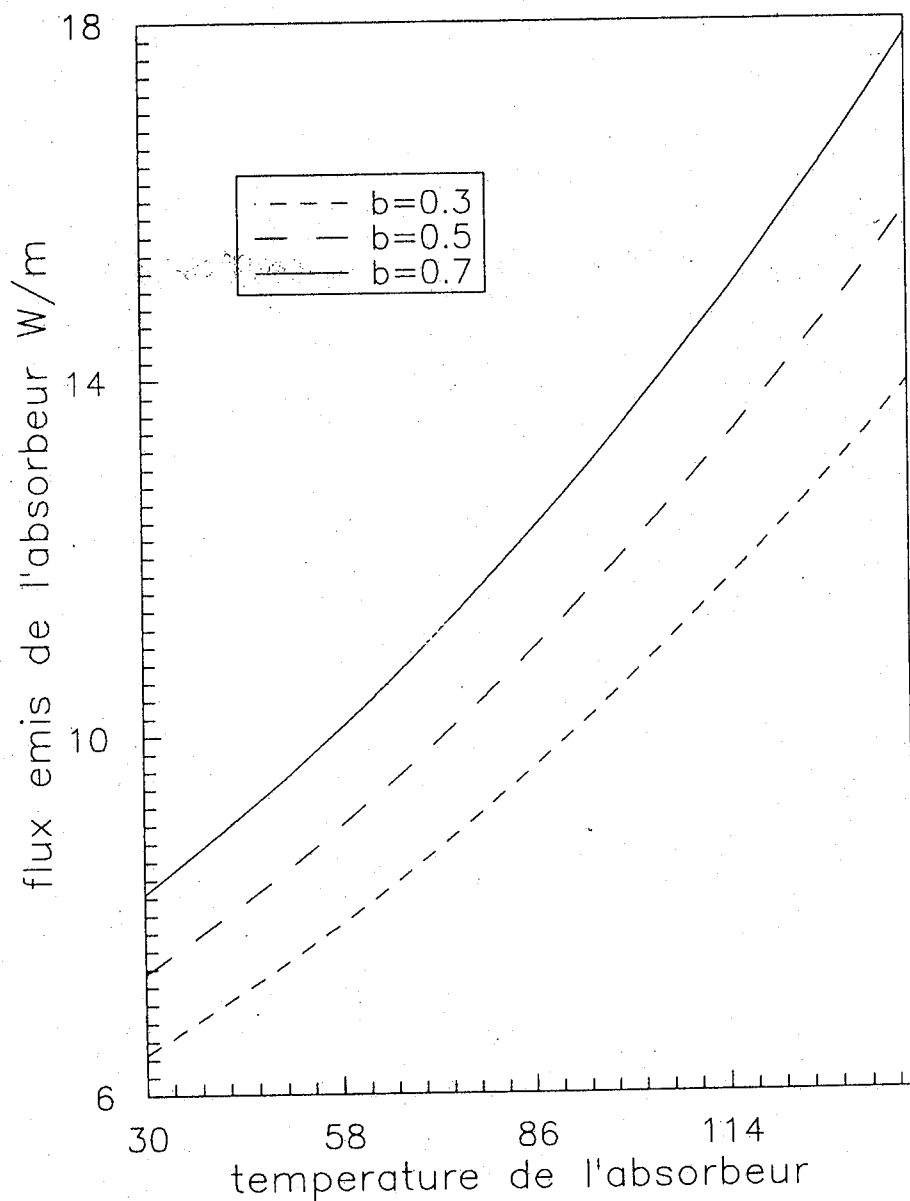
Nous avons évalué le rendement du capteur à aérogel de silice et avons considéré les matériaux à différentes émissivités.

Les graphes 15, 16 et 17 nous informe que le rendement est maximum pour une émissivité très faible du matériau. Le graphe 15 quant à lui, nous fait remarquer que les courbes représentatives pour différents albédos se superposent d'où nous pouvons dire que si l'émissivité est très faible, le facteur de rétrodiffusion ainsi que l'albédo n'ont pas une grande influence sur la caractéristique $\eta=f(T_p)$ ceci n'est pas le cas si l'émissivité devient importante et les deux facteurs cités précédemment à savoir ω et b influent sur le rendement.

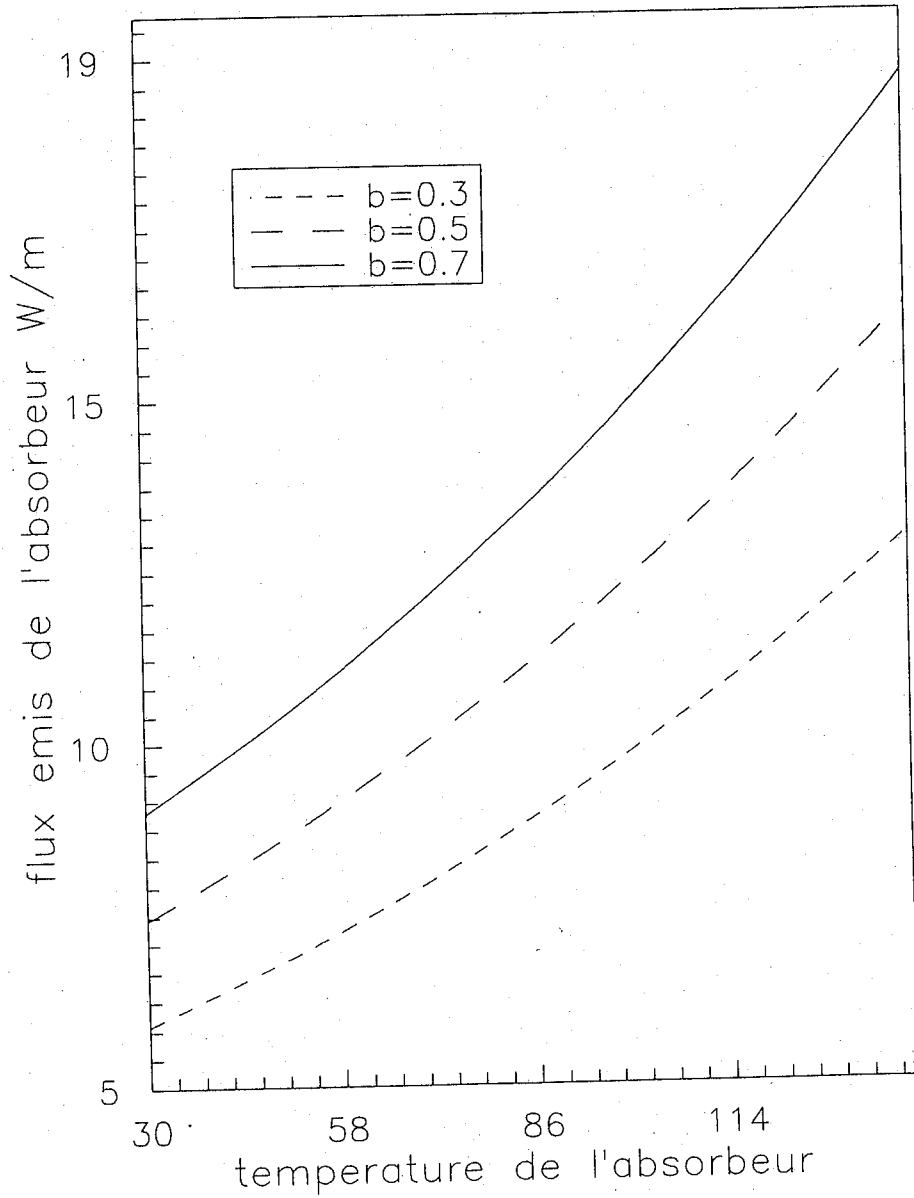
Enfin, pour conclure, nous avons comparé les rendements des capteurs à aérogel de silice, utilisés dans les mêmes conditions expérimentales, où nous avons fait intervenir la diffusion du rayonnement thermique. Nous avons remarqué que la courbe pour laquelle $b = 0,5$ et $\varepsilon = 0,4$ indépendamment de la valeur de l'albédo est proche de la courbe expérimentale de Jensen dans le domaine des températures allant de 40°C à 70 °C.



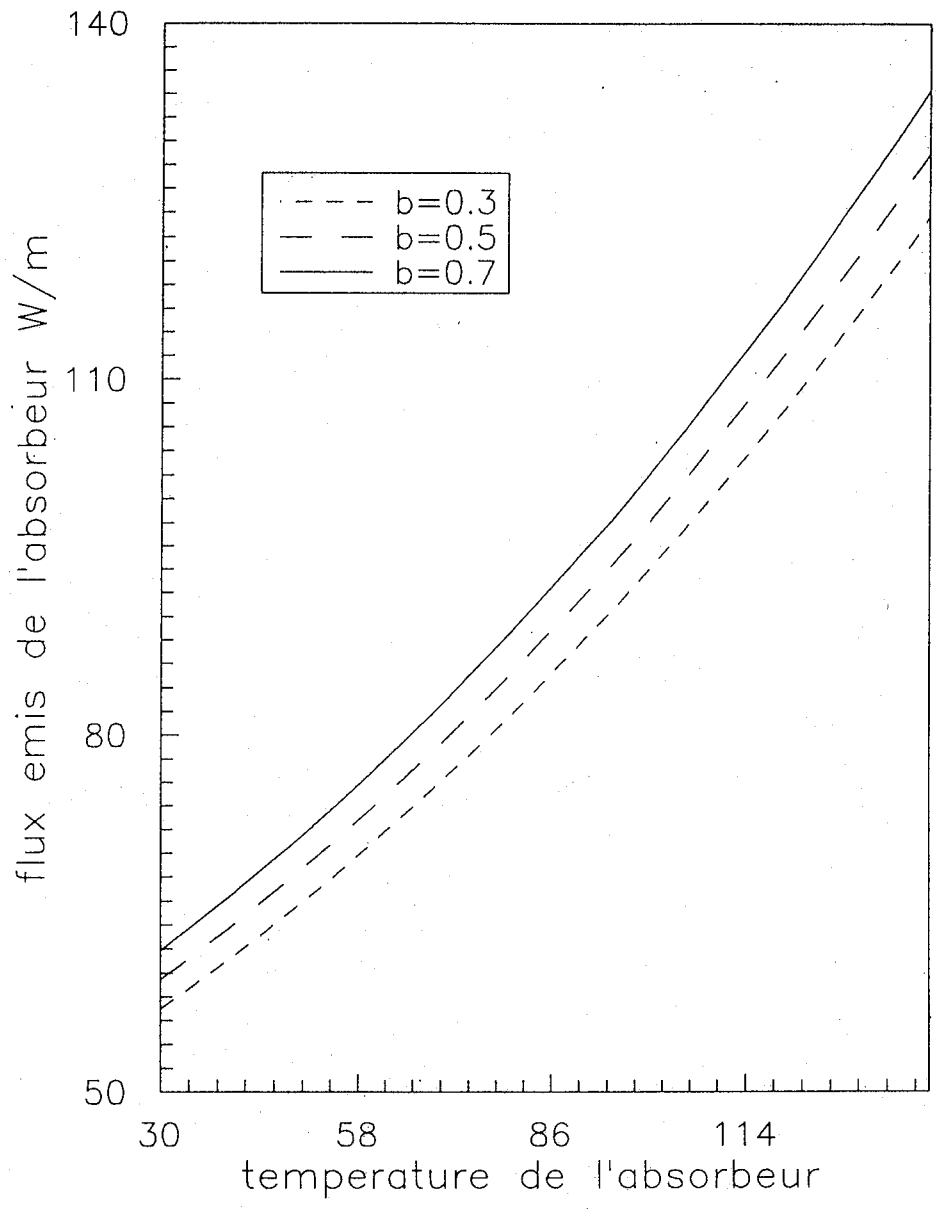
graphe 6 variation du flux thermique en fonction de la température de l'absorbeur pour différentes valeurs de b ($\epsilon=0.05$, $w=0.1$)



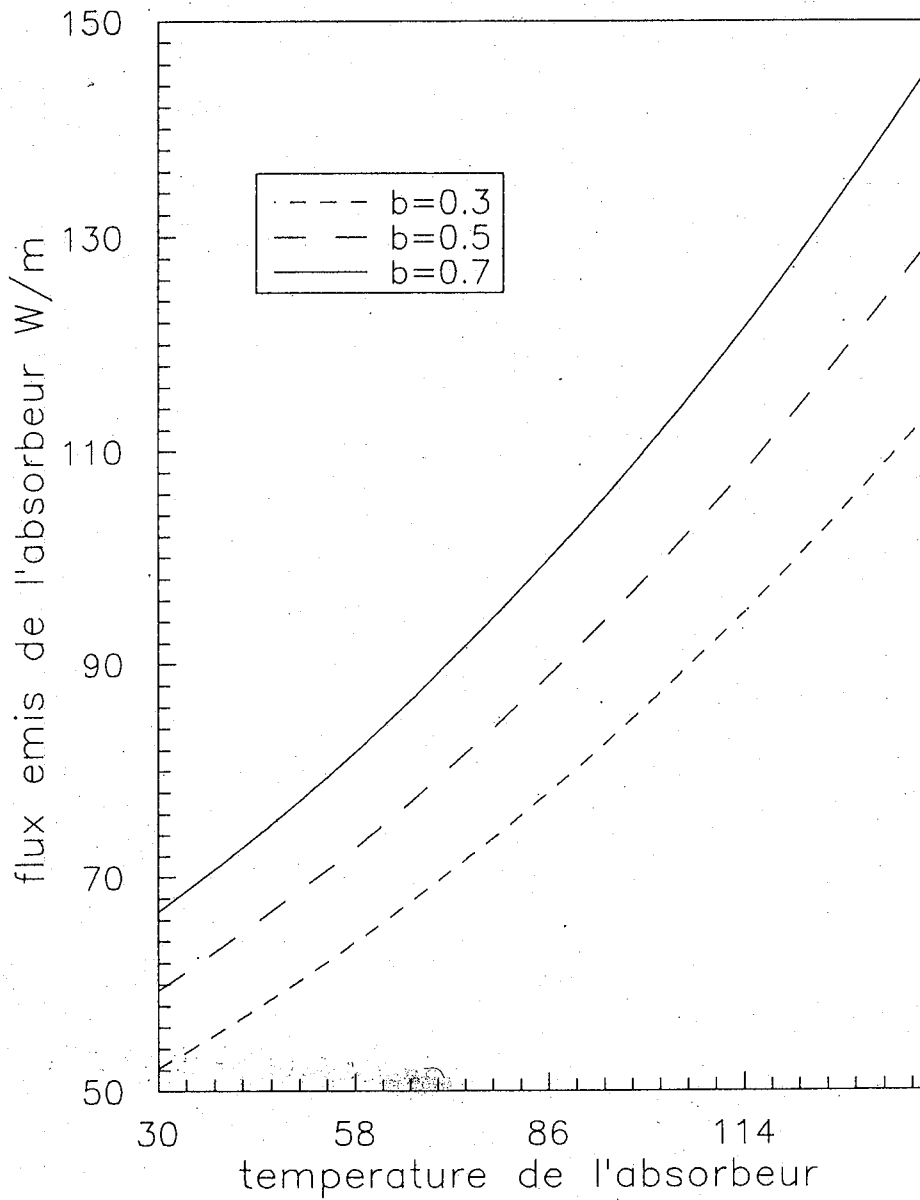
graphe 7 variation du flux thermique en fonction de la température de l'absorbeur pour différentes valeurs de b ($\varepsilon=0.05$, $w=0.3$)



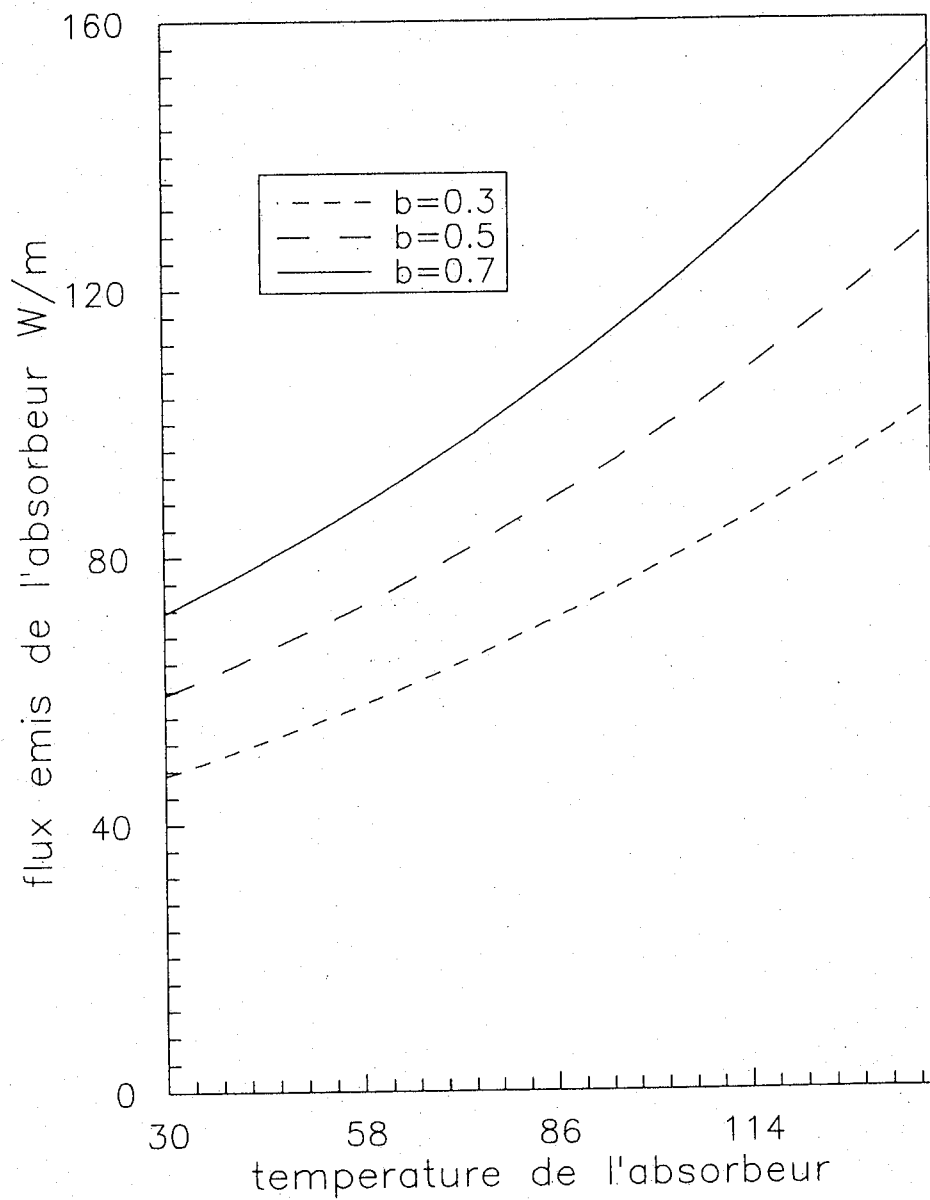
graphe 8 variation du flux thermique en fonction de la température de l'absorbeur pour différentes valeurs de b ($\varepsilon=0.05$, $w=0.5$)



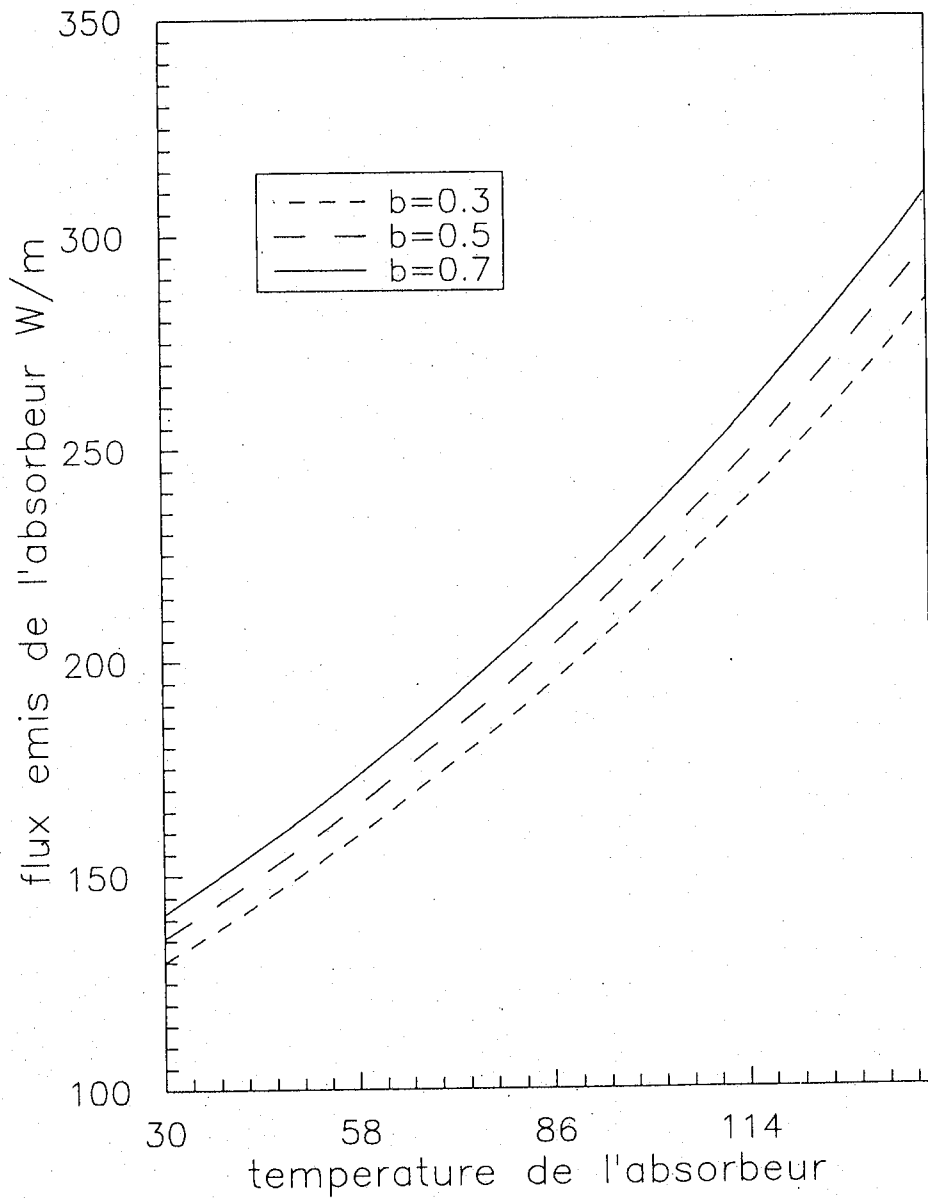
graphe 9 variation du flux thermique en fonction de la temperature de l'absorbeur pour differentes valeurs de b ($\epsilon=0.4$, $w=0.1$)



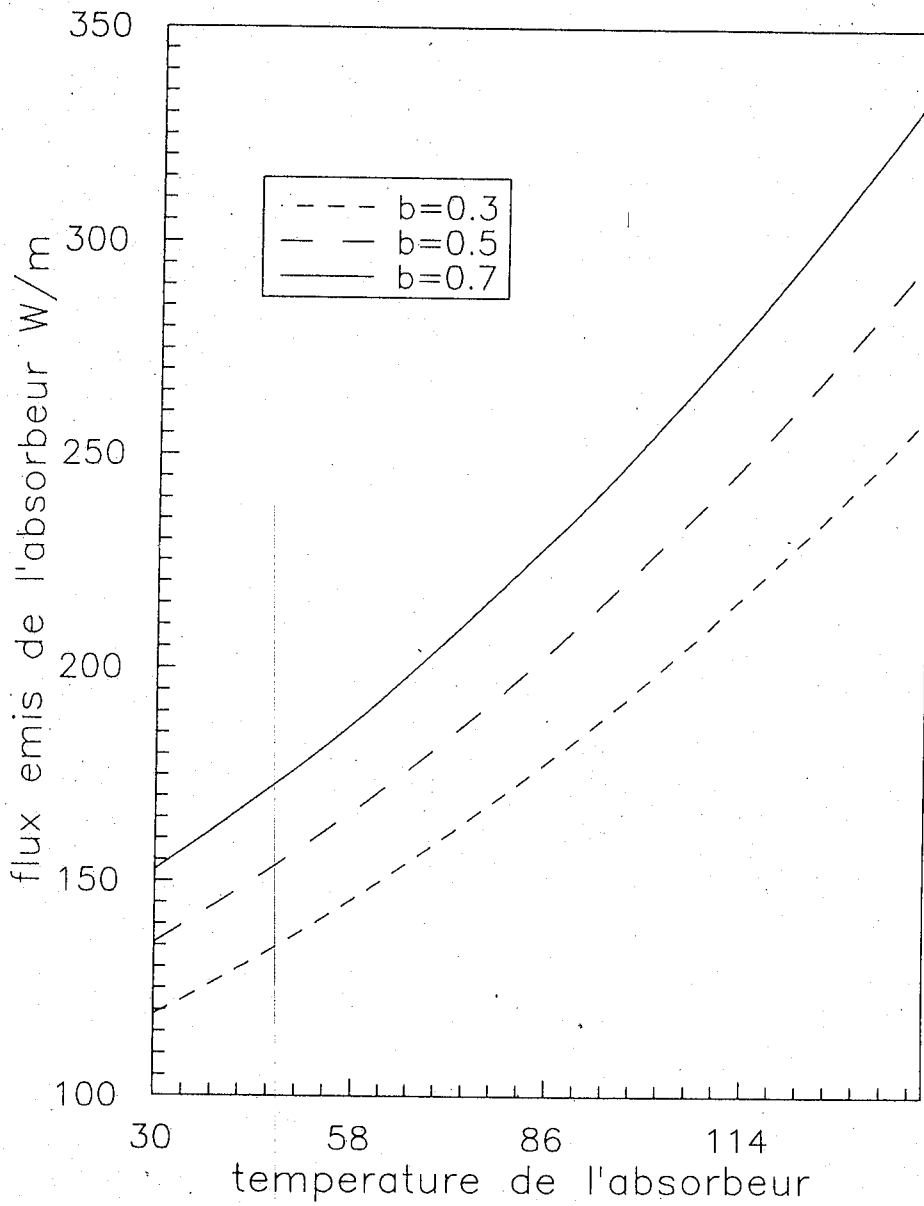
graphe 10 variation du flux thermique en fonction de la température de l'absorbeur pour différentes valeurs de b ($\epsilon=0.4$, $w=0.3$)



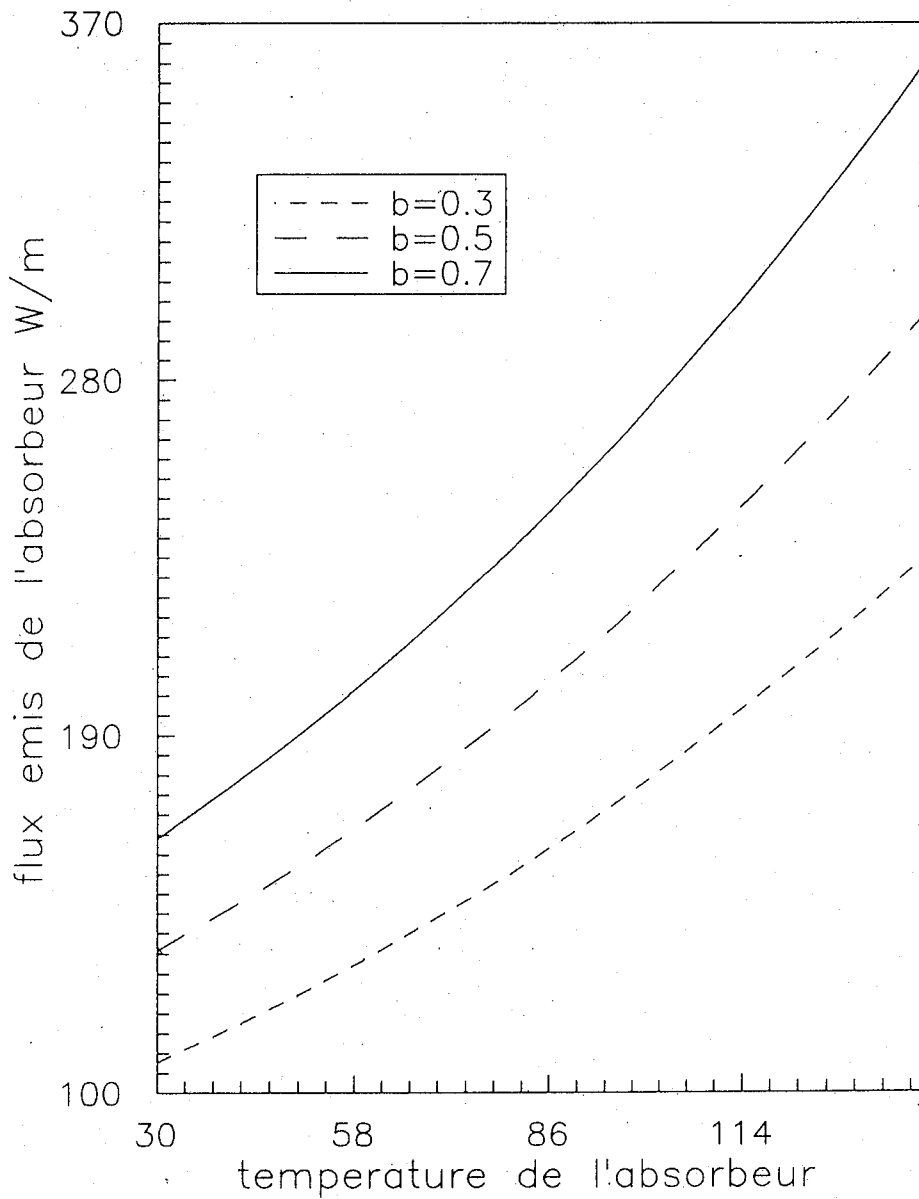
graphe 11 variation du flux thermique en fonction de la température de l'absorbeur pour différentes valeurs de b ($\epsilon=0.4$, $w=0.5$)



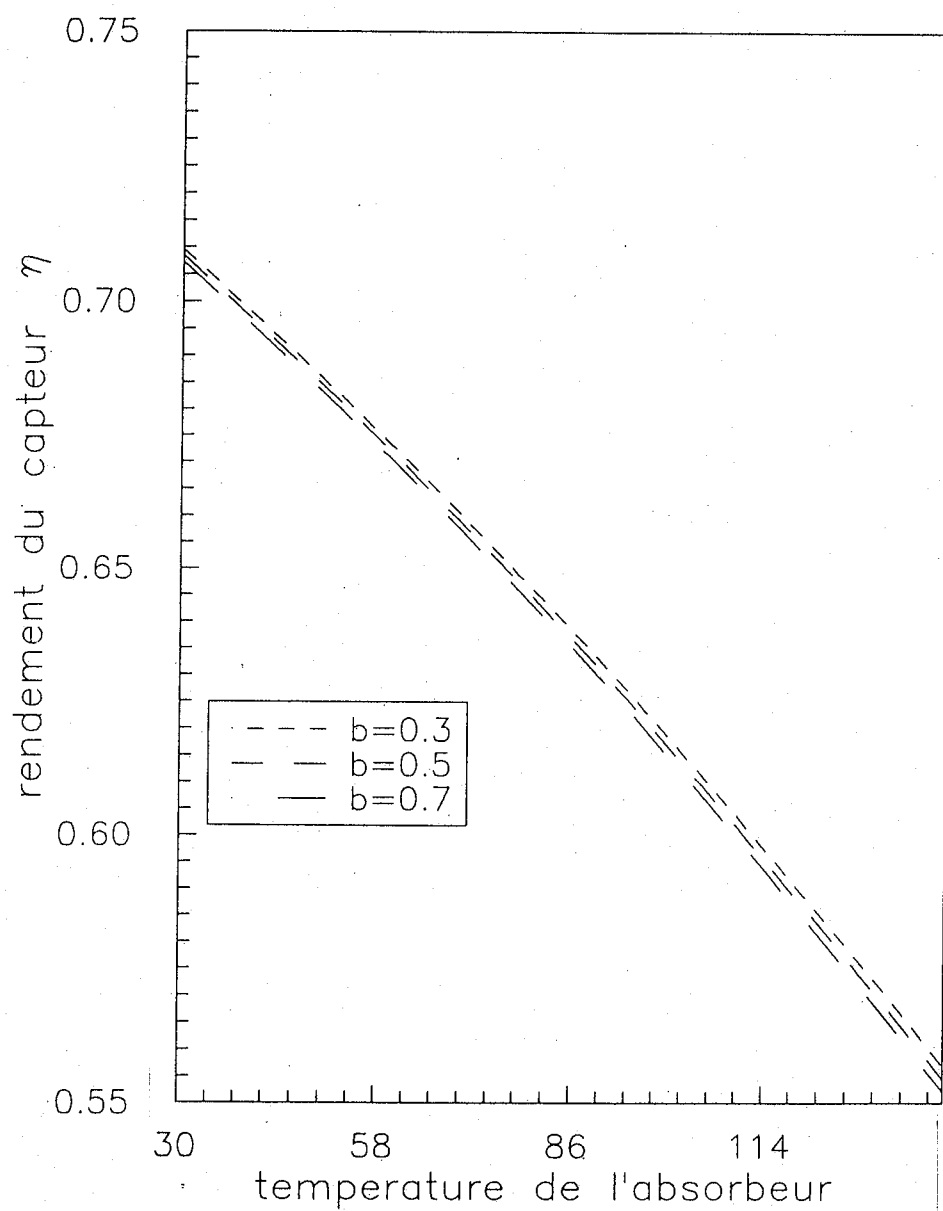
graphe 12. variation du flux thermique en fonction de la température de l'absorbeur pour différentes valeurs de b ($\epsilon=0.9$, $w=0.1$)



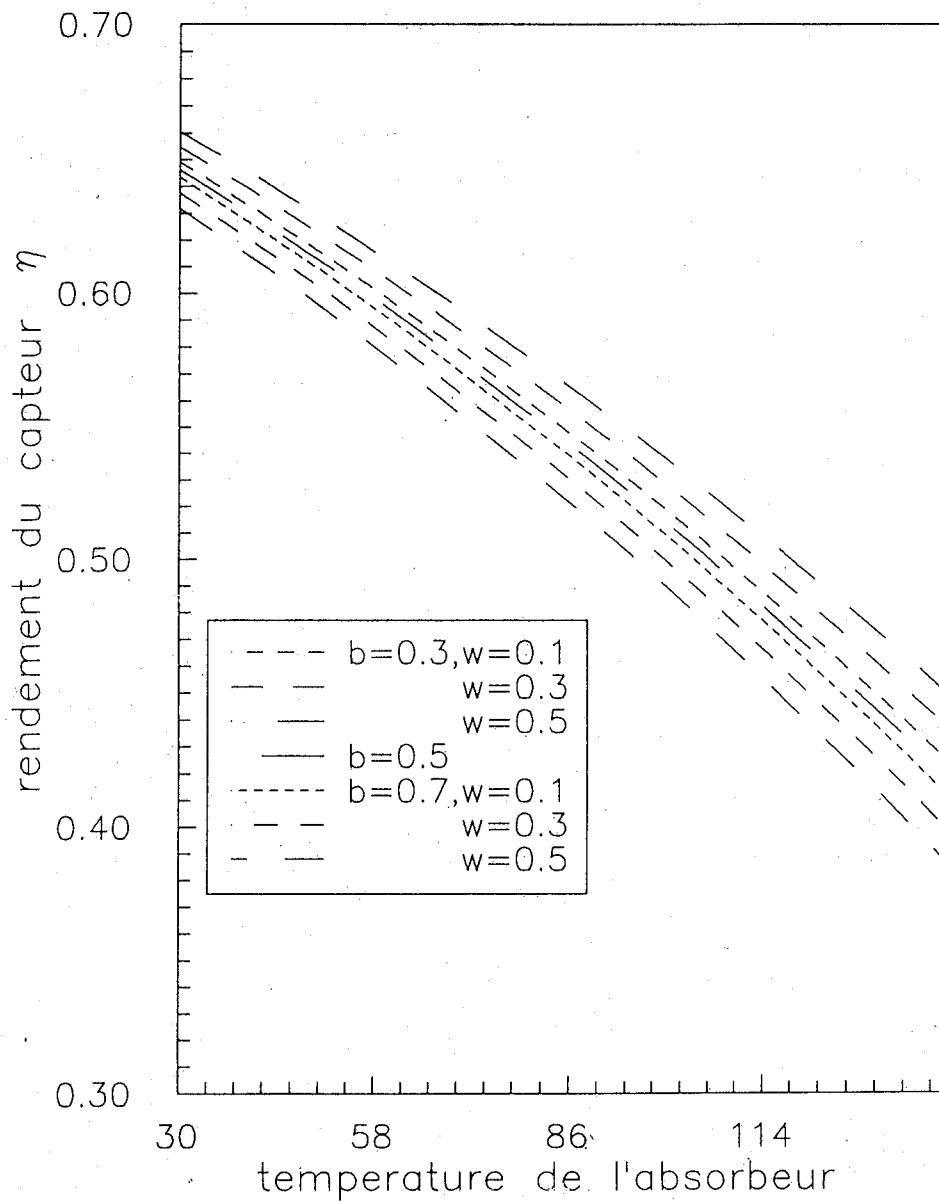
graphe 13 Variation du flux thermique en fonction de la température de l'absorbeur pour différentes valeurs de b ($\epsilon=0.9$, $w=0.3$)



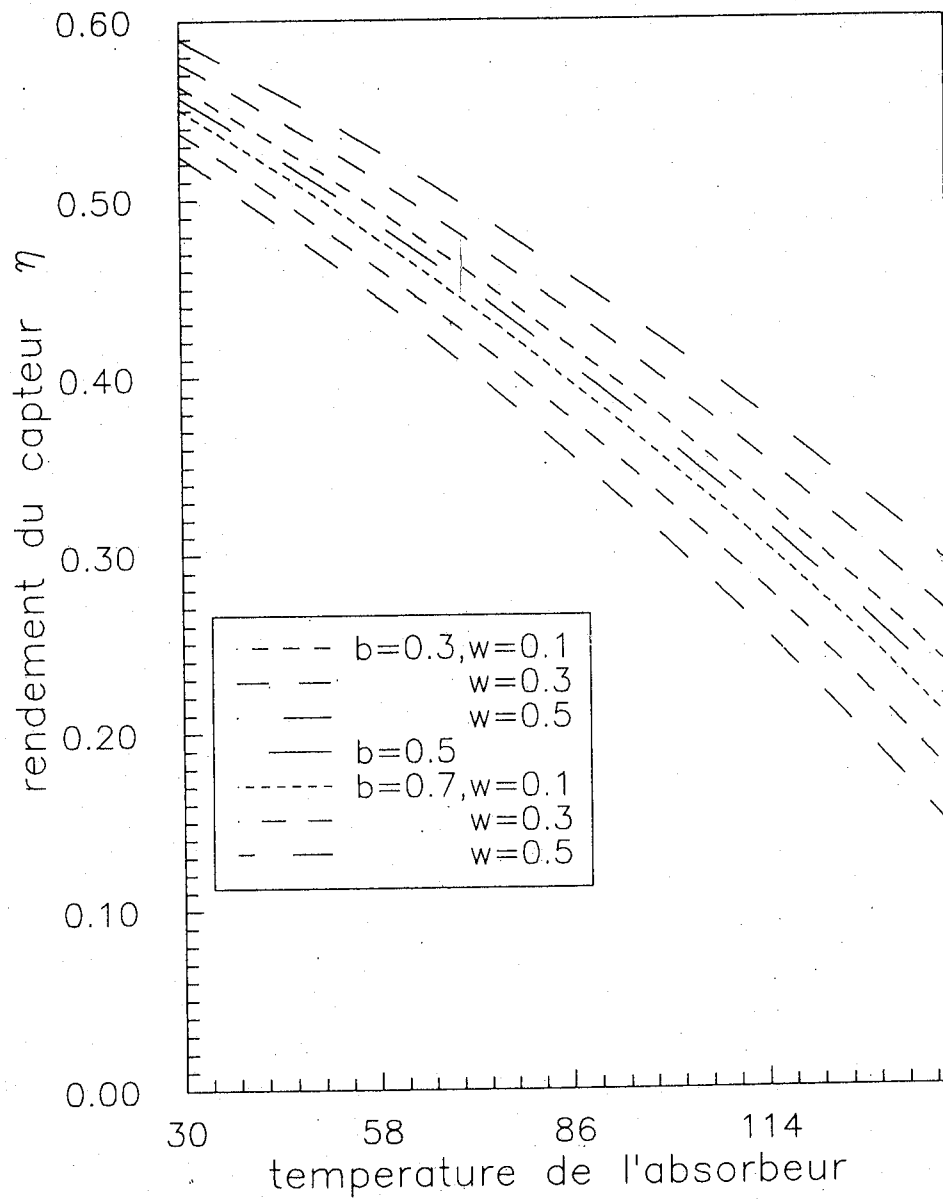
graphe 14 variation du flux thermique en fonction de la température de l'absorbeur pour différentes valeurs de b ($\epsilon=0.9$, $w=0.5$)



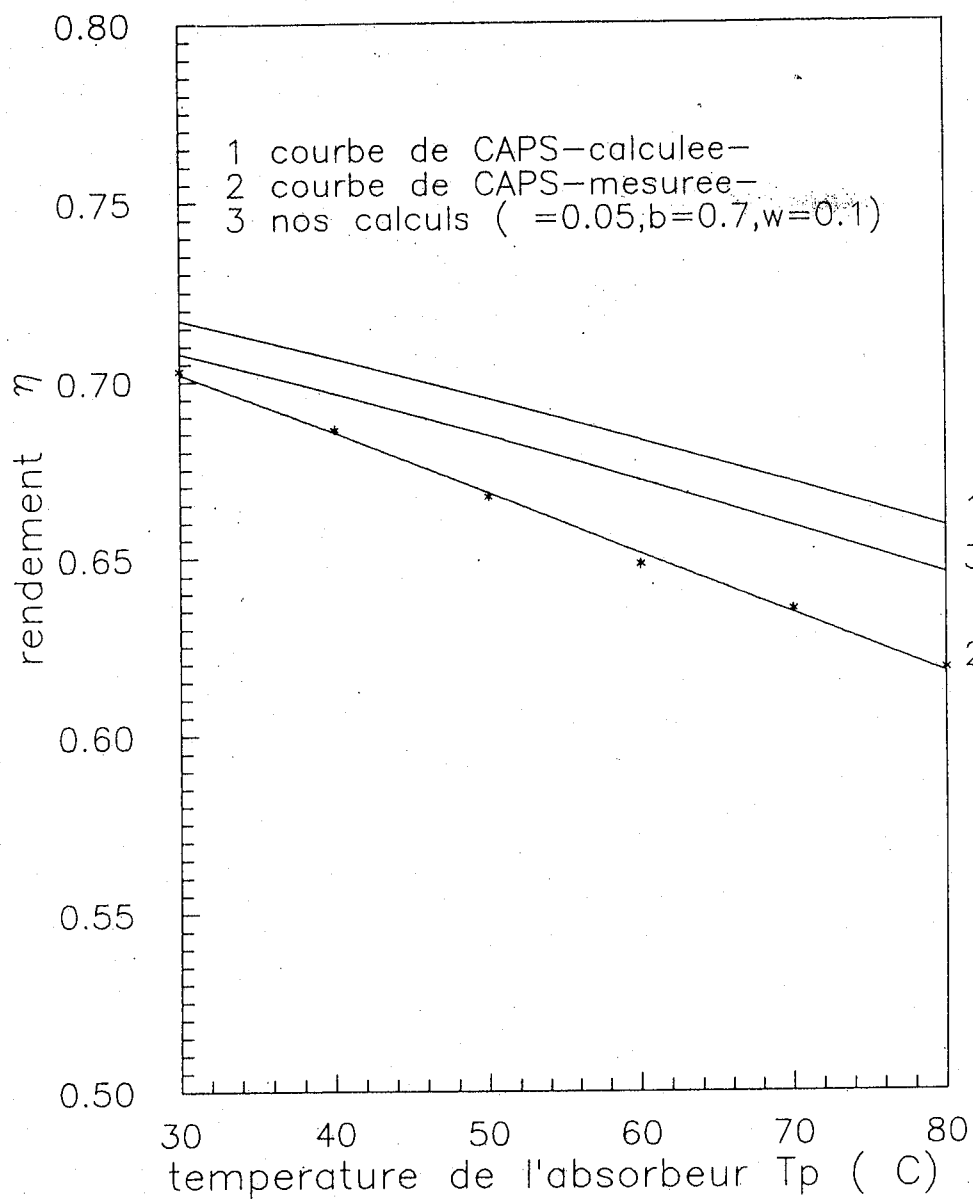
graphe 15 variation du rendement du capteur en fonction de la température de l'absorbeur pour une emissivite $\varepsilon = 0.05$, $w=0.3$



graphe 16 variation du rendement du capteur en fonction de la température de l'absorbeur pour une emissivite $\varepsilon = 0.4$



graphe 17 variation du rendement du capteur en fonction de la température de l'absorbeur pour une emissivité $\varepsilon = 0.9$



graphe 18 Rendements des capteurs
 $G=800W/m^2$, $T_a=10^\circ C$, $V=5m/s$

CONCLUSION

Dans le but de minimiser les pertes par la face avant d'un capteur plan et d'optimiser son rendement, nous avons remplacé la veine d'air immobile, entre l'absorbeur et la vitre de recouvrement, par un matériau isolant transparent : l'aérogel de silice.

A partir d'une étude bibliographique portant sur les travaux antérieurs qui concernent les capteurs plans à air, nous avons opté pour un type bien déterminé de capteur pour l'utilisation de l'aérogel de silice, ainsi que le modèle pour le calcul du rendement du capteur étudié.

Ensuite, nous avons rappelé les paramètres caractéristiques d'un capteur à aérogel de silice. Cette étude nous a permis de mettre en évidence l'insuffisance du modèle de Caps pour l'évaluation du flux radiatif à travers le milieu poreux.

Une étude comparative d'un capteur à aérogel de silice avec un capteur classique a donné des performances meilleures pour le premier cité en particulier un coefficient de pertes par rayonnement à travers l'aérogel de silice moindre. Ce dernier croit d'avantage avec la diminution du taux de porosité du matériau utilisé, ainsi donc le matériau perd de ses propriétés d'isolant.

Enfin, nous avons introduit quelques paramètres caractérisant le milieu et se basant sur le modèle à deux flux élaboré par Tong et Tien, Schuster et Schwarzschild, nous avons analysé le transfert thermique à travers l'aérogel de silice par simulation des paramètres introduits. La résolution des équations à deux flux décrivant le transfert thermique par radiation, couplées à celle de la chaleur permet d'évaluer analytiquement le flux thermique net émis de l'absorbeur vers la vitre de recouvrement à travers l'aérogel de silice, en tenant compte de l'effet d'absorption, de diffusion et d'émission de chaque tranche élémentaire du milieu. Notre analyse assistée par ordinateur a mis en évidence l'insuffisance du modèle de Caps et a rapproché nos résultats à ceux de l'expérimentation de Jensen et Svendsen, et par suite nous avons donc réduit l'écart enregistré entre la courbe théorique de Caps et celle de l'expérimentation.

A la suite des résultats de nos travaux, il s'avère nécessaire de projeter les perspectives suivantes :

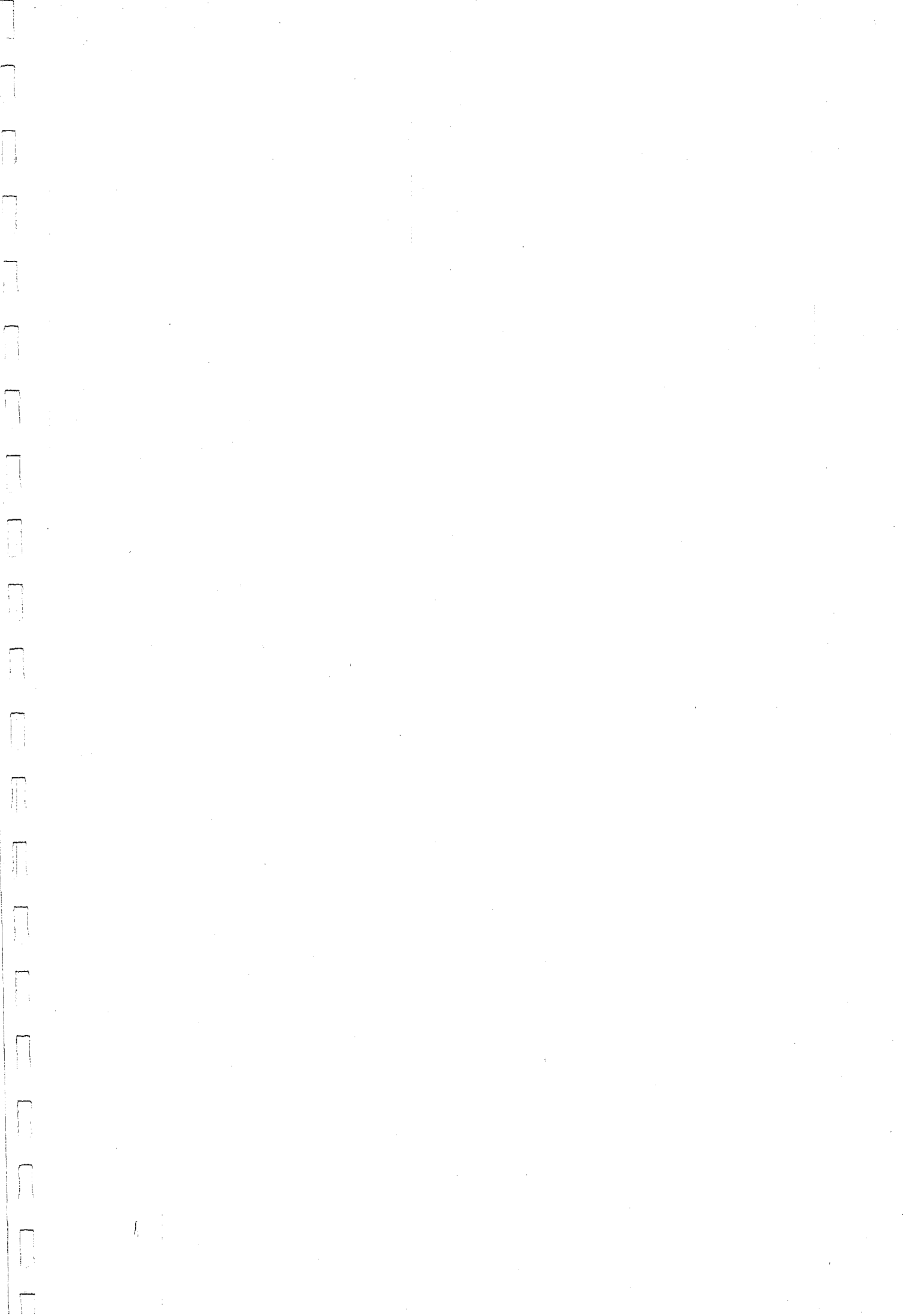
- Une étude de transmittance du flux monochromatique.
- Une étude de la distribution de la température réelle à l'intérieur du milieu poreux.
- Une étude portant sur la théorie du transport et sur celle de l'âge (et du vieillissement) et qui pourrait compléter le modèle de Caps amélioré par notre contribution.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Derivation of efficiency and loss factors for Solair Air Heater Blaine F. Parker.
Solar Energy, Vol.26, pp 27-32, 1981.
- [2] A review of materials for solar heating systems for domestic hot water.
V.R Lenel and P.R. Mudd.
Solar Energy, Vol.32, N°01, pp 109-120, 1984.
- [3] Etudes et optimisation des échanges thermiques et des performances des capteurs solaires plans à deux veines d'air.
Prosper Gbaha.
Thèse d'état, 02, 1988.
- [4] Le capteur plan du physicien
B. Devin, 1977
- [5] The multiple layer solar collector.
J.P. Kenna.
Solar energy, Vol.30, n°03, pp 225-235, 1983
- [6] Heat with drawal from multilayer thermal trap collectors
TDMA Samuels.
Solar energy, Vol 30, N°03, pp 261-270, 1983.
- [7] Le rayonnement solaire : Conversion thermique et application.
R. Bernard, G. Menguy et M. Schwartz.
Technique et Documentation, 2^{ème} édition 1980.
- [8] The thermal trap solar collector.
J.P Kenna.
Solar energy, Vol.31, n°03, pp 335-338, 1983
- [9] Optimum performance of thermal trap collectors.
TDMA. Samuels et N.E. Wijey Sundera.
Solar Energy, Vol 26, pp 65-76, 1981.
- [10] Thermal analysis of a flate plate collector in multiphase flows.
Ahmed Y. El Assy et John Clark.
Solar Energy, Vol 40, N°04, pp 345-361, 1988.
- [11] Transparent Insulation Materials
G.F. Csordas.
presented at Annual Meeting in Halifax, Juin 1990.
- [12] Transparent insulation systems composed of different materials
A. Pflüger, W. Platzer et V. Wihwer.
Presented at congress of the International Solar Energy Society, hamburg,
Federal Republic of germany, 13-18 September 1987.

- [13] Analytical Model for the thermal conductance of Compound, Honeycomb transparent insulation with experimental validation
K.G.T. Holands et K. Iynkaran.
Solar Energy, vol 51, N°03, pp 223-227, 1993.
- [14] Aerogel, A. transparent, porous superinsulator.
Arlon J. Hunt.
Lawrence Berkeley Laboratory Report, California, 1991.
- [15] Aerogel, A high performance insulating material at 0,1 bar
Arlon J. HUNT., Caron. A. Jantzen et Wanqing Cao.
Insulation materials : testing and applications 2. ASTM
STP 1116. R.S. Graves and D.C. Wysochi, ASTM, Philadelphie, 455, 1991.
- [16] Silica aerogel, a transparent high performance insulator.
Arlon J. Hunt et Kevin Lofftus.
Presented at Congress of the International Solar Energy Society,
Hamburg, Federal Republic of Germany, 13-18 September 1987.
- [17] Flat plate Solar collector with monolithic silica aerogel.
S. Svendsen and K.I. Jensen.
Presented at Congress of the International Solar Energy Society,
Hamburg, Federal Republic of Germany, 13-18 September, 1987.
- [18] Transferts couplés par conduction et rayonnement avec dispersion dans les MSF
Application aux matériaux fibreux.
J.F. Sacadura. et A. El Abed.
Revue générale de thermique, N°264, décembre 1983.
- [19] Factors governing heat transfer through closed cell foam insulation.
Leon R. Glicksman et M. Torpey.
Journal of thermal insulation, vol 12, avril 1989.
- [20] In aerogels.
O. Nielsson, A. Frandsen et O. Sandberg
edited by J. Fricke, Springer Verlag/Berlin, Heidelberg. 1986.
- [21] Infrared Radiative heat transfer in highly transparent silica aerogel.
R. Caps and J. Fricke.
Solar Energy Vol 36, N°04, pp 361-364, 1986.
- [22] Solar Energy thermal process.
John A. Duffie et William. A. Beckman
Editions John Wiley and Sons, 1974.
- [23] Thermal loss coefficient of low density silica aerogel tiles.
D. Büttner, R. Caps, U. Hunemann, A. Kadur et J. Fricke
Solar Energy, Vol 40, N°01, pp 13-15, 1988.

- [34] Transferts radiatifs dans les M.S.T solides, liquides ou gazeux
Aspects macroscopiques et microscopiques.
M.Huertz-Aubert.
Revue générale de thermique, N°264, 1983.
- [35] Contribution of thermal radiation to the temperature profile of ceramic composite materials.
A.Tremante et F.Malpica.
Journal of engineering for gas turbines and power,
Vol 116, pp583-586, July 1994.
- [36] Analysis of transient heat transfer measurements on porous thermal insulations.
T.W Tong, D.L Mc Elroy et D.W Yarbrough.
Journal of thermal insulation, Vol 10, 1986.
- [37] The two flux approximations for radiative transfer in scattering media.
Kouichi Kamiuto.
J.Quant, Spectrosc. radiat. transfer, Vol 36, N°04, pp 261-265, 1987.



- [24] Applied Solar Energy : An Introduction
Aden B. Meinel et Marjoric P. Meinel
Addison Wesley publishing Company : 3^{ème} édition, Juillet 1977
- [25] The effective thermal conductivity for a point contact porous medium : au
experimental study.
D.R. Shonnard et S. Whitaker.
Int J. Heat. Mass. Transfer, Vol 32, N°03, pp 503-512, 1989.
- [26] Connaître la structure des milieux poreux
Pierre Levitz.
Physique des surfaces et interfaces, 1991
- [27] Lumière
P. Fleury, et J.P Mathieu
Editions Eyrolles, 1970
- [28] Détermination des propriétés thermooptiques des MST solides ou sous forme
d'aérosols.
P. Hervé.
Revue générale de thermique, N°264, 1983.
- [29] Transfert d'énergie par rayonnement dans les isolants poreux à température
ambiante.
Guilbert Gérard, Jeandel Gérard, Warin André et Marlot Guy.
Rapport : Laboratoire d'Infrarouge lointain, arrivé au P.I.R.S.E.M le 24-02,
1986.
- [30] Thermal performance of ultra fine powder insulations at high temperatures.
Hsin-Sem chu et Chung-Jen Tseng.
Journal of thermal insulation, vol 12, Avril 1989.
- [31] Structure data from hight scattering studies of aerogel.
Arlon J.Hunt et Paul Berdahl.
Mat.Res.Soc.Symp. Proc, Vol 32, 1984.
- [32] Light scattering studies of silica aerogel.
Arlon J.Hunt.
Procedings of the Intern Conf. of ultrastructure processing of Ceramics, glasses
and composites, gainesville.
F.L, 13-17 Fevrier, 1983.
- [33] La Thermographie infrarouge.
Gilbert Gaussorgues.
Technique et documentation, 1981.