

I. 1. Introduction

La production de l'énergie thermique à partir de l'énergie solaire est aujourd'hui une des techniques les plus prometteuses pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux.

Actuellement il y a plusieurs millions de m² des capteurs et de systèmes solaires installés dans le monde utilisant les technologies les plus récentes.

La plus grande part de recherche est consacrée au développement des capteurs solaires du point de vue performance thermique en général tenant en compte de tous les paramètres qui influent sur leurs comportements

L'étude des paramètres qui influent sur les performances thermiques des capteurs solaires plans à air a fait l'objet de plusieurs recherches. Nous exposons quelques travaux disponibles dans la littérature qui traitent le côté thermique avec des études énergétiques en générale effectuées sur les capteurs solaires plans.

I. 2. L'effet du nombre de couverture de capteur solaire plan

L'effet du nombre et des propriétés du vitrage sur les performances thermiques d'un capteur solaire a aussi été considéré. Nous citons le travail expérimental de **Youcef-Ali [1]** en 2005 sur des capteurs solaires à double et à triple vitrages auquel il leur a ajouté des plaques rectangulaires (ailettes) minces, de différentes longueurs, orientées parallèlement à l'écoulement, pour augmenter ainsi le transfert thermique et donc les performances du capteur solaire. Pour un débit de 50kg/hm² et un vitrage en polycarbonate, il a trouvé que le capteur à triple vitrage atteint un rendement de 39%, 67%, 68% et 59% avec des longueurs d'ailettes respectives de 2.5, 5.0, 10.0 et 20.0 cm alors que le capteur à double vitrage atteint les valeurs de 38%, 59%, 64% et 56%. Le capteur à double vitrage offre une performance thermique inférieure à celle du triple vitrage. Avec le capteur à triple vitrage, la quantité de rayonnement interceptée et transmise à l'absorbeur est diminuée, mais les pertes globales sont réduites.

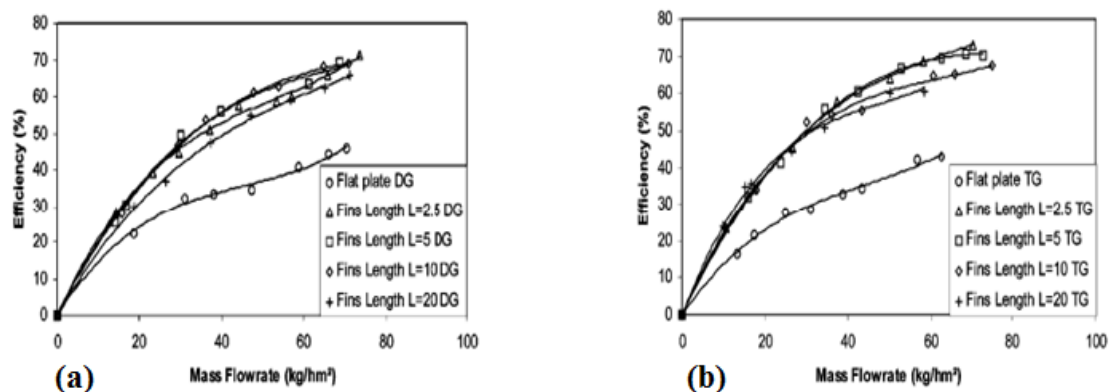


Figure (I-1): variation de l'efficacité (%) en fonction de la variation du taux de débit massique (kg/hm²) a-double vitrage, b-triple vitrage

Turhan. Koyuncu, a aussi étudié expérimentalement l'influence du nombre des couvertures, il a trouvé que ce facteur influe fortement sur l'efficacité du capteur. Le verre est tout à fait intéressant comme couverture pour les dispositifs solaires, puisque il absorbe presque tout le rayonnement infrarouge réémis par l'absorbeur ayant pour résultats une amélioration de l'efficacité thermique du capteur. Mais son utilisation possède aussi des inconvénients qui sont, son coût élevé et sa fragilité pendant le transport et le service, c'est la raison pour laquelle, pendant plusieurs années des couvertures en plastique transparentes ont été appliquées largement pour construire des capteurs solaires de coût modéré et rigides.

Pour trouver l'effet de l'espace entre deux vitres sur le rendement thermique d'un capteur solaire plan **BenGuehza et al [2]** en 2010. ont fait une étude théorique sur un capteur à double vitrage, ceci afin de minimiser les pertes thermiques par convection. Le système d'équations est résolu en utilisant la méthode des différences finies avec un schéma explicite. Le système algébrique obtenu est résolu par la méthode itérative de Gauss Seidel. Le capteur est de 1m de longueur et 1.1m de largeur, l'espace entre l'absorbeur et la première vitre est de 1.5cm et l'espace entre la première vitre et la deuxième varie entre 0.1cm et 3cm. Ils ont distingué trois zones, entre 0.1cm et 1.5cm, il y a augmentation de la puissance utile P_u , entre 1.5cm et 2 cm la puissance diminue légèrement et entre 2cm et 3cm la puissance tend vers une valeur constante. La même tendance est observée concernant la température du fluide caloporteur et le rendement.

I. 3.étude numérique du comportement thermique

Pour étudier le comportement thermique des capteurs solaires **Molero et al [3]** en 2009. ont mis au point un modèle mathématique tridimensionnel en régime instationnaire. Le modèle permet d'étudier plusieurs configurations : capteur à tubes parallèles (PTC), capteur à tube serpentin (SC), capteur à deux plaques parallèles (TPPC), utilisation d'un fluide absorbant avec plaque semi-transparente ou transparente et utilisation d'un isolant transparent en nid d'abeilles entre la plaque et la couverture. L'effet de la température sur les propriétés thermiques des matériaux a également été examiné. Le modèle permet également d'analyser des températures de l'absorbeur avec un écoulement uniforme et non uniforme. Les résultats ont été validés avec un code de calcul commercial.

Comme le plastique est une matière de protection contre les casses **D. Njomo [4]** en 1998 a procédé à une étude numérique du comportement thermique d'un capteur solaire à air avec couverture combinée plastique-vitre, le plastique utilisé ici est le plexiglas et l'absorbeur est

du type corps gris ($\alpha=0,83$). La simulation est faite en régime quasi-stationnaire. Il découle de l'analyse numérique que les performances thermiques de ce capteur sont sensiblement meilleures que celles obtenues dans le cas d'un capteur à double vitrage de même matériau.

Les matériaux copolymères ont commencé à s'introduire dans la conception des capteurs solaires. Ainsi, **C. Cristofari et al [5]** en 2002. cherchent les performances d'une installation solaire thermique dont le collecteur est entièrement fabriqué en copolymère. Ils ont fait une analyse sur l'épaisseur de l'isolation, le débit et l'épaisseur de la couche du fluide caloporteur. La simulation a été effectuée sur une année de fonctionnement avec des données

météorologiques réelles. Les auteurs ont trouvé que l'utilisation des matériaux copolymères réduit le poids du collecteur de 50% par rapport à un collecteur traditionnel.

F. Benyelles et al [6] en 2007. ont proposé de placer un isolant « aérogel de silice » au-dessus de l'absorbeur. C'est un matériau de faible conductivité thermique et de forte porosité. Les auteurs ont montré que la température du vitrage ne dépasse pas 20°C pour le capteur avec l'aérogel alors que dans les mêmes conditions elle atteint 50°C pour un capteur classique. Quant à **Vestlund et al [7]** en 2009. ils ont remplacé l'air qui se trouve entre l'absorbeur et la couverture en verre par un gaz inerte. Les résultats ont montré que la perte de chaleur globale peut être réduite jusqu'à 20% lors de la modification de l'air par un gaz inerte (Argon, krypton, Xenon). Cependant un travail est nécessaire pour connaître l'influence de l'épaisseur entre l'absorbeur et la vitre et lorsque le gaz change de température.

I. 4. Améliorer le rendement d'un capteur solaire plan

L'influence de l'orientation d'un capteur solaire joue un rôle important sur le rendement des capteurs plans puisqu'elle peut changer le rayonnement solaire atteignant le capteur solaire, **Dang et al [8]** en 1983. ont présenté une étude expérimentale sur l'effet de l'orientation-sud sur le rendement des capteurs solaires plans. L'étude a été faite pour trois latitudes $L=28.38^\circ\text{N}$ (New Delhi), $L=12.97^\circ\text{N}$ (Bangalore) et $L=13.0^\circ\text{N}$ (Madras). Il a été constaté que la meilleure performance est obtenue pour une inclinaison d'angle de la latitude de $+15^\circ$ l'hiver et -15° l'été. Par contre pour toute l'année, l'énergie solaire maximale est recueillie lorsque l'inclinaison est de 0.9 fois l'angle de la latitude. Ils ont conclu que l'augmentation de l'angle au sud diminue l'efficacité durant l'année.

Une autre façon d'améliorer le rendement et de réduire les pertes avant d'un capteur solaire consiste à insérer entre l'absorbeur et la couverture transparente des partitions. Ces partitions

ont l'avantage de bloquer le rayonnement émis par la surface réceptrice et réduire les pertes par convection. Ce procédé a été proposé **Francia [9]** en 1961. Un travail expérimental a été fait par **Metwally et al[10]** en 1997. pour déterminer le rendement d'un capteur solaire menu de lamelles rectangulaires transparentes placées dans la lame d'air, les auteurs montrent que l'utilisation de lamelles transparentes améliore considérablement les performances du capteur solaire. Dans un travail de simulation **Hollands et al[11]** en 1985. ont placé des partitions en forme de nid d'abeilles dans la lame d'air. Ils ont déduit que, laisser un vide entre le nid d'abeilles et le revêtement sélectif de l'absorbeur peut minimiser le couplage entre la conduction et le rayonnement. Leurs résultats montrent également que cette technique pourrait diminuer considérablement le transfert de chaleur.

I. 5. convection naturelle dans une enceinte inclinée

Jami et al. ont étudié numériquement le transfert de chaleur par convection naturelle dans une enceinte inclinée contenant des partitions d'épaisseur très fine et faisant un angle avec la paroi chaude. Dans leur analyse numérique les auteurs ont fait varier la longueur de la partition, le rapport de forme, le nombre de partitions, l'inclinaison des partitions et l'inclinaison de l'enceinte, et ils ont trouvé que la réduction du transfert thermique augmente avec la longueur de la partition quand cette dernière est inclinée et ceci quelle que soit l'orientation de l'enceinte. Ainsi, ils ont conclu que pour $Ra = 5.105$ et pour toute valeur de l'inclinaison des partitions, le transfert thermique dans le cas de l'enceinte verticale est élevé par rapport à celui du cas de l'enceinte inclinée de 45° .

La forme de l'absorbeur a également été explorée pour voir son effet sur les pertes avant du capteur. Ainsi, **H.Abdi et al [12]** en 2000. ont étudié expérimentalement et théoriquement deux formes de la plaque absorbante, l'une concave et l'autre convexe. Les résultats montrent que la forme convexe donne un meilleur rendement.

Il ressort de cette description, que les pertes thermiques avant restent une préoccupation permanente. Dans les dernières décennies, l'étude de la convection naturelle dans ce type de problème a suscité un très grand nombre de travaux, notamment sous l'aspect numérique, grâce au développement des moyens informatiques. Ainsi, dans ce qui suit, nous allons décrire les différents travaux relatifs aux écoulements et transferts dans les cavités fermées.

Parmi les paramètres susceptibles de modifier l'écoulement de convection naturelle en cavité : le nombre de Rayleigh, l'inclinaison de la cavité par rapport à l'horizontale, le rapport d'aspect, le nombre de Prandtl, la présence de partitions, ...

Inaba [13] en 1984 a pu visualiser l'écoulement dans des plans longitudinaux et transversaux en faisant une étude sur la convection naturelle dans une cavité, rectangulaire, inclinée pour différents angles d'inclinaison allant de 0° à 180° par rapport à la verticale et ceci pour des rapports d'aspect de 5 à 81 et des nombres de Rayleigh de $1,2 \cdot 10^3$ et $2 \cdot 10^6$. Il a également établi des corrélations pour le transfert de chaleur. Une étude expérimentale et numérique a été faite par **Hamady et al [14]** en 1986. pour étudier l'effet de l'inclinaison sur les caractéristiques locales du transfert thermique en convection naturelle stationnaire dans une enceinte remplie d'air, différentiellement chauffée, avec un rapport de forme de section droite. Des mesures des nombres de Nusselt locaux et globaux sont réalisées pour différents angles d'inclinaison. Les configurations d'écoulement, les fonctions de courant et les isothermes pour différents angles d'inclinaison sont fournies.

Crunkleton et al [15] en 2006. ont utilisé l'Étain ($Pr = 0.008$) pour étudier numériquement la convection naturelle dans une cavité cubique inclinée de 0° , 5° , 10° et 30° , chauffée par le bas. Ils ont trouvé que la vitesse augmente significativement avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison et avec l'augmentation de Ra

I. 6. effet de la plaque absorbante

F. Mokhtari et al [16] 2001, Ont fait une étude expérimentale sur les capteurs solaires à air, leur objectif est d'évaluer l'effet de la plaque absorbante sur la température de sortie du fluide Caloporteur. C'est-à-dire le coefficient d'échange par convection, pour cela ils ont étudié trois Configurations de capteurs solaires à air. La première configuration (a) est la plus simple, elle a un passage d'air sous l'absorbeur qui est en tôle peinte en noir ($\alpha=0.95$), la couverture est un vitrage de (0.03 m).

La deuxième configuration (b) constituée comme la première, seulement la plaque absorbante est placée sur la diagonale du capteur entre la couverture et l'isolant, l'entrée de l'air se trouve au-dessus de l'absorbeur tandis que la sortie est située sous l'absorbeur. Elle est munie d'un orifice de section rectangulaire de (150 x 600 mm).pour permettre l'évacuation de l'air chaud. La troisième configuration (c) est constituée des mêmes éléments que la première

configuration, seulement le passage d'air se trouve au-dessus de la plaque absorbante (entre le vitrage et la plaque absorbante). Les trois capteurs sont de dimensions (1.92×0.94m), l'entrée de chaque capteur est munie d'un ventilateur qui débite une vitesse de l'air de l'ordre de 2,6 m/s en convection forcée. Figure (I.2)

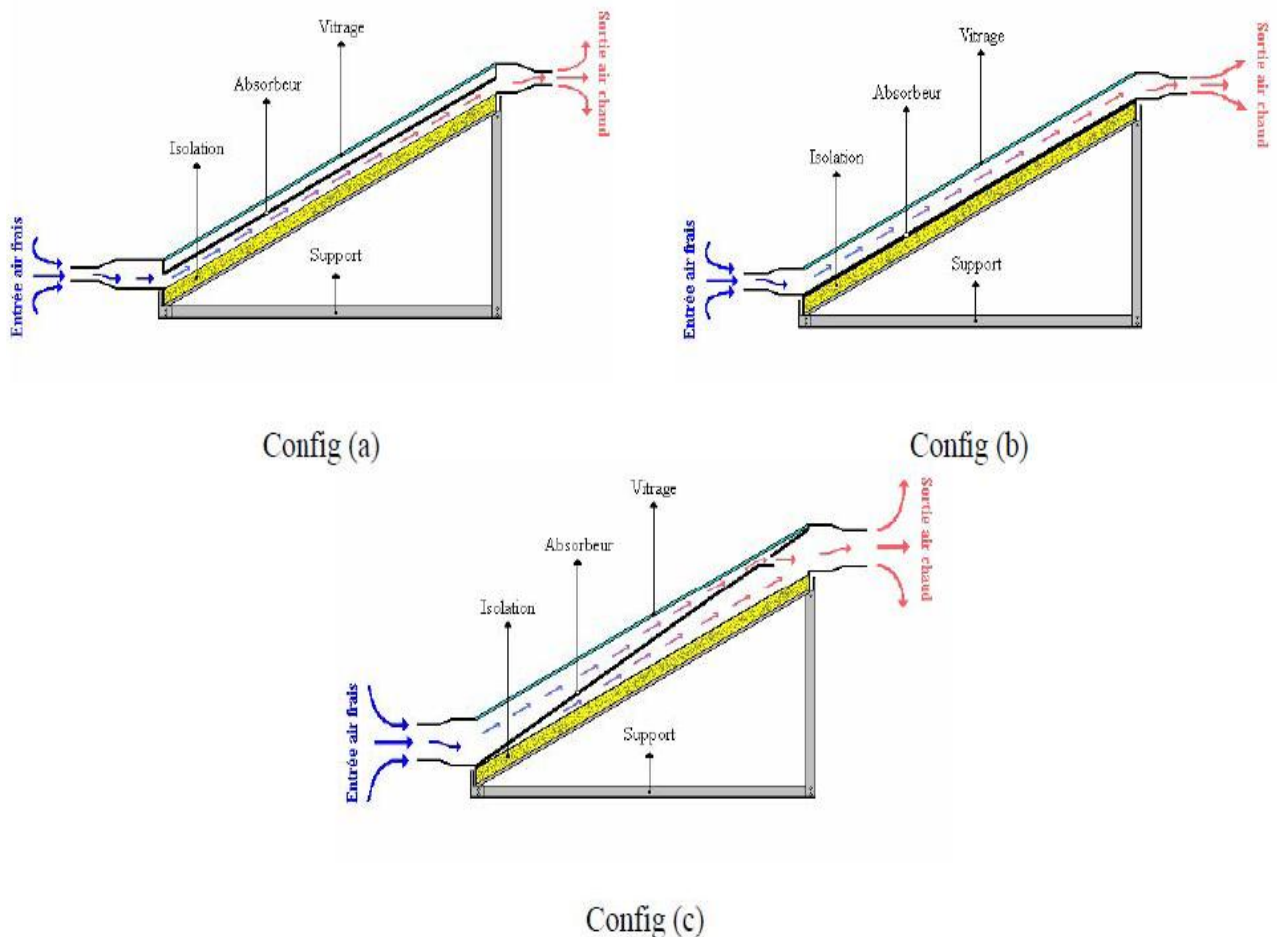


Figure (I.2) : Représentation des trois configurations de capteurs

Les paramètres mesurés sont les différentes températures de l'absorbent et les températures de sortie du fluide caloporteur des trois capteurs en deux modes de circulation naturelle et forcée, ils ont remarqué que la température de la plaque absorbante du capteur incliné (b) est la plus basse en haut du capteur c'est à dire à proximité de la sortie, cela veut dire que le capteur incliné cède de la chaleur plus que les deux autres configurations, vue l'ouverture qui se trouve en haut du capteur. Figure (I-3), pour la deuxième circulation (convection forcée), ils

trouvaient que le capteur (b) donne la température de sortie du fluide la plus élevée des trois capteurs.

Ils concluaient que le transfert de chaleur entre l'absorbeur et l'air est important quand il y a contact direct (plaque- air) et double circulation d'air.

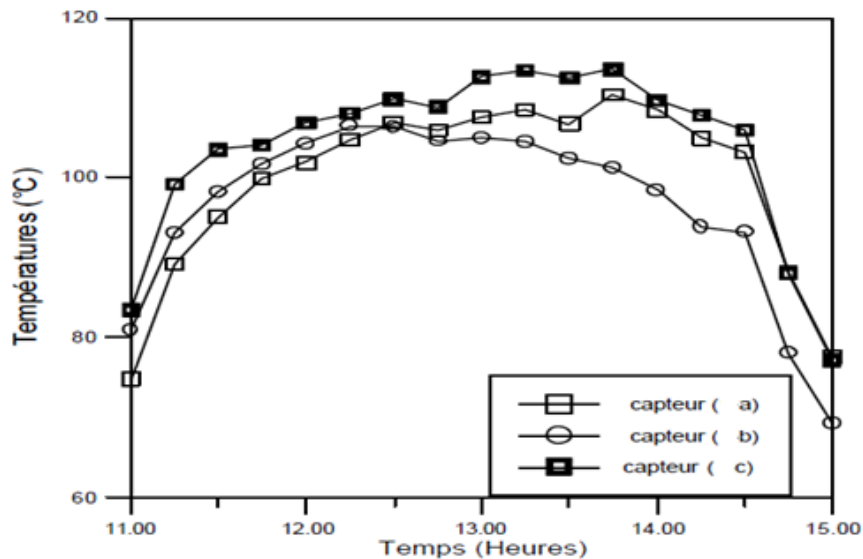


Figure (I-3) : Représentation des différentes températures de la plaque en convection naturelle

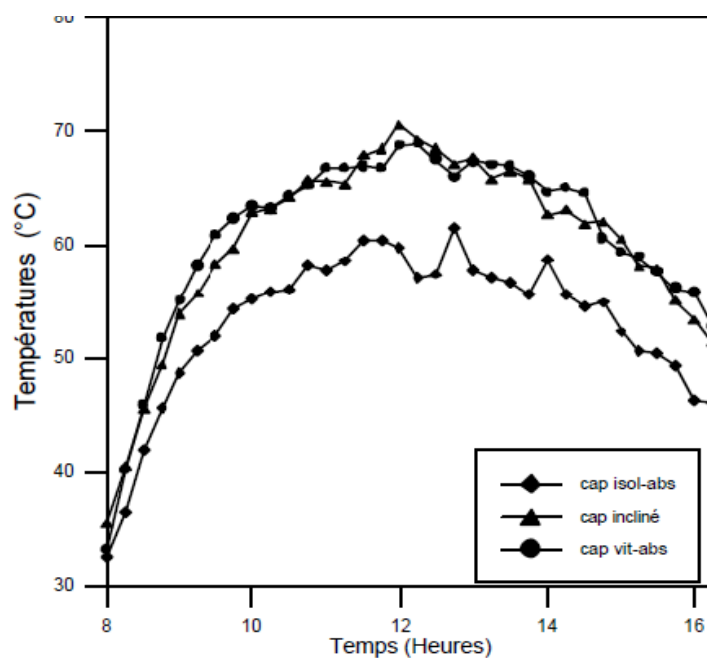


Figure (I.4) : Représentation des températures de sortie du fluide en convection forcée.

I. 7. capteur doté de chicanes

Dans le but d'améliorer les performances des capteurs solaires à air, **K. Aoues**

et **Al [17]** en 2009 ont introduit dans la veine d'air mobile des chicanes qui jouent un rôle à double aspect, favorisant le transfert thermique au fluide caloporteur :

- Elles permettent de rendre turbulent l'écoulement à proximité de la plaque chaude.
- Elles prolongent le parcours du fluide caloporteur.

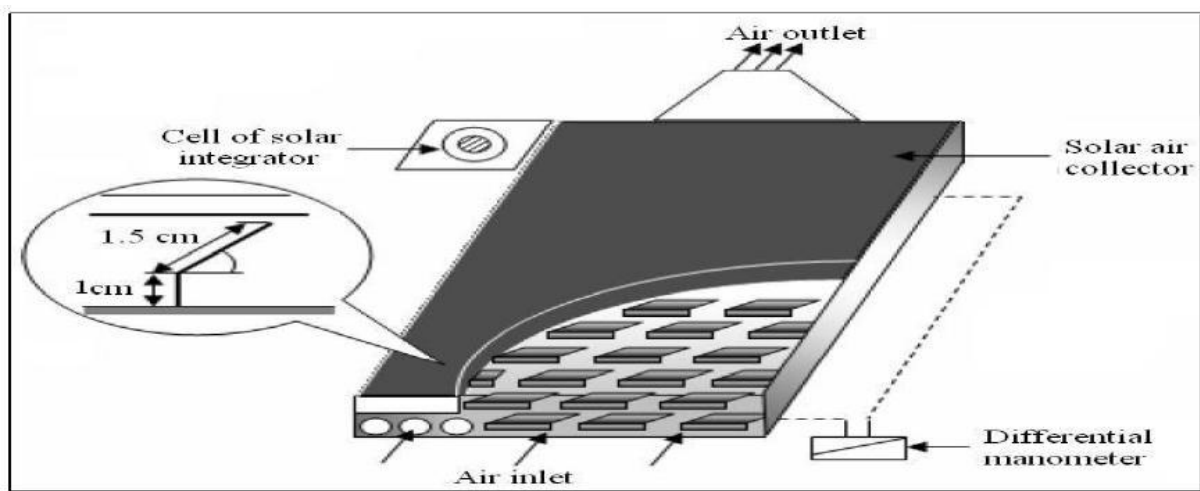


Figure I.5 : Dispositif expérimental

La veine d'air dynamique du capteur est de 25mm de hauteur, comprise entre la plaque absorbante et une plaque en acier galvanisé placée sur l'isolant, cette veine est équipée de rangées d'obstacles métalliques minces soudées perpendiculairement à l'écoulement de l'air sur la plaque inférieure. Ces obstacles présentent une différence dans la forme résidant dans la partie inclinée d'angle α respectivement égale à 60° et 120° . Ces chicanes sont espacées d'une distance respectivement à $d=10$ cm et $d=5$ cm suivant deux configuration A et B qui se différencient par le nombre de rangés respectivement égale à 152 et 256 chicanes (figure I-6).

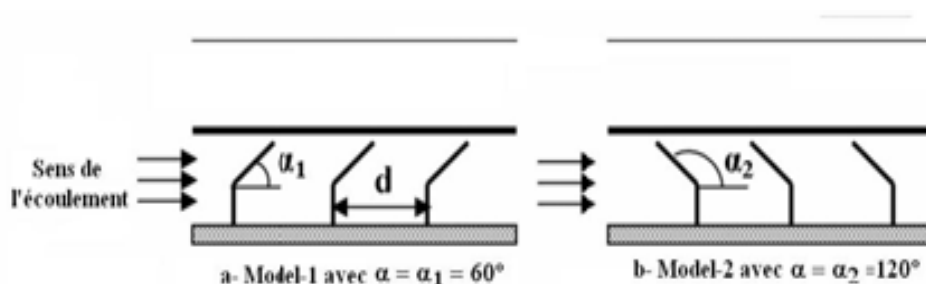


Figure I.6 : Schéma descriptif des chicanes

Après une série de tests expérimentaux, les auteurs ont conclu que la géométrie de passage dans la section droite perpendiculaire à l'écoulement joue un rôle important et ont trouvé que les chicane modèle 1 ($\alpha=60^\circ$) placées dans les configurations A1, B1 donnent les meilleurs résultats par rapport à ceux des configurations A2, B2 qui sont des chicanes modèles 2 ($\alpha=120^\circ$). Cela s'explique par le fait que les chicanes du modèle 1 permettent l'orientation du fluide caloporteur en écoulement vers la plaque absorbante, d'où l'augmentation des échanges convectifs. Par contre, les chicanes du modèle 2 orientent le fluide caloporteur vers la plaque inférieure.

K. Aoues et Al [18] en 2008 ont mené un travail théorique en vue d'améliorer le coefficient de transfert convectif entre l'air et l'absorbeur, en plaçant des chicanes cylindriques perpendiculairement à l'écoulement dans la veine d'air dynamique entre l'absorbeur et l'isolant (figure II-7).

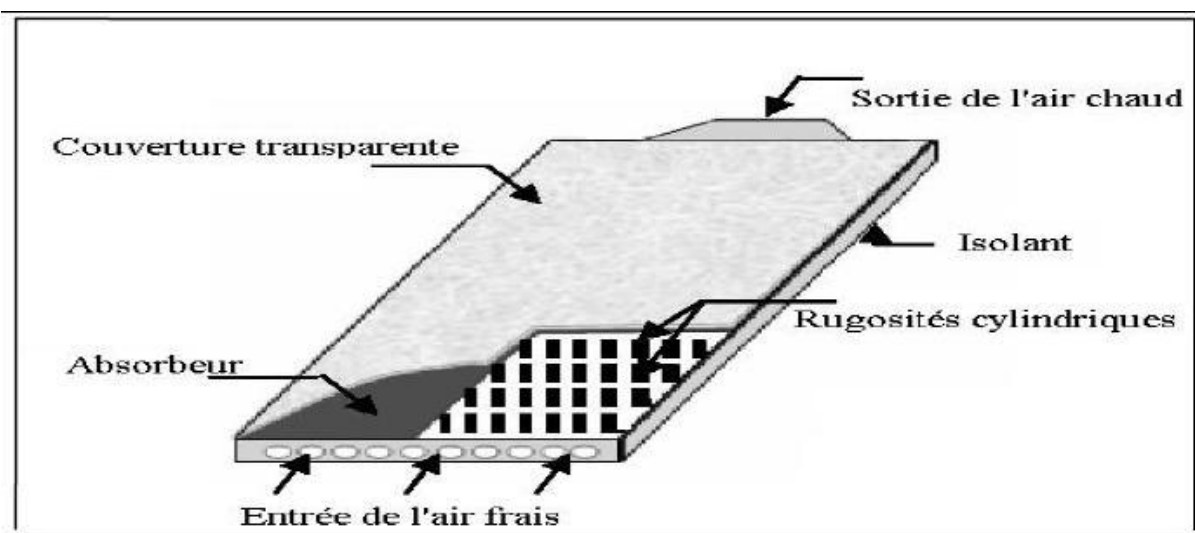


Figure I.7 : Capteur plan à air muni de rugosités cylindriques

Les auteurs ont étudié les trois cas suivants (figure I.8):

- Le capteur plan à air dépourvu de chicanes.
- Le capteur plan à air muni de chicanes cylindriques arrangées en rangés alignés.
- Le capteur plan à air muni de chicanes cylindriques arrangées en quinconces.

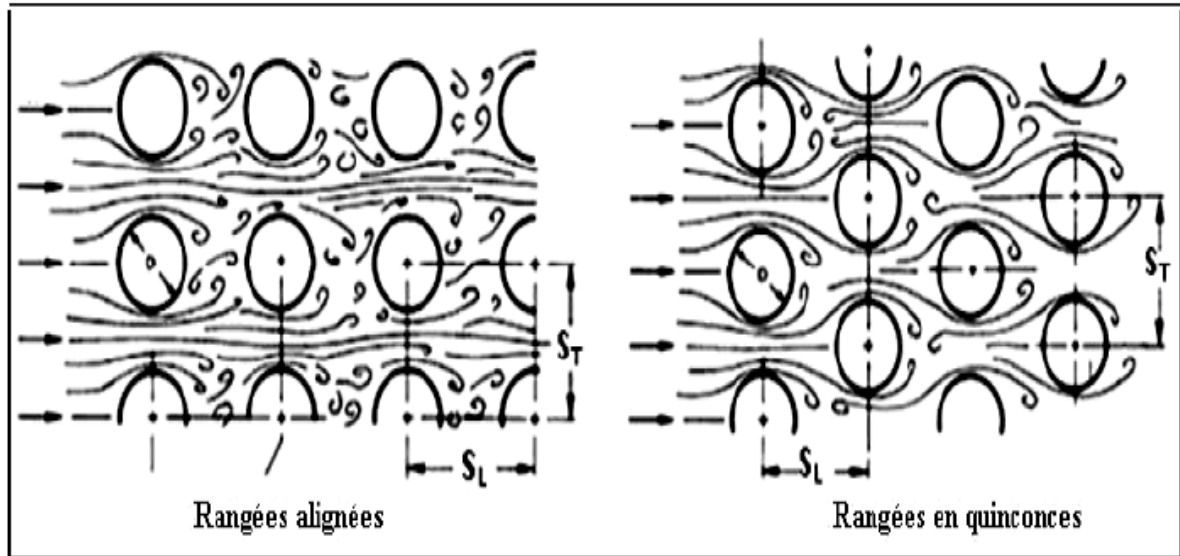


Figure I.8 : Les différents arrangements des chicanes cylindriques

A. Ahmed-Zaïd et al [19] en 2001 présentent une comparaison entre les résultats obtenus dans les cas du capteur solaire muni d'obstacles et du capteur sans obstacles (SC). Les différentes formes étudiées, à la fois simples et intéressantes, concernent, comme le montrent figure I.9 , figure I.10 , et figure I.11 , les chicanes Delta Cintrées Longitudinalement (DCL), Ogivales Cintrées Longitudinalement (OCL) et Transversales-Longitudinales (TL).



Figure I.9 : Disposition des obstacles DCL

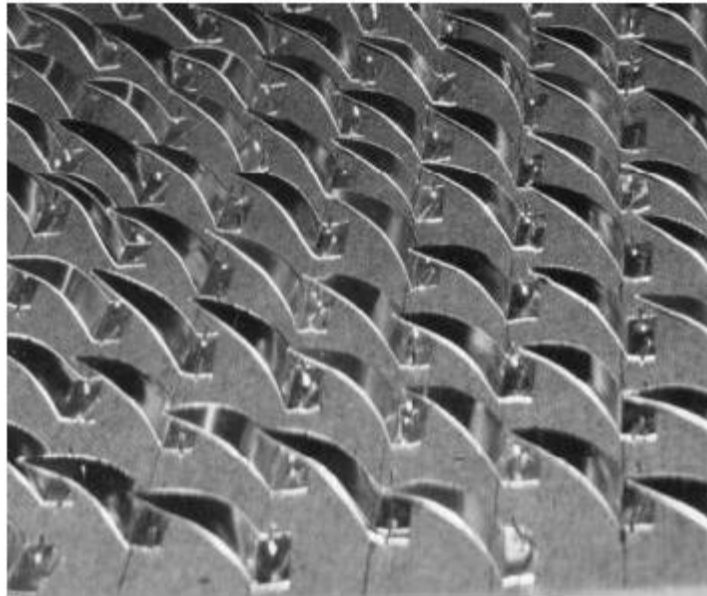


Figure I.10 : Disposition des obstacles OCL

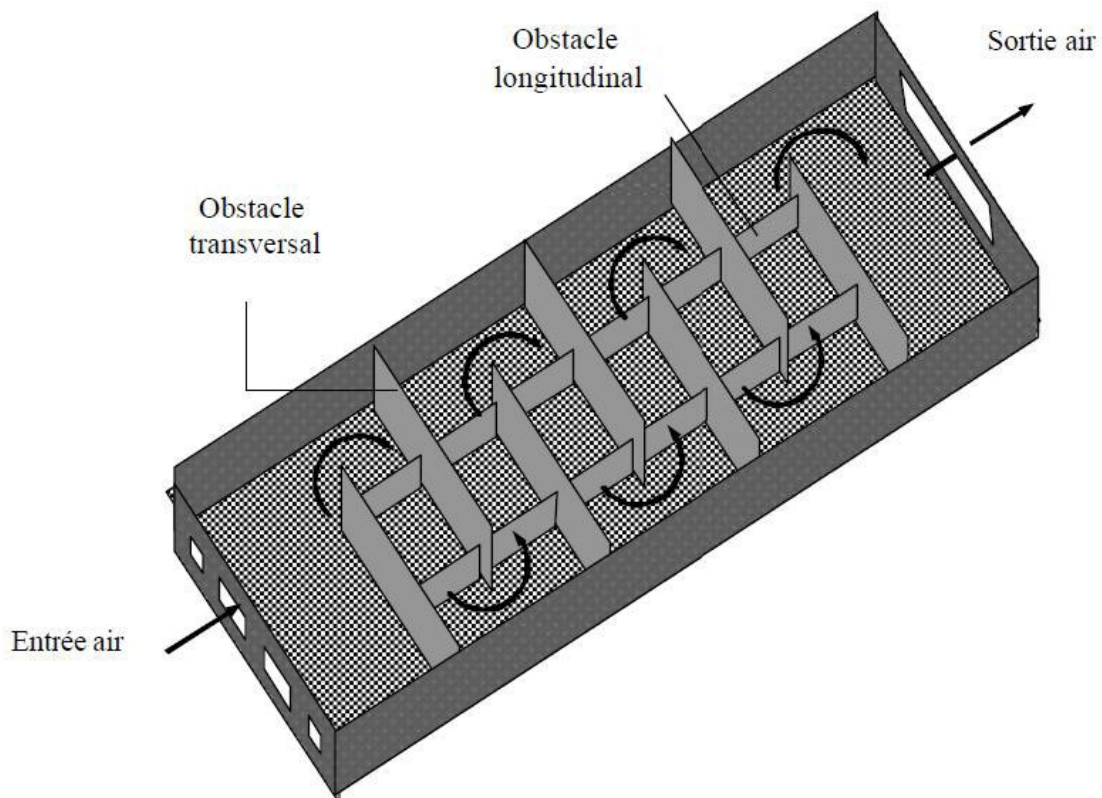


Figure I.11: Capteur muni d'obstacles TL

Cette étude a montré que l'usage des chicanes dans la veine dynamique d'un capteur solaire plan demeure un moyen efficace pour l'amélioration de ses performances.

L'ensemble des résultats présentés montre bien la nette amélioration apportée par l'utilisation des obstacles TL et DCL.

I. 8. Minimisation des pertes thermiques

Dans le but de minimiser les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur,

Feyza Benyelles et Al [20] en 2007 ont proposés de placer un isolant " aérogel de silice " au-dessus de l'absorbeur.

Les auteurs ont choisis l'aérogel de silice pour ses propriétés. C'est un matériau solide à basse densité variant de 80 à 270 kg/m³, transparent, poreux (porosité de 35% à 90%). Son indice de réfraction est compris entre 1.2 à 1.05. Pour une épaisseur de l'ordre de 20 mm, la transmittance solaire normale est de 90%. Sa conductivité thermique est de l'ordre de 0.02 W/m. K.

Plusieurs capteurs dans les mêmes conditions expérimentales ont été comparés:

- Capteur simple vitrage à absorbeur non sélectif.
- Capteur simple vitrage à absorbeur sélectif.
- Capteur double vitrage à absorbeur non sélectif.
- Capteur simple vitrage à absorbeur non sélectif muni d'un isolant à aérogel de silice.

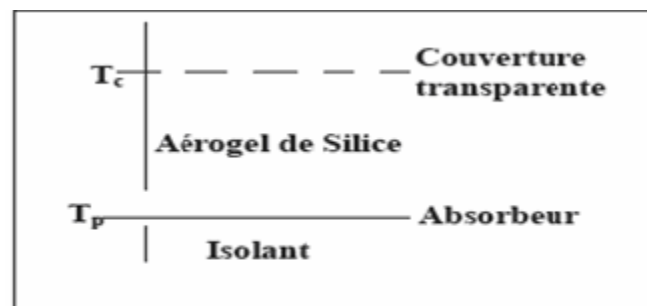


Figure I.12: Conception des capteurs à aérogel de silice

Les auteurs ont trouvés que la température de la vitre d'un capteur simple vitrage à absorbeur non sélectif peut atteindre 50°C, alors qu'elle n'atteint que 20 °C pour un absorbeur muni d'un isolant aérogel de silice. En outre, le coefficient de pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur, dans ce cas est minime. Ils ont déduit que l'aérogel de silice est un super isolant transparent de la face avant du capteur, et contribue ainsi à l'amélioration du rendement du capteur solaire.

I. 9. les capteurs solaires hybrides PVT

I. 9.1. Les capteurs solaires PV/T à air

En 2007, **Trip Anagnostopoulos** réalise à l'Université de Patras, l'étude de capteurs solaires PV/T hybrides dont le fluide caloporteur est soit de l'air soit de l'eau, et pouvant être intégrés au bâti. L'objectif de ces travaux était de réduire la température de fonctionnement des modules PV, d'accroître la production d'air préchauffé et de réduire les pertes thermiques à travers l'isolant en sous-face du composant. Pour cela, la configuration d'un capteur solaire PV/T à air a été modifiée à moindre coût.

Des études paramétriques menées sur un système PV/T à air ont montré qu'une faible épaisseur de lame d'air améliore les transferts thermiques mais réduit le débit massique de ventilation de la lame, d'où une réduction du rendement thermique du système. Pour pallier ce problème en optimisant les transferts de chaleur convectifs et radiatifs, la solution proposée est d'accroître la surface d'échange entre l'air et les modules PV. Pour cela, des configurations intégrant des plaques nervurées ou planes, des tubes soudés à l'absorbeur ou des ailettes au sein de la lame d'air ont été envisagées.

En 2008 une Simulation d'un système Photovoltaïque-Thermique hybride de chauffage à air (de PVT) pour régénérer le gel déshydratant dans une salle de climatisation est étudiée par Y. Sukamongkol et al, Il conclue que le modèle développé de simulation peut prévoir l'exécution d'un système thermique photovoltaïque hybride de chauffage à air pour le déshydratant de régénérer dans une salle de climatisation. Le PVT de chauffage à air peut être employé pour fournir l'air chaud, qui est environ 50 C, pour se mélanger à ceux de l'unité de condensation du dispositif de climatisation pour régénérer le déshydratant saturé. En outre, l'efficacité de PVT est haute jusqu'à 66% tandis que l'énergie électrique produite de 6.52 MJ peut être employée pour alimenter le dispositif électrique dans le système.

Les résultats trouvés dans les travaux précités ont été très encourageants et ils ont trouvé des rendements thermiques de 70% avec refroidissement par du liquide et 60% pour un refroidissement par air. Les publications récentes sur les capteurs PV/T présentent des systèmes basés sur le stockage de chaleur latente qui pourra être utilisée dans les immeubles et pour produire de l'eau chaude, ont été développés par **K.Touafek et al** en 2009, étude thermique d'un capteur PVT à air recouvert destiné au chauffage d'habitation], un Modèle mathématique de capteur thermique photovoltaïque d'air de double passage avec des ailerons par **Ebrahim M et al** en 2009.

Ebrahim et al la figure suivante (la figure 3-9) représente le Diagramme schématique de double capteur d'air du passage (PV/T) avec des ailerons.

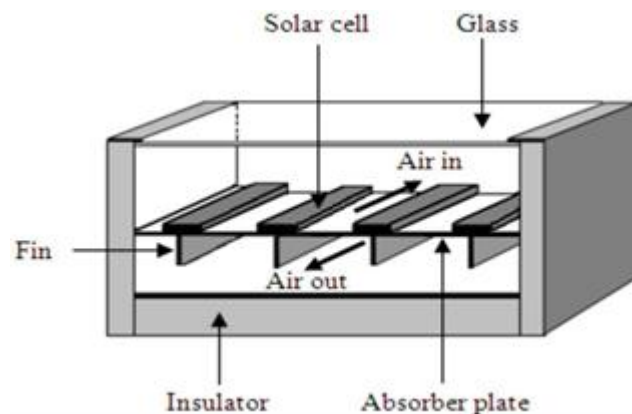


Figure I-13 : Diagramme schématique de double collecteur d'air du passage (PV/T) avec des ailerons

Ebrahim M. Ali Alfegi et autres ont étudié l'effet des débits sur l'exécution du passage simple à ailettes, réchauffeurs solaires thermiques photovoltaïques d'air de double conduit .

I. 9.2. Les capteurs solaires hybrides PV/T à eau

En 2007, **Fraisse et al** étudient un système combinant un capteur solaire hybride à eau et un plancher solaire dans une phase d'intégration à un bâtiment situé à Macôn. Le système est composé de cellules mono et poly-cristallines (Figure I-13).



Figure I-14: Le capteur solaire PV/T hybride à eau

Ils démontrent qu'en présence d'un vitrage le rendement électrique annuel du système hybride combiné est de 6.8 %, ce qui est inférieur de 28 % au rendement d'un capteur solaire PV non intégré (9.4 %). Ils expliquent cette baisse de rendement électrique par un

accroissement de la température de fonctionnement des panneaux PV (pouvant être supérieure à 100 °C) dû à la couverture de verre. Par contre, en absence de vitrage le rendement électrique est de 10 %, ce qui est supérieur de 6 % à celui du capteur solaire PV non intégré. La forte augmentation de la température des modules PV en été.

De plus, **Fraisse et al** notent que dans ce type de configuration, l'utilisation de cellules amorphes est la plus adaptée car elles sont moins sensibles aux variations de températures. Cependant, les rendements électriques obtenus sont faibles étant donné le bas rendement électrique des cellules PV amorphes (à savoir, 4 à 7 %) et les pertes thermiques liées au vitrage.

En 2008 **K. Touafek et al** ont étudiés la distribution de la température dans les différentes couches du capteur hybride. Ils ont établi par simulation numérique le comportement thermique de ce capteur PVT, ainsi que la cartographie de température pour cinq configurations : La première configuration représente le capteur photovoltaïque isolé thermiquement et non recouvert. La deuxième configuration était le capteur photovoltaïque isolé thermiquement, et sur lequel une vitre supplémentaire a été déposée. La troisième configuration était l'installation d'un échangeur de chaleur, constitué d'une plaque en cuivre et d'un serpentín en tubes de cuivre, au-dessous du module photovoltaïque. Ils supposent l'état stationnaire, c'est-à-dire que le fluide s'écoule à l'intérieur de la tubulure et qu'il n'y a pas de circulation pendant la durée de la simulation. Tandis que dans la quatrième configuration, ils ont ajouté une vitre supplémentaire au-dessus du capteur. Et enfin ils ont déposé une seconde vitre au-dessus du capteur hybride, représentant ainsi la cinquième configuration. Les résultats de la simulation numérique sur le comportement thermique du capteur solaire PVT y sont présentés et discutés .

I. 9.3. Capteurs PVT de concentration

Le capteur PVT à concentration veut dire la concentration du rayonnement solaire sur un capteur hybride PVT.

Garg et Adhikari en1999 ont démontré l'utilisation de plusieurs CPCs (capteur de concentration parabolique) tronqués dans un module simple de PVT. Ils ont constaté que leur capteur pour le chauffage à air, avec un taux de concentration de 3, a eu comme conséquence de meilleures efficacités une fois intégré dans un système.

Un système semblable a été également démontré par **Othman et al** (2005).Cependant, où

Garg et Adhikari ont employé un passage simple pour chauffer l'air, ils ont utilisé un double passage avec une surface à ailettes arrière dans leur système. Le but de la surface à ailettes était d'améliorer le transfert thermique sur le visage arrière du module PV.

Kribus et al en 2006 ont discuté la conception d'un système hybride PVT en utilisant un concentrateur parabolique de petite taille. À la différence des systèmes discutés plus tôt, leur conception de système pouvait fournir le chauffage à très hautes températures. Ils proposent que de tels systèmes puissent être employés dans des applications résidentielles pour conduire les systèmes de refroidissement à absorption.