

II.1. Les capteurs solaires plans :

II. Introduction :

Le capteur solaire plan est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie transportée par les radiations solaires, la convertir en énergie calorifique et la transmettre à un fluide caloporteur, il combine deux principes physiques : les effets de serre et du corps noir.

Les capteurs plans peuvent assurer des températures variant de 30°C à 110°C et ne nécessitent ni concentration du rayonnement incident, ni un suivi du soleil.

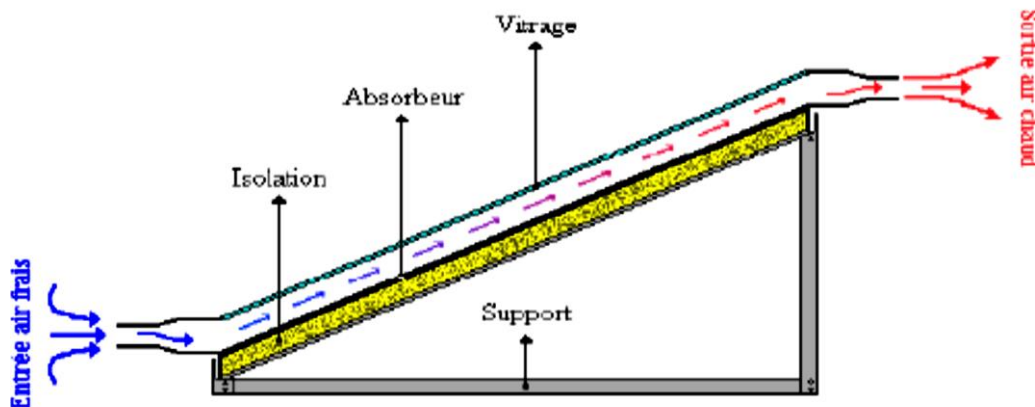


Figure II.1 : Schéma d'un capteur solaire plan à air

II.2. Fonctionnement d'un capteur plan :

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan peut être résumé comme suit: Le rayonnement solaire traverse la vitre et arrive sur l'absorbeur muni d'une surface sélective où il est converti en chaleur à sa surface. Le fluide caloporteur qui circule dans l'absorbeur conduit la chaleur captée vers un échangeur de chaleur, à partir duquel elle est transmise au consommateur (figure II.2).

Le vitrage est transparent pour le rayonnement visible et le proche I.R mais opaque pour le rayonnement I.R lointain émis par l'absorbeur, ainsi, la couverture transparente crée un effet de serre.

L'isolation thermique en dessous et autour du capteur diminue les déperditions thermiques et augmente ainsi son rendement.

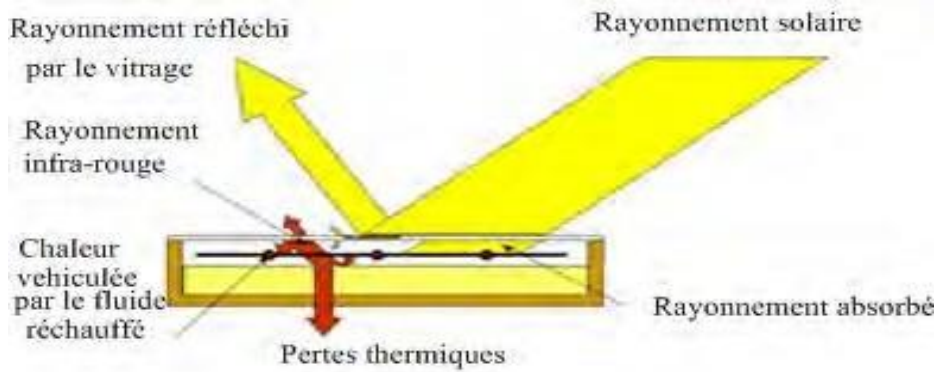


Figure II.2 : Principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan

II.3. les composants d'un capteur solaire plan :

Un capteur plan est constitué essentiellement d'une couverture transparente (vitre), d'un absorbeur, d'un fluide caloporteur, d'une isolation thermique et d'un coffre (Figure II.3). [20]

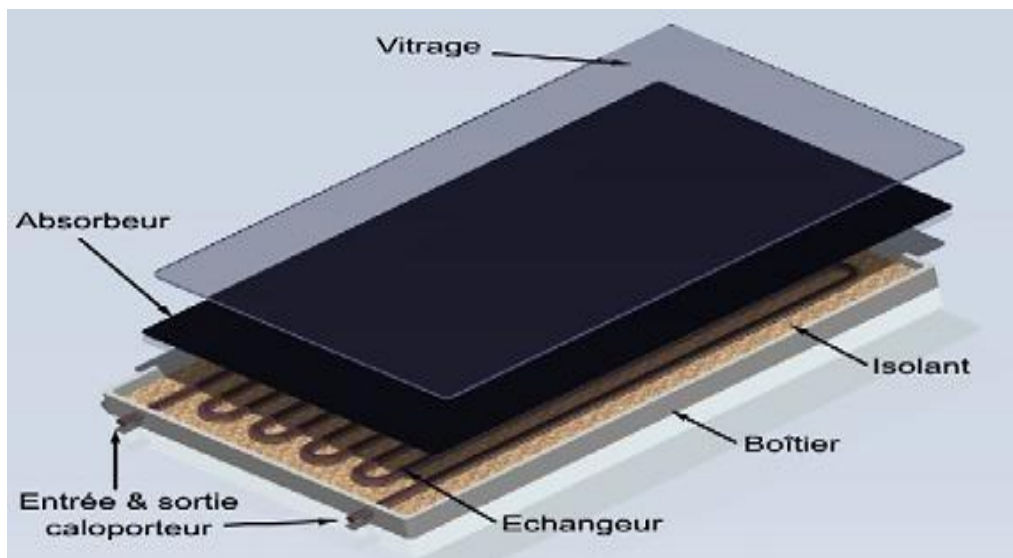


Figure II.3 : Composants d'un capteur solaire plan à eau

➤ **Surface absorbante :**

Son rôle de transformer le rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde en chaleur. La fraction du rayonnement solaire incident qui est absorbée par le capteur est appelée facteur d'absorption α^* (ou absorptivité) de la surface.

Le complément à 1 de cette fraction correspond au facteur de réflexion solaire ρ^* (ou réflectivité) dans la mesure où la plaque est opaque et donc que le facteur de transmission solaire τ^* (ou transmissivité) est nul.

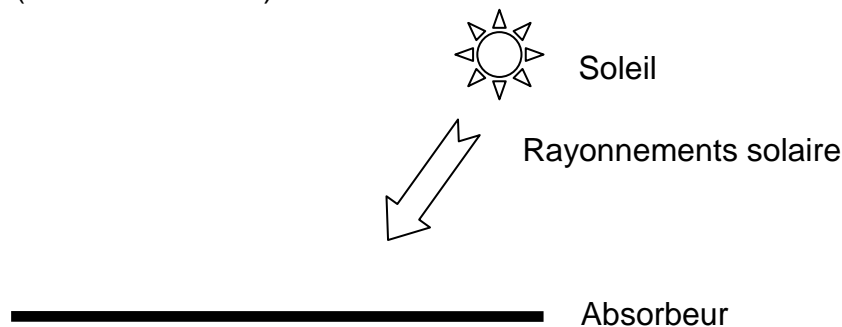


Figure II.4: Schéma d'un capteur plan limite à la seule plaque absorbante.

L'absorbeur, en chauffant, va rayonner dans l'infrarouge. La fraction d'énergie effectivement rayonnée sur l'énergie que rayonnerait la surface considérée comme un corps noir est appelée facteur d'émission infrarouge ε ou émissivité.

L'émittance E d'une surface à la température T s'écrit :

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (\text{III.1})$$

Où σ est la constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

On appelle sélectivité le rapport du facteur d'absorption solaire α^* sur le facteur d'émission infrarouge ε .

Dans les applications du chauffage solaire on cherche à obtenir une grande sélectivité en augmentant la partie absorbée du rayonnement solaire incident et en diminuant la partie réfléchi. Ceci est possible dans la mesure où la bande spectrale d'absorption solaire [$\lambda \leq 3 \mu\text{m}$] et la bande spectrale d'émission infrarouge [$\lambda \geq 3 \mu\text{m}$] ne se recouvrent pratiquement pas. On appelle longueur d'onde de coupure, que l'on note λ_c la longueur d'onde qui sépare ces deux bandes spectrales. Dans la plupart des applications solaires, $\lambda_c \approx 3 \mu\text{m}$.

Un absorbeur doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Un bon coefficient d'absorption.
- Une bonne conductivité thermique.
- Une bonne résistance à la corrosion

Le tableau suivant donne la sélectivité de quelques surfaces. Notons que c'est le revêtement qui compte : une surface d'un matériau donné mais revêtue d'une couche de peinture noire ou blanche n'aura pas le même comportement sur le plan des échanges radiatifs. [21]

Etat de surface de différents matériaux	α^*	ε	α^*/ε
Cuivre poli	0,25	0,02	12,5
Acier poli	0,63	0,09	7
Aluminium poli	0,10	0,04	2,5
Nickel brillant	0,34	0,07	4,86
Peinture noire (silicate)	0,97	0,88	1,10

Tableau II.1: caractéristique radiatives de quelques surfaces.

Dans le cas des métaux on utilise le cuivre, l'acier inoxydable, ou bien l'aluminium, qui ont de bonnes conductivités thermiques. Certaines de leurs caractéristiques thermo-physiques sont données dans le tableau ci-dessous :

Métal	Conductivité thermique λ (W/m.K)	Chaleur massique c_p (J/Kg.K)	Masse volumique ρ (Kg/m ³)	Diffusivité $a=\lambda/(\rho.c_p)$ 10 ⁻⁶ m ² /s
Cuivre	384	398	8900	108
Acier inoxydable	14	460	7800	4
Aluminium	204	879	2700	86

Tableau II.2: Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques.

Avantages de l'absorbeur

La légèreté.

La faible sensibilité des certains matériau à la corrosion.

Inconvénients de l'absorbeur

Un vieillissement dû au rayonnement ultraviolet.

Une tenue médiocre aux températures élevées.

➤ La couverture transparente (vitrage) :

C'est une surface faite d'un matériau transparent au rayonnement visible mais opaque au rayonnement I.R, permettant de réaliser un effet de serre.

Les couvertures transparentes habituelles sont pour la plupart en verre simple ou traité qui laisse passer jusqu'à 95% de la lumière grâce à leur faible teneur en oxyde de fer, mais on peut trouver aussi des produits de synthèse. L'utilisation de la couverture transparente du capteur permet d'accroître son rendement et d'assurer des températures de plus de 70°C [13], en créant un effet de serre qui réduit les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur, en effet :

Soit un capteur exposé au rayonnement solaire, sa couverture est transparente au rayonnement visible mais opaque aux rayonnements U.V et I.R. A la surface de la terre, le rayonnement solaire est composé de 42% de rayonnement visible qui va être transmis à l'absorbeur lequel en chauffant va réémettre du rayonnement I.R pour lequel la transmissivité de la vitre est faible ne pouvant ainsi s'échapper et qui sera en partie absorbé par la vitre qui s'échauffe et en partie réfléchi vers la plaque qui elle-même s'échauffe.

L'utilisation de la couverture transparente évite le refroidissement de l'absorbeur par le vent.

Actuellement les trois matières plastiques utilisées comme couvertures sont :

- le polyméthacrylate (PMMA) : est un thermoplastique transparent parfois appelé verre acrylique, chimiquement, c'est le polymère synthétique de méthacrylate de méthyle.
- le polycarbonate (PC),
- le polyester renforcé aux fibres de verre (PRV) : Le PRV est un matériau composite thermodurcissable, principalement constitué de résine de polyester insaturé, renforcé des fibres de verre et chargé en agrégats. La résine polyester joue le rôle de liant entre les différents composants.

Ces trois matériaux sont connus et employés dans certaines applications, dans le bâtiment depuis déjà de nombreuses années. [20]

Pour certaines applications, telles que la réalisation de serres agricoles, on peut utiliser des films minces. Le tableau II.3 fournit quelques indications sur ces matériaux.

Matériau	Noms commerciaux	Epaisseur Mm	τ %	P Kg/m ³	C _p J/Kg.K	λ W/m.k	k _d 10 ⁻⁵ /K
Verre à vitre		3	85-92	2700	840	0,93	0,9
Polycarbonate	Makronon Lexan	3,2	82-89	1200	1260	0,2	6,6
Poly-méthacrylate	Altuglas Plexiglas	3,2	89-92	1200	1460	0,2	7
Polyester armé		1	77-90	1400	1050	0,21	3,5

Tableau II.3 : Propriétés de quelques surfaces transparentes au rayonnement solaire mais opaques au rayonnement infrarouge, pouvant servir à réaliser un effet de serre.

➤ **Le fluide caloporteur :**

Le fluide caloporteur a pour mission de transporter la chaleur de la source à l'utilisation. Le fluide idéal devrait avoir les propriétés suivantes :

- Etre assez fluide pour diminuer les pertes de charge ;
- Avoir une grande capacité thermique par unité de volume, pour transporter la chaleur avec le plus petit débit possible ;
- Ne pas être corrosif pour les différentes parties du circuit ;
- Supporter les températures limites dans le système -25 à 140 °C pour les capteurs solaires plans, 0 à 110 °C dans les installations de chauffage ;
- Ne pas porter atteinte à l'environnement en cas de fuites ;

Etre disponible à un prix abordable.

Le fluide le plus utilisé dans les installations de chauffage est l'eau. Ce fluide, à une grande capacité thermique, est à bon marché et ne nuit pas à l'environnement.

Néanmoins, l'eau peut être corrosive pour certains matériaux (fer, aluminium, par exemple), gèle à 0°C et bout à 100°C à la pression d'un bar et à 140°C à 4 bars. On est ainsi amené à y ajouter de l'éthylène-glycol (ou du propylène-glycol moins toxique) pour abaisser le point de congélation et augmenter le point d'ébullition. Cette addition augmente la viscosité, diminue la capacité thermique, augmente la toxicité et nécessite l'adjonction de passivateur pour diminuer l'agressivité corrosive.

Les passivateurs sont sensibles à la température et peuvent se décomposer. Il convient donc d'analyser périodiquement le fluide pour vérifier sa teneur en agents passivants, surtout si la température d'utilisation est élevée, et de compléter au besoin.

Par rapport à l'eau, l'air a les avantages suivants:

Pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été.

Pas de problème de corrosion (l'air sec).

Toute fuite est sans conséquence.

Il n'est pas nécessaire d'utiliser un échangeur de chaleur pour le chauffage des locaux.

Le système à mettre en œuvre est plus simple et plus fiable.

Cependant il présente certains inconvénients, à savoir :

L'air ne peut servir qu'au chauffage des locaux ou pour le séchage solaire.

Le produit masse volumique - capacité calorifique, est faible ($\rho \cdot C_p = 1225 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$) pour l'air contre $4,2 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$ pour l'eau.

Les conduites doivent avoir une forte section pour laisser passer un débit suffisant. [22]

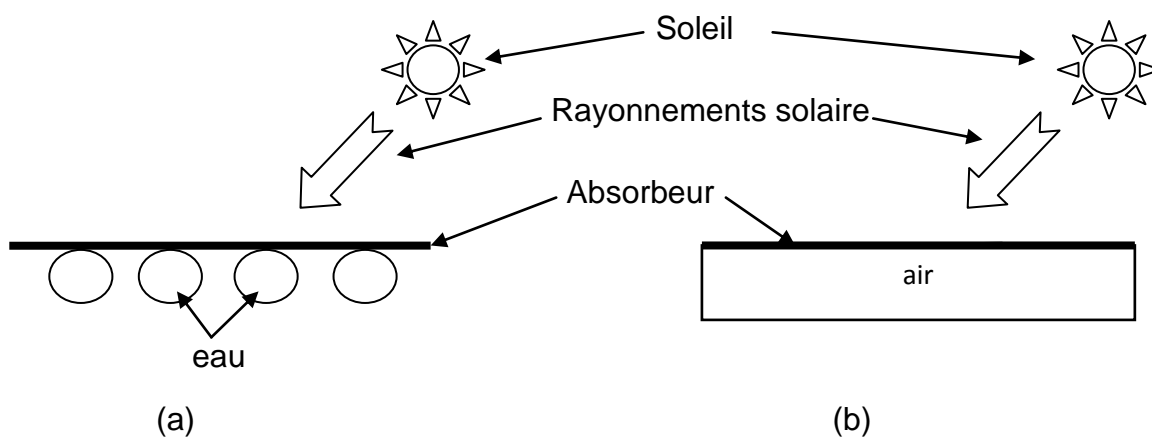


Figure II.5: Schéma d'un capteur plan avec son système d'évacuation de la chaleur : a) à eau, b) à air

➤ L'isolation thermique :

L'absorbeur doit transmettre l'énergie captée au fluide caloporteur en évitant les pertes thermiques par conduction, convection et par rayonnement, des différentes parties périphériques vers l'extérieur.

• Isolant:

Afin de limiter les pertes thermiques à la périphérie du capteur, on peut placer une ou plusieurs couches d'isolant qui doit résister et ne pas dégazer aux hautes températures, sinon, il faut s'attendre à voir apparaître un dépôt sur la face intérieure de la couverture. En plus d'utiliser un isolant pour minimiser les pertes thermiques on peut augmenter la

résistance de contact entre la plaque, l'isolant et le coffre en évitant de presser ces surfaces les unes contre les autres car dans le cas d'une forte rugosité, il peut exister entre les deux faces en contact un film d'air qui empêche la chaleur de passer facilement par conduction. [23]

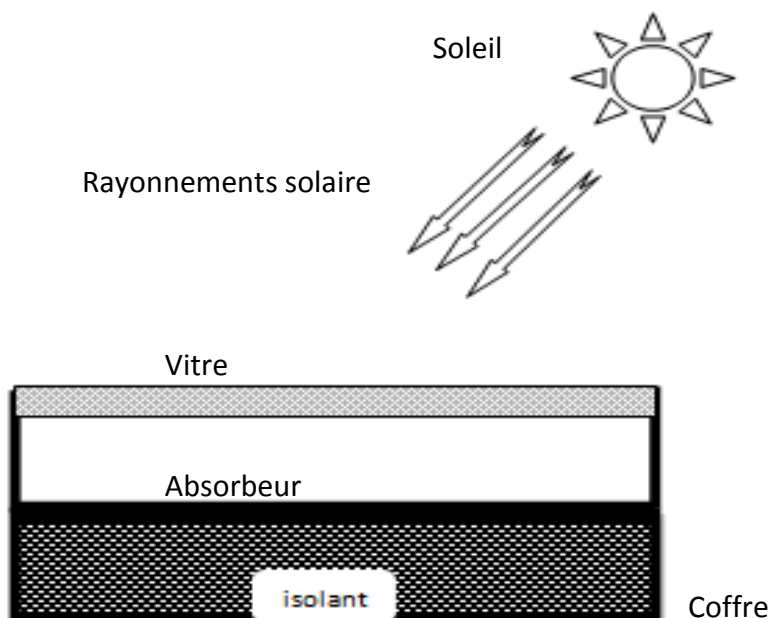


Figure II.6 : Schéma d'un Capteur solaire plan complet avec son isolant en face arrière

➤ **Le coffre :**

Le coffre fabriqué couramment en aluminium ou en bois, enferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur, les protégeant ainsi contre l'humidité et les détériorations mécaniques.

II.4. Les différents types de capteurs solaires plans :

Il existe différents types de capteurs solaires plans pour chauffer les liquides. Leur choix dépend généralement de la température désirée, et des conditions climatiques pendant la période d'utilisation du système. Les technologies les plus courantes sont : les capteurs à liquide plans sans vitrage et les capteurs à liquide plans vitrés. [22]

II.4.1 : Capteur solaire plan sans vitrage :

Généralement ils sont constitués de plastique polymère, aucun revêtement sélectif, pas de cadre ni d'isolation en arrière. Ils sont posés sur un toit ou sur un support en bois. Ces capteurs de faible coût présentent néanmoins des pertes thermiques vers l'environnement qui augmentent rapidement avec la température de l'eau, (particulièrement dans les endroits venteux). Les capteurs sans vitrage sont couramment utilisés pour des applications demandant une fourniture d'énergie à basse température (piscines, eau d'appoint en pisciculture, chaleur industrielle, etc.); dans les climats froids, ils sont habituellement utilisés exclusivement durant l'été à cause de leurs pertes thermiques élevées (figure II.7). [22]



Figure II.7 : Capteur solaire sans vitrage

II.4.2 Capteur solaire plan vitré :

Les capteurs à liquide avec vitrage comprennent une plaque absorbante noire munie d'un revêtement sélectif fixée dans un cadre entre un vitrage simple ou double et un panneau isolant arrière (figure II.8). L'énergie solaire est ainsi emprisonnée dans le capteur (effet de serre).

Ces capteurs sont couramment utilisés pour des applications à températures modérées (chauffage de l'eau sanitaire, chauffage de locaux, chauffage de piscines intérieures ouvertes toute l'année et chauffage pour procédés industriels). [22]

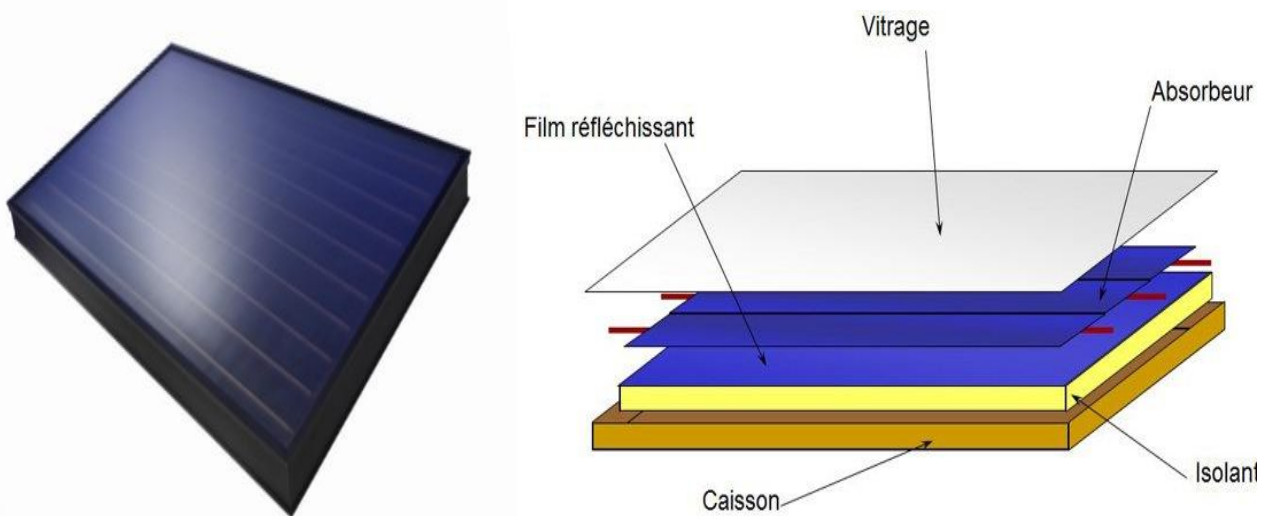


Figure II.8 : Capteur solaire plan vitré

II.4.3 : Les capteurs à tubes sous vide :

Il s'agit d'un tube cylindrique porteur lui aussi d'un traitement de surface qui maximise l'absorption solaire. Suivant les technologies le cylindre sous vide est en fait constitué de 2 tubes concentriques emboîtés l'un dans l'autre. Entre ces 2 tubes est réalisé le vide d'air. Dans cette version, le vide n'est fait qu'entre les 2 tubes, la partie centrale du tube interne n'est pas sous vide. Dans une autre version il s'agit d'un seul tube transparent dans lequel le vide est complet. La restitution de l'énergie captée se fait au niveau d'un collecteur de chaleur placé au sommet du capteur dans lequel les tubes sous vides sont enfilés. La transmission d'énergie thermique au liquide caloporteur se fait par deux méthodes. Le premier fait passer directement le liquide caloporteur

au contact de l'absorbeur, l'autre technique utilise un caloduc. Le caloduc est une simple tige de cuivre creuse qui contient une liquide à changement de phase. Au contact de la chaleur ce liquide se vaporise et échange sa chaleur au liquide caloporteur. Cet échange de chaleur le condense et ainsi de suite.

Le capteur à tubes sous vide présenté dans la figure (II.9) avec son principe de fonctionnement dans la figure (II.10). **[20]**

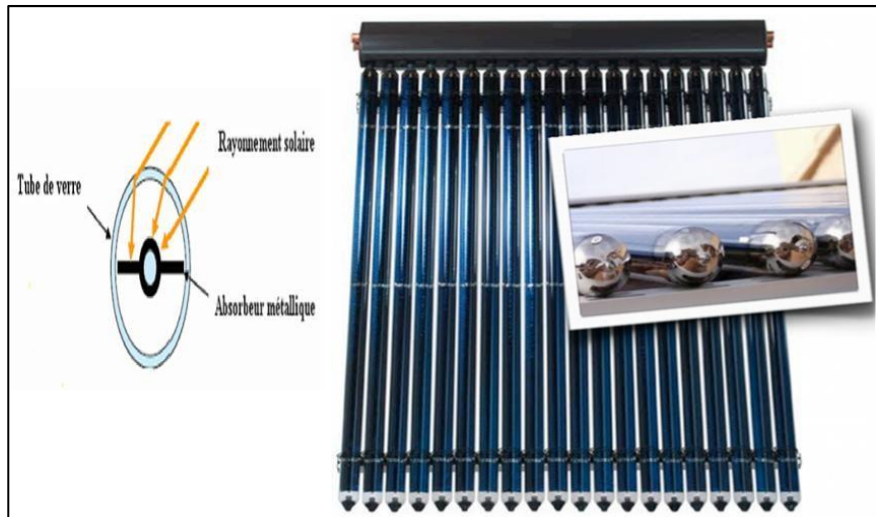


Figure II.9 : Les capteurs à tube sous vide

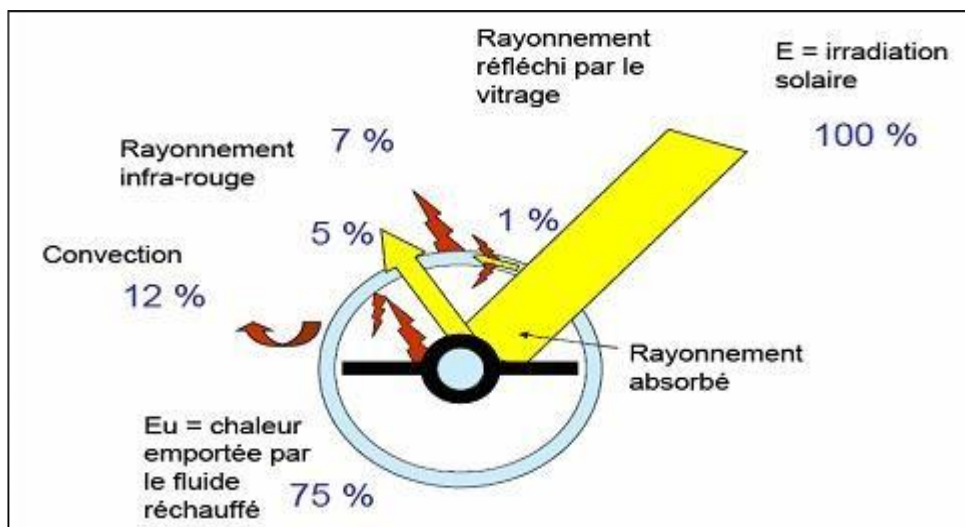


Figure II.10 : Principe de fonctionnement des capteurs à tubes sous vide [5].

- E= irradiation solaire 100%
- Rayonnement réfléchi par le vitrage 7%
- Rayonnement absorbé par le vitrage 1%
- Eu=chaleur emportée par le fluide réchauffé 75%
- Rayonnement infrarouge 5%
- Transfert par convection 12%
- Eu=chaleur emportée par le fluide réchauffé 75%

II.5. Capteur solaire plan à air avec les chicanes :

Dans le but de minimiser les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur, et pour but d'améliorer les performances des capteurs solaires à air, 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.

Le dispositif expérimental est illustré par la figure II.11.

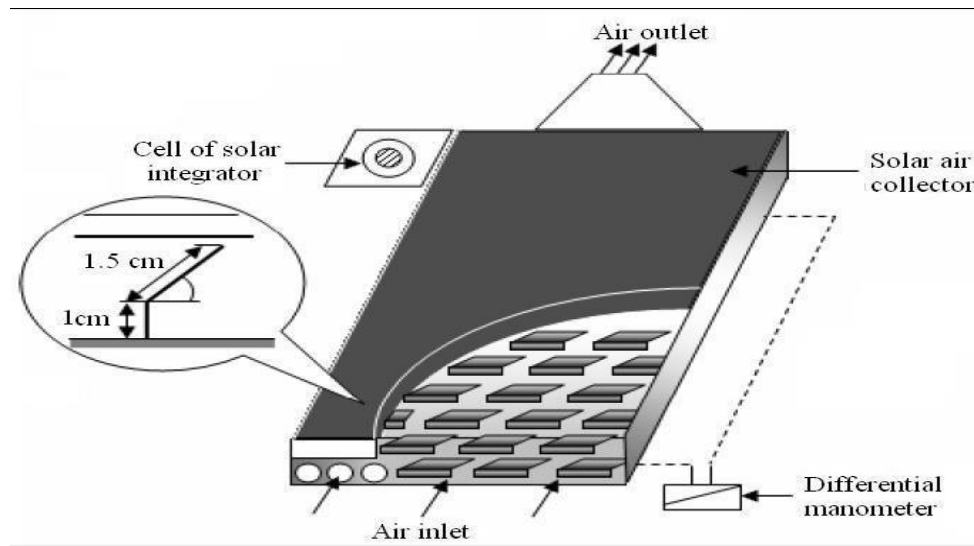


Figure II. 11 : Dispositif expérimental

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 $d=10\text{cm}$ et $d=5\text{cm}$ suivant deux configuration A et B qui se différencient par le nombre de rangées respectivement égale à 152 et 256 chicanes (figure. II.12).

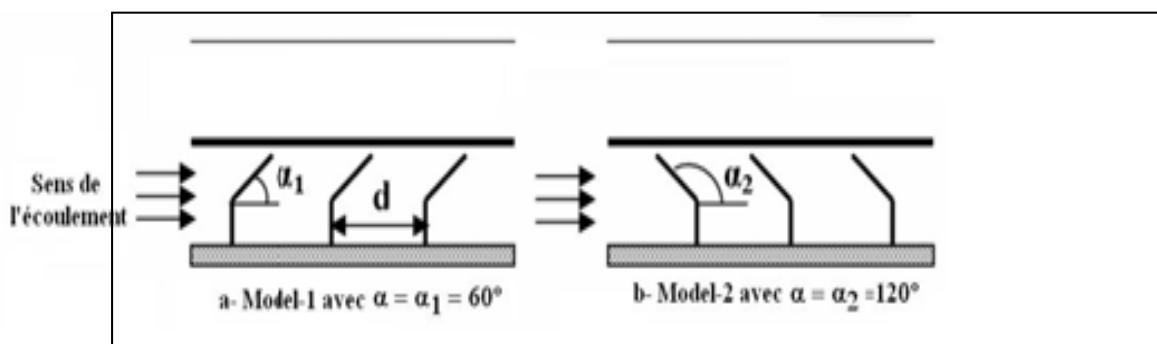


Figure II. 12 : Schéma descriptif des chicanes

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 chicanes 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. [24]

II.6. L'utilisation d'un capteur solaire plan à Air :

La chaleur produite par les capteurs peut ensuite être utilisée pour:

- ✓ Chauffer les locaux.
- ✓ Activer la croissance des végétaux.
- ✓ Sécher les grains et les fourrages.
- ✓ Sécher les produits (agro-alimentaires).d'après la Figure. II.13. [23]

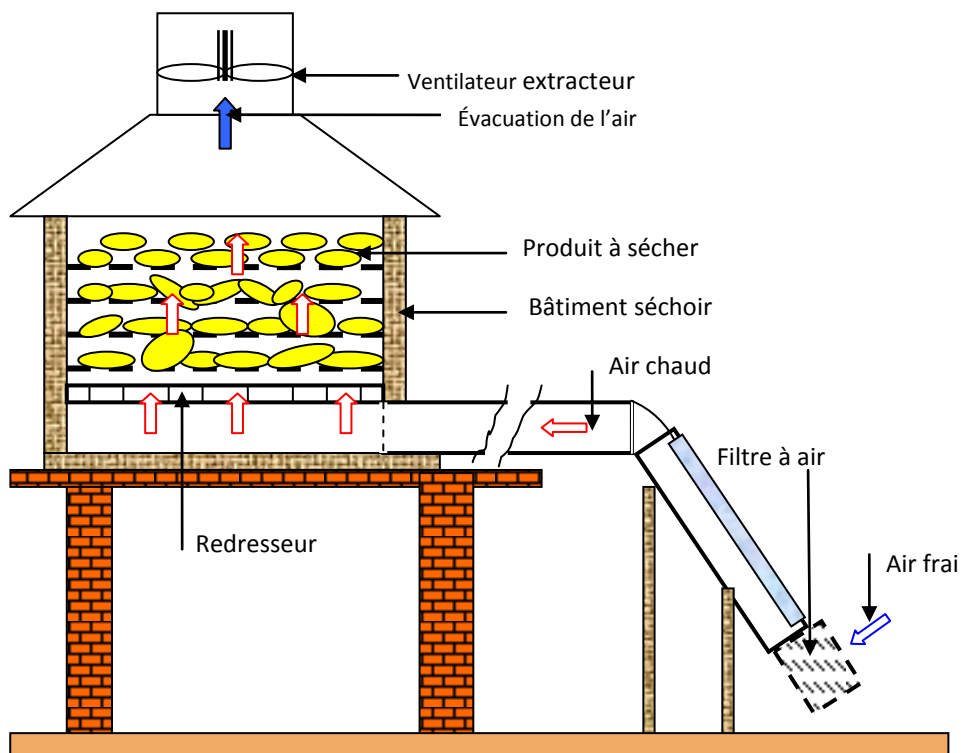


Figure II.13 : Coupe du séchoir solaire à air