

I.1. Introduction :

Nous présenterons dans ce chapitre les différentes conceptions et les résultats bibliographiques sur les refroidissements des panneaux photovoltaïques.

La plupart des recherches menées dans ce domaine ont pour objectif d'évaluer les performances thermiques et électriques. Pour cela, les recherches ont pour but l'optimisation des performances des composants solaires existants en améliorant les conditions de fonctionnement (inclinaison, orientation du composant...) ou en proposant des configurations géométriques innovantes. Ainsi, elles se basent sur la modification des dimensions ou des propriétés des matériaux de construction (isolant thermique, absorbeur, cellules PV...) ou des fluides caloporteurs (air, eau glycolée...). Ces améliorations visent à accroître la quantité d'énergie solaire absorbée et les transferts thermiques entre le fluide caloporteur et l'absorbeur ou à réduire voire éliminer les pertes thermiques extérieures du capteur solaire.

- ❖ En 2008 (K. Touafek, et al) [1] présentent une étude thermique sur le système de refroidissement par le fluide caloporteur.

Au cours de la conversion photovoltaïque dans le capteur solaire, une chaleur est générée, augmentant ainsi la température au niveau de la cellule photovoltaïque et causant une chute de son rendement. Ce phénomène est dû à la partie du rayonnement solaire non absorbée par les cellules et qui sera à l'origine de son échauffement. D'autre part, cette partie du rayonnement absorbé est perdue sous forme de chaleur. L'objectif de ce travail est double, augmenter l'efficacité électrique du capteur, c'est-à-dire son rendement électrique en diminuant la température de fonctionnement et utiliser cette même chaleur pour chauffer de l'eau ou l'espace environnant.

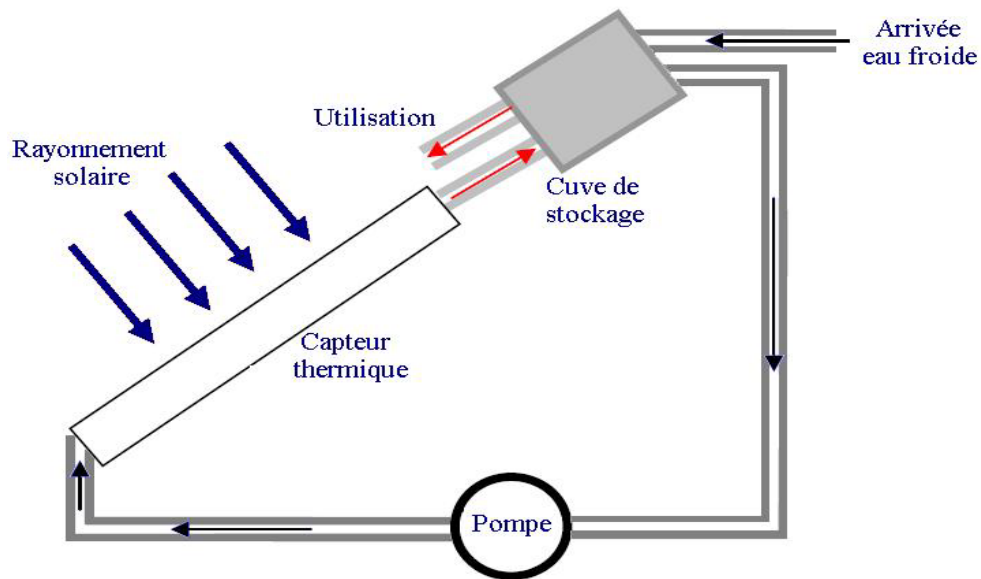


Figure.I.1 : Schéma synoptique d'un chauffe-eau solaire.

I.2. Transfert par circulation naturelle de l'eau :

L'eau entrant par le bas du capteur est chauffée par l'ensoleillement et sort en partie haute pour rejoindre le ballon de stockage situé à au moins 60 cm au-dessus du capteur. Un appoint (résistance électrique ou apport quelconque de chaleur via un échangeur) est intégré dans la partie supérieure du stockage alors que l'eau chaude solaire en occupe la partie basse.

Lorsqu'il n'y a pas d'ensoleillement, seule l'eau située dans la partie supérieure du ballon est chauffée par l'appoint. Ceci évite de chauffer toute l'eau à condition qu'il y ait une stratification des couches en fonction de la température. Cette stratification existe dans les ballons bien conçus: l'eau chaude se trouve en partie supérieure et l'eau froide en partie inférieure. Lorsque le capteur est chauffé par le soleil, le fluide caloporteur, c'est-à-dire l'eau dans ce cas, se met en mouvement pour rejoindre le ballon. Ce dernier se vide à sa base d'une quantité correspondante d'eau froide qui retourne au capteur. En cas d'utilisation de l'eau sanitaire, l'eau chauffée par le soleil va monter de la partie inférieure du ballon vers la partie supérieure.

I.3. Isolation et vitrage :

Le capteur devant recevoir et capter le rayonnement solaire, doit être nécessairement en contact avec le milieu extérieur, les conditions de température et de climat risquent de perturber considérablement son bon fonctionnement.

Limiter les pertes par transmission vers l'extérieur du capteur est primordial si on cherche à optimiser les performances de ce dernier. Nombreux sont les produits isolants qui peuvent convenir pour l'isolation arrière et latérale.

Vers l'avant, comme le rayonnement solaire doit arriver par l'absorbeur, on ne peut utiliser que des matériaux transparents: verre en simple ou en double vitrage, trempé ou non, ou certains matériaux plastiques ayant la propriété de réaliser l'effet de serre (c'est le cas de matériaux comme le polycarbonate, le métacrylate et le tedlar). Les inconvénients du verre sont sa fragilité, son poids et son prix élevé en double vitrage. L'inconvénient principal des matériaux plastiques est la dégradation de certaines de leurs propriétés, avec le temps pour certains, ou le prix élevé pour d'autres.

Les pertes par transmission peuvent également être éliminées en plaçant l'absorbeur sous vide, ce qui permet d'obtenir un rendement élevé même à hautes températures. Ce type de capteur est d'ailleurs surtout utilisé pour certaines applications demandant des températures plus élevées du fluide caloporteur (jusqu'à 150°C).

Donc l'absorbeur c'est un élément essentiel du capteur thermique. Il a pour rôle d'absorber le rayonnement solaire, ensuite le transformer en chaleur et enfin transmettre cette chaleur au fluide caloporteur.

I.4. Système de pompage photovoltaïque avec un générateur refroidi par ruissellement d'eau :

- ❖ En 2009 (El Y. Chachoua-Harmim, et al) [2] proposent une étude expérimentale d'un système de pompage photovoltaïque :

Dont le générateur est équipé d'un réflecteur plan pour augmenter l'irradiation solaire incidente sur le plan des panneaux. Afin de réduire l'effet de l'élévation de la température des panneaux, une petite fraction de l'eau pompée est utilisée pour refroidir le générateur à travers une canalisation de distribution qui assure un ruissellement en film sur la surface avant du générateur. L'étude expérimentale a montré qu'on arrive à abaisser la température des panneaux et par la suite garder un meilleur rendement du système.

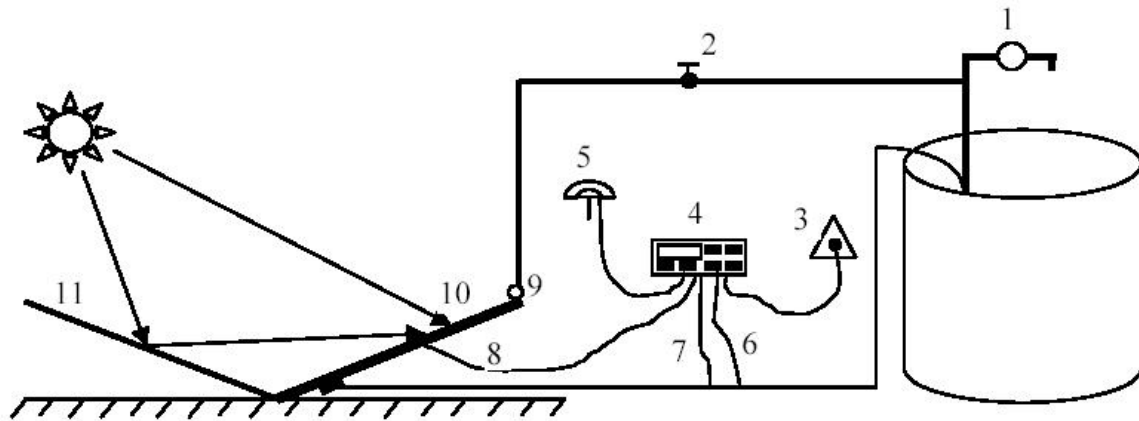


Figure.I.2 : Schéma descriptif du banc d'essai expérimental.

- | | |
|--|---|
| 1: Compteur d'eau. | 2: Vanne de contrôle. |
| 3: Thermocouple de température ambiante. | 4: Acquisition de données. |
| 5: Pyranomètre. | 6: Mesure de la tension d'alimentation. |
| 7: Mesure de l'intensité du courant. | 8: Thermocouple de temps du module. |
| 9: Canalisation de distribution d'eau. | 10: Générateur photovoltaïque. |
| 11: Réflecteur plan. | |

❖ Puis en 2010 (LEROUX Guilian, et al) [3] présentent le rafraichissement des panneaux photovoltaïques intégrés en toiture par convection naturelle.

Cette étude présente des travaux effectués dans le cadre du projet ANR CoolPV, visant à développer des solutions pour limiter la montée en température des panneaux photovoltaïques intégrés en toiture. Cet article s'intéresse à l'amélioration des écoulements de convection naturelle en sous face des panneaux. Le cas d'étude est une cavité ouverte inclinée et s'appuie sur une campagne expérimentale en site réel. Deux approches de modélisation de type nodale et volumes finis ont été comparées sur différentes configurations.

Cette étude a permis non seulement de mettre en évidence les limites et les avantages de chaque méthode, mais aussi de valider l'approche nodale qui sera utilisée par la suite dans une utilisation plus globale.

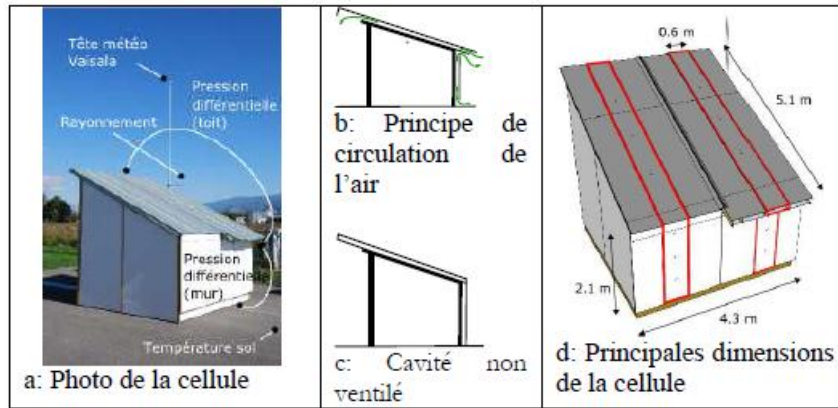


Figure.I.3 : Positionnement des mesures de sollicitation, schéma de principe de circulation de l'air et dimension de la cellule.

- ❖ Plus tard, En 2012 (A. Khelifa et K. Touafek) [4] présentent une étude de l'influence des paramètres externes et internes sur le capteur hybride photovoltaïque thermique (PVT).

Durant la conversion photovoltaïque du capteur solaire, une chaleur est générée, ce qui augmentera la température de la cellule photovoltaïque et causera une chute de son rendement. Ce phénomène est dû à la partie du rayonnement solaire non absorbée par les cellules et qui sera à l'origine de son échauffement. Cet échauffement a été considéré comme néfaste pour le rendement des capteurs solaires photovoltaïques, et plusieurs efforts ont été consentis pour évacuer cette chaleur. Il y a eu aussi l'aide d'exploiter ce phénomène par la combinaison des systèmes photovoltaïques avec un système thermique pour former le capteur hybride PVT, qui va générer en même temps de l'électricité et de la chaleur. L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence des paramètres externes et internes sur les performances thermique et électrique du capteur hybride photovoltaïque thermique PVT.

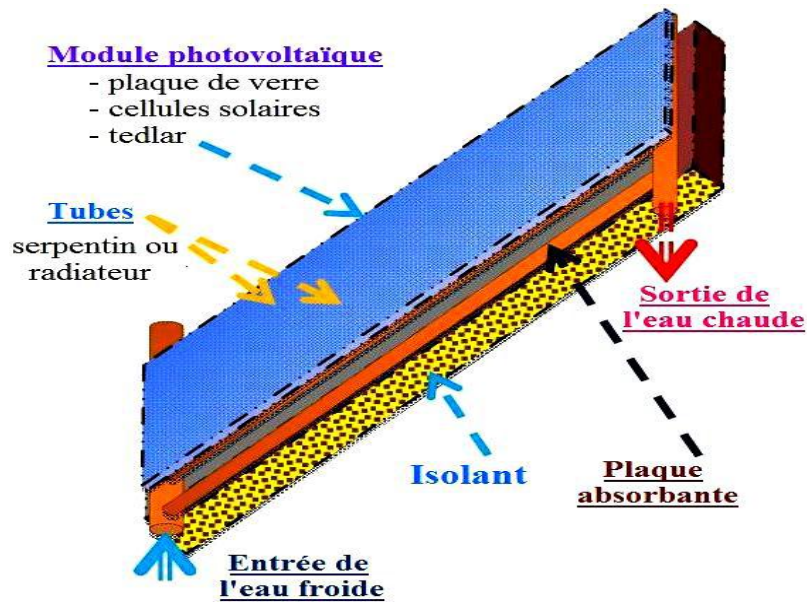


Figure.I.4 : Modèle d'un capteur hybride PVT.

I.5. les résultats et interprétations :

Avant d'étudier la distribution des différentes températures dans chaque couche du capteur PV/T, on va étudier l'effet des paramètres externes et internes sur le fonctionnement du système (PVT).

Les résultats sont présentés sous forme de graphes, en tenant compte de la considération suivante: Les calculs sont effectués à partir d'un instant initial " t_0 " pour chaque composant du capteur, à une température initiale et avec un pas de temps égal à une heure.

Nous avons étudié également l'effet de la distance entre deux tubes successifs et de la vitesse du vent sur les performances du capteur solaire PVT. Ils ont donné plusieurs valeurs à ces deux paramètres.

Les figures suivantes représentent l'évolution des températures pour chaque composant du capteur solaire hybride.

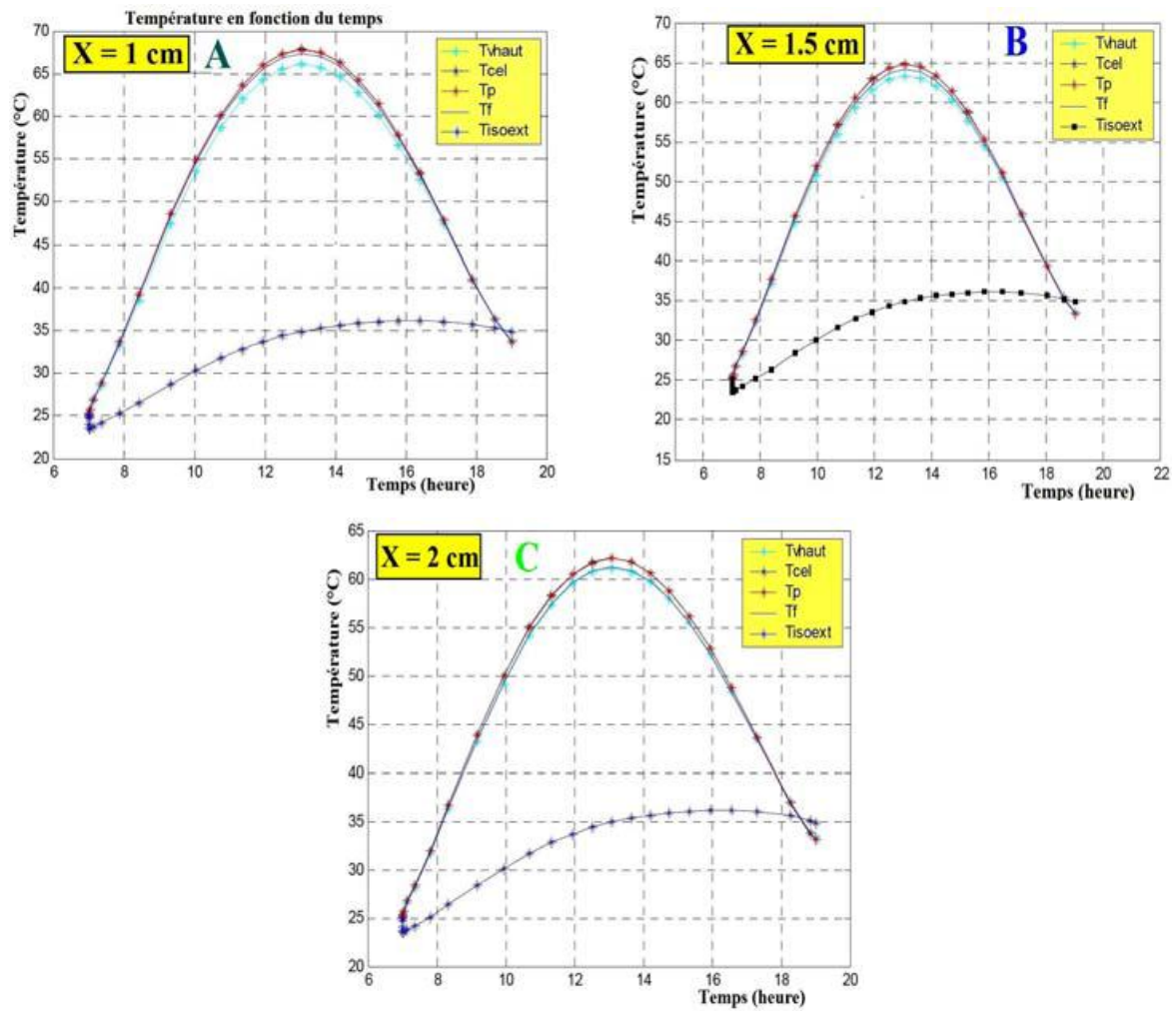


Figure.I.5 : Variations des températures de chaque couche d'un PVT

A pour $X = 1$ cm, **B** pour $X = 1.5$ cm, **C** pour $X = 2$ cm.

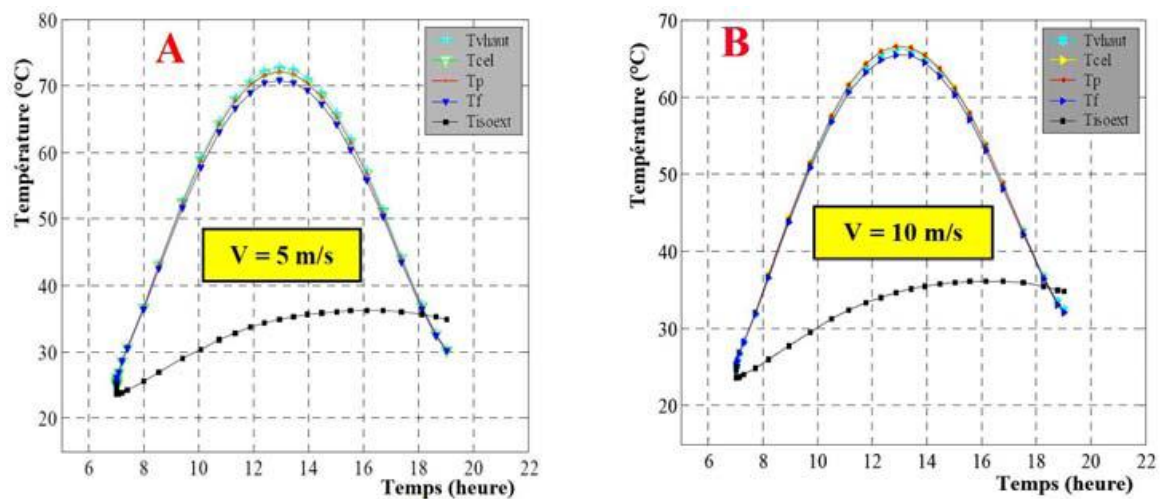


Figure.I.6 : Influence de la vitesse du vent sur l'évolution temporelle des températures du PVT

A pour $V_{vent} = 5$ m/s et **B** pour $V_{vent} = 10$ m/s.

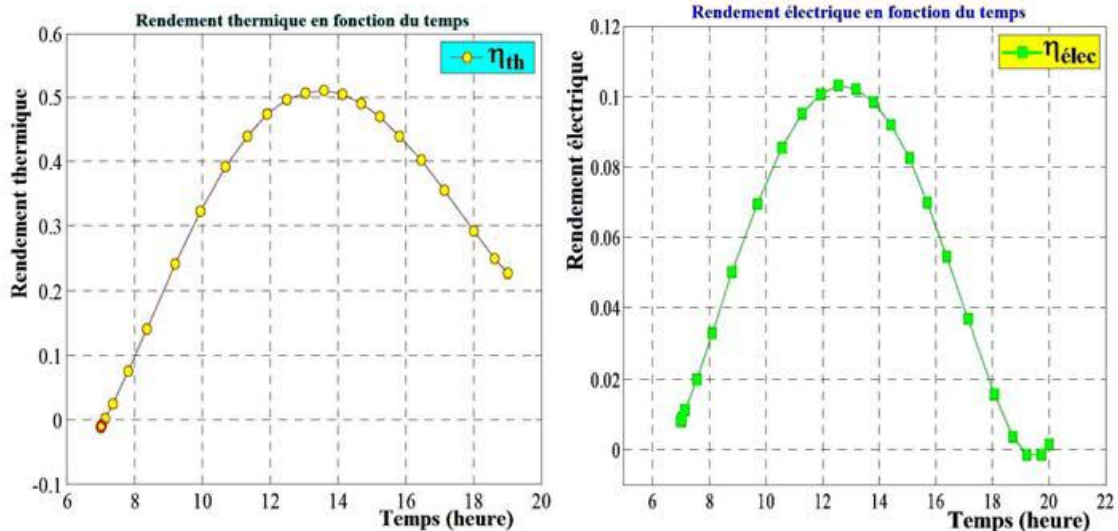


Figure.I.7 : Variation du rendement, thermique et électrique, du capteur PVT.

A partir des figures (I.5 et I.6), on remarque que lorsque l'on augmente les valeurs de X ou bien de V_{vent} légèrement, les valeurs des températures maximums de chaque couche du système sont démunies de $68\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour $X = 1\text{ cm}$, de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour $X = 2\text{ cm}$, et de $73\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour $V_{vent} = 5\text{ m/s}$, de $68\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour $V_{vent} = 10\text{ m/s}$.

Ces valeurs des températures sont liées à la température d'entrée du fluide caloporteur, et aussi avec le coefficient d'échange par convection entre le tube et le fluide d'une part, et d'autre part avec le coefficient d'échange par convection entre la couche du verre et le milieu extérieur h_c-a .

❖ Plus tard, En 2013 (H. Ben Cheikh El Hocine et M. Marir-Benabbas) [5] présentent l'étude des performances thermiques d'un capteur hybride PVT.

Un module photovoltaïque (PV) classique de technologie silicium cristallin convertit entre 12 et 18 % de l'énergie solaire incidente. Pour arriver à ce résultat, un module PV absorbe en réalité entre 80 et 90% du rayonnement incident, dont la majeure partie est dissipée sous forme de chaleur, augmentant ainsi la température interne du module.

Cette augmentation de la température réduit sensiblement les performances électriques du module.

Partant du constat que le rendement du panneau photovoltaïque décroît avec l'augmentation de la température, et que la fonction d'un capteur solaire est de transférer la chaleur captée par sa surface à un fluide caloporteur, l'idée est née d'associer ces deux technologies et d'en faire un prototype hybride nommé PV/T, qui permet à la fois de

convertir l'énergie solaire captée en électricité mais aussi de valoriser l'autre part, habituellement perdue, en chaleur.

La recherche sur les capteurs solaires a débuté dans les années 70 et a été intensifiée dans les années 80. Les capteurs hybrides utilisant de l'air et de l'eau avec absorbeur ont été évalués expérimentalement, analytiquement et économiquement. Des travaux ont été menés pendant trois ans au Massachusetts Institute of Technology. La conclusion la plus importante de ce travail affirmait que la viabilité du capteur hybride PV/T sera décidée par la capacité du système à satisfaire les charges thermiques et électriques demandées. Kern, 1978, donnent les principaux concepts de ces systèmes par l'usage d'eau ou de l'air comme fluide caloporteur. [5]

Hendrie, 1979, présente un modèle théorique sur les systèmes PV/T qui utilisent des techniques du capteur plan thermique conventionnel.

Bhargava, 1991 et Prakash, 1994 présentent les résultats de leurs travaux sur l'effet du débit et de canal d'air. Des travaux sur les performances des capteurs hybrides ont l'effet du débit et de canal d'air.

Des travaux sur les performances des capteurs hybrides ont été étudiés par Sopian, 1995 et 1996. Dans les travaux précités, le rendement thermique de ces systèmes PV/T était dans la gamme de 45 % à 65 %. On peut considérer pour les capteurs hybrides, un rendement total de conversion qui est la somme du rendement thermique et du rendement électrique.

En 2005, Zondag propose un état de l'art sur les capteurs solaires hybrides PV/T, en se basant sur le rapport du projet européen PV-catapult. Parmi les premières études recensées par Zondag, certaines mettent l'accent sur les méthodes de modélisation.

En 2007, Tripanagnostopoulos a fait l'étude de capteurs solaires hybride PVT 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. [5]

Un modèle mathématique de capteur thermique PV/T d'air à double passage avec des ailettes est proposé par Ebrahim, (2009). Chow, (2007), présentent la modélisation et une étude comparative des performances d'un capteur solaire PV/T à eau. Kribus, (2006), ont discuté la conception d'un système PV/T en utilisant un concentrateur parabolique de petite taille, leur conception de système pouvait fournir le chauffage à très haute température. [5]

L'étude expérimentale de ce nouveau collecteur a constitué une nouvelle approche technique qui a permis de maximiser la conversion totale avec un coût réduit comparé aux deux collecteurs séparément installés. Dans cet article, le concept de capteur hybride Photovoltaïque / Thermique est présenté. L'objectif de ce travail est d'étudier les performances électriques et thermiques d'un capteur hybride PV/T à eau.

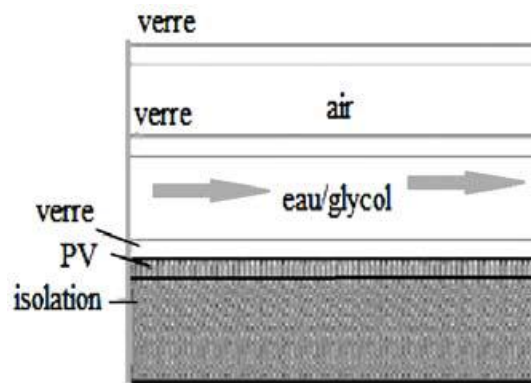


Figure.I.8 : Schéma descriptif prototype hybride PV/T à eau.

- ❖ En 2013 (Louis-Michel) [6] mènent une étude théorique et expérimentale sur les Caractérisation thermique de modules de refroidissement pour la photovoltaïque concentrée.

La concentration de la lumière augmente la température de la cellule et diminue ainsi son efficacité. Il faut donc assurer à la cellule un refroidissement efficace.

La charge thermique à évacuer de la cellule passe au travers du récepteur, soit la composante soutenant physiquement la cellule. Le récepteur transmet le flux thermique de la cellule à un système de refroidissement. L'ensemble récepteur-système de refroidissement se nomme module de refroidissement.

Habituellement, la surface du récepteur est plus grande que celle de la cellule. La chaleur se propage donc latéralement dans le récepteur au fur et à mesure qu'elle traverse le récepteur. Une telle propagation de la chaleur fournit une plus grande surface effective, réduisant la résistance thermique apparente des interfaces thermiques et du système de refroidissement en aval vers le module de refroidissement.

Actuellement, aucune installation ni méthode ne semble exister afin de caractériser les performances thermiques des récepteurs. Ce projet traite d'une nouvelle technique de caractérisation pour définir la diffusion thermique du récepteur à l'intérieur d'un module de

refroidissement. Des indices de performance sont issus de résistances thermiques mesurées expérimentalement sur les modules.

Une plateforme de caractérisation est réalisée afin de mesurer expérimentalement les critères de performance. Cette plateforme injecte un flux thermique contrôlé sur une zone localisée de la surface supérieure du récepteur. L'injection de chaleur remplace le flux thermique normalement fourni par la cellule. Un système de refroidissement est installé à la surface opposée du récepteur pour évacuer la chaleur injectée. Les résultats mettent également en évidence l'importance des interfaces thermiques et les avantages de diffuser la chaleur dans les couches métalliques avant de la conduire au travers des couches diélectriques du récepteur. Des récepteurs de multiples compositions ont été caractérisés, démontrant que les outils développés peuvent définir la capacité de diffusion thermique. La répétabilité de la plateforme est évaluée par l'analyse de l'étendue des mesures répétées sur des échantillons sélectionnés. La plateforme démontre une précision et reproductibilité de ± 0.14 °C/W.

Ce travail fournit des outils pour la conception des récepteurs en proposant une mesure qui permet de comparer et d'évaluer l'impact thermique de ces récepteurs intégrés à un module de refroidissement.

- ❖ En 2014 (OUBIRI Ahmed) [7] a fait une Simulation numérique du refroidissement de l'absorbeur d'un réfrigérateur solaire à adsorption par convection.

Les critères d'un bon refroidissement découlent des principes de transfert de chaleur autour des configurations fermée. Par conséquent pour obtenir un bon échange de chaleur dans de tels systèmes il est nécessaire de satisfaire les trois exigences suivantes :

- Un écoulement du fluide de refroidissement bien estimé (vitesse de l'écoulement, position de l'absorbeur, géométrie de l'absorbeur et enfin la température de ce comble.
- Manière de création de la turbulence de l'écoulement.
- Une grande surface d'échange. A cet effet, un système d'équation régissant le comportement thermique de l'absorbeur et les différents coefficients d'échange thermique est établi. Une simulation mathématique nous a permis d'obtenir des résultats représentés graphiquement, suivi par une analyse et une interprétation, en plus d'une conclusion générale et des recommandations.

Le présent travail s'intéresse donc à l'étude du refroidissement par air sur une cylindre coaxial en aluminium, configuration dont les résultats ont été à la base du progrès réalisé en matière de refroidissement des absorbeurs à adsorption.

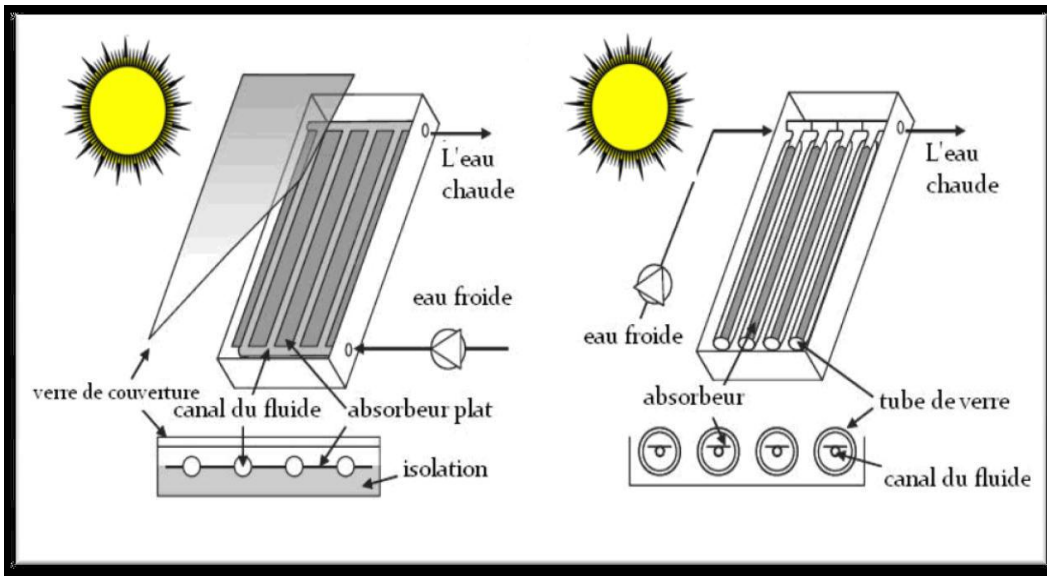


Figure.I.9 : Schémas de refroidissement des panneaux solaires plans.

I.6. Conclusion :

On conclut que à partir de ces recherches bibliographiques, on a deux types de refroidissement des panneaux photovoltaïques, refroidissement avec l'air et refroidissement avec l'eau.