

Conception et réalisation des capteurs hybrides photovoltaïque-thermiques sous vide ou avec lame d'air confinée

Yawovi NOUGBLEGA^{1*}, Jean Christophe DUPRE², Kossi ATCHONOUGLO¹,
Arnaud GERMANEAU², Fanck HESSER², Magolmèèna BANNA¹, Kossi NAPO³, Jamal CHAOUFI⁴,
Claude VALLEE² et Alain STRABONI⁵

¹Laboratoire Sur l'Energie solaire -Groupe Phénomènes de Transferts et Energétique de
l'Université de Lomé, Togo

²Axe PEM, Dept, GMSC de l'institut P prime de l'Université de Poitiers

³Laboratoire Sur l'Energie solaire Chaire UNESCO des Energies Renouvelables de l'Université de Lomé

⁴Faculté Des Sciences, Département de Physique. Cité Dakhla. BP 8016, 80000 Agadir, Maroc

⁵Société S'TILLE de Pôle Technologie de l'Université de Poitiers

* Correspondance, courriel : nycogl@yahoo.fr

Résumé

Cette étude fait l'analyse des performances thermiques et électriques de deux types de capteurs solaires hybrides photovoltaïque-thermiques à air intégrables en toitures des bâtiments. Pour ces capteurs hybrides, les cellules PV sont isolées soit avec une lame d'air confinée ou soit avec un gap vide. La modélisation des transferts de chaleur dans les systèmes est effectuée en 2D et en régime transitoire, suivant l'approche nodale. Le code numérique développé a été validé et a permis d'analyser les comportements thermiques ainsi que les efficacités thermique et électrique des capteurs. L'optimisation des paramètres fonctionnels est ensuite effectuée et présentée.

Mots-clés : *énergie solaire, cellules photovoltaïques, capteurs solaires hybrides (PV/T), transferts thermiques.*

Abstract

Conception and realization of hybrid photovoltaic thermal collectors with empty gap or with enclosed air cavity

The present work reports thermal and electrical efficiencies for two solar hybrid photovoltaic-thermal air collectors integrated into the roof of the buildings. In these hybrid collectors, the PV cells are insulated with the enclosed air film or with the empty gap cavity. The unsteady and two-dimensional heat transfer equations are proposed and these equations are discretized using nodal method. The numerical model developed is validated. Then thermal and electrical efficiencies are analyzed for the collectors. The optimization of the characteristics parameters is studied in detail.

Keywords : *solar energy, photovoltaic cells, hybrid solar collector, heat transfer, nodal method.*

Nomenclature

C_p :	La capacité calorifique, $J.Kg^{-1}.K^{-1}$
D :	Débit massique d'air, KgS^{-1}
e_{EVA} :	Epaisseur de l'Ethyle Vinyle Acétate, m
e_{isol} :	Epaisseur de l'isolant, m
e_{Al} :	Epaisseur de la plaque d'aluminium, m
e_{Eb} :	Epaisseur de la lame d'air confinée, m
e_{PV} :	Epaisseur de la cellule PV, m
e_v :	Epaisseur de la vitre, m
e_f :	Epaisseur de la lame d'air, m
U_f :	La vitesse de l'air en écoulement, m/s
G :	Le coefficient de conduction de la chaleur, $Wm^{-2}.K^{-1}$
h :	Le coefficient de convection, $Wm^{-2}.K^{-1}$
L :	Longueur du capteur, m
Y :	Ordonnée, m
T_{PV} :	Température de la cellule PV, K
T_f :	Température du fluide (air), K
T_{EVA} :	Température de l'EVA, K
T_a :	Température ambiante, K
T_{isol} :	Température de l'isolant, K
T_{fb} :	Température de la boucle d'air enfermée, K
T_s :	Température de sortie de l'air du capteur, K
T_e :	Température d'entrée de l'air dans le capteur, K
T_{PAL} :	Température de la plaque d'aluminium, K
T_{as} :	Température ambiante, K
T_{ai} :	Température ambiante, K
T_{ciel} :	Température du ciel, K
Lettres grecques	
η_{el} :	Rendement électrique du capteur (-)
η_{th} :	Rendement thermique du capteur (-)
Ψ :	Largeur du capteur, m
Φ :	Densité de flux de rayonnement, Wm^{-2}
θ :	Angle d'inclinaison, °
α :	Coefficient d'absorption
τ :	Coefficient de transmission
ρ :	Densité du fluide, $Kgdm^{-3}$
Indices / Exposants	
el :	Electrique
th :	Thermique
PAL :	plaque d'aluminium

V :	Vitre
F :	Fluide caloporteur
EVA :	Ethyle Vinyle Acétate
Isol :	Isolant
b :	Lame d'air enfermée
sV :	Sous vide
av :	Avant
ap :	Après
ext :	Extérieure
int :	Intérieure
r :	Rayonnement
ai :	Ambiant
as :	Ambiant
C :	Convection

1. Introduction

La présente étude s'inscrit particulièrement dans un contexte de réduction des consommations énergétiques dans le secteur du bâtiment. L'objectif principal est de concevoir et d'analyser les performances thermiques et électriques des capteurs solaires hybrides photovoltaïque-thermiques à air pouvant être intégrés à la toiture des bâtiments. En effet, depuis quelques décennies, les recherches se sont accentuées sur les composants Photovoltaïques hybrides PV/T, en valorisant la portion de l'énergie solaire recueillie qui n'est pas convertie en électricité par les composants photovoltaïques [1]. Ces composants PV/T sont des capteurs solaires bifonctionnels pouvant fournir simultanément non seulement de l'énergie électrique, mais aussi de l'énergie thermique adaptée pour les besoins énergétiques dans le bâtiment. Pour la majorité des composants étudiés, l'énergie thermique est récupérée sur la face arrière de cellules PV par un fluide caloporteur (air ou eau). En 1998, [2] présente l'étude expérimentale d'un capteur solaire PV à air composé d'un bardage métallique nervuré et perforé sur lequel sont collés des modules PV. [3] compare en 2000, les performances thermiques et électriques de quatre capteurs solaires PV/T hybrides à air différenciés par le mode de refroidissement mécanique des modules PV au-dessus, en dessous, de part et d'autre de l'absorbeur, et par double circulation d'air.

En 2006, [4] présentent l'étude théorique et expérimentale d'un capteur solaire PV/T à air. Ce composant est constitué de deux modules PV connectés en série et montés sur une couche isolante non-corrosive de Tedlar. Une lame d'air isolée à l'aide d'une couche de bois permettant la ventilation naturelle ou forcée des modules PV en sous-face. En général pour les études retrouvées dans la littérature, les cellules photovoltaïques sont placées au niveau de l'absorbeur thermique. Plusieurs composants PV-T avec collecteur d'air ou d'eau ont été récemment étudiés. La modélisation d'un capteur hybride PV/T à air et pouvant être intégré comme élément de toiture ou de façade a été proposée par [5]. Dans le même temps, [6] ont développé deux composants PV/T hybrides. L'un sur la base de systèmes PV intégrés sur une peau métallique qui permet à la fois un préchauffage d'air et une production de chaleur sur l'eau. Les études citées ci-dessus ont toutes permis de conclure que le couplage permet d'améliorer les performances globales de ce type de système, malgré la persistance de certaines limites. L'un des verrous généralement constaté est que l'énergie solaire incidente n'est pas nécessairement bien corrélée avec les besoins de chauffage du bâtiment. Ainsi, un moyen de stockage est nécessaire.

Ce constat est confirmé par des études menées par [7,8]. Cependant, peu de travaux ont étudié l'influence de la position du moyen de stockage sur les performances du système. Dans cette optique d'idées, [9] ont étudié la performance d'un système couplant une PAC eau/eau avec un capteur hybride PV-T. Dans leur étude, ils ont montré que le rafraîchissement du capteur PV ne se fait que si l'ensoleillement incident dépasse 40 W/m^2 en cas de circulation d'air sous le capteur. Ainsi, la combinaison de plusieurs sources d'énergies renouvelables permet d'optimiser au maximum les systèmes de production d'électricité, aussi bien du point de vue technique qu'économique. Le capteur hybride photovoltaïque-thermique (PV/T) convertit l'énergie solaire en chaleur et en électricité. [10] ont fait une étude des performances électriques et thermiques d'un capteur hybride à travers l'élaboration d'un bilan thermique qui fait intervenir les échanges thermiques entre les différents composants du capteur hybride. Les résultats obtenus permettent de penser que ce type de collecteur constitue une bonne alternative aux modules photovoltaïques et aux capteurs thermiques classiques séparément installés. D'autre part une étude de l'influence des paramètres externes et internes sur le capteur hybride photovoltaïque- thermique (PV/T) a été menée par [11]. Les résultats de leur étude montrent que le capteur solaire hybride photovoltaïque- thermique transforme à la fois l'énergie solaire en une énergie électrique et en une énergie calorifique. La production de cette énergie dépend de plusieurs paramètres internes et externes: le rayonnement solaire, la vitesse du vent, la température ambiante et la température du fluide caloporteur.

Toutefois, la revue bibliographique montre que des études effectuées sur des capteurs hybrides photovoltaïque-thermiques avec lame d'air confinée ou sous vide sont presque inexistantes dans la littérature. Il est donc indispensable d'explorer et d'évaluer les performances thermiques et électriques de ces nouvelles innovations de capteurs solaires hybrides photovoltaïque-thermiques à air sous vide ou avec lame d'air confinée pouvant être intégrés à la toiture des bâtiments. Dans cet article, nous proposons la modélisation d'un capteur solaire PV/T hybride à air, dans lequel il existe entre les cellules photovoltaïques et une plaque de verre protectrice une lame d'air confinée ou du vide. Le modèle de transferts dans les capteurs PV/T proposés est un modèle 2D en régime transitoire traduisant l'essentiel des transferts thermiques le long du canal et en différents éléments du capteur. Les résultats du code numérique développé sont validés à partir des données des travaux numériques de Ruben LALOMIA [12] en conditions d'ensoleillement contrôlées.

2. Méthodologie

2-1. Présentation des modèles physiques

Les capteurs (*Figure 1*) sont constitués : d'un vitrage de protection, des cellules PV, d'une couche d'Ethyle Vinyle Acétate (EVA), d'une plaque interne d'aluminium, d'une plaque d'isolation (le polystyrène expansé), d'une plaque externe d'aluminium, et d'air comme fluide caloporteur. Ils se différencient par l'existence d'un vide créé au niveau du premier entre le vitrage et les cellules photovoltaïques et dans le second par le confinement d'une lame d'air.

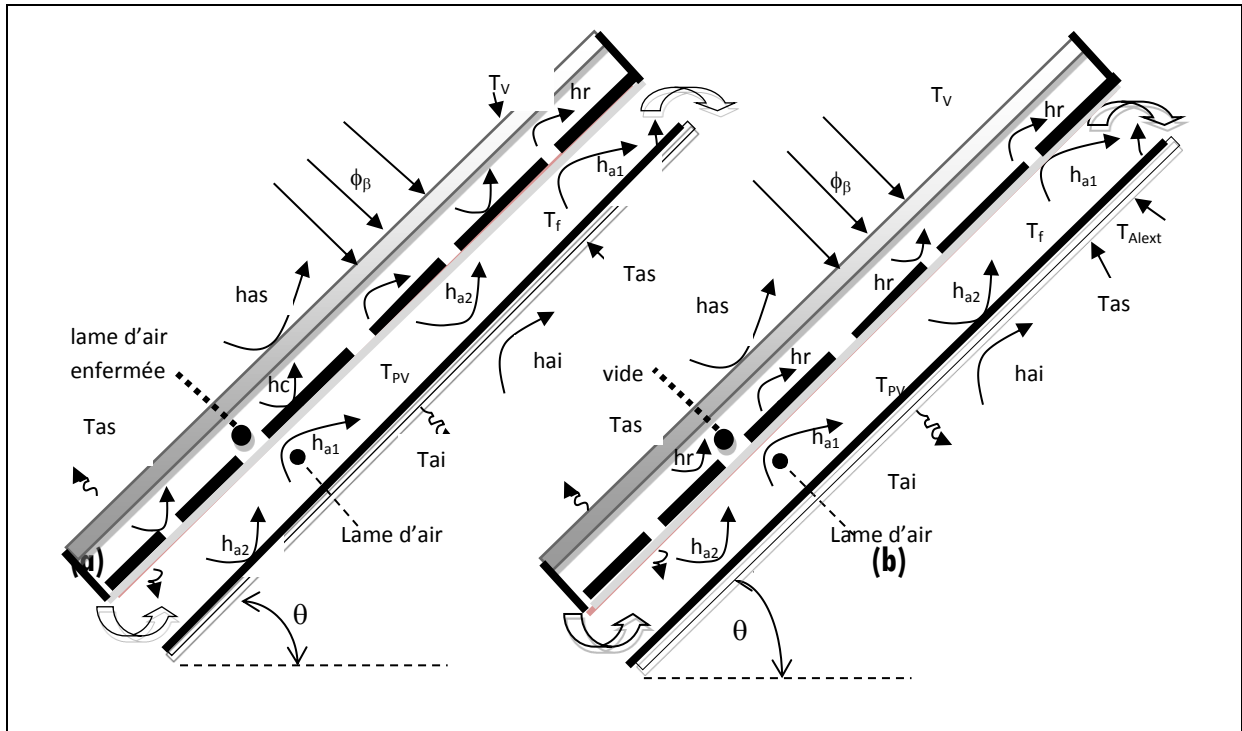


Figure 1 : *Capteur hybride photovoltaïque-thermique avec lame d'air enfermée (a) et sous vide (b)*

2-2. Théorie

Le modèle de transferts dans le capteur PV/T adopté est un modèle 2D en régime transitoire traduisant l'essentiel des transferts thermiques le long du canal et en différents éléments du capteur. Les équations de transfert de chaleur sont écrites au niveau de chaque élément constitutif du capteur considéré. Chaque élément est subdivisé en deux nœuds isothermes identiques. La notion de contact parfait est prise en compte pour des éléments adjacents. Les équations sont écrites en considérant les hypothèses simplificatrices suivantes :Le fluide caloporteur est supposé être un gaz parfait et incompressible; les propriétés thermo-physiques des matériaux sont supposées constantes et indépendantes de la température; le rayonnement solaire non converti en électricité est absorbé par les cellules PV sous forme de chaleur ;les multiples réflexions et transmissions du rayonnement solaire entre les composants solaires (en particulier entre les cellules photovoltaïques et le vitrage sont négligeables ; la température ambiante est supposée constante ; et l'ensoleillement est supposé uniforme sur toutes les surfaces des capteurs. Les équations de transfert d'énergie pour les éléments du capteur avec lame d'air confinée sont écrites à partir du schéma électrique analogique. A chaque élément constitutif du capteur hybride, sont associés deux nœuds pour lesquels les bilans thermiques sont réalisés. Les équations obtenues sont ensuite discrétisées dans la direction transverse à l'écoulement du fluide caloporteur par la méthode implicite des différences finies.

2-3. Equations de transferts

2-3-1. Face extérieure de la vitre

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_V(\rho C p)_V}{dt} + h_{rV,ciel} + h_{cV,air} + h_{rV,sol} + G_V \right] T_{vext,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_V(\rho C p)_V}{dt} \right] T_{vext,j}^0 + h_{rV,ciel} T_{Ciel,j}^k + h_{cV,air} T_{a,j}^k + h_{rV,sol} T_{Sol,j}^k + G_V T_{vint,j}^k + \alpha_V \phi_\beta \quad (1)$$

2-3-2. Face intérieure de la vitre

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_V(\rho C p)_V}{dt} + G_V + h_{cVint,fb} + h_{rVint,PV} + h_{rVint,EVA} \right] T_{vint,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_V(\rho C p)_V}{dt} \right] T_{vint,j}^0 + G_V T_{vext,j}^k + h_{rVint,PV} T_{avPV,j}^k + h_{rVint,EVA} T_{avEVA,j}^k \quad (2)$$

2-3-3. Lame d'air confinée

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_{fb}(\rho C p)_{fb}}{dt} + \frac{1}{2} \frac{e_{fb}(\rho C p)_{fb} U_{fb}}{\Delta y} + h_{cVint,fb} + h_{c,fb} \right] T_{avfb,j}^k + h_{cVint,fb} T_{vint,j}^k + h_{c,fb} T_{apfb,j}^k + \left[\frac{1}{2} \frac{e_f(\rho C p)_f}{dt} \right] T_{avfb,j}^0 + \frac{1}{2} \frac{e_f(\rho C p)_{fUf}}{\Delta y} T_{avfb,j-1}^k \quad (3)$$

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_{fb}(\rho C p)_f}{dt} + \frac{1}{2} \frac{e_{fb}(\rho C p)_{fUf}}{\Delta y} + h_{cPV,fb} + h_{c,fb} + h_{cEVA,fb} \right] T_{apfb,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_{fb}(\rho C p)_f}{dt} \right] T_{apfb,j}^0 + \frac{1}{2} \frac{e_{fb}(\rho C p)_{fUf}}{\Delta y} T_{apfb,j-1}^k + h_{cEVA,fb} T_{avEVA,j}^k + h_{c,fb} T_{apfb,j}^k \quad (4)$$

2-3-4. Cellules PV

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_{PV}(\rho C p)_{PV}}{dt} + G_{PV} + h_{rPV,Vint} + h_{cPV,fb} \right] T_{avPV,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_{PV}(\rho C p)_{PV}}{dt} \right] T_{avPV,j}^0 + [(\tau_V \alpha_{PV} - \eta_{PV}) + \alpha_V] \phi_\beta + h_{rPV,Vint} T_{vint,j}^k + h_{cPV,fb} T_{apfb,j}^k + G_{PV} T_{apPV,j}^k \quad (5)$$

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_{PV}(\rho C p)_{PV}}{dt} + G_{EVA,PV} + G_{PV} \right] T_{apPV,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_{PV}(\rho C p)_{PV}}{dt} \right] T_{apPV,j}^0 + [(\tau_V \alpha_{PV} - \eta_{PV}) + \alpha_V] \phi_\beta + G_{PV} T_{avPV,j}^k + G_{EVA,PV} T_{appvEVA,j}^k \quad (6)$$

2-3-5. Couche EVA

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_{EVA}(\rho Cp)_{EVA}}{dt} + G_{EVA,PV} + G_{EVA} + h_{cEVA,fb} + h_{rEVA,vint} \right] T_{avEVA,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_{EVA}(\rho Cp)_{EVA}}{dt} \right] T_{avEVA,j}^k + G_{EVA,Al} T_{Al,j}^k + G_{EVA,PV} T_{appV,j}^k + h_{rEVA,vint} T_{vint,j}^k + h_{cEVA,fb} T_{apfb,j}^k \quad (7)$$

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_{EVA}(\rho Cp)_{EVA}}{dt} + G_{EVA,Al} + G_{EVA} \right] T_{apEVA,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_{EVA}(\rho Cp)_{EVA}}{dt} \right] T_{apEVA,j}^0 + G_{EVA,Al} T_{avAl,j}^k + G_{EVA,PV} T_{appV,j}^k \quad (8)$$

2-3-6. Plaque interne d'aluminium

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_{Al}(\rho Cp)_{Al}}{dt} + G_{EVA,Al} + G_{Al} \right] T_{avAl,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_{Al}(\rho Cp)_{Al}}{dt} \right] T_{avAl,j}^0 + G_{EVA,Al} T_{apEVA,j}^k + G_{Al} T_{apAl,j}^k \quad (9)$$

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_{Al}(\rho Cp)_{Al}}{dt} + G_{Al} + h_{cAl,f} + h_{rAl,Is} \right] T_{apAl,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_{Al}(\rho Cp)_{Al}}{dt} \right] T_{apAl,j}^0 + h_{cAl,f} T_{avf,j}^k + G_{Al} T_{avAl,j}^k + h_{rAl,Is} T_{avIs,j}^k \quad (10)$$

2-3-7. Fluide caloporteur (air)

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_f(\rho Cp)_f}{dt} + \frac{1}{2} \frac{e_f(\rho Cp)_{fUf}}{\Delta y} + h_{1Al,f} + h_{cf} \right] T_{avf,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_f(\rho Cp)_f}{dt} \right] T_{avf,j}^0 + \frac{1}{2} \frac{e_f(\rho Cp)_{fUf}}{\Delta y} T_{avf,j-1}^k + h_{1Al,f} T_{apAl,j}^k + h_{c,f} T_{apf,j}^k \quad (11)$$

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_f(\rho Cp)_f}{dt} + \frac{1}{2} \frac{e_f(\rho Cp)_{fUf}}{\Delta y} + h_{1Al,f} + h_{cf} \right] T_{apf,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_f(\rho Cp)_f}{dt} \right] T_{apf,j}^0 + h_{2Is,f} T_{avIs,j}^k + h_{c,f} T_{avf,j}^k + \frac{1}{2} \frac{e_f(\rho Cp)_{fUf}}{\Delta y} T_{apf,j-1}^k \quad (12)$$

2-3-8. Isolant thermique

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_{Is}(\rho Cp)_{Is}}{dt} + G_{Is} + h_{2Is,f} + h_{rIs,Al} \right] T_{avIs,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_{Is}(\rho Cp)_{Is}}{dt} \right] T_{avIs,j}^0 + h_{2Is,f} T_{apf,j}^k + h_{rIs,Al} T_{apAl,j}^k \quad (13)$$

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_{Is}(\rho Cp)_{Is}}{dt} + G_{Is} + G_{Is,Al} \right] T_{apIs,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_{Is}(\rho Cp)_{Is}}{dt} \right] T_{apIs,j}^0 + G_{Is} T_{avIs,j}^k + G_{Is,Al} T_{avAext,j}^k \quad (14)$$

2-3-9. Plaque d'aluminium extérieure

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_{Al}(\rho Cp)_{Al}}{dt} + G_{Is,Al} + G_{Al} \right] T_{avAext,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_{Al}(\rho Cp)_{Al}}{dt} \right] T_{avAext,j}^0 + G_{Is,Al} T_{apIs,j}^k + G_{Al} T_{apAext,j}^k \quad (15)$$

$$\left[\frac{1}{2} \frac{e_{Al}(\rho Cp)_{Al}}{dt} + h_{ai} + G_{Al} + h_{rAl,Ciel} + h_{rAl,Sol} \right] T_{apAext,j}^k = \left[\frac{1}{2} \frac{e_{Al}(\rho Cp)_{Al}}{dt} \right] T_{apAext,j}^0 + G_{Al} T_{avAext,j}^k + h_{ai} T_a^k + h_{rAl,Ciel} T_{Ciel,j}^k + h_{rAl,sol} T_{Sol,j}^k \quad (16)$$

Les équations de transferts discrétisées du capteur sous vide peuvent être facilement déduites de celles du capteur avec lame d'air confinée en ôtant simplement la lame d'air confinée dans l'analogie électrique du capteur avec lame d'air confinée.

3. Résultats et discussion

Les valeurs suivantes des paramètres sont utilisées pour simuler les comportements thermiques des collecteurs : $D=0.5 \text{Kg.s}^{-1}$, $e_{pv}=200 \mu\text{m}$, $e_{EVA}=5.10^{-4} \text{m}$, $e_{Al}=2.10^{-3} \text{m}$, $e_v=4.10^{-3} \text{m}$, $e_{isol}=5.10^{-2} \text{m}$, $e_f=5.10^{-2} \text{m}$, $e_{fb}=2.10^{-2} \text{m}$, $L=1 \text{m}$, $\Psi/L=50\%$ et $Y/L=50\%$. Le débit d'air en écoulement est calculé en tenant compte de la vitesse et de la section de l'écoulement ($D = \rho_f L U_0$). La simulation a permis de calculer l'évolution des températures des différents éléments des capteurs ainsi que des rendements thermiques et électriques des capteurs hybrides étudiés. Il ressort des **Figures 2, 3** que les cellules PV sont les éléments les plus chauffés alors que la plaque en aluminium extérieure isolée thermiquement est l'élément relativement le moins chauffé quel que soit l'intensité de l'éclairement. En comparant les performances des deux types de capteur, on observe que les températures des éléments du capteur hybride Photovoltaïque-Thermique à air sous vide sont plus élevées que les températures des éléments du capteur à air avec une lame d'air confinée. Ce dernier type de capteur isole thermiquement beaucoup plus les cellules PV que dans le capteur hybride Photovoltaïque-Thermique à air sous vide.

Les **Figures 2, 3** montrent que le capteur sous vide est thermiquement plus performant que le capteur avec lame d'air confinée. L'évolution des températures de tous les éléments des capteurs atteignent le régime permanent au bout d'une heure d'exposition pour une densité de flux solaire de 1000Wm^{-2} (**Figure 4**).

3-1. Validation du code de calcul

Nous avons validé notre code de calcul avec un travail similaire effectué dans les mêmes conditions que Ruben LALOMIA [12]. Le système étudié est composé d'un module PV et de l'eau / glycol stockée dans un double vitrage. Une troisième vitre extérieure est séparée des deux autres par une couche d'air, afin de capter et de conserver la chaleur par « effet de serre ». L'assemblage de ces couches est parfaitement isolé sur les côtés. Comme le montre les (**Figures 4a, 4b**), nos résultats sont parfaitement cohérents avec ses résultats à 1.7% près d'erreur.

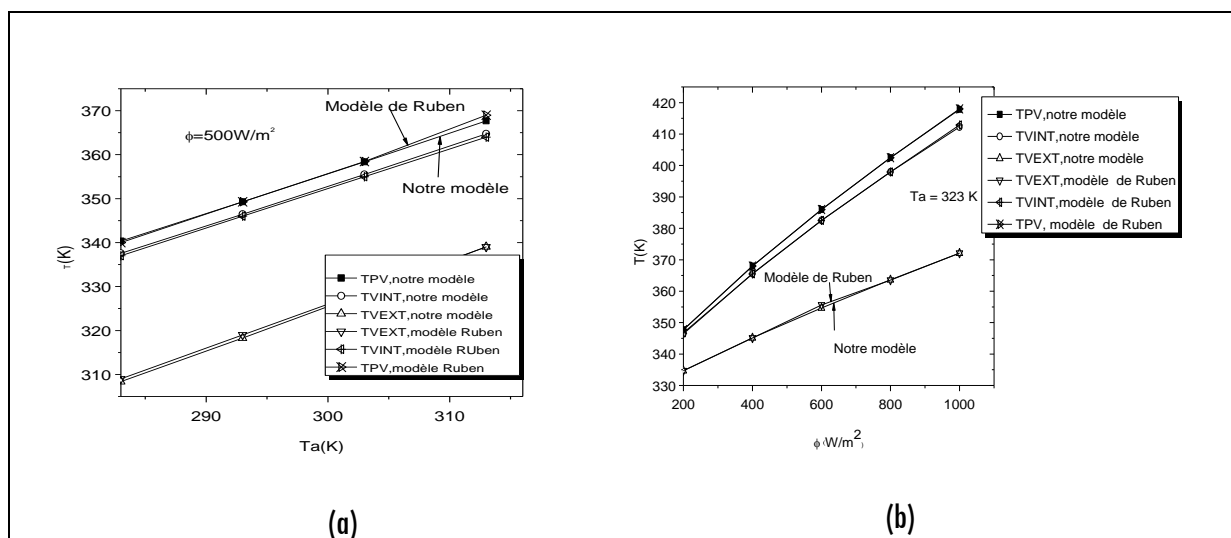


Figure 2 : Courbe de validation de température en fonction de la température ambiante (a) et du flux de rayonnement (b)

3-2. Influence du rayonnement solaire et du débit d'air en écoulement

L'étude de sensibilité des paramètres opératoires tels que le débit et l'ensoleillement a été effectuée. Les **Figures 3, 4** montrent que pour les deux types de capteurs, les températures des éléments des capteurs augmentent sensiblement avec la densité du flux de rayonnement solaire incident alors qu'elles diminuent pour des débits d'air plus grands. Par contre, comme le montre la **Figure 4b**, quel que soit le type de capteur, les rendements thermiques décroissent avec le débit d'air alors que les rendements électriques des cellules PV augmentent en corrélation avec la diminution des températures. Dans ces conditions, pour avoir à la fois un bon rendement thermique et électrique des capteurs, il suffirait d'utiliser un petit ventilateur alimenté par l'énergie électrique produite par les cellules photovoltaïques.

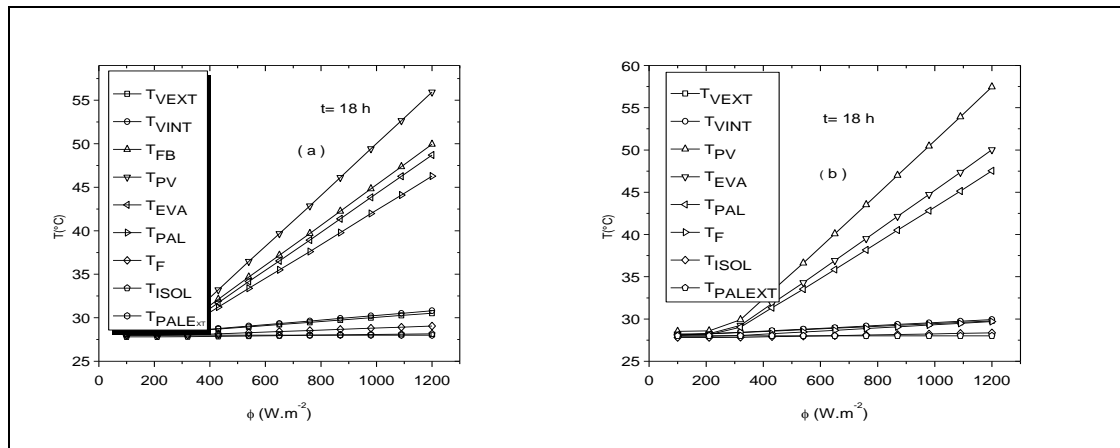


Figure 3 : Influence du flux de rayonnement solaire sur la température des éléments du (a) : capteur avec lame d'air confinée, (b) : sous vide

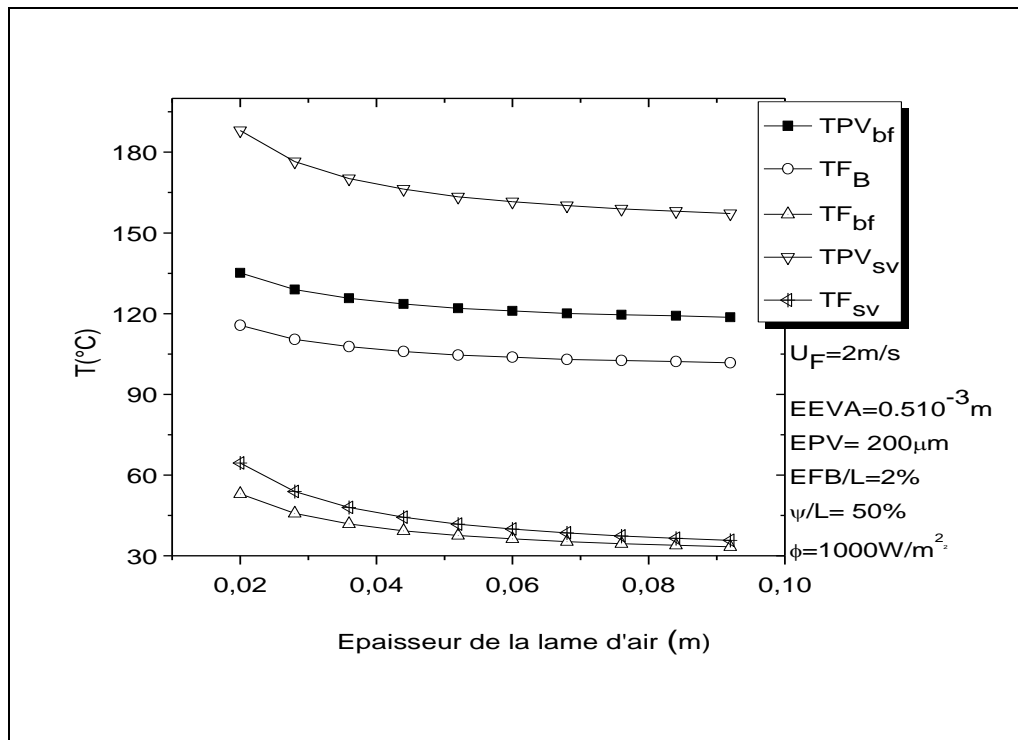


Figure 4 : Influence de l'épaisseur de la lame d'air (e_f) sur la température des éléments des capteurs avec lame d'air confinée ou sous vide

A une vitesse et un flux de rayonnement solaire donnés, la température des éléments des capteurs sollicités thermiquement subissent une décroissance en fonction de l'épaisseur de la lame d'air (e_f) en écoulement. Quelle que soit l'épaisseur du fluide caloporteur considéré dans l'étude, la **Figure 4** montre clairement que les cellules solaires, l'air en circulation en dessous de la plaque d'aluminium interne sont plus chauffés dans le cas du capteur sous vide que ceux du capteur avec la lame d'air confinée. Plus l'épaisseur de la lame d'air est importante plus les cellules solaires se refroidissent et par conséquent le capteur avec la lame d'air enfermée devient de plus en plus électriquement performant.

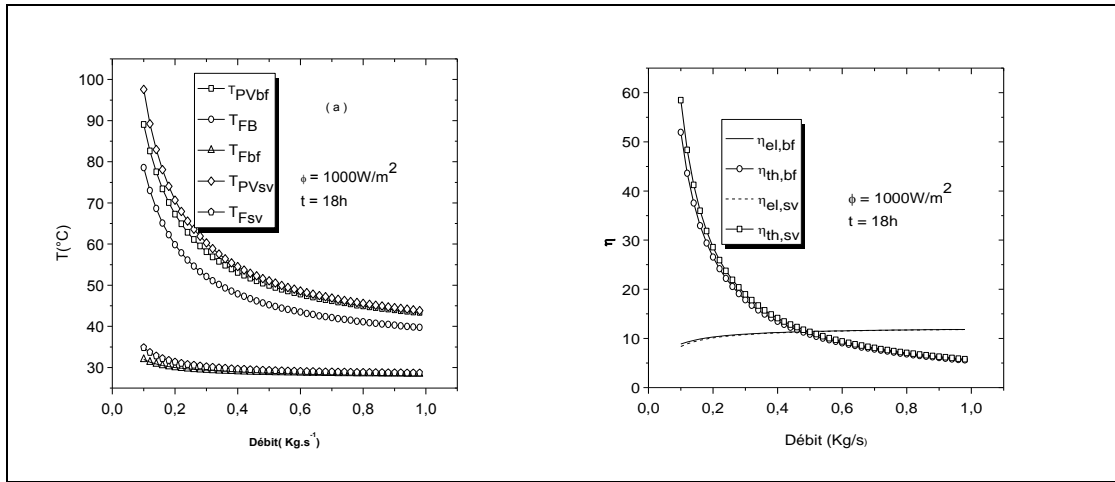


Figure 5 : Influence du débit d'air en écoulement : (a) sur la température des éléments et : (b) des rendements électrique et thermique des capteurs

3-3. Optimisation des paramètres fonctionnels des capteurs

L'étude de sensibilité a montré que certains paramètres comme l'épaisseur de la plaque d'aluminium et celle de la vitre ont peu d'influence sur les transferts. La sensibilité des paramètres opératoires de forme a permis de dégager des valeurs optimales suivantes : $e_{pv} = 200 \mu\text{m}$, $e_{EVA} = 5.10^{-4} \text{ m}$, $e_{Al} = 2.10^{-3} \text{ m}$, $e_v = 4.10^{-3} \text{ m}$, $e_f = 5.10^{-2} \text{ m}$, $L = 1 \text{ m}$, $\psi/L = 50\%$. Pour ces valeurs géométriques, l'optimisation a permis de montrer que lorsque les valeurs du débit d'air sont comprises entre : $0,005 \text{ Kg/s} \leq D \leq 0,01 \text{ Kg/s}$ les capteurs sont thermiquement performants ; puisque les températures atteignent des valeurs très élevées (Figure 5a) réduisant ainsi les rendements électriques (Figure 5b). Tandis que pour les valeurs du débit d'air comprises entre : $0,5 \text{ Kg/s} \leq D \leq 1 \text{ Kg/s}$, comme le montre la Figure 6b, les cellules photovoltaïques se refroidissent davantage dans les capteurs et permettent d'obtenir par conséquent de bon rendement électrique.

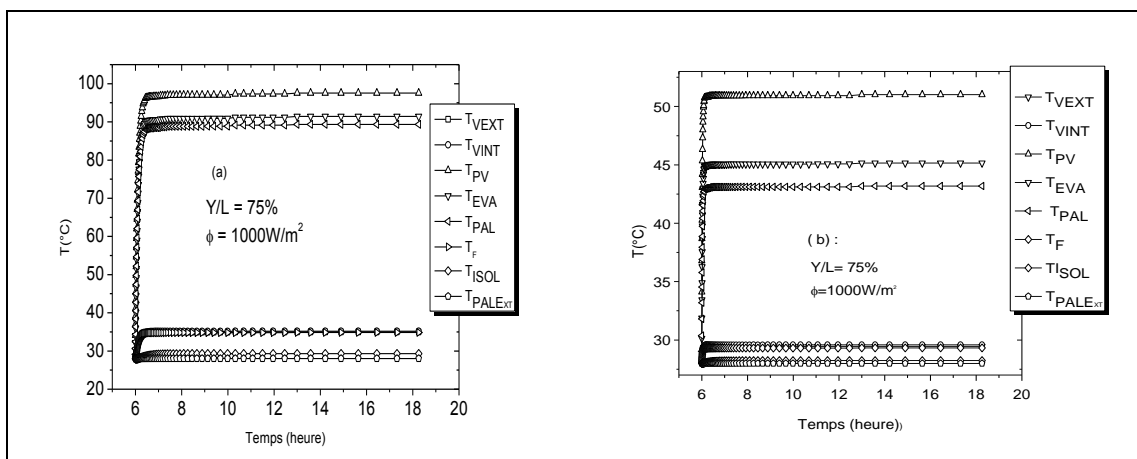


Figure 6 : Températures optimales des éléments dans le capteursous vide (a) : $0,005 \text{ Kg/s} \leq D \leq 0,01 \text{ Kg/s}$ (b) : $0,5 \text{ Kg/s} \leq D \leq 1 \text{ Kg/s}$

4. Conclusion et perspectives

L'étude menée a permis de faire l'état des lieux de la conception des capteurs hybrides photovoltaïque-thermiques. Notre étude a montré que les cellules solaires sont les éléments les plus surchauffés dans un capteur donné quelle que soit la position ou l'environnement des cellules photovoltaïques. La boucle d'air confinée isole thermiquement les cellules PV et accroît le rendement électrique des cellules PV. Le capteur hybride photovoltaïque-thermique sous vide est thermiquement plus performant que le capteur hybride photovoltaïque-thermique avec lame d'air confinée. Un débit optimal maintenu par un ventilateur permet aussi de le rendre électriquement performant. En perspective, l'étude sera complétée par des séries de mesures in situ des prototypes de capteurs hybrides photovoltaïque-thermiques sous vide à réaliser et à installer aussi bien à Poitiers, qu'à Agadir et à Lomé afin d'observer le comportement thermique du capteur hybride en phase d'intégration à la toiture d'un bâtiment tertiaire.

Remerciements

Ce travail est effectué dans le cadre d'un projet de recherche financé par l'AUF et mené en collaboration avec les Universités de : Poitiers (France), Agadir (Maroc) et de Lomé (Togo).

Références

- [1] - CHRISTOPHE MENEZO, MARCO FOSSA, HERVE PABIOU, STEPHANIE GIROUX-JULIEN, MOHAMED AMARA, VICTORIA TIMCHENKO, GIOVANNI TANDA. Optimisation des échanges convectifs pour l'intégration de composants photovoltaïques au sein du cadre bâti et la conception de nouveaux capteurs solaires hybrides photovoltaïque-thermiques. CIFEM 2010-ART-6-164.
- [2] - J. C. HOLLICK, Solar cogeneration panels, *Renewable Energy*, (1998), 195-200.
- [3] - A. A. HEGAZY, Comparative study of the performances of four photovoltaic/thermal solar air collectors, *Energy Conversion and management*, (2000), 861-881.
- [4] - A. TIWARI, M. S. SODHA, A. CHANDRA, et al., Performance evaluation of photovoltaic / thermal solar air collector for composite climate of India, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, (2006), 175-189.
- [5] - A. GUIAVARCH, Study for the improvement of the building environmental quality by integration of solar components. University of Pontoise, Cergy-Pontoise, pp.1-311, 2003.
- [6] - Y. B. ASSOA, C. MÉNÉZO, G. FRAISSE, R. YÉZOU, J. BRAU, Study of a new concept of photovoltaic-thermal hybrid collector, *Solar Energy*, (2005), Vol.81, n°9, p.1132-1143.
- [7] - H. BEN NEJMA, A. GUIAVARCH, « Performance Evaluation of an Airto- water Heat Pump Coupled with a PV-T Collector as Air Pre-heater », Conference SSB 2010, Liege.
- [8] - B. FILLIARD, A. GUIAVARCH, M. JABBOUR, "Simulation of the Thermal Interaction between a Building Integrated Photovoltaic Collector and an Air source Heat Pump", Conference CISBAT 2009, Lausanne.
- [9] - HACHEM BEN NEJMA, ALAIN GUIAVARCH, « Etude de la performance d'un système couplant une PAC eau/eau avec un capteur hybride PV-T. », XXX^e Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 6 au 8 juin 2012.
- [10] - H. BEN CHEIKH EL HOCINE and M. MARIR-BENABBAS, « Etude des performances électriques et thermiques d'un capteur hybride PVT ». *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 16 N°2 (2013) 257-268.
- [11] - A. KHELIFA et K. TOUAFEK, « Etude de l'influence des paramètres externes et internes sur le capteur hybride photovoltaïque thermique (PVT) ». *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 15 N°1 (2012) 67-75.
- [12] - RUBEN LALOMIA. « Pré-étude d'un système couplé Photovoltaïque/Thermique », Rapport de stage effectué du 05/04/2010 au 04/06/2010, Université Joseph Fourier. Sciences Technologie, Santé. On line www.google.fr.