



Optimisation du rendement d'un Capteur Hybride Photovoltaïque Thermique à air

K. SAHLAOU ^(1, 2), S. Ben MABROUK ⁽²⁾

1- Département de Physique ; Faculté des Sciences de Tunis. Campus Univ. Tunis El Manar.

2- Centre de Recherches et des Technologies de l'Energie. CRTEn.

Laboratoire L.E.P.T. BP = 95 Hammam-Life 2050 ; Tunisie

kamelsahl@yahoo.fr ; benmabrouk97@yahoo.fr

Résumé : L'objectif de notre travail est d'optimiser l'efficacité énergétique des cellules photovoltaïques, et par la suite l'efficacité globale d'un capteur solaire Hybride PV/TH à air. Dans ce cadre, nous faisons une étude numérique d'un module solaire hybride (PV/T), muni d'un canal arrière avec des ailettes sur la face interne de la plaque absorbante en vue d'améliorer le transfert de chaleur des cellules photovoltaïques vers l'air en circulation. Le but de cette amélioration est d'augmenter les performances énergétiques globale du système. Les résultats du code numérique développé montrent que l'efficacité du capteur photovoltaïque thermique (PV/T) dépend de l'augmentation du nombre et de la hauteur des ailettes. Pour un débit massique 0,073 kg/s, le capteur solaire a donné une valeur optimale de l'efficacité globale d'environ 98%. Les résultats des simulations sont satisfaisants et peuvent être reposités globalement sur les principes de la conversion thermoélectrique du rayonnement solaire. La structure des ailettes en contact avec la face arrière du module PV améliore le transfert de chaleur entre la couche des cellules photovoltaïques et le fluide caloporteur. Ceci a bien augmenté le rendement global du module hybride. extrapolés pour d'autres types de capteurs dont les mécanismes de transfert de chaleur

Abstract: The objective of our work is to optimize the energy efficiency of photovoltaic cells, and then the overall efficiency of a solar PV / TH Hybrid solar collector. In this framework, we carry out a numerical study of a hybrid solar module (PV / T), equipped with a rear channel with fins on the internal face of the absorbent plate in order to improve the heat transfer of the photovoltaic cells To the circulating air. The aim of this improvement is to increase the overall energy performance of the system. The results of the numerical code developed show that the efficiency of the thermal photovoltaic (PV / T) sensor depends on the increase in the number and the height of the fins. For a mass flow rate of 0.073 kg / s, the solar collector gave an optimum overall efficiency value of about 98%. The results of the simulations are satisfactory and can be based on the principles of thermoelectric conversion of solar radiation. The structure of the fins in contact with the rear face of the PV module improves the heat transfer between the layer of the photovoltaic cells and the heat transfer

fluid. This has greatly increased the overall efficiency of the hybrid module. Extrapolated for other types of sensors including heat transfer mechanismschaleur entre la couche des cellules photovoltaïques et le fluide caloporteur. Ceci a bien augmenté le rendement global du module hybride.

Mots-Clés: Energies solaire, Capteur solaire, Cellules photovoltaïques, Rayonnement, Efficacité énergétique, Simulation numérique.

1. INTRODUCTION

Les capteurs solaires hybrides photovoltaïques thermiques (PV-Th) ont été étudiés et bien développée durant les vingt dernières années. Des études importantes de recherches et de développement ont été réalisées sur les récentes technologies des modules hybrides (PV-Th) [1, 2]. Cependant, les études expérimentales et numériques des systèmes hybrides à air ont été plus développées, en raison de leur coût de construction relativement bas et des coûts opérationnels des simulations numériques. La plupart des recherches menées dans ce domaine ont pour but l'optimisation des performances des composants solaires existants en améliorant les conditions de fonctionnement et par la suite, d'évaluer les performances thermique et électrique du module.

Afin d'estimer leurs performances thermique et électrique Tonui et Tripanagnostopoulos [3], ont effectué des tests expérimentaux sur trois capteurs solaires (PV-Th) à air qui fonctionnent sous modes d'état forcé et naturel stables. Les résultats des derniers auteurs ont montré que le système d'ailettes est plus adapté pour les systèmes de capteur hybride (PV-Th) à air, car le système d'ailettes présente une performance globale beaucoup plus élevée à celle des deux autres configurations pour une longueur du canal d'environ trois mètres. Othman et al [4] ont conçu et fabriqué un prototype de capteur solaire photovoltaïque thermique à double passage d'air, composé de concentrateur parabolique (CPC) et des ailettes. Ebrahim et al [5] ont développé un modèle numérique d'un capteur solaire (PV-Th) hybride à air à double circulation d'air. L'étude montre que les résultats prévus sont en bon accord avec les résultats expérimentaux. Ainsi, le modèle mathématique proposé peut être utilisé pour prédire assez précisément les températures des différents éléments du capteur solaire (PV-Th) à double passage d'air. Shan et al. [6], ont développé une série de modèles mathématiques pour cinq capteurs solaires hybrides (PV-Th) à air qui sont différenciés par le mode de refroidissement.

Dans la présente étude, nous présentons une étude théorique et numérique de l'influence des variations du flux massique, de la longueur et de la largeur d'absorbeur sur l'efficacité global et thermique du capteur.

2. CONSTITUTION ET SCHEMA

Le capteur hybride photovoltaïque thermique (PV-Th) que nous étudions est représenté schématiquement sur la figure 1. Il est constitué d'un vitrage simple en verre, d'un module photovoltaïque qui produit de l'électricité, d'une couche adhésive (Tedlar), d'un canal arrière muni d'absorbeur en cuivre, et d'une couche d'isolation et de protection à l'arrière du capteur. Ce système a permis l'obtention de meilleures performances thermiques. La chaleur résiduelle qui vient des cellules photovoltaïques, se transfère par conduction respectivement par la couche Tedlar et par l'absorbeur, puis elle se transmet simultanément par conduction et par convection à l'intérieur du canal d'air.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans cette étude numérique nous avons utilisé le langage Matlab comme programme de simulation. Les résultats obtenus sont présentés sous forme de graphes, en tenant compte des conditions suivantes :

Les calculs de variation temporelle de la température et de l'intensité du rayonnement solaire sont effectués sur une journée ensoleillée à Tunis, pour un décalage horaire d'une heure, avec les coordonnées géographiques suivantes : latitude $36^{\circ}.69$ Nord, longitude $10^{\circ}.48$ Est.

Afin de simplifier les simulations numériques, nous avons négligé les effets de l'angle d'inclinaison et de l'angle d'azimut sur le module PV. La lumière solaire incidente reste ainsi perpendiculaire à la surface du module PV pendant toute la journée. La vitesse du vent sur la surface de capteur hybride (PV- Th) est supposée stationnaire et la température de l'air d'entrée est relativement stable et égale à la température ambiante de l'environnement. Les caractéristiques des différents composants du capteur sont résumées dans le tableau ci-dessous (TABLE 1)

a) Variation temporelle de la température pour différentes couches du capteur

La figure 2 montre l'évolution des températures pour chaque couche en fonctions du temps. On remarque que la variation de la température dépend les évolutions des puissances solaires reçue. Permet de constater que les températures les plus élevés celles de couche Tedlar, absorbeur ($T_{ted} = 69^{\circ}\text{C}$, $T_{ab} = 68.7^{\circ}\text{C}$) et de fluide ($T_f=68^{\circ}\text{C}$). La température de la vitre est moins élevée ($T_g=65.5^{\circ}\text{C}$) résultant de l'échange par convection avec l'ambiance. La plus basse température est celle de l'isolant ($T_i=43^{\circ}\text{C}$), de conductivité thermique très faible.

b) Effet de flux massique

La figure 3 représenté l'évolution de la température de fluide avec la variation de débit massique durant la journée. On peut constater que plus le flux massique augmenter plus la température du fluide sorti diminuée.

À partir de la figure 4, on peut clairement voir que le rendement électrique est dépendant fortement du débit massique. On peut expliquer cette élévation du rendement électrique par la démunie de la température des cellules photovoltaïques avec l'augmentation de flux massique.

Les courbes de la figure 5 représentent l'évolution du rendement global avec le flux massique durant la journée. On remarque que ce rendement augmente lorsque le flux massique augmente aussi.

c) Effet de longueur et largeur de capteur

La figure 6 représente l'évolution de la température de sortie d'air en fonction du temps et de la longueur de l'absorbeur. On peut noter que la température du fluide à la sortie est dépendante de la géométrie de l'absorbeur et de l'intensité du rayonnement solaire. Plus nous augmentons la longueur et le rayonnement solaire, plus la température du fluide à la sortie augmente. On peut expliquer ceci par l'augmentation de la surface d'écoulement du fluide et en particulier la surface d'absorption du flux thermique. La figure 7 représente la variation du rendement thermique global avec la largeur du capteur au cours de la journée. D'après cette figure, on constate qu'il existe une largeur optimale proportionnelle à la longueur de l'absorbeur, et qui pourrait entraîner une efficacité thermique globale de l'ordre de 90%.

4. TABLEAUX ET FIGURES.

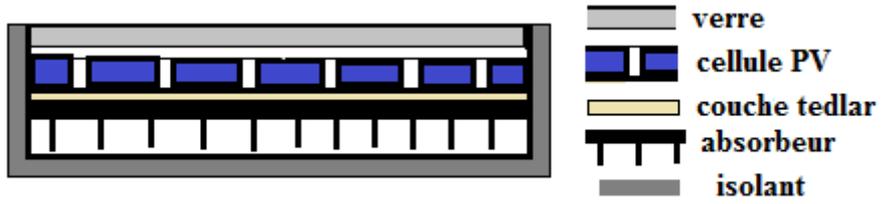


Figure 1. – Schéma du capteurHybride PV-TH à air.

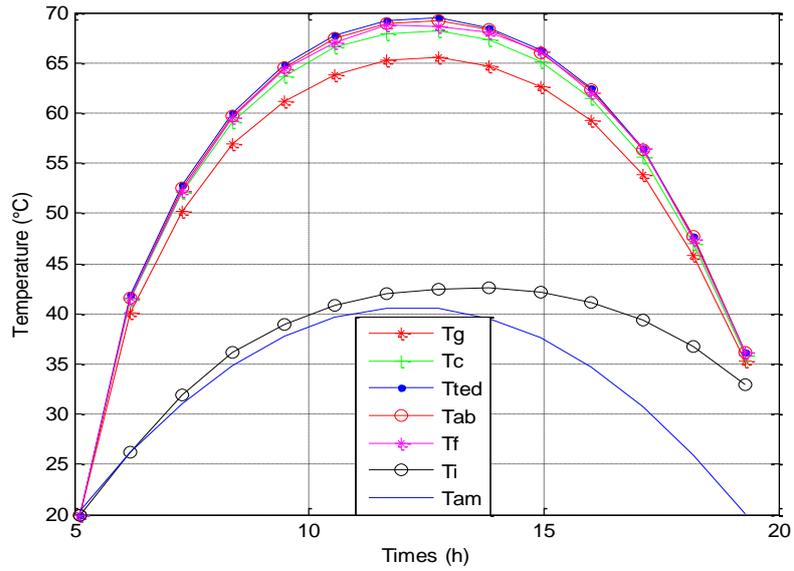


Figure 2. – Variation temporelle des différentes couches.

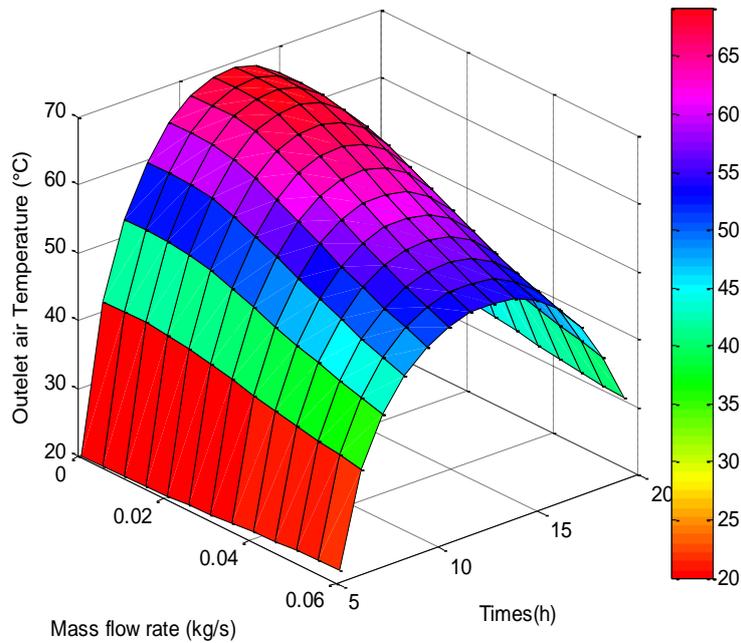


Figure 3. – Variation de la température de sortie d'air en fonction du flux massique.

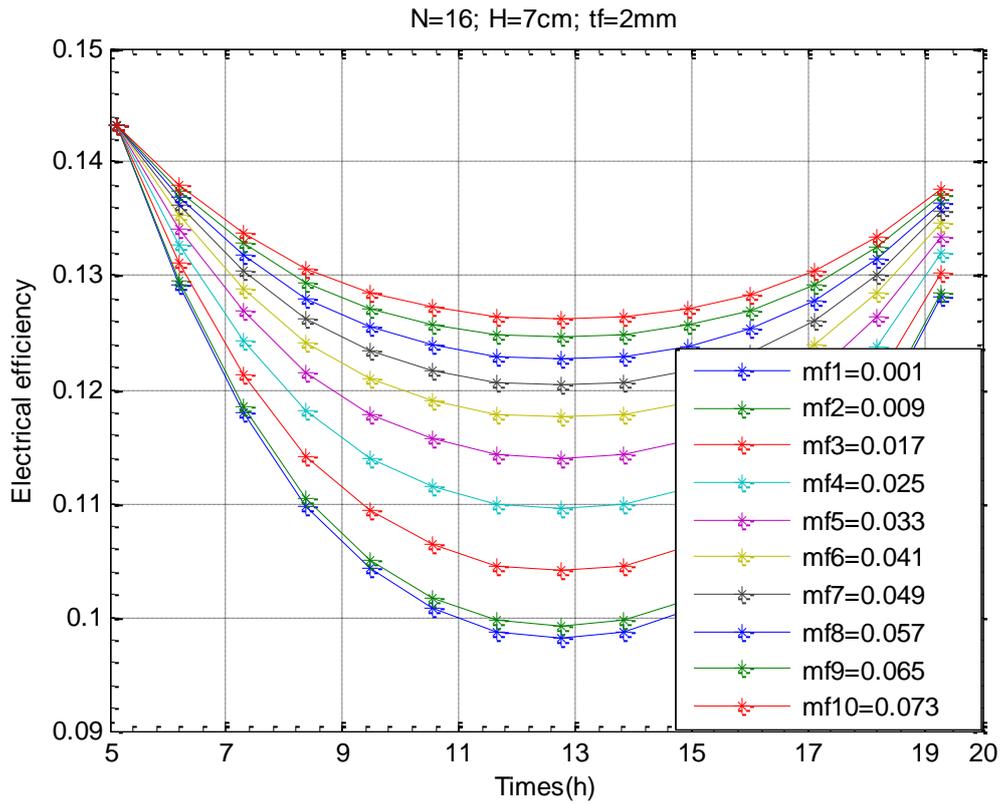


Figure 4. – Variation du rendement électrique en fonction du flux massique.

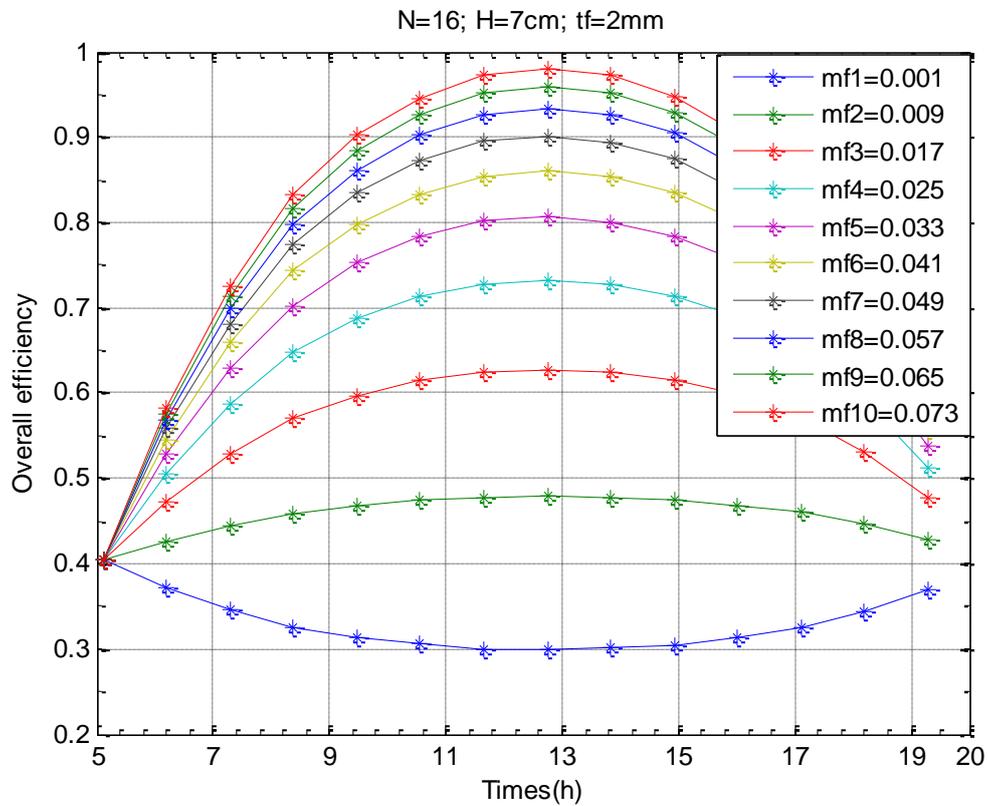


Figure 5. – Variation du rendement thermique global en fonction du flux massique

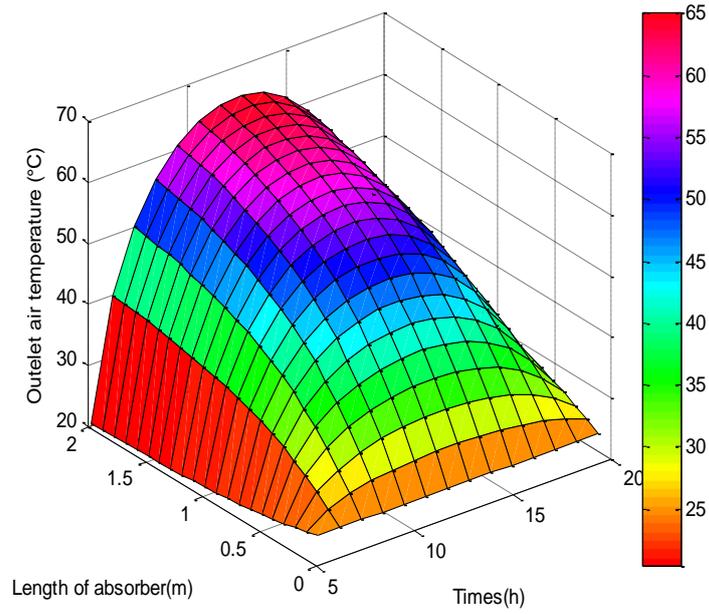


Figure 6. – Variation de la température de sortie d'air en fonction longueur de capteur.

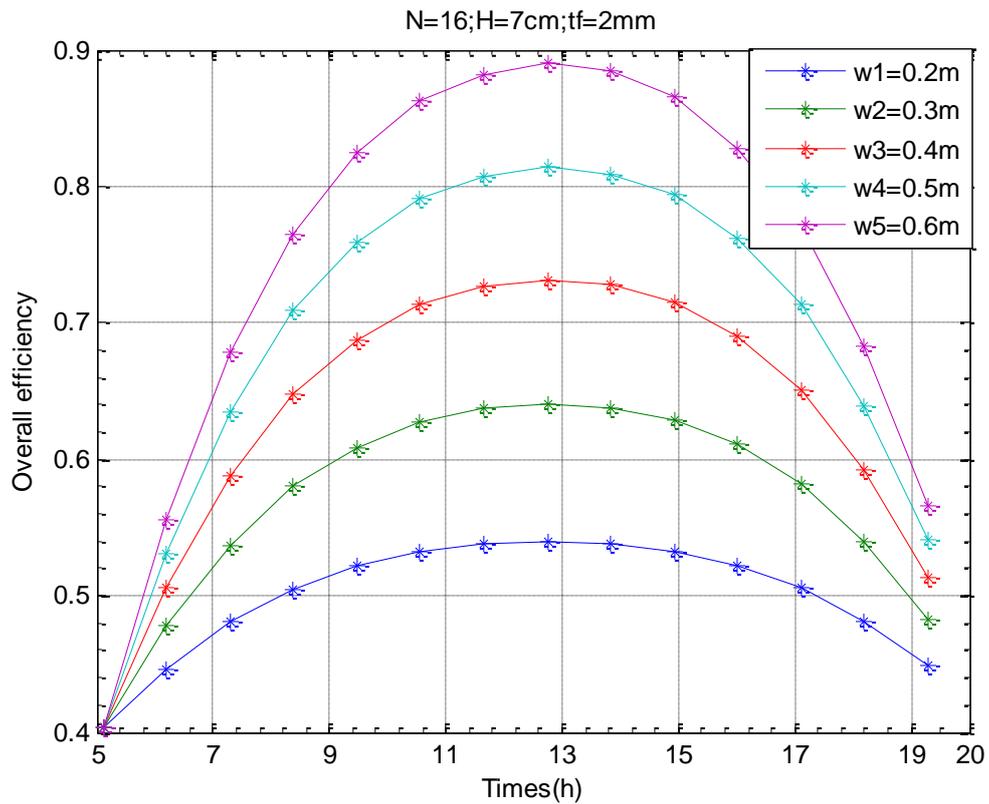


Figure 7. – Variation du rendement thermique global en fonction largeur de capteur

<i>Composant</i>	<i>Caractéristiques</i>	<i>Valeur</i>	<i>Unité</i>
Couche de verre	Masse volumique	2200	(kgm ⁻³)
	Chaleur spécifique	670	(Jkg ⁻¹ K ⁻¹)
	Conductivité thermique	0.93	(WK ⁻¹ m ⁻¹)
	Emissivité du vitrage	0.88	----
	Epaisseur	0.004	m
	Coefficient d'absorption	0.066	----
Cellule photovoltaïque	Masse volumique	2330	(kgm ⁻³)
	Chaleur spécifique	836	(Jkg ⁻¹ K ⁻¹)
	Conductivité thermique	148	(WK ⁻¹ m ⁻¹)
	Emissivité	0.93	----
	Epaisseur	0.0003	m
	Coefficient d'absorption	0.9	----
	Facteur de remplissage	0.83	----
	Rendement de référence	0.15	----
	coefficient de température de la cellule solaire	0.0045	(K ⁻¹)
Couche de Tedlar	Masse volumique	1390	(kgm ⁻³)
	Chaleur spécifique	1400	(Jkg ⁻¹ K ⁻¹)
	Conductivité thermique	0.033	(WK ⁻¹ m ⁻¹)
	Emissivité	0.88	----
	Epaisseur	0.0005	m
	Coefficient d'absorption	0.5	----
Absorbeur	Masse volumique	8000	(kgm ⁻³)
	Chaleur spécifique	36	(Jkg ⁻¹ K ⁻¹)
	Conductivité thermique	410	(WK ⁻¹ m ⁻¹)
	Emissivité	0.04	----
	Epaisseur	0.001	m
	Coefficient d'absorption	0.75	----
Isolant	Masse volumique	24	(kgm ⁻³)
	Chaleur spécifique	919	(Jkg ⁻¹ K ⁻¹)
	Conductivité thermique	0.039	(WK ⁻¹ m ⁻¹)
	Emissivité		----
	épaisseur	0.05	m

TABLE. 1 – Caractéristiques des composants du module hybride PV- Th.

5. SYSTEME D'EQUATIONS

d) Modèle mathématique

- Couche de verre

$$\rho_g V_g C_g \frac{dT_g}{dt} = \alpha_g \cdot S \cdot G - \sigma \cdot S \cdot \varepsilon_g (T_g^4 - T_{sky}^4) - S \cdot h_w (T_g - T_a) - S \cdot h_{cd,g \rightarrow c} (T_g - T_c)$$

- Cellule photovoltaïque

$$\rho_c V_c C_c \frac{dT_c}{dt} = \alpha_c \tau_g F \cdot S \cdot G - S \cdot h_{cd,g \rightarrow c} (T_c - T_g) - \eta_{ref} \alpha_c \tau_g F \cdot S \cdot G \cdot \exp(\beta_{ref} (T_c - T_{ref})) - S \cdot h_{cd,c \rightarrow ted} (T_c - T_{ted})$$

- Couche de Tedlar

$$\rho_{ted} V_{ted} C_{ted} \frac{dT_{ted}}{dt} = \alpha_{ted} \tau_g \tau_c F \cdot S \cdot G + \alpha_{ted} \tau_g (1 - F) \cdot S \cdot G - S \cdot h_{cd,c \rightarrow ted} (T_{ted} - T_c) - S \cdot h_{cd,ted \rightarrow ab} (T_{ted} - T_{ab})$$

- Absorbeur

$$\rho_{ab} V_{ab} C_{ab} \frac{dT_{ab}}{dt} = S \cdot h_{cd,ted \rightarrow ab} (T_{ted} - T_{ab}) - S \cdot U_{ab \rightarrow f} (T_{ab} - T_f) - \frac{\sigma \cdot S}{\frac{1}{\varepsilon_{ab}} + \frac{1}{\varepsilon_i} - 1} \cdot (T_{ab}^4 - T_i^4) - S \cdot U_{fin} (T_{ab} - T_f)$$

- Couche d'air (fluide)

$$\rho_f V_f C_f \frac{dT_f}{dt} = S \cdot U_{ab \rightarrow f} (T_{ab} - T_f) + S \cdot U_{fin} (T_{ab} - T_f) - S \cdot U_{f \rightarrow ab} (T_f - T_i)$$

- Isolant

$$\rho_i V_i C_i \frac{dT_i}{dt} = S \cdot U_{f \rightarrow ab} (T_f - T_i) + \frac{\sigma \cdot S}{\frac{1}{\varepsilon_{ab}} + \frac{1}{\varepsilon_i} - 1} \cdot (T_{ab}^4 - T_i^4) - S \cdot U_b (T_i - T_a)$$

Avec:

$$U_{fin} = \frac{N}{S_f} (2k_{ab} S_{sf} L h_{fin})^{0.5} \tanh(MH)$$

$$M = \left(\frac{2 \cdot L \cdot h_{cv}}{k_{ab} S_{sf}} \right)^{0.5}$$

e) Les rendements

On calcule Les rendements électriques et thermiques du système Hybride PV/T par les formules suivantes :

$$\eta_{el} = \eta_{ref} (1 - \beta_{ref} (T_c - T_{ref}))$$

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{A_{ab} G}$$

6. CONCLUSION

L'étude de l'amélioration de rendement du capteur hybride (PV-Th) à air avec absorbeur muni d'ailettes est importante lors de la caractérisation d'un Module Solaire Hybride. Les résultats des simulations sont satisfaisants et peuvent être extrapolés pour d'autres types de capteurs dont les mécanismes de transfert chaleur sont similaires. La structure des ailettes en contact avec la face arrière du module PV améliore le transfert de chaleur entre la couche des cellules photovoltaïques et le fluide caloporteur du module thermique. Ceci a bien augmenté le rendement global du module hybride.

Références

- [1] V. V. Tyagi, S. C. Kaushik, S. K. Tyagi. Advancement in solar photovoltaic thermal (PV/T) hybrid collector technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012;16:1383-1398.
- [2] R. R. Avezov, J. S. Akhatov, and N. R. Avezova. A Review on Photovoltaic-Thermal (PV/T) Air and Water collectors. Applied solar Energy 2011;47:169-183.

- [3] J.K. Tonui, Y. Tripanagnostopoulos. Air-Cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements. *Solar Energy* 2007; 81: 498-511.
- [4] Othman MY, Yatim B, Sopian K, Bakar MNA. Performance analysis of a double –pass photovoltaic/thermal (PV/T) solar collector with CPC and fins. *Renewable Energy* 2005;30:2005-2017
- [5] Ebrahim M. Ali Alfegi, Kamaruzzaman Sopian, Mohd Yusof Hj Othman and Bahrudin Bin Yatim. Mathematical model of double pass photovoltaic thermal air collector with fins. *American journal of applied Sciences* 2009;5:592-598.
- [6] Feng Shan, Fang Tang, Lei Cao, Guiyin Fang. Comparative simulation analyses on dynamic performances of photovoltaic–thermal solar collectors with different configurations. *Energy Conversion and Management* 2014; 87:778-786
- [7] S. Ben Kilani, S. Ben Mabrouk
- [8] W. Boularess, S. Ben Mabrouk