



Research Paper

## RÉGULATION THERMIQUE DES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES PAR UN MATÉRIAU À CHANGEMENT DE PHASE

Thermal regulation of photovoltaic's cells with a phase change material

**Fatiha BELLABES, Mohamed BENLEKKAM\***

Centre universitaire Elwancharissi de Tissemsilt

### ARTICLE INFO

*Historique de l'article:*

Reçu 15 mai 16

Accepté 20 juin 16

Mots clés:

Matériau à changement de phase ;  
 Cellules photovoltaïques ; Régulation  
 thermique

Keywords:

Phase change material ; photovoltaic's  
 cells; thermal regulation.

### RÉSUMÉ

L'augmentation de la température des cellules photovoltaïques (PV) réduit leur efficacité, mais l'utilisation d'un matériau à changement de phase (MCP) intégré aux modules PV peut maintenir leurs températures proches de l'ambiance. Le présent papier consiste à étudier l'utilisation d'un MCP dans la régulation thermique des modules PV et la variation du nombre des ailettes étendues au fond du MCP de 0 jusqu'à 4. Un modèle bidimensionnel de transfert de chaleur dans un système composé d'un MCP dans une enceinte rectangulaire attachée à un panneau PV a été utilisé pour résoudre les équations de Navier–Stokes et de l'énergie par la méthode des volumes finis. La comparaison des résultats obtenus avec les données expérimentales et numériques a montré une bonne concordance. Plus davantage, les résultats obtenus montrent que l'utilisation d'un MCP derrière un PV peut maintenir sa température à 36°C pour 150 min pour la configuration sans ailettes et à 30°C pendant 150 min pour une configuration à quatre, sous un flux de chaleur de 750 W/m<sup>2</sup>, et une température ambiante de 20°C.

### ABSTRACT

Elevation temperature of photovoltaic's (PV) cells reduced his efficiency, but the use of phase change material's (PCM) behind the PV can maintain his temperature close of the ambient. This paper studies the use of PCM on the thermal regulation of the PV device and the variation of the number of fins extend through the PCM from 0 to 4. A two dimensional 2D finite volume model of heat transfer in a system composed of PV module attached with a PCM in a rectangular enclosure was used to solve the Navier–Stokes and energy equations. Results have been compared with experimental and numerical data and a good agreement was obtained. Results show that use of PCM can maintain the temperature of PV 36°C for 150 min for a no fins configuration and under 30°C for 150 min for the PV/PCM system with four fins under 750W/m<sup>2</sup> solar radiation and 20°C of ambient temperature.

## 1 Introduction

La conversion des rayons solaires en énergie électrique par les cellules photovoltaïques (PV) reste la technique la plus intéressante dans le monde des énergies renouvelables, mais les panneaux solaires absorbent environ de 16% de l'énergie

\* *Corresponding author. Tel.:* +213 6 70109059

E-mail address: mohamed\_benlekkam@yahoo.fr

incidente et le reste transforme en chaleur selon Ingersoll et al [1]. Pour des cellules PV caractérisées à 25°C et un flux de chaleur de 1000W/m<sup>2</sup>, l'augmentation de la température de ses derniers au-delà de 25°C réduit leurs rendements de conversion [2]. Alors, en maintenant la température des panneaux solaires (PS) PV proche de 25°C, on peut conserver leur efficacité. Pour diminuer la température d'opération des PS, plusieurs techniques sont proposées, soit par l'amélioration du refroidissement libre derrière les panneaux grâce à la convection naturelle ou forcée ; soit par l'absorption de l'excès de la chaleur des PS. Alors l'utilisation d'un matériau à changement de phase (MCP) liée à un PS qui forme un système PV/MCP peut contrôler la variation de la température des PV. Les MCP absorbent l'excès d'énergie sous forme de chaleur latente jusqu'à ce que le MCP soit complètement fondu [3]

Huang et al, [3], ont fait une étude numérique validée expérimentalement pour le refroidissement d'une unité photovoltaïque utilisant un MCP dans une enceinte rectangulaire liée au PV, ils ont maintenu la température de la surface frontale inférieure à 40°C pendant 80 min, avec un MCP de température de fusion de 32°C, pour des cellules photovoltaïques caractérisées en 1000W/m<sup>2</sup> par une température d'opération optimale 25°C, en raison d'une faible conductivité thermique du MCP, des ailettes internes ont été utilisées pour bien répartir la température au sein du MCP, ce qui résulte une réduction significative de la température du PV.

Hasan et al, [4], ont investigué expérimentalement cinq MCP de températures de fusion différentes pour réguler thermiquement quatre configurations différentes des systèmes PV/MCP, à trois différents flux d'insolation. La température minimale obtenue était de 10°C pendant 5 heures sous un flux de chaleur de 1000W/m<sup>2</sup>. Ils ont trouvé aussi que la régulation de la température dépend de la quantité du MCP et la conductivité thermique des deux composantes du système le MCP et l'enceinte.

Ho et al, [5] ont étudié les performances thermiques et électriques d'un système PV/MCP pour trois conditions climatiques différentes, ils ont constatés que l'utilisation d'une couche MCP microencapsulé augmente l'efficacité de PV/MCP de 0,13% et 0,42 % en été et en hiver respectivement.

Cet article présente une étude numérique pour illustrer l'effet du nombre des ailettes prolongées au fond du MCP sur le refroidissement du système PV/MCP. Un modèle bidimensionnel de transfert de chaleur a été développé pour résoudre les équations de Navier-Stokes et de l'énergie pour un régime instationnaire, les résultats obtenus sont concentrés sur les contours isothermes, et la variation de la température au cours du temps.

## 2 Modélisation numérique

Une configuration bidimensionnelle est montrée dans la Fig 1; le système est composé d'un panneau solaire photovoltaïque attaché à un MCP "RT25" dans une enceinte rectangulaire. Nous avons utilisé la même configuration géométrique avec celle de Huang et al. [3], le flux de chaleur  $I_t$  est absorbé par le système PV/MCP, puis va dissiper en chaleur. Une convection naturelle a été adoptée sur la paroi frontale et à l'arrière du système PV/MCP. Nous avons utilisé les mêmes conditions aux limites initiales de Huang et al. [3], supposant que :

- Le MCP est en contact direct avec le PV.
- La température du système PV/MCP est la même celle ambiante.
- Le coefficient de transfert de chaleur par convection pour le front et l'arrière est  $h_1$  et  $h_2$  respectivement.
- Une condition adiabatique est utilisée pour la partie supérieure et inférieure de l'enceinte.

Les propriétés thermodynamiques du MCP "RT25" et l'aluminium utilisé dans la présente étude sont présentés dans le tableau Tab1. Les données du "RT25" sont fournies par le fabricant " RUBITHERM " .

Un modèle bidimensionnel de transfert de chaleur a été développé par la méthode des volumes finis pour la résolution des équations de Navier-Stokes et de l'énergie par le code commercial Fluent 6.3.26. L'approximation de Boussinesq a été utilisée pour introduire le coefficient de dilatation thermique  $\beta$ .

Le système étudié dans le présent travail est de varier le nombre  $n$  des ailettes du système PV/MCP, commençant par  $n = 0$  à  $n = 4$ .

Un maillage fixe de 1 mm<sup>2</sup>, et un pas de temps de 0.05 s ont été adoptés durant toutes les simulations.

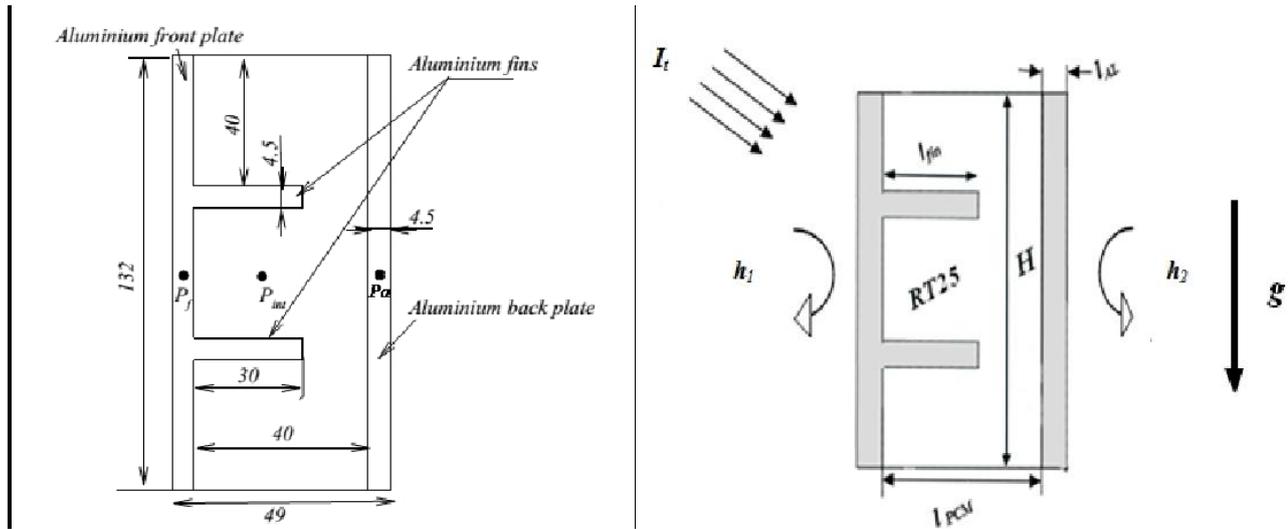


Fig. 1 – Présentation du système PV/MCP, conditions aux limites et la géométrie (dimensions en mm)

Tableau 1 - Les propriétés thermophysiques du RT25 [6], Paraffine [7], Aluminium [8]

Propriétés	Matériau à changement de phase RT25	Paraffine	Aluminium
Masse volumique $\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]			
Solide	785	830	2675
Liquide	749	830	----
Chaleur spécifique $C_p$ [J/Kg k]			
Solide	1413	1593.6	2415.525
Liquide	1797.6	2705.8	----
Conductivité thermique $\lambda$ [W/m.K]			
Solide			
Liquide	0.18	0.514	211
	0.19	0.224	----
Chaleur latente $L_f$ [J/Kg]	232000	251000	----
Température de fusion [K]	299.76	305.16	----

### 3 Résultats

Les résultats numériques obtenus sont présentés pour les contours isothermes et l'évolution temporelle de la température dans les Fig. 2, et Fig. 3. La présente simulation a été validée, ensuite, nous nous concentrons notre attention sur l'effet du nombre des ailettes sur l'amélioration du refroidissement des cellules photovoltaïques par une variation de  $n=0$  jusqu'à  $n=4$ .

#### 3.1 Validation

Le modèle numérique développé par Nehari et al. [9] a été validé par les résultats expérimentaux et numériques de Huang et al. [3], pour les isocontours Fig. 2, et l'évolution de la température au cours du temps Fig. 3.

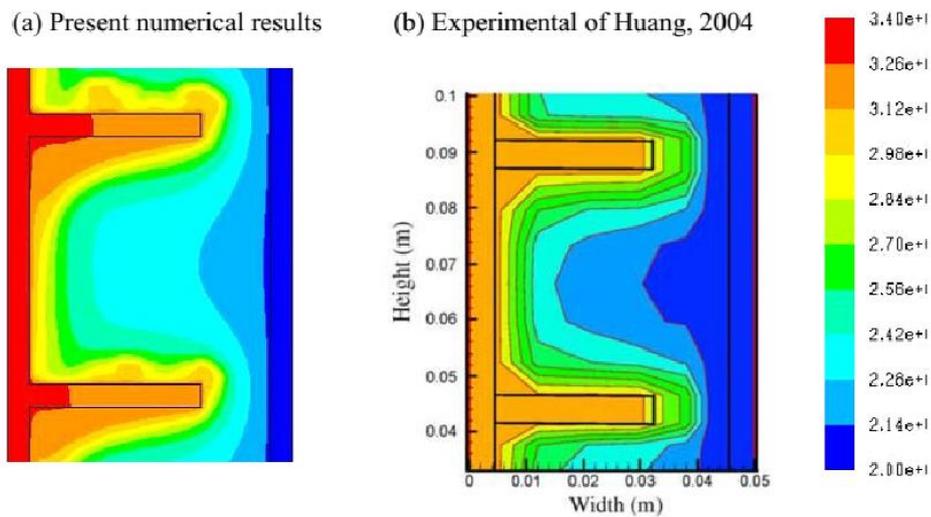


Fig. 2 - Comparaison entre le contour de la température prédite numériquement t. NEHARI et al [9] et les contours de la température mesurée Huang et al. [3], de la 50<sup>ème</sup> minute.

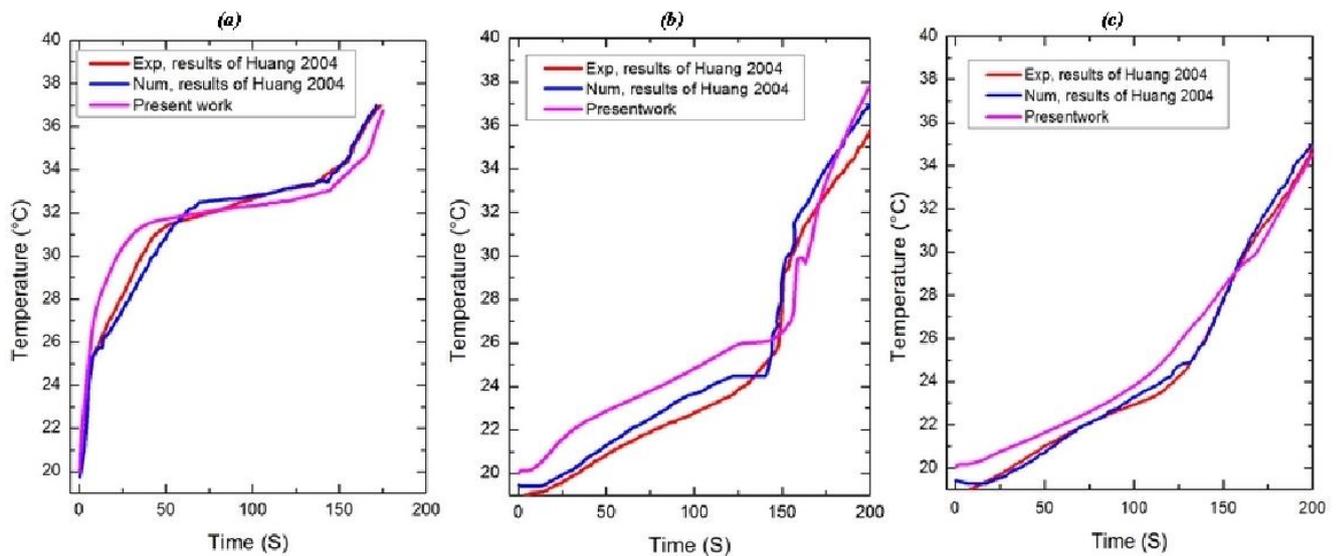


Fig. 2 – Comparaison entre les températures prédites par le présent modèle numérique et les données de Huang et al. [3] (a) l'avant (le point  $P_f$ ), (b) à l'intérieur du PCM (point  $P_{int}$ ) et (c) l'arrière (le point  $P_{ar}$ ).

### 3.2 L'effet du nombre des ailettes

Pour améliorer le processus de refroidissement du module PV, nous avons proposé de varier le nombre (n) des ailettes à l'intérieur de l'enceinte du MCP de zéro jusqu'à quatre.

Toutes les simulations numériques ont été effectuées le long de 150 minutes à partir des conditions initiales (PCM solide à température ambiante 20°C). D'après la Fig. 3 la fusion du MCP commence près de la surface frontale à cause de conduction par haute conductivité thermique de l'aluminium, mais une fois le MCP est fondu, la convection naturelle du MCP liquide commence à dominer et forme une cavité profonde dans la partie supérieure du MCP Fig. 4. Lorsque le nombre des ailettes métalliques est augmenté, cette cavité est divisée en plusieurs petites cavités de forme d'entonnoir peu profond entre les ailettes.

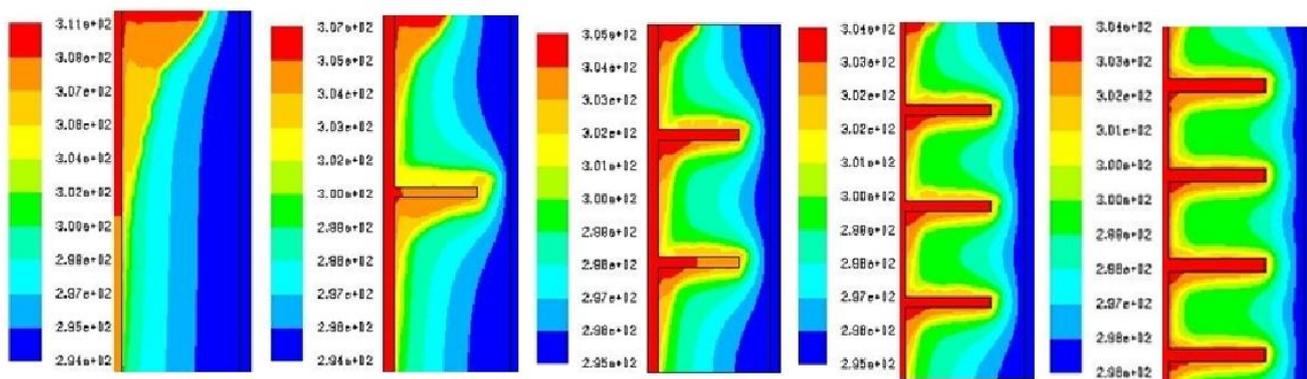
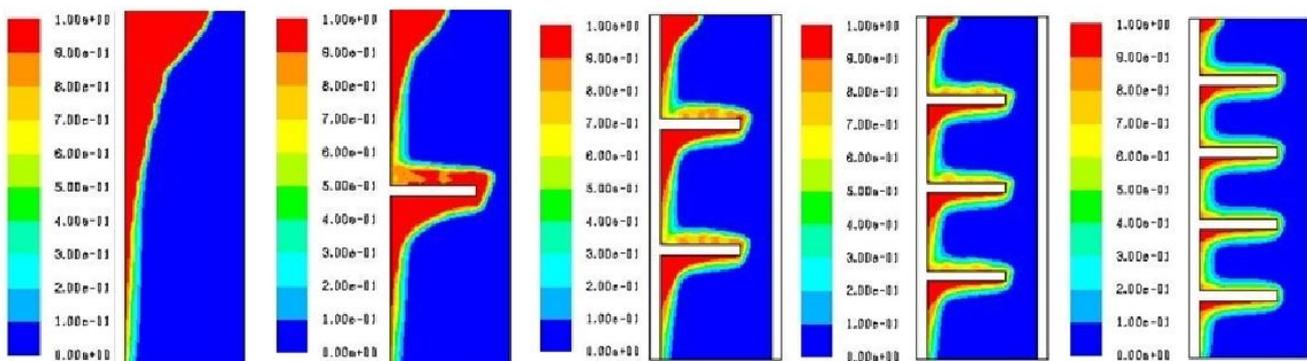
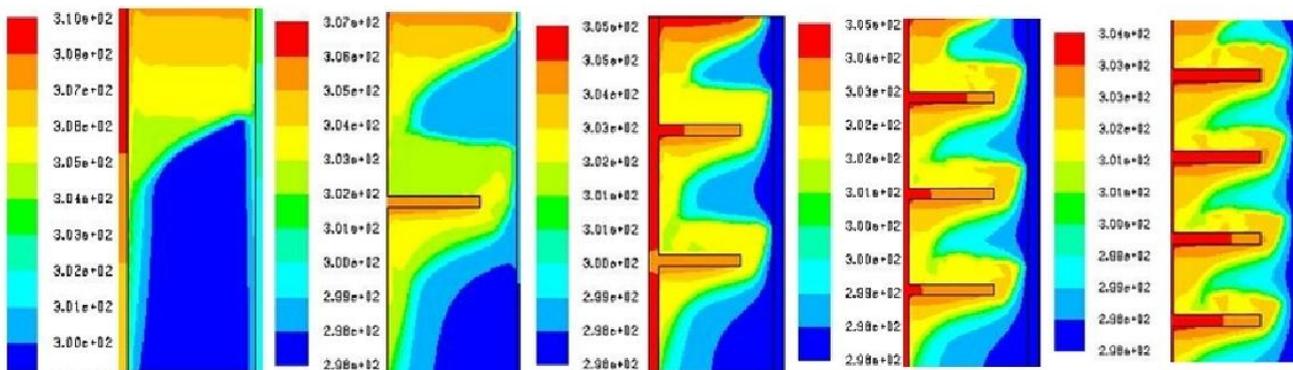
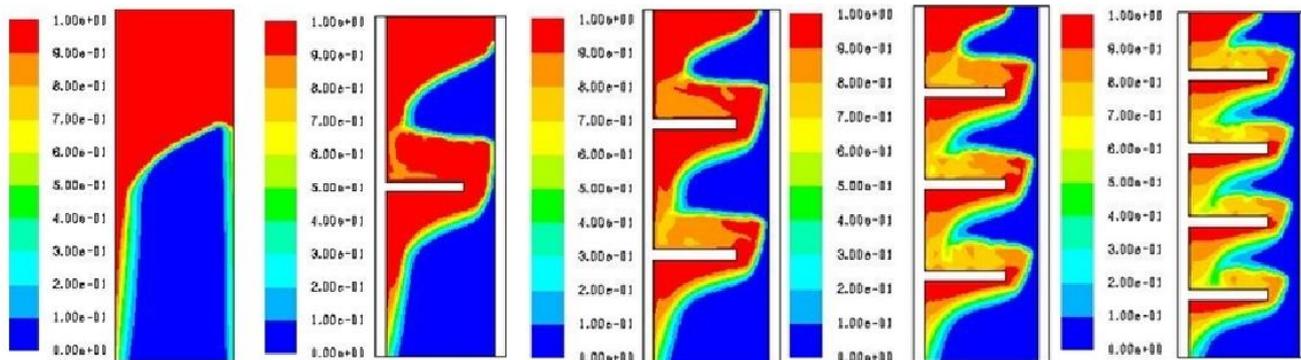
Fig. 3 - les contours de la température pour la 50<sup>ème</sup> minFig. 4 - les contours de la fraction liquide pour la 50<sup>ème</sup> minFig. 5 - les contours de la température pour la 100<sup>ème</sup> min

Fig. 6 - les contours de la fraction liquide pour la 100<sup>ème</sup> min

L'augmentation du nombre d'ailettes réduit la formation d'une cavité profonde dans la surface supérieure du PCM (mode sans ailette) et stabiliser la distribution de la température dans le système PV/MCP.

Comme la conductivité thermique du MCP est très faible 0.19 W/m.K, par rapport celle de l'aluminium, on peut voir que la température du front du système PV/MCP sans ailettes augmente rapidement, elle est 36°C après 50 min d'après la Fig. 7 par rapport les autres configurations, ou la température est inférieure de l'ordre de 6°C pour la configuration avec quatre ailettes, qui représente une grande différence, alors l'augmentation du nombre d'ailettes a augmenté le transfert de chaleur à l'intérieur du MCP, autrement-dit, elles ont transporté la chaleur au fond du MCP et réduit l'élévation de température sur la surface frontale du système.

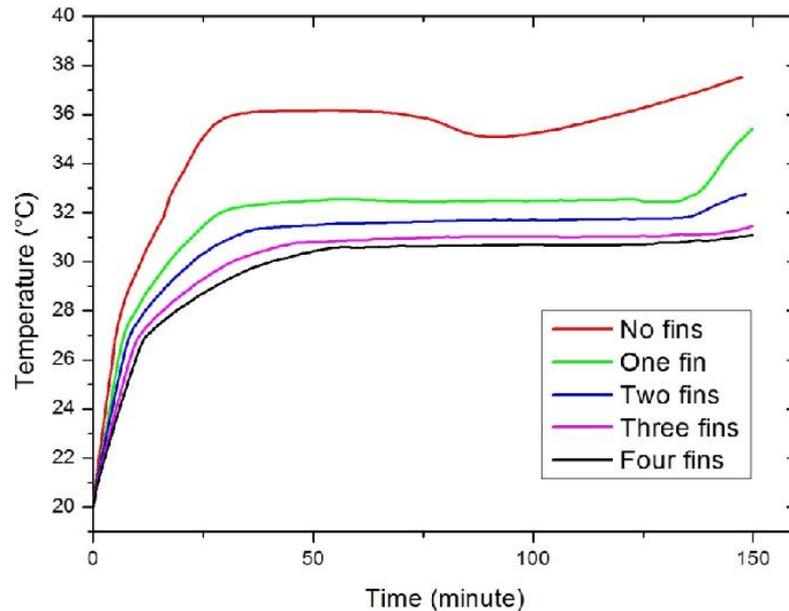


Fig. 7 - Évolution de la température frontale du système PV/MCP

La Fig. 7 montre que la température du front du système est diminuée de 36°C (système sans ailettes) jusqu'à 30°C (système avec quatre ailettes) après 50 min, alors sont des résultats très intéressants environ de 6°C de régulation thermique qui consiste à augmenter le rendement du module PV, cela dû aux ailettes qui ont augmenté le taux de transfert de chaleur vers le MCP et par la suite refroidir le module PV attaché à la surface frontale.

L'utilisation d'un nombre d'ailettes supérieures à un permet de maintenir la température du panneau PV environ de 30°C pour 150 min (4 ailettes); et que le système atteint cette température après cinq min lorsqu'on n'utilise pas le MCP derrière le PV Huang et al. [3], Cela prouve l'importance du MCP sur le contrôle de l'élévation de la température des modules PV.

#### 4 Conclusion

Les résultats obtenus montrent l'influence du nombre des ailettes sur l'élévation de la température du système PV/MCP. L'utilisation des ailettes dans un système PV/MCP sous un flux de chaleur de 750 W/m<sup>2</sup>, et une température ambiante de 20°C permet de maintenir la température du front du système de l'ordre de 30°C pendant 150 min pour une configuration à quatre ailettes et qui dépasse cette valeur dans un système sans MCP qui atteint cette valeur après 5 min sous les mêmes conditions initiales. L'amélioration de la performance thermique obtenue en utilisant des ailettes dans le récipient de MCP est importante. Les ailettes permettent une distribution de température plus uniforme au sein du système PV/MCP et maintenue. Les flux convectifs naturels dans le MCP fondus augmentent le transfert de chaleur dans le MCP, et d'améliorer encore la capacité de l'effet de contrôle thermique sur le PV. Cependant, l'augmentation du

nombre d'ailettes peut limiter le mouvement de PCM fondu. Finalement, les résultats obtenus ont rencontré un grand succès concernant l'amélioration des performances thermiques du système PV/MCP.

## REFERENCES

- [1] J.G. Ingersoll, Simplified calculation of solar cell temperatures in terrestrial photovoltaic arrays. *ASME J. Solar Energy Eng.* 108 (1986) 95–101.
- [2] G.Sala, Cooling of solar cells, in *Cells and optics for photovoltaic concentration*. Bristol, 1989.
- [3] M.J.Huang, P.C.Eames and B. Norton, Thermal regulation of building-integrated photovoltaics using phase change materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47 (2004) 2715-2733.
- [4] A. Hasan, S.J. McCormack, M.J. Huang, B. Norton, Evaluation of phase change materials for thermal regulation enhancement of building integrated photovoltaics. *Solar Energy* 84 (2010) 1601–1612.
- [5] C.J. Ho, A.O. Tanuwijava, Chi-Ming Lai, Thermal and electrical performance of a BIPV integrated with a microencapsulated phase change material layer. *Energy and Buildings* 50 (2012) 331–338.
- [6] Anon (b), RUBITHERM data sheet, Co. RUBITHERM GmbH, Hamburg, Germany, 2000.
- [7] D.V. Hale, M.J. Hoover, M.J. O'Neil, *Phase Change Materials Handbook*, NASA CR 61363, 1975.
- [8] W.M. Rohsenow, J.P. Hartnett, Y.I. Cho, *Handbook of Heat Transfer*, third ed., McGraw-Hill, New York, 1998.
- [9] T. Nehari, M. Benlekkam, D. Nehari, The Effect of Inclination on the Passive cooling of the solar PV panel by using Phase change Material. *International Journal of Renewable Energy Research* 6(1) (2016) 132-139.