

ETUDE EXPERIMENTALE D'UN PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE THERMIQUE MODIFIE (PV-T) EN INCLINAISON VERTICALE

BOUDJABI Amel Ferial^{1,2*}, BOUCETTA Chahrazed³, GHOUL Roumeissa¹, DIB Abderrahmane¹

⁽¹⁾Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées, Université Larbi Ben M'hidi

Oum El Bouaghi, Algérie

⁽²⁾Laboratoire Energie et Environnement, Université Salah Boubnider

Constantine, Algérie

⁽³⁾Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et Vie, Université Larbi Ben M'hidi,

Oum El Bouaghi, Algérie

E-mail: amel.boudjabi@univ-ueb.dz/ boudjabi.af@gmail.com

(Received 09 September 2020– Accepted 10 December 2020)

Résumé.- L'étude concerne un travail expérimental sur la conception d'un échangeur à air fixé sur un panneau photovoltaïque classique. Ce panneau hybride modifié est maintenu vertical pour simuler un modèle de façade BIPV. Ce système biénergie assure un bon rendement de conversion électrique du rayonnement solaire avec un gain variant entre 7% et 8.85% pour les deux cas optimaux comparés au panneau seul, ceci grâce au refroidissement des cellules solaires. De même, la chaleur évacuée des cellules préchauffe un flux d'air pénétrant dans la cavité confinée à l'arrière du panneau, un rendement thermique entre 60 et 70% en moyenne est enregistré. Les résultats ont montré l'intérêt de deux configurations parmi les cas testés: un dispositif d'extraction d'air à faible puissance et un dispositif en mode ventilation à puissance plus élevée.

Mots clés: Capteur solaire PV-T, conversion d'énergie solaire, bâtiment, efficacité.

EXPERIMENTAL STUDY OF A RETROFITTED SOLAR PHOTOVOLTAIC THERMAL COLLECTOR SET AT A VERTICAL INCLINATION

Abstract.- Renewable energy systems and their efficiency have major factors on building's sector. This study concerns an experimental investigation of hybrid photovoltaic thermal collector, simulating a building integrated photovoltaic façade. The retrofitted solar panel ensured good electrical conversion efficiency with an average gain of 7% and 8.85% for the two optimal configurations compared to the conventional panel. Besides, the heat discharged from the cells preheats the airflow at rear of the panel resulting thermal efficiency of 60 to 70%. Amongst the tested configurations, two cases showed electrical and thermal efficiencies' enhancement: lower power device in air extraction mode and higher power device for incoming air case.

Key words: PV-T solar collector, energy conversion, building, efficiency.

Introduction

Les recherches menées sur les systèmes photovoltaïques hybrides ou mixtes ont pour objectif d'évaluer les performances thermiques et électriques et d'en analyser l'aspect économique par rapport à la couverture solaire. L'objectif essentiel de ces systèmes est d'abord de refroidir les cellules qui, surchauffées, affectent le rendement électrique du PV, ce dernier diminue de 0.1 à 0.5% pour chaque degré Celsius gagné par les cellules [1,2], cette inévitable surchauffe réduit les performances des panneaux mais également leur durée de vie [3–5]. L'utilisation d'un fluide caloporteur permet, ainsi, de générer de la chaleur utile grâce à des systèmes hybrides ou biénergie combinant production d'électricité et récupération de chaleur [6].

SANDBERG et MOSHFEGH (1998) ont réalisé l'étude théorique et expérimentale de l'écoulement dans une lame d'air par ventilation naturelle avec des panneaux PV doublés de convecteurs. Leurs résultats ont montré que les dimensions et la position des modules PV ont une forte influence sur le système global [7].

MEI *et al.* (2003) ont considéré un capteur solaire PV/T à air intégré à la façade sud du bâtiment cible, avec des capteurs solaires à air, des panneaux PV connectés en série et une lame d'air de 14 cm. Le modèle mathématique a été validé par des mesures expérimentales. Ils ont trouvé que l'influence des conditions météorologiques sur les performances est très significative. Ainsi, le panneau solaire ventilé couvre 12% des charges de chauffage pour Barcelone contre 2% pour Stuttgart [8].

CARTMELL *et al.* (2004) quant à eux, ont réalisé une étude au Centre Environnemental Brockshill (BHEC) situé au sud de la Grande – Bretagne, dans l'objectif de le transformer en bâtiment à énergie zéro. Il a été équipé d'un PV ventilé, un capteur solaire à air et un capteur solaire à eau, le PV/T étant composé de 20 modules de 37 m². Le capteur solaire à air de 12.5 m² permet la circulation du fluide dans une lame d'air au contact d'un absorbeur noir muni d'ailettes. Les simulations ont été effectuées à l'aide de logiciels de calcul dont TRAnSient Systems Simulation (TRNSYS). Leur système couvre 64.4% des besoins en eau chaude sanitaire du bâtiment (contre 26.5% avec le capteur solaire thermique à eau) et 35% des besoins en chauffage pendant le froid, ce qui réduit la consommation [9].

BEN CHIKH EL HOCINE et MARIR-BENNABAS (2013), ont réalisé pour leur part, une étude mathématique sur un capteur hybride en utilisant l'analogie électrique pour un prototype PV/T à eau, les effets du débit d'eau et de l'éclairement solaire ont été considérés. Leurs résultats ont montré que ces systèmes représentent une bonne solution mixte dans les systèmes dédiés à la production simultanée de l'électricité et de la chaleur dans le bâtiment [10]. Le ruissellement d'eau sur la face avant du PV a intéressé également AIT SAADA *et al.* (2013) qui ont réalisé une étude numérique en 2D pour prédire l'effet de la température de l'air ambiant et de la température et débit de l'eau sur le potentiel de refroidissement des cellules. Leurs résultats ont abouti à un gain en rendement électrique de 17 à 31% pour une eau à 25°C, il est passé de 13 à 26% à une eau à 35°C et de 9 à 21% pour une eau à 45°C [11]. Concernant le débit, ils ont relevé que les meilleurs résultats correspondaient à un ruissellement à 50 g/s. JOSHI *et al.* (2009) ont analysé et comparé les performances du collecteur d'air hybride PV/T du type tedlar- verre et verre-verre. Les résultats obtenus ont montré que le collecteur d'air verre - verre donne de meilleurs résultats. Ils ont également étudié le débit massique du fluide caloporteur et la surface du conduit qui ont une influence significative sur la performance [12]. NASSER *et al.* (2018) ont utilisé l'eau dans la conception d'un système de refroidissement du Panneau. Les tests réalisés au mois de décembre 2016 au Qatar ont montré un gain de 10°C en 40 min de circulation de l'eau, la température du panneau a chuté de 64 à 32 °C à l'arrière et de 59 °C à 27 °C à l'avant en 3 minutes seulement, tandis que le rendement du PV obtenu était supérieur d'au moins 10.35% par rapport au PV seul [13].

NEBBALI *et al.* (2018) ont réalisé une modélisation numérique et expérimentale d'un système de refroidissement à air qu'ils ont conçu en utilisant un seul ventilateur centré à l'arrière du panneau photovoltaïque. Ils ont amélioré le rendement électrique du panneau refroidi de 29.52% par rapport au panneau non refroidi, accompagné d'une chute

de température des cellules de 39 à 29°C [14].

BILLEL BOUMAARAF *et al.* (2020) ont développé un modèle mathématique sous MATLAB pour comparer entre un panneau conventionnel et un panneau hybride à circulation d'eau pour les besoins d'une maison individuelle en région semi-aride. Le rendement global du système obtenu a augmenté de 17,43% pour le panneau classique à 79.43% pour le panneau photovoltaïque thermique [17].

RUOBING LIANG *et al.* (2020) ont étudié une façade solaire active formée par des panneaux hybrides PV/T comme enveloppe externe opaque, l'air circulant dans la lame est préchauffé ce qui peut réduire le flux thermique vers l'intérieur du bâtiment jusqu'à 40% par rapport à un mur ordinaire, les résultats théoriques et expérimentaux ont également abouti à un coefficient de performance de 3.1 et un rendement de conversion électrique moyen de 9% [18].

L'objectif de cette étude est de réaliser des mesures expérimentales d'un panneau PV qui a été modifié en PV-T par le design d'un échangeur à air utilisant des ventilateurs en mode ventilation et en mode extraction. Une position verticale du panneau a été considérée afin de vérifier les performances énergétiques en mode intégration à la façade.

1.- Principe

La caractéristique courant tension $I(V)$ représente la variation du courant I en fonction de la tension V aux bornes d'une cellule solaire. Le produit du courant I_{\max} et la tension V_{\max} correspond à la puissance maximale de la cellule. Le point maximal P_{\max} est tributaire des paramètres opératoires notamment l'ensoleillement et la température [15].

1.1.- Influence de l'irradiation solaire

La création d'un courant électrique est obtenue à partir de l'énergie lumineuse, l'augmentation de l'ensoleillement G entraîne l'augmentation des paires électrons-trous d'une cellule solaire. Le courant débité est proportionnel à l'ensoleillement reçu, alors que la tension varie très peu comme illustré (fig 1 –a).

1.2.- Influence de la température

La température a également, une influence notable sur le rendement d'une cellule solaire, le courant court-circuit I_{cc} varie peu avec la température mais la tension à vide V_{co} y est beaucoup plus sensible. En effet, une perte de puissance de l'ordre de 9-15% est obtenue pour une augmentation de 30°C [16]. Comme montré sur la figure 1-b, pour le même éclaircissement les courbes $I(V)$ changent avec la température des cellules.

2.- Partie expérimentale et méthodologie

Pour l'étude expérimentale, un échangeur de chaleur à air ou convecteur a été conçu et installé à l'arrière d'un panneau photovoltaïque classique. Les résultats de mesures obtenus ont concerné plusieurs configurations selon la position, le mode et la puissance des ventilateurs.

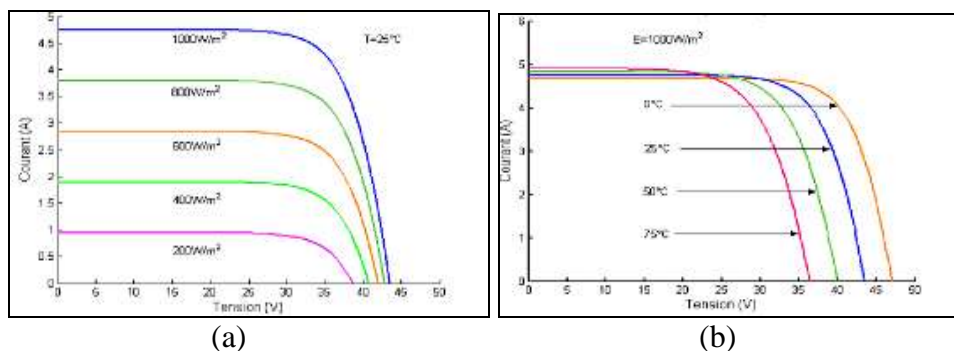


Figure 1.- (a) Effet de l'irradiation solaire, (b) Effet de la température [16]

2.1.- Fiche technique du dispositif

Le panneau photovoltaïque utilisé est représenté sur la figure 2.

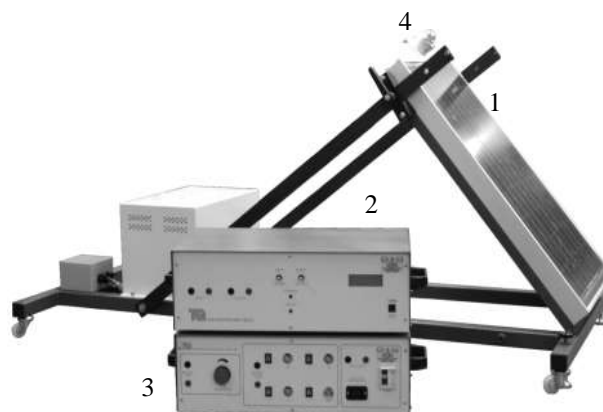


Figure 2.- Banc d'essai photovoltaïque [19]

Avec:

- 1: Panneau de 36 cellules solaires multi cristallines (tab. I)
- 2: Unité de contrôle connectée par câbles au panneau, elle donne par affichage digital les valeurs du rayonnement reçu G, du courant I et de la tension V.
- 3: Unité de charge qui comprend la charge à résistance variable, les lampes à différentes puissances (5, 10 et 21 Watts) et l'onduleur.
- 4: Pyranomètre qui mesure le rayonnement solaire reçu par le panneau à inclinaison souhaitée.

Les caractéristiques du panneau sont représentées sur le tableau I.

Tableau I.- Caractéristiques du panneau photovoltaïque

Paramètres	Caractéristique
Type de panneau	Multi cristallin
Couverture 3mm cellules	Verre à haute transmission 36 cellules montées en série
dimensions totales	767 mm x 502 mm
Puissance crête	40 W
Tension maximale Vco	21 V
Courant à la puissance crête	2.37 A
courant court circuit Icc	2.58 A
poids total	60 kg
Température de fonctionnement	+ 5°C à +40°C

humidité de fonctionnement	30 à 95%
Environnement	En laboratoire/ à l'extérieur

2.2.- Les convecteurs

Le convecteur est composé d'un boîtier supportant les ventilateurs et permettant la circulation de l'air à travers une lame de 4 cm d'épaisseur au contact du panneau PV, confinée entre la face arrière du panneau et l'isolant. Ce boîtier est composé de :

- Isolant de 2cm d'épaisseur (polystyrène) recouvert par une plaque de bois: hauteur 75 cm; largeur 50 cm ;
- Ouvertures entrée et sortie: longueur 46cm; largeur 4 cm ;

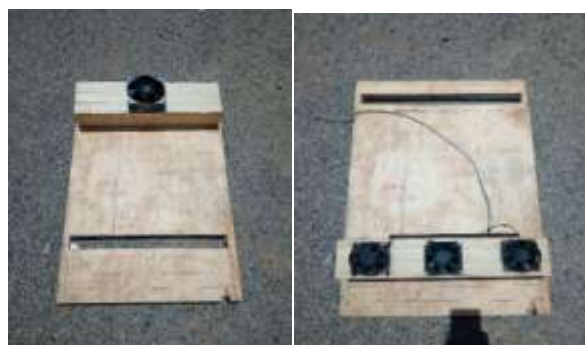
Pour la ventilation et l'extraction, plusieurs configurations ont été testées en utilisant 1, 2 et 3 ventilateurs de deux types de puissances:

- Ventilateurs d'une puissance nominale unitaire de 1,68 W.
- Ventilateur de puissance nominale de 10 W.

Pour les tests d'extraction (fig. 3, 4-a), les ventilateurs sont placés en haut du boîtier, l'aspiration de l'air entrant par l'ouverture du bas crée une dépression à l'intérieur de la lame d'air. Pour les tests de ventilation (fig. 4-b), les ventilateurs sont placés en bas du boîtier de façon à assurer une répartition homogène de l'air par l'entrée.



Figure 3.- Photos arrière et face du dispositif expérimental



(a) (b)

Figure 4.- (a) Mode extraction, (b) mode ventilation

3.- Protocole expérimental

Les tests expérimentaux réalisés ont pour objectif de montrer les avantages de l'utilisation d'un panneau hybride photovoltaïque thermique PV-T destiné, à plus grande échelle, aux façades photovoltaïques double peau, une technique qui est en plein


développement actuellement pour le bâtiment tertiaire où l'importante hauteur contribue efficacement au tirage thermique et à l'augmentation de la surface de captation du rayonnement solaire.

Le dispositif a une double fonction: la production d'électricité et la récupération de la chaleur par l'air de circulation qui refroidit les cellules solaires.

3.1.- Capteurs de température

Afin de réaliser les tests prévus, sur la face arrière du panneau, des capteurs sont fixés à différents endroits de la paroi pour mesurer la température moyenne du panneau pendant le refroidissement. Les capteurs utilisés sont du type LM335 (Tableau II).

Tableau II.- Caractéristiques des capteurs LM335

Caractéristique	
Type LM 335 Z	
Gamme de température	-40 °C à +100 °C
Connexion	Trois picots à souder
Equivalent mesure	01 millivolt mV pour 01 degré Kelvin.

Les capteurs sont fixés à 09 positions uniformément réparties comme indiqué sur la figure 5.



Figure 5.- Positions des capteurs de température

32.- Réalisation des tests

Les mesures ont été réalisées en laboratoire par le protocole suivant:

- Mise en position verticale du panneau
- Choix de la charge (fixe: lampes)
- Exposition du panneau aux projecteurs
- Pendant les tests, le panneau est utilisé seul et avec convecteur intégré, les deux premières mesures sont réalisées sans mise en marche des ventilateurs.
- Le pas de temps est constant
- Le courant et la tension sont enregistrés.
- Les températures d'entrée et de sortie de l'air $T_{air,e}$ et $T_{air,s}$ ainsi que les débits sont mesurés par anémomètre à fil chaud.
- Les températures des 09 points de mesure sont obtenues par un voltmètre digital.

4.- Résultats et discussion

Pour l'éclairage en laboratoire, 04 projecteurs ont été utilisés dont la puissance maximale est de 500 W chacun. Le rayonnement lumineux reçu par le panneau est réglé de façon à le maintenir constant pour tous les tests, $G = 400 \text{ W/m}^2$.

4.1.- Puissance électrique

La puissance électrique est obtenue par la formule suivante :

$$P = I \cdot V \quad (1)$$

Avec:

I: courant électrique, en Ampères.

V: tension électrique, en Volts.

En vertu de cette équation, la figure 6 représente la puissance électrique obtenue pour les six (06) cas considérés.

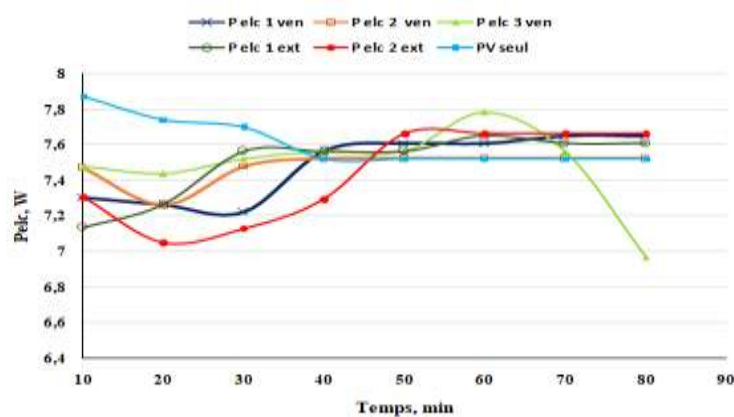


Figure 6.- Puissance électrique du Panneau

Il apparaît sur les courbes (fig 6) qu'à la mise en marche du dispositif, la puissance du panneau seul est la plus élevée, alors que pour les autres panneaux avec convecteur, la puissance est assez faible, notamment pour le cas des deux ventilateurs en mode extraction ou encore celui équipé d'un seul ventilateur. A partir de la 30^{ème} minute de fonctionnement, la tendance s'inverse et la puissance retrouve une stabilisation pour quasiment tous les cas. Seul le cas utilisant 3 ventilateurs voit sa puissance chuter brutalement au bout d'une heure de fonctionnement, à cause de l'échauffement excessif du panneau, l'air est trop rapide pour récupérer suffisamment de chaleur; un résultat qui se confirmera sur les courbes de température. Le système avec deux ventilateurs de faible puissance (1.68 W) en mode extraction ou un seul plus puissant (10W) en mode ventilation présentent les puissances fournies les plus élevées.

4.2.- Puissance thermique

La puissance thermique récupérée par l'air est calculée par la relation suivante :

$$P_{th} = \dot{m}C_p(T_s - T_e) \quad (2)$$

Avec :

$\dot{m} = \rho.v.S$, kg/s, le débit massique de l'air traversant l'échangeur;
 $C_p = 1005$ J/kg. K, est la chaleur spécifique de l'air;
 $\rho = 1,184$ kg/ m³, est la masse volumique de l'air.

Les résultats expérimentaux montrent, sur la figure 7, que pour les tests avec deux et trois ventilateurs (de puissance 1,68 W), la puissance thermique récupérée par l'air est d'environ 20 Watts, elle reste toutefois quasi stable pendant tout le fonctionnement. L'utilisation du ventilateur à 10 W en mode extraction donne pratiquement les mêmes résultats avec une légère amélioration.

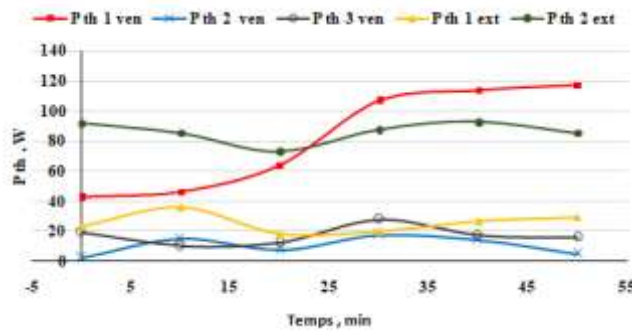


Figure 7.- Puissance thermique récupérée

Seulement, la puissance la plus élevée reste celle pour le panneau avec un seul ventilateur (10W) en mode ventilation, tout comme le cas avec deux ventilateurs en mode extraction qui présente par contre une puissance thermique plus faible en moyenne d'une quarantaine de Watts par rapport au cas précédent, il s'avère dans ces mesures que la ventilation est meilleure que l'extraction. En effet, la puissance d'extraction empêche l'air de soutirer une quantité importante de chaleur de la paroi. Vu la hauteur réduite de la lame d'air, l'air envoyé devient alors plus performant pour absorber la chaleur au contact de la paroi.

L'utilisation de deux ventilateurs symétriquement fixés en extracteurs montre une puissance élevée et assez régulière sur toute la durée de fonctionnement en consommant moins d'énergie.

4.3.- Rendement de conversion électrique

Le rendement représente le rapport entre la puissance électrique consommée au rayonnement reçu par le panneau.

Le rendement de conversion électrique est donné pour chaque pas de temps par la formule :

$$\eta_e = \frac{P_e}{G.S} = \frac{I.V}{G.S} \quad (3)$$

Avec :

G, est le rayonnement global reçu par le panneau, W/m²
 S: la surface du panneau, m²

Sur la figure 8-a sont représentées les courbes d'évolution du rendement électrique η_e . Les rendements du panneau ventilé se stabilisent à une valeur proche de 6.20 à 6.30 %,

seul le cas du panneau sans système de refroidissement possède un rendement beaucoup plus faible autour de 5.70%. Alors qu'aux premières minutes, il était plus élevé. Contrairement aux autres configurations, qui donnent lieu à une augmentation significative du rendement: un gain moyen de 6.5% et maximum de 10% pour le cas du ventilateur (10 W), un gain moyen de 5.08% et maximum de 8.85% pour le test de deux ventilateurs (1.68 W) en extraction et enfin un gain moyen de 7.8% et maximum de 10.2% pour le cas des deux ventilateurs en mode envoi.

4.4.- Rendement de conversion thermique

Le rendement thermique est calculé en fonction de la quantité de chaleur sensible extraite par l'air au contact du panneau :

$$\eta_{th} = \frac{P_{th}}{G.S} = \frac{\dot{m}.C_p.(T_s - T_e)}{G.S} \quad (4)$$

Du point de vue thermique, le rendement représente la quantité de chaleur utile récupérée P_{th} par rapport au rayonnement reçu à la surface des cellules.

Ainsi, les courbes de la figure 8-b, confirment que la tendance du rendement va dans le même sens que la puissance, les deux cas qui présentent une très bonne récupération de la chaleur sont ceux d'une ventilation utilisant le ventilateur de 10 W et d'une extraction avec deux ventilateurs à 1,68 W chacun, dans ce cas précis, la puissance est assez régulière et le rendement plus stable que le cas précédent. Pour les autres cas, l'aspiration comme la ventilation ne donnent pas de bons rendements (gain < 25-30%).

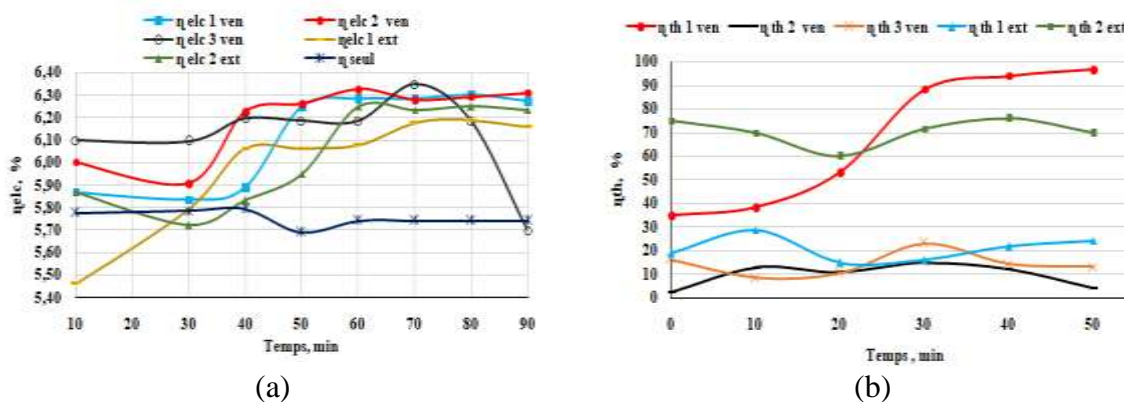


Figure 8.- Rendements de conversion électrique η_{elec} (a) et thermique η_{th} (b)

4.5.- Evolution de la température

La température est le paramètre principal de l'étude. Outre l'inconvénient d'une augmentation de la température des cellules qui nuit à leur rendement électrique, le gradient de température de l'air de circulation permet la récupération de la chaleur, portion du rayonnement E non converti en électricité et responsable de la surchauffe des cellules PV.

4.5.1.- Température moyenne de la paroi arrière du PV

Sur les courbes de la figure 9, est représentée la distribution temporelle de la température moyenne de la paroi arrière du panneau pour la période du test.

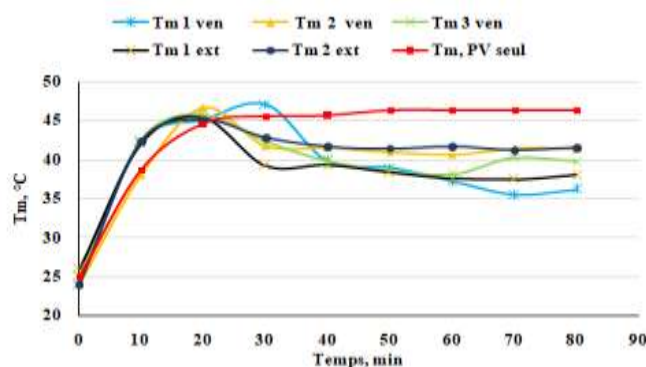


Figure 9.- Température moyenne de la paroi arrière du PV

Afin de déterminer la température moyenne de la paroi, des capteurs thermoélectriques ont été fixés en 09 points de mesure de la tension, la conversion du millivolt en degré Kelvin a permis de tracer les courbes de température (fig. 9).

Le panneau seul a tendance à chauffer avec la durée d'exposition à la lumière, sa température dépasse, ainsi, les 46°C. En revanche, dans les deux cas, que ce soit en mode envoi ou en extraction, utilisant un seul ventilateur à 10 W ou deux ventilateurs à 1.68W chacun, la température moyenne décroît en dessous des 40°C, mais du point de vue stabilité thermique, le cas de deux ventilateurs est plus indiqué, la température se stabilise au bout de 30 minutes de fonctionnement.

L'écart type entre le PV seul et le PV-T est au minimum d'une dizaine de degrés.

4.5.2.- Température de l'air de circulation

L'air entre dans le système à une température ambiante constante de 24°C (température mesurée du laboratoire) et en sort avec un préchauffage dû à la chaleur récupérée du panneau. Les graphes qui suivent, montrent cette évolution durant la période de mesure pour les différents cas testés.

4.5.2.1.- Ventilateur de 10 W en mode extraction

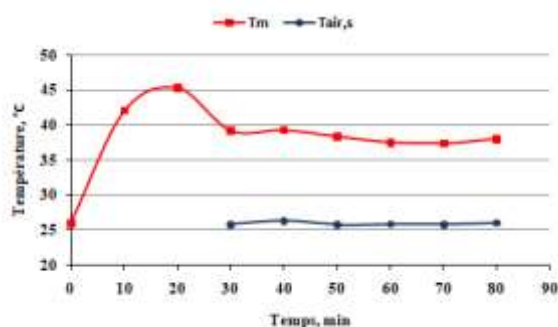
L'air quitte le panneau avec un gain de 2 à 2.5°C, pour une température de la paroi avoisinant les 38°C (fig. 10-a).

4.5.2.2.- Ventilateur à 10 W en mode envoi d'air

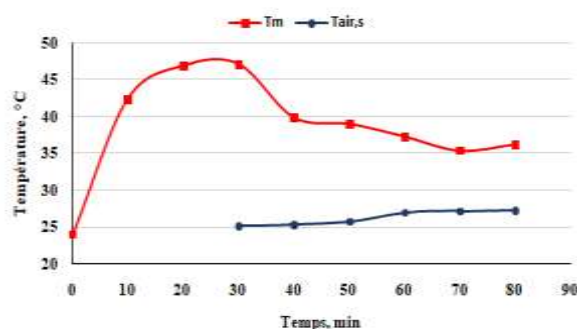
Dans ce cas, la ventilation présente un meilleur écart de température de l'air et une bonne chute de température de la paroi qui se rapproche des 35°C à partir d'une heure de fonctionnement. L'écart de température entrée / sortie de l'air est, en moyenne de 3 degrés (fig. 10-b).

4.5.2.3.- Deux ventilateurs à 1,68 W, en mode ventilation

La température de sortie de l'air au départ des ventilateurs est presque égale à celle de l'entrée, ensuite elle augmente faiblement et décroît encore avec un écart ne dépassant pas les 2 degrés Celsius. La température de la paroi ne descend pas en dessous des 40°C (fig. 11a).



(a)

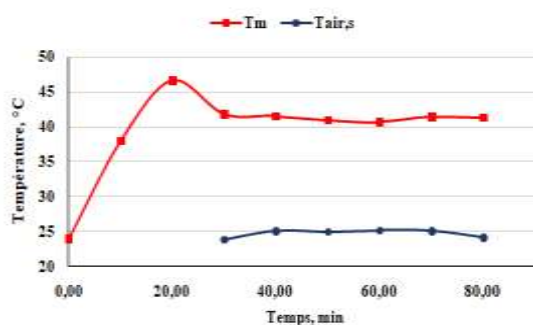


(b)

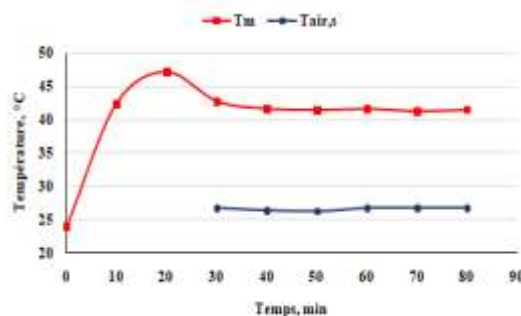
Figure 10.- Ventilateur (10W): (a) Mode extraction, (b) Mode envoi d'air

4.5.2.4.- Deux ventilateurs à 1,68 W en mode extraction

Dans ce dernier test, l'air gagne jusqu'à 3 degrés Celsius pour son préchauffage, sa température est stationnaire, la paroi se stabilise quant à elle à 41°C (fig. 11-b).



(a)



(b)

Figure 11.- Deux ventilateurs: (a) Mode envoi d'air, (b) Mode extraction

Ce qui est à retenir pour tous les tests est le fait que durant les 30 premières minutes, le panneau fonctionne sans ventilation aucune, la température augmente sensiblement à cause de la présence du boîtier à l'arrière du panneau, ce qui surchauffe encore plus les cellules. Toutefois, une fois le système enclenché, dès la 40^{ème} minute, la température chute de 5 à 7°C et se stabilise.

Conclusion

Au vu des résultats expérimentaux obtenus, le refroidissement de la paroi donne de bons résultats concernant le gain en rendement électrique avec des valeurs très proches pour tous les cas de PV-T considérés, alors que pour le rendement thermique. Il est noté que le meilleur est obtenu pour le cas de deux ventilateurs de 1.68W chacun en mode extraction, les résultats du cas où est utilisé un seul ventilateur environ trois fois plus puissant, sont intéressants en termes de rendement et températures, plutôt en mode ventilation.

Il est prévu, dans les travaux futurs, d'autres investigations expérimentales et numériques pour développer les résultats obtenus et pour étudier les configurations optimales à même d'exploiter efficacement le potentiel de façades BIPV en Algérie.

Références

- [1].- Doroban L., Popescu, M., Popescu, Craciunescu C., 2013.- A. Experimental assessment of PV panels front water cooling strategy. *Renew. Energy Pow. Qual. J.*, 1: 1009–1012.
- [2].- Touati F., Al-Hitmi M., Chowdhury N. A., Hamad J. A., Gonzales A. J. S. P., 2016.- Investigation of solar PV performance under Doha weather using a customized measurement and monitoring system. *Renew. Energy*, 89:564–577.
- [3].- Skoplaki E., Playvos J. A., 2009.- On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar Energy*, 83: 614–624.
- [4].- Teo H. G., Lee P. S., Hawlader M. N. A., 2011.- An active cooling system for photovoltaic modules. *Applied Energy*, 90(1): 309-315.
- [5].- Bandou F., Hadj Arab A., Belkaid M. S., Logerais P. O., Riou O., Charki A., 2015.- Evaluation performance of photovoltaic modules after a long time operation in Saharan environment. *Int. J. Hydrogen Energ*, 40: 13839–13848.
- [6].- Benbouza C., 2014 - Production et performance des capteurs hybrides (PV/T) à eau intégrés dans le bâtiment- cas de l'Algérie, Université de Constantine, 135p.
- [7].- Sandberg M., Moshfegh M., 1998.-Ventilated solar roof air flow and heat transfer investigation. *Renewable Energy*, 15 (1): 287- 292.
- [8].- Mei L., Infield L., Eicker U., 2003.-Thermal modeling of a building with an integrated ventilated PV façade. *Energy and Buildings*, 35 (3): 605-617.
- [9].- Cartmell P., Fiala D., 2004.- Multi operational ventilated photovoltaic and solar air collector: application, simulation and initial monitoring feedback. *Solar Energy*, 76: 45-53.
- [10].- Ben Cheikh El Hocine H., Marir-Benabbas, M., 2013.- Etude des performances électriques et thermiques d'un capteur hybride PVT. *Revue des Energies Renouvelables*, 16 (2): 257-268.
- [11].- Ait Saaada S., Kecili I., Nebbali R., 2019.- Refroidissement d'un panneau solaire photovoltaïque par ruissellement d'eau. 24ème Congrès Français de Mécanique Brest, du 26 au 30 août 2019.
- [12].- Joshi A. S., Tiwari A., Tiwari G. N., Dincer I., Reddy B. V., 2009.- Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal (PV/T) (glass-to-glass) system. *International Journal of Thermal Science*, 48: 154-164.
- [13].- Nasser Ahmad, Amith Khandakar, Amir El-Tayeb, Kamel Benhmed, Atif Iqbal, Farid Touati, 2018.- Novel design for thermal management of PV cells in harsh environmental conditions. *Energies*, 11: 3231.

- [14].- Nebbali D., Rezki N., Oubrahim A., 2018.- Improving photovoltaic panel performance via an autonomous air cooling system – Experimental and numerical simulations. *International Journal of Ambient Energy*, 1387-1403, ISSN: 0143-0750 (Print) 2162-8246 (Online).
- [15].- Krismadinata, Nasrudin Abd. Rahim, Hew Wooi Ping, Jeyraj Selvaraj, 2012.- “Photovoltaic module modeling using simulink/matlab”. *Conference on Sustainable Future for Human Security SUSTAINS, Procedia Environmental Sciences* 17: 537 – 546.
- [16].- Zouak Belkacem, 2012.- Etude de l'évolution des caractéristiques des matériaux thermoélectriques des anciennes et nouvelles générations et applications photovoltaïque-thermoélectricité; Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 114p.
- [17].- Billel Boumaaraf, Houria Boumaaraf, Mohamed El Amine Slimani, Selma Tchoketch- Kebir, Mohamed Salah Ait-Cheikh, Khaled Touafek, 2020.- Performance evaluation of a locally modified PV module to a PV/T solar collector under climatic conditions of semi arid region. *Mathematics and Computers in Simulation*, 167:135-154.
- [18].- Ruobing Liang, Peng Wang, Chao Zhou, Qiangguang Pan, Ahmed Riaz, Jili Zhang, 2020.- Thermal performance study of an active solar building façade with specific PV/T hybrid modules. *Energy*, 191: 116532p.
- [19].- TE4 Photovoltaic Cells User Guide, Tec. Quipment Ltd (2010).