



Étude et caractérisation d'un capteur solaire destiné aux applications à basse température

Sahraoui KHERRIS^{1,*}, Brahim MEBARKI², Belkacem DRAOUI², Djallel ZEBBAR¹,

Djelloul BECHRI² et Mustapha AKERMI³

¹Institut des Sciences et de la Technologie, Centre Universitaire El-Wancharissi de Tissemsilt, Algérie

¹ Laboratoire de mécanique, Université Amar Tilidji de Laghouat

²Laboratoire d'énergétique en zones arides, département de Génie Mécanique

Université Tahri Mohammed Béchar, Algérie

³Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelables, Université BOUBAKER Belkaid de Tlemcen

*kherris.sahraoui@gmail.com

Résumé— Le présent travail porte sur une contribution à l'étude et à la caractérisation d'un capteur solaire plan destiné aux applications à basse température. Une modélisation mathématique du système en question basée sur le modèle de PERRIN Brichambaut pour la détermination de l'éclairement solaire journalier ainsi qu'un programme sous l'environnement Matlab ont été élaborés pour étudier les transferts convectifs entre l'absorbeur et l'isolant afin d'optimiser l'épaisseur de l'isolant permettant d'augmenter le rendement du capteur. Les résultats obtenus ont été présentés et analysés pour deux périodes estivale et hivernale.

Mots clés— modélisation, rendement, capteur plan, énergie solaire, inclinaison.

I. INTRODUCTION

Le Défi mondial de l'approvisionnement énergétique incite les industriels à l'utilisation accrue des sources traditionnelles (les hydrocarbures et les combustibles solides), qui se vide plus vite qu'elle ne se remplit. Les gisements ont été doublement exploités en moins de quarante ans.

Même si la hausse des températures et les perturbations climatiques à venir ne peuvent être prévues avec exactitude, nous savons que leurs conséquences sur l'humanité et l'environnement à court, moyen et long terme seront importantes. L'Effet de serre est un phénomène physique naturel très sensible aux variations de la composition de l'atmosphère et en l'accentuant par ces émissions de GES (gaz à effet de serre) nous augmentons l'effet de serre qui est à l'origine du réchauffement planétaire. L'émission mondiale du CO₂ à doubler en moins de quarante ans.

La grande partie de ces émissions proviennent des nations industrialisées et malheureusement ce sont les pays en voie de développement qui sont les plus vulnérables à ces changements climatiques causés par le réchauffement de notre planète, dû à la destruction de la couche d'ozone et les problèmes qui en résultent (désertification, inondations, pluies acides, sécheresse, fonte accélérée des calottes glaciaires, l'impact sur la faune terrestre ...etc.). Les phénomènes météorologiques extrêmes semblent se multiplier dans le

monde. Le niveau des océans monte, les océanographes estiment que le niveau moyen des mers et des océans pourrait s'élever de 59 cm d'ici la fin du siècle. Ces bouleversements du climat sont en partie liés à un réchauffement global de la planète dans lequel la responsabilité des activités humaines est en cause.

Aussi d'autres gaz à effet de serre sont en cause ; ils proviennent directement ou indirectement des activités humaines :

Le protoxyde d'azote (N₂O), le méthane (CH₄) ...issus de l'usage d'engrais azotés en agriculture, du stockage et de l'épandage ...etc.

Les halos carbures (CFC, HCFC...) développés par l'industrie et utilisés dans la fabrication des composantes électroniques... Ce sont de très puissants GES.

Face à ces gros problèmes de pollution et à l'épuisement inévitable des ressources mondiales en énergie fossile et en énergie thermonucléaire (Uranium, Plutonium ...) l'homme a sans doute besoin de chercher d'autres formes d'énergies.

Il devient donc magistral de développer des solutions alternatives qui mettent en valeur les énergies reconvertibles. L'énergie solaire en est une, qui dans la plus part du temps elle ne peut être utilisée telle quelle. Il faut la transformer, c'est le rôle du convertisseur : Le Capteur solaire, il transforme l'énergie électromagnétique en énergie thermique. C'est d'ailleurs l'objet de ce travail qui se limite à l'Etude et la caractérisation d'un capteur solaire thermique destiné aux applications à basse température.

L'objectif de ce présent travail est consacré essentiellement à l'étude et l'analyse énergétique d'un capteur solaire thermique plan au site de Bechar. Pour atteindre l'objectif du travail en question, des travaux de recherche ont étudié et décrit la performance des capteurs solaire plans [1-9].

II. MODELISATION MATHÉMATIQUE



L'analyse thermodynamique et thermique est basée sur les lois de la conservation de l'énergie et de masse au niveau de chaque partie du capteur.

La figure 1 illustre les pertes thermiques d'un capteur solaire plan par rayonnement, convection et conduction dont la majorité des travaux de recherches montrent que les pertes latérales et postérieures restent négligeables devant les pertes thermiques de la face avant qui demeurent les plus importantes.

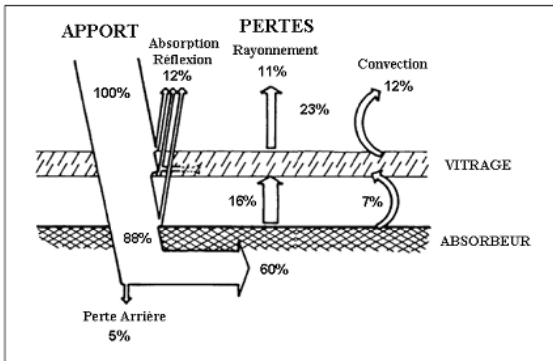


Figure 1 : bilan thermique d'un capteur solaire plan

L'énergie solaire absorbée par le capteur est exprimé par :

$$Q^* = Q_u + Q_a + Q_t \quad (1)$$

Le rendement moyen sur une période Δt s'écrit [9] :

$$\eta_m = \frac{\int_0^{\Delta t} Q_u dt}{\int_0^{\Delta t} Q_u dt} \quad (2)$$

Avec E_g qui représente l'éclairement solaire global reçu par le capteur.

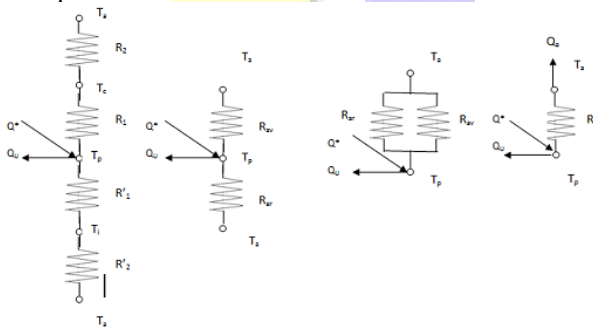


Figure 2 : schéma électrique équivalent d'un capteur solaire plan

La puissance solaire absorbée par le capteur:

$$Q^* = E_g \cdot \tau_c \cdot \alpha_p \quad (3)$$

$$\rho_c + \tau_c + \alpha_c = 1 \quad (4)$$

Le flux thermique Q_a perdu avec l'environnement est déterminé par une analogie électrique comme indiqué sur la figure 2.

$$Q_a = K (T_p - T_a) \quad (5)$$

Le rendement η instantané en régime permanent du capteur plan en fonction du rendement optique s'écrit alors [1, 9].

$$\eta = \frac{Q_u}{E_g} = \frac{Q^* - Q_a}{E_g} = (\tau_c \cdot \alpha_p) - \frac{Q_a}{E_g}$$

$$\eta = \eta_0 - K \frac{T_p - T_a}{E_g} \quad (6)$$

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

a. Influence de l'inclinaison sur l'irradiation solaire

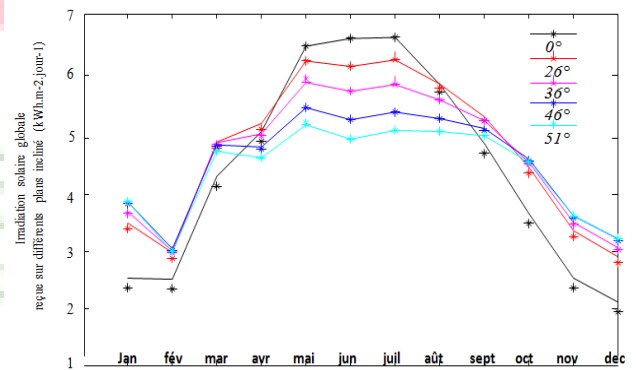


Fig. 1 Irradiation solaire globale reçue sur des plans de différentes inclinaisons.

La figure 1 montre l'effet de l'inclinaison sur l'irradiation solaire globale incidente. On remarque que l'inclinaison de 46° est la plus favorable pour l'obtention des valeurs les plus élevées de l'irradiation pour la saison d'hiver. Néanmoins, l'inclinaison de 51° nous donne aussi les mêmes valeurs en hiver mais en été elles sont moins élevées par rapport à celles de 46°.

b. Influence de l'inclinaison sur l'irradiation solaire

La figure 2 représente une comparaison de l'irradiation solaire globale mensuelle reçue sur un plan inclinée d'un angle de 46° par rapport à l'horizontal et sur un plan horizontal. L'analyse de la figure fait ressortir que le mois le plus défavorable est le mois de février avec une irradiation égale à 3,0076 kWh/m². jour et les plus favorables sont celles des mois d'été.

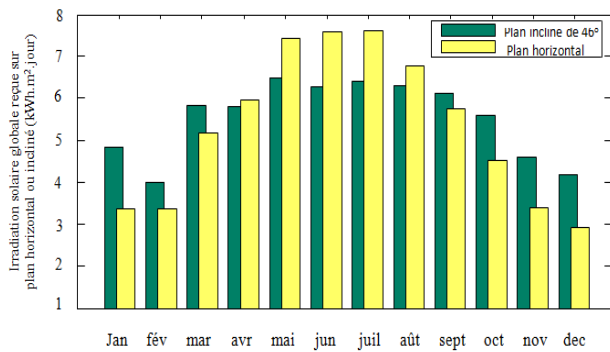


Fig.2 comparaison des irradiances solaires globales reçues sur un plan incliné et horizontal.

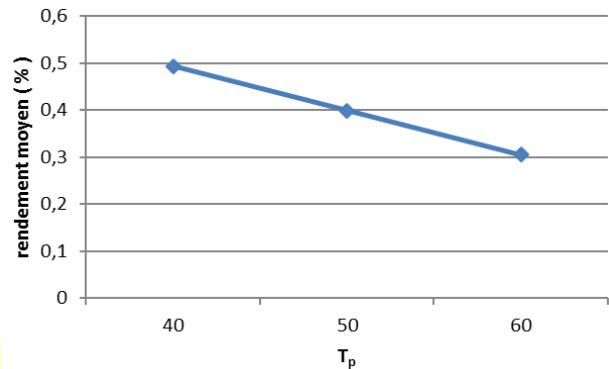


Fig.4 La variation du rendement moyen en fonction du Tp avec e = 6 cm

c. Influence de l'épaisseur de l'isolant sur le rendement

Pour les calculs du rendement solaire, deux périodes ont été choisies, hivernale (le 15 décembre) et estivale (le 17 juillet).

La figure 3 montre la variation du rendement moyen en fonction des différentes valeurs de l'épaisseur de l'isolant (1, 2, 3, 4 et 6 cm) pour la période hivernale avec la température de l'absorbeur $T_p = 60\text{ }^\circ\text{C}$ et la conductivité thermique $K = 11,54\text{ W/m}^2\text{K}$.

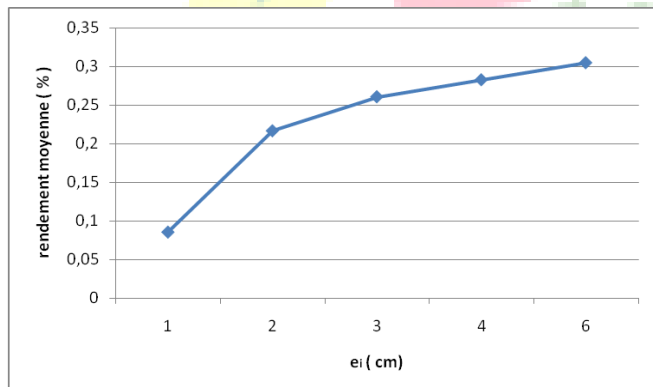


Fig.3 La variation du rendement moyen en fonction des différentes valeurs de l'épaisseur de l'isolant (période hivernale)

On remarque que pour une température de l'absorbeur constante la variation du rendement est une fonction croissante en fonction de chaque centimètre ajouté à l'isolant avec un pique vers 15h, ce qui indique que le capteur solaire devient rentable que des températures inférieure à $60\text{ }^\circ\text{C}$.

D'après la figure 4, il est a noter que les résultats obtenus donnent une large faveur pour les températures inférieures à $60\text{ }^\circ\text{C}$. Cela explique que le fait de se rapprocher des températures de l'ambiance le capteur atteint ces performances optimales.

TABLEAU 1. Variation du rendement en fonction du temps
 $e = 6\text{ cm}$, $G^* = 1016.309\text{ (W/m}^2\text{)}$, $K = 7,67\text{ W/m}^2\text{K}$ et $T_p = 60\text{ }^\circ\text{C}$

heure	$T_a\text{ (}^\circ\text{C)}$	rendement η
7	32	0,54868631
8	33,2	0,55774262
9	35	0,57132707
10	36	0,57887398
11	37,6	0,59094905
12	39	0,60151474
13	40	0,60906165
14	40,8	0,61509919
15	41	0,61660857
16	42	0,62415549
17	44	0,63924932
18	42	0,62415549
$T_a\text{ (moy)}$	38,55	$\eta\text{ (moy)}$
		0,59811862

Les résultats de la variation du rendement en fonction du temps sont rapportés sur le tableau 1. On constate que le rayonnement solaire atteint ces maximums en juillet ce qui entraîne des rendements plus importants pour des épaisseurs croissantes avec un pique vers 17h.

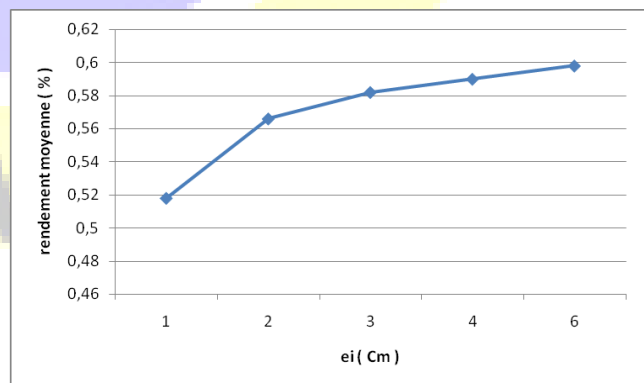


Fig.5 La variation du rendement moyen en fonction des différentes valeurs de l'épaisseur de l'isolant (période estivale)



Le calcul du rendement moyen pour différentes épaisseurs de l'isolant est traduit par la courbe croissante qui affiche son maximum pour ces valeurs de «ei» prises au choix (figure 5).

Par ailleurs, l'augmentation de celles-ci permet de minimiser les pertes de chaleur, ainsi le capteur bénéficie du maximum de l'énergie reçue et on en déduit que l'efficacité de l'isolant joue un rôle important et influent directement sur les performances du capteur solaire.

D'autre part, pour une épaisseur fixe le rendement de l'appareil varie selon la température donnée à l'absorbeur.

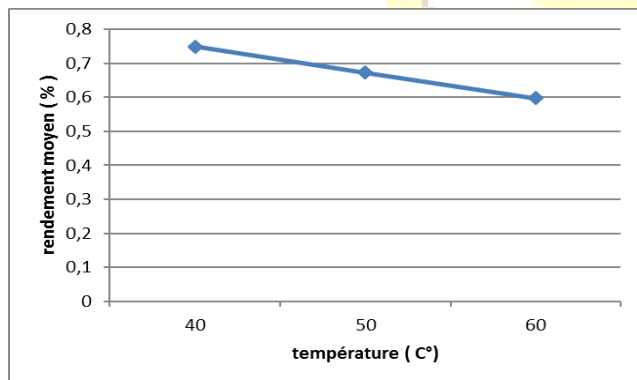


Fig.6 La variation du rendement moyen en fonction du T_p avec $e = 6$ cm

La figure 6 illustre parfaitement que si la température de l'absorbeur est diminuée de 20 °C on en gagne en rendement plus de 15 %,

En effet, le choix d'un capteur solaire performant se base sur deux critères :

- avoir une épaisseur de l'absorbeur qui soit assez suffisante mais sans être encombrante,
- s'approcher d'autant plus de la température ambiante.

IV. CONCLUSIONS

Dans le cadre de ce présent travail, une étude théorique d'un capteur solaire a été entreprise dans le but de mettre évidence, en plus de l'influence de l'intensité de l'éclairement solaire et l'angle d'inclinaison du capteur, l'épaisseur de l'isolant ainsi que la température de l'absorbeur sur le rendement de ce dernier.

Après avoir passé en revue les différents modèles qui calculent l'irradiation solaire, une modélisation mathématique du rayonnement solaire et du capteur ont été développées basée sur le modèle de PERRIN Brichambaut, ce qui nous a permis d'avoir les différentes équations qui régissent le comportement thermique de cet appareil en régime permanent, ainsi que l'expression de son rendement instantané.

Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence de l'épaisseur de l'isolant sur la conductance global et par

conséquent sur le rendement instantané aussi. Il apparaît clairement que le rendement instantané du capteur solaire est une fonction proportionnelle à la conductance globale solaire et l'épaisseur de l'isolant.

En revanche, les résultats obtenus montrent qu'au – delà d'une certaine température de fonctionnement du capteur solaire plan, son rendement instantané diminue si la puissance absorbée par cet appareil augmente, ceci peut être expliqué par le fait que l'écart de température entre l'absorbeur et l'air ambiant et les pertes thermiques vers le milieu extérieur vont augmenter.

Autre outre, cette étude nous a montré également que pour avoir un capteur solaire plan performant, le fonctionnement à basses températures est préconisé par le choix de l'épaisseur de l'isolant aussi l'heure de la journée en période estivale ou hivernale.

NOMENCLATURE

- Q* : L'énergie solaire absorbée par un capteur. [J]
 Qu : L'énergie utile. [J]
 Qa : L'énergie absorbée [J]
 Qt : L'énergie thermique [J]
 I_0 : Eclairement global sur une surface inclinée [W/m^2]
 T : Température [K]
 K : Coefficient dépend de l'état du ciel avant d'être recouvert par les nuages
 η : Le rendement instantané
 ρ_c : coefficient de réflexion
 τ_c : coefficient de transmission
 α_c : coefficient d'absorption

REFERENCES

- [01] D.K.Edwards "Capteur solaire" Editions SCM Paris, 1985.
 [02] K. Aoues, N. Moumni, M. Zellouf, A. Moumni, A. Labeled, E. Achouri, A. Benchabane, « Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air », Etude expérimentale dans la région de Biskra, Revue des Energies Renouvelables, vol 12, N°2, p 237-248, (2009).
 [03] NanWang, Shequan Zeng, MiZhou, Shuangfeng Wang, Numerical study of flat plate solar collector with novel heat collecting components, International Communications in Heat and Mass Transfer Vol 69, pp. 18-22, December 2015.
 [04] Krishna Murari Pandey RajeshChaurasiya, A review on analysis and development of solar flat plate collector, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 67, pp. 641-650, January 2017.
 [05] Akhtar, N., Mullick, S.C., Computation of glass-cover temperatures and top heat loss coefficient of flat-plate solar collectors with double glazing. Energy 32, 1067–1074, 2007.
 [06] Alvarez, A., Cabeza, O., Muñoz, M.C., et al., Experimental and numerical investigation of a flat-plate solar collector. Energy 35 (9), 3707–3716, 2010.
 [07] Norton, Brian., BSc, MSc, PhD, F Inst E, C Eng, Solar Energy Thermal Technology, Springer-Verlag London Limited, 1992.
 [08] Dagdougui, Hanane, Ouammi, Ahmed., Robba, Michela, et al., Thermal analysis and performance optimization of a solar water heater flat plate collector: application to Tetouan (Morocco). Renew. Sustain. Energy Rev. vol 15 (1), 630–638, 2011.



Le 5^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 5th International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 24 - 25 Octobre 2018



- [09] Jacques, BERNARD. 'Energie solaire calculs et optimisation',
Edition: Ellipse collection technosup, ISSN/ISBN:
978.2.7298.1897.5, 2004.
- [10] Jeronimo V.D.SOUZA, Conception et optimization d'un capteur
solaire thermique innovant adapté à la renovation énergétique grace
à l'intégration du stockage. Thèse de doctorat, France 2012
- [11] Youcef Ali ., study and optimization of the thermal performances of
the offset rectangular plate fin absorber plate, with various glazing,
.Renewable Energy, Vol. 30, pp. 271-280, 2005.
- [12] R. S. Scotney, C Chapman, Hepburn C., and Jie C., Carbon
Markets and Climate Policy in China:China's pursuit of a clean
energy future prepared for The Climate Institute by Climate Bridge.
October 2012

