

# Influence des propriétés intrinsèques de l'absorbeur de chaleur PEHD<sub>BIO</sub> sur les performances d'un capteur solaire

**BABA AHMED Nassim<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Abou Bekr Belkaïd University of Tlemcen, 22 rue Abi Ayed Abdelkrim Faubourg Pasteur B.P 119 13000 Tlemcen, Algeria*

**RESUME** Les économies d'énergie et la protection de l'environnement constituent les fondements du concept moderne d'efficacité énergétique. À la suite du programme algérien sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique dicté par sa politique de transition énergétique, il est prévu que 40% de la production d'électricité proviendra d'énergies renouvelables d'ici 2030. Le présent document accompagne cette politique dans le respect du concept d'efficacité énergétique. C'est pourquoi ce travail expérimental porte sur la conception, la construction et l'étude d'un capteur solaire respectueux de l'environnement, à base de polyéthylène haute densité (PEHD<sub>BIO</sub>) d'origine végétale, utilisé comme absorbeur de chaleur. Dans ce contexte, le PEHD<sub>BIO</sub> est caractérisé pour confirmer son rôle d'absorbeur de chaleur. L'objectif de ce travail est de contribuer à une meilleure compréhension des mécanismes impliqués dans l'influence de PEHD<sub>BIO</sub> qui conduit à son utilisation comme absorbeur de chaleur dans le capteur solaire. Des commentaires sur cette conception innovante et les performances du capteur solaire étudié sont présentés et les résultats obtenus sont encourageants : L'utilisation de matériaux biodégradables dans le capteur solaire est une idée originale, un capteur solaire est réalisé et amélioré de 50% à l'aide de chicanes.

**Mots-clefs** PEHD<sub>BIO</sub>, Capteur Solaire, Absorbeur de Chaleur, Chicanes.

## I. INTRODUCTION

Le développement des capteurs solaires nécessite la réduction des pertes thermiques de l'absorbeur par une conception rigoureuse de ses capteurs par rapport au protocole d'efficacité énergétique et par un choix pertinent des composants alimentant ses capteurs solaires. Pour pouvoir espérer apporter des améliorations conséquentes sur le capteur solaire tout en respectant un développement soutenable, nous proposons une synthèse de quelques travaux déjà réalisés dans le domaine des capteurs solaires. Duffie et al [1] ont réalisé un capteur solaire plan en mesurant les températures de l'absorbeur, de la plaque arrière et du vitrage dans un régime unidimensionnel stationnaire. L'influence des conditions environnementales sur le capteur solaire a été traitée numériquement et validée expérimentalement par Rodriguez et al [2-3]. L'étude du comportement thermique des capteurs solaires a été réalisée par Molero et al [4] en développant un modèle mathématique tridimensionnel instable pour les essais de conception. Minn et al [5] se sont intéressés au phénomène d'interaction de la température de l'absorbeur avec le fluide caloporteur. Letz et al [6] ont effectué une analyse complète du comportement d'un collecteur d'air sous l'effet de la lumière solaire naturelle et artificielle en utilisant la méthode nodale en résolvant les équations d'équilibre thermique. L'orientation du capteur solaire a un impact significatif sur son efficacité globale. Ainsi, Dang et al [7] se sont intéressés à ce problème en

élaborant une étude expérimentale. L'effet de l'inclinaison de l'ensemble du capteur solaire et donc le nombre de Rayleigh sur le régime d'écoulement est également important. Cela a permis à Hollands et al [8] de déterminer le nombre critique de Rayleigh pour les positions horizontales, verticales et inclinées. En 2012, D'Antoni et ses collaborateurs [9] ont analysé les performances des universités solaires thermiques afin de mettre en avant les différentes variantes possibles déjà proposées pour aider les chercheurs à mieux exprimer leurs développements futurs. En 2017, N. S. Suresh et al [10] soulignent que l'efficacité de la conversion solaire est beaucoup plus élevée pour le chauffage industriel que pour la production d'électricité, et que les applications de chauffage industriel représentent une part importante de la consommation d'énergie industrielle. En Algérie, des études ont été réalisées par R. Ihaddadene et al [11], A.E. Kabeel et al [12] en faisant varier le débit du fluide de travail et en contrôlant automatiquement la position du capteur solaire par rapport au soleil, mais reste le problème du transfert de chaleur et la forme du capteur solaire à résoudre ainsi que la réfrigération. Notre travail porte sur l'étude expérimentale d'un matériau innovant comme absorbeur pour la conception du capteur solaire. Ce matériau est le PEHD (polyéthylène haute densité) écologique, car synthétisé à partir d'origine végétale. L'étude du vieillissement de ce matériau et les performances globales du capteur solaire ont été étudiées. Les résultats obtenus sont présentés et des commentaires ont été formulés.

## II. RESULTATS ET CONCLUSIONS

Le banc d'essai a été réalisé à l'université de Tlemcen se situant au Nord-ouest Algérien (latitude  $35,28^\circ$ , une longitude de  $-1,17^\circ$  et une altitude de 750 m). Les tests ont été effectués pendant la période estivale du 20 au 30 juin 2019 sous un ciel clair et un vent de vitesse faible à modérée. L'écoulement d'air à l'intérieur du capteur solaire a été assisté par un système de ventilateur d'extraction à régulation. Le capteur solaire est représenté dans la figure 1 :

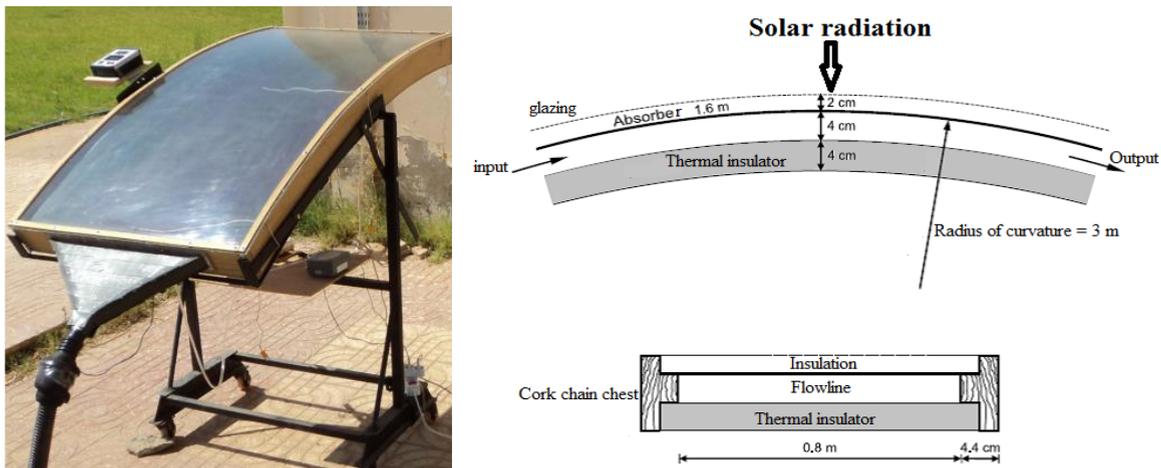


Figure 1 : Capteur solaire courbé

L'épaisseur de la lame d'air de 2 cm et recouvert à l'extérieur par du chêne liège d'épaisseur de 2,4 cm comme isolant thermique et entre les deux il y a une couche de laine de verre de 2 cm d'épaisseur sur les surfaces latérales ainsi que 2 cm de chêne liège avec une couche de laine de verre de 2 cm d'épaisseur sur la surface arrière. A l'intérieur, on pose l'absorbeur thermique PEHD<sub>BIO</sub> d'épaisseur de 3 mm et de longueur de 1,6 m. La couverture transparente est constituée d'un vitrage flexible de 4 mm d'épaisseur. Le fluide caloporteur, passe dans un couloir de 4 cm, situé entre la partie inférieure du PEHD<sub>BIO</sub> et l'isolant inférieur. A l'entrée du conduit d'écoulement de dimensions 4 cm × 0,8 m × 1,6 m se trouve une rangée de 20 trous de diamètre de 1 cm à travers lesquels l'air ambiant passe à l'intérieur du capteur solaire. L'air chauffé est évacué par la suite à travers une section convergente à la sortie du conduit d'écoulement. Les propriétés thermomécaniques mesurées du PEHD<sub>BIO</sub> sont résumés dans le tableau 1.

**Tableau 1.** Propriétés mesurées du PEHDbio

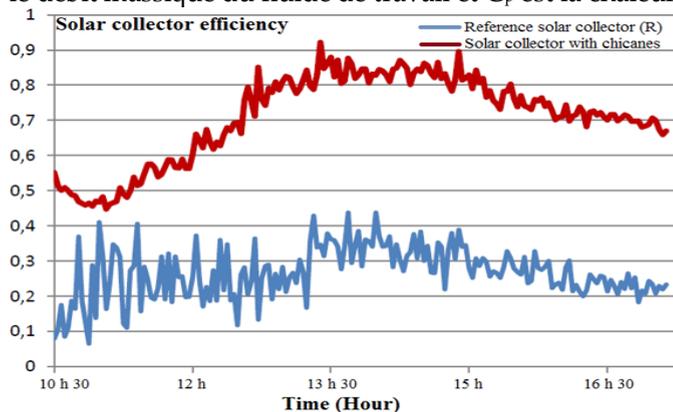
Propriétés	Unité	Valeur
Densité volumique	g.cm <sup>-3</sup>	0,974 ± 0,01
Capacité thermique	J/Kg K	1900 ± 0,012
Conductivité thermique	W/m K	0,43 ± 0,01
Emissivité totale		0,958 ± 0,005
Diffusivité thermique	m <sup>2</sup> /s	(0,314 ± 0,02) 10 <sup>-6</sup>
Densité	g/cm	0,945 ± 0,001
Température de fusion	°C	202,34 ± 0,02
Cristallinité	%	55 ± 2
Masse molaire moyenne en poids	g/mol	498,54 ± 0,44
Température de transition vitreuse	°C	- 127,22 ± 0,02
Coefficient d'expansion	C <sup>-1</sup>	19 10 <sup>-5</sup>

Les résultats obtenus grâce à l'étude énergétique sur le capteur solaire montrent l'influence de l'épaisseur de la lame d'air sur le régime d'écoulement ; ce dernier peut être stationnaire stable ou instationnaire. Ainsi, l'accroissement de l'épaisseur favorise l'intensification de la convection et donc les pertes thermiques par la face avant. L'introduction des partitions dans la cavité a permis la réduction des échanges convectifs. Les essais ont été réalisés en évaluant le comportement thermique du capteur solaire en fonction des conditions extérieures (ensoleillement, température...) et bien sûr du débit d'écoulement du fluide caloporteur (eau). Cette étude compare les performances de deux capteurs solaires. Le capteur solaire de référence (R) avec une épaisseur d'espace libre de 2 cm et le capteur solaire (R-3) avec une épaisseur de 1,7 cm. Le fluide de travail est de 1,8 l/min d'eau. A partir de ces mesures, l'efficacité du capteur solaire est

$$\eta = \frac{P_u}{P_{abs}} = \frac{P_u}{A_c \cdot G} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T}{A_c \cdot G}$$

déterminée à l'aide de l'équation :

Où  $P_u$  est la puissance utile récupérée par le fluide de travail,  $P_{abs}$  est l'énergie solaire arrivant sur le capteur solaire,  $A_c$  est une surface de capteur solaire,  $G$  est un flux solaire incident global,  $\dot{m}$  est le débit massique du fluide de travail et  $C_p$  est la chaleur spécifique à pression constante.



**Figure 2.** Comparaison de l'efficacité des deux capteurs solaires.

Les résultats obtenus montrent l'influence de l'épaisseur sur le rendement thermique et la nécessité de trouver une épaisseur optimale pour un meilleur rendement. En effet, plus l'épaisseur croît plus la convection devient intense ce qui engendre des pertes vers l'avant du capteur et une réduction dans le rendement. L'introduction des obstacles contribue à la réduction de la convection dans la lame d'air et permet d'améliorer le rendement du capteur.

Le vieillissement du PEHD<sub>BIO</sub> en parties supérieure et inférieure dans le capteur solaire a provoqué une perte en stabilisants. Une oxydation en surface des échantillons et une oxydation sur l'ensemble de l'épaisseur du PEHD<sub>BIO</sub> constatée vu l'augmentation du taux de cristallinité. A

l'échelle moléculaire, la perte en stabilisants dans le cas du PEHD<sub>BIO</sub> exposé aux UV, de nature chimique par réaction avec les produits de photooxydation ou physique par une évaporation dans l'air, est trois fois plus importante que pour le PEHD<sub>BIO</sub> en contact avec l'eau. La perte importante des stabilisants des deux PEHD<sub>BIO</sub> permettrait l'amorçage de la photooxydation du PEHD<sub>BIO</sub> exposé aux UV et de la thermo-oxydation du PEHD<sub>BIO</sub> en contact avec l'eau. En revanche, en surface des échantillons, la thermo-oxydation PEHD<sub>BIO</sub> vieilli en contact avec l'eau semblerait plus avancée que la photooxydation de PEHD<sub>BIO</sub> en partie supérieure du capteur solaire. Ces phénomènes d'oxydation couplés au phénomène de recuit seraient responsables de l'augmentation du taux de cristallinité du PEHD<sub>BIO</sub> sur l'ensemble de l'épaisseur des échantillons.

#### Référence :

- [1] J. A. Duffie, W. A. Beckman. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4<sup>rd</sup> edition, Inc. Copyright 2013 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [2] M. C. Rodriguez. (2011). Flat plate thermal solar collector Efficiency: transient behavior under working conditions part II: model application and design contributions. *Applied Thermal Engineering*, 31, 2385-2393. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.04.002>
- [3] M. C. Rodríguez-Hidalgo, P. A. Rodríguez-Aumente. , A. Lecuona, G. L. Gutiérrez-Urueta, R. Ventas. (2011). "Flat plate thermal solar collector efficiency: Transient behavior under working conditions. Part I: Model description and experimental validation", *Applied Thermal Engineering*, 31, 2394-2404. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.04.003>
- [4] N. Molero Villar, J. M. Cejudo Lopez, F. D. Dominguez Munoz, A. Rodriguez Garcia, A. Carrillo Andres. (2009). Numerical 3-D heat flux simulations on flat plate solar collectors. *Solar Energy* 83, 1086–1092. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.01.014>
- [5] M. A. Minn, K. C. Ng, W. H. Khong, T. Melvin. (2002). A distributed model for a tedlar-foil flat plate solar collector. *Renewable Energy* 27, 507–523. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(01\)00175-6](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(01)00175-6)
- [6] T. Letz, M. Lallemand. (1986). Etude théorique et expérimentale d'un capteur solaire plan à air en régime dynamique. *Revue de Physique Appliquée*. 21, 727-734. <https://doi.org/10.1051/rphysap:019860021011072700>
- [7] A. Dang, K. J. Shama. (1983). Performance of flat plate collectors in off-south orientation in India. *Energy Conversion and Management*. 23(3), 125-130. [https://doi.org/10.1016/0196-8904\(83\)90053-5](https://doi.org/10.1016/0196-8904(83)90053-5)
- [8] K. G. T. Hollands, L. Konicek. (1973). Experimental study of the stability of differentially heated inclined air layers. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 16, 1467-1476. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(73\)90153-1](https://doi.org/10.1016/0017-9310(73)90153-1)
- [9] M. D'Antoni, O. Saro. (2012). [Massive Solar-Thermal Collectors: A critical literature review](https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.076), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3666-3679. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.076>
- [10] N. S. Suresh, S. Rao Badri. (2017). [Solar energy for process heating: A case study of select Indian industries](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.190), *Journal of Cleaner Production*, 151, 439-451. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.190>
- [11] R. Ihaddadene, N. Ihaddadene, N. Madani, F. Z. Hamdibacha. (2014). [The effects of volumetric flow rate and inclination angle on the performance of a solar thermal collector](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.09.051), *Energy Conversion and Management*, 78, 931-937. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.09.051>
- [12] A. E. Kabeel, A. Khalil, S. S. Elsayed, A. M. Alatyar. (2015). [Modified mathematical model for evaluating the performance of water-in-glass evacuated tube solar collector considering tube shading effect](https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.072), *Energy*, 89, 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.072>.