

CONCEPTION ET CARACTERISATION D'UN INSOLATEUR PLAN A VITRAGE EN DENT DE SCIE

EDOUN Marcel¹, DJIMASRA Bonheur¹, KUITCHE Alexis¹, ZEGHMATI Belkacem²

¹Laboratoire d'Energétique et Thermique Appliquée (LETA)
ENSAI-Université de Ngaoundéré-Cameroun

²Laboratoire de Mathématiques Et Physique - Groupe de Mécanique Energétique (LA.M.P.S-G.M.E)
Université de Perpignan Via Domitia – France

edounmarcel@yahoo.fr, kuitche_a@yahoo.fr, zeghmati@univ-perp.fr

Résumé : Dans le cadre de cette étude, nous avons développé et testé un nouveau type d'insolateur nommé *l'insolateur à vitrage en dents de scie*. C'est un insolateur à air à simple passe entre la couverture transparente et l'absorbeur fixé sur l'isolant. La couverture est à double vitrage avec la vitre supérieure plane et la vitre inférieure est en forme de dents de scie. L'absorbeur est également en forme de dents de scie. Cette combinaison donne naissance à un flux d'air ondulatoire circulant dans le nouvel insolateur. Ce capteur solaire modulaire permet de simuler le fonctionnement de plusieurs configurations de capteurs solaires plans. Dans le cadre de cette étude, la configuration en dents de scie et la configuration plane ont été comparées. Après réalisation du prototype au laboratoire, une caractérisation expérimentale a été effectuée en ensoleillement naturel dans la ville de Ngaoundéré entre novembre et décembre 2014. Elle consistait à caractériser l'irradiation solaire, les températures entrée/sortie du capteur, les températures des absorbeurs et le profil de vitesse de l'air. Durant les essais, le capteur solaire était orienté face plein sud et incliné soit de 45°, soit de 30° par rapport à l'horizontal. L'analyse des profils de température montre qu'à midi soleil pour une vitesse d'air de 0,3 m/s, la température de l'air à la sortie de l'insolateur à vitrage en dents de scie atteint 75°C alors que celle du capteur plan n'est que 60°C. Pourtant la température de l'absorbeur plan est plus élevée que celle de l'absorbeur en dents de scies. Ce qui nous permet de conclure que le coefficient de transfert convectif de l'insolateur à vitrage en dent de scie est amélioré par rapport à un insolateur tout plan. De même les profils de rendement mettent en évidence la contribution positive de la géométrie en forme de dents de scie à l'amélioration des performances thermiques d'un insolateur.

Mots clé : Insolateur, dents de scie, flux d'air ondulatoire, coefficient de convection

Introduction

Les capteurs solaires thermiques plans sont couramment employés en agro-industrie et notamment dans le domaine du séchage pour la production de chaleur. Dans le souci d'optimiser les transferts de chaleur, la conception des capteurs solaires plans a conduit à modifier leur structure interne [1]. Ces modifications avaient pour but l'augmentation des échanges thermiques positifs afin de récupérer le maximum d'énergie disponible. C'est ainsi que des innovations ont été apportées aux matériaux constituant la couverture transparente et aux divers agencements de l'absorbeur (introduction des obstacles dans la veine d'air).

[2] a conçu et expérimenté divers capteurs à absorbeur poreux (tôle déployée à maille écrasée, verre sélectif pilé et mousse plastique réticulée). Les rendements sont de 15 % plus élevés que pour les capteurs ordinaires (capteur traditionnel en une simple tôle non poreuse avec passage d'air entre la tôle et la vitre). [3] introduit dans un capteur une couverture combinée plastique-vitre et montre que le rendement du modèle atteint 45% avec une température de sortie de 70 °C. En 2005, une couverture triple vitrage a été introduite dans les capteurs solaires plans [4]. Le travail expérimental relève que le capteur à double vitrage offre une performance thermique inférieure à celle du triple vitrage. [5] réduisent les pertes de chaleur d'environ 20% en remplaçant l'air qui se trouve entre l'absorbeur et la couverture en verre par un gaz inerte (Argon, Xenon...).

Pour améliorer le coefficient convectif air-absorbeur, des nombreux chercheurs ont proposé d'une part d'augmenter le chemin parcouru par le fluide dans le capteur et d'autre part d'introduction des chicane (perturbateurs) dans la veine d'air : chicanes de formes delta cintrées longitudinales, ogivales cintrées longitudinales [6], chicanes de formes ogivales [7], chicanes cylindriques [8], chicanes à base trapézoïdale [9]. Une étude comparative de capteurs solaires à air à passe simple et à double passe dans le conduit de circulation d'air a été effectuée par [10-11]. Les rendements les plus élevés ont été obtenus avec le capteur solaire à air à double passe muni d'obstacles trapézoïdaux. Ils ont conclu à l'issue de cette étude que l'utilisation des obstacles

dans le conduit de circulation d'air des capteurs solaires thermiques, est une méthode efficace pour améliorer leurs performances thermiques. L'influence de la position de l'absorbeur a été aussi mise en évidence par [12]. Au terme de leurs travaux, ils ont montré que la position mixte de l'absorbeur fournit des températures de sortie en convection naturelle dépassant les 98°C et en convection forcée 70°C. En 2014, à la conférence internationale sur les énergies renouvelables et la puissance de qualité, [13] ont présenté une étude portée sur l'effet de la distance entre deux vitres sur la performance d'un capteur solaire thermique. Ils ont conclu que l'efficacité du capteur solaire à double vitrage diminue avec l'augmentation de la distance séparant les deux verres.

Bien que ces chicanes contribuent de manière significative à l'amélioration des performances thermiques de ce type de capteur, ils engendrent de pertes de charges considérables auxquelles il faut faire face. Dans le domaine particulier du séchage, ces pertes de charges sont compensées par un ajout d'une ventilation (solaire ou non). De plus jusqu'ici, la couverture transparente qu'elle soit à simple, double ou triple vitrage reste toujours plane. Dans le cadre de cette étude, en expirant des travaux de [12-14], nous allons proposer et développer un nouveau type d'insolateur : *l'insolateur ou capteur solaire en dents de scie*. L'objectif de ce projet est d'optimiser le rendement thermique de ce type de capteur tout en minimisant les pertes de charge générées. La première partie du travail ici présentée porte sur *la conception, réalisation et la caractérisation expérimentale de ce capteur solaire à vitrage en dents de scie*.

II. Matériel et méthodes

II.1. Modèle de vitrage en dents de scies

Afin de contribuer à l'accroissement de la turbulence et à l'augmentation du coefficient de transfert thermique entre paroi interne et fluide caloporteur lorsque celui-ci s'écoule, la deuxième vitre et l'absorbeur ont été fabriqués en forme de dents de scie c'est-à-dire rainuré (figure 1). Cette géométrie génère des perturbations dans la veine d'air et crée ainsi un flux d'air de type ondulatoire.

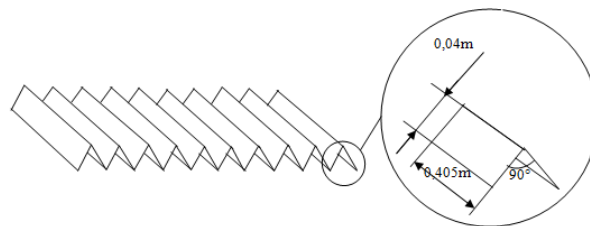


Figure 1 : Schéma représentatif du vitrage et de l'absorbeur en dents de scie.

II.2. Dispositif expérimental

Le prototype de capteur solaire plan à air a été réalisé au laboratoire d'Energétique et de Thermique Appliquée (LETA) de l'École Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles de l'Université de Ngaoundéré au Cameroun (Latitude 7,32° Nord, Longitude, 13,58° Est, Altitude, 1205 m). Ce capteur solaire est modulaire et permet de simuler le fonctionnement d'un capteur solaire *tout plan, semi-plan ou tout en dents de scie*. Les deux configurations testées dans le cadre de cette étude à savoir la configuration tout en dents de scie (Configuration 1) et tout plan (Configuration 2) sont présentées par la figure 2.

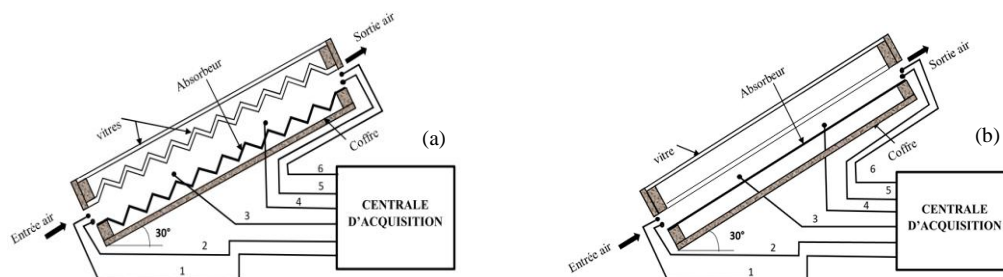


Figure 2: Schéma du dispositif expérimental : (a) configuration tout en dents de scie ; (b) configuration tout plan

Légende : 1,6 : Anémomètres ; 2 : Hygromètre ; 3,4, 5 : Thermocouples.

Pour la mesure de l'éclairement global, de la vitesse de l'air, de la température, de l'humidité, nous avons utilisé respectivement un luxmètre digital de marque 'Velleman DVM8090', un anémomètre à hélices de marque

‘Almemo FVAD 15S120 R1E4’, six thermocouples de type K et un hygromètre de marque ‘Almemo ZAD936 RAK, (D6 R5E4)’. Ces paramètres étaient enregistrés automatiquement toutes les 30 minutes à l’aide de la centrale d’acquisition de données ‘Almemo 2590’.

II.3. Modélisation du modèle de capteur solaire

Afin de déterminer les différents modes de transferts thermiques au niveau des composants, calculer les coefficients de transfert thermique et établir le bilan d’énergie thermique du capteur, nous avons procédé à une modélisation de celui-ci (Figure 3).

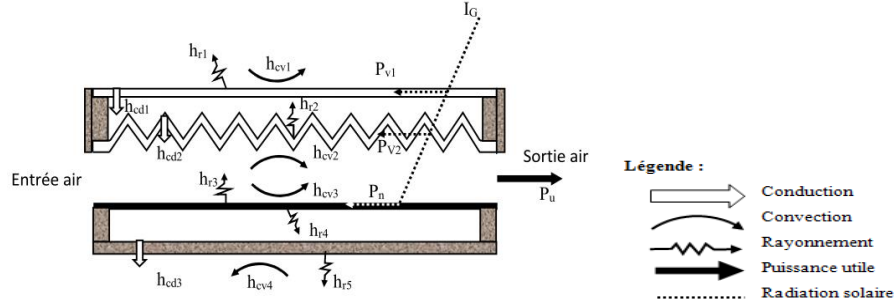


Figure 3: Représentation des échanges thermiques dans le capteur solaire.

Le bilan d’énergie thermique au niveau des composants de l’insolateur s’établit comme suit :

a) **Face externe de la première vitre :**

$$\frac{m_v C_{pv}}{S} \frac{\partial T_{v1e}}{\partial t} = h_{cv1}(T_{amb} - T_{v1e}) + h_{r1}(T_c - T_{v1e}) + h_{cd1}(T_{v1i} - T_{v1e}) + P_{v1} \quad (1)$$

b) **Face interne de la première vitre :**

$$\frac{m_v C_{pv}}{S} \frac{\partial T_{v1i}}{\partial t} = h_{cd1}(T_{v1e} - T_{v1i}) + h_{r2}(T_{v2e} - T_{v1i}) \quad (2)$$

c) **Face externe de la deuxième vitre :**

$$\frac{m_v C_{pv}}{S} \frac{\partial T_{v2e}}{\partial t} = h_{cd2}(T_{v1i} - T_{v2e}) + h_{cd2}(T_{v2i} - T_{v2e}) + P_{v2} \quad (3)$$

d) **Face interne de la deuxième vitre :**

$$\frac{m_v C_{pv}}{S} \frac{\partial T_{v2i}}{\partial t} = h_{cd2}(T_{v2e} - T_{v2i}) + h_{cv2}(T_a - T_{v2i}) + h_{r3}(T_{ab} - T_{v2i}) \quad (4)$$

e) **Fluide caloporteur**

$$\frac{m_a C_{pa}}{S} \left[\frac{\partial T_a}{\partial t} + U_x \frac{\partial T_a}{\partial t} \right] = h_{cv2}(T_{v2i} - T_a) + h_{cv3}(T_{ab} - T_a) \quad (5)$$

f) **Absorbeur**

$$\frac{m_{ab} C_{pab}}{S} \frac{\partial T_{ab}}{\partial t} = h_{cv3}(T_a - T_{ab}) + h_{r3}(T_{v2i} - T_{ab}) + h_{r4}(T_{be} - T_{ab}) + P_{ab} \quad (6)$$

g) **Face externe de plaque arrière (coffre)**

$$\frac{m_b C_{pb}}{S} \frac{\partial T_{bi}}{\partial t} = h_{r4}(T_{ab} - T_{be}) + h_{cd3}(T_{be} - T_{bi}) \quad (7)$$

h) **Face externe de plaque arrière**

$$\frac{m_b C_{pb}}{S} \frac{\partial T_{be}}{\partial t} = h_{cv4}(T_{amb} - T_{be}) + h_{r5}(T_{sol} - T_{be}) \quad (8)$$

III. Résultats et discussion

II.1. Présentation et description du prototype

L’insolateur à vitrage en dents de scie (Photo1) est composé d’un caisson en contre-plaqué local de 15 mm d’épaisseur, d’une double couverture transparente l’une plane de dimension 1m x 0,45m et l’autre rainurée

(en forme de dents de scie) de même dimensions, d'un absorbeur en tôle d'acier galvanisé peint en noir (1 m x 0,45 m). La hauteur totale de cet insolateur est de 0,25 m.

Ce capteur effectue la conversion de l'énergie du rayonnement électromagnétique émis par le soleil en énergie calorifique à travers son absorbeur. L'air récupère cette énergie en traversant l'espace entre absorbeur et la vitre interne tous deux en forme de dents de scie. Cette forme permet de créer d'éventuelles turbulences dans cette veine d'air et par conséquent un accroissement de l'énergie récupérée par l'air lors de son passage dans le capteur.

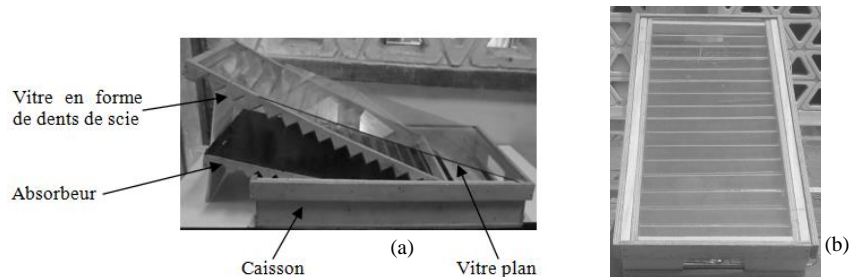


Photo1: (a) Insolateur décomposé et annoté et (b) vue d'ensemble de l'insolateur

III.2. Caractérisation de l'environnement

La figure 4(a) illustre l'évolution de l'irradiation globale, de la température ambiante et de la température du sol durant les essais. La température du sol et celle de l'ambient augmente avec l'ensoleillement. La température ambiante moyenne maximale est 35°C et est relativement proche de la moyenne de la saison qui est de 32°C. La figure 4(b) présente l'évolution de la vitesse de l'air à l'entrée et à la sortie de l'insolateur pour une inclinaison de 30°. Il ressort de l'analyse de ces courbes que la vitesse de l'air à la sortie de l'insolateur est proportionnelle à la vitesse d'entrée. Cependant étant soumis aux conditions naturelles, cette vitesse d'entrée est aléatoire et ne saura permettre de prédire celle en sortie du capteur.

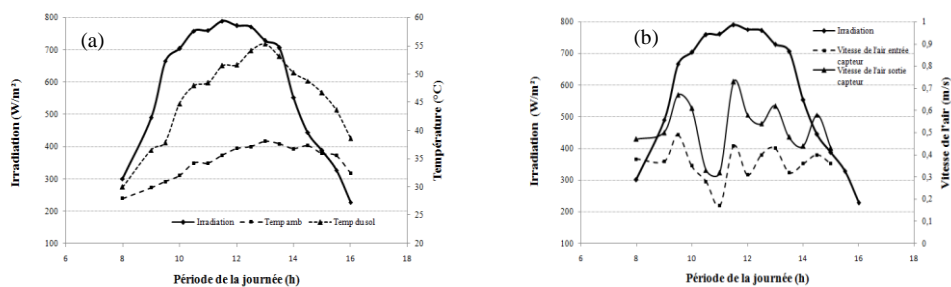


Figure 4: Evolution des paramètres climatiques en fonction du moment de la journée

III.3. Influence de la configuration de l'insolateur sur le profil de température

Les courbes relatives à l'évolution de la température de l'air à l'entrée et à la sortie du capteur pour les deux configurations étudiées sont représentées par la figure 5(a). Quelque soit la configuration, on observe un écart considérable entre la température d'entrée et de sortie qui est fonction de l'amplitude de l'ensoleillement. Toutefois les températures de sortie du capteur les plus élevées sont relevées pour la configuration en dents de scie (Conf1) avec un maximum autour de 75°C à 12 h de la journée. Pourtant l'analyse des courbes de températures des absorbeurs montrent que la température de l'absorbeur plan est nettement supérieure à celle de l'absorbeur en dents de scie (Figure 5 (b)). Ce résultat peut s'expliquer d'une part par l'augmentation du temps de séjour de l'air dans l'insolateur à vitrage en dents de scie et d'autre part par l'augmentation du coefficient de transfert convectif provoquée par cette géométrie en dents de scie. Ces résultats sont en accord avec ceux de la littérature qui montrent que la présence des chicane dans la veine d'air améliore les performances thermiques d'un capteur plan [6], [7], [8].

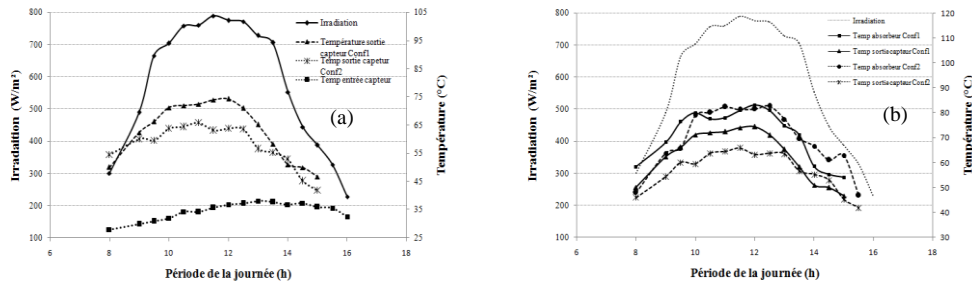


Figure 5: Evolution (a) de la température l'air entrée/sortie de l'insolateur ; (b) de la température des absorbeurs en fonction des configurations et pour une inclinaison de 30°

III.4. Influence l'inclinaison capteur sur le profil de température

La figure 6(a) met en évidence effet de l'inclinaison du capteur sur la quantité d'énergie récupérée par l'air. L'analyse de ces courbes, montrent que les températures de sortie du capteur sont plus élevées pour une inclinaison de 30° par rapport à l'horizontal. Les conditions d'essai étant aléatoires, il est plus pratique d'exprimer le rendement de l'insolateur selon la norme NF P50-501 dont la démarche est détaillée par [8]. Les résultats obtenus sont représentés par la figure 6(b). Elle est une représentation des variations du rendement de l'insolateur pour les deux configurations étudiées en fonction du paramètre réduit $(T_f - T_a)/I_g$. De l'analyse des courbes de la figure 6(b), il ressort que la configuration 1 qui correspond à insolateur à vitrage en dents de scie a un meilleur profil de rendement comparé à la configuration 2 (Capteur plan). Ceci peut s'explique par le fait que l'absorbeur de l'insolateur à vitrage en dent de scie, vue sa géométrie a une surface de capture d'énergie plus importante.

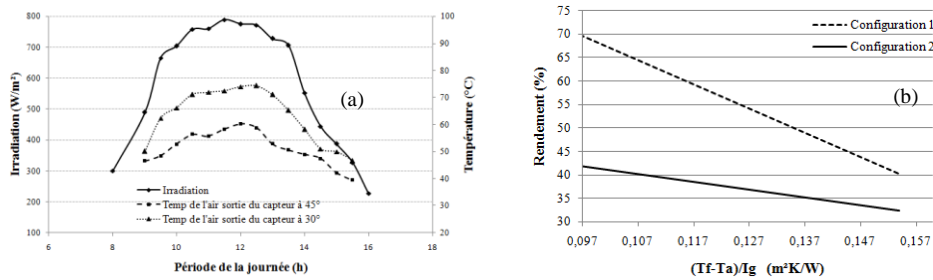


Figure 6: Evolution des performances thermiques : (a) température de sortie du capteur en fonction de l'angle d'inclinaison, (b) rendement du capteur pour les deux configurations pour un angle de 30°

Conclusion

Un insolateur à vitrage en dent de scie a été conçu, réalisé et testé au laboratoire d'énergétique et thermique appliquée de l'ENSAI de l'université de Ngaoundéré au Cameroun. C'est un capteur solaire double vitrage avec la vitre interne et l'absorbeur fabriqués en forme de dent de scie. La caractérisation expérimentale nous a permis de mettre en évidence l'influence positive de cette géométrie de veine d'air sur les performances thermiques de ce type d'insolateur. Il ressort de cette caractérisation que la présence de cette forme de perturbateurs permet l'augmentation des échanges thermiques entre l'air et l'absorbeur. Pour compléter ce travail, il serait souhaitable d'évaluer les pertes de charge générées par cette géométrie, de refaire la même étude avec les deux vitres en forme de dents de scie et de comparer de cette géométrie de perturbateurs à celles déjà développées dans la littérature.

Nomenclature

T_c : Température du ciel ;
 T_{amb} : Température ambiante ;
 T_{v1e} : Température de la première vitre plane face externe ;
 T_{v1i} : Température de la première vitre plane face interne ;
 T_{v2e} : Température de la seconde vitre face externe ;

T_{v2i} : Température de la seconde vitre face interne ;
 T_a : Température de l'air ;
 T_{ab} : Température de l'absorbeur ;
 T_{bi} : température de la plaque en bois face interne ;
 T_{be} : température de la plaque en bois face externe ;
 T_{sol} : Température du sol.

Références

- [1] B. Kalidasan and T. Srinivas, Study on effect of number of transparent covers and refractive index on performance of solar water heater, *Journal of Renewable Energy*, Vol. 2014, Article ID 757618, pp. 1-11, 2014.
- [2] E. Rauzier, Expérimentation de capteurs solaires à air à absorbeur poreux, *Revue de physique appliquée*, Vol. 15, pp. 411-415, 1980.
- [3] D. Njomo, Etude théorique du comportement thermique d'un capteur solaire plan d'air à couverture combinée plastique-vitre. *Revue Générale de Thermique*, Vol. 37, pp. 973-980, 1998.
- [4] S. Youcef-Ali, Study and optimization of the thermal performances of the offset rectangular plate fin absorber plates, with various glazing. *Renewable Energy*, vol. 30, pp. 271-280, 2005.
- [5] J. Vestlund, M. Rönnelid et J.O. Dalenbäck, Thermal performance of gas-filled flat plate solar collectors, *Solar Energy*, Vol. 83, pp. 896-904, 2009.
- [6] A. Ahmed-Zaïd, A. Moulla, M.S. Hantala, et J.Y. Desmons, Amélioration des performances des capteurs solaires plans à air: Application au séchage de l'oignon jaune et du hareng, *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 4, pp. 69-78, 2001.
- [7] A. Abene, V. Dubois, M. Le Ray et A. Ouagued, Study of a solar air flat plate collector: use of obstacles and application for the drying of grape, *Journal of Food Engineering*, Vol. 65, pp. 15-22, 2004.
- [8] K. Aouès et N. Moumami, A. Moumami, M. Zellouf, A. Labed et E. Achouri, Etude de l'Influence des Rugosités Artificielles sur les Performances Thermiques des capteurs Solaires plans à Air, *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 11, N°2, pp. 219 – 227, 2008
- [9] A. Labed, N. Moumami, K. Aouès, M. Zellouf et A. Moumami, Etude théorique et expérimentale des performances d'un capteur solaire plan à air muni d'une nouvelle forme de rugosité artificielle, *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 12, N°4, pp. 551 – 561, 2009.
- [10] A. Labed, N. Moumami, A. Benchabane, K. Aoues et A. Moumami, Performance investigation of single- and double-pass solar air heaters through the use of various geometries, *International Journal of Sustainable Energy*, Vol. 31, N° 6, pp. 423-434, 2012.
- [11] A.J. Mahmood, L.B.Y. Aldabbagh, F. Egelioglu, Investigation of single and double pass solar air heater with transverse fins and a package wire mesh layer, *Energy Conversion and Management*, Vol. 89, pp. 599-607, 2015.
- [12] F. Mokhtari et D. Semmar, L'influence de la configuration de l'absorbeur sur les performances thermiques d'un capteur solaire à air), *Revue des Energies Renouvelables : Journées de Thermique*, pp. 159-162, 2001.
- [13] N. Ihaddadene, R. Ihaddadene et A. Mahdi, Effect of distance between double glazing on the performance of a solar thermal collector, *Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ)* ISSN 2172-038X, N°12, 2014.
- [14] M.S. Diallo, P. Faye, C. Mbow, M.L. Sow et J. Sarr, Influence de l'inclinaison des parois réfléchissantes d'un capteur solaire thermique sur la température de l'absorbeur, *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 17 N°1, pp. 97 – 107, 2014.