

# Investigation expérimentale sur l'effet de la plaque absorbante à ailettes sur les performances d'un cuiseur solaire boîte installé en milieu saharien

*A. Harmim<sup>a</sup>, M. Belhamel<sup>b</sup>, M. Boukar<sup>a</sup> & M. Amar<sup>a</sup>*

**Résumé**—Une étude expérimentale des performances d'un cuiseur solaire de type boîte équipé d'un absorbeur à ailettes a été effectuée. Les ailettes améliorent le transfert thermique à partir de l'absorbeur vers l'air interne du cuiseur. La chaleur apportée par l'air qui circule à l'intérieur du cuiseur atteint l'intérieur de l'ustensile de cuisine par l'intermédiaire de ses parois latérales. Les essais ont été effectués sur la plate forme des essais de l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien à Adrar. L'étude a montré que les performances du cuiseur solaire boîte peuvent être améliorés si son absorbeur est équipé d'ailettes.

**Mots-clés:** cuiseur solaire boîte, absorbeur à ailettes, durée de cuisson, expérimentation.

## I. INTRODUCTION

Avec des moyens rustiques l'énergie solaire peut être exploitée pour produire de la chaleur à basse température à des fins de cuisson. En Algérie, cette application est très peu connue mais dans plusieurs pays différents types de cuiseurs solaires sont développés et utilisés. Muthusivagami et al. [1] ont passé en revue les diverses conceptions des cuiseurs solaires ; on retrouve les plus simples de type boîte, ceux à concentration et ceux sophistiqués dotés de collecteurs séparés et de systèmes de stockage pour pallier aux fluctuations du rayonnement solaire. Les cuiseurs solaires de type boîte sont populaires et largement utilisés dans beaucoup de pays en raison de leur simplicité et leur prix de revient relativement bas. Ils sont employés pour préparer plusieurs plats alimentaires qui ne nécessitent pas un niveau de température très élevé.

A. Harmim, Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien BP 478, Adrar, Algérie Algérie  
Auteur correspondant: arezki.harmim@yahoo.fr

M. Belhamel Centre de Développement des Energies Renouvelables BP 62 Bouzareah.

M. Boukar, Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien BP 478, Adrar, Algérie Algérie

M. Amar, Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien BP 478, Adrar, Algérie Algérie

La durée de cuisson de ce genre de cuiseur peut varier de 2 à 3 heures [2].

Afin d'améliorer les performances de ces cuiseurs ; divers travaux ont été effectués par plusieurs chercheurs. Certains chercheurs ont apporté des solutions pour augmenter la chaleur à l'intérieur du cuiseur boîte en augmentant l'irradiation solaire à l'intérieur de la boîte à l'aide de réflecteurs. Aman [3] a étudié un cuiseur solaire boîte doté d'un miroir plan pour réfléchir le rayonnement solaire vers l'intérieur de la boîte et une capacité de stockage de chaleur à l'aide de matériaux à changement de phase. El Sebaii [4] a évalué les performances d'un cuiseur solaire en forme de boîte avec des réflecteurs internes et externes. Les calculs ont démontré une amélioration considérable. Nahar [5] a fait une investigation expérimentale pour l'analyse thermique d'un cuiseur solaire boîte à double réflecteur plans et une couverture transparente en matériaux isolants. Ses performances ont été nettement améliorées en raison de la réduction des pertes thermiques à travers la couverture transparente. Amer [6] a développé un cuiseur solaire boîte à double exposition ; dans cette configuration, la plaque absorbante est irradiée sur ces deux faces. Negi et al. [7] ont entrepris une étude expérimentale d'un cuiseur solaire de type boîte doté de deux réflecteurs plans sans poursuite solaire pour augmenter l'irradiation solaire à l'intérieur de la boîte. Mirdha [8] a analysé divers conceptions possibles pour cuiseurs inclinés avec diverses positions pour les réflecteurs plans en vue d'optimiser ses performances. D'autres chercheurs ont travaillé pour la réduction de la durée de cuisson moyennant des ustensiles modifiés. Grupp et al. [9] ont proposé une nouvelle version améliorée du cuiseur solaire boîte avec un ustensile de cuisine en bon contact thermique avec la plaque absorbante. Gaur et al. [10] ont étudié les performances d'un cuiseur solaire boîte avec un ustensile de cuisine dont le couvercle est concave. La température de stagnation mesurée à l'intérieur de l'ustensile ayant un

couvercle concave était environ 2 à 7% supérieure à celle mesurée à l'intérieur d'un ustensile avec couvercle ordinaire. Narasimha Rao et al. [10], [11] ont étudié l'effet de disposer l'ustensile de cuisine sur des calles et également un ustensile de cuisine cylindrique muni d'une cavité annulaire centrale. Ils ont prouvé expérimentalement que l'ustensile de cuisine avec cavité annulaire centrale dispose d'une plus grande surface pour le transfert de chaleur vers l'eau qui se trouve à l'intérieur. Ceci réduit la durée de cuisson. En effet cette configuration réduit la durée de cuisson mais dispose d'un volume réduit et non pratique pour la préparation des plats.

Harmim et al. [12] ont proposé une nouvelle forme pour l'ustensile de cuisine. C'est une casserole cylindrique ordinaire dont la paroi latérale externe est équipée d'ailettes rectangulaires le long de sa circonférence. Cette nouvelle configuration augmente la surface de transfert thermique vers l'intérieur de la casserole tout en gardant un volume adéquat pour contenir la nourriture à faire cuire. Leur étude expérimentale, effectuée moyennant un cuiseur solaire à double exposition, a indiqué que l'ustensile de cuisine à ailettes réduit considérablement la durée de cuisson. L'effet de la géométrie de boîte, telle que cylindrique et rectangulaire, sur les performances du cuiseur solaire boîte a été étudié par Kurt et al. [13]. On a observé que le modèle cylindrique atteint une température plus élevée que le modèle rectangulaire dans les mêmes conditions. Après avoir passé en revue la littérature spécialisée jusqu'ici, on voit que l'effet de la géométrie de la plaque absorbante, telle que plane et munie d'ailettes, sur les performances du cuiseur solaire boîte n'a pas été étudiée. Par conséquent, l'objectif du présent travail est la construction et les tests préliminaires d'un cuiseur solaire boîte équipé d'une plaque absorbante à ailettes. La plaque absorbante à ailettes augmente le taux du transfert thermique vers l'air qui se trouve à l'intérieur du cuiseur. Cette méthode a été employée par beaucoup d'investigateurs dans les tentatives d'amélioration des performances thermiques des capteurs solaires à air (Yeh et al. [14], Moumimi et al. [15] et Karim et al. [16]). Deux prototypes de cuiseurs solaires boîtes ont été conçus et fabriqués; le premier équipé d'une plaque absorbante à ailettes et le second équipé d'une plaque absorbante ordinaire. Le but principal de notre étude expérimentale n'est pas la présentation d'un simple prototype de cuiseur solaire boîte dont la durée de cuisson est plutôt longue parce qu'il n'est pas doté de réflecteurs, mais il s'agit de l'étude de la possibilité de réduire la durée de cuisson des cuiseurs solaires à l'aide d'une simple modification sur la géométrie de la plaque absorbante.

## II. DESCRIPTION DU CUISEUR SOLAIRE ETUDIÉ

Pour les besoins de notre étude; deux identiques cuiseurs solaires boîtes ont été construits. Ils diffèrent seulement par la forme de la plaque absorbante. La figure 1 montre un croquis

du type de cuiseur solaire étudié. Ce type de cuiseur solaire est prévu pour fonctionner en milieu saharien ; il a été construit par des moyens simples et des matériaux disponibles localement. Il se compose d'une caisse en bois dont les côtés latéraux et de fond sont thermiquement isolés par une couche de 70 mm d'écorces de palmier. Ces morceaux de tissu végétal séchés récupérés au niveau du tronc des palmiers ont une structure fibreuse et forme une couche poreuse lorsqu'ils sont superposés les uns sur les autres. La caisse en bois est dotée d'une couverture transparente inclinée à 45 deg et est constituée de deux vitres ordinaires de 4 mm d'épaisseur espacées de 1.5 cm. La couverture transparente est munie d'un cadre métallique fixé par des charnières sur le bord supérieur de la caisse en bois de telle sorte à permettre l'ouverture du cuiseur. Afin d'augmenter la fraction du rayonnement solaire absorbée par la plaque chauffante, un miroir plan de 60 cm par 49 cm est disposé verticalement sur la surface interne en face de la couverture transparente. Les deux autres surfaces latérales internes sont recouvertes par une feuille en papier Aluminium.

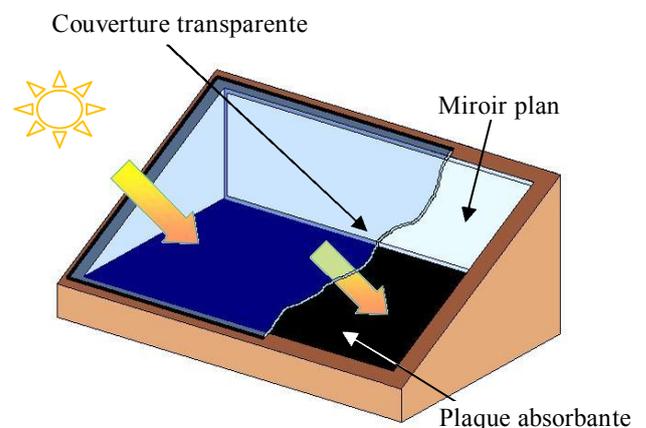


Fig. 1. Croquis schématique du cuiseur solaire boîte utilisé dans la présente étude.

Pour le premier cuiseur ; la plaque absorbante est constituée d'une plaque en Aluminium peinte en noire d'une surface de 60 cm par 50 cm et d'une épaisseur de 0.08 cm. Pour le second, la plaque absorbante est semblable à celle du premier mais sa face supérieure est équipée d'ailettes d'Aluminium peintes en noire. Les ailettes ont une section rectangulaire constante de 50 cm par 0.08 cm et une longueur de 5 cm ; elles sont espacées de 4 cm. La photographie de cette plaque absorbante à ailettes est montrée en figure 2.



Fig. 2. Photographie montrant la plaque absorbante à ailettes.

### III. ETUDE EXPERIMENTALE

En employant les deux prototypes de cuiseurs solaires boîtes réalisés à l'atelier de l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URER/M) ; une étude expérimentale comparative a été effectuée pour évaluer et comparer les performances thermiques des deux cuiseurs. A cette fin, différents test expérimentaux ont été exécutés sous le rayonnement naturel à Adrar en juillet 2008. La ville d'Adrar est située au Sahara Algérien à la latitude de  $27^{\circ} 53'$  nord et la longitude de  $0^{\circ} 17'$  ouest. Pendant chaque test, les deux cuiseurs ont été placés côte à côte sur le même support qui est manuellement orienté suivant l'azimut à des intervalles de 15 minutes de telle sorte à collecter le maximum d'irradiation solaire. La photographie des deux cuiseurs lors des tests est montrée en figure 3.



Fig. 3. Photographie montrant les cuiseurs solaires utilisés dans la présente étude expérimentale comparative, placés côte à côte sur la plate forme des essais. 'A' est équipé de la plaque absorbante ordinaire et 'B' est équipé de la plaque absorbante à ailettes.

Les deux tests suivants ont été effectués:

- Test de stagnation : Les deux cuiseurs ont été exposés au rayonnement solaire simultanément sans aucune charge (à vide) ;
- Test de chauffage d'eau : Sur la plaque absorbante de chaque cuiseur a été disposé un ustensile de cuisine rempli d'une même quantité d'eau à la même température (en charge).

Pour chaque cuiseur, la température de la plaque absorbante, la température de l'air chaud mesurée au milieu du volume interne du cuiseur (figure 4), la température ambiante ainsi que le rayonnement solaire sur plan horizontal ont été enregistrés à des intervalles de 1 minute moyennant une acquisition de données. Le rayonnement solaire a été mesuré par un pyranomètre CM11 de Classe 2. Toutes les températures ont été mesurées par des thermocouples de type K avec une exactitude de  $\pm 0.5\%$ . Lors des tests de chauffage d'eau, la température de l'eau a été mesurée par le même type de thermocouple introduit à l'intérieur de l'ustensile de cuisine à travers un petit orifice pratiqué au centre du couvercle.

### IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

#### A. Test de stagnation

Pendant les différents essais effectués sous ciel clair et vent très calme, on a constaté que la température de stagnation de l'air chaud à l'intérieur du cuiseur équipé de la plaque absorbante à ailettes 'B' était toujours supérieure à celle de l'air chaud à l'intérieur du cuiseur équipé de la plaque absorbante ordinaire 'A'. Cette constatation a été vérifiée même lorsque la température de l'air à l'intérieur du cuiseur 'A' est légèrement supérieure à celle de l'air à l'intérieur du cuiseur 'B' au début du test comme montré sur la figure 5 relative à l'essai du 23 juillet 2008. Cette condition initiale a été obtenue par simple ventilation du cuiseur 'B' en ouvrant sa portière quelques minutes avant le début de l'essai.

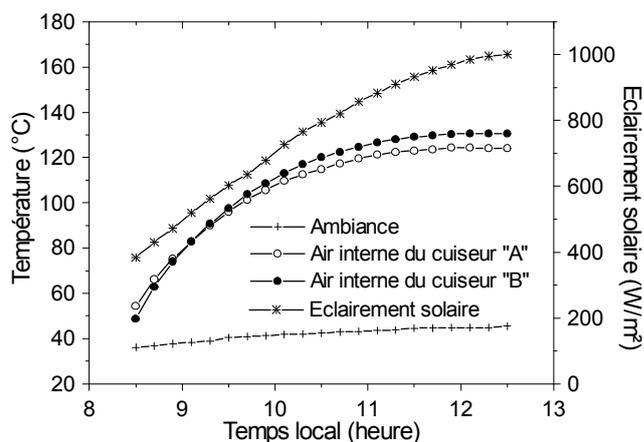


Fig. 5. Test de stagnation. Comparaison entre la température de l'air à l'intérieur du cuiseur 'A' à celle de l'air à l'intérieur du cuiseur 'B' ; le test a été effectué le 23 juillet 2008.

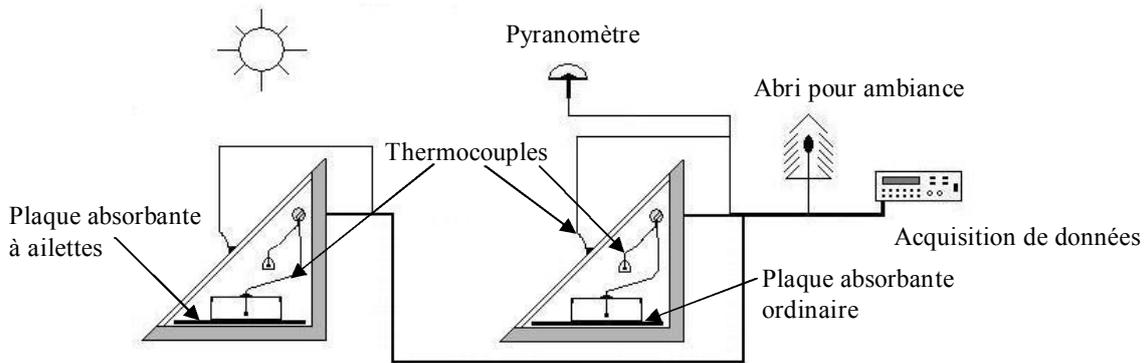


Fig. 4. Diagramme schématique du banc d'essai expérimental

La figure 6 présente l'évolution dans le temps de la température de la plaque absorbante sous les conditions de test du 23 juillet 2008. Les ailettes augmentent la température de la plaque par l'absorption du rayonnement dû aux différentes réflexions multiples. L'amélioration de la température de l'air chaud à l'intérieur du cuiseur est obtenue par l'augmentation de la surface de transfert de chaleur plaque-air.

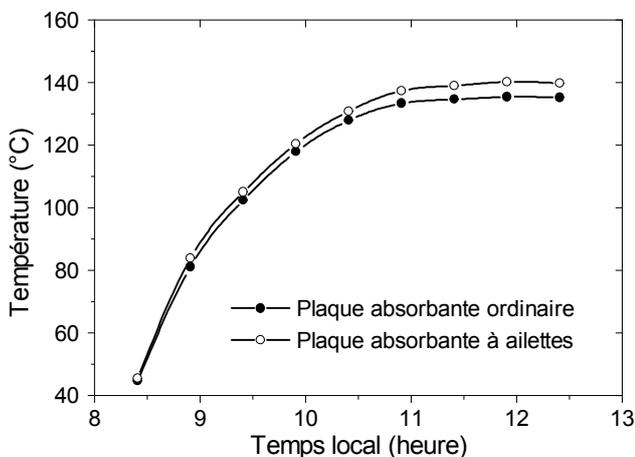


Fig. 6. Test de stagnation. Comparaison entre la température de la plaque absorbante ordinaire du cuiseur 'A' à celle de la plaque absorbante à ailettes du cuiseur 'B' ; le test a été effectué le 23 juillet 2008.

Quand les températures initiales de l'air à l'intérieur des deux cuiseurs sont identiques ; on observe qu'au début du test, les deux températures restent pratiquement égales comme montré en figure 7 relative au test du 26 juillet 2008. La déviation entre les deux courbes devient plus grande et significative après plus d'une heure et demi d'exposition au rayonnement solaire et quand la température des deux plaques devient plus élevée.

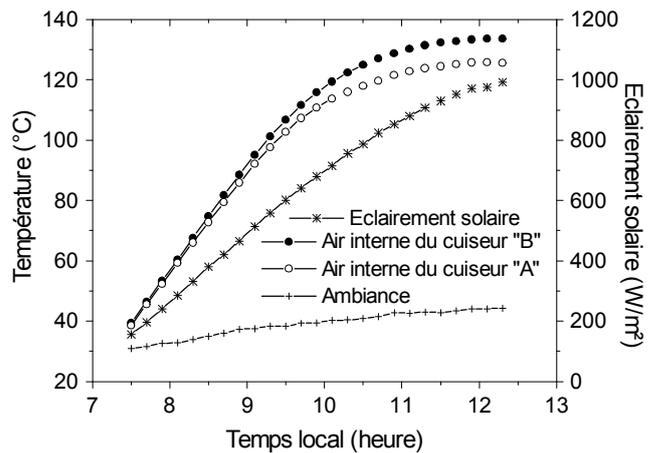


Fig. 7. Test de stagnation. Comparaison entre la température de l'air à l'intérieur du cuiseur 'A' à celle de l'air à l'intérieur du cuiseur 'B' ; le test a été effectué le 26 juillet 2008.

En fin de test (à midi 18 minutes), la température de l'air chaud a atteint la température de 135.5°C à l'intérieur du cuiseur 'B' et 125.6°C dans le cuiseur 'A'.

#### B. Test de chauffage d'eau

Durant les différents tests avec charge, les ustensiles de cuisine introduits dans les deux cuiseurs sont identiques ; ils ont été remplis par la même quantité d'eau (1.5 litres) à la même température. On a observé que l'eau à l'intérieur du cuiseur à plaque absorbante à ailettes atteint la température de l'ébullition (99.5°C) plus rapidement comparée à l'eau du cuiseur à plaque absorbante ordinaire.

La figure 8 présente l'évolution dans le temps de la température de l'eau dans les deux cuiseurs sous les mêmes conditions de test du 27 juillet 2008. Le temps nécessaire pour atteindre le point de l'ébullition était de 2 heures et 6 minutes pour l'eau du cuiseur équipé de la plaque absorbante à ailettes et de 2 heures et 24 minutes pour l'eau du cuiseur équipé de la plaque absorbante ordinaire. La réduction de la durée de chauffage est de 18 minutes.

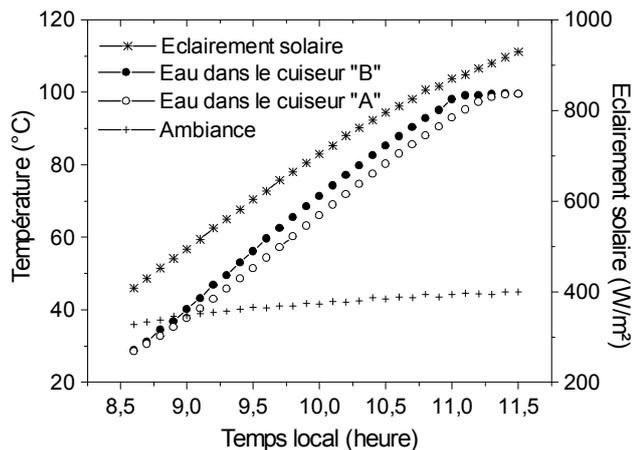


Fig. 8. Test de chauffage d'eau. Comparaison entre la température de l'eau à l'intérieur du cuiseur à plaque absorbante ordinaire 'A' à celle de l'eau à l'intérieur du cuiseur à plaque absorbante à ailettes 'B' ; le test a été effectué le 27 juillet 2008.

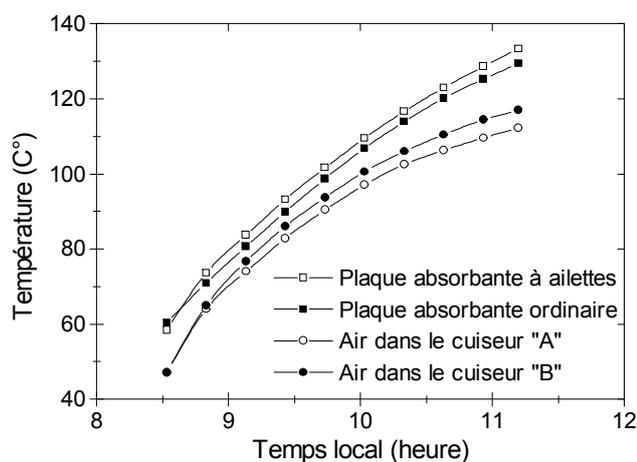


Fig. 9. Test de chauffage d'eau. Comparaison entre les températures du cuiseur à plaque absorbante ordinaire 'A' à celle du cuiseur à plaque absorbante à ailettes 'B' ; le test a été effectué le 27 juillet 2008.

La comparaison des températures de la plaque absorbante et de l'air intérieur des deux cuiseurs chargés avec 1.5 litres d'eau lors du test du 27 juillet 2008 est présentée en figure 9. On remarque que les températures du cuiseur équipé de la plaque absorbante à ailettes sont plus élevées que celle du cuiseur équipé de la plaque ordinaire. La température maximale atteinte par la plaque absorbante à ailettes est de 134°C et celle atteinte par la plaque absorbante ordinaire est de 129.4°C à 11 :00 ; la différence est alors de 4.6°C. Les ailettes attachées à la plaque absorbante augmentent l'absorption du rayonnement dû aux multiples réflexions. La température de l'air à l'intérieur du cuiseur 'B' est plus élevée que celle dans le cuiseur 'A' dû à l'amélioration du transfert thermique, par convection naturelle, à partir de la plaque absorbante vers l'air intérieur par la surface des ailettes.

## V. CONCLUSION

L'étude expérimentale comparative a prouvé que l'utilisation d'une plaque absorbante à ailettes améliore les performances du cuiseur solaire de type boîte par la réduction de la durée de cuisson. Ceci est obtenu par l'augmentation de l'échange thermique convective entre l'absorbeur et l'air interne qui est un élément important pour le chauffage des parois latérales de l'ustensile de cuisine déposé sur l'absorbeur. Ce type de plaque absorbante est recommandé pour l'usage dans les cuiseurs solaires.

## REFERENCES

- [1] Muthusivagami R. M. et al. (2009). Solar cooker with and without thermal storage. *Renewable and sustainable energy reviews*. doi: 10.1016/j.rser.2008.08.018.
- [2] Gaur, A., Singh, O.P., Singh, S.K., Pandey, G.N. (1999). Performance study of solar cooker with modified utensil. *Renewable Energy* 18, 121-129.
- [3] Aman, D. (1985). An analytical study of a solar cooker augmented with a booster mirror using PCM as storage. *Energy Convers. Manage.* 25 (3), 255-261.
- [4] El-Sebaï, A. A. (1997). Thermal performance of a box-type solar cooker with outer-inner reflectors. *Energy* 22 (10), 969-978.
- [5] Nahar, N.M. (2001). Design, development and testing of a double reflector hot box solar cooker with a transparent insulation material. *Renewable Energy* 23,167-179.
- [6] Amer Emad H. (2003). Theoretical and experimental assessment of a double exposure solar cooker. *Energy Conversion and Management* 44, 2651-2663.
- [7] Negi, B.S., Purohit, I. (2005). Experimental investigation of a box type solar cooker employing a non-tracking concentrator. *Energy Conversion and Management* 46, 575-604.
- [8] Mirdha U. S., Dhariwal S. R. (2008). Design optimisation of solar cooker. *Renewable Energy* 33, 530-544.
- [9] Grupp, M., Montagne, P., Wackernagel, M. (1991). A novel advanced box-type solar cooker. *Solar Energy* 47, 107-113.
- [10] Narasimha Rao, A.V., Subramanyam, S. (2003). Solar cookers — Part I: Cooking vessel on lugs. *Solar Energy* 75, 181-185.
- [11] Narasimha Rao, A.V., Subramanyam, S. (2005). Solar cookers — Part II: Cooking vessel with central annular cavity. *Solar Energy* 78, 19-22.
- [12] Harmim, A., Boukar, M., Amar, M. (2008). Experimental study of a double exposure solar cooker with finned cooking vessel. *Solar Energy* 82, 287-289.
- [13] Kurt H., Deniz E. And Recebli Z. (2008). An investigation into the effects of box geometries on the thermal performance of solar cooker. *International journal of green energy* 5, 508-519.
- [14] Yeh HM, Ho CD, Hou JZ. (2002). Collector's efficiency of double-flow solar air heaters with fins attached. *Energy* 8, 715-727.
- [15] Moumni N. et Al. (2004). Energy analysis of a solar air collector with rows of fins. *Renewable energy* 29 (13), 2053-2060.
- [16] Karim MA., Hawlader MNA. (2006). Performance investigation of flat plate, V-corrugated and finned air collectors. *Energy* 31(4), 452-470.