Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°2 (2013) 337 – 346
DOI: https://doi.org/10.54966/jreen.v16i2.383

Développement et expérimentation d'un nouveau cuiseur solaire stationnaire

Arezki Harmim [*] , Mustapha Merzouk [1], Mebarek Boukar et M'hammed Amar

Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, URERMS
Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
01000 Adrar, Algeria
[1] Département de Mécanique, Université Saâd Dahlab, Blida, Algérie

(reçu le 04 Février 2013 – accepté le 25 Juin 2013)

Résumé - *Notre travail s'inscrit dans le cadre du développement des cuiseurs solaires stationnaires et intégrés aux bâtiments. Un prototype a été réalisé avec des moyens rustiques; il s'agit d'un cuiseur solaire de type boîte équipé d'un réflecteur en forme de concentrateur parabolique composé 'CPC' non-symétrique. Dans ce papier, on expose les résultats obtenus de l'expérimentation de ce prototype qui a été effectuée à Adrar. Les résultats obtenus par les différents tests sont satisfaisants et encourageants. Tout en restant en position fixe durant toute sa durée d'exploitation, notre phototype arrive à atteindre des températures favorables à la cuisson saine de différents produits et plats alimentaires. Ce cuiseur, qui est destiné à être intégré au mûr de la cuisine est capable de préparer, pour quatre personnes, deux plats par jour par ciel dégagé en hiver.*

Abstract - *The construction and the performance evaluation of a new box-type stationary solar cooker are presented. The prototype, realized with locally available materials and rustic means, is equipped with a compound parabolic concentrator 'CPC'. In this paper, we expose results of experimental tests carried out in Adrar. The results obtained by the various tests are satisfactory. While remaining in fixed position lasting all its exploitation duration, our prototype reaches the healthy cooking temperature of various products and food dishes. This cooker is intended to be integrated into kitchen wall. It is able to prepare, for four persons, two dishes per day.*

Mots-clés: Cuiseur solaire stationnaire - Concentrateur parabolique composé – Expérimentation - Performances.

1. INTRODUCTION

La première utilisation historique de l'énergie solaire pour cuire des aliments a été publiée en 1767 par le scientifique suisse Horace de Saussure [1]. Mais le développement réel des cuiseurs solaires a débuté en 1950. Depuis, plusieurs cuiseurs solaires de différents types ont vu le jour et ont fait l'objet d'études théoriques et expérimentales à travers le monde.

Parmi les articles publiés, traitants le développement des cuiseurs solaires stationnaires de type boîte, on trouve ceux qui nécessitent de fréquents ajustements [2-6], ceux qui font recours aux ajustements saisonniers [7-9] et ceux qui nécessitent uniquement quelques mouvements par an [10, 11].

Tous ces cuiseurs sont destinés pour une exploitation à l'extérieur des habitations, ceci constitue une importante contrainte pour leur dissémination et leur acceptation sociale en milieu rural.

[*] arezki.harmim@yahoo.fr

Dans ce papier, est présenté un nouveau cuiseur solaire de type boîte stationnaire équipé d'un concentrateur parabolique composé 'CPC'. La construction d'un prototype est détaillée et les résultats de plusieurs tests expérimentaux sont présentés et analysés.

Différents tests ont été effectués sous différentes conditions climatiques avec et sans charge sur une longue période de l'année. Le prototype assure des températures de cuisson très élevées même en période hivernale. Il est capable d'assurer la cuisson de deux plats par jour et pour quatre personnes tout en restant en position, absolument, fixe.

Ce système peut être intégré au mur de la cuisine d'une habitation. Il pourrait être alors exploité sans avoir recours à sortir sous le soleil.

2. DESCRIPTION DU PROTOTYPE REALISE

Un schéma de principe du prototype de cuiseur est présenté en figure 1. Il s'agit d'un cuiseur solaire qui est équipé d'un concentrateur parabolique composé non-symétrique et d'une boîte parallélépipédique thermiquement isolée et doté d'un vitrage vertical sur un côté et un vitrage horizontal sur le toit.

La plaque absorbante est pliée à angle droit sous forme de marche d'escalier. Elle est disposée de telle sorte que sa surface verticale soit parallèle à la couverture en verre du côté en formant un espace permettant à la circulation d'air chaud vers le haut à l'intérieur de la cavité de la boîte du cuiseur. Cette dernière est délimitée par le vitrage du toit et la surface horizontale du la plaque absorbante, sur laquelle sont déposés les ustensiles cuisine.

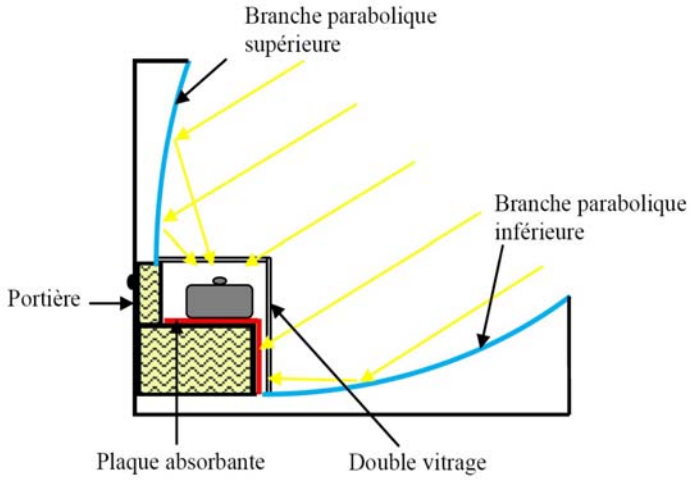

Fig. 1: Schéma descriptif du principe de fonctionnement du cuiseur solaire boîte équipé d'un concentrateur parabolique composé

La plaque absorbante a une capacité thermique négligeable (plaque métallique mince) et sa surface exposée est peinte en noir pour augmenter l'absorption du rayonnement solaire. Deux réflecteurs paraboliques linéaires (branche parabolique supérieure et inférieure) sont fixés sur les parois vitrées de la boîte.

Les deux réflecteurs sont arrangés de sorte que, le rayonnement solaire entrant par l'ouverture soit reflété vers la plaque absorbante. Selon la hauteur du soleil; la tâche focale qui est formée par la branche parabolique supérieure se déplace sur la surface horizontale de la plaque absorbante et celle qui est formée par la branche parabolique inférieure se déplace sur la surface verticale de la plaque absorbante.

Les propriétés géométriques du CPC asymétrique sont calculées pour un cuiseur solaire fonctionnant dans la ville d'Adrar, située au Sahara Algérien, à une latitude de 27° 53' N et de longitude 0° 17' O.

Le prototype de cuiseur solaire en forme de boîte équipé d'un CPC asymétrique avec un angle d'acceptation de 60° a été construit avec des moyens et des matériaux disponibles à Adrar. Les dimensions internes de la boîte recevant les ustensiles de cuisine sont de 0.7 m par 0.28 m par 0.14 m de hauteur.

Sa couverture transparente supérieure se compose d'un double vitrage de 4 mm d'épaisseur, de 0.7 m de longueur et de 0.3 m de la largeur et sa couverture transparente verticale latérale se compose également d'un double vitrage de 4 mm d'épaisseur, de 0.7 m de longueur et de 0.36 m de hauteur.

La plaque absorbante, peinte par une peinture noire mate non sélective, est réalisée avec une plaque d'acier inoxydable de 0.3 mm d'épaisseur et est pliée à angle droit de telle façon qu'elle présente une surface horizontale de longueur de 0.7 m et de largeur de 0.26 m et une surface verticale de la longueur de 0.7 m et de 0.2 m de hauteur (en forme de marche d'escalier).

Cette dernière est placée à 2 cm de la couverture transparente verticale et est isolée à l'arrière avec une couche de laine de verre de 15 cm d'épaisseur. Du côté opposé de la couverture transparente verticale, une portière est pratiquée pour permettre l'accès et déposer les ustensiles de cuisine.

Les deux autres murs latéraux internes de la boîte sont réalisés avec des plaque en acier inoxydable de 0.3 mm d'épaisseur et sont isolés avec une couche de laine de verre de 5 cm d'épaisseur. La vue photographique de ce prototype réalisé est présentée en figure 2.

Fig. 2: Vue représentant le prototype du cuiseur solaire de
type boîte équipé du CPC sur banc d'essai expérimental à l'URER/MS, Adrar

3. ETUDE EXPERIMENTALE

Les tests expérimentaux ont été effectués sous ensoleillement naturel d'Adrar sur la plate-forme des essais de l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien.

Les différents tests se sont déroulés du mois d'Août 2012 au mois de Septembre 2012 pour la période estivale et du mois de Novembre 2012 au mois de Janvier 2013 pour la période hivernale.

Le cuiseur a été installé en position stationnaire orienté plein sud. Durant chaque test, on mesure la température ambiante, la température de la plaque absorbante au centre de sa partie horizontale, la température de l'air interne du cuiseur et la température interne de l'ustensile de cuisine utilisé, ainsi que le rayonnement solaire incident sur le plan horizontal.

Pour la mesure de la température, on utilise des thermocouples de type K (précision de ±1.5°C). Pour la mesure du rayonnement solaire global, on utilise un pyranomètre de type CM11 Classe 2 (précision ±2W/m²).

Tous ces transducteurs sont reliés à une acquisition de données qui fait des lectures chaque 60 secondes. Les différents tests effectués sont classés selon deux groupes:

●Tests de stagnation

Au cours de ces tests, le cuiseur est exposé au soleil sans aucune charge.

●Tests avec charge

Il s'agit des tests de chauffage de l'eau à l'ébullition et des tests de préparation de quelques plats qui nécessitent des températures de cuisson très élevées.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats, qui seront présentés, ont été obtenus avec le cuiseur en position stationnaire (absolument sans aucun mouvement), pendant toute la durée de la compagne des tests, qui s'est déroulée du mois d'Août 2012 au mois de Janvier 2013.

4.1 Tests de stagnation

Les variations de l'éclairement solaire et de la température ambiante, ainsi que la réponse du cuiseur solaire mesurées lors des tests sous ciel complètement dégagé, sont présentées aux figures 3 et 4 pour les périodes hivernale et estivale respectivement.

En période estivale, les valeurs maximales de la température de la plaque absorbante et de l'air interne sont respectivement 166 °C et 160 °C. Ces valeurs sont mesurées le 19 septembre 2012 à 13h30 (Fig. 3) sous une température ambiante de 43 °C et un éclairement solaire de 980 W/m^2 sur un plan horizontal et en absence de vent.

Les résultats obtenus en période hivernale montrent que les températures atteintes par le cuiseur restent toujours élevées (Fig. 4). En effet, au cours du test du 12 décembre 2012, la température de stagnation de la plaque absorbante a atteint 165°C à 13h26 sous une température ambiante de 22.5°C et un éclairement solaire de 695 W/m^2 sur un plan horizontal et en absence de vent.

Les résultats de notre cuiseur sont comparés avec ceux d'autres types de cuiseurs solaires au **Tableau 1**.

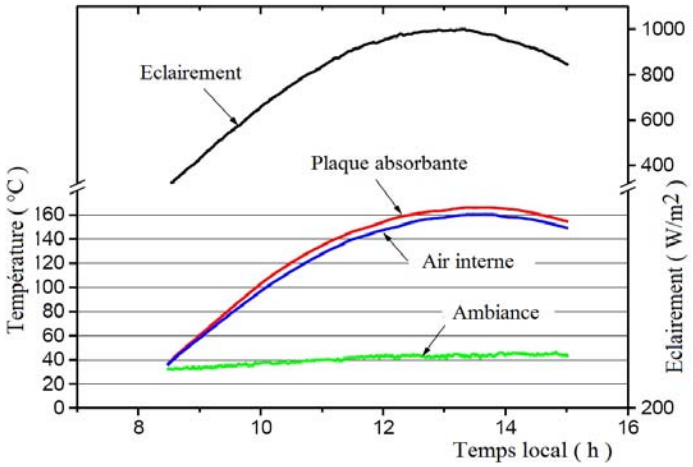

Fig. 3: Evolution des températures du cuiseur étudié lors du test de stagnation du 12/09/2012

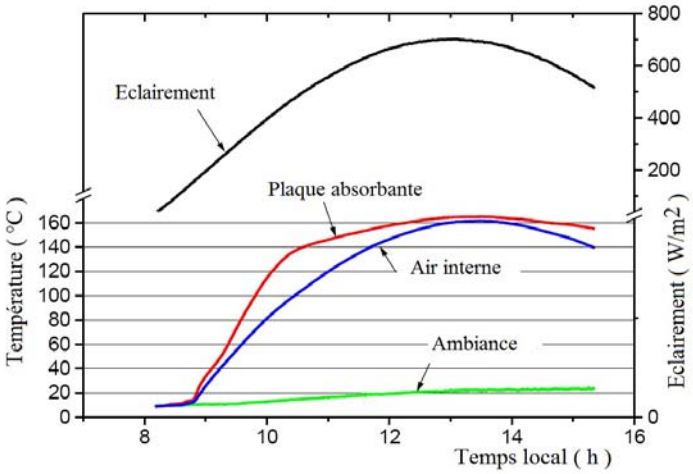

Fig. 4: Evolution des températures du cuiseur étudié lors du test de stagnation du 19/12/2012

4.2 Tests avec charge

En période hivernale, deux tests de chauffage d'eau ont été effectués.

Le premier avec 3.5 litres d'eau durant la journée du 20 Décembre 2012 et le deuxième avec 4.5 litres d'eau durant la journée du 24 Décembre 2012.

La quantité d'eau à chauffer a été répartie équitablement dans 03 casseroles identiques. Les deux tests se sont déroulés sous ciel dégagé et en absence de vent.

Les variations de l'éclairement solaire et de la température ambiante, ainsi que la température moyenne de l'eau dans les casseroles mesurés lors des deux tests sont montrées aux figures 5 et 6.

Tableau 1: Comparaison de la température de stagnation de notre cuiseur avec d'autres types de cuiseurs solaires boîtes

Références	date	Température ambiante (°C)	Eclairement solaire (W/m^2)	Température de stagnation (°C)
Vishaya *et al.* [3]	23/09/82	32	1020	122
Negi *et al.* [7]	Mars 02	27	750	140
Kumar *et al.* [11]	---	37	850	138
Mirdha *et al.* [4]	---	37	---	163
Purohit *et al.* [12]	---	32	950	138
Notre cuiseur	12/09/12	43	980	166
Notre cuiseur	19/12/12	22.5	695	165

Au cours du chauffage de 3.5 litre d'eau, le test a commencé à 11h17 avec une température initiale de l'eau égale à 23.6 °C et une température ambiante égale à 18.3 °C. La température de l'ébullition a été atteinte après 150 minutes.

Au cours du chauffage de 4.5 litre d'eau, le test a débuté à 11h06 avec une température initiale de l'eau égale à 20.8 °C et une température ambiante égale à 17.4 °C. La température de l'ébullition a été atteinte après 198 minutes.

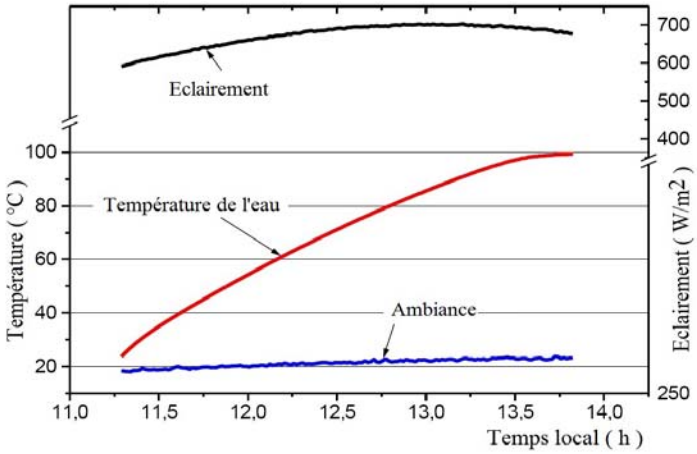

Fig. 5: Evolution de la température de 3.5 litres d'eau portés à l'ébullition durant le test du 20/12/2012

Pour les tests de cuisson; on s'est limité dans un premier temps aux essais relatifs à la préparation de quelques plats alimentaires comme les ragoûts au poulet ou à la viande, le pain, et les légumes secs avec un rythme de deux plats par jour en période hivernale. La préparation des différents plats a été effectuée en respectant les contraintes suivantes:

- Rythme- 02 repas par jour;
- Quantité- Suffisante pour 4 personnes (le pain doit être préparé au même temps que le plat);
- Temps- Le repas de la mi-journée est programmé à 13 heures (temps local);

- Interaction-: Des plats pouvant faire recours à l'ouverture du cuiseur durant la préparation.

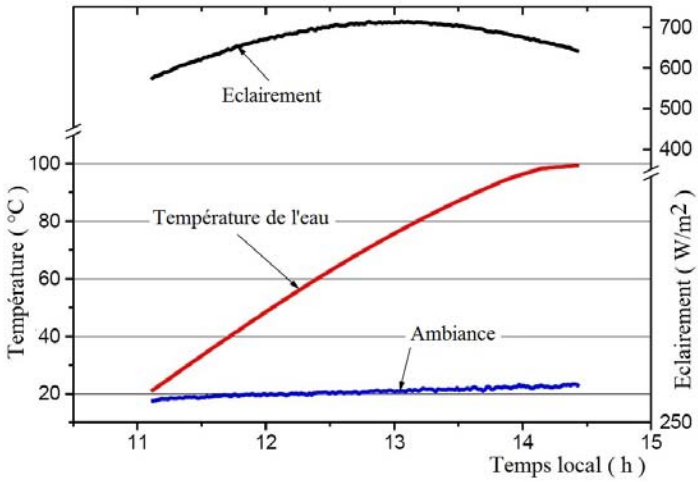

Fig. 6: Evolution de la température de 4.5 litres d'eau portés à l'ébullition durant le test du 24/12/2012

Au cours du mois de janvier 2013, on a effectué la préparation des plats suivants:

- Le 09 janvier 2013-
  - ▪Pain avec ragoût à la viande de mouton;
  - ▪Riz avec sauce à la viande de mouton.
- Le 10 janvier 2013-
  - ▪Pain avec haricot sec au poulet;
  - ▪Pain avec ragoût à la viande de bœuf.
- Le 13 janvier 2013-
  - ▪Pâtes en sauce et œufs;
  - ▪Pain avec ragoût de légumes.

Les durées de cuisson des différents plats sont présentées au **Tableau 2**.

Tableau 2: Tests de cuisson de différents aliments utilisant le prototype de cuiseur

	Premier plat			Deuxième plat		
	Début de cuisson	**Aliments**	**Durée de cuisson**	**Début de cuisson**	**Aliments**	**Durée de cuisson**
9/01/13	09h50	Pain:600g (farine + eau) Ragoût: 2000g 550g viande 500g pomme de terre, Sauce 500g petits pois, tomate	02h55	12h50	Riz: 1280 g (riz + eau Sauce:1100g 520g viande 140g petits pois, tomate, 200g sauce Oignon)	02h00 03h10
10/01/13	09h40	Pain:420g (farine + eau) Ragoût: 1500g 600g poulet 200g pomme de	03h10	13h10	Pain:400g (farine + eau) Ragoût: 1500g 480g viande 200g pomme de	02h30

		terre, sauce 480g haricots secs, oignon			terre, sauce, navet 400g petits pois, oignon, carotte	
13/01/13	12h10 09h30	Pates:500g Eau Cuisson:1440g Sauce: 580g 160g pois chiche, ail, 100g pâté de poulet, Sauce.	00h40 02h40 02h40	13h00	Pain:450g (farine + eau) Ragoût: 1600g 480g viande 660g pomme de terre, Sauce 100g navets, 160g carotte, 140courgette, oignon, tomate	02h45 02h15
	12h10	06 Œufs	00h40			

Tous les tests se sont déroulés sous ciel dégagé et en absence de vent avec une température ambiante maximale ne dépassant pas 20°C. Le profil de température de l'air interne du cuiseur, lors de la préparation de deux plats en journée hivernale est montré sur la figure 7.

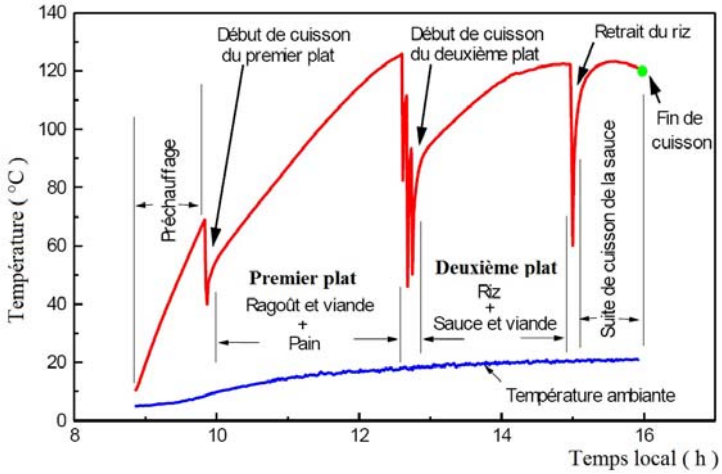

Fig. 7: Profil de température de l'air interne durant le test du 09/01/2013 (préparation de deux plats)

Durant le test du 09 Janvier 2013, la charge relative au premier plat est constituée d'une casserole contenant le pain et deux casseroles contenant la même quantité de ragoût avec de la viande avec un poid total de 2600 g. La charge relative au deuxième plat est constituée d'une casserole contenant la sauce avec de la viande et de deux casseroles contenant la même quantité de riz avec de l'eau avec un poid total de 2380g.

Le premier plat a été introduit à 9h50 après une heure de temps de préchauffage. Après 01h 25, la température de l'air interne a dépassé 100 °C. Le plat a poursuivi sa cuisson pendant 01h 30 sous une température moyenne de 112 °C.

Le second plat a été introduit dans le cuiseur juste après le retrait du plat précédent à 12h50. Au début, la température de l'air interne a dépassé 90 °C et a atteint 122 °C, deux (02) heures après quand le riz a été retiré. La sauce a poursuivi sa cuisson jusqu'à 16h00 sous une température moyenne de 121°C.

Les différents plats préparés au cours de ces tests de cuisson ont été réussis malgré une température ambiante très faible.

5. CONCLUSION

Ce papier présente les résultats des tests expérimentaux d'un prototype de cuiseur solaire stationnaire. Il est équipé d'un concentrateur parabolique composé et d'une plaque absorbante en forme de marche d'escalier.

Le prototype a été réalisé par des moyens simples et des matériaux disponibles en milieu saharien. Le design opto géométrique du système permet son exploitation en position fixe durant toute l'année.

Les différents essais effectués sous l'ensoleillement réel d'Adrar ont démontré son efficacité à cuire deux plats par jour pour une famille de quatre personnes même en période hivernale.

Ce système peut être intégré sur un au niveau de la cuisine d'une habitation. Il pourrait être alors exploité sans avoir recours à sortir sous le soleil.

REFERENCES

[1] D.S. Halacy and B. Halacy, '*Cooking with the Sun*', La Fayette, California, USA. Morning Sun Press, p. 89, 1992.

[2] A.M.A. Khalifa, M.M.A. Taha and M. Akyurt, '*Solar Cookers for Outdoors and Indoors*', Energy, Vol. 10, N°7, pp. 819 - 829, 1985.

[3] J.S. Vishaya, T.C. Tripathi, D. Singh, R.H. Bhawalkar and M.S. Hegde, '*A Hot Box Solar Cooker: Performance Analysis and Testing*', Energy Conversion and Management, Vol. 25, N°3, pp. 373 - 379, 1985.

[4] U.S. Mirdha and S.R. Dhariwal, '*Design Optimization of Solar Cooker*', Renewable Energy, Vol. 33, N°3, pp. 530 - 544, 2008

[5] A. Harmim, M. Boukar et M. Amar, '*Etude Expérimentale d'un Cuiseur Solaire Boîte à Trois Réflecteurs Plans et une Surface d'Ouverture Inclinée*', Revue des Energies Renouvelables, Vol 10, N°1, pp 31 – 38, 2007

[6] A. Harmim, M. Boukar et M. Amar, '*Construction et Expérimentation d'un Cuiseur Solaire à Double Exposition en Milieu Saharien*', SIPE'8, Centre Universitaire de Béchar, Algérie, 11 et 12 Novembre 2006.

[7] B.S. Negi and I. Purohit, '*Experimental Investigation of a Box Type Solar Cooker Employing a Non-Tracking Concentrator*'. Energy Conversion and Management, Vol. 46, N°4, pp. 577 - 604, 2005.

[8] P.C. Pande and K.P. Thanvi, '*Design and Development of a Solar Cooker for Maximum Energy Capture in Stationary Mode*', Energy Conversion and Management, Vol. 27, N°1, pp. 117 - 120, 1987.

[9] N.M. Nahar, '*Performance and Testing of an Improved Hot Box Solar Cooker*', Energy Conversion and Management, Vol. 30, N°1, pp. 6 - 16, 1990.

[10] O.A. Jaramillo, G. Huelsz, G. Hernandez-Luna, J.A. Del Rio, R. Acosta and L.G. Arriaga, '*Solar Oven for Intertropical Zones: Optogeometrical Design*', Energy Conversion and Management, Vol. 48, N°10, pp. 2649 - 2656, 2007.

[11] N. Kumar, S. Agravat, T. Chavda and H.N. Mistry, '*Design and Development of Efficient Multipurpose Domestic Solar Cookers/Dryers*', Renewable Energy, Vol. 33, N°10, pp. 2207 - 2211, 2008.

[12] I. Purohit and P. Purohit, '*Instrumentation Error Analysis of a Box Type Solar Cooker*', Energy Conversion and Management, Vol. 50, pp. 365 - 375, 2009.