

DÉTERMINATION DES PERFORMANCES D'UN CUISEUR SOLAIRE BOÎTE SUIVANT LES PROCÉDURES DE MULLICK ET FUNK

AMOR GAMA¹ FATIHA YETTOU¹, ALI MALEK², BOUBEKEUR AZOUC³, NARAYAN LAL PANWAR⁴

Mots clés: Éclairage solaire, Cuiseur solaire boîte, Performances thermiques, Procédure de Mullick, Standard de Funk.

Un cuiseur solaire boîte à surface réceptrice inclinée (CSB_{SRI}) a été développé et testé à l'Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables, sous les conditions climatiques de Ghardaïa, Algérie. Les performances thermiques du cuiseur sont analysées selon la procédure internationale de Mullick en termes de deux paramètres (F_1 , F_2), le temps d'ébullition est calculé et la courbe caractéristique de notre cuiseur est également déterminée. En outre, les valeurs de puissance de cuisson sont calculées à partir des tests expérimentaux réalisés suivant le standard international de Funk et représentées en fonction de la différence de température entre l'eau et l'ambiance. Le cuiseur solaire réalisé, permettant une bonne interception des rayons solaires démontre de meilleures performances thermiques comparées à d'autres cuiseurs boîtes existants.

1. INTRODUCTION

La cuisson solaire est l'une des applications possibles de l'énergie solaire. Le cuiseur solaire contribue à résoudre deux des problèmes majeurs dans le monde: l'aggravation du manque d'énergie pour la cuisson et le fléau des maladies liées à l'eau. La moitié de la population mondiale cuisine à l'aide du feu de bois et vit dans des régions favorables à l'exploitation de l'énergie solaire. Selon l'ONU, deux tiers de la population mondiale, c'est-à-dire deux milliards de personnes, souffrent du manque de bois [1]. Dans les zones menacées par la déforestation, les efforts de protection échouent quand les gens n'ont pas d'alternative à la cuisson au feu de bois. Chaque cuiseur solaire peut sauver une tonne de bois par an dans les régions ensoleillées mais arides [1], et peut donc à cet effet éviter le dégagement d'une grande quantité de gaz à effet de serre. C'est pourquoi l'utilisation d'un cuiseur solaire peut s'avérer être la solution la plus écologique pour la cuisson des aliments.

Après avoir étudié l'état de l'art des différents types de cuiseurs solaires [2], un premier prototype de cuiseur solaire boîte à surface réceptrice inclinée (CSB_{SRI}) a été développé et réalisé au sein de l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER) de Ghardaïa, Algérie [3, 4], et l'évaluation de ces performances est effectué en terme d'analyse thermodynamique [5] (Analyse énergétique et exergetique [6]). L'objectif de ce présent travail est l'évaluation des performances thermiques du cuiseur boîte (CSB_{SRI}) suivant les Normes Indiennes de Mullick et le Standard Européen de Funk (Détermination de F_1 , F_2 , P_{adj} et courbe caractéristique du cuiseur), pour une meilleure intégration des cuiseurs solaires boîtes dans la vie quotidienne (les domiciles).

2. ÉTUDE THÉORIQUE ET EXPERIMENTALE DU SYSTÈME

2.1. ÉVALUATION DES PERFORMANCES THERMIQUES DU CUISEUR

Le test et l'évaluation des performances thermiques des cuiseurs solaires sont nécessaires pour la caractérisation de

ces dispositifs. Mullick et al. ont développé une procédure de test thermique pour les cuiseurs solaires boîtes [7]. Selon cette procédure, une méthode d'essai complète suivant la Norme IS13429: 2000 est disponible pour le test de ces systèmes [8]. Suivant cette Norme, deux principaux tests sont effectués (un test de stagnation et un test de chaleur sensible) pour la détermination des deux paramètres de performance thermique (paramètres de mérites, F_1 et F_2) sur la base des relevés des profils thermiques sans tenir compte de l'effet du miroir réflecteur.

Expérimentalement, F_1 est une mesure de la différence de température gagnée par la plaque absorbante à un stade particulier de l'éclairage solaire; elle est obtenue en utilisant la relation suivante:

$$F_1 = \frac{\eta_o}{U_L} = \frac{T_{ps} - T_{as}}{I_s}, \quad (1)$$

où η_o et U_L sont respectivement le rendement optique et le coefficient global de pertes thermiques du cuiseur. T_{ps} , T_{as} et I_s sont la température de l'absorbant, la température ambiante et l'éclairage solaire incident sur une surface horizontale, respectivement au moment de stagnation.

Le seconde paramètre de mérite F_2 est dérivée du test de chaleur sensible sous des conditions de pleine charge. Elle est donnée par la relation suivante [7, 8]:

$$F_2 = \frac{F_1 (mc_p)_w}{A_{sc} \tau} \ln \left[1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{T_{wi} - \bar{T}_a}{I_s} \right) \right] / \left[1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{T_{wf} - \bar{T}_a}{I_s} \right) \right], \quad (2)$$

avec: A_{sc} – la surface d'ouverture du cuiseur solaire boîte; $(mc_p)_w$ – la capacité thermique de l'eau dans le récipient de cuisson, m_w – masse ou quantité d'eau;

τ – l'intervalle de temps pendant lequel la température de l'eau augmente de T_{wi} à T_{wf} ;

T_{wi} – la température initiale de l'eau (60°C);

T_{wf} – la température finale de l'eau (90°C);

\bar{T}_a – la température ambiante moyenne;

\bar{I}_s – l'éclairage solaire moyen reçu par une surface horizontale.

¹ Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algeria, E-mail: yettou.t@gmail.com

² Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, BP 62 Route de l'Observatoire, Bouzaréah, 16340, Algiers, Algeria

³ Laboratoire de Recherche LEB, Département d'Electrotechnique, Université Hadj Lakhdar, Boukhrouf Med ElHadi, Batna, Algeria

⁴ Maharana Pratap University of Agriculture and Technology, Department of Renewable Energy Engineering, Udaipur, Rajasthan 313001, India

Selon les Normes de Mullick [7], la constante de temps τ_{boil} pour la période de chaleur sensible; depuis la température ambiante jusqu'à la température de 100°C, peut être déduite à partir de l'équation (2) de la manière suivante:

$$\tau_{boil} = \frac{-F_1(mC_p)_w}{F_2A_{sc}} \ln \left[1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{100 - T_a}{I_s} \right) \right]. \quad (3)$$

Le tracé de τ_{boil} en fonction de $(100 - T_a)/I_s$ réfère à une courbe qui est désignée sous le nom de la courbe caractéristique du système de cuisson.

Une autre méthode de test des cuiseurs solaires a été également suggérée par Funk [9, 10]. Suivant ce Standard, les performances des cuiseurs solaires boîtes sont déterminées à partir de la puissance de cuisson ajustée (P_{adj}) où la vitesse du vent doit être inférieure à 1 m/s et la température de l'eau à l'intérieur des pots de cuisson doit être relevée entre 40 et 90°C. La température ambiante et l'éclairement solaire doivent être compris entre 20 à 35°C et 450 à 1100 W/m², respectivement.

La puissance moyenne délivrée par le cuiseur durant un intervalle de temps particulier ($\Delta t = 600$ s) est exprimée par la formule suivante:

$$P = \frac{(mC_p)_w \cdot (T_{wf} - T_{wi})}{\Delta t}. \quad (4)$$

Funk [9] a introduit le terme: puissance de cuisson ajustée ou standardisée P_{adj} , afin de faciliter la comparaison entre les divers designs de cuiseurs solaires sous différentes intensités d'éclairements, la puissance de cuisson ajustée est donnée par l'équation (5), où I_n est l'éclairement solaire standardisé à 700 W/m².

$$P_{adj} = P \frac{I_n}{I_s}. \quad (5)$$

2.2. RÉALISATION EXPERIMENTALE DU DESIGN CSB_{SRI}

Le cuiseur conçu, baptisé cuiseur solaire boîte à surface réceptrice inclinée (CSB_{SRI}), sera tronqué de forme trapézoïdale de manière à avoir une surface d'ouverture inclinée (Fig. 1) dans le but d'éliminer l'ombrage exercé sur une partie

importante de l'absorbeur, notamment en période hivernale où la hauteur du soleil est faible, ce qui permet d'augmenter considérablement la surface réceptrice par rapport au cuiseurs conventionnels.

Les dimensions du cuiseur choisi sont les suivantes: 550 mm × 450 mm × 495 mm × 175 mm, les dimensions internes du boîtier, construit à base de vitres; sont de 500 mm × 400 mm × 445 mm × 125 mm [11]. Les constituants du cuiseur après réalisation sont les suivants: un boîtier en bois, surfaces intérieures réfléchissantes (miroirs), isolation entre les miroirs et le boîtier avec la laine de verre, une plaque absorbante en aluminium teintée en noir, surface réceptrice vitrée (simple vitrage), inclinée à 32°N, un ustensile de cuisson (pot) peint en noir mat, trois poignés rigides, un boîtier de dérivation facilitant l'acquisition de données.

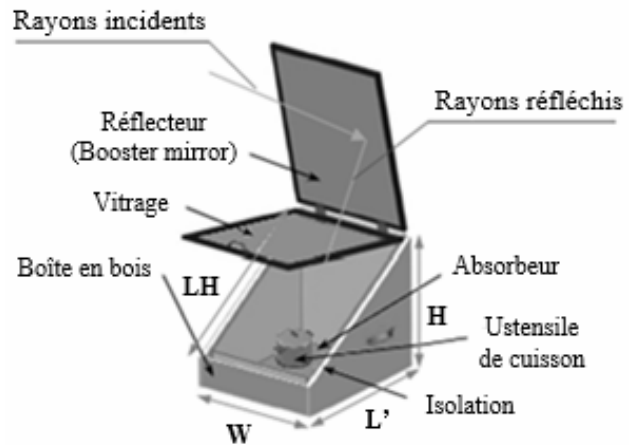


Fig. 1 – Schéma du cuiseur solaire boîte à surface réceptrice inclinée réalisé à l'URAER, Algérie.

Un réflecteur augmentera le taux de captation des rayons solaires et par conséquent un rendement optique et thermique meilleur du cuiseur. A cet effet, notre cuiseur sera équipé de deux réflecteurs additionnels: un réflecteur principal placé en haut du cuiseur et orienté vers le Sud et un réflecteur secondaire monté sur le côté du cuiseur et orienté vers l'Est. Après montage des réflecteurs, un dispositif mécanique assurant un réajustement flexible de l'angle d'inclinaison et une bonne fixation durant le fonctionnement s'avère nécessaire. Figure 2 illustre quelques photos du CSB_{SRI} après l'ajout des réflecteurs et le dispositif de réglage manuel.



Fig. 2 – Vues du design du cuiseur solaire boîte à surface réceptrice inclinée réalisé à URAER, Ghardaïa, Algérie:
a) CSB_{SRI} avec deux réflecteurs additionnels pliés; b) CSB_{SRI} avec réflecteur principal plié;
c) CSB_{SRI} avec deux réflecteurs en état fonctionnel.

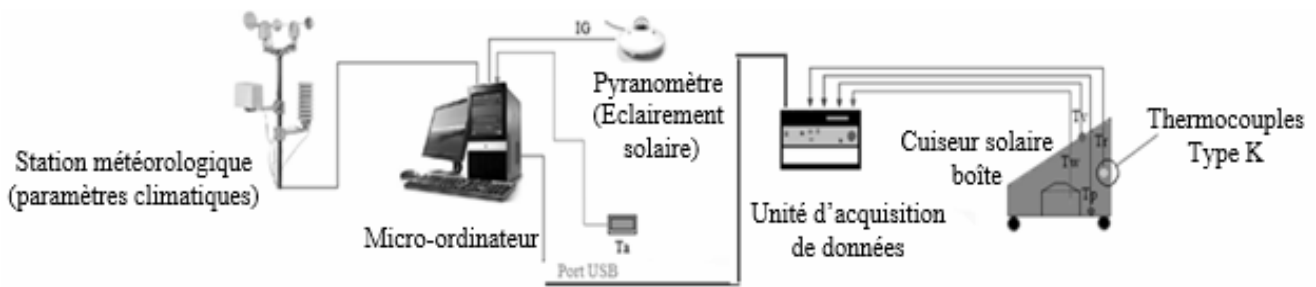


Fig. 3 – Schéma synoptique de l'installation du cuiseur solaire boîte.

2.3. CHAÎNE DE MESURE ET ACQUISITION DE DONNÉES

Le contrôle du comportement thermique du cuiseur solaire nécessite un suivi régulier de certains paramètres durant le fonctionnement. Figure 3 ci-après représente le schéma synoptique de notre installation. Cette dernière comporte plusieurs thermocouples de Type K, pour la mesure des températures, implémentés à divers endroits du cuiseur solaire, d'autres capteurs permettant la mesure des paramètres climatiques (température ambiante, éclairement solaire et vitesse du vent) sont utilisés, liés à une unité d'acquisition de données de type AGILENT 34972A, connectée à son tour à un micro-ordinateur par le baie d'un port USB.

Lors des expérimentations, l'utilisation et l'ajustement des angles des miroirs réflecteurs est nécessaires selon le besoin et l'orientation du cuiseur est réalisée d'une manière adéquate [12].

3. TESTS EXPÉRIMENTAUX EFFECTUÉS ET DISCUSSION DES RÉSULTATS OBTENUS

3.1. TESTS ET RÉSULTATS DES PERFORMANCES SUIVANT LES NORMES INDIENNES DE MULLICK ET LE STANDARD EUROPÉEN DE FUNK

3.1.1. PREMIER PARAMÈTRE DE MÉRITE (F_1)

Les variations de l'éclairement solaire global incident sur le plan horizontal de l'absorbeur (I_s), la température ambiante (T_a) et la température de la plaque absorbante du cuiseur (T_p), mesurées dans des conditions de test de stagnation, sans charge et sans réflecteurs, par ciel clair et en absence du vent, sont représentées sur Fig. 4a et 4b pour la saison d'hiver et la saison d'été, respectivement.

La température maximale de la plaque absorbante est de 127,6°C mesurée à 13 h 05 heure locale le 5 Février 2013 (Fig. 4a) à une valeur d'éclairement solaire horizontal de 791,9 W/m². Les résultats obtenus en saison tempérée (25 Juin 2014) ont montrés que les températures de stagnation sont également élevées. La température maximale de l'absorbeur était de 134,4 °C, cette valeur est mesurée à 10 h 30 heure locale (Fig. 4b) à une valeur d'éclairement solaire horizontal de 824,3 W/m².

Pour le test expérimental de stagnation effectué en hiver (Fig. 4a), le premier paramètre de mérite F_1 est calculée comme étant égale à 0,145 m²°C/W en utilisant l'équation (1), avec les valeurs de T_{ps} = 127,6°C, T_{as} = 12,5 °C et I_s = 791,9 W/m². Pour le test expérimental de stagnation sans réflecteur effectué en été (Fig. 4b), le premier F_1 est

calculée avec les valeurs de T_{as} = 28,1 °C, T_{ps} = 134,4 °C et I_s = 824,3 W/m² comme étant 0,129 m²°C/W.

Selon Mullick *et al.* [7], le premier paramètre de mérite F_1 varie entre 0.12 et 0.16. Une valeur élevée de F_1 indique un bon rendement optique η_0 et un faible facteur de pertes en chaleur U_L . Notre cuiseur solaire réalisé est caractérisé par une bonne valeur du paramètre F_1 (0.145 m² °C/W), en raison de la bonne interception des rayons solaires, conséquence du design à surface réceptrice inclinée proposé.

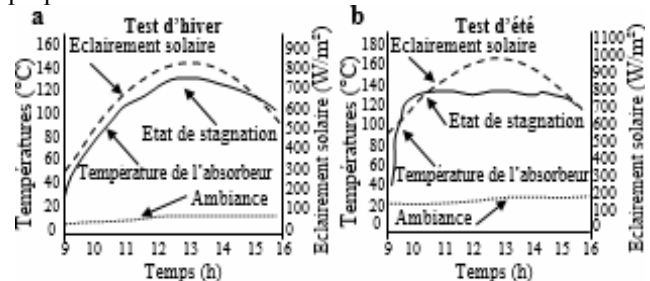


Fig. 4 – Les variations journalières de l'éclairement solaire et des températures mesurées de la plaque absorbante, sous des conditions de test de stagnation: a) pour un jour d'hiver; b) pour un jour d'été.

3.1.2. PREMIER PARAMÈTRE DE MÉRITE (F_2)

Des tests de chauffage de l'eau sont réalisés selon la procédure de Mullick [7]. La charge totale de l'eau est de 8 kg/m² de surface d'ouverture, pour la surface d'ouverture de notre cuiseur (0,2 m²), la charge totale de l'eau est estimée à 1,6 kg, cette quantité d'eau est éventuellement répartis entre deux ustensiles de cuisson identiques. Les températures de l'absorbeur, de l'eau dans les pots, de la température ambiante et de l'éclairement solaire, pour un ciel clair, en fonction du temps sont présentées sur la Fig. 5a et 5b pour la saison d'hiver et la saison d'été, respectivement.

Pour le test de chauffage de l'eau du 4 Février 2013, nous avons commencé le test à 10 h 05 min avec une température initiale de l'eau égale à 17,8°C et une température ambiante égale à 8,9°C (Fig. 5a). La température de la plaque absorbante avait atteint un maximum de 125°C à 14 h correspondant à une valeur d'éclairement solaire de 716 W/m². Le temps nécessaire pour augmenter la température de l'eau à partir de 61°C à 91°C est calculé comme étant 85 min. Figure 5b montre que durant le test d'été, débuté à 10 h 05 min à une température initiale de l'eau égale à 33,9°C et une température ambiante égale à 30,8°C, la température de l'absorbeur atteint sa valeur maximale d'une manière plus rapide qu'en hiver à 12 h avec 135 °C, un temps de 70 min était suffisant pour arriver à une température d'eau de 91°C.

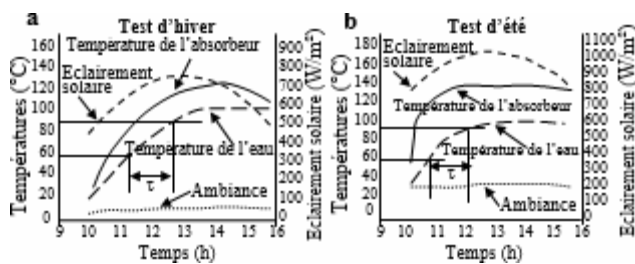


Fig. 5 – Les variations journalières de l'éclairement solaire et des températures mesurées des éléments du cuiseur, sous des conditions de test de chaleur sensible, (a) pour un jour d'hiver de l'année 2013, (b) pour un jour d'été de l'année 2014.

Utilisant l'équation (2) et la Fig. 5a, le second paramètre de mérite F_2 est calculée comme étant égale à 0,391 utilisant $F_1 = 0.145 \text{ m}^2\text{C/W}$ avec des valeurs de $m_w = 1 \text{ kg}$, $c_{pw} = 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$, $A_{sc} = 0,2 \text{ m}^2$, $\tau = 85 \text{ min}$, $T_{wi} = 61,3^\circ\text{C}$, $T_{wf} = 90,9^\circ\text{C}$, $\bar{T}_a = 11,4^\circ\text{C}$, et $\bar{I}_s = 705 \text{ W/m}^2$. La valeur correspondante pour F_2 , calculée à partir des profils thermiques de températures estivales (Fig. 5b) s'élève à 0,333 (en utilisant $\bar{I}_s = 969,2 \text{ W/m}^2$, $\bar{T}_a = 32,1^\circ\text{C}$, $T_{wi} = 62,8^\circ\text{C}$, $T_{wf} = 90,2^\circ\text{C}$, $\tau = 70 \text{ min}$ et $F_1 = 0,129 \text{ m}^2\text{C/W}$).

Le second paramètre de mérite F_2 varie entre 0,254 et 0,490 en fonction de la charge et du nombre d'ustensiles utilisés

(Mullick *et al.* [13]). Une valeur élevée de F_2 (0,391) indique une bonne efficacité de transfert de chaleur depuis la plaque d'absorbeur et l'air intérieur vers le contenu du récipient de cuisson. Pour notre cuiseur solaire boîte réalisé, F_2 est satisfaisante et le cuiseur est capable de cuire des repas en une durée de temps relativement réduite.

3.1.3. PÉRIODE DE CHALEUR SENSIBLE (τ_{boil}) ET COURBE CARACTÉRISTIQUE DU CUISEUR ($\chi\tau$)

Les valeurs calculées de F_1 et F_2 seront utilisés pour déterminer les performances du cuiseur réalisé sous différentes valeurs d'éclairement solaire à partir de 500 W/m^2 jusqu'à 1 000 W/m^2 avec un pas de 50 W/m^2 (voir Tableau 1). Figure 6a est un exemple de tracé de l'évolution du temps d'ébullition en fonction de la température de l'eau pour le jour du test d'hiver (4 Février 2013) calculé en utilisant l'équation (3). La courbe caractéristique correspondante de notre cuiseur est illustrée sur Fig. 6b pour diverses valeurs de températures ambiantes et pour un éclairement de 750 W/m^2 . La lecture de cette courbe se fait de la manière suivante: à une latitude de 32° et pour des valeurs spécifiques des deux facteurs F_1 et F_2 (0,145 et 0,391, respectivement) avec une valeur d'éclairement solaire moyenne de 750 W/m^2 et une température ambiante moyenne de 20°C, le temps nécessaire pour faire bouillir une quantité d'eau de 1,6 kg est de 173 min.

Tableau 1

Valeurs calculées de la constante du temps τ_{boil} (min) pour différentes valeurs de \bar{I}_s et \bar{T}_a

\bar{T}_a en °C	$\bar{I}_s = 738 \text{ W/m}^2$		$\bar{I}_s = 750 \text{ W/m}^2$		$\bar{I}_s = 800 \text{ W/m}^2$		$\bar{I}_s = 900 \text{ W/m}^2$		$\bar{I}_s = 950 \text{ W/m}^2$	
	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver	Été
10	239,3	361,9	228,7	361,9	194,6	279,5	152,2	202,8	137,8	180,2
12.6	221	317,6	211,8	317,6	182,2	255	144,1	189,9	130,9	169,7
15	205,7	286,5	197,9	286,5	171,7	235,8	137,1	179,0	124,9	160,8
20	179,1	238,3	173,1	238,3	152,2	202,8	123,5	158,8	113,1	143,8
25	157	202,8	152,2	202,8	135,3	176,3	111,2	141,1	102,3	128,7
30	138,1	174,7	134,3	174,7	120,3	154,1	100,0	125,5	92,3	115,1
35	121,6	151,4	118,5	151,4	106,9	135,1	89,7	111,5	83,1	102,7

Selon les résultats du Tableau 1, on peut déduire que la valeur moyenne de l'éclairement solaire \bar{I}_s et de la température ambiante \bar{T}_a sont proportionnels à la constante de temps liée à l'état d'ébullition τ_{boil} . Il est à noter que pour le jour de test du 4 Février 2013 (Fig. 5a), le temps nécessaire pour porter la température de l'eau à l'ébullition est mesuré expérimentalement (Fig. 6a) comme étant 205 min (3h 25 min) à une valeur de température ambiante de 12,6°C et un éclairement solaire de 738 W/m^2 contre $\tau_{\text{boil}} = 221 \text{ min}$ (3h 41 min) pour le temps calculé numériquement (Tableau 1), une erreur absolue de 16 min est constatée, qui est une erreur acceptable par rapport à une erreur de 13 min calculée et publiée par Sethi *et al.* [14] dans leur article récent.

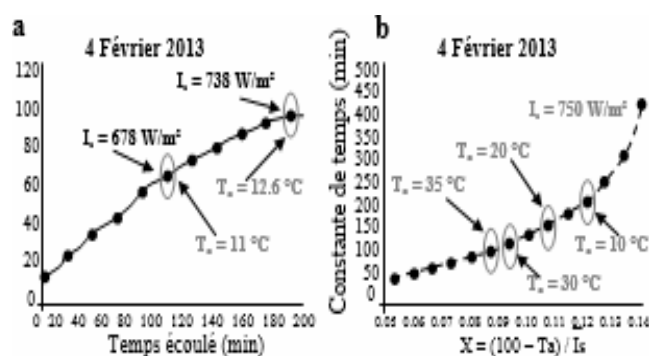


Fig. 6 – Caractérisation du CSB_{SRI} à une latitude de 32°: a) évolution de la courbe du temps d'ébullition en fonction des températures de l'eau; b) courbe ($\chi\tau$) caractéristique des performances.

3.1.4. PUISSANCE DE CUISSON (P_{adj})

La surface d'interception calculée de notre cuiseur avec son réflecteur est de $0,266 \text{ m}^2$, la charge de l'eau pour le test de puissance de cuisson (Fig. 7a) est prise donc égale à 2 kg réparti uniformément sur 2 ustensiles. Les valeurs de puissance de cuisson ajustée en fonction de la différence de température entre l'eau et l'ambiance (ΔT) sont représentées Fig. 7b, en utilisant les profils thermiques des résultats obtenus de la Fig. 7a et les équations (1) et (2).

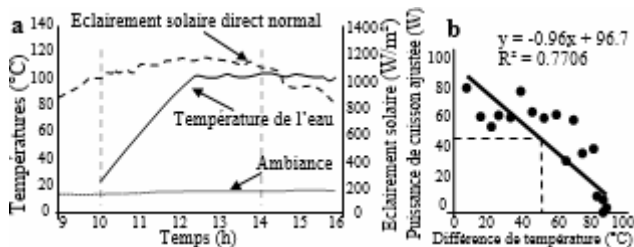


Fig. 7 – Expérimentation de la puissance de cuisson du cuiseur solaire réalisé: a) variations journalières de l'éclairement direct normal et des températures de l'eau mesurées; b) puissance de cuisson ajustée en fonction de la différence de température.

À partir de la courbe de puissance de cuisson ajustée on obtient la valeur de puissance de cuisson initiale $P_{ini} = 97 \text{ W}$ et la valeur de puissance de cuisson standardisée $P_{adj} = 48 \text{ W}$. Le coefficient de perte obtenu à partir de la pente de la droite de régression est estimé à 0,96

$\text{W}/^\circ\text{C}$ et la valeur du coefficient de régression linéaire de détermination $R^2 = 0,77$, satisfait aux Normes des tests (meilleurs que 75 %). La relation suivante est déduite pour notre cuiseur solaire boîte réalisé:

$$P_{adj} = 96,706 - 0,9611 (\Delta T) \text{ [W]}. \quad (6)$$

3.2. VALIDATION DES RÉSULTATS: COMPARAISON AVEC D'AUTRES CUISEURS RÉALISÉS À TRAVERS LE MONDE

Dans le but d'une meilleure évaluation des performances thermiques du cuiseur solaire réalisé, les résultats des tests expérimentaux obtenus de notre cuiseur sont comparés avec d'autres prototypes de cuiseurs boîtes réalisés à travers le monde. Tableau 2 montre qu'en période hivernale, sans réflecteurs ajoutés, notre design de cuiseur est caractérisé par des valeurs remarquables de F_1 et F_2 . Ceci est expliqué par une bonne isolation thermique et une bonne réception des rayons solaires quel que soit l'angle de la hauteur solaire. Selon les Normes de Mullick [7], notre design de cuiseur boîte réalisé est classé 'Grade A'.

La puissance de cuisson ajustée est également validée (Tableau 3). Notre cuiseur est caractérisé par une bonne thermo-isolation (faible pente de la droite de régression de puissance de cuisson) et une surface de réception élevée (puissance de cuisson initiale), en respect du Standard Européen proposé par Funk [9, 10].

Tableau 2

Comparaison des valeurs du premier paramètre de mérite (F_1) et du second paramètre de mérite (F_2) du CSB_{SRI} avec d'autres cuiseurs réalisés dans le monde

Réf N°	Référence	F_1 ($\text{m}^2\text{C}/\text{W}$)	F_2 (-)	Quantité d'eau (kg)
1	Purohit and Purohit [15]	0,1251	0,4805	1,844
2	El-Sebaï and Ibrahim [16]	0,15	0,407	4
3	Misra <i>et al.</i> [17]	0,1424	0,408	1
4	Farooqui [18]	0,1258	0,369	1,37
5	Yettou <i>et al.</i> (Fig. 4, Fig. 5)	0,145	0,391	1,6

Tableau 3

Expression de la puissance de cuisson ajustée du CSB_{SRI} avec d'autres cuiseurs à travers le monde

Réf N°	Référence	Date du test	Puissance de cuisson ajustée	P_{adj} (W)
1	Funk [9]	17/11/1998	$P_{adj} = 115 - 1,56 (\Delta T)$	37
2	Mahavar <i>et al.</i> [19]	30/11/2010	$P_{adj} = 108,2 - 1,084 (\Delta T)$	52
3	Fayadh [20]	03/2011	$P_{adj} = 5,321 - 19,532 (\Delta T)$	-
4	Sethi <i>et al.</i> [14]	23/01/2013	$P_{adj} = -14,923 + 2,441(\Delta T)$	103
5	Yettou <i>et al.</i> (Fig. 7)	02/02/2014	$P_{adj} = 96,706 - 0,9611(\Delta T)$	48

4. CONCLUSIONS

Cet article représente les résultats d'une investigation expérimentale pour la détermination des performances thermiques d'un cuiseur solaire boîte avec surface réceptrice inclinée (CSB_{SRI}) réalisé à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER) de Ghardaïa, Algérie. L'analyse des performances du cuiseur est réalisée en fonction des principaux paramètres F_1 et F_2 tel que décrit

par le Bureau des Normes Indiennes (BIS), le temps d'ébullition τ_{boil} est calculé et la courbe caractéristique (χT) de notre cuiseur est également déterminée. La puissance de cuisson ajustée P_{adj} est estimée à partir de la courbe de régression $P_{adj} = f(\Delta T)$ suivant le Standard International de Funk et la valeur du coefficient de pertes en chaleur est déduite. Les résultats obtenus des tests expérimentaux sont satisfaisants et encourageants, de bonnes performances sont obtenus, conséquences du design proposé, qui permet une

meilleure interception des rayons solaires: les valeurs des paramètres de performance F_1 (0,145 m²C/W) et F_2 (0,391) satisfait aux normes du Bureau des normes indiennes. Les valeurs de la puissance de cuisson initiale P_{ini} (97 W), le coefficient de perte de chaleur (0,96 W/°C) et la valeur de puissance de cuisson standardisée à une différence de température de 50 °C (48 W) correspondent à l'intervalle des paramètres décrits par le Standard de Funk.

Reçu le 6 Mai 2016

RÉFÉRENCES

1. Angélique Dizier, F. Pignon, *Manuel de cuisson solaire*, Edition commune SCI / iD COOK, Paris, France, 2005.
2. Fatiha Yettou, B. Azoui, A. Malek, A. Gama, N.L. Panwar, *Solar cooker realizations in actual use: An overview*, Renewable and Sustainable Energy Review, **37**, pp. 288–306 (2014).
3. Fatiha Yettou, B. Azoui, A. Malek, A. Gama, M.A. Rouissa, O. Benzeggouta, *Réalisation et expérimentation d'un cuiseur solaire boîte à surface réceptrice inclinée muni d'un réflecteur plan*, Revue des Energies Renouvelables, **16**, 14, pp. 629–640 (2013).
4. Fatiha Yettou, B. Azoui, A. Malek, N.L. Panwar, A. Gama, H. Merarda, *Comparative assessment of two different designs of box solar cookers under Algerien Sahara conditions*, Revue des Energies Renouvelables, **16**, 14, pp. 629–640 (2013).
5. Fatiha Yettou, B. Azoui, A. Malek, N.L. Panwar, A. Gama, *Energetic and exergetic evaluation of solar box cooker in Algerian climatic conditions*, International Journal of Exergy, **16**, 3, pp. 337–357 (2015).
6. A. Dobrovicescu, Dorin Stanciu, T. Prisecaru, Mălina Prisecaru, Camelia Petre, Georgiana Tîrcă-Dragomirescu, *The decomposition method in the exergoeconomicoptimization of energy systems*, Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg., **56**, 4, pp. 428–437 (2011).
7. S.C. Mullick, T.C. Kandpal, A.K. Sexena, *Thermal test procedure for box type solar cooker*, Solar Energy, **39**, 14, pp. 353–360 (1987).
8. BIS. Bureau of Indian Standards, *Indian standards IS 13429: solar cooker – box type*, first revision, Manak Bhawan, New Delhi; 2000.
9. P.A. Funk, *Evaluating the international standard procedures for testing solar cookers and reporting performance*, Solar Energy, **68**, 11, pp. 1–7 (2000).
10. PA. Funk, DL. Larson, *Parametric model of solar cooker performance*, Solar Energy, **62**, 11, pp. 63–68 (1998).
11. Fatiha Yettou, B. Azoui, A. Malek, A. Gama, *Conception et réalisation d'un cuiseur solaire boîte à surface réceptrice inclinée*, 2nd International Conference on Energy and Sustainable Development (ICESD'13), Adrar – Algérie, 19–20 Février 2013.
12. Fatiha Yettou, B. Azoui, A. Malek, *Determination of adjustment tracking time in two types of solar cookers by ray-tracing method*, Power Engineering, Energy and Electrical Drives' (POWERENG), pp. 822–827(2013), DOI: 10.1109/PowerEng.2013.6635716.
13. S.C. Mullick, T.C. Kandpal, S. Kumar, *Testing of box-type solar cooker: second figure of merit F2 and its variation with load and number of pots*, Solar Energy, **57**, 15, pp. 409–413 (1996).
14. V.P. Sethi, D.S. Pal, K. Sumathy, *Performance evaluation and solar radiation capture of optimally inclined box type solar cooker with parallelepiped cooking vessel design*, Energy Conversion and Management, **81**, pp. 231–241 (2014).
15. I. Purohit, P. Purohit, *Instrumentation error analysis of a box-type solar cooker*, Energy Conversion and Management, **50**, pp. 365–375 (2009).
16. A.A. El-Sebaai, A. Ibrahim, *Experimental testing of a box-type solar cooker using the standard procedure of cooking power*, Renewable Energy, **30**, pp. 1861–1871 (2005).
17. M. Rohit, K.A. Tarun, *Thermal performance enhancement of box-type solar cooker: a new approach*, International Journal of Sustainable Energy, **31**, 12, pp. 107–118 (2012).
18. S.Z. Farooqui, *A gravity based tracking system for box type solar cookers*, Solar Energy, **92**, pp. 62–68 (2013).
19. Sunita Mahavar, M. Verma, P. Rajawat, Namrata Sengar, P. Dashora, *Novel solar cookers: suitable for small families*, International Journal of Sustainable Energy, **32**, 6, pp. 574–586 (2012).
20. M. Abed Fayadh, *Experimental Investigation of Thermal Performance of Solar Cooker with Reflector*, European Journal of Scientific Research, **56**, 11, pp. 112 (2011).

PERFORMANCES DETERMINATION OF SOLAR COOKER BOX USING MULLICK AND FUNK'S PROCEDURES

Key words: Solar irradiance, Solar cooker box, Thermal performances, Mullick procedure, Funk standard.

A box type solar cooker with inclined intercept area (BSC_{SRI}) was designed and tested at Applied Research Unit on Renewable Energies under Ghardaïa (Algeria) prevailing weather conditions. The thermal performances of the cooker was analyzed using Mullick international procedure in term of two figures of merit, the characteristic boiling times was also calculated and the characteristic curve of the cooker was determined. Furthermore, experiments also considered the requirements for the Funk's international standard test procedure for calculating the cooking power and was correlated with the temperature difference between the cooking fluid and the ambient air. The realized cooker, which allows much higher solar radiation interception, has good thermal performances compared with others cookers found in the literature.