

## Utilisation de la procédure standard 'puissance de cuisson' pour tester un cuiseur solaire de type boîte trapèze expérimenté sous climat aride

Fatiha YETTOU<sup>(1)</sup>, Amor GAMA<sup>(1)</sup>, BoubekourAZOUI<sup>(2)</sup>, AliMALEK<sup>(3)</sup>, AbdelfatehBELAID<sup>(1)</sup>, Hakim MERARDA<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algeria (yettou.t@gmail.com)

<sup>(2)</sup> Laboratoire de Recherche LEB, Département d'Electrotechnique, Université Hadj Lakhdar, Boukhrouf Med ElHadi, Batna, Algeria

<sup>(3)</sup> Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 16340 Algiers, Algeria

### Résumé :

La conception, le développement et l'évaluation des performances thermiques d'un cuiseur solaire boîte trapèze à surface réceptrice inclinée (CSB<sub>SRI</sub>) est présenté dans le présent article. Une chaîne d'acquisition de données équipée de divers instruments de mesure est installée pour le contrôle du système. Les profils thermiques des différentes composantes du cuiseur ont été mesurés au site saharien de Ghardaïa pour différentes conditions climatiques durant la saison hivernale et estivale. L'analyse des performances du cuiseur solaire est évaluée au moyen de la puissance de cuisson ajustée, qui ; se situant dans l'intervalle des Normes du Standard de Funk, met le cuiseur réalisé dans la gamme des Standards Internationaux. Les tests expérimentaux entrepris démontrent que le cuiseur proposé, avec une surface d'ouverture inclinée ; améliore considérablement les performances thermiques du cuiseur solaire, il est de ce fait adapté à la cuisson des aliments en été et en hiver où la hauteur du soleil est faible.

*Mots clés : Energie solaire, Cuiseur solaire boîte, Performances thermiques, Puissance de cuisson.*

### 1. Introduction

Les cuissons traditionnelles sont néfastes pour l'environnement et participent à l'aggravation de la pollution et le réchauffement de la planète, elles utilisent souvent des énergies fossiles dont les stocks ne sont pas illimités, les cuissons au bois contribuent à la déforestation dans certaines régions. Environ 2 milliards de personnes ; soit un tiers de l'humanité, 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]. Selon l'FAO, au minimum 100 millions souffrent déjà de la famine, de la pauvreté et du déclin du niveau de vie. 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.

A l'heure de la prise de conscience massive des effets du réchauffement climatique, il est primordial de considérer l'énergie solaire comme l'une des alternatives possibles aux combustibles fossiles [1]. La cuisson solaire est l'une des applications possibles de cette énergie. Cette application constitue une réelle solution pour limiter la déforestation et l'utilisation abusive des énergies fossiles qui contribue à l'aggravation des problèmes des émissions des gaz à effet de serre. Chaque cuiseur solaire peut sauver une tonne de bois par an dans les régions ensoleillées mais arides 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. Un simple cuiseur solaire est composé d'une boîte isolée, d'une vitre et d'un réflecteur, ce qui permet de poursuivre les variations saisonnières de la position du soleil.

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m<sup>2</sup> est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m<sup>2</sup>/an au Nord et 2263 kWh/m<sup>2</sup>/an au Sud du pays [2]. Ce sont des conditions climatiques très favorables pour toutes les applications de l'énergie solaire plus spécialement la cuisson résidentielle, en particulier; si on considérons que la demande algérienne globale à l'énergie pour la cuisson est prévue d'augmenter considérablement avec l'augmentation de la population au cours des

prochaines années et sachant que la demande actuelle est couverte par l'utilisation du gaz naturel (villes) et par le bois des forêts dans les zones rurales et isolées [3].

Après l'état de l'art des différents types de cuiseurs solaires [4], un cuiseur solaire boîte trapèze à surface réceptrice inclinée (CSB<sub>SRI</sub>) a été développé et réalisé à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER) de Ghardaïa [5], et l'évaluation de ces performances est effectué suivant les Normes Indienne de Mullick et al. [6] et en terme d'analyse thermodynamique [7].

Dans le présent travail, différents tests expérimentaux ont été réalisés et leurs résultats respectifs sont analysés suivant la procédure du Standard International de Funk [8] afin de déterminer la puissance de cuisson du cuiseur réalisé ; qui est un paramètre indicateur clef des performances thermiques du cuiseur solaire. Les tests ont été entrepris au niveau du site de Ghardaïa sous différentes conditions climatiques et durant plusieurs jours de l'année (hiver/été), divers conditions de fonctionnement (avec/sans charge) ont été pris en considération avec diverses configurations du réflecteur (sans, avec réflecteur).

## 2. Etude théorique et expérimentale

### 2.1 Analyses des performances thermiques d'un cuiseur solaire

Il est connu que le rendement thermique d'un cuiseur solaire de type boîte dépend des paramètres climatiques tels que l'éclairement solaire, la température ambiante, la vitesse du vent ...etc., ainsi que des paramètres propre au design conçu tel que les matériaux utilisées pour l'isolation, les propriétés de la plaque absorbante, le nombre de vitrage et l'utilisation des miroirs réflecteurs. Le test et l'évaluation des performances thermiques des cuiseurs solaires sont nécessaires pour la caractérisation de ces dispositifs, leurs résultats fournissent une base de comparaison avec différents autres modèles. Mullick et al. [6] ont développé une procédure de test thermique pour les cuiseurs solaires boîtes. Selon cette procédure, une méthode d'essai complète suivant la Norme IS13429 : 2000 est disponible pour le test de ces systèmes [9]. 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 (figures of merits,  $F_1$  et  $F_2$ ) sur la base des relevés des profils thermiques sans tenir compte de l'effet du miroir réflecteur. La Norme indienne IS13429 [9] propose des limites normalisées pour les valeurs inférieures de  $F_1$  et  $F_2$ , qui sont 0.12 et 0.40 pour une charge de 8 kg/m<sup>2</sup>, respectivement. En outre, une méthode de test des cuiseurs solaires a été également suggérée par Funk et al. [8, 10] ; Suivant ce Standard, les performances des cuiseurs solaires sont déterminées par deux paramètres, à savoir, la puissance de cuisson ajustée ( $P_{adj}$ ) et le coefficient total de pertes thermiques ( $U_L$ ).

Selon la procédure du Standard International développé par Funk [8], les performances thermiques des cuiseurs solaires peuvent être évaluées à partir des relevés des profils des températures, la puissance de cuisson  $P$  du cuiseur solaire peut être calculée quand une masse d'eau bien déterminée est maintenue à l'intérieur de l'ustensile de cuisson et le cuiseur solaire est mis en service selon certaines conditions décrites dans le Standard de Funk [8]. Et comme l'eau va se réchauffer durant le fonctionnement, sa température moyenne est surveillée et relevée pendant une durée de temps de 10 min durant un intervalle particulier ( $\Delta t = 600$  s). Quand la température de l'eau atteint les 95 °C ou quand 4 heures de temps sont écoulés du début du test, l'expérimentation est arrêtée (l'une ou l'autre des deux conditions est satisfaite). La puissance moyenne délivrée durant cet intervalle est exprimée par la formule suivante :

$$P = \frac{(mC_p)_w \cdot (T_{wf} - T_{wi})}{\Delta t} \quad (1)$$

Funk [8] a également 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 (2), où  $\bar{I}_s$  est l'éclairement solaire moyen,  $I_n$  est l'éclairement solaire standardisé à 700 W/m<sup>2</sup>.

$$P_{adj} = P \frac{I_n}{\bar{I}_s} \quad (2)$$

Selon les tests de ce Standard (Protocole), 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/m<sup>2</sup>, respectivement. Pour la surface d'ouverture du cuiseur, 7 kg d'eau /m<sup>2</sup> doit être réparti uniformément dans les ustensiles. La surface d'ouverture du cuiseur est définie comme la somme de la surface des réflecteurs et la surface d'ouverture du cuiseur projetée sur le plan perpendiculaire à l'éclairement direct normal.

## 2.2 Description du cuiseur solaire boîte trapèze

Basé sur une conception mécanique du cuiseur boîte utilisant le logiciel Solid Works, nous avons réalisé un premier prototype à l'URAER, Ghardaïa (Fig. 1).

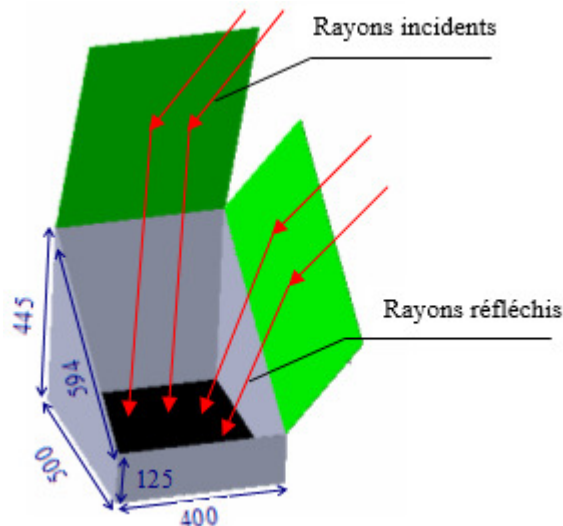


Figure 1 : Schéma et dimensions du cuiseur solaire boîte trapèze à surface réceptrice inclinée (CSB<sub>SRI</sub>).

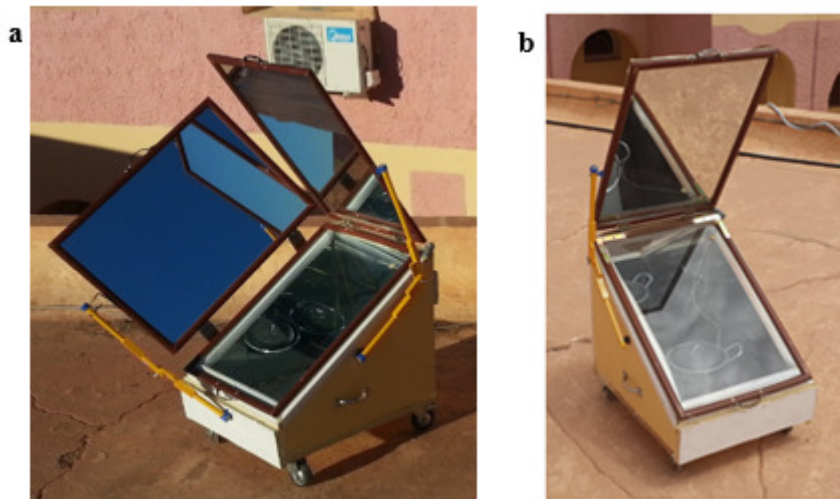


Figure 2 : Vue du cuiseur solaire boîte trapèze à surface réceptrice inclinée (CSB<sub>SRI</sub>) réalisé à l'URAER, Ghardaïa : (a) orientation du cuiseur suivant une saison hivernale ; (b) orientation du cuiseur suivant une saison estivale.

Le cuiseur réalisé a les dimensions suivantes : 500 mm x 400 mm x 445 mm x 125 mm, muni des caractéristiques suivantes : un boîtier en bois ; des surfaces intérieures réfléchissantes (miroirs) ; une isolation entre les miroirs et le boîtier avec la laine de verre ; une plaque absorbante en Aluminium teintée en noir ; une surface réceptrice vitrée, inclinée de 32° (latitude de Ghardaïa) et des réflecteurs extérieurs additionnels (miroirs). L'orientation du cuiseur suivant le soleil et l'ajustement adéquat des réflecteurs seront réalisés manuellement à des intervalles de temps réguliers. Le design final réalisé est illustré sur la (Fig. 2) avec une configuration hivernale (Fig. 2.a) et une configuration estivale (Fig. 2.b).

## 2.3 Mesures expérimentales

Le contrôle du comportement thermique du cuiseur solaire nécessite un suivi régulier des températures à plusieurs points du cuiseur durant son fonctionnement (Fig. 3.a). Pour cela, divers capteurs sont utilisés pour la mesure des températures, liés à une unité d'acquisition de données [11]. D'autres dispositifs sont nécessaires tel qu'un pyranomètre pour la mesure de l'éclairement solaire global, direct et diffus, une station météorologique professionnelle pour la mesure de la vitesse, la direction du vent et l'humidité. Les données collectées ; en temps réel, sont affichées sous forme numérique et graphique (Fig. 3.b) et sauvegardées sur un fichier qu'on peut importer sur Excel.

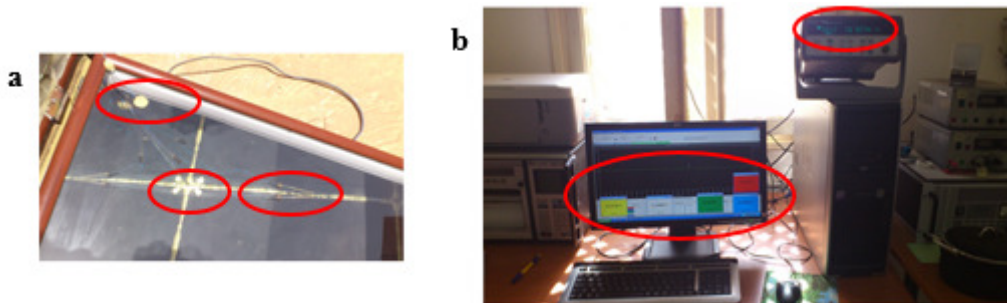


Figure 3 : Chaîne de mesure et acquisition de données : (a) implémentation des capteurs de mesure ; (b) affichage des températures acquises.

## 3. Méthode adoptée et résultats obtenus

### 3.1 Procédure standard 'puissance de cuisson'

Dans notre précédent travail [12], les performances thermiques du cuiseur solaire boîte trapèze à surface réceptrice inclinée ( $CSB_{SRI}$ ) ont été comparées aux performances d'un cuiseur solaire boîte conventionnel à surface réceptrice horizontale, en utilisant la procédure de test Standard de Mullick et al.[6], dans laquelle deux paramètres de performance (figures of merits,  $F_1$  et  $F_2$ ) ont été déterminés sur la base des relevés des profils thermiques sans (test de stagnation) et avec charge d'eau (test de chaleur sensible) et sans tenir compte de l'effet du miroir réflecteur. Construit avec les mêmes matériaux et ayant une surface globale égale, le nouveau design de cuiseur avec surface inclinée avait démontré de meilleures performances thermiques par rapport au cuiseur ordinaire. La première et la deuxième figure of merit du cuiseur amélioré était de 0.15 et 0.47, respectivement ; contre 0.13 et 0.38 pour le cuiseur ordinaire.

Afin de prendre en considération l'effet du miroir réflecteur sur les performances du cuiseur solaire boîte trapèze à surface réceptrice inclinée réalisé, la puissance de cuisson ajustée ( $P_{adj}$ ) est calculée selon la procédure du Standard International de Funk [8].

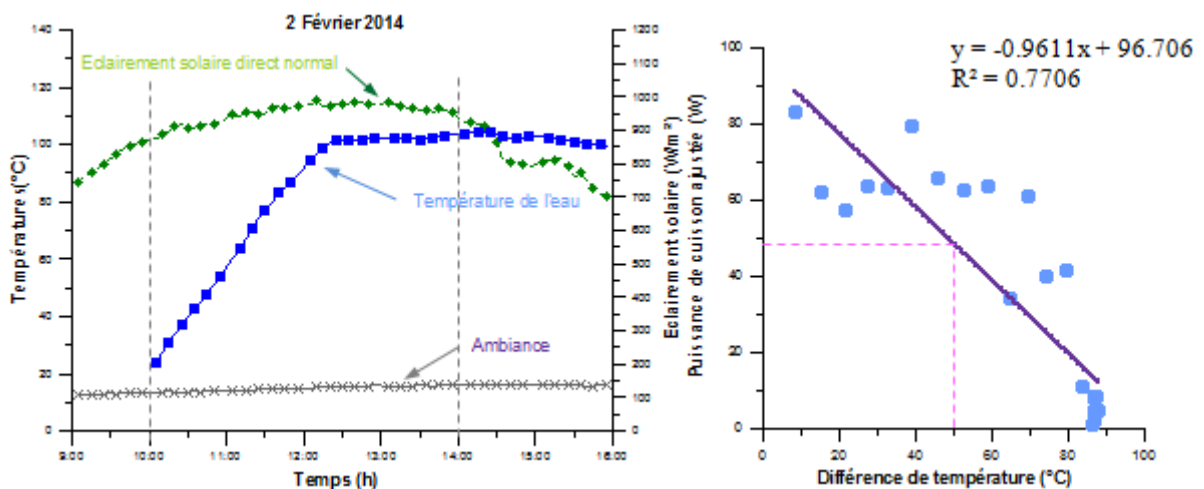


Figure 4 : Expérimentation de la puissance de cuisson du CSBSRI réalisé en un jour clair d'hiver en Février 2014 : (a) variations journalières de l'éclairement direct normal et des températures de l'eau mesurées avec utilisation du réflecteur ; (b) puissance de cuisson ajustée en fonction de  $\Delta T$ .

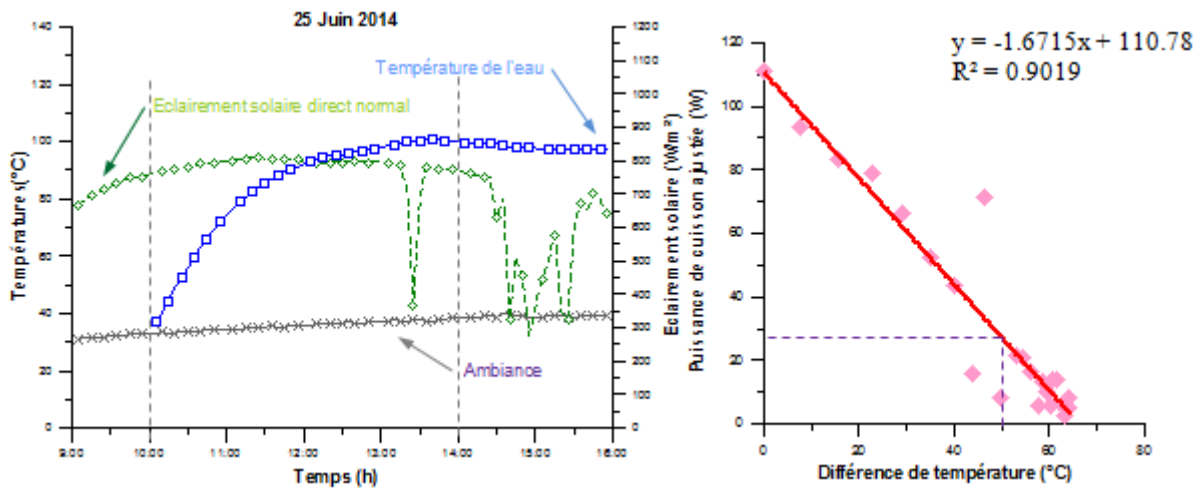


Figure 5 : Expérimentation de la puissance de cuisson du CSBSRI réalisé en un jour clair d'été en Juin 2014 : (a) variations journalières de l'éclairement direct normal et des températures de l'eau mesurées avec utilisation du réflecteur ; (b) puissance de cuisson ajustée en fonction de  $\Delta T$ .

Des tests sont réalisés durant plusieurs jours clairs d'hiver et d'été de l'année 2014. La surface d'interception calculée de notre cuiseur avec son réflecteur additionnel est de  $0.266 \text{ m}^2$ , à cet effet, la charge de l'eau pour le test de puissance de cuisson est prise égale à  $2 \text{ kg}$  réparti uniformément sur deux ustensiles. Lors de chaque test, les températures de l'eau dans les deux pots ainsi que l'intensité de l'éclairement solaire et la température ambiante ont été enregistrés durant l'intervalle de temps allant de 10h00 du matin à 16h00 l'après-midi (ALT).

La (Fig. 4.b) représente le profil thermique des températures pour un test réalisé durant le mois d'hiver à Ghardaïa (2 Février 2014), la (Fig. 5.a) est une représentation des profils des variables du test du mois d'été (25 Juin 2014). Les valeurs de puissance de cuisson ajustée en fonction de la différence de température entre l'eau et l'ambiance  $\Delta T$  sont représentées pour le test d'hiver et d'été sur la (Fig. 4.b) et (Fig. 5.b), en utilisant les profils thermiques des résultats obtenus de la (Fig. 4.a) et (Fig. 5.a); respectivement, et les équations (1) et (2).

### 3.2 Discussion des résultats

A partir des courbes de puissance de cuisson ajustée ; qui sont des droites linéaires, les valeurs de puissance de cuisson initiale  $P_{ini}$  (à  $\Delta T = 0 \text{ °C}$ , interception avec l'axe des Y), de puissance de cuisson standardisée  $P_{adj}$  (à  $\Delta T = 50 \text{ °C}$ ) et du coefficient de perte de chaleur (pente de la courbe linéaire) ont été obtenus. Les relations suivantes sont déduites pour notre cuiseur solaire boîte réalisé :

$$P_{adj} = 96.706 - 0.9611(\Delta T), \text{ pour le test d'hiver} \quad (3)$$

$$P_{adj} = 110.78 - 1.6715(\Delta T), \text{ pour le test d'été} \quad (4)$$

Les valeurs de puissance de cuisson initiales, des puissances de cuisson standardisées ; pour le test du 2 Février et du 25 Juin, sont :  $P_{ini} = 97$ ,  $P_{adj} = 48 \text{ W}$  et  $P_{ini} = 111$ ,  $P_{adj} = 26 \text{ W}$ , respectivement. Les coefficients de pertes obtenus à partir de la pente des droites de régression sont estimés à  $0.96 \text{ W/°C}$  et à  $1.67 \text{ W/°C}$  et les valeurs des coefficients de régression linéaire de détermination  $R^2 = 0.77$  et  $0.90$  ; respectivement, satisfont aux Normes des tests (meilleurs que 75 %).

Des valeurs élevées de la puissance de cuisson initiales associée à un faible coefficient de pertes en chaleur indiquent une bonne isolation de notre cuiseur solaire boîte, selon les Normes Internationales [8].

### 3.3 Validation des résultats

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.

Les valeurs de puissance de cuisson ajustée sont comparées avec d'autres valeurs de cuiseurs solaires de type boîte sur la tableau "1". Notre cuiseur est caractérisé par une bonne thermo-isolation (faible

pende de la droite de régression de puissance de cuisson) et une surface de réception relativement élevée (puissance de cuisson initiale), en respect du Standard Européen proposé par Funk et al. [8, 10].

| REF N° | REFERENCE                  | DATE DU TEST | PUISSANCE DE CUISSON AJUSTEE           | PUISSANCE STANDARDISEE (W) |
|--------|----------------------------|--------------|--|----------------------------|
| 1      | Funk [8]                   | 17/11/1998   | $P_{adj} = 115 - 1.56 (\Delta T)$      | 37                         |
| 2      | Funk [8]                   | 17/05/1997   | $P_{adj} = 125 - 1.58 (\Delta T)$      | 46                         |
| 3      | El-Sebaï and Ibrahim [13]  | 28/07/2002   | $P_{adj} = 103.92 - 1.598 (\Delta T)$  | 22.02                      |
| 4      | Mahavar et al. [14] SFSC-1 | 24/06/2009   | $P_{adj} = 103.5 - 1.474 (\Delta T)$   | 30                         |
| 5      | Mahavar et al. [15] SFSC-2 | 30/11/2010   | $P_{adj} = 108.2 - 1.084 (\Delta T)$   | 52                         |
| 6      | Fayadh [16]                | Mars_2011    | $P_{adj} = 5.321 - 19.532 (\Delta T)$  | -                          |
| 7      | Yettou et al. (ce travail) | 02/02/2014   | $P_{adj} = 96.706 - 0.9611 (\Delta T)$ | 48                         |
| 8      | Yettou et al. (ce travail) | 25/06/2014   | $P_{adj} = 110.78 - 1.6715 (\Delta T)$ | 26                         |

Tableau 1 : Expression de la puissance de cuisson ajustée de notre cuiseur solaire (CSB<sub>SRI</sub>) comparée avec d'autres cuiseurs boîtes réalisés dans le monde.

#### 4. Conclusion

Dans cet article, une évaluation des performances d'un cuiseur boîte suivant les Standards Internationaux est présentée. La conception est effectuée pour un cuiseur solaire boîte trapèze (CSB<sub>SRI</sub>) dans le but de collecter un maximum d'énergie et la réalisation du prototype est faite à l'URAER, Ghardaïa.

L'analyse des performances du cuiseur est réalisée en fonction de 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 [8] et la valeur du coefficient de pertes en chaleur est déduite. Les résultats obtenus montrent que le présent cuiseur est bien conçu et ces performances sont efficaces, 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 un  $\Delta T = 50$  °C (48 W) correspondent à l'intervalle décrit par le Standard de Funk [8, 10].

#### 5. Références bibliographiques

- [1] Dizier A., Pignon F. Manuel de cuisson solaire. Edition commune SCI / iDCOOK.Paris, France. 2005.
- [2] Ministère de l'Energie et des Mines. Direction des Énergies Nouvelles et Renouvelables. Guide des Energies Renouvelables. Édition 2007. info@nakheeldz.com
- [3] BoudgheneStambouli A. Promotion of renewableenergies in Algeria:Strategies and perspectives. RenewSustEnergyRev. 2011. Vol 15. pp 1169-1181.
- [4] Yettou F., Azoui B., Malek A., Gama A.,Panwar NL. Solarcookerrealizations in actualuse: An overview. Renewable and SustainableEnergyReview. 2014. Vol 37. pp 288-306.
- [5] Yettou F., Azoui B., Malek A., Gama A., Rouissa MA., Benzeggouta O. Réalisation et expérimentation d'un cuiseur solaire boîte à surface réceptrice inclinée muni d'un réflecteur plan. Revue des Energies Renouvelables. 2013. Vol 16 (14). pp629-640.
- [6] Mullick SC., Kandpal TC., Sexena AK. Thermal test procedure for box type solarcooker. SolarEnergy. 1987. Vol 39 (14). pp 353-360.
- [7] Gama FY., Azoui B., Malek A., PanwarNL., GamaA. Energetic and exergetic evaluation of solar box cooker in Algerian climatic conditions. International Journal of Exergy. 2015. Vol16 (3). pp337-357.
- [8] Funk PA. Evaluating the international standard procedures for testingsolarcookers and reporting performance. SolarEnergy. 2000.Vol68 (11). pp 1-7.
- [9] BIS. Indian standards IS 13429:solarcooker - box type, first revision. ManakBhawan, New Delhi: Bureau of Indian Standards (BIS). 2000.
- [10] Funk PA., Larson DL. Parametric model of solarcooker performance. SolarEnergy. 1998. Vol 62 (11). pp63-68.
- [11] 34972A LXI Data Acquisition, keysight, 2000-2014. [En ligne]. Available: <http://www.keysight.com/ja/pdf/1756491-pn-34972A/lxi-data-acquisition-data-logger-switch-unit?cc=DZ&lc=eng>. [Accès le 13 Décembre 2014].
- [12] Yettou F., Azoui B., Malek A., Panwar NL., Gama A., Merarda H.Comparative assessment of twodifferentdesigns of box solarcookersunderAlgerien Sahara conditions. Revue des Energies Renouvelables. 2013. Vol16 (14). pp629-640.
- [13] El-Sebaï AA., Ibrahim A.Experimentaltesting of a box-type solarcookerusing the standard procedure of cooking

- power. *RenewableEnergy*. 2005. Vol30. pp1861-1871.
- [14] Mahavar S., Sengar N., Rajawat P., Verma M., DashoraP. Design development and performance studies of a novel single family solarcooker. *RenewableEnergy*. 2012. Vol47. pp67-76.
- [15] Mahavar S., Verma M., Rajawat P., Sengar N., DashoraP. Novelsolarcookers:suitable for smallfamilies. *International Journal of SustainableEnergy*. 2012. Vol32 (6). pp574-586.
- [16] Abed FayadhM. Experimental Investigation of Thermal Performance of SolarCookerwithReflector. *European Journal of ScientificResearch*. 2011. Vol56 (11). pp112-123.