



Investigation expérimentale pour la détermination des éléments caractéristiques de performances d'un cuiseur solaire boîte de forme trapézoïdale testé au Sahara Algérien

F. Yettou^{1*}, A. Gama¹, N. L. Panwar², A. Malek³, B. Azoui⁴

¹Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algeria

²Department of Renewable Energy Engineering, Maharana Pratap University of Agriculture and Technology, Udaipur, Rajasthan 313001, India.

³Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 16340 Algiers, Algeria

⁴Laboratoire de Recherche LEB, Département d'Electrotechnique, Université Hadj Lakhdar, Boukhrouf Med ElHadi, Batna, Algeria

*Corresponding author, E-mail : yettou.t@gmail.com

Résumé— Cet article traite l'importance de l'analyse thermodynamique (second law analysis) afin d'évaluer les performances thermiques des cuiseurs solaires, elle constitue une approche alternative aux méthodes traditionnelles. Un cuiseur solaire de type boîte et de forme trapézoïdale avec surface d'ouverture inclinée (CSB_{SRI}) a été conçu, réalisé et testé expérimentalement à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables de Ghardaïa. Par ailleurs, les tests ont été effectués, en considérant le cuiseur rempli avec une quantité d'eau ; durant plusieurs jours du mois de Mai et Juin sous des conditions climatiques de Ghardaïa (32.39 °N, 3.78 °E, 463 m). Le temps de la période expérimentale est de 09:00 à 16:00 heure locale. Un schéma synoptique de la chaîne d'acquisition de données, contenant divers instruments de mesure ; sera dressé. Un ou deux réflecteurs ont été ajoutés au cuiseur afin d'étudier leur effet sur les performances globales. Le temps d'ajustement du cuiseur est effectué manuellement chaque 20 min. Les rendements énergétiques et exergétiques du cuiseur sont calculés et les paramètres indicateurs des performances du cuiseur sont évalués suivant la méthode de Kumar et al. [1].

Les résultats de cette étude indiquent que le cuiseur solaire développé avec surface d'ouverture inclinée peut améliorer le rendement du système de cuisson d'une manière significative. Une validation des résultats obtenus à partir du système de cuisson par comparaison avec diverses réalisations à travers le monde est aussi effectuée.

Mots clés— Irradiation solaire, Cuiseur solaire boîte, Performances thermiques, Eléments caractéristiques.

Abstract— This article emphasizes the importance of thermodynamic analysis (second law analysis) to assess the thermal performances of solar cookers, which constitutes an

alternative approach to conventional methods. A box type solar cooker with the inclined aperture area (CSB_{SRI}) was designed, realized and experimentally tested at Applied Research Unit on Renewable Energies of Ghardaïa. The experiments were carried out with the cooker filled with a quantity of water for several days during May and June. The experiment was conducted during 09:00 to 16:00 hrs local time. A block diagram of the data acquisition system, containing various measuring instruments; is then drawn, one or two reflectors were added to the cooker in order to investigate their effect on overall performance. The time adjustment of the reflectors and cooker is every 20 min, done manually. The energy and exergy efficiency of the cooker were calculated and the cooker's performance indicators using methodology suggested by Kumar et al. method's [1].

The results of the present study indicate that the developed box solar cooker with the inclined aperture area can improve the efficiency of the cooker significantly. The results obtained from developed solar cooker was further compared with other solar cookers.

Keywords— Solar irradiance, Box solar cooker, Thermal performances, Indicators parameters.

I. INTRODUCTION

L'intérêt de la communauté internationale pour le concept de la cuisson solaire a largement augmenté au cours de la dernière décennie, renforcé par les craintes d'un pic puis d'un déclin de la production de pétrole, du gaz et d'autres carburants fossiles. A cela s'ajoutent la quête de nouvelles sources d'énergie pour répondre à l'augmentation de la demande énergétique mondiale pour couvrir les besoins en cuisson et l'inquiétude vis-à-vis de l'accumulation des gaz à effet de serre aggravant les problèmes environnementaux et le



risque de la désertification des zones menacées par la déforestation.

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 [2]. 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 [2], et peut donc à cet effet éviter le dégagement d'une grande quantité de gaz à effet de serre [3]. C'est pourquoi l'utilisation d'un cuiseur solaire peut s'avérer être la solution la plus écologique pour la cuisson des aliments. Un cuiseur solaire est une technologie qui peut fournir de la chaleur de façon naturelle et renouvelable, pour la cuisson, il utilise souvent la technique de concentration des rayons solaires et/ou le phénomène de l'effet de serre [3].

L'Algérie dispose d'une grande superficie, dont la majorité constitue le Sahara. Dans les régions arides ensoleillées où vie les nomades, dont les besoins à la cuisson ; liés à la récolte du bois augmentent progressivement, aggravent le problème de la rareté de cette ressource et provoquent sont épuisement de plus en plus. Dans ces zones éloignées, où ces gens n'ont pas d'alternatives aux feux de bois et prenant en compte les habitants des villes sahariennes qui utilisent principalement le gaz naturel (fossile) comme énergie de cuisson, l'énergie solaire est considérée la meilleure solution pour remédier à ces problèmes et autant d'autres. Pour les citoyens qui sont installés dans plusieurs régions isolées du pays, la cuisson des aliments revient très onéreuse, quand on exploite les sources énergétiques conventionnelles et induit des conséquences désastreuses sur l'écosystème en exploitant le bois des quelques arbustes restants dans ces régions [2]. L'Algérie avec son gisement solaire très important à de grandes possibilités de développement de la filière. Le recours à ces technologies ouvrira de nouvelles perspectives et permettra de préserver les réserves actuelles et d'apporter une alternative au pétrole et au gaz, du point de vue revenu national du pays et sources d'énergie.

Après avoir étudié l'état de l'art des différents types de cuiseurs solaires [4], un prototype de cuiseur solaire de type boîte et de forme trapézoïdale avec surface d'ouverture inclinée (CSB_{SRI}) a été conçu, développé et réalisé à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER) de Ghardaïa, Algérie [5, 6], et l'évaluation de ces performances est effectué suivant les Normes Indienne de Mullick [7] et en terme d'analyse thermodynamique [8, 9].

L'objectif du présent travail consiste à calculer le rendement énergétique et exergetique du cuiseur réalisé dans le but de déterminer les paramètres indicateurs des performances de notre cuiseur et ceci en se basant sur la méthode proposée par Kumar et al. [1]. Une validation des résultats obtenus à partir du système de cuisson réalisé par comparaison avec diverses réalisations à travers le monde est envisagée.

II. ANALYSE ENERGETIQUE ET EXERGETIQUE DES CUISEURS SOLAIRES

L'analyse énergétique est la méthode habituelle de l'évaluation de la manière dont l'énergie est utilisée dans une opération incluant les traitements physiques ou chimiques des matériaux et le transfert et/ou de la conversion d'énergie [10]. L'analyse énergétique est basée sur la première loi de la thermodynamique, c'est à dire la chaleur nette fournie par un processus est convertie en travail. L'analyse énergétique ne tient donc pas en compte les réductions en terme de potentiel énergétique. Cette analyse peut fournir des conseils pour une gestion correcte dans les applications où l'efficacité de l'utilisation dépend uniquement des quantités d'énergies. Ainsi, l'évaluation énergétique est adaptée pour le dimensionnement et l'analyse des systèmes utilisant une seule forme d'énergie [11]. Ces cuiseurs solaires dont l'énergie d'entrée dépend de la taille du collecteur (A_{sc}), et de l'intensité de l'éclairement solaire (I_s) peut être exprimée comme suit :

$$E_i = I_s \cdot \Delta t \cdot A_{sc} \quad (1)$$

L'énergie de sortie d'un cuiseur solaire dépend de la quantité d'eau (m_w) ou des aliments à cuire et de la différence de température. L'énergie de sortie peut être calculée comme suit :

$$E_o = (mc_p)_w \cdot (T_{wf} - T_{wi}) \quad (2)$$

La première loi de la thermodynamique, donne le rendement énergétique (η) comme étant le rapport entre l'énergie de sortie (E_o) par rapport à l'énergie d'entrée (E_i). Le rendement énergétique d'un cuiseur solaire boîte est calculé en utilisant l'équation (3) ci-dessous :

$$\eta = \frac{E_o}{E_i} = \frac{(mc_p)_w \cdot (T_{wf} - T_{wi})}{I_s \cdot \Delta t \cdot A_{sc}} \quad (3)$$

Comme l'ont noté Panwar et al. en 2013 [10], le terme exergetique est défini comme la quantité maximale de travail qui peut être obtenu à partir d'un système [12]. L'analyse exergetique décrite par Szargut et al. [13] donne toujours une base supplémentaire pour l'interprétation de la qualité du processus considéré. L'analyse exergetique implique l'examen de l'exergetique à différents points dans une série de conversion



d'énergie (détermination des rendements significatifs), ainsi que les étapes contenant beaucoup de pertes. Ceci est basé sur la seconde loi de la thermodynamique et la notion de production d'entropie irréversible [14, 12]. Il s'agit ; de ce fait, d'une véritable mesure des performances, c'est un outil très utile pour améliorer les performances d'un système en déterminant la grandeur de pertes en énergie dans le système [15].

Dans un processus en écoulement ; en régime permanent, durant un intervalle de temps fini, le bilan exérgétique global du cuiseur solaire peut être écrite comme suit :

$$\text{Exergy input} = \text{Exergy Output} + \text{Exergy Loss} \quad (4)$$

L'expression suivante pour le flux d'énergie disponible, qui est très répandu, est utilisée pour calculer l'exérgie de l'éclairement solaire (exérgie d'entrée au cuiseur solaire).

$$\Xi_i = I_s \cdot \Delta t \cdot \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_a}{T_s} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_o}{T_s} \right)^4 \right] A_{sc} \quad (5)$$

La température du corps noir du soleil de 5762 K résulte en un spectre solaire concentré dans la bande de longueurs d'onde de $0,3 \pm 3,0 \mu\text{m}$ [16]. Bien que la température de la surface du soleil (T_s) peut varier à la surface de la terre en raison de la distribution spectrale, la valeur de 5800 K peut être considérée pour T_s .

L'exérgie thermique de l'énergie thermique à la température T est :

$$\epsilon = \int_{T_o}^T (mc_p)_w \cdot \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) dQ \quad (6)$$

L'équation (6) peut être appliquée pour les processus non-isothermes. Ainsi, la teneur en exérgie thermique de l'eau à la température T_i peut être calculée par l'équation (7).

$$\epsilon_w(T_i) = (mc_p)_w \cdot [(T_w - T_o) - T_a \cdot \ln(T_w / T_o)] \quad (7)$$

Lorsque la température de l'eau est portée à la température finale T_f , l'exérgie est :

$$\Delta \epsilon_w = \epsilon(T_w) - \epsilon(T_w) \quad (8)$$

Ainsi, l'exérgie de sortie du cuiseur solaire boîte est calculée en utilisant l'équation (9) ci-dessous :

$$\Xi_o = (mc_p)_w \cdot \left[(T_w - T_w) - T_{ra} \cdot \ln \left(\frac{T_w}{T_w} \right) \right] \quad (9)$$

Il est à noter que lors du calcul de l'exérgie de sortie du cuiseur solaire boîte par l'équation (9), la valeur de T_{ra} est considérée comme la température ambiante de référence pendant l'intervalle de temps donné. Dans l'équation (9), les températures sont en K.

Le rendement exérgétique est un rapport entre le taux de transfert de l'exérgie associée à la sortie par rapport à la vitesse de transfert de l'exérgie associée à l'entrée [17]. Kaushik et Gupta [12] ont défini le rendement exérgétique (ψ) d'un cuiseur solaire boîte comme le rapport de l'exérgie de sortie du cuiseur (Ξ_o) (augmentation de l'exérgie de l'eau due à l'élévation de température) à l'exérgie de l'entrée du cuiseur (Ξ_i) (exérgie de l'éclairement solaire). Ainsi, le rendement exérgétique est donné par :

$$\psi = \frac{\text{exergy output}}{\text{exergy input}} = \frac{\Xi_o}{\Xi_i} = \frac{(mc_p)_w \cdot [(T_w - T_w) - T_a \cdot \ln(T_w / T_w)]}{I_s \cdot \Delta t \cdot \left[1 - (4T_a / 3T_s) + (T_a / 3T_s)^4 \right] A_{sc}} \quad (10)$$

III. DESCRIPTION DU DESIGN DE CUISEUR REALISE

Le cuiseur à surface réceptrice inclinée adopté est de forme trapèze rectangle (Fig. 1) dans le but d'éliminer l'ombrage exercé sur une partie de l'absorbeur, notamment en période hivernale où la hauteur du soleil est faible.

Le cuiseur solaire est constitué d'une boîte extérieure en bois, une boîte interne de cuisson, un couvercle à simple vitrage, un isolant thermique, des miroirs et un récipient de cuisson. Les dimensions globales du cuiseur sont de 550 mm x 450 mm x 495 mm x 175 mm. Les dimensions internes du boîtier, construit à base de vitres ; sont de 500 mm x 400 mm x 445 mm x 125 mm. L'espace entre le boîtier externe et le bac interne, y compris le fond du plateau ; est rempli d'un matériau isolant pour réduire les pertes en chaleur vers l'extérieur. Un couvercle en verre couvre la boîte extérieure. L'absorbeur, en tôle d'aluminium et peint en noir mat ; absorbe le rayonnement solaire et transfère sa chaleur vers l'ustensile de cuisson. Le récipient de cuisson en aluminium (18 cm de diamètre et 10 cm de haut) est rempli d'une quantité d'eau et muni d'un couvercle noir, sera placé à l'intérieur du cuiseur. Deux réflecteurs additionnels de dimensions 640 mm x 450 mm sont montés au sommet et sur le côté du cuiseur avec des armatures ajustables ; ces réflecteurs sont utilisés pour augmenter la température du cuiseur. 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 [18]. La conception et la réalisation finale de notre cuiseur est



illustrée sur la figure (2) avec différentes utilisation des miroirs réflecteurs.

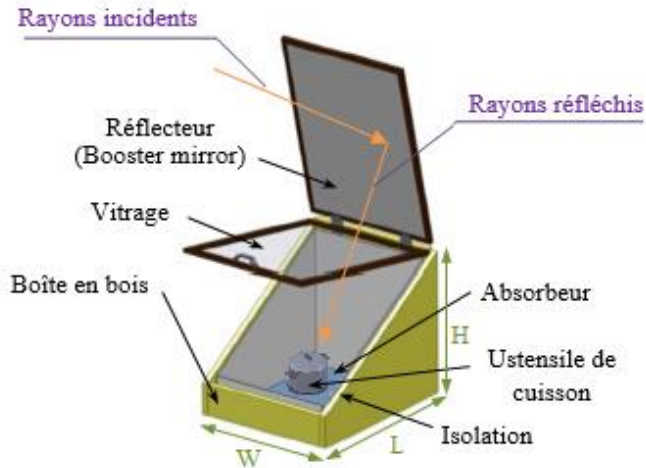


Fig. 1 Schéma illustratif du cuiseur solaire de type boîte de forme trapézoïdale avec surface d'ouverture inclinée (CSB_{SRI}) conçu et réalisé à l'URAER, Ghardaïa.

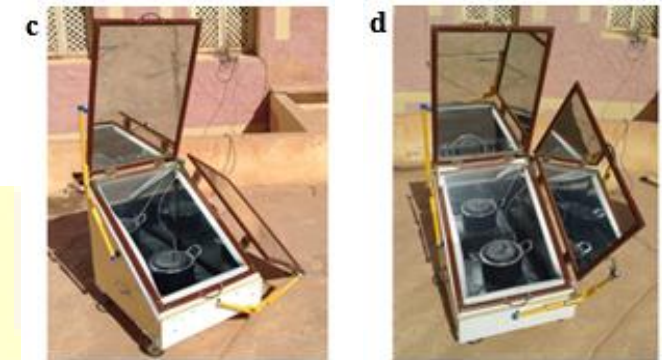
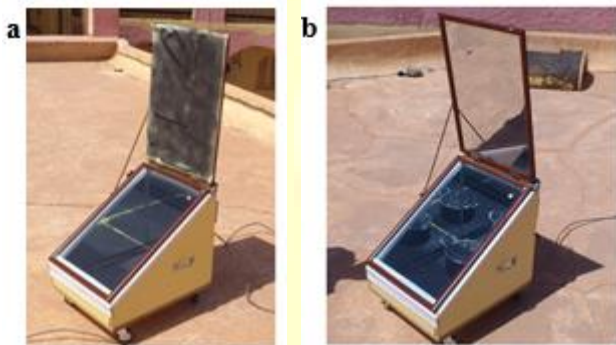


Fig. 2 Vue du cuiseur solaire de type boîte et de forme trapézoïdale avec surface d'ouverture inclinée (CSB_{SRI}) avec : (a) réflecteur principal hors service ; (b) réflecteur principal en fonctionnement ; (c) réflecteur latéral hors service et (d) réflecteur latéral mis en service.

IV. INSTRUMENTATION ET EXPERIMENTATION

Le contrôle du comportement thermique du cuiseur solaire nécessite un suivi régulier de certains paramètres durant le fonctionnement. La 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 [19], connectée à son tour à un micro-ordinateur par le baie d'un port USB.

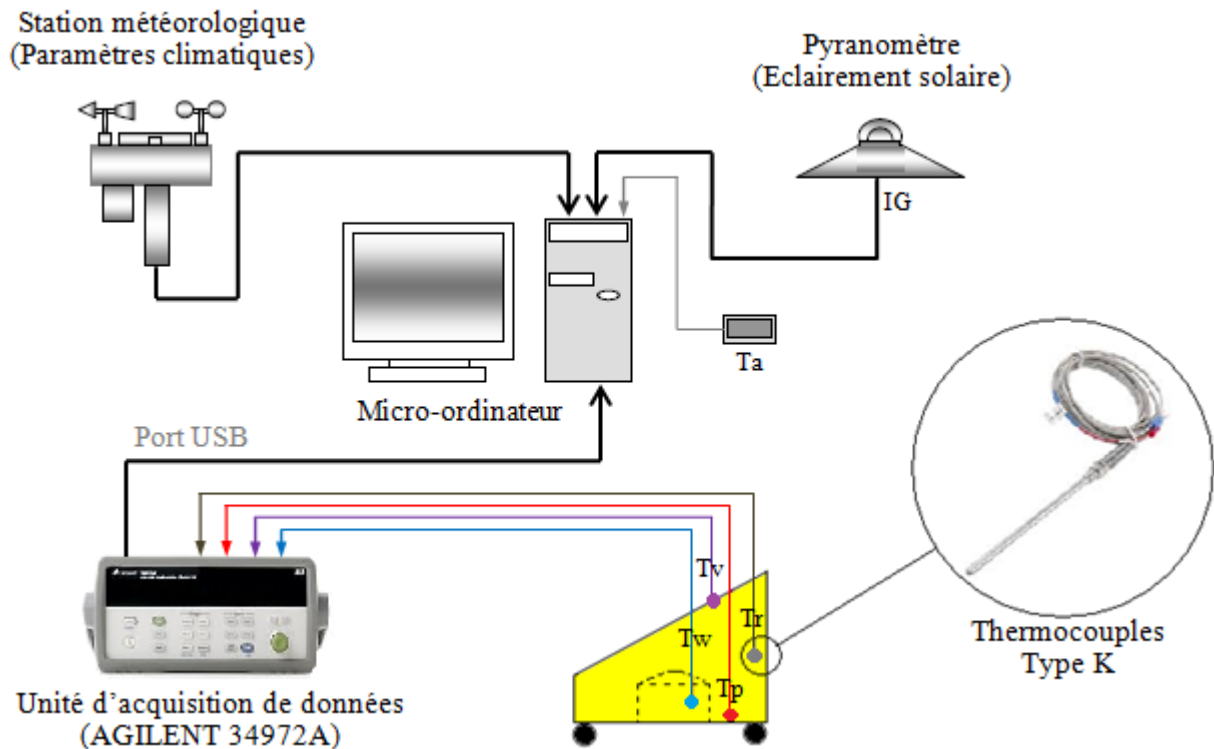


Fig. 3 Schéma synoptique de l'installation du cuiseur solaire de type boîte trapézoïdale avec surface d'ouverture inclinée (CSB_{SRI}).

V. METHODOLOGIE ET RESULTATS OBTENUS

Cette partie concerne la détermination des éléments caractéristiques des performances du cuiseur solaire de type boîte et de forme trapézoïdale avec surface d'ouverture inclinée (CSB_{SRI}) réalisé. Comme l'a suggéré Ozturk en 2007 [20], la variation des rendements énergétiques et exergétiques, les valeurs maximales et moyennes, les valeurs spécifiques à une différence de température de 50 °C sont évaluées à partir des courbes de régression. Sur la base de la méthode proposée par Kumar et al. [1], quatre paramètres indicateurs des performances du cuiseur sont également déterminés ; à savoir : la puissance crête exergétique, le produit de l'écart de température exergétique, le coefficient de pertes thermiques et le facteur de qualité.

A. Courbe de régression déterminante des efficacités spécifiques du cuiseur

L'effet de la différence de température sur le rendement énergétique et exergétique du cuiseur est illustré sur la figure (4) et la figure (5) pour le test réalisé le 04 Février 2013 (sans réflecteur) et pour le test du 02 Février 2014 (avec réflecteur) ; respectivement. Suivant ces résultats ; pour une charge d'eau de 2 L, le rendement énergétique du cuiseur varie entre 6.45 et 18.82 % pour le premier test et entre 8.84 et 20.73 % pour le

second test, quand la température de l'eau enregistre une variation entre 40 et 90 °C. Le rendement journalier moyen au cours de la période expérimentale (10 h et 16 h) est calculé comme étant 12.27 % pour le test sans réflecteur et 17.24 % pour le test du cuiseur avec son réflecteur principal. Ces résultats sont en parfaite cohérence avec ceux trouvés par Todd et Miller [21] en 2001, ces derniers ont constaté que le rendement moyen des cuiseurs boîtes sont de 8 à 22 %, pour les meilleures conceptions. D'autre part, le rendement exergétique du cuiseur varie de 1.27 à 2.75 % pour le test du 04 Février 2013, alors qu'il varie de 1.60 à 3.44 % pour le test du 02 Février 2014, le rendement exergétique moyen est estimé à 1.97 % pour le premier test et à 2.57 % pour le second test.

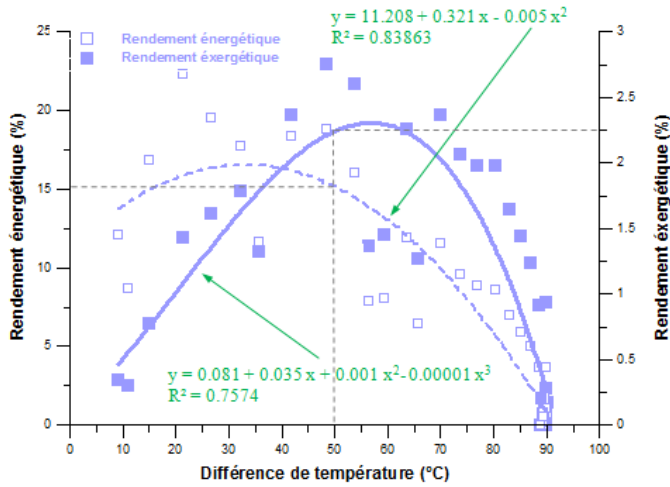


Fig. 4 Effet de la différence de température sur le rendement énergétique et exergetique du CSB_{SRI} réalisé pour le test du 04/02/2013, sans l'ajout du réflecteur et avec une charge d'eau de 2 L.

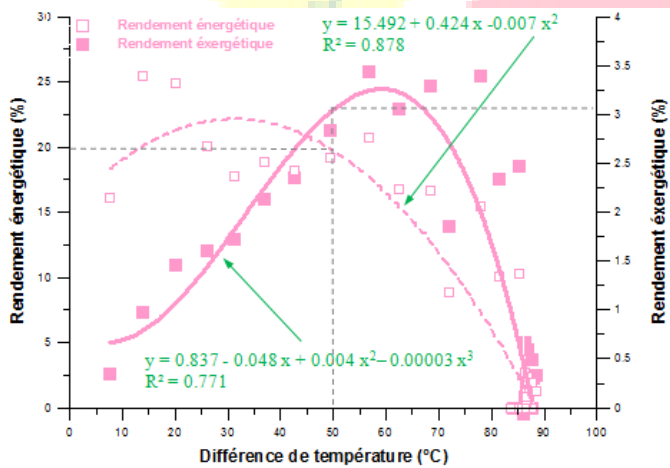


Fig.5 Effet de la différence de température sur le rendement énergétique et exergetique du CSB_{SRI} réalisé pour le test du 02/02/2014, avec l'ajout d'un réflecteur et avec une charge d'eau de 2 L.

Nous avons tracé une régression linéaire des points pour trouver la relation entre le rendement énergétique et la différence de température. D'après les courbes, nous avons constaté que le rendement énergétique est un polynôme du 2^{ème} ordre pour les deux cas, les valeurs des rendements énergétiques diminuent quand la différence de température augmente. Le rendement énergétique en fonction de la différence de température pour notre cuiseur testé à Ghardaïa est donné par les équations (11) et (12) pour le test du 04 Février 2013 et le test du 02 Février 2014 ; respectivement. Le coefficient de régression linéaire est de $R^2 = 0.84 \%$ et $R^2 = 0.88 \%$, respectivement. La valeur du rendement énergétique est calculée pour une différence de température de 50 °C en

utilisant les relations déterminées ci-dessus, La valeur du rendement énergétique correspondant au test sans réflecteur est de 15.14 %, cette valeur est calculée comme étant 19.74 % en ajoutant un réflecteur au cuiseur (second test).

$$\eta (0Ref) = -0.005(\Delta T^2) + 0.32(\Delta T) + 11.20; \quad (11)$$

$$\eta (1Ref) = -0.007(\Delta T^2) + 0.424(\Delta T) + 15.49; \quad (12)$$

De la même manière, nous avons tracé une régression linéaire des points pour trouver la relation entre le rendement exergetique et la différence de température. D'après les courbes, nous avons constaté que le rendement exergetique est un polynôme du 3^{ème} ordre pour les deux cas, les valeurs des rendements exergetiques augmentent progressivement avec la différence de température puis diminuent lentement. Le rendement exergetique en fonction de la différence de température pour notre cuiseur testé à Ghardaïa est donné par les équations (13) et (14) pour le premier et le second test ; respectivement. Le coefficient de régression linéaire est de $R^2 = 0.76 \%$ et $R^2 = 0.77 \%$, respectivement. La valeur du rendement exergetique est calculée pour une différence de température de 50 °C en utilisant les relations déterminées ci-dessus, La valeur du rendement exergetique correspondant au test sans réflecteur est de 2.24 %, cette valeur est calculée comme étant 3.05 % en ajoutant un réflecteur au cuiseur (second test).

$$\psi (0Ref) = -1.3 \cdot 10^{-5}(\Delta T^3) + 0.0008(\Delta T^2) + 0.0353(\Delta T) + 0.081; \quad (13)$$

$$\psi (1Ref) = -3.7 \cdot 10^{-5}(\Delta T^3) + 0.004(\Delta T^2) - 0.048(\Delta T) + 0.837 \quad (14)$$

B. Détermination des paramètres indicateurs des performances du cuiseur

Comme proposé par Kumar et al. [1], la puissance crête exergetique ($\Xi_{x0,max}$), le produit de l'écart de température exergetique ($\Delta T \Xi_{x0}$), le coefficient de pertes thermiques (U_{Lx0}) et le facteur de qualité (ρ_{sc}) sont également évalués. La puissance crête exergetique est la puissance de sortie maximale obtenue de la courbe d'ajustement en traçant le graphique entre la puissance exergetique de sortie (Ξ_{x0}) et la différence de température de l'eau et de l'ambiance ΔT , un cuiseur atteignant une puissance exergetique élevée à une grande différence de température est meilleur. Le facteur de qualité (ρ_{sc}) est défini comme le rapport entre la puissance crête exergetique et les pertes en puissance exergetique correspondante au même instant. Un facteur de qualité élevé est souhaitable, une valeur plus élevée de ce facteur signifie



une valeur petite du coefficient de perte thermique. Le produit de l'écart de température exergetique correspondant à la moitié de la puissance crête exergetique ($\Delta T \Xi_{x_0}$) peut également être considéré comme un autre indicateur de référence dans ce type d'analyses, une valeur du produit de l'écart de température exergetique élevée signifie que les pertes en chaleur sont minimisées. Le coefficient de pertes thermiques (U_{Lx_0}) est obtenu en divisant la valeur de la pente de la droite obtenue à partir de la courbe d'ajustement des variations des pertes en puissance exergetique (le second terme du numérateur de l'équation (9) en fonction de la différence de température, par la valeur de la surface du vitrage du cuiseur.

Les variations de la puissance exergetique de sortie en fonction de la différence de température pour le test réalisé le 04 Février 2013 (sans réflecteur) et pour le test du 02 Février 2014 (avec réflecteur), sont présentées sur les Figures (6a) et (7a), respectivement. Les courbes des pertes en puissance exergetique en fonction de la différence de température sont tracées sur les Figures (6b) et (7b), pour le premier et le second test, respectivement.

On peut constater d'après les résultats des courbes, que la puissance exergetique de sortie maximale à atteint 5.33 W à une différence de température de 53.5 °C pour le test sans réflecteur et elle est de l'ordre de 6.8 W à un ΔT égal à 49.4 °C pour le cuiseur avec réflecteur.

Les points correspondants à la moitié de la puissance crête exergetique (H.E.Ps.) sont situés à la différence de température de 80.3 et 21.2 °C (premier test), les H.E.Ps. sont entre 77.83 et 33.21 °C (second test). Les pertes en puissance exergetique à la même différence de température sont égales à 21.41 W et à 26.13 W, respectivement. La valeur du produit de l'écart de température exergetique est de 315 WK et de 303.38 WK, pour le premier et le second test, respectivement.

D'après ces résultats, il a été également constaté que la variation des pertes en puissance exergetique en fonction de la différence de température est presque linéaire lorsque ΔT est comprise entre 60 et 95 °C, et c'est la même marge adopté par Mullick [7] pour calculer la seconde figure of merit F_2 . Les valeurs du coefficient de pertes thermiques sont alors déterminées comme étant 1.93 W/m²K et 2.72 W/m²K. Le facteur de qualité est alors égal à 0.249 et à 0.26, pour le cas sans et avec réflecteur, respectivement. Le coefficient de pertes thermiques spécifique du cuiseur (U_{LL}) à une charge de 2 L est de 0.97 W/m² K kg (premier test) et de 1.36 W/m² K kg (second test).

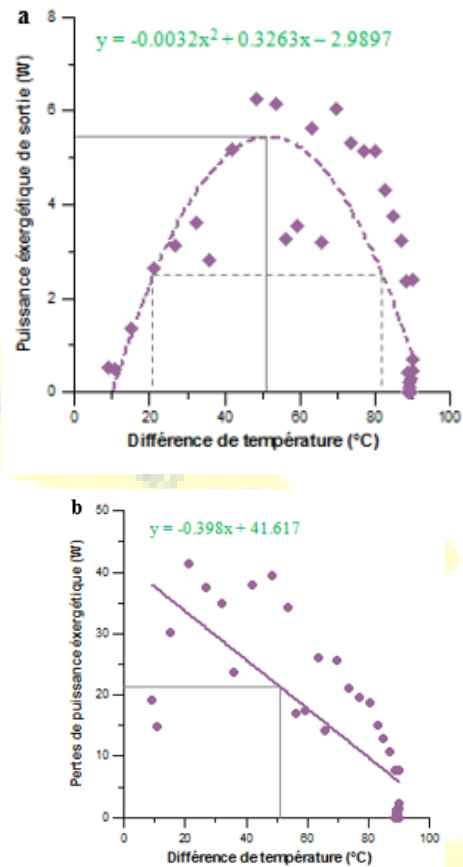
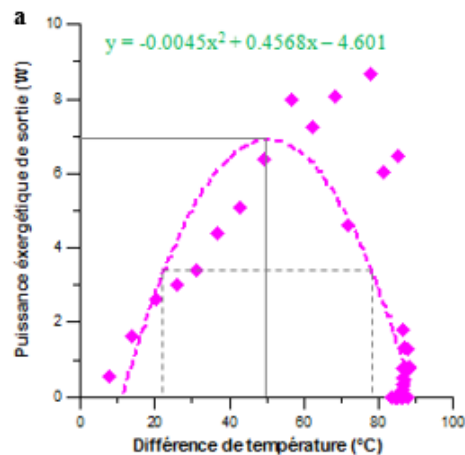


Fig. 6 Détermination des paramètres indicateurs de performances du CSB_{SRI} pour le test du 04/02/2013, sans l'ajout du réflecteur et avec une charge d'eau de 2 L: (a) variation de la puissance exergetique de sortie; (b) variation des pertes en puissance exergetique, en fonction de la différence de température.



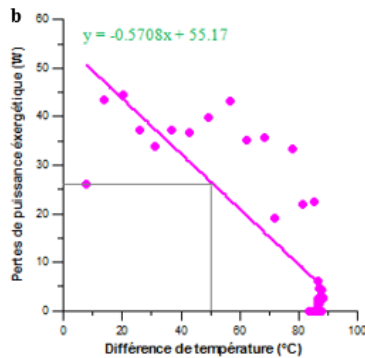


Fig. 7 Détermination des paramètres indicateurs de performances du CSB_{SRI} pour le test du 02/02/2014, sans l'ajout du réflecteur et avec une charge d'eau de 2 L: (a) variation de la puissance exergétique de sortie; (b) variation des pertes en puissance exergétique, en fonction de la différence de température.

VI. VALIDATION DES RESULTATS OBTENUS

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 éléments caractéristiques de performances obtenus pour notre cuiseur (CSB_{SRI}) ; suivant la méthode appliquée par Kumar et al. [1], ont été également sujet de validation (voir

Tab 1). Du point de vue thermodynamique, les cuiseurs solaires boîtes ; caractérisés par un coefficient de perte thermique faible et un facteur de qualité élevé, sont les meilleurs dispositifs de cuisson solaire. Notre cuiseur réalisé est caractérisé par un facteur de qualité élevé (0.26), comparé avec d'autres valeurs des cuiseurs solaires boîtes réalisés à travers le monde. Avec un taux d'augmentation de la température moyen (303 WK), une puissance crête exergétique relativement élevée (6.8 W), un faible coefficient de pertes thermiques (2.7 W/Km²) et un rendement énergétique max de 21 %, il est bien adapté à la cuisson de divers aliments.

Le produit de l'écart de température exergétique est un paramètre représentant le taux d'augmentation de la température de l'eau durant la période d'évaluation. Sur cette base, le type SK-14 et le cuiseur Scheffler sont les plus appropriés pour une cuisson rapide. Cependant, entre ces deux, le SK-14 a un coefficient de perte thermique petit avec un facteur de qualité élevé et peut donc être considéré comme un meilleur dispositif pour des cuissons rapides à petites opérations (résidentielles). Cependant, pour des applications industrielles le concentrateur Scheffler est préférable en raison de la puissance crête exergétique et le produit de l'écart de température exergétique élevés. Sur la base de cette étude le simple cuiseur cylindro-parabolique est le moins meilleur.

TABLE I

PARAMETRES INDICATEURS DES PERFORMANCES OBTENUS POUR NOTRE CUISEUR SOLAIRE COMPARES AVEC D'AUTRES CUISEURS BOITES REALISES DANS LE MONDE.

Réf N°	Types de cuiseurs solaires	Paramètres indicateurs					
		Puissance crête exergétique (Ξ_{xo_max}) (W)	Produit de l'écart de température exergétique ($\Delta T \Xi_{xo}$) (WK)	Coefficient de pertes thermiques (U_{Lxo}) (W/Km ²)	Facteur de qualité [-]	Rendement exergétique maximum Ψ_{max} (%)	Rendement énergétique maximum η_{max} (%)
1	SK-14 (domestique) [22], $m_w = 5$ kg, $A_s = 0.13$	18.21	735.21	40.35	0.11	—	—
2	Scheffler (communauté) [22], $m_w = 20$ kg, $A_s = 0.36$	55.75	2208.98	54.13	0.10	—	—
3	Parabolic trough [22], $m_w = 6.3$ kg, $A_s = 0.09$	6.91	160.08	47.74	0.09	—	—
4	Truncated pyramid type solar box cooker [1], $m_w = 2$ kg, $A_s = 0.25$	7.12	356.20	4.09	0.15	3.89	36.38
5	Domestic solar box cooker [22], $m_w = 2.5$ kg, $A_s = 0.25$	6.46	298.45	5.24	0.12	—	—
6	Stationary building-	21.40	1134.20	4.11	0.22	2.43	27.15



Le 4^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 4th International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 24 - 25 Octobre 2016



	integrated solar cooker [23], $m_w = 5$ kg, $A_s = 0.46$						
7	Notre cuiseur (CSB _{SRI}), $m_w = 2$ kg, $A_s = 0.21$ (sans booster)	5.33	315.00	1.93	0.25	2.75	18.82
8	Notre cuiseur (CSB _{SRI}), $m_w = 2$ kg, $A_s = 0.21$ (avec booster)	6.80	303.38	2.72	0.26	3.44	20.73

VII. CONCLUSIONS

Cet article présente les résultats d'une étude expérimentale d'évaluation des performances thermiques d'un cuiseur solaire de type boîte et de forme trapézoïdale avec surface d'ouverture inclinée (CSB_{SRI}) réalisé à l'unité de recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER, Ghardaïa). Les tests expérimentaux, effectués pendant la saison hivernale et estivale montrent de bon performances du cuiseur solaire réalisé, qui peut être utilisé autour de l'année.

Le cuiseur solaire de type boîte trapézoïdale avec surface d'ouverture inclinée (CSB_{SRI}) est caractérisé par un facteur de qualité élevé (0.26), comparé avec d'autres valeurs des cuiseurs solaires boîtes réalisé à travers le monde. Avec un taux d'augmentation de la température moyen (303 WK), une puissance crête exérgétique relativement élevée (6.8 W), un faible coefficient de pertes thermiques (2.7 W/Km²) et un rendement énergétique max de 21 %, notre cuiseur solaire ; réalisé et testé sur le site de Ghardaïa, est bien adapté à la cuisson de divers aliments.

REFERENCES

- [1] N. Kumar, G. Vishwanath, A. Gupta, "An exergy based test protocol for truncated pyramid type solar box cooker," *Energy*, vol. 36, pp. 5710–5715, 2011.
- [2] A. Dizier and F. Pignon, *Manuel de cuisson solaire*, Edition commune SCI / iD COOK, Paris, France, 2005.
- [3] www.SHE-inc.org
- [4] F. Yettou, B. Azoui, A. Malek, A. Gama, N. L. Panwar, "Solar cooker realizations in actual use: An overview," *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 37, pp. 288–306, 2014.
- [5] F. Yettou, B. Azoui, A. Malek and A. Gama, "Conception et réalisation d'un cuiseur solaire boîte à surface réceptrice inclinée," in *Proc. 2nd International Conference on Energy and Sustainable Development (ICESD'13)*, 19-20 Février 2013, Adrar – Algérie.
- [6] F. 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*, vol. 16, 14, pp. 629–640, 2013.
- [7] S. C. Mullick, T. C. Kandpal, A. K. Sexena, "Thermal test procedure for box type solar cooker," *Solar Energy*, vol. 39, 14, pp. 353–360, 1987.
- [8] F. Y. Gama, 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*, vol. 16, 3, pp. 337–357, 2015.
- [9] F. Yettou, B. Azoui, A. Malek, N. L. Panwar, A. Gama, T. Arrif, H. Merarda, "Second law experimental analysis of box type solar cooker," *Renewable Energy Sources, Energy Policy and Energy Management*, vol. 3, pp. 82–92, 2014.
- [10] N. L. Panwar, "Thermal modeling, energy and exergy analysis of animal feed solar cooker," *J. Renewable Sustainable Energy*, vol. 5, pp. 043105, 2013.
- [11] D. L. Larson, L. A. B. Cortez, "Exergy analysis: essential to effective energy management," *Transactions of the ASAE*, vol. 38, 14, pp. 1173–1178, 1995.
- [12] S. C. Kaushik, M. K. Gupta, "Energy and exergy efficiency comparison of communitysize and domestic-size paraboloidal solar cooker performance," *Energy for Sustainable Development*, vol. 12, pp. 60–64, 2008.
- [13] J. Szargut, D. R. Morris and F. R. Steward, *Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes*, New York USA: Hemisphere Publishing, 1998.
- [14] S. C. Kaushik, R. D. Mishra, N. Singh, "Second law analysis of a solar thermal power system," *International Journal of Solar Energy*, vol. 20, 14, pp. 239–253, 2000.
- [15] N. L. Panwar, S. Kothari, S. C. Kaushik, "Experimental investigation of energy and exergy efficiency of masonry-type solar cooker for animal feed," *International Journal of Sustainable Energy*, vol. 29, 13, pp. 178–184, 2010.
- [16] F. Kreith and J. Kreider, *Principles of Solar Engineering*, New York, USA: Hemisphere-McGraw-Hill, 1978.
- [17] T. J. Kotas, *The Exergy Method of Thermal Power Plants*, Krieger, Malabar, FL, 1995.
- [18] F. 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)*. DOI: 10.1109/PowerEng.2013.6635716, pp. 822–827, 2013.
- [19] 34972A LXI Data Acquisition, keysight, 2000-2014. [En ligne]. Available: <http://www.keysight.com/ja/pd-1756491-pn-34972A/lxi-data-acquisition-data-logger-switch-unit?cc=DZ&lc=eng>. [Accès le 13 Décembre 2014].
- [20] H. H. Ozturk, "Comparison of energy and exergy efficiency for solar box and parabolic cookers," *J. Energy Eng.*, vol. 133, pp. 53–62, 2007.
- [21] J. J. Todd, S. Miller, "Performance testing of cardboard solar box cookers," in *Proc. Women Leaders on the Uptake of Renewable Energy Seminar*, 2001, p. 111–118, Perth.
- [22] N. Kumar, G. Vishwanath, A. Gupta, "An exergy based unified test protocol for solar cookers of different geometries," *Renewable Energy*, vol. 44, pp. 457–462, 2012.
- [23] A. Harmim, M. Merzouk, M. Boukar, M. Amar, "Solar cooking development in Algerian Sahara: Towards a socially suitable solar cooker," *Renew Sustain Energy Rev.*, vol. 37, pp. 207–214, 2014.