

Etude expérimentale d'un cuiseur solaire de type boîte à trois réflecteurs plans et une surface d'ouverture inclinée

A. Harmim*, M. Boukar et M. Amar

Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien
B.P 478, Route de Reggane, Adrar, Algérie

(reçu le 03 Juillet 2006 - accepté le 25 Janvier 2007)

Résumé - Un simple prototype de cuiseur solaire de type boîte a été réalisé et testé expérimentalement. Il a été réalisé avec des moyens et des matériaux rustiques et disponibles en milieu saharien. Les tests ont été effectués sur la plate-forme des essais de l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien d'Adrar qui est située au 27.88°N et -0.17°W du Sahara Algérien. Les résultats obtenus sont concluants et encourageants. Les températures atteintes sont très satisfaisantes pour la cuisson alimentaire saine et le rendement énergétique du cuiseur varie entre 25 % et 55 %.

Abstract - A simple prototype of a solar box-cooker was produced and tested. It was carried out with rustic means and materials available in Saharan medium. The tests were carried out on the platform of tests of the Unit of Research in Renewable Energies in Saharian Medium of Adrar, which is located at the 27.88°N, and -0.17°W of the Algerian Sahara. The results obtained are conclusive and encouraging. The temperatures reached are very satisfactory for healthy food cooking and the energetic efficiency of the cooker varies between 25 % and 55 %.

Mots clés: Cuiseur solaire - Réflecteurs plans - Plaque chauffante inclinée - Réalisation - Expérimentation - Milieu saharien.

1. INTRODUCTION

L'une des applications solaires les plus populaires et les plus répondues dans le monde est la cuisson solaire. En effet, elle est liée à une activité humaine fréquente et très régulière; il s'agit de la préparation de l'alimentation saine.

Dans les régions sahariennes isolées où l'approvisionnement en gaz butane est très difficile, l'être humain est contraint de se rabattre sur l'exploitation du bois des quelques arbustes restants comme l'acacia et le palmier pour assurer la cuisson de son alimentation. Le recours à la cuisson solaire apparaît comme une alternative intéressante pour répondre à ce besoin vital sans pour autant compromettre la biodiversité végétale saharienne et tout en limitant le dégagement des gaz à effet de serre.

Le développement et la vulgarisation des cuiseurs solaires en milieu saharien sont plus que nécessaires. Dans ce cadre, nous avons construit un prototype de laboratoire d'un cuiseur solaire de type boîte muni de trois réflecteurs plans et dont la surface d'ouverture est inclinée pour permettre une meilleure exposition au rayonnement solaire. Dans cet article, on présente les résultats des tests expérimentaux effectués sur ce prototype, sous ensoleillement naturel, sur la plate-forme des essais de l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien à Adrar.

2. CONCEPTION ET DESCRIPTION DU SYSTEME

C'est un premier prototype réalisé, dans un but purement expérimental, comme montré en figures 1, 2 et 3. Il est essentiellement réalisé à partir de plaques de bois en contre plaqué, des miroirs plans et une plaque chauffante en tôle métallique ordinaire noircie.

* aboumouna@caramail.com

Avec ce type de système, on cherche à faire élever la température d'une plaque métallique qui supportera l'ustensile de cuisine en l'exposant au rayonnement solaire. Pour cela, on dispose la plaque métallique dans une boîte thermiquement isolée sur la partie arrière par une couche de laine de verre soigneusement enveloppée dans une feuille d'Aluminium.

Dans le volume interne de la boîte, on place quatre miroirs, chacun fixé sur un côté de la boîte et incliné de 65° par rapport au fond de la boîte, de telle sorte qu'il puisse réfléchir l'ensemble du rayonnement solaire traversant la surface d'ouverture de la boîte et incident sur sa face réfléchissante, vers la plaque chauffante.

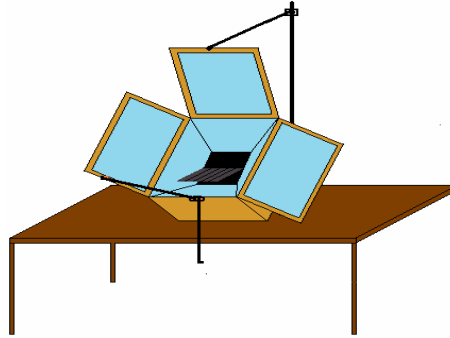


Fig. 1: Schéma représentant le cuiseur solaire de type boîte étudié

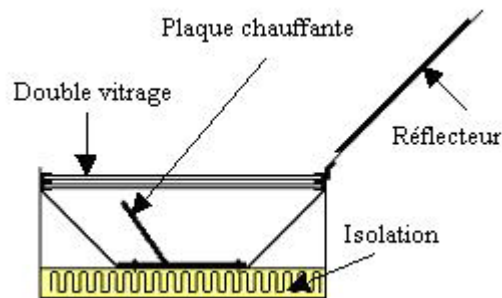


Fig. 2: Schéma montrant la disposition de l'isolation et de la plaque chauffante métallique

Afin de créer l'effet de serre et de minimiser les pertes thermiques de la plaque chauffante vers le milieu ambiant, on dispose sur la face avant une couverture transparente de 10 mm d'épaisseur constituée de deux vitres ordinaires de 3 mm d'épaisseur séparées par un ruban en liège. Cette couverture est directement posée sur les bords des miroirs internes qui sont munis d'un joint en caoutchouc. Cette configuration permet l'ouverture facile de la cuisinière pour avoir l'accès à la plaque chauffante. Les dimensions d'envergure du système sont montrées sur la figure 3.

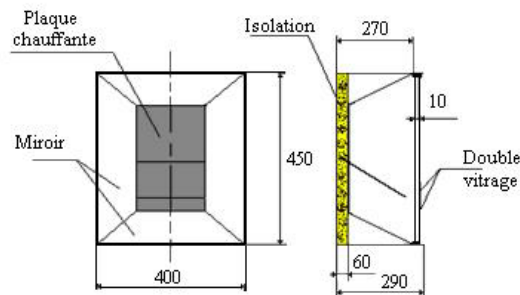


Fig. 3: Dimensions d'envergures du cuiseur solaire de type boîte réalisé à l'URER/MS

Afin d'atteindre des températures très élevées, il faut augmenter le rayonnement absorbé par la plaque chauffante. Pour cela, on utilise trois réflecteurs en miroirs plans disposés sur des plaques de contre-plaqué qui sont fixées sur le bord supérieur de la boîte. La fixation est assurée par des cornières en aluminium avec des charnières qui permettent l'orientation des réflecteurs quand le système est exposé au soleil. En dehors des moments de fonctionnement, les trois réflecteurs seront rabattus et la cuisinière sera fermée.

Durant la période d'utilisation de la cuisinière solaire, on doit l'orienter de telle sorte que le rayonnement solaire direct soit perpendiculaire à sa surface d'ouverture. Pour cela on installe la boîte sur une structure en aluminium dotée d'un axe de rotation vertical permettant son orientation journalière qui se fait chaque 15 à 20 minutes. L'inclinaison de la structure est variable selon les saisons. Pour la période hivernale, on adopte un calage de 50° par rapport à l'horizontale et en période estivale on adopte un calage de 30°. Tel que décrit, notre cuiseur solaire de type boîte se distingue par rapport à ceux du même type développés ailleurs [3-5], par le fait que sa surface d'ouverture est inclinée par rapport à l'horizontale. Cette configuration permet une meilleure captation du rayonnement solaire et une plus grande durée d'utilisation journalière car le fonctionnement du cuiseur peut être obtenu dès le lever du soleil.



Fig. 4: Vue du cuiseur solaire boîte sur banc d'essai expérimental à l'URER/MS

3. ETUDE EXPERIMENTALE

Une campagne de tests expérimentaux a été effectuée sous l'ensoleillement naturel d'Adrar sur la plate-forme des essais de l'Unité de Recherche. Les essais expérimentaux sont effectués en absence de vent et sous un ciel dégagé. Ces tests sont classés selon deux groupes.

3.1 Tests de stagnation

Le cuiseur est exposé au rayonnement solaire sans aucune charge.

3.2 Tests avec charge

Deux types de tests sont effectués, l'un pour la cuisson de certains aliments et l'autre pour le chauffage d'une quantité déterminée d'eau. Ces derniers tests ont été effectués en respectant les recommandations du standard ASAE S580 JAN03 [1], qui porte sur le test et l'évaluation des performances de cuiseurs solaires.

Durant les différentes journées de tests, on mesure les paramètres suivants: la température ambiante, la température de la plaque chauffante, la température à l'intérieur de l'ustensile de

cuisine et l'éclairement solaire global incident sur le plan horizontal ou bien sur le plan d'ouverture du cuiseur selon le test. Les températures sont mesurées à l'aide de thermocouples de type K, celui de la plaque chauffante est fixé au milieu de sa surface. L'éclairement solaire global est mesuré à l'aide d'un pyranomètre de type Kipp & Zonen. Les différents transducteurs sont reliés à une acquisition de données dont le pas d'enregistrement est fixé à 10 secondes. L'ustensile de cuisine utilisé pour ces tests est une casserole d'aluminium munie d'un couvercle, peinte en noir. Son volume total est de 1,5 litres et son poids est de 0,3 kg.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Tests de stagnation

Le prototype de cuiseur solaire boîte étudié est exposé au rayonnement solaire sans aucune charge (plaque chauffante vide). Ces tests sont effectués en période hivernale (mois de Janvier 2005) et en période estivale (mois de Juin 2005). Durant la durée de chaque test, on mesure la température ambiante, la température de la plaque chauffante au centre et sur le bord, ainsi que l'éclairement solaire incident sur le plan horizontal. Les figures 5 et 6 illustrent les variations de la température de la plaque chauffante en fonction du temps du cuiseur solaire boîte pour deux différentes journées du mois de janvier 2005. La température ambiante mesurée durant les tests est également montrée sur ces figures. Durant ces deux journées, le ciel est dégagé.

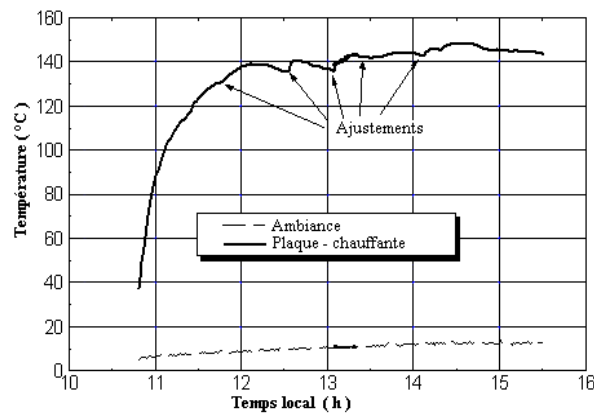


Fig. 5: Evolution des températures de la plaque chauffante et de l'ambiance pour le 29/01/05

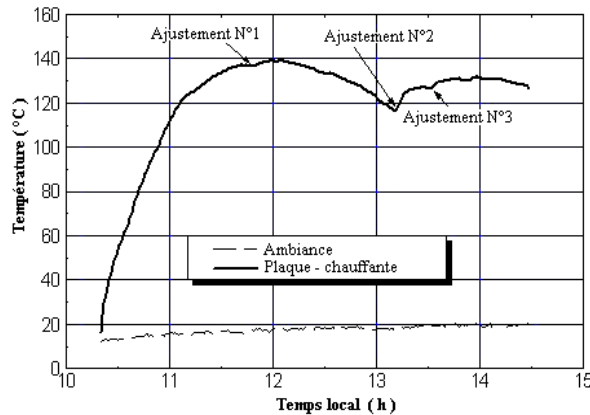


Fig. 6: Evolution des températures de la plaque chauffante et d'ambiance pour le 24/01/05

L'analyse des résultats obtenus durant ces deux journées nous permet de faire les constatations suivantes:

- La température maximale atteinte dans les conditions hivernales (température ambiante maximale inférieure à 20 °C) est importante (plus de 140 °C). Ce niveau de température est rapidement atteint. En effet, à partir d'une température qui avoisine l'ambiance, la plaque chauffante atteint la température de 100 °C en l'espace de quelques minutes (environ 30 minutes). Ce ci est justifié par la faible inertie thermique de notre système.

- La fréquence d'ajustement de l'orientation du cuiseur solaire boîte avec ses trois réflecteurs plans est déterminante pour le bon fonctionnement. En effet, les ajustements qui se font régulièrement à des intervalles de 20 à 30 minutes (Fig. 5) permettent une meilleure exposition au rayonnement solaire et la plaque chauffante atteint des températures plus élevées avec une meilleure stabilité dans le temps.

4.2 Tests avec charge

Les tests préliminaire de cuisson ont porté sur la préparation et la cuisson de certain aliments, à savoir: le poulet, les œufs au plat, le café, le thé, le riz, la viande et les légumes. Ces tests ont été effectués pour jauger les limites du prototype en matière de températures maximales atteintes et de sa capacité à cuire certains produits alimentaires avec évaluation de la durée de cuisson. Les différents tests effectués sont résumés dans ce qui suit:

Test 1: Le 26/12/04 - Cuisson d'un œuf au plat de 14h 40 à 14h 50.

Test 2: Le 28/12/04 - Cuisson d'un plat d'haricot sec (1,5 kg) de 10h 00 à 14h 30.

Test 3: Le 29/12/04 - Cuisson d'un morceau de poulet (462 g) de 10h 30 à 11h 30.

Test 4: Le 31/01/05 - Préparation de café presse de 09h 00 à 10h 20.

A titre d'exemple, on donne sur la figure 7 les résultats du test de cuisson d'une cuisse complète de poulet disposée dans une poêle ordinaire muni d'un couvercle avec un poids total de 462 g.

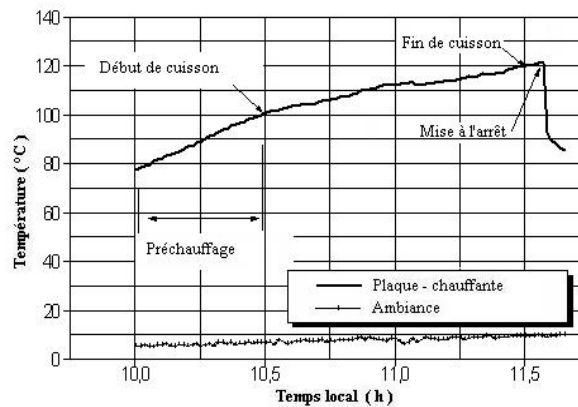


Fig. 7: Température de la plaque chauffante durant le test du 29/12/04 (cuisson de poulet)

La durée de cuisson a été de 1 heure malgré que le test a été effectué en période hivernale (mois de décembre) où la température ambiante maximale en fin de cuisson a été de 10 °C. Durant la période de test (1 heure), l'irradiation solaire totale mesurée sur un plan orienté plein sud avec la même inclinaison que le cuiseur (50°) a été de 916.3 W/m². Ces différents tests ont montré la faisabilité de la cuisson alimentaire saine de différents plats culinaires moyennant ce prototype de cuiseur solaire. La durée de cuisson est acceptable même en période hivernale et le goût des aliments cuits est très bon car la cuisson a été faite sous des températures très douces.

Par la suite, durant la période estivale, les tests programmés ont porté sur la caractérisation du prototype. Les tests consistent à chauffer une quantité bien déterminée d'eau dans des conditions

de fonctionnement standards en mesurant la température de l'eau à l'intérieur de l'ustensile de cuisine, la température ambiante et l'éclairement solaire incident sur l'ouverture du cuiseur. En respectant les recommandations du standard utilisé (ASAE-S580 JAN03), le rendement énergétique η du système est déterminé, pour chaque intervalle Δt de 10 minutes, par la relation suivante:

$$\eta = \frac{m C_p (T_{ef} - T_{ei})}{I.S. \Delta t} \quad (1)$$

La courbe du rendement énergétique η en fonction de $\Delta T / I$ est présentée en figure 8. ΔT est calculé selon l'expression (2):

$$\Delta T = \left(\frac{T_{ef} + T_{ei}}{2} \right) - T_a \quad (2)$$

C'est-à-dire la différence entre la température moyenne de l'eau et la température ambiante.

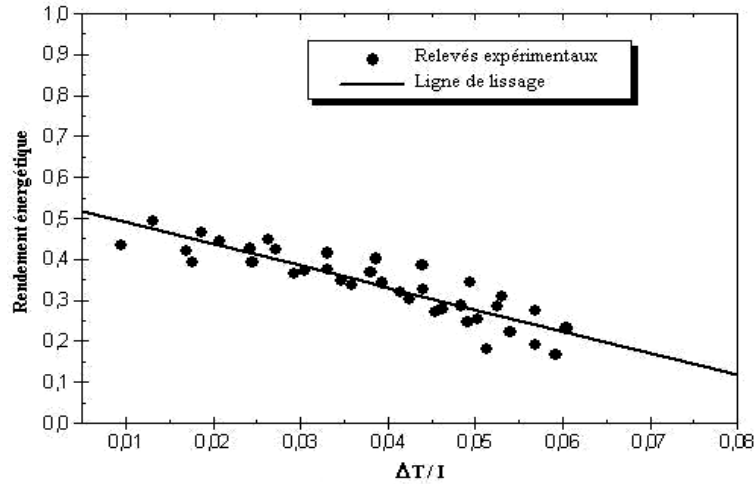


Fig. 8: Courbe expérimentale représentant le rendement en fonction de $\Delta T / I$

Le lissage du nuage de points expérimentaux a abouti à la relation suivante.

$$\eta = 0,544 - 5,338 \times \left(\frac{\Delta T}{I} \right) \quad (3)$$

La valeur de 0,544 représente le rendement optique global du cuiseur et la valeur de 5,338 représente le coefficient des pertes thermiques totales.

Pour notre cas, ces deux paramètres sont très intéressants car le rendement optique avoisine les 55 % et le coefficient des pertes thermiques est relativement moyen (proche de $6 \text{ W/m}^2/\text{°C}$).

Afin de déterminer la durée de chauffage de l'eau à l'ébullition en fonction de la quantité d'eau disposée dans l'ustensile de cuisine, on a fait des tests de chauffage d'eau avec différentes quantités. Selon le standard utilisé, la capacité de notre cuiseur doit être de 1,25 litres car sa surface d'interception est de $0,178 \text{ m}^2$ et le standard recommande une capacité de 7 litres par mètre carré de surface d'interception. Dans un premier temps, on a utilisé un récipient moyen pour faire les tests relatifs aux capacités suivantes: 1,25 et 1 litre. Par la suite, l'exploitation d'un plus grand récipient nous a permis de faire un test avec 2,5 litres d'eau. Sur les figures 9, 10 et 11 on présente l'évolution de la température de l'eau à chauffer en fonction du temps pour différentes quantités d'eau. La température ambiante, ainsi que l'éclairement solaire mesuré sur le plan d'ouverture du cuiseur sont également montrés (sur la figure 11, l'éclairement solaire est

mesuré sur le plan horizontal). Dans le tableau 1, on donne la durée de chauffage nécessaire pour atteindre l'ébullition en fonction de la quantité d'eau chauffée avec l'irradiation solaire totale incidente sur la surface d'ouverture du cuiseur durant la durée de chauffage.

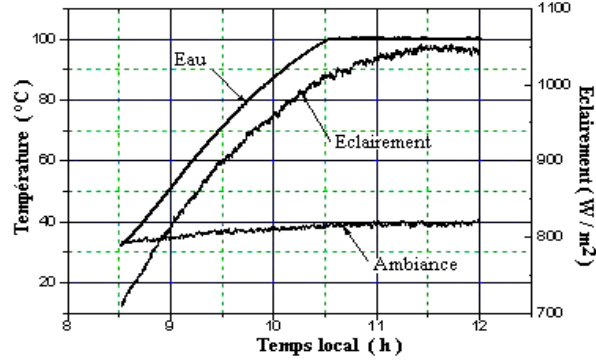


Fig. 9: Evolution de la température de 1,25 litres d'eau chauffée durant le test du 14 juin 2005

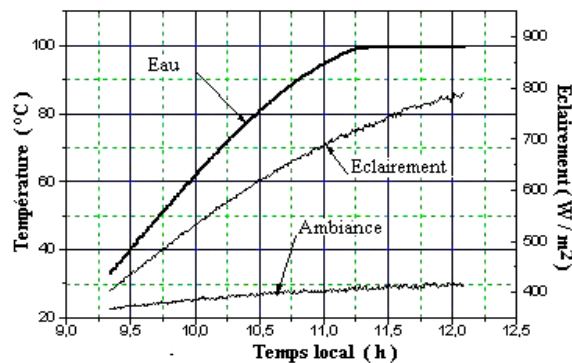


Fig. 10: Evolution de la température de 1 litre d'eau chauffée durant le test du 26 octobre 2005

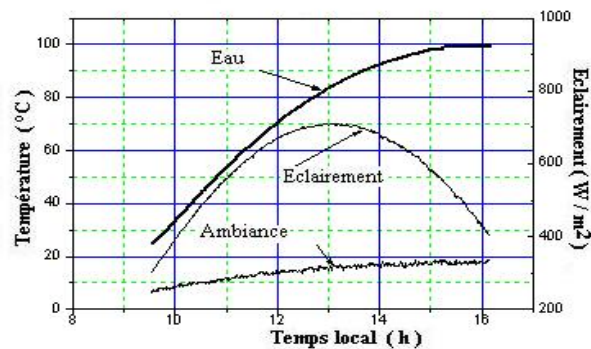


Fig. 11: Evolution de la température de 2,5 litres d'eau chauffée durant le test du 15 janvier 2006

Dans le **Tableau 1**, la moyenne de la température ambiante (T.A.M.) est calculée durant la durée de chauffage ΔT pour atteindre l'ébullition. On remarque que pour une quantité d'eau qui avoisine la capacité standard du cuiseur (selon le standard ASAE S580JAN03), la durée de chauffage nécessaire pour atteindre l'ébullition est en moyenne de 2 heures selon les conditions climatiques.

Tableau 1: Durée de chauffage à l'ébullition

	Quantité d'eau chauffée (litre)		
	1	1,25	2,5
Date	26/10/05	14/06/05	15/01/06
Durée Δt (mn)	120	119	342
T.A.M. (°C)	26.17	36.24	13.85

La configuration inclinée de la surface d'ouverture du cuiseur nous permet une meilleure exploitation de la journée car on peut commencer la cuisson juste après le lever du soleil. Ce constat peut être fait sur la figure 11 où le début du test a été aux environs de 9 heures du matin en mois de janvier.

5. CONCLUSION

Un prototype de cuiseur solaire boîte muni de trois réflecteurs plans avec une surface d'ouverture inclinée par rapport à l'horizontale a été construit et testé sous l'ensoleillement naturel d'Adrar. Les résultats obtenus sont encourageants. Les tests préliminaires ont montré qu'à l'aide de ce système, on arrive à préparer la plupart des plats alimentaires avec des durées de cuisson raisonnables. La configuration adoptée pour sa surface d'ouverture nous permet de disposer d'une plaque chauffante qui assure une bonne exposition au rayonnement solaire de l'ustensile de cuisine utilisé. Les différents tests ont montré également que cette configuration nous permet d'exploiter le cuiseur très tôt le matin même en période hivernale, le temps d'exploitation du cuiseur se trouve alors amélioré.

REFERENCES

- [1] ANSI/ASAE S580JAN03 Standard, 'Testing and Reporting Solar Cooker Performance', ASAE Standards, 2003.
- [2] H.H. Ozturk, 'Experimental Determination of Energy and Exergy Efficiency of the Solar Parabolic-Cooker', Solar Energy, Vol. 77, N°1, pp. 67 – 71, 2004.
- [3] A.H. Algifri and H.A. El-Towaie, 'Efficient Orientation Impacts of Box-Type Solar Cooker on the Cooker Performance', Solar Energy, Vol. 70, N°2, pp. 165 – 170, 2001.
- [4] A.K. Binark and al., 'Modelling of a Hot Box Solar Cooker', Energy Convers. Mgnt., Vol. 37, N°3, pp. 303 – 310, 1996.
- [5] K. Subodh, 'Thermal Performance Study of Box Type Solar Cooker from Heating Characteristic Curves', Energy Convers. Mgnt., Vol. 45, pp. 127 – 139, 2004.
- [6] M.E. Vieira and al., 'Experimental Results of a Solar Cooker with Heat Storage', RIO 02, World Climate and Energy Event, January 6-11, 2002.