

Contribution à l'amélioration des performances d'un cuiseur solaire boîte

A. Harmim^{1*}, M. Belhamel², M. Boukar¹ et M. Amar¹

¹ Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, 'URERMS
B.P 478, Adrar, Algérie

² Centre de Développement des Energies Renouvelables, 'CDER'
B.P 62, Route de l'Observatoire, Alger, Algérie

(reçu le 20 Mars 2009 – accepté le 25 Septembre 2009)

Résumé - Un code de calcul numérique simulant le fonctionnement d'un simple cuiseur solaire boîte a été établi. Il a été validé par comparaison aux résultats d'un test expérimental effectué sur un prototype réalisé à cet effet. Le code de calcul a été par la suite utilisé pour étudier l'effet de la plaque absorbante à ailettes sur les performances du cuiseur. Les résultats de simulation et d'expérimentation démontrent que la température de stagnation de l'air intérieur du cuiseur équipé d'une plaque absorbante à ailettes est toujours supérieure à celle du cuiseur solaire équipé d'une plaque absorbante ordinaire. Ceci réduit considérablement la durée de cuisson.

Abstract - A numerical computer code simulating the operation of a simple box type solar cooker was established; it was validated by comparison with results of an experimental test carried out on a prototype constructed for this purpose. The computer code was used to study effect of finned absorber plate on solar cooker performances. The results of simulation and experimentation show that the stagnation temperature of the internal hot air of the cooker equipped with finned absorber plate is always higher than that of the cooker equipped with ordinary absorber plate. This reduces cooking time considerably.

Mots clés: Cuiseur solaire boîte - Plaque absorbante à ailettes - Performance - Modélisation - Expérimentation.

1. INTRODUCTION

Les cuiseurs solaires de différents types ont fait l'objet de plusieurs études théoriques et expérimentales. Il a été observé que la durée de cuisson de divers plats alimentaires est de l'ordre de 2 à 3 heures pour les cuiseurs solaires de type boîte et de 1 à 2 heures pour ceux à concentration. Dans le but d'améliorer les performances des cuiseurs solaires, il est nécessaire de minimiser le temps de cuisson.

Pour le même type de cuiseur solaire, il est possible de réduire le temps de cuisson en apportant des modifications sur la forme des ustensiles de cuisine utilisés. Ces modifications sont sensés améliorer le transfert de chaleur à l'alimentation à cuire à travers les parois de l'ustensile. Dans cet objectif, Gaur *et al.* [1] ont proposé un ustensile doté d'un couvercle concave. Leur étude expérimentale a montré une réduction de 10 à 13 % sur la période de cuisson comparée à celle relative à un ustensile de cuisson ordinaire dans les mêmes conditions d'exploitation.

* aboumouna@caramail.com

Pour améliorer l'échange de chaleur entre l'air intérieur du cuiseur avec l'ustensile de cuisine utilisé, Narasimha Rao *et al.* [2] ont proposé, l'utilisation d'ustensile de cuisine doté d'une cavité centrale. Ils ont expérimentalement démontré que l'ustensile de cuisine avec cavité centrale améliore la surface effective de transfert de chaleur vers l'eau qui se trouve à l'intérieur et réduit alors la durée de cuisson.

Certes, cette configuration réduit le temps de cuisson du cuiseur solaire, mais présente un volume utilisable très réduit et non pratique pour la disposition de l'alimentation à cuire.

Harmim *et al.* [3] ont proposé une nouvelle forme d'ustensile de cuisine. C'est une casserole cylindrique ordinaire, dont la surface latérale extérieure est munie d'ailettes rectangulaires le long de sa circonférence. Cette nouvelle configuration augmente la surface de transfert de chaleur vers l'intérieur de l'ustensile tout en gardant un volume adéquat pour contenir l'alimentation à cuire. Il a été démontré que ce nouvel ustensile de cuisine réduit considérablement le temps de cuisson.

La revue du mécanisme de transfert de chaleur vers l'alimentation à cuire qui se trouve dans l'ustensile de cuisine à mettre dans le cuiseur solaire nous a permis de faire une proposition de modification de la forme de la plaque absorbante du cuiseur. Il s'agit de la plaque absorbante à ailettes qui permet d'améliorer l'échange convectif vers l'air intérieur du cuiseur qui constitue un moyen important pour le chauffage des parois latérales de l'ustensile de cuisine déposé sur la plaque absorbante.

Dans ce papier, on présente la modélisation et la simulation du fonctionnement d'un cuiseur solaire boîte équipé d'une telle plaque absorbante. Les résultats de simulation démontrent que notre solution réduit considérablement la durée de cuisson.

2. MECANISME DE TRANSFERT DE CHALEUR VERS L'ALIMENTATION A CUIRE

Quand un ustensile de cuisine est déposé sur la plaque absorbante d'un simple cuiseur solaire boîte, orienté vers le soleil. Le transfert de chaleur vers l'alimentation, qui se trouve à l'intérieur de l'ustensile, se fait dans les conditions suivantes, (Fig. 1).

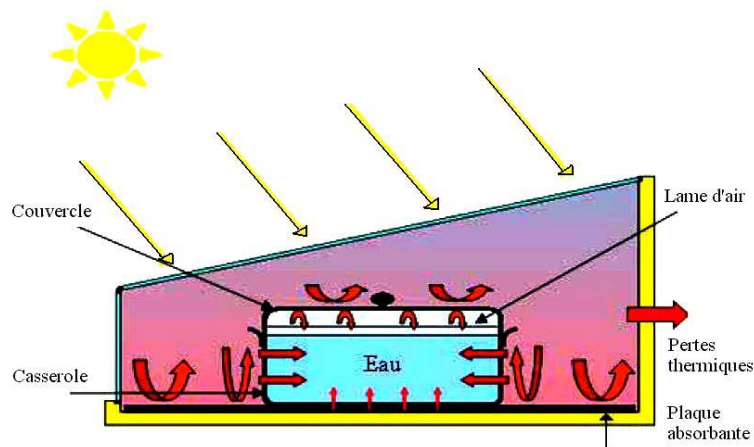


Fig. 1: Schéma représentant le mécanisme de transfert de chaleur vers l'alimentation se trouvant à l'intérieur de l'ustensile de cuisine dans un simple cuiseur solaire boîte

- La plaque absorbante est irradiée sur sa face supérieure. Par convection naturelle, elle transmet une grande partie du rayonnement absorbé qu'elle convertit en chaleur vers l'air intérieur. Par conduction, elle transmet une fraction de sa chaleur vers la base de l'ustensile de cuisine qui est en contact direct avec la plaque absorbante. Cette fraction de chaleur est absorbée par l'alimentation se trouvant à l'intérieur de l'ustensile.
- Le couvercle de l'ustensile de cuisine absorbe un maximum de rayonnement solaire, mais cette surface demeure non effective dans le processus du transfert de chaleur vers l'alimentation à cuire. Car cette dernière n'est pas en contact direct avec le couvercle. Il reste toujours une lame d'air entre la surface supérieure de l'alimentation et le couvercle. Cette lame d'air se comporte comme un isolant thermique et on se retrouve dans le cas d'une cavité chauffée par le haut. La plus grande partie de la chaleur du couvercle est alors transmise, par convection naturelle, à l'air intérieur du cuiseur.
- La surface latérale de l'ustensile de cuisine est partiellement irradiée et est en contact direct avec l'air chaud intérieur du cuiseur. Elle est donc effective dans le processus du transfert de chaleur vers l'intérieur de l'ustensile pour chauffer l'alimentation à cuire.

Il devient alors très important d'élever la température de l'air intérieur du cuiseur en améliorant l'échange convectif avec la plaque absorbante. Ceci peut être obtenu moyennant la plaque absorbante à ailettes. Il s'agit d'une plaque métallique plane dotée d'ailettes comme montrée sur la figure 2.

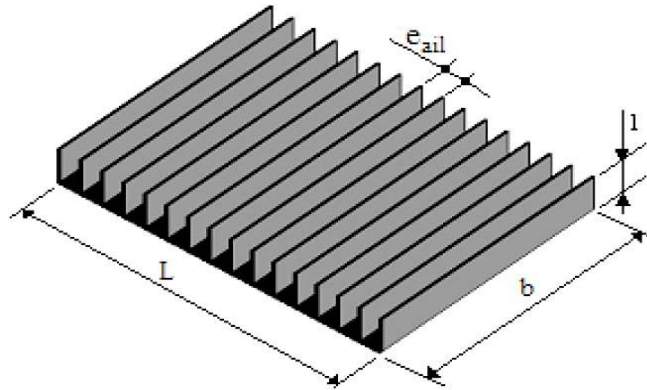


Fig. 2: Schéma montrant la forme de la plaque absorbante à ailettes

Cette configuration devrait améliorer le transfert de chaleur par convection, entre la plaque absorbante et l'air intérieur du cuiseur. Ceci permet d'augmenter le flux de chaleur qui sera absorbé par l'ustensile de cuisine qui contient le plat alimentaire à cuisiner et par conséquent, on prévoit une réduction du temps de cuisson.

3. DESCRIPTION DU CUISEUR SOLAIRE BOITE ETUDIE

Le cuiseur solaire étudié est destiné à fonctionner en milieu saharien algérien. Lors de sa conception, on doit prendre en considération les conditions suivantes:

- Moyens de réalisation simples,
- Matériaux de construction disponibles localement,
- Dispositif facilement exploitable durant toute l'année.

Pour cela, notre choix est arrêté sur un simple cuiseur solaire de type boîte, dont la plaque absorbante est horizontale et la couverture transparente est inclinée comme montré sur le schéma descriptif de la figure 3.

Il s'agit d'un boîtier en bois isolé thermiquement moyennant une couche d'écorce de palmier. Ces morceaux de tissu en matière végétale sèche, localement connue sous le nom de 'FDEM' et en arabe littéraire 'El Massed', sont récupérés au niveau du tronc de palmier. Elles ont une structure fibreuse et forment une couche poreuse, lorsqu'elles sont superposées les unes sur les autres. L'efficacité de ce matériau pour l'isolation thermique a été prouvée par plusieurs application en thermique solaire, [4].

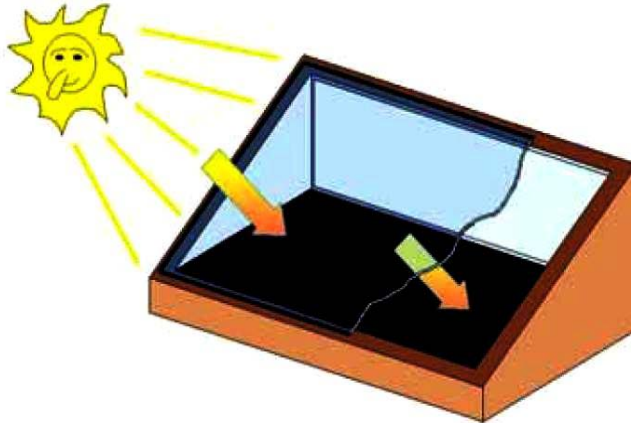


Fig. 3: Schéma représentatif du cuiseur solaire boîte étudié

La plaque absorbante en aluminium noir est disposée sur le fond du boîtier et est recouverte par une couverture transparente constituée d'un double vitrage ordinaire. La couverture transparente est inclinée de telle sorte à permettre une bonne exposition de la plaque absorbante et une meilleure pénétration du rayonnement solaire tout en préservant un espace suffisant pour l'introduction des ustensiles de cuisine.

La couverture transparente est munie d'un cadre métallique qui est fixé par des charnières sur le bord supérieur du boîtier de telle sorte à permettre l'ouverture du cuiseur.

Afin d'augmenter la fraction du rayonnement solaire absorbée par la plaque chauffante, un réflecteur plan disposé verticalement sur la surface interne en face de la surface d'ouverture.

Les dimensions d'envergure du cuiseur sont:

- La surface absorbante de 50 cm par 60 cm
- L'épaisseur d'isolation en 'FDEM' de 70 mm
- L'inclinaison du vitrage de 45 deg.

4. MODELISATION DU CUISEUR SOLAIRE ETUDIE

La simulation du comportement thermique de notre cuiseur est faite sans charge. C'est-à-dire que le système est exposé au rayonnement solaire à vide. Aucun ustensile de cuisine n'est déposé sur la plaque absorbante. Cette étude nous permet d'estimer les températures maximales qu'on peut atteindre au niveau de la plaque absorbante et de l'air intérieur après une certaine durée d'exposition au rayonnement solaire lors d'une journée quelconque de l'année et en un site donnée. Ce niveau de température nous permet de statuer, dans un premier temps sur les capacités de notre cuiseur à préparer les plats alimentaires.

4.1 Description du modèle

Dans le cas où la modélisation est faite pour le cuiseur sans charge, les éléments de base à considérer sont, comme montrés en figure 4:

- L'environnement extérieur (l'air ambiant)
- La couverture transparente (vitrage)
- L'air intérieur
- La plaque absorbante (plaque chauffante).

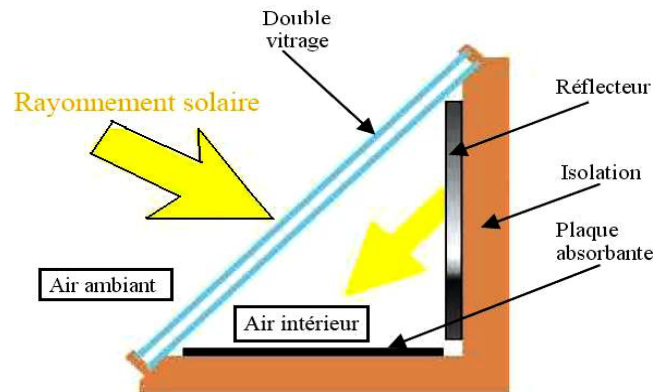


Fig. 4: Schéma représentant les éléments constituant le modèle du cuiseur solaire étudié

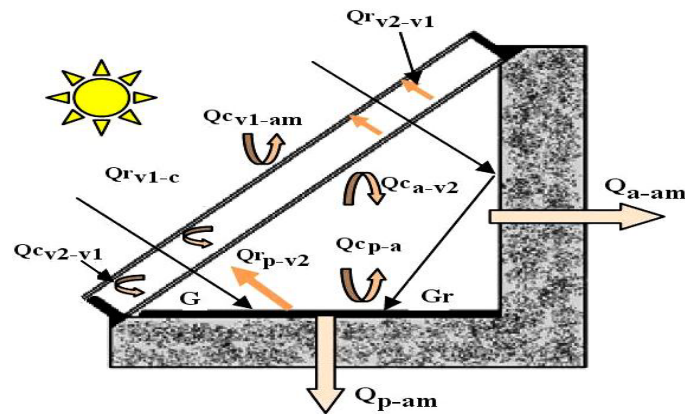


Fig. 5: Schéma représentant les différents échanges thermiques mis en jeu

Le cuiseur solaire constitue un système énergétique complexe où la plupart des modes de transfert thermique sont mis en jeu. La figure 5 illustre les différents échanges thermiques mis en jeu entre les différents éléments du cuiseur solaire.

Notre modèle s'articule autour de la formulation des bilans d'énergies instantanés entre les différents composants du cuiseur. Chacun des éléments du cuiseur est caractérisé par une variable d'état. Il s'agit de la température.

4.2 Hypothèses simplificatrices de base

Afin de simplifier l'analyse de notre système, certaines hypothèses simplificatrices sont posées:

- Les différents éléments constituant le système sont à des températures différentes, mais uniformes.
- Le rayonnement solaire n'est incident que sur le vitrage, le réflecteur interne et la plaque absorbante car le cuiseur est constamment orienté suivant l'axe vertical.
- Le gradient de température dans l'épaisseur du vitrage et la plaque absorbante est négligeable.
- Les pertes thermiques dues aux fuites d'air sont négligeables.
- Afin de ne pas négliger les pertes thermiques latérales, on considère que les surfaces latérales internes de l'enceinte (non absorbantes du rayonnement solaire) sont à la température de l'air intérieur. Ceci permet de surestimer légèrement les pertes thermiques latérales vers le milieu ambiant à travers les parois isolées.
- L'échange radiatif entre la plaque absorbante et les parois verticales est négligeable.
- Les propriétés thermo-physiques des matériaux constituant le système sont constantes dans les marges de température de fonctionnement du cuiseur.

4.3 Ecriture des bilans énergétiques

Pour construire le modèle mathématique, l'écriture des bilans thermiques au niveau de chaque élément est établie. On aboutit aux quatre équations suivantes:

Bilan énergétique sur le premier vitrage1

$$(m C_p)_{v1} \frac{dT_{v1}}{dt} = G_{v1} S_{v1} + Q_{r_{v2-v1}} + Q_{c_{v2-v1}} - Q_{r_{v2-c}} - Q_{c_{v2-am}} \quad (1)$$

Bilan énergétique sur le second vitrage

$$(m C_p)_{v2} \frac{dT_{v2}}{dt} = G_{v2} S_{v2} + Q_{c_{a-v2}} + Q_{r_{p-v2}} - Q_{r_{v2-v1}} - Q_{c_{v2-v1}} \quad (2)$$

Bilan énergétique sur l'air interne

$$(m C_p)_a \frac{dT_a}{dt} = Q_{c_{p-a}} - Q_{c_{a-v2}} - Q_{a-am} \quad (3)$$

Bilan énergétique sur la plaque absorbante

$$(m C_p)_p \frac{dT_p}{dt} = G_p S_p - Q_{c_{p-a}} - Q_{r_{p-v2}} - Q_{p-am} \quad (4)$$

4.4 Calcul des différents échanges thermiques

Le coefficient convectif d'une surface plane vers l'ambiance est calculé par l'expression de Mc Adams et donnée en [5].

Le coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le premier vitrage et le ciel est donné par, [6].

Le coefficient de transfert de chaleur par convection entre les deux vitrages est calculé à partir de l'équation suivante:

$$h_{c_{v2-v1}} = Nu \times \frac{k_{air}}{e_{v2-v1}} \quad (5)$$

Le nombre de Nusselt est estimé à partir de la corrélation de Hollands *et al.* donnée en [7].

$$Nu = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos\beta} \right]^* \times \left[1 - \frac{1708(\sin(1,8\beta))^{1,6}}{Ra \cdot \cos\beta} \right] + \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos\beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^* \quad (6)$$

avec, β : Inclinaison du vitrage et Ra : Nombre de Rayleigh. Le signe (*) veut dire que si la quantité entre parenthèse est négative, elle est considérée nulle.

Le coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre les deux vitrages est calculé par l'expression donnée en [5]. Le coefficient d'échange radiatif entre l'air intérieur et le second vitrage est estimé par la corrélation de Abdelkader qui est donnée en [6]. C'est le cas d'une cavité triangulaire chauffée par le bas.

$$h_{ca-v2} = Nu \times \frac{k_{air}}{h_{moy}} \quad (7)$$

avec:

$$Nu = 0.033 Ra^{0.343} \quad (8)$$

Où la hauteur moyenne h_{moy} de la cavité est considérée comme longueur représentative pour le calcul du nombre de Rayleigh.

Le coefficient d'échange par rayonnement entre la plaque absorbante et le second vitrage est calculé par la relation donnée en [6].

Dans le cas où la plaque absorbante est ordinaire. C'est-à-dire le cas d'une plaque plane, le coefficient d'échange par convection entre la plaque absorbante (horizontale) et l'air intérieur du cuiseur est estimé moyennant le nombre de Nusselt donné par l'équation (6) avec l'angle d'inclinaison β nul et la longueur représentative h_{moy} , [6].

Mais pour le cas de la plaque absorbante modifiée comme présentée en figure 2. C'est-à-dire l'échange convectif sera effectué à partir d'une plaque rectangulaire horizontale munie d'ailettes. Le coefficient d'échange par convection naturelle entre la plaque absorbante modifiée et l'air intérieur du cuiseur sera alors estimé moyennant le Nusselt donné par la corrélation de Jones et Smith, [7].

$$\text{Nu} = \left[\left(\frac{\text{Ra}}{1500} \right)^m + (0.081 \text{ Ra}^{0.39})^m \right]^{1/m} \quad \text{avec} \quad m = -2 \quad (9)$$

Pour le calcul du nombre de Rayleigh en équation (9), l'espacement 'e_{ail}' entre les ailettes est pris comme longueur caractéristique.

4.5 Calcul de la fraction du rayonnement solaire absorbée

Pour une meilleure exposition de la plaque absorbante au rayonnement solaire, notre cuiseur doit suivre une orientation autour d'un axe vertical de telle sorte à avoir l'angle azimutale de la surface d'ouverture du cuiseur égale à l'angle azimutale solaire.

Cette orientation peut être obtenue manuellement sur des pas de temps assez fins pour pouvoir admettre l'hypothèse d'une orientation continue dont les équations d'estimation du rayonnement sur ce genre de surface sont connues.

Si on dispose de l'éclairement solaire global sur le plan horizontal et de l'éclairement solaire diffus sur le plan horizontal, alors la fraction de l'éclairement solaire absorbée par la plaque absorbante (horizontale) après traversée du vitrage et la fraction de l'éclairement solaire absorbée par la couverture transparente sont calculées par les expressions données en [5] en tenant compte du rendement optique et de la partie du rayonnement réfléchi par le miroir vertical interne.

4.6 Formulation et résolution du système d'équations

Une fois le modèle conceptuel du cuiseur solaire est défini, les échanges thermiques exprimés et les inputs énergétiques calculés, les équations des bilans énergétiques {Eq. (1) à (4)} nous donnent un système d'équations différentielles couplés et non linéaires.

La résolution du système d'équations obtenu nécessite le développement d'un programme de calcul avec une méthodologie d'analyse capable de garantir la fiabilité du modèle et d'assurer sa souplesse.

Ce programme est écrit sous l'environnement Matlab en utilisant la méthode classique de Runge Kutta d'ordre 4 pour la résolution du système d'équations différentielles.

5. ETUDE EXPERIMENTALE

5.1 Description du banc d'essai

Cette étude expérimentale a un objectif principal. Il est question de confronter les résultats expérimentaux à ceux donnés par notre modèle numérique pour le valider. A l'issue de cette confrontation, nous serons à même de juger de la fiabilité des prédictions du programme informatique développé et nous pourrions alors envisager de l'utiliser pour prévoir les performances du cuiseur avec une autre configuration de la plaque absorbante (la plaque absorbante à ailettes). Les tests programmés sont des tests de stagnation, effectués sans aucune charge.

Pour les besoins de notre étude, un prototype a été réalisé comme décrit précédemment. Il est montré sur la vue de la figure 6. Durant les différents tests expérimentaux, le prototype du cuiseur solaire boîte est installé sur la plate forme des essais expérimentaux de l'URER/MS d'Adrar et est exposé à l'ensoleillement naturel.

Le cuiseur est disposé sur une table pilotable autour d'un axe vertical pour assurer un ajustement azimutal du cuiseur selon la course du soleil avec une fréquence d'un quart d'heure (15 minutes). Durant les tests de stagnation, on mesure:

- La température ambiante,
- La température de la plaque absorbante,
- La température du vitrage,
- La température de l'air intérieur du cuiseur,
- L'éclairement solaire global sur plan horizontal,
- L'éclairement solaire diffus sur plan horizontal.

L'éclairement solaire global sur plan horizontal est mesuré à l'aide d'un pyranomètre de type CM11 de Kipp & Zonen installé sur un plan horizontal. L'éclairement solaire diffus sur plan horizontal est mesuré à l'aide d'un pyranomètre de type CM11 de Kipp & Zonen installé sur un plan horizontal et muni d'une bande pare-soleil pour éliminer la composante directe du rayonnement solaire. Les différentes températures sont mesurées à l'aide de thermocouples de type K.



Fig. 6: Vue du dispositif expérimental de cuiseur solaire installé sur la plate forme des essais de l'URER/MS à Adrar

Tous les transducteurs sont reliés à une acquisition de données qui fait des relevés de tous les paramètres mesurés, chaque pas de temps étant préalablement fixé. Pour notre cas, l'intervalle de scrutation est fixé à 30 secondes. Ce qui nous permet de suivre l'évolution des différents paramètres, lors d'éventuelles perturbations climatiques.

5.2 Analyse des résultats et validation du modèle

Afin d'étudier le comportement du cuiseur solaire sous un ciel partiellement couvert, un test expérimental a été effectué au cours de la journée du 17/06/2008. Ce test s'est déroulé sans aucune charge à partir de 6 heures 30 minutes (TSV) du matin. Le ciel était partiellement couvert et le vent calme durant tout le test.

L'éclairement solaire global sur plan horizontal, ainsi que l'éclairement solaire diffus sur plan horizontal sont présentés sur la figure 7. On remarque sur cette figure, que la courbe d'évolution de l'éclairement solaire global présente des variations très brusques et des irrégularités qui imposent un régime de fonctionnement transitoire pour le cuiseur solaire.

Les résultats expérimentaux de ce test sont présentés en figure 8. La réponse en température du système dont l'inertie thermique est très faible traduit fidèlement les variations de l'éclairement solaire global qui constitue la sollicitation principale du cuiseur solaire.

Malgré les insuffisances en matière de rayonnement solaire (ciel partiellement couvert) la température de stagnation de l'air intérieur a dépassé le seuil de 110 °C alors que celle de la plaque absorbante a dépassé 135°C.

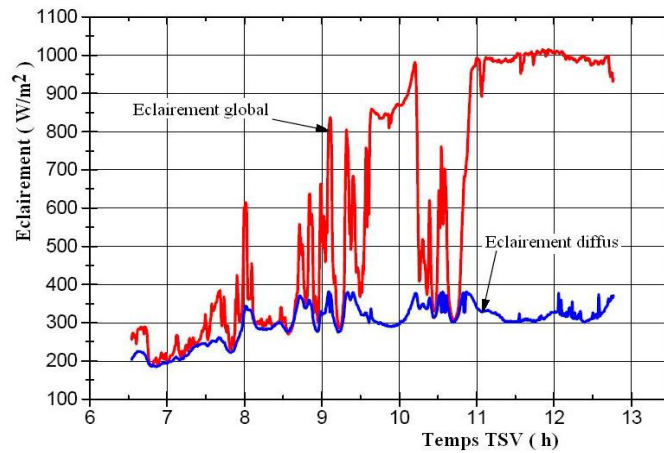


Fig. 7: Evolution des éclairements solaires global et diffus mesurés sur plan horizontal le 17/06/2008

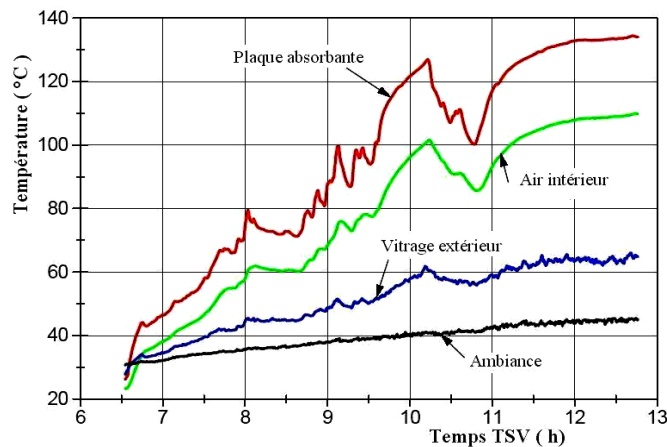


Fig. 8: Evolution des températures mesurées sur chaque partie du cuiseur lors du test du 17/06/2008

On remarque également qu'au lever du jour, la température ambiante est légèrement supérieure aux températures mesurées sur les diverses parties du cuiseur, qui été installé à l'extérieur durant toute la nuit. Il était alors sujet de pertes thermiques par émissions infrarouge.

La comparaison des températures mesurées à celles de la prédiction issues de notre modèle de simulation est montrée sur les figures 9 et 10 pour la plaque d'absorption et l'air intérieur respectivement.

Ces figures démontrent que notre modèle décrit d'une manière assez correcte le comportement du cuiseur solaire lorsqu'il est soumis à des conditions climatiques très variables; à savoir de brusques changements de l'éclairement solaire.

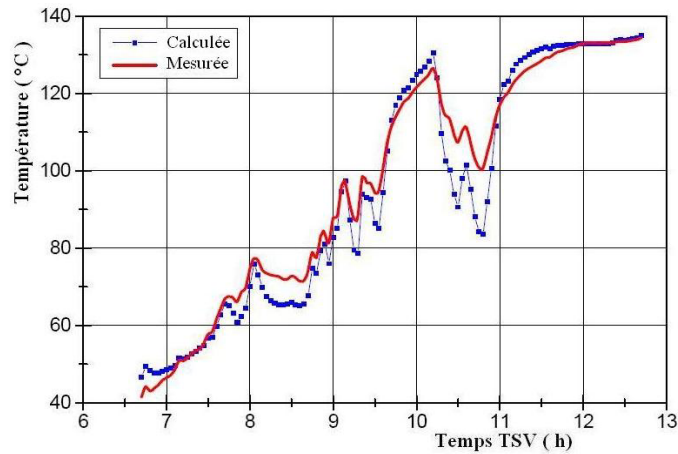


Fig. 9: Comparaison des mesures avec les prédictions théoriques de la température de la plaque absorbante, lors du test du 17/06/2008

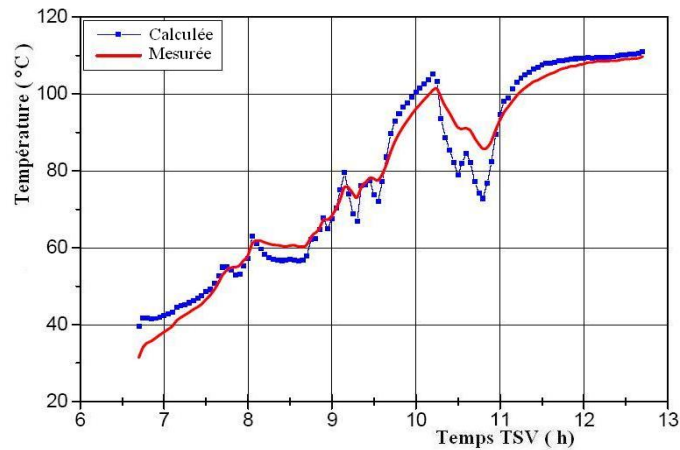


Fig. 10: Comparaison des mesures avec les prédictions théoriques de la température de l'air intérieur, lors du test du 17/06/2008

En général, on remarque une bonne concordance entre les mesures expérimentales et les prédictions théoriques. Mais on note quelques déviations assez importantes entre les valeurs mesurées et celle calculées durant les périodes de fonctionnement avec de brusques variations d'input énergétique, même si le modèle arrive à prédire l'allure et les différentes variations des pentes des courbes de température de chaque partie du cuiseur.

L'évolution de la température des diverses parties du cuiseur, simulée et comparée à celle mesurée expérimentalement est satisfaisante. Même s'il existe parfois un écart entre les résultats calculés numériquement et mesurés expérimentalement.

On pourrait attribuer ces différences aux hypothèses simplificatrices considérées comme la négligence du rayonnement des parois latérales du cuiseur et l'uniformité de la température des différentes surfaces. L'origine des écarts peut également provenir d'une erreur dans l'estimation des paramètres de transfert de chaleur par convection (coefficients de convection vitrage - air extérieur, vitrage - air intérieur, plaque absorbante - air intérieur et surfaces latérales - air intérieur) donnés par des corrélations empiriques issues d'une bibliographie très limitée. En effet, Les corrélations disponibles sont développées pour des cas bien précis et des configurations qui ne sont pas forcément semblables à celle de notre cuiseur.

Notre code de calcul numérique ainsi validé sera utilisé pour étudier la nouvelle configuration proposée pour la plaque absorbante afin d'améliorer l'échange convectif vers l'air intérieur et par la suite améliorer le transfert de chaleur vers l'ustensile de cuisine disposé sur la plaque absorbante et dont la plus grande partie de sa surface extérieure et en contact avec l'air intérieur.

6. APPLICATION A L'AMELIORATION DES PERFORMANCES DU CUISEUR SOLAIRE

Afin d'améliorer l'échange convectif à l'intérieur du cuiseur solaire, on a proposé l'utilisation d'une plaque absorbante horizontale de surface égale à celle de la plaque plane ordinaire, mais sa surface d'échange thermique est augmentée par la surface de l'ensemble des ailettes rectangulaires fixées par dessus.

Le coefficient d'échange convectif avec l'air intérieur est exprimé par la relation (9). L'augmentation de la surface d'échange convectif par le biais des ailettes améliore le transfert de chaleur vers l'air intérieur d'un côté et augmente l'inertie thermique du système en augmentant la masse de la plaque absorbante d'un autre côté. Un compromis est alors recherché moyennant notre code de calcul.

Pour arrêter la configuration optimale de la plaque chauffante à ailettes, c'est-à-dire déterminer la hauteur des ailettes ' l ' et l'espace entre les ailettes ' e_{ail} ', (comme indiqué sur la figure 2), qui permettent d'atteindre la température la plus élevée possible de l'air intérieur pour les mêmes conditions de fonctionnement.

On exploite notre code de calcul avec des conditions de fonctionnement fixées, comme par exemples ceux de la journée du 17/06/2008, et on fait varier les deux paramètres ' l ' et ' e_{ail} ', qui interviennent directement dans l'évaluation de l'échange convectif plaque absorbante-air intérieur.

En faisant varier l'espace entre ailettes de 5 mm à 50 mm par pas de 5 mm et la hauteur des ailettes de 10 mm à 60 mm par pas de 5 mm, on a établi la liste des configurations de la plaque absorbante, avec ailettes retenues pour la simulation numérique. Les résultats de simulation nous ont permis de choisir la meilleure configuration. C'est-à-dire celle qui permet d'obtenir la plus haute température de stagnation. Cette configuration est obtenue pour une hauteur des ailettes de 50 mm et un espace entre ailettes de 30 mm.

A titre indicatif, on donne en figures 11 et 12, l'évolution de la température de l'air intérieur simulée pour le cas de la plaque absorbante ordinaire et comparée à l'évolution de la température de l'air intérieur simulée pour les configurations 'A' et 'B' respectivement.

Pour la configuration 'A', l'espace entre ailettes est de 20 mm et la hauteur des ailettes est de 20 mm et pour la configuration 'B' l'espace entre ailettes est de 30 mm et la hauteur des ailettes est de 50 mm (c'est la configuration optimale).

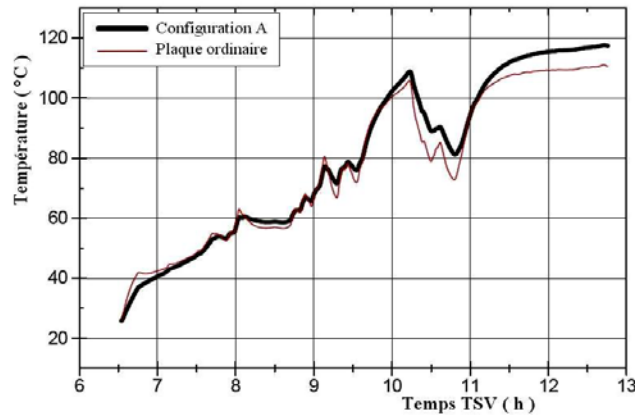


Fig. 11: Evolution de la température de l'air intérieur calculée avec les données du test du 17/06/2008 pour les deux cuiseurs: l'un avec la plaque absorbante ordinaire et l'autre avec la plaque absorbante à ailettes de la configuration 'A'

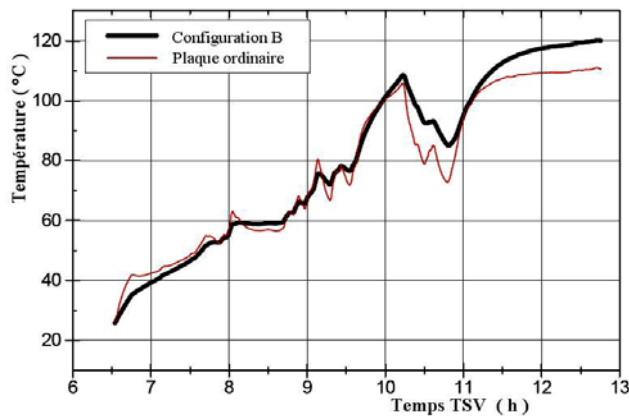


Fig. 12: Evolution de la température de l'air intérieur calculée avec les données du test du 17/06/2008 pour les deux cuiseurs: l'un avec la plaque absorbante ordinaire et l'autre avec la plaque absorbante à ailettes de la configuration 'B'

On remarque que la température de stagnation de l'air chaud intérieur obtenue par le cuiseur équipé de la plaque absorbante à ailettes est nettement supérieure à celle obtenue par le cuiseur équipé de la plaque absorbante ordinaire. L'écart sur la température de stagnation est maximum, quand on utilise la plaque absorbante à ailettes optimale (configuration 'B'). En effet, cet écart dépasse 10 °C comme montré sur la figure 12.

7. CONCLUSION

L'étude d'amélioration de l'échange convectif à l'intérieur d'un cuiseur solaire a été faite dans le cas d'un cuiseur solaire de type boîte. Les résultats de l'étude peuvent être extrapolés pour d'autres types de cuiseurs solaires dont le mécanisme de transfert de chaleur vers l'ustensile de cuisine est similaire à celui du cuiseur boîte. La modélisation du cuiseur solaire étudié a été faite. Elle a permis l'écriture d'un code de calcul dont les résultats de simulation ont été validés expérimentalement.

L'exploitation du code de calcul a permis de faire le dimensionnement et arrêter la configuration des ailettes de la plaque absorbante modifiée proposée pour l'amélioration de l'échange convectif entre la plaque et l'air intérieur en contact de l'ustensile de cuisine. Ceci permet d'améliorer les performances du cuiseur solaire et de réduire le temps de cuisson considérablement.

NOMENCLATURE

b	: Largeur plaque absorbante, mm	$m C_p$: Chaleur spécifique, J/K
e_{ail}	: Espace entre ailettes, mm	Nu	: Nombre de Nusselt
G	: Rayonnement absorbé, W/m ²	Q	: Flux de chaleur, W
h_c	: Coefficient de transfert par convection, W/m ² .K	h_{moy}	: Hauteur moyenne de la cavité du cuiseur, m
k	: Conductivité thermique, W/m.K	Q_r	: Flux par rayonnement, W
L	: Longueur plaque absorbante	Q_c	: Flux par convection, W
l	: Longueur ailette, mm	Ra	: Nombre de Rayleigh
S	: Surface, m ²	T	: Température, °C
β	: Angle d'inclinaison, deg	t	: Temps, s
a, air	: Air intérieur	am	: Ambiance
p	: Plaque absorbante	c	: Ciel
v1	: Vitrage 1	v2	: Vitrage 2

REFERENCES

- [1] A. Gaur, O.P. Singh, S.K. Singh and G.N. Pandey, 'Performance Study of Solar Cooker with Modified Utensil', Renewable Energy, Vol. 18, N°1, pp. 121 – 129, 1999.
- [2] A.V. Narasimha Rao and S. Subramanyam, 'Solar Cookers – Part II- Cooking Vessel with Central Annular Cavity', Solar Energy, Vol. 78, N°1, pp. 19 – 22, 2005.
- [3] A. Harmim, M. Boukar and M. Amar, 'Experimental Study of a Double Exposure Solar Cooker with Finned Cooking Vessel', Solar Energy, Vol. 82, N°4, pp. 287 – 289, 2008.
- [4] A. Harmim, M. Boukar et M. Amar, 'Etude Expérimentale des Performances d'un Chauffe-eau Solaire Capteur Stockeur dont l'Isolation est assurée par l'Ecorce de Palmier', Revue Internationale d'Héliotechnique, N°34, Automne 2006
- [5] J.A. Duffie and W.A. Beckman, 'Solar Engineering of Thermal Process', Ed. Wiley and Sons, USA, 1980.
- [6] S.S. Takeo and H.H. El-Ghetany, 'A Pilot Solar Water Disinfecting System: Performance Analysis and Testing', Solar Energy, Vol. 72, N°3, pp. 261 – 269, 2002.
- [7] W.M. Rohsenow, J.P. Hartnett and Y.I. Cho, 'Handbook of Heat Transfer', 3rd Edition, McGraw-Hill, N.Y. USA, 1998.