



Etude comparative entre deux types de cuiseurs solaires boîtes en milieux arides

Yettou Fatiha ^a, Gama Amor ^a, Azoui Boubaker ^b, Malek Ali ^c

^a Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, B.P. 88, Z.I. Garaa Taam, Ghardaïa, Algérie.

^b Laboratoire de Recherche LEB, Département d'Electrotechnique, Université Hadj Lakhdar, Batna, Algérie.

^c Division Energie Solaire Photovoltaïque, Centre de Développement des Energies Renouvelables,

B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie.

yettou.t@gmail.com (F. Yettou)

Résumé— Dans un but de réalisation d'un premier prototype de cuiseur solaire à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables de Ghardaïa, une simulation optique de la répartition des rayons solaires incidents sur l'absorbeur de deux cuiseurs boîtes est effectuée, l'un de ces derniers est à surface d'ouverture horizontale et l'autre à surface inclinée, une conception préliminaire des cuiseurs avec dimensionnement est nécessaire. Un ou deux réflecteurs additionnels sont ajoutés aux cuiseurs au fur et à mesure de la simulation dans l'objectif de voir leur effet sur les performances des deux types, l'angle d'inclinaison de ces réflecteurs est calculé pour chaque cas étudié, la réflexion et la concentration des rayons sont illustrées graphiquement pour quelques jours types de l'année.

Les résultats de l'étude, au point de vue optique; ont révélés que le cuiseur solaire boîte à surface d'ouverture inclinée présente de meilleures caractéristiques comparé au cuiseur ordinaire, la surface tronquée permet de minimiser l'ombrage exercé sur la surface réceptrice de l'absorbeur, ce qui permet d'augmenter considérablement l'énergie reçue. L'ajout des réflecteurs améliore les performances du cuiseur, ce qui est intéressant notamment en hiver, où la hauteur du soleil est peu élevée. Avec deux réflecteurs ajoutés, la quasi-totalité de la surface de l'absorbeur est couverte par la réflexion de l'éclairement solaire et le facteur de concentration se trouve doublé en hiver et multiplié par 3 en été.

Mots clés— Cuiseurs solaire boîte, Simulation optique, Inclinaison des réflecteurs.

I. INTRODUCTION

La cuisson solaire permet de cuire les aliments grâce à l'énergie du soleil. Pour fonctionner correctement un cuiseur solaire a besoin d'être placé à l'extérieur, dans un endroit bien ensoleillé, et protégé des vents violents. Cependant, le fonctionnement du cuiseur solaire est indépendant de la température extérieure [1]. Les cuiseurs solaires complètent donc les méthodes de cuisson traditionnelles, qui doivent être utilisées la nuit ou par mauvais temps.

Le cuiseur solaire est un dispositif respectueux de l'environnement, son coût le rend favorable pour une utilisation de l'énergie solaire. 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.

La poursuite se fait par deux méthodes: premièrement, la position angulaire du miroir réflecteur est modifiée pendant que le soleil change sa position latitudinale et deuxièmement, pour un usage efficace du dispositif, le cuiseur doit être orienté dans la direction Est-Ouest de sorte que le réflecteur soit exposé au soleil. Le dernier mode est plus difficile particulièrement quand le cuiseur est en pleine charge, le premier mode est préférable, puisque quelques changements des positions de miroirs réflecteurs suffisent pour l'acheminement des rayons solaire vers l'absorbeur.

L'objectif de ce travail consiste à une simulation optique de la répartition des rayons solaires concentrés au niveau de l'absorbeur de deux types de cuiseurs boîtes (à surface d'ouverture horizontale et à surface inclinée), des réflecteurs additionnels sont ajoutés aux cuiseurs pour connaître leurs effet sur comportement optique de l'éclairement solaire direct reçu.

II. EQUATIONS REGISSANT LE SYSTEME

A. Position du soleil

La position du soleil en coordonnées horizontales est déterminée par deux paramètres essentiels: la hauteur du soleil et l'azimut solaire.

Pour calculer la hauteur du soleil γ , on utilise l'équation (1) en fonction de la déclinaison solaire δ , de l'angle horaire ω et de la latitude du lieu φ [2]:

$$\sin(\gamma) = \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) \quad (1)$$



L'angle horaire est calculé comme suit :

$$\omega = 0.261799 \cdot (t - 12) \quad (2)$$

La déclinaison solaire est donnée par l'équation suivante :

$$\sin(\delta) = 0.3978 \cdot \sin[N_p - 1.4 + 0.0355 \cdot \sin(N_p - 0.0489)] \quad (3)$$

Avec :
$$N_p = 2 \cdot \pi \cdot N / 365.25 \quad (4)$$

La figure (1) représente les variations de la hauteur du soleil γ à midi sur le site de Ghardaïa pour les jours types des mois de Mars, Juin, Septembre et Décembre :

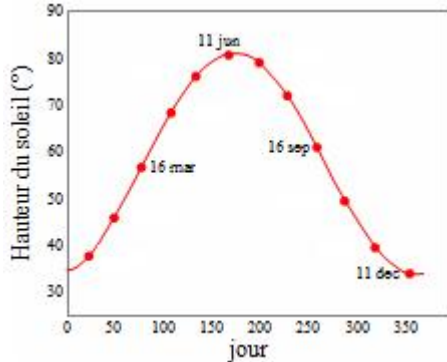


Fig. 1 Variation de la hauteur du soleil en fonction du jour à Ghardaïa.

L'azimut du soleil χ est représenté en fonction de la latitude du lieu φ , de la déclinaison solaire δ , de l'angle horaire ω et de la hauteur du soleil γ de la manière suivante :

$$\cos(\chi) = \frac{\cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \cdot \sin(\varphi) - \sin(\delta) \cdot \cos(\varphi)}{\cos(\gamma)} \quad (5)$$

On représentera sur la figure (2) les variations de l'azimut solaire en fonction du temps pour les jours types des mois de Mars, Juin, Septembre et Décembre sur le site de Ghardaïa.

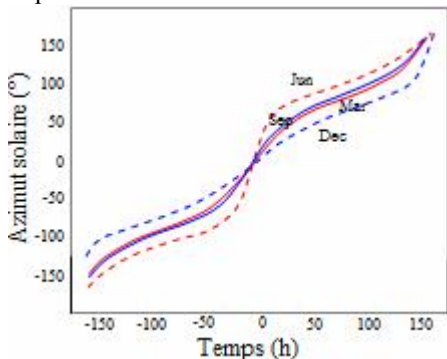


Fig. 2 Variation de l'azimut solaire en fonction du temps à Ghardaïa.

B. Eclairement solaire incident

Pour calculer l'éclairement direct horizontal I_B incident sur le plan de l'absorbeur d'un cuiseur solaire sans réflexion, on

donne l'équation (6) [2], fonction de la masse d'air m_A , de l'épaisseur de l'atmosphère δ_R , de la hauteur du soleil γ et du facteur de trouble de Linke T_L [3]:

$$I_B = G_o \cdot \sin(\gamma) \cdot \exp(-T_L \cdot m_A \cdot \delta_R) \quad (6)$$

Où G_o est l'éclairement solaire extraterrestre, il est donné en fonction de la constante solaire $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ et de la correction de distance entre la terre et le soleil ε par l'équation (7) :

$$G_o = I_o \cdot \varepsilon \quad (7)$$

ε est donné par l'équation (8), avec N est le nombre de jour :

$$\varepsilon = 1 + 0.034 \cdot \cos\left[\frac{360}{365} \cdot (N - 2)\right] \quad (8)$$

Les variations de l'éclairement direct horizontal incident sur l'absorbeur d'un cuiseur solaire sans réflexion sont représentées sur la figure ci-après :

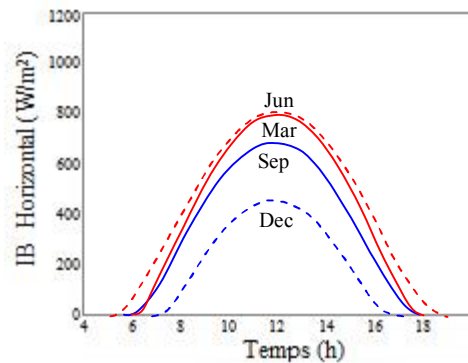


Fig. 3 Variations de l'éclairement direct horizontal en fonction du temps à Ghardaïa.

C. Angle d'inclinaison du réflecteur

A fin de collecter un maximum d'énergie, un cuiseur doit être muni des réflecteurs additionnels (un ou deux dans notre cas), les angles d'inclinaison de ces réflecteurs doivent être optimums au maximum. Pour calculer ces angles, on considère, dans ce qui suit; que le cuiseur est orienté en plein Sud à midi (angle horaire $\omega = 0$).

La figure (4.a) montre le schéma d'un cuiseur solaire ordinaire, l'angle θ que fait les rayons solaire avec la plan vertical est donné par [4, 5]:

$$\theta = \varphi \pm \delta \quad (9)$$

L'angle d'inclinaison du réflecteur est calculé à partir de :

$$\alpha = \frac{1}{3} \cdot \left(2 \cdot \theta - \frac{\pi}{2} \right) \quad (10)$$



Dans le cas où la surface réceptrice est inclinée d'un angle β avec l'horizontal (figure 4.b), le calcul de l'angle α est donné par :

$$\alpha = \frac{1}{3} \cdot \left(2 \cdot \theta + \beta - \frac{\Pi}{2} \right) \quad (11)$$

Si on ajoute encore un second réflecteur à la face avant du cuiseur (figure 4.c), le calcul de l'angle α devient :

$$\alpha = \frac{1}{3} \cdot (\Pi - 2 \cdot \theta - \beta) \quad (12)$$

La figure (4.d) montre le schéma complet d'un cuiseur solaire à surface d'ouverture inclinée muni de deux réflecteurs additionnels. Si on suppose que la hauteur du soleil γ est égale à 35° et la déclinaison δ égale à -23 avec un azimut χ nul (cas d'un jour d'hiver), l'angle θ est donc de $\approx 55^\circ$, l'angle du réflecteur principale d'un cuiseur ordinaire serait de $\approx 7^\circ$, l'angle du réflecteur secondaire est de 23° . Concernant le cuiseur à surface d'ouverture inclinée, ces angles seraient de $\approx 17^\circ$ et $\approx 13^\circ$ respectivement.

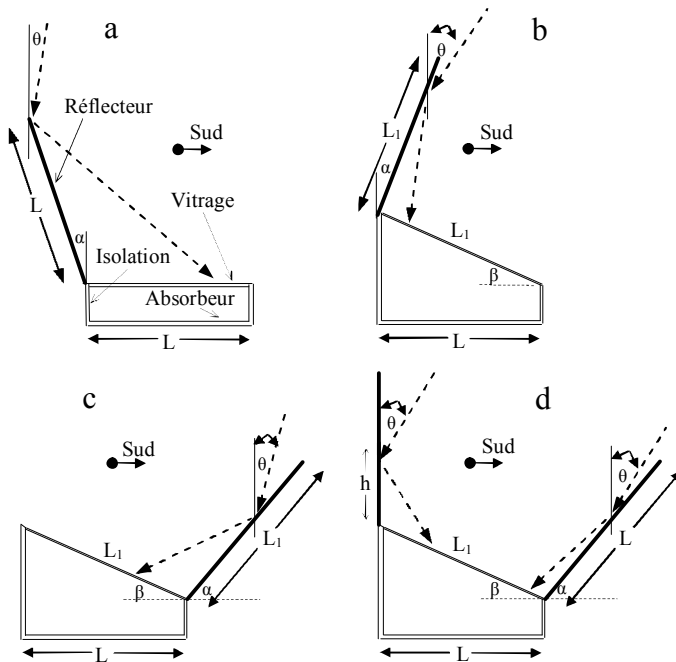


Fig. 4 Schéma de cuiseurs solaires boîtes muni de réflecteurs additionnels, (a) cuiseur ordinaire, (b) avec réflecteur principal, (c) avec réflecteur secondaire, (d) cuiseur à surface inclinée avec deux réflecteurs.

III. DIMENSIONNEMENT ET CONCEPTION DES CUISEURS

Pour la conception des cuiseurs [6], nous avons besoins de choisir des formes de cuiseurs bien définis avec des dimensions précises (figure 5), notre choix c'est porté sur le cuiseur ordinaire à surface d'ouverture horizontale et le

cuiseur tronquée à surface d'ouverture inclinée avec les dimensions suivantes : 410 mm x 310 mm x 170 mm et 500 mm x 400 mm x 445 mm x 125 mm; respectivement.

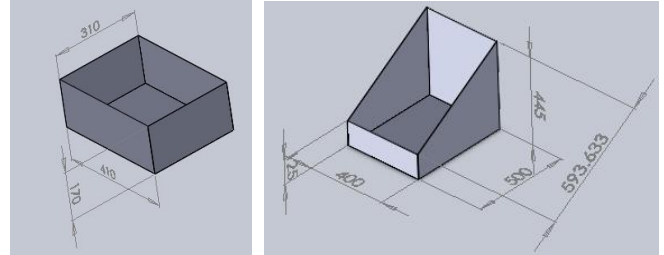


Fig. 5 Dimensionnement et conception des cuiseurs solaires boîtes.

IV. SIMULATION OPTIQUE DES CUISEURS

Pour la simulation nous avons utilisé un logiciel de simulation optique, nous avons commencé par le calcul des coordonnées du soleil (hauteur et azimut) pour le site de Ghardaïa. Avec des relations trigonométriques, nous avons converti les coordonnées du soleil en coordonnées de source de lumière. Après conception, on importe les formes des cuiseurs au logiciel et on procède à la simulation de plusieurs jours types de l'année en insérant les valeurs de l'éclairement direct calculées précédemment pour chaque cas.

A. Cuiseurs sans réflecteurs additionnels

En premier lieu, on procède à la simulation des deux types de cuiseurs sans réflecteurs additionnels, la simulation est réalisée pour un jour type du mois le plus défavorable de l'année à Ghardaïa (11 Décembre). La figure (6) illustre la réception et la réflexion des rayons solaires par les deux types de cuiseurs et pour des raisons de clarté, nous avons minimisé le nombre de rayons émis par la source.

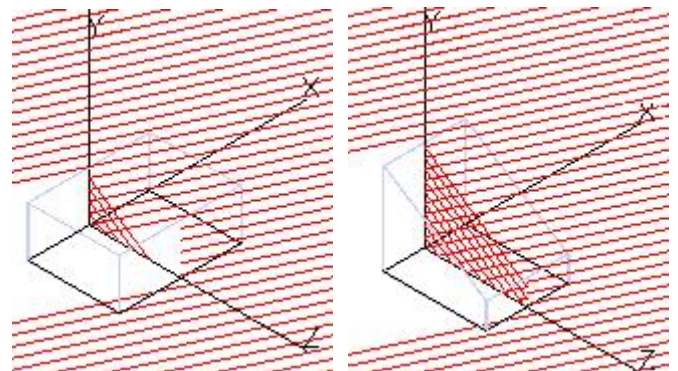


Fig. 6 Simulation optique des cuiseurs au mois de Décembre sans réflecteurs additionnels.

Les résultats de la simulation sont présentés sous forme de rayonnement concentré au niveau de la plaque absorbante des cuiseurs. Les figures 7 et 8 représentent clairement le comportement optique des rayons solaires reçus et réfléchis



par les parois des cuiseurs.

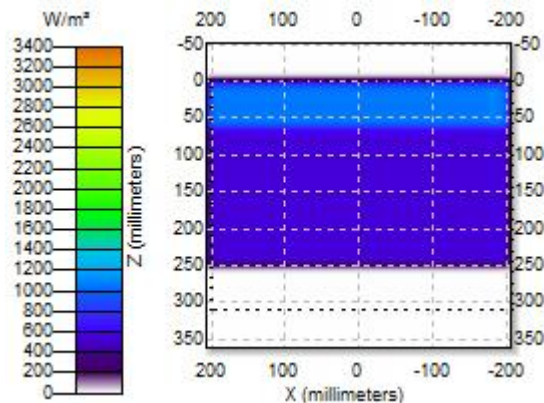


Fig. 7 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture horizontale sans réflecteurs additionnels au mois de Décembre.

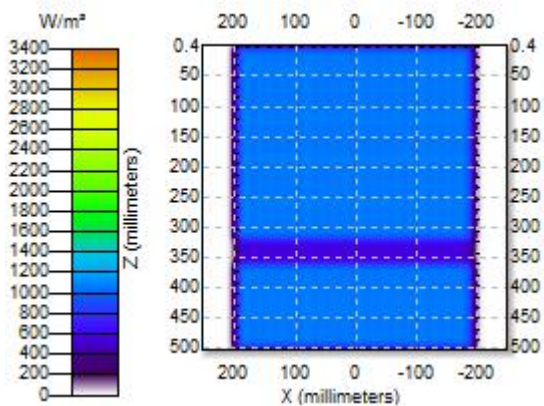


Fig. 8 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture inclinée sans réflecteurs additionnels au mois de Décembre.

On peut remarquer facilement que la surface couverte par les rayons concentrés est plus grande dans le cas du cuiseur à surface d'ouverture inclinée, ceci est dû principalement à la géométrie de ce dernier (sa parois d'avant est tronquée et la parois de la face arrière est plus haute), ce qui permet de collecter une plus grande quantité de rayonnement solaire dans ce type de cuiseur, ce phénomène est bien illustré sur la figure 9:

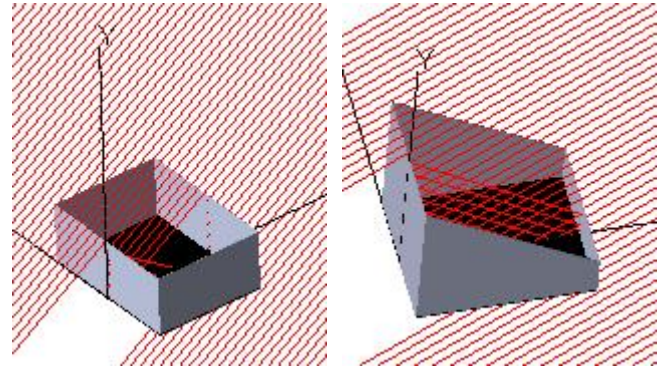


Fig. 9 Surface effective couverte par les rayons solaire dans le cas des cuiseurs sans réflecteurs.

B. Cuiseurs avec un réflecteur principal

Cette fois on ajoute un réflecteur additionnel aux deux cuiseurs et on réalise la même simulation qu'au premier cas. La figure (10) illustre la concentration des rayons solaires sur l'absorbeur des deux cuiseurs muni d'un réflecteur additionnel principal :

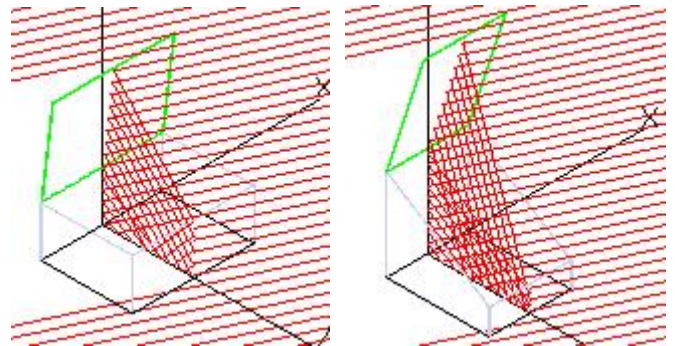


Fig. 10 Simulation des cuiseurs avec un réflecteur additionnel principal.

Les résultats de la simulation réalisée pour un jour type du mois de Décembre à Ghardaïa (Fig 11 et 12) montrent que l'ajout du réflecteur permet d'augmenter l'énergie captée dans les deux cas par rapport au cas précédent, la quantité d'énergie gagnée est plus importante sur l'absorbeur du cuiseur inclinée, ce qui permet d'améliorer ces performances optiques.

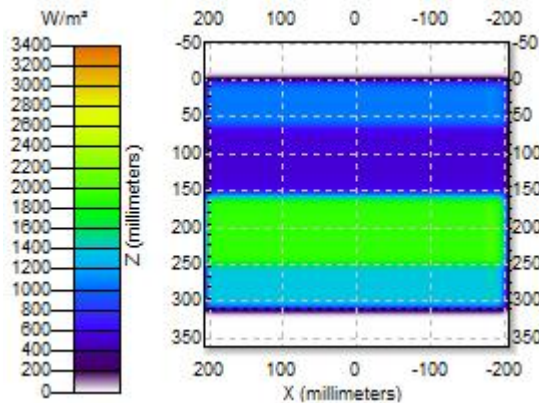


Fig. 11 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture horizontale avec un réflecteur additionnel principal.

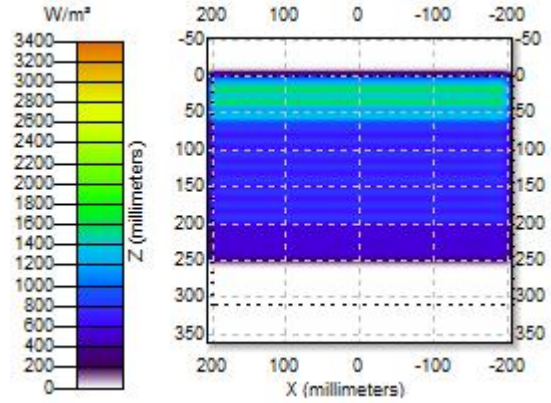


Fig. 14 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture horizontale avec un réflecteur additionnel secondaire.

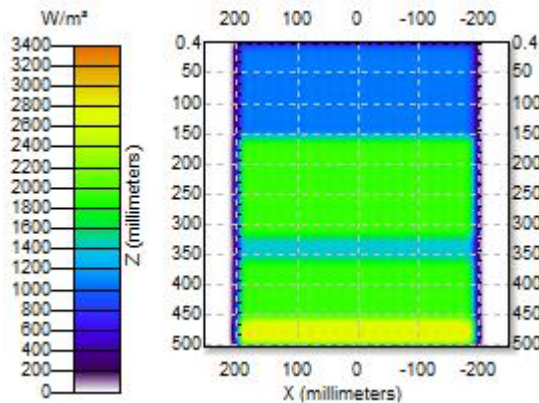


Fig. 12 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture inclinée avec un réflecteur additionnel principal.

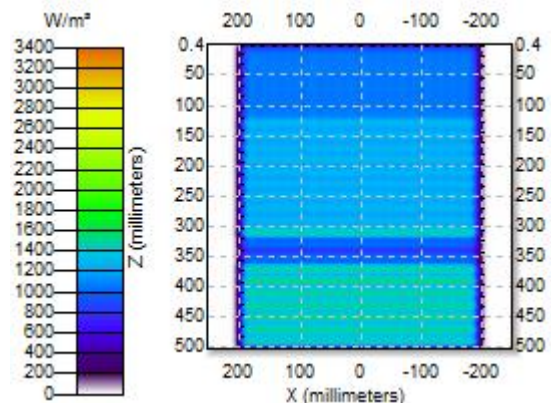


Fig. 15 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture inclinée avec un réflecteur additionnel secondaire.

C. Cuiseurs avec un réflecteur secondaire

On se propose maintenant d'ajouter un réflecteur secondaire sur la face avant des deux cuiseurs et on réalise la simulation. La figure (13) illustre la concentration des rayons solaires sur l'absorbeur des deux cuiseurs muni d'un réflecteur additionnel secondaire:

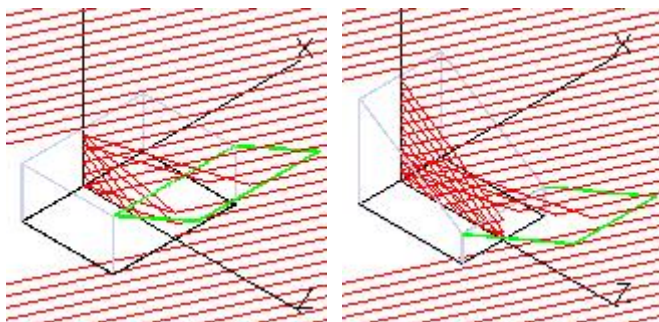


Fig.13 Simulation des cuiseurs avec un réflecteur additionnel secondaire.

Les résultats de la simulation (Fig 14 et 15) avec l'ajout d'un réflecteur secondaire montrent qu'il existe bien une quantité d'énergie gagnée par rapport au 1^{er} cas (sans réflecteur), mais elle est moins importante que le 2^{ème} cas (avec réflecteur principal), ce qui prouve que le réflecteur secondaire est plus intéressant en été, le réflecteur principal est mieux adapté pour l'hiver (voir Fig 16 et 17).

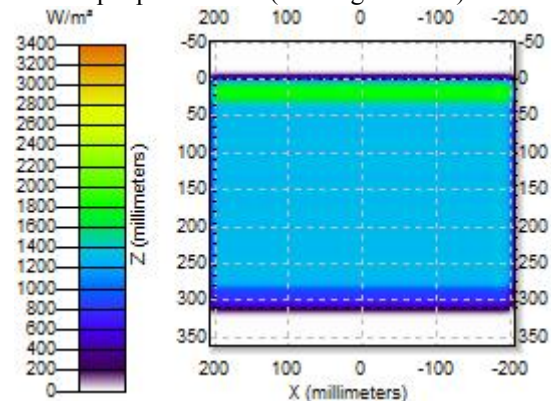


Fig. 16 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture horizontale avec un réflecteur additionnel secondaire au mois de Juin.

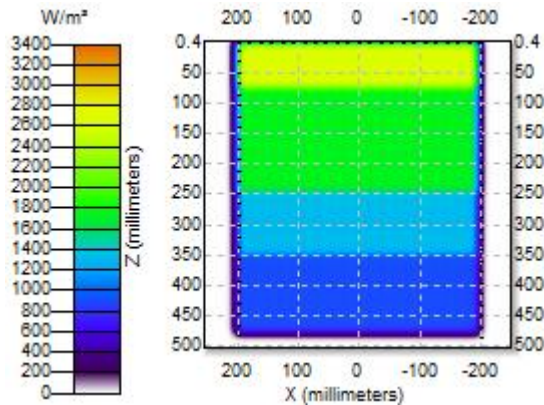


Fig. 17 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture inclinée avec un réflecteur additionnel secondaire au mois de Juin.

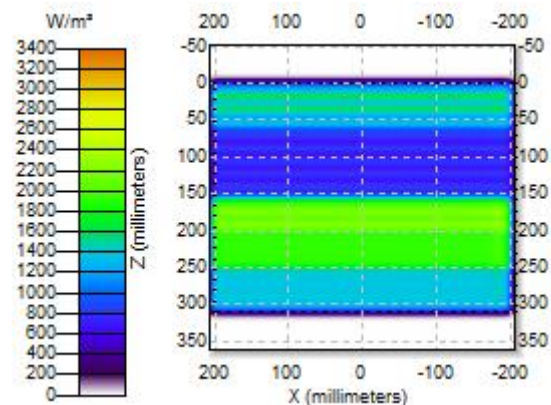


Fig. 19 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture horizontale avec deux réflecteurs additionnels au mois de Décembre.

D. Cuiseurs avec deux réflecteurs additionnels

On réalise la simulation maintenant en regroupons les deux réflecteurs additionnels en un seul cuiseur. La figure (18) illustre la réception et la réflexion des rayons solaires par les deux réflecteurs ajoutés :

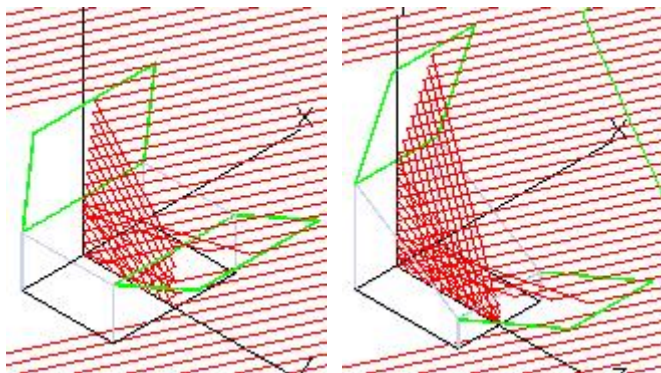


Fig. 18 Simulation des cuiseurs avec deux réflecteurs au mois de Décembre.

On remarque bien un chevauchement des rayons solaires à l'intérieur du cuiseur, ce qui permet d'augmenter l'énergie captée. En effet, on passe d'un rayonnement direct de ≈ 930 W/m^2 à des valeurs supérieures à 2000 W/m^2 pour les rayons concentrés. La surface concentrée est nettement supérieure dans le cas du cuiseur à surface d'ouverture inclinée, ce qui est intéressant en hiver, où le soleil est bas dans l'horizon.

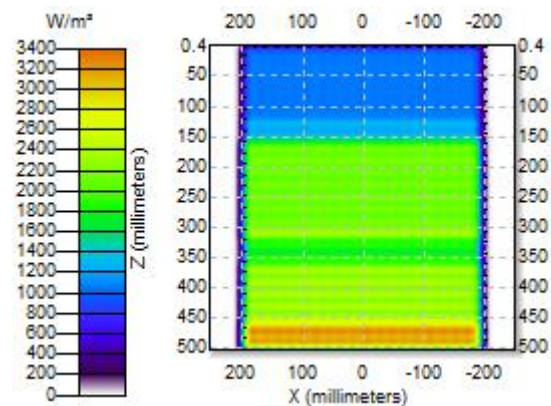


Fig. 20 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture inclinée avec deux réflecteurs additionnels au mois de Décembre.

E. Simulation et résultats

Maintenant on souhaiterait réaliser diverses simulations pour plusieurs jours de l'année sur les deux cuiseurs munis des deux réflecteurs additionnels. La figure 21 illustre la réception et la réflexion des rayons solaires sur l'absorbeur des deux cuiseurs en un jour type d'été (11 Juin) :

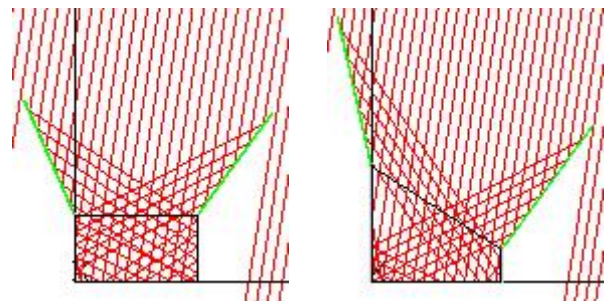


Fig. 21 Simulation des cuiseurs avec deux réflecteurs au mois de Juin.

Les résultats de la simulation réalisée pour un jour type du mois de Juin à Ghardaïa sont illustrés par les figures 22 et 23 suivantes :



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012

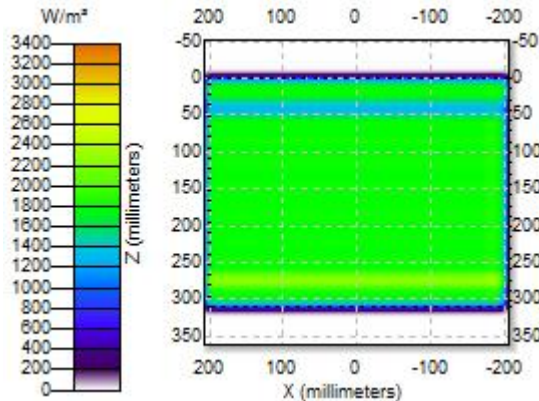


Fig. 22 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture horizontale avec deux réflecteurs additionnels au mois de Juin.

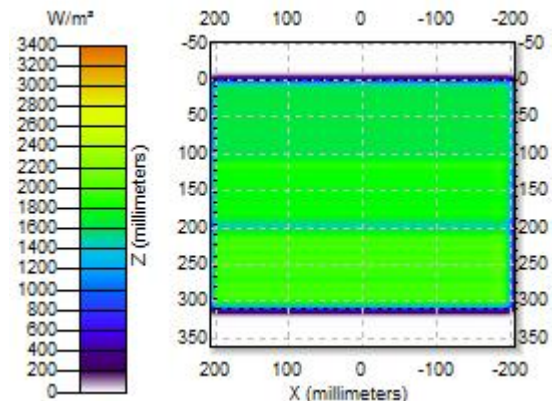


Fig. 25 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture horizontale avec deux réflecteurs additionnels au mois de Mars.

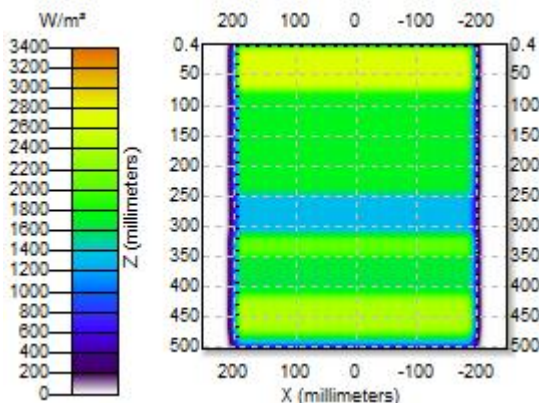


Fig. 23 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture inclinée avec deux réflecteurs additionnels au mois de Juin.

La figure 24 illustre la réception et la réflexion des rayons solaire sur l'absorbeur des deux cuiseurs en un jour type du printemps (16 Mars):

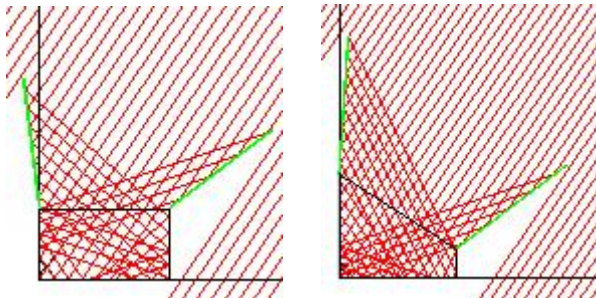


Fig. 24 Simulation des cuiseurs avec deux réflecteurs au mois de Mars.

Les résultats de la simulation réalisée pour un jour type du mois de Mars à Ghardaïa sont illustrés par les figures 25 et 26 suivantes :

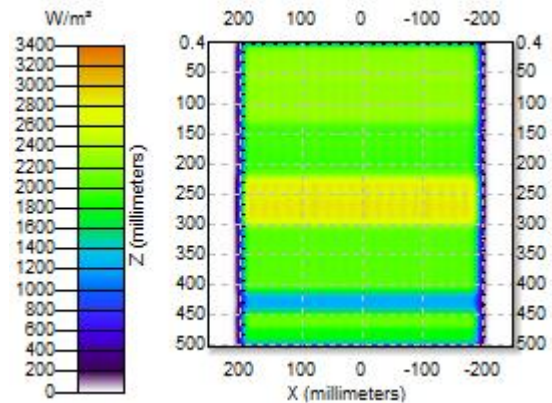


Fig. 26 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture inclinée avec deux réflecteurs additionnels au mois de Mars.

La figure 27 illustre la réception et la réflexion des rayons solaire sur l'absorbeur des deux cuiseurs en un jour type de printemps (16 Septembre):

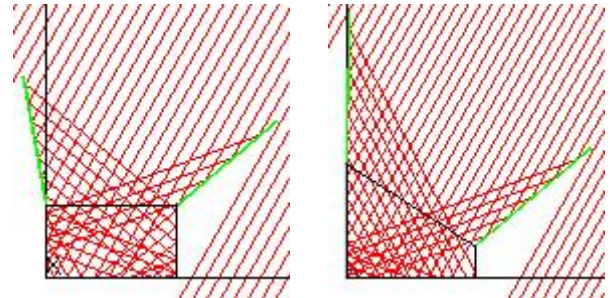


Fig. 27 Simulation des cuiseurs avec deux réflecteurs au mois de Septembre.

Les résultats de la simulation réalisée pour un jour type du mois de Septembre à Ghardaïa sont illustrés par les figures 28 et 29 suivantes :



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012

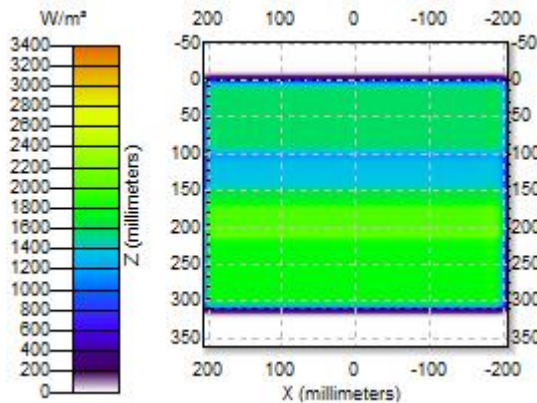


Fig. 28 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture horizontale avec deux réflecteurs additionnels au mois de Septembre.

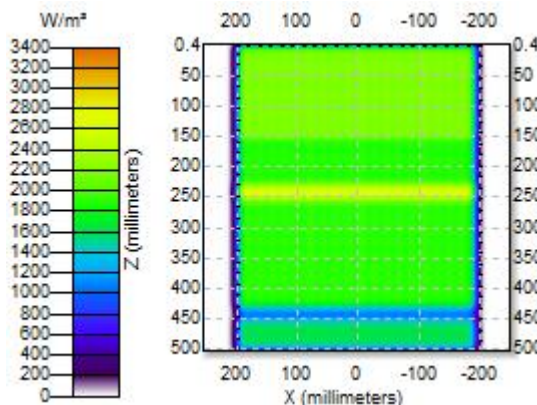


Fig. 29 Résultats de la simulation du cuiseur à surface d'ouverture inclinée avec deux réflecteurs additionnels au mois de Septembre.

D'une manière générale, on peut dire qu'on ajoute les deux réflecteurs on peut collecter un plus d'énergie dans les deux cas de cuiseurs, la quantité gagnée est toujours plus importante sur la surface absorbante du cuiseur incliné, ce qui est intéressant notamment en hiver, le facteur de concentration est multiplié par 2 (Fig 20), en été ce facteur se trouve presque multiplié par 3 (Fig 23), ce qui permet de réduire les temps de cuisson. Au printemps comme en automne, la concentration est aussi importante, la quasi-totalité de la surface concentrée atteint des valeurs élevées et le facteur de concentration est doublé ou triplé, ce qui permet la cuisson durant tous les mois de l'année (Fig 26 et 29).

V. CONCLUSIONS

Ce travail consiste en une simulation optique de la répartition des rayons solaires concentrés au niveau de la plaque absorbante de deux types de cuiseurs boîtes (à surface d'ouverture horizontale et à surface inclinée), des réflecteurs additionnels sont ajoutés aux cuiseurs pour connaître leur effet sur le comportement optique de l'éclairement solaire reçu.

Au point de vue optique; on peut dire que le cuiseur solaire boîte à surface d'ouverture inclinée présente de meilleures

caractéristiques comparé au cuiseur ordinaire, la surface tronquée permet de minimiser l'ombrage exercé sur la surface réceptrice de l'absorbeur, ce qui permet d'augmenter considérablement l'énergie reçue.

L'ajout des réflecteurs permet d'améliorer les performances optiques du cuiseur, le réflecteur principal est mieux adapté pour l'hiver et le réflecteur secondaire est plus approprié pour une utilisation en été.

Avec deux réflecteurs ajoutés, la quasi-totalité de la surface de l'absorbeur est couverte par la réflexion de l'éclairement solaire, le facteur de concentration est multiplié par 2 en hiver et par 3 en été. Au printemps comme en automne, la concentration est aussi importante, ce qui permet la cuisson durant toute l'année.

NOMENCLATURE

N	Numéro du jour	[-]
N_p	Angle journalier	°
φ	Latitude du lieu	°
ω	Angle horaire	°
δ	Déclinaison solaire	°
γ	Hauteur du soleil	°
χ	Azimut solaire	°
T_L	Facteur de trouble de Linke	[-]
m_A	Masse d'air optique	[-]
δ_R	Epaisseur optique de l'atmosphère	[-]
I_B	Eclairement direct horizontal	W/m^2
ε	Facteur d'excentricité	[-]
I_0	Constante solaire	W/m^2
G_0	Eclairement extraterrestre	W/m^2
θ	Angle des rayons avec la verticale au plan du réflecteur	°
α	Angle d'inclinaison des réflecteurs	°
β	Angle d'inclinaison de la vitre	°

REFERENCES

- [1] Document, 'Manuel de cuisson solaire', Edition commune SCI / iD COOK, Version traduite par: A. Dizier et F. Pignon, Paris, France, 2005.
- [2] J. Hofierka and M. Sári, 'The Solar Radiation Model for Open Source GIS: Implementation and Applications', Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference, Trento, Italy, 11-13 September 2002.
- [3] B. Gschwind, L. Ménard, M. Albuissou and L. Wald, 'Converting a Successful Research Project into a Sustainable Service: The Case of the SoDa Web Service', Environmental Modelling and Software, Vol.21, N°11, pp. 1555 - 1561, 2006.
- [4] Mirdha US, Dhariwal SR. Design optimization of solar cooker. Renewable Energy 2008;33:530-44.
- [5] Ibrahim SMA, El-Reidy MK. The performance of solar cooker in Egypt. Renewable Energy 1995;6-8:1041-1050.
- [6] SolidWorks, SolidWorks Corporation, 300 Baker Avenue, Concord, MA 01742. Available from: <http://www.solidworks.com/>.