

EFFET DES PARAMETRES GEOMETRIQUES D'UN REFLECTEUR PLAN VERTICAL SUR LES PERFORMANCES D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE MONO-INCLINE COUPLE A UN CONDENSEUR SEPRE

Benhammou Mohammed¹, Mouggar Houcine¹ et Marif Yacine¹

¹ *Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, Centre de Développement des Energies Renouvelables, BP. 478, Route de Reganne, Adrar, Algérie, 01000*
benhamou71@yahoo.fr

Reçu: 8-05-2013, en ligne 22-05-2013

RESUME

Dans ce présent travail, nous avons étudié l'influence des paramètres géométriques (hauteur et largeur) d'un réflecteur vertical sur les performances d'un distillateur solaire couplé à un condenseur séparé soumis aux conditions climatiques du Sud algérien. Une modélisation analytique détaillée du système a été présentée. L'effet de l'ombre est pris en considération dans ce modèle. Les résultats obtenus montrent que les performances du distillateur augmentent avec l'augmentation des dimensions du réflecteur. Cependant, ce dernier donne un effet négatif dans la période estivale à cause de l'effet d'ombre

Mots-clés: distillateur; condenseur; réflecteur vertical; rayonnement solaire; effet d'ombre.

ABSTRACT

In this present work, we studied the influence of geometric parameters (height and width) of a vertical reflector on the performances of a solar still coupled with a separated condenser under the climatic conditions of the Algerian South. A detailed analytic modelling of the system has been presented. The shade effect has been taken in consideration in this model. The gotten results show that the still performances increase with the increasing of the reflector surface, either in height or in width. However, this last gives a negative effect in the summery period because of the shade effect.

Key-Words: Still; condenser; vertical reflector; solar radiance; shade effect.

1. INTRODUCTION

Vu la pénurie d'eau potable dont plusieurs régions du globe souffrent par suite de la croissance démographique, de l'élargissement du secteur industriel et de la sécheresse qui semble avoir une tendance cyclique. Cela est une conséquence immédiate des changements climatique causé par le réchauffement de notre planète. Certes, le rejet des gaz à effet de serre dans l'atmosphère en est à l'origine.

De plus, les pays du nord africain et en particulier les pays du Maghreb sont caractérisés par des vastes déserts parsemés par plusieurs lacs d'eau appelés SEBKHA dont les eaux présentent une forte salinité ce qui les rend inexploitable par l'homme. La valorisation de ces réserves naturelles tant abandonnées peut se faire par le recours aux techniques de dessalement. Or, le dessalement conventionnel, outre qu'une opération très énergétivore, nécessite d'importantes infrastructures ce qui n'est pas toujours disponible dans les régions rustiques. D'autre part, l'utilisation des énergies d'origine fossile pour l'alimentation des usines de dessalement

peut, à long terme, apporter de graves conséquences sur la diversité végétale et animale dans ces régions. Donc, le dessalement par distillation solaire peut constituer une bonne alternative car l'énergie qui intervient dans cette technique (le solaire) est une énergie conservatrice de l'environnement, disponible en permanence et qui peut se convertir en chaleur à l'aide des capteurs solaires appropriés.

Le distillateur solaire est un appareil qui fonctionne avec l'énergie solaire et qui sert à produire de l'eau pure à partir d'une eau saumâtre. Dans le dessein d'améliorer la rentabilité de ces nouveaux systèmes, beaucoup de chercheurs de différentes nationalités ont effectué plusieurs études tant théoriques qu'expérimentales ce qui a abouti à l'apparition de nouveaux prototypes de distillateurs solaires de différentes configurations [1-8].

Dans ce contexte, nous allons présenter une étude menée sur un distillateur solaire avec une nouvelle configuration sous les conditions météorologiques du désert algérien. Ce prototype est formé d'un distillateur demi-chapelle couplé à un condenseur séparé et en dessus duquel il est monté un

réflecteur plan vertical pour réfléchir une quantité du rayonnement solaire qui y arrive sur le vitrage du distillateur. Cette étude va nous permettre d'investiguer l'influence des paramètres géométriques du réflecteur (la hauteur et la largeur) sur les performances du nouveau distillateur solaire.

2. DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU PROTOTYPE

Notre prototype se compose d'un distillateur solaire mono incliné relié à un condenseur séparé. Le distillateur comprend un bassin calorifugé dont le font teinté en noir joue le rôle d'un absorbeur sur lequel s'étend une couche d'eau saumâtre et il est fermé par-dessus avec un vitrage légèrement incliné. Le condenseur est une chambre calorifugée qui communique dans le distillateur à travers une ouverture.

Un réflecteur plan est monté sur le distillateur et est dirigé dans la direction du sud (figure 1).

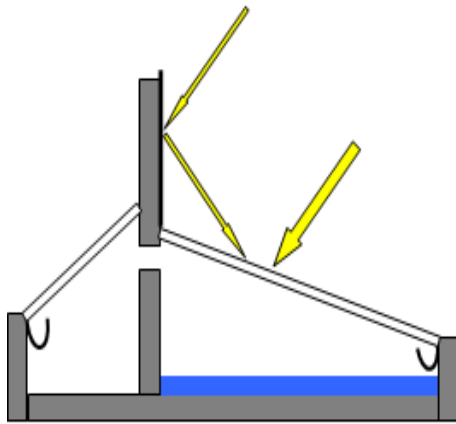


Figure 1: Schéma représentatif du prototype

Le fonctionnement du prototype peut être expliqué comme suit : D'abord le rayonnement solaire émanant du soleil arrive sur la couverture transparente du distillateur. Une quantité supplémentaire du rayonnement solaire réfléchie par le réflecteur arrive également sur le vitrage du distillateur. Ensuite, une partie du rayonnement incident se transmet dans le distillateur, il traverse la couche d'eau qui en absorbe une quantité et enfin il arrive sur la plaque d'absorption où il sera converti en chaleur. Cette chaleur entraîne l'augmentation de la température de la plaque qui va, à son tour, transférer par convection sa chaleur à la lame d'eau saline. La température de cette dernière va s'élever ce qui provoque son évaporation. Par suite de sa faible densité, la vapeur d'eau monte dans le distillateur et finit par se condenser sur la face interne du vitrage. De plus, en raison de la différence de pression entre les deux chambres, une quantité de vapeur d'eau va diffuser dans le condenseur et elle va finir par se condenser sur sa toiture.

3. BILAN OPTIQUE DU SYSTEME

Considérons un système constitué d'un capteur plan horizontal et un réflecteur plan vertical. Le réflecteur est placé à une distance H_0 au-dessus du plan du capteur comme il est illustré dans la figure (2). Dans l'hypothèse que le capteur est considéré comme un corps noir, donc tout rayonnement solaire y arrivant sera absorbé. Dans ce contexte, on établira le bilan optique du système comme suit :

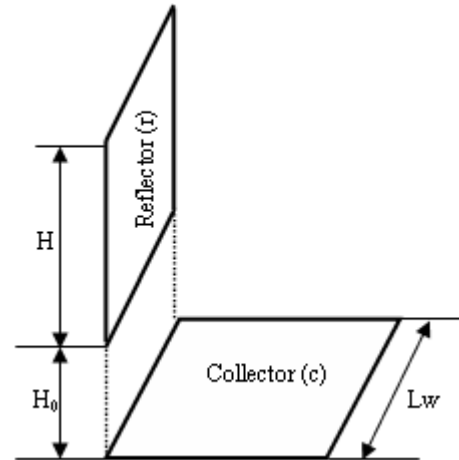


Figure 2: Croquis représentant un capteur horizontal avec un réflecteur vertical.

On désigne par I_r et I_c les rayonnements solaires arrivant sur le réflecteur et sur le capteur respectivement. I_r est donné par la relation suivante :

$$I_r = I_b \times \cos(\theta) + I_d \times F_{rs} + I_h \times \rho \times F_{rg} \quad (1)$$

I_b , I_d , I_h sont respectivement la composante directe du rayonnement solaire, la composante diffuse et le rayonnement solaire sur la surface du sol.

Nous avons également :

$$F_{rs} + F_{rg} + F_{rc} = 1 \quad (2)$$

F_{rs} , F_{rg} et F_{rc} sont les facteurs de forme avec le ciel, le sol et le capteur respectivement.

Puisque le réflecteur est en position verticale, son facteur de forme avec le ciel est égal à :

$$F_{rs} = \frac{1}{2} \quad (3)$$

A partir des relations (2) et (3), on peut déduire le facteur F_{rg} comme fonction du facteur de forme F_{rc} ainsi :

$$F_{rg} = \frac{1}{2} - F_{rc} \quad (4)$$

Le facteur de forme entre le réflecteur et le capteur F_{rc} peut se calculer à l'aide des abaques [9].

Le rayonnement solaire arrivant sur le capteur est composé de trois parties : directe, diffuse et réfléchie par le réflecteur.

$$I_c = I_b \times \sin(h) + I_d \times F_{cs} + I_r \times \rho_r \times F_{cr} \quad (5)$$

Mais puisque:

$$A_r \times F_{rc} = A_c \times F_{cr} \quad (6)$$

$$F_{cs} + F_{cr} = 1 \quad (7)$$

alors:

$$F_{cs} = 1 - F_{rc} \times \frac{A_r}{A_c} \quad (8)$$

4. BILAN THERMIQUE DU SYSTEME

La balance énergétique au niveau de la plaque d'absorption est donnée par la relation suivante :

$$\tau_v \tau_f \alpha_p G_h A_{eff} = M_p C p_p \frac{dT_p}{dt} + hc_{p-w} (T_p - T_w) A_p + har (T_p - T_a) A_p \quad (9)$$

Au niveau de la saumure, le bilan s'écrit :

$$M_w C p_w \frac{dT_w}{dt} = hc_{p-w} (T_p - T_w) A_p - hc_{w-v} (T_w - T_v) - hr (T_w - T_v) A_p - (\dot{m}_w + \frac{\dot{m}_{co}}{A_p}) L A_p \quad (10)$$

Avec [9,10] :

$$hc_{w-v} = 0.884 \times \left[(T_w - T_v) + \frac{P_w - P_v}{2016 - P_w} T_w \right]^{1/3} \quad (11)$$

$$\dot{m}_w = 9.15 \times 10^{-7} hc_{w-v} (P_w - P_v) \quad (12)$$

\dot{m}_w et h_{ar} représentent respectivement le débit d'évaporation et le coefficient de pertes thermiques global du côté arrière du bac.

Au niveau du vitrage :

$$M_v C p_v \frac{dT_v}{dt} = hc_{w-v} (T_w - T_v) A_p + hr (T_w - T_v) A_p + \dot{m}_w L A_p - hr (T_v - T_s) A_v - hw (T_v - T_a) A_v \quad (13)$$

On désigne par \dot{m}_{co} le débit massique de la vapeur d'eau qui diffuse dans le condenseur, lequel est déduit par l'équation suivante :

$$\dot{m}_{co} = -D \times S \times \frac{\partial C_v}{\partial x} \quad (14)$$

S étant l'aire de l'ouverture par laquelle communiquent le distillateur et le condenseur. C_v est la concentration massique de la vapeur d'eau.

La diffusivité massique D est évalué à partir de la relation semi empirique suivante [11]:

$$D = 435.7 \frac{T^{3/2}}{P \left(V_a^{1/3} + V_v^{1/3} \right)^2} \sqrt{\frac{1}{M_a} + \frac{1}{M_v}} \quad (15)$$

M_a , M_v , V_a et V_v sont respectivement la masse molaire de l'air et de la vapeur d'eau et le volume moléculaire de l'air et de la vapeur.

Au niveau du condenseur :

$$M_{co} C p_{co} \frac{dT_{co}}{dt} = \dot{m}_{co} L - hr (T_{co} - T_s) A_{co} - hw (T_{co} - T_a) A_{co} \quad (16)$$

Le coefficient d'échange par convection entre le vitrage de l'évaporateur et l'air ambiant est donné par la relation de Hottel et Woertz [12]:

$$hw = 5.67 + 3.86 \times V \quad (17)$$

Le coefficient d'échange par rayonnement peut s'écrire ainsi :

$$hr = \varepsilon_{eff} \sigma \left[\frac{T_i^4 - T_j^4}{T_i - T_j} \right] \quad (18)$$

avec :

$$\frac{1}{\varepsilon_{eff}} = \frac{1}{\varepsilon_i} + \frac{1}{\varepsilon_j} - 1 \quad (19)$$

La pression de saturation de la vapeur d'eau et la chaleur latente d'évaporation sont estimées par les relations suivantes [13] :

$$P = \exp \left(25.317 - \frac{5144}{T} \right) \quad (20)$$

$$L = 3.1615 \times 10^6 - 2.40714 \times 10^3 T \quad (21)$$

Le coefficient d'échange convectif entre la plaque d'absorption et la saumure est évalué par la corrélation suivante [9, 12, 14] :

$$hc = \frac{\lambda}{l} Nu \quad (22)$$

où :

$$Nu = CRa^n \quad (23)$$

Les facteurs C et n sont définis selon le régime laminaire ou turbulent ainsi :

$$C = 0.54 \quad \text{et} \quad n = \frac{1}{4} \quad \text{si} \quad 10^5 < Ra < 10^7 \quad (24)$$

$$C = 0.14 \quad \text{et} \quad n = \frac{1}{3} \quad \text{si} \quad 2.10^7 < Ra < 3.10^{10} \quad (25)$$

Ra est le nombre adimensionnel de Rayleigh, λ et l sont respectivement le coefficient de conduction thermique et la longueur caractéristique.

La température du ciel est peut être estimée par la relation suivante [12] :

$$T_s = T_a - 12 \quad (26)$$

Le coefficient de perte thermique arrière de la plaque d'absorption, est évalué à l'aide de la relation suivante :

$$har = \frac{1}{hw + \frac{e_{is}}{\lambda_{is}} + 2 \times \frac{e_p}{\lambda_p}} \quad (27)$$

L'aire de l'ombre d'une paroi verticale rectangulaire ou trapézoïdale se calcule à l'aide de la relation suivante :

$$\begin{cases} S_{ombr} = S_p \frac{\cos(\gamma_s - \gamma_p)}{\text{tg}(\psi)}, & \text{si} \quad \cos(\theta) \geq 0 \\ S_{ombr} = 0, & \text{si} \quad \cos(\theta) < 0 \end{cases} \quad (28)$$

S_p et S_{ombr} sont respectivement les aires de la paroi et de l'ombre. Les angles γ_s , γ_p , ψ et θ sont respectivement l'azimut du soleil, l'angle azimutal de la paroi considérée, la hauteur du soleil et l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur la paroi considérée.

La surface de captation effective se calcule comme suit :

$$A_{eff} = A_p - \sum_{i=1}^4 S_{ombr}^{(i)} \quad (29)$$

A_p étant la surface de l'absorbeur et l'exposant 'i' indique la direction d'orientation des parois verticales délimitant le bassin du distillateur.

La quantité d'énergie solaire reçue par la plaque d'absorption est donnée par l'équation suivante :

$$Q_s = \int_{TL}^{TC} G_h(t) A_{eff} dt \quad (30)$$

On désigne par χ la fraction du rayonnement solaire intercepté par les parois du distillateur durant une journée et elle est calculée par l'équation qui vient :

$$\chi = \frac{\int_{TL}^{TC} G_h(t) dt \sum_{i=1}^4 S_{ombr}^{(i)}}{A_p \int_{TL}^{TC} G_h(t) dt} \times 100 \quad (31)$$

L'angle azimutal de la paroi frontale est choisi comme référence $\gamma_p^{(r)}$ par rapport auquel les angles azimutaux des trois autres parois sont calculés :

$$\begin{cases} \gamma_p^{(2)} = \gamma_p^{(r)} + \frac{\pi}{2} \\ \gamma_p^{(3)} = \gamma_p^{(r)} + \pi \\ \gamma_p^{(4)} = \gamma_p^{(r)} - \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (32)$$

5. RESULTATS & DISCUSSION

Cette étude a été effectuée sous les conditions météorologiques de la ville d'Adrar. Cette ville, située au sud d'Algérie, est caractérisée par une altitude de 264m, une latitude de 27.53  et une longitude de 0.17 W. Pour se faire une idée sur l'impact d'un réflecteur vertical sur le comportement du prototype pendant toute une année, on a choisi quatre journées types de façon que chaque journée soit située à mi-saison à savoir : 17 janvier, 15 avril, 17 juillet et 15 octobre. De plus, le système d'équations différentielles résultant du bilan thermique est résolu numériquement par la méthode de différences finies implicites. Pour cela, nous avons conçu un programme en FORTRAN qui nous a permis d'examiner l'influence des dimensions du réflecteur sur les performances du distillateur solaire. Le long de cette étude, la surface de l'absorbeur et l'épaisseur de la saumure sont maintenues constantes et elles valent respectivement 0.7 m  et 2 cm. Le vitrage du distillateur est incliné de 10  environ. La paroi frontale du distillateur est dirigée dans la direction du Sud ce qui fait que l'angle azimutal référentiel est nul ($\gamma_p^{(r)} = 0$).

Puisque la largeur du réflecteur est égale à la largeur de l'absorbeur, alors à chaque fois qu'on la fait varier, on doit recalculer la longueur de l'absorbeur de manière que la surface de celui-ci reste constante. La distance de positionnement du réflecteur mesurée à partir de l'absorbeur est considérée constante le long de cette étude.

L'énergie solaire totale qui arrive sur le distillateur est constituée de deux parties : le rayonnement solaire horizontal global et le rayonnement solaire réfléchi par le réflecteur vertical. Dans le but d'examiner l'effet des dimensions du réflecteur sur l'énergie solaire totale arrivant sur le vitrage du distillateur, nous avons présenté dans les figures (3 et 4) la variation de l'énergie solaire totale quotidienne en fonction de

la hauteur et de la largeur du réflecteur. Il y a lieu d'observer deux choses. Premièrement, d'une manière générale, l'énergie solaire totale augmente avec l'augmentation des dimensions géométriques du réflecteur mais la hauteur semble avoir plus d'influence que la largeur surtout dans les périodes hivernale et automnale. Cela est dû au fait que la quantité d'énergie solaire réfléchi est proportionnelle à la surface du réflecteur et lorsqu'elle augmente, l'énergie solaire totale augmente en conséquence. Deuxièmement, dans la période estivale, les paramètres du réflecteur n'ont pratiquement aucun effet sur l'énergie totale car l'énergie solaire réfléchi par le réflecteur est négligeable.

Dans les figures (5 et 6), il est illustré la variation de l'énergie solaire totale effectivement reçue par l'absorbeur, laquelle est déduite en retranchant l'énergie solaire interceptée par les parois verticales de l'évaporateur de l'énergie solaire totale. En d'autre terme, l'effet de l'ombre est pris en considération dans le calcul de cette énergie. Les résultats montrent que l'énergie solaire quotidienne que l'absorbeur reçoit effectivement varie de la même manière que l'énergie solaire quotidienne arrivant sur le vitrage en fonctions des paramètres du réflecteur. Toutefois, on constate, dans la période estivale, que l'énergie solaire reçue diminue avec l'augmentation de la hauteur du réflecteur (figure 5) dû à l'effet d'ombre. Donc, on préconise de ne pas utiliser des réflecteurs verticaux dans la période estivale car cela va donner un effet négatif à cause de l'effet d'ombre.

Quant à la variation de la production quotidienne de distillateur solaire en fonction des paramètres du réflecteur vertical (figures 7 et 8), elle varie de la même manière que l'énergie solaire quotidienne reçue car cette dernière en est la cause.

Dans les figures (9 et 10), il est montré la variation en pourcentage de l'énergie solaire interceptée par les parois verticales délimitant l'évaporateur en fonction des paramètres du réflecteur. Il est aisé de constater que seulement la hauteur qui a une influence. En effet, dans la saison d'été, la quantité d'énergie solaire interceptée augmente avec l'augmentation de la hauteur du réflecteur. Ce résultat indique qu'en été, le réflecteur vertical, au lieu d'augmenter par réflexion la quantité

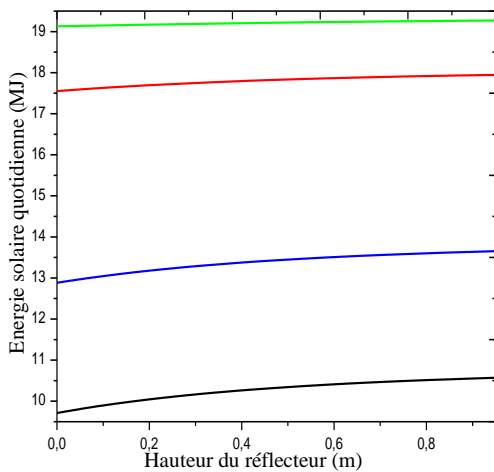


Figure 3: Variation de la quantité d'énergie solaire journalière arrivant sur l'évaporateur en fonction de la hauteur du réflecteur. Les graphes en noir, rouge, vert et bleu se rapportent respectivement aux journées types : 17 janvier, 15 avril, 17 juillet et 15 octobre.

d'énergie solaire reçue, il la diminue à cause de l'effet d'ombre.

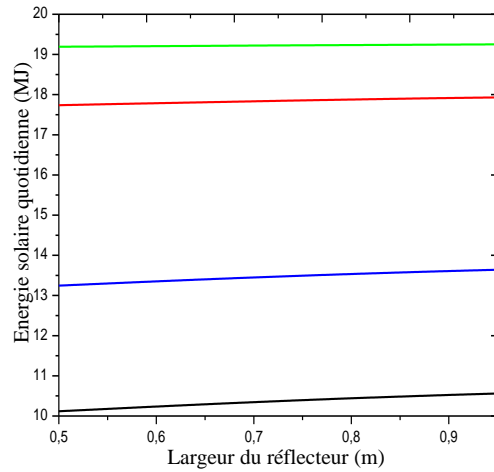


Figure 4: Variation de la quantité d'énergie solaire journalière arrivant sur l'évaporateur en fonction de la largeur du réflecteur. Les graphes en noir, rouge, vert et bleu se rapportent respectivement aux journées types : 17 janvier, 15 avril, 17 juillet et 15 octobre.

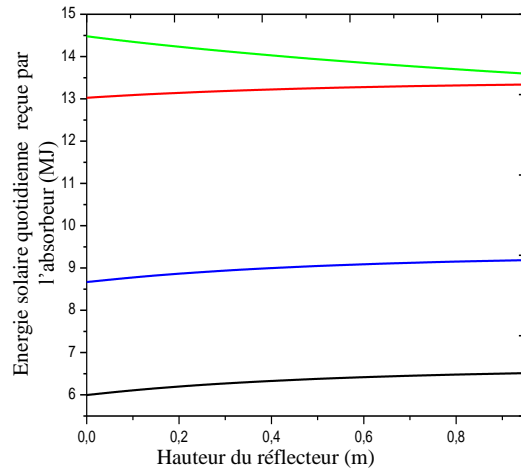


Figure 5: Variation de la quantité d'énergie solaire journalière effectivement reçue par l'absorbeur en fonction de la hauteur du réflecteur. Les graphes en noir, rouge, vert et bleu se rapportent respectivement aux journées types : 17 janvier, 15 avril, 17 juillet et 15 octobre.

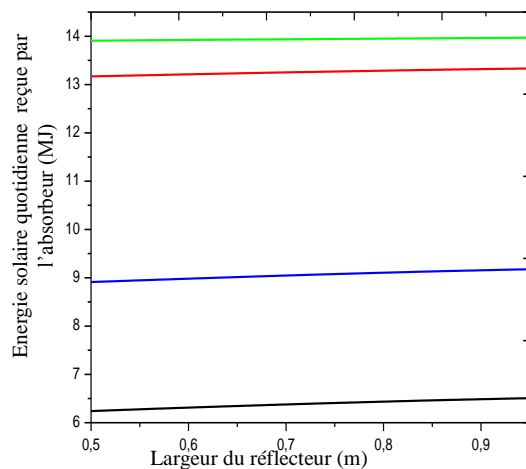


Figure 6: Variation de la quantité d'énergie solaire journalière effectivement reçue par l'absorbeur en fonction de la largeur du réflecteur. Les graphes en noir, rouge, vert et bleu se rapportent respectivement aux journées types : 17 janvier, 15 avril, 17 juillet et 15 octobre.

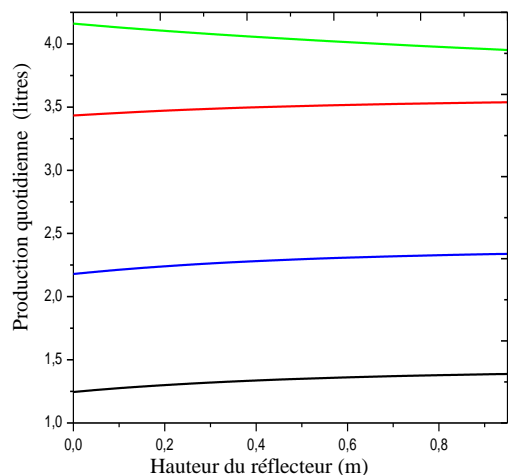


Figure 7: Variation de la production totale journalière du prototype en fonction de la hauteur du réflecteur. Les graphes en noir, rouge, vert et bleu se rapportent respectivement aux journées types : 17 janvier, 15 avril, 17 juillet et 15 octobre.

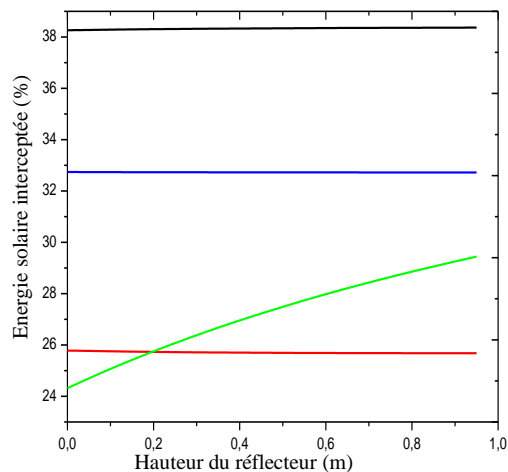


Figure 9: Evolution du pourcentage d'énergie solaire interceptée par les parois de l'évaporateur en fonction de la hauteur du réflecteur. Les graphes en noir, rouge, vert et bleu se rapportent respectivement aux journées types : 17 janvier, 15 avril, 17 juillet et 15 octobre.

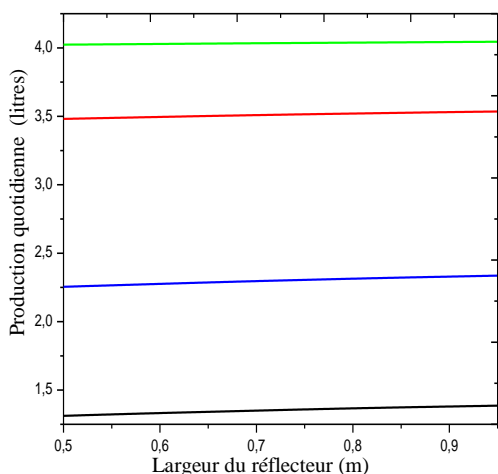


Figure 8: Variation de la production totale journalière du prototype en fonction de la largeur du réflecteur. Les graphes en noir, rouge, vert et bleu se rapportent respectivement aux journées types : 17 janvier, 15 avril, 17 juillet et 15 octobre.

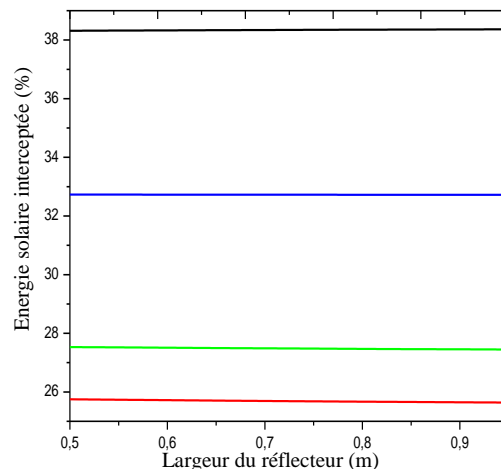


Figure 10: Evolution du pourcentage d'énergie solaire interceptée par les parois de l'évaporateur en fonction de la largeur du réflecteur. Les graphes en noir, rouge, vert et bleu se rapportent respectivement aux journées types : 17 janvier, 15 avril, 17 juillet et 15 octobre.

6. CONCLUSION

Dans le but d'étudier l'influence des paramètres géométriques d'un réflecteur vertical monté sur un distillateur solaire à effet de serre couplé à un condenseur séparé fonctionnant sous les conditions météorologiques du Sud d'Algérie, nous avons effectué une modélisation thermique du système. Celui-ci est divisé en plusieurs sous-systèmes de manière que chacun soit représenté par un seul nœud. Ensuite, nous avons établi le bilan d'énergie en chaque nœud et nous avons abouti à un système d'équations différentielles qui a été,

par la suite, discr tiss  par la méthode de différences finies implicite. Le système non linéaire résultant a été résolu par l'algorithme de Gauss -Seidel. De plus, nous avons développé un code de calcul qui nous a permis de simuler le fonctionnement du prototype. Sur la lumière des résultats obtenus, nous avons tiré les conclusions suivantes:

- Les performances du distillateur augmentent avec l'augmentation des dimensions du réflecteur car la quantité d'énergie solaire réfléchie est proportionnelle à la surface du réflecteur.
- La hauteur du réflecteur apparaît avoir plus d'influence que la largeur.
- En été, le réflecteur donne un effet négatif à cause de l'effet d'ombre. Pour cela, on recommande d'éviter chaudes.

d'utiliser des réflecteurs verticaux dans les saisons chaudes.

- Vu son faible facteur de forme, l'effet du réflecteur reste limité.

Références

- [1] D. K. Dutt, Ashok Kumar, J. D. Anand and G. N. Tiwari, 'Improved design of a double effect solar still', *Energy Convers. Mgmt* **34**, 507-517 (1993).
- [2] V. Belessiotis, K. Vorpoulos, E. Delyannis, 'Experimental and theoretical method for the determination of the daily output of a solar still: input-output method', *Desalination* **100**, 99-104 (1995).
- [3] C. Khelif, B. Touati, 'Caractérisation d'un distillateur   effet de serre', *Revue des Energies Renouvelables* **1**, 99-108 (1998).
- [4] B. Bouchekima, B. Gros, R. Ouahas, M. Didoun, 'The performance of the capillary film solar still installed in south Algeria', *Desalination* **137**, 31-38 (2001).
- [5] R. Tchinda, E. Kaptouom, 'Simulation numérique des performances d'un distillateur solaire fonctionnant en mode indirect', *African Journal of Science and Technology* **5**, 79-91 (2004).
- [6] Pr. Kaabi Abdenacer, N. Smakdji, 'Impact of temperature difference (water-solar collector) on solar still global efficiency', *Desalination* **209**, 298-305 (2007).
- [7] K. Kalidasa Murugavel, Kn. K. K. Chockalingam, K. Srithar, 'Progresses in improving the effectiveness of the single basin passive solar still', *Desalination* **220**, 677-686 (2008).
- [8] D. W. Medugu, L. G. Ndatuwong, 'Theoretical analysis of water distillation using solar still', *International Journal of Physical Sciences* **4**, 705-712 (2009).
- [9] John A. Duffie, William A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*, 2nd edition, Wiley Interscience (1991).
- [10] A. Madhlopa, C. Johnstone, 'Numerical study of a passive solar still with separate condenser', *Renewable Energy* **34**, 1668-1677 (2009).
- [11] J. P. Holman, *Heat Transfer*, 6th Edition, International Student Edition, Singapore, (1986).
- [12] Michel Daguenet, *Les S choirs Solaires: théorie et pratique*, Unesco, (1985).
- [13] D. W. Medugu, L. G. Ndatuwong, 'Theoretical analysis of water distillation using solar still', *International Journal of Physical Sciences* **4**, 705-712 (2009).
- [14] Bernard Eyglunent, *Manuel de thermique*, 2^{ me} édition, Hermes, (1997).