

Contribution à l'étude expérimentale et simulation des performances d'un distillateur Solaire

A. Deliou¹, H. Aburideh¹, N. Tigrine¹, B. Abbad¹ and A.Chikouche

Abstract— Notre travail consiste à étudier expérimentalement et théoriquement un distillateur solaire à effet de serre de type chapelle. Les essais de production d'eau distillée ont été effectués à partir d'une eau de puits de conductivité 1800 mS. L'étude numérique du système par l'application de la méthode des différences finies, nous a permis de mieux voir l'évolution temporelle des températures, la variation des caractéristiques de fonctionnement du distillateur comme l'efficacité interne, l'efficacité globale, rendement et facteur de performance. Le programme élaboré a été validé par l'étude comparative des résultats théoriques et expérimentaux pris dans les mêmes conditions.

Les mesures faites par notre programme dans les mêmes conditions vis-à-vis des températures, flux solaire ont été vérifiées par les mesures faites expérimentalement sur un distillateur réalisé au niveau de laboratoire d'une surface d'absorption de 1,2 m² en aluminium et une angle d'inclinaison du vitrage de 15°, sous les conditions climatiques de la ville de Bouismail.

La journée du 15 juillet a été choisie pour le calcul, la productivité journalière en eau distillée. Durant cette journée la production a atteint 5,1 litres ; sous une radiance de 1015,75 w/m² induisant une température ambiante de 37,5°C avec saumure qui atteint 70,9 °C, l'efficacité interne évaluée est de 35,23 % avec une efficacité globale de 53,42% et un facteur de performance de 2,33.10⁻⁴ l/kJ. D'autres essais de distillation solaire à partir d'eau de mer (20000mS) sont en cours de réalisation.

Keywords: Distillation solaire, Méthode des nœuds, Efficacités, Températures.

I. INTRODUCTION

L'eau est un élément vital pour l'être humain. Cependant une grande quantité de celle-ci se trouve dans la nature à l'état salin. Le sud algérien, est une des régions riches en eau salines. Par ailleurs, les besoins en eau distillée sont multiples. L'industrie pharmaceutique, les accumulateurs chimiques et les laboratoires de chimie et biologie. Pour satisfaire ces besoins en eau distillée les distillateurs solaires à effet de serre constituent une solution valable dont les avantages sont le faible coût de revient et la facilité d'optimisation de leurs dimensions. Le dessalement des eaux saumâtres ou des eaux de mer par distillation ordinaire est une opération très coûteuse car elle est grande consommatrice d'énergie.

A. Deliou¹, H. Aburideh¹, N. Tigrine¹, B. Abbad¹ and A.Chikouche, Unité de développement des équipements solaire, UDES, Route Nationale N° 11, BP 365 Bou-Ismaïl, 42415, Wilaya de Tipaza, Algérie Tel/Fax : 024410133

E-mail : del032003@yahoo.fr

Pour des pays pauvres en matières énergétiques et en eau potable, le dessalement solaire devient un enjeu à la fois économique et social. L'étude de ce type de distillateur devrait répondre à diverses questions, entre autres l'influence des paramètres de construction et météorologique qui régulent la production de l'eau distillée et la rentabilité du prototype [1-3]. Dans notre cas nous allons alimenter notre distillateur avec une eau de puits chargée, dont la conductivité est 1800mS. Au cours de cette étude nous présentons l'effet des paramètres internes et externes sur les performances, rendement et efficacités d'un distillateur solaire à effet de serre type chapelle conçu et réalisé par nos soins. L'étude théorique consiste à mettre en équations les échanges énergétiques intervenant au niveau du distillateur. Avant la résolution de ce système par une approche numérique basée sur la méthode itérative de Gauss Seidel nous avons placé des nœuds au sein de la maille. Nous terminerons par une étude comparative des résultats théoriques et expérimentaux pour mettre en évidence la validité du programme de calcul proposé.

II. DISTILLATION SOLAIRE A EFFET DE SERRE

Notre étude a été menée sur un distillateur constitué d'un bac en fibre de verre/polyester insaturé d'une surface d'absorption de 1,2 m² en aluminium dont le fond est teinté d'une peinture mate.

L'inclinaison du vitrage est de 15°, cette faible pente permettra d'éviter le décollement des gouttes [4]. Des rigoles situées latéralement permettent de recueillir par gravité l'eau condensée. La partie inférieure du bac est isolée par une couche de polystyrène et l'ensemble repose sur un châssis métallique (Figure 1). L'alimentation en eau de puits s'effectue par gravité à partir d'une citerne de capacité 200 L. Le bac en aluminium est rempli d'eau à hauteur de 2,5 cm (1/3 de la profondeur). Le niveau de ce dernier est maintenu constant par un appoint d'eau de la citerne

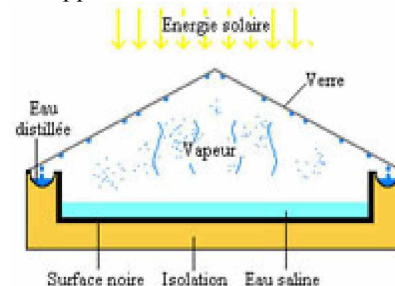


Fig. 1. Principe de la construction d'un distillateur solaire à effet de serre

III. BILAN THERMIQUE EN REGIME TRANSITOIRE

Certains modèles mathématiques rencontrés dans la littérature supposent que les transferts de chaleur et de masse (à l'intérieur du distillateur) s'effectuent directement entre les surfaces d'évaporation et de condensation. D'autres font intervenir une zone stagnante 'zone tampon', entre les deux surfaces en question [5 et 6]. Dans les deux cas des hypothèses simplificatrices sont considérées:

Le vitrage est propre ;

La température de chaque composant est uniforme ;

Le bac est assimilé à un corps noir ;

La chaleur perdue par addition d'eau d'appoint et celle emportée par le distillat sont supposées négligeables ;

Les parois latérales sont supposées adiabatiques ;

Les propriétés physiques des matériaux sont considérées constantes ;

La condensation se fait uniquement sur le vitrage (il n'y a pas de condensation sur les parois latérales) ;

La concentration de l'eau de puits n'intervient pas dans les transferts de chaleur et de masse à partir de et vers l'eau chargée ;

La condensation de l'eau sur le vitrage est considérée comme homogène et continue (le verre possède une bonne mouillabilité) ;

Le bac est étanche.

Par analogie entre les grandeurs thermiques et les grandeurs électriques, on peut appliquer les lois d'Ohm et de Kirshoff [7]. Nous considérons une section quelconque du système à l'instant t , soit i l'un des milieux représentés dans cette section, M_i sa masse en kg, cp_i sa chaleur spécifique en $J/kg \cdot ^\circ C$ et T_i sa température en $^\circ C$.

Le bilan au nœud i donne :

$$M_i \times cp_i \times \frac{dT_i}{dt} = \sum_{j=1}^n Q_{ij} + P_i \quad (1)$$

avec :

P_i : terme de source ou de puits.

Les équations de transferts de ce modèle :

Dans le vitrage :

- Face extérieure :

$$\frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g} \times \frac{dT_{ge}}{dt} + Q_{ga}^c + Q_{ga}^r = \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) \quad (2)$$

- Face intérieure :

$$\frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g} \times \frac{dT_{gi}}{dt} + \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) = Q_{wg}^c + Q_{wg}^e + Q_{wg}^{ev} + P_g \quad (3)$$

Dans l'eau :

$$\frac{M_w \times cp_w}{A_w} \times \frac{dT_w}{dt} + Q_{wg}^c + Q_{wg}^{ev} + Q_{wg}^r = P_w + Q_{bw}^c \quad (4)$$

Dans le bac absorbant :

$$\frac{M_b \times cp_b}{A_b} \times \frac{dT_b}{dt} + Q_{bw}^c + Q_{b-isi}^{cd} = P_b \quad (5)$$

Dans l'isolant :

- Face intérieure :

$$\frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_s} \times \frac{dT_{isi}}{dt} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) = Q_{b-isi}^{cd} \quad (6)$$

- Face extérieure :

$$\frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_s} \times \frac{dT_{isi}}{dt} + Q_{is-a}^r + Q_{is-a}^c = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) \quad (7)$$

La méthode que nous avons suivie est la résolution du système d'équations par « pas à pas ». Cette méthode nous permet de rendre compte de l'évolution des températures de tous les éléments de l'insolateur dans le temps et l'espace [8]. L'insolateur est découpé en tranches fictives égales (mailles), puis en établi le bilan des échanges énergétique qui interviennent aux niveaux des nœuds, places aux endroits dont on veut étudier l'évolution temporelle de leurs températures.

Les mesures expérimentales ont lieu à l'Unité de Développement des Equipements Solaire (UDES) de la ville de Bouismail (Algérie).

Nous effectuons la retenue de quelques paramètres à intervalles réguliers: Le rayonnement solaire global sur un plan horizontal à l'aide d'un Pyranomètre, les différentes températures à l'intérieur et à l'extérieur de la serre et la production d'eau distillée.

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Variation des puissances solaires absorbées

La figure 2 montre l'évolution, en fonction du temps, du rayonnement solaire global I_g , reçu par mètre carré de surface plane horizontale et de la puissance absorbée par l'eau a distillée P_w et par la vitre P_g . D'après cette figure, on remarque que la puissance atteint son maximum à 13^h30 (les valeurs maximales sont situées entre 11^h00 et 16^h30). La puissance absorbée par la vitre est supérieure à celle absorbée par la saumure entre 6h00 et 7h30, ceci indique que le distillateur n'a pas encore commencé à fonctionner.

La puissance absorbée par la vitre n'est pas considérable et reste toujours inférieure à celle absorbée par la saumure, grâce à ses caractéristiques géométriques (épaisseur faible) et optiques (coefficient d'absorption faible et coefficient de transmission élevé).

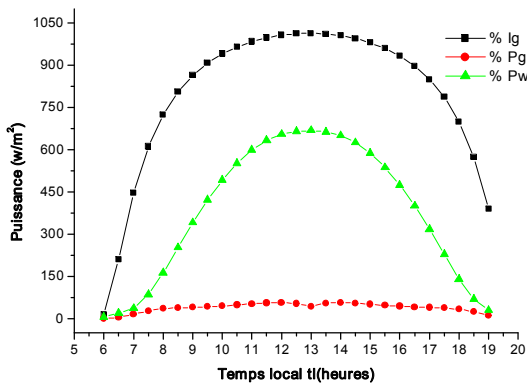


Fig. 2. Variation des puissances absorbées calculées en fonction du temps

B. Variation des températures

La relation montre que la température du ciel varie en fonction de la température ambiante, donc elles suivent la même allure. Elles atteignent leurs valeurs maximales à 13h00 d'où le flux solaire est important (figure 3)

TC : est la température du ciel.

Cette température est donnée en fonction de la température ambiante [9] :

En général, on utilise l'expression :

$$TC = 0.0552 (Ta)^{1.5} \quad (8) \quad , Ta \text{ en } ^\circ K.$$

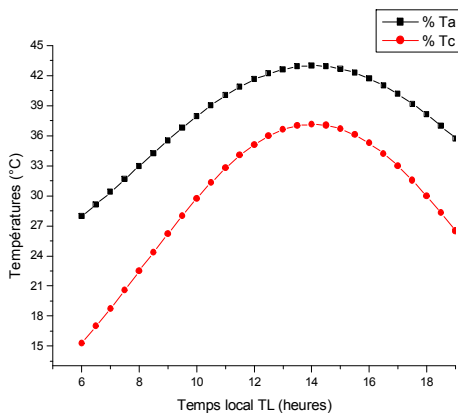


Fig. 3. Variation de températures calculées ambiante et de ciel

La figure 4 représente la variation temporelle des températures de chaque composant du distillateur.

Comme prévu dans cette figure, le bac absorbant et la face intérieure de l'isolant ont les températures les plus élevées, ceci est dû à la puissance absorbée par l'absorbant qui est importante et qui est supérieure à celle absorbée par la saumure et la vitre, ainsi, l'isolant est placé au dessous du bac absorbant en aluminium où ce dernier possède une conductivité élevée.

La température de l'isolant de la face arrière est la plus faible, ceci indique que l'isolant possède une conductivité thermique faible.

L'élévation des températures du vitrage intérieur et extérieur est dû à l'absorption par la vitre du rayonnement solaire incident et de la chaleur cédée par la surface d'évaporation (l'eau) par rayonnement, évaporation et convection naturelle.

La température de la face intérieure est légèrement supérieure à celle de la face extérieure, ceci s'explique par l'emprisonnement du rayonnement solaire infra rouge à l'intérieur du distillateur ce qui augmente la température intérieure de la vitre par rapport à l'extérieur, qui est soumise à l'action du vent et où l'échange par convection est favorisé.

Par absorption du flux solaire, l'eau s'échauffe entraînant ainsi l'élévation progressive de sa température.

La température du bac absorbant est légèrement supérieure à celle de la saumure en raison des caractéristiques de l'absorbant (coefficient d'absorption élevé et coefficient de transmission faible), et des pertes thermiques par la base qui sont négligeable (isolation parfaite).

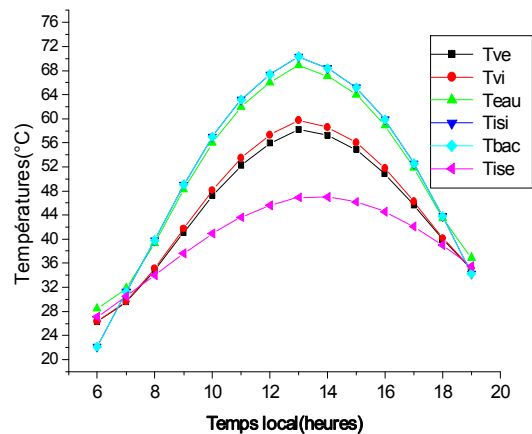


Fig. 4. Variation des différentes températures calculées en fonction de temps

avec :

Tve et Tvi : températures respectivement de vitre externe et interne.

Teau : température de l'eau.

Tbac : température de bac.

Tise et Tisi : températures respectivement de l'isolant externe et interne.

C. Variation du rendement, de l'efficacité et de la performance du distillateur

La production horaire de l'eau distillée est représentée sur la figure 5. Cette production commence à être considérable à partir de 10h00 du matin. En effet, la production de l'eau distillée dépend de l'écart entre les températures de la saumure et celle de la face intérieure de la vitre, où l'écart maximal est atteint à 13h30.

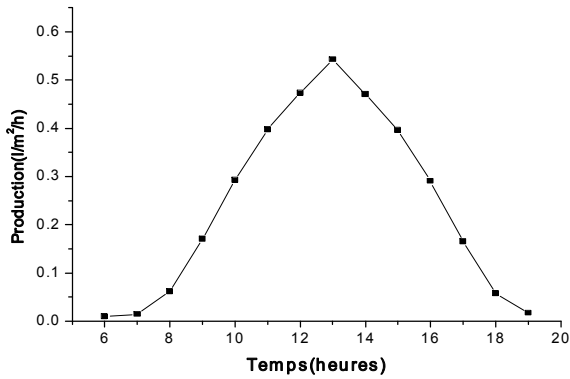


Fig. 5. Quantité horaire d'eau distillée calculée

Les variations de l'efficacité interne et de l'efficacité globale sont représentées dans la figure 6.

On constate que les deux variations suivent la même allure, mais celle de l'efficacité interne est plus élevée par rapport à celle de l'efficacité globale, cela s'explique par la définition de ces efficacités elles mêmes :

-L'efficacité globale est le rapport de la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation et du rayonnement global incident sur la vitre du distillateur.

-L'efficacité interne représente le rapport de la quantité de chaleur utilisée par l'évaporation et de la quantité de chaleur effectivement reçue par la masse d'eau.

Et comme le rayonnement solaire global incident sur la surface de la vitre est plus élevé que le rayonnement absorbé par l'eau, l'efficacité interne sera donc plus élevée que l'efficacité globale.

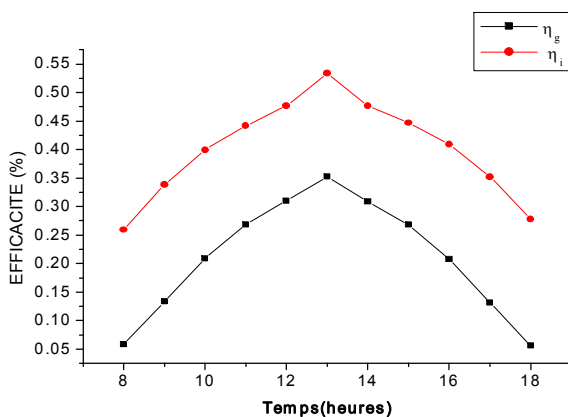


Fig. 6. Variation temporelle de l'efficacité globale et de l'efficacité interne calculés

Par ailleurs, si on raisonne en quantité d'eau douce produite par unité d'énergie solaire absorbée par l'eau, on peut constater (figure 7) que notre distillateur ne devient performant qu'entre 12h00 et 14h00, ceci est dû à la quantité d'eau produite qui est importante dans cet intervalle du temps.

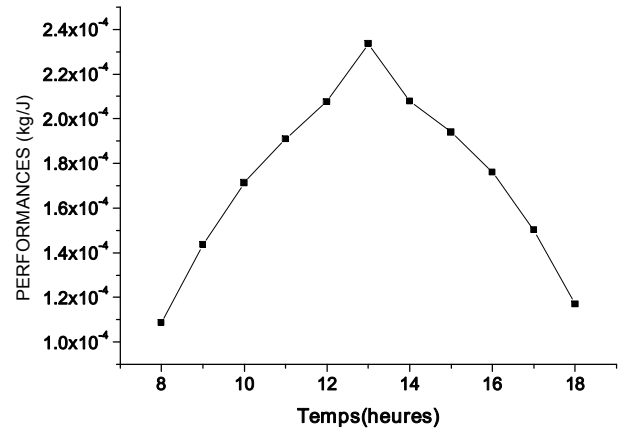


Fig. 7. Variation temporelle de la performance calculée

V. CONCLUSION

A travers les résultats obtenus, on a constaté une forte concordance entre les résultats de la simulation numérique et ceux de l'expérience. Les faibles écarts des résultats sont dus probablement d'une part à la précision de la mesure et d'autre part aux hypothèses utilisées dans la simulation numérique.

Les variations des températures nous suggèrent à dire que la production d'eau distillée dépend évidemment de l'énergie solaire incidente et aussi de la surface absorbante.

Ayant modélisé et simulé numériquement le distillateur solaire de type chapelle, on a remarqué que dans la durée d'insolation, la température des différents éléments, les efficacités interne et externe, le facteur de performance du distillateur suit l'évolution du rayonnement solaire. D'où les maxima se trouvent là où le rayonnement solaire est maximal.

REFERENCES

- [1] A. A. Moussa, Y. Zurigat, H. A. Hinai, S. A. Hiddabi "Modelling and Performance Analysis of a Solar Unit With Double- Glass Cover Cooling", Desalination, 143,173-182, 2002.
- [2] M A S Malik, G. Tiwari, S. Kumar, et M.S. Sldha, Solar distillation, Oxford, Pergamon Press, 1982.
- [3] Satcunanathan et Hansen, An investigation of some of the parameters involved in solar distillation, Solar Energy, vol. 14,
- [4] Alain Maurel, Dessalement de l'Eau de Mer et des Eaux Saumâtres, Technique & Documentation, Paris, France, 226 p. 2001.
- [5] P.I.Cooper, "Digital simulation of experimental solar still data", Solar energy, Vol.14.pp.451-468, 1973.
- [6] W.A.Kamal, "A theoretical and experimental study of the basin-type solar still under the arabian climatic conditions", solar & wind technology, Vol.5, N°2, pp.147-157, 1998.
- [7] M Daguët, Les séchoirs solaires, Théorie et Pratique, Unesco, Paris, 1985.
- [8] Zaidi Halima, Etude et optimisation des paramètres thermo physiques en vue de l'amélioration de la performance d'un distillateur solaire, Mémoire de Magister, Université de Constantine. 2006.
- [9] M .M. Maalem, Modélisation mathématiques d'un distillateur solaire statique, à effet de serre et de géométrie régulière. Thèse de 3ème cycle, U.S.T.H.B. 1983.