

CONTRIBUTION A LA DETERMINATION DES PERFORMANCES D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE A PLAQUE D'ABSORPTION IMMERGEE

H. ABDI & M. GAHGAH*

Station d'Expérimentation des Equipements Solaires en Milieu Saharien
B.P. 478, Route de Reggane, Adrar. Tél : (049) 96 51 68, Fax : (049) 96 04 92

*e-mail : moi_prem@yahoo.fr

RESUME :

Dans ce travail, on présente les résultats d'une étude théorique effectuée sur un distillateur solaire à plaque d'absorption immergée. Le modèle mathématique que nous avons développé a été utilisé pour simuler le comportement thermique du distillateur. L'effet de la capacité calorifique de la couche d'eau inférieure sur la production journalière du distillateur a été étudié.

Mots clés : distillation solaire, plaque suspendue, énergie solaire, stockage, eau distillée

INTRODUCTION

Parmi les nombreuses applications de l'énergie solaire en basse et moyenne température, la distillation solaire présente toujours un grand intérêt. Les distillateurs les plus utilisés sont les distillateurs simples à effet de serre. La conception de ces derniers ne présente pas des difficultés techniques. Cependant, leur production en eau douce reste insuffisante.

Nous avons proposé un distillateur solaire à simple effet dont une modification a été effectuée sur la disposition de la plaque d'absorption. Cette plaque divise l'eau contenue dans le bac en deux portions une couche supérieure et une couche inférieure, le contact entre les deux couches se fait à travers deux fentes situées aux deux extrémités de la plaque suspendue.

Le transfert de chaleur de la couche d'eau supérieure vers la couche d'eau inférieure est vice versa se fait à travers la plaque d'absorption et à travers les deux fentes. Le transfert de chaleur de la couche inférieure vers la couche supérieure durant la nuit sert à maintenir aussi longtemps que possible un gradient de température élevé entre l'eau saumâtre et le vitrage, d'où une amélioration de la production nocturne.

DESCRIPTION DU PROTOTYPE ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La figure 1 montre un prototype de distillateur à plaque d'absorption immergée, il est constitué d'un bac ouvert sur le côté exposé aux rayonnements solaires, le fond et les parois latérales sont isolés par une couche d'isolant. Pour réaliser l'effet de serre, le bac est fermé au-dessus par un vitrage incliné à 10° par rapport à l'horizontal, ce dernier a aussi le rôle d'une surface de condensation. L'eau contenue dans le bac est subdivisée en deux couches à l'aide d'une plaque d'absorption.

Le fonctionnement de ce distillateur est similaire à celui d'un distillateur conventionnel. Le rayonnement solaire entre à travers le vitrage et l'énergie solaire qui sera absorbée par l'absorbeur chauffe la masse d'eau contenue dans le bac et fait évaporer sa couche superficielle. Par le moyen de la convection naturelle la vapeur de l'eau monte et arrive au niveau de la surface intérieure du vitrage où la température de ce dernier est relativement inférieure de celle de la vapeur, et donc se condense. Les gouttes d'eau condensées glissent sur la surface inclinée du vitrage et se rassemblent dans un canal de récupération.

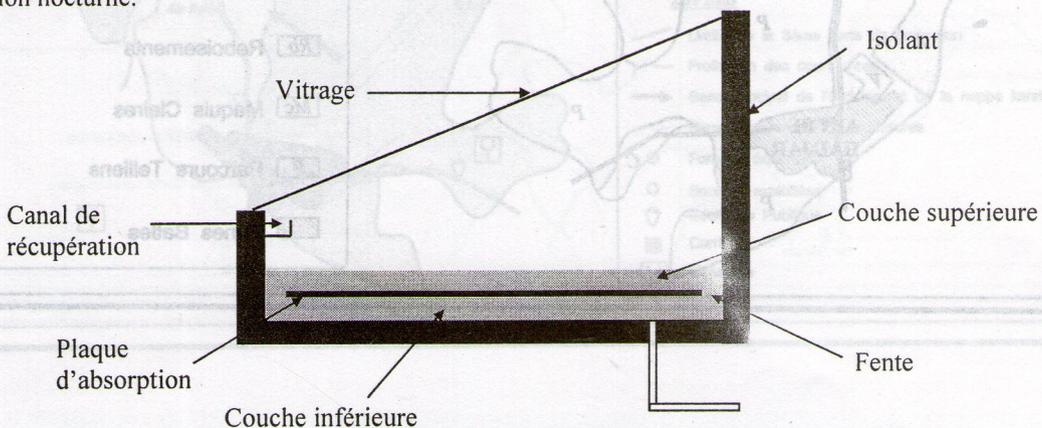


Fig. 1 : schéma de distillateur solaire à plaque d'absorption immergée.

ANALYSE THEORIQUE ET BILAN THERMIQUE

Dans notre analyse théorique et en tenant compte de la configuration du système proposé, nous avons adopté au problème les hypothèses simplificatrices suivantes :

- il n'y a aucune perte d'eau et de la vapeur d'eau ;
- les capacités thermiques du verre, de l'absorbeur et de l'isolant sont négligeables devant celle de l'eau ;
- il n'y a aucun gradient de température le long de l'épaisseur, de la couche d'eau supérieure, de la couche d'eau

- inférieure, du verre et de la plaque d'absorption ;
- l'effet de la condensation sur la transmissivité du vitrage est négligé ;
- l'air est transparent au rayonnement solaire ;
- les effets des bords sont négligés ;
- les coefficients de transfert de chaleur sont constants pour des petits intervalles de temps ;
- Les propriétés thermiques de l'eau dépendent de la température.

Le bilan thermique au niveau du vitrage, la couche d'eau supérieure, la plaque d'absorption et la couche d'eau inférieure s'écrit respectivement comme suit :

$$I_v \alpha_v A_v + m_D L A_{f1} + 0,9 \sigma (T_{f1}^4 - T_v^4) A_{f1} + h_{c,f1-v} (T_{f1} - T_v) A_{f1} = h_w (T_v - T_a) A_v + h_{r,v-s} (T_v - T_s) A_v \quad (1)$$

$$I_v \tau_v \alpha_{f1} A_{f1} + h_{p,f1} A_p (T_p - T_{f1}) = m_D L A_{f1} + 0,9 \sigma (T_{f1}^4 - T_v^4) A_{f1} + h_{c,f1-v} (T_{f1} - T_v) A_{f1} + (A_0 h_{c,f1-f2}) (T_{f1} - T_{f2}) + A_1 U_1 (T_{f1} - T_a) + M_{f1} C_{f1} \left(\frac{dT_{f1}}{dt} \right) \quad (2)$$

$$I_v \tau_v \tau_{f1} \alpha_p A_p = h_{p,f1} (T_p - T_{f1}) A_p + h_{p,f2} (T_p - T_{f2}) A_p \quad (3)$$

$$I_v \tau_v \tau_{f1} \alpha_{f2} A_0 + (A_0 h_{c,f1-f2}) (T_{f1} - T_{f2}) + h_{p,f2} (T_p - T_{f2}) A_p = (U_{ar} A_{f2} + U_2 A_2) (T_{f2} - T_a) + M_{f2} C_{f2} \left(\frac{dT_{f2}}{dt} \right) \quad (4)$$

Le débit de production d'eau distillée sera déduit par la relation suivante [1] :

$$m_D = 9,15 \cdot 10^{-7} h_{c,f1-v} (p_{f1} - p_v) \quad (5)$$

La pression de saturation de la vapeur et la chaleur latente de vaporisation de l'eau sont données par les formules suivantes [2] :

$$P = \exp(25.317 - (5144)T^{-1}) / 133.3 \quad (6)$$

$$L = 3.1615 \cdot 10^6 - (2.40714 \cdot 10^3) T \quad (7)$$

Avec T en Kelvin.

La température ambiante est modélisée par [3] :

$$T_a = \bar{T}_a + (\Delta T_a) \sin \pi \frac{(t - (t_{rise} + 180))}{720} \quad (8)$$

Pour les conditions initiales, on suppose qu'à l'instant initial (lever du soleil), la température de l'eau est égale à la température ambiante.

Les coefficients convectifs et radiatifs sont estimés par les relations suivantes en tenant comptes des températures et des propriétés thermiques de l'eau.

h_w : coefficient d'échange de chaleur dû au vent [1]

$$h_w = 5.7 + 3.8 V_v \quad (9)$$

Le coefficient d'échange de chaleur par convection entre la couche d'eau supérieure et le vitrage est donné par l'expression suivante [1] :

$$h_{c,f1-v} = 0,884 \left[(T_{f1} - T_v) + \frac{(p_{f1} - p_v)}{2016 - p_{f1}} T_{f1} \right]^{1/3} \quad (10)$$

Le coefficient d'échange de chaleur entre la plaque d'absorption et la couche d'eau supérieure est donné par [4]:

$$h_{p,f1} = \frac{0.54(Ra)^{1/4} k_{fl}}{1}$$

pour $10^5 \leq Ra < 2 \cdot 10^7$

$$h_{p,f1} = \frac{0.14(Ra)^{1/3} k_{fl}}{1}$$

pour $2 \cdot 10^7 \leq Ra < 3 \cdot 10^{10}$ (11)

Le coefficient d'échange de chaleur entre la couche d'eau supérieure et la couche d'eau inférieure à travers les fentes est donné par [5] :

$$h_{c,f1-f2} = 534.52 \quad (W/m^2 \cdot ^\circ C) \quad (12)$$

Le coefficient d'échange de chaleur entre la plaque d'absorption et la couche d'eau inférieure est donné par :

$$h_{p,f1} = \frac{k_{f2}}{Z_2} \quad (13)$$

Le coefficient de transfert radiatif entre le vitrage et le ciel est estimé par [1] :

$$h_r = \frac{\sigma \epsilon_v (T_v^2 - T_s^2)(T_v^2 + T_s^2)}{(T_v - T_a)} \quad (14)$$

Une fois que le système est modélisé, nous avons élaboré un programme de calcul qui permet de déterminer la température moyenne de chaque section ainsi que les performances du système. Les paramètres utilisés dans le calcul numérique sont donnés dans le tableau 1.

Tableau 1 : paramètres utilisés dans le calcul numérique

paramètre	Valeur numérique	Paramètre	Valeur numérique
α_v	0.05	σ	$5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
α_p	0.95	ϵ_v	0.88
α_{f1}	0.3	A_p	0.94 m^2
α_{f2}	0.3	A_{f1}	1 m^2
τ_v	0.95	A_{f2}	1 m^2
V_v	2 m/s	A	1.015 m^2
		A_0	0.06 m^2

RESULTATS ET INTERPRETATIONS :

Les résultats obtenus sont relatifs à la journée du 16/février/2003, pour le site de Adrar dont les coordonnées sont les suivantes :

Latitude 27.88°, longitude -0.17° W, altitude 264 m, albédo 0.2.

Sur la figure 2, nous avons présenté la variation de la température des différents composants du distillateur, afin d'analyser son comportement thermique. On constate que la courbe relative à la température de la couche d'eau inférieure durant le fonctionnement nocturne se situe au-dessus de celle de la plaque d'absorption et de celle de la couche d'eau supérieure. Ceci nous permet de dire que la chaleur stockée dans la couche d'eau inférieure sert à maintenir aussi longtemps un gradient de température entre la couche d'eau supérieure et le vitrage.

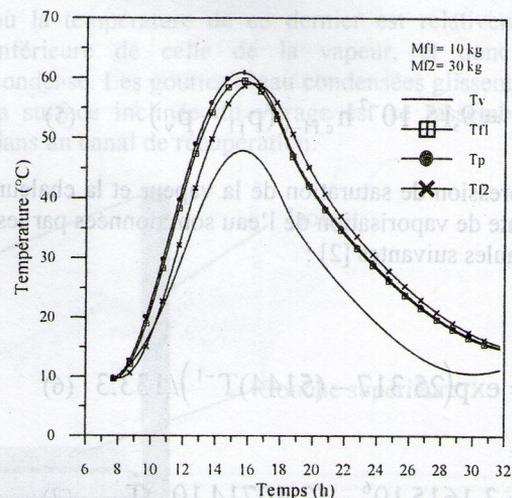


Fig. 2 : Variation des températures Tv, Tfl, Tp et Tf2 en fonction du temps.

Les principaux facteurs qui influent sur le fonctionnement d'un distillateur solaire sont : La capacité calorifique, le coefficient de pertes thermiques global, le rendement optique, le gradient de température entre la source chaude et la source froide, l'irradiation solaire et la température ambiante.

Nous avons analysé l'influence de la variation de la masse d'eau de la couche inférieure sur les performances du système. Les figures 3, 4 et 5 montrent respectivement l'effet de la variation de la masse (M_{f2}) sur la variation de la température de vitrage, la température de la couche d'eau supérieure et la production horaire d'eau distillée.

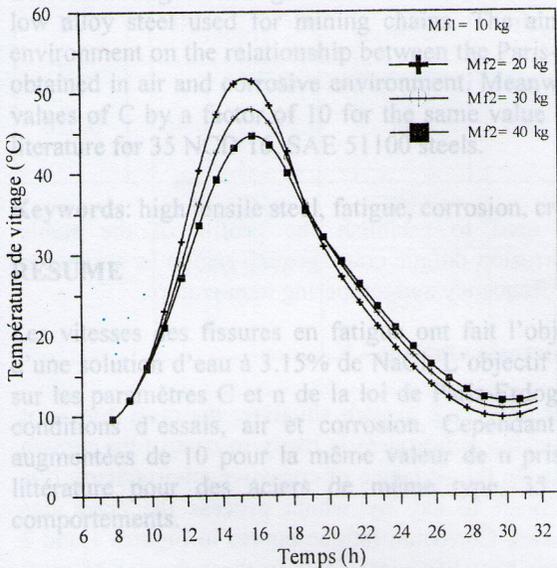


Fig. 3 : Variation de la température de vitrage en fonction du temps.

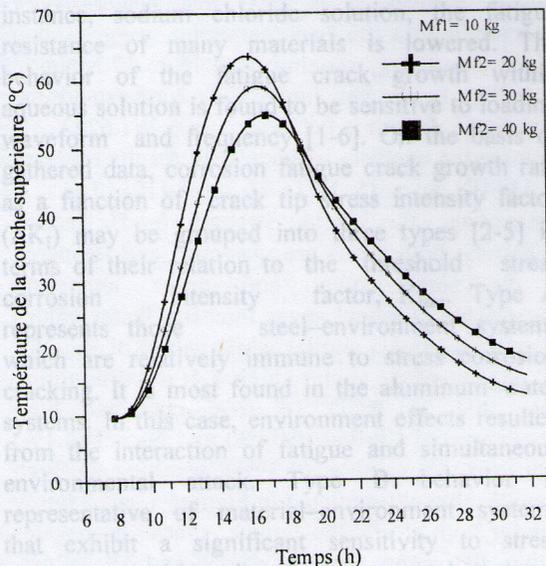


Fig. 4 : variation de la température de la couche d'eau supérieure en fonction du temps.

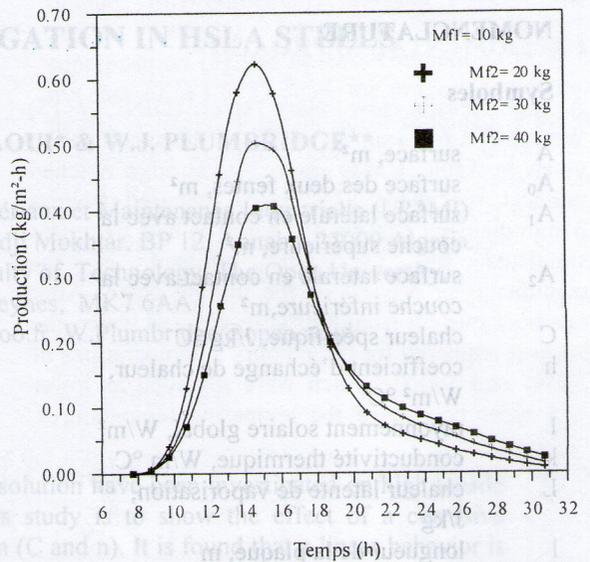


Fig. 5 : Variation de la production horaire en fonction du temps

En analysant les trois figures, on constate que l'augmentation de la masse d'eau de la couche inférieure entraîne une diminution de la température de vitrage, la température de la couche d'eau supérieure ainsi que la production horaire de l'eau distillée durant le fonctionnement diurne, ceci est dû à l'inertie du système. Alors que le stockage d'une quantité de chaleur importante permet d'améliorer la production nocturne.

Dans le tableau 2, on présente la production journalière système pour différentes masses d'eau de la couche inférieure.

Tableau 2: production journalière du distillateur

Masse de la couche d'eau inférieure (kg)	Production journalière (kg/m²-jour)
20	4.22
25	4.02
30	3.82
35	3.62
40	3.44

CONCLUSION

Le modèle numérique que nous proposons, permet de prévoir le comportement thermique d'un distillateur solaire à plaque d'absorption immergée. L'analyse des résultats obtenus montre que, l'augmentation de la masse d'eau de la couche inférieure a un effet très important sur la production journalière d'eau distillée.

Dans la suite de ce travail, l'effet de la position de la plaque d'absorption sera étudié afin de trouver la position optimale qui permet d'avoir une production journalière maximale.

Le coefficient d'échange de chaleur par convection

NOMENCLATURE

Symboles

- A surface, m²
- A₀ surface des deux fentes, m²
- A₁ surface latérale en contact avec la couche supérieure, m²
- A₂ surface latérale en contact avec la couche inférieure, m²
- C chaleur spécifique, J/kg °C
- h coefficient d'échange de chaleur, W/m² °C
- I rayonnement solaire global, W/m²
- k conductivité thermique, W/m °C
- L chaleur latente de vaporisation, J/kg
- l longueur de la plaque, m
- M masse, kg
- m_D débit massique, kg/m²-s
- P pression, mmHg
- Ra nombre de Rayleigh
- T température, °C
- t temps, s
- z₂ épaisseur de la couche d'eau inférieure, m
- U coefficient de pertes thermiques, W/m²°C
- V vitesse du vent, m/s
- α absorptivité
- σ constante de Stephane-Boltzman, W/k⁴m²
- τ transmissivité

Indices

- a ambiance
- ar arrière
- c convection
- e évaporation
- f1 couche supérieure du fluide
- f2 couche inférieure du fluide
- p plaque d'absorption
- r rayonnement
- v vitrage, vent

REFERENCES

[1] J. A. Duffie and W. A. Beckman " Solar Engineering of Thermal Processes, by John wiley & sons, 2nd ed. New york. 1991

[2] Harpreet S. K. Watra, "Performance of a solar still predicted effect of enhanced evaporation area on yield and evaporation temperature", Solar Energy, 1996, vol. 56, no.3, pp. 261-266.

[3] J. R. Howeel, B. Richard, G. C. Vliet, "Solar Thermal Energy Systems, Analysis and Design "New York. 1982

[4] M. Necati Ozisik, "Heat transfer a basic approach", MC Graw-Hill. 1985

[5] H. P. Garg and R. Usha," Theoretical and experimental studies on collector/storage water heater", Solar Energy, vol. 29, no.6, pp.467-478. 1982

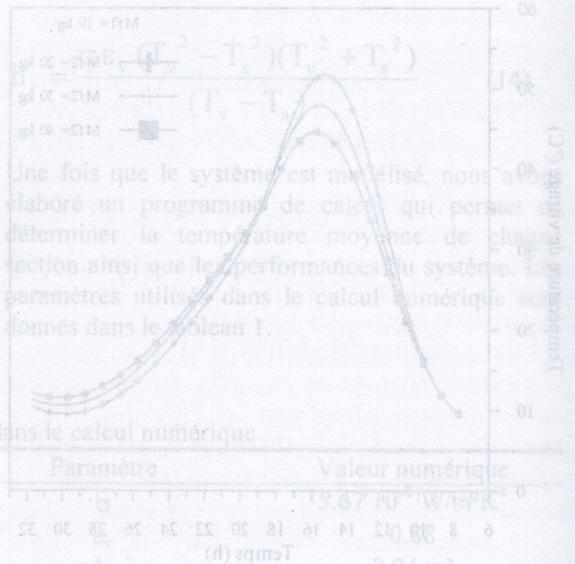


Fig. 3 : Variation de la température de vitrage en fonction du temps.

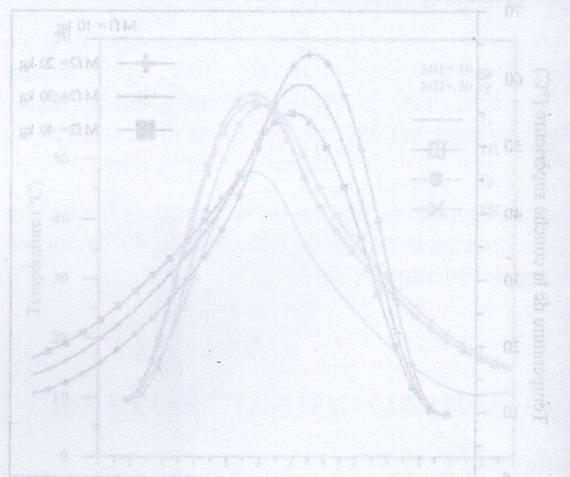


Fig. 2 : Variation des températures T_v, T_p et T_{f1} de la couche d'eau supérieure en fonction du temps.

Fig. 4 : variation de la température de la couche d'eau supérieure en fonction du temps.