



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



Transfert de Chaleur et de Mass dans un Distillateur Solaire à Multi-étages

Karroute Salima^{#1}, Abla Chaker^{#2}

[#] Département de physique énergétique, Université Mentouri
Constantine, Algérie

¹karrolima@yahoo.fr

²chakamine@yahoo.fr

Abstract— L'eau est source de vie, c'est un élément indispensable à la survie des êtres vivants, malheureusement certaines régions de notre planète sont menacées par de graves pénuries d'eau. Le manque d'eau ne concerne pas seulement les régions confrontées à la sécheresse ou à une démographie galopante. Il touche également une grande partie du monde industrialisé.

Face à ce problème crucial, le dessalement des eaux salées et/ou des eaux saumâtres apparaît comme l'une des solutions possibles à la survie de l'humanité. Parmi les techniques utilisées dans ce domaine, et pour des besoins relativement faibles d'eau potable, la distillation solaire peut être une solution très intéressante surtout pour les zones arides et désertiques.

La rareté de l'eau potable n'est pas le seul défi de notre siècle, le changement climatique, l'épuisement des ressources en énergies fossiles et plus généralement la pollution du milieu naturel, privilégient l'utilisation de l'énergie solaire, cette dernière offrant l'avantage d'être inépuisable, gratuite et respectueuse de la santé et de l'environnement.

L'objectif de ce travail est l'étude théorique et numérique de transfert de chaleur et de mass dans un distillateur à multi étages. Après avoir établi les bilans thermiques en régime transitoire, une approche numérique basée sur la méthode de RUNGE-KUTTA est utilisée pour la résolution des équations qui régissent le fonctionnement de ce système. Un intérêt particulièrement est porté à l'estimation de la production journalière du distillateur..

Mots clés— distillateur multi-étages, distillateur plan, capteur, production rendement,

I. INTRODUCTION

La distillation solaire présente une solution économique et écologique pour les problèmes de la rareté de l'eau potable surtout dans les régions désertiques et éloignées, Cependant, leur production en eau douce reste insuffisante. Dans le but d'améliorer la productivité de distillateurs solaires, plusieurs modèles ont été proposés autour du monde de puis la construction du premier distillateur en 1872. Dans ce travail en s'intéresse plus beaucoup sur l'estimation de la production journalière d'un distillateur à multi-étages et l'amélioration apporté par cet distillateur, comparèrent a un distillateur conventionnel.

II. ETUDE THEORIQUE

A. Description du distillateur à multi-étage

Un distillateur solaire conventionnel est composé essentiellement d'un bac de surface noire contenant une lame d'eau et d'une couverture vitrée inclinée qui sert à obtenir l'effet de serre nécessaire au processus de l'évaporation ou de condensation. L'eau s'évapore et se condense sur la vitre. Le sel reste donc sur la membrane noire. Les gouttes d'eau pure ruissellent, à cause des forces de gravité, jusque dans les goulottes. On récupère ainsi l'eau filtrée dans ces goulottes. La production est de l'ordre de 2 à 5 litres d'eau pure par mètre carré et par jour.

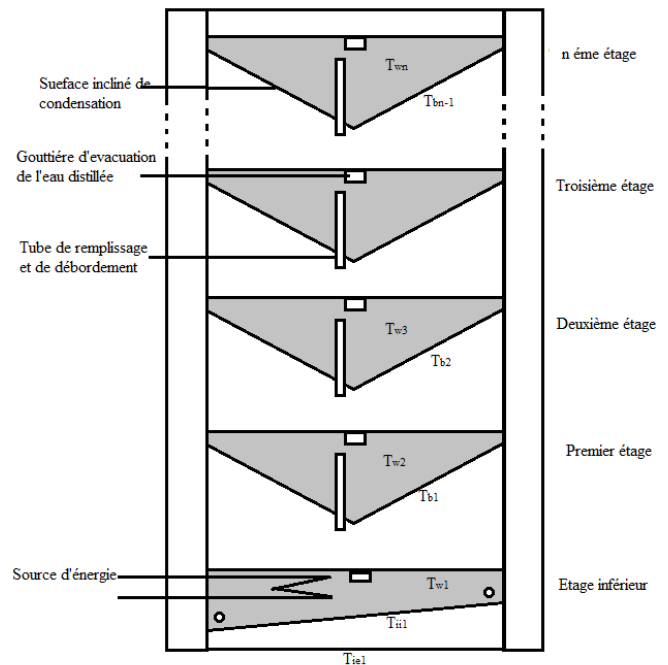


Fig. 1 A sample line graph using colors which contrast well both on screen and on a black-and-white hardcopy



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



Contrairement au distillateur simple décrit précédemment, le système de distillation présenté dans ce travail se compose de deux unités différentes: la source de chaleur (un capteur solaire et l'unité de distillation (Fig. 1). Le distillateur est basé sur la construction d'un bâti constitué de plusieurs bassins contenant de l'eau saline, superposés les uns sur les autres et qu'on qualifie d'étages. Seul, le bassin inférieur est alimenté en énergie thermique. Lorsque l'eau de ce bassin est réchauffée, elle s'évapore et se condense à la surface inférieure du bassin conique situé au-dessus. Il y a une formation de gouttes d'eau qui s'écoulent vers une gouttière qui les conduit au stockage.

B. Bilan thermique

L'échange thermique, à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur, se réalise par l'intermédiaire de quatre modes de transferts thermiques, par convection, par rayonnement, par évaporation et par conduction. Le bilan thermique décrit ci-dessous est pour un distillateur à deux étages :

- Bilan thermique de l'isolant inférieur

- Côté extérieur de l'isolant

$$\frac{m_{i1}C_i}{2} \cdot \frac{dT_{ie1}}{dt} + Q_{ria1} + Q_{cia1} + = Q_{cdi1} \quad (1)$$

- Côté intérieur de l'isolant

$$\frac{m_{i1}C_i}{2} \cdot \frac{dT_{ii1}}{dt} + Q_{cdi1} = Q_{cwi1} \quad (2)$$

- Bilan thermique de la masse d'eau 1

$$m_{w1}C_w \cdot \frac{dT_{w1}}{dt} + Q_{cwi1} + Q_{c1} + Q_{e1} + Q_{r1} + m_{d1}C_w(T_{w1} - T_a) = Q_{cap} \quad (3)$$

- Bilan thermique du bac 1

$$m_bC_b \cdot \frac{dT_{b1}}{dt} + Q_{c12} = Q_{c1} + Q_{e1} + Q_{r1} \quad (4)$$

- Bilan thermique de la masse d'eau 2

$$m_{w2}C_w \cdot \frac{dT_{w2}}{dt} + Q_{cwi2} + Q_{ewi} + Q_{rwi2} + m_{d2}C_w(T_{w2} - T_a) = Q_{c12} \quad (5)$$

- Bilan thermique de l'isolant supérieur

- Côté intérieur de l'isolant

$$\frac{m_{i2}C_i}{2} \cdot \frac{dT_{ii2}}{dt} + Q_{cdi2} = Q_{cwi2} + Q_{rwi2} + Q_{ewi} \quad (6)$$

- Côté extérieur de l'isolant

$$\frac{m_{i2}C_i}{2} \cdot \frac{dT_{ie2}}{dt} + Q_{ria2} + Q_{cia2} + = Q_{cdi2} \quad (7)$$

Avec :

T_{ie1} : La température de la face extérieure de l'isolant inférieur.

T_{ii1} : La température de la face intérieure de l'isolant inférieur.

T_{w1} : La température de la masse d'eau de l'étage inférieur.

T_{b1} : La température du bac du premier étage.

T_{w2} : La température de la masse d'eau du premier étage.

T_{ii2} : La température de la face intérieure de l'isolant supérieur.

T_{ie2} : La température de la face extérieure de l'isolant supérieur.

t : Le temps

m_i la masse d'un élément constitutif du distillateur et C_i sa chaleur massique

Q_{ria1} , Q_{ria2} : Les flux échangés par rayonnement entre le côté extérieur de l'isolant1 et l'isolant2 et le milieu ambiant.

Q_{cia1} , Q_{cia2} : Les flux échangés par convection entre le côté extérieur de l'isolant1 et l'isolant2 d'un part et le milieu ambiant d'autre part.

Q_{cdi1} , Q_{cdi2} : Les flux échangés par conduction dans l'isolant..

Q_{cwi1} , Q_{cwi2} : Le flux échangé par convection entre les côtés intérieurs de l'isolant et les masses d'eau.

Q_{e1} : Le flux de chaleur échangé par évaporation pour la première masse d'eau.

Q_{ewi} : Le flux de chaleur échangé par évaporation entre la masse d'eau et l'isolant.

Q_{c1} : Le flux échangé par convection entre le côté extérieur du bac et la masse d'eau.

Q_{r1} : Le flux échangé par rayonnement entre le côté extérieur du bac et la masse d'eau.

Q_{c12} : Le flux échangé par convection entre le côté intérieur du bac et la masse d'eau.

Q_{rwi2} : Le flux échangé par rayonnement entre le côté intérieur de l'isolant et la masse d'eau.



Q_{cap} : Le flux de chaleur apporté par le capteur.

C. La production du distillateur

La production du distillateur est la quantité d'eau distillée journalière produite par unité de surface d'évaporation .

$$m_d = \frac{Q_{ev}}{L_v} \quad (8)$$

Q_e : flux de chaleur utilisé pour l'évaporation de l'eau donné par la relation [1], [2] :

$$Q_e = h_{ev} \cdot (T_w - T_b) \cdot A_w \quad (9)$$

Avec h_{ev} le coefficient d'évaporation est donné par [3] :

$$h_{ev} = 16.273 \cdot 10^{-3} \cdot h_{cvw} \cdot \frac{(P_w - P_b)}{(T_w - T_b)} \quad (10)$$

P_w , P_v les pressions partielles de la vapeur d'eau respectivement aux températures T_w et T_b

Les pressions partielles de l'eau et de la vitre sont données par R. Dev, S. A. Abdul-Wahab, G.N. Tiwari [4]:

$$P = \exp \left[25.317 - \left(\frac{5144}{273 + T} \right) \right] \quad (11)$$

L_v : Chaleur latente d'évaporation elle dépend de la température.

$$L_v(T) = 3408 - 5.21 \cdot T + 0.01 \cdot T^2 - 1.194 \cdot T^3 \quad (12)$$

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Nos résultats montrent que la production journalière d'un distillateur plan est de 2,98 litres par m² et par jour, alors que celle du distillateur à multi-étages est de 8,42 litres par m² et par jour. Les courbes représentées dans la fig. 2 permettent de constater aisément que le préchauffage améliore la production journalière du distillateur plan de près 54,78 %.

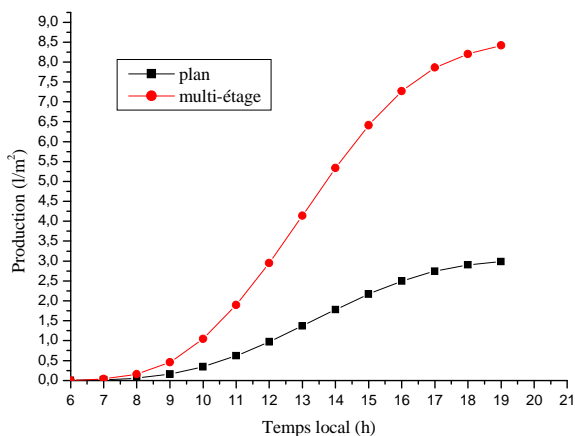


Fig. 2 Variation de la production cumulée en fonction de temps local

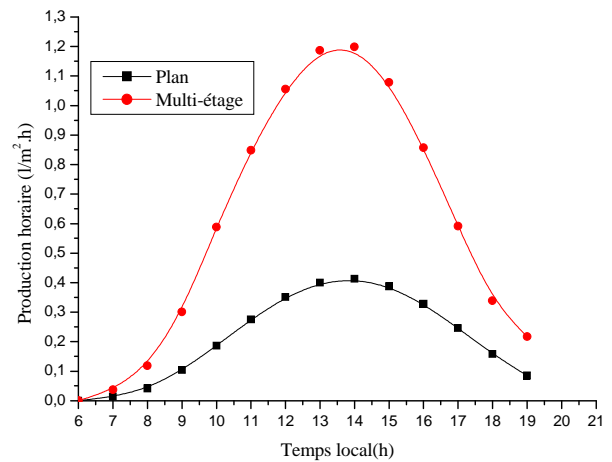


Fig. 3 Variation de la production horaire en fonction du temps local

La production horaire dans les deux systèmes (distillateur plan et à multi-étages) est quasi nulle pendant les premières heures de la journée (entre 6^h et 8^h du matin) pendant laquelle le système doit, partant de la température ambiante atteindre sa température de fonctionnement. A partir de ce moment il apparaît une différence de la production entre les deux systèmes qui augmente avec la croissance du rayonnement solaire pour atteindre une valeur maximale à 14 heures. Par la suite cette différence décroît avec le temps solaire (fig. 3).

Notre résultat a bon accord avec les résultats de F.T.Ducru [5], qui sont trouvés que la production journalière du distillateur à multi-étage est de l'ordre de 10 litres par m² et par jour.

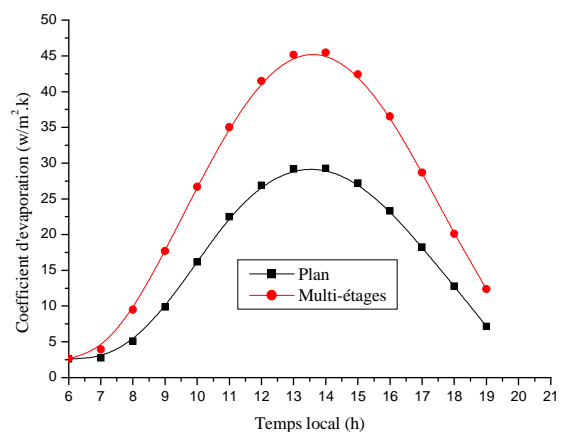


Fig. 4 Variation de coefficient d'évaporation, pour l'étage inférieur du distillateur à multi-étage et le distillateur plan, en fonction du temps local



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

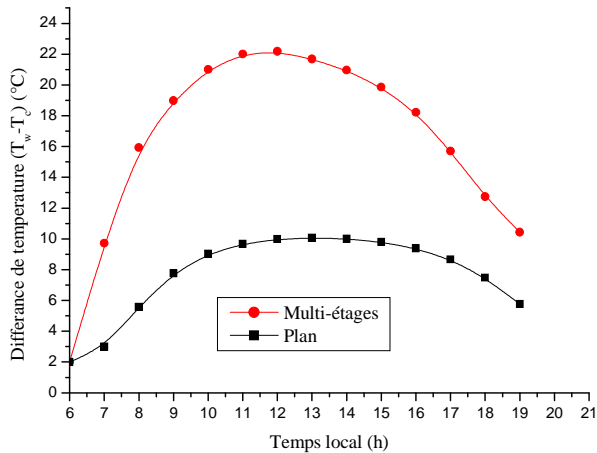


Fig. 5 Variation de différence de température entre la masse d'eau et la surface de condensation en fonction du temps local

La fig. 4 indique la variation des coefficients de transfert de chaleur par évaporation, la courbe est similaire à celle de la fig. 3. Ce qui explique que la production du distillateur à multi-étages est plus grande que celle du distillateur conventionnel.

L'exposition de la vitre du distillateur plan sous les rayons solaires permet d'élever sa température, est diminuer par conséquence, la différence de température entre la saumure et la surface de condensation, cette différence joue un rôle principal pour l'amélioration du taux d'évaporation et la production de l'eau potable. Le distillateur à multi-étage a l'avantage de recevoir l'énergie nécessaire pour réchauffer l'eau d'une source externe (capteur solaire), et les surfaces de condensation restent froides, ce qui explique la courbe dépeinte par la fig. 5.

IV. CONCLUSIONS

Les résultats obtenus, permettent de constater les conclusions suivantes :

- La production du distillateur à multi-étages est de 8,42 litres par m² et par jour, alors que celle du distillateur plan est de 2,98 litres par m² et par jour.
- Le refroidissement des surfaces de condensations a une fait positif sur l'amélioration du taux d'évaporation est de la production de l'eau potable.
- L'utilisation du distillateur à multi-étage apporté une amélioration considérable de près de 54,78% par rapport au distillateur conventionnel.
- Une source thermique, autre que le solaire peut être envisagée (provenant par exemple de la cogénération)[6].

REFERENCES

- [1] V.K. Dwivedi, G.N. Tiwari, *Experimental validation of thermal model of a double slope active solar still under natural circulation mode*, Desalination 250 (2010) 49–55.
- [2] R. Dev, G.N. Tiwari, *Characteristic equation of a hybrid (PV-T) active solar still*, Desalination 254 (2010) 126–137.
- [3] JK. Sampathkumar, T.V. Arjunan, P. Pitchandi, P. Senthilkumar, *Active solar distillation—A detailed review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 1503–1526.
- [4] R. Dev, S. A. Abdul-Wahab, G.N. Tiwari, *Performance study of the inverted absorber solar still with water depth and total dissolved solid*, Applied Energy 88 (2011) 252–264.
- [5] F. T. Ducru, *Dessalement de l'eau de mer bilan des dernières avancées technologiques, bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes*, Agence Française de Développement, Janvier 2009.
- [6] A. Khedim, K. Schwarzer, C. Faber, C. Müller, *Production décentralisée de l'eau potable à l'énergie solaire*, Desalination 168 (2004) 13–20.