

TRANSFERTS THERMIQUES DANS LE SYSTEME COUPLE DISTILLATEUR-CAPTEUR

Z. Haddad, A. Chaker, N. Boukerzaza

Université Mentouri-Constantine, Laboratoire de Physique Energétique, Algérie

Haddadz@yahoofr

RESUME :

Selon la banque mondiale, il est probable que le manque d'eau douce sera l'un des principaux facteurs qui vont limiter le développement économique durant les prochaines décennies. De nombreuses études technico-économiques ont montré que si les besoins en eau douce sont relativement faibles, la distillation solaire apparaît comme une solution intéressante. Néanmoins le rendement d'un tel procédé reste fort limité. Aussi dans le cadre de notre travail, nous envisageons d'améliorer ce dernier par le couplage d'un distillateur avec un capteur. Nous avons établi le bilan thermique du système puis calculé les températures au niveau de chaque partie. Le système d'équations régissant le fonctionnement de ce système, est résolu en utilisant la méthode de Gauss-Seidel. Les résultats obtenus montrent nettement l'influence de nombreux paramètres sur les caractéristiques de fonctionnement du dispositif. La confrontation des résultats numériques avec les valeurs issues de l'expérience montre une bonne fiabilité du code de calcul élaboré.

1. INTRODUCTION

La compréhension des procédés de transferts thermiques et hydrodynamiques est incontournable pour la conception efficace de tout distillateur solaire. La production d'eau douce dépend de divers facteurs (l'inclinaison et la transparence de couverture, l'absorption de bac) [1]. En pratique, le rendement est particulièrement fonction de l'énergie utile qu'on cherche toujours à accroître [2] par l'augmentation de la chaleur reçue et donc par la part du rayonnement absorbé qui doit être plus élevée, et par la diminution des pertes de chaleur vers les zones non réceptrices en utilisant une isolation adéquate. Pour notre étude nous avons choisi le distillateur solaire sphérique dont la géométrie permet de diminuer les pertes thermiques par rapport au distillateur plan [3].

2. ETUDE THEORIQUE

L'idée principale est de rajouter une seconde source de chaleur. L'eau du bac sera chauffée en plus du rayonnement solaire incident pénétrant directement dans le bac par un capteur solaire plan. La circulation se fait par effet thermosiphon ; le fluide se met en mouvement des parties les plus chaudes (capteur plan) vers les parties les plus froides (bac du distillateur). L'ensemble du dispositif est représenté par la figure 1.

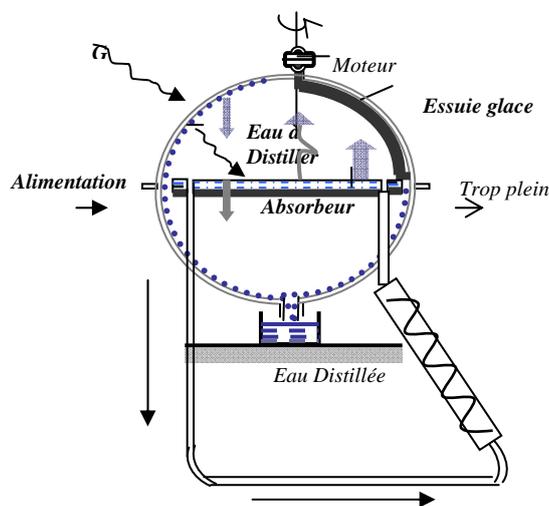


Figure 1. Le système distillateur-capteur

Le distillateur est composé de trois parties principales :

- Une demi sphère supérieure en polymetacrylate de méthyle qui sert à transmettre le rayonnement solaire G d'une part et joue le rôle de surface de condensation d'autre part.
- Une demi sphère inférieure qui récupère le distillat
- Un bac horizontal en métal noir contenant l'eau à distiller qui se trouve dans le plan médian .Un essuie-glace entraîné par un moteur électrique (alimenté par un petit panneau de photopile d'une puissance de 1.5 W) permet de maintenir la surface de condensation constamment transparente au rayonnement, et d'assurer un drainage rapide des gouttelettes [3,4]
Nous allons dans ce qui suit définir les différents flux thermiques échangés dans le distillateur.

2.1. Transferts thermiques externes

Le distillateur est un système qui échange de la chaleur avec l'extérieur à travers la vitre et les parois.

2.1.1 Par convection

Les flux de chaleur échangés par convection entre la vitre et l'isolant avec l'ambiance sont donnés respectivement par les expressions:

$$q_{ca} = h_{ca} \cdot (T_{ve} - T_a) \cdot A_v \quad (1)$$

$$q_{cis} = h_{cise} \cdot (T_{ise} - T_a) \cdot A_{is} \quad (2)$$

Les coefficients h_{ca} et h_{cise} d'après [5] sont :

$$h_{ca} = h_{cise} = 5.7 + 3.8 \times V \quad (V \text{ étant la vitesse du vent}) \quad (3)$$

2.1.2 Par rayonnement

Les flux de chaleur échangés par rayonnement entre la vitre et le ciel, et entre l'isolant et le sol sont donnés respectivement par les relations:

$$q_{ra} = h_{ra} \cdot (T_{ve} - T_c) \cdot A_v \quad (4)$$

$$q_{rise} = h_{rise} \cdot (T_{ise} - T_{sol}) \cdot A_{is} \quad (5)$$

Les coefficients h_{ra} , h_{rise} ont pour expressions :

$$h_{ra} = \varepsilon_v \cdot \sigma \cdot [(T_{ve} + 273)^2 + (T_c + 273)^2] \cdot [(T_{ve} + 273) + (T_c + 273)] \quad (6)$$

$$h_{rise} = \varepsilon_{is} \cdot \sigma \cdot [(T_{ise} + 273)^2 + (T_{sol} + 273)^2] \cdot [(T_{ise} + 273) + (T_{sol} + 273)] \quad (7)$$

T_{ve} : La température de la vitre.

T_c : La température équivalente du ciel, définie par la relation [6], [7]: $T_c = T_a - 12$ (8)

T_a : La température ambiante. ε_v , ε_{is} : étant respectivement l'émissivité de la vitre et de l'isolant.

2.2. Transfert thermique interne

Les différents modes de transfert de chaleur à l'intérieur d'un distillateur, entre la saumure et la vitre se font par convection, par rayonnement et par évaporation, ces différents modes proposés par Malik [5] sont définis comme suit:

2.2.1 Par convection

Le flux de chaleur échangé par convection naturelle entre le plan d'eau et la vitre a pour expression:

$$q_{ci} = h_{ci} \cdot (T_e - T_{vi}) \cdot A_b \quad (9)$$

L'expression du coefficient d'échange convectif entre la saumure et la vitre étant donnée par la relation [5]:

$$h_{ci} = 0.884 \cdot [(T_e - T_{vi}) + \frac{(P_e - P_{vi}) \cdot (T_e + 273)}{268.9 \cdot 10^3 - P_e}]^{1/3} \quad (10)$$

T_e : Température de la surface d'eau.

P_e, P_{vi} Respectivement les pressions partielles de la vapeur d'eau à la température T_e et T_{vi} .

D'après Siaka et Pierre Mankan [5] de meilleures valeurs de pressions (N/m²) sont obtenues en utilisant l'expression :

$$P = 7236.2 - 431.43 \cdot T + 10.76 \cdot T^2 \quad (11)$$

Le flux de chaleur échangé par convection entre l'absorbeur et la masse d'eau est:

$$q_{eb} = h_{eb} \cdot (T_b - T_e) \cdot A_b \quad (12)$$

T_b, T_e , respectivement les températures du bac et de l'eau.

Le coefficient de convection h_{eb} est donné en régime laminaire par :

$$h_{eb} = \frac{C_p \cdot k}{l} \cdot \left[\frac{L^3 \cdot \rho \cdot g \cdot B_0 \cdot C_p \cdot \Delta T}{\mu \cdot k} \right]^{1/4} \quad (13)$$

h_{eb} dépend de la profondeur de l'eau l dans le bassin et de la différence de température ΔT entre la surface de l'eau et l'absorbeur. La profondeur de l'eau limite l'inertie thermique, pour cela des profondeurs inférieures ou égales à 3cm sont généralement utilisées, il en résulte une augmentation de q_e et par conséquent de l'efficacité du distillateur.

2.2.2 Par évaporation

Le flux de chaleur échangé par évaporation est exprimé par:

$$q_e = \Delta m_e \cdot L \cdot A = h_{ci} \cdot (P_e - P_{vi}) \cdot A \quad (14)$$

Δm_e : La masse nette de vapeur d'eau transportée par unité de temps et de surface.

Le flux de chaleur transféré par unité de surface et par unité de temps par évaporation [5]

$$q_e = 16.273 \cdot 10^{-3} \cdot q_{ci} \cdot \frac{P_e - P_{vi}}{T_e - T_{vi}} \quad (15)$$

L'expression du coefficient d'échange par évaporation est donnée par la relation:

$$h_{ev} = 16.273 \cdot 10^{-3} \cdot h_{ci} \cdot \frac{P_e - P_{vi}}{T_e - T_{vi}} \quad (16)$$

2.2.3 Par rayonnement

L'échange de chaleur par rayonnement entre la saumure et la surface interne de la vitre peut s'écrire

$$q_{ri} = h_{ri} \cdot (T_e - T_{vi}) \cdot A_b \quad (17)$$

$$h_{ri} = F_{12} \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot [(T_e + 273)^2 + (T_{vi} + 273)^2] \cdot [(T_e + 273) + (T_{vi} + 273)] \quad (18)$$

F_{12} : Facteur de forme entre la saumure et la surface interne de la vitre.

ε : Emissivité globale de la vitre $\varepsilon=92\%$ (Polymétacrylate de méthyle fabriqué par la société ALTULOR). σ : Constante de Stephane Boltzman ($\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}^4$).

2.2.4 Par conduction

Du coté intérieur, l'isolant reçoit: $q_{bis} = h_{bis} \cdot (T_b - T_{isi})$ (19)

où $h_{bis} = \frac{\lambda_b}{e_b}$, est le coefficient de transfert par conduction à travers le bac absorbant.

3. RESOLUTION NUMERIQUE

Les équations régissant le bilan thermique du système couplé sont résolues par une approche numérique basée sur la méthode de Gauss-Seidel d'itération [8].

Pour cela, nous remplaçons les différents flux par leurs expressions explicites [9], puis nous écrivons les équations des bilans thermiques au niveau de chaque partie composant le système, en fonction des températures comme suit:

3.1 Au niveau de la vitre (côté extérieur)

$$(h_{ca} + h_{ra} + \frac{\lambda_v}{e_v})T_{va} - \frac{\lambda_v}{e_v}T_{vi} = h_{ca} \cdot T_a + h_{ra} \cdot T_c + \alpha_v \cdot G \quad (20)$$

3.2 Au niveau de la vitre (côté intérieur)

$$-\frac{\lambda_v}{e_v} \cdot T_{va} + (h_{ci} + h_{ri} + h_{ev} + \frac{\lambda_v}{e_v}) \cdot T_{vi} - (h_{ci} + h_{ri} + h_{ev}) \cdot T_e = 0 \quad (21)$$

3.3 Au niveau de la masse d'eau

$$-(h_{ci} + h_{ri} + h_{ev}) \cdot T_{vi} + (h_{ci} + h_{ri} + h_{ev} + h_{be} + \frac{m_d \cdot c_e}{\pi \cdot r^2} + \frac{m_{cir} \cdot c_e(T_f)}{\pi \cdot r^2}) \cdot T_e - h_{be} \cdot T_b =$$

$$\alpha_r \cdot G + \frac{m_d \cdot c_e}{\pi \cdot r^2} \cdot T_a + \frac{m_{cir} \cdot c_e(T_f)}{\pi \cdot r^2} \cdot T_f \quad (22)$$

3.4 Au niveau de l'absorbeur

$$-h_{be} \cdot T_e + (h_{be} + \frac{\lambda_b}{e_b}) \cdot T_b - \frac{\lambda_b}{e_b} \cdot T_{isi} = \tau \cdot G \cdot A_v \quad (23)$$

3.5 Au niveau de l'isolant (côté intérieur)

$$\frac{\lambda_b}{e_b} \cdot T_b + (\frac{\lambda_b}{e_b} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}}) \cdot T_{isi} - \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \cdot T_{ise} = 0 \quad (24)$$

3.6 Au niveau de l'isolant (côté extérieur)

$$(h_{cise} + h_{rise} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}}) \cdot T_{ise} - \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \cdot T_{isi} = h_{rise} \cdot T_{sol} + h_{cise} \cdot T_a \quad (25)$$

4. RESULTATS

Les résultats obtenus dans le cadre de ce travail permettent, comme nous l'exposerons dans ce qui suit, de mettre nettement en évidence l'influence d'irradiation globale, sur les caractéristiques de fonctionnement (production, efficacités globale et interne) du distillateur.

4.1 La production

L'influence de l'irradiation solaire sur la production à une vitesse de vent à peu près constante est nettement mise en évidence sur la figure 2 qui montre une croissance linéaire [9] [10]. De plus et comme nous pouvons l'observer, la production du système couplé est plus élevée que celle du distillateur fonctionnant seul.

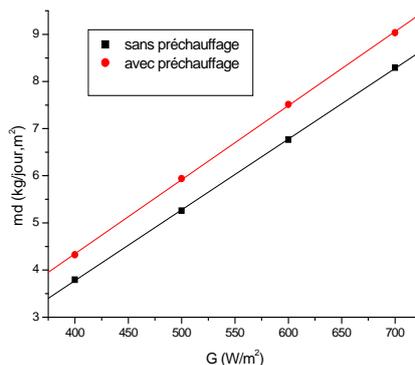


Figure 2. Variation de la production en fonction de l'irradiation pour le distillateur avec et sans préchauffage ($V_v=1\text{m/s}$)

4.2 L'efficacité interne

La figure 3 montre que l'efficacité interne ($\eta_i = q_e / (\alpha_t \cdot G \cdot A_v)$), augmente avec l'irradiation globale, cependant pour de grandes puissances, l'effet inverse se produit et l'efficacité interne du distillateur avec le capteur est nettement supérieure à celle du distillateur seul.

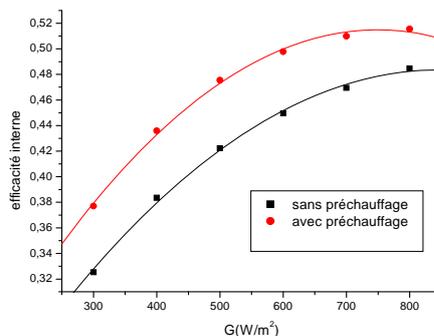


Figure 3. Variation de l'efficacité interne en fonction de l'irradiation globale (avec et sans préchauffage) ($V_v=1\text{m/s}$, $T_a=20^\circ\text{C}$)

4.3 Comparaison des résultats numériques et expérimentaux

Pour valider les résultats numériques obtenus dans le cadre de ce travail, nous avons entrepris quelques essais. les figures 5 et 6 illustrant respectivement la variation de la production et de l'efficacité interne du système couplé avec l'irradiation globale montre un accord satisfaisant entre les résultats expérimentaux et ceux obtenus dans l'étude numérique entreprise dans le cadre de ce travail.

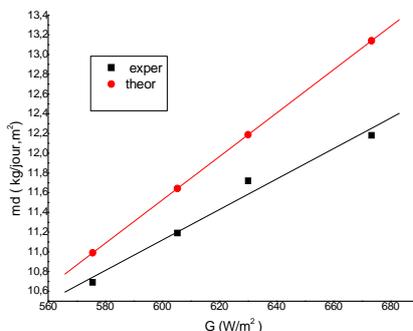


Figure 5. Variation de la production (théorique et expérimentale) en fonction de l'irradiation global

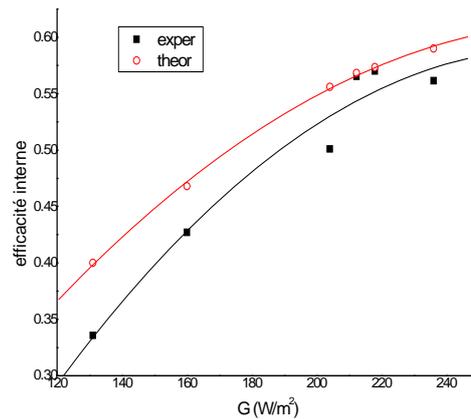


Figure 6. Variation de l'efficacité interne (théorique et expérimentale) en fonction de l'irradiation globale

5. CONCLUSION

L'étude entreprise dans le cadre de ce travail porte sur une installation de distillation constituée d'un distillateur sphérique à balayage couplé à un capteur solaire plan, ce dernier est utilisé pour le préchauffage de l'eau à distiller. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence l'effet de nombreux paramètres sur les caractéristiques de fonctionnement. Il apparaît en particulier qu'une augmentation de l'irradiation globale qui reste le paramètre le plus influant, conduit à un accroissement de ces caractéristiques. Néanmoins une trop grande puissance incidente peut produire l'effet inverse. En outre cette étude montre sans ambiguïté que le préchauffage de l'eau à distiller avec le capteur permet, à l'eau de bac d'avoir une température de fonctionnement plus grande. Il en résulte une amélioration des caractéristiques de fonctionnement (production et efficacité) du distillateur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. A. Omri et al. , 2005, Natural convection effects in solar stills, *Desalination*, N°183, pp173–178.
2. A. Benkhelifa, 1998, Optimisation d'un Capteur Solaire Plan, *Rev. Energ. Ren., Physique Energétique*, pp 13-18.
3. A. Chaker, N. Bellel et G. Menguy, 2003, Pertes thermiques dans un distillateur sphérique, *Revue Internationale D'Héliothermie*, N°28, pp 46-49.
4. D.K. Edwards, traduit par L. Marlot, Capteurs solaires, 1979, SCM Paris.
5. M.A.S Malik, G. Tiwari, S. Kumar, M.S. Sodha, Solar Distillation, 1982, pergamon Press, Oxford.
6. M. Daguene, Les Séchoirs solaires théorie et pratique, 1985, Unisco, Paris, pp 191-215.
7. Siaka Tour et Pierre Mankan, 1994, A numerical model and expérimental investigation for a solar still in climatic conditions in Abidjan, *renouvelable énergie*, vol 11, n°3, pp 319-330.
8. A. Gaurdin, et M. Boumahrat, , Méthodes numériques appliquées, Avec de nombreux problèmes résolus en Fortran 77, 1993, Office de publication universitaire, Alger.
9. A. Chaker, et N. Boukerzaza, 2005, caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire, 12^{èmes} Journées Internationales de THermiques, Tanger (Maroc), tome2, pp 53-56.
10. Office of saline water, April 1970, *Manual on solar distillation of saline water*, Report n°546.