

Efficacité Interne d'un Distillateur Solaire Sphérique

A. Chaker¹ et G. Menguy²

¹ Département de Physique, Faculté des Sciences, Université des Frères Mentouri, 25000 Constantine, Algérie

² Laboratoire d'Automatique et de Génie des Procédés, Université de Lyon 1, 69622 Villeurbanne, France

Résumé - *L'augmentation de la population mondiale associée au développement agricole et industriel a entraîné un accroissement de la demande d'eau douce et l'approvisionnement de l'humanité en eau potable devient un problème de plus en plus aigu.*

Pour subvenir à ses besoins en eau douce, l'homme a mis au point différentes méthodes de recyclage ou de séparation de l'eau de ses impuretés, parmi tous ces procédés mis en oeuvre, le dessalement occupe une place de choix.

La distillation solaire est l'un des procédés de séparation les plus simples. Si les besoins en eau douce sont faibles (quelques m³ par jour), la distillation solaire directe apparaît comme une solution intéressante en particulier lorsqu'une main d'oeuvre locale n'est pas disponible. De plus, elle s'adapte à des régions éloignées ou isolées.

Le choix d'un distillateur solaire dépendant essentiellement de ses caractéristiques de fonctionnement, nous nous sommes particulièrement attachés à l'étude des efficacités globale et interne d'un distillateur solaire sphérique.

Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence des paramètres de fonctionnement externes, notamment l'éclairage énergétique et les conditions météorologiques ; ainsi que l'effet des paramètres de fonctionnement internes, en particulier la température de l'eau à distiller, sur ces grandeurs.

Par ailleurs, nous proposons dans le cadre de ce travail une nouvelle expression de l'efficacité interne permettant de mettre en évidence l'influence de la température de l'eau à distiller et de la température extérieure, confirmant ainsi l'expérimentation.

Dans la dernière partie de ce travail, un calcul approché des différentes pertes thermiques qui se produisent pendant le processus de distillation et qui peuvent affecter les caractéristiques de fonctionnement du distillateur sera présenté.

Mots clés: Distillation solaire - Distillateur sphérique - Efficacité globale - Efficacité interne.

1. INTRODUCTION

L'approvisionnement de l'humanité en eau douce est un problème qui revêt une importance de plus en plus accrue. La distillation solaire est appelée à jouer un rôle important dans toute stratégie de gestion de l'eau des zones arides ou isolées notamment au sud algérien.

Le choix d'un distillateur dépendant essentiellement de ses caractéristiques de fonctionnement, l'objectif principal de ce travail sera l'étude des efficacités globale et interne d'un distillateur solaire sphérique. L'influence de nombreux paramètres, notamment l'irradiation globale, la température ambiante, la vitesse du vent, et la température de l'eau sera précisée. Par ailleurs une nouvelle expression de l'efficacité interne en fonction de l'écart entre la température de l'eau et la température extérieure sera proposée, confirmant ainsi l'expérimentation.

Dans la dernière partie de ce travail, une estimation approximative des différentes pertes thermiques qui se produisent pendant le processus de distillation, et qui peuvent affecter les caractéristiques de fonctionnement du distillateur sera présentée.

2. DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

C'est un distillateur en plexiglas transparent, à bac horizontal, et à surface de condensation demi - sphérique (Fig. 1). Le rayonnement incident transmis par la demi - sphère supérieure pénètre dans le bac et sert, à chauffer la masse d'eau contenue dans celui-ci. Une partie de l'eau s'évapore, et la vapeur dégagée vient se condenser sur la face intérieure de la vitre. Le distillat passe dans la demi - sphère inférieure à travers l'espace annulaire entre le bac et la sphère.

Le balayage de la surface de condensation est réalisé au moyen d'un essuie - glace entraîné par un moteur. L'avantage de ce système de balayage est de maintenir la surface de condensation, constamment transparente au rayonnement, et d'assurer un drainage rapide des gouttelettes.

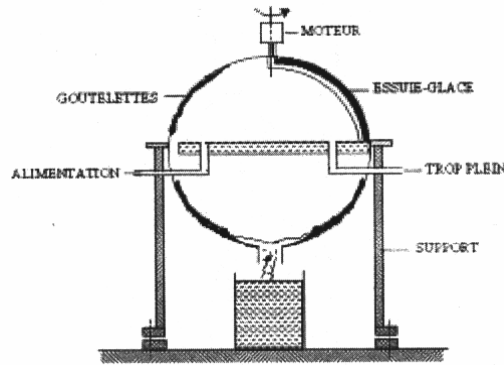


Fig. 1: Distillateur solaire sphérique

3. BILAN THERMIQUE

Comme tous les appareils de distillation, à effet de serre, le distillateur sphérique est un système qui échange de la chaleur avec le milieu ambiant.

- Le transfert de chaleur entre le distillateur et l'extérieur se fait au niveau de la vitre par rayonnement et par convection.
- Au niveau du plan d'eau, le rayonnement incident transmis sert à chauffer l'eau. Celle-ci s'évapore et échange de la chaleur avec le plan d'eau par convection, rayonnement et évaporation.
- L'échange intérieur- extérieur se fait par conduction à travers la vitre.

Si, dans une première approximation on néglige les pertes à travers les parois opaques et les pertes par extraction de distillat, et si on se place en régime permanent, on peut alors écrire successivement :

Bilan thermique de la masse d'eau

$$q_{ci} + q_{ri} + q_e + q_b + m_d C_E (T_E - T_a) = \alpha G A \quad (1)$$

q_{ci} , q_{ri} et q_e sont respectivement les flux de chaleur échangés par convection, par rayonnement et par évaporation à l'intérieur du distillateur.

q_b : flux de conduction à travers le bac.

$m_d C_E (T_E - T_a)$: flux de chaleur perdu par l'apport d'eau d'appoint.

$\alpha G.A$: flux de chaleur effectivement absorbé par la masse d'eau.

Bilan thermique de la vitre

$$q_{ci} + q_{ri} + q_e = q_{ca} + q_{ra} = \frac{\lambda_V}{e} (T_{Vi} - T_{Ve}) A_V \quad (2)$$

q_{ca} et q_{ra} étant les flux de chaleur échangés par convection et par rayonnement entre la vitre et le milieu ambiant.

e : épaisseur de la vitre, λ_V sa conductivité thermique.

T_{Vi} et T_{Ve} sont respectivement les températures intérieure et extérieure de la vitre.

Relation entre la convection et l'évaporation

$$\frac{q_e}{L} = K \cdot q_{ci} \cdot \frac{P_E - P_{Vi}}{T_E - T_{Vi}} \quad (3)$$

P_E et P_{Vi} sont respectivement les pressions partielles de la vapeur d'eau aux températures T_E et T_{Vi} .

K est le coefficient de proportionnalité dépendant du système d'unité choisi.

4. CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

Le choix d'un distillateur solaire parmi différents types de distillateurs dépend de grandeurs appelées caractéristiques de fonctionnement. On distingue principalement :

- le débit de distillat ou production du distillateur m_d . C'est un débit - masse journalier ou instantané rapporté généralement à l'unité de surface.

- l'efficacité globale η_g (%) donnée par la relation :

$$\eta_g = \frac{q_e}{A \cdot G} \quad (4)$$

- l'efficacité interne η_i (%) définie par l'expression :

$$\eta_i = \frac{q_e}{q_{eau}} \quad (5)$$

q_e est le flux de chaleur utilisé pour l'évaporation de l'eau, il est donné par l'expression :

$$q_e = m_d L(T_E) \quad (6)$$

$L(T_E)$ étant la chaleur latente de vaporisation de l'eau à la température T_E .

q_{eau} est la quantité de chaleur effectivement reçue par la masse d'eau par unité de temps.

$$q_{eau} = \alpha_t A \cdot G \quad (7)$$

α_t étant le coefficient d'absorption fictif de la masse d'eau. ($\alpha_t = 0,85$).

Le coefficient α_t est obtenu en utilisant les caractéristiques optiques et thermiques du distillateur par la relation :

$$\alpha_t = \alpha_E \cdot \tau_V + \alpha_f \cdot \tau_E \tau_V \quad (8)$$

avec :

α_E, α_f sont respectivement le facteur total d'absorption de l'eau et du fond du distillateur

τ_E, τ_V sont respectivement le facteur de transmission de l'eau et de la vitre.

Ces caractéristiques de fonctionnement, sont généralement influencées par différents paramètres qui peuvent être classés en deux catégories, nous en citerons les plus importants :

- Paramètres externes (éclairage énergétique, conditions météorologiques);
- Paramètres internes (température de l'eau à distiller, isolation thermique, hauteur du niveau d'eau dans la cuve).

Avant de présenter nos résultats expérimentaux, nous proposons une nouvelle expression de l'efficacité interne d'un distillateur solaire, qui montre l'effet de la température de l'eau à distiller sur cette dernière.

L'efficacité interne d'un distillateur est usuellement donnée par la relation :

$$\eta_i = \frac{q_e}{q_{eau}} = \frac{q_e}{\alpha_t A \cdot G} \quad (9)$$

En remplaçant dans l'équation 2, les différents flux par leurs expressions explicites respectives (1) et (2), nous obtenons :

$$\begin{aligned} & \left[h_{ci} + h_{ri} + K \cdot L \cdot h_{ci} \frac{P_E - P_{Vi}}{T_E - T_{Vi}} \right] (T_E - T_{Vi}) A \\ & = (h_{ca} + h_{ra}) (T_{Ve} - T_a) S \cdot A = \frac{\lambda_V}{e} (T_{Vi} - T_{Ve}) S \cdot A \end{aligned} \quad (10)$$

S étant le rapport entre les surfaces de la vitre et du bac. L'équation 10, peut également s'écrire sous la forme :

$$\frac{(T_E - T_a) A}{\frac{1}{h_{ci} + h_{ri} + K \cdot L \cdot h_{ci} \cdot \frac{(P_E - P_{Vi})}{(T_E - T_{Vi})}} + \frac{1}{S (h_{ca} + h_{ra})} + \frac{e}{S \cdot \lambda_V}} \quad (11)$$

Sachant que le flux de chaleur échangé par évaporation, peut également être exprimé par la relation :

$$q_e = h_e (T_E - T_{Vi}) A \quad (12)$$

L'équation 3 permet de déduire que le coefficient d'échange par évaporation à l'intérieur du distillateur a pour expression :

$$h_e = K L h_{ci} \frac{P_E - P_{Vi}}{T_E - T_{Vi}} \quad (13)$$

Il s'en suit que la somme des flux échangés par convection, par rayonnement et par évaporation peut se mettre sous la forme suivante :

$$q_{ci} + q_{ri} + q_e = h(T_E - T_a) A \quad (14)$$

avec :

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{h_{ci} + h_{ri} + h_e} + \frac{1}{S(h_{ca} - h_{ra})} + \frac{e}{S\lambda_V} \quad (15)$$

h étant le coefficient d'échange global entre le plan d'eau et le milieu extérieur par convection, rayonnement et évaporation à l'intérieur, et par convection, rayonnement et conduction à l'extérieur.

En posant ($R = q_e / (q_{ci} + q_{ri})$), en négligeant les pertes par l'apport de l'eau d'appoint, et en remplaçant les différents flux de chaleur dans l'équation (1) par leurs expressions explicites, nous pouvons écrire :

$$q_e = \alpha_t A \cdot G - \left(h' + \frac{h}{1 + R} \right) (T_E - T_a) A \quad (16)$$

L'expression finale de l'efficacité interne d'un distillateur solaire prend la forme :

$$\eta_i = \frac{q_e}{\alpha A \cdot G} = 1 - \left(h' + \frac{h}{1 + R} \right) \frac{(T_E - T_a)}{\alpha_T G} \quad (17)$$

h' étant le coefficient d'échange par conduction à travers le bac, l'isolant, la couche d'air et la vitre et par convection entre cette dernière et l'extérieur.

5. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION

Des essais dans le but de mettre en évidence, d'une part l'influence des conditions extérieures, notamment l'irradiation globale, la température ambiante, la vitesse du vent et d'autre part les conditions intérieures principalement la température de l'eau à distiller, sur les caractéristiques de fonctionnement du distillateur, ont été entrepris. Les conditions d'expérimentation du distillateur diffèrent selon le paramètre que l'on désire mettre en évidence. Ces essais ont permis de dégager les résultats suivants :

5.1 Variation de l'efficacité globale

5.1.1 En fonction de l'irradiation globale

Les figures 2 et 3 montrent que l'efficacité globale η_g et la production m_d du distillateur solaire sphérique augmentent linéairement avec l'irradiation globale G . Cet accroissement est néanmoins plus atténué dans le cas de η_g . En effet, l'efficacité globale ($(m_d/G) \times (L/A)$) est le produit de deux termes, le premier, (m_d/G) légèrement croissant et le second (L/A) décroissant car la chaleur latente L décroît quand la température de l'eau croît, cette dernière augmente généralement avec l'irradiation.

5.1.2 En fonction de la différence de température ($T_E - T_a$)

La courbe 4 vérifie un résultat déjà connu [3] d'après lequel l'irradiation globale η_g varie en sens inverse de l'écart de température ($T_E - T_a$), ce qui se traduit par le fait qu'un distillateur solaire est d'autant plus efficace que la température de l'eau T_E est plus basse (à condition que le régime de fonctionnement permanent soit atteint; $T_E \approx 40$ °C). Il faut bien préciser que ce résultat ne signifie pas une diminution de la production du distillateur solaire avec T_E , en effet cette dernière augmente avec T_E (Fig. 5) mais en même temps son efficacité diminue.

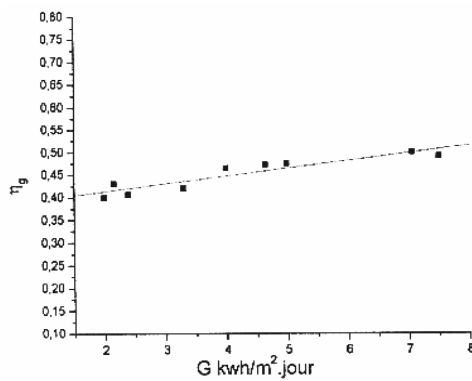


Fig. 2: Variation de l'efficacité globale en fonction de l'irradiation ($V_V = \text{cte}$)

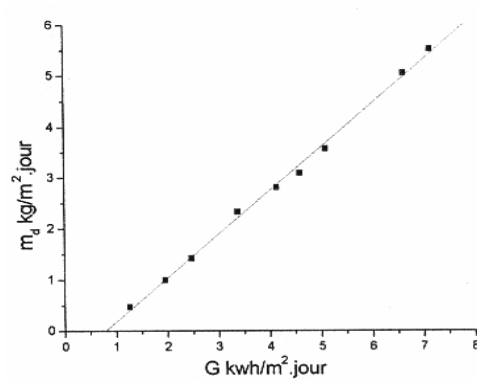


Fig. 3: Variation de la production en fonction de l'irradiation globale ($V_V = \text{cte}$)

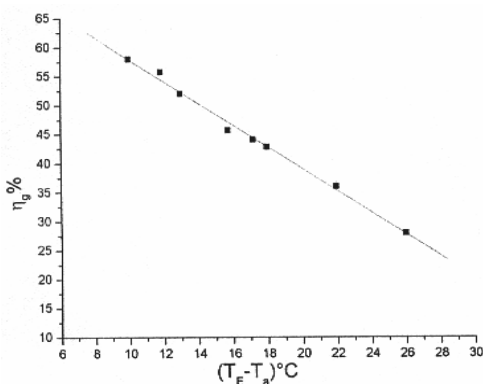


Fig. 4: Variation de l'efficacité globale en fonction de l'écart ($T_E - T_a$) à $V_V = \text{cte}$

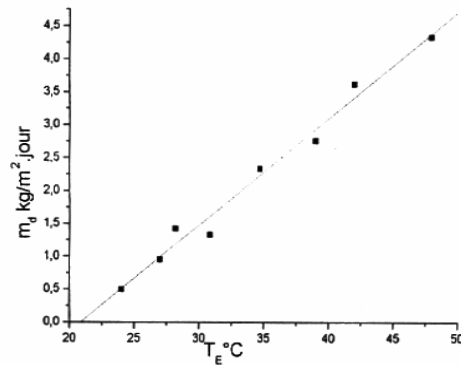


Fig. 5: Variation de la production en fonction de la température de l'eau ($V_V = \text{cte}$)

5.2 Efficacité interne

Les effets de la température de l'eau à distiller T_E et du vent sur l'efficacité interne du distillateur η_i ont été également étudiés. La figure 6 présente l'allure des courbes de variation de η_i en fonction de T_E à différentes vitesses de vent.

L'analyse de ces courbes permet de dégager les remarques suivantes :

- l'efficacité interne du distillateur η_i croît avec l'augmentation de la température de l'eau T_E .
- L'augmentation de la vitesse du vent entraîne dans un premier temps l'accroissement de l'efficacité interne du distillateur η_i . Au-delà d'une valeur, approximativement égale à 2 m/s, l'effet du vent est nettement défavorable; ce qui peut être expliqué comme suit : L'échange de chaleur par convection entre le distillateur et l'extérieur est favorisé par une augmentation de la vitesse du vent ($h_c = 5,7 + 3,8 V$) [4]; jusqu'à une certaine vitesse ($V_V = 2 \text{ m/s}$), le vent accélère le processus d'évaporation et conduit à une augmentation de l'efficacité interne η_i ; un autre accroissement de cette vitesse entraîne une chute du mélange air - vapeur à l'intérieur du distillateur et donc, à une augmentation de la proportion d'air s'opposant au passage de la vapeur du plan d'eau vers la surface de condensation d'où une diminution du taux d'évaporation et par conséquent un abaissement de η_i .

5.3 Estimation des différentes pertes dans un distillateur solaire sphérique

Pour évaluer les différentes pertes thermiques qui se produisent pendant le processus de distillation, nous supposons un régime de fonctionnement optimum (régime correspondant à une journée suffisamment ensoleillée et autour de midi T.S.V.).

Pour une irradiation globale, G de 750 W/m^2 nous avançons le calcul approché suivant :

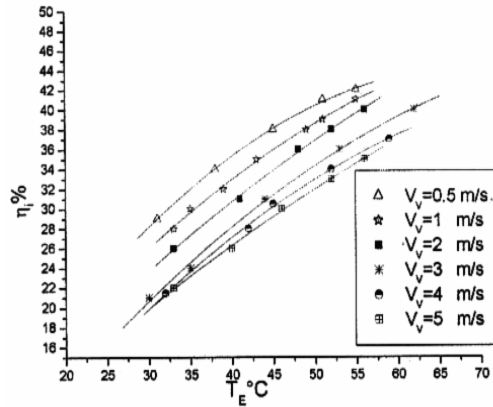


Fig. 6: Variation de l'efficacité interne en fonction de la température de l'eau à différentes vitesses de vent

- Les pertes par réflexion dans les différentes parties du distillateur (vitre, plan d'eau, fond du bac) et par absorption dans la vitre sont évaluées approximativement à 15 % de G.
- Pertes par l'apport d'eau d'appoint

$$q_{ap} = m_d C_E (T_E - T_a) = 16 \text{ W/m}^2 \quad \text{soit } 2\% \text{ de } G$$

- Pertes par extraction du distillat

$$q_d = m_d C_E (T_V - T_a) = 11,5 \text{ W/m}^2 \quad \text{soit } 1,5\% \text{ de } G$$

Nous remarquons que les pertes par l'apport d'eau d'appoint et par extraction du distillat sont très faibles, ce qui nous a permis de les négliger dans les calculs précédents.

- Pertes à travers le fond du bac.

$$q_b = h' A (T_E - T_a) \approx 45 \text{ W/m}^2 \quad \text{soit } 6\% \text{ de } G \quad (h' = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}) \quad [4]$$

En tenant compte des pertes thermiques, on peut déduire que la somme des flux de chaleur échangés à l'intérieur du distillateur ($q_{ci} + q_{ri} + q_e$) est de l'ordre de 75,5 % de G.

6. CONCLUSION

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes particulièrement attachés à l'étude des efficacités globale et interne d'un distillateur solaire sphérique. L'ensemble des résultats obtenus a permis de préciser l'influence de nombreux paramètres sur ces grandeurs. Il apparaît en particulier qu'un distillateur est d'autant plus efficace que la température de l'eau est plus basse à condition que le régime de fonctionnement permanent soit atteint. Par ailleurs, si dans un premier temps le vent conduit à une augmentation de l'efficacité interne du distillateur, au-delà d'une vitesse évaluée approximativement à 2 m/s son effet est nettement défavorable.

En outre, nous avons établi une nouvelle expression de l'efficacité interne en fonction de la température de l'eau et de la température extérieure confirmant ainsi l'expérimentation.

REFERENCES

- [1] W.H. Mc Adams, '*Heat Transmission*', Mc Graw-Hill Book Company Inc, 532 p., 1993.
- [2] S. Kumar and G. Tiwari, '*Estimation of Convective Mass Transfer in Solar Distillation Systems*', Solar Energy, Vol. 57, N°6, pp. 459-464, 1996..
- [3] J. Aguilar, J.M. Aguilar and G. Mengy, '*Transporte de Masa y Energia en un Distilador Solar Esférico*', Annales de Physique, Série B, Vol. 80, 1984.
- [4] M.A.S. Malik, G. Tiwari, S. Kumar and M.S. Sodha, '*Solar Distillation*', Oxford, Pergamon Press, pp. 33-76, 1982.