

Etude Expérimentale de l'Effet du Préchauffage sur la Productivité d'un Distillateur Solaire (Type : Hot - Box)

R. Menina, H. Ben Moussa, L. Zemmouri et A. Moussaoui

Département de Mécanique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université de Batna, 05000 Batna, Algérie

Résumé - Le développement de la distillation des eaux de mer et saumâtres pour l'obtention de l'eau douce a été poussé jusqu'à la mise au point de grandes unités industrielles très sophistiquées. La plupart de ces installations utilisent une source d'énergie qui conduit à un prix de revient du mètre cube assez élevé. Bien que confrontée au problème du faible rendement, la distillation solaire s'avère un procédé de production d'eau douce fort économique, surtout dans les régions désertiques caractérisées par un bon ensoleillement. L'optimisation de la production des installations utilisant l'énergie solaire a fait l'objet de plusieurs études expérimentales et théoriques.

Dans le but d'améliorer sa production, un distillateur solaire de type « hot box » a été couplé à un système de préchauffage de l'eau d'appoint. Les résultats expérimentaux n'ont pas été concluants. Il ressort, de la comparaison de ces derniers avec ceux d'un distillateur identique mais sans système de préchauffage, que le préchauffage de l'eau d'appoint n'est pas suffisant pour améliorer le rendement de ce genre de distillateur.

Mots clés: Distillation solaire - Préchauffage.

1. INTRODUCTION

Aujourd'hui les besoins en eaux potable et industrielle se font de plus en plus ressentir, surtout dans les régions sahariennes où l'eau saumâtre est disponible en grande quantité. Dans son état naturel, cette eau est inutilisable alors qu'elle peut constituer un facteur important de développement et d'amélioration des conditions de vie dans ces régions.

Dans ce contexte, la distillation solaire répond à un double objectif: l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation des surfaces agricoles (surtout quand elle est associée à des installations telles que les serres). Les recherches dans ce domaine ont surtout pour but l'optimisation de la production des distillateurs. Plusieurs études expérimentales, menées en milieu naturel et en laboratoire, abordent d'une façon qualitative l'influence des paramètres météorologiques et du distillateur sur la production de ce dernier. Cependant, le développement du dessalement par voie solaire reste tributaire des progrès technologiques qui pourraient intervenir, à long terme, pour abaisser le prix de revient du mètre cube d'eau produite encore assez élevé.

Notre étude consiste en une comparaison expérimentale entre deux distillateurs solaires identiques, de type 'hot box', l'un fonctionnant normalement et l'autre avec système de préchauffage (capteur - échangeur), dans le but d'améliorer sa production. L'idée est de parvenir à un système de préchauffage très économique.

Maalem [1] rapporta que, d'après Soliman [2], la production des distillateurs type 'hot box' augmente quant la température de la saumure s'élève. Cependant, cette augmentation reste tributaire de la vitesse du vent et de la température ambiante. D'après l'étude bibliographique faite par Maalem [1], Gomela [3] a proposé une relation qui lie la température de la saumure à la production journalière de ce type de distillateur. La température de la saumure (nappe d'eau à distiller) dépend entre autre de la température de l'eau d'alimentation au début de la journée et probablement de celle de l'eau d'appoint.

Le modèle théorique qui sera explicité ci-après montrera l'importance de ces différentes températures dans les transferts de chaleur et de masse qui ont lieu à l'intérieur du distillateur.

2. BILAN THERMIQUE

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 [4, 5]. D'autres font intervenir une zone stagnante 'zone tampon', entre les deux surfaces en question [1].

Dans les deux cas des hypothèses simplificatrices sont considérées, à savoir :

- Les pertes thermiques sur les cotés sont négligeables et les échanges avec l'extérieur ne se font que par la couverture verrière et le bas du bac absorbant,
- Les températures du bac absorbant, de la saumure, de la zone tampon [1] et du couvercle sont supposées uniformes,
- Les échanges à l'intérieur du distillateur se font respectivement de la surface d'évaporation vers la zone tampon, puis de cette dernière vers la surface de condensation [1],
- La condensation est une condensation par film.

W. A. Kamal [5], étudiant le même type de distillateur que nous nous proposons d'utiliser, suggéra un modèle à deux équations. Celles-ci traduisent les échanges thermiques et massiques au niveau du couvercle verrier et de la saumure avec le bac absorbant.

2.1 Au niveau de la couverture verrière

$$m_v C_v \frac{dT_v}{dt} = \alpha_v H + Q_{ev} - Q_{va} \quad (1)$$

avec :

$$Q_{ev} = Q_{rad} + Q_{conv} + Q_{evap} \quad (2)$$

Q_{rad} , Q_{conv} et Q_{evap} : puissances thermiques, rapportées à l'unité de surface, mises en jeu par rayonnement entre la vitre et la saumure, par convection et par évaporation.

$$Q_{rad} = \sigma \varepsilon_e \left| (T_e + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right| \quad (3)$$

$$Q_{conv} = h_{ce} (T_e - T_v) \quad (4)$$

avec :

$$h_{ce} = 0.884 \left[(T_e - T_v) + (P_e - P_v) (T_v + 273) / (268.9 \cdot 10^{-3} - P_e) \right]^{1/3} \quad (5)$$

$$Q_{evap} = 8.14 \cdot 10^{-3} h_{ce} (P_e - P_v) \quad (6)$$

P_e et P_v sont les pressions de saturation de l'air humide aux températures de la saumure et du couvercle.

Kamal [5] propose un polynôme du troisième degré en fonction de la température pour ces pressions :

$$P = 0.1486 \times T - 0.3652 \cdot 10^{-2} \times T^2 + 0.11242 \cdot 10^{-3} \times T^3 \quad (7)$$

La puissance échangée entre la vitre et l'extérieur Q_{va} est donnée par :

$$Q_{va} = h_{va} (T_v - T_a) + \sigma \varepsilon_v \left| (T_v + 273)^4 - (T_{capp} + 273)^4 \right| \quad (8)$$

$$\text{avec : } h_{va} = 5.7 + 3.8 V \quad (9)$$

où : V est la vitesse du vent en m/s et T_{capp} est la température apparente du ciel.

$$T_{capp} = T_a - 12 \quad (10)$$

T_a est la température ambiante.

2.2 Au niveau de la saumure et bac absorbant

En tenant compte des pertes par addition de l'eau d'appoint, le bilan sera :

$$m_e C_e \frac{dT_e}{dt} = AH - Q_{ev} - Q_{ba} - Q_{appoint} \quad (11)$$

$$\text{avec : } A = \tau_v \alpha_e + \tau_v \tau_e \alpha_b$$

Q_{ba} étant la puissance échangée entre le bas du bac absorbant et l'extérieur par conduction et convection forcée :

$$Q_{ba} = h_{ba} (T_e - T_a) \quad (12)$$

$$\text{avec : } h_{ba} = \left(\frac{1}{h_{va}} + \frac{\chi_i}{\lambda_{bi}} \right) \quad (13)$$

χ_i et λ_{bi} sont respectivement l'épaisseur et la conductivité thermique de la $i^{\text{ème}}$ couche formant l'absorbant.

$$Q_{appoint} = \dot{m}_d C_e (T_e - T_{eappoint}) \quad (14)$$

\dot{m}_d est le débit du distillat rapporté à l'unité de surface. $Q_{appoint}$ qui ne figurent pas dans le modèle écrit par Kamal [5] sont souvent négligées à cause des faibles débits qui caractérisent les distillateurs type "hot box".

3. EXPERIMENTATION

L'expérimentation a eu lieu à l'unité de recherche de l'université de Batna (Algérie) en bonne période d'ensoleillement, le 27/ 07/ 1998. La moyenne journalière de la vitesse du vent a été de 2 m/s et celle de la température ambiante de 34 °C à l'ombre, près des deux distillateurs.

3.1 Installation expérimentale

Le dispositif expérimental se compose, dans le cas du système avec préchauffage, d'un distillateur 'hot box' raccordé, comme l'indique la figure 1, à une cuve à niveau constant. Cette dernière est munie d'un flotteur qui commande une vanne à pointe permettant son alimentation en eau préchauffée au niveau d'un capteur plan.

Le flotteur maintient ainsi le niveau de l'eau d'appoint fixe et par la suite la hauteur de la nappe d'eau saumâtre dans le distillateur constante (15 mm). Si la vanne reste fermée à cause du faible débit d'appoint, l'eau préchauffée arrivant du capteur par thermosiphon peut passer dans un serpentin placé à l'intérieur de la cuve pour rejoindre le réservoir d'alimentation du capteur. L'ensemble de tuyauterie de raccordement du capteur avec la cuve à niveau constant, de la cuve avec le distillateur plus la cuve est calorifugé.

Dans le cas du système sans préchauffage, l'alimentation en eau d'appoint de la cuve à niveau constant se fait directement du réservoir d'alimentation (l'ensemble capteur- serpentin est supprimé).

3.2 Instrumentation et acquisition de données

Une unité d'acquisition type "DATATKER DT600" munie d'un logiciel "DECIPHER PLUS" a permis de relever les différentes températures et le flux solaire global. L'unité étant munie de 10 canaux d'entrée, un a été destiné au flux solaire, un à la température de la couverture verrière (température supposée identique pour les deux distillateurs). Le reste des canaux a été repartit sur les températures du bac absorbant, de la saumure, de la zone tampon et de l'eau d'appoint de chaque dispositif.

La mesure des différentes températures s'est faite par thermocouples type K. les soudures chaudes des thermocouples ont été maintenues en contact avec le verre et les bacs absorbants au moyen d'une colle isolante. En plus toutes les soudures chaudes ont été protégées par du papier en aluminium.

La mesure du flux solaire global est faite au moyen d'un pyranomètre, placé à quelques mètres du lieu de l'expérimentation. La lecture se fait directement en temps réel à l'aide de l'unité d'acquisition.

L'eau distillée est récupérée au moyen d'éprouvettes graduées en cm³, le relevé s'effectuant chaque heure.

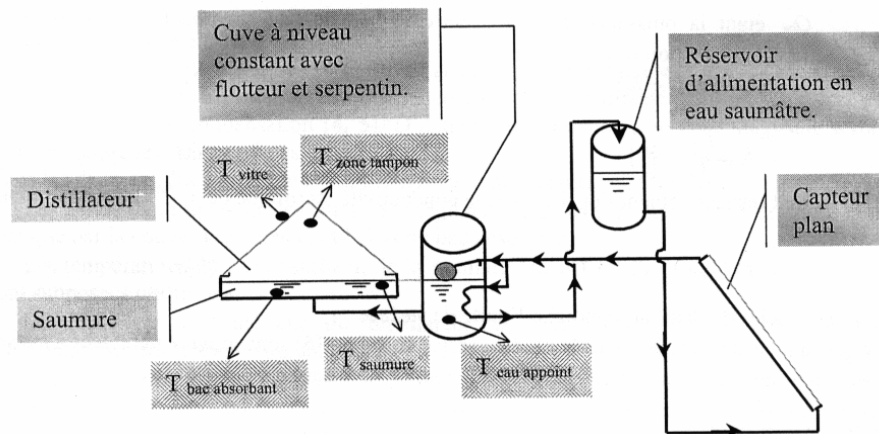


Fig. 1: Installation de distillation solaire avec système de préchauffage (capteur - serpentin)

3.3 Résultats et discussion

Notons d'abord que l'acquisition des différents paramètres, comme le montrent les figures 2, 3, 4 et 5, débute à 9 h 00, heure à laquelle l'installation commence à recevoir le rayonnement solaire direct (l'ombre d'une construction couvrait l'installation au début de la journée). Ce qui explique la productivité nulle des deux distillateurs pour un flux solaire global dépassant les 200 W/m² au début des relevés (Fig. 4).

Des essais effectués auparavant ont donné une évolution de la température de l'eau d'appoint du système avec préchauffage qui n'a eu aucune incidence sur la production d'eau distillée.

Cependant ces essais ont permis de localiser le début de la circulation par thermosiphon de l'eau dans le circuit de préchauffage. Une vidange partielle de la cuve à niveau constant du système avec préchauffage à cet instant (11 h 00) a permis de remplir cette dernière avec de l'eau provenant directement du capteur. Ce qui a donné l'allure de la courbe représentative de la température de l'eau d'appoint du système avec préchauffage (Fig. 2). La tendance décroissante, de part et d'autre de 11 h 00, de celle-ci est due à l'échange thermique entre l'eau et la tôle constituant la cuve. Dans le cas du système sans préchauffage, l'eau d'appoint cède de la chaleur à la tôle au début de la journée, entre 9 h 00 et 10 h 00. Au delà, elle reçoit de la chaleur de la tôle qui est chauffée par les rayons solaires. Après 11 h 00 une différence de température des deux eaux d'appoint d'au moins 10 °C est obtenue. Elle perdure jusqu'à environ 15 h 00.

Le préchauffage de l'eau d'appoint n'a fait qu'augmenter la température de la zone tampon, jusqu'à ce qu'elle dépasse celle de la saumure. Ceci est visible, après 15 h 00, sur la figure 4.

L'évolution des différentes températures du distillateur sans préchauffage est donnée par la figure 3. La productivité des deux distillateurs est donnée par la figure 5. La différence perceptible au début de la journée n'est pas due au préchauffage mais plutôt au début de réception des rayons solaires.

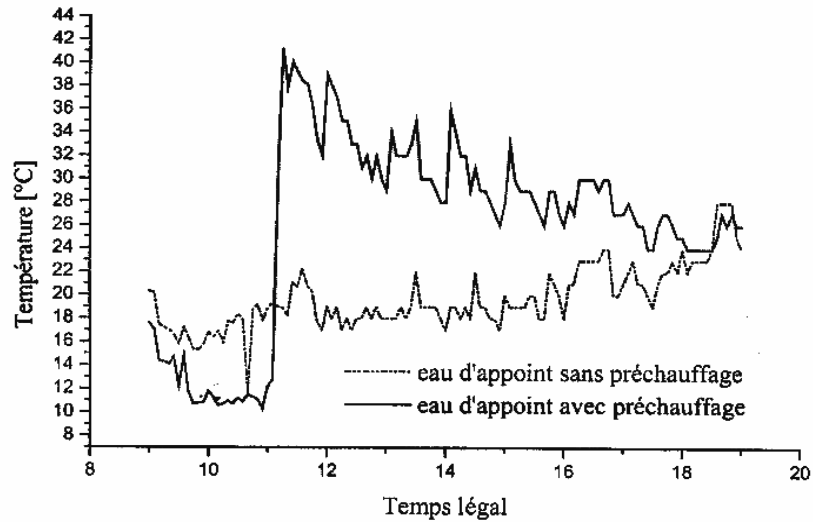


Fig. 2: Evolution de la température de l'eau d'appoint

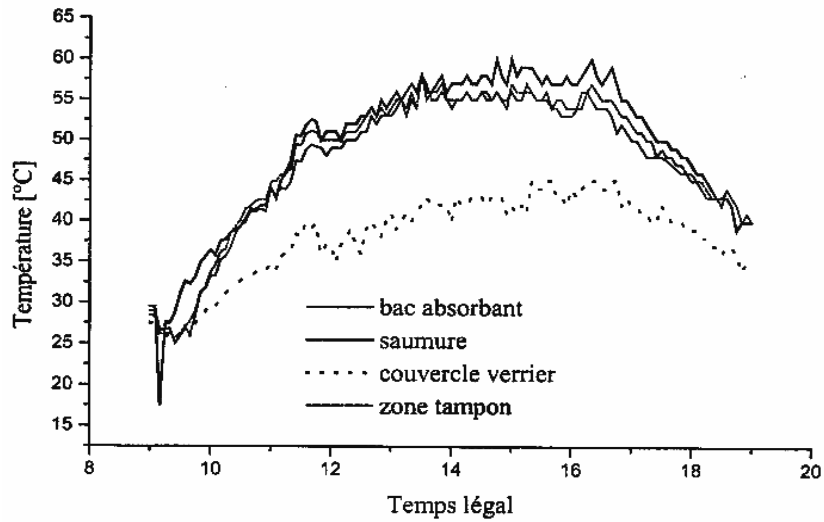


Fig. 3: Evolution des différentes températures dans le cas du système sans préchauffage

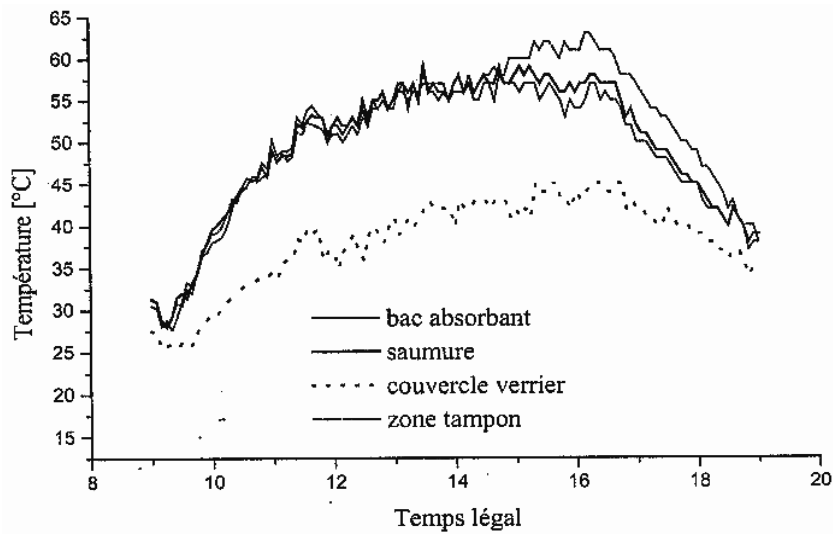


Fig. 4: Evolution des différentes températures dans le cas du système avec préchauffage

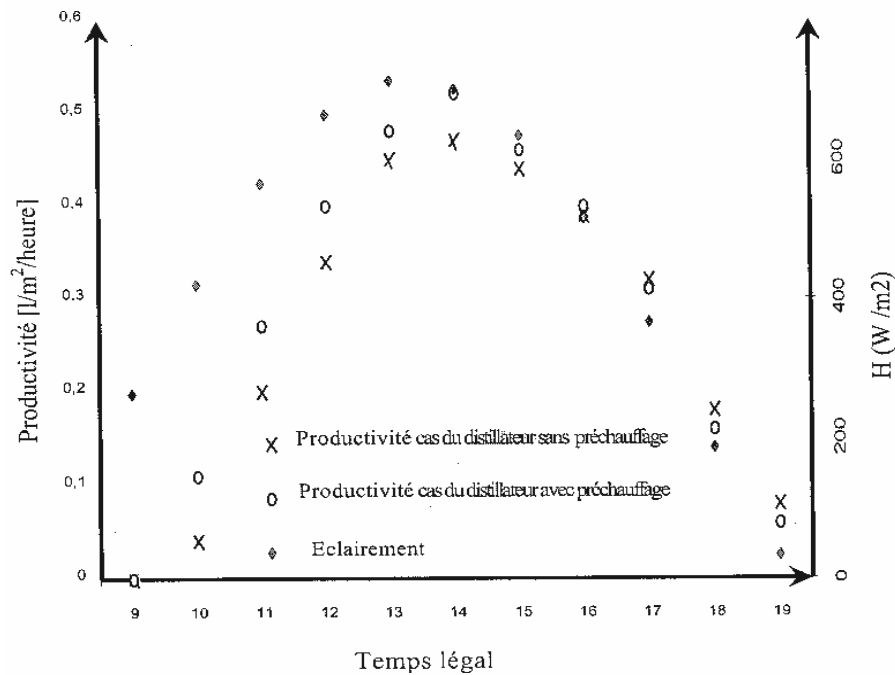


Fig. 5: Productivité et éclairement

4. CONCLUSION

L'expérimentation sur cite n'a pas conduit à l'amélioration de la productivité du distillateur solaire de type "hot-box" par préchauffage de l'eau d'appoint. Nous pensons que le préchauffage doit être accompagné de la variation soit de la vitesse du vent soit de la température de l'ambiance extérieure, afin d'accélérer la condensation. Ajoutons à cela le fait que le système de préchauffage "capteur-échangeur", bien qu'il ait le mérite d'être très économique du point de vue énergétique, ne s'apprête pas facilement à la manipulation. Le réglage de la température de l'eau d'appoint est très difficile sinon impossible à réaliser. Il est donc nécessaire de vérifier le résultat par des essais en laboratoire.

NOMENCLATURE

\dot{m}	Débit massique [kg/ s]
C	Chaleur spécifique [kJ/kg°C]
H	Flux solaire global [W/m ²]
h	Coefficient d'échange thermique [W/m ² °C]
m	Masse [kg]
P	Pression, pression de saturation [Pa]
Q	Puissance thermique échangée [W/m ²]
T	Température [°C]
t	Temps [s]
V	Vitesse [m/s]
x	Epaisseur [m]
α	Coefficient d'absorption
τ	Coefficient de transmission
ε	Facteur d'émission
σ	Constante de Stefan-Boltzman
Indices	
a	Ambiance
b	Bac absorbant
e	Eau saumâtre
eappoint	Eau d'appoint
v	Vitre (verre)

REFERENCES

- [1] M.S. Maalem, '*Modélisation Mathématique d'un Distillateur Solaire Statique, à effet de Serre et de Géométrie Régulière*', Thèse de Magister U.S.T.H.B. Algérie, 1983.
- [2] S. Soliman, '*Effect of Wind on Solar Distillation*', Solar Energy, Mars 1971.
- [3] C. Gomela, '*La Soif du Monde et le Dessalement des Eaux*', P.U.F., 1966.
- [4] P.I. Cooper, '*Digital Simulation of Experimental Solar Still Data*', Solar Energy, Vol. 14, pp. 451-468, 1973.
- [5] W.A. Kamal, '*A Theoretical and Experimental Study of the Basin - Type Solar Still under the Arabian Gulf Climatic Conditions*', Solar & Wind Technology, Vol. 5, N°2, pp. 147-157, 1988.