



**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



Etude d'un distillateur solaire à effet de serre

Zarrit Rida

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables Ghardaïa

BP: 88 Gart Taam ZI Bounoura Ghardaïa, Algeria

r.zarrit@uraer.dz

Résumé— Le travail présenté dans cet article concerne l'étude théorique et numérique en régime transitoire d'un distillateur solaire plan à effet de serre. On utilisant comme modèle pour le rayonnement solaire global reçu sur une surface inclinée le modèle de PERRIN BRICHAMBEUT donnée par [3]. Les équations régissant le fonctionnement d'un distillateur solaire sont résolues par une approche numérique basée sur la méthode de Gauss –Seidel d'itération. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence l'effet de l'irradiation globale sur la production journalière et le débit du condensât. Les résultats ont montré l'intérêt de ce paramètre sur le débit du condensât. On note que le débit du condensât croît avec l'intensité du rayonnement solaire.

Mots clé— distillation solaire, effet de serre, distillateur solaire plan, rayonnement solaire

I. INTRODUCTION

L'eau douce ne représente que 2,5 % du volume totale d'eau sur la planète. L'eau douce est très inégalement distribuée. Les précipitations sont très variables. La sécheresse peut durer des mois.

C'est le cas des pays du Maghreb, du Golf ou de l'Asie Centrale. Les besoins en eau potable dans ces pays augmentent d'une manière continue, alors que les réserves souterraines se trouvent constamment diminuées. Une grande partie des réserves d'eau est constituée d'eau saumâtre. Le dessalement de ces eaux par des unités classiques de traitement nécessite beaucoup d'énergie électrique et/ou calorifique.

Les pays arides bénéficient généralement d'un grand potentiel d'énergie solaire (gratuit, propre et disponible en permanence) dont l'exploitation peut fournir une solution durable à l'approvisionnement en eau douce. La distillation solaire à effet de serre est l'une des applications de la conversion

Un distillateur solaire plan (figure 1) est constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre. La partie inférieure est recouverte d'un plan d'eau (eau saumâtre ou eau de mer à distiller), généralement peint en noir pour une meilleure absorptivité. Ce dernier est couvert d'un matériau transparent, Plexiglas ou vitre. Le rayonnement solaire, passant à travers la vitre fait évaporer l'eau. Elle vient ensuite se condenser sur la vitre inclinée de quelques degrés pour permettre au distillat condensé de ruisseler par

thermique solaire à basse température pour le dessalement des eaux saumâtres qui peut répondre à l'approvisionnement en eau potable, à l'échelle d'une famille ou même d'un petit village. Cette application nécessite :

✓ L'effet de serre lié essentiellement aux propriétés optiques des vitres et des matières plastiques qui sont parfaitement transparentes au rayonnement solaire visible, et opaques au rayonnement infrarouge.

Source d'énergie (le soleil), on transformant l'énergie solaire reçue sous forme de rayonnements en une énergie thermique par l'intermédiaire des installations solaires. En effet, les projets de distillation solaire ont fait leur preuve dans plusieurs endroits du monde.

La distillation solaire est une technologie d'une très grande histoire. L'utilisation moderne de l'énergie solaire pour la distillation de l'eau salée ou saumâtre a commencé en 1872, dans le nord de Chili par l'installation d'un distillateur solaire de types bassin, qui a permis de satisfaire les besoins de la communauté, pendant plusieurs années. Depuis 1954, les expériences se sont multipliées, les procédés thermiques sont mis au point et utilisés pour dessaler l'eau de mer et ou saumâtre. Par ailleurs, des recherches sont développées sur les procédés de dessalement.

Dans ce contexte, vient de s'inscrire ce projet qui consiste dans la réalisation d'un distillateur solaire à effet de serre en double effet qui puisse être rentable et économique en matière de réalisation. L'objectif de notre travail consiste à réaliser une étude numérique sur un distillateur plan simple (à effet de serre).

II. DISTILLATION SOLAIRE À EFFET DE SERRE

gravité jusqu'à un bac de récupération. Ce type de distillateur a fait l'objet de nombreuses études en vue d'optimiser son rendement et de baisser le coût du mètre cube d'eau distillée. La production journalière de ces distillateurs peut varier entre 1 et 8 litres par jour et par mètre carré de capteur ($l/m^2/j$) dépendant de la saison, de la latitude et du degré d'optimisation du capteur.

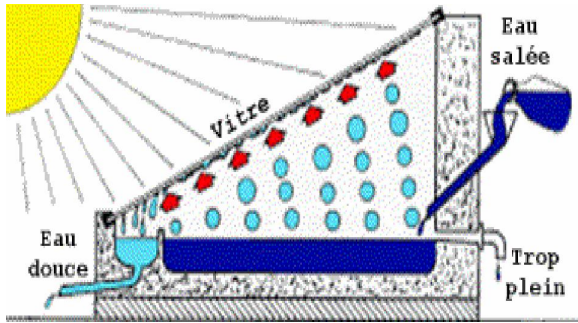


Fig.1 Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire plan à effet de serre

III. YPOTHÈSES ET SIMPLIFICATION

L'étude d'un distillateur solaire à effet de serre nécessite une analyse thermique détaillée. Cette modélisation est possible si on fait certain hypothèses et simplification.

Dans notre présent rapport les hypothèses suivantes ont été faites :

- La couverture est propre.
- Régime d'écoulement est considéré transitoire.
- La température de chaque composant est uniforme.
- Le soleil est assimilé à un corps noir.
- La chaleur perdue par addition d'eau d'appoint et celle emportée par le distillat sont supposées négligeables.
- Les parois latérales sont supposées adiabatiques.
- Les propriétés physiques des matériaux sont considérées constantes.
- La condensation se fait uniquement sur la couverture (il n'y a pas de condensation sur les parois latérales).
- Les propriétés thermiques de l'eau (la saumure) dépendent de la température.
- La condensation de l'eau sur la couverture est homogène et continue (le verre possède une bonne mouillabilité) et elle se fait uniquement sur la vitre.
- La concentration de la saumure n'intervient pas dans les transferts de chaleur et de masse à partir de et vers la saumure.
- La condensation
- Le bassin est étanche (la saumure dans le bac est statique).

En prenant en compte les hypothèses citées nous avons établi les échanges thermiques au niveau de chaque partie du distillateur.

IV. THÉORIE ET BILAN THERMIQUE :

L'étude du distillateur solaire à effet de serre conventionnel est rendue délicate par la complexité des échanges thermiques et massiques à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur. De plus, les géométries du distillateur et leurs influences sur le rendement ou sur la modélisation, sont en général le lieu de nombreux autres problèmes, tel que l'isolation thermique, le rayonnement incident, les matériaux de construction, etc....

Considérons une section quelconque du système à l'instant t , soit "k" l'un des milieux représentés dans cette section, m_k sa masse, c_{pk} sa chaleur spécifique et T_k sa température. Le bilan au nœud k donne :

$$(\rho C_p)_k \frac{dT_k}{dt} = \sum_{K=1}^N Q_{K,J} + P_v$$

En régime transitoire, les équations régissant le bilan thermique au niveau de chaque partie du distillateur, s'écrivent comme suit:

BILAN THERMIQUE DE LA VITRE

-Au niveau du vitrage extérieur :

$$\frac{1}{2} \alpha_v G_h S_v + K_v (T_{vi} - T_{ve}) S_v = \frac{1}{2} m_v C_{pv} \frac{dT_{ve}}{dt} + h_{cv}^{ve-a} (T_{ve} - T_a) S_v + h_R^{ve-a} (T_{ve} - T_s) S_v \quad (1)$$

-Au niveau du vitrage intérieur :

$$\frac{1}{2} \alpha_v G_h S_v + h_{cv}^{e-vi} (T_e - T_{vi}) S_v + h_R^{e-vi} (T_e - T_{vi}) S_v + h_{evp} (T_e - T_{vi}) S_v = \frac{1}{2} m_v C_{pv} \frac{dT_{vi}}{dt} + K_v (T_{vi} - T_{ve}) S_v \quad (2)$$

BILAN THERMIQUE DE LA SAUMURE

$$\tau_v (\alpha_e + \tau_e \alpha_b) G_h S_e = m_e C_{pe} \frac{dT_e}{dt} + h_{cv}^{e-vi} (T_e - T_{vi}) S_e + h_R^{e-vi} (T_e - T_{vi}) S_e + h_{evp} (T_e - T_{vi}) S_e + h_{cb}^{b-e} (T_b - T_e) S_e \quad (3)$$

BILAN THERMIQUE DE L'ABSORBEUR

$$\tau_v \tau_e \alpha_b G_h S_b = m_b C_{pb} \frac{dT_b}{dt} + h_{cb}^{b-e} (T_b - T_e) S_b + K_b (T_b - T_{ii}) S_b \quad (4)$$

BILAN THERMIQUE DE L'ISOLANT

-Au niveau de la face intérieure :

$$K_b (T_{ii} - T_b) S_i = \frac{1}{2} m_i C_{pi} \frac{dT_{ii}}{dt} + K_i (T_{ii} - T_{ie}) S_i \quad (5)$$

-Au niveau de la face extérieure :

$$K_i (T_{ii} - T_{ie}) S_i = \frac{1}{2} m_i C_{pi} \frac{dT_{ie}}{dt} + h_{cv}^{ie-a} (T_{ie} - T_a) S_v + h_R^{ie-a} (T_{ie} - T_{sol}) S_v \quad (6)$$

Avec [3,5] :

$$h_{cv}^{e-vi} = 0.884 \times \left[(T_e - T_{vi}) + \frac{p_e - p_{vi}}{2016 - p_e} T_e \right]^{1/3} \quad (7)$$



$$h_{cvp} = 9.15 \times 10^{-7} h_{cv}^{e-vi} \left(\frac{P_e - P_{vi}}{T_e - T_{vi}} \right) L_V \quad (8)$$

La pression de saturation de la vapeur d'eau et la chaleur latente d'évaporation sont estimées par les relations suivantes [2] :

$$P = \exp\left(25.317 - \frac{5144}{T}\right) \quad (9)$$

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

Le coefficient d'échange par convection entre la vitre externe et l'air ainsi que celui entre la face externe de l'isolation et l'air est donné par la relation suivante [5] :

$$h_{cv}^{ve-a} = h_{cv}^{ie-a} = 5.7 + 3.8 \times V \quad (11)$$

Le facteur d'échange par rayonnement peut s'écrire ainsi :

$$h_R^{ve-a} = \varepsilon_{eff} \sigma \left[\frac{T_{ve}^4 - T_a^4}{T_{ve} - T_a} \right] \quad (12)$$

$$\text{Avec} \quad \varepsilon_{eff} = \left[\frac{1}{\varepsilon_e} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1 \right]^{-1}$$

La température ambiante peut s'exprimer en fonction du temps par la formule suivante [3] :

$$T_a = \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) + \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right) \sin(15t - 120) \quad (13)$$

Ts est déduite par la formule suivante [3] :

$$T_s = 0.0552 \times T_a^{3/2} \quad (14)$$

md représente le débit d'évaporation elle est donnée par la formule suivante :

$$m_d = 9.15 \times 10^{-7} h_{cv}^{e-vi} (P_e - P_{vi}) \quad (15)$$

La chaleur échangée entre la saumure et le bac absorbant se fait par convection naturelle. La valeur du nombre de Nusselt calculée expérimentalement par MACADAMS [8] dépend du nombre de Grashoff (Gr) a pour expression:

$$h_{cv}^{b-e} = \frac{Nu_e \lambda_e}{L} = \begin{cases} 1 \times \frac{\lambda_e}{L} & Ra = (Gr Pr) \leq 10^5 \\ 0,54 \times Ra^{1/4} \times \frac{\lambda_e}{L} & 10^5 \leq Ra < 2 \times 10^7 \\ 0,14 \times Ra^{1/4} \times \frac{\lambda_e}{L} & 2 \times 10^7 \leq Ra < 3 \times 10^{10} \end{cases} \quad (16)$$

Les équations régissant le fonctionnement d'un distillateur solaire sont résolues par une approche numérique basée sur la méthode de Gauss-Seidel d'itération. Notre travail consiste à développer un système d'équations gouvernant le fonctionnement du système. On utilisant comme modèle pour le rayonnement solaire global reçu sur une surface inclinée le modèle de PERRIN BRICHAMBEUT donnée par [3]. Nous

avons aussi élaboré un programme qui nous a permis de mettre en évidence les différents paramètres influant sur la production du distillat pour des périodes et des lieux différents.

V. RÉSULTATS ET DISCUSSION :

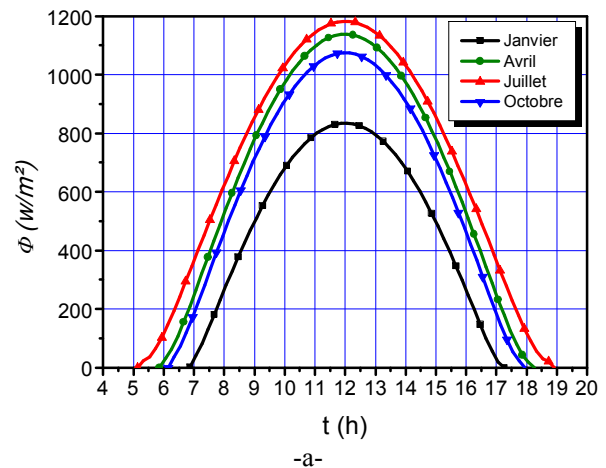
Notre étude a porté sur la région d'Adrar, située au Sud-ouest algérien et ayant les coordonnées géographiques: latitude (27°.88) Nord, longitude (0°.17) Ouest, et un décalage horaire d'une heure.

En vue de simuler le fonctionnement de notre prototype au cours d'une année, on a pris un jour représentatif de chaque saison, de façon qu'il soit presque à la moitié de la saison, à savoir le premier janvier, le premier avril, le premier juillet, et le premier octobre. Ils se rapportent respectivement aux périodes hivernale, printanière, estivale, et automnale.

Cependant, il est vrai que les conditions météorologiques ne sont pas tout à fait identiques le long de la même saison, d'ailleurs le début de la saison ne ressemble pas à sa fin, mais la projection sur toute la saison serait pour autant plus profitable dans la simulation.

On peut voir sur la figure (2) la variation du rayonnement solaire reçu par une surface plan selon la saison. Il est plus intense au premier juillet tandis qu'il est moins intense au premier janvier. De même, la durée d'insolation est plus longue dans la période estivale alors qu'elle est plus courte dans la période hivernale.

L'inclinaison du plan à une grande influence sur l'intensité du rayonnement globale surtout en période du solstice d'hiver. Il est évident qu'en hiver, le plan incliné est en général beaucoup mieux que le plan horizontal. Cela s'interprète par le fait que la déclinaison du soleil est positive en été et négative en hiver, ce qui fait que les rayons solaires sont, en hiver, à peine perpendiculaires sur un plan incliné alors que ce n'est pas le cas pour le plan horizontal sur lequel les rayons sont presque rasants.



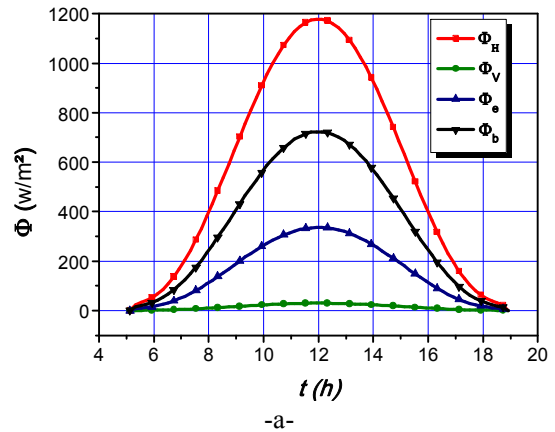
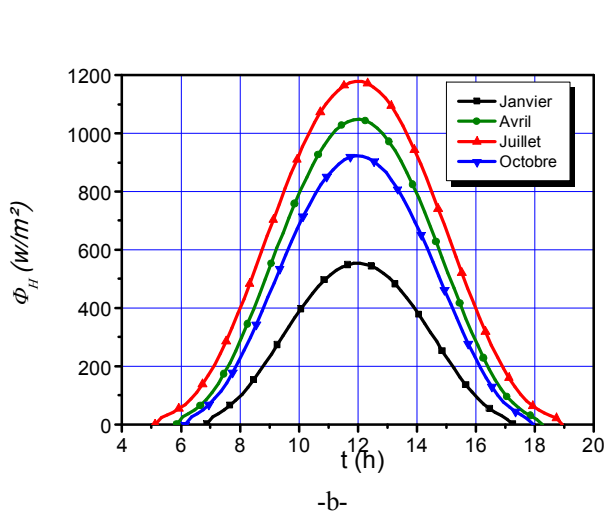


Fig. 2 Variation temporelle du rayonnement solaire

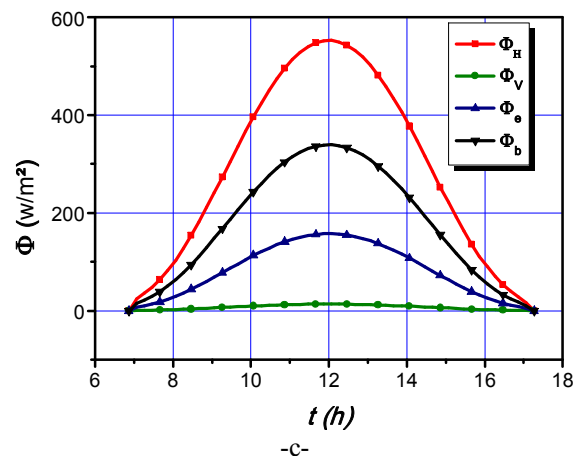
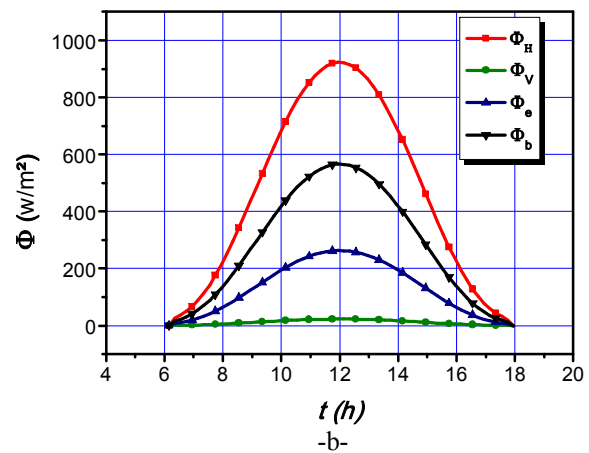
a-pour un plan incliné (10°)
b-pour un plan horizontal

VARIATION TEMPORELLE DES PUISSANCES ABSORBÉES :

Les figures 3-a-, 3-b- et 3-c- et 3-d- montrent l'évolution temporelle du rayonnement solaire globale reçu par mètre carré de surface plane horizontale (pendant une journée) selon les jours de calcul. Nous observons aussi une symétrie par rapport au midi solaire, d'où l'insolation est plus intense de 10h00 à 16h00 (les puissances atteignent leur maximum à midi) tandis qu'elles sont moins intenses à la fin de la journée.

La puissance absorbée par la vitre n'est pas considérable, elle reste toujours inférieure à celle absorbée par la saumure et le bac absorbant. Ceci est dû à ses caractéristiques géométriques et optiques. Par contre la puissance absorbée par le bac absorbant est la plus élevée : elle est largement supérieure à celle de la saumure en raison de la caractéristique de l'absorbant.

Nous pouvons constater aussi que la durée du jour varie d'une saison à l'autre, elle est courte en hiver long en été.



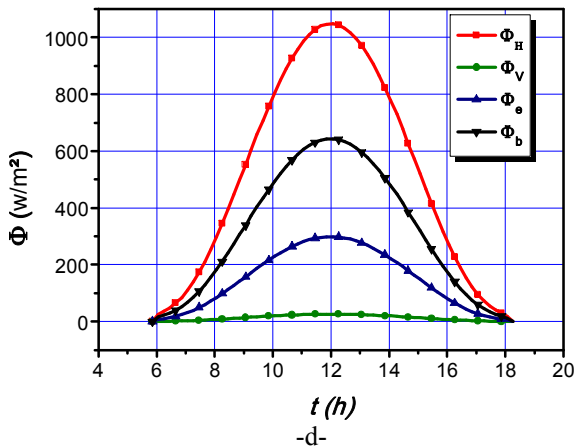


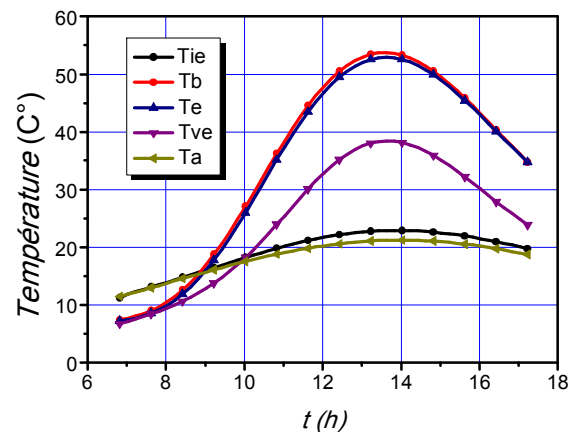
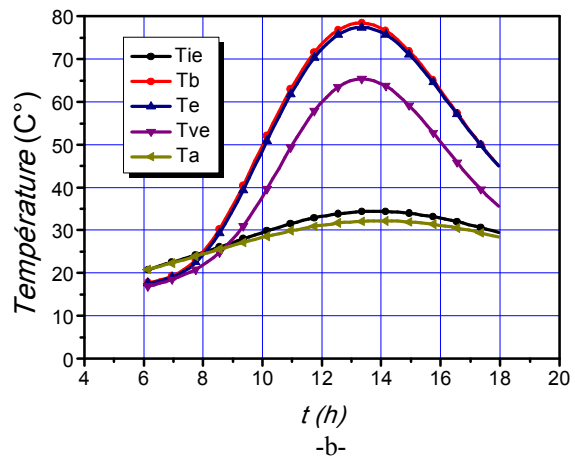
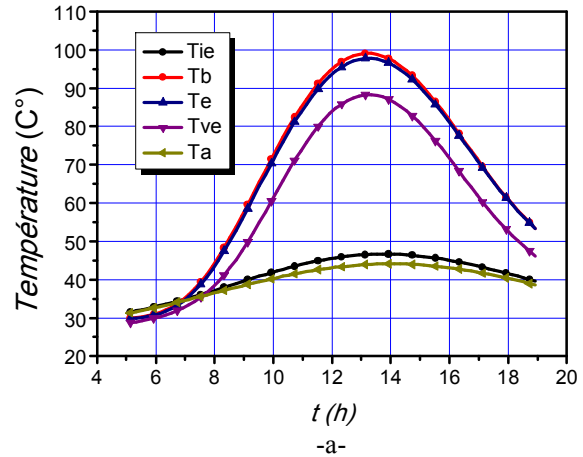
Fig.3 : Variation temporelle des puissances absorbées pour les 4 saisons
a-Juillet , b-Octobre, c-Janvier, d-Avril

VARIATION TEMPORELLE DES DIFFÉRENTES
TEMPÉRATURES DE DISTILLATEUR :

Les figures 4-a, 4-b- et 4-c- et 4-d présentent l'évolution temporelle de la température de chaque composant du distillateur ($T_{vi}, T_{ve}, T_e, T_b, T_{ii}, T_{ie}$) pendant les jours de calcul. On remarque, en premier lieu, que les températures augmentent proportionnellement avec le temps et atteignent une valeur maximale pour chaque élément. Cette valeur varie d'une saison à l'autre, on constate le long de l'intervalle du temps que les températures ne dépassent pas 100°C en juillet, de l'ordre de 80°C en Avril et Octobre et elle est d'environ 52°C en Janvier. Nous pouvons observer que les températures du bac absorbant et la face interne de l'isolant (celle en contact directe avec l'absorbeur) sont les plus élevées. La température de la saumure augmente progressivement, elle est proche de celle du bac mais reste inférieure à celle du bac absorbant. Cette dernière est chauffée surtout par la convection (convection naturelle) et d'un degré moindre par la conduction.

La faiblesse de la température de la vitre par rapport à celle de l'eau s'explique par l'échange convectif avec l'ambiance, ceci permet à la vapeur d'eau de se condenser sur la face intérieure de la vitre. La température intérieure de la vitre T_{vi} est légèrement supérieur à la température de la face extérieure ; ceci s'explique par la quantité importante du flux reçu par la face intérieure (la chaleur cédée par la surface d'évaporation par rayonnement, évaporation et convection naturelle) tandis que la face extérieure est soumise à l'action

du vent. La température la plus basse est celle de l'isolant de la face arrière : la conductivité thermique est très faible.





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

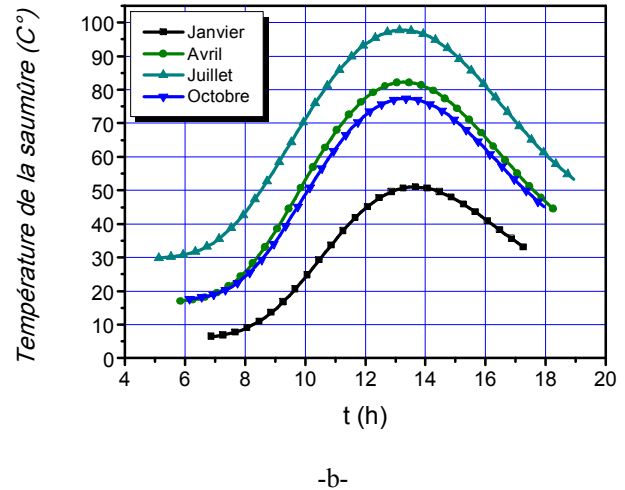
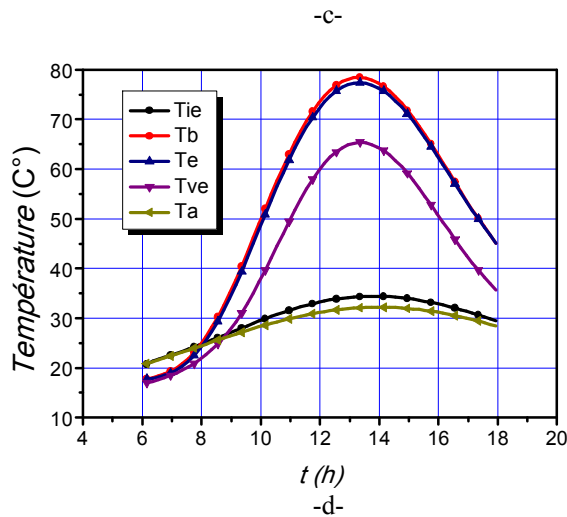


Fig. 4 Variation temporelle des différentes températures de distillateur pour les 4 saisons

Fig. 4 Variation temporelle températures de l'eau et de la plaque du distillateur pour les 4 saisons.

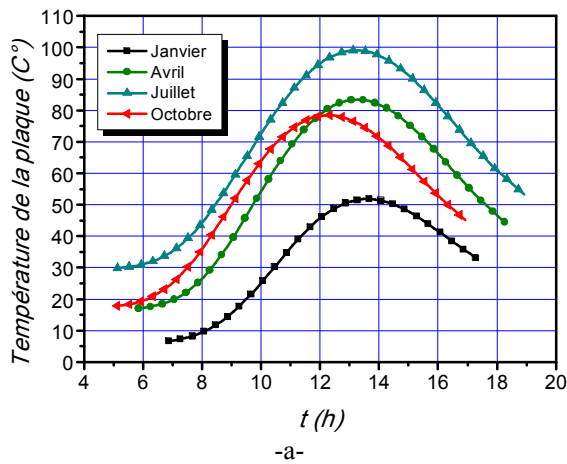
a-Juillet, b-Octobre, c-Janvier, d-Avril

-a- plaque absorbante.

-b- la saumure.

L'observation de la figure 5 et la figure 6 permet de remarquer que la température de la plaque et de la saumure varie pour chaque saison de l'année, elle est néanmoins plus élevée surtout en moi de juillet.

QUANTITÉ DE L'EAU DISTILLÉE :



La production horaire de l'eau distillée pour un distillateur simple à effet de serre est représentée dans la figure 5-a- et la production journalière sur la figure 5-b-. On remarque que la production varie pour chaque saison elle est considérable pour le moi de juillet d'environ (5,55 l/m²/jour), pour le mois d'Avril et d'Octobre elle est moyenne comprise entre (3 et 4 l/m²/jour). Par contre, en moi de Janvier la production journalière d'eau distillée est de (1,1 l/m²/jour). La production d'eau distillée, en période estivale est très importante par rapport à celle de la période hivernale.

Les variations de la quantité d'eau distillée en fonction du temps (production horaire et production cumulée) pour chaque jour de calcul sont représentées sur les figures 6-a-, 6-b- et 6-c- et 6-d. L'analyse des ces résultats montrent une forte concordance avec ceux publiés dans la littérature.

Tous les résultats discutés dans ce paragraphe sont récapitulés dans le tableau (1).

TABLE I

Températures (T_e et T_{vi}) et quantité de l'eau distillée
Pour 4 saison

	1 ^{er} Jan.	1 ^{er} Avr.	1 ^{er} Jui.	1 ^{er} Oct.
T_e (°C)	51	83	99	78



T_{vi} (°C)	37	73	92	68
$(T_e - T_{vi})$ (°C)	14	10	7	10
m_d (ℓ / jours / m ²)	1.10	4.01	5.55	3.32

La figure 7 illustre l'évolution annuelle de la production journalière. Elle est importante pour plus de 8 moi par année (entre le moi de Mars et le moi d'Octobre). Les températures de différents composant de distillateur ainsi que la production journalière suit l'évolution du rayonnement solaire. D'où les maximas se trouvent là où le rayonnement solaire est maximal.

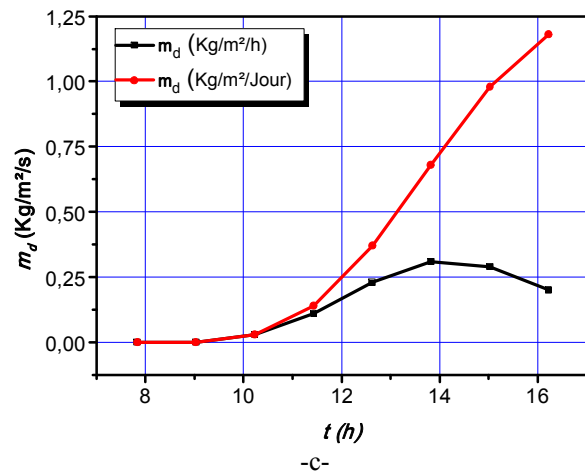
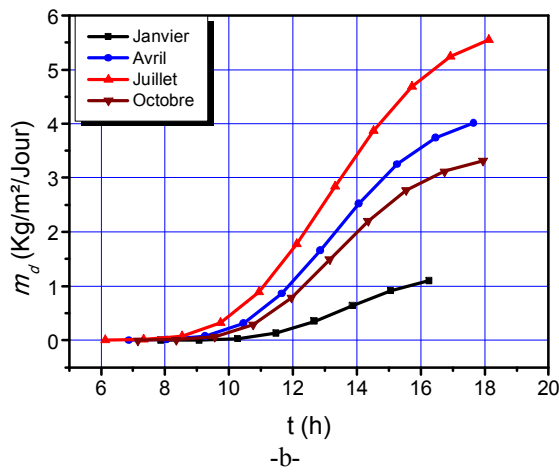
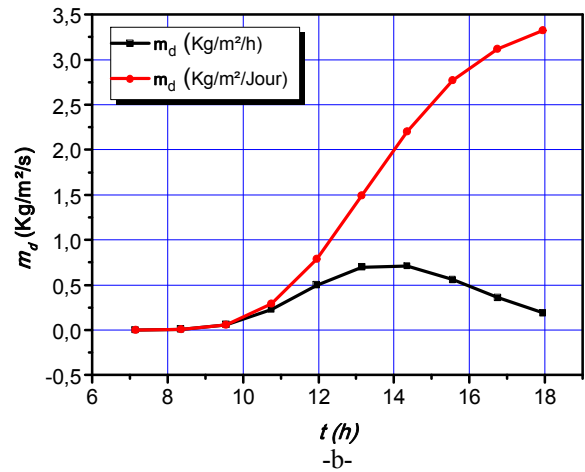
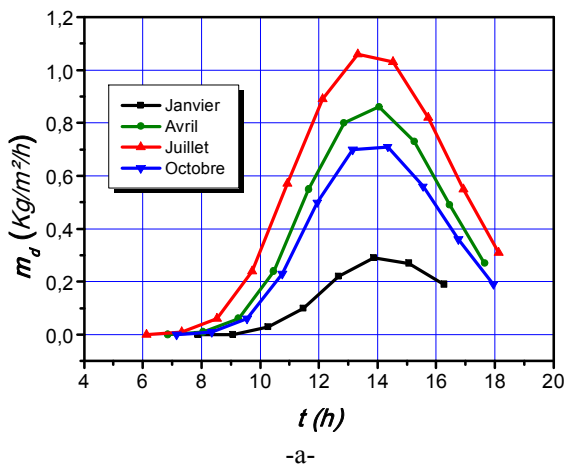
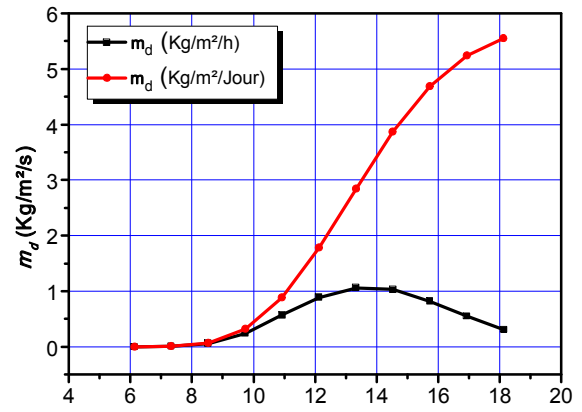


Fig. 5 Variation temporelle de la production de distillat pour les 4 saisons
a- production horaire, b- production journalière

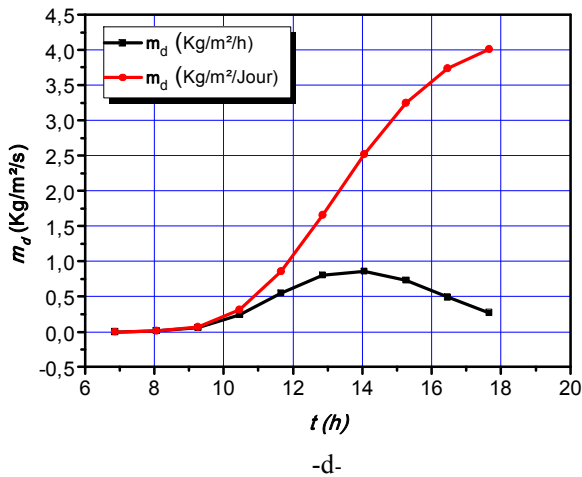


Fig. 6 : Variation temporelle de la production de distillat pour les 4 saisons
a-Juillet, b-Octobre, c-Janvier, d-Avril

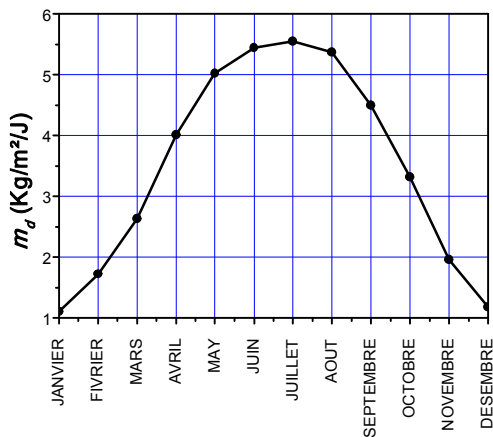


Fig.7 Variation temporelle de la production de distillat pendant une année

VI. CONCLUSION

Adrar la partie centrale de la région Saharienne caractérisée par un très grand écart de température, ajoutons à cela le fort ensoleillement de cette région. La vitesse du vent quotidienne

assez importante. Tous ces phénomènes favorisent l'utilisation de l'énergie renouvelable. La distillation solaire à effet de serre en milieu Saharien est l'une des applications qui présente un grand intérêt.

Le travail présenté concerne l'étude théorique et numérique en régime transitoire d'un distillateur solaire plan à effet de serre. Les résultats ainsi obtenus et présentés par différentes figures montrent que le système présente une meilleure production journalière surtout pendant la période estivale avec une moyenne production pour les deux périodes automnale et printanière. Cependant une faible quantité a été donnée par le système pour la période hivernale.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence l'effet de l'irradiation globale sur la production journalière. Il apparaît en particulier qu'une augmentation de l'irradiation globale qui reste le paramètre le plus influant, conduit à un accroissement de la production journalière.

RÉFÉRENCES

- [1] Ch.PERRIN de BRICHAMBAUT, Ch. VAUGE, Le gisement solaire, Edition TEC & DOC Lavoisier, Paris, 1982.
- [2] M. IQBAL, An introduction to solar radiation, Academic press, 1983.
- [3] Harpreet S. Kwatra, Solar Energy Vol. 56, No. 3, p. 261, 1996.
- [4] M. M. Aboabboud et al, Energy, Vol. 22, No. 1, p. 83, 1997.
- [5] H.P.Garg, Usha Rani, Solar Energy, Vol. 29, No. 6, p. 467, (1982).
- [6] John A. Duffie, William A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd ed. New york, (1991)
- [7] Satcunathna et Hansen. An investigation of some of the parameters involved in solar distillation. Solar Energy, Vol 14, pp 353-363(1973).
- [8] Harpreet S. K. Watra, 1996, Performance of a solar still predicted effect of enhanced evaporation area on yield and evaporation temperature, solar energy, vol. 56, nO.3, pp. 261-266.
- [9] John R Howeel, Richard b, Gary C. Vliet, "Solar Thermal Energy Systems, Analysis and Design "New York (1982).