

CONTRIBUTION A L'ETUDE, REALISATION ET SIMULATION D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE À CASCADES

Reçu le 07/12/2009 – Accepté le 11/1/2010

Résumé

Dans cette étude, nous nous intéressons à la réalisation et l'expérimentation d'un distillateur solaire à cascades à effet de serre à coût réduit. Cet appareil est destiné à distiller des eaux salées pour les consommateurs ruraux. En premier lieu, nous présentons une synthèse bibliographique sur les distillateurs solaires, une citation des nouveautés relatives aux distillateurs solaires, une étude analytique et théorique de notre dispositif et enfin un programme permettant de calculer plusieurs paramètres tels que : les températures, l'efficacité globale et interne, le rendement et le facteur de performance. Et enfin, nous présenterons la conception du distillateur solaire, les résultats des essais sur notre dispositif. Le rendement journalier du distillateur solaire est de 1.8litre/jour pour une surface de l'absorbeur de 0.436 m².

Toutes les matières solides dissoutes (TDS), la conductivité et le PH de cette eau ont été mesurées, une analyse économique sur le coût et le rendement de notre conception.

Mots clés : distillateur solaire, cascades, effet de serre, efficacité, distillat

Abstract

In this study, we are interested in carrying out and experimentation of a solar distiller in cascade for purpose of reducing greenhouse cost. This apparatus is intended to distil the water salted for the rural consumers. Initially, we present a bibliographical synthesis on the solar distillers, a quotation of the innovations relating to the solar distillers, an analytical and theoretical study of our device and finally a program allowing to calculate several parameters such as: the temperatures, the total and intern effectiveness, the output and the factor of performance and finally we present the design of the solar distiller. Results of the tests on our device. The daily output of the solar distiller is of 1.8litre/jour for a surface of the absorber of 0.436 m². All the dissolved solid matters (TDS), the conductivity and the pH of this water were measured. Finally we present an economic analysis on the cost and the output of our design.

Keywords : solar still, waterfalls, greenhouse efficiency, distillate

I.TABET

N.BELLEL

Laboratoire Physique Energétique
Faculté des Sciences Exactes
Département de Physique
Université Mentouri-Constantine
Algérie.

ملخص

في هذه الدراسة، ونحن نركز على تنفيذ واختبار دفيئة التقطير تتالي الشمسية بتكلفة مخفضة. ويهدف هذا الجهاز لتقطير المياه المالحة للمستهلكين في المناطق الريفية. أولاً، نقدم استعراضاً لأدبيات اللقطات الشمسية، واقتبس على اللقطات الجديدة للطاقة الشمسية، ونظرية تحليلية لنظامنا وبرنامج لحساب العديد من المعلمات مثل درجة الحرارة، والكفاءة الكلية والأداء الداخلي وعامل الأداء. وأخيراً، فإننا نقدم تصميم الشمسية حتى الآن، ونتائج الاختبارات على نظامنا. من الإنتاج اليومي من التقطير الشمسي 1.8litre/jour لمساحة 0.436 m² من امتصاص.

جميع المواد الصلبة الذائبة (TDS)، تم قياس التوصيل ودرجة الحموضة من الماء، والتحليل الاقتصادي على التكلفة والأداء لدينا تصميم.

: الطاقة الشمسية لا تزال، والشلالات، المسببة للاحتباس الحراري الكفاءة، ونواتج التقطير

INTRODUCTION

Sur le plan mondial, la demande en eau potable de bonne qualité est de plus en plus forte. En effet, la population mondiale augmente rapidement et les besoins en eau pour l'industrie et l'agriculture sont de plus en plus élevés. En Algérie, le problème d'approvisionnement en eau potable est déjà posé, d'abord il faut mettre en place des mécanismes pour diminuer le gaspillage et les fuites d'eau, car cette substance reste insuffisante. L'une des solutions est la production de l'eau douce à partir de l'eau salée.

Néanmoins, le dessalement nécessite une énergie dont le coût est important, pour cela des projets dans le domaine de l'énergie solaire ont montré depuis 1872, que la distillation solaire est économiquement plus compétitive lorsque la demande en eau douce n'est pas trop grande.

Par sa situation privilégiée, l'Algérie dispose du plus grand gisement solaire du Bassin méditerranéen. La durée moyenne d'ensoleillement du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le désert du Sahara. Le total d'énergie reçue est estimé à 169 400 TWh/an, soit 5000 fois la consommation d'électricité annuelle du pays.

Plusieurs types de configurations de distillateurs solaires ont été construits et essayés à travers le monde. Dans le même temps beaucoup de chercheurs ont proposé des modèles mathématiques pour décrire les transferts de chaleur et de matière dans les distillateurs solaires. Pour réaliser ce travail nous avons pu nous appuyer sur nombreuses études théoriques et expérimentales dans le domaine de la distillation solaire à simple effet (distillateur solaire à cascade). Ainsi, le choix de la simulation numérique comme outil d'étude a été motivé par les résultats présentés dans les différentes études. Le distillateur solaire à cascade développé repose sur une géométrie simple à réaliser avec un coût minimum.

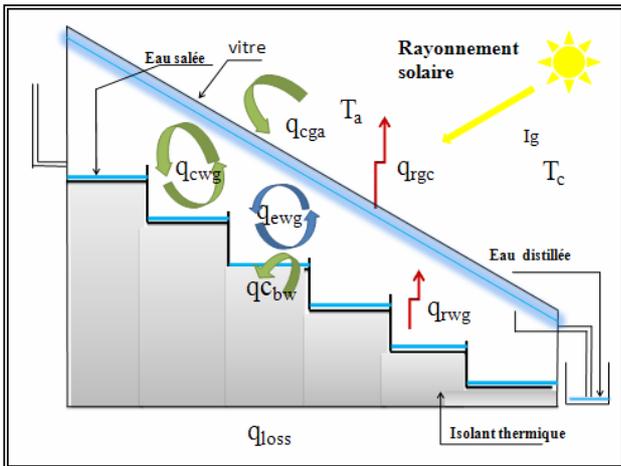


Figure.1 Principe de fonctionnement de distillateur solaire à cascade

2. Bilan Thermique

Dans la couverture

$$M_g C_p \frac{dT_g}{dt} = P_g + q_{wg}^r + q_{wg}^c + q_{wg}^{ev} - q_{ga}^c - q_{ga}^r \quad (1)$$

$P_g = \alpha_g I_g A_g$, Puissance solaire de la surface absorbée par la masse d'eau

$q_{wg}^c = h_{wg}^c (T_w - T_g) A_w$, Flux de chaleur échangé par convection entre la vitre intérieure et la masse d'eau

$$h_{wg}^c = 0.884 \left\{ \left(T_w - T_g \right) + \frac{(P_V^w - P_V^g)}{268.9 \times 10^3 - P_V^w} \right\} \times \frac{1 + \cos(\theta)}{2} \quad (2)$$

P_V^w Et P_V^g Représente la pression de vapeur au niveau de la saumure et la surface intérieure de la vitre respectivement.

$q_{wg}^r = h_{wg}^r (T_w - T_g) A_w$, Flux de chaleur échangé par rayonnement entre la vitre et la masse d'eau

$$h_{wg}^r = \epsilon_{eff} \times \sigma (T_w^2 + T_g^2) \times (T_w + T_g) \quad (3)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_g} - 1} \quad (4)$$

ϵ_w : coefficient d'émissivité de l'eau.

ϵ_g : coefficient émissivité de la vitre.

σ : Constante de Stefan-Boltzmann (=5.6697.10⁻⁸[WM⁻²K⁻⁴])

$q_{wg}^{ev} = h_{wg}^{ev} (T_w - T_g) A_w$, Flux de chaleur échangé par évaporation entre la vitre et la masse d'eau

$$h_{wg}^{ev} = 16.276 \times 10^{-3} \times h_{wg}^c \times \frac{(P_V^w - P_V^g)}{(T_w - T_g)} \quad (5)$$

P_V^w et P_V^g Représente la pression de vapeur au niveau de la saumure et la surface intérieure de la vitre respectivement, ils sont estimés par les relations suivantes

$$P_g = e^{\left(\frac{25.317 - 5144}{T_g + 273} \right)} \quad (6)$$

$$P_w = e^{\left(\frac{25.317 - 5144}{T_w + 273} \right)} \quad (7)$$

$q_{ga}^r = h_{ga}^r (T_g - T_a) A_g$, Flux de chaleur échangé par rayonnement entre le milieu ambiant et la surface extérieure de la vitre

$$h_{ga}^r = \epsilon_g \times \sigma \times (T_g^2 + T_c^2) \times (T_g + T_c) \quad (8)$$

T_c : est la température du ciel.

Cette température est donnée en fonction de la température ambiante

$$T_c = T_a - 6$$

(9)

$q_{ga}^c = h_{ga}^c (T_g - T_g) A_g$, Flux de chaleur échangé par convection entre le milieu ambiant et la surface extérieure de la vitre

$$h_{ga}^c = 5.7 + 3.8 \times V$$

(10)

Avec V: Vitesse du vent en M/s

Dans la saumure

$$M_w C_{pw} \frac{dT_w}{dt} = P_w - q_{wg}^r - q_{wg}^c - q_{wg}^{ev} - q_{bw}^f$$

(11)

$P_w = \alpha_w I_g A_w$, Puissance solaire de la surface absorbée par la masse d'eau

$q_{bw}^f = h_{bw}^c (T_b - T_w) A_b$, Flux de chaleur échangé par convection entre le l'absorbteur et la masse d'eau **Dans le bac absorbant**

$$M_b C_{pb} \frac{dT_b}{dt} = P_b - q_{perdes} - q_{bw}^f$$

(12)

$P_b = \alpha_b I_b A_b$, Puissance solaire absorbée par l'absorbteur

$q_{perdes} = h_b (T_b - T_a) A_b$, Pertes thermiques entre le bassin et le milieu ambiant

D'après V.VEIMRUGAN [7] $U_b=14W/M^2K$

1. Les caractéristiques de fonctionnement:

Un distillateur solaire est essentiellement caractérisé par les grandeurs suivantes :

La production (le débit du distillat)

Qui est la quantité d'eau distillée journalière produite par de surface d'évaporation.

$$m_d = \frac{q_{ev}}{L_v}$$

(13)

L'efficacité globale

Représentant le rapport de la quantité d'énergie évaporée par (m²), à la quantité d'énergie globale incidente par (m²) sur une surface horizontale. Elle est définie par le rapport :

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{I_g A} = \frac{m_d L_v}{I_g A}$$

(14)

q_{ev} ; quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps

A: superficie du capteur (aire de vitre).

I_g : Energie solaire globale incidente par m² sur une surface horizontale, pendant un jour.

L_v : chaleur latente de vaporisation

m_d : le débit de distillat

L'efficacité interne:

Qui représente le rapport de la quantité d'énergie évaporée par (m²) de surface, à la quantité effectivement absorbée par la saumure par (m²) de surface

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{q_{eau}} = \frac{m_d L_v}{\alpha_t I_g A}$$

(15)

$\alpha_t I_g$: la quantité de chaleur absorbée par l'eau.

α_t : le coefficient d'absorption thermique

Pour une intensité globale I_g , l'expression de q_{eau} est:

$$q_{eau} = (\tau_w \alpha_w + \tau_w \tau_g \alpha_b) I_g A$$

En posant:

$$\alpha_t = \tau_w \alpha_w + \tau_w \tau_g \alpha_b$$

Performance

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière plus absolue a amené, ainsi à définir le facteur de performance brut (F.P.B) et le facteur de performance horaire (F.P.H)

F. P. B Le rapport de la quantité d'eau produite au bout de 24h sur la quantité d'énergie entrée au bout de 24h.

F. P. H: Le rapport de la quantité d'eau produite au bout d'une heure sur la quantité d'énergie entrée au bout d'une heure.

A un instant donné de la journée, le facteur de performance F.P. est donné par la relation:

$$FP = \frac{m_d}{\alpha_t I_g A}$$

2. Expérimentation

Le système expérimental est composé essentiellement d'un distillateur solaire à effet de serre à cascade dans le couvercle est en verre. L'inclinaison la couverture est d'environ 30° par rapport à l'horizontale de manière à avoir le maximum d'ensoleillement. L'isolation est assurée par une couche de laine de verre d'une épaisseur de 6 cm (Fig. 2).

Les essais effectués, à Constantine, dans un endroit où le distillateur fut exposé aux rayons solaires pour qu'il puisse capter le maximum de rayonnement solaire sans aucune obstruction, qui présente les caractéristiques suivantes: Latitude 37°.17 Nord, Longitude 6°.62 Est, Décalage horaire: (01) heure.

Les différents essais effectués durant la période estivale, nous ont permis de mesurer la production journalière d'eau distillée pendant une durée allant de (06) six heures du matin jusqu'à (18) dix-huit heures du soir. On utilisa un thermomètre pour mesurer la température ambiante.



Figure. 2: Schéma du distillateur solaire à cascade

Interprétation des résultats

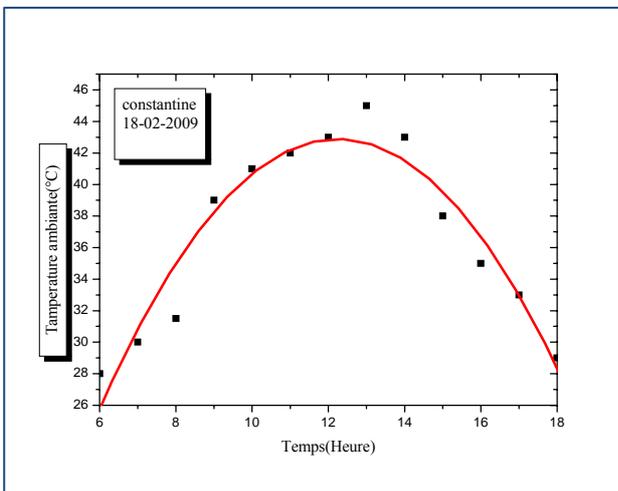


Figure. 3 Evolution de la température ambiante

La figure.3 montre l'évolution de la température ambiante pendant le jour, par une approximation polynomiale des résultats expérimentaux, la courbe d'approximation est exprimée par l'équation, sous les conditions suivantes: $6 \leq TL \leq 18$ et $15^\circ\text{C} \leq ta \leq 45^\circ\text{C}$.

$$Ta = -19.64595 + 9.91394 TL - 0.40724 TL^2$$

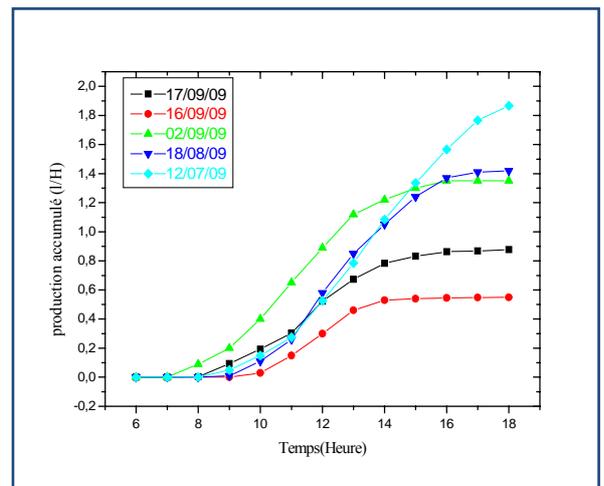
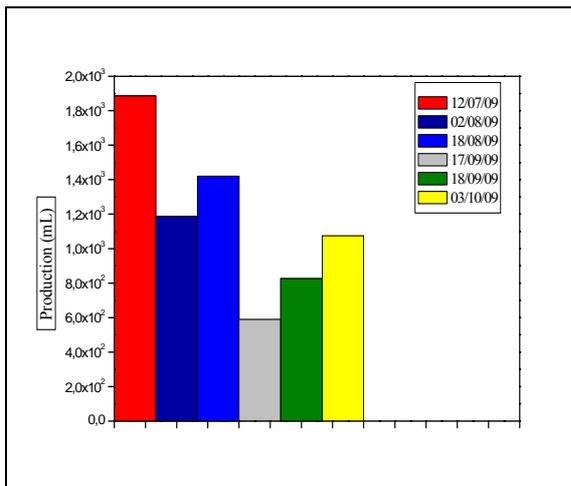


Figure. 4 Variation de la quantité d'eau distillée cumulée

La figure 4 présente la variation temporelle de la quantité d'eau distillé cumulée dans les jours des essais, d'après cette figure on constate que la quantité d'eau distillé la plus élevée peut être pendant la journée du 12/07/2010 et ceci est du au flux solaire incident qui est important durant celle-ci.

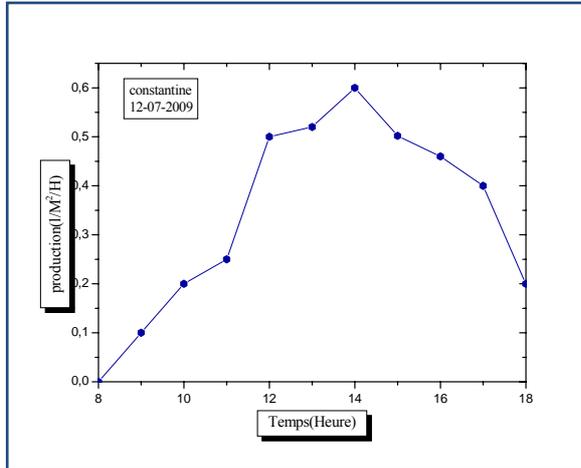


Figure 5 - Variation de la quantité d'eau distillée (18-08-2009)

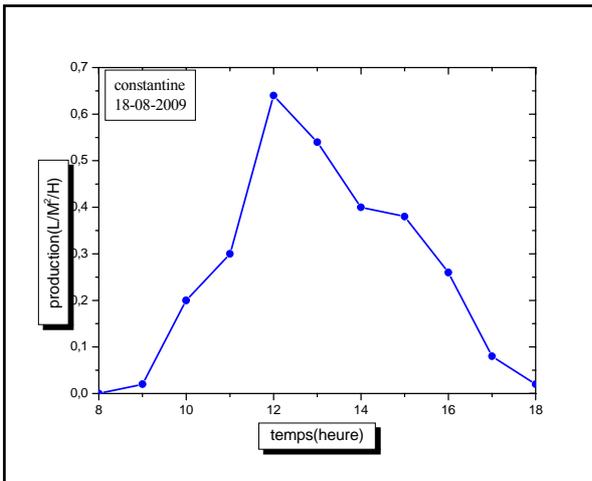


Figure 6 - Variation de la quantité d'eau (12-07-2009)

Les figures 5 et 6 présentent la variation de la quantité d'eau distillée en fonction de temps dans les jours 18/08/2009 et 12/07/2009, la production d'eau distillée commence être considérable depuis Huit heures du matin jusqu'à dix-huit heures du soir, les valeurs maximales atteintes entre douze heures (12) à quatorze heures.

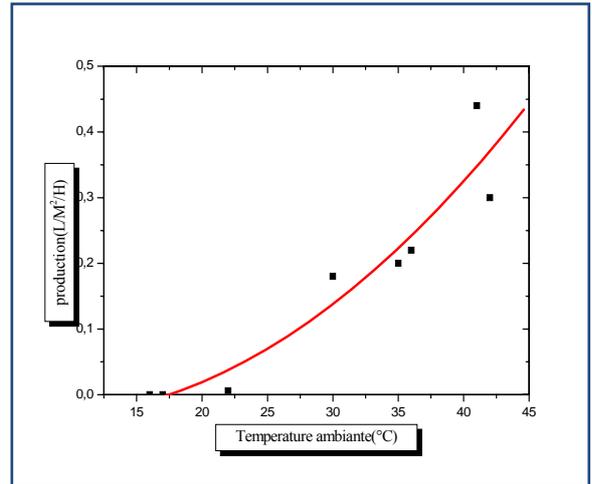


Figure 7 - Evolution de la production en fonction de la température ambiante

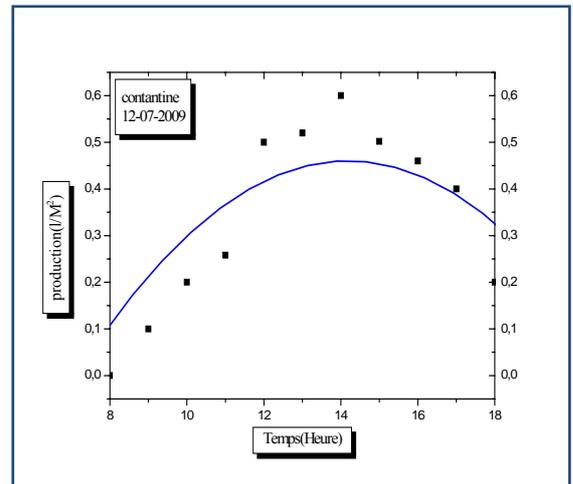


Figure 8 - Evolution de la production du distillat

L'évolution de la quantité d'eau distillée produit en fonction de la température ambiante est présentée dans la figure 7, par une approximation polynomiale des résultats expérimentaux.

La courbe d'approximation est exprimée par l'équation, sous les conditions suivantes : $0 \leq md \leq 0.6$ et $15^\circ\text{C} \leq ta \leq 45^\circ\text{C}$ $md = 6.20544 - 0.37194Ta + 0.00552Ta^2$

La figure 8, montre l'évolution de la production journalière, par une approximation polynomiale des résultats expérimentaux, la courbe d'approximation est exprimée par l'équation, sous les conditions suivantes : $6 \leq TL \leq 18$ et $0C \leq mde \leq 0.6$ $md = -1.38922 + 0.26078 TL - 0.009919 TL^2$

Paramètre	Turbidité (NTU)	O ₂ en dissous (mg/l)	Conductivité μs/cm	TDS Mg/l	Salinité Mg/l	PH
Ech n°=1	8.24	1.89	361	196	0.2	6.82
Ech n°=2	2.01	2.30	1426	782	0.8	7.94
Ech n°=3	2.06	2.27	188.7	99.6	0.1	7.52
Ech n°=4	2.20	1.89	149.2	81.4	0.2	6.73
Norme eau potable	0-5	210	400-1000	300-600	0.2-0.4%	6.5-8.5

Tableau des résultats des essais de traitements de l'eau distillée

3. Résultats des essais de traitement de l'eau après la distillation

Les tests effectués après distillation montrent qu'il y a une diminution des grandeurs citées ci-dessus, à cause de l'absence des sels, puisque le pourcentage de la salinité devient 0.2 dans la plupart des tests, lorsqu'on parle de sels on signifie la conductivité, PH et TDS.

Enfin, on peut dire que notre distillateur fonctionne normalement et donne de bons résultats.

4. Analyse économique

La période de remboursement de l'installation expérimentale dépend du coût global de fabrication, du coût d'entretien, des frais d'exploitation, et du coût d'eau d'alimentation.

Le coût global de fabrication est estimé à 6000 DA.

Le coût d'entretien et le coût d'eau d'alimentation sont négligeables.

Coût global à considérer = 6000 DA

Coût par litre d'eau distillée = 20 DA.

Productivité moyenne du distillateur solaire à cascade = 1.5 l/M²/jour.

Le coût de l'eau à produire par jour = 30 DA.

Donc la période de remboursement est de 200 jours.

CONCLUSION

Les résultats expérimentaux qui ont été obtenus nous conduisent à dire que la production d'eau distillée dépend, évidemment, de l'énergie solaire incidente, et aussi de la surface absorbante entre un autre un volume de 1.8 litre de distillat de très bonne qualité qui a pu être récupéré en fin de journée.

On constate également un fort gradient de température entre la nappe d'eau et la vitre, ce qui favorise la condensation et l'évaporation

REFERENCES

[1] R, Bernard, G Merguy, M.Schwartz, Le rayonnement solaire: conversion thermique et application .Technique et documentation, deuxième édition -1980.

[2] M A S Malik, G N Tiwari, A Kumar, M s sodha, solar distillation, Oxford, Pergamon, Press (1982).

[3] L. Cherrared, Amélioration du Rendement d'un distillateur solaire à effet de serre, Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Revue. Energie. Renouvelable, Valorisation pp 121-124,1999

[4] V .Velmurugan, s, senthil, kumaran, V.niranjan prabhi, and K, srithar, productivity enhancement of stepped solar still-performance analysis, thermal science. vol.12 No, pp, 153-163,2008.

[5] Abdulhaiy M.Radhan, Transient analysis of a stepped solar for heating and humidifying greenhouses, Désalination 161 89-97,2004.

[6] thermique solaire, paris 2007.

[7] V. Velmurugan , M. Gopalakrishnan , R. Raghu , K. Srithar , Single basin solar still with fin for enhancing productivity, Energy Conversion and Management, 49, pp,2602-2608.2008.

[8] Himet S Aybar, Fuat Egelioglu, U.Atikol An experimental study on an inclined solar water distillation system, Desalination 180,pp 285-289, 2005.

[9] G.M. Cappelletti, An experiment with a plastic solar still, Desalination,pp 142 221-227. 2002.

[10], Soteris A. Kalogirou, Seawater desalination using renewable energy sources, Elsevier Progress in Energy and Combustion Science 31,pp 242-281,2005.

[11] Hassan E.S. Fath*, H.M. Hosny, Thermal performance of a single-sloped basin still with an inherent

built-in additional condenser, Desalination 142 ,pp 19-27,2002.

[12] A. Deliou, N.Bessas, Z, Belgroun, H. Aburideh, A.Lounis et A. Chikouche, Etude expérimentale des caractéristique d'un distillateur solaire à effet de serre, R, Energ.Ren CICM, 08 sousse109-18, 2008.

[13] Bassam A/K Abu-Hijleh , Hamzeh M. Rababa-h Experimental study of a solar still with sponge cubes in basin, Energy Conversion and Management 44 pp 1411–1418,2003.

Nomenclature

M^2	Surface du corps	A
$J/Kg. °C$	Chaleur massique à pression constante	C_p
M	Epaisseur du corps	e
$W/M^2. °C$	Coefficient d'échange thermique par convection	h^c
$W/M^2. °C$	Coefficient d'échange thermique par rayonnement	h_{i-j}^r
$W/M^2. °C$	Coefficient d'échange thermique par évaporation	h^{ev}
$W/M^2. K$	Coefficient global des pertes thermiques	U
W/M^2	Rayonnement globale incident	I_g
Kj/Kg	Chaleur latente de vaporisation	L_v
Kg/s	Masse du corps	M
Pa	Pression de la vapeur d'eau à la température du vitrage	P_v^g
Pa	Pression de la vapeur d'eau à la température de la saumure	P_v^w
W/M^2	Puissance solaire absorbée	P
W	Flux de chaleur échangé par convection	q^c
W	Flux de chaleur échangé par rayonnement	q^r
W	Flux de chaleur échangé par évaporation	q^{ev}
M/S	Vitesse du vent	V

Lettres grecques

	Désignation	Unité
α	Coefficient d'absorption	
β	Inclinaison de la vitre	
ε	Emissivité	
η	Efficacité	%
λ	Conductivité thermique	$W/M. °C$
μ	Viscosité dynamique	$Kg/M.S$
ν	Viscosité cinématique	M^2/S
ρ	Masse volumique	Kg/M^3
τ	Coefficient de transmission	