



# Etude, réalisation et simulation numérique D'un distillateur solaire à cascade

Bellel Nadir <sup>#1</sup>, Tabet Ismail <sup>\*2</sup>

Département physique, université Mentouri Constantine

<sup>#1</sup> Laboratoire de physique énergétique, [bellelnadir@yahoo.fr](mailto:bellelnadir@yahoo.fr)

<sup>\*2</sup> Laboratoire de physique énergétique, [tabet21@yahoo.fr](mailto:tabet21@yahoo.fr)

**Résumé** Le présent travail porte sur l'étude et la réalisation et la simulation d'un distillateur solaire à cascade destiné à la Production d'eau distillée. Pour effectuer ce travail, on a adopté une approche théorique qui consiste à simuler ce comportement par un programme informatique utilisant un modèle mathématique où tous les paramètres caractérisant la performance du système sont évalués instantanément durant la période d'ensoleillement les températures, l'efficacité globale et interne, le rendement et le facteur de performance et nous présentons la conception du distillateur solaire. Les résultats des essais sur notre dispositif, où une série de tests à été effectuée durant les moins d'été sur l'eau de mer pour voir l'évolution des différents paramètres. Le rendement journalier du distillateur solaire est environ 1.8 litre/jour pour une surface de l'absorbeur de 0.436 m<sup>2</sup>. Enfin nous présentons un bilan sur le coût et le rendement de notre conception.

Mot - clé: distillateur solaire à cascade, distillateur solaire, énergie solaire

## I. INTRODUCTION

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

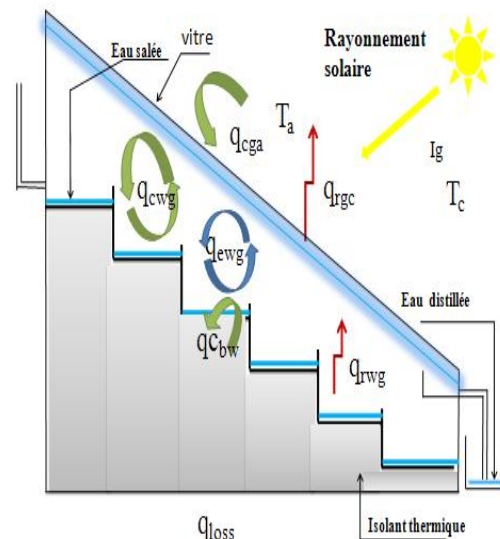


Fig. 1 Principe de fonctionnement de distillateur solaire à cascade

## II. MODELISATION MATHÉMATIQUE

### A. Equations régissant le transfert de chaleur dans le distillateur.

Notre étude s'est portée sur le modèle de collecteur représenté par la figure ci-dessus afin d'établir les équations régissant le transfert d'énergie dans le capteur, on a procédé par élément [1], [2].



## Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

### The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



#### 1) Couverture

$$M_E C_{pE} \frac{dT_E}{dt} = P_E + q_{wE}^r + q_{wE}^c + q_{wE}^{ev} - q_{Ea}^c - q_{Ea}^r \quad (1) \quad P_E = \alpha_E I_E$$

Puissance solaire de la surface absorbée par la masse d'eau [2]

#### 2) Saumure

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

(2)  $P_w = \alpha_w I_E A_w$ , Puissance solaire de la surface absorbée par la masse d'eau

#### 3) Absorbteur

$$M_b C_{pb} \frac{dT_b}{dt} = P_b - q_{pertes} - q_{bw}^c \quad (3)$$

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

### B. Coefficients d'échanges thermiques

#### 1) Coefficient d'échange par convection entre la vitre intérieure et la masse d'eau

$$h_{wE}^c = 0.884 \left[ \left\{ (T_w - T_E) + \frac{(P_w - P_E)}{268.9 \times 10^3 - P_w} \right\} \times \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right] \quad (4)$$

$P$  Et Représente la pression de vapeur au niveau de la saumure et la surface intérieure de la vitre respectivement [9], [1].

#### 2) Coefficient d'échange par rayonnement entre la vitre et la masse d'eau

$$h_{wE}^r = \epsilon_{eff} \times \sigma \times (T_w^2 + T_E^2) \times (T_w + T_E) \quad (5)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_E} - 1} \quad (6)$$

$\epsilon_w$ : coefficient d'émissivité de l'eau.

$\epsilon_E$ : coefficient émissivité de la vitre.

$\sigma$ : Constante de Stefan-Boltzmann (=5.6697.10<sup>-8</sup> [WM<sup>-2</sup>K<sup>-4</sup>])

#### 3) Coefficient d'échange par évaporation entre la vitre et la masse d'eau

$$h_{wE}^{ev} = 16.276 \times 10^{-3} \times h_{wE}^c \times \frac{(P_w - P_E)}{(T_w - T_E)} \quad (7)$$

$P_w^w$  et  $P_E^E$  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 [8], [2]

$$P_E = e^{\left( \frac{25.317 - 514}{T_E + 2} \right)} \quad P_w = e^{\left( \frac{25.317 - 514}{T_w + 2} \right)} \quad (8)$$

#### 4) Coefficient d'échange par rayonnement entre le milieu ambiant et la surface extérieure de la vitre

$h_{Ea}^r = \epsilon_E \times \sigma \times (T_E^2 + T_c^2) \times (T_E + T_c)$   $T_c$ : est la température du ciel.

Cette température est donnée en fonction de la température ambiante [9]

$$T_c = T_a - \quad (11)$$

#### 5) Coefficient d'échange convection entre le milieu ambiant et la surface extérieure de la vitre

$$h_{Ea}^c = 5.7 + 3.8 \times V \quad (12)$$

Avec  $V$ : Vitesse du vent en M/s [11]

#### 6) Coefficient d'échange par convection entre l'absorbteur et la masse d'eau

$$h_{bw}^c = \frac{Nu \times d_w}{L} \quad (13)$$

$$Nu = c(Gr \times Pr)^n \quad (14)$$

Si  $Gr < 105$ ;  $Nu = 1$

L'échange thermique entre la saumure et le bac absorbant se fait uniquement par conduction

Si  $10^5 < Gr < 2 \times 10^7$

$$Nu = 0.14 \times (Gr \times Pr)^{0.33} \quad (15)$$

Si  $Gr > 2 \times 10^7$

$$Nu = \frac{L_w}{L} \times 0.54 \times (Gr \times Pr)^n \quad (16)$$

#### 7) Coefficient des Pertes thermiques entre le bassin et le milieu ambiant

D'après V. velmugan [1],  $U_b = 14 \text{ W/M}^2\text{K}$

### C. Les caractéristiques de fonctionnement

#### 1) La production (le débit du distillat)



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

$$m_d = \frac{Q_{ev}}{L_v} \quad (17)$$

### 2) L'efficacité globale

Représentant le rapport de la quantité d'énergie évaporée par ( $m^2$ ), à la quantité d'énergie globale incidente par ( $m^2$ ) sur une surface horizontale. Elle est définie par le rapport [8].

$$\eta_g = \frac{Q_{ev}}{I_g A} = \frac{m_d L_v}{I_g A} \quad (18)$$

$Q_{ev}$ : 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  $m^2$  sur une surface horizontale, pendant un jour.

$L_v$ : chaleur latente de vaporisation

$m_d$ : le débit de distillat

### 3) L'efficacité interne

Qui représente le rapport de la quantité d'énergie évaporée par ( $m^2$ ) de surface, à la quantité effectivement absorbée par la saumure par ( $m^2$ ) de surface [8].

$$\eta_g = \frac{Q_{ev}}{Q_{eau}} = \frac{m_d L_v}{\alpha_t I_g A} \quad (19)$$

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

$\alpha_t$ : 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:

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

### 4) 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) [8] ,[2]

**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:

$$FP = \frac{m_d}{\alpha_t I_g A} \quad (20)$$

### III. CONCEPTION ET EXPERIMENTATION

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  $30^\circ$  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  $37^\circ.17$  Nord, Longitude  $6^\circ.62$  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



Fig. 2 Schéma du distillateur solaire à cascade

#### IV. INTERPRETATION DES RESULTATS

##### A) Resultatstheoriques

La resolution numérique des systemes d'equation précédent s'effectuer par la méthaude de Gauss Seidal Nous avons choisi une journée typique (un jour clair et une température ambiante de moyenne 30°C ,18/02/2008) à permis de comparer avec les résultats expérimentaux. Les calcules réalisés à Constantine en tenant compte des coordonnées géographiques du site, Latitude 37°.17 Nord, longitude 6°.62 Est, l'inclinaison de la couverture 30° par rapport à l'horizontale avec un azimut de 0° par rapport au Sud.

La figure 3 ci-dessus illustreLa variations horaires de rayonnement solaire global ainsi que le flux solaire absorbés par la vitre, la saumure et le bac absorbant.

La figure 4 représente respectivement l'évolution de la température du bac absorbant, la saumure et la vitre. On remarque que les trois courbes ont la même allure et que la température du bac absorbant est supérieure à celle de la saumure et ce dernier est supérieur à celle de la vitre.

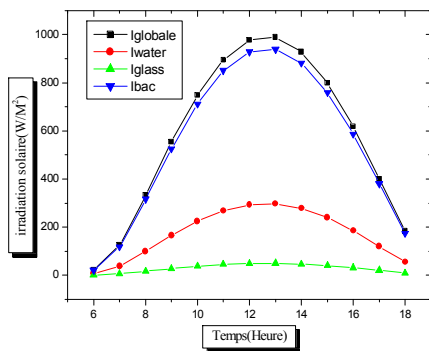


Fig.3 Evolution temporelle du flux solaire pendant la Journée du (18-02-2009)

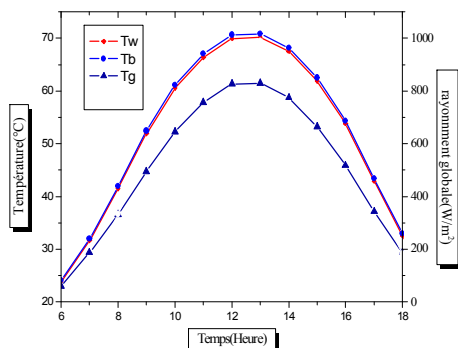


Fig. 4 Variation temporelle des differente Temperatures

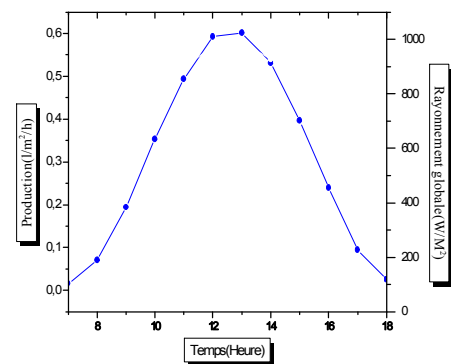


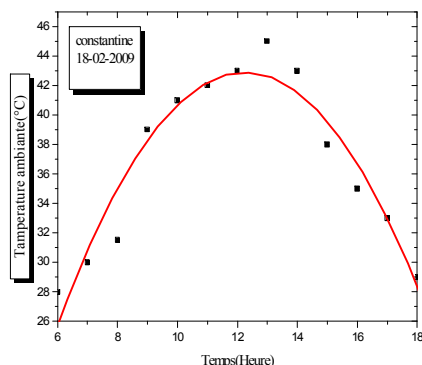
Fig. 5 Variation temporelle de la production de l'eau distillée

La figure 5 ci-dessus illustre la variation temporelle de la production d'eau distillée, on remarque la production atteint le maximum entre 12heure , et 14heure, La production du distillateur augmente quand la température de la saumure s'élève. Cependant, cette augmentation reste liée à l'irradiation solaire, à la vitesse du vent et à la température ambiante.

##### B) Resultat expérimentale

La figure.6 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  $15^\circ\text{C} \leq ta \leq 45^\circ\text{C}$ .

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





# Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



Fig. 6 Evolution temporelle de la température ambiante

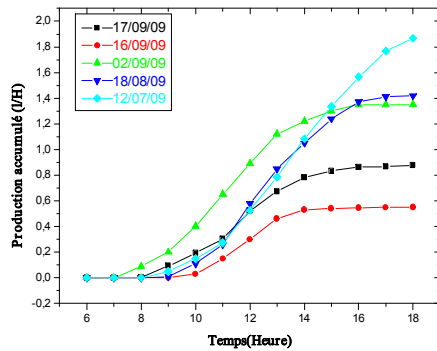


Fig. 7 Variation de la quantité du distillat cumulé

Les figures 8, 9 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

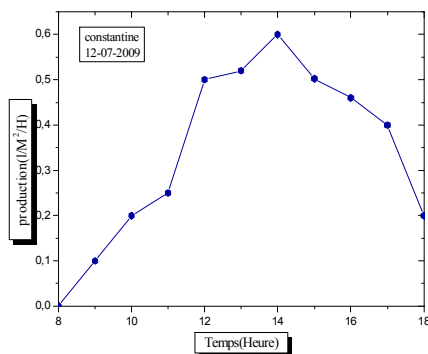


Fig. 8 Variation de la quantité du distillat pour le (12-07-2009)

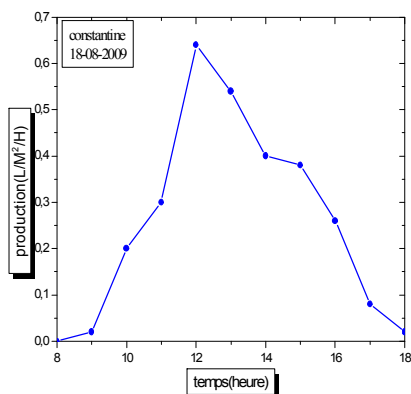


Fig. 9 Variation de la quantité du distillat dans la Journée du (18-02-2009)

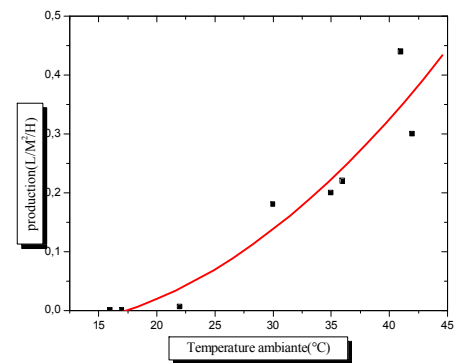


Fig. 10 Evolution de la production en fonction de la température ambiante

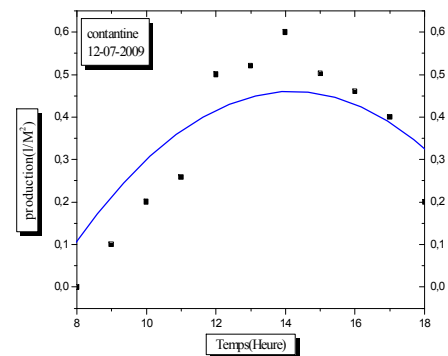


Fig. 11 Evolution de la production du distillat

L'évolution de la quantité d'eau distillée produit en fonction de la température ambiante est présentée dans la figure 9, 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  $15^\circ\text{C} \leq ta \leq 45^\circ\text{C}$   
 $md = 6.20544 - 0.37194Ta + 0.00552Ta^2$



## Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

### The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



La figure 10 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  $0C \leq md \leq 0.6$   $md = -1.38922 + 0.26078 TI - 0.009919 TI^2$

#### C) Résultats des essais de traitement de l'eau après la distillation

TABLEAU I

Résultats des essais de traitements de l'eau distillée

Paramètre	Turbidité (NTU)	O <sub>2</sub> en dissous (mg/l)	Conductivité $\mu\text{s/cm}$	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

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.

#### D) 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 dr. 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/M<sup>2</sup>/jour.
- Le coût par litre de l'eau distillée produite par jour = 30 DA.
- **Donc la période d'amortissement et de remboursement est de 200 jours.**

#### V. 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 1.8litre 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.

D'après les courbes, on observe qu'il ya un écart entre les valeurs numériques et expérimentales d'environ 15 %, cet écart est probablement du à l'hypothèse précédent.

#### REFERENCES

- [1] 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.
- [2] M A S Malik, G N Tiwari, A Kumar, M ssodha, *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.niranjnprabhi, and K, srithar, Productivity enhancement of stepped solar still-performance analysis, *Thermal science*.vol.12 No, pp, 153-163,2008.
- [5] AbdulhaiyM.Radhan, Transient analysis of a stepped solar for heating and humidifying greenhouses, *Désalination* 161 89-97,2004.
- [6] Thermiquesolaire, paris 2007.
- [7] R, BERNARD, G MERGUY, M.SCHWARTZ, LE RAYONNEMENT SOLAIRE: CONVERSION THERMIQUE ET APPLICATION .TECHNIQUE ET DOCUMENTATION, DEUXIEME EDITION -1980.
- [8] Zaidi, H. Etude et optimisation des paramètres thermo physique en vue l'amélioration de la performance d'un distillateur solaire, thèse magister, université mentouri 2006.
- [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] 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.



**Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et  
Renouvelables**

**The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable  
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012

