

## Simulation et expérimentation d'un distillateur solaire à film capillaire dans le sud Algérien

Moussa ZERROUKI<sup>1,+</sup>, Yacine MARIF<sup>1</sup>, Moustapha BELHADJ<sup>1</sup> et Nour Eddinne SETTOU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Unité de Recherche en Energies Renouvelables En Milieu Saharien Adrar, ALGERIE*

<sup>2</sup> *Laboratoire de Valorisation et de Promotion des Ressources Sahariennes 'LVPRS',*

*Université Kasdi Merbah Ouargla, Ouargla 30000 ALGERIE*

+ Tel. +213 78 21 12 82; Fax +213 29 76 34 66; + Email: [moussa.zerrouki@yahoo.fr](mailto:moussa.zerrouki@yahoo.fr)

**ملخص :** إنتاج الماء الصالح للشرب له ما يبرره في الجنوب الجزائري، بالنظر إلى كون معظم المياه الجوفية تعتبر غير صالحة للشرب وهذا بسبب أن خصائص هذه المياه تمتاز بملوحة تتجاوز عتبة 1.5 غ/ل . حسب مقاييس المنظمة العالمية للصحة التي تنصح على عدم تجاوز قيمة 0.5 غ/ل. في التجمعات السكنية الصغيرة تحلية المياه بواسطة الطاقة الشمسية يعتبر حل قابل للتجسيد. هناك عدة أنواع من المقطرات تم إنجازها في مختلف مناطق العالم وتعتبر تحلية المياه بواسطة المقطر البسيط الذي يعتمد على مبدأ الاحتباس الحراري والمقطر ذو شريط الشعيري أكثر فاعلية . هذه الدراسة الحالية تعني بالمقطر ذو شريط شعيري بطابق واحد من خلال القيام بدراسة نظرية حول هذا المقطر مع إنجاز محاكاة رقمية. كما تم من خلال هذه الدراسة القيام بتجارب على المقطر. المقارنة بين نتائج المحاكاة الرقمية والتجارب الميدانية أظهرت تقارب جد معتبر ومشجع حيث بلغ الإنتاج اليومي للماء المقطر حوالي 2.5 ل/م<sup>2</sup>:

**كلمات ذالة:** الطاقة الشمسية ، التقطير الشمسي، شريط شعيري، المحاكاة الرقمية، التجربة

**RESUME :** la production d'eau douce trouve toute sa justification au sud algérien. La plupart des eaux d'origine souterrain sont saumâtres et impropres à la consommation humaine. Ces eaux sont caractérisées par une salinité qui dépasse 1.5 g/l. Selon les normes de (OMS), la salinité doit être inférieure ou égale à 0.5 g/l. A petite échelle, la distillation de l'eau par l'énergie solaire est tout à fait possible. Plusieurs types de distillateurs solaires ont été réalisés ; les plus répandus sont ceux du type simple à effet de serre et à film capillaire. Notre étude concerne la simulation numérique et l'expérimentation d'un distillateur à film capillaire simple étage nommé (DIFICAP). La validation des résultats de simulation par voie expérimental est très encourageante, on pourrait obtenir près de 2.5 l/m<sup>2</sup> d'eau distillée par jour.

**MOTS CLES :** énergie solaire, distillation solaire, film capillaire, simulation numérique, expérimentation

**ABSTRACT:** The production of fresh water finds all its justification in the Sahara. Most of the water is brackish and unfit for human consumption. This water is characterized by a salinity which exceeds 1.5 g/l. According (OMS) standards, salinity must be lower or equal to 0.5 g/l. With small scale, the distillation of water by solar distillation is possible. Several types of distillers were realized and most widespread are solar still and capillary film. This paper presents numerical simulation and experimentation work on a simple stage distiller with a capillary film, the so called (DIFICAP). The validation of the results of simulation per way experimental is very encouraging; one could obtain meadows of 2.5 water l/m<sup>2</sup> distilled per day.

**KEY WORDS:** solar energy, solar distiller, capillary film, numerical simulation, experimentation

### 1. Introduction :

Les eaux souterraines représentent la source principale en eau potable dans la région d'Ouargla. Les résultats des analyses chimiques montrent une dominance des eaux de mauvaise qualité chimique sur celles de bonne qualité. Ces eaux de mauvaise potabilité sont caractérisées par une salinité supérieure de 2.5 (g/l) dépassent de loin les normes établies par l'O.M.S. Comme l'énergie solaire est disponible en abondance dans le sud Algérien Ouargla (latitude : 31.57°N, longitude : 5.24°E et altitude 141m), elle se présente donc comme étant une énergie de remplacement. La figure 1 montre clairement les importantes potentialités disponibles dans cette région ; la moyenne de radiation solaire dépasse 5.75kWh.m<sup>-2</sup>[3]. De ce la est née l'idée de la

réalisation d'un distillateur à film capillaire simple étage. Notre distillateur a été inspiré des travaux réalisés par [1, 9].

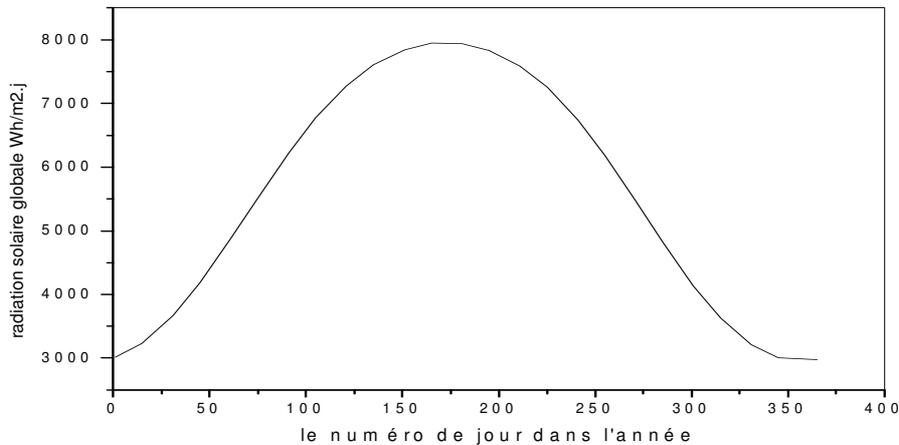


Figure 1 : évolution de rayonnement globale journalier

## 2. Distillateur solaire à film capillaire :

L'appareil est formé d'une vitre et de deux plaques métalliques disposées face à face et inclinées d'un certain angle. La face avant de la première plaque est peinte en noir. L'eau à distiller, s'écoule lentement à l'aide d'un tissu sur l'autre côté, ce tissu est convenable pour former un film capillaire d'eau. Ceci justifie le nom donné à l'appareil (distillateur à film capillaire) [2]. La vapeur d'eau produite quitte le tissu et va se condenser au contact de la seconde plaque. L'eau distillée et le résidu sont récupérés par des collecteurs. La figure (2) montre le schéma de principe de fonctionnement.

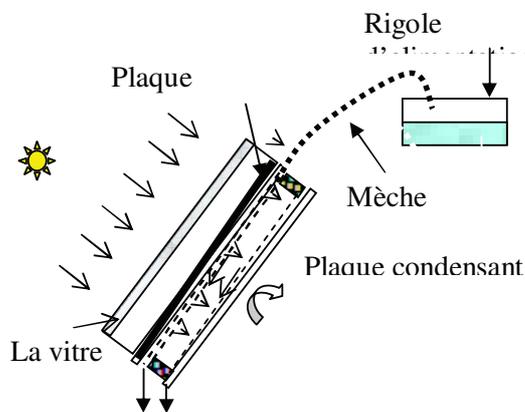


Figure 2: DIFICAP simple étage

## 3. Modélisation mathématique :

La modélisation est faite sur la base des bilans thermique et massique au niveau de chaque partie du système, il faut connaître les différents coefficients d'échange thermique et massique des

surfaces d'échange. Dans le but de rendre le modèle accessible, nous devons prendre en considération les hypothèses simplificatrices suivantes [2].

- Le distillateur est supposées bien isolées thermiquement.
- la température des plaques est supposée uniforme ainsi que celle de la vitre.
- la paroi de condensation est non mouillable.
- l'eau à évaporer, le distillat sont des films très minces (capillaires). Ils sont donc supposés ne présenter aucune inertie thermique.
- les propriétés physiques des plaques et de la vitre sont considérées indépendantes de la température et sont prises égales à des valeurs moyennes.

L'unité de distillation peut être schématisée comme suite:

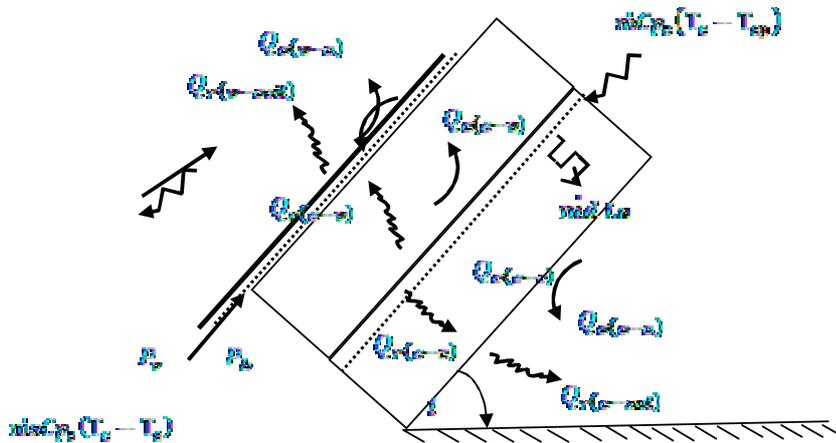


Figure 3: Flux de chaleur échangé au niveau d'un DIFICAP

Pour obtenir le bilan thermique le distillateur est divisé en trois niveaux.

**A –Au niveau de la vitre :**

L'énergie reçue par la vitre est convertie en énergie stockée dans la vitre (inertie thermique) et en énergie évacuée à l'extérieur sous forme de rayonnement et convection, soit [6,7] :

$$\begin{aligned}
 (mC_p)_v \frac{dT_v}{dt} = & A_s \lambda_{s \rightarrow v} (T_s - T_v) + A_v \lambda_{v \rightarrow v} (T_v - T_v) - A_v \lambda_{v \rightarrow a} (T_v - T_a) - \\
 & A_v \lambda_{v \rightarrow m} (T_v - T_m) + A_v P_s
 \end{aligned}
 \tag{01}$$

**B- Au niveau de l'absorbeur – évaporateur :**

L'énergie solaire absorbée par l'absorbeur-évaporateur est transformée en énergie échangée sous forme de rayonnement et convection avec la vitre et le condenseur, en évaporation de la saumure qui ruisselle sur la deuxième face de l'absorbeur-évaporateur et en chaleur sensible perdue due à la saumure concentrée, soit :

$$\begin{aligned}
 (\dot{m}C_p)_{\text{e}} \frac{dT_{\text{e}}}{dt} = & \\
 -A_{\text{e}}h_{\text{e}}(T_{\text{e}} - T_{\text{a}}) - A_{\text{e}}h_{\text{e}}(T_{\text{e}} - T_{\text{a}}) - A_{\text{e}}h_{\text{e}}(T_{\text{e}} - T_{\text{a}}) - A_{\text{e}}h_{\text{e}}(T_{\text{e}} - T_{\text{a}}) - \dot{m}_{\text{e}} \times & \\
 L_{\text{v}}(T_{\text{e}}) + \dot{m}_{\text{e}}C_p(T_{\text{e}} - T_{\text{a}}) + (\dot{m}C_p)_{\text{e}}(T_{\text{e}} - T_{\text{a}}) &
 \end{aligned}
 \quad (02)$$

### C- Au niveau du condenseur :

L'énergie reçue par le condenseur (chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau et flux convectif et radiatif issu de l'absorbeur-évaporateur) est transformée en convection et radiation avec le milieu extérieur et en chaleur sensible perdue due au distillat, soit :

$$\begin{aligned}
 (\dot{m}C_p)_{\text{e}} \frac{dT_{\text{e}}}{dt} = A_{\text{e}}h_{\text{e}}(T_{\text{e}} - T_{\text{a}}) + A_{\text{e}}h_{\text{e}}(T_{\text{e}} - T_{\text{a}}) + \dot{m}_{\text{e}} \times L_{\text{v}}(T_{\text{e}}) - A_{\text{e}}h_{\text{e}}(T_{\text{e}} - & \\
 T_{\text{a}}) - A_{\text{e}}h_{\text{e}}(T_{\text{e}} - T_{\text{a}}) &
 \end{aligned}
 \quad (03)$$

Le bilan massique est simple à écrire, puisque nous avons la conservation du débit. Le débit de l'eau saumâtre est la somme des débits de l'eau distillée et de la saumure à la sortie :

$$\dot{m}_{\text{e}} = \dot{m}_{\text{d}} + \dot{m}_{\text{a}} \quad (04)$$

On se base sur l'analogie existant entre le transfert thermique et massique, nous admettons que [4, 8] :

$$\frac{\dot{M}_{\text{e}}}{\dot{m}_{\text{e}}} = \frac{S_{\text{e}}}{S_{\text{t}}} \quad \text{Sachant que} \quad \begin{cases} S_{\text{t}} = \frac{h_{\text{t}} A_{\text{t}}}{L_{\text{t}}} \\ S_{\text{e}} = \frac{h_{\text{e}} A_{\text{e}}}{L_{\text{e}}} \end{cases} \quad (05)$$

Considérons que le rapport  $\frac{h_{\text{e}}}{h_{\text{t}}}$  c'est le nombre de Lewis qui exprime aussi le rapport entre la diffusivité massique sur la diffusivité thermique. Le coefficient de convection massique vaut donc :

$$h_{\text{m,e}} = \frac{h_{\text{t}}}{\rho_{\text{e}} c_{\text{p,e}} L_{\text{e}}^{2/3}} \quad (06)$$

Les transferts de chaleur et de matière obéissent à l'analogie de Chilton-Colburn ( $n = 1/3$ ) ; le débit massique par unité de surface est donné par :

$$\dot{m}_{\text{e}} = h_{\text{m,e}}((p_{\text{v}})_{\text{e}} - (p_{\text{v}})_{\text{a}})A_{\text{e}} = h_{\text{t}} \frac{1}{\rho_{\text{e}} c_{\text{p,e}} L_{\text{e}}^{2/3}} \frac{(p_{\text{v}})_{\text{e}} - (p_{\text{v}})_{\text{a}}}{p_{\text{e}}} A_{\text{e}} \quad (07)$$

Le model mathématique traduisant le fonctionnement du distillateur peut être représenté par les équations thermiques (01), (02), (03) et l'équation de bilan massique (07).

$$\left[ \begin{aligned}
 \frac{dT_v}{dt} &= \left( \frac{1}{\rho_v c_p} \right) \left[ - \left[ \frac{A_c}{A_c} (\lambda_{(i-1)} + h_{(i-1)}) + \lambda_{(i-1)} + h_{(i-1)} \right] T_v + \right. \\
 &\quad \left. \frac{A_c}{A_c} (\lambda_{(i-1)} + h_{(i-1)}) T_c + \lambda_{(i-1)} T_{amb} + h_{(i-1)} T_a + P_v \right] \\
 \frac{dT_c}{dt} &= \left( \frac{1}{\rho_c c_p} \right) \left[ (\lambda_{(i-1)} + h_{(i-1)}) T_v - \left[ (\lambda_{(i-1)} + h_{(i-1)} + \lambda_{(i-1)} + h_{(i-1)}) + \frac{(2m_i - \dot{m}_i) C_p}{A_c} \right] T_c \right. \\
 &\quad \left. - \left( \frac{\dot{m}_i - \dot{m}_i}{A_c} \right) C_p T_c - \frac{\dot{m}_i C_p T_{ap}}{A_c} + \frac{\dot{m}_i \times L_v(T_c)}{A_c} \right] + P_c \\
 \frac{dT_a}{dt} &= \left( \frac{1}{\rho_a c_p} \right) \left[ \frac{A_c}{A_c} (\lambda_{(i-1)} + h_{(i-1)}) T_c - \left[ \frac{A_c}{A_c} (\lambda_{(i-1)} + h_{(i-1)}) + \lambda_{(i-1)} + h_{(i-1)} \right] T_a + \right. \\
 &\quad \left. \frac{\dot{m}_i \times L_v(T_c)}{A_c} + \lambda_{(i-1)} T_{amb} + h_{(i-1)} T_a \right] \\
 \dot{m}_i &= \frac{0.3118 \rho_c \lambda_{sat}}{d} \cdot \frac{(T_c + T_c + 546.3)}{[1 - 0.3778 x_v] C_{p,v} L_{v,s}} \cdot \left( \frac{(x_v)_c}{T_c + 273.15} - \frac{(x_v)_a}{T_a + 273.15} \right) A_c \\
 \dot{m}_i &= \dot{m}_i - \dot{m}_i \\
 T_v &= T_c = T_a ; T_c = T_c + 1 \quad \text{à} \quad i = i_0
 \end{aligned} \right.$$

**4. Résolution numérique :**

Les équations décrivant les phénomènes de transfert thermique dans le distillateur sont des équations différentielles ordinaires de premier ordre. Une méthode mathématique de Runge-Kutta à pas variable à été choisie pour résoudre le modèle mathématique proposé. Le pas de discrétisation de temps est variable, sa valeur moyenne est de l'ordre de 15 s. La convergence est considérée comme obtenue lorsque  $\|T(i) - \hat{T}(i)\| < Tol$ .

$T(i)$  et  $\hat{T}(i)$  sont les vecteurs de température calculés par la méthode de Runge-Kutta emboité et  $Tol$  est l'erreur relative acceptable ; elle est de l'ordre de  $10^{-4}$  [10].

**5. Etude expérimentale :**

La vitre est en verre ordinaire de 3 mm d'épaisseur. Les deux plaques métalliques sont en acier galvanisé de dimensions 0.5 x 0.5 m avec un épaisseur de 1 mm pour la première plaque et 0.6 mm pour la plaque condenseur. La distance entre les deux plaques est de 3.8cm et 2cm respectivement. La face avant de la première plaque est peinte en noir mat. Le tissu utilisé est de la gaze hydrophile d'épaisseur 1 mm. L'alimentation en eau saumâtre est assurée par la bonne capillarité du tissu qui agit comme une pompe. La hauteur du niveau d'eau dans le réservoir règle le débit d'alimentation qui doit compenser l'évaporation pour éviter tout séchage entraînant la rupture du film.

Le relevé de l'intensité du rayonnement solaire est effectué à l'aide d'un solarimètre, l'évolution des différentes températures au moyen des thermocouples de type Chromel–Alumel. Les quantités d'eau distillée sont mesurées au moyen d'éprouvettes graduées en cm3, nous avons procédé au relevé des volumes toutes les 30 minutes, la qualité de l'eau est contrôlée par un conductimètre.

Pour capter le maximum de rayonnement solaire sans influence sur l'écoulement de l'eau saumâtre à distiller sur le tissu, on doit alimenter le distillateur par un débit de 0.6 l/H avec un angle d'inclinaison  $\alpha = 40^\circ$  par rapport à l'horizontale.

Les résultats expérimentaux, mesurés sur le site de l'Université Kasdi Merbah Ouargla, sont celles de travaux de magister [9] réalisé sous la direction de Proesseur H. Bouguettaïa et Docteur D. Bechki.

## 6. Résultats et discussions :

La figure (4) montre l'évolution du rayonnement globale pour une ciel moyen en date du 02 Juillet 2008, le rayonnement atteint une valeur maximale proche de  $900 \text{ W/m}^2$ . La figure (5) résultat de simulation illustre l'évolution des différents températures (ambiante, vitrage, évaporateur et le condenseur), on constate que la température de l'évaporateur atteint  $75^\circ\text{C}$  entre midi et 13 heures. Les températures de vitrage et de condenseur varient de la même manière que l'évaporateur à des différences maximales de  $8^\circ\text{C}$  avec le condenseur et de  $32^\circ\text{C}$  pour la vitre.

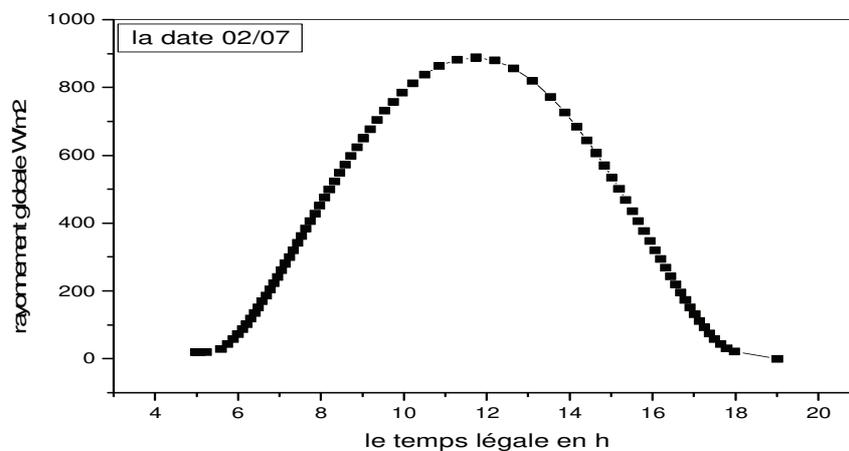


Figure 4: Evolution de rayonnement globale

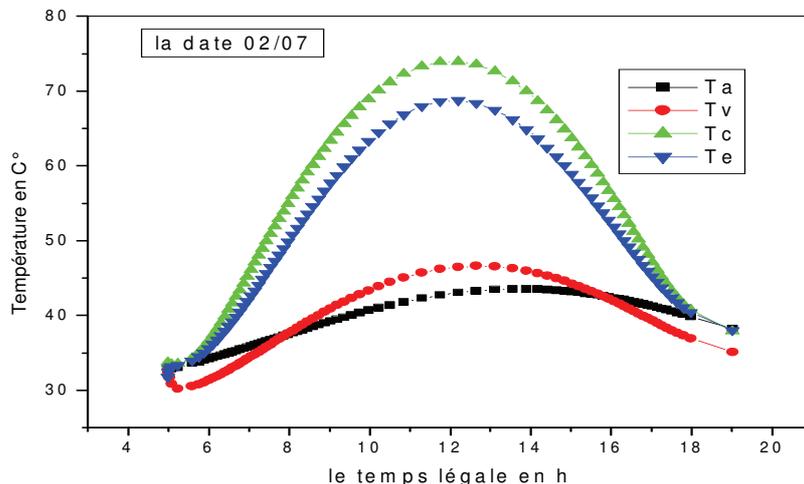


Figure 5: Evolution de différentes températures

Sur les figures (6.a et 6.b) on constate l'évolution des masses et des débits d'alimentation, de la saumure sortante et de distillat respectivement. Cette évolution se traduit par la courbe de taux de conversion instantané (le rapport entre le débit distillé et débit d'alimentation). La figure 7 montre un taux très faible ne dépassant pas 15% entre midi et 13 heures. La même remarque est pour le taux

de conversion global (le rapport entre la masse d'eau distillé et celle entrante dans le DIFICAP) qui ne dépasse pas 6.5%. Cette faible valeur est due au débit important d'alimentation 0.6 l/h, ou une masse totale 8.43 kg, devant la masse distillée 2.08kg.

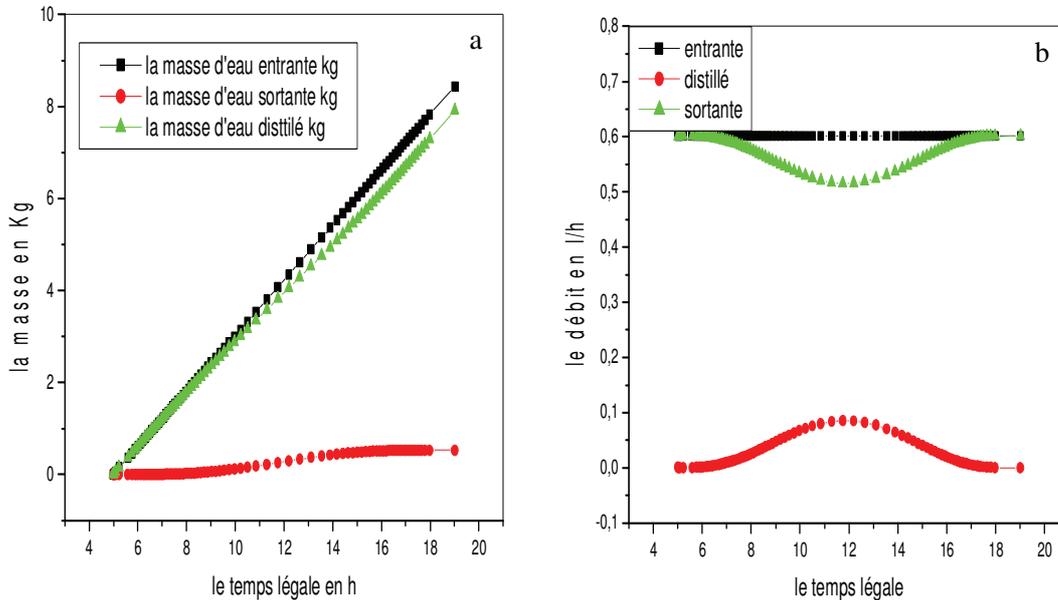


Figure 6: Evolution de la masse et de débit entrante, sortante et distillé

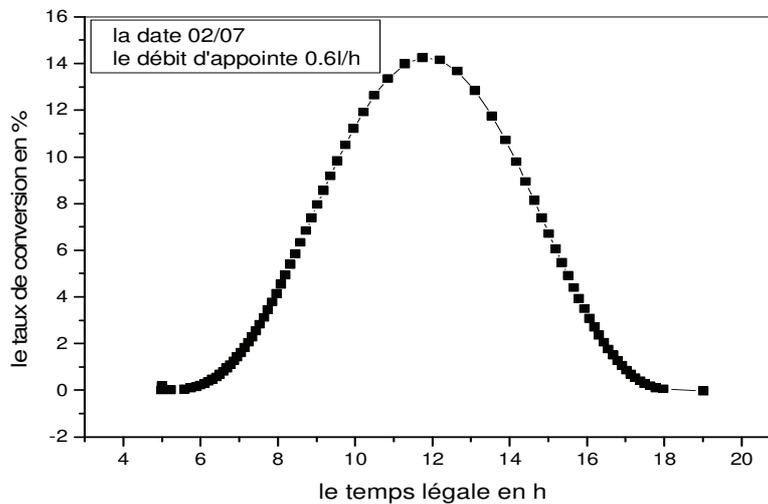


Figure 07: Evolution du taux de conversion instantané.

La comparaison a été faite entre la théorie et les résultats expérimentaux [9] obtenus le jour du 02 juillet 2008 de 08H00 à 18H00. La comparaison donne l'allure des courbes de débit de distillat (figure 8) et celle de la masse d'eau distillée (figure 9). Cette comparaison montre une très bonne analogie entre les résultats de la simulation et les résultats expérimentaux non seulement sur l'allure des courbes mais aussi sur les valeurs numériques obtenues par les deux voies. Nous observons que la production totale journalière issue de la simulation :  $2.10\text{kg/m}^2$  est très proche de celle obtenue par l'expérience.

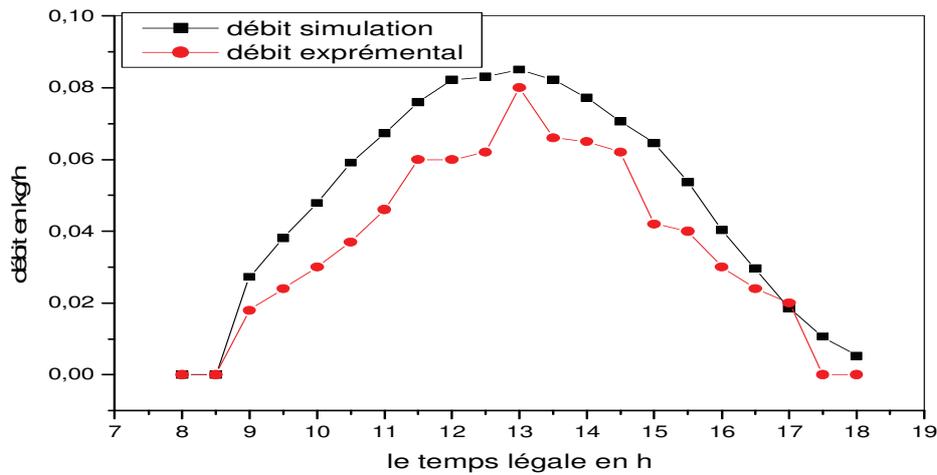


Figure 8: Evolution de débit de distillat le 02 juillet.

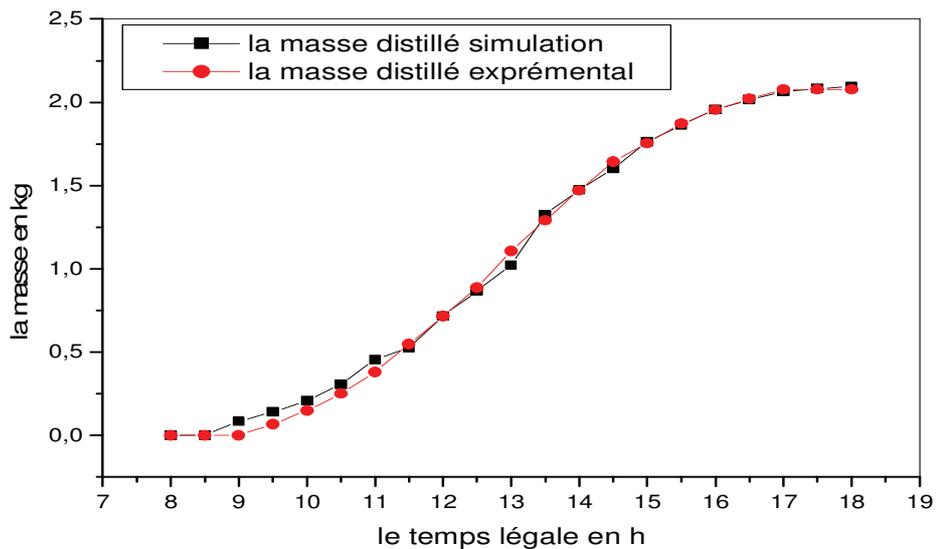


Figure 9: Evolution de la masse d'eau distillé le 02 juillet.

## 7. Conclusion et perspectives :

Dans ce travail, une étude théorique concernant la technique de distillation solaire par un film capillaire a été développée. Cette étude a permis d'élaborer un code de calcul basé sur la méthode de Runge-Kutta à pas variable pour résoudre le système d'équation différentiel.

Les résultats issus de la simulation numérique sont validés expérimentalement. La comparaison entre les deux résultats montre une grande concordance avec une production de l'eau distillée proche de  $2.10\text{kg/m}^2\text{j}$ . Cette production paraît faible en comparaison avec d'autres types conventionnels de distillateur. Pour améliorer le rendement de ce type de distillation nous recommandons de poursuivre la recherche sur les axes suivants :

- optimisation de l'angle d'inclinaison ;
- optimisation meilleure du débit d'alimentation de la saumure, le faible débit augmente la production ;
- Augmentation du nombre d'étages de distillation ;
- Possibilité de couplage de ce distillateur avec un système de prés chauffage ou bien avec un autre distillateur.

ANNEXE

I. Les coefficients d'échanges thermiques :

Par rayonnement  $h_r$  :

$$h_{r(i-j)} = \epsilon_{eff} \sigma \left[ (T_i + 273.15)^2 + (T_j + 273.15)^2 \right] (T_i + T_j + 546.30)$$

$\epsilon_{eff}$  : Emissivité effective donnée par la formule suivante [5] :  $\epsilon_{eff} = \left[ \frac{1}{\epsilon_i} + \frac{1}{\epsilon_j} - 1 \right]^{-1}$

Convection  $h_c$ :

- Avec le milieu extérieur (Watmaff & al) [4]:  $h_e = 2.9 + 3.0V$
- A l'intérieur de distillateur  $h_{c(a-v)}$  et  $h_{c(v-a)}$ :

Les expressions des deux coefficients de transfert de chaleur entre la vitre et la plaque absorbante d'une part et celle de condenseur et la plaque absorbante d'autre part sont s'exprimées par :

$$\begin{cases} h_{c(a-v)} = \frac{Nu_{a,v} \lambda_{a,v}}{L} \\ h_{c(v-a)} = \frac{Nu_{v,a} \lambda_{v,a}}{L} \end{cases}$$

Les correlations utilisées sont les suivantes, sachant que l'allongement des cavités  $L/d > 12$  :

- $0^\circ < i < 90^\circ$  : correlations de Hollands & al 1975:  
 $f^*$  : est l'angle critique et fonction de la géométrie, le ratio  $L/d$ .
- $f^* < i < 90^\circ$  : Correlation d'Ayyaswamy & Catton 1973.
- $i = 90^\circ$  : Correlations de Mull & Reiher 1930 pour les gazes :
- $90^\circ < i < 180^\circ$  : Arnold & al (1975) proposent une correlation pour déterminer le nombre de Nusselt en fonction de l'angle d'inclinaison :

II. Propriétés physiques et thermique des fluides:

• l'air sec:

- $\rho_{air}(T) = \frac{351.673}{(T+273.15)} \text{ en } (kg/m^3)$
- $C_p(T)_{air} = 0.2511T + 1004.8 \text{ en } (J/kg \cdot ^\circ C)$
- $\lambda_{air}(T) = 7.57 \times 10^{-5} T + 0.02428 \text{ en } (W/m \cdot ^\circ C)$
- $\begin{cases} \mu_{air}(T) = \frac{0.000020}{T+122} \left( \frac{T}{273.15} \right)^{1.5} \text{ en } (Pa \cdot s) \\ \nu_{air}(T) = \frac{\mu}{\rho} \text{ en } (m^2/s) \end{cases}$
- $\beta_{air}^T = \frac{1}{T+273.15} \text{ en } (1/^\circ C)$

- la vapeur d'eau :

$$- \rho_v(T) = \frac{223.268}{(T+273.15)^3} \text{ en } (\text{kg}/\text{m}^3)$$

$$- C_p(T)_v = 3.11 \times 10^{-4} T^2 + 3.49 \times 10^{-2} T + 1910.7 \text{ en } (\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$$

$$- \lambda_v(T) = 7.8 \times 10^{-5} T - 4.306 \times 10^{-2} \text{ en } (\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C})$$

$$\begin{cases} \mu_v(T) = \frac{0.00001}{T+273.15} \left(\frac{T}{273.15}\right)^{1.5} & (\text{Pa}\cdot\text{s}) \\ \nu_v(T) = \frac{\mu_v}{\rho_v} & \text{en } (\text{m}^2/\text{s}) \end{cases}$$

$$- R^* = \frac{1}{T+273.15} \text{ en } (1/^\circ\text{C})$$

- le mélange (air humide):

$$\begin{cases} \rho_{\text{air}} = \frac{342.071}{(T+273.15)} [1 - 0.378x_w] \\ x_w = \frac{P}{P_{\text{air}}} \end{cases}$$

La pression de la vapeur d'eau est donnée par l'équation d'Antoine entre 60 et 100 °C :

$$\log_{10} P(T) = 5.033056 - \frac{1663.125}{(T+273.15) - 45.662}$$

$$- R_{\text{air}}^* = \frac{1}{T+273.15} \quad - R_{\text{air}}^* = \frac{T+273.15}{(T+273.15)^2} 1.776 \times 10^{-2}$$

Les coefficients de viscosité dynamique  $\mu_{\text{air}}$  et de conductivité thermique  $\lambda_{\text{air}}$  sont données par la formule de Mason et Saxena [11].

$$- C_{p,\text{air}} = x_a C_{p,a} + (1 - x_a) C_{p,v}$$

Le coefficient de diffusion de la vapeur dans l'air est :

$$\begin{cases} D_{\text{air-v}} = 1.97 \times 10^{-5} \left(\frac{T}{T_0}\right) \left(\frac{P_0}{P}\right)^{1.25} & \text{en } (\text{m}^2/\text{s}) \text{ pour } 273\text{K} < T < 373\text{K} \\ P_0 = 1 \text{ atm} \quad T_0 = 296 \text{ K} \end{cases}$$

## NOMENCLATURE :

$\alpha$ :	Diffusivité thermique	[m <sup>2</sup> /s]
$A$ :	Surface d'échange thermique	[m <sup>2</sup> ]
$C_{p,i}$ :	Capacité thermique massique à pression constante du fluide $i$	[J/kg.C°]
$d$ :	Distance	[m]
$D_{m,i}$ :	Diffusivité massique	[m <sup>2</sup> /s]
$\xi$ :	Angle d'inclinaison ente le plan horizontal et la cavité	[°]
$g$ :	Accélérateur de la pesanteur	[m/s <sup>2</sup> ]
$h_{\text{conv}}(T)$ :	Coefficient de transfert thermique par convection	[W/m <sup>2</sup> C°]
:		
$h_{\text{ray}}(T)$ :	Coefficient de transfert thermique par rayonnement	[W/m <sup>2</sup> C°]
$h_m$ :	Le coefficient de convection massique	[m/s]
$L$ :	La longueur de la cavité	[m]
$Le$ :	Le nombre de Lewis	[-]
$L_v$ :	Chaleur latente de vaporisation	[J/kg]

$C_{p_i}$ :	Capacité thermique massique à pression constante du fluide $i$	[J/kg.C°]
$m$ :	La masse	[kg]
$\dot{m}_e$ :	Le débit massique de l'eau d'appointe	[kg /s]
$\dot{m}_d$ :	Le débit massique de distillat	[kg /s]
$\dot{m}_s$ :	Le débit massique de saumure concentrée sortante	[kg /s]
$Nu$ :	Nombre de Nusselt	[-]
$Sc$ :	Le nombre de Schmidt	[-]
$Sh$ :	Le nombre de Sherwood	[-]
$t$ :	Le temps	[s]
$T_i$ :	La température du nœud $i$	[C°]
$V$ :	vitesse du vent	[m/ s]
$P$ :	La pression de la vapeur d'eau	[N/ m <sup>2</sup> ]
$P_{at}$ :	La pression atmosphérique	[N/ m <sup>2</sup> ]
$P_i$ :	La puissance absorbée par le nœud numéro $i$	[W/ m <sup>2</sup> ]
$Ra$ :	Le nombre de Rayleigh	[-]

**Symboles grecs :**

$\beta$ :	Le Coefficient de dilatation massique de fluide $i$	[m <sup>3</sup> /kg]
$\beta_T$ :	Le Coefficient de dilatation thermique de fluide $i$	[1/C°]
$\rho_i$ :	La masse volumique du fluide $i$	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\epsilon_{eff}$ :	Emissivité effective	[-]
$e$ :	Epaisseur	[m]
$\sigma$ :	Constante de Stefan Boltzmann	[W/ m <sup>2</sup> C° <sup>4</sup> ]
$\lambda_i$ :	Le coefficient de conductivité thermique du de fluide $i$	[W/m.K]
$\mu_i$ :	Viscosité dynamique du de fluide $i$	[Pa.s]
$\nu_i$ :	Viscosité cinématique du de fluide $i$	[m <sup>2</sup> / s]

**Les indices:**

$a$ :	Ambiante.
$ah$ :	Air humide
$as$ :	Air sec
$c$ :	Condenseur
$e$ :	Evaporateur
$ls$ :	Lever de soleil
$v$ :	La vapeur d'eau
$v$ :	le vitrage

### Références bibliographiques

- [1] Bachir Bouchekima, Bernard Gros, Ramdane Ouahes et Mostefa Diboun ; *Etude théorique et application pratique du distillateur solaire à film capillaire* ; Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS, (2000)
- [2] John Duffie et William. A Beckman ; *Solar Engineering thermal processes* ; third edition Library of congress cataloging USA, (2006)
- [3] Michel Capderou ; *Atlas Solaire de l'Algérie, modèles théorique et Expérimentaux Tome I*; OPU, Algérie, (1988)
- [4] Jean-François Sacadura, Georges Charnay et Jean-paul Schon ; *Initiation aux transferts Thermiques ; Technique et Documentation*, Paris, (1980)
- [5] Bernard Eyglunent ; *Manuel de thermique (théorie et pratique)* ; 2e édition, Editions Hermis, Paris (1997).
- [6] G.N. Tiwari ; *Solar Energy Fundamentals, Design, Modeling and Applications* ; Alpha Science International Ltd, India, (2006 ).
- [7] M. A. S. Malik . G. N . Tiwari, A. Kumar, M.S. Sodha ; *Solar Distillation A practical study of a range of stills and their optimum design, construction and performance*, Pergamon press first edition ,( 1982).
- [8] Adrian Bejan ; *Heat Transfer* ; Pergamon press first edition, USA (1993)
- [9] Marif Yacine ; *contribution à l'amélioration du rendement d un distillateur a film capillaire multi étagé*; Mémoire de magister ; Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, (2008)
- [10] Ernst Hairer et Assyr Abdulle ; *Introduction à l'Analyse Numérique polycopie du cours section mathématique* ; Université de Genève, (2011).
- [11] S. Ben Jabrallah, A Belghith et J P Corriou ; *Study of heat and mass transfer in a rectangular cavity application to a distillation cell* ; International Journal of Heat and mass Transfer, Vol **45**, pp 891-904 , (2002).