

Contribution à l'étude d'un système de dessalement des eaux saumâtres et des eaux de mer par distillation solaire

Mahmoud Hammou ¹, Ahmed Bouzidane ²

^{1,2} Département de génie mécanique, Faculté des sciences appliquées, Université Ibn Khaldoun Tiaret, Algérie

hammoumahmoud2@gmail.com

Résumé

Le travail présenté concerne la modélisation puis la simulation d'un distillateur solaire conventionnel. Ce système de distillateur figure 2-1, est essentiellement 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). Sous l'action de flux solaire, transmis par la couverture transparente, l'eau s'échauffe et une partie de celle-ci s'évapore. La vapeur produite se condense sur la face intérieure de la vitre et le condensât est récupéré par un récepteur. Un appoint d'eau compense le débit de distillât [1]. Afin de réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur les parois latérales et inférieure sont isolées [2], [3], [4]. Un système d'équations régissant le fonctionnement ce distillateur solaire se compose de quatre équations différentielles du 1^{er} ordre. Or, une approche numérique basée sur un code de calcul en langage Matlab-Simulink est utilisée pour la résolution de ces équations. Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence des paramètres externes et internes sur les caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire.

Mots clé : Distillation solaire, Distillateur Solaire, Dessalement, Modélisation, Simulation Numérique

Nomenclatur

Les notations définies sont communes à l'ensemble de ce travail. D'autres, à utiliser beaucoup plus locale, sont, au fur et à mesure, définies dans le texte.

G_h : Puissance solaire incidente [W/m^2],
 M : Masse du condensat (E : eau, B : bassin, I : isolant en [Kg])

$h_{R,E V}$: Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

$h_{C,E V}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le film d'eau et la vitrage.

h_{Evap} : Coefficient de transfert de chaleur par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage.

$h_{C,V A}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'extérieur.

$h_{R,V ext}$: Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement par la vitre vers l'extérieur.

C_p : Chaleur spécifique [$J/Kg.K$] (B : bassin, E : eau, I : isolant)

K : Conductivité thermique en [$W/m.K$] ; B : bassin, I : isolant,

h_I : Coefficient de transfert de chaleur par convection entre l'isolant et l'air extérieur.

L : longueur unitaire en [m]

Lettres grecques

ρ_v : Masse volumique de La vitre K g/m^3

α_v : Coefficient d'absorption de la vitre.

α_E : Coefficient d'absorption de l'eau

α_B : Coefficient d'absorption du bassin.

1-Introduction

L'eau est la ressource à la fois la plus abondante sur la surface de de la terre, mais aussi une des plus rares . En effet, 97% de l'eau présente sur terre est salée et donc inutilisable par l'homme , seulement 3% de l'eau de la terre est de l'eau douce [5] . Les besoins en eau potable dans le monde augmentent d'une manière continue, alors que les réserves souterraines s'épuisent rapidement. Il s'avère que les régions où l'eau potable est un bien rare et l'énergie électrique nécessaire au dessalement des eaux saumâtres et ou salées, souvent inexistante, soient les zones les plus ensoleillées du globe en s'intéressant à l'utilisation de l'énergie solaire pour le dessalement. L'objectif de ce travail est une validation des résultats numériques de distillateurs afin de connaître les caractéristiques de fonctionnement les plus performantes, et dont les pertes thermiques seraient les moins élevées; par conséquent celui qui répond le mieux aux besoins en eau potable [6].

2- Description et principe de fonctionnement de distillateur plan

Ce système de distillation (figure 2-1) est essentiellement 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). Sous l'action du flux solaire G , transmis par la couverture transparente, l'eau s'échauffe et une partie de celle-ci s'évapore. La vapeur produite se condense sur la face intérieure de la vitre et le condensat est récupéré par un récepteur. Un appoint d'eau compense le débit de distillat. Afin de réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur, les parois latérales et inférieures sont isolées.

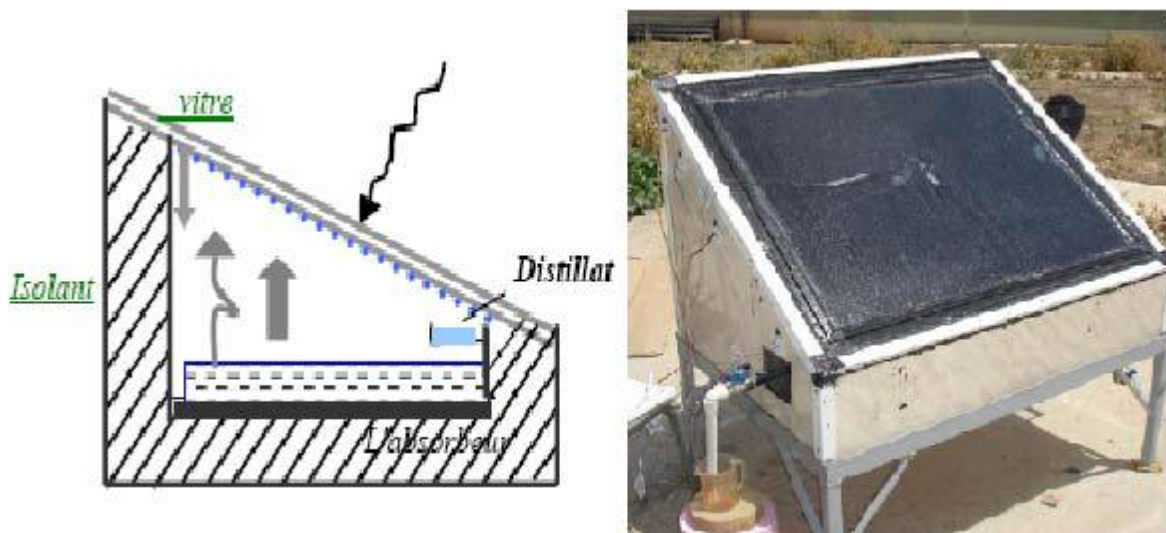


Figure 2-1: Le distillateur solaire plan [7].

Le distillateur de l'expérience est d'une conception très simple ,il est constitué de cinq éléments comme la montre la figure 2-1 ci dessus ,dont les dimensions sont comme suite .

1. Un bac absorbant (Longueur : 0,9m. Largeur : 0,6m. Hauteurs : 0,68m et 0,24m. Epaisseur :1,5mm)
2. Une couverture verrière.(Longueur : 1m. Largeur : 0,8m. L'épaisseur : 0,003m)
3. Une isolation thermique.(Long : 0,96m. Largeur : 0,66m. Epaisseur : 0,03m. Hauteur : 0,68m et 0,24m)
4. Une couverture extérieure.(Longueur : 1m. Largeur : 0,7m. Epaisseur : 0,02m. Hauteur : 0,7m et 0,24m)
5. Une tuyauterie utilisée entre le bac absorbant et la cuve de récupération est en matière plastique « Tigre ».

3-Considérations générales sur la modélisation adoptée

Il est reconnu que la complexité de la simulation d'un distillateur solaire réside principalement dans les bilans des différentes parties du distillateur, que ce soit pour la géométrie choisie ou pour les données des calculs. Cette difficulté a motivé de nombreuses approches différentes, allant de la géométrie la plus simple qui présente une simple conception, à la modélisation du distillateur solaire simple.

4-Modélisation mathématique

Le comportement dynamique du distillateur solaire est modélisé à l'aide d'un modèle mathématique traduisant le bilan énergétique. Une approche fonctionnelle est utilisée avec imbrication des différents sous ensembles afin d'évaluer les régimes transitoires des différents grandeurs internes du système. La figure 4-1 illustre les différents échanges de chaleur qui se produisent dans un distillateur solaire. Conduction (q_{cond}), Convection (q_{conv}),

Rayonnement (q_{rad}), Evaporation (q_{evap})

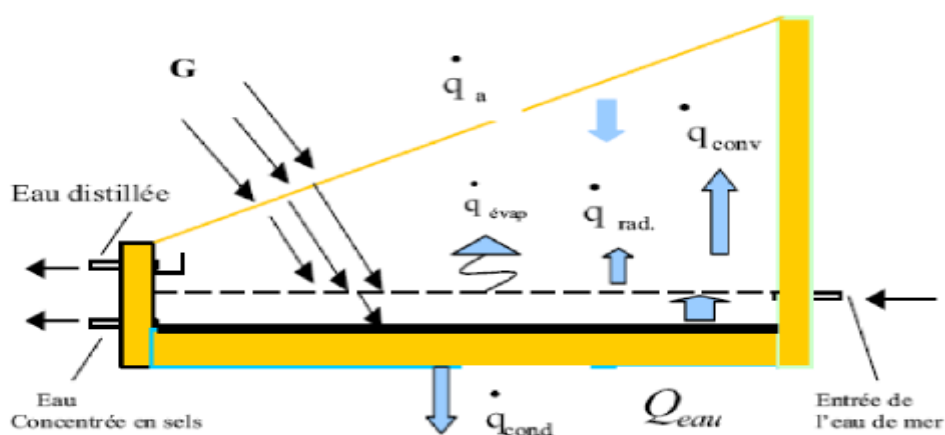


Figure 4-1 : Bilans énergétiques d'un distillateur solaire simple [8]

Le bilan thermique dans les différents éléments aboutit aux équations suivantes, s'écrivent comme suit :

$$\frac{dT_v}{dt} = \frac{1}{M_v C_{Pv}} \left[(1 - \rho_v) \alpha_v G_h + h_{R.E.V}(T_E - T_V) + h_{C.E.V}(T_E - T_V) + h_{Evap}(T_E - T_V) - h_{C.V_ATV-TA} - h_{R.V_ciel.TV-TA} \right] \quad (1)$$

$$\frac{dT_E}{dt} = \frac{1}{M_E C_{PE}} \left[(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v) \alpha_E G_h + h_{Evap}(T_E - T_V) - h_{C.B.E}(T_B - T_E) - h_{C.E.V}(T_E - T_V) \right] \quad (2)$$

$$\frac{dT_B}{dt} = \frac{1}{M_B C_{PB}} \left[(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_E) \alpha_B G_h - h_{C.B.E}(T_B - T_E) + \frac{K_B}{L_B}(T_B - T_I) \right] \quad (3)$$

$$\frac{dT_I}{dt} = \frac{1}{M_I C_{PI}} \left[\left(\frac{L_B}{K_B} + \frac{L_I}{K_I} + \frac{I}{h_I} \right)^{-1} \times (T_B - T_A) \right] \quad (4)$$

Appliquant la méthode de « pas a pas » pour résoudre ce système de 4 équations à 4 inconnues. On aboutit à un système différentiel de la forme :

$$\frac{dT_v}{dt} = f_1(T_V, T_E, t)$$

$$\frac{dT_i}{dt} = f_i(T_V, T_E, T_B, \dots \dots t) \text{ avec } i=2 \text{ à } 4$$

t : représente le temps tel que $t = t_0 + h$ avec $t_0 =$ heure du lever du soleil.

h : représente le pas de temps

5-Méthode de résolution

Le système d'équations régissant le fonctionnement du distillateur solaire se compose de quatre équations différentielles du 1^{er} ordre. Nous avons à déterminer quatre inconnues :

(T_E : Température de l'eau), (T_V : Température de la vitre), (T_B : Température du bassin), (T_I : Température de l'isolant).

Ces équations différentielles du 1^{er} ordre se résolvent à l'aide d'une méthode itérative.

Or, le système se présente sous la forme d'équations différentielles à résoudre. La simulation permet de suppléer à la résolution analytique quand celle-ci est impossible.

5-1 La simulation numérique

Pour le régime transitoire, la simulation la plus rigoureuse celle du ‘pas à pas’, qui rend compte de l'évolution des températures de tous les éléments du distillateur dans le temps et dans l'espace. Simulink est une extension graphique de Matlab permettant de représenter des systèmes sous forme de diagrammes en blocs, et de simuler le fonctionnement de ces systèmes. Ces blocs se combinent entre eux pour former des systèmes complexes, auxquels on pourra soumettre divers signaux d'entrée, et dont on pourra visualiser la sortie sous forme des graphes

6-Comparaison des résultats numériques et expérimentaux

6-1 résultats expérimentaux.

La figure 4 ci-dessous présente la variation des températures (T_E , T_V extérieure, T_V intérieure, T_B et T_I) pendant la journée du 22/ 07/2007 des expériences ; car cette journée n'était pas perturbée par

les nuages .

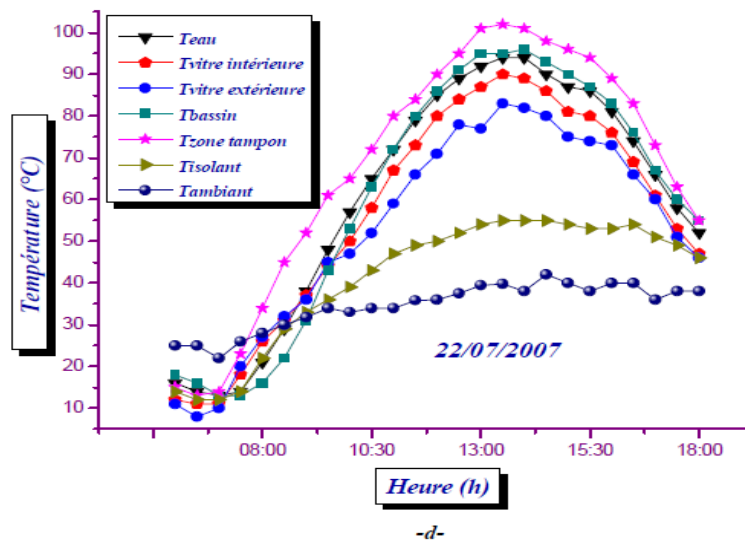


Figure 6-1: Variation des températures au cours de la journée de l'expérience [9]

On remarque en premier lieu que les température augmentent proportionnellement avec le temps et atteignent une valeur limite pour chaque élément. On constate le long de l'intervalle du temps (12 heures) que la température ne dépasse pas 100°C.

6-2 Comparaison des résultats numériques et expérimentaux.

Les différentes simulations sont obtenues avec les paramètres qui correspondent aux données de l'expérience [4]. Les résultats de la simulation sont ensuite comparés aux résultats expérimentaux.

7-Interprétation des résultats numériques

D'après la Figure 6-5 la température du bac atteint une valeur maximale de 88 °C, ceci s'explique par le coefficient d'absorption assez élevée de la peinture noir. La température de l'eau (figure 6-3) est proche de celle du bac, cette dernière est chauffée surtout par convection et d'un degré

moindre par conduction. La faiblesse de la température de la vitre (figure 6-1 et 6-2) et celle de l'eau s'explique par l'échange convectif avec l'ambient, ceci permet à la vapeur d'eau de se condenser sur la face intérieure de la vitre. La figure 6-6 montre que la zone tampon est le domaine de la vapeur saturée, où la température est assez élevée. Or le débit de condensat varie de la même manière que le rayonnement solaire, un débit de 0.040 kg/s de distillat a été obtenu à midi solaire vrai.

Il apparaît nettement, sur la figure 6-7 que l'efficacité globale d'un distillateur solaire est une fonction croissante avec le temps de forme $(Y=a.x+b)$. Cependant cette croissance s'atténue pour des valeurs élevées de la température de l'eau.

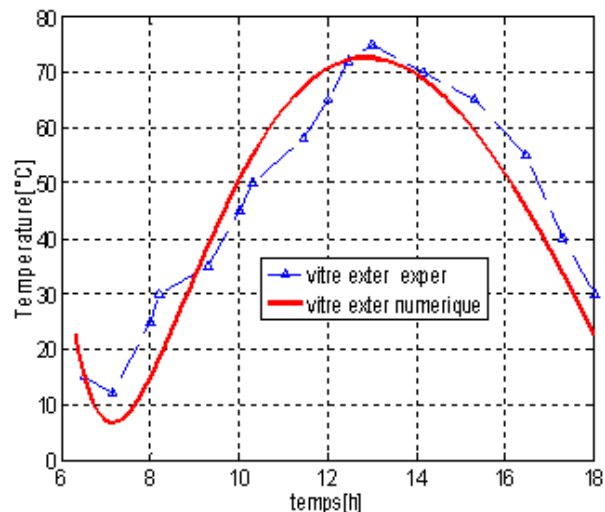


Figure 6-1 Évolution de la température de la vitre en fonction du temps (coté extérieur)

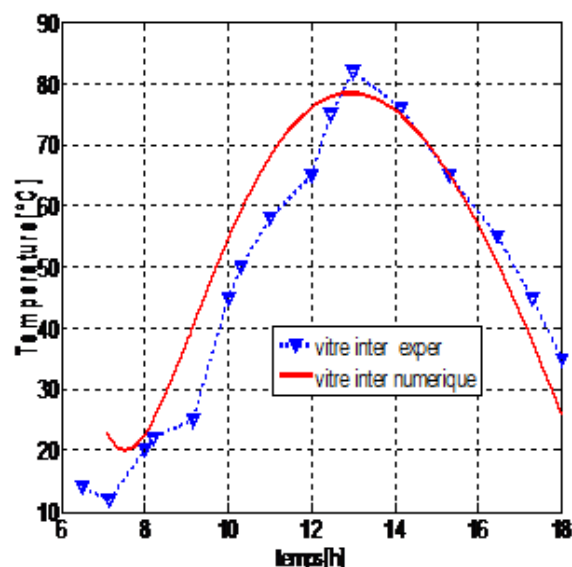


Figure 6-2 Évolution de la température de la vitre en fonction du temps (coté intérieur)

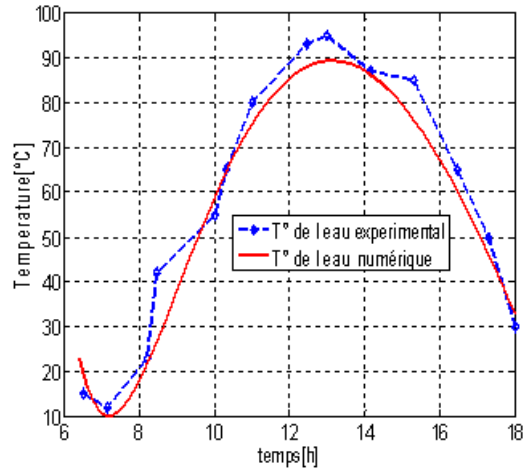


Figure 6-3: Variation des températures de l'eau (numérique et expérimentale)

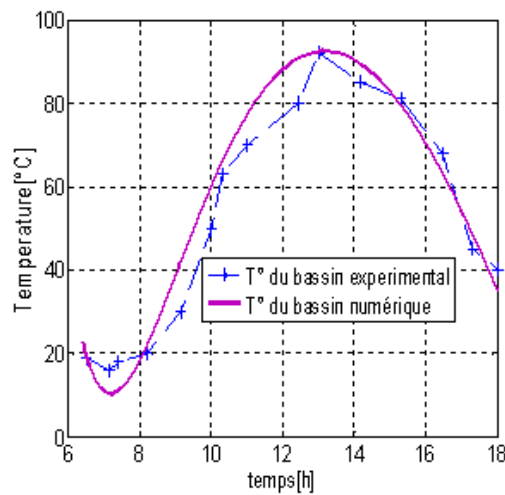


Figure 6-4: Variation des températures du bassin (numériques et expérimentales)

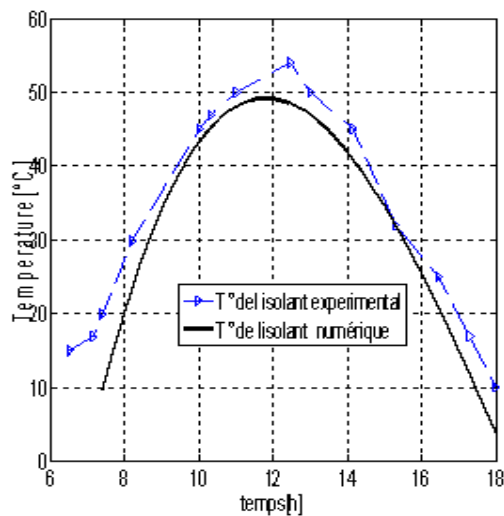


Figure 6-5: Variation des températures de l'isolant (numériques et expérimentales)

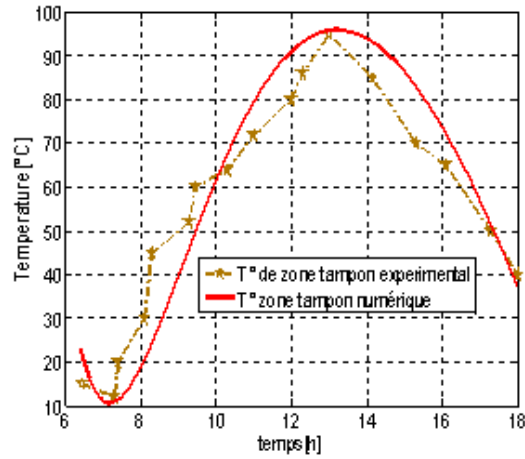


Figure 6-6: Variation des températures de la zone tampon (numériques et expérimentales)

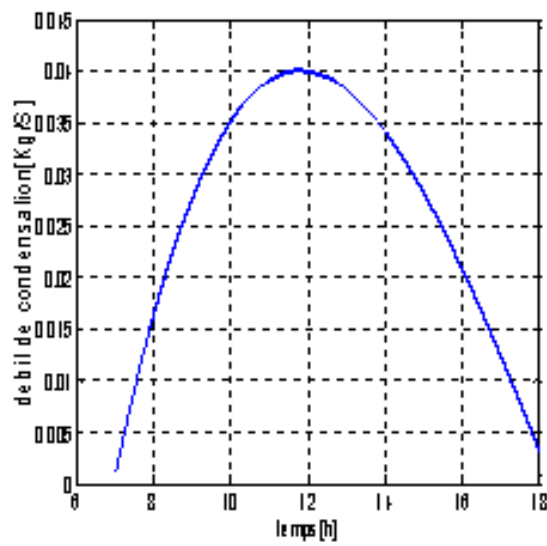


Figure 6.7 Variation de débit de condensation

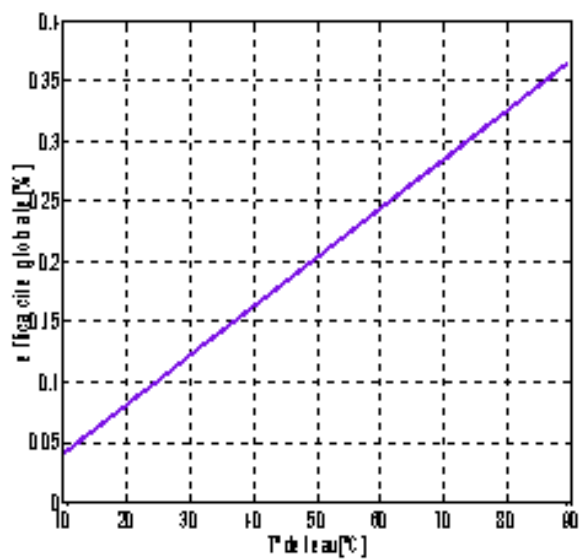


Figure 6-7 Efficacité globale

8-validation des résultats :

Afin de valider les résultats numériques obtenus dans le cadre de ce travail, nous avons fait une comparaison entre les essais sur un distillateur solaire simple et la simulation de ce système à l'aide de Simulink. La comparaison entre la théorie et l'expérience a été faite pendant la période allant de 6h:00 à 18h :00 dans laquelle on a pu constater l'allure des courbes des températures en fonction du temps et du flux solaire transmis par la vitre au milieu intérieur du distillateur. Cette comparaison donne plus de précision sur l'allure de la courbe, que sur les valeurs des températures. On a pu constater une analogie entre la théorie et l'expérience. On notera que les températures des différents constituants du distillateur varient en fonction du flux solaire incident. Elles augmentent plus vite que la température ambiante, c'est la qui commence l'effet de serre. Et, pour augmenter la production d'eau dans le distillateur solaire, il faut refroidir la surface de condensation [10].

9. Conclusion

Dans cette communication une approche fonctionnelle a été adoptée pour donner une représentation d'un système de dessalement par distillation solaire. Cette approche permet la résolution du modèle mathématique en utilisant l'outil Simulink® sous l'environnement Matlab®. Chaque élément de ce système a été représenté par un sous programme. Ces différents éléments ont été rassemblés les uns aux autres d'une manière fonctionnelle afin de résoudre le modèle et d'observer l'évolution des températures de tous les éléments du distillateur dans le temps, et dont on pourra visualiser la sortie sous forme des graphes.

Références

- [1] A. CHAKER; N.BOUKERZAZA :« caractéristique de fonctionnement d'un distillateur solaire » Journée Internationale de thermique ;Tanger,Maroc Novembre 2005.
- [2] BERNAD R., MENGUY G., et SCHWARTZ M., le rayonnement solaire, conversion thermique et application » thermique et documentation ;2ième Edition 1980.
- [3] SFEIR A.A.,GURRACINO G « Ingénierie des systèmes solaire. Application à l'habitant ». technique et documentation. Paris-(1981).
- [4] A.KHEDIM : « Mesure et caractéristique Thermodynamique d'une nouveau Système solaire de Dessalement de l'Eau de Mer avec Récupérateur de Chaleur » Rev.Energ.Ren :11èmes journées Internationales de thermique 2003.
- [5] European Commission, «Coping with Water Scarcity, » World Water Day, 2007
- [6] Mahmoud Hammou « Analyse de différents paramètres d'un système de dessalement par distillation solaire » mémoire de magister Université Ibn Khaldoun de Tiaret , 2011
- [7] Malik, M.A.S ; Tiwari, G ; Kumar, S et Sldha, MS. « Solar distillation. Oxford, pergamon press (1982).
- [8] Ahmed Khedim, Klemens Schwarzer, Christian Faber, Christoph Müller« Production Décentralisée de l'Eau Potable à l'Energie Solaire", Desalination, 168, 13-20, 2004
- [9] Fedali Saïda « Modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres a bas coût pour les communautés rurales » Mémoire de Magistère Université de Batna ,2007
- [10] R. Bhardwaj M.V. ten Kortenaar, R.F. Mudde «Maximized production of water by increasing area of condensation surface for solar distillation » Applied Energy 154 (2015) 480–490