



Theoretical and experimental investigation of on glass solar still

Étude théorique et expérimentale d'un distillateur solaire en verre

Bahous NASRI^{a,b,*}, Ali BENATIALLAH^a, Kalloum SLIMANE^a, Djelloul BENATIALLAH^a

^aLaboratoire Énergie Environnement et système d'Information. Faculté des sciences et technologie. Département Science de la Matière. Université Ahmed Draïa Adrar. Adrar Algérie. 01000.

^bAgence Nationale Des Ressources Hydrauliques Adrar Algérie.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 July 19

Received in revised form 07 September 19

Accepted 12 September 19

Keywords:

Solar still; Glass; Local Materials; Polyethylene.

Mots clés:

Distillateur solaire; Verre; Matériaux locaux; Polyéthylène.

ABSTRACT

This paper presents a theoretical and experimental work performed on a glass solar still. The solar distiller under study was fabricated with cheap glass and the polyethylene as absorber, and was tested under the climatic conditions of the City of Adrar. The theoretical approach is based on the simulation of the solar still system. This study investigates the effect of meteorological parameters such as solar irradiation, and also, the effect of varying the water mass in the basin on the productivity of the basin still. From this tests (theoretical and experimental), it was found that solar radiation has a high influence on the productivity of the still. The results show that also, the daily productivity is around 2.5 l/m²h. It is also noticed that the increase in the water thickness in the basin decreases the daily production of solar still, and the best result was obtained is 3.28 l / m², with a thickness of 0.75 cm.

RÉSUMÉ

Ce travail présente une étude théorique et expérimentale effectuée sur un nouveau distillateur solaire. Le distillateur solaire étudié a été fabriqué avec des matériaux locaux et de bon marché comme le verre ordinaire et un absorbeur en polyéthylène. Il a été testé ensuite dans les conditions climatiques d'Adrar. L'effet de certains paramètres météorologiques comme l'irradiation solaire, et l'influence de l'épaisseur de l'eau dans le bassin sur la productivité du distillateur ont été étudiés. À partir des différents tests (théorique et expérimental) on constate que l'irradiation solaire influe sur la productivité du distillateur. Ces résultats ont montré également que la productivité journalière du distillateur est de 2,5 l/m²j. On remarque aussi que l'augmentation de l'épaisseur de l'eau dans le bassin diminue la production journalière du distillateur. Le meilleur résultat obtenu de cette dernière est de 3,28 l/m²j avec une épaisseur de 0,75 cm.

1 Introduction

Ces dernières années, le problème de l'eau potable est devenu l'un des principaux défis dans le monde. L'eau est la substance la plus importante dans le développement de tous les pays. Elle constitue une condition essentielle pour tous développements agricoles, industriels et énergétiques. Bien que plus de 70% de la surface de la terre est couverte d'eau,

* Corresponding author. Tel.: +213 0667765386.

E-mail address: bnasri14@gmail.com

seulement 1% de cette quantité peut être utilisée directement pour les êtres vivants et pour d'autres activités. D'autre part, l'eau de mer constitue 97,5% de la réserve mondiale et ne peut donc pas être utilisée pour la consommation [1].

Le mode de peuplement dans le Sud-ouest algérien représente une particularité au Sahara au moment où il s'articule sur un ensemble de ksour, dont une grande partie de la population est rurale et très éloignée du chef-lieu avec l'existence de plus de 500 ksour dans les Wilayas d'Adrar et de Bécharr [2].

Certaines localités sahariennes devaient leur existence à une activité agricole, d'autres puisaient leur richesse d'une activité commerciale fructueuse, notamment dans le Touat, le Gourara, le Tidikelt et la Saoura. Carrefour des circuits commerciaux entre le Nord et pays voisins, des agglomérations éloignées comme Timiaouine, Bouda et Sali, dans le Touat, Akabli dans le Tidikelt et Timimoun dans le Gourara souffrent d'une pénurie des eaux ou des eaux de mauvaise qualité [2].

Près de 1400 km d'Oran, et 1200 km d'Alger se dresse la ville saharienne d'Adrar, au Sud-Ouest de l'Algérie, dont le nom en Berbère (Adghagh) semble signifier « montagne, rocaïlle » [3] et dont la transcription française en a fait Adrar. Sa wilaya est limitée au nord par celle d'El Bayadh, au nord-ouest par Bécharr, à l'ouest par Tindouf, au sud-est par Tamanrasset et au nord-est par Ghardaïa.

Les ksour d'Adrar vont très vite basculer vers des activités tertiaires générées par les investissements des pouvoirs publics. En effet, la promotion administrative d'Adrar au rang de chef-lieu de wilaya en 1975, à la faveur d'un nouveau découpage administratif, lui permet d'acquérir de nouvelles fonctions, typiquement urbaines. Celles-ci vont donner un nouveau visage aux ksour d'Adrar tant sur le plan social que spatial : une croissance spatiale rapide accompagnée d'un déclin fonctionnel et structurel des ksour ainsi qu'une immigration intense. C'est ainsi que, de 4468 habitants en 1966, la ville passe à 28580 en 1987, 43 142 en 1998 et 63 039 en 2008 [4].

Devant cette répartition, éloignement, distribution des ksour dans l'espace, ces localités nécessitent la mobilisation des quantités importantes en eau potable pour sa survie et son développement.

Le manque d'eau potable et la rareté des ressources naturelles dans ces zones, causés à la fois, par la sécheresse, le changement climatique et la surexploitation des nappes phréatiques, deviennent un grand problème qui menace la vie des habitants de ces localités [5].

Face à ces problèmes dans ces régions et pour mieux préserver l'avenir en matière de l'eau, il est plus judicieux de revoir la planification des ressources en eau conventionnelles dans le cadre d'une vision globale qui intègre également l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles notamment le dessalement des eaux saumâtres [6].

La distillation solaire apparaît comme étant la technique la plus appropriée dans ces régions car elle présente des avantages spécifiques en raison de sa construction plus facile, de ses coûts d'exploitations minimales et de la maintenance facile, et de sa convivialité pour l'environnement [7]. Le principal inconvénient des distillateurs solaires est sa faible productivité de l'eau douce par rapport aux autres systèmes de dessalement. La capacité de production pour un type simple est de l'ordre 2-5 l / (m² jour). Ceci est basé sur un simple principe, il suffit d'utiliser l'irradiation solaire pour créer l'effet de serre à l'intérieur du bassin, qui va permettre d'évaporer l'eau salée et va se condenser par la suite au niveau du condenseur et finalement on peut obtenir de l'eau potable [8].

Dans ce contexte plusieurs études ont été effectuées sur le distillateur solaire en vue d'améliorer sa productivité et d'augmenter son rendement pour le rendre plus utilisable les plus récentes sont rapportées dans [9].

Plusieurs types de distillateurs solaires ont été développés et étudiés par des chercheurs à travers le monde avec des formes et géométries différentes. Reddy et al [10] ont donné une note de synthèse sur l'influence des différents paramètres du distillateur solaire comme la profondeur de l'eau salée, l'orientation, l'épaisseur de la vitre etc. Kuldeep et al [11] ont examiné les différents développements dans le domaine du distillateur solaire pyramidique ainsi que les différentes techniques utilisées pour améliorer la performance de ce type de distillateur. Ils ont montré que cette forme est plus efficace et économique en comparaison avec un le distillateur conventionnel à simple pente. Sathyamurthy et al. [12] ont donné une synthèse des distillateurs solaires intégrés avec des collecteurs pour augmenter leurs rendements. Ils ont affirmé par la suite que ces méthodes ne sont pas économiques pour des familles à faibles revenus. Khechekhouche et al. [13] ont proposé l'idée de l'utilisation d'un double vitrage pour un distillateur solaire simple pente, et ils ont montré que cette technique a un effet négatif sur la productivité du distillateur qui se traduit par une diminution jusqu'à 9 fois par rapport au distillateur avec un simple vitrage.

Le présent travail vise à traiter deux problèmes ensemble, l'amélioration de la productivité d'un distillateur solaire en verre, à travers l'étude de l'influence de certains paramètres météorologiques sur les caractéristiques de fonctionnement du distillateur, ainsi que la production d'une eau de très bonne qualité, par l'utilisation des produits locaux et non toxiques comme le verre ordinaire dans la fabrication du distillateur.

2 Description du distillateur

Le distillateur utilisé dans cette étude est d'une conception très simple (Fig. 1). Il est fabriqué par des matériaux locaux et de bon marché (verre ordinaire de 0,004 m d'épaisseur). Le bac absorbant est d'une superficie de 0,5 m×0,5 m (0,25 m²) réalisé dans le but d'absorber le maximum de rayonnement solaire. C'est pour cette raison qu'on a utilisé une couche noire de polyéthylène comme absorbeur. Une couverture en verre de 0,04 m d'épaisseur inclinée d'un angle de 10° sert de condenseur avec une orientation Nord-Sud.

Une isolation thermique des parois latérales en polystyrène 0,004 m d'épaisseur a été utilisée pour minimiser les pertes de chaleur.

Le remplissage du bac s'effectue par gravitation à partir d'un réservoir métallique en tôle galvanisée 10L. La récupération du distillat s'effectue dans les rigoles placées à l'extrémité du toit.

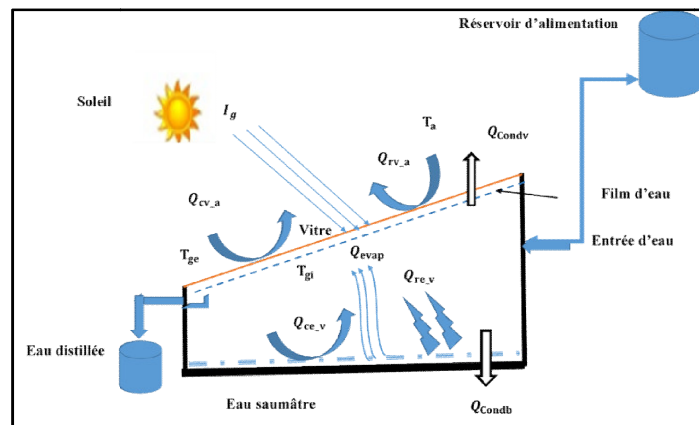


Fig. 1- Schéma de fonctionnement du distillateur solaire

3 Étude théorique

Les résultats analytiques sont obtenus en résolvant les équations du bilan énergétique de la plaque absorbante, de l'eau saline et de la couverture en verre du distillateur solaire. La température de l'eau saline, la température du bassin absorbeur et la température du couvercle en verre peuvent être évaluées à chaque instant.

3.1 Bilan du vitrage

L'énergie absorbée par la couverture verrière est donnée par la formule suivante selon [14]

$$m_v \times C_{pv} \times \frac{dT_v}{dt} = P_v + Q_{re,v} + Q_{ce,v} + Q_{evap} - Q_{rv-a} - Q_{cv-a} \quad (1)$$

$$P_v = S_v \alpha_v I_g = S_v I_g (1 - R_v) \alpha_v \quad (1a)$$

Avec:

m_v : est la masse du vitre en kg ;

C_{pv} : est la chaleur spécifique en J/Kg K ;

$Q_{re,v}$: le flux de chaleur échangé par rayonnement entre l'eau et la vitre ;

$Q_{ce,v}$: le flux de chaleur échangé par convection ;

Q_{rv-a} : le flux de chaleur échangé par rayonnement entre la vitre et l'air ambiant ;

Q_{cv-a} : le flux de chaleur échangé par convection entre la vitre et l'air ambiant ;

P_v : est la puissance solaire absorbée par la vitre ;

S_v : Surface de la vitre ;

R_v et α_v : sont respectivement les coefficients de réflexion et d'absorption de la vitre.

3.2 Bilan de la saumure

La quantité d'énergie reçue par la saumure dans le distillateur est donnée par la formule suivante [14]

$$m_e \times C_{pe} \times \frac{dT_e}{dt} = P_e - Q_{ce-v} - Q_{re-v} - Q_{evap} + Q_{cb-e} \quad (2)$$

$$P_e = S_e \alpha_e I_g = (1 - R_v)(1 - \alpha_v)(1 - R_e) \alpha_e I_g S_e \quad (2a)$$

Avec:

m_e : est la masse de l'eau saumâtre en kg ;

C_{pe} : est la chaleur spécifique en J/Kg K ;

Q_{re-v} : le flux de chaleur échangé par rayonnement entre l'eau et la vitre ;

Q_{ce-v} : le flux de chaleur échangé par convection ;

Q_{evap} : le flux de chaleur échangé par évaporation ;

Q_{cb-e} : le flux de chaleur échangé par convection entre le bac et l'eau ;

P_e : est la puissance solaire absorbée par la saumure ;

S_e : Surface de la saumure ;

R_e et α_e : sont respectivement les coefficients de réflexion et d'absorption de la saumure.

3.3 Bilan de l'absorbant

Au niveau de l'absorbant on peut exprimer le bilan d'énergie selon la formule (3), [14]

$$m_b \times C_{pb} \times \frac{dT_b}{dt} = P_b - Q_{perte} - Q_{cb-e} \quad (3)$$

$$P_b = S_b \alpha_b I_g = \alpha_b (1 - R_v)(1 - \alpha_v)(1 - R_e)(1 - \alpha_e) I_g S_b \quad (3a)$$

Avec:

m_b : est la masse du bassin absorbant en kg ;

C_{pb} : est la chaleur spécifique en J/Kg K ;

Q_{perte} : le flux de chaleur perdu par les parois latérales ;

Q_{cb-e} : le flux de chaleur échangé par convection entre le bac et l'eau ;

P_b : est la puissance solaire absorbée par le bac absorbant.

S_b : Surface du bac absorbant ;

R_b et α_b : sont respectivement les coefficients de réflexion et d'absorption du bac absorbant.

Le rendement horaire du distillateur est donné par l'équation suivante [15] :

$$m_d = h_{evape-v}(T_e - T_v) * 3600/h_{fg} \quad (4)$$

Avec :

$h_{evape-v}$: Le coefficient de transfert de chaleur par évaporation ;

(Te) : la température de l'eau saumâtre ;

(Tv) : la température du vitre ;

h_{fg} : Enthalpie d'évaporation à T_e .

3.4 L'efficacité globale

L'efficacité globale est définie par le rapport [16]:

$$\eta_d = \frac{\sum md * h_{fg}}{S_v * I_g} \quad (5)$$

3.5 L'efficacité interne

Si l'efficacité globale est donnée par le rapport des quantités d'eau produite et l'énergie solaire qui frappe une surface horizontale, elle ne fait pas mention de la quantité d'énergie entrant réellement dans le distillateur, d'autant plus qu'un distillateur est construit en général pour un lieu donné et avec une couverture fixe. Un changement de pente et de la localité fait varier la quantité d'énergie qui entre dans le distillateur. On définit donc une efficacité dite interne qui prend en considération ces paramètres et qui est définie par [16]:

$$\eta_i = \frac{Q_{evap-e}}{Q_e} \quad (6)$$

Les analyses théoriques ont été étudiées et vérifiées avec les résultats expérimentaux. Les équations différentielles sont résolues en utilisant la fonction d'Euler et un logiciel MATLAB 09.

La résolution du système d'équations par un programme de simulation numérique a été effectuée pour déterminer les paramètres recherchés à partir des données de base.

Les résultats numériques obtenus nous permettent donc de mettre en évidence l'effet de nombreux paramètres (T_a , T_e etc.) sur les caractéristiques de fonctionnement du distillateur étudié.

Cette étude a été réalisée sous les conditions climatiques de la région d'Adrar dont les coordonnées géographiques sont ($27^\circ 53' N$, $0^\circ 16' W$).

Les calculs théoriques ont été effectués selon le jour du 23 octobre 2017.

4 Résultats et discussion

4.1 Variation temporelle de l'irradiation globale et les puissances solaires absorbées

La fig. 2 montre clairement la variation temporelle du rayonnement solaire global, reçu par mètre carré de surface plane horizontale et également les puissances absorbées par l'eau saumâtre et par la vitre. On peut remarquer que la puissance atteint son maximum à 13h30 (les valeurs maximales sont situées entre (11h 00 et 15h00)).

La même figure montre également que la quantité absorbée par la vitre est assez faible ce qui montre le passage presque de la totalité des irradiations à la saumure, ceci est due à ses caractéristiques géométriques (épaisseur faible) et optiques (coefficient d'absorption faible et coefficient de transmission élevé de la vitre).

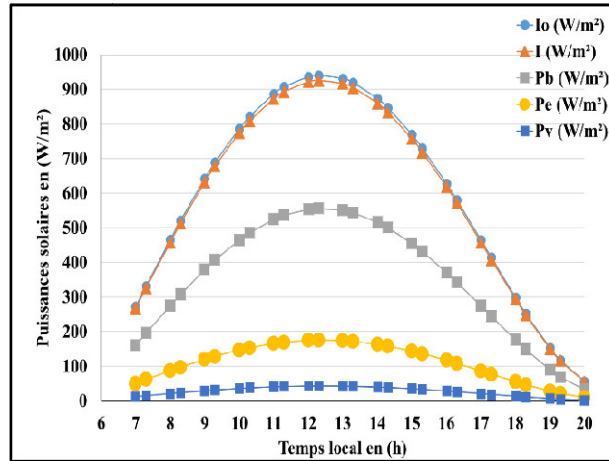


Fig. 2- Variation temporelle des intensités solaires et les puissances solaires absorbées par le distillateur

4.2 Variation des températures des différentes composantes du distillateur

La variation des températures en fonction du temps est donnée par la fig. 3. On remarque de cette figure que la température du bac atteint sa valeur maximale de 72 °C à 12h30, ceci s’explique par le coefficient d’absorption assez élevée de la couche noir de polyéthylène et sa relation avec l’irradiation solaire. La température de l’eau est très étroite avec celle du bac, cette dernière est chauffée surtout par convection et d’un degré moindre par conduction (convection naturelle). La faible température de la vitre s’explique par l’échange convectif avec l’ambiant, ceci permet à la vapeur d’eau de se condenser sur la face intérieure de la vitre. La zone tampon est le domaine de la vapeur saturée, où la température est assez élevée. On a une variation classique en forme de cloche du rayonnement solaire [17].

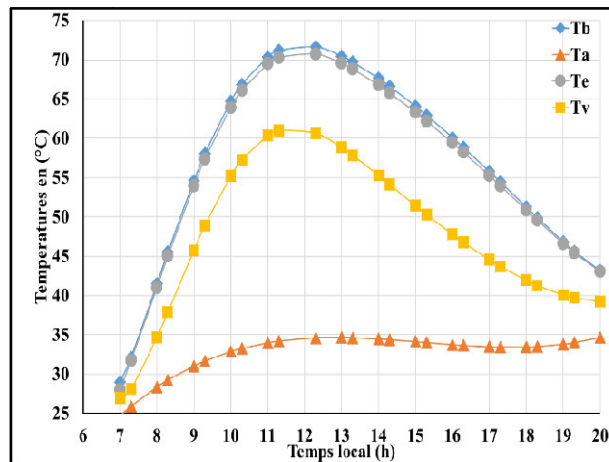


Fig. 3- Évolution temporelle des températures des différentes composantes du distillateur

La Fig. 4 illustre clairement qu’il existe une augmentation de la productivité de l’eau pendant les premières heures de la journée d’essais jusqu’à ce qu’elle atteigne sa valeur maximale 0,25 kg/m²h, vers 13h30 et décroisse par la suite jusqu’ au coucher du soleil. On peut dire aussi que le maximum de productivité est en relation au maximum de température de l’eau saline Te et aussi maximum d’irradiation solaire Io.

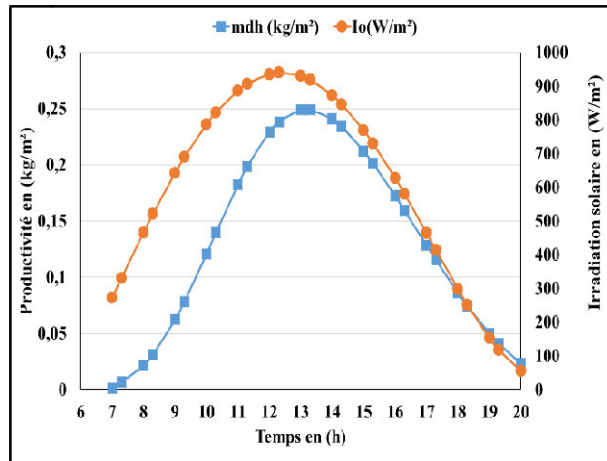


Fig. 4- Variation de la productivité avec l'irradiation solaire

Il apparaît nettement, de la Fig.5 que l'efficacité globale, qui est proportionnelle à l'énergie d'évaporation et inversement proportionnelle à l'énergie globale incidente, augmente et continue à évoluer positivement pour atteindre son maximum après 19.00 heures, cela signifie que la quantité de l'énergie utilisée pour l'évaporation dépasse toujours la puissance solaire globale.

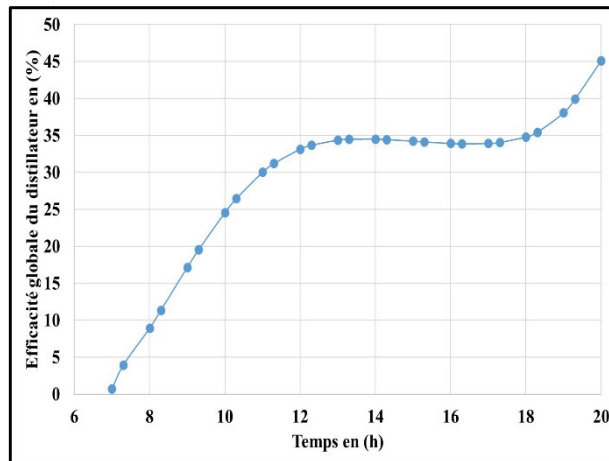


Fig. 5- Efficacité globale du distillateur

4.3 Validation expérimentale

Le système est validé par une comparaison des résultats théoriques et expérimentaux. Parallèlement à l'étude par simulation des tests expérimentaux ont été réalisés dont les résultats sont rapportés sur la Fig.6. On en constate bien qu'il existe un bon accord entre les deux résultats théoriques de la Fig.4 et expérimentaux de la Fig. 6.

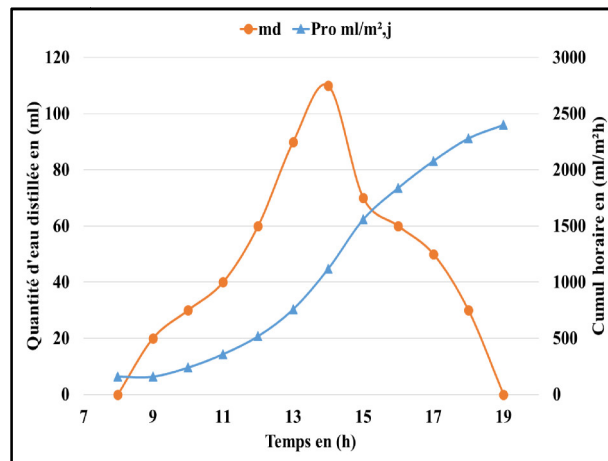


Fig. 6- Variation du cumul d'eau distillée et la productivité horaire du distillateur

La Fig. 7 présente la variation des différentes températures des éléments du distillateur. Il ressort de celle-ci que la température de l'eau est la plus élevée par rapport aux autres. On peut dire également que la température (T_e) est atteinte sa valeur maximale de $68\text{ }^\circ\text{C}$. Les autres températures possèdent la même allure de (T_e) et atteignent leur maximum entre 13h00 et 14h00. Les températures maximales enregistrées sont respectivement de 59 et $42\text{ }^\circ\text{C}$. Pour la face interne et externe de la couverture en verre, ces résultats sont en bon accord avec les résultats théoriques.

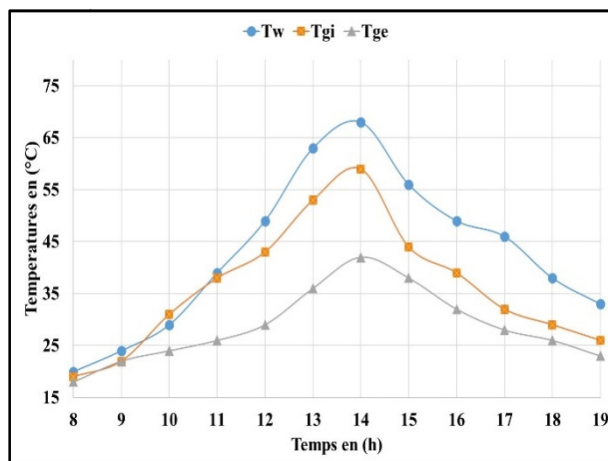


Fig. 7- Variation horaire des températures des différentes composantes du distillateur

La variation de l'épaisseur de l'eau dans le distillateur est donnée par la Fig. 8. Cette figure montre clairement que l'épaisseur de l'eau dans le distillateur influe d'une manière inverse sur la productivité journalière du distillateur et la quantité produite diminue avec l'augmentation de l'épaisseur de l'eau. Ce résultat a été approuvé par d'autres chercheurs [6], [18]- [20].

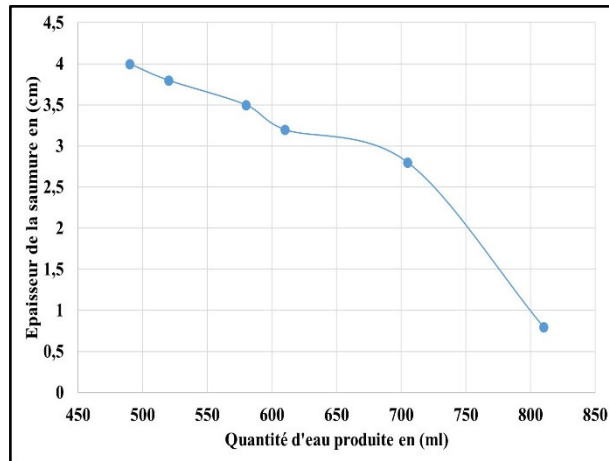


Fig. 8- Effet de l'épaisseur de l'eau sur la quantité journalière d'eau produite

5 Conclusions

Le présent article présente une investigation théorique et expérimentale d'un distillateur solaire en verre. Plusieurs paramètres comme l'irradiation solaire, température ambiante, les températures de chaque partie du distillateur et l'effet de l'épaisseur de l'eau dans le bassin ont été étudiés et testés sous les conditions climatiques locales d'Adrar.

Les résultats obtenus ont mis en évidence que la productivité du distillateur est influencée par de nombreux facteurs comme l'irradiation solaire, la température ambiante et l'angle d'inclinaison. La quantité maximale d'eau produite est égale à $0,25 \text{ kg/m}^2$. Elle est liée à la température maximale de l'eau saline T_w et à l'irradiation solaire maximale I_0 .

Cette étude nous a permis de mettre en évidence également l'effet de l'épaisseur de la saumure. L'augmentation de cette dernière fait diminuer considérablement la quantité d'eau distillée produite.

On constate aussi à partir des résultats obtenus qu'il existe un très bon accord entre l'étude de simulation et l'expérimentation.

Remerciements

Je tiens à remercier tous les examinateurs de l'article pour leurs critiques et leurs suggestions, également mes vifs remerciements à toute l'équipe du journal RECUEIL DE MÉCANIQUE, ensuite mes reconnaissances vont à M. Abderrahmane Khechekhouche de l'université d'El oud pour les conseils.

RÉFÉRENCES

- [1] A. E. Kabeel, Performance of solar still with a concave wick evaporation surface. *Energy* vol.34 10 (2009) pp. 1504–1509.
- [2] B. Yousfi, Du réseau ksourien au réseau urbain dans le Sud-ouest algérien: évolution, processus, ruptures et continuités. *Cent. Rech. En Anthropol. Soc. Cult. Crasc* n°32 (2016) pp. 85–115.
- [3] M. Faradj, *La région du Touat durant le XVIII siècle*, OPU, Alger: OPU, 1977.
- [4] Hammouzzine, A and Kadaoui, N, "L'évolution des ksour d'Adrar ; l'exemple de Ouled Ouchène et de Ouled Ali," *Memoire d'ingénieur*, Université d'Oran, Oran, 2003.
- [5] A. Boutriaa, Effet des paramètres de fonctionnement sur les performances d'un distillateur solaire. 2009.
- [6] O. Sotehi, Etude des caractéristiques de fonctionnements et de la performance d'un distillateur solaire. 2009.
- [7] Z. M. Omara, A. E. Kabeel, and A. S. Abdullah, A review of solar still performance with reflectors. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol.68 (2017) pp. 638–649.
- [8] K. Rabhi, R. Nciri, F. Nasri, C. Ali, and H. Ben Bacha, Experimental performance analysis of a modified single-basin single-slope solar still with pin fins absorber and condenser. *Desalination* vol.416 (2017) pp. 86–93.
- [9] H. A. Dhahad, W. H. Alawee, and T. A. Mohammad "Review on the important methods used to enhance the productivity of the solar still," *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol.8 n°7 (2017) pp. 19–24.
- [10] K. S. Reddy and H. Sharon, Active multi-effect vertical solar still: mathematical modeling, performance investigation and enviro-economic analyses. *Desalination* vol.395 (2016) pp. 99–120.
- [11] Kuldeep H. Nayi and K. V. Modi, Pyramid solar still: A comprehensive review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* vol. 81(2018) pp. 136–148.
- [12] R. Sathyamurthy et al., A Review of integrating solar collectors to solar still. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 77 (2017) pp. 1069–1097.
- [13] A. Khechekhouche, B. H. B. B. H. Boubaker, et D. Z. D. Zied, Solar distillation between a simple and double-glazing. *Recueil de mécanique* vol. 2 n°2 (2018) pp.145-150.
- [14] V. Velmurugan, K. J. Naveen Kumar, T. NoorulHaq, et K. Srithar, Performance analysis in stepped solar still for effluent desalination. *Energy* vol.34 n°9 (2009) pp.1179-1186.
- [15] A. E. Kabeel, A. Khalil, Z. M. Omara, et M. M. Younes, Theoretical and experimental parametric study of modified stepped solar still. *Desalination* vol.289 (2012) pp. 12-20.
- [16] V. Velmurugan, C. K. Deenadayalan, H. Vinod, et K. Srithar, Desalination of effluent using fin type solar still. *Energy* vol.33 n°11 (2008) pp.1719-1727.
- [17] S. Fedali, *Modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres à bas coût pour les communautés rurales*," PhD Thesis, Université de Batna 2, 2008.
- [18] B. A. Akash, M. S. Mohsen, and W. Nayfeh, Experimental study of the basin type solar still under local climate conditions. *Energy Convers. Manag.* vol. 41 n°9 (2000) pp. 883–890.
- [19] R. Dev, S. A. Abdul-Wahab, and G. N. Tiwari, Performance study of the inverted absorber solar still with water depth and total dissolved solid. *Appl. Energy* vol.88 n°1 (2011) pp. 252–264.
- [20] M. K. Phadatare and S. K. Verma, Influence of water depth on internal heat and mass transfer in a plastic solar still. *Desalination* vol.217 n°1–3 (2007) pp. 267–275.