

Etude et amélioration de la performance d'un distillateur solaire simple par un système de couplage (chauffage - distillation)

Mohammed Hassen SELLAMI^{a,*}, Hamza BOUGUETTAIA^b et Belkis TIDJANI^a

^a *Département de génie des procédés, Faculté des Sciences Appliquées, Université Kasdi Merbah Ouargla, Ouargla 30000 (Algérie).*

^b *Laboratoire des Energies Nouvelles et Renouvelables dans les Zones Arides (LENREZA), Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière, Université Kasdi Merbah Ouargla, Ouargla 30000 (Algérie).*

* Email : sellami2000dz@gmail.com

Résumé : Les zones arides et désertiques au Sud - Est Algérien connaissent un manque alarmant en eau potable. Ces régions sont généralement alimentées par l'eau souterraine qui est saumâtre avec une salinité dépassant parfois les normes. La distillation solaire de l'eau semble être une méthode très convenable pour produire de l'eau potable à bas prix vu le fort ensoleillement qui caractérise la région d'une part, et le coût des appareils utilisés de l'autre part. Depuis des années, le laboratoire de développement des énergies nouvelles et renouvelables dans les zones arides et sahariennes (LENREZA), se penche sur la recherche et l'amélioration des techniques de la distillation solaire en vue d'augmenter la production et l'efficacité de ces appareils.

L'une de ces techniques qui est recommandée durant la saison froide et moins ensoleillée, est la technique du couplage : (chauffage- distillation). Dans cette technique, le chauffe-eau solaire installé en amont du distillateur solaire simple, sert comme support énergétique compensant la diminution observée dans l'intensité des rayons solaires durant cette saison. L'eau saumâtre préchauffée est facilement évaporée conduisant à des débits remarquables en eau distillée produite. Les résultats des expériences menées au début du printemps 2012 montrent que l'amélioration dans la production en utilisant cette technique, est de 82,62% par rapport à la production sans préchauffage, en plus si l'on ajoute de la teinte noire à l'eau salée, le cumul journalier s'améliore de 22,14%.

Mots clés : Distillation solaire, teinte, énergie solaire, distillateur simple, chauffe-eau solaire.

Abstract: Nowadays, the lack of fresh water in remote arid and desert areas in the south-east of Algeria has reached an alarming point. The dwellers of these sites use groundwater that is abundant but often too salty for human consumption. Solar distillation using simple small-scale stills is one of the cheapest solutions given the high intensity of solar irradiance that characterizes the region of Southern Algeria throughout the year; and simplicity of these devices. The laboratory of new and renewable energies in arid zones (LENREZA) at Ouargla University is searching for methods and techniques to improving the average daily output in distilled water. One of these techniques practiced and recommended in winter and spring is the coupling (Heating-Distillation).

This technique is based on the fact that during the cold climate, the solar water heater located upstream of solar distiller serves as thermal medium replacing the lack of solar irradiance during this season. After preheating, the brine water evaporates quickly from the basin and condenses easily on the glass-cover because of its contact with fresh environment. The experiments carried out during early spring 2012 show that the daily cumulative of distilled water by the coupling system without dye is greater than that produced by the conventional still with an average of enhancement of 82.61 %. Adding dye to coupling system further enhances productivity by 22.14 % without affecting the distilled water quality.

Key words: desalination, dye, solar energy, single basin still, solar water-heater

1. Introduction

Le manque en eau potable est devenu l'un des problèmes majeurs pour le développement de nombreux pays. La consommation de l'eau potable dans le monde ne cesse d'augmenter d'un jour à l'autre à cause de la croissance démographique. Les sources d'eau existantes sont limitées ou parfois polluées soit par des déchets industriels et/ou par les eaux usées.

L'approvisionnement en eau douce est un besoin urgent pour les usages domestiques, agricoles et industriels surtout dans les régions éloignées et les zones arides. Ces régions dépendent encore des eaux souterraines pour l'usage quotidien ou pour obtenir de l'eau douce [1]. L'eau souterraine dans ces régions est généralement une eau saumâtre avec des salinités dépassant parfois les valeurs mentionnées par les normes, or la concentration maximale des sels dans l'eau douce destinée pour la consommation humaine est seulement 550 ppm [2].

La ville d'Ouargla est située à 141 m au-dessus de la mer, avec un angle de 31,95 'N de latitude et 5,40' E de longitude. Généralement cette région a un grand potentiel énergétique où l'intensité moyenne sur une surface horizontale est de 2260 kWh/m².an, équivalent à environ 3400 heures d'ensoleillement par an et un potentiel hydrique de 6,7 milliards de m³ d'eaux souterraines [3-4]. Ces grands potentiels peuvent sans doute être mieux exploités et développés par des concepts et des méthodes de dessalement solaire adaptés à alimenter cette région avec de l'eau potable à échelle familiale.

Les avantages de la distillation solaire pour la région d'Ouargla sont les suivants :

- Une forte intensité des rayons solaires.
- Une moyenne élevée de la température ambiante.
- Une longue durée d'ensoleillement quotidien.
- Un grand nombre de jours clairs le long de l'année [5].

La distillation solaire est un procédé économique étant donné que l'énergie solaire est une énergie gratuite et non polluante.

Plusieurs chercheurs ont travaillé sur la distillation solaire et spécialement sur les distillateurs simples dans le but d'améliorer leurs efficacités et leurs cumuls journaliers en eau distillée.

M.T. Chaibi [6], I. Al Hayek et al, et J. T. Mahdi et al. [7-8] ont mené des travaux concernant la proposition des designs de construction de tels appareils.

S. Aboul-Enein et al. [9] ont étudié l'effet des différents paramètres opératoires et climatiques à savoir l'angle d'inclinaison du vitrage, l'épaisseur de l'isolant, et l'épaisseur de l'eau saumâtre sur le cumul journalier en eau distillée.

A. K. Rajvanshi [10] a utilisé plusieurs types de teinte pour voir leurs effets sur la production en eau distillée.

D'autres chercheurs ont mélangé les particules de charbon avec l'eau saline pour augmenter son absorptivité d'une part et par conséquent augmenter son taux d'évaporation d'autre part [11-12].

Certains ont utilisé des réflecteurs [13] et/ou des condenseurs [14] ou bien ils ont fait couler l'eau saline froide sur le condenseur [15-24], pour augmenter l'écart entre la température de l'absorbeur et celle du condenseur.

S. G. Patel et al. [16] ont utilisé certains oxydes métalliques tels que : PbO₂, CuO, MnO₂ comme des photo-catalyseurs, et ils ont montré que la productivité des distillateurs a augmenté d'une façon remarquable.

Plusieurs autres techniques ont été utilisées pour répondre aux besoins continus en eau potable. La distillation en utilisant l'énergie thermique [17, 18] et la distillation membranaire [19, 20, 21, et 22] sont des techniques récentes utilisées pour résoudre le problème du manque d'eau. Généralement ces méthodes nécessitent beaucoup d'énergie soit thermique soit électrique, énergies qui sont parfois polluantes et qui rendent l'eau douce issue de ces méthodes plus chère.

Le distillateur solaire simple est composé d'un bassin galvanisé, teinté en noir, recouvert par une couche épaisse d'isolant et placé dans un coffre en bois. Le bassin parfaitement isolé est

couvert par un vitrage transparent et moins épais incliné par rapport au plan horizontal d'un angle étudié. L'eau saumâtre contenue dans le bassin métallique absorbe de la chaleur rayonnée, s'évapore puis se condense sur le vitrage refroidi par l'air ambiant.

Le grand inconvénient des distillateurs solaires simples est leur faible efficacité, une des raisons de cet inconvénient est la chaleur latente de condensation libérée par les vapeurs sur la paroi interne du vitrage, ce qui entraîne l'augmentation de la température du condenseur et diminue par conséquent le taux de condensation [23-24-25].

Pendant la saison chaude (été) les rayons solaires de forte intensité transmis par la couverture verrière sont absorbés par l'eau du bassin, une partie de ces rayons est malheureusement absorbée par la couverture (condenseur), et provoque son chauffage ce qui retarde la condensation des vapeurs. Cette forte intensité provoque aussi le surchauffage interne de l'appareil et diminue le rendement de la distillation suite à une diminution de l'écart entre la température de l'absorbeur et celle du condenseur.

Au contraire pendant la saison froide (hiver) le problème de condensation n'est pas vraiment intense à cause de l'air ambiant (froid) qui entoure l'appareil presque toute la journée.

Le grand souci est la faible intensité solaire qui empêche l'évaporation rapide de l'eau saumâtre.

La technique de couplage (chauffage-distillation) est une solution qui compense la diminution de l'intensité solaire pendant la saison froide en distillant directement une eau saumâtre préchauffée, donc facilement évaporable. En plus, le préchauffage de l'eau saumâtre augmente l'écart entre la température de l'absorbeur et celle du condenseur, ce qui entraîne une augmentation remarquable de la production en eau distillée.

Le but de ce travail expérimental est l'augmentation de l'efficacité du distillateur solaire simple à l'aide de l'utilisation d'un système de préchauffage de l'eau saumâtre par un chauffe-eau solaire, et voir ensuite l'effet de l'ajout d'une teinte noire sur le rendement du processus.

2. Partie expérimentale

Le système de couplage (Chauffage-distillation) se compose de 5 éléments :

- Un réservoir d'alimentation en eau saumâtre (3 g/L de concentration), de volume 60 litres équipé d'un robinet et d'un thermomètre.
 - Trois distillateurs simples à pente unique de dimensions : (0,48 m, 0,37 m, 0,03 m) avec bassin galvanisé, teinté en noir, et bien isolé par (0,03 m) du polystyrène. L'un des trois distillateurs sert comme témoin, le deuxième reçoit de l'eau chaude en y ajoutant de la teinte noire, le troisième est alimenté par l'eau chaude sans teinte.
 - Un chauffe-eau solaire simple à tubes verticaux de surface 0,12 m² équipé de ses thermomètres et d'un débitmètre. Il alimente les deux unités de distillation qui font l'objet d'étude.
- Ces éléments sont liés par une tuyauterie souple (Fig.1).

2.1. Mode opératoire

Les expériences se sont étalées de 09h00 à 17h00 pendant la première semaine du mois de Mars 2012 au niveau du laboratoire (LENREZA).

Le débit d'eau en amont du chauffe-eau est réglé à 0,084 l/min (valeur optimale testée).

Les trois distillateurs sont orientés vers la même direction et placés dans le même endroit et sur la même hauteur en conservant la même épaisseur de l'eau saumâtre dans chacun de leur bassin (qui est de 0,01 m) afin que la comparaison entre leurs productions soit logique et raisonnable.

On mesure chaque heure les paramètres suivants :

- 1- Les paramètres climatiques essentiels : intensité du rayonnement solaire, température ambiante, vitesse du vent.
- 2- Les différentes températures du système : la température de l'eau saumâtre, celle du vitrage, et celle de l'absorbeur métallique.
- 3- La température d'entrée de l'eau (T_i) et celle de sa sortie (T_o) du chauffe-eau solaire.
- 4- Le débit de l'eau distillée produite par chacun des trois distillateurs.

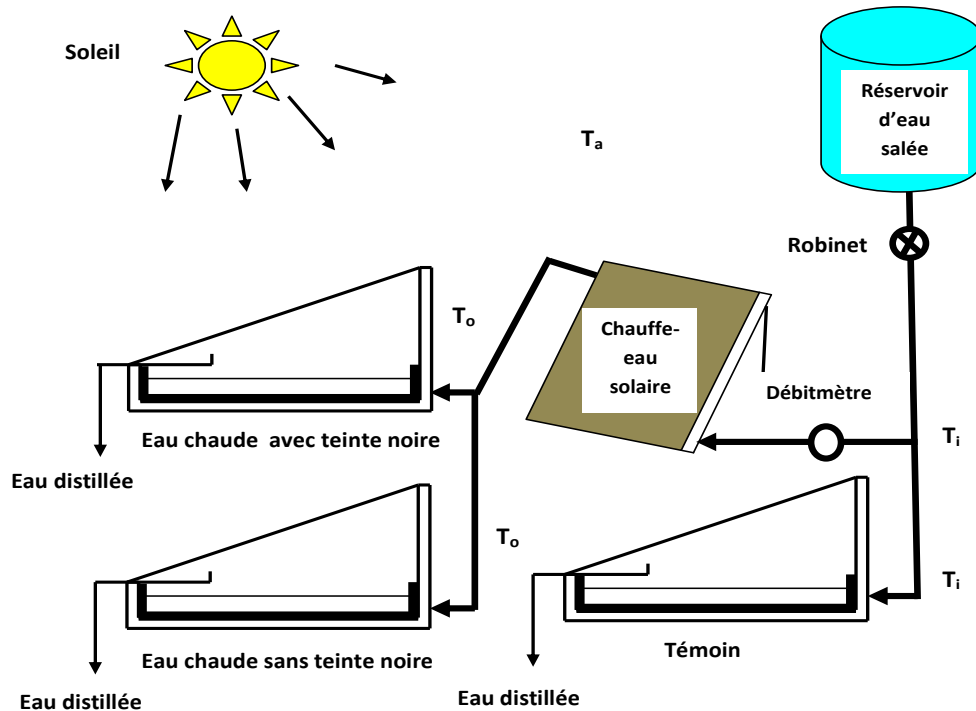


Figure 1 : Schéma de couplage : Chauffage-distillation

3. Résultats et discussion

3.1. Intensité du rayonnement solaire

D'après les résultats présentés dans la figure 2, il est clair que :

L'intensité du rayonnement solaire commence à augmenter durant la matinée et atteint une valeur maximale de 598 W/m^2 à 13h00, puis elle diminue de nouveau.

Cette valeur est dans les alentours de la moyenne saisonnière 600 W/m^2 , mais elle reste toujours moins importante que celle enregistrée en été.

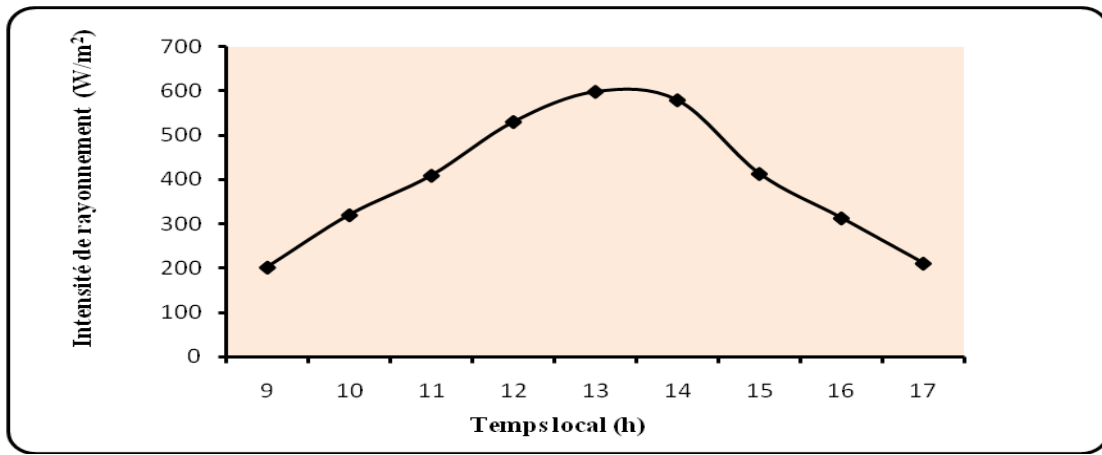


Figure 2 : Intensité du rayonnement solaire en fonction du temps local

3.2. Les températures

La figure 3 représente trois courbes de températures en fonction du temps local :

- La température ambiante, qui suit presque la même trajectoire que celle de l'intensité du rayonnement solaire, son maximum n'est atteint qu'aux alentours de 13h00.
- La température d'entrée de l'eau saumâtre dans le chauffe-eau solaire (température du réservoir de l'eau froide), qui est une fonction directe de la température ambiante et de l'inertie thermique du milieu.
- La température de sortie de l'eau du chauffe-eau solaire, qui est une fonction directe de l'intensité du rayonnement, alors elle suit presque la même trajectoire et elle atteint 57°C comme valeur maximale à 13h00.

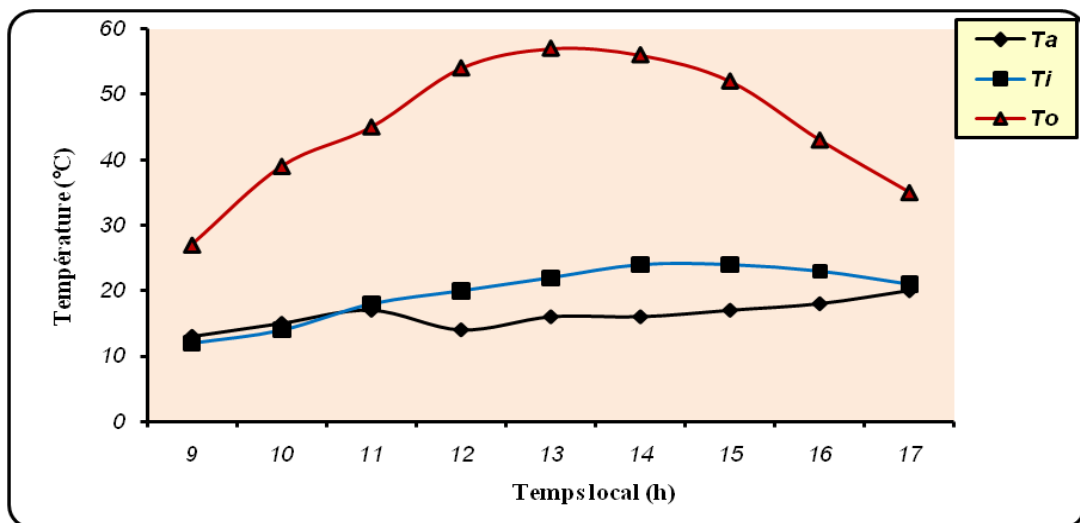


Figure 3 : Température ambiante, et températures d'entrée et de sortie du chauffe-eau en fonction du temps local

3.3. Production de l'eau distillée

D'après les résultats présentés par les figures 4 et 5, il est clair que :

- Le débit volumique de l'eau distillée est une fonction directe de l'écart entre la température de l'eau saumâtre dans le bassin et celle du vitrage, et puisque la température du condenseur ne varie pas d'une façon remarquable et rapide (faible conductivité du vitrage), le préchauffage de

l'eau saumâtre augmente cet écart qui atteint une valeur maximale de 35°C à 13h00, et par conséquent augmente la production journalière de 82,61% en eau distillée.

- L'ajout d'une teinte noire à l'eau saumâtre augmente le facteur d'absorption des rayons solaires, d'où la quantité recueillie d'eau distillée est plus importante. Dans notre cas, la teinte améliore encore la production journalière de 22,14%.

L'eau distillée produite est stockée dans un réservoir. Après la fin des expériences, une analyse physicochimique de cette eau a été faite pour avoir une idée sur sa qualité. Le tableau ci-dessous présentant quelques caractéristiques de l'eau, montre qu'après distillation, l'eau produite ne contient plus de sels minéraux (salinité* = 0 %, ou 0 g de Cl⁻/100 g d'eau), mais elle contient encore quelques traces d'impuretés (TDS=2.02 mg/L, Conductivité = 4,07 µs/cm). Ces impuretés sont peut être le résultat de l'évaporation de certains composés organiques à savoir les solvants de la colle, et/ou du vernis utilisés lors de la construction récente du distillateur, ou bien que le trajet d'acheminement de l'eau distillée vers le réservoir de stockage n'était pas assez propre (vitrage, canal, tuyauterie, bouteilles, ou réservoir). L'influence de la teinte ajoutée (Naphthylamine noire) sur la qualité de l'eau distillée est peu probable puisque la température d'ébullition du Naphthylamine noire est de 180°C alors qu'à l'intérieur du distillateur la température reste dans les alentours de 60°C [10].

(*) : Afin que la comparaison des salinités soit logique entre les solutions (eaux, pétroles,...etc.), la salinité est exprimée par convention en (mg de Cl⁻ /L de solution) ou (g de Cl⁻ /100 g de solution, ou en autre terme en % massique).

Certaines caractéristiques à 25°C de l'eau distillée produite

L'eau	pH	TDS (mg/L)	Salinité (g de Cl ⁻ /100g d'eau)	Conductivité (µs/cm)
Avant distillation	7,59	13,85	2,0	27,70
Après distillation	6,58	2,02	00	4,07
Eau pure	7,00	00	00	≤ 0,1

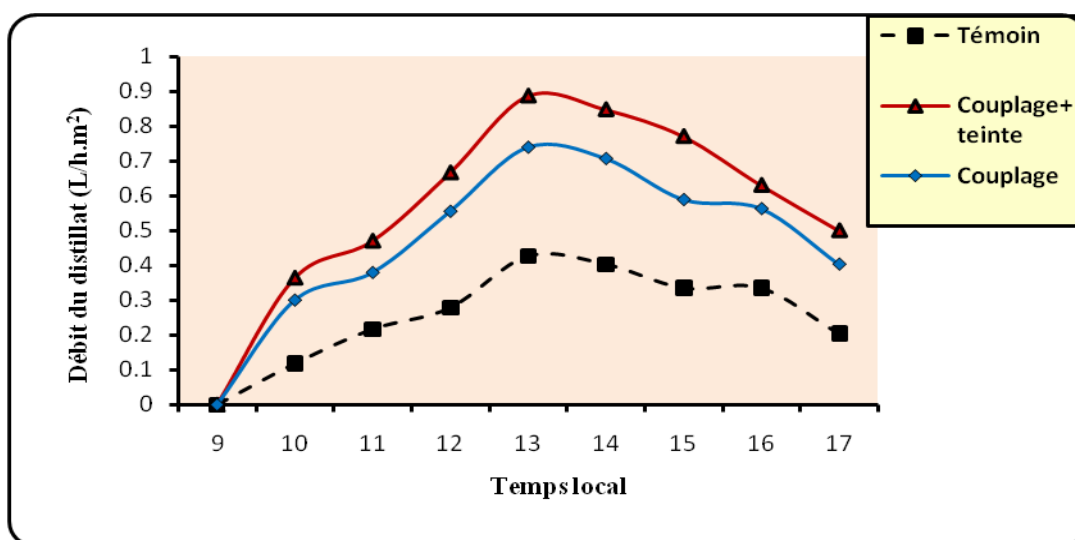


Figure 4 : Débit volumique horaire d'eau distillée produite par les trois distillateurs

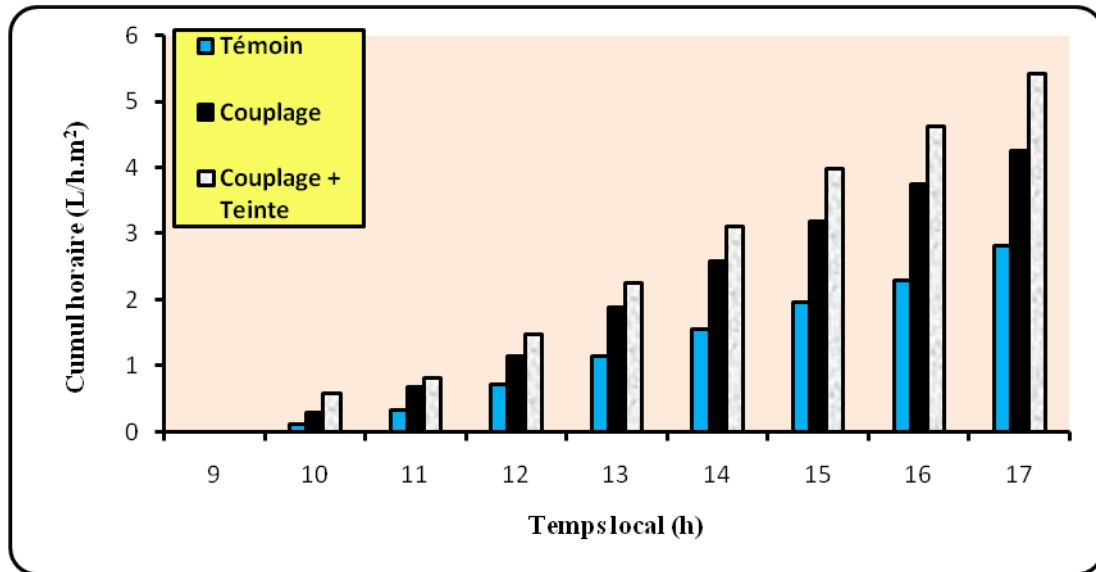


Figure 5 : Cumul horaire d'eau distillée produite par chacun des trois distillateurs

4. Conclusion

L'une des techniques utilisées pour augmenter le cumul journalier en eau distillée produite par les distillateurs solaires simples est le préchauffage de l'eau saumâtre par un chauffe-eau solaire. Cette technique est recommandée surtout en hiver ou au début du printemps quand l'ensoleillement devient faible et cause la chute de l'efficacité de ces appareils.

Le chauffe-eau solaire placé en amont du distillateur solaire, sert comme un apport d'énergie compensant la diminution remarquable de l'intensité du rayonnement solaire durant cette période de l'année. Le chauffe-eau solaire permet parfois de doubler la température d'entrée de l'eau saumâtre et entrainer rapidement son évaporation conduisant ainsi à des améliorations importantes dans la quantité de l'eau distillée produite.

L'ajout de la teinte noire joue un rôle très important dans l'opération de la distillation car il permet d'augmenter l'absorptivité de l'eau saumâtre aux rayons solaires et d'améliorer le rendement du processus.

Les résultats obtenus après les expériences montrent que :

- Le préchauffage simple de l'eau saumâtre par un chauffe-eau solaire améliore le cumul journalier en eau distillée de 82,61%.
- L'ajout d'une teinte noire à l'eau saumâtre préchauffée, améliore de nouveau la production journalière de 22,41% sans affecter la qualité de l'eau distillée produite.

5. Symboles

TDS Total dissolved solids (mg /l).

T_a Température ambiante (°C).

T_i Température d'entrée de l'eau dans le chauffe-eau solaire (°C).

T_o Température de sortie de l'eau du chauffe-eau solaire (°C).

Références

- [1] The world Bank-Bank-Netherlands water partnership ; Final report Annexe1, Algeria, pp1-48 (2004).
- [2] H. P. Garg ; First Exposition and Symposium for New and Renewable Energy Equipment; Tripoli Seminary, Libya, pp1-38 (1991).
- [3] B. Boucekima ; Desalination, Vol. **156**, pp353-354 (2003).
- [4] Annales de l'Office National de Météorologie, Ouargla, Algérie, (1996-2006).
- [5] M. Zeroual, H. Bouguettaia, D. Bechki, S. Boughali, B. Boucekima, H. Mahcene ; Energy Procedia, Vol. **6**, pp736-742 (2011).
- [6] M. T. Chaibi ; Desalination, Vol. **127**, pp119-133 (2000).
- [7] I. Al Hayek, O. O. Badran ; Desalination, Vol. **169**, pp121-127 (2004).
- [8] J. T. Mahdi, B. E Smith, A. O. Sharif ; Desalination, Vol. **267**, pp233-238 (2011).
- [9] S. Aboul-Enein, A. A. El-sebaili, E. El Bialy ; Journal of Renewable Energy, Vol. **1-4**, pp 299-305(1998).
- [10] A. K. Rajvanshi ; Journal of Solar Energy, Vol. **27**, pp51-65 (1981).
- [11] M. Sodha, J. Nayak, G. Tiwari, A. Kumar ; Energy Conversion and Mgmt, Vol. **20**, pp 23-32 (1980).
- [12] C. Okeke, S. Egarievwe, A. Animalu ; Energy Conversion and Mgmt, Vol. **15**, pp1071-1073 (1990).
- [13] A. Tamimi ; International Journal of Solar and Wind Technology, Vol. **4**, pp 443-446 (1987).
- [14] S. T. Ahmed; International Journal of Solar and Wind Technology, Vol. **5**, pp 637-643 (1988).
- [15] G. N. Tiwari, R. Bapeshwara ; Desalination, Vol. **49**, pp 231-241 (1984).
- [16] S. G. Patel, S. Bhatnagar, J. Vardia, S. C. Ameta ; Desalination, Vol. **186**, pp 287-291 (2006).
- [17] M. T. Myint, A. Ghassemi, N. Nirmalakhandan ; Desalination and Water Treatment, Vol. **27**, pp 255-267 (2011).
- [18] A. Neilly, V. Jegatheesan, L. Shu ; Desalination and Water Treatment, Vol. **11**, pp58-65 (2009).
- [19] P. Poovanaesvaran, M. A. Alghoul, K. Sopian, N. Amin, M. I. Fadhel, M. Yahya ; Desalination and Water Treatment, Vol. **27**, pp 210-223 (2011).
- [20] M. Bodzek, K. Konieczny, A. Kwiecinska ; Desalination and Water Treatment, Vol. **35**, pp164-184 (2011).
- [21] M. A. Darwish, F. M. Al Awadhi, A. O. Bin Amer ; Desalination and Water Treatment, Vol. **12**, pp185-195 (2009).
- [22] M. Sakthivel, S. Shunmugasandaram, T. Alwarsamy ; Desalination, Vol. **264**, pp 24-31 (2010).
- [23] G.N H.M. Ahmed, K.A. Alfaylakawi ; Journal of Advanced Science and Engineering Research.2, Vol. **3**, pp168-177 (2012).
- [24] L. Rizzuti, H. M. Ettouney, A. Cipolina ; Solar Desalination for the 21st Century, pp 83-92 (2007).
- [25] P. R. Prasad, B. P. Pujitha, G. V. Rajeev, K. Vikky ; International Journal of Technology Research. 3, Vol. **4**, pp1781-1787 (2011).