



الشعبية الديمقراطية الجزائرية الجمهورية  
REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
العلمي والبحث العالي التعليم وزارة  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا والهندسة - عنابة  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE TECHNOLOGIE ET D'INGENIERIE - ANNABA

Département Génie des Procédés et Energétique

## MEMOIRE

En vue d'obtention du diplôme de MASTER

Domaine : Science et Technologie  
Filière : Génie Mécanique  
Spécialité : Energétique et Développement Durable

Présenté par

**MOHAMMED HANIFI**  
**CHAKIB ARESLAN BOUSSOUF**

## TITRE DU MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

**Une revue de divers modèles de distillateurs solaires**

Encadré par

**Dr. NAOUAM BOUDINAR**  
**Dr. NAWEL NEDJAH**  
ENSTI Annaba

Membres du jury :

Dr. Nassima MALLEM	Président	ENSTI Annaba
Dr. Abdessalam OTMANI	Examineur	ENSTI Annaba

## *Dédicace*

*À mes parents, pour leur soutien indéfectible, leurs encouragements constants et leur amour infini.*

*À mes professeurs, pour leur guidance experte, leur patience et leur passion pour l'enseignement.*

*À mes amis, pour leur soutien moral, leurs précieux conseils et leur présence réconfortante.*

*À tous ceux qui ont croisé ma route et ont contribué, même par un geste minime, à la réalisation de ce projet.*

*Ce mémoire est dédié à vous tous, en reconnaissance de votre influence positive dans ma vie et dans la réussite de ce parcours académique.*

*Merci du fond du cœur.*

## Remerciements

*En tout premier lieu nous remercions Allah le tout puissant qui nous aide et nous donne la patience, le courage durant ces longues années d'études et la volonté pour terminer ce travail.*

*Nous tiens à remercions chaleureusement nos encadrants **Dr. Naouam BOUDINAR** et **Dr. Nawel NEDJAH** pour leurs patience, leurs conseils et leurs grandes disponibilités à tout moment au cours de la réalisation de ce travail.*

*Nous tenions à remercier également le président de jury le **Dr. MALLEM. N** et l'examineur **Dr. OTMANI. A** d'avoir accepté de faire partie du jury de soutenance. Nous exprimons aussi nos vifs remerciements aux membres du jury, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs remarques.*

*Nous remercions également nos professeurs qui nous ont préparé et soutenu pendant toutes les années d'études. Enfin, nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin, à la réalisation de ce travail et que nous ne l'ont pas pu les citer.*

## Résumé

Ce mémoire de master explore l'utilisation des distillateurs solaires pour la purification de l'eau, en mettant l'accent sur leurs performances énergétiques et thermiques. La recherche se divise en deux parties : La première présente une étude bibliographique sur les distillateurs solaires. Cette revue couvre les différents types de distillateurs solaires passifs et actifs. Cette partie met également en lumière les diverses configurations et innovations technologiques qui visent à améliorer l'efficacité des distillateurs solaires. La seconde partie est dédiée au bilan énergétique à l'intérieur du distillateur. Elle examine les échanges de chaleur entre l'eau, l'absorbeur, la surface de condensation, la vitre et l'environnement ambiant. Les échanges thermiques sont détaillés, incluant leur mise en équation et le bilan thermique pour un régime transitoire. Les coefficients d'échange thermique sont calculés pour évaluer l'efficacité des processus de transfert de chaleur. Cette partie examine également les caractéristiques de fonctionnement du distillateur, notamment la production en termes de débit du distillat, l'efficacité globale et interne, et la performance globale du système.

**Mots clés :** Distillateurs, L'eau, Solaire, Absorbeur, Condensation, Efficacité

## Abstract :

This master's thesis explores the use of solar stills for water purification, focusing on their energy and thermal performance. The research is divided into two parts: The first presents a bibliographical study on solar stills. This review covers the different types of passive and active solar stills. This part also highlights the various configurations and technological innovations that aim to improve the efficiency of solar stills. The second part is dedicated to the energy balance inside the distiller. It examines the heat exchanges between the water, the absorber, the condensation surface, the window and the ambient environment. The heat exchanges are detailed, including their equation and the heat balance for a transient regime. Heat transfer coefficients are calculated to evaluate the efficiency of heat transfer processes. This part also examines the operating characteristics of the distiller, including production in terms of distillate flow rate, overall and internal efficiency, and overall system performance.

**Keywords:** Distillers, Water, Solar, Absorber, Condensation, Efficiency

## ملخص

تستكشف رسالة الماجستير هذه استخدام المقطرات الشمسية لتنقية المياه، مع التركيز على أدائها الطاقوي والحراري. وينقسم البحث إلى قسمين: الأول يعرض دراسة ببيولوجرافية عن الملتقطات الشمسية. تغطي هذه المراجعة الأنواع المختلفة من اللقطات الشمسية السلبية والإيجابية. يسلط هذا الجزء الضوء أيضاً على التكوينات المختلفة والابتكارات التكنولوجية التي تهدف إلى تحسين كفاءة المقطرات الشمسية. أما الجزء الثاني فهو مخصص لتوازن الطاقة داخل جهاز التقطير. إنه يفحص التبادلات الحرارية بين الماء والممتص وسطح التكثيف والنافذة والبيئة المحيطة. يتم تفصيل التبادلات الحرارية، بما في ذلك معادلتها والتوازن الحراري لنظام عابر. يتم حساب معاملات نقل الحرارة لتقييم كفاءة عمليات نقل الحرارة. ويتناول هذا الجزء أيضاً خصائص تشغيل جهاز التقطير، بما في ذلك الإنتاج من حيث معدل تدفق نواتج التقطير، والكفاءة الشاملة والداخلية، والأداء العام للنظام

الكلمات المفتاحية: المقطرات، الماء، الطاقة الشمسية، الممتص، التكثيف، الكفاءة

# Sommaire

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Etude bibliographique sur les distillateurs solaire .....</b>	<b>2</b>
I.1- I. Distillateur solaire passif.....	2
I.1.1 .Distillateur solaire passif mono-bassin et mono-pente.....	3
I.1.2-.Distillateur solaire passif à ailettes à pente unique.....	6
II. Distillateur solaire actif.....	6
II-1.Distillateur solaire hybride.....	8
II-2. Distillateur solaire passif simple bassin double pente à effet vibratoire harmonique.....	8
<b>Chapitre II : Bilan énergétique a l'intérieure de distillateur.....</b>	<b>11</b>
II .1-Echanges de chaleur à l'intérieur du distillateur :.....	11
II .1.1-Echange de chaleur de l'eau entre l'absorbeur et la surface de condensation.....	11
II .1.2-Echange de chaleur entre la vitre et la surface d'eau.....	11
II .1.3-Echange de chaleur entre la vitre et le milieu ambiant.....	11
II .1.4-Mise en équation des échanges thermiques.....	11
II .1.5-Bilan thermique pour un régime transitoire .....	11
II .1.6-Coefficients d'échanges thermiques .....	14
II .2-Caractéristiques de fonctionnement .....	16
II .2.1-Production (débit du distillateur) .....	16
II .2.2-Efficacité globale .....	16
II .2.3-Efficacité interne .....	17
II .2.4-Performance .....	17
<b>Chapitre II I : Etude et discussion des résultats des travaux antérieurs...18</b>	<b>18</b>
I. Réalisation d'un distillateur solaire à cascade à effet de serre .....	18
I 2. Discussion des résultats.....	19
II Expérience d'un distillateur solaire à une seule pente à l'effet de serre.....	21
II 2. Discussion des résultats de la production de l'eau distillée.....	21
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>23</b>

## Liste des figures :

**Figure. 1** : Diagramme schématique d'un distillateur solaire passif. Adapté avec la permission de la réf. [3]. Copyright 2015, Springer

**Figure. 2** : (a) Le distillateur solaire d'Abdallah, (b) Le bassin à gradins d'Abdallah. Adapté avec la permission de la réf. [4]. Copyright 2008, Elsevier.

**Figure.3** : Le distillateur solaire à bassin unique de Sahoo. Adapté avec la permission de la réf. [5]. Copyright 2008, Elsevier.

**Figure. 4** : Schéma général du distillateur solaire à pente unique de Badran. Adapté avec la permission de la réf. [6]. Copyright 2007, Elsevier.

**Figure. 5** : Les distillateurs solaires passifs à pente unique de Dev et Tiwari avec un angle d'inclinaison de 15°, 30°, 30°, 45° de gauche à droite. Adapté avec la permission de la réf. [7]. Copyright 2009, Elsevier

**Figure. 6** : Vue en coupe d'un distillateur solaire intégré avec des ailettes de type bassin (a), (b) éponge et (c) mèche, respectivement. Adapté avec la permission de la réf. [8]. Copyright 2008, Elsevier.

**Figure. 7** : (a) Le distillateur solaire DS hybride à bassin unique de Singh intégré aux collecteurs photovoltaïques, (b) Schéma schématique du distillateur solaire. Adapté avec la permission de la réf. [10]. Copyright 2016, Elsevier.

**Figure. 8**: Photographie de l'installation globale. Adapté avec la permission de la réf. [12]. Copyright 2018, Elsevier.

**Figure. 9**: Configuration expérimentale d'un distillateur solaire conventionnel et d'un distillateur solaire développé (distillateur solaire, photovoltaïque, capteur solaire à plaque plate et collecteur d'air chaud) pour le dessalement de l'eau saumâtre. Adapté avec la permission de la réf. [13]. Copyright 2014, Elsevier.

**Figure. 10**: Schéma de principe d'un distillateur solaire à double pente et simple bassin avec effet harmonique vibratoire. Adapté avec la permission de la réf. [14]. Copyright 2010, Elsevier.

**Figure. 11** : Distillateur solaire à cascade

**Figure.12** : La variation du rayonnement solaire en fonction de temps

**Figure.13** : La variation de vitesse de vent en fonction de temps durant la journée du test.

**Figure.14** : les variations de température des distillateurs dc, dm1 et dm2 en fonction de temps durant la journée du test

**Figure.15** : Variations de température au milieu de l'isolant dans des destinateurs en fonction du temps durant la journée du test

**Figure.16** : Variations de la quantité d'eau net accumulée en fonction du temps durant la journée du test.

## **Introduction Générale**

Le présent mémoire de master se focalise sur l'étude des distillateurs solaires, une technologie prometteuse pour la purification de l'eau grâce à l'énergie solaire. En réponse aux besoins croissants en eau potable et aux défis environnementaux actuels, cette recherche vise à approfondir notre compréhension des différents types de distillateurs solaires, ainsi qu'à évaluer leur performance énergétique.

Le mémoire est structuré en deux chapitres principaux :

### **Chapitre 1 : Étude bibliographique sur les distillateurs solaires :**

Ce chapitre offre une revue exhaustive des connaissances existantes sur les distillateurs solaires passifs et actifs. Il présente en détail les caractéristiques des distillateurs solaires passifs, tels que le distillateur solaire passif mono-bassin et mono-pente, ainsi que le distillateur solaire passif à ailettes à pente unique. En outre, il explore les distillateurs solaires actifs, incluant les distillateurs solaires hybrides et les distillateurs solaires passifs à double pente avec effet vibratoire harmonique.

### **Chapitre 2 : Bilan énergétique à l'intérieur du distillateur :**

Ce chapitre se concentre sur l'analyse des échanges de chaleur au sein du distillateur solaire, un aspect crucial pour évaluer et optimiser sa performance. Les échanges de chaleur à l'intérieur du distillateur se manifestent principalement entre l'eau, l'absorbeur, la surface de condensation, la vitre, et le milieu ambiant. Nous examinerons d'abord l'échange de chaleur de l'eau entre l'absorbeur et la surface de condensation, suivi de l'échange de chaleur entre la vitre et la surface de l'eau, et enfin, l'échange de chaleur entre la vitre et le milieu ambiant. Pour mieux comprendre ces phénomènes, nous procéderons à la mise en équation des échanges thermiques, ce qui permettra de dresser un bilan thermique pour un régime transitoire. Les coefficients d'échanges thermiques seront également déterminés pour évaluer l'efficacité des différents processus de transfert de chaleur.

L'objectif de cette recherche est de fournir une analyse détaillée et rigoureuse des performances énergétiques des distillateurs solaires, en mettant en lumière les facteurs influençant leur efficacité. En combinant une revue bibliographique approfondie avec une analyse énergétique détaillée, ce mémoire aspire à contribuer de manière significative à l'amélioration et à l'optimisation des technologies de distillation solaire

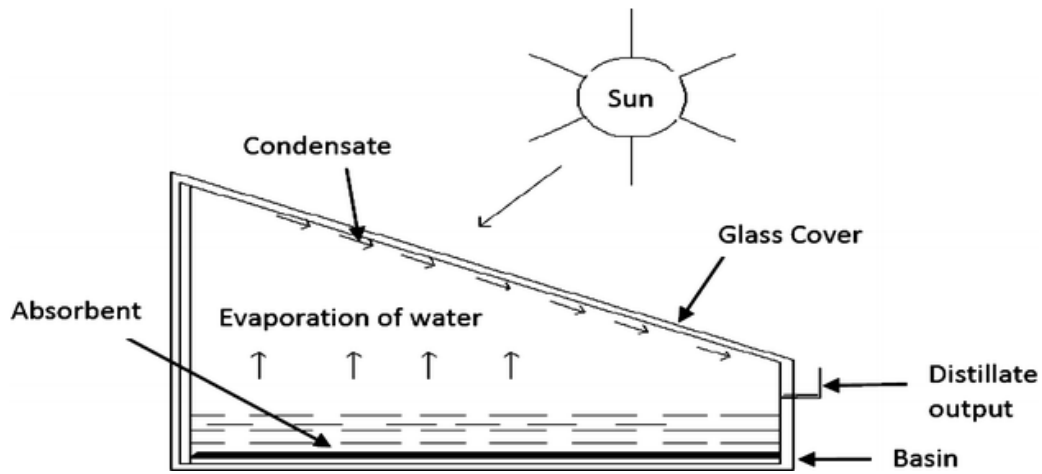
## **Chapitre I : Etude bibliographique sur les distillateurs solaire**

### **Classification des distillateurs solaires**

Les distillateurs solaires passifs et actifs sont les principaux types de distillation solaire. Les distillateurs solaires passifs sont bien connus pour leur construction, leur taille, leur fonctionnement et leur coût inférieur. Dans ce système, l'énergie solaire est la principale source d'évaporation et de production d'eau. En revanche, les cellules photovoltaïques ou la chaleur résiduelle des industries sont utilisées comme source d'énergie externe pour les distillateurs solaires actifs [1].

### **I. Distillateur solaire passif**

Dans un distillateur solaire passif, du béton, du ciment ou des tôles galvanisées scellent le bassin contenant de l'eau contaminée ou salée. Un matériau transparent comme du verre, du plastique, etc. est utilisé pour recouvrir la face supérieure du distillateur. Pour obtenir une absorption maximale de l'énergie solaire, la surface intérieure du bassin est recouverte de noir. Le système doit être bien isolé pour éviter les pertes de chaleur. Les rayons du soleil pénètrent dans le bassin et la température de l'eau augmente lorsque la génération de chaleur commence. Après cela, lorsque l'eau absorbe suffisamment de chaleur, l'évaporation commence. La vapeur d'eau évaporée est condensée sur la plaque de verre inclinée et collectée dans la chambre de collecte [2]. Ainsi, l'énergie solaire passive purifie toujours efficacement l'eau de mer, les eaux usées brutes en éliminant les sels/minéraux, les bactéries, les parasites, les métaux lourds, etc. Les distillateurs solaires passifs présentent de nombreux avantages. Ce sont (1) En utilisant le rayonnement solaire inutilisé, cela peut réduire l'utilisation de combustibles fossiles. (2) N'ayant aucune pièce mobile, il ne nécessite pas d'électricité. (3) Grâce à son faible coût d'investissement et de maintenance, l'eau distillée peut être générée à des fins domestiques et commerciales. La conception de base du distillateur solaire passif est illustrée à la figure 4.

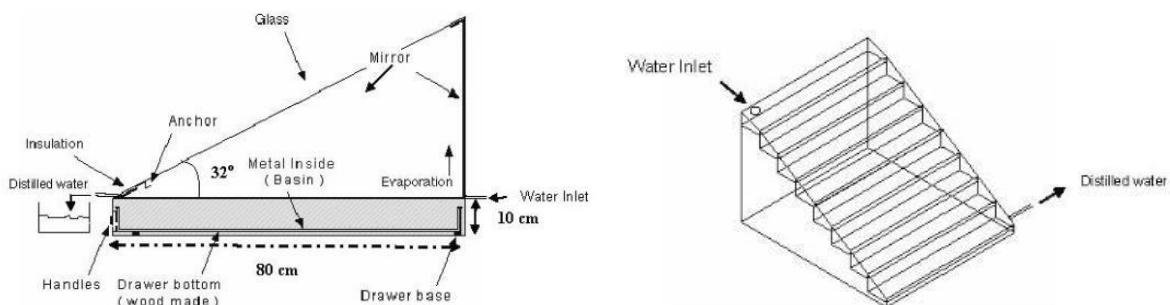


**Figure. 1** Diagramme schématique d'un distillateur solaire passif. Adapté avec la permission de la réf. [3].

Les performances des distillateurs solaires passifs peuvent être affectées par les conditions climatiques, la conception et le fonctionnement. Plusieurs chercheurs ont étudié intensivement l'amélioration du distillateur solaire passif, et ces études font de ce système un moyen économique et écologique de produire de l'eau potable fraîche.

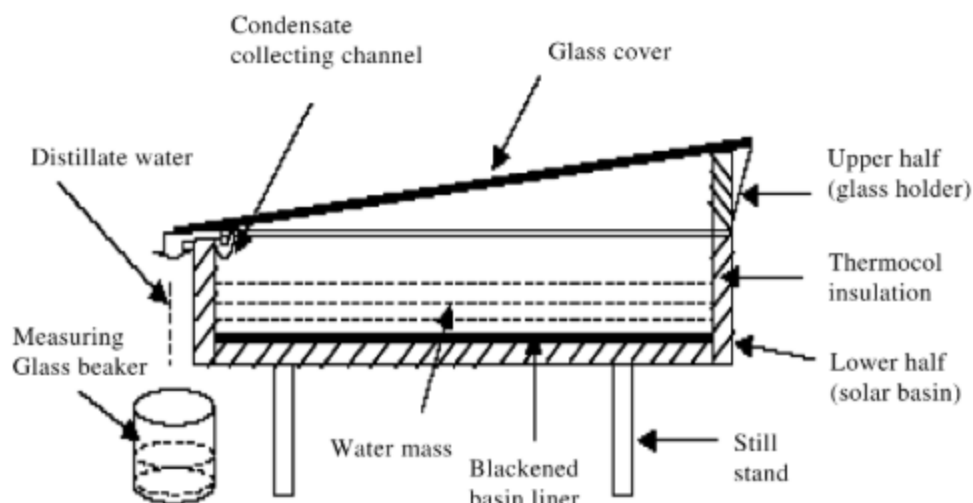
### I-1. Distillateur solaire passif mono-bassin et mono-pente

Abdallah et coll. [4] ont étudié trois conceptions modifiées d'un distillateur solaire à bassin unique et à pente unique. Il s'agissait de : (a) la fixation des miroirs réfléchissants intérieurs, (b) un bassin d'eau de type plat a été fabriqué au lieu d'un bassin d'eau par étapes, et (c) un système de suivi du soleil couplé au distillateur solaire par étapes. Dans ce système, les performances solaires à pente unique ont encore été améliorées en augmentant la production d'eau distillée, comme le montre la figure 5. Le résultat expérimental indique que les performances thermiques se sont améliorées jusqu'à 30 % avec la fixation des miroirs internes. De plus, le bassin par étapes a également amélioré les performances jusqu'à 180 %. Enfin, la performance thermique la plus élevée avec une moyenne de 380% a été évaluée avec le couplage du bassin à marches avec le système de suivi solaire.



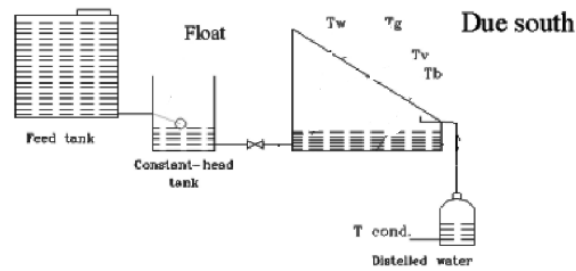
**Figure. 2** (a) Le distillateur solaire d'Abdallah, (b) Le bassin à gradins d'Abdallah. Adapté avec la permission de la réf. [4].

Sahoo et al. [5] ont développé un distillateur solaire à pente unique pour éliminer le fluorure de l'eau potable à l'IIT Guwahati. La surface de base de l'alambic était de  $0,73 \text{ m} \times 0,73 \text{ m}$  et elle était fabriquée en FRP (4 mm). Le couvercle en verre de 8 mm d'épaisseur a été utilisé dans ce système et il était incliné à un angle de  $10^\circ$  par rapport au bord horizontal. Un joint en caoutchouc a été utilisé pour le rendre étanche à la fuite de vapeur (Fig. 6). Le débit d'eau pure a été testé en faisant varier le débit d'entrée du bassin. En utilisant un « distillateur solaire », une réduction du fluorure a été trouvée de 92 à 96 % par rapport aux échantillons non traités. L'efficacité du distillateur solaire a été observée augmentée avec l'augmentation de la quantité d'eau. Des efficacités de 7,28 %, 7,78 % et 8,1 % ont été examinées pour l'apport d'eau du bassin de 10, 15 et 20 L, respectivement.



**Figure. 3** Le distillateur solaire à bassin unique de Sahoo. Adapté avec la permission de la réf. [5].

Badran [6] a utilisé les composants suivants pour l'étude : un distillateur solaire à pente unique avec un réservoir à hauteur d'eau constante et un réservoir d'alimentation (comme le montre la figure 7). Deux revêtements de bassin différents, asphalté et peinture noire brillante, ont été utilisés pour augmenter la capacité d'absorption. Il était constitué d'une tôle de fer de 1,4 mm d'épaisseur, de  $90 \times 110 \text{ cm}$  et d'une hauteur maximale de 5 cm. Un couvercle en verre de 4 mm d'épaisseur à un angle de  $32^\circ$  avec l'horizontale a été utilisé dans ce système. L'effet de la vitesse du vent (2-5 m/s), de la température ( $1-99^\circ\text{C}$ ) et du rayonnement solaire ( $0$  à  $1,2 \text{ kW/m}^2$ ) sur la productivité de la production de distillat a été mesuré. Le constat de l'étude était le suivant : l'utilisation d'asphalte augmente la productivité de 29 %. L'ajout d'un arroseur à l'asphalte s'est révélé plus efficace. Et la productivité a encore augmenté de 22 %. L'étude a également conclu que la vitesse du vent et la température affectent directement la productivité du distillateur.



**Figure. 4** Schéma général du distillateur solaire à pente unique de Badran. Adapté avec la permission de la réf. [6].

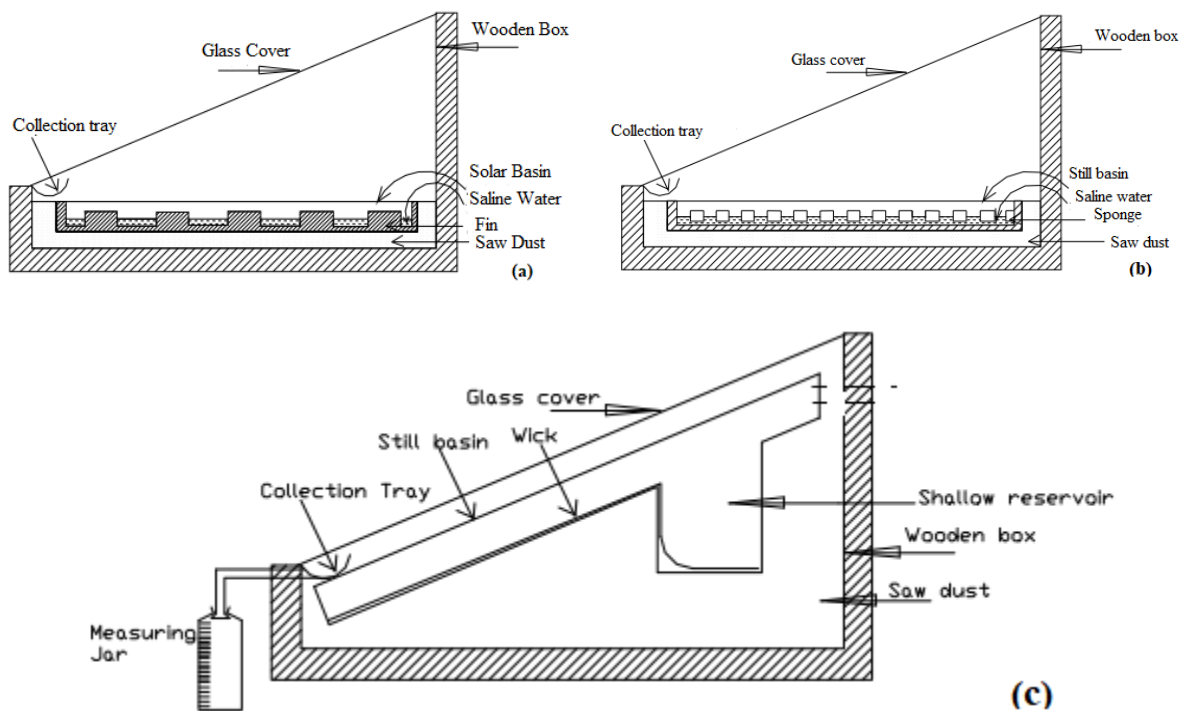
Dev et Tiwari [7] ont expérimenté les performances de distillateurs solaires passifs à pente unique avec plusieurs angles d'inclinaison du couvercle à condensation ( $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ) pour une profondeur d'eau de 0,04 m. C'est à l'angle de  $45^\circ$  du couvercle en verre que la production d'eau la plus élevée a été observée en été et en hiver. Pour un angle de  $30^\circ$ , les performances du distillateur solaire dans des conditions météorologiques estivales à 0,04 m, 0,08 m, 0,12 m et 0,16 m de profondeur d'eau ont été observées et des rendements plus élevés ont été trouvés à 0,04 m. Cependant, à une inclinaison de  $15^\circ$  et à une profondeur d'eau de 0,01 et 0,04 m, le débit maximal a été évalué à 0,01 m. La figure 8 montre les différents appareils solaires utilisés dans l'expérience.



**Figure. 5** Les distillateurs solaires passifs à pente unique de Dev et Tiwari avec un angle d'inclinaison de  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  de gauche à droite. Adapté avec la permission de la réf. [7].

## I-2. Distillateur solaire passif à ailettes à pente unique

Velmurugan [8] a expérimenté un distillateur solaire à bassin unique en utilisant des ailettes, des éponges et une mèche pour augmenter son évaporation afin d'augmenter la production d'eau distillée (comme le montre la figure 9). Plusieurs observations expérimentales ont été réalisées à l'aide de palmes, d'éponges et de mèches, et jusqu'à 45,5 %, 15,3 % et 29,6 % d'augmentation de productivité ont été obtenues par rapport à un distillateur solaire ordinaire. L'écart maximum entre l'analyse théorique et expérimentale a été évalué à 10 %, ce qui est cohérent avec l'analyse théorique.



**Figure. 6** Vue en coupe d'un distillateur solaire intégré avec des ailettes de type bassin (a), (b) éponge et (c) mèche, respectivement. Adapté avec la permission de la réf. [8].

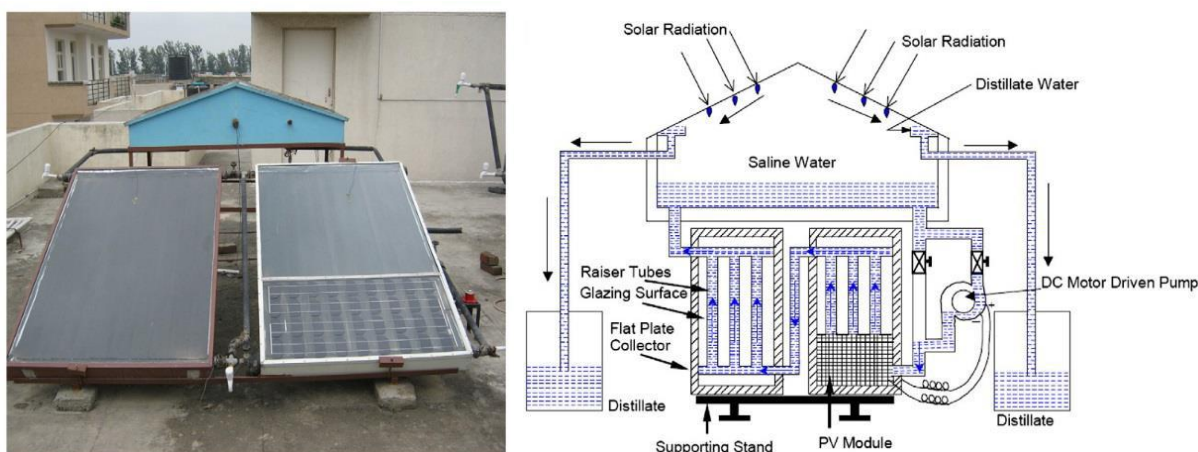
## II. Distillateur solaire actif

Le distillateur solaire actif a été développé pour pallier la faible productivité des distillateurs solaires passifs. Aussi, le distillateur solaire passif est encore entièrement dépendant du rayonnement solaire. Pendant les jours d'hiver, la température de l'eau et l'évaporation diminue, donc la productivité diminue. Dans un distillateur solaire actif, une source d'énergie externe est utilisée pour augmenter le taux d'évaporation et, ainsi que sa productivité. Avec l'aide d'une

source d'énergie externe telle que l'intégration photovoltaïque entraîne une augmentation de la température de l'eau et du taux d'évaporation et de condensation.

## II-1. Distillateur solaire hybride

Singh et coll. [9] a conçu et fabriqué un distillateur solaire actif photovoltaïque thermique à double pente modifié pour les sites éloignés (Fig. 27). Une pompe à eau CC alimentée par PV a été utilisée entre le distillateur solaire et le PV collecteur plat intégré. L'eau recircule à travers les collecteurs et est transférée vers le distillateur solaire. Un rendement plus élevé du système a été observé pour la configuration en mode parallèle forcé. Environ 7,54 kg/jour d'eau distillée ont été obtenus avec une efficacité énergétique de 17,4%. Environ 2,3 % de l'augmentation de l'exergie. L'efficacité a été observée pour l'observation horaire. Un rendement environ 1,4 fois plus élevé a été obtenu pour le distillateur solaire hybride à pente unique. Le coût de fabrication du distillateur a été calculé environ 14 % de moins que celui du distillateur solaire hybride à pente unique, et pour la production commerciale, le coût sera encore réduit.

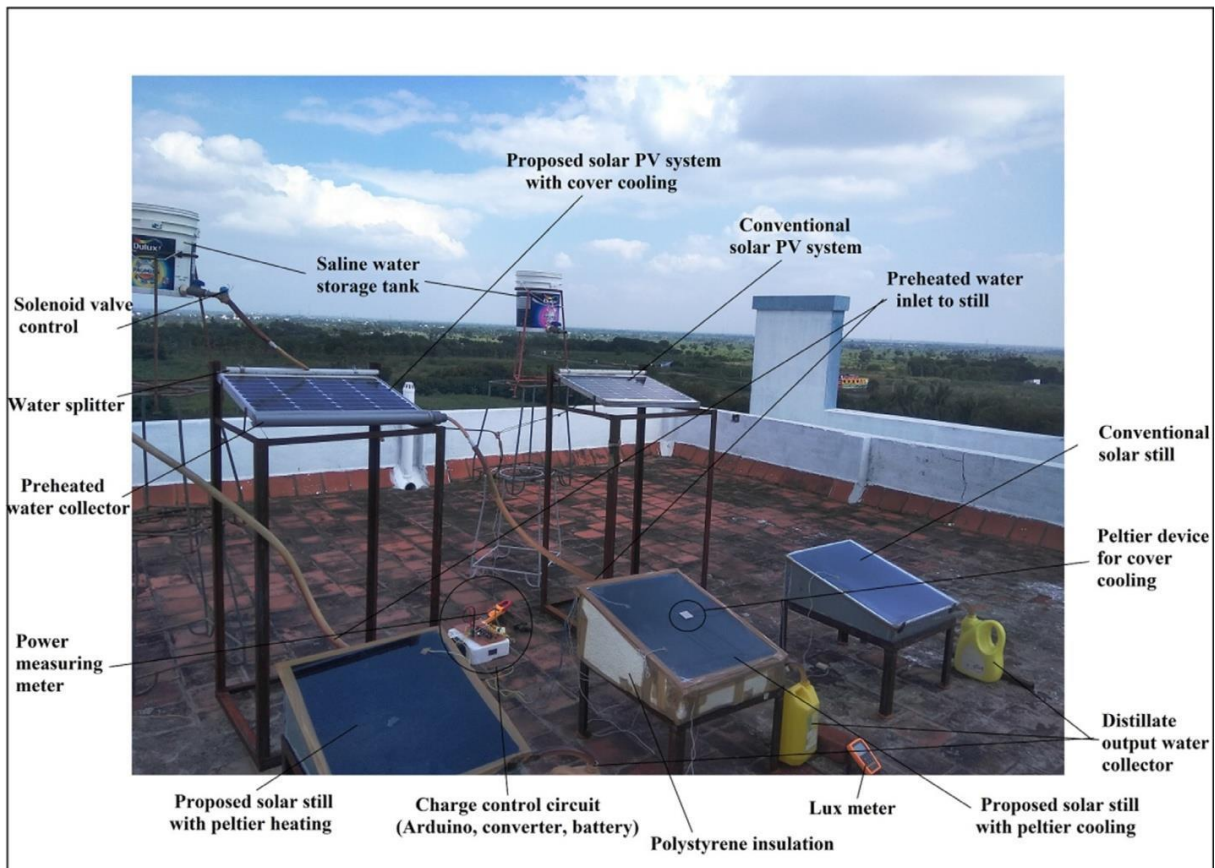


**Figure.** 7 (a) Le distillateur solaire DS hybride à bassin unique de Singh intégré aux collecteurs photovoltaïques, (b) Schéma schématisique du distillateur solaire. Adapté avec la permission de la réf. [10].

Kumar [11] a installé deux distillateurs solaires (passif à simple pente et photovoltaïque/thermique à simple pente (PV/T) distillateur solaire actif) au parc d'énergie solaire, IIT New Delhi (Inde), pour le climat composite (Fig. 28). Les deux distillateurs solaires étaient remplis de 0,05, 0,10 et 0,15 m de profondeur d'eau. Pour 0,05 m de profondeur d'eau, passif et distillateur solaire actif hybride, le rendement journalier maximum a été obtenu de 2,26 kg et 7,22 kg, respectivement. Pour l'été comme hiver, un rendement 3,2 et 5,5 fois plus élevé a été obtenu pour le distillateur solaire hybride actif. L'étude a également évalué qu'un rendement global d'environ 20 % plus élevé était obtenu pour les distillateurs solaires actifs hybrides que pour les distillateurs solaires passifs.

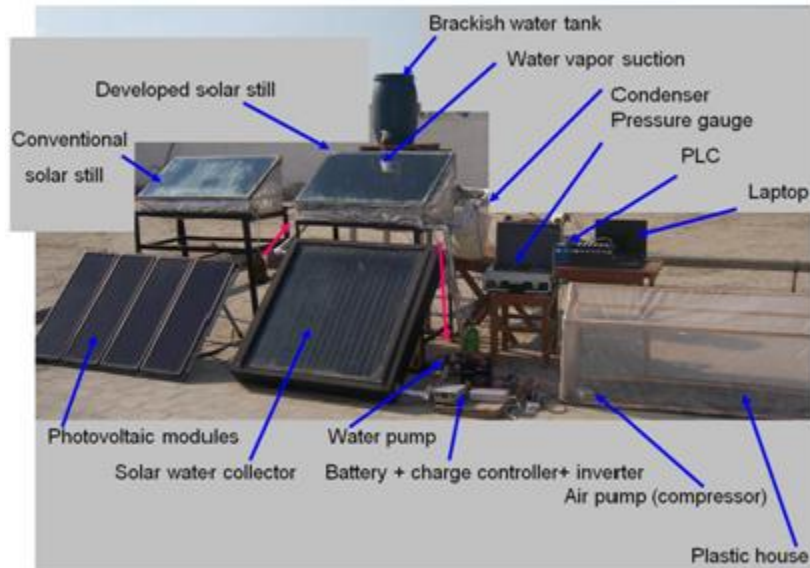
P. Pounraj [12] a conçu et fabriqué un distillateur solaire actif hybride PV/T dans lequel un système Peltier alimenté par l'énergie solaire photovoltaïque a été incorporé (Fig. 29). Le Peltier utilisé dans ce distillateur améliore la production d'eau distillée pendant les processus d'évaporation et de condensation. Le PV/T solaire hybride actif proposé produit toujours un

rendement environ 30 % plus élevé que le distillateur passif conventionnel et a entraîné une amélioration de 38 % du rendement par rapport au système solaire photovoltaïque actuel. Le débit moyen journalier était de 8,77 l/m<sup>2</sup>.



**Figure. 8** Photographie de l'installation globale. Adapté avec la permission de la réf. [12].

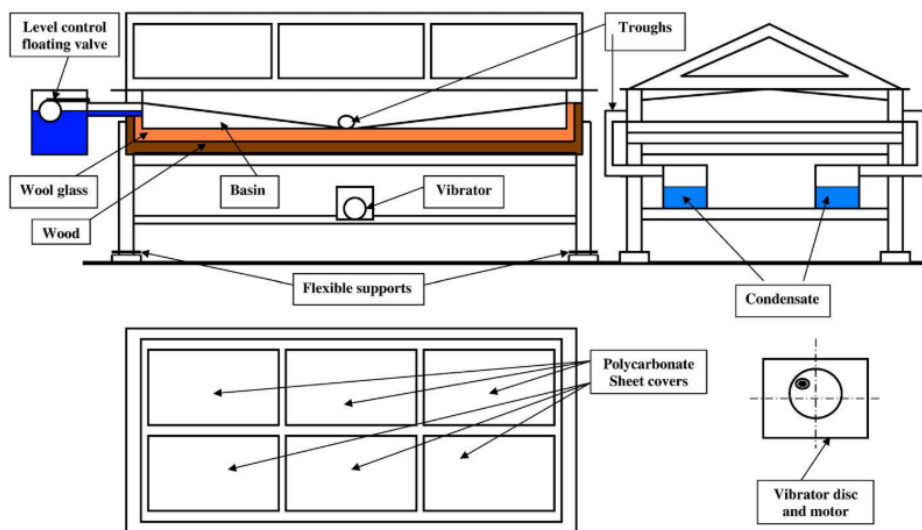
Eltawil [13] a augmenté le taux de production d'eau propre des distillateurs solaires en utilisant l'énergie solaire photovoltaïque, le FPC (collecteur plat) et l'air solaire. Le distillateur solaire à pente unique était équipé d'un capteur solaire plat, d'une unité de pulvérisation, de tubes perforés, d'un condenseur externe et d'un capteur solaire à air. Le distillateur solaire développé était alimenté par un système photovoltaïque (PV) et évalué dans différents modes de fonctionnement (Fig. 30). Une productivité d'environ 3 à 4 L/m<sup>2</sup> a été calculée à partir du CSS, alors qu'une productivité de 56 % et 82 % du DSS a été obtenue en utilisant de l'eau chaude en circulation dans des pulvérisations passives et actives sans condenseur. Il a été constaté que la production d'eau potable à partir du distillateur solaire proposé en mode de circulation naturelle et le CSS étaient respectivement de 5 450 ml/m<sup>2</sup> par jour et de 3 500 ml/m<sup>2</sup> par jour.



**Figure. 9** Configuration expérimentale d'un distillateur solaire conventionnel et d'un distillateur solaire développé (distillateur solaire, photovoltaïque, capteur solaire à plaque plate et collecteur d'air chaud) pour le dessalement de l'eau saumâtre. Adapté avec la permission de la réf. [13].

## II-2. Distillateur solaire passif simple bassin double pente à effet vibratoire harmonique

Un effet harmonique vibratoire est utilisé dans un distillateur solaire pour améliorer les performances en perturbant l'eau salée et la saumure et en augmentant le taux d'évaporation et de condensation du distillateur. Khaled et coll. [14] ont expérimenté un nouveau concept de solaire vibratoire actif (Fig. 31). Un support flexible (fils de cuivre enroulés en hélice) et un vibreur ont été utilisés pour observer les performances. Une efficacité améliorée de 60 % et un débit journalier de 5,8 L/m<sup>2</sup>jour ont été obtenus avec un vibreur (résonateur), tandis que 3,4 L/m<sup>2</sup>jour avec une efficacité d'environ 35 % ont été obtenus grâce à l'ajout de fils hélicoïdaux. Ce concept de distillateurs solaire est très utile pour construire des distillateurs solaires à faible coût.



**Figure. 10** Schéma de principe d'un distillateur solaire à double pente et simple bassin avec effet harmonique vibratoire. Adapté avec la permission de la réf. [14].



## **Chapitre 2 : Bilan énergétique a l'intérieure de distillateur**

### **II.1-Echanges de chaleur à l'intérieur du distillateur :**

#### **II.1.1-Echange de chaleur de l'eau entre l'absorbeur et la surface de condensation :**

L'eau reçoit de l'absorbeur un flux solaire ou de chaleur par convection naturelle. L'eau cède un flux de chaleur par rayonnement et par convection naturelle aux surfaces de condensation. Puisqu'il existe une évaporation, l'eau perd un flux de chaleur. [15]

#### **II.1.2-Echange de chaleur entre la vitre et la surface d'eau :**

Les flux solaires incidents cédés par la nappe d'eau ne sont pas reçus intégralement par la surface de condensation, à cet égard au cours du transfert, une partie est absorbée par l'atmosphère interne et par les parois latérales.

La vitre reçoit les flux incidents par convection naturelle, par rayonnement et par condensation de la vapeur d'eau. [15]

#### **II.1.3-Echange de chaleur entre la vitre et le milieu ambiant :**

Le milieu extérieur cède un flux de chaleur par rayonnement solaire à la vitre, dont une partie est réfléchi. La vitre cède au milieu extérieur un flux de chaleur par rayonnement par convection naturelle. [15]

#### **II.1.4-Mise en équation des échanges thermiques :**

En tenant compte des hypothèses suivantes : [15]

- La couverture est propre
- La température de chaque composant est uniforme
- Le soleil est assimilé à un corps noir
- La chaleur perdue par addition de l'eau d'appoint et celle emportée par le distillat sont supposées négligeables,
- Les parois latérales sont supposées adiabatiques
- Les propriétés physiques des matériaux sont considérées constantes
- La condensation se fait uniquement sur la couverture (il n'y a pas de condensation sur les parois latérales)
- La concentration de la saumure n'intervient pas dans les transferts de chaleur et de masse, -
- La condensation de l'eau sur la couverture est homogène et continue (le verre possède une bonne mouillabilité)
- Vitesse du vent constante.
- Le bassin est étanche.

## II .1.5-Bilan thermique pour un régime transitoire :

Bilan thermique pour un régime transitoire : Considérons une section quelconque du système à l'instant " t "soit i l'un des milieux représentés dans cette section  $M_i$ , sa masse en [Kg],  $C_p$  sa chaleur spécifique en [j/Kg °C], sa température en [°C]. [15]

Le bilan au nœud « i » donne :

$$M_i C_{pi} \frac{dT_i}{dt} = \sum_{i=1}^n Q_{ij} + P_i \quad (1)$$

$P_i$ : Terme de source ou de puits.

$$M_i C_{pi} \frac{dT_i}{dt} = 0 \quad (2)$$

Dans les cas suivants :

- Un distillateur à inertie thermique négligeable (faible masse de ses éléments ou faible chaleur spécifique)
- Pour un régime permanent.

Remarque :

Parmi plusieurs modèles trouvés qui traduisent le principe de fonctionnement du distillateur à cascades, nous avons choisi d'utiliser le modèle de Mr V. VEIMRUGAN qui est simple et donnant des résultats probants. [15]

**Couverture :**

$$M_g C_{pg} \frac{dT_g}{dt} = P_g + q_{wg}^r + q_{wg}^{ev} + q_{wg}^c - q_{ga}^c - q_{ga}^r - q_{g-mir}^r \quad (3)$$

$q_{wg}^c$  : Flux de chaleur échangé par convection entre la vitre intérieure et la masse d'eau [W]

$q_{wg}^r$  : Flux de chaleur échangé par rayonnement entre la vitre et la masse d'eau [W]

$q_{wg}^{ev}$ : Flux de chaleur échangé par évaporation entre la vitre et la masse d'eau [W]

$q_{ga}^r$ : Flux de chaleur échangé par rayonnement entre le milieu ambiant et la surface extérieure de la vitre [W]

$q_{ga}^c$  : Flux de chaleur échangé par convection entre le milieu ambiant et la surface extérieure de la vitre [W]

$P_g$  : Puissance solaire de la surface absorbée par la masse d'eau [W]

$$P_g = \alpha_g 3 I_g \quad (4)$$

$$q_{wg}^c = h_{wg}^c (T_w - T_g) A_w \quad (5)$$

$$q_{wg}^r = h_{wg}^r (T_w - T_g) A_w \quad (6)$$

$$q_{wg}^{ev} = h_{wg}^{ev} (T_w - T_g) A_w \quad (7)$$

$$q_{ga}^r = h_{ga}^r (T_g - T_c) A_g \quad (8)$$

$$q_{ga}^c = h_{ga}^c (T_g - T_a) A_g \quad (9)$$

**Saumure :**

$$M_w C_{pw} \frac{dT_w}{dt} = P_w - 2 q_{wg}^r - 2 q_{wg}^{ev} - 2 q_{wg}^c + q_{bw}^c \quad (10)$$

$q_{bw}^c$ : Flux de chaleur échangé par convection entre le l'absorbeur et la masse d'eau [W].

$P_w$ : Puissance solaire de la surface absorbée par la masse d'eau [W]

$$P_w = \alpha_w \cdot 3 I_g \cdot 3 A_w \quad (11)$$

$$q_{bw}^c = h_{bw}^c (T_b - T_w) A_b \quad (12)$$

**Absorbeur:**

$$M_b C_{pb} \frac{dT_b}{dt} = P_b - 2 q_{pertes} - 2 q_{bw}^c \quad (13)$$

$P_b$ : Puissance solaire absorbée par l'absorbeur [W]

$q_{bw}^c$  : Flux de chaleur échangé par convection entre l'absorbeur et la masse d'eau [W]

$q_{pertes}$ : Pertes thermiques entre le bassin et le milieu ambiant

$$P_b = \alpha_b \cdot 3 I_b \cdot 3 A_b \quad (14)$$

$$q_{pertes} = U_b (T_b - T_a) A_b \quad (15)$$

$U_b$ : Coefficient des pertes thermiques entre le bassin et le milieu ambiant

D'après V. .VEIMRUGAN:  $U_b = 14 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

## II .1.6-Coefficients d'échanges thermiques :

### II . 1.6.1-Coefficient d'échange par convection entre la vitre intérieure et la masse d'eau :

$$h_{wg}^c = 0.884 \left[ \left\{ (T_w - T_g) + \frac{(P_v^w - P_v^g)}{268.9310^3} \right\} \right]^{1/3} \quad (16)$$

$P_v^w$  et  $P_v^g$  Représentent respectivement la pression de vapeur au niveau de la saumure et la surface intérieure de la vitre.

### II . 1.6.2-Coefficient d'échange par rayonnement entre la vitre et la masse d'eau :

Par approximation, la couverture à faible pente ( $\beta=30^\circ$ ) est considérée horizontale, d'après P. I. Cooper et W. R. W. pour deux surfaces planes, infinies en parallèle, le coefficient radiatif est donné sous la forme : [15]

$$h_{wg}^r = \varepsilon_{eff} \sigma (T_w^2 - T_g^2) (T_w + T_g) \quad (17)$$

$$\varepsilon_{eff} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_w}} \quad (18)$$

$\varepsilon_w$ : Coefficient d'émissivité de l'eau

$\varepsilon_g$ : Coefficient d'émissivité de la vitre

$\sigma$  : Constante de Stefan-Boltzmann ( $= 5.6697 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{K}^{-4}$ )

### II . 1.6.3-Coefficient d'échange par évaporation entre la vitre et la masse d'eau :

$$h_{wg}^{ev} = 16.276310^{-3} h_{wg}^c \frac{(P_v^w - P_v^g)}{(T_w - T_g)} \quad (19)$$

$P_v^w$  et  $P_v^g$  Représentent respectivement la pression de vapeur au niveau de la saumure et la surface intérieure de la vitre, ils sont estimés par les expressions suivantes :

$$P_g = e^{(25.3172 - \frac{5144}{T_g + 273})} \quad (20)$$

$$P_w = e^{(25.3172 \frac{5144}{T_w + 273})} \quad (21)$$

II . 1.6.4-Coefficient d'échange par rayonnement entre le milieu ambiant et la surface extérieure de la vitre :

$$h_{ga}^r = \varepsilon_g 3 \sigma (T_c^2 + T_g^2) 3 (T_c + T_g) \quad (22)$$

$T_c$  Est la température du ciel. Cette température est donnée en fonction de la température ambiante.

$$T_c = T_a \quad 26 \quad \text{En général, on utilise l'expression : } T_c = 0.0552(T_a)^{1.5} \quad \text{Ta} \quad \text{En [K]}$$

II . 1.6.5-Coefficient d'échange par convection entre le milieu ambiant et la surface extérieure de la vitre :

L'échange thermique entre la vitre et l'extérieur dépend de la vitesse du vent, est donné par la corrélation MACADAMS :

$$h_{ga}^c = 5.7 + 3.8 3 V \quad (23)$$

Avec, V la vitesse du vent en m/s

II . 1.6.6-Coefficient d'échange par convection entre l'absorbeur et la masse d'eau :

$$h_{bw}^c = \frac{Nu 3 \lambda_w}{L} \quad (24)$$

$$Nu = C 3 (G_r 3 P_r)^n \quad (25)$$

Ou C et n sont des constantes dépendant de la géométrie du système et de la nature de l'écoulement, laminaire ou turbulent.

$$\text{Gr: nombre de GRASHOF} \quad G_r = \frac{\beta_w \times L^2 \times g \times (T_b - T_w)}{\nu_w^2} \quad (26)$$

$\beta_w$ : Coefficient d'expansion volumétrique de l'eau [ $K^{-1}$ ]

L : Longueur du bac absorbant

Avec:  $Pr$  : Nombre de Prandtl 
$$Pr = \frac{\mu_w \times C_{pw}}{\lambda_w} \quad (27)$$

Si  $Gr < 10^5$  ;  $Nu = 1$  L'échange thermique entre la saumure et le bac absorbant se fait uniquement par conduction.

Si  $Gr > 2 \times 10^7$  
$$Nu = 0.143 (Gr \cdot Pr)^{0.33} \quad (28)$$

Si  $10^5 > Gr > 2 \times 10^7$  
$$Nu = \frac{\lambda_w}{L} 0.543 (Gr \cdot Pr)^{0.25} \quad (29)$$

## II.2- Caractéristiques de fonctionnement :

### II.2.1- Production (débit du distillat) :

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

$$m_d = \frac{q_{ev}}{L_v} \quad (30)$$

### II.2.2- Efficacité globale :

Elle représente 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

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{I_g \times A} = \frac{m_d \times L_v}{I_g \times A} \quad (31)$$

$q_{ev}$ : Est la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps.

$A$  : est la superficie du capteur (aire de la vitre).

$I_g$  : Est l'énergie solaire globale incidente par  $m^2$  sur une surface horizontale, pendant un jour.

$L_v$  : Est la chaleur latente de vaporisation et  $m_d$ , le débit de distillat.

### II.2.3- Efficacité interne :

Elle est représentée par 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.

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{q_{eau}} = \frac{m_d \times L_v}{\alpha_t \times I_g \times A} \quad (32)$$

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

$\alpha_t$  : Est le coefficient d'absorption thermique.

Pour une intensité globale  $I_g$ , l'expression de  $q_{eau}$  est :

$$q_{eau} = (\alpha_w \times \tau_w + \tau_w \times \tau_g \times \alpha_b) \times I_g \times A \quad (33)$$

$$\alpha_t = \alpha_w \times \tau_w + \tau_w \times \tau_g \times \alpha_b \quad (34)$$

## II .2.4-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'.

$$\mathbf{F.P.B} = \frac{\text{la quantité d'eau produite au bout de 24 h}}{\text{la quantité d'énergie entrée au bout de 24 h}} \quad (35)$$

$$\mathbf{F.P.H} = \frac{\text{la quantité d'eau produite au bout d'une heure}}{\text{la quantité d'énergie entrée au bout d'une heure}} \quad (36)$$

A un instant donné de la journée, le facteur de performance 'F.P.' est donné par la relation:

$$\mathbf{FB} = \frac{m_d}{\alpha_t \times I_g \times A} \quad (37)$$

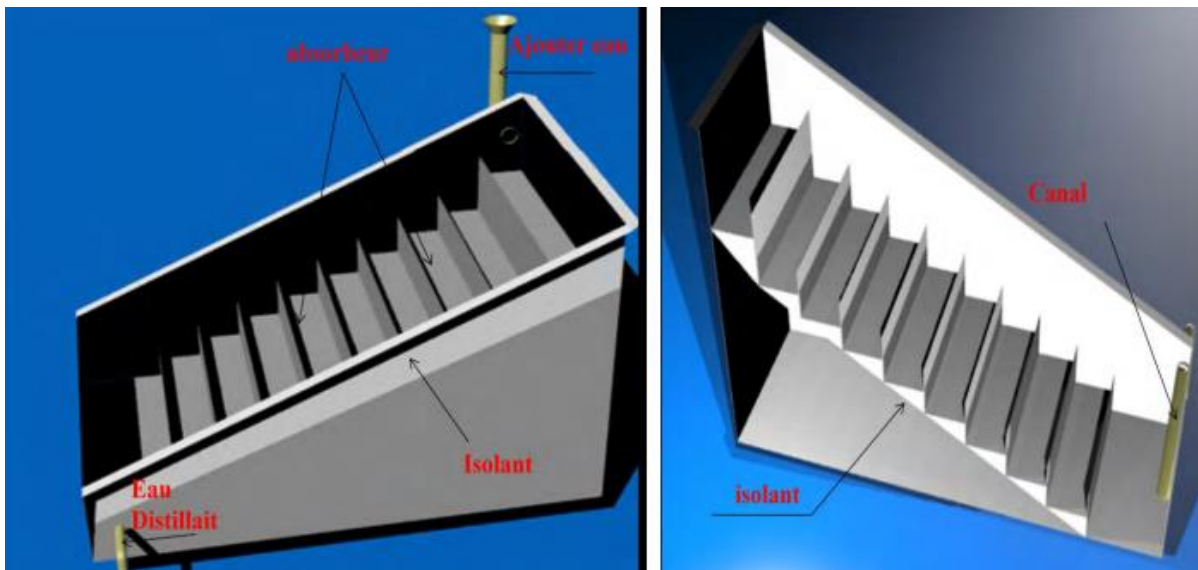
## Chapitre 3 : Etude et discussion des résultats des travaux antérieurs

### I. Réalisation d'un distillateur solaire à cascade à effet de serre :[15]

Le distillateur solaire utilisé dans cette expérience est d'une conception simple. Il s'agit d'un distillateur à cascade à effet de serre, il présente l'avantage d'être facile à construire et surtout à maintenir.

Les éléments principaux du distillateur solaire à cascade sont les suivants :

1. Un bac absorbant.
2. Une vitre.
3. Une isolation thermique.



**Figure 11.** Distillateur solaire à cascade

#### **I. 1. Essais**

L'essai de cette expérience a été effectué à Constantine, dans un endroit où le distillateur exposé aux rayons solaires pour qu'il puisse capter le maximum de rayonnement solaire sans aucune obstruction et une bonne isolation thermique du distillateur est en laine de verre ou en polystyrène expansé. L'épaisseur varie de 0.03 à 0.06M

Cette expérience a 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. [15]

## I. 2. Discussion des résultats :

-On remarque que la production de l'eau distillé était nulle pour les trois premières heures à cause du faible ensoleillement et la faible température de l'eau.

-À partir de 9h de matin on remarque le commencement de la production avec des quantités faibles évidemment.

-La production augmente avec le temps jusqu'à midi ou on remarque le pic de production.

- La production baisse de plus en plus à partir de l'après-midi jusqu'à qu'elle s'annule après 18h

## II Expérience d'un distillateur solaire à une seule pente à l'effet de serre :

Cette deuxième expérience a été réalisée dans la région de El-Oued durant la journée du 09/05/2022. On a choisi la journée du 09/05/2022 qui se caractérise par un ciel clair toute la journée avec une température ambiante maximale de 30.5°C et un rayonnement solaire moyen de 680 W/m<sup>2</sup> avec une existence de mouvement de l'air 1.2 m/s [16]

### La variation du rayonnement solaire en fonction du temps :

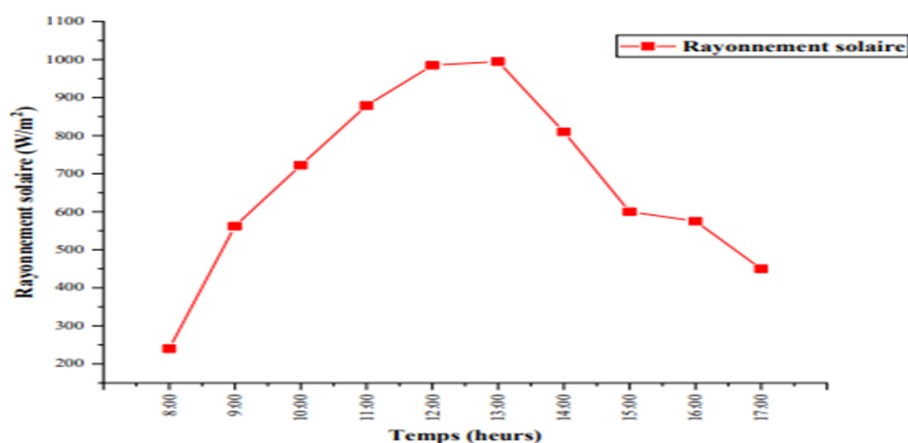
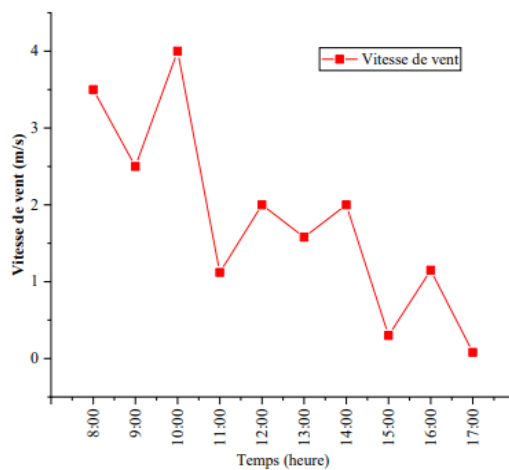


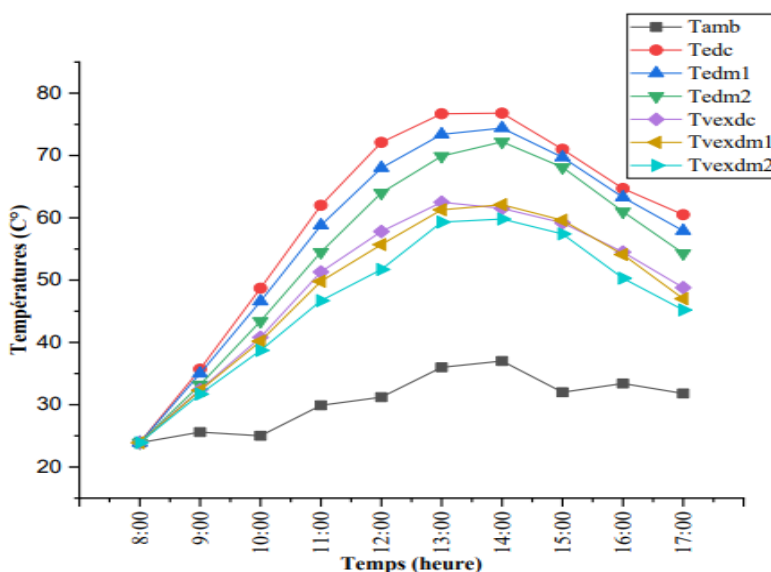
Figure.12 : La variation du rayonnement solaire en fonction de temps

### Variation de vitesse de vent au cours de la journée du test :



**Figure.13** : La variation de vitesse de vent en fonction de temps durant la journée du test.

**Variations de la température dans les différents composants des distillateurs en fonction du temps :**



**Figure.14** : les variations de température des distillateurs dc, dm1 et dm2 en fonction de temps durant la journée du test.

**T<sub>amb</sub>** : La température ambiante.

**T<sub>ede</sub>** : La température dans l'eau du distillateur a polystyrène.

**T<sub>edm1</sub>** : La température dans l'eau du distillateur a fibres des palmiers.

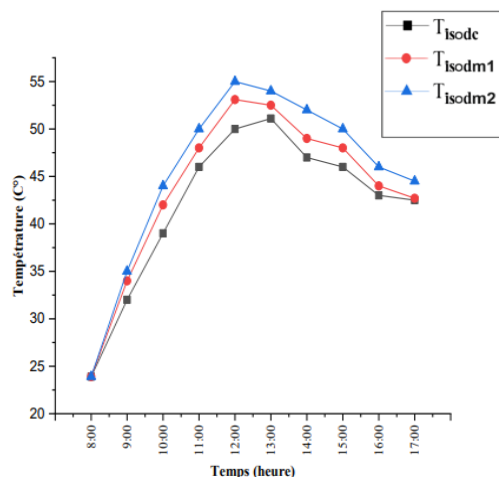
**T<sub>edm2</sub>** : La température dans l'eau du distillateur a composite fibres et plâtre.

**T<sub>vexdc</sub>** : La température dans la face extérieure de la vitre du distillateur a polystyrène.

**T<sub>vexdm1</sub>** : La température dans la face extérieure de la vitre du distillateur a fibres des palmiers.

**T<sub>vexdm2</sub>** : La température dans la face extérieure de la vitre du distillateur a composite fibres et plâtre.

**Variations de température au milieu de l'isolant dans des distillateurs en fonction du temps :**



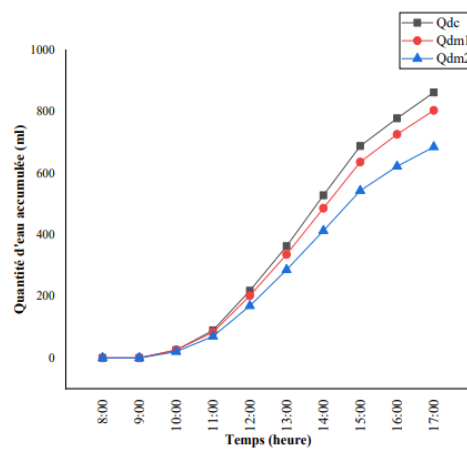
**Figure.15 :** Variations de température au milieu de l'isolant dans des destinateurs en fonction du temps durant la journée du test.

$T_{\text{isodc}}$  : La température dans l'isolant du distillateur a polystyrène.

$T_{\text{isodm1}}$  : La température dans l'isolant du distillateur a fibres des palmiers.

$T_{\text{isodm2}}$  : La température dans l'isolant du distillateur a composite fibres et plâtre

## V. 6. Variations de la quantité d'eau net accumulée en fonction du temps :



**Figure.16 :** Variations de la quantité d'eau net accumulée en fonction du temps durant la journée du test.

$Q_{dc}$  : La quantité de l'eau produite par le distillateur à polystyrène.

$Q_{dm1}$  : La quantité de l'eau produite par le distillateur à fibres des palmiers.

$Q_{dm2}$  : La quantité de l'eau produite par le distillateur à fibres composite fibres et plâtre.

## II 2. Discussion des résultats de la production de l'eau distillée :

Le début de la distillation commence au bout de deux heures puis commencée à augmenter. La quantité d'eau obtenue dans le premier distillateur dc (avec polystyrène) est supérieure à celle du second dm1 (avec fibres de palmier) et le second est supérieur à celle du troisième (mélange fibre plâtre), et les valeurs étaient de 862 ml, 804 ml et 685 ml pour les trois distillateurs dc, dm1 et dm2 respectivement. Cela s'explique par la perte d'énergie résultant de la qualité de l'isolant utilisé. La perte d'énergie dans le distillateur avec polystyrène moins que dans les autres distillateurs.

## **Conclusion générale**

La diversité des distillateurs solaires offre une multitude d'avantages et de possibilités qui contribuent significativement à la durabilité et à l'accessibilité de l'eau potable. En exploitant les ressources renouvelables du soleil, ces technologies offrent des solutions innovantes et adaptables aux besoins variés des communautés à travers le monde. De la conception simple des distillateurs à effet de serre aux modèles avancés à multiple étages, la diversité des approches permet de répondre aux contraintes géographiques, économiques et environnementales spécifiques. En favorisant l'autosuffisance énergétique et en réduisant l'impact environnemental, les distillateurs solaires représentent une voie prometteuse vers un avenir plus durable.

## Références

- [1] Mohammad Raquibul Hasan. A review on various designs of solar still. *International Journal of Energy Technology* · May 2021
- [2] Saidur R, Elcevadi ET, Mekhilef S, Safari A, Mohammed HA. An overview of different distillation methods for small scale applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:4756–64. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.077>.
- [3] Manchanda H, Kumar M. A comprehensive decade review and analysis on designs and performance parameters of passive solar still. *Renewables Wind Water, Sol* 2015;2. <https://doi.org/10.1186/s40807-015-0019-8>.
- [4] Abdallah S, Badran O, Abu-Khader MM. Performance evaluation of a modified design of a single slope solar still. *Desalination* 2008;219:222–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.05.015>.
- [5] Sahoo BB, Sahoo N, Mahanta P, Borbora L, Kalita P, Saha UK. Performance assessment of a solar still using blackened surface and thermocol insulation. *Renew Energy* 2008;33:1703–8. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.09.009>.
- [6] Badran OO. Experimental study of the enhancement parameters on a single slope solar still productivity. *Desalination* 2007;209:136–43. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.04.022>.
- [7] Dev R, Tiwari GN. Characteristic equation of a passive solar still. *Desalination* 2009;245:246–65. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.07.011>.
- [8] Velmurugan V, Gopalakrishnan M, Raghu R, Srithar K. Single basin solar still with fin for enhancing productivity. *Energy Convers Manag* 2008;49:2602–8. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.05.010>.
- [9] Singh G, Kumar S, Tiwari GN. Design, fabrication and performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal (PVT) double slope active solar still. *Desalination* 2011;277:399–406. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.04.064>.
- [10] Dsilva Winfred Rufuss D, Iniyan S, Suganthi L, Davies PA. Solar stills: A comprehensive review of designs, performance and material advances. *Renew Sustain Energy Rev* 2016;63:464–96. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.068>.
- [11] Kumar S, Tiwari A. Design, fabrication and performance of a hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) active solar still. *Energy Convers Manag* 2010;51:1219–29. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.12.033>.
- [12] Pounraj P, Prince Winston D, Kabeel AE, Praveen Kumar B, Manokar AM, Sathyamurthy R, et al. Experimental investigation on Peltier based hybrid PV/T active solar still for enhancing

the overall performance. *Energy Convers Manag* 2018;168:371–81. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.011>.

[13] Eltawil MA, Omara ZM. Enhancing the solar still performance using solar photovoltaic, flat plate collector and hot air. *Desalination* 2014;349:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.06.021>.

[14] Eldalil KMS. Improving the performance of solar still using vibratory harmonic effect. *Desalination* 2010;251:3–11. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.10.004>.

[15] TABET Ismail « étude expérimentale solaire à cascade », thème de magister université de mentouri Constantine 2010.

[16] BOUNEGAB Brahim et autres, L'effet de type de l'isolant sur le rendement d'un distillateur solaire mémoire fin d'étude, Université Echahide Hama Lakhdar d'El Oued (2022).

