

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE
PHYSIQUE**

N° : Ph/ENR/18/2020



DOMAINE : Sciences de la matière

FILIERE: Physique

**OPTION: Physique Energétique
et Energies Renouvelables**

**Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master Académique**

Réalisé par

BENSILETTE Razika

ARIBI Sabrina

Intitulé

**Evaluation du modèle de DUNCLE pour un
distillateur solaire conventionnel réalisé à M'sila
(validation avec des essais expérimentaux à M'sila)**

Devant le jury composé de :

TAALOUB Djedid

Université de M'sila

Président

HADDAD Zakaria

Université de M'sila

Rapporteur

BOURAS Abdelkrim

Université de M'sila

Examineur

Année universitaire : 2019/2020

Dédicaces

Ce travail est dédié à

mes Chers parents et mes grands-mères

À mes frères et sœurs A tous mes amis et collègues

A tous ceux qui me sont chers

RAZIKA. BENSILETTE

Dédicaces

Dieu tout puissant merci d'être toujours au près de moi.

Je dédie ce travail aux être les plus chers à mon cœur :

*La meilleur de toutes les mères **YOUSFI ZINEB***

Pour les heures pleines de bonheur et de tendresse. pour les chaudes larmes qui hantent ma mémoire. Pour l'ampleur de tes sacrifices. Pour toi chère maman qui mis l'avenir de tes enfants en premiers et les jouissances de la vie terrestre en dernier. Vous êtes ce que j'ai de plus cher au monde et je vous jure qu'aucun mot, ni expression ne saurait exprimer tout mon amour et tout ma gratitude. Merci de faire l'impossible pour moi. Je t'aime ma mère.

*À mes chers et adorables frères **ABD ALGHANI** et sa famille, **KAMAL** et sa famille, **TOUFIK**, **AZDIN** que j'aime profondément. En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.*

*À mes très chers sœur **AHLAM** merci pour ton soutien, et tes encouragements qui ont toujours été pour moi d'un grand réconfort.*

À ma belle famille : En témoignage de l'attachement, de l'amour et de L'affection que je porte pour vous.

À mes amies : En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.

SABRINA

Remerciements

Remerciements

Tout d'abord, je remercie pour le grand DIEU qui m'a donné la volonté et le courage pour avoir accompli ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Mr. Haddad Zakaria, enseignant à l'université Mohamed Boudiaf- M'sila, pour le sujet de recherche qu'il m'a proposé, et lui exprimer ma profonde reconnaissance pour tout son aide scientifique, sa disponibilité, ses conseils, sa gentillesse et surtout l'intérêt qu'il a porté à mon travail et l'attention toute particulière accordée à la lecture et à la correction de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Mr. TALOUB Djedid enseignant à l'université Mohamed Boudiaf- M'sila, pour avoir accepté de présider le jury.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à Mr. BOURAS Abdelkrim enseignant à l'université Mohamed Boudiaf de M'sila de m'avoir fait l'honneur de participer à mon jury de mémoire nous les prions d'accepter tous nos remerciements et l'expression de notre haute considération.

Tout mes remerciements et mon estime a tous

SOMMAIRE

| | |
|------------------------|----|
| Dédicaces | |
| Remerciements | |
| Liste des Figures..... | I |
| Nomenclature..... | II |
| Introduction..... | 1 |

Chapitre I : Distillation solaire

| | |
|--|----|
| 1.1- Historique | 3 |
| 1.2- Principe de la distillation solaire | 3 |
| 1.3- Distillateurs solaires | 4 |
| 1.3.1- Effet de serre..... | 4 |
| 1.3.2 Principe de fonctionnement | 5 |
| 1.3.3- Classifications des distillateurs solaires | 5 |
| 1.3.3.1 Distillateurs solaires passifs | 6 |
| 1.3.3. 2 Distillateurs solaires actifs | 6 |
| 1.3.4- Distillateur à une seule pente..... | 7 |
| 1.3.5- Distillateur à doubles pentes..... | 7 |
| 1.3.6- Distillateur solaire incliné à cascades | 8 |
| 1.3.7- Distillateur solaire terre-eau | 8 |
| 1.3.8- Distillateur solaire à film capillaire..... | 8 |
| 1.3.9- Distillateur solaire vertical | 9 |
| 1.3.10- Distillateur solaire incliné à mèche..... | 10 |
| 1.3.11-Distillateur sphérique à balayage..... | 11 |
| 1.3.12- Distillateur solaire avec un capteur parabolique | 11 |
| 1.3.13- Distillateur solaire avec un concentrateur parabolique | 12 |
| 1.3.14- Distillateur solaire avec une pompe à chaleur | 13 |
| 1.3.15- Distillateur solaire avec récupération de chaleur | 13 |

Chapitre II: Transferts de chaleur d'un distillateur solaire conventionnel

| | |
|--|----|
| 2.1-Introduction..... | 15 |
| 2.2- Transferts de chaleur internes | 15 |
| 2.2.1- Transfert de chaleur par convection eau-vitre $h_{c,e-v}$ | 15 |

Sommaire

| | |
|--|----|
| 2.2.2- Transfert de chaleur par rayonnement eau-vitre..... | 16 |
| 2.2.3- Transfert de chaleur par évaporation | 16 |
| 2.3- Transferts de chaleur externes | 17 |
| 2.3.1- Pertes de chaleur vers le haut | 17 |
| 2.3.1.1- Transfert de chaleur par convection vitre-ambiance | 17 |
| 2.3.1.2- Transfert de chaleur par rayonnement vitre-ambiance | 18 |
| 2.3.2 -Pertes de chaleur vers le bas et à travers les côtés | 19 |
| 2.4- Calcul du rendement et de l'efficacité thermique..... | 20 |
| 2.5- Analyse thermique de distillateur solaire | 20 |
| 2.5.1- Hypothèses | 20 |
| 2.5.2 - Équations de bilan énergétique | 21 |
| 2.5.2.1- Surface extérieure du couvercle en verre..... | 21 |
| 2.5.2.2- Surface intérieure du couvercle en verre | 21 |
| 2.5.2.3 -bassin | 22 |
| 2.5.2.4 -Masse d'eau | 22 |
| 2.6- Le modèle de Dunkle [1961] | 24 |
| 2.7- Précision des modèles thermiques | 24 |

Chapitre III: Résultats et Discussions

| | |
|--|----|
| 3.1-Introduction..... | 26 |
| 3.2- Test du 10 avril 2017..... | 26 |
| 3.2.1- Irradiation solaire | 26 |
| 3.2.2- La vitesse du vent..... | 27 |
| 3.2.3 -Variation des différentes températures de distillateur solaire | 27 |
| 3.2.4 -Variation temporelle de la chaleur latente de vaporisation | 28 |
| 3.2.5-Variation des coefficients de transfert de chaleur internes et externes | 29 |
| 3.2.5.1-Variation des coefficients de transfert de chaleur internes | 29 |
| 3.2.5.2 Variation des coefficients de transfert de chaleur externes..... | 29 |
| 3.2.6 Variation des pressions partielles (Pe et Pv)..... | 30 |
| 3.2.7-Variation de la production horaire et totale..... | 31 |
| 3.3-Test du 11 avril 2017..... | 31 |
| 3.3.1-L'irradiation..... | 31 |
| 3.3.2-La vitesse du vent | 32 |
| 3.3.3-Variation des différentes températures de distillateur solaire | 33 |
| 3.3.4- La variation temporelle de la chaleur latente de vaporisation | 33 |
| 3.3.5- Variation des coefficients de transfert de chaleur internes et externes | 34 |

Sommaire

| | |
|--|----|
| 3.3.5.1- Variation des coefficients le transfert de chaleur internes | 34 |
| 3.3.5.2- Variation des coefficients de transfert de chaleur externes | 35 |
| 3.3.6- Variation des pressions partielles P_e et P_v | 36 |
| 3.3.7- Variation des productions horaire et totale..... | 37 |
| Conclusion Général | 39 |
| Références | |
| Résumé | |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure I.1-Principe de la distillation solaire..... | 4 |
| Figure I.2-Distillateur solaire à effet de serre. | 4 |
| Figure I.3- Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire simple..... | 5 |
| Figure I.4 -Classification des systèmes de distillation solaire. | 6 |
| Figure I.5- Distillateur à simple effet avec une seule pente..... | 7 |
| Figure I.6- Distillateur à double pente | 7 |
| Figure I.7- Distillateur incline à cascades..... | 8 |
| Figure I.8- Distillateur solaire terre-eau. | 8 |
| Figure I.9-Distillateur solaire à film capillaire..... | 9 |
| Figure I.10- Distillateur solaire vertical. | 10 |
| Figure I.11- Distillateur solaire incliné à mèche. | 10 |
| Figure I.12- Distillateur solaire sphérique à balayage..... | 11 |
| Figure I.13- Distillateur solaire avec un capteur parabolique | 12 |
| Figure I.14- Distillateur solaire avec un concentrateur parabolique | 12 |
| Figure I.15-Distillateur solaire avec une pompe à chaleur | 13 |
| Figure I.16- Distillateur solaire à étages multiples. | 14 |
| Figure III.1- Variation temporelle de l'irradiation solaire pour la journée de 10/04/2017..... | 26 |
| Figure III.2 -Variation temporelle de la vitesse du vent pour la journée de 10/04/2017..... | 27 |
| Figure III.3- Variations temporelles des températures des différentes parties de distillateur solaire pour la journée de 10/04/2017..... | 28 |
| Figure III.4-Variation temporelle de la chaleur latente de vaporisation pour la journée de 10/04/2017 | 28 |
| Figure III.5- Variations temporelles des coefficients de transfert de chaleur internes pour la journée du 10/04/2017 | 29 |
| Figure III.6-Variations temporelles des coefficients de transfert de chaleur externes pour la journée du 10/04/2017 | 30 |
| Figure III.7-Variations temporelles des pressions partielles pour la journée de 10/04/2017..... | 30 |
| Figure III.8-Variation temporelle des productions horaires calculée et mesurée pour la journée de 10/04/2017..... | 31 |
| Figure III.9- Variation temporelle de l'irradiation solaire pour la journée de 11/04/2017..... | 32 |
| Figure III.10-Variation temporelle de la vitesse du vent pour la journée de 11/04/2017..... | 32 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure III.11-Variations temporelles des températures des différentes parties de distillateur solaire pour la journée de 11/04/2017 | 33 |
| Figure III.12 -Variation temporelle de la chaleur latente pour la journée de 11/04/2017 | 34 |
| Figure III.13 -Variations temporelles des coefficients de transfert de chaleur internes pour la journée de 11/04/2017 | 35 |
| Figure III.14-Variations temporelles des coefficients de transfert de chaleur externes pour la journée de 11/04/2017 | 36 |
| Figure III.15-Variations temporelles des pressions partielles pour la journée de 11/04/2017 | 37 |
| Figure III.16- Production horaire de distillateur solaire pour la journée de 11/04/2017..... | 37 |

Nomenclature

Nomenclature

| Symbole | Désignation | Unité |
|--------------------------------|---|--------------------|
| $h_{c,e-v}$ | Coefficient de transfert de chaleur par convection de l'eau à la surface intérieure du verre | W/m ² K |
| $h_{r,e-v}$ | Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitre | W/m ² K |
| $h_{e,e,v}$ | Coefficient de transfert de chaleur par évaporation -condensation entre le film d'eau et le vitrage | W/m ² K |
| $h_{t,e-v}$ | Coefficient de transfert de chaleur interne total entre la masse d'eau et la surface intérieure du Couvercle en verre | W/m ² K |
| $h_{r,go-a}$ | Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement par la vitre vers l'extérieur | W/m ² K |
| $h_{c,go-a}$ | Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'extérieur | W/m ² K |
| $h_{t,go-a}$ | Coefficient de perte de chaleur totale entre la surface extérieure du couvercle en verre et l'atmosphère | W/m ² K |
| h_b | Coefficient de transfert de chaleur entre le revêtement du bassin et l'atmosphère à travers l'isolation | W/m ² K |
| $h_{e,w-g}$ | Coefficient de transfert de chaleur par évaporation de l'eau au couvercle en verre | W/m ² K |
| $h_{c,w-g}$ | Coefficient de transfert de chaleur par convection de l'eau au couvercle en verre | W/m ² K |
| P_v | Pression de vapeur partielle à la température de la surface intérieure du verre | N/m ² |
| P_e | Pression de vapeur partielle à la température de surface de l'eau | N/m ² |

Nomenclature

| Symbole | Désignation | Unité |
|--------------------|--|---------------------------------|
| σ | Constante de Steffan-Boltzmann | W/m ² K ⁴ |
| U_{SS} | Coefficient global de perte de chaleur latérale entre la masse d'eau et atmosphère | W/m ² K |
| m | Masse par unité de surface du bassin | Kg / m ² |
| U_b | Coefficient global de perte de chaleur du fond entre l'eau masse et atmosphère | W/m ² K |
| m_{ew} | Rendement horaire du distillateur solaire | Kg/m ² h |
| M_{ew} | Rendement journalier du distillateur solaire | Kg / m ² jour |
| η_i | Efficacité instantanée | |
| $I(t)$ | Intensité du rayonnement solaire | W / m ² |
| R | Réfectivité | |
| α | Absorptivité | |
| $\acute{\alpha}$ | Fractional solar flux absorbed | |
| Q | Quantité de chaleur échangé | W |
| c | Collecteur | |
| U_{Ls} | coefficient global de perte de chaleur entre la masse d'eau et atmosphère | W/m ² K |
| U_t | coefficient global de perte de chaleur supérieur entre la masse d'eau et atmosphère | W/m ² K |
| U_b | coefficient global de perte de chaleur du fond entre l'eau masse et atmosphère | W/m ² K |
| $U_{t,gi- \alpha}$ | coefficient global de perte de chaleur de l'intérieur du couvercle en verre surface à atmosphère | W/m ² K |
| $U_{t,go- \alpha}$ | coefficient global de perte de chaleur de l'extérieur du couvercle en verre surface à atmosphère | W/m ² K |
| f | coefficient de collage | |
| r | coefficient de corrélation | |
| x_i | Valeur théorique ou predate | |
| y_i | Valeur expérimentale | |
| ϵ_{eff} | Émissivité effectif | |
| t | Temps | s |
| Δt | Intervalle de temps | s |
| Ra | Numéro de Rayleigh (=GrPr) | |
| T_v | Température de la vitre | °C |

Nomenclature

| Symbole | Désignation | Unité |
|----------------------|----------------------|----------------|
| T_e | Température de l'eau | °C |
| A | Surface du bac | m ² |
| L_v | Chaleur latent | J/kg |
| v | La vitesse du vent | m/s |

| Indices | Désignation |
|----------------|--|
| a | Air ambiant |
| b | Bac absorbant |
| gi | Vitrage intérieur |
| go | Vitrage extérieur |
| w | Eau (water) |
| is | Isolant |
| g | Vitre (glass) |
| cd | Conduction |
| n | stante dans l'expression numérique de Nusselt (n=1/3) |
| N | Nombre de collectionneurs |
| eff | efficace |

INTRODUCTION

L'eau est une ressource naturelle vitale pour la vie et la survie de l'humanité. 97% de l'eau compose les océans du monde entier, 2% est gelée dans les calottes glaciaires et les glaciers, tandis qu'il n'y a que 1% d'eau douce facilement accessible. Assurer la disponibilité d'eau potable pour la société est un grand défi en raison de la disponibilité limitée d'eau potable sur la Terre. Les systèmes de dessalement solaire peuvent être utilisés pour atténuer la rareté de l'eau dessalée dans les zones rurales et isolées où l'énergie solaire est disponible en abondance. Il fonctionne sur le principe simple de l'évaporation et de la condensation. Ces systèmes sont quasiment sans entretien et ne coûtent pas cher, ce qui peut être fabriqué par des matériaux facilement disponibles sur le marché local. En Algérie, le problème d'approvisionnement en eau potable est déjà posé. D'abord il faut mettre en place des mécanismes pour diminuer le gaspillage et les fuites d'eau, car cette substance reste insuffisante. Par sa situation privilégiée, l'Algérie dispose du plus grand gisement solaire du bassin méditerranéen. La durée moyenne d'ensoleillement du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le désert du Sahara. Plusieurs types de configurations de distillateurs solaires ont été construits et essayés à travers le monde. Dans le même temps, beaucoup de chercheurs ont proposé des modèles thermiques fournissent une compréhension claire du comportement du distillateur solaire dans des conditions climatiques réelles comme le modèle de DUNKLE. La modélisation thermique est l'une des méthodes efficaces pour prédire les performances de tout système thermique. L'objectif principal de ce travail est basé sur l'évaluation du modèle de DUNKLE pour un distillateur solaire conventionnel sous les conditions météorologiques de M'sila.

Ce mémoire comprend une introduction générale suivie par trois chapitres :

- Dans le premier chapitre on a un bref historique sur la distillation solaire et une recherche bibliographique sur les différents types de distillateurs solaire.
- Dans le deuxième chapitre on a le détail des différents transferts thermiques à l'intérieur et l'extérieur d'un distillateur solaire conventionnel avec une présentation du modèle de Dunkle. .

Introduction

- Le troisième chapitre montre toutes les interprétations et les discussions des résultats obtenus.

Et on termine par une conclusion générale.

Chapitre I :
Distillation solaire

1.1- Historique

La distillation solaire est utilisée pour rendre l'eau saumâtre potable [1]. Le premier grand projet de distillation solaire a été établi en 1872 dans la ville minière Chilienne de La Salinas [2]. L'usine peut produire jusqu'à 22700 litres d'eau douce par jour pendant 40 ans [2]. En 1920, Kaush utilisa des réflecteurs en métal pour concentrer les rayons solaires. En 1929 une installation groupant 30 appareils de 1m² réalisée et exploitée à Bengardane en Tunisie. Au début des années 30, Trifinov proposa un distillateur inclinée. En 1938 Abbot utilisa des réflecteurs cylindro-paraboliques pour concentrer les rayons solaires, le tout est acheminé dans des tubes contenant de l'eau. En 1945 Maria Telks inventa un nouveau type de distillateur solaire appelé distillateur sphérique, qui fut utilisé par la marine américaine, environ 2000 a été utilisé pendant la 2^{ème} guerre mondiale.

L'organisation mondiale de la santé recommande la purification de l'eau par énergie solaire comme une méthode simple pour traiter l'eau et la stocker en toute sécurité [3]. Il convient de noter que plus de deux millions de personnes dans les pays en développement utilisent l'énergie solaire pour purifier l'eau. Depuis 1970, plusieurs types de distillateurs ont été élaborés et étudiés.

1.2- Principe de la distillation solaire

La distillation est un procédé de séparation de substances, mélangées sous forme liquide. Elle consiste à porter le mélange à ébullition et à recueillir une fraction légère appelée distillat, et une fraction lourde appelée résidu. C'est d'ailleurs ce procédé qui fait en sorte que le sel des mers ne s'évapore pas avec l'eau. L'eau de mer chauffée émet une vapeur d'eau pure qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau douce. Ce principe de dessalement très simple est depuis des temps fort anciens (Figure I.1) [4].

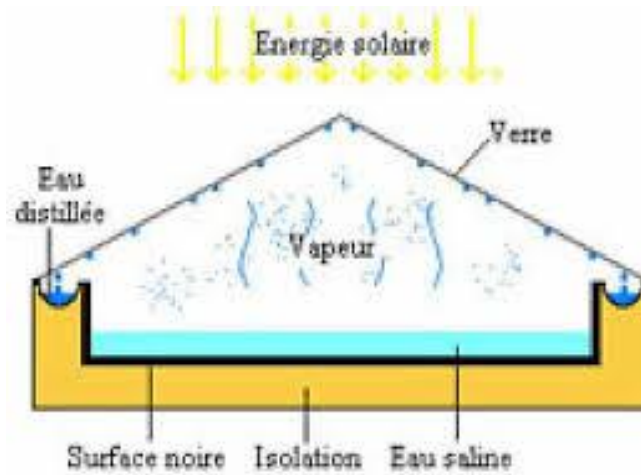


Figure I.1-Principe de la distillation solaire.

1.3- Distillateurs solaires

1.3.1- Effet de serre

Le rayonnement solaire apporte de l'énergie sous forme de flux lumineux dans un domaine de longueur d'onde allant de 0.2 à 3.5 mm (le visible et le proche de l'infrarouge). L'énergie incidente traverse une couverture (le plus souvent en verre) transparente aux rayons de faible longueur d'onde, puis elle est absorbée par une surface (noire mate) qui s'échauffe et remet dans le domaine de grandes longueurs d'onde comprises entre 4 à 30 mm (infrarouge éloigné) et qui ne peut traverser la vitre réalisant ainsi un piège à calories " l'effet de serre" [5].

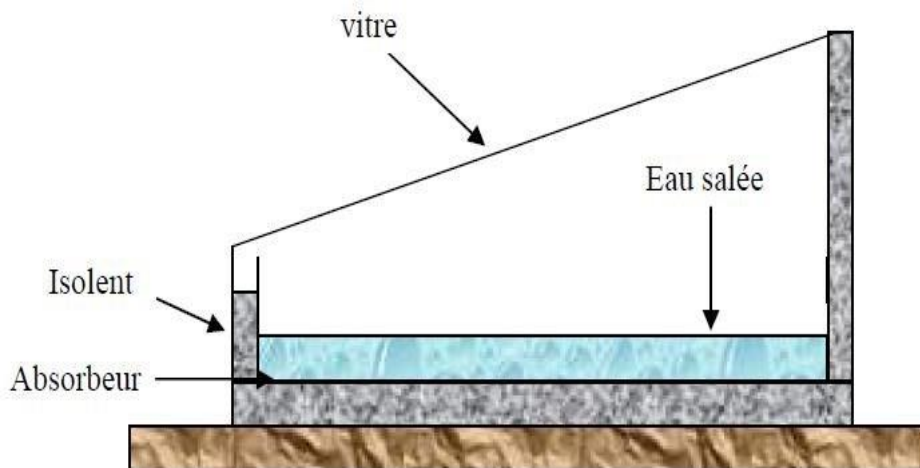


Figure I.2-Distillateur solaire à effet de serre.

1.3.2 Principe de fonctionnement

Tous les distillateurs solaires ont le même principe de fonctionnement. Néanmoins, ils peuvent différer en conception et en matériaux. Le fonctionnement d'un distillateur solaire repose sur l'effet de serre. L'énergie solaire entrant par la couverture est absorbée par l'eau et le fond noirci, puis elle est transmise à l'air par conduction, convection et rayonnement. Comme les parois sont isolées et le verre opaque aux radiations infrarouges de grandes longueurs d'ondes l'énergie solaire se trouve ainsi emprisonnée (effet serre) et l'air chauffé (Figure I.3). La température de la couverture en contact avec l'air atmosphérique étant inférieure à celle du mélange air vapeur d'eau, il se produit une condensation de la vapeur d'eau sur la surface intérieure de la vitre [6].

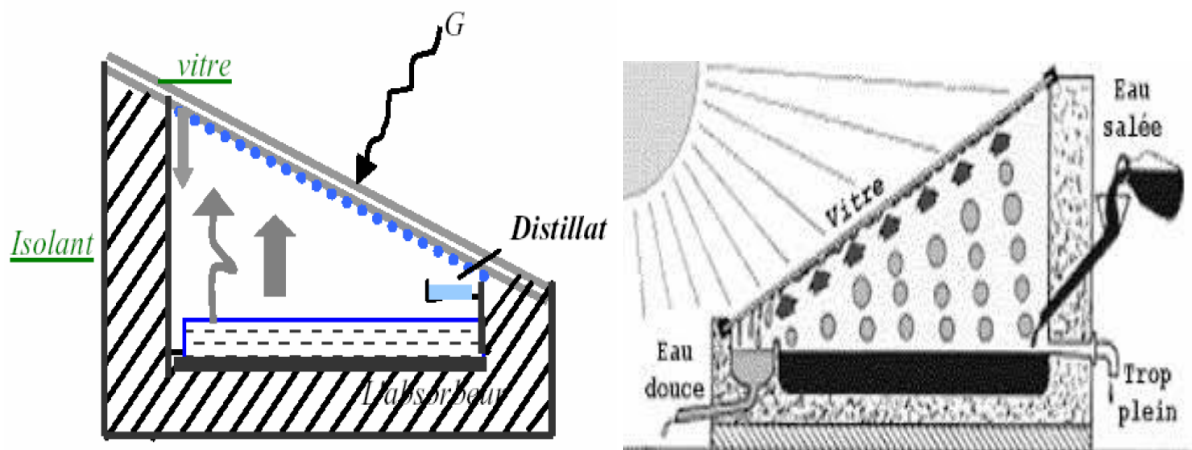


Figure I.3- Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire simple.

1.3.3- Classifications des distillateurs solaires

Le distillateur solaire conventionnel est le système de dessalement le plus ancien, et de basse technologie. De nombreuses améliorations ont été suggérées au fil des ans pour améliorer son efficacité. Différents types et conceptions de distillateurs solaires sont disponibles dans le monde entier aujourd'hui.

Sur la base du mode de fonctionnement introduit dans les distillateurs solaires conventionnel, les distillateurs solaires peuvent être classés principalement en deux catégories, les distillateurs passifs et actifs comme indiqué dans la figure I.4 [7].

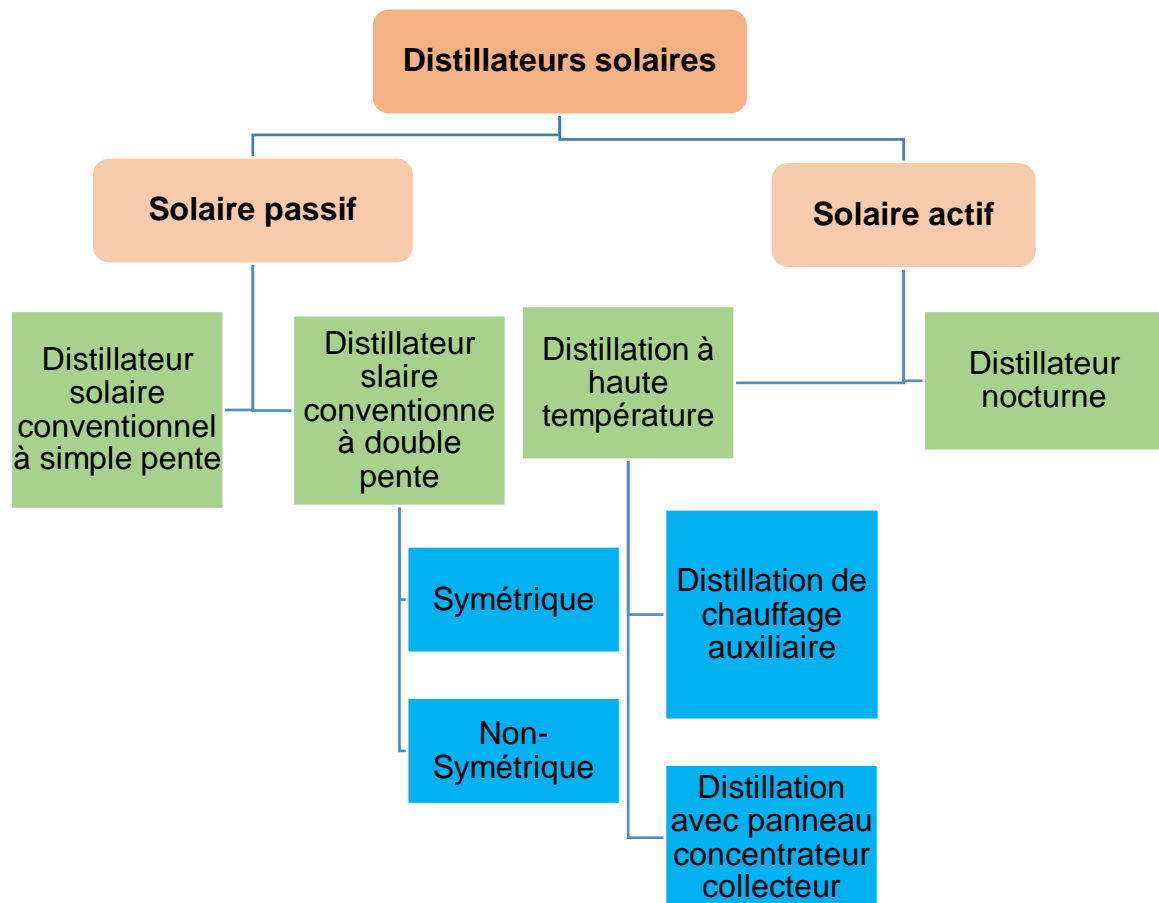


Figure I.4 -Classification des systèmes de distillation solaire.

1.3.3.1 Distillateurs solaires passifs

Les distillateurs passifs n'utilisent que l'énergie solaire tombant dans le bassin, contrairement aux distillateurs solaires actifs, aucun mode externe a été utilisé [Bloemer et al. 1965; Kudish, 1982; Delyannis et Delyannis, 1983]. Pour améliorer les performances, quelques modifications ont été apportées au conception de distillateur. Ils sont peu coûteux, ne nécessitent aucun entretien et peut être installé facilement. L'inconvénient majeur de ce type est le faible rendement [7].

1.3.3.2 Distillateurs solaires actifs

Dans les distillateurs solaires actifs, une source d'énergie thermique externe est ajoutée pour une évaporation plus rapide. Les composants de la source externe peuvent inclure un capteur solaire, un condenseur, un refroidisseur ou d'autres appareils ajoutés pour augmenter les performances. Egalement, la production journalière des distillateurs actifs été améliorées par l'augmentation de l'écart entre les températures d'évaporateur et de condenseur. Ils

nécessitent généralement des ventilateurs, des pompes ou d'autres appareils alimentés pour son fonctionnement [7].

1.3.4- Distillateur à une seule pente

C'est un distillateur à une seule pente et une seule vitre incliné d'un angle β (Figure I.5).

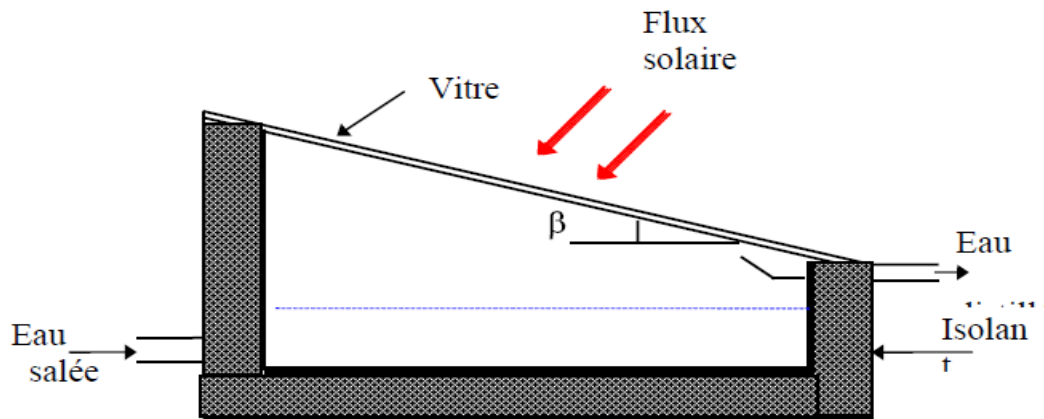


Figure I.5- Distillateur à simple effet avec une seule pente.

1.3.5- Distillateur à doubles pentes

C'est un distillateur simple mais à double couvertures verrières où chacune d'elles est inclinée d'un angle β . Son avantage est d'exposer l'un de ses cotés au soleil et l'autre à l'ombre pour accélérer et augmenter le taux de condensation (Figure I.6) [8].

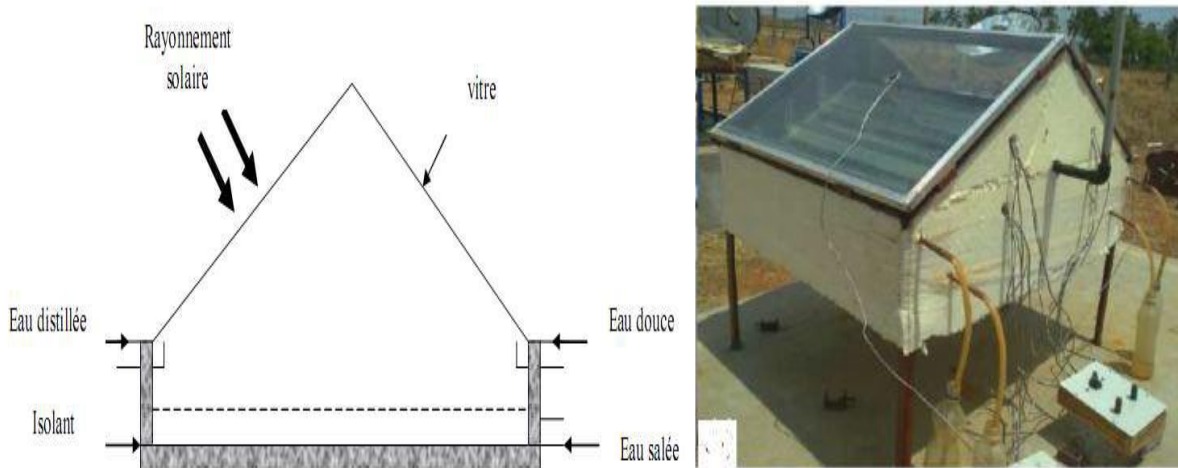


Figure I.6- Distillateur à double pente unique.

1.3.6- Distillateur solaire incliné à cascades

Ce type de distillateur solaire a une structure inclinée avec un bassin à cascade [9].

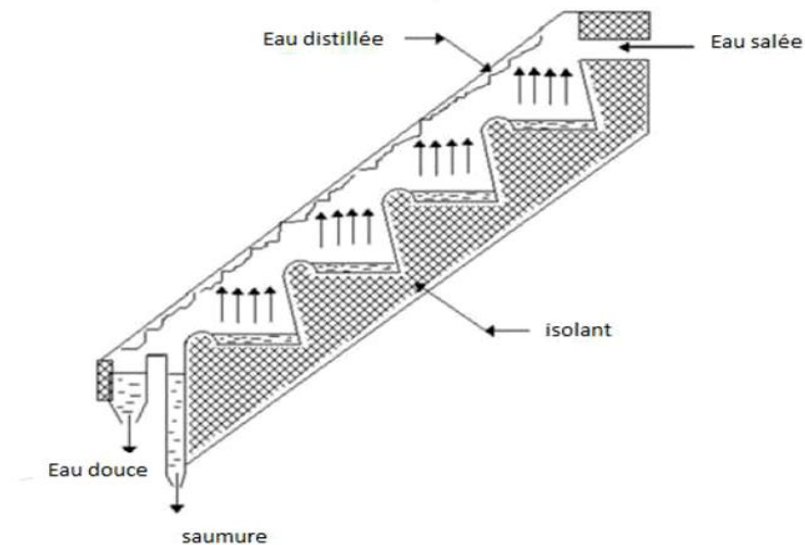


Figure I.7- Distillateur incliné à cascades.

1.3.7- Distillateur solaire terre-eau

Ce distillateur est similaire au distillateur à doubles pentes, sauf que le sol remplace le bassin noir (Figure I.8) [10].

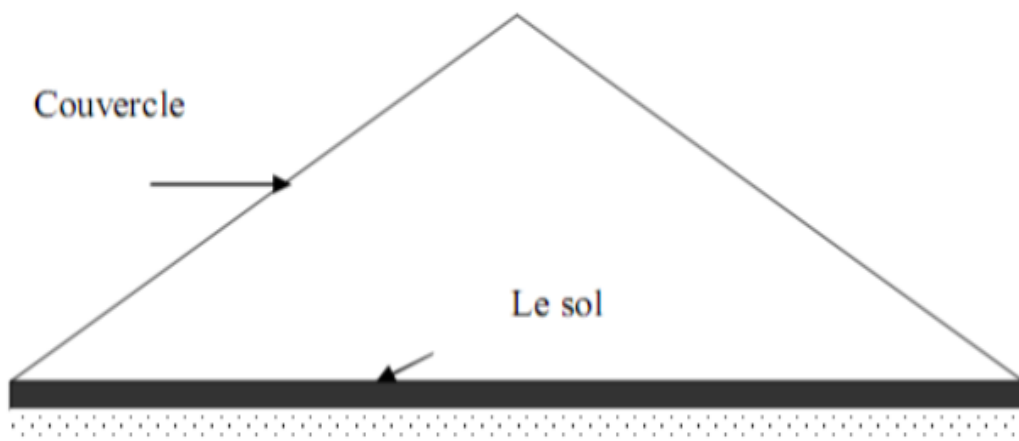


Figure I.8- Distillateur solaire terre-eau.

1.3.8- Distillateur solaire à film capillaire

Ce type est formé d'une vitre et de deux plaques métalliques disposées face à face et inclinées. La face avant de la première plaque est peinte en noir. L'eau à distiller, s'écoule

lentement à l'aide d'un tissu, qui est convenable pour former un film capillaire d'eau. La vapeur d'eau produite quitte le tissu et va se condenser au contact de la seconde plaque. L'eau distillée et le résidu sont récupérés par des collecteurs (Figure I.9) [11].

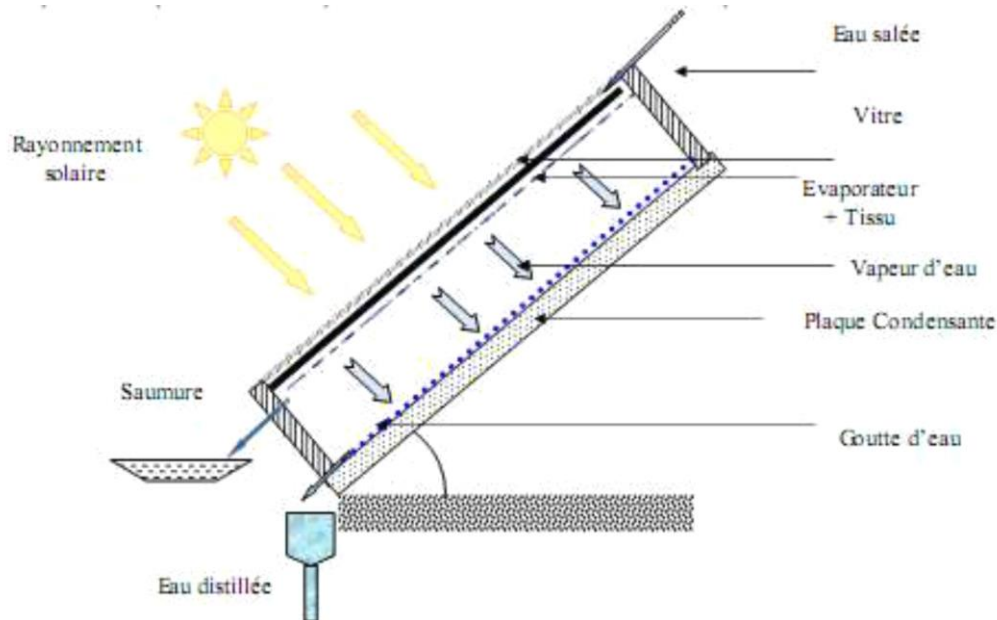


Figure I.9-Distillateur solaire à film capillaire.

1.3.9- Distillateur solaire vertical

Le distillateur solaire vertical est composé [12] d'un capteur solaire permettant la captation du rayonnement solaire, d'un compartiment d'évaporation, et d'un compartiment de condensation. La figure I.10, présente le principe de fonctionnement du distillateur vertical. Le distillateur est alimenté par l'eau saumâtre à partir d'un réservoir (1), le distillateur est connecté au réservoir à l'aide d'un tube en cuivre (2), le débit d'eau l'entrée du distillateur est régulé à l'aide d'une vanne (3). La position du réservoir d'alimentation permet l'alimentation du distillateur par un débit constant. Un distributeur d'eau (4), muni de perforations sur la longueur, permet la distribution de l'eau en film sur le tissu spongieux (5), l'eau ruisselle sur le tissu, et la saumure est évacuée en bas (6). L'eau qui s'écoule derrière l'absorbeur (7), s'évapore dans le compartiment d'évaporation, le mélange d'eau et d'air à l'intérieur saturé en vapeur d'eau circule naturellement à travers les deux ouvertures (8) réalisées dans une cloison isolée vers le compartiment de condensation (9), et la vapeur se condense au contact de la plaque de condensation à l'arrière du distillateur. La collecte de l'eau se produit dans la gouttière (10, 11 dans la figure I.13) fabriquée en dessous de la plaque de condensation [13, 14,15].

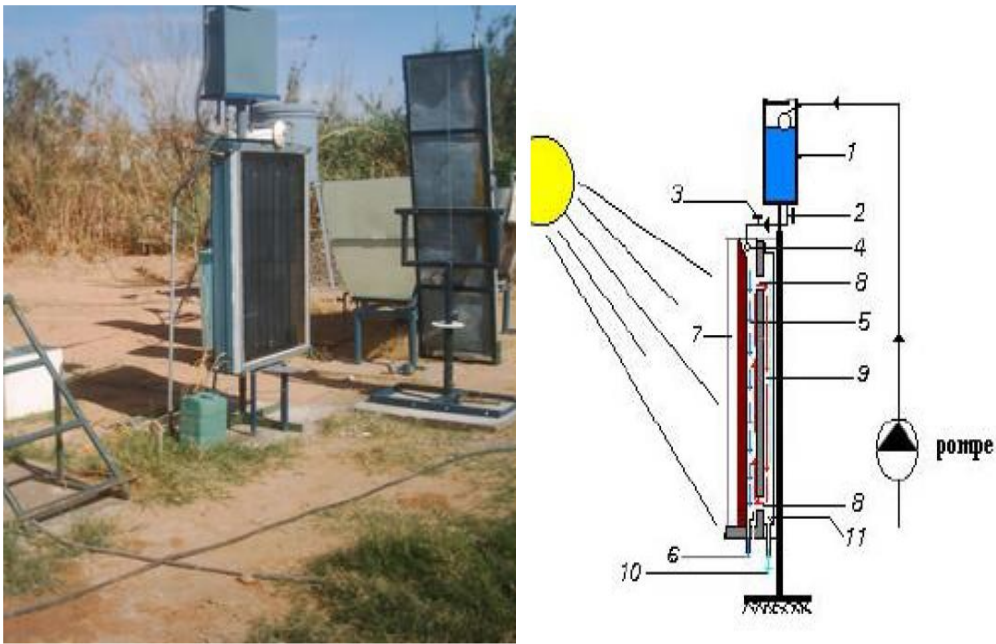


Figure I.10- distillateur solaire vertical.

1.3.10- Distillateur solaire incliné à mèche

Dans un distillateur à mèche, l'eau d'alimentation coule lentement à travers le tissu poreux. Deux avantages sont revendiqués, la mèche inclinée de sorte que l'eau d'alimentation présente un meilleur angle avec le soleil, et l'épaisseur de la masse d'eau dans le distillateur est minimale à tout moment donc l'eau est chauffée plus rapidement et à une température élevée (Figure I.11) [16].

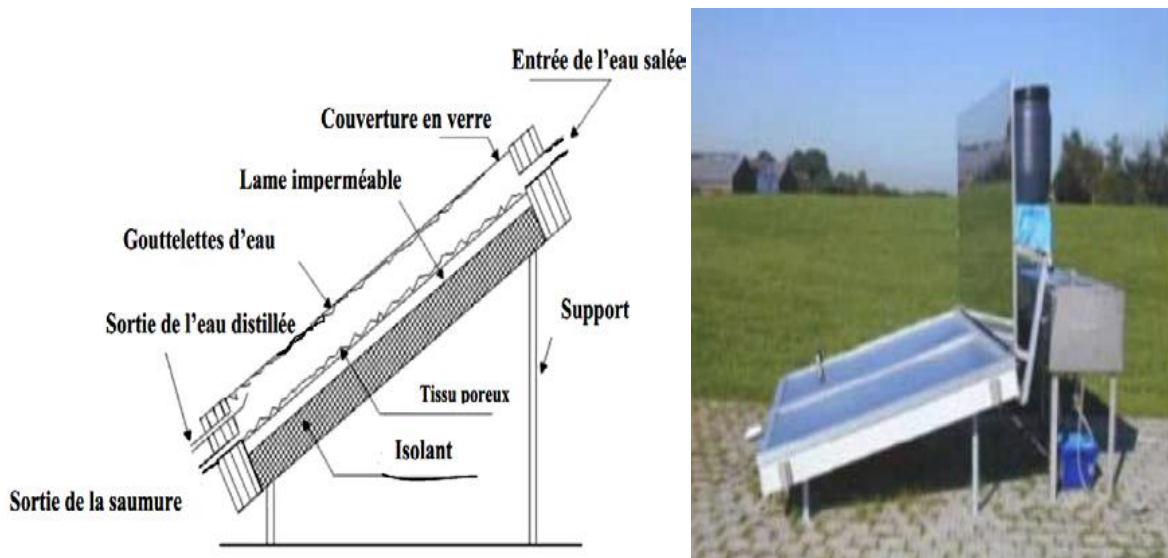


Figure I.11- Distillateur solaire incliné à mèche.

1.3.11-Distillateur sphérique à balayage

C'est un distillateur en plexiglas ou autres matériaux plastique transparents reposant sur des supports, il est essentiellement constitué par trois parties, une demi-sphère supérieure qui sert à transmettre le rayonnement solaire d'une part, et joue le rôle de surface de condensation d'autre part, une demi sphère inférieure qui sert à récupérer le distillat, un bac horizontal en métal noir contenant l'eau à distiller qui se trouve dans le plan médian de la sphère (Figure I.12) [17].

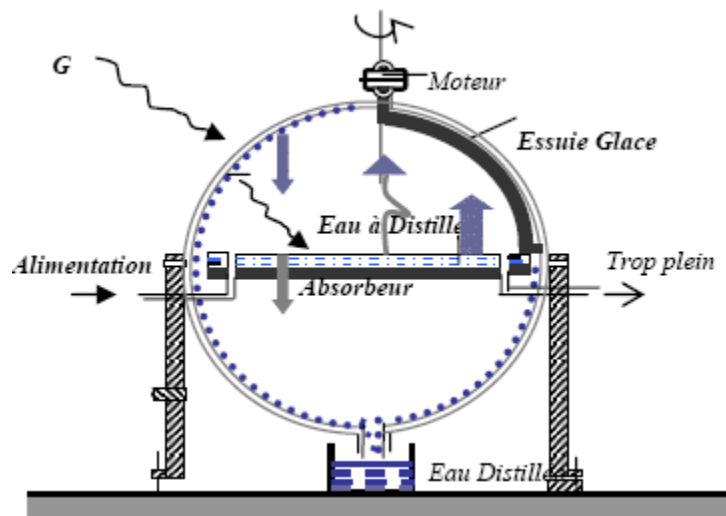


Figure I.12- Distillateur solaire sphérique à balayage.

1.3.12- Distillateur solaire avec un capteur parabolique

Srithar et al. [18] ont étudié expérimentalement un distillateur solaire à triple bassin avec un capteur parabolique, et avec refroidissement de la couverture pour améliorer la production (Figure I.13). Afin d'augmenter le taux de transfert de chaleur à l'intérieur du distillateur, des ailettes, du sable de rivière et des absorbeurs de charbon de bois ont été utilisés dans le bassin. Un panneau solaire photovoltaïque a été utilisé pour faire fonctionner le système de pompage afin de refroidir le couvercle supérieur en verre. Les auteurs ont constaté que la productivité est environ 16,94 kg/m²/jour [19].



Figure I.13- Distillateur solaire avec un capteur parabolique [18].

1.3.13- Distillateur solaire avec un concentrateur parabolique

Gorjian et al. [20] ont effectué des expériences sur un distillateur solaire avec un concentrateur parabolique pour le dessalement de l'eau de mer, comme indiqué sur la figure I.14. La surface d'ouverture du réflecteur parabolique était de 2 m^2 et la distance focale de $0,693 \text{ m}$. Les résultats montrent que la production est d'environ $5,12 \text{ kg} / \text{m}^2 / \text{jour}$ avec 7 h de fonctionnement [19].

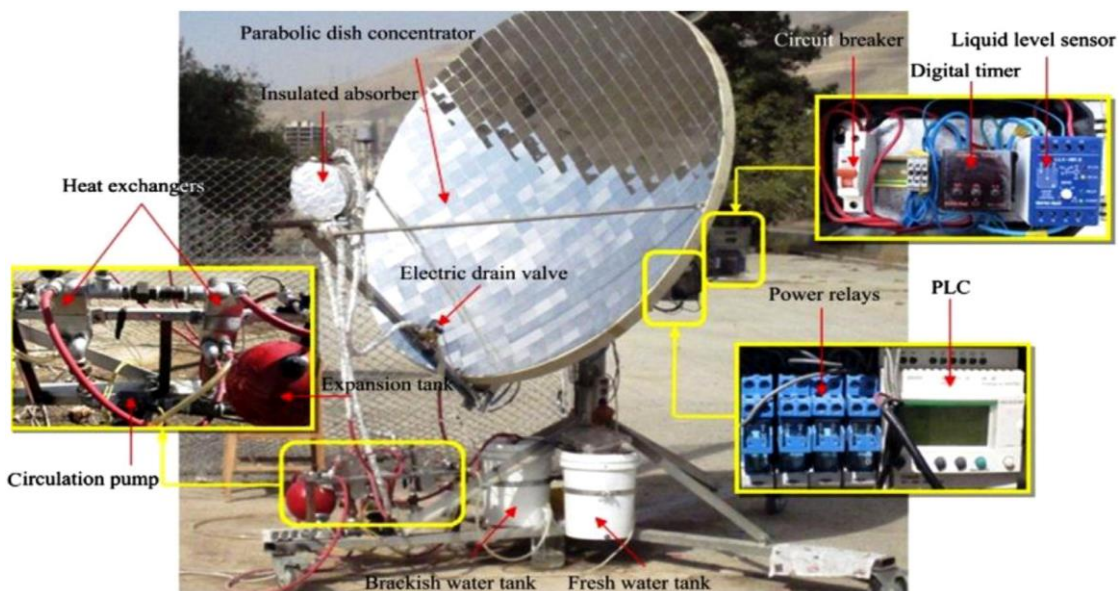


Figure I.14- Distillateur solaire avec un concentrateur parabolique [20].

1.3.14- Distillateur solaire avec une pompe à chaleur

Halima et al. [21] ont théoriquement analysé un distillateur solaire à une seule pente avec une pompe à chaleur dans le bassin comme le montre la figure I.15. Ils ont constaté que la productivité journalière est d'environ 13,5 kg/m²/jour [19].

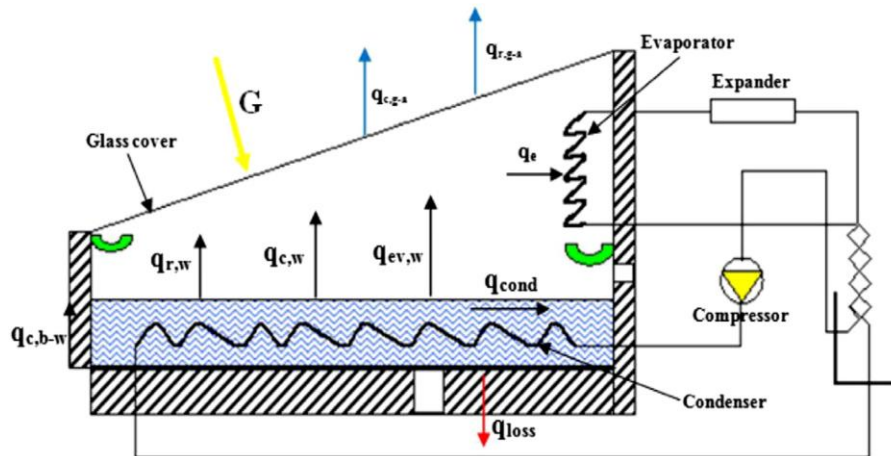


Figure I.15-Distillateur solaire avec une pompe à chaleur [21].

1.3.15- Distillateur solaire avec récupération de chaleur

Dans ce distillateur (Figure I.16) le bassin inférieur seulement est alimenté en énergie thermique. Lorsque l'eau de ce bassin est chauffée, elle s'évapore et se condense sur la surface inférieure du bassin conique situé au-dessus. Il y a une formation de gouttelettes d'eau qui s'écoulent vers une gouttière et les conduits au réservoir de stockage. A la condensation de la vapeur d'eau, l'énergie de changement de phase, appelée aussi l'enthalpie d'évaporation, est libérée. Cette énergie est utilisée pour chauffer l'eau contenue dans l'étage supérieur qui s'évapore et se condense sur la surface inférieure de l'étage suivant et ainsi de suite. De cette manière, l'énergie, prévue pour chauffer l'eau du bassin inférieur, est récupérée pour l'utiliser plusieurs fois.

Le circuit entre le capteur solaire et l'unité de distillation fonctionne en thermosiphon. Donc il n'y a pas de pompe nécessitant une source d'énergie supplémentaire. Pour éviter la surpression, une huile végétale est utilisée comme fluide caloporteur car la température peut dépasser les 100°C [22].

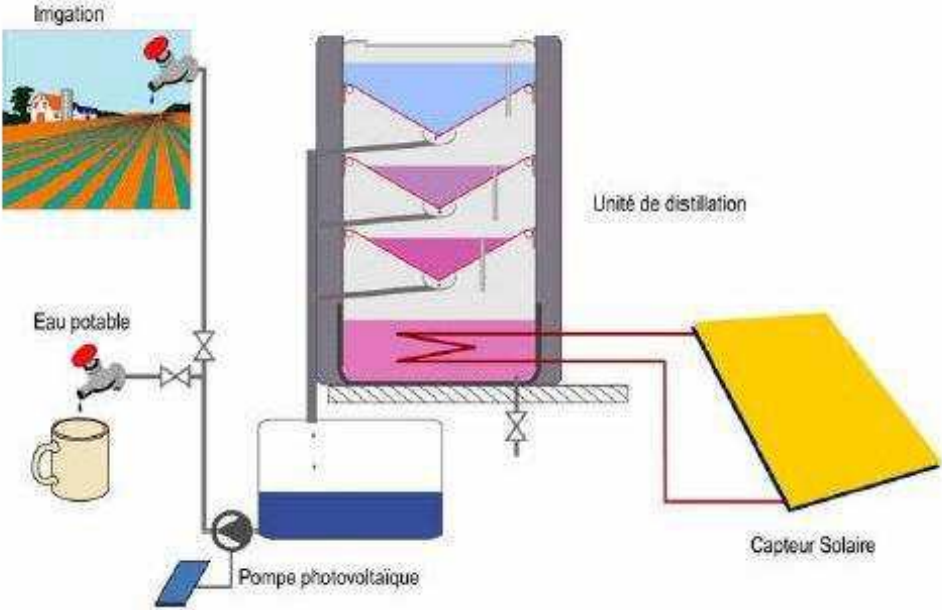


Figure I.16- Distillateur solaire à étages multiples.

Chapitre II :
Transferts de chaleur
d'un distillateur solaire
conventionnel

2.1-Introduction

Les transferts de chaleur qui décrivent le comportement thermique d'un distillateur solaire sont classés en deux, les transferts thermiques internes et externes. Les transferts thermiques internes sont responsables du transport de l'eau pure sous la forme de vapeur, et laissent les impuretés dans le bassin, tandis que les transferts thermiques externes à travers le couvercle de condensation sont responsables de la condensation de la vapeur d'eau sous forme de distillat. Ces deux processus sont brièvement expliqués dans les sections suivantes [23].

2.2- Transferts de chaleur internes

L'échange de chaleur entre la masse d'eau et la surface intérieure du couvercle en verre du distillateur solaire est le transfert de chaleur interne. Il y a trois modes, les transferts thermiques par convection, par rayonnement et par évaporation [24].

2.2.1- Transfert de chaleur par convection eau-vitre $h_{c,e-v}$

Les transferts de chaleur qui s'effectuent simultanément avec des transferts de masse sont dits transferts de chaleur par convection [25]. Il est dépend fortement des propriétés des fluides, de la géométrie et de la rugosité de la surface solide impliquée. Dans un distillateur solaire, le transfert de chaleur par convection a lieu entre l'eau dans le bassin et la surface intérieure du couvercle en verre à travers l'air humide en raison de la différence de température entre eux. La formule de transfert de chaleur par convection à l'intérieur de distillateur solaire est :

$$q_{c, e-v} = h_{c, e-v} (T_e - T_{vi}) \quad (II.1)$$

Avec T_e : température de la masse d'eau.

T_{vi} : température de la surface intérieure du couvercle en verre.

$h_{c, e-v}$: coefficient de transfert de chaleur par convection entre la masse d'eau et la surface intérieure du couvercle en verre [26] :

$$h_{c,e-v} = 0.884 \times [(T_e - T_{vi}) + \frac{(P_e - P_{vi})(T_{vi} + 273.15)}{268.9 \times 10^3 - P_e}]^{1/2} \quad (II.2)$$

P_e : Pression partielle de vapeur à la température de surface de l'eau (T_e).

P_{vi} : Pression partielle de vapeur à la température de la surface intérieure du couvercle en verre (T_{vi}).

2.2.2- Transfert de chaleur par rayonnement eau-vitre

Tous les corps, quelque soit leur état : solide, liquide ou gazeux, émettent un rayonnement de nature électromagnétique. Cette émission d'énergie s'effectue au détriment de l'énergie interne du corps émetteur. Le rayonnement se propage de manière rectiligne à la vitesse de la lumière (le transfert d'énergie le plus rapide).

Le transfert de chaleur par rayonnement se produit à l'intérieur de distillateur solaire entre la masse d'eau et la surface intérieure du couvercle en verre. Le facteur de forme joue un rôle majeur dans la détermination du taux de transfert de chaleur par rayonnement. Dans le distillateur solaire conventionnel, le facteur de forme est supposé égal à l'unité, car l'inclinaison du couvercle en verre avec l'horizontale est faible. La formule de transfert de chaleur par rayonnement à l'intérieur de distillateur solaire est :

$$q_{r,e-v} = h_{r,e-v} (T_e - T_{vi}) \quad (\text{II.3})$$

$h_{r,e-v}$: le coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitre .

$$h_{r,e-v} = \varepsilon_{\text{eff}} \sigma [(T_e+273)^2 + (T_{vi}+273)^2] (T_e + T_{vi}+546) \quad (\text{II.4})$$

σ : Constante de Steffan-Boltzmann ($=5.6697 \cdot 10^{-8}$ [W/M²K⁴]).

$$\varepsilon_{\text{eff}} = \left[\frac{1}{\varepsilon_e} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1 \right]^{-1} \quad (\text{II.5})$$

ε_e : Émissivité de l'eau ($\varepsilon_e=0.95$).

ε_v : Émissivité de la vitre ($\varepsilon_v=0.9$).

2.2.3- Transfert de chaleur par évaporation

L'évaporation se produit à l'interface liquide-vapeur lorsque la pression de vapeur est inférieure à la pression de saturation du liquide à une température donnée. Le transfert de chaleur par évaporation se produit dans le distillateur solaire entre l'eau et l'interface eau-vapeur. Le taux de transfert de chaleur par évaporation entre la masse d'eau et la surface intérieure du couvercle en verre est donné par la relation :

$$q_{e,e-v} = h_{e,e-v} (T_e - T_{vi}) \quad (\text{II.6})$$

$h_{e,e-v}$: coefficient de transfert de chaleur par évaporation entre la masse d'eau et le vitrage [2].

$$h_{e,e-v} = 16.273 \times 10^{-3} \times h_{c,e-v} \left[\frac{P_e - P_{vi}}{T_e - T_{vi}} \right] \quad (\text{II.7})$$

$$Pe = \exp \left[25.317 - \left(\frac{5144}{Te+273} \right) \right] \quad (\text{II.8})$$

$$Pv = \exp \left[25.317 - \left(\frac{5144}{Tvi+273} \right) \right] \quad (\text{II.9})$$

Le taux de transfert de chaleur interne total est la somme des taux de transfert de chaleur convectifs, radiatifs et évaporatifs entre la masse d'eau et la surface intérieure du couvercle en verre, qui est donné comme suit:

$$q_{t,e-v} = h_{t,e-v} (T_e - T_{vi}) \quad (\text{II.10})$$

Le coefficient de transfert de chaleur interne total entre la masse d'eau et la surface intérieure du couvercle en verre ($h_{t,e-v}$) est :

$$h_{t,e-v} = h_{c,e-v} + h_{r,e-v} + h_{e,e-v} \quad (\text{II.11})$$

Le taux de transfert de chaleur par conduction de la surface interne du couvercle en verre à la surface externe du couvercle en verre est donné par :

$$q_{cd,vi-v0} = (K_v/L_v) (T_{vi} - T_{v0}) \quad (\text{II.12})$$

K_v : Conductivité thermique du couvercle en verre (W/m.K)

L_v : L'épaisseur du couvercle en verre (m).

2.3- Transferts de chaleur externes

Les transferts de chaleur externes sont effectués par conduction, par convection et par rayonnement. Elles sont considérées comme les pertes d'énergie thermique de distillateur solaire vers le milieu environnant. Dans le distillateur solaire la chaleur perdue à travers la surface extérieure du couvercle en verre à l'atmosphère est appelée la perte vers le haut et la chaleur perdue de la masse d'eau à l'environnement à travers l'isolant est appelée les pertes vers le bas et vers les côtés. Ils sont brièvement décrits dans la section suivante [35] :

2.3.1- Pertes de chaleur vers le haut

L'énergie thermique de la surface extérieure du couvercle en verre est perdue dans l'atmosphère par convection et par rayonnement.

2.3.1.1- Transfert de chaleur par convection vitre-ambiance.

La perte de chaleur par convection de la surface extérieure du couvercle en verre de distillateur solaire vers l'atmosphère est donnée par :

$$q_{c,vo-\alpha} = h_{c,go-\alpha} (T_{vo} - T_{\alpha}) \quad (II.13)$$

$h_{c,vo-\alpha}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'extérieur.

Le coefficient d'échange par convection entre la surface extérieure de la vitre et l'air est donné par la relation suivante :

$$h_{c,vo-\alpha} = 2.8 + (3.0 \times v) \quad (II.14)$$

v : vitesse du vent

2.3.1.2- Transfert de chaleur par rayonnement vitre-ambiance

La perte de chaleur par rayonnement de la surface extérieure du couvercle en verre de distillateur solaire vers l'environnement est donnée par

$$q_{r,vo-\alpha} = h_{r,go-\alpha} (T_{vo} - T_{\alpha}) \quad (II.15)$$

$h_{r,go-\alpha}$: Le coefficient de transfert de chaleur par rayonnement par la vitre vers l'extérieur.

$$h_{r,vo-\alpha} = \varepsilon_v \sigma \left[\frac{(T_{vo} + 273)^4 - (T_{ciel} + 273)^4}{(T_{vo} - T_e)} \right] \quad (II.16)$$

T_{ciel} : Température du ciel.

$$T_{ciel} = T_{\alpha} - 6$$

La perte de chaleur totale est la somme des pertes de chaleur convective et radiative qui est donnée par :

$$q_{t,vo-\alpha} = h_{t,vo-\alpha} (T_{vo} - T_{\alpha}) \quad (II.17)$$

$h_{t,vo-\alpha}$: Coefficient de perte de chaleur totale entre la surface extérieure du couvercle en verre et l'atmosphère.

$$h_{t,vo-\alpha} = h_{c,vo-\alpha} + h_{r,vo-\alpha} \quad (II.18)$$

Également le coefficient de perte de chaleur totale peut être déterminé directement en termes de vitesse du vent (v) en considérant l'effet du rayonnement et de la convection par l'expression suivante:

$$h_{t,go-\alpha} = 5.7 + (3.8 \times v) \quad (II.19)$$

Aucune variation significative n'est observée dans les performances du distillateur solaire en utilisant l'équation (II.18) ou l'équation (II.19).

2.3.2 -Pertes de chaleur vers le bas et à travers les côtés

L'énergie thermique est perdue de l'eau vers l'atmosphère par le bassin et l'isolation par conduction, par convection et par rayonnement. Dans le cas d'un distillateur solaire posé sur un support, les pertes de chaleur inférieures et latérales se produisent en séquence: d'abord par convection, puis par conduction et, enfin, des pertes par convection et par rayonnement dans l'ambiance. Mais, dans le cas d'un distillateur solaire mis à la terre, la perte de chaleur inférieure est d'abord sous forme de convection puis de conduction uniquement.

Le taux de transfert de chaleur par convection entre le bassin et la masse d'eau est donné par :

$$q_w = h_w (T_b - T_w) \quad (\text{II.20})$$

h_w : Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le bassin et la masse d'eau.

Le taux de transfert de chaleur par conduction entre le bassin et l'atmosphère est donné par

$$q_b = h_b (T_b - T_a) \quad (\text{II.21})$$

h_b : Coefficient de transfert de chaleur entre le bassin et l'atmosphère à travers l'isolant.

$$h_b = \left[\frac{L_{INS}}{K_{INS}} + \frac{1}{h_{t,b-a}} \right]^{-1} \quad (\text{II.22})$$

Où

$$h_{t,b-a} = 5.7 + (3.8 \times v) \quad (\text{II.23})$$

Le coefficient global de perte de chaleur latérale entre la masse d'eau et l'atmosphère est exprimé en

$$U_{SS} = \left(\frac{A_{SS}}{A_b} \right) U_b \quad (\text{II.24})$$

Pour une profondeur d'eau plus basse, le coefficient global de perte de chaleur latérale (U_{SS}) peut être négligé car la surface des parois latérales perdant de la chaleur (A_{SS}) est très petite par rapport à la surface du bassin (A_b) de distillateur solaire.

2.4- Calcul du rendement et de l'efficacité thermique

Le rendement horaire de distillateur solaire peut être calculé par :

$$m_{ew} = \frac{q_{e,e-v}}{Lv} \times 3600 = \frac{h_{e,e-v} \times (T_e - T_v)}{Lv} \times 3600 \quad (\text{II.25})$$

Le rendement journalier est également calculé comme

$$M_{ew} = \sum_{i=1}^{24} m_{ew} \quad (\text{II.26})$$

L'efficacité thermique instantanée est exprimée comme

$$\eta_i = \frac{q_{e,e-v}}{I(t)_s} \quad (\text{II.27})$$

L'efficacité thermique globale de distillateur solaire passif est déterminée par l'expression suivante:

$$\eta_{passive} = \frac{\sum m_{ew} \times Lv}{\sum I(t)_s \times A_s \times 3600} \quad (\text{II.28})$$

De plus, l'efficacité thermique globale de distillateur solaire actif est donnée comme

$$\eta_{active} = \frac{\sum m_{ew} \times Lv}{\sum I(t)_s \times A_s \times 3600 + \sum I(t)_c \times A_c \times 3600} \quad (\text{II.29})$$

2.5- Analyse thermique de distillateur solaire

Le modèle thermique d'un distillateur solaire à un seul bassin et une seule pente est dérivé des équations du bilan énergétique de ses composants, à savoir le bassin, la masse d'eau et la couverture en verre. Le bilan énergétique de chaque composant de distillateur solaire est écrit pour une température moyenne de ce composant.

Toutes les équations sont développées par unité de surface. La partie suivante est consacrée au bilan énergétique de distillateur solaire.

2.5.1- Hypothèses

Dans le cadre de cette étude les hypothèses adoptées sont :

1. Il n'y a pas de fuite dans le distillateur solaire.
2. La masse d'eau dans le bassin de distillation solaire est supposée constante.

3. La perte par évaporation est négligeable.
4. Le gradient de température le long de la profondeur de la masse d'eau est négligeable.
5. La capacité thermique et l'absorption du couvercle en verre et l'isolant sont négligeables.
7. Les surfaces de l'eau, de couvercle en verre et de bassin sont égales.

2.5.2 - Équations de bilan énergétique

Les équations du bilan énergétique des différentes parties du distillateur solaire sont [29,59]:

2.5.2.1- Surface extérieure du couvercle en verre

Taux d'énergie reçue de la surface intérieure du couvercle en verre par conduction = Taux d'énergie perdue dans l'environnement par convection et rayonnement

$$q_{cd,gi-go} = q_{c,go-a} + q_{r,go-a} \quad (II.30)$$

$$q_{cd,gi-go} = q_{t,go-a} \quad (II.31)$$

En remplaçant les équations (II.12) et (II.17) dans l'équation (II.31), l'équation d'équilibre énergétique de la surface extérieure du couvercle en verre devient

$$\frac{k_g}{L_g}(T_{gi} - T_{go}) = h_{t,go-a}(T_{go} - T_a) \quad (II.32)$$

L'expression ci-dessus est réorganisée comme

$$T_{go} = \frac{(K_g/L_g)T_{gi} + T_{t,go-a}T_a}{(K_g/L_g) + h_{t,go-a}} \quad (II.33)$$

2.5.2.2- Surface intérieure du couvercle en verre

Taux d'énergie absorbée par le rayonnement solaire + Taux d'énergie reçue de la masse d'eau par convection, évaporation et rayonnement = Taux d'énergie perdue à la surface de la verrerie par conduction

$$\alpha'_g I(t)_s + q_{e,w-gi} = q_{cd,gi-go} \quad (II.34)$$

Ou

$$\alpha'_g I(t)_s + q_{t,w-gi} = q_{cd,gi-go} \quad (II.35)$$

En remplaçant les équations (II.10) et (II.12) dans l'équation. (II.35), il devient,

$$\alpha'_g I(t)_s + h_{t,w-gi}(T_w - T_{gi}) = \frac{K_g}{L_g}(T_{gi} - T_{go}) \quad (II.36)$$

Où

$$\alpha'_g = (1 - R_g)\alpha_g \quad (\text{II.37})$$

L'équation(II.44) peut être réécrite comme suit en substituant la valeur de T_{go} ,

$$\alpha'_g I(T)_s + h_{t,w-gi}(T_w - T_{gi}) = (K_g/L_g) \left(\frac{h_{t,go-a} h_{gi} - h_{t,go-a} h_a}{(K_g/L_g) + h_{t,go-a}} \right) \quad (\text{II.38})$$

Réorganiser l'équation ci-dessus, nous obtenons,

$$T_{gi} = \frac{\alpha'_g I(T)_s + h_{t,w-gi} T_w + U_{t,gi-a} T_a}{h_{t,w-gi} + U_{t,gi-a}} \quad (\text{II.39})$$

2.5.2.3 -bassin

Taux d'énergie absorbée par le rayonnement solaire = Taux d'énergie perdue dans la masse d'eau par convection + Taux d'énergie perdue dans l'air ambiant par conduction et convection

$$\alpha'_b I(t)_s = q_w + q_b \quad (\text{II.40})$$

En remplaçant les équations(II.22) et (II.23) dans l'équation. (II.48), il devient,

$$\alpha'_b I(t)_s = h_w(T_b - T_w) + h_b(T_b - T_a) \quad (\text{II.41})$$

Où

$$\alpha'_b = a_b(1 - a_g)(1 - R_g)(1 - R_w)(1 - a_w) \quad (\text{II.42})$$

(II.49) peut être réorganisé comme

$$T_b = \frac{\alpha'_b I(t)_s + h_w T_w + h_b T_a}{h_w + h_b} \quad (\text{II.43})$$

2.5.2.4 -Masse d'eau

Taux d'énergie absorbée par le rayonnement solaire + Taux d'énergie reçue par le bassin par convection + Taux d'énergie reçue des appareils externes = Taux d'énergie stockée + Taux d'énergie perdue à la surface intérieure du verre par convection; évaporation et rayonnement

$$\alpha'_w I(t)_s + q_w + Q_u = m_w C_w \frac{dT_w}{dt} + q_{c,w-gi} + q_{e,w-gi} + q_{r,w-gi} \quad (\text{II.44})$$

(II 45) Où

$$\alpha'_w I(t)_s + q_w + Q_u = m_W C_W \frac{dT_w}{dt} + q_{t,w-gi} \quad (\text{II.45})$$

En remplaçant les équations (II.22) et (II.10) dans l'équation. (II.45), il devient,

$$\alpha'_w I(t)_s + q_w + Q_u = m_W C_W \frac{dT_w}{dt} + h_{t,w-gi} (T_w - T_{gi}) \quad (\text{II.46})$$

Où

$$\alpha'_w = (1 - a_g)(1 - R_g)(1 - R_w)a_w \quad (\text{II .47})$$

Pour le distillateur solaire passif, $Q_U = 0$

L'équation (II.46) peut être simplifiée en substituant les valeurs de T_b et T_{gi} donné comme

$$a_{eff} I(t)_s + U_{LS} T_a = m_W C_W \frac{dT_w}{dt} + U_{LS} T_w \quad (\text{II. 48})$$

Où

$$a_{eff} = \alpha'_b \frac{h_w}{h_w + h_b} + \alpha'_w + \alpha'_g \frac{h_{t,w-gi}}{h_{t,w-gi} + U_{t,go-a}} \quad (\text{II. 49})$$

Et

$$U_{LS} = U_t + U_b$$

$$U_t = \frac{h_{t,w-gi} U_{t,gi-a}}{h_{t,w-gi} + U_{t,go-a}}$$

$$U_b = \frac{h_w h_b}{h_w + h_b}$$

L'équation (II.48) est réorganisée comme suit :

$$\frac{dT_w}{dt} + \frac{U_{LS}}{m_W C_W} T_w = \frac{a_{eff} I(t)_s + U_{LS} T_a}{m_W C_W} \quad (\text{II .50})$$

L'équation (II .50) peut être exprimée sous forme simplifiée comme suit:

$$\frac{dT_w}{dt} + a T_w = f(t) \quad (\text{II.51})$$

Où

$$a = \frac{U_{LS}}{m_W c_W} \quad (\text{II.52})$$

$$f(t) = \frac{a_{eff} I(t)_s + U_{LS} T_a}{m_W c_W} \quad (\text{II.53})$$

2.6- Le modèle de Dunkle [1961]

Le modèle de Dunkle est le modèle le plus populaire pour évaluer divers coefficients de transfert de chaleur dans le distillateur solaire. Il fournit des corrélations empiriques largement acceptées pour prédire les performances de distillateur solaire à simple effet. Dunkle a utilisé la corrélation empirique Nusselt-Rayleigh suivante développée par Jakob [1957] pour la convection libre de l'air dans une enceinte:

$$Nu = C \cdot Ra^n \text{ avec } C = 0.075 \text{ et } n = 1/3$$

Dunkle a estimé la valeur de $h_{e,w-g}$ en utilisant les relations suivantes:

$$h_{e,w-g} = 0.0163 \times h_{c,w-g} \left[\frac{P_w - P_{gi}}{T_w - T_{gi}} \right] \quad (\text{II.54})$$

$$h_{c,w-g} = 0.884 \times [\Delta \hat{T}]^{1/3} \quad (\text{II.55})$$

Où

$$\Delta \hat{T} = \left[(T_w - T_{gi}) + \frac{(P_w - P_{gi})(T_w + 273.15)}{268.9 \times 10^3 - P_w} \right] \quad (\text{II.56})$$

Le modèle de Dunkle a été utilisé par la plupart des chercheurs dans le domaine de la distillation solaire même dans les conditions qui ne relèvent pas de la limitation du modèle.

2.7- Précision des modèles thermiques

Les résultats prévus à partir de divers modèles thermiques peuvent être validés par des données expérimentales. La précision de la prévision peut être trouvée en déterminant le coefficient de corrélation (r) et l'écart en pourcentage (e) entre les valeurs théoriques et expérimentales.

Chapitre II Transferts de chaleur d'un distillateur solaire conventionnel

Le coefficient de corrélation (r) pour le nombre (N) d'observations est évalué comme

$$r = \frac{N\sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{N\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \sqrt{N\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2}} \quad (\text{II.57})$$

L'écart en pourcentage (e_i) est exprimé comme

$$e_i = \frac{X_i - Y_i}{X_i} \times 100 \quad (\text{II.58})$$

De plus, la racine de l'écart (e) est exprimé comme suit :

$$e = \sqrt{\frac{\sum (e_i)^2}{N}} \quad (\text{II.59})$$

Chapitre III :
Résultats et Discussions

3.1-Introduction

La distillation solaire de l'eau de mer/saumâtre est l'une des solutions économiques importantes pour résoudre le problème de la pénurie d'eau potable. Le but de ce travail est l'évaluation de modèle de Duncle sous les conditions météorologiques de M'sila. Avec ce modèle on peut prédire le comportement thermique, l'efficacité et la production en eau distillé de distillateur solaire.

Un ensemble des tests expérimentaux a été mené sous les conditions météorologiques des deux jours typiques de l'année, qui a été choisis, pour le mois d'Avril 2017 à la station météorologique de M'sila, en Algérie. Les paramètres météorologiques mesurés sont : l'irradiation solaire globale, la température ambiante et la vitesse du vent. Egalement, les températures des différents composants de distillateur solaire et les productions horaire et cumulé ont été mesurées.

3.2- Test du 10 avril 2017

3.2.1- Irradiation solaire

La figure III.1 montre l'évolution de l'irradiation solaire pour le 10 d'avril en fonction du temps. On observe que l'irradiation solaire augmente avec le temps pour atteindre la limite la plus élevée à 12 h30min, puis elle est diminuée à la fin de la journée. L'irradiation solaire était de l'ordre de 0-967 W/m² avec une durée d'ensoleillement d'environ 12 h30min.

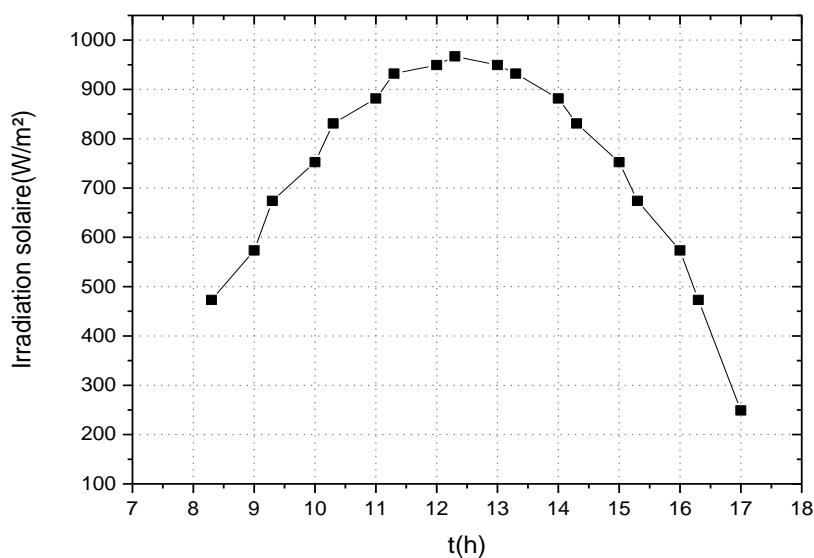


Figure III.1- Variation temporelle de l'irradiation solaire pour la journée de 10/04/2017.

3.2.2- La vitesse du vent

La figure III.2 montre que la vitesse du vent prend une valeur maximale de 8 m/s au début de la journée puis commence à diminuer avec le temps jusqu'à ce qu'elle se stabilise à la valeur de 4m/s.

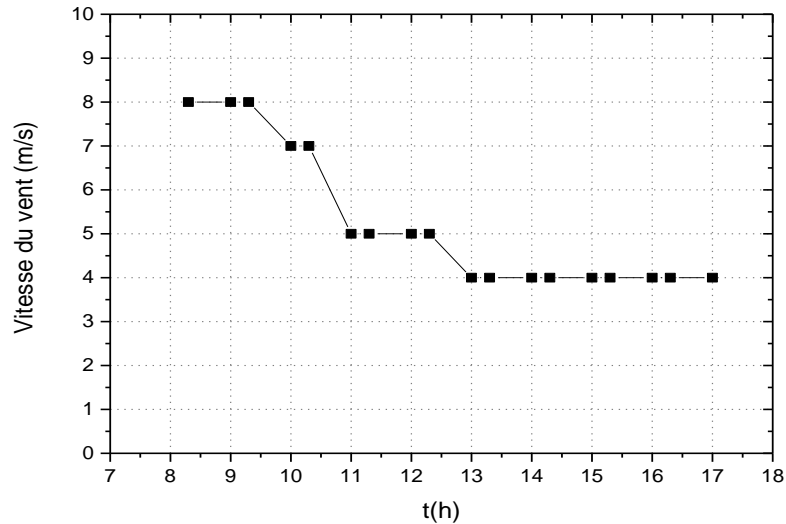


Figure III.2 -Variation temporelle de la vitesse du vent pour la journée de 10/04/2017.

3.2.3 -Variation des différentes températures de distillateur solaire

La figure III.3 présente les variations des températures de bac (T_b), de l'eau (T_w), de couvercle en verre (T_{gi}), de l'air humide entre la masse d'eau et la vitre (T_f) et de l'ambiance (T_a). Toutes les températures augmentent la matinée du façon rapide jusqu'à 12h30 ,puis elles atteignent son maximum à 13h30, et enfin elles sont diminuées lentement par apport au matin, ceci due à l'inertie thermique des composantes de distillateur solaire.

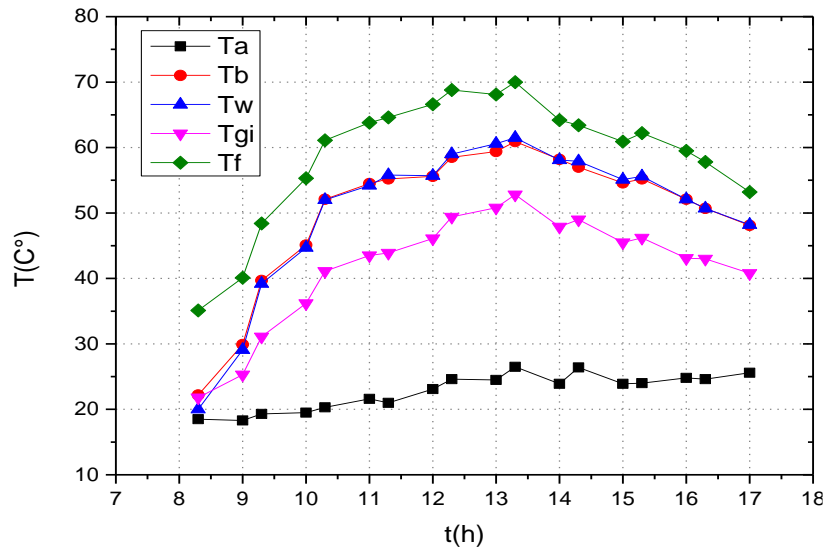


Figure III.3- Variations temporelles des températures des différentes parties de distillateur solaire pour la journée de 10/04/2017.

3.2.4- Variation temporelle de la chaleur latente de vaporisation

La figure III.4 montre que la chaleur latente de vaporisation de la saumure diminue au fur et à mesure avec le temps. Elle atteint des valeurs minimales entre 12h00 et 14h00.

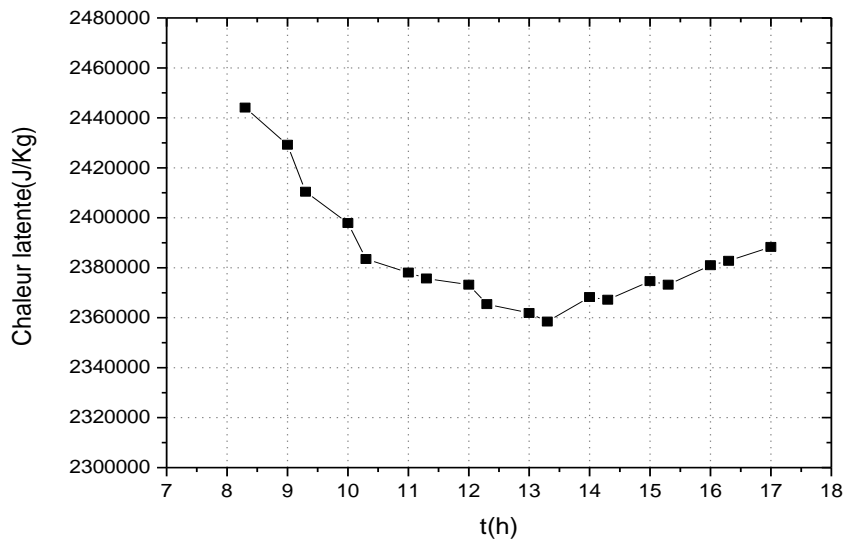


Figure III.4-Variation temporelle de la chaleur latente de vaporisation pour la journée de 10/04/2017.

3.2.5-Variation des coefficients de transfert de chaleur internes et externes

3.2.5.1-Variation des coefficients de transfert de chaleur internes

La figure III.5 représente les variations des coefficients de transfert de chaleur internes. On observe que les valeurs de coefficient de transfert de chaleur par évaporation est très élevé par rapport aux celles des coefficients de transfert de chaleur par convection $h_{c,e-v}$ et par rayonnement $h_{r,e-v}$ entre la masse d'eau et la surface intérieur du couvercle en verre.

Les valeurs maximales atteignant des coefficients $h_{c,e-v}$, $h_{c,e-v}$, $h_{r,e-v}$ sont 71, 5 et 6 W/m^2K respectivement.

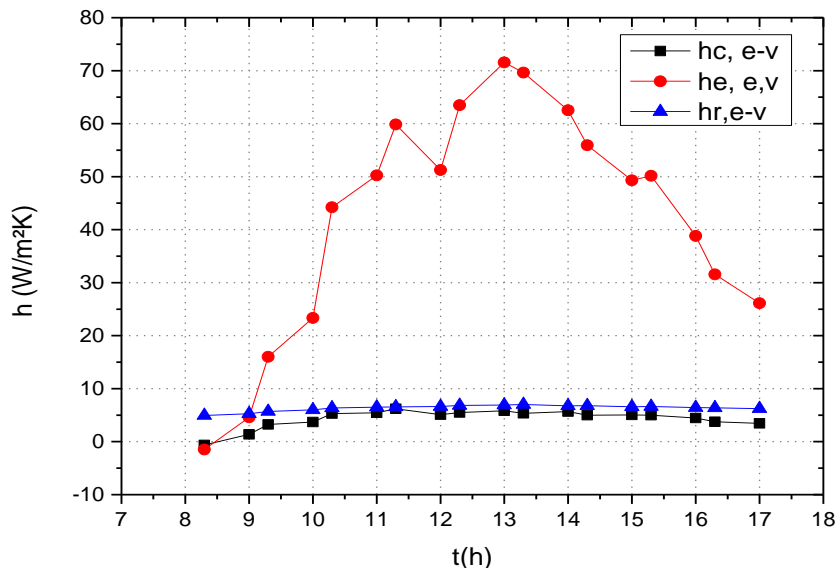


Figure III.5- Variations temporelles des coefficients de transfert de chaleur internes pour la journée du 10/04/2017.

3.2.5.2- Variation des coefficients de transfert de chaleur externes

La figure III.6 représente les variations des coefficients de transfert de chaleur externes. Les valeurs des coefficients de transfert de chaleur par convection $h_{c,go-\alpha}$ et par rayonnement $h_{r,go-\alpha}$ entre la vitre et l'ambiance sont maximales au début de la journée, et elles atteignent 27, 14 W/m^2K respectivement. Puis elles commencent à diminuer avec le temps et se stabilisent aux valeurs 14, 7 W/m^2K respectivement.

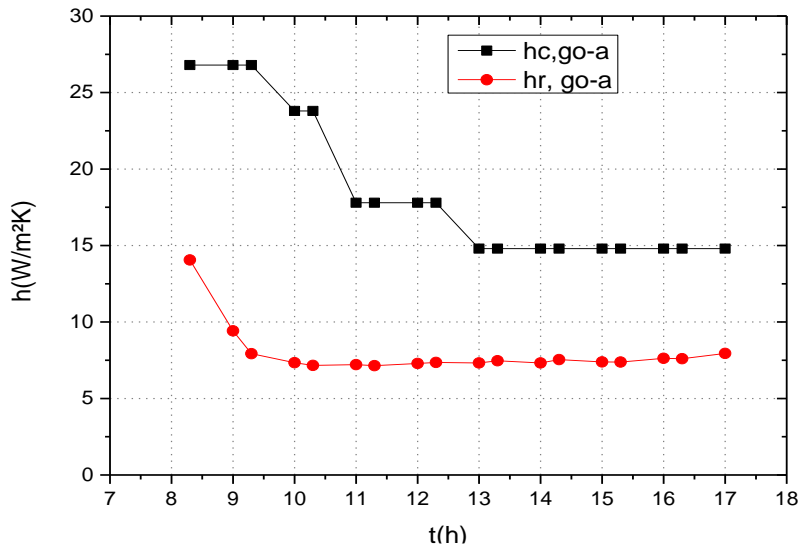


Figure III.6-Variations temporelles des coefficients le transfert de chaleur externes pour la journée du 10/04/2017.

3.2.6-Variation des pressions partielles (P_e et P_v)

La figure III.7 représente les variations des pressions partielles à la température de l'eau P_e et à la température de la surface intérieure de la vitre P_v . On peut remarquer que les valeurs des pressions partielles à la température de l'eau est supérieures à celles à la température de la vitre les pressions atteignent son maximum entre 13h00 et 14h00. Les valeurs maximales des pressions partielles P_e et P_v sont 20000 et 13000 N/m^2 respectivement.

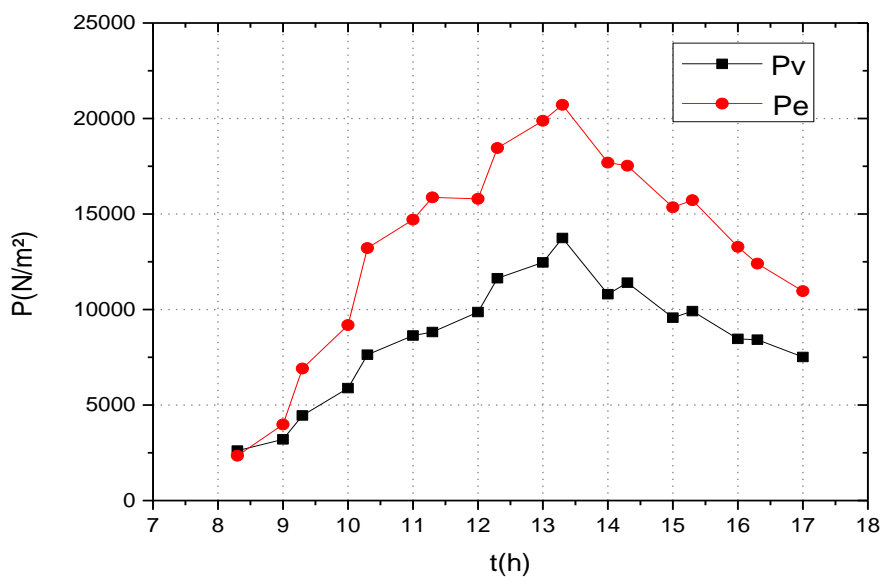


Figure III.7-Variations temporelles des pressions partielles pour la journée du 10/04/2017.

3.2.7-Variation de la production horaire et totale

La figure III.8 présente les variations de les productions horaires calculées et mesurées en fonction de temps. Les courbes ont la même allure, et les valeurs calculées est en bonne accord avec celle de l'expérimental, où l'écart entre les deux était très étroit.

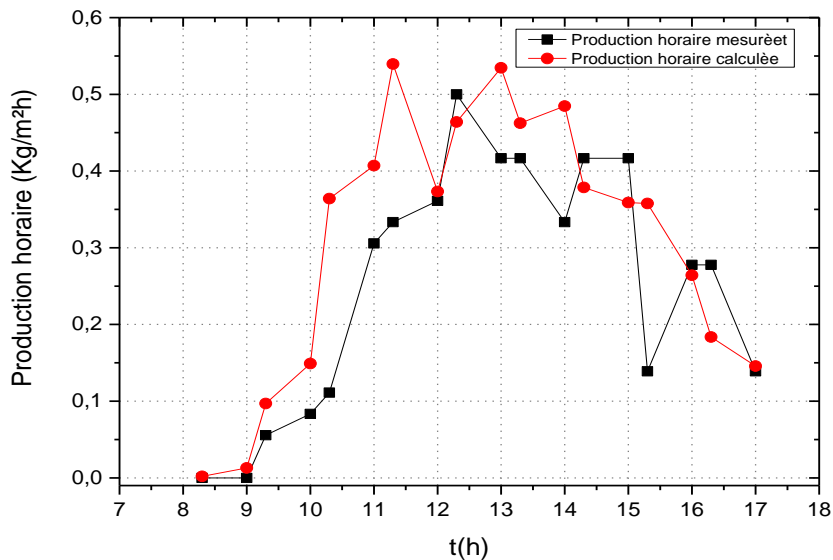


Figure III.8-Variation temporelle des productions horaires calculée et mesurée pour la journée du 10/04/2017.

La valeur calculée de la production cumulée est 5.5 kg/m^2 , alors que la valeur expérimentale est 4.6 kg/m^2 .

3.3- Test du 11 avril 2017

3.3.1- L'irradiation

La figure III.9 montre l'évolution de l'irradiation solaire pour la journée de 11 d'avril en fonction du temps. On observe que l'irradiation solaire augmente avec le temps pour atteindre la limite la plus élevée à 12 h30min, puis elle est diminuée à la fin de la journée. L'irradiation solaire pour cette journée était de l'ordre de $0-967 \text{ W/m}^2$ avec une durée d'ensoleillement d'environ 12 h00.

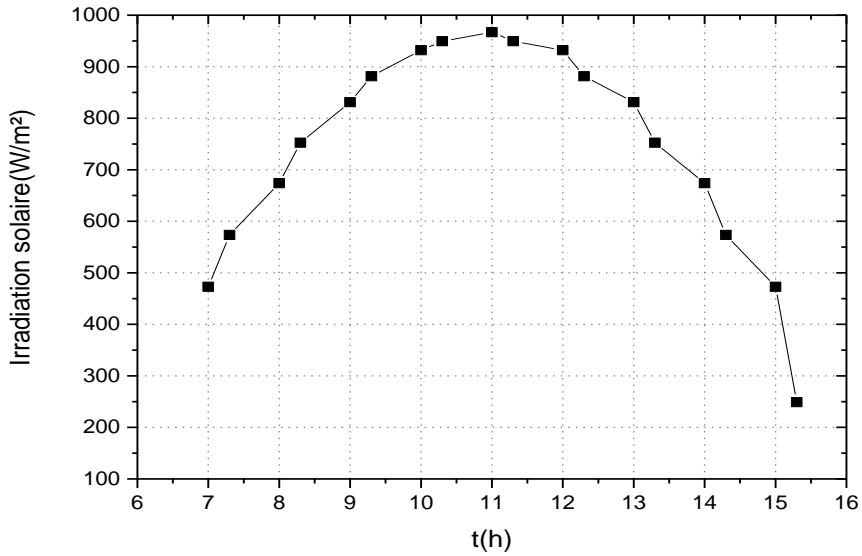


Figure III.9- Variation temporelle de l’irradiation solaire pour la journée de 11/04/2017.

3.3.2- La vitesse du vent

La figure III.10 montre que la vitesse du vent prend la valeur de 10m/s au début de la journée, puis elle stabilise à la valeur 11m/s. A partir de 11h elle diminue avec le temps jusqu'à sa valeur atteigne 1m/s, puis elle commence à augmenter jusqu'à atteindre la valeur maximale 16m/s à 17h00.

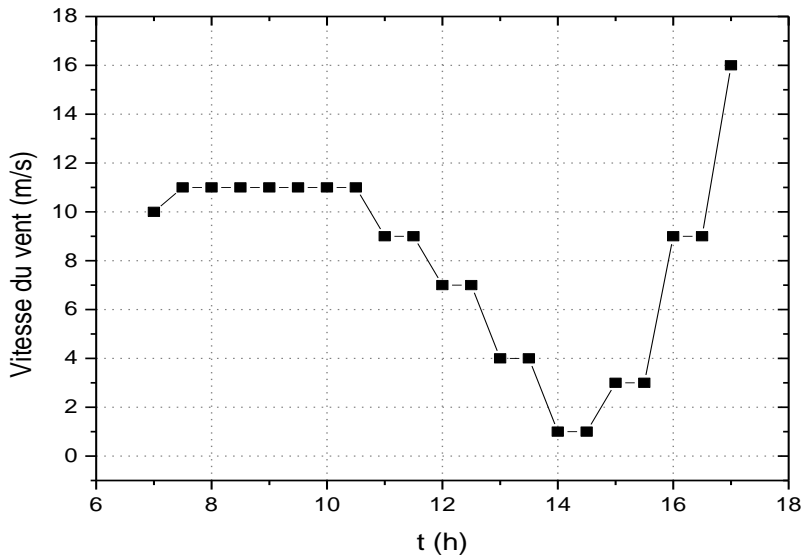


Figure III.10-Variation temporelle de la vitesse du vent pour la journée de 11/04/2017.

3.3.3-Variation des différentes températures de distillateur solaire

La figure III.11 présente les variations des températures de bac (T_b), de l'eau (T_w), de couvercle en verre (T_{gi}), de l'air humide entre la masse d'eau et la vitre (T_f) et de l'ambiance (T_a). Toutes les températures augmentent la matinée du façon rapide jusqu'à 12h30, puis elles atteignent son maximum à 13h30, et enfin elles sont diminuées lentement par rapport au matin, ceci due à l'inertie thermique des composantes de distillateur solaire.

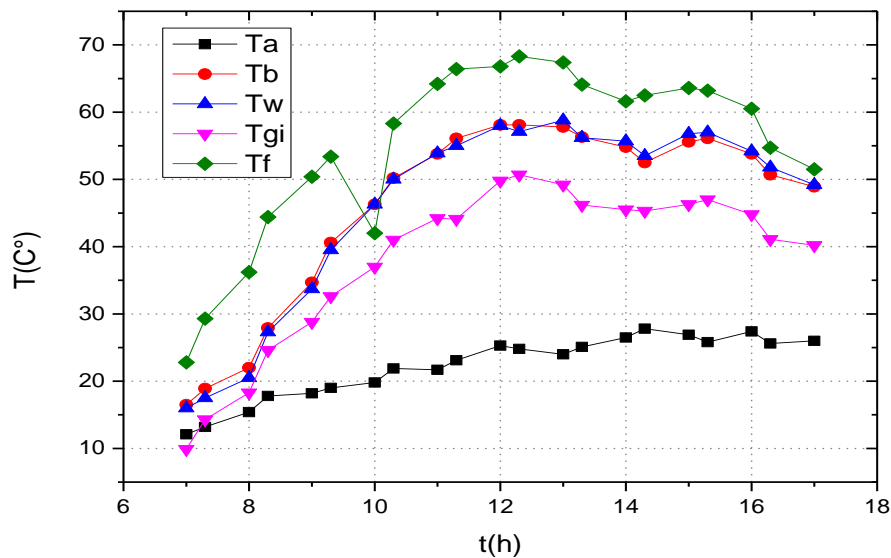


Figure III.11- Variations temporelles des températures des différentes Parties de distillateur solaire pour la journée de 11/04/2017.

3.3.4- La variation temporelle de la chaleur latente de vaporisation:

La figure III.12 montre que la chaleur latente diminue au fur et à mesure avec le temps. Elle atteint des valeurs minimales entre 12h00 et 14h00.

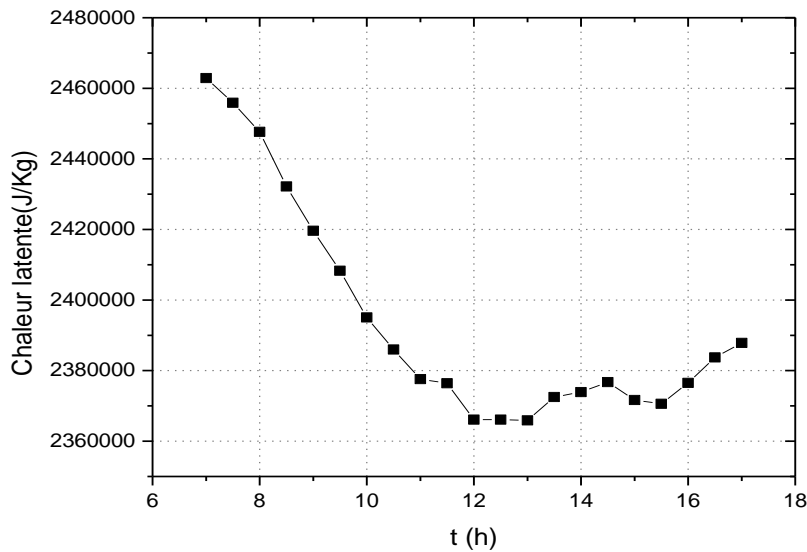


Figure III.12 -Variation temporelle de la chaleur latente pour la journée de 11/04/2017.

3.3.5- Variation des coefficients de transfert de chaleur internes et externes

3.3.5.1- Variation des coefficients le transfert de chaleur internes

La figure III.13 représente les variations des coefficients de transfert de chaleur internes. On observe que les valeurs de coefficient de transfert de chaleur par évaporation est très élevé par rapport aux celles des coefficients de transfert de chaleur par convection $h_{c,e-v}$ et par rayonnement $h_{r,e-v}$ entre la masse d'eau et la surface intérieur du couvercle en verre.

Les valeurs maximales atteignant des coefficients $h_{c,e-v}$, $h_{c,e-v}$, $h_{r,e-v}$ sont 63,5 et 6 W/m²K respectivement

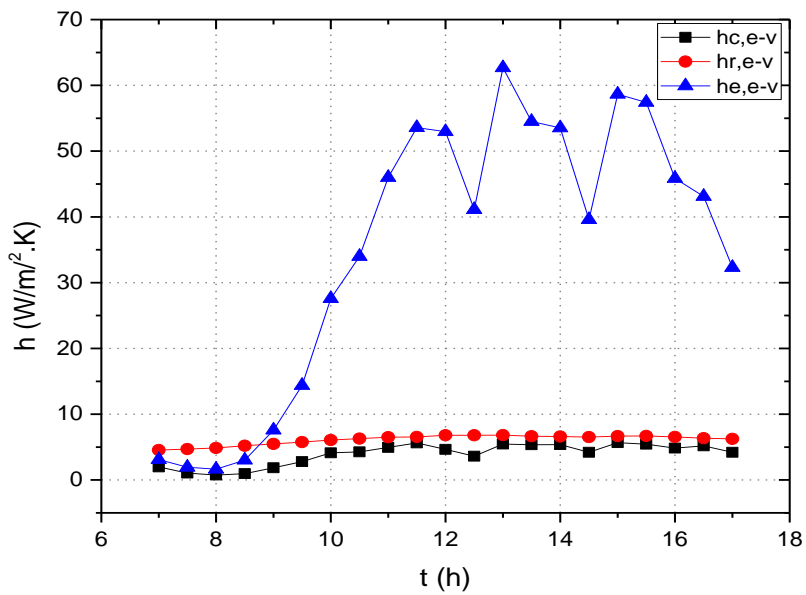


Figure III.13 -Variations temporelles des coefficients de transfert de chaleur internes. pour la journée du 11/04/2017.

3.3.5.2 -Variation des coefficients de transfert de chaleur externes

La figure III.14 représente les variations des coefficients de transfert de chaleur externes. Les valeurs des coefficients de transfert de chaleur par convection $h_{c,go-\alpha}$ et par rayonnement $h_{r,go-\alpha}$ entre la vitre et l'ambiance sont maximales au début de la journée, et elles atteignent 50.8, 30.1 W/m²K respectivement. Puis elles commencent à diminuer avec le temps et se stabilisent aux valeurs 7,8 W/m²K respectivement.

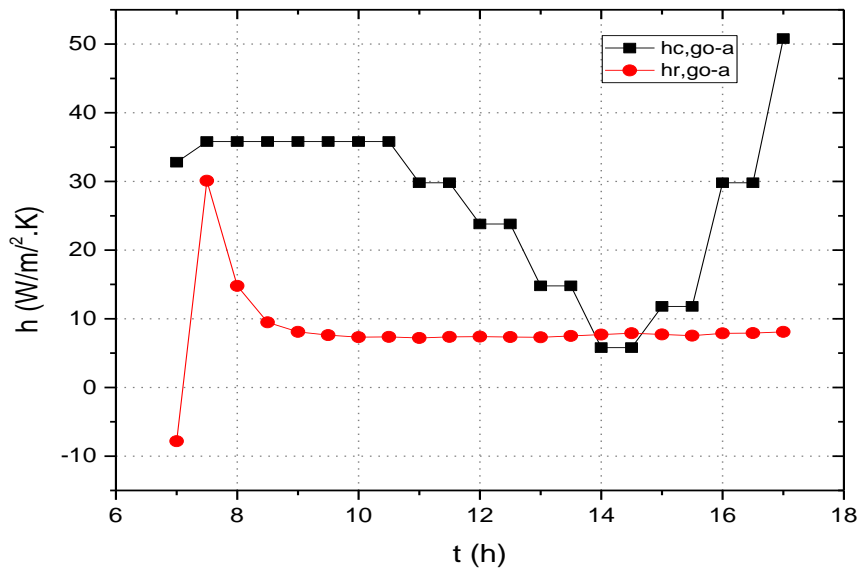


Figure III.14- Variations temporelles des coefficients de transfert de chaleur externes pour la journée du 11/04/2017.

3.3.6 -Variation des pressions partielles P_e et P_v

La figure III.15 représente les variations des pressions partielles à la température de l'eau P_e et à la température de la surface intérieure de la vitre P_v . On peut remarquer que les valeurs des pressions partielles à la température de l'eau est supérieures à celles à la température de la vitre. Les pressions atteignent son maximum entre 13h00 et 14h00. Les valeurs maximales des pressions partielles P_e et P_v sont 18000 et 12500 N/m² respectivement.

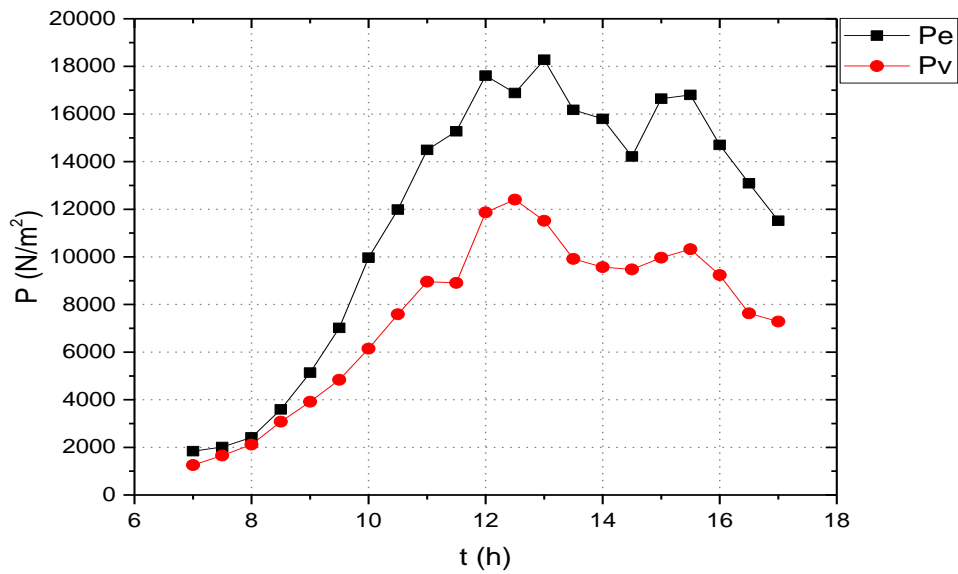


Figure III.15 Variations temporelles des pressions partielles pour la journée du 11/04/2017.

3.3.7- Variation des productions horaire et totale

La figure III.16 présente les variations de les productions horaires calculées et mesurées en fonction de temps. Les courbes ont la même allure, et les valeurs calculées est en bonne accord avec celle de l'expérimental, où l'écart entre les deux était très étroit.

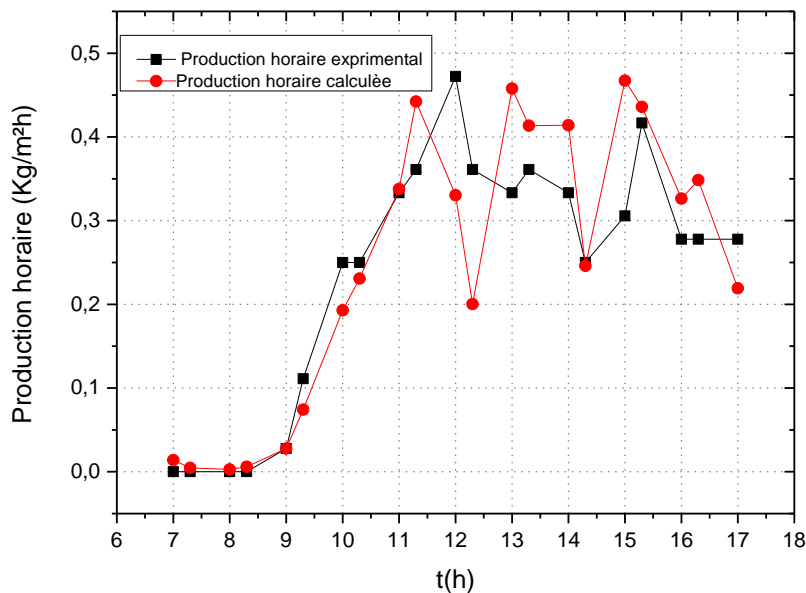


Figure III.16- Production horaire de distillateur solaire pour la journée du 11/04/2017.

La valeur calculée de la production cumulée est 5.2 kg/m^2 , alors que la valeur expérimentale est 5.0 kg/m^2 .

CONCLUSION

L'approvisionnement en eau douce devient un problème de plus en plus important et considéré comme l'un des problèmes les plus menaçants pour les populations de nombreuses régions du monde. Le dessalement de l'eau de mer/saumâtre est désormais possible pour répondre à la demande en eau potable. Parmi les différents processus, la distillation solaire est une solution intéressante. Dans cette étude, le modèle de Dunkle a été appliqué pour prédire le comportement thermique et les performances d'un distillateur solaire conventionnel.

Nous avons calculés les paramètres suivants : les productions horaire et totale, les coefficients de transfert de chaleur internes (par convection, par rayonnement et par évaporation) et externes (par rayonnement et par convection), les pressions partielles. Les valeurs calculées par le modèle de Dunkle de la production ont été comparé avec celle mesurées pendant deux jours typiques de l'année (le 10 et 11 avril 2017) sous les conditions météorologiques de la wilaya de M'sila

La comparaison montre une bonne concordance surtout pour la journée de 11 avril 2017. Donc on peut utiliser ce modèle sur le site de M'sila pour la prédiction des performances d'un distillateur solaire conventionnel.

REFERENCE

REFERENCE

- [1] G.N. Tiwari, H.N. Singh, R. Tripathi, Present status of solar distillation, Solar energy, 2003.
- [2] Telkes Maria, Distillation with Solar Energy, in Solar Energy Research, Daniels and Dune, pp 111-118, 1964.
- [3] Organisation mondiale de la santé, Le traitement d'eau des ménages et le stockage, 22 décembre 2016.
- [4] www.techno-Science.net, La distillation, site d'actualité des sciences et des Technologies.
- [5] N. Boukerzaza, A. Chaker Et Z. Haddad, Influence de l'irradiation globale sur les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire, Revue des Energies Renouvelables, ICRES-07 Tlemcen, pp. 229-234, 2007.
- [6] N. Boukerzaza, Etude de l'effet des pertes thermiques sur les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire, Mémoire magister, Université Mentouri de Constantine, 2005.
- [7] A.E. Kabeel, K. Harby, Mohamed Abdelgaied, Amr Eisa, A comprehensive review of tubular solar still designs, performance and economic analysis, Journal of Cleaner Production, 246, pp. 4-5, 2020.
- [8] D. Bechki, Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes, thèse de doctorat en science, université de Batna, 2011.
- [9] A. Sadi, Le dessalement solaire : considérations techniques, Rev. Energ. Ren. Chemss, 91-97, 2000.
- [10] Mandi Benaissa, analyse-thermo-énergétique d'un procédé de dessalement d'eau de mer par voie solaire, thèse de magister, Université Tlemcen Aboubekr Belkaid, 2013.
- [11] J. Duffie, W. A. Beckman, Solar engineering thermal processes, third edition library of congress cataloging USA, 2006.
- [12] M. Boukar, A. Harmim, M. Amar, Construction et expérimentation d'un distillateur solaire vertical indirect à simple effet, Revue des Energies Renouvelable ICRES-07 Tlemcen, 2007.

REFERENCE

- [13] O. Halloufi, Etude de la performance d'un distillateur solaire par un system de préchauffage solaire de l'eau saumâtre, thèse de magister, université Frère Mentouri Constantine 1, 2010.
- [14] H. Benbacha, A.Y. Maalej, H. Bendhia, Dessalement d'eau par l'énergie solaire, école nationale d'ingénieurs de Sfax, Vol.15, 2010.
- [15] O. Bait, Etude énergétique d'un distillateur solaire multi-étages, thèse de magistère, université de Batna, Vol.72, 2014.
- [16] www.itdg.org/docs/technical_information_service/solar_distillation, Solar Distillation, Intermediate Technology Development Group, 2006.
- [17] A. Chaker, G. Menguy, Efficacite interne d'un distillateur solaire sphérique, Energ. Ren., pp. 53.58, 2001.
- [18] K. Srithar, T. Rajaseenivasan, N. Karthik, M. Periyannan, M. Gowtham, Stand alone triple basin solar desalination system with cover cooling and parabolic dish concentrator, Renew Energy, 90, pp 157–65, 2016.
- [19] T. Arunkumar, Kaiwalya Raj, D. Dsilva Winfred Rufuss, David Denkenberger, Guo Tingting, Li Xuan, R .Velraj, A review of efficient high productivity solar stills, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 101, pp. 197–220, 2019
- [20] S. Gorjian, B. Ghobadian, T. Tavakkoli Hashjin, A. Banakar, Experimental performance Evaluation of a stand-alone point-focus parabolic solar still, Desalination, 352, pp. 1–17, 2014.
- [21] H. Ben Halima, N. Frikha, R. Ben Slama, Numerical investigation of a simple solar Still coupled to a compression heat pump, Desalination, 337, pp. 6–60, 2014.
- [22] K. Sampathkumar, T.V. Arjunan, P. Pitchandi, P. Senthilkumar, Active solar distillation a detailed review, Renewable Sustainable Energy Rev, 14, pp 26, 2010.
- [23] G.N. Tiwari, A.K. Tiwari, Solar distillation practice for water desalination systems, New Delhi, Anamaya Publishers, 2008.
- [24] C. Elango, N. Gunasekaran, K. Sampathkumar, Thermal models of solar still, a comprehensive review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 47, pp. 856–911, 2015.
- [25] Yves Jannot, Transferts thermiques, école des Mines Nante, 2012.
- [26] M. Abu-Arabie, Y. Zurigat, H. Al-Hinai, S. Alhiddabi, Modelling and performance analysis of a solar unit with double-glass cover cooling, Desalination, 143, pp. 173-182, 2002.

Résumé

La distillation solaire est un procédé efficace et économique pour produire de l'eau douce, en particulier dans les zones aride et semi-aride. Le but de ce travail est de vérifier et de prouver la validité du modèle de DUNKLE sous les conditions météorologiques de la région de M'sila pour un distillateur solaire conventionnel. Deux journées typiques de l'année ont été choisies pour faire les mesures expérimentales (le 10 et 11 avril 2017).

Les résultats obtenus montrent une bonne concordance entre les valeurs calculées et mesurées ce qui permet la recommandation de l'utilisation de ce modèle pour la prédiction des performances de distillateur solaire conventionnel sur le site de Msila.

Mots clés : distillateur solaire conventionnel, production horaire, modèle de Dunkle, transfert thermique.

Abstract

Solar distillation is an efficient and economical process for producing fresh water, especially in arid and semi-arid areas. The aim of this work is to verify and prove the validity of the Dunkle model under the meteorological conditions of the M'sila region for a conventional solar still. Two typical days of the year were chosen for making the experimental measurements (April 10 and 11, 2017).

The results obtained show a good agreement between the calculated and measured values, which made it possible to recommend the use of this model for the prediction of the performance of a conventional solar still at the M'sila site.

Key words: Conventional solar still, hourly production, Dunkle model, heat transfer

المخلص

يعد التقطير الشمسي عملية فعالة واقتصادية لإنتاج المياه العذبة ، خاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة . الهدف من هذا العمل هو التحقق من صحة نموذج DUNKLE وإثباتها في ظل الظروف الجوية لمنطقة المسيلة من أجل جهاز شمسي تقليدي. تم اختيار يومين نموذجيين من السنة لإجراء القياسات التجريبية (10 و 11 أبريل 2017). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها اتفاقاً جيداً بين القيم المحسوبة والمقاسة ، مما جعل من الممكن التوصية باستخدام هذا النموذج للتنبؤ بأداء المقطرات الشمسية التقليدية في موقع المسيلة.

الكلمات المفتاحية : مقطر شمسي تقليدي ، الإنتاجية بالساعة ، نموذج Dunkle ، النقل الحراري.