

ORÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**UNIVERSITÉ de BLIDA 1**

**Faculté de Technologie**

**Département de Génie des Procédés**

**Laboratoire des Applications énergétiques de l'Hydrogène**



# Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER EN GENIE DES PROCEDES**

**Spécialité : Génie chimique.**

Intitulé du mémoire

**Contribution à l'étude d'un distillateur solaire  
avec trois modes de chauffage**

Présenté par :

ELKHEIR Rachida

DERMOUCHE Imane

Encadré par :

Pr.ISSAADI Rachid

M. DIAF Abderrahmane (UDES)

Année universitaire 2017/2018

## REMERCIEMENT

Louanges à **Dieu** le tout Puissant l'Omnipotent qui nous a fait la faveur de nous donner le courage, la force et la volonté pour mener à bien ce modeste travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre directeur de mémoire le Professeur ISSAADI Rachid pour son soutien, ses conseils et critiques.

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à notre encadreur monsieur DIAF Abderrahmane et à lui présenter nos sincères remerciements pour avoir bien voulu nous encadrer et mis à notre disposition tous les moyens pour réaliser notre présent mémoire.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury qui nous font nous l'honneur d'évaluer ce modeste de travail.

Nous remercions en particulier madame TEGRINE Zahia et monsieur TASSALIT Djilali pour leurs aides et leurs encouragements durant la période de notre stage au niveau de centre de recherche UDES sans oublier messieurs MAHRANE et BERDJA Mohand.

Nos sincères remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants que nous avons rencontré tout au long de notre formation au niveau de la faculté de technologie de l'université de Saad Dahleb Blida 1 et en particulier ceux du département " génie des procédés"

Nous remercions s'adressent également à tous nos amis et camarades qui nous ont soutenus tout au long de notre démarche. Un grand merci à SOULEF, ROUFEYDA et KHADIDJA, pour leur sincère amitié et leur confiance.

Enfin, nous tenons à exprimer nos remerciements à l'ensemble des personnes qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

## **DEDICACE**

***A mes très chères parents Mohamed et Houria***

*C'est avec une profonde gratitude et beaucoup d'amour que je vous porte et sincères mots, je mets entre vos mains le fruit de longues années d'études, de longs mois de votre tendresse, de longs jours d'apprentissage.*

*Votre soutien et votre encouragement m'ont toujours donné de la force pour persévérer et pour prospérer dans la vie.*

*Chaque ligne de ce mémoire chaque mot et chaque lettre vous exprime la reconnaissance, le respect, l'estime et le merci d'être mes parents.*

***A mes grands mères Yaya (Baya) et djeda(Houria)***

*Je vous dédie ce travail en témoignage de gratitude d'estime et d'attachement. Puisse Allah vous accorder santé, longue vie et prospérité.*

***A mes frères et mes sœurs***

*Avec tous mes vœux de les voir réussir dans leurs vies.  
A mon petit ange Wassim.*

***A mes amies***

*A qui je souhaite le succès, en le remerciant pour l'amitié qui nous a toujours unis.  
A tous ceux qui me sont chers.*

*A tous nos professeurs qui nous ont enseignés.*

*Et pour finir, à ma chère amie Imane avec qui j'ai partagée des moments spéciaux et à qui je souhaite la réussite et le bonheur ainsi qu'à toute sa famille.*

***ELKHEIR Rachida.***

*Je dédie ce mémoire*

***A mes chers parents Abdelkader (sidi bagader) et Fatma Zohra***

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.*

*je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.*

*Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.*

*Puisse Dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie faire en sorte jamais je ne vous déçoive.*

***A mes chers et adorables frères et sœur***

*Mohamed raofe , la prunelle de mes yeux ,Ilyece la douce au cœur si grand ,Noussaiba ma petite sœur que j'adore. Je lui souhaite la Bonne chance et que du bonheur.*

***A mon cher frère Riyadh***

*Mon conseiller, qui m'a assisté dans les moments difficiles et m'a pris doucement par la main pour traverser ensemble des épreuves pénibles ...*

*Je te suis très reconnaissante, et je ne te remercierai jamais assez pour ton amabilité, ta générosité, ton aide précieuse.*

***A ma grande mère Chrifa***

*Qui m'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui donner longue vie et beaucoup de santé et de bonheur.*

***A mes amis de toujours : Asma,kaother et Ahleme :***

*En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.*

***A ma sœur et mon meilleur binôme Rachida***

*Je te souhaite un avenir plein de joie de bonheur de réussite et de sérénité*

*A tous mes connaissances de près ou de loin*

***DERMOUCHE Imane***

# RESUMER

## Resumer

Le présent travail est une contribution à l'étude d'un distillateur solaire conçu avec trois modes de chauffe : un capteur solaire relié directement à l'évaporateur pour chauffer l'eau à distiller, une cuve de stockage d'eau chauffée par deux capteurs solaires et un chauffage par effet de serre. Les performances de ce distillateur désigné distillateur model sont comparées à celles obtenues sur un distillateur dit de référence désigné par distillateur référence avec un condenseur fonctionnant en thermosiphon. Les résultats obtenus montrent en particulier que la production nocturne du distillateur model est plus importante que celle du distillateur référence et ce grâce au système de stockage d'eau chaude alimenté par les deux capteurs solaires durant la journée.

**Mots clés :** distillateur solaire, capteur solaire, thermosiphon, production nocturne.

## Abstract

The present work is a contribution to the study of a solar still designed with three heating modes: a solar captor connected directly to the evaporator to heat the water to be distilled, a water storage tank heated by two captors solar and greenhouse heating. The performances of this distiller designated model are compared with those obtained on a so-called reference distiller designated by distiller reference with a condenser operating in thermosiphon. The results show in particular that the nocturnal production of the distiller model is greater than that of the distiller reference and thanks to the hot water storage system powered by two solar captors during the day.

**Keys words :** solar still, solar captor, thermo-siphon, nocturnal production.

## المخلص

هذا العمل هو مساهمة في دراسة لاقطرلشمسي الذي تم تصميمه بثلاثة طرق للتسخين : لاقطرشمسي يتصل مباشرة مع البخار من سخان الماء المراد تنقيته بمرحلة التبخير لاقطرلشمسي الذي بدوره يتسخن بواسطة لاقطين للحرارة الشمسية و للفعيئة. نحتاج هذا لاقطرلشمسي للمساهمة في النموذج تم قيارتها مع قاطرشمسي اخر مرجعي مساهمة لمرجع مع مختلفي عملين ظاهرا في التكلفة، التكاليف التي تحصل عليها لتظهير بشكل خاص ان الإنتاج اليومي للقاطرلشمسي افضل بكثير من إنتاج لاقطرلشمسي، وتكفي لظواهر نظام تخزين الماء لاساخن والقاطرلشمسي المتصل مباشرة مع البخار.

**الكلمات المفتاحية :** لاقطرلشمسي، لاقطرشمسي، لاقطرلشمسي، التكاليف، الإنتاج اليومي.

# TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 : DESSALEMENT SOLAIRE.....</b>	<b>3</b>
1.1. L'eau saumâtre.....	3
1.2. Thermo solaire .....	3
1.3. Dessalement.....	4
1.3.1. Types de procédés industriels utilisés.....	4
1.4. Capteurs solaires .....	6
1.4.1. Description des différentes composantes d'un capteur .....	6
1.4.2. Différents types de capteurs solaires.....	8
1.5. Distillation solaire.....	11
1.5.1. Travaux antérieurs.....	11
1.5.2. Composants d'un distillateur solaire.....	12
1.5.3. Contexte de la distillation solaire.....	12
1.5.4. Classification des systèmes de distillation solaire .....	13
1.5.5. Caractéristique de fonctionnement d'un distillateur .....	16
1.6. Transfert thermique.....	20
1.6.1. Conduction.....	20
1.6.2. Convection .....	20
1.6.3. Rayonnement .....	20
<b>CHAPITRE 2 : DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX ET METHODES DE MESURES .....</b>	<b>22</b>
2.1. Dispositifs expérimentaux des deux distillateurs solaires.....	22
2.1.1. Distillateur solaire simple avec un condenseur fonctionne en thermosiphon (distillateur référence).....	22

2.1.2. Distillateur solaire simple avec trois options de chauffage (distillateur model).....	23
2.2. Conception des distillateurs solaires .....	24
2.3. Niveau principale d'exploitation d'énergie solaire .....	24
2.4. Méthodes de mesure et analyses .....	25
2.4.1. Mesure de caractéristiques de l'eau .....	25
2.4.2. Mesure de débit du distillat .....	26
2.4.3. Mesure de la température sur plusieurs endroits dans les distillateurs .....	27
2.4.4. Mesure de flux solaire.....	28
<b>CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS .....</b>	<b>29</b>
3.1. comparaison de la production .....	30
3.1.1. Effet de trois systèmes de chauffage.....	30
3.1.2. Systèmes de chauffage .....	31
3.2. Performance énergétique.....	36
3.2.1. Comparaison entre les deux distillateurs avec tous les systèmes de chauffage.....	38
3.2.2. Comparaison entre le distillateur référence et les trois systèmes de chauffages .....	39
3.3. Irradiation .....	41
3.4. Analyses d'eau distillée .....	45
3.5. Aspect économique, Estimation de prix de 1 litre d'eau .....	46
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>47</b>

# NOMENCLATURE

## ABREVIATIONS

<b>AMB</b>	Ambiant.
<b>CCPs</b>	Champ des Capteurs Cylindro Parabolique.
<b>CPC</b>	Compound Parabolic Concentrator.
<b>COND MOD</b>	Condenseur Model.
<b>COND REF</b>	Condenseur Référence.
<b>Ch</b> :	Channel.
<b>CN</b>	Corps Noir.
<b>DA</b>	Dinar Algérienne.
<b>Dec</b>	Décembre.
<b>EVAP MOD</b>	Evaporateur Model.
<b>EVAP REF</b>	Evaporateur Référence.
<b>F.P</b>	Facteur de Performance.
<b>F.P.B</b>	Facteur de Performance Brut.
<b>F.P.H</b>	Facteur de Performance Horaire.
<b>MES</b>	Matière En suspension.
<b>Mod</b>	Model.
<b>Nov</b>	Novembre.
<b>OECD</b>	The Organization for Economic Co-operation and Development
<b>Oct</b>	Octobre.
<b>pH</b>	potentielle d'hydrogène.

<b>Pr</b>	Production.
<b>Ref</b>	Référence
<b>Sep</b>	Septembre.
<b>TDS</b>	Taux De Salinité.
<b>TH</b>	Titre Hydrotimétrique.
<b>TSI</b>	Total Solar Irradiation.
<b>UDES</b>	Unité de Développement des Equipements Solaires.

## SYMBOLES

<u>Notation</u>		<u>unité</u>
$A_G$	Surface de l'évaporateur	$m^2$
$\Delta E$	Energie d'activation.	$kJ/kg$
$G$	Puissance de rayonnement solaire incident par unité de surface	$W/m^2$
$h$	Coefficient de transfert de chaleur par convection	$W/m^2 K$
$h_{ev}$	Enthalpie d'évaporation	$J/kg$
$I_G$	La puissance du rayonnement solaire incident par unité de surface	$W/m^2$
$L_v$	La chaleur latente de vaporisation	$J/kg$
$m$	La masse de distillat	$kg$
$\dot{m}$	Débit massique de distillat	$kg/s$
$Q_{ev}$	Flux de chaleur d'évaporation	$W$
$Q_w$	Flux de chaleur reçue par la masse d'eau	$W$
$S$	Section	$m^2$
$T$	Température	$K$
$T_a$	Température ambiante.	
$T_p$	Température de la surface solide.	$K$
$T_s$	Température de la surface du corp.	$K$
$T_\infty$	Température du fluide loin de la surface solide.	$K$
$\frac{dT}{dX}$	Gradient de température.	$K/m$
$X$	La fonction de taux dépendant de la température (le débit de distillat)	$ml/m^2 .J$
$X_0$	Constante de vitesse déterminée expérimentalement.	-
$Y$	Le prix de 1 litre d'eau produite.	$DA$

## SYMBOLES GRECQUES

$\alpha_t$	Etant le coefficient d'absorption fictif de la masse d'eau	-
$\alpha_w, \alpha_b$	Les facteurs d'absorption du l'eau et du fond de la distillation	-
$\sigma$	constante de Stéphan Boltzmann	<b>W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-4</sup></b>
$\varepsilon$	coefficient d'émission de la surface ( $\varepsilon= 1$ pour un corps noir, $\varepsilon \ll 1$ pour un corps brillant)	-
$\Phi$	Le flux de chaleur par conduction, convection et rayonnement	<b>W</b>
$\lambda$	Conductivité thermique du matériau	<b>W/m.K</b>
$\tau_w, \tau_g$	Les facteurs de transmission de l'eau et de la vitre	-
$\eta$	Rendement d'une distillation	<b>%</b>
$\eta_g$	Efficacité globale	<b>%</b>
$\eta_i$	Efficacité interne	<b>%</b>

## LISTE DES ILLUSTRATIONS GRAPHIQUES ET TABLEAUX

### LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.1</b>	Principe d'un système de dessalement	4
<b>Figure 1.2</b>	Principaux procédés industriels de dessalement d'eau de mer	5
<b>Figure 1.3</b>	Coupe de capteur plan bien détaillé	8
<b>Figure 1.4</b>	Capteur cylindro-parabolique	9
<b>Figure 1.5</b>	Représente une coupe de capteur CPC	10
<b>Figure 1.6</b>	Système de distillateur solaire à double vitrage couplé avec un capteur incliné	13
<b>Figure 1.7</b>	Dispositif du distillateur solaire à étage multiple	14
<b>Figure 1.8</b>	Distillateur solaire sphérique à balayage	15
<b>Figure 1.9</b>	Schéma de distillateur à cascade	16
<b>Figure 2.1</b>	Distillateur solaire simple avec un condenseur fonctionne en thermosiphon	22
<b>Figure 2.2</b>	Distillateur solaire avec trois options de chauffage	23
<b>Figure 2.3</b>	Schéma du distillateur model en 3D	23
<b>Figure 2.4</b>	Appareil de multi-paramètres	25
<b>Figure 2.5</b>	Le turbidimètre	25
<b>Figure 2.6</b>	Le data logger couplé avec le logiciel d'acquisition et l'affichage des résultats sur l'Excel	26
<b>Figure 2.7</b>	Représente la position de pyranomètre.	27
<b>Figure 3.1</b>	Profil de température en fonction de temps (24h).	29
<b>Figure 3.2</b>	Histogramme de la production mensuelle des 02 distillateurs	30
<b>Figure 3.3</b>	Production journalière de distillateur model sans effet de serre et le distillateur référence	31
<b>Figure 3.4</b>	Production nocturne par rapport à la production journalière pour le distillateur référence	32
<b>Figure 3.5</b>	Production nocturne par rapport à la production journalière pour le distillateur model	32
<b>Figure 3.6</b>	Histogramme comparatif de la production nocturne des deux	

	distillateurs solaire	33
<b>Figure 3.7</b>	Evolution de la production en fonction de la température des deux distillateurs solaires	34
<b>Figure 3.8</b>	Profil de production en fonction de la température maximale	35
<b>Figure 3.9</b>	Linéarisation de la loi d'Arrhenius $\ln(p_r)$ en fonction de $1/T_{max}$ et $1/T_{moy}$ du distillateur model	36
<b>Figure 3.10</b>	Comparaison énergétique des deux distillateurs solaire	36
<b>Figure 3.11</b>	Logarithme de la production du distillateur model sans effet de serre et du distillateur solaire référence en fonction de leur $1/T_{max}$	37
<b>Figure 3.12</b>	Logarithme de la production du distillateur model sans préchauffage et du distillateur référence en fonction de leur $1/T_{max}$	38
<b>Figure 3.13</b>	Logarithme de la production du distillateur model sans stockage de chaleur et du distillateur référence en fonction de leur $1/T_{max}$	39
<b>Figure 3.14</b>	Irradiation solaire en fonction de temps de la journée de mois de mai	41
<b>Figure 3.15</b>	Irradiation solaire en fonction de température maximale de distillateur model	42
<b>Figure 3.16</b>	Irradiation solaire en fonction de température maximale de distillateur référence	42
<b>Figure 3.17</b>	Logarithme de la production en fonction de l'irradiation réciproque pour les deux distillateurs	43

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 2.1</b>	Dimensionnement des deux distillateurs solaires.	24
<b>Tableau 2.2</b>	Éléments du capteur et leurs caractéristiques.	25
<b>Tableau 3.1</b>	Valeurs de l'énergie d'activation et quantités de chaleur pour les trois systèmes de chauffage, comparaison avec les valeurs de distillateurs solaire.	40
<b>Tableau 3.2</b>	Résultat des analyses de l'eau avant et après traitement.	44
<b>Tableau 3.3</b>	Normes de la dureté d'eau douce.	44
<b>Tableau 3.4</b>	Normes de salinité, de conductivité, pH, TDS, et la turbidité de l'eau douce.	44
<b>Tableau 3.5</b>	Variation temporelle de la production de distillat pendant une année.	45

# **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

La croissance démographique et l'augmentation des activités humains entraîne la diminution des ressources en eau disponibles par leurs utilisation pour l'agriculture, l'industrie et par la diminution de la qualité des ressources par les effets de la pollution. Le rapport sur les perspectives de l'environnement à l'horizon 2050 de l'OCDE prévoit une augmentation de l'utilisation de l'eau douce d'environ 3500 à 5500 Km<sup>3</sup> entre l'année 2000 et l'année 2500 [1].

La rareté de l'eau potable n'est pas le seul déficit de notre siècle, le changement climatique et la pollution du milieu naturel, privilégient l'utilisation de l'énergie solaire, cette dernière offrant l'avantage d'être inépuisable, gratuite et respectueuse de la santé et de l'environnement.

Face à ce problème crucial, le dessalement des eaux salées et/ou des eaux saumâtres apparait comme l'une des solutions possibles à la survie de l'humanité. Parmi les techniques utilisées dans ce domaine, et pour des besoins relativement faibles d'eau potable, la distillation solaire peut être une solution très intéressante surtout dans les endroits désertiques et arides.

Différents modèles de distillateurs solaires ont été conçus à travers le monde et les effets de différents paramètres sur le rendement ont été étudiés.

L'objectif de ce travail est de comparer deux types de distillateurs solaires, pour la production d'eau potable : un distillateur solaire à simple effet avec trois options de chauffage (un capteur solaire relié directement avec l'évaporateur pour chauffer l'eau à dessaler, une cuve de stockage d'eau chauffée par deux capteurs solaires et la troisième option c'est le chauffage par effet de serre et un distillateur solaire avec un condenseur fonctionnant en thermosiphon.

Le mémoire est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre contenant trois parties essentielles

- La première partie donne un aperçu sur le dessalement et leurs différents procédés

- La deuxième partie est consacrée à la présentation des différents composants d'un capteur solaire, ainsi que quelques types de capteurs solaires
- La troisième partie a l'intérêt d'exposer la distillation solaire et les différents composants avec les modèles qui existent dans le domaine de dessalement.

Dans le deuxième chapitre, nous exposerons les matériels et les méthodes utilisés dans notre travail avec les schémas des deux distillateurs utilisés.

Le troisième chapitre regroupera les résultats expérimentaux, leurs exploitations et leurs interprétations où une partie sera consacrée aux bilans thermiques

On terminera par une conclusion générale auquel nous avons abouti à l'issue de ce travail.

**CHAPITRE 1**  
**DESSALEMENT SOLAIRE**

## CHAPITRE 1

### DESSALEMENT SOLAIRE

L'eau et l'énergie sont deux des sujets les plus importants au niveau du programme de développement sur l'environnement international. La santé économique et sociale du monde moderne dépend de l'approvisionnement durable en énergie et en eau. La combinaison de ses deux ressources permettra d'économiser les énergies.

#### 1.1. L'eau saumâtre

On appelle généralement, eau saumâtre, une eau saline non potable, de salinité inférieure à celle de l'eau de mer.

En fait, la plupart des eaux saumâtres ont une salinité comprise entre 1 et 10 g/L. Elles se présentent soit, sous forme d'eaux de surface, soit sous forme souterraine. Les différentes teneurs en ions (Mg, Ca, F,...) peuvent être très variées selon l'origine de l'eau [2].

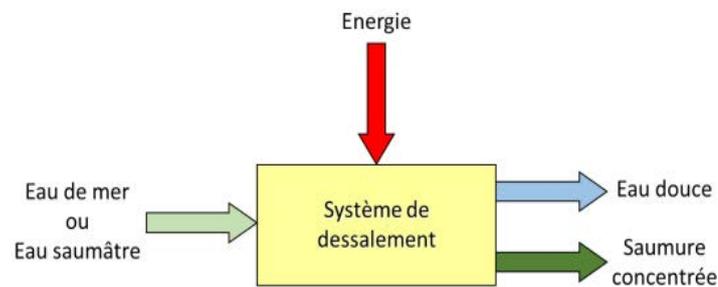
#### 1.2. Thermo solaire

Un des moyens pour profiter directement de l'énergie des photons émis par le soleil est le chauffage à partir des capteurs thermiques. Ils se comportent comme une serre où les rayons du soleil cèdent leur énergie à des absorbeurs qui, à leur tour, réchauffent le fluide circulant dans l'installation de chauffage. La température du fluide peut atteindre jusqu'à 60 °C voire 80°C. Ce système est totalement écologique, très peu cher et la durée de vie des capteurs sont élevée. Une autre propriété qui rend ce type de capteurs universel est que l'ensoleillement ne doit pas forcément être direct ce qui signifie que, même dans des zones couvertes de nuages (peu denses évidemment) le fonctionnement reste correct. Le grand inconvénient est l'impossibilité de transporter l'énergie ainsi captée à grande distance. Cette source est donc à utilisation localement (principalement pour le chauffage individuel ou chauffage des piscines). En 2003, environ 14.000 m<sup>2</sup> de capteurs de ce type ont été en exploitation dans l'Union Européenne avec une croissance annuelle de 22 %. Une autre application de la technique thermo solaire est la production d'eau douce par distillation qui est très intéressante pour les pays en voie de développement [3].

### 1.3. Dessalement

le dessalement est un procédé destiné à éliminer les minéraux dissous dans l'eau de mer ou l'eau saumâtre ( $\text{Ca CO}_3$ ,  $\text{Na Cl}$ ,  $\text{Mg Cl}_2$  ...etc. . y compris les matières en suspension ) .

Les procédés qui peuvent être utilisés pour obtenir de l'eau pure à partir d'une eau salée sont nombreux et basés sur différents principes .Le choix du procédé particulier est approprié est basé sur des facteurs dépendants des caractéristiques de l'eau salée à savoir sa salinité, sa température et les matières en suspension mais aussi des besoins de la région d'implantation de l'unité de dessalement [4]. Le principe d'un système de dessalement est présenté sur la figure 1.1



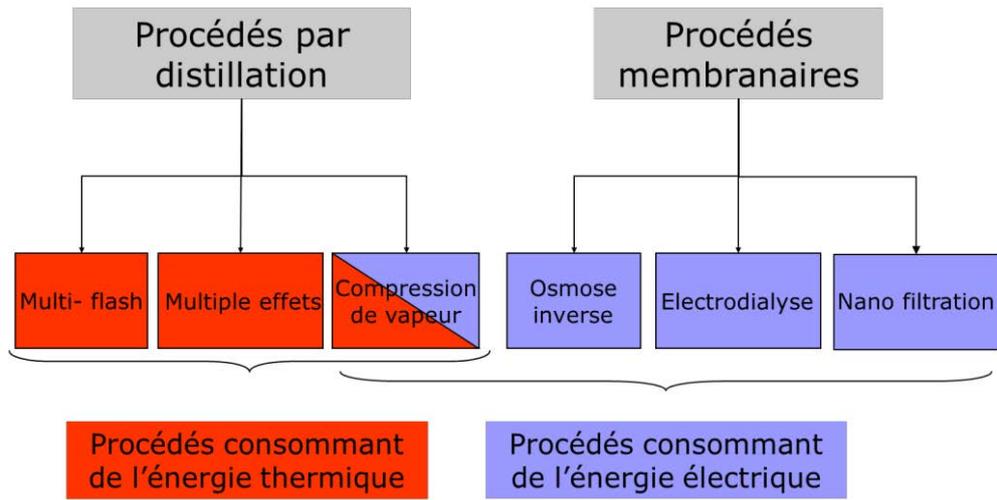
**Figure 1-1 : Principes d'un système de dessalement**

#### 1.3.1. Types de procédés industriels utilisés

Les principaux procédés industriels actuellement utilisés se classent en deux catégories : les procédés de distillation et les membranaires.

Selon la nature du procédé mis en jeu, la capacité de production peut varier de quelques litres par jour à plusieurs centaines de milliers de mètres cubes par jour.

Le choix du procédé mis en œuvre dépend de multiples paramètres mais en premier lieu de la nature de l'eau à traiter eau de mer ou eau saumâtre, de la capacité de production souhaitée, et de la source d'énergie disponible comme indiqué sur la figure 1. 2 [4].



**Figure 1-2 : Principaux procédés industriels de dessalement d'eau de mer**

## 1.4. Capteurs solaires

Les capteurs solaires sont une solution écologique pour la production de l'eau chaude, mais peuvent également contribuer au chauffage des pièces. Ils peuvent être utilisés en combinaison avec toute autre méthode de production de chaleur en cas de faible ensoleillement. Leur choix dépend de la température désirée, du fluide à chauffer et des conditions climatiques pendant la période d'utilisation du système. Il existe différents types de capteurs solaires pour chauffer les fluides.

### 1.4.1. Description des différentes composantes d'un capteur

Trois composants essentiels du capteur solaire sont : la couverture transparente, l'absorbeur et l'isolant.

- **La couverture transparente**

La couverture doit laisser traverser le maximum de flux solaire, c'est-à-dire transparente à la lumière mais non pas conductrice de la chaleur émise par l'absorbeur. Le verre est considéré comme une couverture pour les installations solaires thermiques. Le verre permet de laisser passer le rayonnement solaire et d'arrêter le rayonnement infrarouge réémis par l'absorbeur. La chaleur est donc bloquée entre l'absorbeur et la couverture : c'est l'effet de serre. Les matériaux transparents utilisés sont, le verre en simple ou double vitrage, trempé (bonne résistance aux chocs) ou non, ou certains matériaux plastiques ayant les propriétés de permettre l'effet de serre. Les inconvénients du verre sont sa fragilité, son poids et son prix élevé en double vitrage. L'inconvénient principal des matériaux plastiques est la dégradation de certaines de leurs propriétés, avec le temps pour certains, ou le prix élevé pour d'autres [5].

- **Absorbeur**

L'absorbeur n'est qu'une plaque plane en métal dont la couche superficielle donnant sur le soleil, doit être douée d'un coefficient d'absorption le plus élevé possible. Les meilleurs coefficients sont de l'ordre de 0,95. Seules les couleurs foncées permettent d'obtenir des valeurs aussi élevées, l'idéal étant le noir évidemment. Par ailleurs, il vaut mieux que cet aspect soit obtenu par un traitement (chimique ou autre) plutôt que par une couche de peinture. Pour limiter les pertes par réémission de rayonnement infrarouge, il importe que l'absorbeur possède aussi la propriété d'émissivité superficielle la plus faible possible (valeur inférieure à 0,15). Dans ce cas, l'absorbeur sera qualifié de sélectif [6].

- **Le fluide caloporteur**

Le rôle principal du fluide est de transporter la chaleur, entre l'absorbeur et l'endroit de l'utilisation ou de stockage. Parmi les fluides caloporteurs les plus utilisés sont l'eau et l'air.

L'eau est économique mais elle risque de geler pendant l'hiver à moins de la chauffer légèrement en prélevant un peu d'eau tiède sur le circuit traditionnelle. L'eau additionnée d'un antigel semble résoudre ce problème. D'un autre côté à des hautes températures, la phase vapeur apparaît par l'ébullition, ce phénomène peut être maîtrisé par le moyen de la mise en pression du système. L'eau calcaire à aussi l'inconvénient de déposer du tartre dans les canalisations.

L'air est abondant et gratuit, et possède une faible capacité calorifique. Il est nécessaire d'utiliser 3000 litres d'air pour véhiculer autant d'énergie qu'un litre d'eau. L'air présente un autre avantage par rapport à l'eau, c'est l'absence des problèmes de gel et de corrosion [7].

- **L'isolation**

L'isolation joue un rôle très important, pour limiter les pertes thermiques par conduction vers le milieu environnant du capteur solaire. Ces pertes thermiques ont lieu principalement par la façade arrière du capteur et, dans une moindre mesure, par ses différentes faces latérales. Un bon isolant doit avoir les qualités suivantes :

- une faible conductivité thermique.
- une faible densité (pour une faible chaleur inertie thermique).
- une faible chaleur massique.

Trois types d'isolants sont généralement employés. Ce sont :

- les isolants minéraux (la pierre ponce, la laine de verre, la vermiculite).
- les isolants d'origine végétale (le bois bien sec, la sciure de bois).
- les isolants organiques (les matières plastique, la mousse de polyuréthane, le polystyrène) [8].

### 1.4.2. Différents types de capteurs solaires

Les principaux types de capteurs solaires qui existent sont : les capteurs plans, les capteurs cylindro-paraboliques et les capteurs CPC (compound parabolic concentrator),

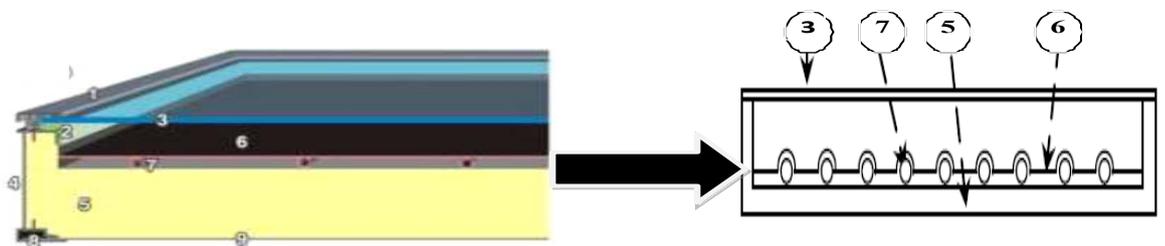
#### a- Capteurs plans

Les capteurs plans absorbent le rayonnement solaire au moyen d'une plaque peinte en noir et munie de fines conduites destinées au fluide caloporteur. Lorsqu'il traverse les conduites, sa température (liquide ou air) augmente en raison du transfert de chaleur reçue par la plaque absorbante.

L'énergie transmise au fluide caloporteur influe directement sur le rendement instantané du capteur.

Comme une serre, les capteurs plans sont munis d'un vitrage transparent, qui piège l'énergie calorifique s'échappant de la plaque absorbante. Ils peuvent chauffer les fluides caloporteurs à des températures légèrement supérieures à 80 °C, avec un rendement variant entre 40 % et 80 %.

L'efficacité des capteurs dépend de l'angle qu'ils forment avec le plan horizontal. Leur inclinaison optimale varie selon la latitude de l'installation. Le fluide utilisé dans le système de chauffage solaire est l'air ou un liquide (eau ou mélange eau-antigel) ; le stockage thermique s'effectue généralement dans un accumulateur à pierre ou un réservoir d'eau bien isolé. la figure (1.3) représente une coupe de capteur plan [7].



**Figure 1.3 : coupe de capteur plan bien détaillé.**

- |                       |                         |                            |
|-----------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1. Cadre              | 4. Paroi latérale isolé | 7. Tuyauterie              |
| 2. Scellement étanche | 5. Isolant thermique    | 8. Profilé d'arrimage      |
| 3. Vitrage            | 6. Absorbteur plan      | 9. Paroi inférieure isolée |

## **b- Capteur cylindro-parabolique**

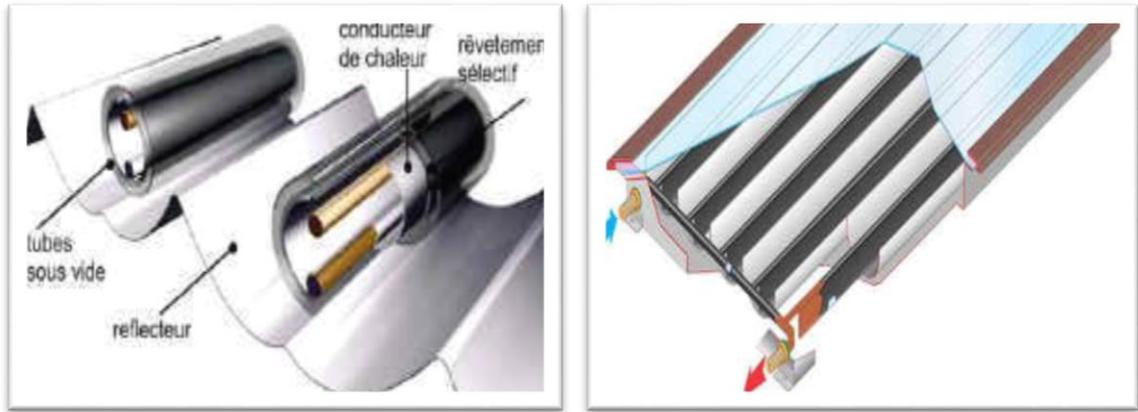
Les concentrateurs solaires utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques (figure 1.4) pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement, ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil. Dans un concentrateur cylindro-parabolique, le fluide caloporteur (Huile thermique ou gaz) peut être porté à environ 400 °C. Dans les concentrateurs paraboliques, on peut obtenir des températures plus élevées (jusqu'à 1500 °C). Ces types de collecteurs solaires sont plus adaptés pour la production de chaleur industrielle et d'électricité [9].



**Figure 1.4 : Capteur cylindro-parabolique**

## **d-Capteur CPC (Compound Parabolic Concentrator)**

C'est un capteur plan ou à tubes sous vide avec un réflecteur "concentrateur à segments paraboliques" (figure 1.5). Les réflecteurs CPC ont une géométrie qui permet au rayonnement solaire direct et diffus d'atteindre l'absorbeur, car la surface de l'absorbeur est cylindrique couvrant la totalité de la surface du tube intérieur. Ainsi, la partie face au soleil peut capter le rayonnement direct et la partie cachée peut capter le rayonnement par réflexion [6].



**Figure 1.5 : représente une coupe de capteur**

## 1.5. Distillation solaire

La distillation constitue aujourd'hui 70% des usines de dessalement dans le monde .Elle devient un facteur important de développement et de civilisation. Dans ce qui suit, les différentes techniques de dessalement seront exposées.

### 1.5.1. Travaux antérieurs

En 2009 I.TABAT E et N.BELLEL. [10] présentent un travail visant à améliorer le distillateur à cascade d'une façon économique et moins chère. Les résultats des essais sur le dispositif conduisent a un rendement journalier du distillateur solaire est de 1.8l /m<sup>2</sup>/jour pour une surface de l'absorbeur de 0.436 m<sup>2</sup>. Le prix de revient d'un litre d'eau distillée a été estime à 20 DA, avec la période de remboursement et de 200 jours.

En 2012 A.BENARIM. [11] a essayé d'améliorer la capacité de l'absorbeur d'un distillateur solaire par l'ajout d'une couche de sable de différents diamètres des grains. Les résultats montrent que le débit de l'eau distillée augmente avec la masse du sable et la finesse de ses grains .en conséquence, avec un diamètre 0.08 mm et une masse de sable 300g, le pourcentage d'amélioration de la production s'élève à 50%.

En 2015 M.SHASHIKANTH,BINOD KHADKA et al, [12]présentent un travail sur la distillation solaire par l'utilisation des matériaux de stockage d'énergie en raison de leur caractéristique de stockage de l'énergie thermique par changement de phase et de leur capacité à fournir des densités de stockage d'énergie plus élevées. Ces matériaux sont capables de stocker l'énergie thermique solaire dans une direction et de la libérer dans une autre direction sans pertes de chaleur. Dans ce même travail, l'efficacité du solaire est encore améliorée à l'aide de matériaux à changement de phase. Un essuie-glace qui pousse l'eau vers le plat collecteur est également incorporé. L'effet combiné des matériaux à changement de phase et des essuie-glaces améliore l'efficacité et la productivité.

En 2016 A.K.KAUSHAL, M.K.MITTAL et al, [13] ils ont présenté une étude expérimentale sur un alambic solaire de type bassin ayant un double couvercle en verre incliné et comportant une seule cellule de distillation verticale composée de deux plaques parallèles verticales étroitement espacées, au niveau de la paroi arrière. Le côté de l'eau d'alimentation de la plaque a été recouvert d'une structure de mèche cloisonnée et des canaux d'eau d'alimentation individuels ont été utilisés pour chacune des zones de structure

de mèche cloisonnées pour assurer un mouillage uniforme de la mèche. Afin d'augmenter la productivité du distillateur proposé, la chute de température à travers la cellule de distillation a été maintenue basse en contrôlant le refroidissement de la deuxième plaque en plaçant une troisième plaque verticale externe à un intervalle de 25 mm de la deuxième plaque de distillation. L'efficacité cumulée de l'écartement amélioré de 10 mm proposé pour la séparation était de 10 à 15% (magnitude) plus élevée que celle du type de bassin conventionnel de la même zone de bassin et de la même couverture de verre.

En 2017 R.GUGULOTHU ,N.SARADA SOMANCHI et al, [14] ils ont travaillé principalement sur la distillation de l'eau par énergie solaire avec différents matériaux à changement de phase avec des réflecteurs internes, du sulfate de sodium , de la cire de paraffine (blanche ) sont utilisés comme matériaux à changement de phase, parmi ceux-ci , la cire de paraffine(blanche)donne un meilleur rendement en eau de distillation.

### **1.5.2. Composants d'un distillateur solaire**

La technique de dessalement de l'eau de mer à l'énergie solaire utilisant un distillateur simple, basée sur le principe de l'effet de serre généralement, fait intervenir une installation qui se compose de [15]:

- Un recouvrement transparent en verre ou parfois en plastique mis en pente. Le verre est recommandé pour les applications à long terme mais il est généralement coûteux, fragile et lourd. Le plastique (tel que polyéthylène) peut être choisi pour usage de courte durée, à cause de sa faible résistance à la chaleur.
- Un bassin recouvert d'une couche noire absorbante. La plaque de l'absorbeur est généralement en métal, le plus couramment le cuivre, l'acier inoxydable ou bien l'aluminium.
- Pour l'isolation, on place une ou plusieurs couches d'isolant du type laine de verre, polystyrène, mousse de polyuréthane...etc.

### **1.5.3. Contexte de la distillation solaire**

Ce procédé consiste à chauffer de l'eau directement par le rayonnement solaire dans une enceinte fermée recouverte de vitrage. La vapeur produite, qui se condense sur le vitrage plus froid et légèrement inclinée est recueillie sous forme de condensat dans des gouttières. Le principe est très simple et fiable. On l'appelle aussi procédé par changement d'état, c'est une opération qui peut être effectuée par le chauffage ou par la réduction de la

pression ou de l'eau salée qui est transformée en vapeur d'eau, l'eau pure est ainsi obtenue par condensation [15].

#### 1.5.4. Classification des systèmes de distillation solaire

La classification des modes de distillation solaire est connue à travers la revue de la littérature et les publications qui sont élaborées et reprises par plusieurs chercheurs.

##### a. Distillateur solaire à bassin simple et à double pente

C'est un distillateur à double vitrage en verre où chacun d'eux est incliné d'un angle, son avantage est d'exposer la première surface inclinée au soleil et un autre à l'ombre pour accélérer la condensation [16]. L'énergie solaire entrant par le couvercle est absorbée par l'eau et le fond noirci puis elle est transmise à l'air par conduction, convection et par rayonnement.

Pour être un distillateur de type actif il faut ajouter au système un chauffe-eau solaire (capteur solaire) qui chauffe l'eau saumâtre ou bien l'eau de mer. L'eau du bassin est donc chauffée directement et indirectement par le capteur plan qui est connecté et intégré au bassin en utilisant des tuyaux isolés et une pompe pour faire circuler l'eau. Elle est entraînée directement par le courant continu, mais elle fonctionne que pendant les heures d'ensoleillement comme présente la figure (1.6) [17].

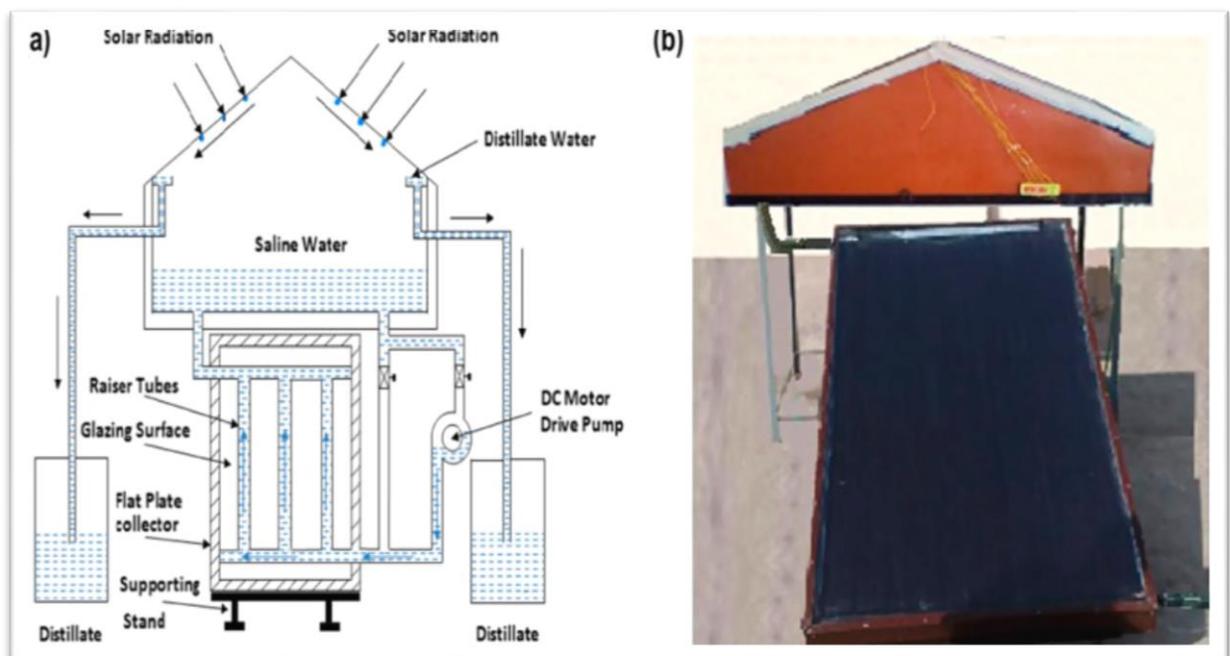
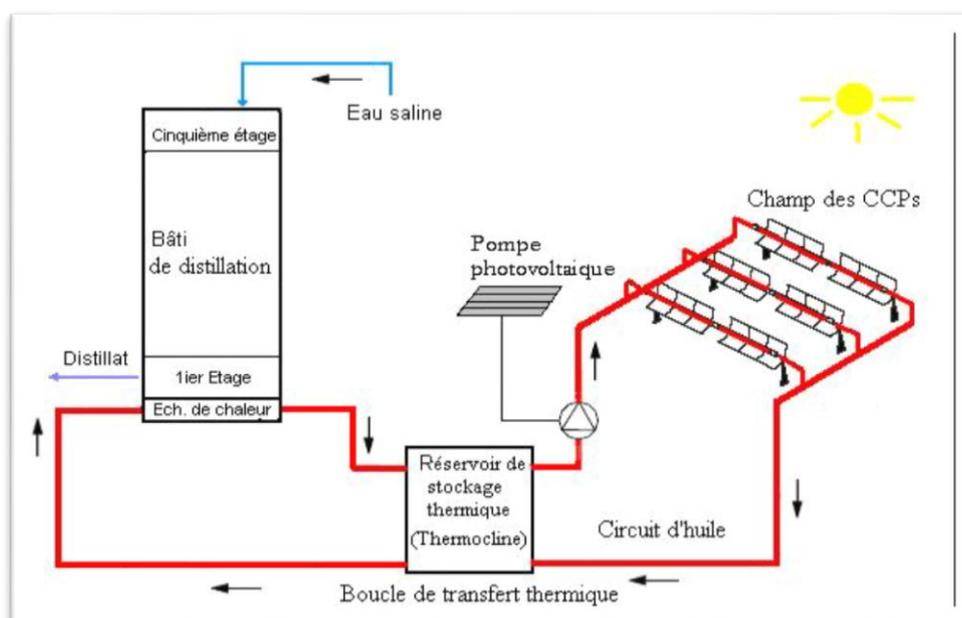


Figure 1.6 : système de distillation solaire à double vitrage couplé avec un capteur incliné

## **b. Distillation solaire à étages multiples avec récupération de la chaleur**

Le distillateur est basé sur la construction d'un bâti constitué de plusieurs bassins contenant de l'eau saline, superposés les uns sur les autres et qu'on qualifie d'étages, de telle sorte tel que chaque bassin utilise la chaleur de condensation de la vapeur d'eau provenant de l'étage inférieur. Seul le bassin inférieur est alimenté en énergie thermique et l'alimentation de cette énergie est faite avec un champ des capteurs cylindro-parabolique (CCPs) combiné avec un stockage thermique et ensuite avec un échangeur de chaleur. Le fluide caloporteur (l'huile) qui circule dans ce compartiment une fois chauffée transmet son énergie au premier bassin qui contient de l'eau qui s'évapore. Cette vapeur se condense au contact de la surface inférieure de bassin conique située au-dessus. Les gouttelettes d'eau formées s'écoulent vers une gouttière qui les conduit au stockage. A la condensation de la vapeur d'eau, l'énergie de conversion de phase, appelée aussi la chaleur latente d'évaporation, est libérée. Cette énergie réchauffe l'eau contenue dans l'étage supérieur qui s'évapore à son tour et se condense à la surface inférieure de l'étage suivant et ainsi de suite jusqu'au dernier étage. Ce processus de récupération de chaleur a un effet multiplicateur sur la production d'eau potable. Le remplissage de distillateur s'effectue à partir de premier étage avec un tube, le principe est schématisé sur la figure (1.7). [18].



**Figure 1.7 : le dispositif du distillateur solaire à étage multiple**

### c. Distillateur solaire sphérique à balayage

Le distillateur est composé d'une demi sphère en plexiglas supérieure qui sert à transmettre le rayonnement solaire d'une part et joue le rôle de surface de condensation de l'autre part, d'une demi sphère inférieure qui récupère le distillat et d'un bac horizontale en métal noirci contenant de l'eau à distiller et qui se trouve dans le plan médian. Un essuie-glace entraîné par un moteur électrique, permet de maintenir la surface de condensation constamment transparente au rayonnement et d'assurer un drainage rapide des gouttelettes. On peut ajouter au distillateur un capteur solaire plan constitué d'un absorbeur avec un tube en forme de serpentin raccordé par des tubes au distillateur ; le système fonctionne ainsi en thermosiphon. La Figure (1.8) montre un schéma de ce type de distillateur [13].

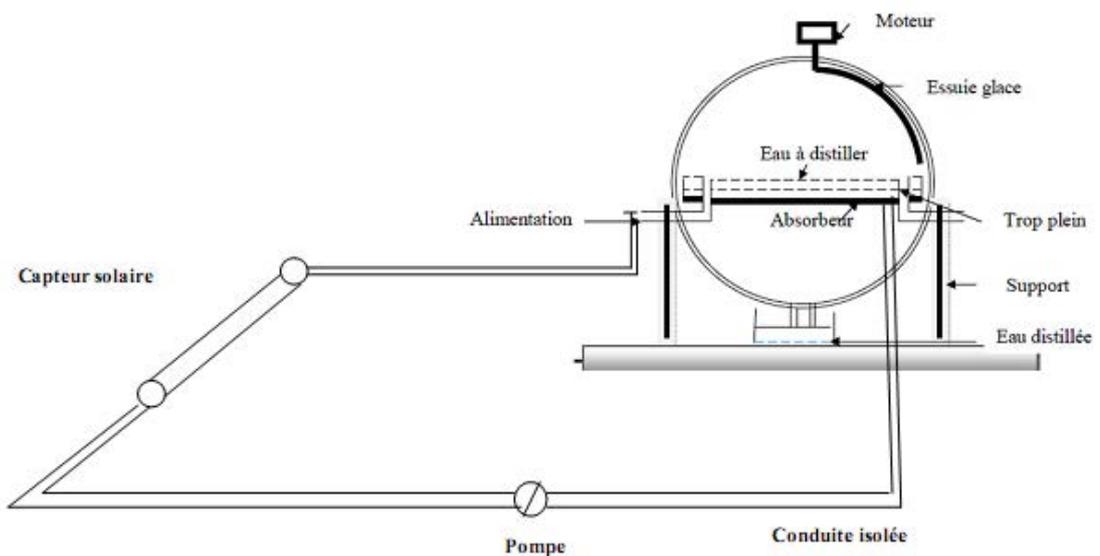


Figure 1.8 : distillation solaire sphérique à balayage

### d. Distillateur solaire à cascade

Un distillateur solaire à cascades est constitué d'une capacité étanche surmonté d'une vitre. Il fonctionne selon le même principe appliqué dans un distillateur plan sauf que l'absorbeur a une forme en cascade. L'eau salée versée dans le distillateur se répartie sur plusieurs petits bassins. On remarque que si la masse d'eau est faible, l'eau s'échauffe plus rapidement et s'évapore (figure 1.9) [19].

A la fin on récupère l'eau à l'intérieur de cascade. Ce type de distillateur fonctionne bien mais sa construction et leur entretien sont coûteux.

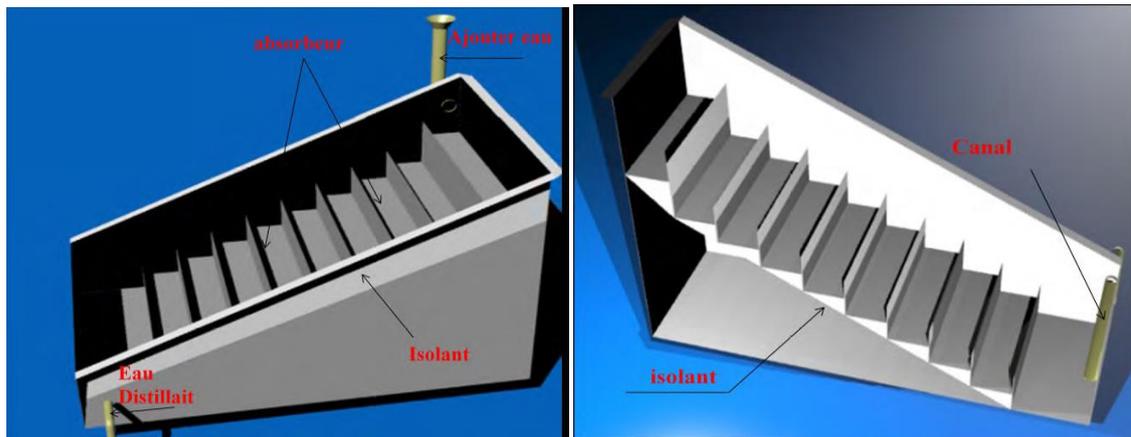


Figure 1.9 : schéma de distillateur solaire à cascade

## 2. Caractéristique de fonctionnement d'un distillateur

Plusieurs grandeurs sont définies afin de caractériser la production d'eau d'un distillateur. On distingue, le rendement, l'efficacité interne et globale, et la performance [20, 21].

### a. débit du distillat ou production du distillateur

$$\dot{m} = \frac{Q_{ev}}{L_v} \quad (1.1)$$

$\dot{m}$ =Débit de masse distillat.

$Q_{ev}$ =Flux de chaleur d'évaporation de l'eau.

$L_v$ = la chaleur latente de vaporisation de l'eau.

### b. Le rendement

C'est la quantité d'eau produite par unité de surface de plan noir et par jour. L'inconvénient majeur de ce critère est qu'il ne fait pas mention de l'énergie solaire qui arrive sur le distillateur.

Le rendement d'un distillateur simple est

$$\eta = \frac{\dot{m}h_{ev}}{G} \quad (1.2)$$

$h_{ev}$ =Enthalpie d'évaporation.

$\dot{m}$ =Débit de masse distillat.

$G$ =Puissance de rayonnement solaire incident par unité de surface.

### c. L'efficacité

#### ✓ L'efficacité globale

Représentent le rapport de la quantité d'énergie de l'eau évaporée par ( $m^2$ ), à la quantité d'énergie globale incidente par ( $m^2$ ) sur une surface horizontale. Elle est définie par le rapport [22]:

$$\eta_g = \frac{Q_{ev}}{I_G \times A_G} \quad [\%] \quad (1.3)$$

#### ✓ L'efficacité interne

Si l'efficacité globale rapporte la quantité d'eau produite à l'énergie solaire tombant sur une surface horizontale, elle ne fait pas mention de la quantité d'énergie entrant réellement dans le distillateur, d'autant plus qu'un distillateur est construit en général pour un lieu donné et avec une pente de couverture fixe. Un changement de pente et de la localité fait varier la quantité d'énergie qui entre dans le distillateur .qui représente 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 [22].

$$\eta_i = \frac{Q_{ev}}{Q_w} \quad [\%] \quad (1.4)$$

$Q_{ev}$  : Flux de chaleur d'évaporation de l'eau (w)

$Q_w$  : Flux de chaleur reçu par la masse d'eau (w)

$L_v$  : Chaleur latente de vaporisation (J/kg)

Avec :

$$Q_w = \left( \tau_g \cdot \alpha_w + \tau_g \cdot \tau_w \cdot \alpha_b \right) \times I_G \times A_g = \alpha_t \times I_G \times A_g \quad (1.5)$$

D'où :

$$\alpha_t = \tau_g \cdot \alpha_w + \tau_g \cdot \tau_w \cdot \alpha_b \quad (1.6)$$

Avec :

$\alpha_t$  : Etant le coefficient d'absorption fictif de la masse d'eau.

$\alpha_w, \alpha_b$  : Les facteurs d'absorption de l'eau et du fond du distillateur.

$\tau_w, \tau_g$  : Les facteurs de transmission de l'eau et de la vitre.

$A_g$ : surface de l'évaporateur ( $m^2$ ).

$I_G$ : La puissance du rayonnement solaire incident par unité de surface ( $w/m^2$ ).

#### **d. 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).

**F. P. B** Le rapport de la quantité d'eau produite au bout de 24h sur la quantité d'énergie entrée au bout de 24h.

**F. P. H**: Le rapport de la quantité d'eau produite au bout d'une heure sur la quantité d'énergie entrée au bout d'une heure.

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

$$FP = \frac{\dot{m}}{\alpha t .G.A} \quad (1.7)$$

### **Paramètres externes et internes**

#### **a. Paramètres externes**

Ces paramètres sont liés au site, nous pouvons citer [15]:

- Les paramètres géographiques tels que la longitude, la latitude et la position du soleil.
- Les paramètres météorologiques dont les plus fréquemment retenus sont :
  - L'intermittence des nuages, le pourcentage du rayonnement diffus, le vent et la température ambiante.
  - Nature de l'eau à traiter, choix du pré traitement, taux de conversion et rapport de performance.

#### **b. Paramètres internes**

##### **1. Les paramètres de position**

-L'emplacement du distillateur est choisi de façon à éviter les obstacles “ effet de masque”, qui empêche le rayonnement solaire d'atteindre la surface de captation.

-L'orientation dont dépend essentiellement le fonctionnement du distillateur pendant la journée. Généralement on opte pour:

- Une orientation Est pendant la matinée.

- Une orientation Ouest pendant l'après - midi.

- Une orientation Sud si le distillateur doit fonctionner toute la journée.

-L'inclinaison: généralement elle est liée à la période de fonctionnement durant l'année [23].

## 2. Paramètres de construction

-La couverture.

-La distance entre la surface d'évaporation et la surface de condensation : la réduction de la distance augmente le facteur de performance brut.

-L'épaisseur de la nappe d'eau à distiller : la production est d'autant plus importante que l'épaisseur est faible et quand l'épaisseur de la saumure est grande plus longtemps dure la distillation après le coucher du soleil.

## 3. Paramètres optiques

Ce sont les paramètres optiques (l'émissivité ; l'absorptivité ; la réflectivité et la transmissivité) de la surface absorbante et de la couverture

## 4. Paramètres thermo physiques

Les paramètres thermo physiques que l'on prendra en considération sont principalement :

- Au niveau de la couverture et la surface absorbante** : la conductivité thermique, la chaleur spécifique et la diffusivité thermique.

- Au niveau de la saumure** : la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité dynamique, la viscosité cinématique, la chaleur latente de vaporisation, le coefficient de dilatation thermique et la diffusivité thermique.

- Au niveau de le mélange air - vapeur** : la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité dynamique, la viscosité cinématique et le coefficient de dilatation thermique.

## 1.6. Transfert thermique

Le transfert de chaleur ou pour employer l'expression actuelle, le transfert d'énergie thermique est une transmission de cette énergie d'une région à une autre, sous l'influence d'une différence de température. On reconnaît classiquement trois modes de transmission, la conduction, le rayonnement et la convection.

### 1.6.1. Conduction

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres [23].

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température:

$$\Phi = -\lambda S \text{ grad } (T) \quad (1.8)$$

Ou sous forme algébrique :

$$\Phi = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1.9)$$

### 1.6.2. Convection

C'est le transfert de chaleur entre un fluide en mouvement et une paroi, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide. Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton [23] :

$$\Phi = h S (T_p - T_f) \quad (1.10)$$

Selon le mécanisme qui génère le mouvement du fluide, on distingue :

- ❖ La convection naturelle ou libre : l'échange de chaleur est dû au contact du fluide avec la paroi plus chaude ou plus froide crée des différences de masse volumique, génératrices de mouvement au sein du fluide.
- ❖ La convection forcée : le déplacement du fluide est forcé est imposé de l'extérieur par une machine (pompe, ventilateur, compresseur).

### 1.6.3. Rayonnement

C'est la transmission d'énergie à distance entre deux corps séparés ou non. Le rayonnement thermique est un phénomène se caractérisant par un échange d'énergie électromagnétique, C'est le cas de l'énergie qui nous vient du soleil. L'interprétation

physique est la suivante : tout corps émet des particules désignées par "photons. Celles -ci se déplacent à la vitesse de la lumière et transportent une énergie fonction de leur longueur d'onde [23].

D'après la loi de Stéphan, le flux de chaleur échangé entre la surface S et le milieu ambiant peut s'écrire :

$$\Phi = \sigma \cdot \epsilon \cdot S (T_S^4 - T_\infty^4) \quad (1.11)$$

**CHAPITRE 2**  
**DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX ET**  
**METHODES DE MESURE**

## CHAPITRE 2

### DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX ET METHODES DE MESURE

Dans ce chapitre, nous présentons les dispositifs expérimentaux disponibles au niveau de l'UDES, leurs caractéristiques et modes de fonctionnement ainsi que les méthodes de mesure et d'analyse.

#### **2.1- Dispositifs expérimentaux :**

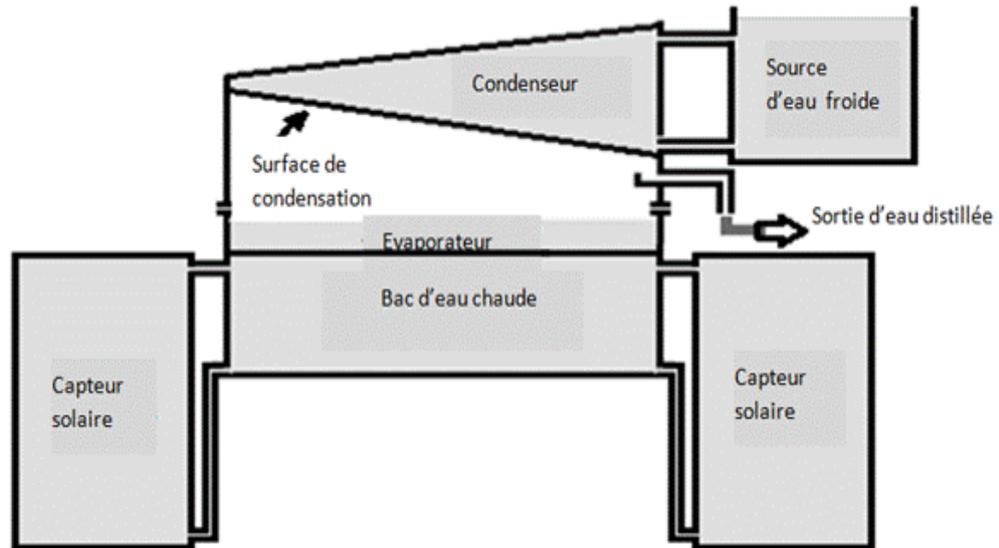
##### **1. Distillateur solaire simple avec un condenseur fonctionnant en thermosiphon (distillateur référence).**

Le système de distillation réalisée se compose de trois parties.

La première partie est représentée par deux grands capteurs solaires de 2 m de longueur et 1 m de largeur inclinée de 23° par rapport au sol. Dans chaque capteur est disposé un ensemble de tubes assurant la circulation du fluide caloporteur (eau).

La deuxième partie est constituée d'une cuve de stockage raccordée avec les capteurs solaires précédents par des tubes bien isolés à circulation naturelle (thermosiphon), le volume de la cuve est de 150 litres. Elle est isolée thermiquement par des plaques de polystyrène expansé de 5 cm d'épaisseur sur les parois latérales et la face inférieure du bac de stockage pour réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur. Sa face supérieure est en contact directe avec l'évaporateur dont la surface est égale à 0.501 m<sup>2</sup>. Cette structure permet de chauffer l'eau contenant dans l'évaporateur, son volume est de 35 l (voir figure 2.1).

La dernière partie représente le condenseur en forme de trapèze incliné à 23° par rapport à l'évaporateur. Ce condenseur assure par circulation naturelle (thermosiphon) d'eau froide la condensation de l'eau qui s'évapore dans l'évaporateur. Les volumes du condenseur et du bac de stockage de l'eau froide sont respectivement de 64 et 145 litres. Le condenseur est recouvert sur sa partie supérieure pour éviter son réchauffement direct par le rayonnement solaire.



**Figure 2.1 : distillateur solaire simple avec un condenseur fonctionne en thermosiphon [24].**

## **2. Distillateur solaire simple avec trois options de chauffage (distillateur model)**

Ce type de distillateur a été conçu et fabriqué dans le but de maximiser les rendements de distillation. Il est constitué de 03 zones de chauffage :

- un bac de stockage d'eau chaude chauffé par deux capteurs solaires thermiques similaires aux capteurs du distillateur précédemment décrit,
- un chauffage par effet de serre au niveau supérieur de l'évaporateur,
- Un 3<sup>ème</sup> capteur fabriqué au niveau de l'UDES pour chauffer directement l'eau contenant dans l'évaporateur (saumâtre).

Le bac de stockage d'eau chaude du volume 45 litres est isolé sur ses parties latérales Sa surface supérieure non isolé est de  $0.136 \text{ m}^2$  et est en contact avec l'évaporateur (même surface). L'évaporateur est relié à un capteur de 1 m de longueur et 0.5 m de largeur qui chauffe l'eau par circulation naturelle (thermosiphon).

L'effet de serre au niveau de l'évaporateur est assuré par un vitrage de surface  $0.204 \text{ m}^2$  incliné de  $23^\circ$  Les vapeurs d'eau s'échappent par des trous réalisés sur la face latérale de l'évaporateur vers un espace en contact d'un condenseur qui permet la condensation de ces vapeurs. Ce condensateur a un volume de 70 litres (voir figures 2.2 et 2.3). Surtout l'après-midi. La vitre et la surface de condenseur inclinées à  $23^\circ$ .

Une 2<sup>ème</sup> sortie d'eau distillée est possible à l'opposé des trous de passage des vapeurs d'eau vers le condenseur.

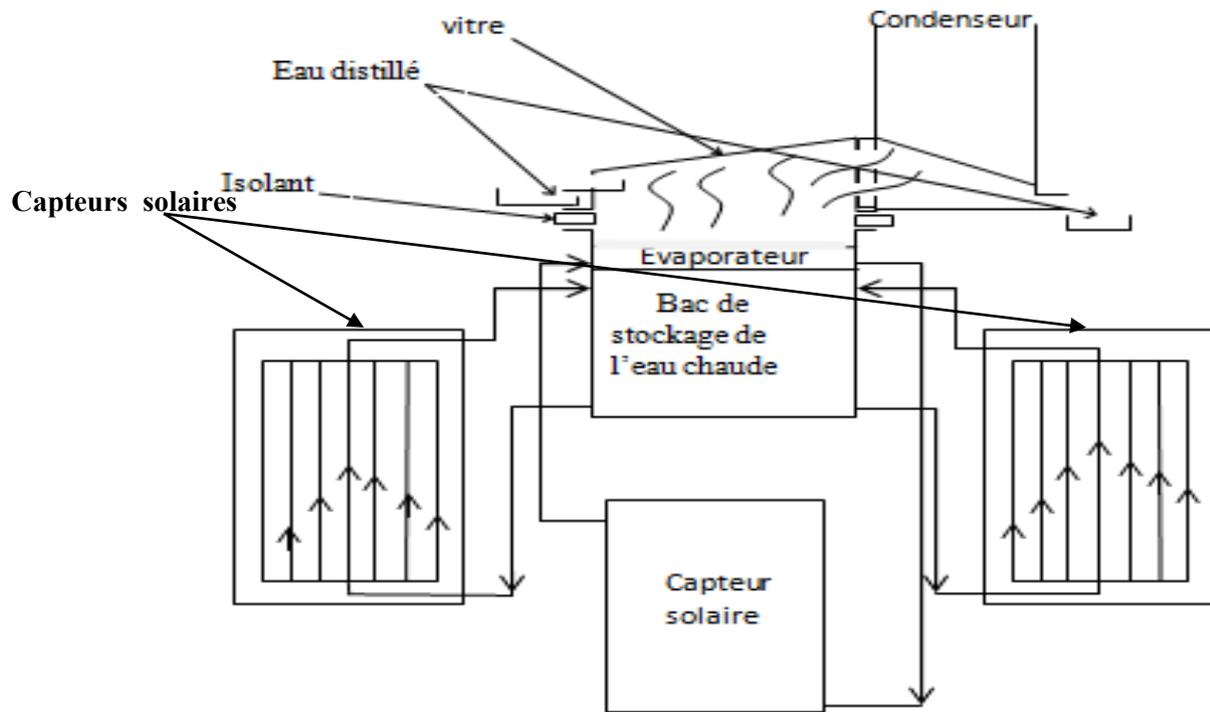


Figure 2.2. Distillateur solaire avec trois options de chauffage

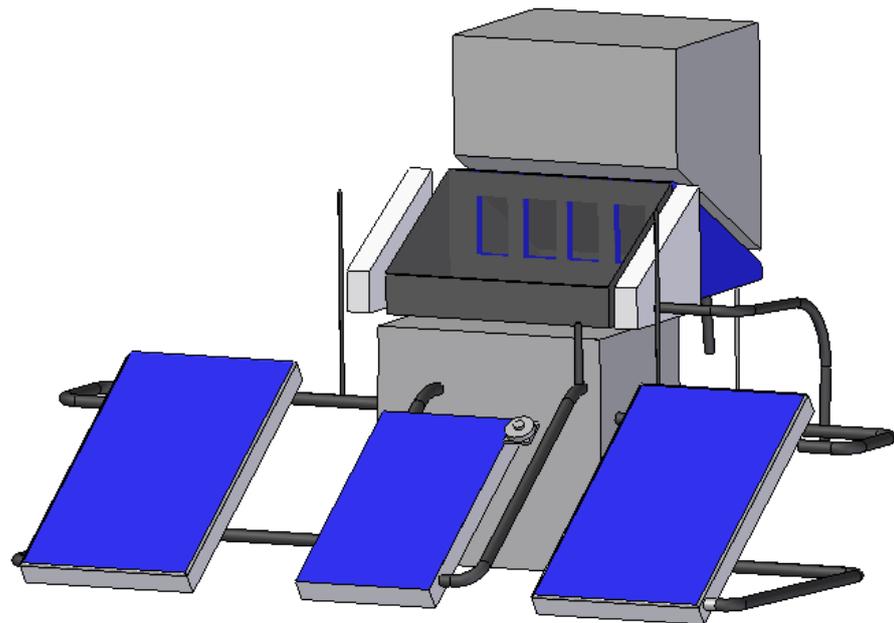


Figure 2.3 : représente le schéma du distillateur model en 3D

## 2.2- Dimensions des distillateurs solaires

Les dimensions de ces distillateurs sont résumées dans le tableau 2.1.

**Tableau 2.1 : Dimensionnement des deux distillateurs solaire**

	dimensionnement	Distillateur référence		Distillateur model
La cuve de stockage d'eau chaude	Largeur	0.55m		0.29 m
	Longueur	0.91m		0.47 m
	hauteur	0.3 m		0.33 m
	volume	150 l		45 l
	surface	0.501 m <sup>2</sup>		0.136 m <sup>2</sup>
évaporateur	Surface	0.501 m <sup>2</sup>		0.136 m <sup>2</sup>
	Volume	35 l		8 l
La vitre	Surface			0.204 m <sup>2</sup>
	largeur			0.4 m
	longueur			0.51 m
condenseur	Volume	64 l		70 l
	Largeur	0.55m		0.51 m
	Longueur	0.91m		0.39 m
Source d'eau froide	Volume	145 l		
	Surface	0.501 m <sup>2</sup>		
	Largeur	0.55 m		
	Longueur	0.91 m		

## 2.3- Niveau principale d'exploitation d'énergie solaire

Le capteur solaire est un dispositif qui absorbe le rayonnement solaire et le convertit en chaleur utile. La captation de l'énergie s'effectue par la couverture transparente puis elle est transmise à la surface de l'absorbeur qui s'échauffe, celle-ci à son tour transféré l'énergie au fluide caloporteur qui circule dans les tubes naturellement (thermosiphon). Les caractéristiques du capteur sont données dans le tableau 2.2.

**Tableau 2.2 : éléments du capteur et leurs caractéristiques.**

Eléments	Caractéristiques
Dimensionnements	- 2 m de longueur et 1 m de largeur
Vitrage	-En verre trempé d'épaisseur 4 mm
Absorbeur	-En cuivre et la tôle pinté en noir
Tube	-7 tubes de diamètre 12 mm
Fluide caloporteur	-Il supporte 6.2 litre (eau, eau+antigel)
Isolation	-Isolé par une mousse de polyuréthane

## 2.4- Méthodes de mesure et analyse

### 1. Mesure des caractéristiques de l'eau

Les paramètres de l'eau mesurés avant et après distillation sont :

- la conductivité électrique et le pH : Ces mesures sont réalisés à l'aide d'un multi-paramètre de types consort C5020. (photo sur la figure 2.4)
- la turbidité : elle est mesurée à l'aide d'un turbidimètre de type (HI88103) (photo sur la figure 2.5)



**Figure 2.4 : l'appareil de multi-paramètre**      **Figure 2.5 : le turbidimètre**

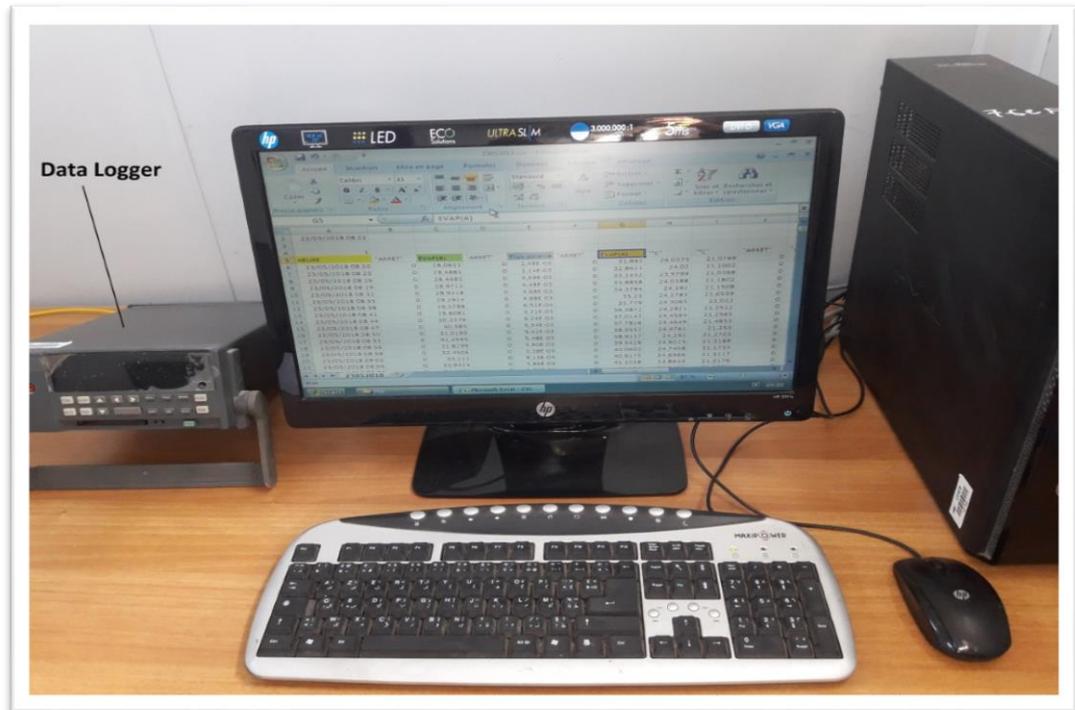
Les mesures TDS et la dureté se fait par la méthode volumétrique dans laboratoire au niveau de l'UDES

### 2. Mesure de débit du distillat

Le débit de distillat est mesuré par la méthode volumétrique classique à l'aide de des béchers et des éprouvettes de différentes capacités.

### **3. Mesure de la température sur plusieurs endroits des distillateurs**

Sur les différents points des distillateurs la température est mesurée à intervalles de temps réguliers (3 mn) pendant 24 h à l'aide de thermocouples de type K, connecté à un data logger de type Fluke couplé à un logiciel d'acquisition des données (Hydra) qui affiche tout les valeurs mesurées sous forme tableau d'Excel (figure 2.6).



**Figure 2.6 : le data logger couplé avec le logiciel d'acquisition et l'affichage des résultats sur l'Excel.**

Les endroits de l'emplacement des thermocouples sont les suivants :

Distillateur référence :

- Seulement des thermocouples dans l'évaporateur et le condenseur (au milieu).  
Sont notés respectivement Ch5: EVAP REF et Ch6 : COND REF.

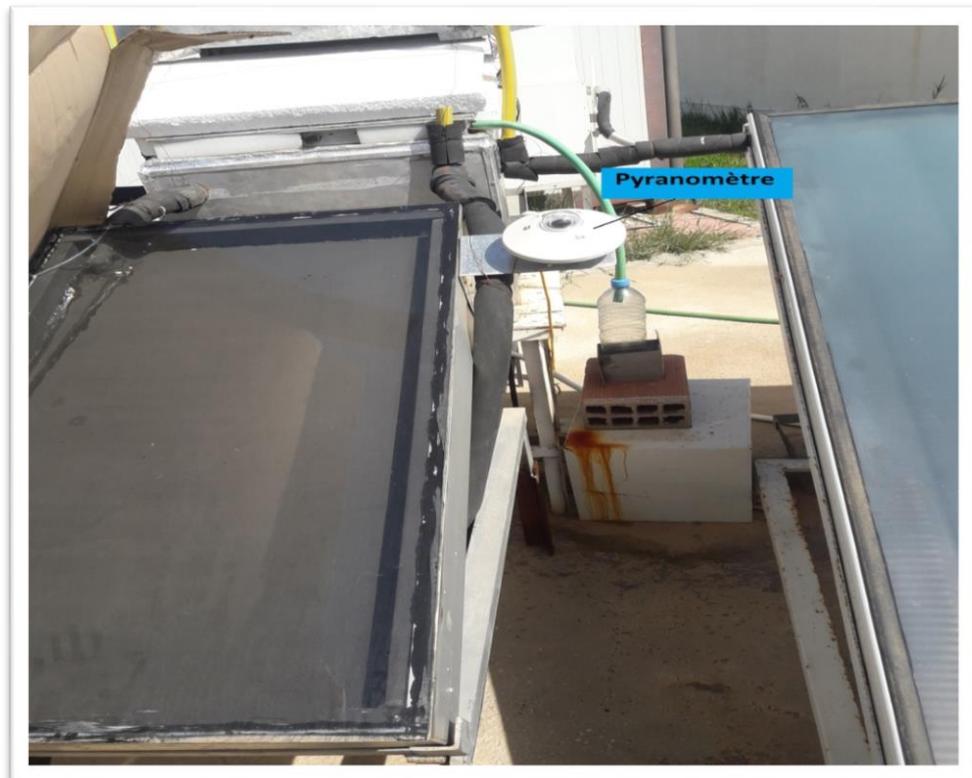
Distillateur model :

- Au milieu du l'évaporateur noté par Ch1 : EVAP MOD.
- Au niveau de condenseur noté par Ch7 : COND MOD.

Un thermocouple dans l'air pour mesurer la température de l'air nommé Ch11 : AMB

#### **4. Mesure de flux solaire**

Les valeurs du flux solaire sont mesurées à l'aide d'un pyranomètre de type (KIPP & ZONZN CMP 11 installé sur l'équipement à intervalles de temps réguliers (3 mn) durant 24 h. Ce pyranomètre est couplé au même logiciel d'acquisition des données et les mesures enregistrés dans le même tableau que celui des mesures des températures. Les valeurs données en Volt sont converties en  $W/m^2$  par un facteur qui dépend de type de chaque pyranomètre utilisé. La figure 2.7 montre la position de l'appareil de mesure du flux solaire.



**Figure 2.7 : Représente la position de pyranomètre.**

**CHAPITRE 3**  
**RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## CHAPITRE 3

### RESULTATS ET DISCUSSIONS

Avant de présenter l'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de cette étude et leurs interprétations, on rappelle que notre intérêt s'est porté sur la comparaison des performances de deux distillateurs :

1. Le distillateur solaire simple avec un condenseur fonctionnant en thermosiphon (qui sera désigné dans tout ce qui suit par distillateur référence).
2. le distillateur solaire simple avec trois systèmes de chauffage (qui sera désigné dans tout ce qui suit par distillateur model)

Ainsi que l'effet de l'irradiation solaire qui reste le paramètre le plus influent sur le fonctionnement de tout système solaire retiendra.

L'expérimentation est réalisée sous les conditions climatiques du site de l'UDES (Bou Ismail) durant la période février, mars, avril, mai 2018. Les journées des tests sont été relativement nuageuses et moins des journées ensoleillées. Les conditions climatiques ont été l'une des contraintes la plus importante dans notre travail.

Dans un premier temps, une comparaison générale entre les deux distillateurs est réalisée en analysant le profil journalier obtenu de la température de la nappe d'eau dans l'évaporateur.

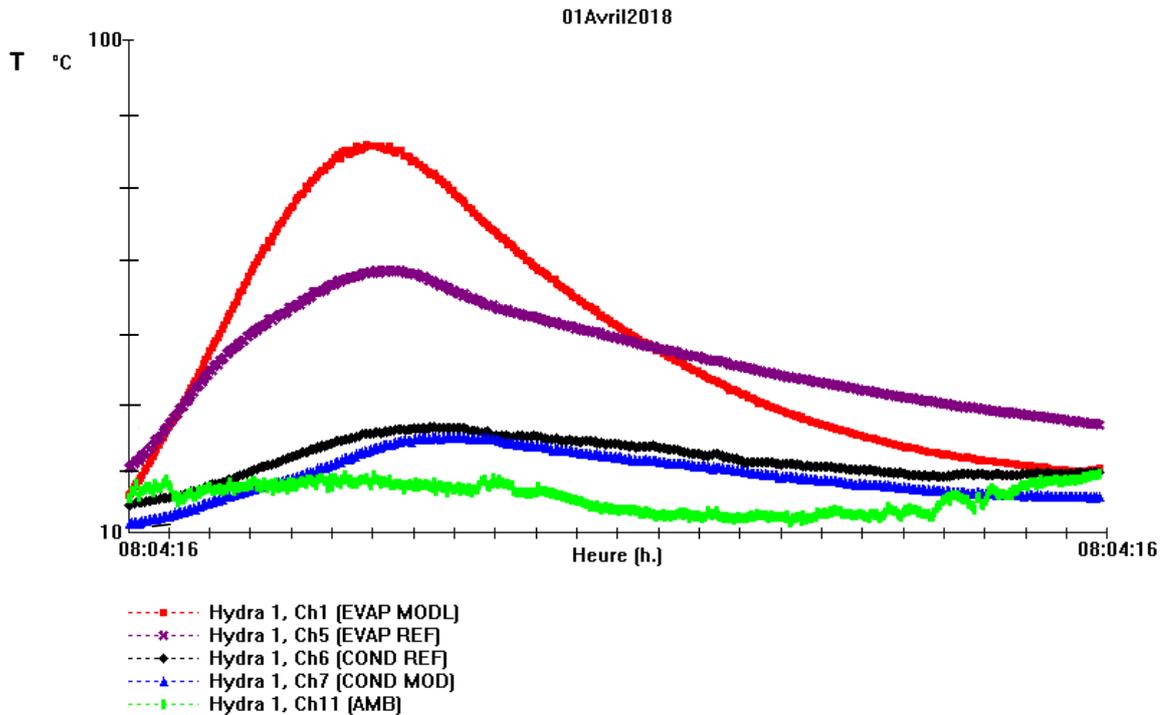
Les effets sur le profil de température sont résumés sur la figure 3.1 qui montre l'enregistrement de la température sur une période de 24 heures de la journée du 01 avril 2018 à titre d'exemple.

Ch1 [EVAP MODL] et Ch5 [EVAP REF] sont respectivement les thermocouples dans l'évaporateur du distillateur model et du référence.

Ch6 [COND REF] représente le thermocouple dans le condenseur de distillateur référence.

Ch7 [COND MOD] : l'emplacement de thermocouple dans le condenseur de distillateur model.

Ch11 [AMB] : le thermocouple pour mesurer la température ambiante de milieu extérieur.



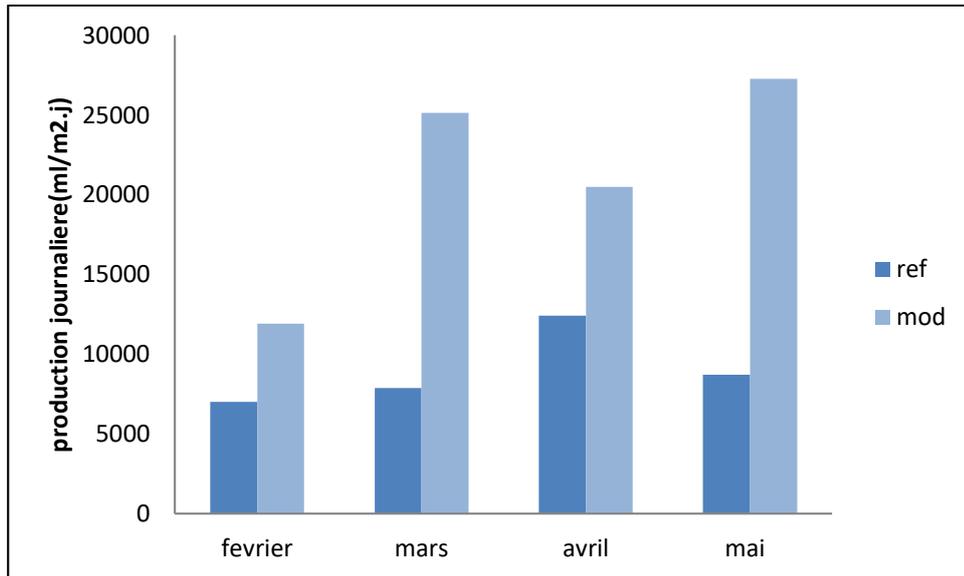
**Figure 3.1: le profil de température en fonction de temps (24h).**

Le graphique montre une tendance classique pour laquelle la température maximale est atteinte dans l'après-midi généralement entre 14h30 à 15h30 heures. De plus, le dispositif model montre une température maximale plus élevée que le distillateur référence. On note également qu'à partir de 19h00, dans le dispositif model la température diminue plus rapidement que celle avec un seul système de stockage à cause du volume de la cuve de stockage de distillateur référence qu'est grand par rapport au distillateur model, donc il stocke beaucoup la chaleur.

### **3.1-Comparaison de la production**

#### **1. Effet de trois systèmes de chauffage dans le distillateur model**

Lorsque les 03 systèmes de chauffage sont simultanément mis en service dans le distillateur model, ce dernier montre une capacité de production d'eau distillée nettement supérieure par rapport au distillateur référence. La production journalière de ces deux distillateurs est représentée sur la figure 3.2. Il apparait nettement une différence qui augmente avec la croissance de la température ou le rayonnement solaire- Nos résultats montrent que la production journalière du distillateur model atteint un volume maximum durant le mois de mai d'environ 28 litres par m<sup>2</sup> et par jour alors que celle du distillateur référence est d'environ 13 litres par m<sup>2</sup> et par jour.



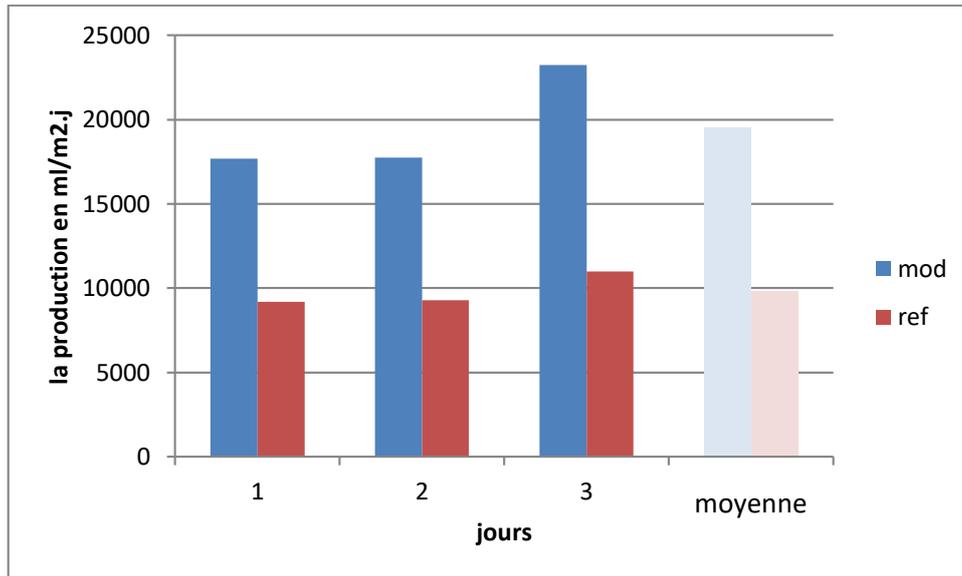
**Figure 3.2 : Production mensuelle des 02 distillateurs.**

En terme de production du distillat, les résultats de l'histogramme montre que l'équipement model est plus performant par rapport au distillateur référence

## **2. Effet de serre**

Des travaux [25] ont été réalisés au niveau de l'UDES qui montrent que dans des conditions réelles d'utilisation en extérieur, la température du panneau de verre augmente au fur et à mesure que le soleil s'élève atteignant parfois des températures de 65°C. L'augmentation de température du verre engendre une réduction de la production quotidienne globale de l'équipement surtout durant les après midi. Inversement et durant les matinées de 7h à 12h, le panneau de verre joue le rôle de condenseur. Au delà de 15h, il passe à l'état de refroidissement. Donc, on peut dire que la vitre joue un double rôle tantôt condenseur et tantôt chauffage selon la période de la journée.

La vitre en verre permet aux rayons solaires de passer au niveau de l'évaporateur pour chauffer directement l'eau par effet de serre. L'expérience sans vitre est présentée sur la figure 3.3. La température maximale de l'eau dans l'évaporateur est de 82°C qui correspond à un débit de 23l/m<sup>2</sup>.j. Avec le vitrage, la température maximum et le débit sont respectivement de 85°C et 27l/m<sup>2</sup>.j. La différence n'est donc pas très grande. Mais si on compare les résultats obtenus avec le distillateur A le même jour et donc dans les mêmes conditions climatiques, on montre que dans ce cas là, la production est nettement plus faible : La température maximale est de 66°C correspondant à un volume de 10 l/m<sup>2</sup>.j.



**Figure 3.3 : La production journalière de distillateur model sans effet de serre et le distillateur référence.**

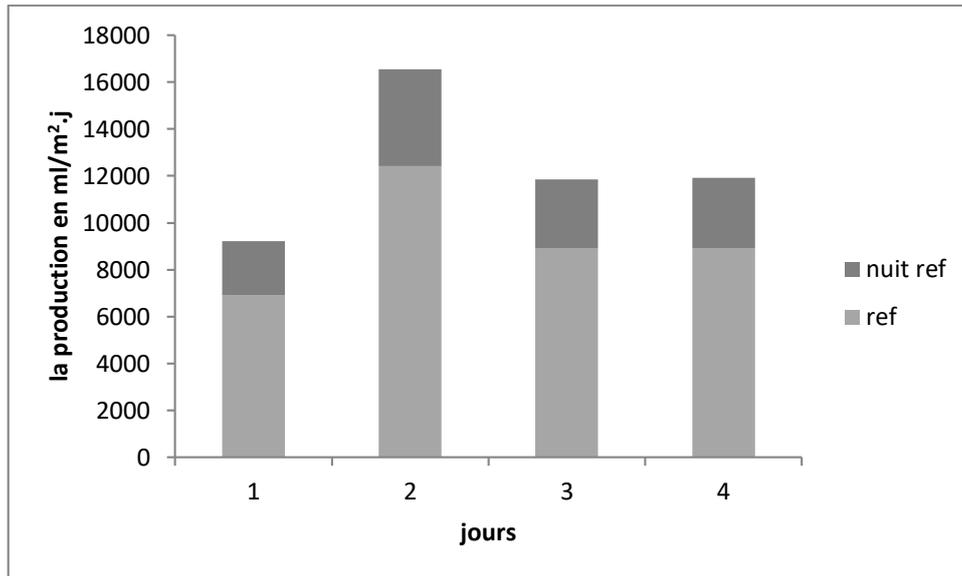
### **3. Stockage de chaleur**

Il existe plusieurs études dans la littérature qui montrent les avantages du stockage de la chaleur, de ses divers types, formes et conceptions. Il est évident que le stockage de chaleur augmente la production quotidienne et surtout la production nocturne.

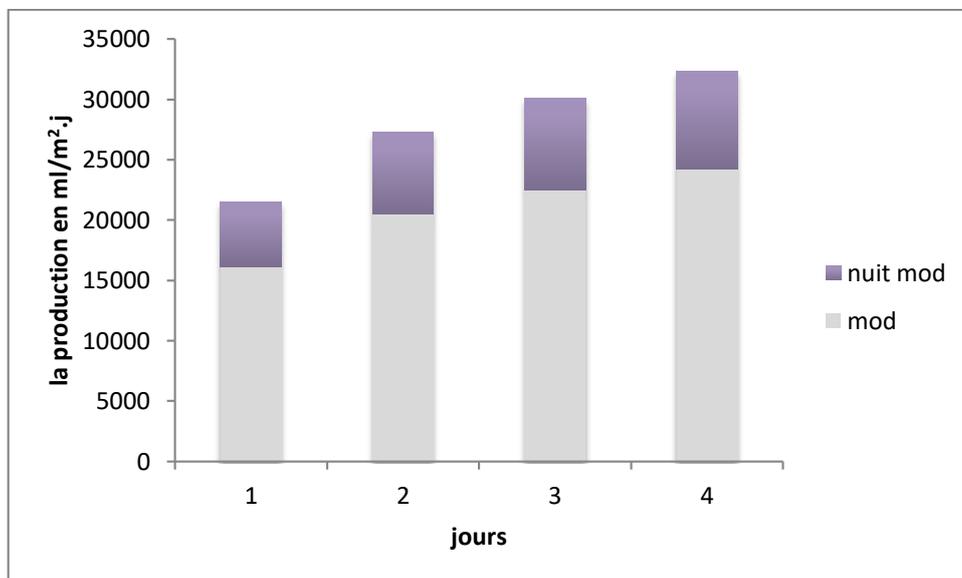
Rappelons que notre stockage de chaleur est de forme cubique, isolée thermiquement. La cuve de stockage contient de l'eau qui est considéré comme un moyen de stockage de l'énergie très pratique et économique.

Les figures 3.4 et 3.5 donnent respectivement pour les 02 distillateurs, les résultats expérimentaux de la production nocturne allant de 19h à 7h du jour suivant comparée à celle de la journée. Les résultats montrent que les 2/3 de la production d'eau distillée se produit pendant la journée. La chaleur emmagasinée dans l'équipement a pu maintenir la production nocturne avec un débit faible représentant 1/3 à la production totale.

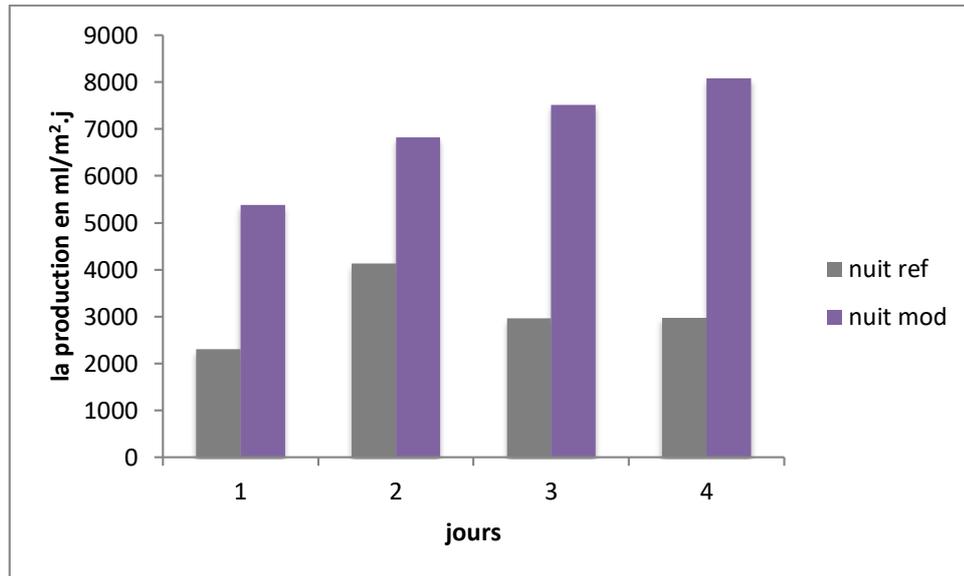
La figure 3.6 donne l'histogramme comparatif de la production nocturne entre le distillateur model et le distillateur référence.



**Figure 3.4 : Production nocturne par rapport à la production journalière pour le distillateur référence.**



**Figure 3.5 : Production nocturne par rapport à la production journalière pour le distillateur model.**



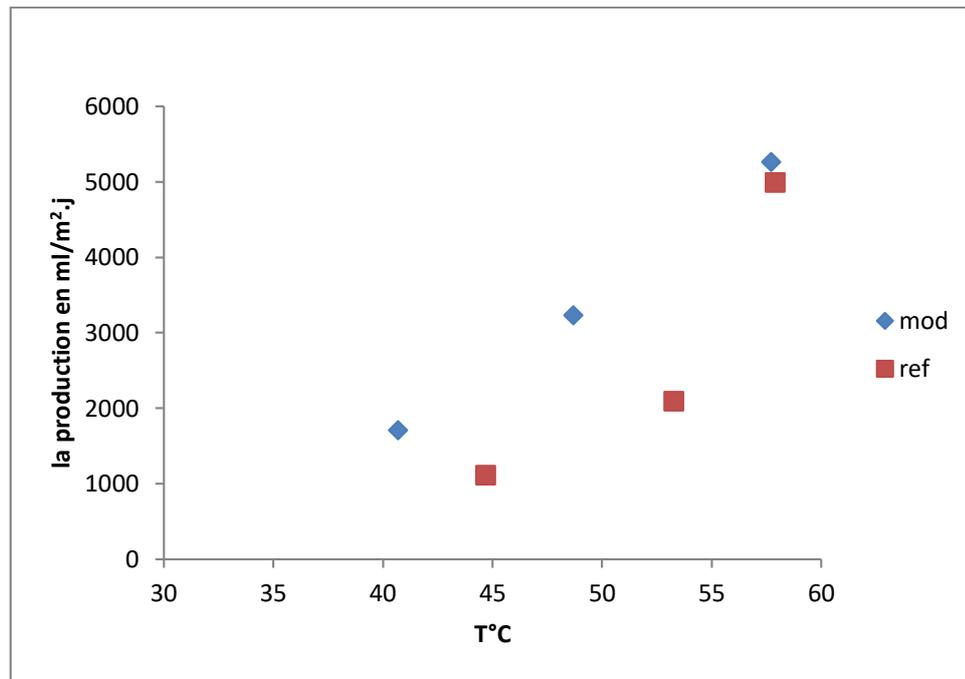
**Figure 3.6 : Histogramme comparatif de la production nocturne des deux distillateurs.**

#### **4. Capteur solaire**

La figure 3.7 donne les résultats relatifs à la production d'eau distillée au courant d'une journée sur les 02 distillateurs sans capteur solaire en fonction de la température de l'évaporateur.

On observe à travers ces résultats que la variation de température de distillateur model à la même allure que celle du système référence, sauf que les valeurs de production sont plus élevées.

L'augmentation de la température de préchauffage provoque le réchauffement de l'eau à l'intérieur du bac d'eau (surface d'évaporation), ce qui entraîne une élévation de la température de cette dernière, et par conséquent une augmentation de la condensation qui donne par la suite un débit de sortie de l'équipement plus élevé que celle du distillateur référence.



**Figure 3.7 : Evolution de la production en fonction de la température des deux distillateurs solaires**

### **3.2- Performance énergétique**

Pour évaluer l'influence de la température de la masse d'eau à distiller sur le rendement de la masse d'eau produite et la performance énergétique, les résultats des expériences faites pour les deux géométries sont présentés sur la figure 3.8. Nous remarquons que le volume journalier d'eau distillée augmente avec la température de la masse d'eau à distillée selon une loi exponentielle.

Donc on peut dire que la production est une fonction dépendante de la température qui suit l'équation exponentielle d'Arrhenius de la forme générale  $X_0 = X \exp(\Delta E/RT)$  où :

$X$  : la fonction de taux dépendant de la température qui est dans ce cas est le taux de sortie de l'équipement.

$X_0$  : constante de vitesse déterminée expérimentalement.

$\Delta E$  : terme d'énergie d'activation qui est également évalué expérimentalement et dans notre travail  $\Delta E$  représente la chaleur latente de vaporisation dans le cas idéal (aucunes pertes d'énergie).

$R$  et  $T$  : sont respectivement la constante des gaz parfait et la température absolue en kelvin.

La linéarisation de ces résultats en appliquant la loi d'Arrhenius nous permet de définir le terme énergie d'activation qui représente dans notre cas la chaleur latente de vaporisation dans le cas où le système fonctionne sans perte d'énergie.

La figure 3.9 montre un exemple des tracés d'Arrhenius obtenus à partir des mesures de débit de sortie du distillateur model en fonction de  $1/T_{\text{moy}}$  et en fonction de  $1/T_{\text{max}}$ .

Indépendamment des conditions météorologiques, on voit que tous les points expérimentaux répondent à une linéarité décroissante que ce soit en fonction de  $1/T_{\text{moy}}$  ou en fonction de  $1/T_{\text{max}}$  et que la pente de la droite linéaire est la même dans les 02 cas. On se limitera dans la suite à tracer seulement en fonction de  $1/T_{\text{max}}$ .

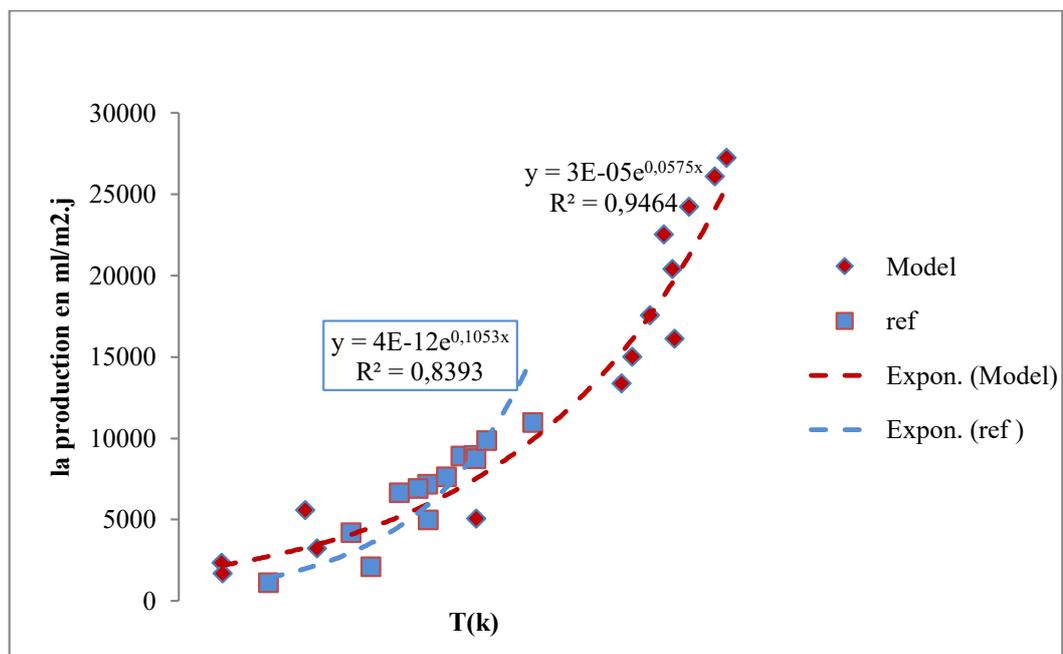
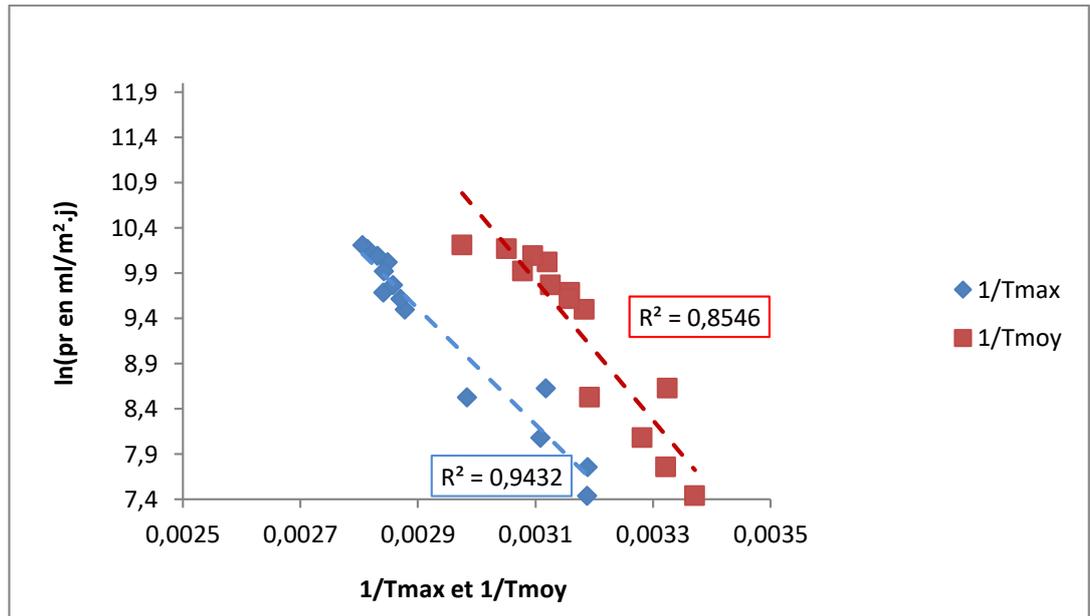


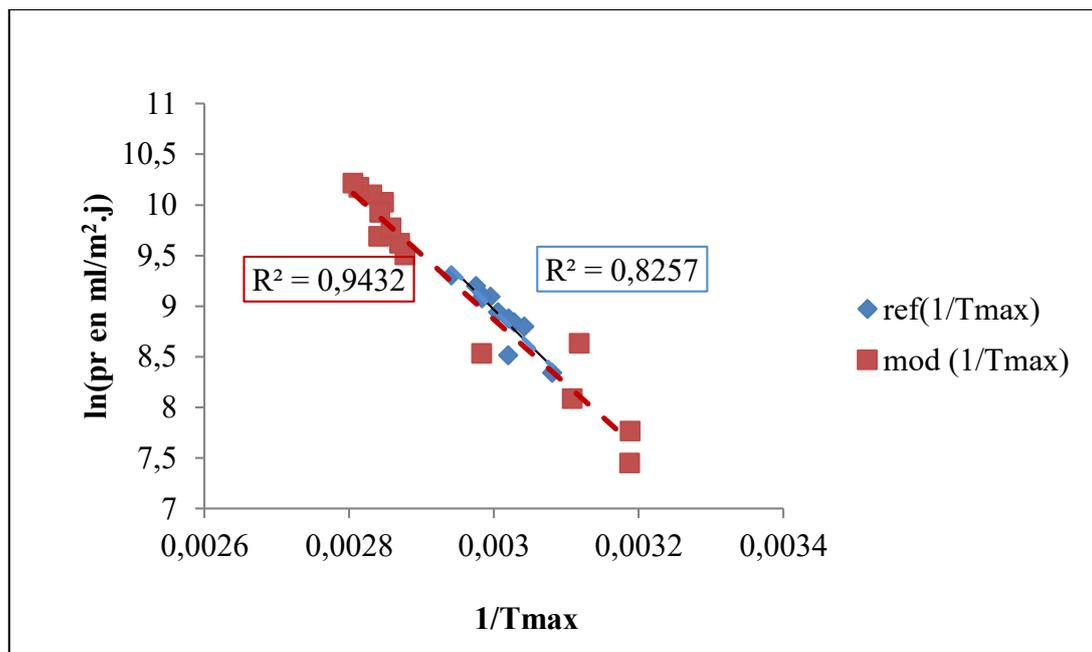
Figure 3.8: Profil de production en fonction de la température maximale.



**Figure 3.9: Linéarisation de la loi d'Arrhenius  $\ln(\text{pr})$  en fonction de  $1/T_{\text{max}}$  et  $1/T_{\text{moy}}$ , distillateur model.**

### **1. Comparaison entre les deux distillateurs**

La figure 3.10 donne le logarithme de la production en fonction de  $1/T_{\text{max}}$  pour les 02 distillateurs. Nous remarquons que les deux linéarisations répondent pratiquement à la même équation et donc les énergies d'activation devraient être identiques.

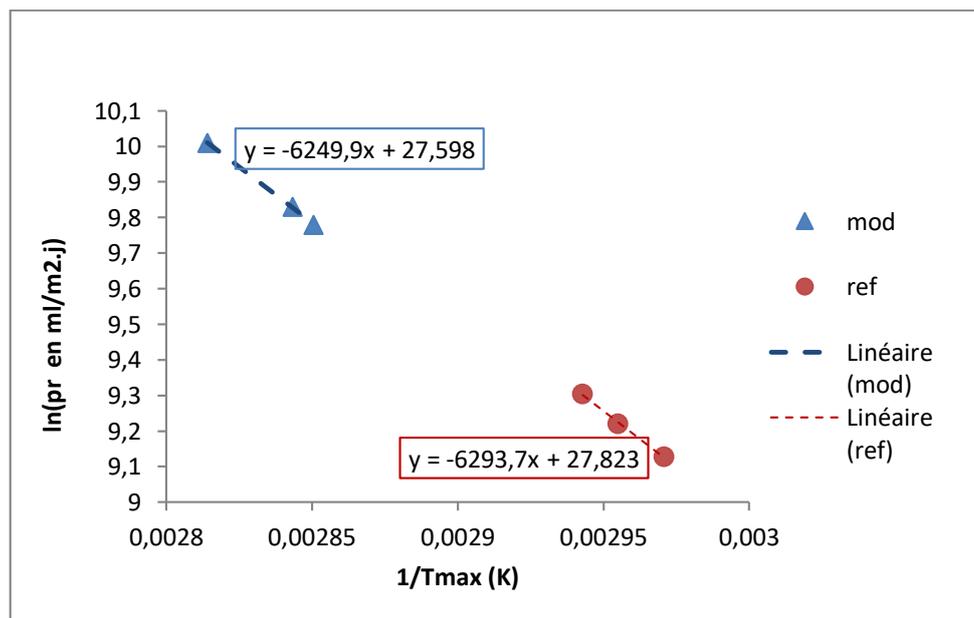


**Figure 3.10 : Comparaison énergétique des deux distillateurs solaires.**

Les valeurs des énergies d'activation calculées sont données dans le tableau 3.1. On trouve respectivement 3233,9 kJ/kg et 2960,5 kJ/kg pour les 02 distillateurs référence et modèle alors que la chaleur latente de vaporisation de l'eau vaut 2257kJ/kg à 100°C ou encore 2455 kJ/kg à 20°C. Cette différence entre cette chaleur latente et les énergies d'activation calculées s'explique par les pertes énergétiques des 02 distillateurs.

## **2. Comparaison entre le distillateur référence et le distillateur model sans effet de serre :**

Dans ce cas où on a éliminé le système de chauffage par effet de serre dans le distillateur modèle. Les résultats comparatifs sont représentés sur la figure 3.11. Nous remarquons que les points expérimentaux suivent la même droite linéaire. Nous concluons que les distillateurs fonctionnent à performance égale. Les valeurs des énergies d'activation calculées sont données dans le tableau 3.1.



**Figure 3.11 : Logarithme de la production du distillateur modèle sans effet de serre et du distillateur référence en fonction de leurs 1/T<sub>max</sub>**

### 3. Comparaison entre le distillateur référence et le distillateur model sans préchauffage

La figure 3.12 reprend les résultats expérimentaux lorsqu'on supprime le fonctionnement du capteur solaire qui chauffe l'eau dans l'évaporateur du distillateur modèle. Ces résultats sont comparés à ceux obtenus sur le distillateur référence. On note que la pente représentant  $\Delta E/R$  du distillateur model est la même avec celle du distillateur référence. Les valeurs des énergies d'activation calculées sont données dans le tableau 3.1.

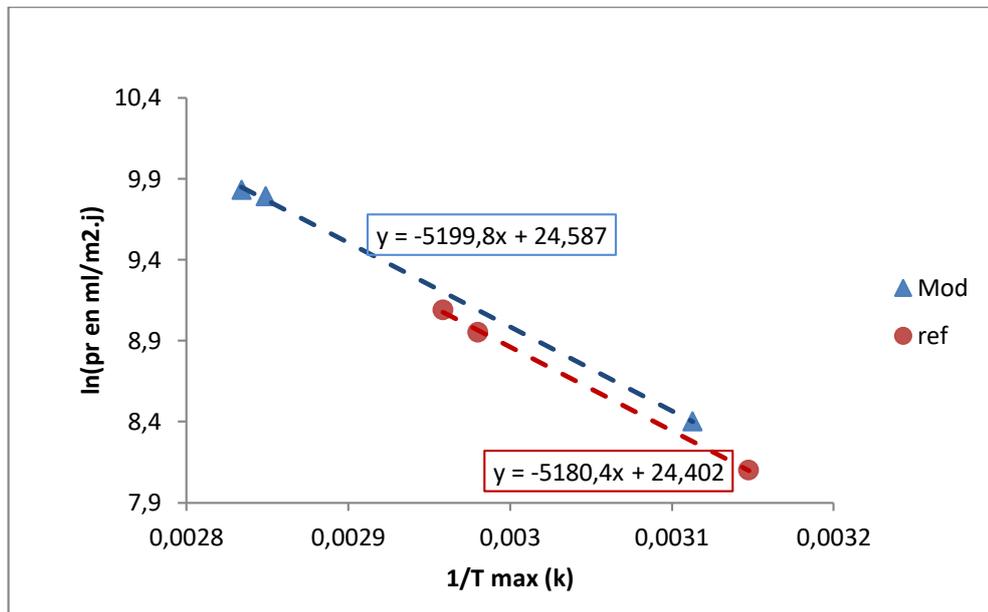
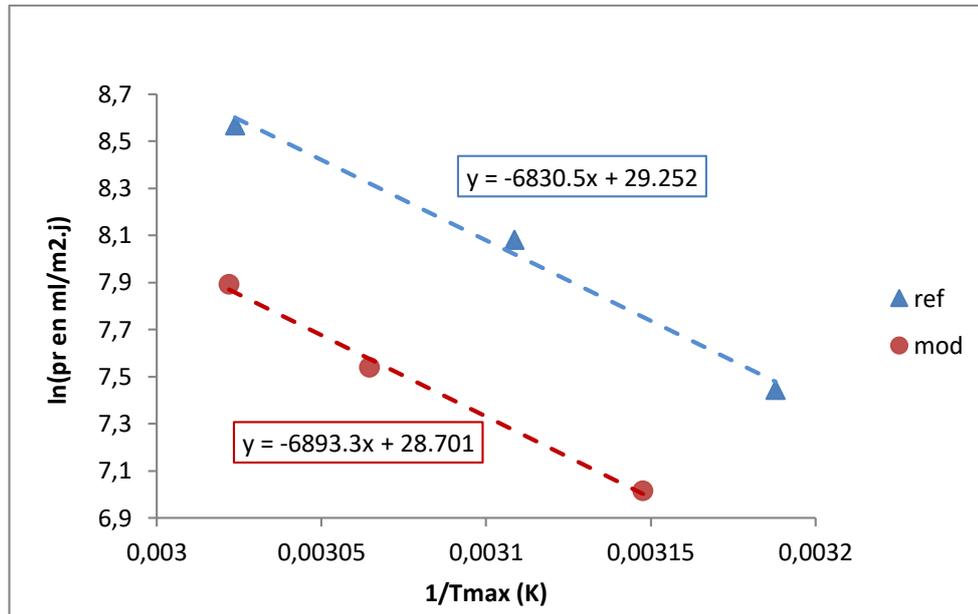


Figure 3.12 : Logarithme de la production du distillateur modèle sans préchauffage et du distillateur référence en fonction de leurs  $1/T_{max}$

### 4. Comparaison entre le distillateur référence et le distillateur model sans stockage de chaleur

La figure 3.13 reprend les résultats expérimentaux lorsqu'on supprime dans le cas du distillateur model le bac de stockage de la chaleur. Ces résultats sont comparés à ceux obtenus sur le distillateur référence. Là aussi, on voit que la pente représentant  $\Delta E/R$  du distillateur model est la même avec celle du distillateur référence mais dans ce cas le distillateur référence est le plus performant que le distillateur model. Les valeurs des énergies d'activation calculées dans ce cas sont données dans le tableau 3.1.



**Figure 3.13 : Logarithme de la production du distillateur modèle sans stockage de chaleur et du distillateur référence en fonction de leurs  $1/T_{\max}$**

Le tableau 3.1 résume les valeurs des énergies d'activation calculées dans chacun des cas étudiés. Dans ce tableau figurent également les quantités de chaleur nécessaires pour évaporer les quantités d'eau produites quotidiennement. et mené de la façon suivante :

$$Q = m \cdot L_v \quad (3.1)$$

$m$  = masse d'eau totale produite en kg

$L_v$  = la chaleur latente de vaporisation d'un litre d'eau qu'est égale à 2257 kJ/kg à 100°C.

**Tableau 3.1 : représente les différentes valeurs de l'énergie d'activation et les quantités de chaleur pour les trois systèmes de chauffage et la comparaison avec les valeurs de distillateur référence.**

	Energie d'activation (kJ/kg)		Quantité de chaleur (kJ)	
	Distillateur model	Distillateur référence	Distillateur model	Distillateur référence
Distillateur avec les 3 systèmes de chauffage	2960,47	3233,91	8012,35	14031,76
Sans effet de serre	2886.75	2906.99	5703.43	11397.85
Sans capteur solaire	2401.72	2392.76	1354.2	3717.27
Sans stockage de chaleur	3183.93	3154,93	1602.47	3028.16

### **3.3- Irradiation solaire**

L'irradiation solaire totale noté TSI pour (*Total Solar Irradiance*) est la quantité d'énergie radiative provenant du Soleil (intensité totale du rayonnement reçue par une surface de 1 m<sup>2</sup> du sommet de l'atmosphère terrestre, lorsque celui-ci se situe à une unité atmosphérique ( $1,96 \cdot 10^8$  km) du Soleil et que la trajectoire du rayon est perpendiculaire à cette surface[26].

L'intensité du rayonnement solaire est plus importante que celle enregistré au début du printemps car ces valeurs sont enregistrées pendant la période du mois de Mai.

Comme d'habitude l'intensité commence à augmenter la matinée jusqu'au milieu de la journée où elle atteint son maximum comme par exemple les valeurs de 22 Mai 2018 qui est de 8.8 mV correspond à 1042W/m<sup>2</sup> enregistré entre 13h00 et 14h00, puis elle diminue de nouveau comme le montre la figure 3.14.

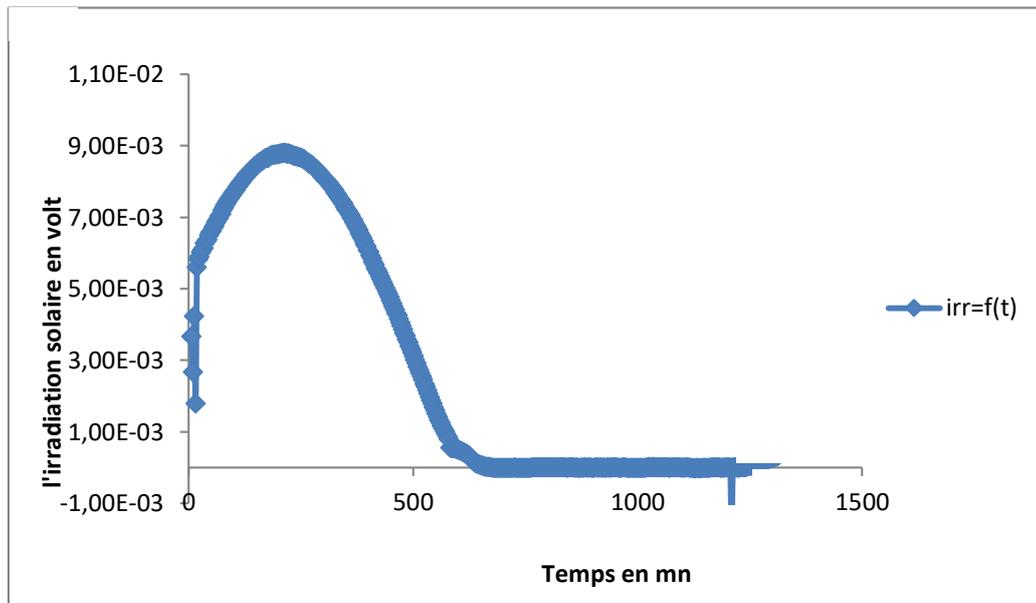
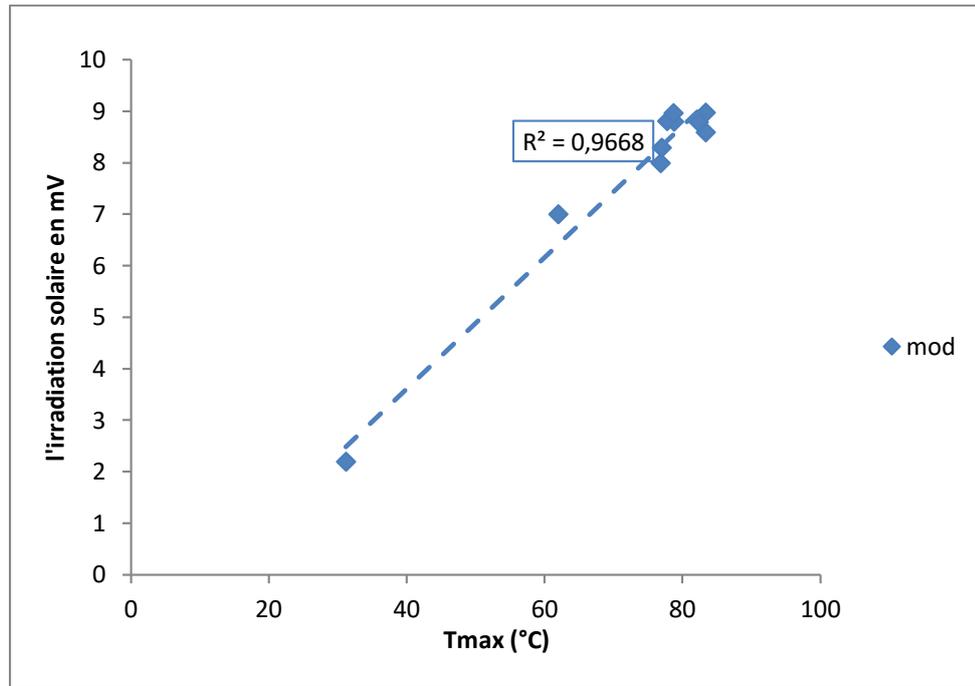
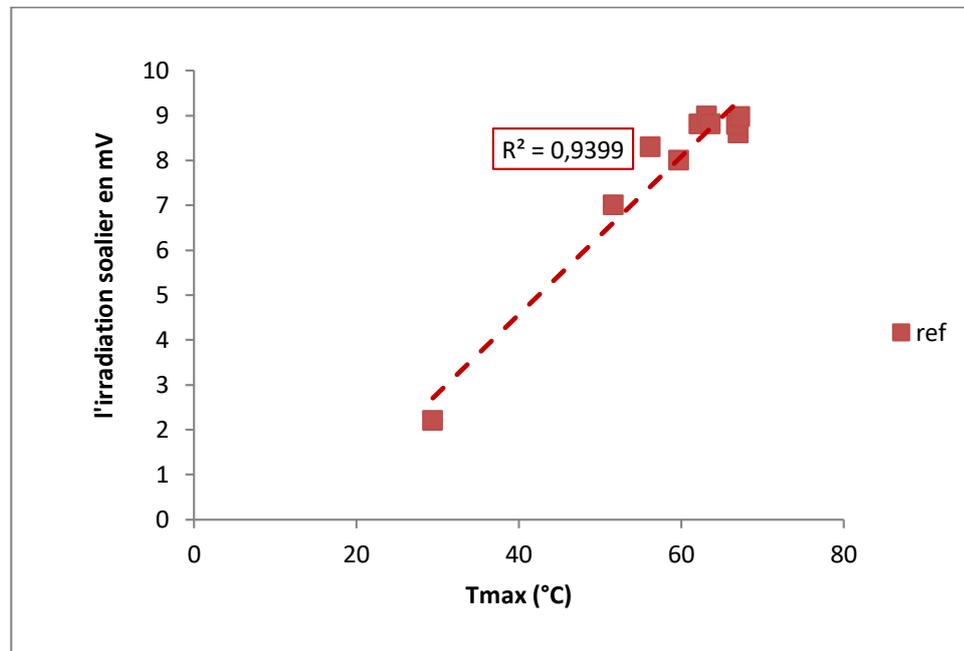


Figure 3.14 : Irradiation solaire en fonction de temps de la journée de mois de mai.

Dans le but de voir la relation entre la température maximale de l'eau et l'irradiation solaire (flux solaire) pour les deux distillateurs on a tracé l'irradiation solaire maximale des différents jours de mois de Mai en fonction de la température maximale comme le montrent les figures 3.15 et 3.16 respectivement pour le distillateur model et référence. D'après ces graphes, on peut dire qu'il ya une relation linéaire entre l'irradiation et la température maximale car nous remarquons que lorsque le flux solaire augment la température aussi augmente dans les deux distillateurs solaires.

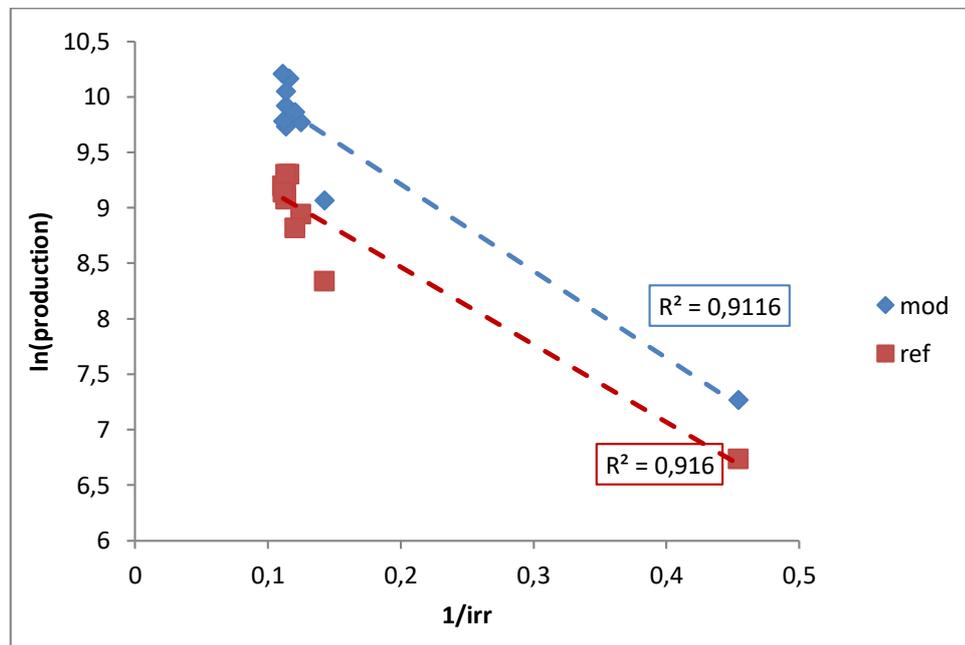


**Figure 3.15 : Irradiation solaire en fonction de température maximale de distillateur model.**



**Figure 3.16 : Irradiation solaire en fonction de température maximale de distillateur référence.**

D'après les résultats précédents on a trouvé qu'il y a une relation linéaire entre le logarithme naturel de la production journalière avec la température maximale réciproque et ces résultats finaux on peut tracer le graphe de la production journalière en fonction de l'irradiation solaire maximale pour voir la relation entre ces deux paramètres, les résultats sont présentés sur la figure 3.17 pour le distillateur model et le distillateur référence



**Figure 3.17 : Logarithme de production en fonction de l'irradiation réciproque pour les deux distillateurs solaires**

Ce dernier graphe à pour intérêt de trouver le volume d'eau distillé dans plusieurs régions facilement si on connaît à la valeur du flux solaire maximale ou moyenne de la région sans déplacer l'équipement.

### **3.4-Analyse de l'eau distillée produite :**

Les paramètres physiques de l'eau distillée produite par les 02 distillateurs ont été mesurés et comparés à ceux de l'eau brute avant distillation. Les résultats sont résumés dans le tableau 3.2 qui suit :

**Tableau 3.2 : Résultats des analyses de l'eau avant et après traitement.**

Les paramètres	Avant	Après	
		Distillateur référence	Distillateur model
Turbidité(NUT)	<b>0.45</b>	<b>0.05</b>	<b>0.21</b>
Salinité (g/l)	<b>0.8</b>	<b>00</b>	<b>00</b>
TDS(mg/l)	<b>1972</b>	<b>24</b>	<b>40</b>
Dureté(TH)	<b>716</b>	<b>20</b>	<b>10.2</b>
Conductivités (uS/cm)	<b>1972</b>	<b>33.7</b>	<b>14</b>
pH	<b>5.42</b>	<b>7.13</b>	<b>7.01</b>

Ces résultats montrent que l'eau distillée produite est de bonne qualité comparés aux normes d'une eau douce. Ces normes sont résumées dans les tableaux 3.3 et 3.4 qui suivent :

**Tableau 3.3 : Normes de la dureté d'eau douce**

Dureté (TH)	0à5	5à15	15à25	25à35	>35
EAU	Très douce	douce	Moyennement douce	dure	Très dure

**Tableau 3.4 : Normes de salinité, de conductivité, pH, TDS et la turbidité de l'eau douce.**

Les paramètres	Salinité	Conductivité	turbidité	TDS	pH
	<b>&lt;0.5 mg/g</b>	<b>&lt;80 us/cm</b>	<b>0 à 0.2</b>	<b>&lt;300mg/l</b>	<b>6.5 à 8.5</b>

### **3.5-Aspect économique, Estimation de prix de 1 litre d'eau**

La distillation solaire est un procédé de production d'eau douce qui pourrait être très économique, surtout dans les régions caractérisées par un bon ensoleillement.

L'estimation économique faite par les ingénieurs de L'UDES montre que le coût de l'équipement est de 300 000 dinars algériens (DA). D'après les essais effectués, nous estimons la production annuelle à 3300 litres, si l'on se base sur les résultats moyens du printemps, de l'été et de l'automne qui sont dans le tableau 3.5. Avec une période d'amortissement de dix ans, le coût de l'eau distillée produite est calculé par la relation suivante :

$$Y = \frac{\text{Prix total de l'équipement}}{\text{amortissement} * \text{volume d'eau produite pendant l'année}} \quad (3.2)$$

Avec :

Y : le prix de 1 litre d'eau distillée (DA).

Prix totale de l'équipement avec les coûts de fonctionnement et d'entretien qui s'ajoute aux dépenses est de 300 000 dinars algériens (DA).

L'amortissement de 10 ans.

Volume d'eau produite pendant l'année est de 3300 litres.

Par cet équipement solaire (distillateur model) était de 9 DA par litre

**Tableau 3.5 : variation temporelle de la production de distillat pendant une année**

Les mois	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Production journalière l/m <sup>2</sup> .j	1	2	3	5	10	20	20	20	20	5	3	1

## **CONCLUSION**

## CONCLUSION

Les zones arides et désertiques dans le sud Algérien souffrent d'un manque énorme en eau potable, ces régions sont riches en eau souterraine, malheureusement ces eaux sont parfois trop salées et ne sont généralement pas considérées comme des eaux potables. Ces régions sont fortement ensoleillées durant toute l'année et la technique de la distillation solaire de ces eaux saumâtres semble être le moyen le plus économique et le plus recommandé pour produire de l'eau potable avec des prix raisonnables et moins chers en utilisant une énergie gratuite, renouvelable et non polluante.

Le laboratoire de recherche et de développement des énergies renouvelables dans les zones arides et sahariennes s'est penché ces dernières années sur le développement des techniques et des moyens permettant l'amélioration du cumul journalier en eau potable issue de la distillation solaire. Son unité de développement des équipements solaires (UDES) a conçu un distillateur avec 03 modes de chauffage différents pouvant fonctionner simultanément ou séparément :

- un capteur solaire relié directement à l'évaporateur pour chauffer l'eau à distiller
- une cuve de stockage d'eau chauffée par deux capteurs solaires
- et un chauffage par effet de serre.

Nous avons comparé les performances de ce distillateur désigné EVAP MOD à celles obtenues sur un distillateur dit de référence désigné par EVAP REF avec un condenseur fonctionnant en thermosiphon. Les résultats obtenus montrent en particulier que la production nocturne du distillateur EVAP MOD est plus importante que celle du distillateur EVAP REF et ce grâce au système de stockage d'eau chaude alimenté par les deux capteurs solaires durant la journée. Ce système de chauffage (stockage d'énergie) est également utile et recommandé lors de journées faiblement ensoleillées et/ou en période hivernale.

L'étude technico-économique montre que le pris de revient d'un litre d'eau est de l'ordre de 9 DA.

## REFERENCES

- [1] Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 : Les conséquences de l'inaction. ISBN 978-92-64-122161 © OECD 2012.
- [2] ATALLAH.A, “procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de honaine”, mémoire de Master, université Abou Bakr Belkaid TLEMEN, Algérie, 2014.
- [3] TRAD.A., « Etude Et Modélisation De Deux Distillateur Solaire Symétrique et Asymétrique à Effet de Serre ».Thèse Doctorat .Université de Constantine.2014.  
Magister .Université Tlemcen ABOUBEKER BELKHID.2013.
- [4] <http://encyclopedie-energie.org/articles/le-dessalement-d%E2%80%99eau-de-mer-et-des-eaux-saum%C3%A2tres>. Consulter le 13/03/2018.
- [5] Ferahta.F., «Etude d'un transfert thermique dans la lame d'air d'un capteur ». Thèse de doctorat. Université Hadj Lakhdar Batna.2012.
- [6] KARROUTES.S., « Etude Théorique Et Numérique Des Systèmes Couple Plan-Capteur Distillation Hot Box-Capteur ».Mémoire De Magister .Université Mentouri Constantine.2009.
- [7] Sellami.M., « Eude Et Amélioration des Technique de Distillateur solaire Dans La région Sud –est Algérien (OUARGLA) ».Thèse De Doctorat.2014.
- [8] Bahria.S., « influence de la pose de chicanes sur le rendement d'un capteur solaire plan a air ».Mémoire de magister. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene.2010.
- [9] NEYER, P. Energie solaire thermique. Extrait du guide des énergies renouvelables, MR Wallonne (2005).
- [10] BELLEL, N. TABET, I. Etude, réalisation et simulation numérique d'un distillateur solaire à cascade .Revue des énergies renouvelable SIENR'12, p.49-57. (2012).
- [11] BENARIMA.Z., « Amélioration de la capacité de l'absorbeur d'un distillateur solaire simple par l'ajout d'une couche de sable>>.Mémoire Master Académique ». Université kasdi Merbah Ourgla.2012.
- [12] SHASHIKANTH.M, BINOD.KH.« Solar Water Distillation Using Energy Storage Matériel ».Procedia Earth and Planetary Science, 11, p .368-375, 2015.

- [13]Kaushal, A.K. Mittal, M.K. Gangacharyulu. D, “Development and experimental study of an improved basin type vertical single distillation cell solar still”. *Desalination*, 398, p .121-132, 2016.
- [14]Reddy, K.S. Sharon, “Energy -environment -economic investigations on evacuated active multiple stage series flow solar distillation unit for potable water production”. *Energy conversion and management*.151, p.259-285, 2017.
- [15]HADJALI.Y., « Impact Des Station De Dessalement De L’eau De Mer Sur La Littoral Cas De La Station Plage ELHILEL (Ain TEMOUCHENT) ».Mémoire De Master .Université ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN.2012.
- [16] SOTEHI. O. « Etude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d’un distillateur solaire ».Mémoire de Magister. Université Mentouri Constantine.2009.
- [17]Sethi, A.K,Dwivedi, V.K. “Exergy analysis of double slope active solar still under forced circulation mode”. *Desalination and water treatment*, 51.p . 7394-7400, (2011).
- [18]ABDENEBI, H. BENMOUSSA, H. Etude d’un system de dessalement solaire à étage multiple avec récupération de chaleur, p.1-9. (2012).
- [19]TABET.I., « Etude d’un Distillateur Solaire A Cascade ».Mémoire de Magister. Université Mentouri Constantine. (2010).
- [20]Deliou, A. Bessas, N. Belgron, Z. Aburideh, H. Lounis, A. Chikouche, A. « Etude expérimentale des caractéristiques d’un distillateur solaire à effet de serre ». *Revue des énergies renouvelable CICME’ 08* .p109-118, (2008).
- [21]HALLOUFI.O., « Etude De La Performance D’un Distillateur Solaire Par Un Système De Préchauffage Solaire De L’eau Saumâtre ».Mémoire De Magister. Université Mentouri Constantine.2010.
- [22]TABET.I, BELLEL.N. “Contribution à l’étude, réalisation et simulation d’un distillateur solaire à cascades”, *Sciences & technologies*, 32, p.29-35, 2010.
- [23]ABDELBAKI.Y, “ Etude experimental et numérique des perfomences d’un distillateur à simple pente couple à des capteurs solaires plans”mémoire de master. Université SAAD DAHLEB BLIDA .2016.
- [24]Diaf, A. Mellak, S. Ralemi , N. Benabdelaziz, K.F.“Low Temperature Stand Alone Solar Still”.1<sup>st</sup> Euro-Mediterranean Conference For Environmental Integration(EMCEI).2017
- [25]Diaf, A. Benabdelaziz, K.F.brackish,“water desalination using solar energy”. 9<sup>th</sup> international conference on thermal engineering: theory and application.2015.

[26]<https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/climatologie-tsi-9967/>. Consulter le 10/06/2018