





## Résumé

La région d'Adrar est dotée d'un gisement solaire important durant toute l'année ce qui fait d'elle un site favorisant la promotion et le développement des systèmes solaires entre autre la distillation solaire.

La distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer de l'eau saumâtre dans un bac couvert par une vitre inclinée. L'eau salée dans le bac va se chauffer et avec l'augmentation de température une partie de l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente.

L'inclinaison des vitres par rapport à l'horizontale, nous détermine la quantité d'énergie solaire introduite dans le distillateur et pour minimiser la distance entre saumure et vitre l'angle d'inclinaison doit faire l'objet d'un choix judicieux.

Le but de ce travail est de faire une comparaison entre les prototypes de distillateurs solaires dont le degré d'inclinaison des vitres est différent .

## Summary

The Adrar region is endowed with a significant solar deposit throughout the year, which makes it a site favoring the promotion and development of solar systems, among other things solar distillation.

Solar distillation is a technique that uses solar radiation to heat brackish water in a tank covered by sloping glass. The salt water in the tank will heat up and with the increase in temperature part of the water evaporates and the water vapor liquefies on the inner surface of the transparent glass.

The inclination of the panes with respect to the horizontal, determines the quantity of solar energy introduced into the distiller and to minimize the distance between brine and glass, the angle of inclination must be the subject of a judicious choice.

The purpose of this work is to make a comparison between the prototypes of solar stills whose degree of inclination of the windows is different.

## ***Lesmotsclés***

*Gisement*  
*Rayonnementsolaire*  
*Inclination*  
*Distillation*  
*Distillateursolaire*  
*Evaporation*  
*Echauffer*  
*L'eausaumâtre*  
*L'eausalé*  
*Vitre*  
*Baccouvert*

## **Keywords**

Deposit  
Solar radiation  
inclination  
Distillation  
solar distiller  
Evaporation  
warm up  
brackish water  
Dirty water  
Window  
Baccovered

### *Remerciements*

*Ce document présente les travaux effectués dans le cadre de notre thèse de Master au sein du Laboratoire de développement durable et d'informatique LDDI de la faculté des sciences et technologie à l'Université Ahmed Draia - Adrar.*

*Avant tout, nous remercions notre DIEU le Tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années d'études et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.*

*Nous voudrions exprimer nos profondes gratitude à notre encadreur Madame Roummani Khayra, pour ses encouragements, son suivi continu ainsi que sa rigueur et ses précieux conseils. Sans sa perspicacité et son appui, elle aurait été impossible de mener à bien ce travail. Ses connaissances et son expérience resteront pour nous une source constante de savoir. J'ai une dette de reconnaissance envers lui.*

*Nous voudrions aussi à remercier Monsieur Hamouda Messaoud pour avoir accepté d'être Co rapporteur de cette thèse ainsi que pour ces nombreux conseils.*

*Nous remercions aussi à Messieurs les membres de la jurée de nous avoir fait l'honneur d'accepter d'être les examinateurs de ce mémoire.*

*Nombreux sont celles et ceux qui nous ont apporté aide et encouragements au cours de la préparation de ce mémoire. Qu'ils en soient tous chaleureusement remerciés.*

***Dédicace***

*Je dédie mon travail avant tout à mes chers Parents qu'ont soutenu pendant toute la durée de ces longues études, « Que Dieux me les protègent ».*

*À Mes chers Frères et Sœurs.*

*Dédicace*

*Je dédie mon travail avant tout à mes chers Parents qui  
m'ont soutenu pendant toute la durée de ces longues études, « Que  
Dieux me les protègent ».*

*À Mes chers Frères et Soeurs.*

# Sommaire

<b>Introduction générale</b>	2
<b>Chapitre I Généralités sur la distillation solaire</b>	
I.1 Introduction	8
I.2. L'énergie solaire	9
I.3. Rayonnement solaire	10
I.3.1. Définition	10
I.3.2. Composition du rayonnement solaire	10
I.3.3. Les composantes du rayonnement solaire	11
I.3.3.1. Le rayonnement direct	12
I.3.3.2. Rayonnement diffusé	12
I.3.3.3. Rayonnement globale	12
I.3.3.4. Rayonnement réfléchis	12
I.3.4. Rayonnement solaire transmis à la terre	13
I.3.5. Puissance transmise par rayonnement	14
I.3.5.1. Transmission de chaleur entre deux surfaces planes noires en vis à vis total (pas de pertes latérales)	14
I.3.5.2. Transmission de chaleur entre deux surfaces grises planes en vis à vis total (pas de pertes latérales)	14
I.3.5.3 Transmission de chaleur entre deux surfaces grises enrobant	14
I.3.5.4 Réception du rayonnement par des corps réel	15
I.4. Le gisement solaire en Algérie	16
I.4.1. Définition de gisement solaire	16
I.4.2. Les modèles de ciel	16
I.4.2.1. Le ciel uniforme	17
I.4.2.2. Le ciel couvert CIE	17
I.4.2.3. Le ciel clair (sans soleil)	17
I.4.2.4. Le ciel clair (avec soleil)	17
I.5. L'eau dans le sud Algérien	18
I.6. Critères de qualité de l'eau	18
I.6.1. L'eau potable	18

## Sommaire

---

I.6.2. L'eau salée	18
I.6.2.1. L'eau de mer	19
I.6.2. 2. L'eau saumâtre	19
I.7. Spécification du site d'Adrar	20
I.8. La distillation solaire	20
I.8.1. Définition	20
I.8.2. Principe de fonctionnement	20
I.8.4. Différents Types de Distillateurs solaire	21
I.8.4.1. Distillateurs à simple effet (SED)	22
I.8.4.1.a Distillateur à pente unique	22
I.8.4.1.b Distillateur à double pentes	22
I.8.4.1.c Distillateur sphérique à balayage	23
I.8.4.1.d Distillateur solaire terre- eau	24
I.8.4.2 Distillateurs à multiples effets (MED)	24
I.8.4.2.a Le distillateur solaire à cascades	25
I.8.4.2.b Distillateur solaire à multiple bassin	25
I.9. Paramètres des distillateurs	26
I.9.1. Paramètres influant sur le système de distillation solaire	26
I.9.1.1. Paramètres externes	26
I.9.1.2. Les paramètres internes	27
I.9.1.2.1. Paramètres de position	27
I.9.1.2.2. La couverture	28
I.9.1.2.3. L'absorbeur	28
I.9.1.2.4. Paramètres thermo-physiques	28
I.9.1.2.5. Paramètres optiques :	29

## Chapitre II Bilans énergétique d'un distillateur solaire simple

II.1 Introduction	31
II.2. Les principaux phénomènes de conversion thermique	31
II.2.1. Transfert de chaleur et de masse	31
II.2.2. Transfert de chaleur par conduction	32
II.2. 3. Transfert de chaleur par convection	32
II.2.4. Transfert de chaleur par rayonnement	33

## **Sommaire**

---

II.2.5. Transfert de chaleur par changement de phase	33
II.2.5.1. Transfert de chaleur lors de l'évaporation	33
II.2.5.2. Transfert de chaleur lors de la condensation	33
II.3. Conception objective pour un distillateur solaire efficace	34
II.4. Caractéristiques de fonctionnement du distillateur	34
II.4.1. Le rendement	34
II.4.2. La performance	35
II.5.1. Échanges de chaleur à l'intérieur du distillateur	36
II.5.1.1. Exchange de chaleur de l'eau entre l'absorbeur et la surface de condensation	36
II.5.1.2 Échange de chaleur entre la vitre et la surface d'eau	36
II.5.2 Échanges de chaleur à l'extérieur du distillateur	36
II.5.2.1 Échange de chaleur entre la vitre et l'ambiance	36
II.6 Modélisation mathématique	36
II.8. Conclusion	40

## **Chapitre III Réalisation des distillateurs solaires simple inclinée**

III.1 Introduction	42
III.2. Présentation d'Unité de Recherche en Energies Renouvelables au Milieu Saharienne (URER/MS)	42
III.3. Description des prototypes	43
III.3.1. Description de forme générale	43
III.3.2. Description illustrative de deux distillateurs	44
III.3.2.1. Bac absorbant (plaque noire)	44
III.3.2.2. Couverture verrière (verre)	44
III.3.2.3. L'isolation thermique	45
III.3.2.4. Couverture extérieure	45
III.3.2.5. Cuve de récupération du distillat	45
III.3.2.6. Réservoir d'eau	45
III.4. Les dimensions des distillateurs	46
III.4.1. Premier distillateur	46
III.4.2. Deuxième distillateur	47
III.5. Tests expérimentaux	47
III.5. Les outils et les appareils utilisés	47

## **Sommaire**

---

III.5.1. Thermocouples	47
III.5.2. Acquisition	48
III.5.3. Pyranomètre	48
III.6. Discussions des résultats	49
III.6.1. Les paramètres météorologiques	49
III.6.2. Les températures des différentes parties des deux distillateurs solaires	50
III.6.3. La production	51
III.7. Conclusion	53
<b>Conclusion générale &amp; perspectives</b>	<b>55</b>
Références bibliographiques	57

**LISTE DES FIGURES**

**Chapitre I Généralité sur la distillation solaire**

Fig I-1 : Distillateur solaire à effet artisanal	9
Fig I.2 Le spectre des ondes électromagnétiques	11
Fig I.3 : Composantes du rayonnement solaire global	13
Fig I.4 : Rayonnement solaire transmis à la terre	15
Fig I.5 : Réception du rayonnement par un corps réel	15
Fig I.6 : Les différents modes de transferts de chaleur	16
Fig I.7 : Les différents modèles du ciel. Source : B. Paule, 2007	17
Fig. I.8: Principe de construction et de fonctionnement	21
Fig. I.9. Distillateur solaire à unique pente	22
Fig I.10 : Distillateur solaire à double pentes	23
Fig I.11 : Distillateur solaire sphérique à balayage	24
Fig I.12 Distillateur solaire à cascades	25

**Chapitre II Bilans énergétique d'un distillateur solaire simple**

Fig II.1 : Bilan énergétique d'un distillateur solaire	37
--	----

**Chapitre III Réalisation des distillateurs solaires simple inclinée**

Fig III.1 : L'entrée principale d'URER-MS	43
Fig III.2 : Système de dessalement deux distillateur a une seule pente	43
Fig III.3: Bac absorbant avant la mise de peinture	44
Fig III.4: Bac absorbant avec peinture noire	44
Fig III.5: Vitre placé pour couverture	45
Fig III.6 : Le coffre extérieur	45
FigIII.8: Réservoir d'eau	46
Fig III.9 : Des thermocouples (les fils noirs et jaunes)	48
Fig III.10 : Acquisition	48
Fig III.11 : Pyranomètre	48
Fig III.12 : Variation temporelle de l'irradiation solaire	49
Fig III.13 : Variation temporelle de la température ambiante	50
Fig III.14 : Variations temporelles des températures des différentes Parties de distillateur solaire	51

## Liste des figures

---

Fig III.15.a: Variation temporelle de la production Journalière et horaire	52
Fig III.15.b : Variation temporelle de la production Journalière et horaire La production d'eau	52
Fig III.15.c: Variation temporelle de la production Journalière et horaire	53

**Liste des Tableaux**

**Chapitre I Généralité sur la distillation solaire**

Tab I.1-Les caractéristiques principales du soleil	10
Tab I.2 : Classification des eaux selon la salinité	18
Tab I.3 : Degré de salinité des eaux de mers	19

**Chapitre II Bilans énergétique d'un distillateur solaire simple**

Tab II.2: analogie entre les grandeurs thermiques et les grandeurs électriques	38
--	----

**Chapitre III : Réalisation des distillateurs solaires simple inclinée**

Tab III.1 : Dimensionnes de distillateur N°1	47
Tab III.2 : Dimensionnes de distillateur N°2	47

## Liste des tableaux et Liste d'abréviations

---

### Liste d'abréviations

ABRÉVIATIONS	MOTS
OSW	Office of Saline Water
UV	ULTRA-VIOLÉ
LV	Lumière visible
IR	INFRAROUGES
CN	CORPS NOIR
SED	Distillateurs à simple effet
MED	Distillateurs à multiples effets
CIE	Commission Internationale de l'éclairage

# **Introduction Générale**

### **INTRODUCTION GENERALE**

Le monde aujourd'hui connaît une forte croissance démographique, ce qui augmente le souci des gouvernements de subvenir aux besoins de la population de leur pays en proportion de cette augmentation populaire en plus de développement basé en quelque sorte les domaines agricoles et industriels.

Par opposition, une énergie dite renouvelable doit se régénérer naturellement et indéfiniment à l'échelle temporelle de notre civilisation. Parmi ces énergies, l'énergie issue du soleil répond actuellement à ces critères à la fois d'abondance à la surface terrestre et de régénération infinie à notre échelle. Elle peut ainsi être utilisée directement sous forme thermique et depuis la découverte de l'effet photovoltaïque, convertie en énergie électrique. Cette dernière, bien qu'elle soit connue depuis de nombreuses années, comme source pouvant produire de l'énergie allant de quelques milliwatts au mégawatt, reste à un stade anecdotique et ne se développe pas encore dans de grandes proportions, notamment à cause du coût trop élevé des capteurs mis en œuvre [1].

Il est convenu que l'approche des énergies renouvelables en tant que solution idéale, qui inclut l'énergie éolienne, l'eau et l'énergie solaire. Est à la base de notre travail.

Bien que la majeure partie de la surface de la terre soit d'eau, mais la plupart de ces plans d'eau ne sont pas propices à consommation, Ce qui appelle la nécessité de créer de nouvelles méthodes au niveau des pays en crise, en fonction des caractéristiques naturelles de chaque région qui souffre, y compris la distillation solaire qu'a été adoptée dans le passé.

Le dessalement de l'eau de mer est connu depuis l'Antiquité et constitue une solution fiable utilisée par de nombreux pays côtiers notamment au Moyen-Orient. Deux grandes familles de procédés sont utilisées désormais pour le dessalement de l'eau de mer : les procédés thermiques de distillation qui se sont fortement développés à partir de la fin des années 1940 et les procédés membranaires qui ont vu le jour à la fin des années 1960 [2].

Dès le IV<sup>ème</sup> siècle avant JC, Aristote observe le principe de la distillation. Au XII<sup>ème</sup> siècle, Abélard de Bath décrit deux expériences dans les questions naturelles « au soleil, après l'évaporation sur une roche, l'eau de mer se transforme en sel ; lorsque le soleil fait défaut, on chauffe l'eau de mer et sous l'effet de la cuisson on la voit également se transformé en sel. Cette métamorphose explique que la mer soit plus salée l'été que l'hiver, que les mers

## **Introduction Générale**

---

méridionales le soient davantage que les mers septentrionales ». Depuis les temps les plus anciens, les marins ont dessalé l'eau de mer à partir de simples bouilleurs sur leurs bateaux, mais l'utilisation à des fins industrielles est récente. Dans les années 60, les procédés thermiques sont mis au point et utilisés pour dessaler l'eau de mer. Par ailleurs, des recherches sont développées sur les procédés de dessalement [3].

L'objectif de notre travail est de faire une comparaison entre deux prototypes de distillation solaire dont le degré d'inclinaison des vitres est différencié, nous avons fait des essais pratiques sur les deux prototypes avec différents angles d'inclinaison de vitre par rapport à l'horizontale, Alors :

\*Le premier chapitre contient de généralité sur le dessalement solaire, tel que l'énergie solaire avec des concepts généraux sur le dessalement solaire (rayonnement solaires, gisement solaire,...) en plus une présentation de principaux types des distillations solaires.

\*Le deuxième chapitre se compose de présentation et définitions des principales caractéristiques d'un distillateur solaires à une seule pente, puis on définit les bilans énergétiques.

\* La troisième chapitre contient la description des deux prototypes réalisés avec les résultats et l'interprétation.

# CHAPITRE I

## Généralités sur la distillation solaire

*Ce chapitre est destiné à  
présentées des connaissances  
générales sur la distillation  
solaire, que même une  
présentation d'énergie solaire.*

**I.1. Introduction**

Dans ce chapitre nous avons présentés la distillation solaire en générale, En plus de quelques concepts de base.

La distillation solaire est une technologie d'une très grande histoire. L'utilisation moderne de l'énergie solaire pour la distillation de l'eau salée ou saumâtre a commencé en 1872, dans le nord de Chili par l'installation d'un distillateur solaire de types bassin, qui a permis de satisfaire les besoins de la communauté, pendant plusieurs années tel que décrite par les références [4,5].

L'ingénieur anglais WILSON dirigeant une exploitation minière à Las Salinas au Chili, eut à résoudre un problème d'abreuvement de 4000 mules qui transportaient en convois les minerais de nitrate. Ne disposant que d'eau ayant une salinité égale à 140 g/l soit environ 4 fois supérieure à celle de l'eau de mer, il décida de construire un distillateur solaire en bois de 4460 m<sup>2</sup> qui devait fournir environ 20 m<sup>3</sup>/jour d'eau douce. Il faut reconnaître que les conditions étaient particulièrement favorables si l'on tient compte de la latitude du lieu, de son altitude (1400 mètres) et de la pureté de l'atmosphère. Cette installation resta en exploitation jusqu'en 1908 soit plus de 40 ans, un record de dimension et de durée a été ainsi établi dès le départ. Un regain d'intérêt pour la distillation solaire eut lieu vers 1925 sous l'impulsion du gouvernement français qui ouvrit un concours ; ce qui conduisit à un effort d'invention en France et en Afrique du Nord. En 1929 une installation due à GINESTOUS groupant 30 appareils de 1 m<sup>2</sup> a été exploitée à BEN GARDANE en Tunisie [6].

Pendant la deuxième guerre mondiale, des appareils repliables ont été réalisés pour les canots de sauvetages. Il s'agissait d'appareils circulaires en plastique, à fond conique lesté, la partie supérieure étant semi sphérique et qui flottaient une fois gonflés. Ces appareils ont été fabriqués en grandes quantités. Depuis 1954, les expériences se sont multipliées en particulier sous les auspices de l'Office of Saline Water (OSW) du Département de l'intérieur des Etats Unis et ont abouti à la construction de grandes installations à couverture de verre et de plastique à *DAYTONA BEACH*, en Floride. Ces installations ont été exploitées pendant plusieurs années et les résultats obtenus ont été publiés [6].

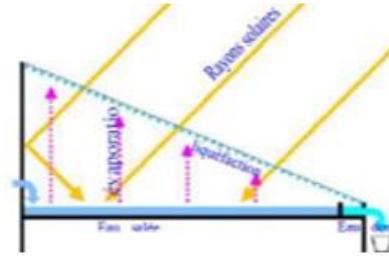


Fig I-1 : Distillateur solaire à effet artisanal

## I.2. L'énergie solaire :

De nos jours, il est devenu clair que l'énergie solaire est la source d'énergie renouvelable la plus attractive, ce qui était attendu en raison de ses approvisionnements imperméables et de sa nature non polluante, contrairement aux énergies approuvées comme le pétrole et le gaz naturel.

Ce que l'on désigne par énergie solaire est le rayonnement émis dans toutes les directions par le soleil, l'énergie solaire provient du rayonnement du soleil dont les rayons sont constitués de photons, vecteurs d'énergie. Ce terme d'énergie solaire s'emploie aujourd'hui à partir de l'exploitation du rayonnement du soleil pour obtenir l'électricité solaire et l'énergie thermique [7] (base de notre travail).

L'énergie solaire est une source d'énergie accessible à tous (industriels, collectivités et particuliers). Grâce à celle-ci, il est possible de produire trois types d'énergies : l'énergie calorifique avec les installations solaires thermiques (chauffe-eau solaire ou climatiseur solaire), l'énergie électrique avec les installations solaires photovoltaïques et le solaire à concentration thermodynamique [8].

Le soleil comme une source d'énergie très puissante fait de sa lumière l'une des plus grandes sources d'énergie du côté de terre, mais l'intensité de cette dernière est faible réellement, à cause de l'énorme diffusion de rayonnement en plus de la perte relative causée par les nuages.

Diamètre (km)	1392000
Masse (kg)	$2.10^{30}$
Surface (km <sup>2</sup> )	$6,09.10^{12}$
Volume (km <sup>3</sup> )	$1,41.10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m <sup>3</sup> )	1408

Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2,5 \cdot 10^{17}$

Tab I.1-Les caractéristiques principales du soleil

### I.3. Rayonnement solaire

#### I.3.1. Définition

C'est quoi rayonnement solaire ?!!...C'est le résultat d'une réaction de fusion nucléaire sous forme d'énergie électromagnétique rayonnante émise par le soleil.

Il a été montré que c'est la réaction de fusion de quatre atomes d'hydrogène en un atome d'Hélium 4 qui est impliquée (réaction de fusion nucléaire), La perte de masse impliquée par cette réaction dans le soleil est de 5 109 kg par seconde, soit 5 millions de tonne par seconde. Ceci implique selon l'équation d'équivalence : Masse (m)/Energie (E), la fameuse équation :

$$E = mc^2$$

Avec :

c : est la vitesse de la lumière

Une puissance de 4 1026 W soit 400000 milliards de TW, une puissance absolument considérable [9].

L'équation de cette réaction est donnée par :



Avec:

H: Hydrogène

He: Helium

E: Energie

La quantité d'ondes lumineuses qui atteignent la surface de la terre sur une superficie de 1 mètre carré est connue sous le nom de fusion de  $9 \times 10^{37}$  protons, produisant ou libérant une énergie de  $3,9 \times 10^{26}$  joules.

#### I.3.2. Composition du rayonnement solaire :

L'énergie émise par le soleil nous parvient sous forme de rayonnements électromagnétiques se propageant à la vitesse de la lumière et dont l'ensemble forme le rayonnement solaire, qui constitue la seule source externe notable d'énergie pour 60

l'atmosphère. Cependant, toute la gamme des rayonnements électromagnétiques se compose essentiellement de rayon ultraviolet lointain comme les rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière visible. Le rayonnement solaire contient aussi des rayons cosmiques de particules animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevées. Voir aussi la constitution de cette lumière qui provient du soleil sous forme d'onde électromagnétique dont 98 % d'énergie est comprise entre  $\lambda' = 0.25 \mu\text{m}$  et  $\lambda' = 4 \mu\text{m}$ , le reste représente 1% au-dessus et 1% au-dessous de cet intervalle [10].

Le rayonnement solaire est représenté par la lumière visible (LV :  $0.4 - 0.8 \mu\text{m}$ ) et de la lumière invisible [(UV :  $0.25 - 0.4 \mu\text{m}$ ) et (IR :  $0.8 - 4 \mu\text{m}$ )]. L'énergie rayonnée par le soleil n'est pas uniformément répartie sur toutes les longueurs d'ondes, elle passe par un maximum pour une longueur d'onde  $\lambda'_m$  donnée par la loi de Wien :  $\lambda'_m T = 2.898 \mu\text{m K}$  pour  $T = 5.777 \text{ K}$  et  $\lambda'_m = 0.5 \mu\text{m}$ . L'analyse du spectre du rayonnement solaire montre une ressemblance avec celui d'un corps noir de même surface et porté à une température de  $5.800 \text{ K}$  dans l'intervalle du spectre ( $0.25 \mu\text{m} - 4 \mu\text{m}$ ) et peut donc être décrit par la loi de Planck. Le maximum d'émission est dans le jaune ( $\lambda = 570 \text{ nm}$ ), et la répartition du rayonnement est à peu près pour moitié dans la lumière visible et pour moitié dans l'infrarouge, avec 1 % d'ultraviolets. Arrivé au niveau de la mer, c'est à dire ayant traversé toute l'atmosphère terrestre, une partie du rayonnement solaire a été absorbée. On peut repérer notamment sur le spectre ci-dessous les bandes d'absorption de l'ozone (qui absorbe une partie importante des ultraviolets), du dioxygène, du dioxyde de carbone et de l'eau (Fig I.1) [11].

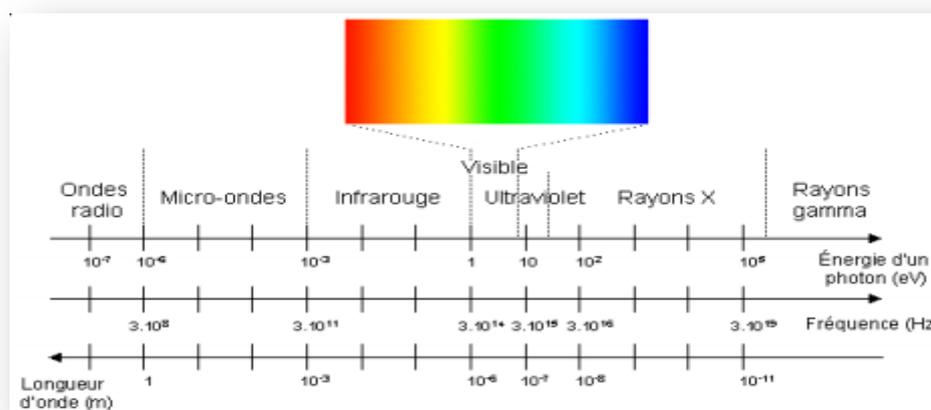


Fig I.2 Le spectre des ondes électromagnétiques [12]

### **I.3.3. Les composantes du rayonnement solaire**

Lorsque le soleil envoie ses rayons vers la terre, tout ce pourcentage de rayons ne traverse pas l'atmosphère.

À la surface de la terre, on observe non seulement le rayonnement solaire direct mais aussi le rayonnement diffus par l'atmosphère, puis par les corps terrestres, sol, plantes, bâtiments, et autres. On distingue de ces deux rayonnements qui constituent le rayonnement global dont une partie est réfléchi par la surface et l'autre absorbée. Ce rayonnement absorbé réchauffe le sol et devient une source pour l'atmosphère. La somme de toutes les formes de rayonnement s'appelle rayonnement net [13,14].

#### **I.3.3.1. Le rayonnement direct**

L'énergie directe provient exclusivement dans la direction d'éclairement du disque solaire tel qu'il est vu sans déviation géométrique, et donc durant les seules périodes d'ensoleillement. Par ailleurs les masses d'eau influent sur le rayonnement solaire par l'évaporation et formation de nuages, qui réduisent le rayonnement direct [13].

#### **I.3.3.2. Rayonnement diffusé**

L'énergie diffuse, est l'énergie diffusée par l'ensemble de l'hémisphère vue à tout moment du jour par la surface réceptrice, ciel bleu, nuage, sol ou autres corps à l'exception du disque solaire. À la différence du phénomène d'absorption qui convertit l'énergie perdue par absorption en énergie soit radiative, cependant, la diffusion a pour effet de redistribuer l'énergie captée dans toutes les directions sans changement de longueur d'onde [15].

#### **I.3.3.3. Rayonnement globale**

L'énergie globale est l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale. C'est la somme des énergies directes et diffuses. Elle provient à tout moment du jour de l'ensemble de l'hémisphère apparent [13].

#### **I.3.3.4. Rayonnement réfléchis**

Le calcul du rayonnement solaire global fait conduire parfois à la composante réfléchi, soit en milieu rural (les plans d'eau) ou en milieu urbain par la réflexion du soleil par les bâtiments voisins. Au moins 35 % du rayonnement solaire intercepté par la terre et son atmosphère sont réfléchis vers l'espace [13].

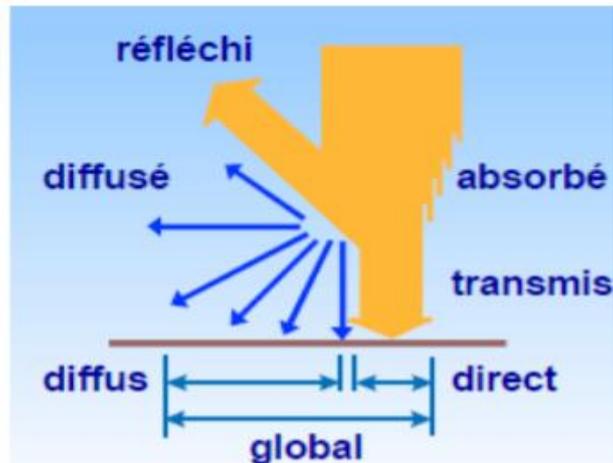


Fig I.3 : Composantes du rayonnement solaire global [13]

**I.3.4. Rayonnement solaire transmis à la terre :**

La Fig I.4, publiée par Météo France, montre que près du quart de cet éclairement incident est réfléchi dans l'espace par l'atmosphère : pareille réflexion est essentiellement le fait des nuages ( $65 \text{ W.m}^{-2}$ ), le reste ( $15 \text{ W.m}^{-2}$ ) étant dû aux autres constituants atmosphériques comme les gaz et aérosols. Il reste donc  $180 \text{ W.m}^{-2}$  qui parviennent à la surface terrestre au terme d'une transmission dont les deux tiers ( $120 \text{ W.m}^{-2}$ ) se font directement, le reste ( $60 \text{ W.m}^{-2}$ ) s'effectuant par diffusion vers le bas [16].

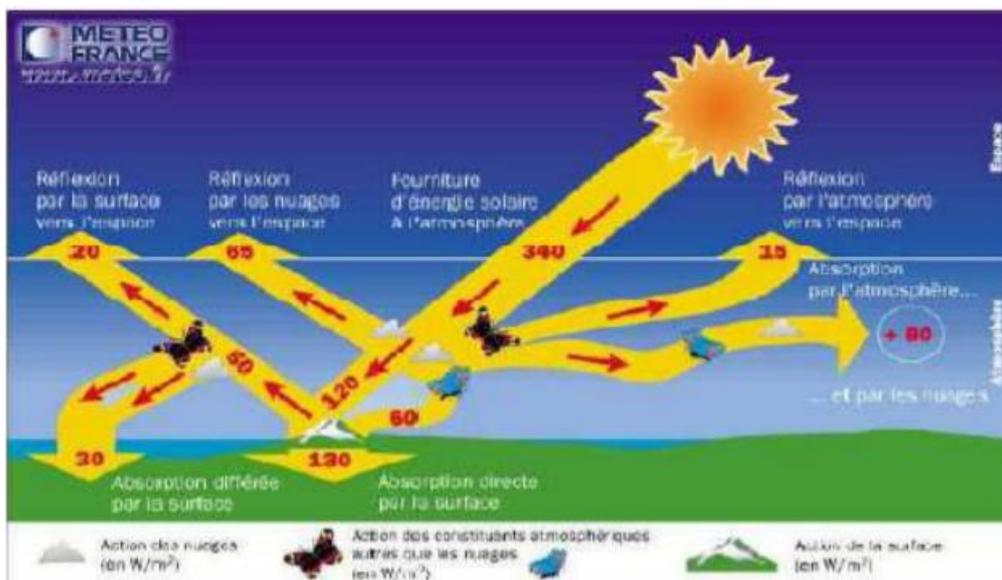


Fig I.4 : Rayonnement solaire transmis à la terre

Intervient alors un processus complexe d'interaction entre la diffusion vers le bas et la réflexion. Sur les  $180 \text{ W.m}^{-2}$  incidents, la surface terrestre, qui possède un albédo moyen élevé, devrait renvoyer dans l'atmosphère environ  $50 \text{ W.m}^{-2}$ . En fait, la majeure partie de l'éclairement qu'elle réfléchit ainsi lui revient tôt ou tard et s'ajoute partiellement aux  $180 - 50 = 130 \text{ W.m}^{-2}$  de rayonnement solaire non réfléchis à son contact. Bien que l'absorption du rayonnement solaire soit un phénomène continu, on peut simplifier la compréhension du processus précédent en supposant que les  $50 \text{ W.m}^{-2}$  réfléchis par la surface du globe se répartissent entre  $20 \text{ W.m}^{-2}$  définitivement renvoyés vers l'espace interplanétaire et  $30 \text{ W.m}^{-2}$  qui reviennent à la surface terrestre après diffusion différée vers le bas. Cette énergie s'ajoute aux  $130 \text{ W.m}^{-2}$  initialement non réfléchis pour constituer approximativement les  $160 \text{ W.m}^{-2}$  qu'absorbe la surface terrestre [17].

**I.3.5. Puissance transmise par rayonnement [18]**

**I.3.5.1. Transmission de chaleur entre deux surfaces planes noires en vis à vis total (pas de pertes latérales)**

Le facteur d'angle est égal à 1. Le flux transféré de la surface chaude 1 vers la surface froide 2 s'écrit :

$$\Phi = \sigma s(T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots (I.2)$$

**I.3.5.2. Transmission de chaleur entre deux surfaces grises planes en vis à vis total (pas de pertes latérales) :**

$$\Phi = \sigma f_{12} S_1 (T_1^4 - T_2^4) = \sigma f_{21} S_2 (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots (I.3)$$

Avec :

$$f_{12} = \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2 - \epsilon_1 \epsilon_2} \dots\dots\dots (I.4)$$

**I.3.5.3 Transmission de chaleur entre deux surfaces grises enrobant**

C'est par exemple le cas de deux surfaces concentriques longues. Le flux s'exprime encore :

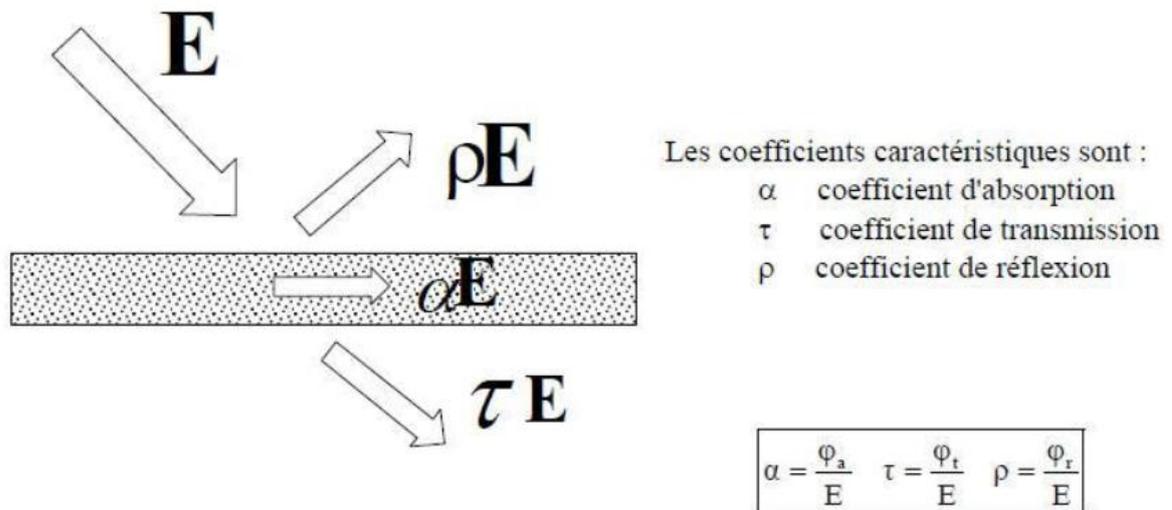
$$\Phi = \sigma f_{12} S_1 (T_1^4 - T_2^4) = \sigma f_{21} S_2 (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots (I.5)$$

Mais cette fois ci :

$$f_{12} = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_2 + \varepsilon_1 (1 - \varepsilon_2) \frac{S_1}{S_2}} \dots \dots \dots (I.6)$$

**I.3.5.4 Réception du rayonnement par des corps réel [19]**

Lorsqu'un rayonnement atteint la surface d'un corps, une partie est réfléchi e, une autre partie est transmise directement et enfin la dernière partie est absorbé e dans la masse de récepteur. Seule cette dernière partie correspond à l'apport énergétique du corps.



Réception du rayonnement par un corps réel

Fig I.5 : Réception du rayonnement par un corps réel

Avec:

E : éclairement.

$\varphi_a$ : Flux absorbé.

$\varphi_t$ : Flux transmise.

$\varphi_r$  : Flux réfléchi.

T :Température du corps (en kelvin)

S :Superficies du corps ;

$\sigma$  :Constante de Stefan-Boltzmann ( $5,6703 \cdot 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ )

$\varepsilon$  : émissivité, coefficient sans unité qui vaut 1 pour un corps noir et qui est compris entre 0 et 1 selon l'état de surface du matériau.

Une relation simple relier les trois coefficients:

$$\alpha + \tau + \rho = 1 \dots\dots\dots (I.7)$$

Ces coefficients dépendent frottement de la longueur d'onde. C'est le cas pour le verre qui est laisse aisément passe les courtes longueurs d'onde et absorbe fortement les grandes longueurs. C'est la base même de l'explication de l'effet de serre.

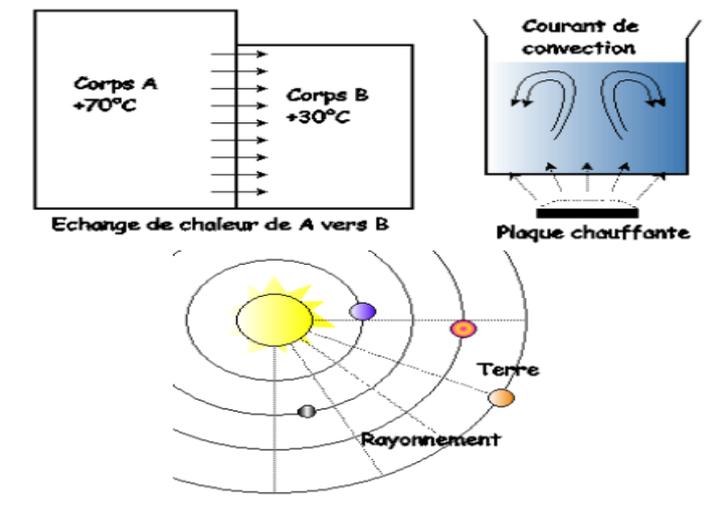


Fig I.6 : Les différents modes de transferts de chaleur

**I.4. Le gisement solaire en Algérie :**

**I.4.1. Définition de gisement solaire :**

Dans le lexique des énergies-renouvelables le gisement est le lieu de concentration naturel de matières minérales solides, liquides ou gazeuses [20].

Selon A.Mefti et al (2002) :“ Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Son évolution peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale. Elle est utilisée pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc faire le dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes à satisfaire”.

**I.4.2. Les modèles de ciel :**

Liébard, A. et De Herde, A., (2005) ont classés les types de cieus par ordre de complexité comme suit : [15]

#### I.4.2.1. Le ciel uniforme

C'est le modèle le plus simple ; c'est lorsque le ciel est couvert d'une couche épaisse de nuages laiteux ou à une atmosphère pleine de poussières ou le soleil n'est pas visible, sa luminance est indépendante des paramètres géométriques et elle est constante en tout point du ciel à un moment donné.

#### I.4.2.2. Le ciel couvert CIE

C'est un modèle établi par la Commission Internationale de l'éclairage (CIE) ; c'est lorsque le soleil est caché par un ciel de nuages clairs, sa luminance varie en fonction de la position de chaque point par rapport à la voûte céleste.

#### I.4.2.3. Le ciel clair (sans soleil)

Un ciel clair propage un rayonnement diffus de l'éclairement d'un ciel serein, dépend de la variation de la position du soleil, excluant le rayonnement solaire direct. Sa luminance varie en fonction des paramètres géométriques et de la position du soleil.

#### I.4.2.4. Le ciel clair (avec soleil)

Quand le soleil est visible ou brille, le ciel est dégagé ou ciel serein, le pourcentage des nuages ne dépasse pas 20%. C'est le plus compliqué d'entre eux car il prend en compte le rayonnement global ; alors que les trois modèles précédents ne font intervenir que la composante diffuse de rayonnement solaire ; il offre la possibilité d'étudier les jeux d'ombres et de lumière ainsi que les risques d'éblouissement dus à la pénétration du soleil dans un bâtiment.



Fig I.7 : Les différents modèles du ciel. Source : B. Paule, 2007

### 1.5. L'eau dans le sud Algérien

Le sud Algérien couvre 85 % du territoire national, avec une superficie d'environ  $2,156 \times 10^6 \text{ km}^2$ , et une population qui a dépassé aujourd'hui les trois millions d'habitants. Il est considéré comme une zone désertique, où les précipitations sont quasi nulles, les crues sont violentes et dévastatrices : le charriage est considérable et l'érosion participe au transport solide dans les cours d'eau avec un débit appréciable [21].

### 1.6. Critères de qualité de l'eau :

#### 1.6.1. L'eau potable

Une eau potable est une eau douce inodore, incolore, insipide qui ne contient pas de produits toxiques, mais contient quelques sels minéraux avec des concentrations réglementées et qui doivent être respectées. L'organisation Mondiale de la Santé a édicté des normes internationales pour l'eau potable, qui comprennent un exposé général des normes bactériologiques, physiques, chimiques, biologiques et radiologiques. Une eau destinée à des fins domestiques doit avoir une salinité inférieure ou égale à 0,5 g/l, avec une dureté entre 1,5 et 3 degrés et elle ne doit pas contenir plus de 200 mg/l de chlore, ni plus de 75 mg/l de calcium, ni plus de 50 mg/l de magnésium, ni plus de 150 mg/l de sulfates [22].

Type d'eau	Salinité (mg/l)
Eau douce	< 500
Eau légèrement saumâtre	1.000 - 5.000
Eau modérément saumâtre	5.000 - 15.000
Eau très saumâtre	15.000 - 35.000
Eau de mer	- 42.000

Tab I.2 : Classification des eaux selon la salinité [23]

#### 1.6.2. L'eau salée

L'eau salée est une eau contenant une quantité sensible de sels dissous, plus particulièrement de chlorure de sodium par opposition à une eau douce. La plus grande partie des ressources mondiales d'eau sont des eaux salines dont la teneur excessivement sel rend leur utilisation impropre aux exigences des activités humaines,

ce qui nécessite l'élimination des sels. Les eaux salées comprennent l'eau de mer et l'eau saumâtre [24].

### I.6.2.1. L'eau de mer

Est un liquide dont la composition est extraordinairement variée, puisqu'on y trouve une cinquantaine de corps simples. L'énumération de ces corps simples va de l'hydrogène, de l'oxygène, ainsi de la teneur de l'eau de mer en sels est plus importante dont le sel prédominant est le chlorure de sodium (environ 27 g/l), Il y a aussi du chlorure de magnésium (environ 3,8 g/l), du sulfate de magnésium (environ 1,7 g/l), du sulfate de calcium (environ 1,3 g/l), du sulfate de potassium (environ 0,8 g/l) et du carbonate de calcium (environ 0,1 g/l) ; ce dernier étant d'ailleurs sous forme de bicarbonate soumis à l'équilibre carbonique. Il y a aussi du bromure de magnésium (environ 0,08 g/l). En additionnant les teneurs ci-dessus, on trouve que l'eau de mer possède une salinité moyenne de 35 g/l, mais en réalité, il faut considérer que l'eau de mer contient généralement de 35 à 42 g/l de sels minéraux dissous, et la salinité étant différente selon les mers [25].

Mers	Salinité en g/litre
Mer Baltique	7,5
Mer Caspienne	13,5
Mer Noir	20
Mer Adriatique	25
Océan Indien	33,8
Océan Atlantique	36
Mer Méditerranée	39
Golf Arabe	43
Mer Rouge	43
Mer Morte	270

Tab I.3 : Degré de salinité des eaux de mers [25]

### I.6.2.2. L'eau saumâtre

Une eau saumâtre est une eau, ou un plan d'eau le plus souvent, telle qu'une lagune par exemple, dont la salinité est intermédiaire entre celle de l'eau douce et celle de l'eau de mer. Les variations de salinité y sont généralement grandes, elles sont en fonction des pluies. Par convention, les eaux saumâtres désignent toutes les eaux salées dont la teneur en matières dissoutes est inférieure à celle de l'eau de mer, on y classe les eaux salées à concentration comprise entre 1 000 et 10 000 ppm, donc intermédiaire entre les eaux douces et les eaux salines. Techniquement, l'eau saumâtre

contient entre 0,5 et 30 grammes de sel par litre. L'eau saumâtre peut résulter du mélange de l'eau de mer avec de l'eau douce (cas de précipitations abondantes en eau de pluie), comme dans les estuaires, ou elle peut se produire dans les aquifères fossiles saumâtres. La mangrove est un habitat typique d'eau saumâtre à salinité variable [26].

### **I.7. Spécification du site d'Adrar**

Le Sahara Algérien, plus précisément la région de Touat, ultime passage avant la traversée du sud, offre une organisation sociopolitique originale qui a permis, depuis des siècles, d'installer et de maintenir des sociétés et des oasis en parfaite Harmonie Le Touat s'étend sur une zone d'affleurement de la plus grande nappe aquifère du Sahara, doté de fabuleuses réserves en eau, facile à exploiter Situé pratiquement sur les méridien 0, entre 26°C et 29°C de altitude nord, sur les marges ouest du plateau du Tademaït, la région de Touat, image de la willaya d'Adrar, est un ensemble de petites oasis. Le prolongement de l'ouest Saoura, du Metarfa et Tsabit à Regagne en passant par Adrar le chef-lieu de, Zaouite-Kounta en parcourant 200 Km et au passage on laisse une centaine de ksour, petite agglomération, des villages anciens souvent accompagnées de casbahs associées à une palmeraie, située en contrebas [12].

### **I.8. La distillation solaire**

#### **I.8.1. Définition**

La distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer de l'eau saumâtre dans un bac couvert par une vitre inclinée. L'eau salée dans le bac va se chauffer et avec l'augmentation de température une partie de l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente.

#### **I.8.2. Principe de fonctionnement**

La production ou le dessalement d'eau salée et l'eau saumâtre dans le distillateur solaire dépend de l'énergie solaire, où l'utilisation de cette dernière est devenue une large gamme. Plusieurs systèmes de distillation solaire ont été développés au fil pour la purification de l'eau dans de nombreuses régions du monde. Plusieurs chercheurs ont effectué des travaux sur la distillation solaire.

Les distillateurs solaires utilisent tous le même principe de fonctionnement néanmoins, ils peuvent différer les uns des autres en conception et en matériau. Le fonctionnement d'un distillateur solaire repose sur l'effet de serre. Le distillateur solaire est un bassin isolé à parois adiabatiques dont le fond noirci contient une quantité d'eau, il est coiffé d'un couvercle transparent, généralement du verre. 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. Comme les parois sont hermétiquement closes et le verre opaque aux radiations infrarouges de grandes longueurs d'ondes, l'énergie solaire se trouve ainsi emprisonnée (effet de serre) et l'air est chauffé. La température du couvercle qui baigne dans 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 du couvercle incliné. L'eau s'écoule suivant un film mince et peut être recueillie [27].

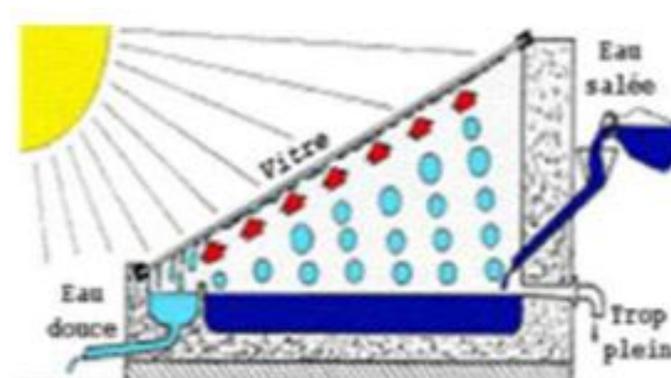


Fig. I.8: Principe de construction et de fonctionnement

#### I.8.4. Différents Types de Distillateurs solaire

La distillation peut être réalisée suivant différentes techniques : la distillation simple ou multiples effets, la distillation par détente successive appelée aussi multi flash ou flash et la distillation par compression de vapeur.

Tous ces procédés suivent le principe qui comporte trois étapes : production de la vapeur, transfert à un condenseur puis condensation mais ils peuvent être différents en termes de performance, de conception et de matériaux utilisés. Cependant les techniques utilisées ainsi que les mécanismes de récupération d'énergie sont nombreux, on cite les types suivants de la distillation [28] :

### I.8.4.1. Distillateurs à simple effet (SED)

Ce sont les distillateurs les plus utilisés dans le monde, le distillateur est constitué d'un bassin peint en noir pour capter le maximum de radiation solaire, rempli d'eau et couvert d'une vitre transparente aux rayons ; cette dernière est inclinée pour que la vapeur condensée dans sa face intérieure coule vers une gouttière qui est placée en bas, généralement ce type est simple à construire et à maintenir mais son efficacité est inférieure à celle d'un distillateur à multiple effets [29,30].

Dans ce type on peut citer :

#### I.8.4.1.a Distillateur à pente unique

C'est un distillateur à capteur unique incliné d'un angle ( $\beta$ ), il est appelé aussi distillateur simple.

C'est le prototype utilisé durant nos simulations, généralement sa production est faible comparée avec les autres types de distillateurs à multiple effets, mais il est très souple vu son simple entretien et la facilité de son démontage et de son assemblage [31].  
Fig II.9.

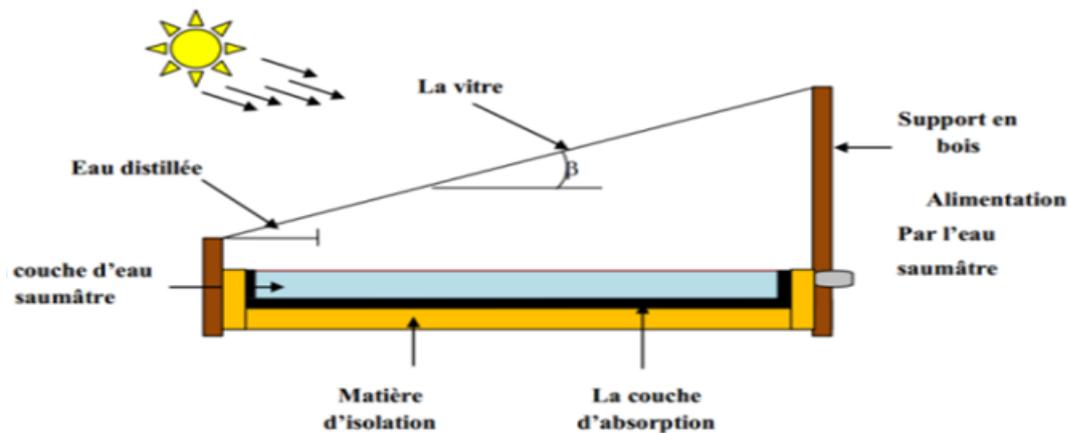


Fig. I.9. Distillateur solaire à unique pente

#### I.8.4.1.b Distillateur à double pentes

C'est un distillateur simple mais à double couvertures verrières où chacune d'elles est inclinée d'un angle ( $\beta$ ),

Son avantage est d'exposer l'un de ses cotés au soleil et l'autre à l'ombre pour accélérer la condensation *Fig I.10* [32]. Un module de 2 mètres de large sur 50 mètres de long produit 330 litres d'eau pure par jour dans un climat désertique.

Aujourd'hui, on utilise toujours des systèmes de distillation comme celui-ci pour résoudre les difficultés d'approvisionnement en eau douce dans les Caraïbes, dans certains pays désertiques du Moyen-Orient et dans le pourtour méditerranéen [33].

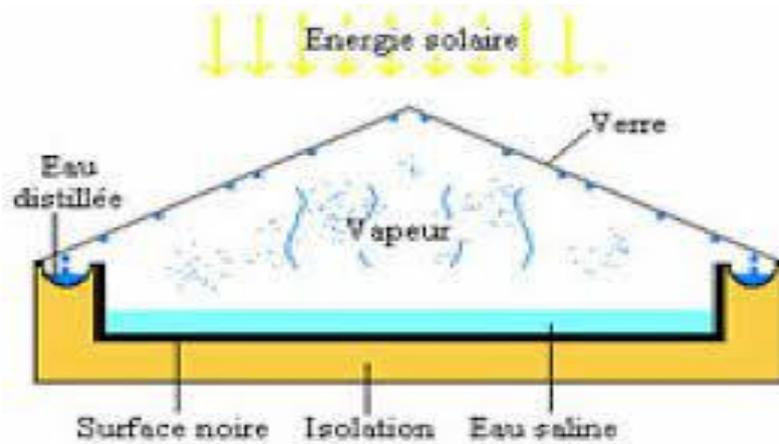


Fig I.10 : Distillateur solaire à double pentes

#### I.8.4.1.c Distillateur sphérique à balayage

C'est un plexiglas transparent en plus d'un réservoir en position horizontale et d'une surface de condensation hémisphérique *Fig I.11*, le rayonnement direct sur la partie supérieure de l'hémisphère chauffe l'eau qui le traverse et de là une partie de l'eau s'évapore, puis la vapeur résultante s'accumule dans la deuxième partie. Les distillats traversent l'hémisphère descendre à travers l'espace annulaire entre le réservoir et la bille. L'eau distillée résultante traverse l'hémisphère à travers l'espace entre le réservoir et la bille.

L'avantage de ce système de balayage est de maintenir la surface de condensation, constamment transparente au rayonnement, et d'assurer un drainage rapide des gouttelettes [33].

L'un des inconvénients de ce type de distillateur est que la surface horizontale de la solution intercepte moins de radiation solaire que les surfaces inclinées [28]

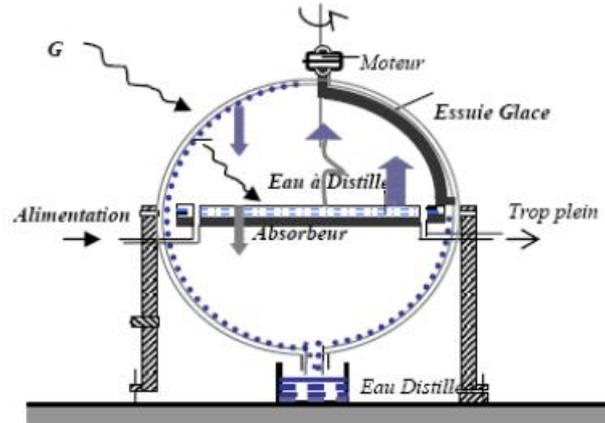


Fig I.11 : Distillateur solaire sphérique à balayage

#### I.8.4.1.d Distillateur solaire terre- eau

De grandes quantités d'humidité sont accumulées dans la terre durant la saison froide, de même dans les régions arides. Pour exploiter cette hydrologie naturelle, on utilise le distillateur solaire terre-eau. Il est similaire à celui de l'effet de serre, mais le sol remplace le bassin noir.[28]

#### I.8.4.2 Distillateurs à multiples effets (MED)

Pour augmenter le rendement de l'opération, il y a intérêt à récupérer la chaleur de condensation et à l'utiliser comme chaleur d'apport pour une nouvelle distillation, on réalise alors plusieurs effets, la chaleur résiduelle est récupérée et utilisée pour le chauffage de l'eau à traiter [28].

L'eau de mer est chauffée dans le premier corps d'évaporation par des tubes alimentés par la vapeur d'une source extérieure. La vapeur émise par ébullition dans ce corps (effet) sert à évaporer l'eau dans le deuxième corps. La vapeur de chauffe condensée dans le premier corps est récupérée sous forme d'eau douce à la sortie du deuxième corps. Cette opération est répétée dans plusieurs effets (de 4 à 21) [24].

Dans les industries de traitement divers, on réunit ainsi jusqu'à six ou sept évaporateurs condenseurs (le premier évaporateur et le dernier condenseur ayant une seule fonction), et peut être combinée avec une centrale électrique thermique. Pour fixer le nombre d'effets, on tient compte de la différence globale de température disponible entre la source chaude et froide, et du gradient de température nécessaire dans chaque évaporateur pour assurer le transfert efficace de chaleur de la vapeur de

chauffe à l'eau à distiller. Il dépend aussi du prix de revient de la vapeur d'alimentation, donc du coût de combustible employé [28]

#### I.8.4.2.a Le distillateur solaire à cascades

Ce type de distillateur fig. I.12 utilise le même principe que celui à effet de serre, sauf que dans ce cas, la solution est répartie en couches fines sur plusieurs cascades. Il a été remarqué que le rendement de ce type de distillateurs est plus grand que celui du distillateur plan durant les journées ensoleillées, mais plus faible pendant la nuit. La différence de performance est due à la quantité de la solution qui se trouve dans les deux distillateurs [34].

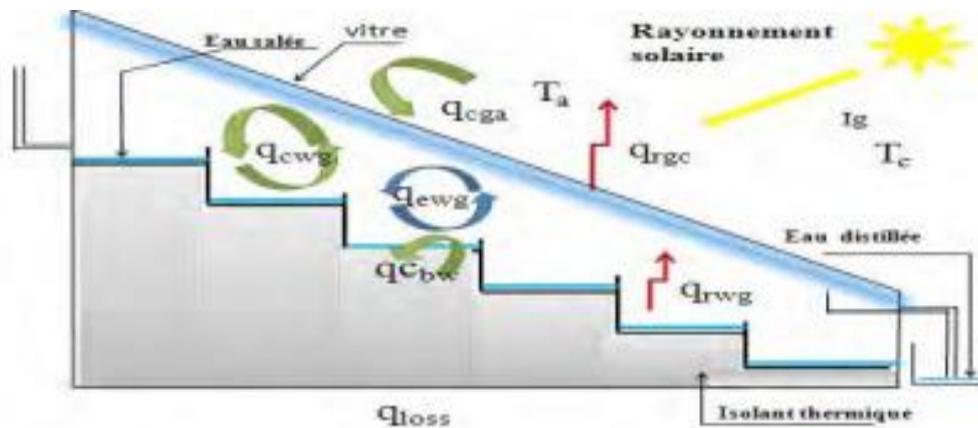


Fig I.12 Distillateur solaire à cascades

#### I.8.4.2.b Distillateur solaire à multiple bassin

La différence de température entre l'eau de bassin et celle de la condensation de la couverture en verre a un effet direct sur la productivité du distillateur solaire.

L'augmentation de la température de l'eau fait augmenter la différence de température entre les surfaces d'évaporation et de condensation. Pour parvenir à une meilleure évaporation et un taux de condensation élevé, la température de l'eau du bassin peut devenir élevée grâce à un apport d'énergie thermique à partir d'une certaine source externe. Cette température de l'eau est augmentée par la fourniture d'énergie thermique supplémentaire venant des capteurs solaires externes vers le bassin du distillateur. L'énergie supplémentaire est fournie surtout au bassin inférieur du distillateur solaire, car il reçoit moins de rayonnement que le bassin supérieur, en raison de la diminution de la transmissivité par le bassin de l'étage [24].

Tiwari [35] a étudié l'effet du distillateur solaire à double bassins avec de l'eau qui s'écoule sur la couverture en verre et utilisant un capteur plan pour fournir de l'eau chaude au bassin inférieur. Il a constaté que l'utilisation d'un capteur plan donne un rendement plus élevé de 50% qu'un distillateur solaire normal et à double effets. Il a également observé que le rendement du distillateur reste élevé malgré la déconnexion du capteur pendant les heures non ensoleillées ce qui permet d'éviter les pertes de chaleur à travers le capteur.

## **I.9. Paramètres des distillateurs**

### **I.9.1. Paramètres influant sur le système de distillation solaire**

Les paramètres affectant le fonctionnement de l'appareil de distillation peuvent être classés comme suit :

- Les paramètres externes par rapport au système de distillation [17].
- Les paramètres internes par rapport au système de distillation [17].

#### **I.9.1.1. Paramètres externes**

En ce cas les paramètres sont liés au site d'implantation du distillateur solaire et qui influent sur le fonctionnement et sur le rendement du système. L'un des paramètres les plus connus que nous citons :

- **Les paramètres géographiques**

De tout point de vue, la sphère terrestre est repérée par deux coordonnées, appelées coordonnées terrestres à savoir :

- ✓ La latitude  $\theta$  : positive dans l'hémisphère nord, négative dans l'hémisphère sud [17]
- ✓ La longitude L: Elle est comptée positivement à l'ouest et négativement à l'est et ce en fonction du méridien d'origine, appelé méridien de Greenwich [17].
- ✓ Hauteur du soleil [17].

- **Paramètres météorologiques (climatiques):**

L'ensoleillement et les changements climatiques sont deux facteurs principaux dans les conditions climatiques dominantes en plus de certains des facteurs suivants mentionnés :

- ✓ Intensité du rayonnement solaire (Rayonnement solaire incident): Le facteur essentiel est une énergie rayonnante de courte longueur d'onde (0,17 à  $4\mu\text{m}$ ).

Le maximum d'intensité est obtenu pour une longueur d'onde  $0,47\ \mu\text{m}$  dans le spectre visible. L'intensité globale du rayonnement solaire arrivant aux confins de l'atmosphère sur une surface perpendiculaire est une constante et est égale à  $1,35\ \text{kW/m}^2$ . Cependant, l'énergie arrivant au voisinage de la surface terrestre est affaiblie par l'absorption d'une partie du rayonnement par l'atmosphère. Le coefficient de transmission est constant durant l'année et se situe entre 0,7 et 0,9. Il est d'autant meilleur lorsque l'épaisseur de l'atmosphère est plus faible [17].

- ✓ Vitesse du vent : L'existence des hautes et basses pressions est à l'origine du vent. Ce vent est caractérisé par sa direction et la vitesse de sa composante horizontale, dont elle joue un rôle important sur le fonctionnement du système (l'effet convectif sur la face externe de la vitre et de la plaque du condenseur) [17].
- ✓ La Température de l'air ambiant : La valeur de cette température intervient pour la détermination des échanges thermiques entre la partie interne du distillateur et le milieu extérieur [17].
- ✓ Autres facteurs météorologiques
  - La position du soleil et la conception immobile solaire.
  - L'éclairement énergétique du au rayonnement global.
  - L'intermittence des nuages.
  - La durée d'insolation.
  - La température sèche.

- L'humidité de l'air et la pluviométrie doivent être prises en considération dans la mesure où ces deux facteurs arrivent à modifier le bilan thermique du distillateur.

### I.9.1.2. Les paramètres internes

#### I.9.1.2.1. Paramètres de position

##### a) L'emplacement du distillateur :

Les distillateurs doivent être placés de façon à éviter les obstacles « l'effet de masque » qui empêche le rayonnement solaire d'atteindre la surface de captation.

##### b) L'orientation :

Elle dépend essentiellement du fonctionnement du distillateur pendant la journée, On distingue notamment :

- Le fonctionnement pendant la matinée ..... orientation Est.
- Le fonctionnement pendant l'après- midi .....orientation Ouest.
- Le fonctionnement durant toute la journée ..... orientation Sud.

##### c) L'inclinaison :

Elle dépend du fonctionnement du distillateur pendant l'année :

- Fonctionnement estival..... $\beta = \emptyset - 10^\circ$
- Fonctionnement hivernal..... $\beta = \emptyset + 20^\circ$
- Fonctionnement annuel ..... $\beta = \emptyset + 10^\circ$  [18]

Avec :

$\beta$ : L'inclinaison en degré

$\emptyset$  : Latitude de lieu en degré

#### I.9.1.2.2. La couverture

La couverture sert de surface de condensation, Il faut qu'elle soit non hydrophobe, mouillable [19], et résiste aux attaques du vent et des particules solides [20], et [20] ont montré que la distance entre la couverture et la saumure ne doit pas être grande pour ne pas augmenter la couche tampon qui ne participe pas au transfert thermique à l'intérieur du distillateur solaire [21]. Ont constaté que cette couche influe sur la performance. La couverture est essentiellement caractérisée par :

- Une bonne transparence au rayonnement solaire, et une opacité au rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde.
- Une inclinaison optimale qui dépend de la latitude du lieu d'implantation du distillateur solaire, selon N. Banda [22].

**I.9.1.2.3. L'absorbeur**

Il est appelé aussi plan noir ; il est construit généralement en métal peint en noir, et se caractérise principalement par une absorptivité aussi voisine que possible de l'unité, une bonne inertie thermique ainsi qu'une bonne résistance chimique à l'oxydation par les dépôts minéraux de la saumure. Il est recouvert d'une mince couche de peinture noir mat, et il est généralement choisit en aluminium ou en cuivre [22].

**I.9.1.2.4. Paramètres thermo-physiques**

Les paramètres thermo-physiques sont :

- La conductivité thermique, la chaleur spécifique et la diffusivité thermique de la couverture et la surface absorbante.
- La conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité cinématique, la chaleur latente de vaporisation, le coefficient de dilatation thermique et la diffusivité thermique de la saumure.
- La conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité dynamique, la viscosité cinématique et le coefficient de dilatation thermique du mélange air vapeur [23].

**I.9.1.2.5. Paramètres optiques :**

Ce sont les paramètres optiques (l'émissivité, l'absorptivité, la réflectivité et la transmittivité) de la surface de la couverture et de la surface absorbante [24].

**I.10. Conclusion**

Dans ce chapitre a donné des concepts de base sur la distillation solaire (Rayonnement solaire, gisement solaire, modèles de ciel) à travers la fourniture d'eau, à la fois douce et salée, en plus de la définition générale de la distillation solaire, jusqu'aux deux plus grandes familles de pluies solaires et en mentionnant leurs types puis les paramètres de distillation solaires.

# CHAPITRE II

## Bilans énergétique d'un distillateur solaire simple

**Ce chapitre est destiné à présenter et définir les principales caractéristiques avec les échanges de température influent sur un distillateur solaire, puis on définit les bilans énergétiques.**

**II.1. Introduction**

Grâce à notre connaissance de distillateur solaire avec ses types les plus connus et certaines de ses caractéristiques, on peut dire que l'utilisation de ce dernier peut être facile et aisée, mais son utilisation et sa fabrication nécessitent une sorte de précision ; lors de la sélection des matières principales pour ses parties, et les bilans énergétiques se produisant au niveau de la distillateur solaire doivent également être connus, et cela est dû à l'importance de l'échange de chaleur ou de rayonnement qui se produit.

**II.2. Les principaux phénomènes de conversion thermique****II.2.1. Transfert de chaleur et de masse**

Parmi les principaux phénomènes intervenant dans la conversion thermique de l'énergie utilisant des systèmes solaires, le mécanisme de la transmission de la chaleur s'impose de façon bien appropriée pour modéliser et évaluer la nature et la quantité de l'énergie mises en jeu. Il est convenu que le transfert de chaleur est l'un des modes les plus communs d'échange d'énergie. Le transfert de chaleur est le flux d'énergie d'un point à un autre en raison des différences de température entre les points, et il peut avoir lieu par conduction, convection ou rayonnement. Dans une installation solaire, la chaleur est distribuée à partir de l'absorbeur à d'autres composants du système par le biais de l'un ou d'une combinaison de ces modes de transmission de transfert de chaleur dans les capteurs solaires où la couverture d'un distillateur solaire peut également conduire à une perte d'énergie et une réduction utile dans l'efficacité du système. Par conséquent, la conception, la construction, les essais et le fonctionnement des types d'échangeurs de chaleur nécessitent des connaissances sur les mécanismes de transmission de chaleur. Nous tenons à préciser que ces modes de transfert de chaleur peuvent se présenter en quatre régimes catégoriques [40]:

- ✓ Régime permanent : La température en tout point du milieu est indépendante du temps  $t$ .
- ✓ Régime transitoire : Ce régime correspond à l'évolution du système d'un état permanent initial vers un autre état final permanent provoqué par un brusque changement.
- ✓ Régime variable : Pour ce régime, l'intensité de ces sources évolue constamment et le champ de temps dépend des valeurs instantanées des sources mais aussi de l'évolution intérieure.

- ✓ Régime sinusoïdale ou périodique : La température en tout point M effectue des oscillations périodiques indépendantes de la condition initiale et dont l'amplitude et la phase ne dépendent que des coordonnées d'espace.

Mode de transfert de chaleur	Échelle	Support
Conduction	Microscopique	Matière solide, gradient de température
Convection	Macroscopique	Matière libre (possibilité de mouvement, souvent un fluide), gradient de température
Rayonnement (radiation)	Microscopique	Aucun : peut se faire dans le vide ou la matière, quelle que soit la température (à partir de 0 K)

Tab II.1 : Le Processus de transfert de chaleur

### II.2.2. Transfert de chaleur par conduction

La conduction de la chaleur est le taux de transfert d'énergie entre deux points dans un milieu où l'énergie cinétique est transférée entre les particules ou groupes de particules [42]. Ce mode de transfert de chaleur peut avoir lieu dans les phases gazeuses, liquides et solides d'une substance. En outre, la chaleur est conduite dans le sens de la diminution de la température. Les températures en question peuvent varier (état transitoire) ou rester constante (état d'équilibre) avec le temps.

### II.2.3. Transfert de chaleur par convection

C'est la quantité d'énergie transférée entre deux points dans un fluide par le biais de deux mécanismes naturels ou forcés. Dans la convection naturelle, le fluide se déplace en raison du gradient de densité résultant des différences de température, cependant, la

convection forcée se produit quand un fluide en mouvement absorbe la chaleur et la transporte à une distance au moyen mécanique externe tel qu'une pompe externe, un ventilateur, etc.

#### **II.2.4. Transfert de chaleur par rayonnement**

Le transfert de chaleur par rayonnement thermique est le transfert d'énergie thermique par ondes électromagnétiques [43,44]. Ce mode de transfert de chaleur ne nécessite pas un milieu de propagation à l'égard des transferts de chaleur par conduction et par convection, son intensité correspond environ à un corps noir (CN) qui est considéré comme un corps récepteur du rayonnement solaire, ce dernier peut absorber la totalité du rayonnement solaire incident sur lui.

#### **II.2.5. Transfert de chaleur par changement de phase**

En plus de l'échange de chaleur dans les corps qui est accompagné d'une variation de température, un changement de phase se produit souvent soit par vaporisation, soit par condensation. Ces cas se manifestent surtout dans le distillateur solaire, et d'autres cas sont cités dans la fusion, la congélation ou autres et l'ensemble constitue ainsi une source ou un puits de chaleur supplémentaire :

##### **II.2.5.1. Transfert de chaleur lors de l'évaporation**

Le phénomène de transfert de chaleur par évaporation au niveau, principalement, de la surface de l'eau de bassin d'un distillateur solaire s'accompagne généralement par la formation de la vapeur dans le liquide qui atteint une température supérieure à celle de la saturation du même liquide et à pression considérée. L'écart de température entre l'eau et l'air produit simultanément un transfert de chaleur appelé transfert de chaleur sensible et un transfert de masse accompagné d'un transfert de chaleur, appelé transfert de chaleur latente.

Il contient de :

- Transfert de chaleur sensible
- Transfert de masse

##### **II.2.5.2. Transfert de chaleur lors de la condensation**

Le passage d'une substance de l'état gazeux (vapeur) à l'état liquide est appelé condensation. On distingue:

•Condensation en gouttes : Si la tension superficielle du liquide est suffisante pour que le liquide ne mouille pas la paroi, il va y avoir une formation de gouttes qui vont grossir puis se détacher de la paroi, libérant celle-ci pour une nouvelle phase de condensation sans barrière thermique.

•Condensation en film sur une paroi verticale ; Cas d'une plaque plane inclinée d'un angle ( $\beta$ ) par rapport à l'horizontale

### II.3. Conception objective pour un distillateur solaire efficace [36] :

Pour un rendement élevé, le distillateur solaire devrait maintenir :

- ✓ Une température d'eau d'alimentation élevée.
- ✓ Une importante différence de température entre l'eau d'alimentation et la surface de condensation.
- ✓ Une faible fuite de vapeur.
- ✓ Une grande différence de température peut être obtenue lorsque la surface de condensation absorbe peu du rayonnement entrant,
- ✓ L'eau de condensation absorbe la chaleur qui doit être enlevée rapidement de la surface de condensation.

En plus on doit surveiller les éléments suivants :

- ✓ Emplacement : Les distillateurs solaires fonctionnent à l'aide de l'énergie solaire ; son emplacement est choisi d'une façon à éviter les obstacles.
- ✓ Le goût : L'eau distillée est insipide à cause de l'absence de minéraux selon les préférences personnelles, le refroidissement de l'eau pourrait en améliorer le goût.
- ✓ La facilité de nettoyage : On choisit un modèle doté d'un absorbeur facile à nettoyer
- ✓ La composition des distillateurs : On recommande que les distillateurs soient en fer galvanisé, en aluminium ou en bois.

### II.4. Caractéristiques de fonctionnement du distillateur :

#### II.4.1. Le rendement :

C'est la quantité d'eau produite par unité de surface de plan noir et par jour [37]

$$\eta = \frac{M_d \cdot L_v}{G} \dots \dots \dots (II.1)$$

Avec :  $\dot{m}_d = \frac{q_{evp}}{L_v}$

$L_v$ : Chaleur latente d'évaporation.

$\dot{M}_d$ .: Débit de masse distillat.

$G$  : densité de flux solaire global incident

**II.4.2. La performance :**

Le souci de caractériser un distillateur de manière absolue amené à définir le facteur de performance brut (F.P.B) et le facteur de performance horaire (F.P.H) [38], [37].

F. P. B: C'est le rapport de la quantité d'eau produite au bout de 24 h sur la quantité d'énergie entrée durant cette période.

F. P. H: C'est le rapport de la quantité horaire d'eau produite sur la quantité d'énergie entrée en une heure.

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

$$FP = \frac{M_d}{\alpha_{ab} \cdot G \cdot A_{ab}} \dots \dots \dots (II.2)$$

Avec :

FP : facteur de performance

$A_{ab}$ : Surface d'absorbeur

$\alpha_{ab}$  : coefficient d'absorption

**II.5. Bilans énergétiques dans un distillateur simple :****II.5.1. Échanges de chaleur à l'intérieur du distillateur [3]****II.5.1.1. Exchange de chaleur de l'eau entre l'absorbeur et la surface de condensation :**

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

**II.5.1.2 Échange de chaleur entre la vitre et la surface d'eau :**

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

**II.5.2 Échanges de chaleur à l'extérieur du distillateur :****II.5.2.1 Échange de chaleur entre la vitre et l'ambiance :**

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

**II.6 Modélisation mathématique :**

La théorie d'un distillateur solaire simple en forme de serre, Fig II.1, illustre les différents échanges de chaleur qui se produisent dans un distillateur solaire. Elle est fondée sur quatre bilans. En régime transitoire, les équations régissant le bilan thermique au niveau de chaque partie du distillateur, s'écrivent comme suit [39]:

Avant d'écrire le bilan thermique, on doit tenir des hypothèses simplificatrices suivantes :

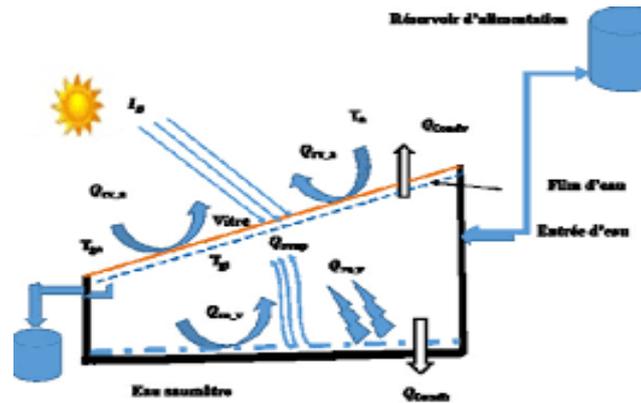


Fig II.1 : Bilan énergétique d'un distillateur solaire

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

Par analogie entre les grandeurs thermique et les grandeurs électrique (Tab II.2), on peut appliquer les lois d'OHM.

Nous approchons le fonctionnement réel du distillateur par l'utilisation de la méthode dite des nœuds. Cette méthode nous permet de découper notre système de distillateur en plusieurs sous-systèmes. Nous écrivons donc, pour chaque nœud du distillateur, l'équation du bilan de puissance lui correspondant, puis nous simulons le fonctionnement selon la méthode dite « pas à pas », ceci nécessite l'écriture des équations en régime transitoire.

Considérons une section quelconque du système à l'instant t, soit i l'un des milieux représentés dans cette section,  $M_i$  sa masse en [Kg],  $C_{pi}$  sa chaleur spécifique en [J/Kg.°C], et sa température en [°C].

Le bilan au nœud i donné par :

$$M_i \times C_{pi} \times \frac{dT_i}{dt} = \sum_{j=1}^n Q_{ij} + P_i \dots\dots\dots (II.3)$$

$M_i$ : masse en [Kg].

$C_{pi}$ : Chaleur spécifique en [J/Kg. °C].

T: température en [°C].

$P_i$ : Terme de puits.

Grandeur thermique		Grandeur électrique	
Température		Potentiel	électrique
Flux	thermique	Courant	électrique
Résistance	thermique	Résistance	électrique
Capacité thermique		Capacité électrique	

Tab II.2: analogie entre les grandeurs thermiques et les grandeurs électriques

**1/ Bilan du vitrage :**

La quantité de chaleur reçue par la vitre est évacuée par conductivité à travers celle-ci, soit :

✓ **A la face extérieure :**

$$\frac{M_v C_{pv}}{2 \times A_v} \frac{dT_{ve}}{dt} = \left( \frac{\lambda_v}{\delta_v} \right) (T_{vi} - T_{ve}) - Q_{r:v.e_{ciel}} - Q_{c:v_a} + \frac{P_v}{2} \dots\dots\dots (II.4)$$

✓ **A la face intérieure :**

$$\frac{M_v C_{pv}}{2 \times A_v} \frac{dT_{v,i}}{dt} = - \frac{\lambda_v}{\delta_v} (T_{vi} - T_{ve}) + Q_{r:e_{vi}} + Q_{c:e_{v,i}} + Q_{evap} + \frac{P_v}{2} \dots\dots\dots (II.5)$$

$Q_{r:e_{vi}}$  : Flux thermique par rayonnement entre le film d'eau et le vitrage

$Q_{c:e_{v,i}}$  : Flux thermique par convection entre le film d'eau et le vitrage.

$Q_{evap}$  : Flux thermique par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage.

$Q_{r.v.e_{ciel}}$ : Flux thermique perdu par la vitre par rayonnement vers l'extérieur.

$Q_{c:v,e_a}$ : Flux thermique perdu par convection par la vitre vers l'extérieur

$\lambda_v$ : Conductivité thermique de la vitre.

$\delta_v$  : Épaisseur de la vitre

**2/Bilan de L'eau (saumure):**

$$\frac{M_e c_{pe}}{A_e} \frac{dT_e}{dt} = Q_{c:b,e} - Q_{c:e,v} - Q_{evap} - Q_{r:e,vi} + P_e \dots \dots \dots (II.6)$$

$Q_{c:b,e}$ : Flux thermique par convection entre le fond du bac et le film d'eau

**3/Bilan du bassin inférieur :**

$$\frac{M_b c_{pb}}{A_b} \frac{dT_b}{dt} = P_b - Q_{c:b,e} - Q_{cd:b,iso,i} \dots \dots \dots (II.7)$$

$Q_{c:b,e}$ : Flux thermique perdu par conduction du bac.

**4/ Bilan de l'isolant :**

Pour réduire les pertes de chaleur à travers la base, nous utilisons un isolant thermique. Le côté intérieur du distillateur reçoit la chaleur perdue de l'absorbeur et le coté extérieur cède de la chaleur vers l'extérieur par rayonnement et par convection, d'où l'équation :

✓ **Au niveau de la face intérieure :**

$$\frac{M_i c_{pi}}{2 \times A_i} \frac{dT_{iso,i}}{dt} = Q_{cd:b,iso,i} - \frac{\lambda_i}{\delta_i} (T_{iso,i} - T_{iso,e}) \dots \dots \dots (II.8)$$

$Q_{cond.b,i}$ : Flux thermique par conduction entre le bac et l'isolant thermique.

✓ **Au niveau de la face extérieure :**

$$\frac{M_i c_{pi}}{2 \times A_i} \frac{dT_{iso,e}}{dt} = \frac{\lambda_i}{\delta_i} (T_{iso,i} - T_{iso,e}) - Q_{r:iso_soll} - Q_{c:iso_a} \dots \dots \dots (II.9)$$

**5) le Débit du condensât**

$$\frac{dM_c}{dt} = h_{evap} \frac{(T_e - T_v)}{L_v} \dots \dots \dots (II.10)$$

$M_c$ : Masse du condensât.

$L_v$ : Chaleur latente de vaporisation.

$T_e$ : Température de l'eau.

$T_v$ : Température de la vitre.

### **II.8. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté des notions importantes sur la conception des systèmes de distillation solaire. Ensuite, nous avons présenté les différents bilans énergétiques thermiques (Isolation,...) et les expressions mathématiques de chaque bilans énergétiques.

# CHAPITRE III

## Réalisation des distillateurs solaires simple inclinés

*Ce chapitre est destiné à faire  
la réalisation des deux  
distillateurs à une seule pente  
avec différents angles  
d'inclinaison, puis  
impétrations sur la quantité  
d'eau distillée et la qualité  
produit puis une  
comparaison entre les  
distillateurs.*

**III.1. Introduction**

Dans ce chapitre nous allons passer de l'étape théorique vers l'étape pratique par la réalisation de deux distillateurs à une seule pente avec différents angles d'inclinaison pour fait surveiller et évaluer la différence de production entre eux, mais avant tout présenté le lieu d'expérimentation puis les étapes de la réalisation, ensuite les résultats obtenus.

**III.2. Présentation d'Unité de Recherche en Energies Renouvelables au Milieu Saharienne (URER/MS)**

L'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URER.MS) est une structure de recherche, créée par Arrêté ministériel n° 76 du 22 mai 2004 au sein de l'EPST Centre de Développement des Energies Renouvelables de Bouzaréah.

Les activités de recherche scientifique et de développement technologique menées à l'URER.MS s'inscrivent dans le cadre du programme national de recherche en énergies renouvelables, considéré par les pouvoirs publics comme prioritaire et mobilisateur.

La vocation essentielle de l'Unité est la recherche scientifique appliquée et le développement technologique. Elle est chargée d'entreprendre des activités de recherche et d'expérimentation pour la promotion et le développement des énergies renouvelables dans les régions sahariennes [1].

Il s'agit de :

- Collecter, exploiter, traiter et analyser l'ensemble des données nécessaires à une évaluation précise des gisements solaire, éolien et de biomasse dans les régions sahariennes,
- Effectuer des travaux scientifiques et technologiques sur la conception et le développement des dispositifs et équipements de conditionnement d'énergie solaire et de biomasse,
- Procéder à des études relatives à la qualification des sites d'installation des systèmes d'énergie solaire et éolienne,
- Entreprendre des travaux d'essai, d'observation, d'expérimentation, d'exploration, de mesure, de fiabilité et d'endurance des équipements d'énergie solaire et éolienne,
- Entreprendre des travaux de production et de valorisation de la biomasse à des fins énergétiques, environnementales et agronomiques.

Les programmes de recherche et de développement qui sont entrepris ont pour objectifs, d'une part, de consolider les activités sur le solaire déjà entreprises et de développer d'autres activités sur la biomasse et l'éolien, tout aussi importantes dans la région d'Adrar. Il s'agira aussi, de valoriser les résultats des travaux de recherche arrivés à maturité et de contribuer, à travers la complémentarité, au renforcement des programmes déjà pris en charge par les autres structures de l'EPST CDER.



Fig III.1 : L'entrée principale d'URER-MS

### III.3. Description des prototypes

#### III.3.1. Description de forme générale

Les deux prototypes sont des distillateurs solaires de type de distillateur à une seule pente, raccordé avec un réservoir de surface 1274 cm<sup>2</sup> par des tuyaux. Recouverte de morceaux de verre transparent en plus du canal sur lequel repose le verre afin de laisser passer la quantité d'eau distillée obtenue, ce canal raccordé avec un tuyau à l'antérieur du bassin de dessalement.



Fig III.2 : Système de dessalement deux distillateur a une seule pente

### III.3.2. Description illustrative de deux distillateurs

#### III.3.2.1. Bac absorbant (plaque noire)

La surface de base d'absorbante est recouverte de la peinture noire pour augmenter l'absorption de chaleur qui est transférée à l'eau pour assurer le processus d'évaporation.



Fig III.3: Bac absorbant avant la mise de peinture



Fig III.4: Bac absorbant avec peinture noire

**III.3.2.2. Couverture verrière (verre)**

Nous utilisons un verre ordinaire à cause de sa bonne transmission du rayonnement visible. Et le la simplicité d'utile puis on se coller la par une colle silicone.



Fig III.5: Vitre placé pour couverture

**III.3.2.3. L'isolation thermique**

La coupe contient de nombreux éléments actifs dans la boîte de ramassage et il doit fournir une protection efficace contre les facteurs météorologique le boîte fixe est en laiton.

**III.3.2.4. Couverture extérieure**

Le coffre est en acier afin de protéger efficacement contre les éléments et les fluctuations météorologiques.



Fig III.6 : Le coffre extérieur

**III.3.2.5. Cuve de récupération du distillat**

Pour la récupération d'eau distillée nous mettons des bouteilles en plastique de 1 litre. La tuyauterie utilisée entre le bac absorbant et la cuve de récupération est en plastique.

**III.3.2.6. Réservoir d'eau**

En utilisant un bassin de fer (0.26m x 0.49m) avec un support de même matière pour alimenter les deux prototypes, il est raccordé avec des tuyaux en plastique.



FigIII.8: Réservoir d'eau

**III.4. Les dimensions des distillateurs**

**III.4.1. Premier distillateur**

Tab III.1 : Dimensionnes de distillateur N°1

<p>A=0.49 m</p> <p>B=0.53 m</p> <p>C=0.37 m</p> <p>D=0.047 m</p>	
--	--

<p><math>\alpha=35^\circ</math></p> <p>d= 0.8m</p> <p>Avec :</p> <p>d : est l'hauteur par rapport au plateforme</p>	
---	--

**III.4.2. Deuxième distillateur**

<p>A=0.49m</p> <p>B=0.82 m</p> <p>C=0.71 m</p> <p>D=0.81m</p>	
<p><math>\alpha=41^\circ</math></p> <p>d= 0.8m</p>	

Tab III.2 : Dimensionnes de distillateur N°2

**III.5. Tests expérimentaux**

Dans le but de l'évaluation des performances des deux distillateurs, une série de tests expérimentaux ont été effectués sous l'ensoleillement naturel au niveau d'URER/MS. Au cours des différents essais étalées de 06/06/2021 à 08/06/2021, durant douze heures (de 7h00 à 18 h00), on a mesuré les grandeurs suivantes chaque demi-heure :

- Les températures des différentes parties du distillateur : Verre, Bac absorbant, température ambiante et température d'eau de réservoir.

Les températures sont mesurées à l'aide de thermocouples de type J et K.

- La production d'eau distillée.
- L'irradiation

**III.5. Les outils et les appareils utilisés****III.5.1. Thermocouples**

Sont utilisés pour capturer les différentes températures.



Fig III.9 : Des thermocouples (les fils noirs et jaunes)

**III.5.2. Acquisition**

Est un appareil pour afficher les données des thermocouples



Fig III.10 : Acquisition

**III.5.3. Pyranomètre**

Est un dispositif électrique pour mesurer l'irradiation et la température ambiante



Fig III.11 : Pyranomètre

### III.6. Discussions des résultats

#### III.6.1. Les paramètres météorologiques

Le Fig III.9 représentent les variations des paramètres météorologiques les plus influents sur la production de distillateur solaire, l'irradiation solaire globale et la température ambiante en fonction de temps pendant les jours des tests résultants de pyranomètre.

##### 6.1.1. L'irradiation

On note que les valeurs maximales de rayonnement solaire se situent entre 11h30 et 16h00 l'après-midi, ce qui est supérieur au 06/06/2021 avec  $0.925941 \text{ W/m}^2$ .

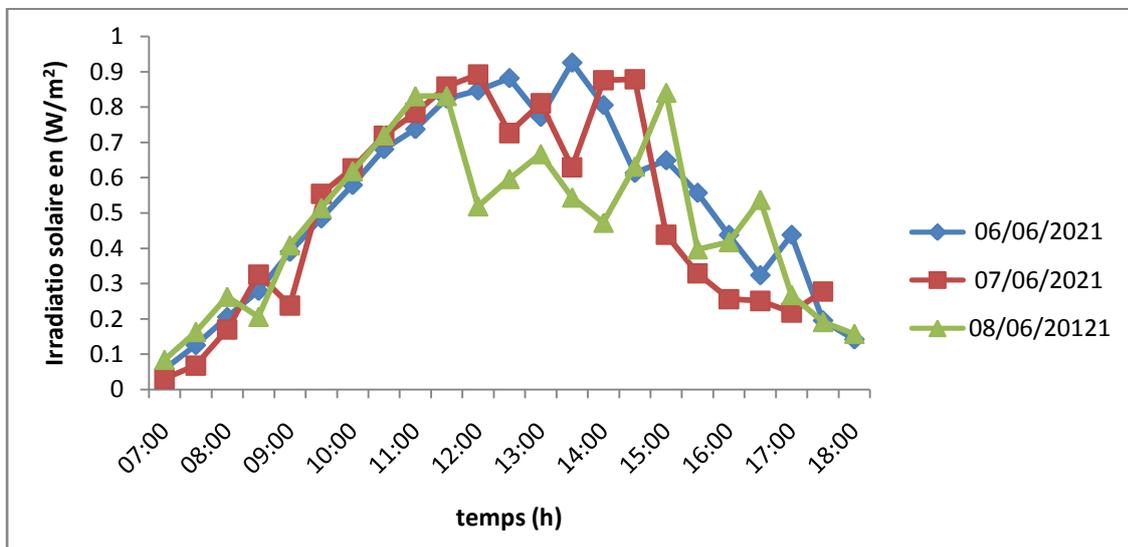
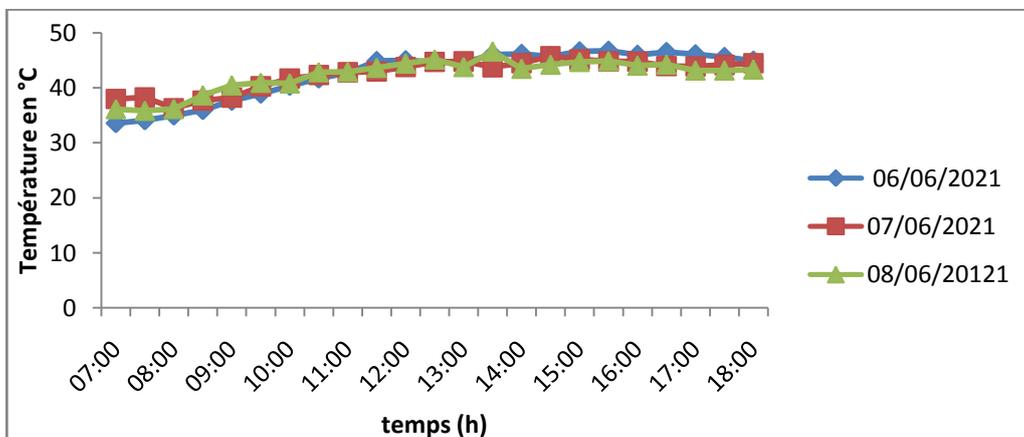


Fig III.12 : Variation temporelle de l'irradiation solaire

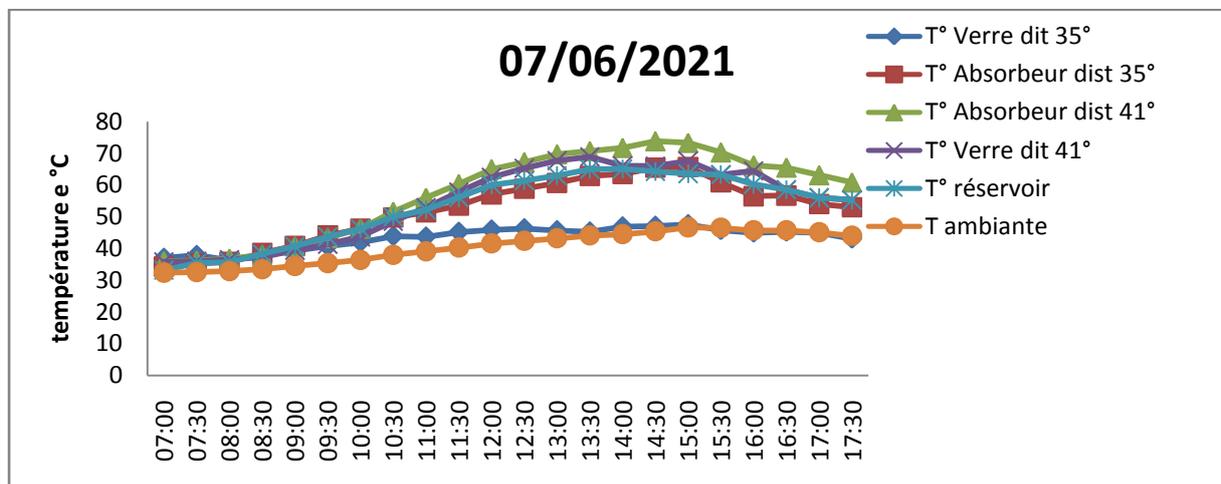
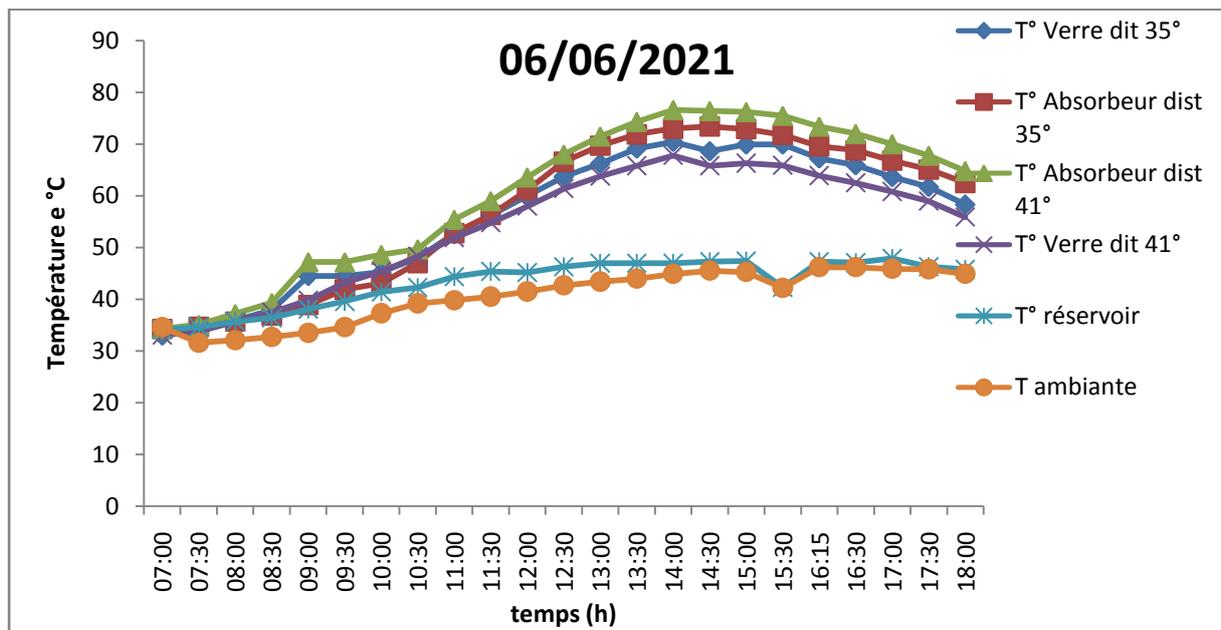
##### II.6.1.2. La température ambiante mesurée par le pyranomètre :

Fig III.13 : Variation temporelle de la température ambiante



Par rapport à la température ambiante (Fig III.13), il y a une élévation uniforme et continue Entre le matin et l'après-midi. L'écart entre un jour évolue entre le 06/06/2021 et le 07/06/2021, estimé de 2 à 3 degrés, et entre le 06/06/2021 et le 06/08/2021, le changement est faible, estimé à 1°C à 2 °C.

**III.6.2. Les températures des différentes parties des deux distillateurs solaires**



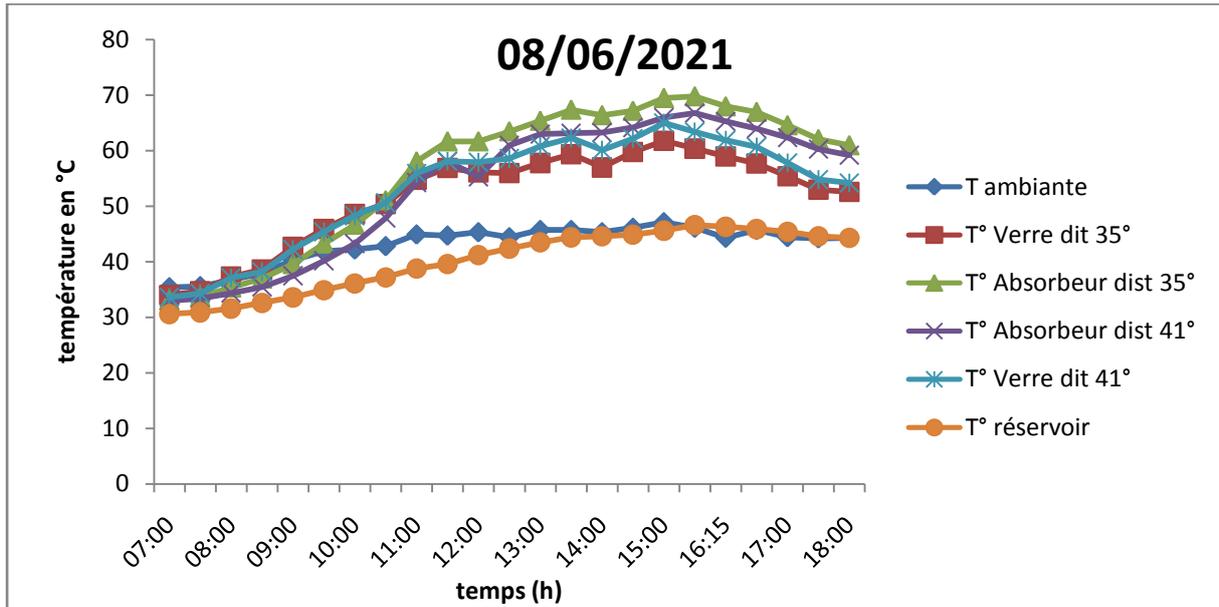


Fig III.14 :Variations temporelles des températures des différentes Parties de distillateur solaire

On remarque que les températures augmentent de plus en plus dans leurs niveaux à la disparition, et elles forment le pourcentage le plus élevé au bac absorbant pour le distillat 35, suivi par le rapport absorbant 41, comme c'est le cas dans les températures qui s'alignent sous la forme de binaires :

- \* Température du verre du premier distillateur avec la température du deuxième distillateur
- \* Température ambiante avec une température ne dépassant pas 50 degrés Celsius
- \* La température des distillateurs en verre

III.6.3. La production

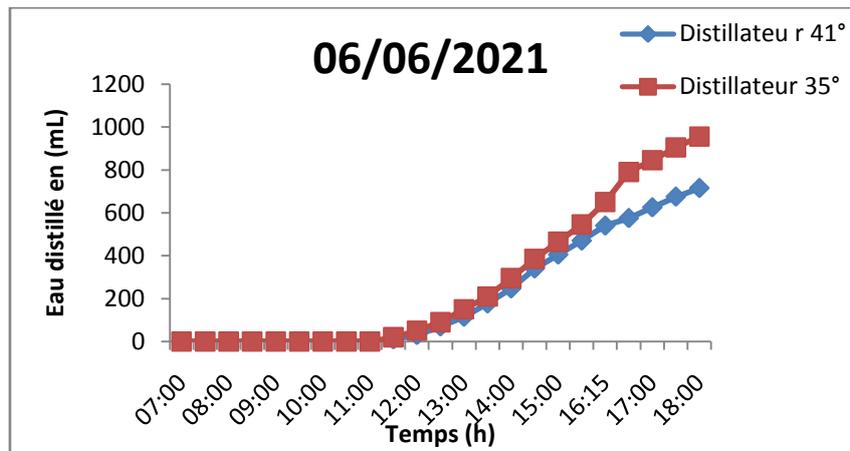


Fig III.15.a: Variation temporelle de la production Journalière et horaire

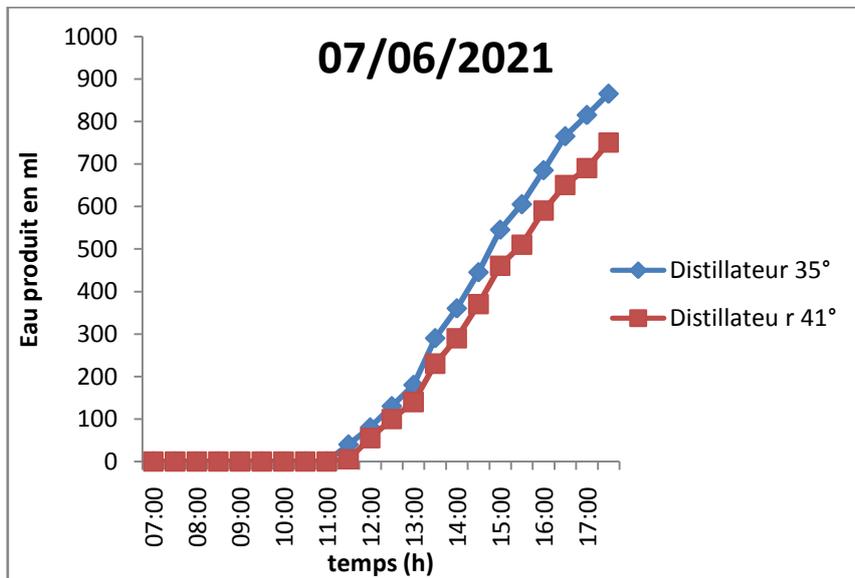


Fig III.15.b : Variation temporelle de la production Journalière et horaire La production d'eau

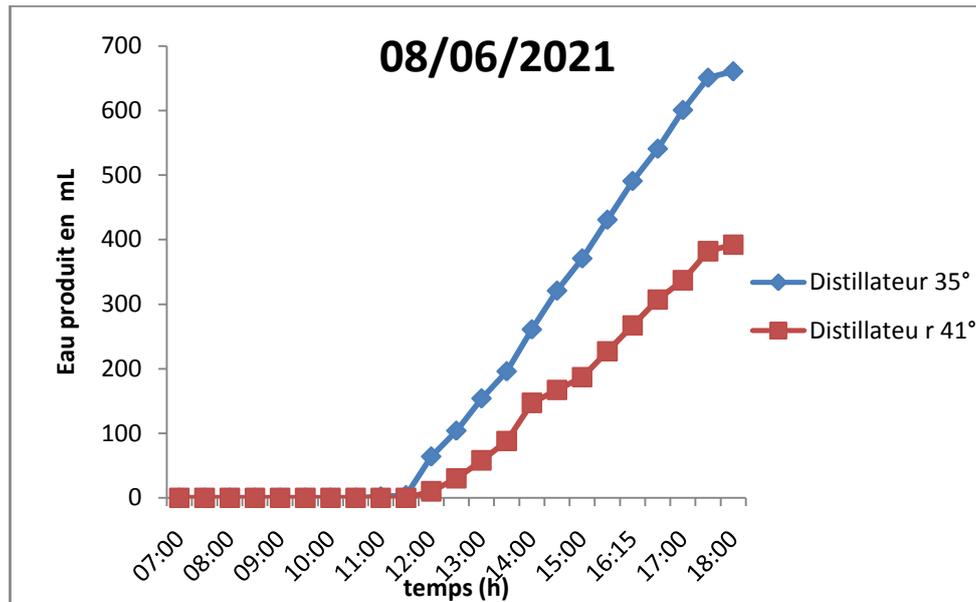


Fig III.15.c: Variation temporelle de la production Journalière et horaire

La production journalière de distillats durant les journées 06,07,08 / 06/2021, comme le montre les figures (Fig III.15.a, Fig III.15.b et Fig III.15.c). De 7h à 18h, on remarque que les deux habitants ne produisent pas dans la période de 7h à 11h jusqu'au début de la montée en température, à partir de 11h30, au prorata de l'augmentation de l'ensoleillement et de la température qui s'est produite lors de son étalement sur le verre et de l'absorption du rayonnement à travers un bac absorbant, On note également un grand écart dans la cadence de production toutes les demi-heures pour le distillateur 35° dont la production est nettement supérieure à celle du distillateur 41° et c'est parce que le premier distillateur a un processus d'évaporation plus rapide en raison de sa petite surface et son rapport d'inclinaison qui l'empêche d'être ombragé en début de journée, car le pourcentage de distillé atteint 35 Le dernier jour, il était d'un minimum de 1 litre, alors que le siège 41° n'a pas produit plus de 800 millilitres. En production est apparu de 50 millilitres au début de l'approche de midi. la même chose se répète pour le reste des jours.

### III.7. Conclusion

La conception d'un distillateur solaire à pente unique et son installation à son début est un travail délicat, la différence augmente si les deux distillateurs sont comme c'est notre travail. Les deux distillateurs solaires avec des angles différents montrent l'importance de la précision dans la fabrication du distillateur solaire simple à pente unique. Plus l'angle est bas, plus sa productivité est élevée et vice versa

# **Conclusion Générale**

### Conclusion générale

La nécessité d'économiser de l'énergie et le souci de procurer de nouvelles ressources en eau donne l'importance de la production d'eau douce.

Ce travail présente l'étude expérimentale de deux distillateurs solaires dont le but est d'étudier l'influence de l'angle d'inclinaison des vitres sur la production de l'eau douce.

Après avoir introduit des notions sur l'irradiation solaire et le gisement solaire, ainsi qu'un bref historique sur la distillation solaire et les différents procédés de dessalement particulièrement le procédé de la distillation solaire. Nous avons établi les équations gouvernant les différentes parties du système, en régime transitoire.

La réalisation et le test des deux distillateurs solaires avec des angles différents montrent l'importance de la précision dans la fabrication du distillateur solaire simple à pente unique. Plus l'angle est bas, plus sa productivité est élevée et vice versa.

# **Références Bibliographiques**

## *Références Bibliographiques*

- [1]: ALONSO CORINNE « CONTRIBUTION A L'OPTIMISATION, LA GESTION ET LE TRAITEMENT DE L'ENERGIE ». MEMOIRE D'HABILITATION A DIRIGER LES RECHERCHES, UNIVERSITE PAUL SABATIER TOULOUSE III, 2003.
- [2]: ZENTAR SOULEF « ÉTUDE THEORIQUE D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE PLAN DANS LA REGION D'ADRAR », MEMOIRE DE MASTER, 2017
- [3]: HALLOUFI OUAHID, «ETUDE DE LA PERFORMANCE D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE PAR UN SYSTEME DE PRE-CHAUFFAGE SOLAIRE DE L'EAU », MEMOIRE DE MAGISTER, UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE, 2010.
- [4]: TLEIMAT, B.W « DISTILLATION SOLAIRE : ETAT DES CONNAISSANCES » LCE RICHMOND, CALIFORNIE, REVUE INTERNATIONALE D'HELIOTECHNIQUE, 1980SAUMATRE » , MEMOIRE MAGISTER, 2010
- [5]: CARLO MUSTACCHI ET VINCENZO CENA « DISTILLATION SOLAIRE DE L'EAU » TECHNIQUE DE L'UTILISATION DE L'ENERGIE SOLAIRE, EDITION DES NATIONS UNIES, 1975
- [6]: SMITH, M. SIDEM: « PRODUCTION D'EAU DOUCE PAR DESSALEMENT » PARIS P43
- [7]: ARTICLE DE [HTTPS://WWW.BRITANNICA.COM/SCIENCE/SOLAR-ENERGY](https://www.britannica.com/science/solar-energy). ACCESSED 6 APRIL 2021
- [8]: LARONDE REMI « ESSAIS ACCELERES DE DEGRADATION DE MODULES PHOTOVOLTAÏQUES ». THESE DE DOCTORAT. INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE TOULOUSE, 2009
- [9]: BERNAD R., MENGUY G., ET SCHWARTZ M.,LE RAYONNEMENT SOLAIRE, CONVERSION THERMIQUE ET APPLICATION » THERMIQUE ET DOCUENTATION ;2<sup>IEME</sup> EDITION 1980
- [10] : PIERRE HENRI COMMUNAY, LE GISEMENT SOLAIRE: METHODES ET CALCUL, HELIOTHERMIQUE, 2002.
- [11] : B. BOUCHEKIMA, RECHERCHE DES CONDITIONS OPTIMALES POUR LE DESSALEMENT DES EAUX SAUMATRES A L'AIDE DU DISTILLATEUR A FILM CAPILLAIRE. THESE DE DOCTORAT D'ETAT USTHB, ALGER (2001)
- [12] : Z. AZIZI, A. BOUZIANE « ETUDE DU GISEMENT EOLIEN EN ALGERIE ET SUR LA WILAYA D'ADRAR ». MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE LICENCE EN PHYSIQUE ENERGETIQUE ; UNIVERSITE D'ADRAR.2014

- [13] : R.BERNAD, G.MERGUY, M. SCHWARTZ : « LE RAYONNEMENT SOLAIRE : CONVECTION THERMIQUE ET APPLICATION». TECHNIQUE ET DOCUMENTATION, DEUXIEME EDITION 1980.
- [14] SATCUNANATHAN AND HANSEN: « AN INVESTIGATION OF SOME PARAMETERS INVOLVED IN SOLAR DISTILLATION, SOLAR ENERGY », VOL. 14, PP 353-363, 1973
- [15]: BOUTHEINA DJEDDOU ;L'IMPACT DE LA CONFIGURATION URBAINE SUR L'EXPLOITATION DU GISEMENT SOLAIRE. CAS DE LA VILLE DE BISKRA, 2016
- [16] : HELALI KAMELIA, MODELISATION D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE : ETUDE COMPARATIVE, MEMOIRE DE MAGISTER EN ELECTROTECHNIQUE EN 2012
- [17] : JOSE MIGUEL NAVARRO « CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES ORGANIQUES TRANSPARENTES DANS LE VISIBLE ».THESE DE DOCTORAT. UNIVERSITE TOULOUSE III - PAUL SABATIER, 2008
- [18] : YVES JANNOT. THERMIQUE SOLAIRE. PARIS (2007)
- [19] : GRRABA BESMA . FASCICULE DE TRAVAUX PRATIQUES, ETUDE DE LA TRANSMISSION DE CHALEUR
- [20] : M.BOUKAR, A.HARMIM ET M.AMAR :« CONSTRUCTION ET EXPERIMENTATION D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE VERTICAL INDIRECT A SIMPLE EFFET » REVUE DES ENERGIES RENOUVELABLE ICRESO-07 TLEMCEM2007.
- [21] : E. GOUZIEU, "L'ENERGIE SOLAIRE -COMMENT EXPLOITER AU MIEUX L'ENERGIE SOLAIRE ?", VOL.32, P9, PP:10,11
- [22] : B. BOUCHEKIMA, G. BERNARD, R. OUAHES, M. DIBOUN, ETUDE THEORIQUE ET APPLICATION PRATIQUE DU DISTILLATEUR SOLAIRE A FILM CAPILLAIRE, INT. J. THERM. SCI .39(2000) 442-459
- [23] : R .TRIPATHI, G.N. TIWARI, "PERFORMANCE EVALUATION OF A SOLAR STILL BY USING THE CONCEPT OF SOLAR FRACTIONATION, DESALINATION169 (2004) 69- 80
- [24] : T. ABDERACHID 'ETUDE ET MODELISATION DE DEUX DISTILLATEURS SOLAIRES SYMETRIQUE ET ASYMETRIQUE A EFFET DE SERRE DOCTORAT 2014
- [25] :ALAIN MAUREL, DESSALEMENT DE L'EAU DE MER ET DES EAUX SAUMATRES ET AUTRES PROCEDES NON CONVENTIONNELLES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DOUCE, EDITION :TECHNIQUE ET DOCUMENTATION, PARIS (2001)]
- [26] S.D. GOMKALE, S.Y. AHMED, R.L. DATA, FRESH WATER FROM SEA BY SOLAR STILL, PAPER PRESENTED AT. THE ANIMAL MEETING, INDIAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS, INDIA, DECEMBER, 1964.

- [27] B. BAUME, HEAT AND MASS TRANSFER PROCESS IN SOLAR STILL OF HOTBOX TYPE, KRZHIZHANOVSKY POWER INSTITUTE, MOSCOW, RUSSIA, 1963.
- [28] : S MOHAMED HASSEN" ETUDE ET AMELIORATION DES TECHNIQUES DE DISTILLATION SOLAIRE DANS LA REGION SUD – EST ALGERIEN (AURGLA) THESE (2014)
- [29] : A. SAFWATNAFEY, M. ABDELKADER, A. ABDELMOTALIB, A.A. MABROUK; PARAMETERS AFFECTING SOLAR STILL PRODUCTIVITY. ENERGY CONVERSION & MANAGEMENT VOL 41 (2000). PP. 1797-1809
- [30] : B. N'DOYE; MODELISATION INFORMATIQUE DES DISTILLATEURS SOLAIRES A EFFET DE SERRE. THESE DE 3IEMECYCLE, PERPIGNAN. (1979)
- [31] : THESE A. CHAKER<sup>1</sup>ET G. MENGUY<sup>2</sup> "EFFICACITE INTERNE D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE
- [32] : G.N. TIWARI, A. MINOCHA, P.B SHARMA AND M.E. KHAN; SIMULATION OF CONVECTIVE MASS TRANSFER IN A SOLAR DISTILLATION PROCESS. ENERGY. CONV. MGNT. VOL 38. (1997).PP 761 -770.
- [33]: C. ELANGO, N.GUNASEKARAN, K.SAMPATHKUMAR, THERMAL MODELS OF SOLAR STILL—A COMPREHENSIVE REVIEW.47, 856–911. (2015)
- [34] : B. HICHEM'ETUDE ET CONCEPTION D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE A USAGE AGRICOLE'DOCTORAT 2012
- [35] : G.N. TIWARI, ENHANCEMENT OF DAILY YIELD IN A DOUBLE BASIN SOLAR STILL, ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT 25(1) (1985) 49–50
- [36] :MR:S.MAKHLOUF, ‘’ ETUDE ET REALISATION D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE’’, MEMOIRE MASTER ACADEMIE EN 2016
- [37] : R. TCHINDA ET E. KAPTOUM, SIMULATION NUMERIQUE DES PERFORMANCES D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE FONCTIONNANT EN MODE INDIRECT. AFRICAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (AJST) SCIENCE AND ENGINEERING SERIES VOL.5, NO1, PP.79-91, 2004
- [38] : SAIDA FEDALI. MODELISATION ET CONCEPTION D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE DES EAUX SAUMATRES A BAS COUT POUR LES COMMUNAUTES RURALES : MEMOIRE DE MAGISTER, UNIVERSITE BATNA, 2008
- [39] : A.KHEDIM : « MESURE ET CARACTERISTIQUE THERMODYNAMIQUE D'UNE NOUVEAU SYSTEME SOLAIRE DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER AVEC RECUPERATEUR DE CHALEUR» REV.ENERG.REN : 11EMES JOURNEES INTERNATIONALES DE THERMIQUE 2003

- [40] : TRAD ABDERACHID, ‘’ETUDE ET MODELISATION DE DEUX DISTILLATEURS SOLAIRES SYMETRIQUE ET ASYMETRIQUE A EFFET DE SERRE’’, DOCTORAT EN GENIE CLIMATIQUE, 2014
- [41] : R. BERNARD, G. MENGUY AND M. SCHWARTZ, LE RAYONNEMENT SOLAIRE, CONVERSION THERMIQUE ET APPLICATIONS, TECHNIQUE ET DOCUMENTATION, 2 EME EDITION. 1980 (215).
- [42] : G.N.TIWARI, FUNDAMENTALS, DESIGN, MODELING AND APPLICATIONS, SOLAR ENERGY (2002)
- [43] : J.H. LIENHARD IV, J.H. LIENHARD V, A HEAT TRANSFER TEXTBOOK. 3RD ED. CAMBRIDG MASSACHUSETTS: PHLOGISTON PRESS (2006).
- [44] : J.A.SABBAGH, HEAT TRANSFER FOR SOLAR ENERGY UTILIZATION. IN: A.A.M. SAYIGH, SOLAR ENERGY ENGINEERING, NEW YORK ACADEMIC PRESS (1977) 83-103