

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la**  
**Recherche Scientifique**



**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Énergies renouvelables en mécanique

**Thème**

**ETUDE ET CONCEPTION D'UN DISTILLATEUR  
SOLAIRE AVEC UN SYSTEME DE PRECHAUFFAGE**

Devant le jury composé de :

M.GHERBI Mohammed Tahar  
M.LAOUINI Abdeldjalil  
M.BOURKAN Houda  
M.ZINE Ali

Président  
Examineur  
Examineur  
Encadreur

Présenté par :

- Benlahbib Bilal  
- Ben Mahmoud Ahmed  
- Bouzouaid Mohammed Tahar  
- Chikha BelgacemTaki Eddine

**Année universitaire : 2021-2022**



# Remerciements

Le présent mémoire de master est le fruit de plusieurs mois de recherche.

Nous aimerions remercier les personnes qui nous accompagnent. De cette façon, ils ont  
participé à la préparation de ce mémoire.

Nous remercions vivement et chaleureusement PR, ZINE ALI encadreur

De ce mémoire, pour nous avoir guidé et soutenu tout au long de ce mémoire.

Nous la remercions particulièrement pour la confiance qu'elle nous a accordée,

Pour sa rigueur scientifique, pour sa patience et pour ses conseils judicieux qui

Ont contribué à la réalisation et à l'accomplissement de ce travail.

Nous exprimons notre reconnaissance aux enseignants du département de

Génie Mécanique à l'université Hamma Lakhdar d'El Oued, pour

L'encadrement pédagogique durant ces deux années de formation de master.

## Dédicace

Nous sommes très heureux de dédier ce modeste ouvrage à :

Nos chers parents, qui nous toujours soutenu dans notre études.

Tous nos frères et sœurs chacun avec son nom.

Tous nos familles chacun son nom.

Tous nos enseignants chacun son nom.

Tous nos collègues chacun son nom.

Chaque personne qui nous aidé chacun son nom.

Promo énergies renouvelables en mécanique 2021/2022

## Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
$n_g$	L'efficacité globale	%
$Q_{ev}$	Puissance d'évaporation	W/m <sup>2</sup>
$H_t$	Puissance du rayonnement solaire incident par unité de surface	W/m <sup>2</sup>
$A_{collect}$	Superficie du capteur	m <sup>2</sup>
$m_d$	Débit de masse de distillat	kg/s
$h_{fg}$	Enthalpie d'évaporation	J/kg
$Q_{eau}$	Puissance absorbée par l'eau distillée	W/m <sup>2</sup>
$FPB$	facteur de performance brut	/
$FPH$	facteur de performance horaire	/
$FP$	facteur de performance	/
$Q_{R.E.V}$	Flux thermique par rayonnement entre le film d'eau et le vitrage	W/m <sup>2</sup>
$Q_{C.EV}$	Flux thermique par convection entre le film d'eau et le vitrage	W/m <sup>2</sup>
$Q_{Evap}$	Flux thermique par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage	W/m <sup>2</sup>
$Q_{C.VA}$	Flux thermique perdu par convection par la vitre vers l'extérieur	W/m <sup>2</sup>
$Q_{R.V.A}$	Flux thermique perdu par la vitre par rayonnement vers l'extérieur	W/m <sup>2</sup>
$Q_{C.BE}$	Flux thermique par convection entre le fond du bac et le film d'eau	W/m <sup>2</sup>
$Q_{perte(B)}$	Flux thermique perdu par le fond du bac	W/m <sup>2</sup>
$Q_{Cond,I,B}$	Flux thermique par conduction entre le bac et l'isolant thermique	W/m <sup>2</sup>
$Q_{perte(I)}$	Flux thermique perdu par l'isolant	W/m <sup>2</sup>
$M_c$	Masse du condensat	kg
$h_{fg}$	Chaleur latente de vaporisation	J/kg
$T_E$	Température de l'eau	°C
$T_V$	Température de la vitre	°C

## Nomenclature

$h_{R,E,V}$	Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitre	W/m <sup>2</sup> .°C
$h_{C,E,V}$	Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le film d'eau et le vitrage	W/m <sup>2</sup> .°C
$C_p$	Chaleur spécifique	J/(kg.K)
$\varepsilon_{Eff}$	Emissivité effectif	/
$\varepsilon_E$	Emissivité de l'eau	/
$\varepsilon_V$	Emissivité de la vitre	/
$\sigma$	Constante de Stephane-Boltzmane = $5.6697 \times 10^{-8}$	W/m <sup>2</sup> .k <sup>4</sup>
$P$	La pression de la vapeur d'eau	Pa
$T_{Ciel}$	Température du ciel	°C
$T_A$	Température ambiante	°C
$h_{C,B,E}$	coefficient de transfert de chaleur par convection entre le fond du bac et le film d'eau	W/m <sup>2</sup> .°C
$K_f$	Conductivité thermique du fluide (eau)	W/ (m.k)
$Nu$	Nombre de NUSSELT	/
$Gr$	Nombre de GRASHOF	/
$\beta$	Coefficient d'expansion thermique du fluide	1/K
$g$	Champ de gravitation = 9.81	m/ s <sup>2</sup>
$\rho$	Masse volumique du fluide	Kg/m <sup>3</sup>
$L$	Longueur	m
$\Delta T$	Différence de température	°C
$\mu$	Viscosité dynamique du fluide	Kg/ (m.s)
$a$	Diffusivité thermique	m <sup>2</sup> /s
$\nu$	Viscosité cinématique du fluide	m <sup>2</sup> /s
$\alpha$	Coefficient d'absorption	/
$T_B$	Température du bac	°C
$T_I$	Température de l'isolant	°C
$\delta_B$	Epaisseur du bac	m
$\tau$	Coefficient de transmission	/
$Pr$	Nombre de PRANDLT	/



# Sommaire

---

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Nomenclature.....	III
Liste des figures.....	IX
Liste des tableaux.....	X
Introduction générale.....	2

## Chapitre I

### Le soleil, l'énergie solaire et l'eau

I.1. Introduction: .....	4
I.2. Le soleil : .....	4
I.3. Définition de l'énergie solaire : .....	4
I.4. Différentes composantes du rayonnement : .....	5
I.4.1. Le rayonnement solaire direct : .....	5
I.4.2. Le rayonnement solaire diffus : .....	5
I.4.3. Le rayonnement réfléchi : .....	6
I.4.4. Le rayonnement solaire globale : .....	6
I.5. L'énergie solaire et ses différentes transformations (ou utilisations) : .....	6
I.5.1. L'énergie solaire passive : .....	7
I.5.2. L'énergie solaire active : .....	7
I.6. L'énergie solaire photo thermique et ses différentes applications : .....	8
I.7. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire : .....	8
I.8. L'impact l'énergie solaire sur l'environnement : .....	9
I.9. Energie solaire en l'Algérie : .....	10
I.10. L'eau : .....	11
I.11. Ressources douce mondiales en eaux : .....	10
I.12. Classification des eaux : .....	13
I.13. Les eaux distillables : .....	14
I.13.1. L'eau de mer : .....	14
I.13.2. Les eaux saumâtres : .....	14
I.13.3. Les eaux naturelles : .....	14
I.13.4. Les eaux usées : .....	14
I.14. L'eau potable : .....	14
I.15. Le besoin en eau potable en Algérie : .....	15

## Sommaire

---

I.16. L’approvisionnement en eau potable en Algérie : .....	16
I.17. Le problème de l’eau en Algérie : .....	17
I.17.1. Faiblesse des ressources en eau : .....	17
I.17.2. Dégradation continue des ressources : .....	17
I.17.3. Les périodes de sécheresse : .....	18
I.17.4. Conditions climatiques difficiles : .....	18
I.17.5. Croissance démographique : .....	19
I.18. Le problème de consommation de l’eau en Algérie : .....	19
I.19. Les Ressources en eaux dans le sud Algérien (EL OUED) : .....	20
I.20. Conclusion : .....	21

## **Chapitre II** **les distillateurs solaires**

II.1.Introduction : .....	23
II.2.Composants et principe de fonctionnement du distillateur: .....	23
II.3. Evolution du distillateur solaire au cours du temps : .....	23
II.4.Les différents types de distillateur solaire : .....	26
II.4.1 Distillateur solaire à effet de serre : .....	26
II.4.2 Distillateur solaire sphérique : .....	27
II.4.3 Distillateur solaire à mèche : .....	28
II.4.4 Distillateur solaire à cascade : .....	28
II.4.5 Distillateur solaire terre-eau .....	29
II.4.6 Distillateur solaire à effet multiples .....	29
II.4.7 Distillateur solaire vertical : .....	30
II.4.8 Distillateur solaire incliné à film capillaire : .....	31
II.5 Caractéristiques de fonctionnement d’un distillateur à une seule pente: .....	32
II.5.1 Le rendement : .....	32
II.5.2 L’efficacité : .....	32
II.5.2.1 L’efficacité globale : .....	32
II.5.2.2 L’efficacité interne : .....	32
II.6.3 La performance : .....	33
II.6 Paramètres influant sur le fonctionnement du distillateur : .....	33
II.6.2 Paramètres externes : .....	34

## Sommaire

---

II.6.2 Paramètres internes : .....	34
II.7. Bilans énergétiques dans un distillateur simple : .....	35
II.7.1. Echanges de chaleur à l'intérieur du distillateur : .....	35
II.8 Conclusion : .....	39

### Chapitre III

#### Etude expérimentale d'un distillateur solaire avec un système de préchauffage

III.1. Introduction : .....	41
III.2. Description du distillateur solaire : .....	41
III.2.1. Bac absorbant : .....	41
III.2.2. Couverture verrière (verre) : .....	41
III.2.3. L'isolation thermique : .....	42
III.2.4. Bac extérieure : .....	43
III.2.5. La pompe : .....	43
III.2.6. Echangeur à le point Focale : .....	43
III.2.7. conduite plastiques : .....	44
III.2.8. concentrateur paraboliques : .....	44
III.3. Matériel d'étanchéité : .....	44
III.4. Instruments de mesures utilisées dans l'expérience : .....	45
III.4.1. Mesure du rayonnement solaire (Solarimètre) : .....	45
III.4.2. Mesure de la vitesse du vent (Anémomètre): .....	45
III.4.3. Mesure de la température : .....	45
III.4.4. Récipient de mesure de l'eau filtré: .....	47
III.5. L'emplacement des thermocouples: .....	47
III.6. Dispositifs rotatifs et de suivi du soleil : .....	47
III.6.1. Actionneur mécanique : .....	47
III.6.2. Moteur essuie-glace avec Pignon et chaîne : .....	48
III.7. Etape de préparation : .....	48
III.8. Conclusion : .....	49

### Chapitre VI

#### Test expérimental et résultats

VI.1. Introduction.....	51
-------------------------	----

## Sommaire

---

VI.2. La variation de rayonnement solaire en fonction du temps :.....	52
VI.3. Variation de vitesse de vent au cours du temps :.....	52
VI.4. Variation de température de distillateur en fonction du temps :.....	53
VI.5. Variation de la quantité d'eau distillée en fonction du temps :.....	53
VI.6. Variation de température de point focale en fonction du temps :.....	54
VI .7. Conclusion : .....	55
Conclusion générale .....	57
Références bibliographiques .....	59
Résumé.....	62

## Liste des figures

---

Figure I. 2 : l'instrument pyréliomètre .....	5
Figure I.3 :Rayonnement solaire .....	6
Figure I.4 : Centrales thermodynamiques .....	7
Figure I.5 : Gisement solaire en Algérie .....	10
Figure I.6 : Taux de consommation mondiale et annuelle en eau douce dans le monde .....	12
Figure II. 1 : Principe du distillation solaire.....	23
Figure II.2 : Différentes formes de distillateurs solaires à effet de serre .....	24
Figure II.3 : Distillateur à pente unique. ....	26
Figure II.4 : Distillateur à double pente. ....	27
Figure II.5 : Distillateur solaire sphérique.....	27
Figure II.6 : Distillateur solaire à mèche.....	28
Figure II.7 : Distillateur à cascade.....	29
Figure II.8 : Distillateur solaire terre- eau.....	29
Figure II.9 : Distillateur solaire à effet de serre multiple. ....	30
Figure II.10 : Distillateur solaire verticale. ....	31
Figure II.11 : Distillateur solaire à film capillaire.....	32
Figure II.12 :Bilans énergétiques d'un distillateur solaire simple.....	36
Figure III .1 : Bac absorbant.....	41
Figure III .2 : Couverture verrière (verre) .....	42
Figure III .3 :L'isolation thermique.....	42
Figure III .4 : Bac extérieure .....	43
Figure III .5 : la pompe.....	43
Figure III.6 : Absorbéur Focale.....	43
Figure III.7 :conduite Plastiques .....	44
Figure III. 8 : Concentrateur Parabolique.....	44
Figure III .9 : Solari mètre.....	45
Figure III.10 : Anémomètre.....	45
FigureIII.11 :thermocouples.....	46
FigureIII.12 : Afficheur.....	46
Figure III.13:Bicher Amphithéâtre (ml).....	47
Figure III.14 : Actionneur mécanique .....	48
Figure III.15 : Moteur essuie-glace avec Pignon et chaîne .....	48
Figure III.16 : système distillation solaire avec un concentrateur solaire parabolique .....	49
Figure VI. 1 : Points de mesure de températures .....	51
FigureVI.2 : la variation de rayonnement solaire au cours du temps.....	52
FigureVI.3 : la variation de vitesse de vent au cours du temps.....	53
FigureVI.4 : les variations des températures au cours du temps .....	53
FigureVI.5 : variation de quantité d'eau en fonction du temps.....	54
FigureVI.6 : variation de température de point focale en fonction du temps.....	54

## Liste de tableaux

---

Tableau I.1 : Gisement solaire en Algérie.....	11
Tableau I.2 : Disponibilités en eau potable dans l'espace Euro- Méditerranéen[5]. .....	13
Tableau I.3 : classification des eaux selon la salinité.....	14
Tableau I.4 : Degré de salinité de l'eau .....	15
Tableau I.5 : Disponibilité d'eau en Algérie par habitant en 2020 .....	16
Tableau I.6 : Barrages affectés par la pollution.....	18
Tableau II. 1 : Les principaux sites de distillateurs solaires à travers le monde de 1872 et 1974.....	25

# **Introduction générale**

## **Introduction générale :**

L'énergie et l'eau douce sont des besoins essentiels qui affectent la vie humaine sur La terre. Ce pourrait être une guerre mondiale pour obtenir de l'eau douce si son le problème de pénurie n'est pas convenablement traité. L'eau couvre 71% de la surface de la terre, environ 97% de l'eau disponible sur la terre est présentée comme de l'eau salée dans les mers et les océans, 2% est disponible dans les régions polaires sous forme de glace et le reste est accessible sous forme d'eau douce dans les lacs, rivières et eaux souterraines. Par ailleurs, le besoin en eau douce croît progressivement au cours des années à venir en raison de la croissance rapide de la population mondiale, de la croissance des activités industrielles et les changements climatiques. L'Algérie fait partie des pays exposés à la crise de l'eau, malgré la présence d'importantes nappes phréatiques estimées par 40.000 milliards mètre cube mais sa salinité est relativement élevée . Il a aussi des ressources renouvelables estimé par 19 mètres cubes. Mais il a connu une grande perturbation ces dernières années. Pour résoudre ce problème.

L'État doit commencer à dépendre des ressources en eau salée ou saumâtre qui ne peuvent pas être consommées directement sans dessalement. Techniques conventionnelles du dessalement utilisent des combustibles fossiles qui s'épuisent plus rapidement et il est nécessaire de préserver les combustibles fossiles pour les générations futures. Le dessalement solaire est l'une des plus des solutions énergétiques économiques et propres pour la production d'eau douce à partir d'eau salée ou eau saumâtre sans dépendre des énergies fossiles. L'énergie solaire est gratuite, propre, renouvelable et disponible dans la zone d'EL OUED.

Dans ce cadre va étudier expérimentalement le couplage d'un concentrateur solaire avec un distillateur solaire à une seule pente, le rôle de concentrateur est l'augmentation de la température l'eau par la conversion les rayonnements réfléchir au point focal en énergie thermique à l'aide d'un échangeur de chaleur en cuivre. Ce distillateur peut-il contribuer à améliorer les performances de distillateur solaire ? Afin de répondre à la question posée on va regrouper le travail en deux parties l'un d'eux se compose de deux chapitres, Généralités sur l'énergie solaire et déférente type des distillateurs solaires et les équations de transfert thermique dans le distillateur à une seule pente. La deuxième partie contient la conception et réalisation de distillateur à étudier et les résultats de test de mesure.

# **Chapitre I**

## **Le soleil, l'énergie solaire et l'eau**

### I.1. Introduction :

Cette étude vise les bases de la distillation solaire et de la production d'eau potable à partir d'eaux salines ou usées à l'aide de l'énergie solaire.

Ce chapitre couvrira toutes les bases liées à la distillation solaire.

### I.2. Le soleil :

Le Soleil est l'étoile du système solaire, c'est une étoile de type naine jaune d'une masse d'environ  $1,989 1 \times 10^{30}$  kg, composée d'hydrogène (75 % de la masse ou 92 % du volume) et d'hélium (25 % de la masse ou 8 % du volume), Le soleil est en effet, un réacteur de fusion continu avec ses constituants sous forme gazeuse retenue par des forces gravitationnelles, plusieurs réactions de fusion sont déclenchées pour intensifier l'énergie rayonnée par le soleil.

Le soleil est la source de la majeure partie de l'énergie sur Terre et est la source de vie de divers êtres végétaux, animaux et humains, sans le soleil il n'y aurait pas de vie sur terre, dont le cycle de vie est donné par la (figure I.1) [1].

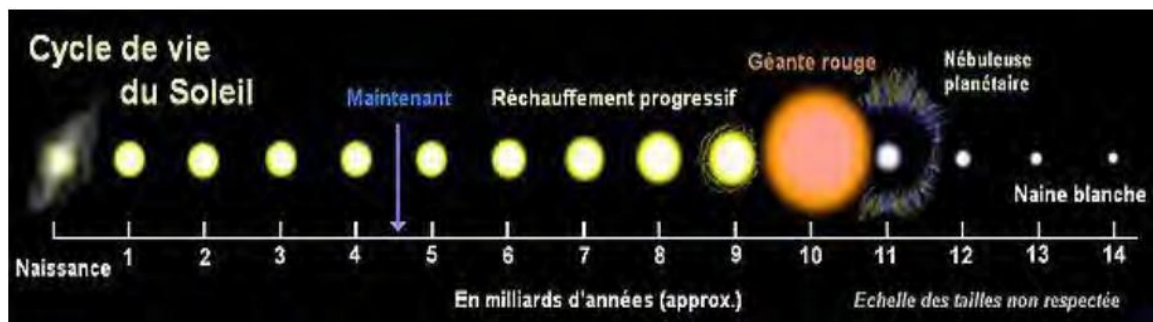


Figure I.1 : Le cycle de vie du soleil [6]

### I.3. Définition de l'énergie solaire :

L'énergie solaire est l'énergie dont la matière première est le soleil. Elle est gratuite, inépuisable et en plus, disponible dans le monde entier.

C'est également une source primaire d'énergie renouvelable, et ses technologies sont généralement appelées énergie solaire passive ou énergie solaire active selon la manière dont elles capturent et distribuent l'énergie solaire ou la convertissent en énergie solaire.

L'énergie solaire devrait devenir de plus en plus attrayante en tant que source d'énergie renouvelable en raison de son approvisionnement inépuisable et de son caractère non polluant, en contraste frappant avec les combustibles fossiles finis que sont le charbon, le pétrole et le gaz naturel.

## I.4. Différentes composantes du rayonnement :

Il y a quatre composants :

### I.4.1. Le rayonnement solaire direct :

On appelle rayonnement solaire direct celui qui arrive au sol sans avoir subi de diffusion, Il se diffère de façon notable du rayonnement atteignant la limite supérieure de l'atmosphère, en particulier du fait de l'absorption par les constituants gazeux de l'atmosphère, Sa mesure s'effectue à l'aide d'un pyrhéliomètre (Figure I.2), appareil dont la surface sensible est toujours disposée perpendiculairement aux rayons solaires[2].



Figure I. 2 : l'instrument pyrhéliomètre

### I.4.2. Le rayonnement solaire diffus :

Une part du rayonnement qui arrive à nos yeux ne provient pas directement des sources de lumière mais indirectement par le processus de diffusion.

La diffusion est un phénomène physique par lequel une particule dans le chemin d'une onde électromagnétique absorbe l'énergie de l'onde incidente et rayonne cette énergie dans toutes les directions, les particules responsables de la diffusion couvrent une grande étendue de dimensions allant des molécules gazeuses (diamètre de l'ordre de  $10^{-8}$  cm) aux gouttes de pluie ou particules de grêle (de l'ordre 1 cm) [3], Il s'agit donc de la répartition d'un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Pour un élément plan considéré la composante diffuse  $D$  ( $W/m^2$ ) provenant de toutes les directions est la plus difficile des composantes à calculer [2].

**I.4.3. Le rayonnement réfléchi :**

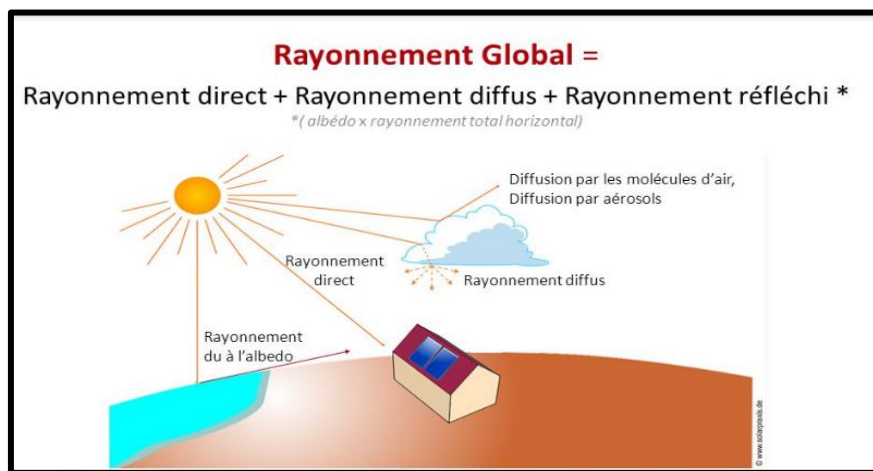
C'est ce qu'on appelle au même titre albédo, c'est la capacité d'une surface à réfléchir la lumière notamment celle du soleil (exprimé par un chiffre compris entre 0 et 1 ; 1s'affecte à un corps qui réfléchit totalement la lumière reçue) [4].

**I.4.4. Le rayonnement solaire globale :**

Le rayonnement global moyen produit un rayonnement monochromatique intégré par rapport à la longueur d'onde, à l'angle solide et au temps. Mais un grand nombre de processus induits par le rayonnement sont à la fois non linéaires et spectralement sélectifs, et ils dépendent également de l'orientation du plan irradié (Figure I.3).

On distingue deux types de données d'ensoleillement :

- Rayonnement instantané : on considère les courbes de l'intensité du rayonnement en fonction de l'heure de la journée.
- Rayonnement cumulé : le cumul du rayonnement global par jour. Ce sont toutes les valeurs cumulées d'année en année et l'on en réalise avec des moyennes pour chaque mois de l'année.



**Figure I.3 : Rayonnement solaire**

**I.5. L'énergie solaire et ses différentes transformations (ou utilisations) :**

Pour ses besoins vitaux, l'homme utilise cette énergie directement ou il la transforme en d'autres formes d'énergie telles que l'énergie alimentaire, l'énergie thermique, l'électricité ou la biomasse. Il existe deux types d'énergie solaire passive et active :

### I.5.1. L'énergie solaire passive :

C'est une énergie disponible et propre, Il est utilisé directement sous forme de Chaleur ou éclairage lorsque la lumière du soleil pénètre à l'intérieur des bâtiments et est absorbée par les murs, meubles, les le bois.

### I.5.2. L'énergie solaire active :

Il existe trois options de l'énergie solaire active :

- **L'énergie solaire thermique :** Ce mode de production d'énergie consiste à capter la lumière solaire, et notamment la chaleur qu'elle dégage, grâce à des panneaux photovoltaïques pour la transformer en électricité pouvant être injectée dans le réseau électrique grâce à des onduleurs.
- **L'énergie solaire photovoltaïque :** est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire grâce à des panneaux ou des centrales solaires photovoltaïques. Elle est dite renouvelable, car sa source (le Soleil) est considérée comme inépuisable à l'échelle du temps humain. En fin de vie, le panneau photovoltaïque aura produit 20 à 40 fois l'énergie nécessaire à sa fabrication et à son recyclage [6].
- **L'énergie solaire Thermodynamique (ou mécanique) :** thermodynamiques utilisent une grande quantité de miroirs qui font converger les rayons solaires vers un fluide caloporteur chauffé à haute température. Pour ce faire, les miroirs réfléchissants doivent suivre le mouvement du soleil afin de capter et de concentrer les rayonnements tout au long du cycle solaire quotidien (figureI.4), Les moteurs solaires ont un seul point commun : La concentration de l'énergie solaire via des concentrateurs solaires (héliostats, miroirs, etc....).



Figure I.4 : Centrales thermodynamiques

### **I.6. L'énergie solaire photo thermique et ses différentes applications :**

L'énergie solaire thermique est la transformation du rayonnement solaire en chaleur par des capteurs solaires photo thermiques. Le principe consiste à capter le rayonnement solaire et à redistribuer cette énergie selon son application, soit par le biais d'un fluide caloporteur (eau, liquide antigel ou air), soit par l'absorbeur directement.

Le capteur solaire thermique se compose en général d'un absorbeur (bon conducteur de chaleur) peint en noir (pour augmenter l'absorption de l'énergie solaire) placé dans un coffrage isolé thermiquement (pour diminuer les pertes de chaleur) en face arrière et recouvert d'un vitrage en face avant pour créer un effet de serre qui fait augmenter son rendement. C'est à la surface de l'absorbeur que le rayonnement solaire se convertit en chaleur.

Parmi les applications de l'énergie solaire thermique :

- Le dessalement ou la distillation des eaux usées ou saumâtres.
- Les étangs solaires pour produire de l'énergie.
- Le chauffage de l'eau des piscines.
- Le séchage des récoltes.
- Le chauffage des maisons.
- La réfrigération par absorption : Le réfrigérateur solaire.
- Production d'eau chaude : en chauffant l'eau par le soleil

### **I.7. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire :**

L'énergie solaire, est une énergie renouvelable qui comporte des avantages et des inconvénients :

#### **I.7.1 Avantage L'énergie solaire :**

- L'énergie solaire thermique permet d'assurer une partie des besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage.
- L'énergie solaire est l'une des énergies les plus facilement exploitable.
- L'utilisation des énergies renouvelables permet aussi de montrer son respect pour les générations futures qui devront vivre à l'âge de la raréfaction du pétrole.
- Le rendement énergétique est positif : il faut en moyenne entre 20 et 25 ans pour que le panneau produise l'énergie nécessaire à sa fabrication et un panneau solaire produit en moyenne entre 9 à 14 fois l'énergie qu'il a consommé pour sa fabrication [9].
- Les frais de maintenance et de fonctionnement d'une installation thermique sont relativement faibles.

- Leur utilisation apporte un confort évident et permet également de limiter les impacts sur l'environnement.
- L'énergie solaire donne à l'utilisateur la possibilité de subvenir sans intermédiaire à une partie de ses besoins.
- L'utilisation de l'énergie solaire pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de la combustion des produits pétroliers, du charbon et gaz naturel.
- Les systèmes héliotechniques et les autres systèmes d'énergie renouvelable peuvent être autonomes. Il n'est pas nécessaire de les relier à un réseau électrique ou de gaz naturel.
- L'énergie émanant du soleil est pratiquement gratuite.
- Le soleil fournit une alimentation quasi illimitée en énergie.

### **I.7.2 Inconvénients L'énergie solaire :**

- Le coût d'investissement d'une installation solaire thermique est relativement élevé.
- L'énergie solaire est une énergie intermittente. Il faut donc un système de chauffage d'appoint.
- La production d'énergie solaire n'est possible que lorsqu'il y a du soleil.
- Il faut pouvoir stocker la chaleur dans des ballons ou des dalles chauffantes.

### **I.8. L'impact l'énergie solaire sur l'environnement :**

Le principal impact environnemental est :

- L'utilisation du silicium dans la fabrication des panneaux photovoltaïques alourdit le bilan énergétique, On sait que les usines de silicium libèrent une grande quantité de CO<sub>2</sub> dans l'air.
- Au niveau de la fabrication, du transport, de l'installation et du recyclage de ces infrastructures.
- Les panneaux solaires sont aussi constitués en faible quantité de substances dangereuses comme le plomb, le brome ou le cadmium.
- les panneaux solaires peuvent modifier le paysage et déranger la faune locale principalement par la pose de clôture sur des terrains de grande superficie.

Actuellement, l'énergie est essentielle pour répondre aux besoins des individus, des industries ou des transports. On cherche donc des solutions alternatives aux énergies fossiles polluantes et limitées, et l'énergie solaire en est une. Ces impacts environnementaux sont minimes par rapport aux avantages à long terme et les avancées dans ce domaine en feront une énergie de plus en plus propre aux fils des années.

## I.9. Energie solaire en l'Algérie :

En raison de sa situation géographique, l'Algérie dispose d'une énorme source d'énergie solaire et appartient à l'un des principaux gisements solaires, la région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord.

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (Hauts-Plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m<sup>2</sup> est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m<sup>2</sup>/an au nord, et 2263 kWh/m<sup>2</sup>/an au sud du pays.

L'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à HassiR'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau suivant selon l'ensoleillement reçu annuellement (figure I.5) (Tableau I .1) [7] :

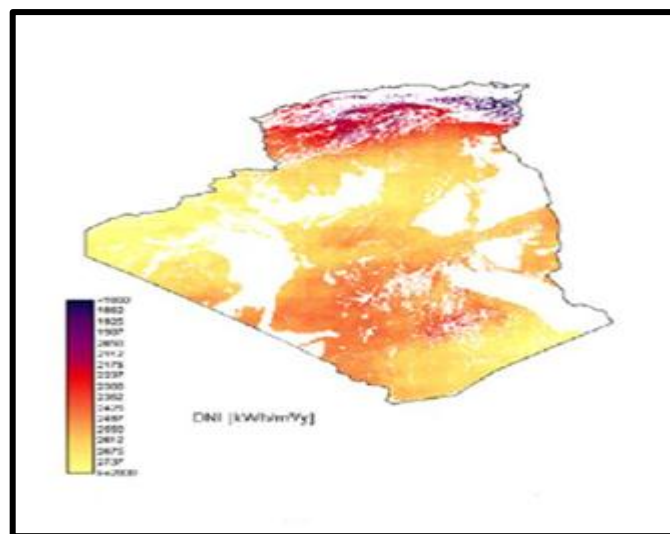


Figure I.5 : Gisement solaire en Algérie [7]

Tableau I.1 : Gisement solaire en Algérie [7]

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures /an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh /m <sup>2</sup> /an)	1700	1900	2650

### I.10. L'eau :

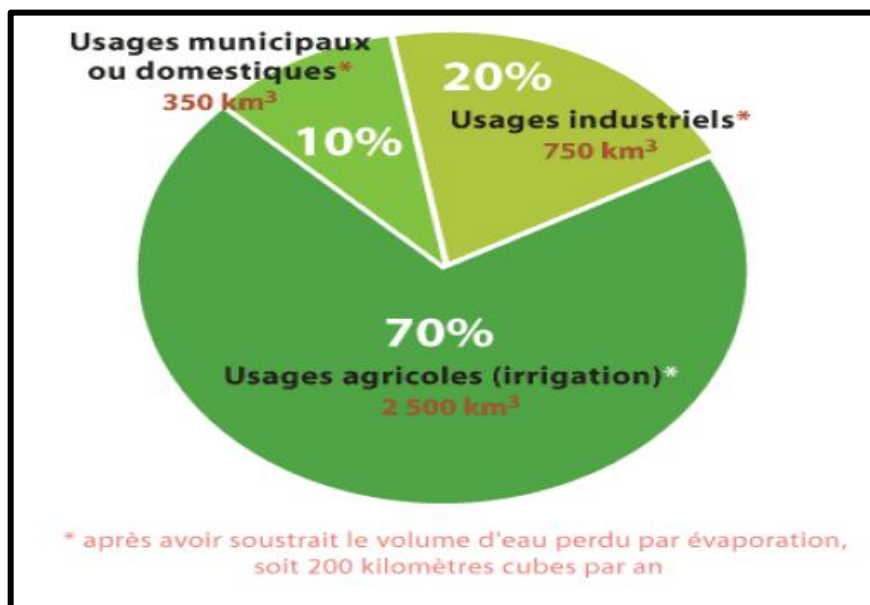
L'eau est un capital vital, qui ne cesse de se répercuter dans l'esprit de l'homme, et tente surtout aux jours de ce troisième millénaire à vénérer ce liquide précieux et réagir contre toutes sortes de contaminations qui souillent ses ressources, L'eau elle se trouve dans les océans, les mers, les lacs, les nappes Souterraines.

### I.11. Ressources douce mondiales en eaux :

L'approvisionnement en eau douce ou potable devient chaque jour plus préoccupant et ne pourra qu'empirer dans les années à venir. La croissance démographique ainsi que le développement industrielle, agricole et la qualité du niveau de vie des populations mondiales, vont nécessairement exploser la consommation en eau et dégrader un peu de sa qualité, ce qui mettra en péril le ravitaillement en eau douce d'une grande partie de l'humanité.

En effet, la population mondiale est passée de 1,7 milliards de personnes en 1900 à plus de 6 milliards en 2000 et sera 8 milliards en 2025. Tandis que la population mondiale triplait, la consommation en eau était multipliée par six au cours du vingtième siècle [12].

Pour subvenir aux besoins hydriques et alimentaires d'une population sans cesse croissante, il a fallu alors augmenter les surfaces des terres agricoles. C'est ce que montre la (figure I.6), où 70% de la consommation annuelle mondiale en eau douce estimée en 2000 à environ 3800 km<sup>3</sup> est utilisée pour l'irrigation [5].



**Figure I.6 : Taux de consommation mondiale et annuelle en eau douce dans le monde [6]**

On estime que les ressources en eau potable dans le monde sont de 40.000 milliards de m<sup>3</sup> pour une population de 6 milliards de personnes soit 6800 m<sup>3</sup>/habitant/an, cette disponibilité varie d'un pays à un autre [11].

En 2000, un tiers de l'humanité vivait avec moins de 1700 m<sup>3</sup> d'eau douce disponible par habitant et par an. Cette situation est dite situation de stress hydrique. Pourtant, l'eau douce existe à l'échelle planétaire (chaque année, 40.000 km<sup>3</sup> d'eau douce s'écoulent sur les terres qui devraient fournir 6600 m<sup>3</sup> d'eau douce par personne), mais, elle était et reste répartie d'une façon très inégale à la surface de la terre. Neuf pays seulement (Le Brésil, la Russie, les USA, le Canada, la Chine, l'Indonésie, l'Inde, la Colombie et la Pérou) se partagent 60% des réserves mondiales en eau douce.

La répartition hétérogène des populations mondiales est un autre paramètre qui augmente ce déséquilibre. En effet, l'Asie où se concentre près de 60% de la population mondiale, ne dispose que de 30% des réserves d'eau. Par contre, l'Amazonie qui ne représente que 0.3% de la population mondiale, dispose de 15% des réserves en eau. En Afrique du Nord et au Proche orient, la situation est plus grave encore. On parle d'une situation dite de pénurie chronique car chaque habitant dispose de moins de 1000 m<sup>3</sup> par an.

D'ici 2025, la quantité moyenne d'eau douce disponible par habitant devrait chuter à 4800m<sup>3</sup>. C'est-à-dire qu'en 2025, entre la moitié et les 2/3 de la population mondiale devraient être en situation de stress hydrique avec moins de 1700 m<sup>3</sup> d'eau par habitant et par an, un seuil d'alerte retenu par l'ONU Dont Algérie (tableau I.2), Le risque d'une pénurie mondiale existe bel et bien [5].

Tableau I.2 : Disponibilités en eau potable dans l'espace Euro- Méditerranéen [5].

Pays		Disponibilité en eau (m <sup>3</sup> /hab)	
		1990	2025
SUD	Algérie	720	430
	Maroc	1117	590
	Tunisie	540	324
	Libye	1017	359
	Egypte	1123	630
	Syrie	2087	732
NORD	Turquie	3626	2186
	Espagne	2849	2733
	France	3262	3044
	Italie	3243	3325
	Grèce	5826	5840

Donc, pour faire face à cette pénurie et tenter d'inverser cette tendance, diverses solutions existent ou peuvent être développées :

- L'amélioration des techniques d'irrigation ;
- La rénovation des structures de production et de distribution d'eau potable ;
- La préservation des réserves ;
- La lutte contre la pollution ;
- Le recyclage de l'eau ;
- La construction de barrages et
- Le dessalement et la distillation des eaux de mers et des eaux usées.

### I.12. Classification des eaux :

Lorsqu' on classe les eaux en fonction des quantités de matières dissoutes qu'elles contiennent, on obtient les données présentées au (tableau I.3).

Les eaux saumâtres, qui proviennent habituellement des nappes souterraines, contiennent le plus souvent de 2000 à 10000 mg/L de matières dissoutes. Signalons au passage que l'effluent d'une usine d'épuration (traitement biologique) contient environ 750 mg/L de matières dissoutes [10].

Tableau I.3 : classification des eaux selon la salinité

Type d'eau	Salinité (mg /l)
Eau	<500
Eau légèrement saumâtre	1000-5000
Eau modérément saumâtre	5000-15000
Eau très saumâtre	15000-35000
Eau de mer	35000-42000

**I.13. Les eaux distillables :**

Les différentes eaux qui peuvent être distillées sont :

**I.13.1. L'eau de mer :**

C'est l'eau que l'on trouve dans les mers et les océans du monde, avec une salinité moyenne d'environ 3,5 % (35 g/L).

**I.13.2. Les eaux saumâtres :**

Ce sont les eaux non potables dont la salinité est inférieure à celle des eaux de mer et qui peuvent être classés en trois catégories :

- Eau légèrement saumâtres → 1000 à 3000 ppm (partie pour million).
- Eau moyennement saumâtres → 3000 à 10000 ppm
- Eau très saumâtres → 10000 à 35000 ppm

**I.13.3. Les eaux naturelles :**

Ce sont les eaux qui proviennent des lacs, fleuves, rivières et nappes souterraines. Elles ont une composition chimique différente et parfois elles sont polluées et impropres à la consommation. Elle représente près de 14% de l'eau douce.

**I.13.4. Les eaux usées :**

Les eaux usées ou les eaux usées sont un moyen approprié pour la consommation.

**I.14. L'eau potable :**

En conséquence de les normes sanitaires de (l'Organisation Mondiale de la Santé) (L'O.M.S) tout eau distribuée à une collectivité doit être potable. Une eau est considérée comme potable sa salinité totale est comprise entre 100 et 1000 ppm (partie pour million), soit 0.1 et 1g/l. La salinité des mers varie d'une mer à autre et elle est en moyenne de 35g/l, avec de fortes

variations régionales dans certains cas : 39g/l en Méditerranée, 42 g/l dans le Golfe persique et jusqu'à 270g/l en mer morte (Tableau I.3) [14].

**Tableau I.4 : Degré de salinité de l'eau [11]**

Mers	Salinité (mg/l)
Mer Baltique	7000
Mer Caspienne	13500
Mer Noire	13000
Océan Pacifique	33000
Océan Indien	33800
Mer Méditerranée	39400
Golf Arabique	43000
Mer Rouge	43000
Mer Morte	270000
Océan Atlantique	36000

### **I.15. Le besoin en eau potable en Algérie :**

Le besoin en eau potable en Algérie pour divers usages domestiques ou industriels est de plus en plus importantes, les connaissances dans la région sud du pays, c'est la région saharienne qu'elle couvre environ de deux millions de km<sup>2</sup> ou la source principale d'eau est les puits pour utilisation des eaux souterraines avec une grande difficulté d'exploitation dû à la profondeur importante et leur teneur en salinité, sans oublier l'impact environnementale d'épuisement de la nappe souterraines qu'il est estimé l'ordre de 4 à 5 milliards de m<sup>3</sup>[16].

D'autre part le côté nord du pays l'eau souterraine est évaluée à 1.80 milliard de m<sup>3</sup>, l'utilisation de cette source est influée sur le développement du pays sachant que l'Algérie occupe actuellement le 14<sup>ème</sup> rang mondial parmi les pays en souffrance de manque d'eau, cette situation peut être plus difficile s'il ne prend pas des démarches efficaces et rapides pour régler la situation et ce malgré les grandes quantités de pluie en Algérie (environ de 65 milliards de mètres cubes), 73% de ces eaux s'évaporent dans l'atmosphère, 23% se dirigent vers les rivières, et seulement 4% alimentent les eaux souterraines[16].

En face de cet état, on doit faire des efforts considérables en vue de :

➤ L'augmentation de la production d'eau dessalée par la réalisation des unités de dessalement tout en prend en considération la démunissions de coût d'énergie par l'utilisation des technologies avancé dans ce domaine.

➤ L'augmentation de la quantité des eaux désigné pour l'en richement de la nappe souterraine.

**I.16. L'approvisionnement en eau potable en Algérie :**

L'Algérie fait partie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, et se situe donc en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la banque mondiale, soit 1000 m3 par habitant et par année.

La disponibilité annuelle en eau par habitant est aujourd'hui de 500 m<sup>3</sup>. Du fait de la pression démographique, cette disponibilité ne sera plus que de 430 m<sup>3</sup> par habitant en 2020 ; cette par bassin hydrographique comme suit, (tableau I. 4)

**Tableau I.5 : Disponibilité d'eau en Algérie par habitant en 2020**

Bassin hydrographique	Ressources (hm)	Population (10 <sup>6</sup> habitants)	Disponibilité (m <sup>3</sup> /habitant)
Oranie-Chott	1400	6.3	220
Chergui			
Chélifer	2072	7.0	300
Algérois Soumma-Hodna	5125	15.8	320
Const- Medj –Mellègue	5048	10.0	500
Sud	5436	4.9	1120
Total Algérie	64518	44.0	430

**I.17. Le problème de l'eau en Algérie :**

Le problème de l'eau en Algérie est encore mystérieux pour plusieurs facteurs :

**I.17.1. Faiblesse des ressources en eau :****➤ Les ressources en eau superficielle :**

Les ressources en eau sont généralement faibles et surtout extrêmement irrégulières, leur exploitation devient de plus en plus difficile dans notre pays, Sur l'ensemble du territoire national, il y a seulement 49 barrages en exploitation totalisant actuellement une capacité de 4,48 Milliards de m<sup>3</sup> pour l'alimentation en eau potable , Il est à signaler que les trois barrages qui alimentent la capitale en l'occurrence le barrage de Keddara de Hamiz et de Beni-Amrane , Les barrages du centre du pays s'avèrent être les plus touchés par la baisse sensible des eaux, contrairement à ceux de l'Ouest.

**➤ Les ressources en eau souterraine :**

Les eaux souterraines sont généralement faibles et localisées dans le Sahara. Les lits d'oueds alimentent quelques nappes phréatiques souvent saumâtres: Ghir, M'zeb, Saoura, ou encore des nappes profondes, semi - fossiles ou fossiles comme l'Albien.

**I.17.2. Dégradation continue des ressources :**

La dégradation des ressources en eau commence à atteindre des proportions inquiétantes dans la région tellienne, La pollution de certains barrages, tant par les eaux usées domestiques que par des rejets industriels, a déjà été soulignée (tableau I.5).

**Tableau I.6 : Barrages affectés par la pollution**

Barrage	Wilaya	Source de pollution
Cheffia	El-Taref	Rejets urbains et industriels
Zardeza	Skikda	Rejets urbains
Hammam-Grouz	Mila	ENAD* Chelghoum-Laid
Béni Amrane	Boumerdes	ENAD*Lakhdaria /Hydrocarbures
Kaddara	Boumerdes	Hydrocarbures
Hamiz	Alger	Hydrocarbures
Harbil	Médéa	Complexe de SAIDAL**
Fergoug	Mascara	Rejets urbains et industriels
Beni-Bahdel	Tlemcen	Rejets urbains et industriels
Sidi Abdelli	Tlemcen	Rejets industriels
(*) Entreprise National des Détergents et produits d'entretien (***)Entreprise National de production pharmaceutique		

**I.17.3. Les périodes de sécheresse :**

L'Algérie connaît depuis plus d'une vingtaine d'années, une sécheresse sévère et persistante. L'année 1988/89 est à classer en tant qu'année sèche. Le déficit pluviométrique est bien remarqué à l'Ouest (notamment à Oran, Ghazaouet et Arzew). Les barrages de Beni-Bahdel et de Mafrouch se sont asséchés. Durant le mois de juin 1988, les régions du Centre et de l'Ouest ont vu un déficit pluviométrique supérieur à 50%, à l'Est, il était de 30%, durant ces deux dernières décennies. De manière Générale, la sécheresse est apparue sur la majorité des pays du bassin méditerranéen depuis le début des années 1980[11].

**I.17.4. Conditions climatiques difficiles :**

Le climat en Algérie est semi-aride (200mm à 500mm), d'où des ressources de plus en plus limitées et difficiles à exploiter. Il faut savoir que trois ensembles fortement Contrastés climatiquement caractérisent le territoire national et qui sont :

- Le littoral et les massifs montagneux occupant environ 4% de la superficie totale. Le climat est de type méditerranéen, avec des pluies très violentes en hiver provoquant une forte érosion. En été les précipitations sont extrêmement rares et les chaleurs très fortes. Les pluies

pouvant atteindre 1600 mm/an sur les reliefs sont irrégulières d'une année à l'autre et inégalement réparties [11].

- Les hauts plateaux qui occupent environ 9% de la superficie totale, sont caractérisés par un climat semi-aride (pluviométrie comprise entre 100 et 400 mm/an), il en résulte une faiblesse des ressources hydriques.
- Le Sahara, ensemble désertique, aride avec une pluviométrie moyenne inférieure à 100 mm/an, couvre 87% du territoire, les conditions climatiques extrêmes et les amplitudes thermiques sont très fortes [15].

### **I.17.5. Croissance démographique :**

L'Algérie comptait environ 32.3 millions d'habitants en 2004, dont 41% établis dans le milieu rural. La densité moyenne est de 14 habitants/km<sup>2</sup>, mais la population est fortement concentrée dans la zone côtière composée de terres agricoles plus fertiles et riches en ressources naturelles, ainsi que dans les principales villes et pôles d'activités économiques du pays (215 habitants/km<sup>2</sup>), contre 38 habitants/km<sup>2</sup> dans la région des hauts plateaux et 7 habitants/km<sup>2</sup> dans le sud. Aujourd'hui, la population dépasse 35 millions d'habitants [11].

La population de l'Algérie était 2020 que sa population était de 44 851 044 habitants, 41% établis dans le milieu rural. La densité moyenne est de 14 habitants/km<sup>2</sup>, mais la population est fortement concentrée dans la zone côtière composée de terres agricoles plus fertiles et riches en ressources naturelles, ainsi que dans les principales villes et pôles d'activités économiques du pays (215 habitants/km<sup>2</sup>), contre 38 habitants/km<sup>2</sup> dans la région des hauts plateaux et 10 habitants/km<sup>2</sup> dans le sud, Il ne cesse de croître aujourd'hui [11].

### **I.18. Le problème de consommation de l'eau en Algérie :**

En Algérie, les besoins en eau potable et en eau pour usage industriel se font de plus en plus ressentir, surtout dans les régions sahariennes dont la superficie avoisine les deux millions de km<sup>2</sup> et où les eaux souterraines sont disponibles en grande quantité environ 60×10<sup>3</sup> milliards de m<sup>3</sup>, Ces dernières sont difficilement exploitables et difficilement renouvelables ; or de 4 à 5 milliards de m<sup>3</sup> seulement sont exploitables annuellement malgré que la plupart de ces eaux sont saumâtres.

L'Algérie occupe actuellement le 14<sup>ème</sup> rang mondial parmi les pays qui souffrent du manque d'eau, et s'il n'y'aura pas de démarches efficaces, elle sautera à la 6<sup>ème</sup> place d'ici l'an 2025.

L'Algérie reçoit 65 milliards de mètres cubes de pluie par an dont :

- 15 milliards se dirigent vers les rivières.
- 47 milliards s'évaporent dans l'atmosphère.

➤ 3 milliards alimentent les eaux souterraines.

La capacité réelle de stockage actuelle des barrages est de 7 milliards de m<sup>3</sup>, il faut considérer 40 % des pertes par canalisation qu'on doit être en mesure de réduire à 10 % à moyen terme.

Par conséquent, on doit faire des efforts considérables en vue de :

1. Réduire les déchets en changeant les canalisations datant de la période coloniale
  2. Augmenter la production d'eau dessalée par la mise en place d'unités de dessalement
- Veiller à réduire les coûts de traitement des eaux saumâtres ou des eaux usées en confiant la gestion.

### **I.19. Les Ressources en eaux dans le sud Algérien (EL OUED) :**

Tous les wilayas de sud en Algérie souffrant de rareté d'eau potable malgré la richesse de la nappe souterraine dans des régions comme In Salah, d'autre coté l'éloignement des villes et des lieux de consommation ajouté une difficulté à la distribution d'eau potable, ou la nécessité d'un grand investissement pour assurer la disponibilité d'eau dans toute la région, mais des autres wilayas souffrant surtout de la qualité d'eau vu le taux important de salinité de ces eaux, parmi ces wilaya en trouve la wilaya d'El oued.

La wilaya d'El-oued est située au Nord-est de Sahara septentrional, elle occupe une superficie de 44586,80 km<sup>2</sup>, avec une population de 820 000 habitants. (D.P.S.B ; 2019), Le relief d'El-oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes une région sableuse, Une forme de plateau rocheux, et une zone de dépression.

La willaya d'El oued à est considérée comme l'une des wilayas du sud Algérien, qui souffre de la rareté des eaux potables et de la disponibilité des eaux salées sous forme d'eau souterraine.

La géologie d'El-oued est masquée par une épaisse couche de terrains quaternaires. Leur description a été effectuée grâce à l'interprétation des logs stratigraphiques des forages d'eau.

D'après l'étude hydrogéologique nous constatons que la région d'oued est disposée d'une réserve hydrique très importante, présenté sous forme de nappes souterraines : la nappe du complexe terminal (C.T) et la nappe du Continentale intercalaire (C.I). Le climat de la région d'oued est connu par son aridité marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et par les amplitudes thermiques et les températures trop élevées d'autre part. Cette aridité n'est pas seulement due à la rareté de la pluie, mais aussi à la forte évaporation qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la région.

La wilaya d'El oued baser principalement sur l'eau souterraine pour satisfaire la demande locale d'eau potable, leur qualité chimique est liée à la nature du terrain, alluvions et des roches qui emmagasinent l'eau de source, ainsi que de la concentration en certains éléments chimiques.

### **I.20. Conclusion :**

Nous avons vu dans ce chapitre une étude générale et brève du système solaire, l'énergie solaire, et leur importance dans la vie sur Terre. Nous avons également cité les différentes sources des eaux dans le monde et en Algérie, et le problème du manque d'eau saumâtre dans le monde en général et en Algérie en particulier.

# **Chapitre II**

## **Les distillateurs solaires**

## II.1.Introduction :

La distillation solaire est une solution pour résoudre le problème de la pénurie d'eau potable dans les zones désertiques sèches car la production d'eau propre avec la technique de distillation solaire a de grandes perspectives dans l'industrie et l'économie, parce que l'énergie consommée dans la production est l'énergie thermique. Il peut profiter de la chaleur qui peut être convertie en chaleur vapeur pour l'eau salée. Pour ce faire, des distillateurs solaires doivent être utilisés. Dans ce chapitre on va présenter les différentes composantes du distillateur solaire, leur évolution au cours du temps. Avec une modélisation mathématique de phénomène de transfert de chaleur au cours de production d'eau distillé.

## II.2.Composants et principe de fonctionnement du distillateur:

Le distillateur solaire se compose d'une boîte avec un couvercle transparent qui permet la transmission du rayonnement solaire, et la boîte contient une quantité de marinade au-dessus d'une base noire pour absorber autant de rayonnement. Le principe de fonctionnement d'un distillateur solaire basé sur effet de chaleur de rayonnement donc La température de l'eau dans la boîte est plus élevée que son environnement, ce qui aide à vaporiser l'eau. La vapeur d'eau qui en résulte se rend au couvercle distillé sur la face interne du couvercle à une température comprise entre la température de l'eau salée de la base et celle de l'océan. Lors de la conception du distillateur, le couvercle est légèrement incliné de la position horizontale jusqu'à ce que la vapeur d'eau intense s'écoule sur elle, où il est ensuite recueilli.

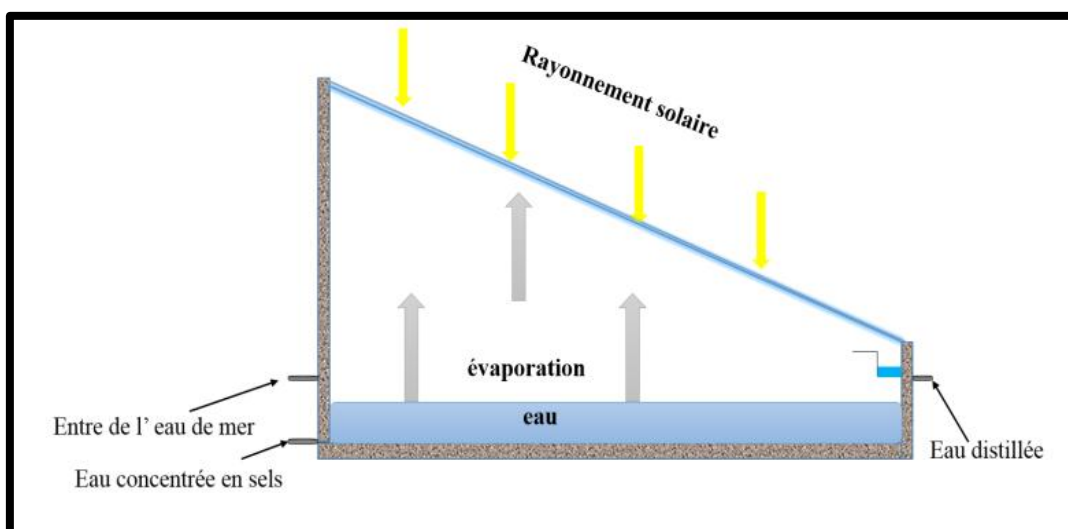


Figure II.1 : Principe du distillation solaire.

### II.3. Evolution du distillateur solaire au cours du temps :

Il est vrai que la distillation solaire est utilisée depuis des centaines d'années. MOUCHOT [17] avait déjà signalé que les premiers à avoir conçu des appareils pour distiller l'eau étaient les alchimistes arabes de 1551. Il a écrit... quelques contenants de verre usagés pour la distillation.

En 1861, le chimiste LAVOISIER utilise de grandes lentilles en verre pour concentrer les rayons solaires afin de distiller l'eau en bouteilles. Il apparaît donc, que pendant le 19<sup>ème</sup> siècle, Les scientifiques ont utilisé l'énergie solaire pour la distillation non pas directement, mais en concentrant les rayons du soleil en utilisant des miroirs et des verres.

Le premier distillateur solaire classique a fait son apparition en 1872 près de Las Salinas au nord du Chili. Le site avait une surface de 4700 m<sup>2</sup> et produisait 20 m<sup>3</sup> d'eau distillée par jour au cours de l'été [18].

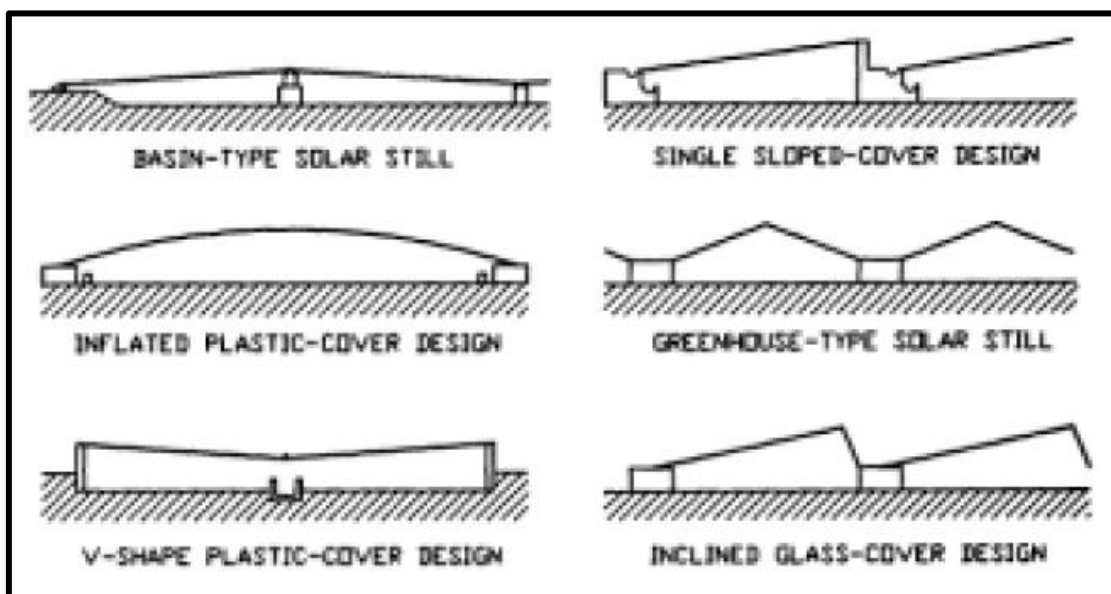


Figure II.2 : Différentes formes de distillateurs solaires à effet de serre [6].

Le tableau ci-dessous montre les principaux sites de distillation solaire dans le monde :

Tableau II. 1 : Les principaux sites de distillateurs solaires à travers le monde de 1872 et 1974 [6].

Pays	Localisation	Année	Surface du bassin (m <sup>2</sup> )	Production (m <sup>3</sup> /jour)	m <sup>2</sup> .	Couverture
Australie	Muresk 1	1963	372	0,83	2,30	Verre
	Muresk 2	1966	372	0,83	2,30	Verre
	Cooper Pedy	1966	3160	6,35	2,01	Verre
	Caiguna	1966	372	0,78	2,10	Verre
	Hamelin Pool	1966	557	1,21	2,17	Verre
	Griffith	1967	413	0,91	2,20	Verre
Chili	Las Salinas	1872	4460	14,76	3,31	Verre
	Quillagua	1968	100	0,40	4,0	Verre
	Quillagua	1969	103	0,40	3,88	Verre
Grèce	Symi 1	1964	2686	7,56	2,81	Plastique
	Aegina 1	1965	1490	4,24	2,84	Plastique
	Salamis	1965	388	1,10	2,83	Plastique
	Patmos	1967	8600	26,11	3,04	Verre
	Kimolos	1968	2508	7,57	3,02	Verre
	Nisyros	1969	2005	6,06	3,02	Verre
Inde	Bhavnagar	1965	377	0,83	2,20	Verre
Mexique	Natividad Island	1969	95	0,38	2,20	Verre
	Puerta Chale	1974	300	1,00	3,33	Verre
	Punta Chucca	1974	470	1,50	3,19	Verre
Pakistan	Gwadar 2	1972	9072	27,0	2,98	Verre
Espagne	Las Marinas	1966	868	2,57	2,96	Verre
Tunisie	Chakmou	1967	440	0,53	1,20	Verre
	Mahdia	1968	1300	4,16	3,20	Verre
USA	Daytona Beach	1959	224	0,53	2,37	Verre
	Daytona Beach	1961	246	0,57	3,20	Verre
	Daytona Beach	1961	216	0,38	1,76	Plastique
	Daytona Beach	1963	148	0,61	4,12	Plastique
URSS	Balcharden Turkmenistan	1969	600	1,62	2,70	Verre
West Indiens	Petit St	1967	1710	4,92	2,88	Plastique
	Vincent Haïti	1969	223	0,76	3,41	Verre

## II.4. Les différents types de distillateur solaire :

### II.4.1 Distillateur solaire à effet de serre :

Il y a plusieurs types de distillateur solaire les plus utilisés sont ceux du type de serre, ils ont l'avantage d'être simples, faciles à exécuter et peu coûteux. Mais ils ont le désavantage majeur d'une très faible production d'eau potable (de l'ordre de 2,5 à 3 litres par m<sup>2</sup> par jour) [19]. Il est ainsi possible de distendre des modèles de distillateur avec effet de serre :

#### a) Distillateur à pente unique :

La distillerie solaire à une seule pente est considérée comme la distillerie la plus simple et la plus reconnue au monde. Il se compose d'un absorbeur sous la forme d'un bassin horizontal, et rempli d'eau salée ou saumâtre et recouvert d'une vitre transparente, incliné sous un certain angle pour être exposé au maximum du rayonnement solaire et faciliter l'écoulement des gouttelettes vers une gouttière placée au fond du verre. L'eau condensée est ensuite recueillie et emmagasinée. Pour réduire les pertes d'énergie, on utilise un isolant thermique à la base et sur les côtés à l'extérieur de l'absorbeur. (Figure II.3) [6].

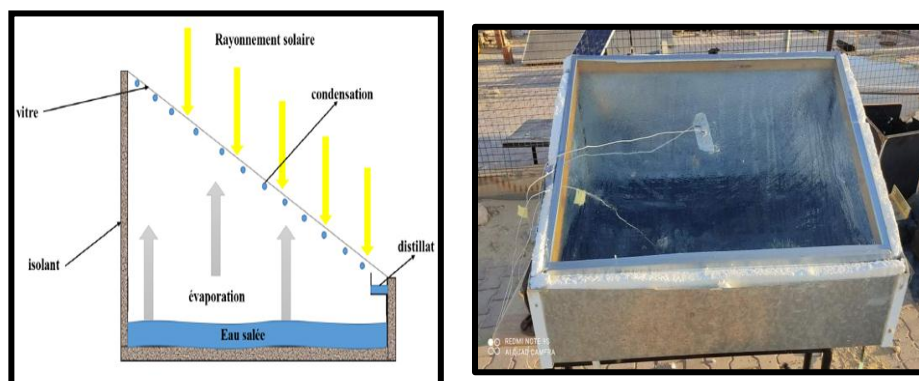


Figure II.3 : Distillateur à pente unique.

#### b) Distillateur à double pente :

Il a le même principe que le distillateur à une seule pente, mais il est composé de deux détecteurs où chacun d'eux est incliné par un angle (Figure II.4). L'avantage de la distillerie à double vitrage est d'exposer un capteur au soleil tandis qu'un autre à l'ombre pour accélérer la condensation [20].

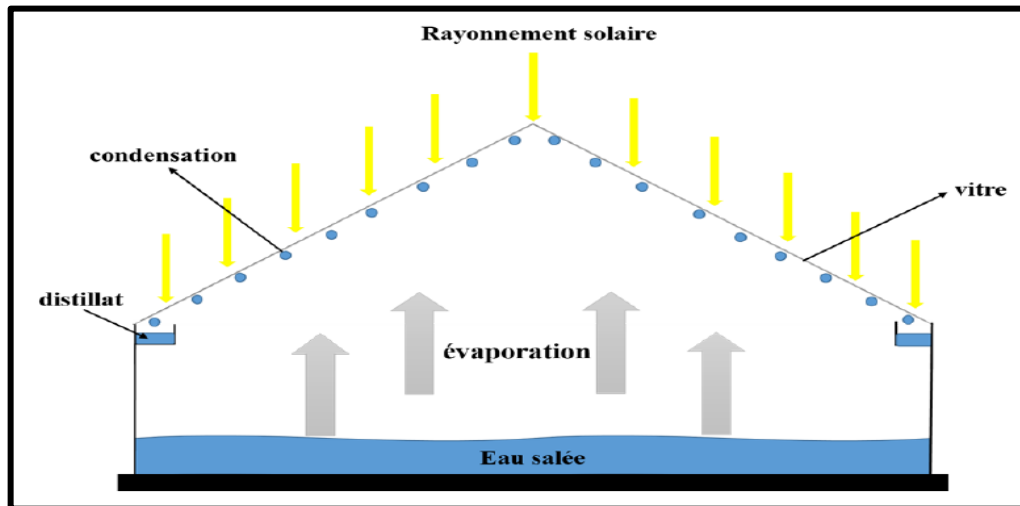


Figure II.4 : Distillateur à double pente.

**II.4.2 Distillateur solaire sphérique :**

Il s'agit d'un distillateur fait de plexiglass ou d'autres matières plastiques transparentes reposant sur des supports (Figure II.5. il se compose essentiellement de trois parties, une demi-sphère supérieure qui est employée pour transmettre le rayonnement solaire d'une part, et agit en revanche comme une surface de condensation, une demi-sphère inférieure servant à récupérer le distillat, un plateau horizontal en métal noirci contenant de l'eau distillée dans le plan du milieu de la sphère [21].

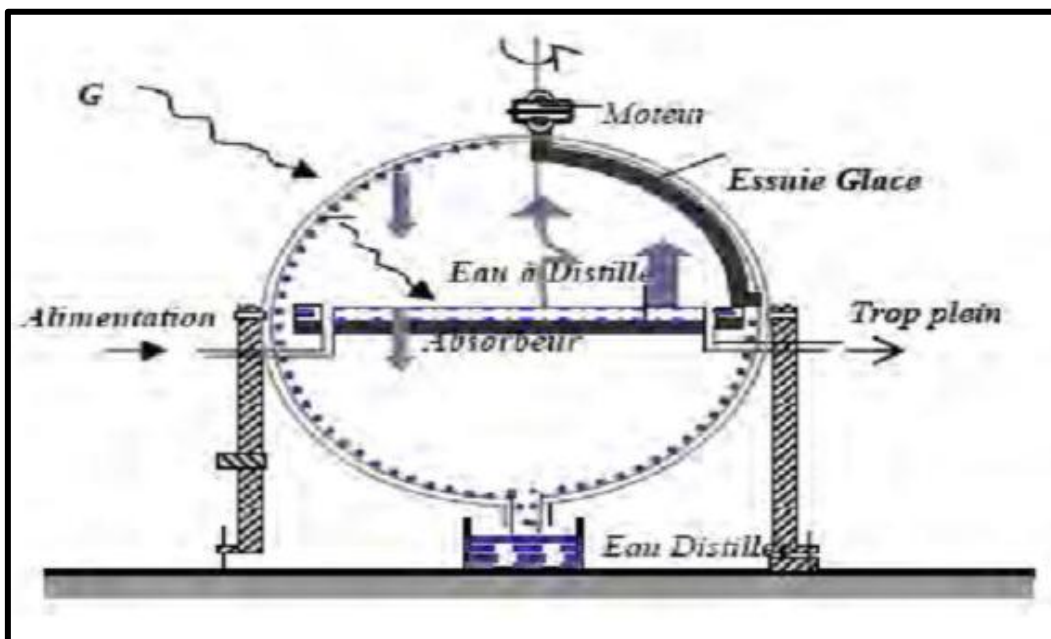


Figure II.5 : Distillateur solaire sphérique.

#### II.4.3 Distillateur solaire à mèche :

Dans ce type de distillateur l'eau saumâtre coule à travers une garniture poreuse, et absorbe le rayonnement, la mèche est inclinée d'une manière que l'eau d'alimentation en faible quantité est bien exposée au soleil avec un meilleur angle (Figure II.6). Elle s'échauffe rapidement à une température plus élevée. Ces distillateurs ont l'avantage que l'eau est bien exposée au soleil avec une grande surface efficace et une faible lame d'eau d'alimentation ce qui facilite son échauffement [22].

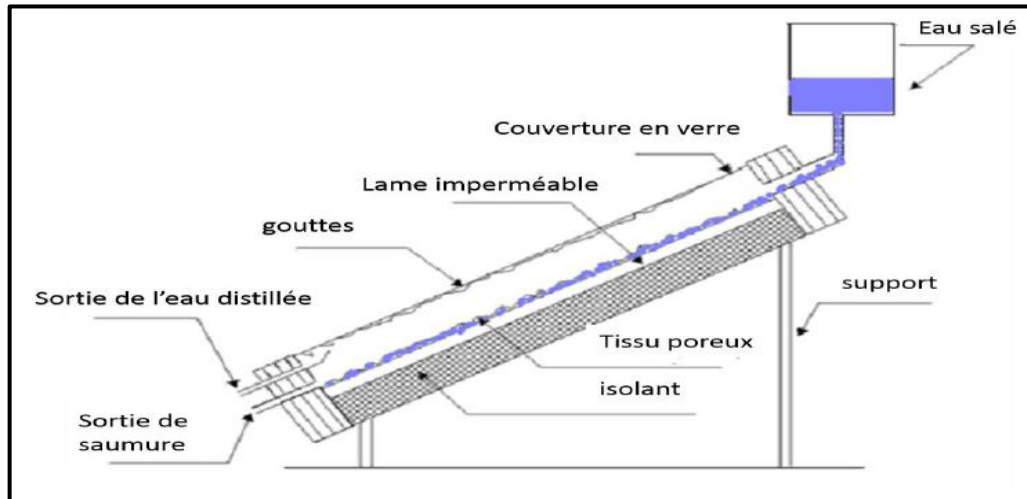


Figure II.6 : Distillateur solaire à mèche.

#### II.4.4 Distillateur solaire à cascade :

Un distillateur solaire à cascades est constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre (Figure II.7). 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 répartit sur plusieurs petits bassins, on remarque que si la masse d'eau est faible, l'eau s'échauffe plus rapidement et s'évapore [23].

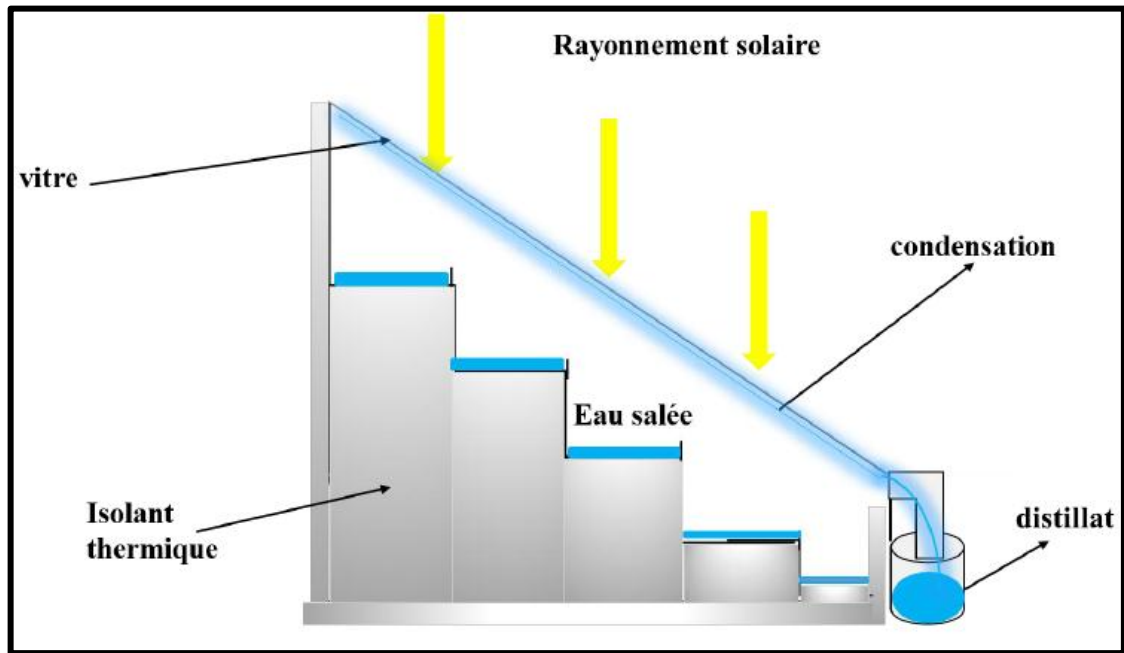


Figure II.7 : Distillateur à cascade.

#### II.4.5 Distillateur solaire terre-eau

C'est un distillateur contenu dans le sol. Il est similaire au distillateur à doubles pentes. De grandes quantités d'humidité sont accumulées dans la terre durant la saison froide, de même dans les zones arides. Pour exploiter cette hydrologie naturelle, on utilise le distillateur solaire terre-eau. Il est similaire à celui de l'effet de serre, sauf que le sol remplace le bassin noir. (Figure II.8) [1].

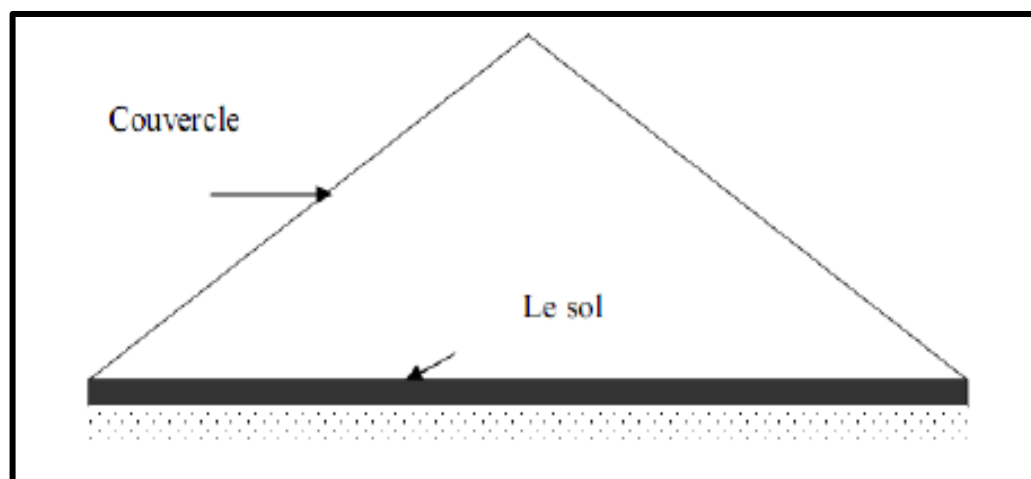


Figure II.8 : Distillateur solaire terre- eau.

#### II.4.6 Distillateur solaire à effet multiples :

Dans ce type de distillateurs il existe plusieurs évaporateurs en série que l'on appelle effets (Figure II.9). L'eau évaporée du premier effet se condense au niveau du deuxième effet et l'énergie libérée par la condensation est consommée pour évaporer l'eau qui s'y trouve. Le troisième évaporateur, joue le rôle de condenseur pour les vapeurs issues du second effet et

ainsi de suite. Cependant, plus l'écart de température n'est faible, plus la surface d'échange assurant le transfert d'énergie doit être grand. L'investissement est donc un peu plus important. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m<sup>3</sup> d'eau douce) [24].

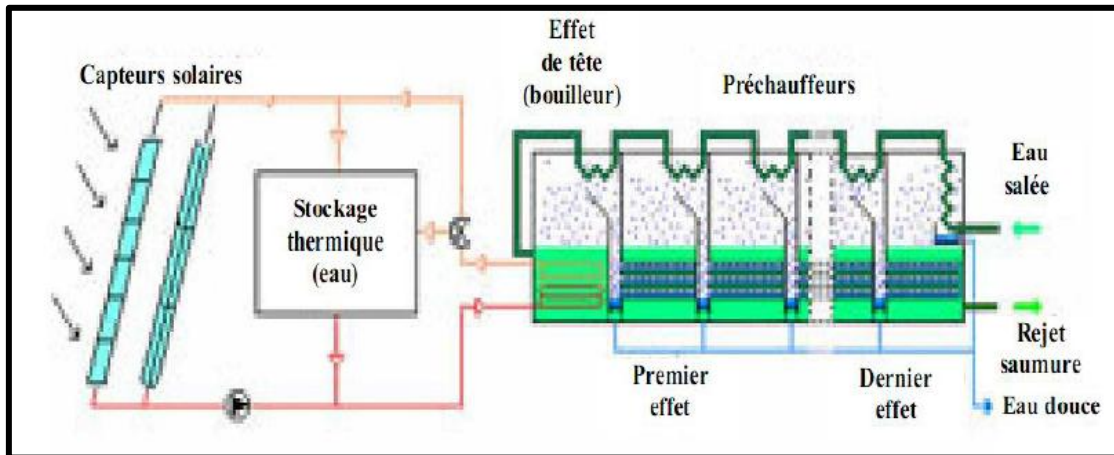


Figure II.9 : Distillateur solaire à effet de serre multiple.

#### II.4.7 Distillateur solaire vertical :

La figure (Figure II.10) présente le principe de fonctionnement du distillateur vertical. Le distillateur est alimenté par de l'eau saumâtre à partir d'un réservoir (1), le distillateur est connecté au réservoir à l'aide d'un tube en cuivre (2), le débit d'eau à l'entrée du distillateur est régulé à l'aide d'une vanne (3). La position du réservoir d'alimentation permet l'alimentation du distillateur par un débit constant. Un distributeur d'eau (4), muni de perforations sur la longueur, permet la distribution de l'eau en film sur le tissu spongieux (5), l'eau ruisselle sur le tissu, et la saumure est évacuée en bas (6). L'eau qui s'écoule derrière l'absorbeur (7) s'évapore dans le compartiment d'évaporation, le mélange d'eau et d'air à l'intérieur saturé en vapeur d'eau circule naturellement à travers des deux ouvertures (8) réalisées dans la cloison isolée vers le compartiment de condensation (9), et la vapeur se condense au contact de la plaque de condensation à l'arrière du distillateur. La collecte de l'eau se produit dans une gouttière (10, 11) fabriquée en dessous de la plaque de condensation [23].

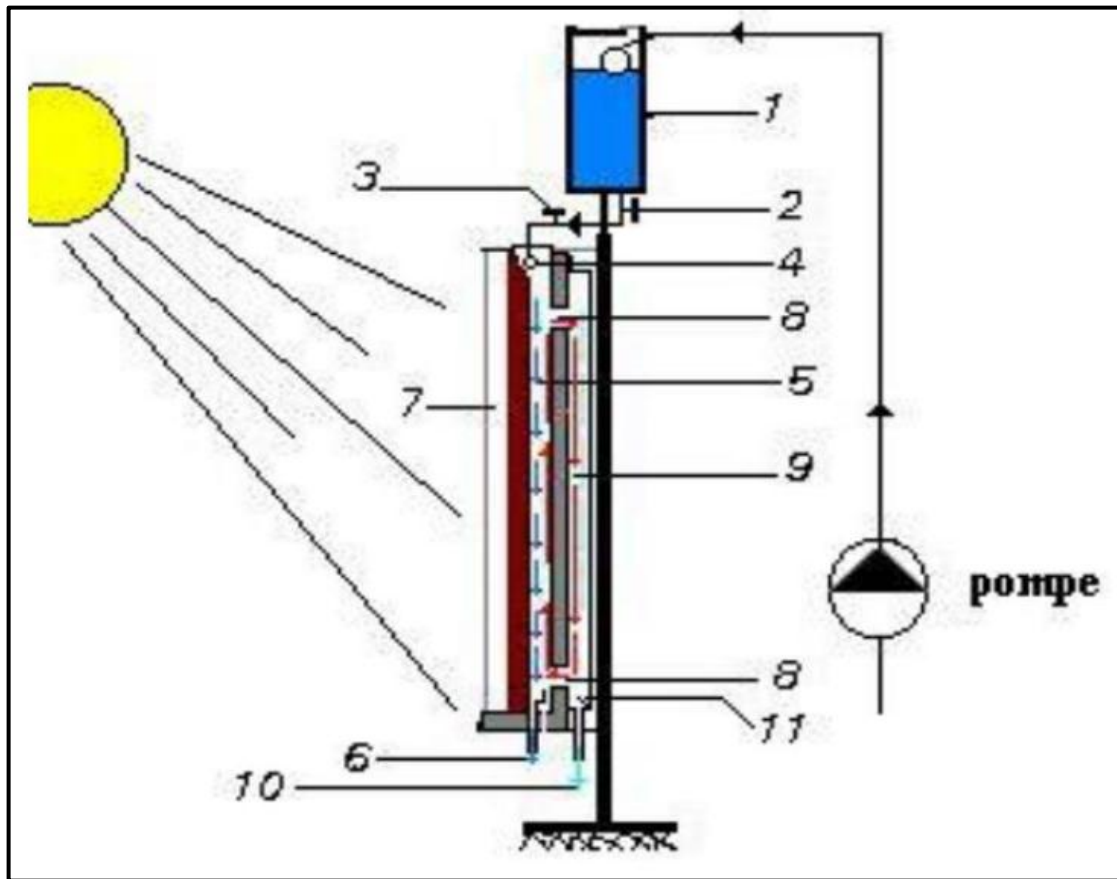


Figure II.10 : Distillateur solaire verticale.

#### II.4.8 Distillateur solaire incliné à film capillaire :

Le distillateur à film capillaire est une cellule parallélépipédique formée par deux plaques métalliques disposées face à face et inclinées d'un angle (Figure II.11). L'eau saumâtre à distiller s'écoule simultanément par capillarité et gravité sur un côté de la plaque métallique à l'aide d'un tissu. L'autre côté de la même plaque est peint en noire et expose au rayonnement solaire. La vapeur d'eau produite quitte le tissu et va se condenser au contact de l'autre qui se trouve juste en face [25].

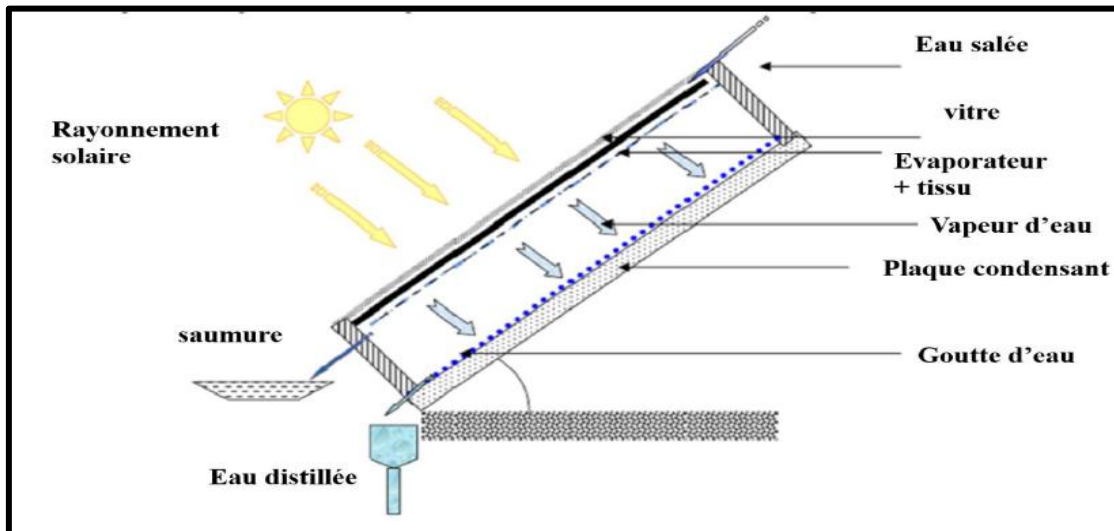


Figure II.11 : Distillateur solaire à film capillaire.

## II.5 Caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur à une seule pente :

### II.5.1 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.

### II.5.2 L'efficacité :

On peut distinguer deux types d'efficacité :

#### II.5.2.1 L'efficacité globale :

L'efficacité globale  $n_g$  en (%) est définie par le rapport [26] :

$$n_g = \frac{Q_{ev}}{H_t A_{collect}} = \frac{m_d h_{fg}}{H_t A_{collect}} \quad (\text{II.1})$$

#### II.5.2.2 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. On définit donc une efficacité dite interne qui tient compte de tous ces paramètres et qui est définie par [26] :

$$\eta_g = \frac{Q_{ev}}{Q_e} \quad (\text{II.2})$$

et pour une intensité globale  $H_t$  l'expression de eau  $Q_e$  est donnée par :

$$Q_e = (\tau_v \alpha_e + \tau_v \tau_e \alpha_f) H_t A_{collect} \quad (\text{II.3})$$

posant :

$$\alpha_t = \tau_v \alpha_e + \tau_v \tau_e \alpha_f \quad (\text{II.4})$$

d'où :

$$Q_e = \alpha_t H_t A_{collect} \quad (\text{II.5})$$

### II.6.3 La performance :

On notera que Satcunanathan and Hansen [26] ont défini un facteur de performance brut ( $F.P.B$ ) et un facteur de performance horaire ( $F.P.H$ ) qui permet de caractériser d'une manière plus absolue le distillateur, leurs expressions respectives sont :

$$FPB = \frac{\text{Quantité d'eau produit au bout de 24h}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout de 24h}} \quad (\text{II.6})$$

$$FPH = \frac{\text{Quantité d'eau produit au bout d'une heure}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout d'une heure}} \quad (\text{II.7})$$

À un instant donné de la journée, le facteur de performance ( $F.P$ ) est donné par la relation :

$$FP = \frac{m_d}{\alpha_t H_t A_{collect}} \quad (\text{II.8})$$

## II.6 Paramètres influant sur le fonctionnement du distillateur :

Les paramètres des distillateurs peuvent être classés comme des paramètres externes et des paramètres internes [27].

### II.6.1 Paramètres externes :

Parmi lesquels, on peut citer :

- La variation du rayonnement global incident et diffus.
- La vitesse du vent, qui intervient surtout dans l'échange par convection entre la face externe et l'ambiance.
- La température ambiante de l'air : la valeur de cette température intervient pour la détermination des échanges thermiques entre la partie interne et le milieu extérieur.

➤ Les paramètres météorologiques : l'humidité de l'air, la pluviométrie et l'intermittence des nuages doivent être prises en considération dans la mesure où ces facteurs modifient le bilan thermique du distillateur.

➤ Les paramètres géographiques : tels que la longitude et la hauteur du soleil.

### II.6.2 Paramètres internes :

Il s'agit des :

#### II.6.2.1 Paramètres de position :

La localisation du distillateur, où il doit être placé de manière à éviter les obstacles de masquage, qui empêcheraient le rayonnement solaire d'atteindre la surface de captage.

**1. L'orientation :** Cela dépend de la façon dont la distillerie fonctionne le jour. On distingue une économie de temps :

➤ Fonctionnement pendant la matinée : *orientation Est.*

➤ Fonctionnement après-midi : *orientation Ouest.*

➤ Fonctionnement durant toute la journée : *orientation Sud.*

**2. L'inclinaison :** elle dépend du fonctionnement du distillateur pendant l'année :

➤ Fonctionnement estival :  $\beta = \varphi - 10^\circ$ .

➤ Fonctionnement hivernal :  $\beta = \varphi + 20^\circ$ .

➤ Fonctionnement annuel :  $\beta = \varphi + 10^\circ$ .

#### II.6.2.2 Paramètres de construction (géométriques) :

**1. La couverture :** Il aurait pour transmettre autant de rayonnement solaire que possible, être opaque à l'infrarouge. Il devrait être non-hydrophobe et résistant à l'attaque du vent et des particules solides.

**2. La surface absorbante :** Les études menées dans ce domaine montrent que la surface d'absorption peut être constituée de plusieurs matériaux (bois, métal, béton, matériau synthétique ou verre ordinaire). Le choix On choisit généralement l'aluminium et le cuivre recouvert d'une mince couche de peinture noire mate, pour auge enter son pouvoir d'absorption et réduire les pertes thermiques par réflexion et diffusion. La performance du distillateur augmente quand la distance entre la saumure et la vitre diminue. L'influence de l'inclinaison sur la performance diminue quand la distance entre la saumure et la vitre diminue.

**3. La distance entre la surface d'évaporation et la surface de condensation :** Ce paramètre définit l'intensité de la perte de chaleur convective latérale, et la dimension de la couche

tampon qui empêche l'échange entre la surface d'évaporation et la surface de condensation. Etude réalisée par [28].

**II.6.2.3 Paramètres de la saumure :**

L'épaisseur de l'eau ou de la saumure à distiller joue un rôle important dans la production, cette dernière est d'autant plus élevée que l'épaisseur est faible, cependant plus l'épaisseur est grande plus la distillation dure [29].

**II.6.2.4 Paramètres thermo-physiques :**

On doit tenir compte de la conductivité thermique, de la chaleur spécifique, de la viscosité motrice, de la viscosité dynamique et du coefficient d'expansion thermique du mélange.

**II.7. Bilans énergétiques dans un distillateur simple :****II.7.1. Echanges de chaleur à l'intérieur du distillateur :****II.7.1.1. Echange de chaleur de l'eau entre l'absorbeur et la surface décondensation :**

L'eau reçoit de l'absorbeur un flux solaire ou de chaleur par convection naturelle et Conduction.

L'eau cède un flux de chaleur par rayonnement et par convection naturelle aux surfaces décondensation. Puisque il existe une évaporation, l'eau perd un flux de chaleur.

**II.7.1.2 Echange de chaleur entre la vitre et la surface d'eau :**

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

Les vitres reçoivent les flux incidents par convection naturelle, par rayonnement et par condensation de la vapeur d'eau.

**II.7.1.3 Echange de chaleur entre la vitre et l'ambient :**

Le milieu extérieur cède un flux de chaleur par rayonnement solaire à la vitre, dont une partie est réfléchi.

La vitre cède au milieu extérieur un flux de chaleur par rayonnement et par convection naturelle.

**II.7.2 .Modélisation mathématique :**

La théorie d'un distillateur solaire simple en forme de serre, est présentée par Moussa Abu-Arabi et al [30], [31] et Yousef H. [32]. (La figure II.12) illustre les différents échanges de chaleur qui se produisent dans un distillateur solaire. Elle est fondée sur quatre bilans :

En nous plaçant en régime transitoire, les équations régissant le bilan thermique au niveau de chaque partie du distillateur, s'écrivent comme suit :

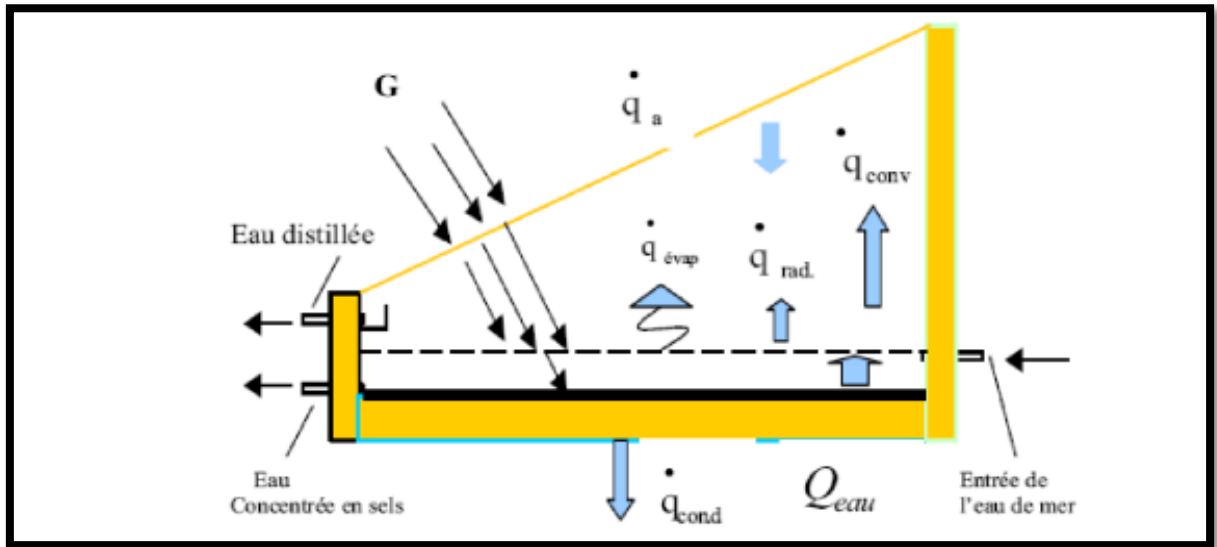


Figure II.12 : Bilans énergétiques d'un distillateur solaire simple

**1. Bilan du vitrage :**

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

$$M_V C p_V \frac{dT_V}{dt} = (1 - \rho_V) \alpha_V G_h + Q_{R.E.V} + Q_{C.E.V} + Q_{Evap} - Q_{R.V.A} - Q_{C.V.A} \quad (II.9)$$

**2. Bilan de l'eau :**

$$M_E C p_E \frac{dT_E}{dt} = (1 - \rho_V) (1 - \alpha_V) \alpha_E G_h + Q_{C.B.V} - Q_{C.E.V} - Q_{R.E.V} + Q_{Evap} \quad (II.10)$$

**3. Bilan du bassin inférieur :**

$$M_B C p_B \frac{dT_B}{dt} = (1 - \rho_V) (1 - \alpha_V) (1 - \alpha_E) \alpha_B G_h + Q_{C.B.E} - Q_{Perte(B)} \quad (II.11)$$

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

$$M_I C p_I \frac{dT_I}{dt} = Q_{Cond,I,B} \quad (II.12)$$

5 .Débit du condensat :

$$\frac{dM_c}{dt} = h_{Evap} \frac{(T_E - T_V)}{h_{fg}} \quad (\text{II.13})$$

II.7.3.Expression des différents coefficients de transfert de chaleur :

Les expressions pour les divers termes des équations données ci-dessus sont :

➤ Par rayonnement eau-vitre :

$$Q_{R,E,V} = h_{R,E,V}(T_E - T_V) \quad (\text{II.14})$$

$$h_{R,E,V} = \frac{\varepsilon_{Eff}\sigma[(T_E+273.15)^4 - (T_V+273.15)^4]}{T_E - T_V} \quad (\text{II.15})$$

$$\varepsilon_{Eff} = \left[ \frac{1}{\varepsilon_E} + \frac{1}{\varepsilon_V} - 1 \right]^{-1} \quad (\text{II.16})$$

➤ Par convection eau-vitre :

$$Q_{C,E,V} = h_{C,E,V}(T_E - T_V) \quad (\text{II.17})$$

$$h_{C,E,V} = 0.884 \left[ T_E - T_V + \frac{(P_E - P_V)(T_E + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_E} \right]^{1/3} \quad (\text{II.18})$$

Par évaporation :

$$Q_{Evap} = h_{Evap}(T_E - T_V) \quad (\text{II.19})$$

$$h_{Evap} = 16.273 \cdot 10^{-3} h_{C,E,V} \frac{(P_E - P_V)}{(T_E - T_V)} \quad (\text{II.20})$$

La pression de la vapeur d'eau et la chaleur latente d'évaporation sont estimées par les relations suivantes [33] :

$$P = \exp\left(25.317 - \frac{5144}{T+273,15}\right) \quad (\text{II.21})$$

$$h_{fg} = 3.1615 \times 10^6 - 2.40714 \times 10^3 \quad (\text{II.22})$$

D'autre part, [34] a donné une relation linéaire entre la pression de saturation et la température (T en °C) comme suit :

$$P = 0.14862T - 0.36526 \times 10^{-2}T^2 + 0.11242 \times 10^{-3}T^3 \quad (\text{II.23})$$

Par rayonnement vitre-ambiant :

$$Q_{R,V_A} = h_{R,V\_Ciel}(T_V - T_A) \quad (II.24)$$

$$h_{R,V\_Ciel} = \frac{\varepsilon_V \sigma [(T_V + 273.15)^4 - (T_{Ciel} + 273.15)^4]}{T_V - T_A} \quad (II.25)$$

La température du ciel est donnée par deux relations approximatives, l'une par [65], et l'autre par [68] respectivement :

$$T_{Ciel} = T_A - 6 \quad (II.26)$$

$$T_{Ciel} = T_A - 12 \quad (II.27)$$

➤ **Par convection vitre-ambiant :**

$$Q_{C,V_A} = h_{C,V_A}(T_V - T_A) \quad (II.28)$$

Le coefficient d'échange par convection entre la face externe de la vitre et l'air est donné par la relation suivante [34] et [33] :

$$h_{C,V_A} = 5.7 + 3.8V \quad (II.29)$$

La deuxième corrélation est donnée par [31] comme suit :

$$h_{C,V_A} = 2.8 + 3.0V \quad (II.30)$$

[35] a calculé  $h_{C,V_A}$  par la corrélation suivante :

$$\left. \begin{aligned} h_{C,V_A} &= 2.8 + 3.0V \quad \text{Lorsque } V \leq 5 \text{ m/s} \\ h_{C,V_A} &= 6.15V^{0.8} \quad \text{Lorsque } V > 5 \text{ m/s} \end{aligned} \right\} \quad (II.31)$$

Où V est la vitesse du vent.

➤ **Par convection bassin-eau :**

$$Q_{C,B_E} = h_{C,B_E}(T_B - T_E) \quad (II.32)$$

$$h_{C,B_E} = \frac{Nu K_f}{L} \quad (II.33)$$

Dans ce type de problème, les corrélations expérimentales aboutissent à des relations de la forme [36] :

$$Nu = c(GrPr)^n \quad (II.34)$$

Où c et n sont des constantes dépendant de la géométrie du système et de la nature de l'écoulement, laminaire ou turbulent :

➤ **Plaque plane horizontale :**

Gradient de T vers le haut :

- L'écoulement est toujours laminaire et on a :

$$Nu = 0.27(GrPr)^{0.25} \quad (II.35)$$

$$Gr: \text{Nombre de GRASHOF} \quad \Longrightarrow \quad Gr = \frac{\beta g \rho^2 L^3 \Delta T}{\mu^2} \quad (II.36)$$

- Condition d'application : L est la dimension du petit coté

$$Pr: \text{Nombre de PRANDLT} \quad \Longrightarrow \quad Pr = \frac{\mu C_p}{k} = \frac{\nu}{a} \quad (II.37)$$

Les pertes thermique du bassin par conduction thermique à travers l'isolation et de

L'isolation vers l'air ambiant sont données par [37] comme suit :

$$Q_{Perte(B)} = U_B(T_B - T_I) \quad (II.38)$$

$$\text{avec : } U_B = \frac{k_B}{\delta_B} \quad (II.39)$$

➤ **Par conduction Isolant-bassin :**

$$Q_{Cond,I_B} = Q_{Perte(B)} = \frac{k_B}{L_B}(T_B - T_I) \quad (II.40)$$

$$Q_{Perte(I)} = U_I(T_I - T_A) \quad (II.41)$$

$$\text{avec : } U_I = \left( \frac{\delta_I}{K_I} + \frac{1}{h_I} \right)^{-1} \quad (II.42)$$

$h_I$  est calculé par les équations 3-30 à 3-32.

**II.8 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les composants et le principe de fonctionnement d'un distillateur solaire et son évolution au cours du temps. Aussi nous avons cité Les différents types d'un distillateur solaire et ces caractéristiques et les paramètres qu'ils influent sur lui. À la fin du chapitre, Nous avons tenté de voir et de comprendre les modèles mathématiques utilisés dans les différentes parties d'un distillateur solaire simple.

## **CHAPITRE III**

# **Étude expérimentale d'un distillateur solaire avec un système de préchauffage**

### **III.1. Introduction :**

La distillation solaire dans les régions arides et désertiques est l'une des solutions particulières pour résoudre le problème de manque en eau potable.

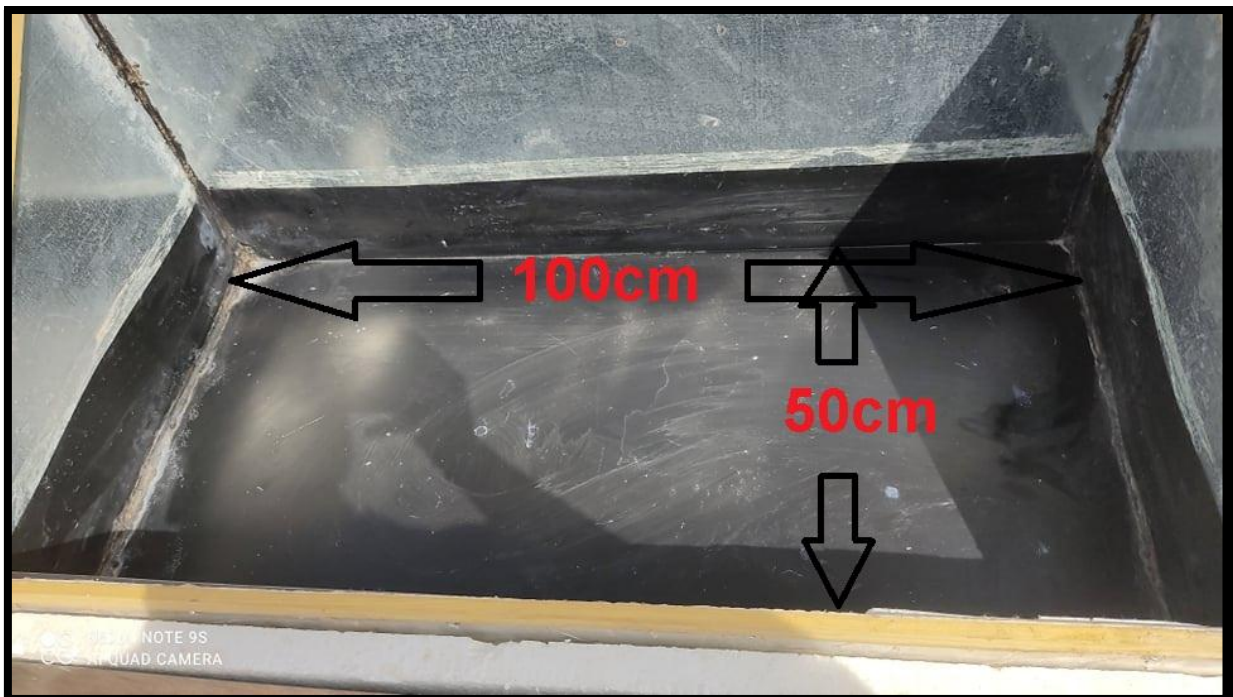
Notre étude a pour but d'améliorer la productivité de l'eau distillée du distillateur solaire à effet de serre (pente unique) Avec collecteurs paraboliques pour chauffer l'eau, Ce travail a été réalisé à l'Université de EL OUED à Dimanche 22 Mai 2022.

### **III.2. Description du distillateur solaire :**

Ses différents composants sont :

#### **III.2.1. Bac absorbant :**

Le rôle du Bac absorbant est de mettre l'eau à l'intérieur et d'absorber la quantité maximale de rayonnement solaire, peint en noir pour augmenter l'absorption du rayonnement solaire Bac absorbant.



**Figure III .1 : Bac absorbant**

#### **III.2.2. Couverture verrière (verre) :**

Nous avons utilisé du verre ordinaire pour assurer une bonne transmission du rayonnement, bonne visibilité (Figure III .2).

Les dimensions de la vitre sont :

Longueur : 94.5cm

Largeur : 57.5cm

Épaisseur : 0.5cm

Superficie : 5433.75cm<sup>2</sup>



**Figure III .2 : Couverture verrière (verre)**

### **III.2.3. L'isolation thermique :**

Généralement, l'isolation thermique du distillateur est en laine de verre ou en polystyrène expansé. Dans notre cas l'isolation thermique a été réalisée par une feuille de polystyrène d'épaisseur de 3 cm, Il faut que les produits utilisés résistent aux températures de fonctionnement (Figure III .3).



**Figure III .3 :L'isolation thermique**

### III.2.4. Bac extérieure :

Support de Bac absorbant (Figure III .4).

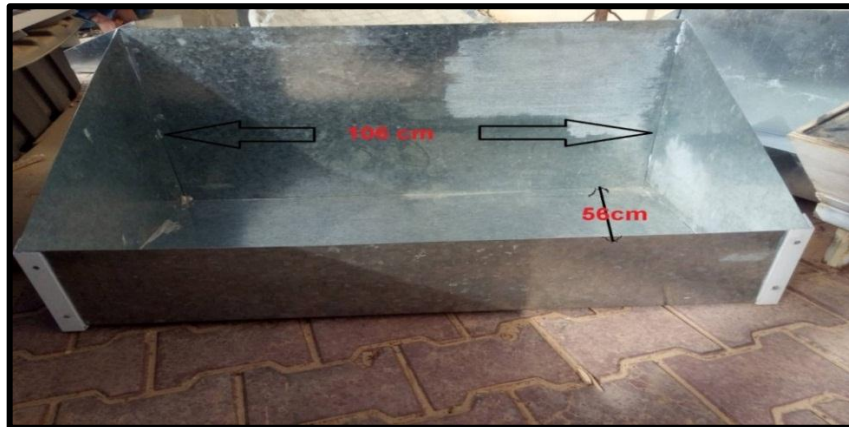


Figure III .4 : Bac extérieure

### III.2.5. La pompe :

Pour puiser l'eau et la pomper dans l'Echangeur au point Focale (Figure III .5).



Figure III .5 : la pompe

### III.2.6. Echangeur au point Focale :

L'échangeur est l'un des éléments les plus importants d'un capteur thermique ; il convertit le rayonnement solaire en chaleur se compose d'un serpentin en cuivre installé au pont focale de concentrateur (Figure III .6).



Figure III.6 : Absorbeur Focale

### **III.2.7. conduite plastiques :**

Les conduites assurent la bonne circulation de l'eau entre le bac intérieure et le changeur appoint focal (Figure III.7).



**Figure III.7 : conduite Plastiques**

### **III.2.8. concentrateur paraboliques :**

Le concentrateur solaire utilisé dans notre étude c'est une parabole qui contient de miroir pour réfléchir le rayon solaire au point focale (Figure III.8).



**Figure III. 8 : Concentrateur Parabolique**

### **III.3. Matériel d'étanchéité :**

- Silicone
- scotcha fil
- scotch Normal
- Angle dans les bords de la boîte extérieure

### III.4. Instruments de mesures utilisées dans l'expérience :

#### III.4.1. Mesure du rayonnement solaire (Solari mètre) :

Il est constitué d'une partie posée sur la vitre, et un appareil électronique qui transforme le rayonnement en une lecture directe sur un petit écran numérique. En (W/m<sup>2</sup>) (Figure III. 9).



Figure III .9 : Solari mètre

#### III.4.2. Mesure de la vitesse du vent (Anémomètre):

Il est équipé d'un ventilateur qui mesure la vitesse et le nombre de tours le ventilateur est connecté à un écran pour lire la vitesse du vent, unité de mesure pH (Figure III.10).



Figure III.10 : Anémomètre

#### III.4.3. Mesure de la température :

Les températures sont mesurées à l'aide de fils de thermomètre, le nombre de doubles thermiques devrait être suffisant pour mesurer les surfaces de température de chacun et les emplacements dans le distillateur à effet de serre solaire (figureIII.11).

### Chapitre III Etude expérimentale d'un distillateur solaire avec un système de préchauffage

La mesure de la température (THERMOMETER) est le paramètre physique le plus mesuré et se trouve dans presque tous les domaines de l'industrie dans les laboratoires et la recherche (figourIII.12).



FigureIII.11 : thermocouples



FigureIII.12 : Afficheur

#### **III.4.4. Récipient de mesure de l'eau filtré :**

Récipient pour mesurer la quantité d'eau le distillat (FigurIII.13).



**Figure III.13 : Bicher Amphithéâtre (ml)**

#### **III.5. L'emplacement des thermocouples :**

Pour déterminer la température aux différents points à mesurer, vous placez le fil collecteur de chaleur dans 6 positions, à savoir :

Tf : Température composée (absorbeur focale).

Tee : Température d'entrée d'eau.

Te : Température d'eau.

Tvint : Température du verre de l'intérieur.

Tvext : Température du verre de l'extérieur.

Tambi : Température l'ambiante.

#### **III.6. Dispositifs rotatifs et de suivi du soleil :**

##### **III.6.1. Actionneur mécanique :**

Opérateur mécanique pour déplacer le concentrateur parabolique verticalement(FigurIII.14).



Figure III.14 : Actionneur mécanique

### III.6.2. Moteur essuie-glace avec Pignon et chaîne :

Il fait pivoter les collecteurs paraboliques horizontalement. Il a une partie électrique : il est composé d'un induit (partie tournante), d'inducteurs à aimant permanent fixés sur la carcasse, et de trois balais sur le collecteur d'induit.

Le mécanisme de transmission de la rotation du moteur : il est constitué d'une vis sans fin en bout d'induit, qui transmet le mouvement à un pignon (ce pignon possède sur sa face plusieurs pistes concentriques pour les liaisons électriques reliées à des contacts fixés sur le carter), Connecteur avec commande pour changer de direction par mouvement du Soleil (Figure III.15).



Figure III.15 : Moteur essuie-glace avec Pignon et chaîne

### III.7. Etape de préparation :

Dans cette expérience, nous aborderons la distillation solaire en suivant le soleil, et en chauffant l'eau avec un collecteur parabolique solaire.

L'expérience contient une boîte de distillation spéciale recouverte de verre transparent avec deux sorties et 10 litres d'eau :

- Premier à tirer l'eau à travers la pompe
- Deuxième à insérer de l'eau chauffée à travers le collecteur parabolique solaire (concentration solaire).

L'expérience consiste à tirer l'eau de la boîte et la pousser à travers des tuyaux à la collecteur parabolique pour chauffer à l'intérieur du pot (Absorbeur Focale), et de le retourner à la boîte pour augmenter la quantité d'évaporation.

Nous suivons également le soleil à travers deux moteurs pendant la journée :

- Les premiers travaux suivent le soleil horizontalement.
- Le second travaille sur le suivi vertical du soleil.

Les deux moteurs sont reliés à un adaptateur d'alimentation (du courant alternatif au courant continu), et deux boutons de commande, L'expérience est complète comme le montre l'image (FigourIII.16).



**Figure III.16 : système distillation solaire avec un concentrateur solaire parabolique**

#### **III.8. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons vu et réalisé les différentes étapes de la mise en œuvre d'un distillateur solaire et l'emplacement de chaque composant.

Nous avons également abordé tout ce que nous avons utilisé en donnant les différents éléments utilisés, les matériaux appropriés pour réaliser et assembler ses composants.

Les courbes et les résultats obtenus expérimentalement sont présentés dans le chapitre suivant.

**Chapitre VI**  
**Test expérimental et résultats**

## VI.1. Introduction

Le test expérimental du distillateur solaire à concentrateur solaire qu'on a conçu a été réalisé dans la région d'El oued durant le 22/05/2022. Afin de bien comprendre la fonction du nouveau distillateur, nous avons mesuré la température dans plusieurs parties du distillateur, ce qui est indiqué sur la figure 1. En plus de mesurer la vitesse du vent et le rayonnement solaire tombant sur la vitre de distillateur.

Les caractéristiques de météo de la journée de test étaient les suivantes : la température moyenne 28 C°, la vitesse de vent moyenne 1 m/s et le rayonnement solaire moyen 685 w/m<sup>2</sup>.

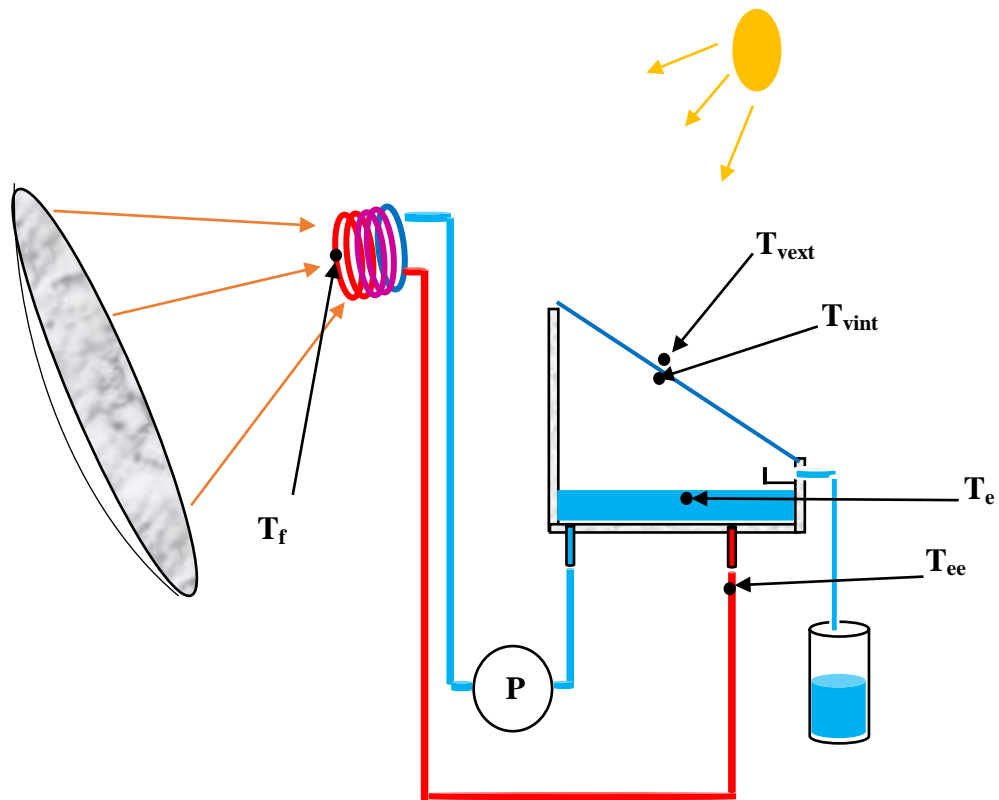
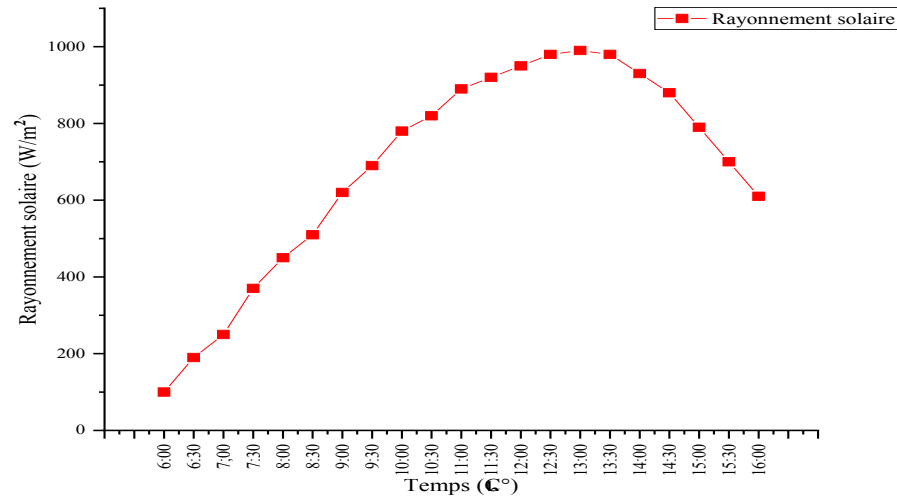


Figure VI. 1 : Points de mesure de températures

## VI.2. La variation de rayonnement solaire en fonction du temps :



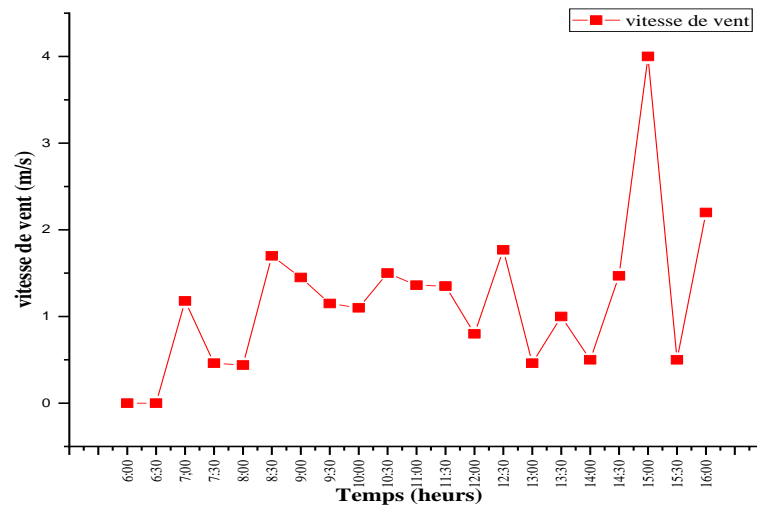
**Figure VI.2 : la variation de rayonnement solaire au cours du temps**

Le jour de test, c'était une journée ensoleillée, quand le lever du soleil était à l'heure 5 :35 et le coucher du soleil était 19 :30. La variation de rayonnement solaire au cours de temps représenté dans la figure VI.2.

Suivent la figure 2 la variation de rayonnement solaire varie entre  $100 \text{ W/m}^2$  à 6 :00 jusqu' à une valeur maximale  $990 \text{ W/m}^2$  à 13 :00 , Ensuite, il commence à diminuer jusqu'à la valeur  $610 \text{ W/m}^2$  à 16 :00 à la fin de mesure de l'expérience.

## VI.3. Variation de vitesse de vent au cours du temps :

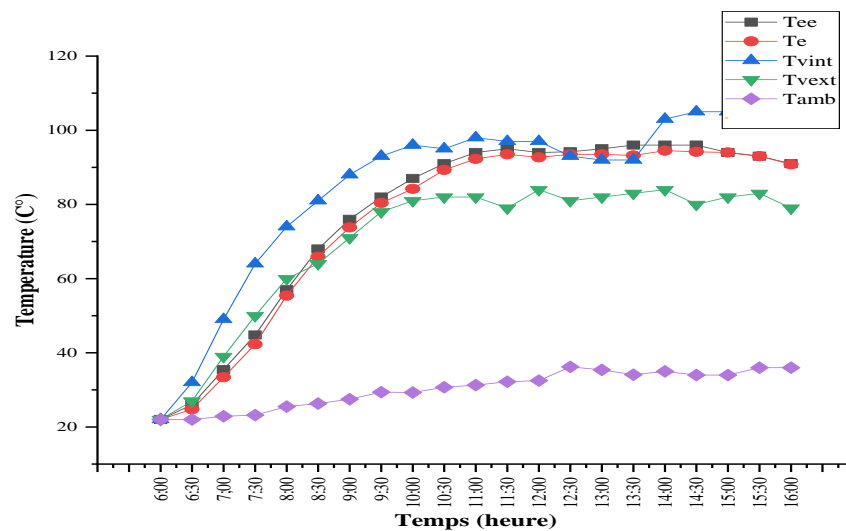
On sait que le mouvement de l'air a un effet sur l'efficacité de l'alambic solaire, Plus la vitesse est importante, plus cela contribue au refroidissement, par conséquent, à une augmentation du rendement du distillateur. Cette courbe nous aidera également à interpréter les résultats obtenus lorsque la température du condenseur change figure 3.



FigureVI.3 : la variation de vitesse de vent au cours du temps

**VI.4. Variation de température de distillateur en fonction du temps :**

La figure 4 représente les variations des températures d’entrée d’eau au distillateur  $T_{ee}$  , la température d’eau dans le distillateur  $T_e$  , température de condenseur à l’intérieur  $T_{vint}$  , et température  $T_{vint}$  en fonction de temps.

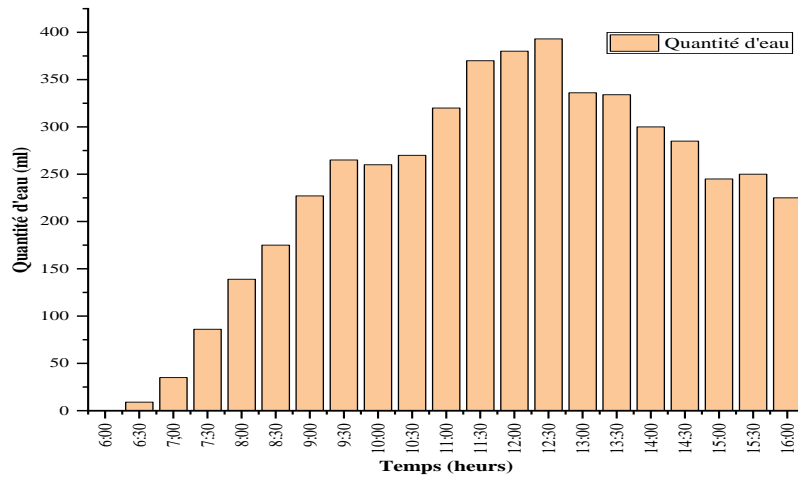


FigureVI.4 : les variations des températures au cours du temps

À partir les courbes des températures, on peut dire que les températures augmentent avec le temps jusqu'à atteindre des valeurs maximales à 14 :00 94 C°, 105 C°, 84 C° et 34 C° pour  $T_e$ ,  $T_{vint}$ ,  $T_{vest}$ ,  $T_{amb}$  respectivement . Ensuite, il commence à diminuer jusqu'à la fin de la durée de l'expérience. Cela est dû à l'augmentation du rayonnement solaire du matin jusqu'à l'après-midi, puis il commence à diminuer. Sauf que la courbe de température d’entrée d’eau à

distillateur  $T_{ee}$  représente un cas exceptionnel leur valeur maximale à 15 : 00 peut-être à cause de défauts dans le thermocouple.

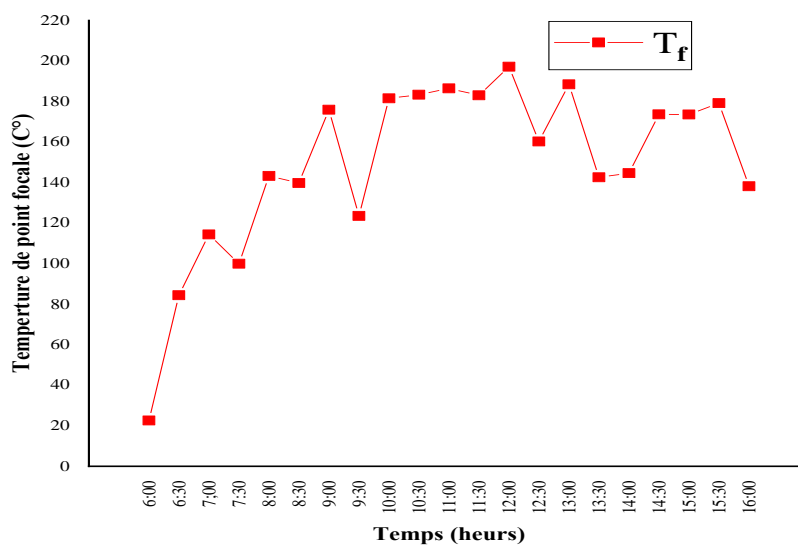
**VI.5. Variation de la quantité d'eau distillée en fonction du temps :**



**FigureVI.5 : variation de quantité d'eau en fonction du temps**

La figure 5 représente la quantité d'eau en fonction du temps. La production d'eau distillée commence environ une demi-heure après l'installation de distillateur solaire couplé avec le concentrateur, puis commence à augmenter jusqu'à atteindre la valeur maximale à 12 :30 , en raison de la grande différence de température entre l'eau salée et le condensat (verre).

**VI.6. Variation de température de point focale en fonction du temps :**



**FigureVI.6 : variation de température de point focale en fonction du temps**

La figure 6 représente variation de température de point focale en fonction du temps. La valeur maximale de température est 190 C° à 12 :00. Puis se commence à diminuer jusqu' à 144 C° a fin de l'expérience. Ces valeurs de température peuvent être améliorées si nous isolons la focale à mouvement du vent.

### **VI .7. Conclusion :**

Dans cette partie, les résultats obtenus ont été étudiés et interprétés comme la température et la quantité d'eau distillé obtenu, comme nous avons montré les points de mesure de la température dans le distillateur accouplé avec un concentrateur solaire.

# **Conclusion Générale**

## **Conclusion général :**

Dans cette mémoire, une étude expérimentale a été réalisée pour un distillateur solaire à une seule pente couplé avec un concentrateur solaire pour augmenter la température de l'eau saumâtre donc augmentation de vaporisation. Cette étude a été menée dans la région d'el oued à Dimanche 22 Mai 2022.

Dans cette note, plusieurs axes ont été abordés, tels que les énergies renouvelables et les eaux, puis les types de distillateurs solaires et leurs caractéristiques, les équations thermiques de distillateur solaire simple, puis la conception et la réalisation du nouveau distillateur, et enfin ses essais, les résultats obtenus à partir des mesures ont été relevés, analysés et discutés.

Grâce à cette étude, nous pouvons conclure ce qui suit :

- Le condenseur solaire peut contribuer à élever la température de l'eau saumâtre.
- La présence d'un condenseur solaire avec un distillateur nécessite des conduites résistantes à la température élevée presque 120 C°.
- Pour augmenter l'efficacité du distillateur, il est nécessaire de protéger les canaux des pertes d'énergie et de les envelopper d'une isolation thermique.

## **Perspectives :**

- Pour augmenter la précision de direction du rayonnement solaire réfléchi du concentrateur solaire vers l'échangeur de chaleur, un système poursuivre solaire doit être utilisé dans le concentrateur.
- L'étude de la quantité d'énergie nécessaire au le nouveau distillateur pour s'alimenter par l'énergie photovoltaïque.

# **Références Bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

- [1] Sellami Mohamed Hassen (étude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud – est algérien )(Ouargla).
- [2] Djelloul Benatallah mémoire de magister (étude simulation de flux solaire avec intégration d'un système d'information géographique (s.i.g) pour la wilaya d'Adrar).
- [3] Zhipeng qui doctorat paristech la nouvelle méthode heliosat-4 pour l'évaluation du rayonnement solaire au sol le 29 octobre, 2013.
- [4] J.a. Olseth, a. Skartveit (models for estimating solar irradiation and illumination) in energy conservation in buildings, 1991.
- [5] Melleamara Karima mémoire de magister contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1mw) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension.
- [6] Boutebila hichem mémoire doctorat (étude et conception d'un distillateur solaire à usage agricole ) 2012.
- [7] Ali slimane et Mohand Tigrine Bachir mémoire de magister (étude théorique et simulation de la centrale photovoltaïque de Ghardaïa) 2017.
- [8] Anada. Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (trnee) (2009). Dans l'engrenage du changement : efficacité énergétique dans le secteur des bâtiments commerciaux du Canada. Ottawa, table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, 93 p.
- [9] Jean-Paul Blugeon produire son électricité : avec les énergies solaire et éolienne : principes, exemples de réalisation (2008-08-28).
- [10] Daymond des jardins : « le traitement des eaux » deuxième édition 1997, pp242-249
- [11] Boutriaa Abdelouahab «effet des paramètres de fonctionnement sur les performances d'un distillateur solaire» 2009.
- [12] : <http://www.cours.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/mondial/menumondial.html>
- [13] Raymond des jardins, le traitement d'eaux, 2ème édition de l'école polytechnique de Montréal, 1990, p242, p6, p241, p248, p251.
- [14] :M.a.s. Malik, g.n. Tiwari, a. Kumar, m.s.sodha, solar distillation, a practical Study of a wide range of stills and their optimum design, construction and performance, Pergamon press ltd, 1982, p11-86.
- [15] Rapport annuel sur la situation épidémiologique en Algérie. Institut national de santé Publique (2004).
- [16] Fatimi "système hybride thermique photovoltaïque pour la production de l'eau distillée; magister en physique université mantouri, Constantine(2012).

## Références bibliographiques

---

[17]: A Mouchot, "La chaleur solaire et ses applications industrielles", Paris : Gauthier- Villars pp 233-238 (1879)

[18]: Maria Telkes, "Fresh water from sea water by solar distillation", Industrial and Engineering Chemistry, 45 (5) pp 1108-1114 (May 1953)

[19] : FEDALI SAIDA, Modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres a bas coût pour les communautés rurales, mémoire de magistère, Université de BATNA, Année Universitaire 2007/2008.

[20] : Zerouali Mekki, contribution a l'optimisation des performances d'un distillateur solaire, thèse magistère en physique, université hadj lakhdar – batna, 9 /12/ 2012

[21] : A. Chaker, G. Menguy, Efficacité interne d'un distillateur solaire sphérique, Rev Energ Ren. Numéro special 10ème Journée International de Thermique (2001) 53–5853.

[22] : R.S. Hansen, C.S. Narayanan, K.K. Murugavel, Performance analysis on inclined solar still with different new wick materials and wire mesh, Desalination. 358 (2015) 1–8.

[23]: Abderrahmane Khechekhouche et Guehef Chouaib, Etude expérimentale d'un distillateur solaire plan pour une communauté saharienne, Mémoire de MASTER ACADEMIQUE, Université Echahid Hama Lakhder d'El-oued, 25/05/2016

[24]: P. Hunkyun, Low-Cost Multi-Effect Solar Still: Alternative Appropriate Technology for Personal Desalination, in: T. Yonar (Ed.), Desalination, IntechOpen, Rijeka, b2017 .doi:10. 5772/intechopen. 68365.

[25]: M. Zerouki, Y. Marif, M. Belhadj, N.E. Settou, Simulation et expérimentation d'un distillateur solaire à film capillaire dans le sud Algérien, Ann. Sci. Technol. 4 (2012) 46–57

[26] : A. Deliou, N. Bessas, Z. Belgroun, H. Aburideh, A. Lounis, A. Chikouche. Étude expérimentale des caractéristiques d'un distillateur solaire à effet de serre, Revue des Énergies Renouvelables CICME'08 Sousse, pp. 109-118, 2008.

[27] : M.H. Kerrouche, C. Kerassi. Étude comparative de deux distillateurs l'un type cascade et l'autre type chapelle, Institut mécanique, Université de Blida. 2000.

[28] : S. Satcunanathan, H.P. Hansen. An investigation of some of the parameters involved in solar distillation, Solar Energy, Vol. 14, pp. 353-363, 1973.

[29] : Alain Maurel. Dessalement de l'Eau de Mer et des Eaux Saumâtres, Technique & Documentation, Paris, France, pp. 226, 2001.

[30] : Mousa Abu-Arabie, Yousef Zurigat, Hilal Al-Hinai, Saif Al-Hiddabi "Modelling and Performance Analysis of a Solar Unit With Double- Glass Cover Cooling", Desalination, 143,173-182, 2002.

[31] : Mousa Abu-Arabia, Yousef Zurigatb "Year-Round Comparative Study of Three Types of Solar Desalination Units ", Desalination, 172, 137– 143, 2005.

[32] : Yousef H. Zurigat, Mousa K. abu-Arabi "Modelling And Performance Analysis of a Regenerative Solar Desalination Unit", Applied Thermal engineering, 24, 1061-1072, 2004.

## Références bibliographiques

---

[33] : M. Benhammou, B. Omari, M. Gahgah, L. Amer, A. Boubghal " Réalisation et Expérimentation d'un Distillateur Solaire Couple à un Condenseur ", Station d'Expérimentation des Equipement Solaires en Milieu Saharien, B.P. 478, Route de Reggane-Adrar, 2003.

[34] : W. A. Kamal "A Theoretical and Experimental Study of the Basin- Type Solar Still Under The Arabian Gulf Climatic Conditions", Solar and Wind Technology, 5, 147-157, 1988.

[35] A. El-Sebaii " Effect of Wind Speed on Active and Passive Solar Stills", Energy Conversion and Management, 45, 1187-1204, 2004.

[36] : A. A. Sfeir, G. Gharra" Ingénierie des Systèmes Solaire application à l'habitat ", Technique et Documentation, 1981.

[37] : Hilal Al-Hinai, M. S. Al-Nassri, B. A. Jubran " Parametric Investigation of a Double-Effect Solar Still in Comparison With a Single-Effect Solar Still ", Desalination, 150, 75-83, 2002.

## Résumé

Sur le plan mondial, la demande en eau potable de bonne qualité est de plus en plus forte. En effet, la population augmente rapidement et les besoins en eau de l'industrie et de l'agriculture sont de plus en plus élevés. Le dessalement solaire par utiliser distillateur solaire est l'une des solutions pour la production d'eau distillée à partir d'eau salée sans dépendance aux combustibles fossiles. La distillation solaire peut être appliquée dans les zones désertiques sèches, parce que l'énergie consommée dans la production est l'énergie thermique générée par le rayonnement solaire.

Dans ce cadre va étudier expérimentalement le couplage d'un concentrateur solaire avec un distillateur solaire simple à une seule pente, le rôle de concentrateur est l'augmentation de la température l'eau par la conversion les rayonnements réfléchir au point focal en énergie thermique à l'aide d'un échangeur de chaleur en cuivre.

**Mots-clés :** Le dessalement solaire, distillation solaire ,d'eau distillée ,distillateur solaire simple à une seule pente.

## Abstract

Globally, the demand for good quality drinking water is growing. The population is growing rapidly and the water needs of industry and agriculture are increasing. Solar desalination by using solar distiller is one of the solutions for the production of distilled water from salt water without dependence on fossil fuels. Solar distillation can be applied in dry desert areas, because the energy consumed in production is the thermal energy generated by solar radiation.

In this framework will study experimentally the coupling of a solar concentrator with a single-slope solar distiller, the role of concentrator is the increase in temperature water by converting the radiation reflected from the focal point into thermal energy using a copper heat exchanger.

**Keywords :** The solar desalination, solar distillation, distilled water, single slope solar distiller.

## ملخص

على الصعيد العالمي، يتزايد الطلب على مياه الشرب عالية الجودة. يتزايد عدد السكان بسرعة وتتزايد احتياجات الصناعة والزراعة من المياه. تعد تحلية المياه بالطاقة الشمسية باستخدام المقطر الشمسي واحدة من أكثر الحلول لإنتاج الماء المقطر من المياه المالحة دون الاعتماد على الوقود الأحفوري. يمكن تطبيق التقطير الشمسي في المناطق الصحراوية الجافة، وذلك لأن الطاقة المستهلكة في الإنتاج هي الطاقة الحرارية التي أصلها الإشعاع الشمسي.

في هذا الإطار سندرس بشكل تجريبي اقتران مركز شمسي بمقطر شمسي بسيط ذو ميل واحد، دور المركز هو زيادة درجة الحرارة في الماء عن طريق تحويل الإشعاع المنعكس من النقطة المحورية إلى طاقة حرارية باستخدام مبادل حراري نحاسي.

**الكلمات المفتاحية :** تحلية المياه بالطاقة الشمسية، المقطر الشمسي، الماء المقطر، المقطر الشمسي البسيط ذو ميل واحد.