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

UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER EN PHYSIQUE ENERGETIQUE

Thème

Étude théorique d'un distillateur solaire plan dans la région d'Adrar

Soutenu le : **21 / 05 / 2017**

Présentée par :

Melle. ZENTAR Soulef

Encadré par : Dr. HARROUZ Abdelkader

Co-encadreur : Mr. BELTRACH Djamel

President : Mr. YAICHI B rahim

Examinateur : Mr.MEDIANI Ahmed

2016 -2017

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents, qui sont la lumière de mes yeux mes deux raisons de vivre et les deux bougies de ma vie qu'ils ont éclairés mon chemin durant toutes ces longues années d'études par leur éducation, amour et soutien.

Tous les mots ne suffiraient pas ……..sans vous, rien n'aurait été possible,

Merci pour votre soutient et votre amour

A la sucre de ma vie mon frère et toutes mes sœurs ***Adnanne, souhila, layla, Nawal, rania***

Pour leur soutien et leur présence a mes cotés.

A mes grandes mères, tous mes oncles et mes tontons

Pour leur sacrifice, leur patience et leur encourage

A touts mes très chères amies ***Narimane, Sanaa***

A toute personne ayant contribue de prés ou de loin a l'élaboration de ce mémoire

A tous ceux qui ont une place dans mon cœur.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, merci pour le grand ***DIEU*** *qui m'a donné la volonté et le courage pour Parachèvement ce travail.*

J'exprime tous mes remerciements les plus chaleureux à mon co-encadreur monsieur : ***Mr. BELTRACH Djamel***

Pour avoir accepté de m'encadrer, pour ses conseils, ses orientations et ses encouragements.

Je remercie également Monsieur ***Dr. HARROUZ Abdelkader*** *pour son aide précieuse et sans limite durant mon travail de recherche pour mener à bien cette tâche.*

Je tiens à exprimer ma respectueuse gratitude à tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail,

Mr. YAICHI Brahim

Mr. MEDIANI Ahmed

J'adresse mes plus sincères remerciements au chef de département de science de la matière pour ses encouragements, et ces conseils

Enfin Tous mes remerciements

Et mon estime se dirige à tous les enseignants

Du département de Science de la matière

sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale **1**

Chapitre I : Rappel sur l'énergie solaire

I.1. Introduction 3
2. L'énergie solaire 3
I.3.Spécification du site d'Adrar 4
I.4. Rappels sur les Modes de Transferts Thermiques 4
I.4.1. La conduction 4
I.4.1.1. Loi de Fourier 5
I.4.1.2. Résistance thermique 5
I.4.2. La convection 5
I.4.2.1. Calcul de coefficient d'échange par convection 6
I.4.2.2. Convection naturelle 6
I.4.2.3. Convection force 7
I.4.3. Le rayonnement 7
I.5. Principes de calcul de l'énergie solaire 7
I.5.1. Déclinaison du soleil (δ) : 7
I.5.2. Le temps solaire vrai(TSV) 8
I.5.3. La durée et le taux d'insolation 8
I.5.4. L'angle horaire 8
I.5.5. Position de soleil 9
I.5.5.1. L'azimut du soleil. 9
I.5.5.2. La hauteur du soleil. 9
I.5.6. Rayonnement hors atmo-sphère 9
I.5.6.1. L'éclairement 9
I.5.6.2. Irradiation journalière globale 10
I.5.6.3. Le rayonnement solaire en présence de l'atmosphère 10
I.5.6.4. Le coefficient de transmission K_t 11
I.5.6.5. L'irradiation diffuse sur une surface horizontale 11
I.5.6.5.1. Ciel clair (sans nuages) 11

I.5.7. L'irradiation globale journalière mensuelle sur une surface horizontale 12
I.5.8. L'irradiation globale journalière mensuelle sur une surface inclinée..... 12

Chapitre II: connaissance générale sur les techniques de dessalement

II.1. Introduction..... 14
II.2. Le problème de consommation de l'eau 14
II. 2.1. Le problème de consommation de l'eau dans le monde 14
II.2.2. Le problème de consommation de l'eau en Algérie..... 15
I.2.3. L'eau dans le sud Algérien..... 16
II. 3. Critères de la qualité de l'eau 16
II.3.1. L'eau potable..... 16
II. 3.2. L'eau salée..... 17
II.3.2.1. Eau de mer..... 18
II.3.2.2. L'eau saumâtre 18
II.4. Procédés de dessalement..... 19
II.4.1. Procédés membranaires 19
II.4.1.1.Osmoses inverse (OI)..... 19
II.4.1.2. L'électrodialyse (ED) 20
II.4.2. Les procédés thermiques de distillation..... 21
II.4.2.1. Origine et historique de la distillation solaire..... 21
II.4.2.2. Principe du distillateur solaire 23
II.4.2.3. Types de distillateurs solaires 23
II.4.2. 3.1. Distillateurs à simple effet (SED) 24
II.4.2. 3.2. Distillateurs à multiples effets (MED)..... 26
II.4.2. 3.3.Distillation par détentes successives (multi-flash)..... 28
II.4.2. 3.4. Distillation par compression de vapeur..... 29
II.4.2. 3.4.5. Autres Procédés dessalement..... 30
II. 5.1. Les Paramètres externes..... 31
II.5.1.1.Paramètres météorologiques (climatiques) 31
II.5.2.Paramètres Internes :..... 32
II 5.2.1. 1Paramètres de construction..... 32

Chapitre III : Simulation et modélisation

III.1. Introduction : 35
III.2. Caractéristiques de fonctionnement 35

III .2.1. Le rendement 35
III .2.1.1. Production (débit du distillat) 35
III .2.2. L'efficacité 36
III .2.2.1. Efficacité global 36
III .2.2.2. Efficacité interne 36
III .2.3. La performance 36
III .2.3.1. Facteur de Performance Brute (F.P.B) 36
III .2.3.2. Facteur de Performance Horaire (F.P.H) 36
III .3. Modélisation mathématique 37
III .3.1. Bilan du vitrage 37
III .3.1.1. La face extérieure 37
III .3.1.2. La face intérieure 37
III .3.2. Bilan de l'eau (saumure): 39
III .3.3. Bilan du bassin inférieur : 39
III .3.4. Bilan de l'isolant 39
III .3.4.1. Au niveau de la face intérieure 39
III .3.4.2. Au niveau de la face extérieure 39
III.4. Expression des différents coefficients de transfert de chaleur 39
III .4.1. Transfert de chaleur interne (vitre –masse d'eau) 39
III .4.1.1 Par rayonnement eau-vitre 39
III.4 .2. Transfert de chaleur externe (vitre –ambiance) 41
III.4 .2.1 Par rayonnement vitre-ambiance 41
III.4 .2.2. Par convection vitre-ambiance 41
III.4 .3. Transfert de chaleur (basin eau) 41
III.4 .3.1. Par convection bassin-eau 41
III.5 . Expression des différents de température par les différents composants du distillateur 43
III.5 .1 Température dans basin défini par la relation 43
III.5 .2. Température dans vitre défini par la relation 43
III.5 .3. Température dans l'eau définie par la relation : 43
III.6. Calcul des puissances absorbées par les différents composants du distillateur 44
III.6 .2 Puissance absorbée par la nappe d'eau 44
III.7. Paramètres thermo physiques du distillateur: 45
III.8. Résultats et discussion 45
III.8 .1. La variation de la température ambiante et rayonnement solaire dans la région d'Adrar : ... 45

III.8.2. Interprétation et discussion des résultats 46
Conclusion : 48
Conclusion générale*..... *49

Liste des figures

Chapitre I

Fig.I.1 Rayonnement solaire direct et diffus dans la région d'Adrar

Fig. I.2 Rayonnement solaire globale journalier dans la région d'Adrar

Chapitre II

Fig. II.1 Principe de l'osmose et de l'osmose inverse

Fig.II.2 Schéma de principe d'une unitéd'électrodialyse

Fig. II3 Principe de fonctionnement d'un Distillateur solaire simple à effet de serre

Fig.II.4 Distillateur solaire simple à pente unique

Fig. II.5 Distillateur solaire simple à double pentes

Fig. II.6 Distillateur solaire terre-eau

Fig. II.7 Distillateur solaire sphérique à balayage

Fig.II.8 Principede fonctionnement de la distillation à multiples effets

Fig. II.9 Distillateur solaire incliné à cascades

Fig. II.10 Principe de fonctionnement de la distillation multi-flash

Fig. II.11 Principe de fonctionnement de la distillation par compressionde vapeur

Chapitre III

Fig. III.1 Bilan énergétique d'un distillateur solaire

Fig. III.2 La variation de rayonnement solaire dans la région d'Adrar**.**

Fig. III.3 La variation de la température ambiante dans la région d'Adrar**.**

Fig. III.4 Les températures d'eau en fonction de temps, pour des radiations solaires globales varié

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau .II.1. Consommation mondiale d'eau par habitant

Tableau .II.2. Les potentialités de l'eau en Algérie

Tableau. II.3 Classification des eaux selon la salinité

Tableau II.4 Degré de salinité des eaux de mers

Chapitre III

Tableau III.1 Les nombres de Grashoffet de Nusselt dans la convection naturelle.

Tableau III.2 Paramètres thermo-physiques du distillateur**.**

Tableau. III.3. La température ambiante et irradiation solaire globale dans la région d'Adrar.

Introduction générale

De nombreux pays souffrent encore aujourd'hui de pénuries en eau potable. La croissance démographique et la dégradation de certaines ressources en eau douce en raison de l'activité humaine ou de changements climatiques ne favorisent pas la résolution de ce problème et tendent même à l'accroître.

Les trois quarts de la surface de notre planète sont recouverts d'eau mais malheureusement d'eau salée. Qui empêche, ces réservoirs inépuisables qui sont les océans font rêver: et s'il était possible de transformer cette eau salée en eau douce cela résoudrait en effet toutes les difficultés de pénurie d'eau que connaissent beaucoup de pays, car nombreux d'entre eux ont un accès aux océans, quand ils ne disposent pas de littoral maritime conséquent.

A cet effet et pour mieux préserver l'avenir en matière de dégagement et de mobilisation des ressources en eau, il est plus judicieux de repenser la planification des ressources en eaux conventionnelles dans le cadre d'une vision globale qui intègre également l'utilisation des ressources en eaux non conventionnelles notamment le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Le dessalement des eaux saumâtres et a fortiori, de l'eau de mer procure une solution séduisante à cette problématique. C'est pourquoi le marché du dessalement est doré et déjà en pleine expansion avec une progression de 7 % par an.

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

Comme la plupart des pays en situation de stress et de déficit hydrique, étant situés dans des zones géographiques très fortement ensoleillées, arides et isolées, aussi la consommation excessive d'énergie par les procédés de dessalement, étant une raison pour laquelle les scientifiques ont orienté leurs recherches vers l'utilisation des énergies renouvelables, solaire en premier lieu.

L'Algérie est l'un des pays qui s'intéresse à la recherche de ces nouvelles ressources et ces nouveaux procédés de fournir de l'eau fraîche. Ce besoin en eau est dû principalement à la croissance rapide de la population, au développement des différents secteurs tel que l'agriculture et l'industrie, mais aussi à la sécheresse qui a pris de l'ampleur et qui est devenue un facteur menaçant même le mode de vie, pour combler à ce déficit , on a misé sur le dessalement solaire (distillation solaire), comme l'une des futures source d'eau, qui contribuent et portent des solutions d'avenir proposées pour la production d'eau douce, étant donné que le pays est caractérisé par une forte intensité de rayonnement solaire durant la plupart des périodes de l'année.

L'objectif de ce travail est l'étude théorique et numérique du distillateur solaire plan, Nous avons établi les équations régissant le fonctionnement d'un distillateur solaire dont la résolution a été abordée par une approche numérique. Les résultats obtenus permettent de mettre en évide n ce l'effet de nombreux paramètres météorologiques sur les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire dans la région (Sud-est-Algérien).

Le premier chapitre contient deux axes principaux: L'énergie et le gisement solaires qui constituent le premier axe, suivi d'une étude théorique sur le transfert de chaleur.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la connaissance générale sur les techniques de dessalement surtout celles qui utilisent l'énergie solaire comme une source d'énergie, ainsi qu'un bref historique sur la distillation solaire, et une recherche bibliographique concernant les différents types de distillateurs.

Le troisième chapitre nous présente une simulation numérique du fonctionnement du système. Les résultats de la simulation sont présentés sous forme des figures. Les résultants de la simulation du distillateur sont suivis de discussions et d'interprétations et en fin nous avons clôturé notre travail par une conclusion générale

Chapitre I

Rappel sur l'énergie solaire

Ce chapitre est consacré à une présentation des connaissances générales sur L'énergie et le gisement solaires qui constituent le premier axe, suivi d'une étude théorique sur le transfert de chaleur.

I.1. Introduction

Le Soleil, est une étoile de forme pseudo sphérique de gaz chauds, de $1{,}392.10^{6}$km de diamètre et de masse $1{,}9.10^{30}$ kg (soit $31{,}6.10^{4}$ fois la masse de la Terre) il est situé à une distance moyenne de 149 ,598.10^{9}km de la terre, si la température à la photosphère du Soleil est de 5760 K, il n'en est pas de même pour la température en son cœur qui avoisine les 15 millions de degré Kelvin **[1].** Les réactions thermonucléaires de fusion internes constituent la source d'énergie du soleil et provoquent le dégagement d'une énergie rayonnante selon la réaction suivante :

$$2\,H \rightarrow He + 2é + \Delta E \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (I.1)$$

À chaque seconde 9×10^{37}protons se fusionnent ainsi pour libérer $3{,}9 \times 10^{26}$joulesd'énergie.

I **.**On sait maintenant que le Soleil est essentiellement composé d'hydrogène à 73,5 % (en masse) et d'hélium à 24,9%, le reste soit environ 1,6% est composé d'au moins 60autresatomes dont les principaux **[2].**

2. L'énergie solaire

Ce que l'on désigne par énergie solaire est le rayonnement émis dans toutes les directions par le Soleil, l'énergie solaire provient du rayonnement du soleil dont les rayons sont constitués de photons, vecteurs d'énergie. Ce terme d'énergie solaire s'emploie aujourd'hui à partir de l'exploitation du rayonnement du soleil pour obtenir l'électricité solaire et l'énergie thermique (base de mon mémoire) **[3]**

Là où est la Terre à r = $1{,}496\ .10^{11}$m du Soleil, si chaque mètre carré reçoit un flux de lumière Φ_S = 1368 W/m^2, alors une sphère de rayon r dont la surface S = $2{,}81.\ 10^{23}$m^{2}recevra une puissance :

$$\mathbf{P = \Phi_S * S} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \mathbf{(I.2)}$$

La puissance P du Soleil est donc P = $3{,}84.\ 10^{26}$W pour une surface perpendiculaire à la direction Terre - Soleil **[1].**

Ce flux solaire est atténué lors de la traversée de l'atmosphère par absorption ou diffusion suivant les conditions météorologiques et l'altitude du lieu ; au niveau du sol la puissance restante est de l'ordre de 1 **kW.m^{-2}**sous nos altitudes **[3,4].**

Les hommes ont toujours compris depuis longtemps l'intérêt d'exploiter une telle source de lumière et de chaleur. Toutefois l'exploitation de cette source énergétique est récente et développe mais reste encore très coûteuse, puisque l'énergie solaire fait partie des énergies renouvelables, par définitionnels énergies dites renouvelables sont potentiellement inépuisables, la nature peut les reconstituer assez rapidement contrairement au gaz, au charbon et au pétrole dont les réserves, constituées après des millions d'années sont limitées.

I.3.Spécification du site d'Adrar

Le Sahara Algérien, plus précisément la région de Touat, ultime passage avant la traversée du sud, offre une organisation sociopolitique originale qui a permis, depuis des siècles, d'installer et de maintenir des sociétés et des oasis en parfaite Harmonie Le Touat s'étend sur une zone d'affleurement de la plus grande nappe aquifère du Sahara, doté de fabuleuses réserves en eau, facile à exploiter Situé pratiquement sur les méridien 0, entre 26°5 et 29°5de altitude nord, sur les marges ouest du plateau du Tademaït, la région de Touat, image de la willaya d'Adrar, est un ensemble de petites oasis. Le prolongement de l'ouest Saoura, du Metarfa et Tsabit à Regagne en passant par Adrar le chef-lieu de, Zaouite-Kounta en parcourant 200 Km et au passage on laisse une centaine de ksour, petite agglomérations, des villages anciens souvent accompagnées de casbahs associée à une palmeraie, située en contrebas **[5].**

La Wilaya d'ADRAR s'étend sur une superficie de 427.968 km², soitprès d'un cinquième (1/5) du territoire national.

I.4. Rappels sur les Modes de Transferts Thermiques

La diversité des opérations thermique industrielle est considérable : traitement thermique, cuisson ces opérations thermiques nécessitent une source de production de chaleur puis le transfert de cette chaleur vers l'objet à traiter. **[6]**

I.4.1. La conduction

Le transfert de chaleur par conduction correspond à un transfert d'énergie interne dû aux interaction entre les particules qui constituent les système thermodynamique (exemple : chocs de molécules dans les gaz) il est présent dans tous les corps, quel que soit leur état (solide, liquide ou gaz) On peut faire directement l'expérience de ce mode de transfert en tenant à la main un barreau métallique, et en

mettant l'autre extrémité au contact d'une flamme. Au bout d'un certain temps, on est obligé de lâcher le barreau, pour éviter de se bruler**. [7]**

I.4.1.1. Loi de Fourier

L'expérience du barreau suggère que le flux de chaleur qui se propage par conduction dans la matière est lié aux variations spatiales de température. **Joseph Fourier** a trouvé expérimentalement, en 1822, la relation entre la densité de flux de chaleur et le champ température (**loi de Fourier**) [**7]**

$$\vec{\phi} = -\lambda^{*}\overrightarrow{grad}\,T \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (I.3)$$

Qui relie la densité de flux $\vec{\phi}$ en $W.m^{-2}$à la conductivité thermique **λ** du matériaux **($W.m^{-1}.K^{-1}$)** et au gradient local de température **(k)**. Le signe **(−)** de la loi de Fourier résulte d'une convention qui rend positif un flux de chaleur s'écoulant du chaud vers le froid, donc dans le sens d'un gradient négatif. Cette loi est l'analogue thermique de la loi d'Ohm

I.4.1.2. Résistance thermique

Le flux thermique est l'analogue du courant ´électrique et la température est l'analogue du potentiel électrique. Comme on définit la résistance électrique :

R_e =1\σ. 1\ S d'un conducteur de longueur **L** et de section **S**, on définit la résistance thermique par **[8] :**

$$R_{th} = \frac{1}{\lambda}\cdot\frac{L}{S} \text{ En } K.W^{-1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (I.4)$$

$$\Delta T = R_{th}\Phi \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (I.5)$$

I.4.2. La convection

Ce mode de transfert est basé sur le fait qu'il y a déplacement de matière : il ne concerne donc que le fluide (liquide et gaz). Contrairement à la conduction où le transfert de chaleur se fait "par contact "dans le fluide, la possibilité de déformation sous l'effet de la température permet de mettre en œuvre des mouvements de ce fluide plus ou moins importants ces mouvements sont dus à des différences de pression et \ou des différences de température **[9]**.

I.4.2.1. Calcul de coefficient d'échange par convection

Dans les applications on a la plupart du temps besoin de connaitre le flux échangé entre un fluide et une paroi solide (transfert de chaleur des parois du moteur vers le liquide de refroidissement, refroidissement d'un microprocesseur d'ordinateur…..) l'interface entre le fluide et le solide ,laquelle est traversée par le flux de chaleur est appelé **surface d'échange**. Dans tous les problèmes que nous traiterons cette année, nous admettrons que la densité de flux échangée entre une paroi à la température $\mathbf{T_p}$ est un fluide à la température $\mathbf{T_f}$ est donnée par la loi de Newton [**7**] :

$$q = h_c \ (T_P - T_F) \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \ (I.6)$$

Dans cette relation, $\mathbf{h_c}$ est le coefficient d'échangé thermique convection : c'est le flux de chaleur transféré entre la paroi et le fluide, par unité de surface et unité d'écart de température entre le surface et le fluide ($\mathbf{h_c}$ en $\mathbf{W/m^2.k^{-1}}$) .le flux de chaleur sur l'ensemble de la surface d'échangé S s'obtient

q: Flux de chaleur transmis par convection **(W)**

$\mathbf{h_c}$ **:** Coefficient de transfert de chaleur par convection **($W/m^2.K^{-1}$)**

$\mathbf{T_P}$**:** Température de la surface solide **(°C)**

$\boldsymbol{T_F}$**:** Température du fluide de la surface solide **(°C)**

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

- La convection naturelle ou libre
- La convection forcée

I.4.2.2. Convection naturelle

Lorsqu' un fluide se trouve en contact avec un corps chaud, sa température augmente et sa masse volumique diminue, et il se déplace (il monte) par rapport au corps chaud cet écoulement de fluide le long de ce corps chaud entraine un phénomène de convection que l'on appelle naturelle au libre si le fluide est plus chaud

que le corps, l'écoulement se fera vers le bas mais il y aura toujours de la convection **[10]**.

I.4.2.3. Convection force

Le mouvement du fluide est provoqué par une intervention mécanique extérieure

Indépendante de toute hétérogénéité dans la répartition des températures au sein fluide **[11].**

I.4.3. Le rayonnement

I.4.3.1. Puissance d'échange entre deux corps

Danse ce cas transfert thermique s'effectue sous la forme d'un rayonnement électromagnétique (principalement dans le visible et l'infrarouge). Le flux échangé entre deux élément conformément à la loi de ***Stefan –Boltzmann*** s'écrit **[12]**

$$P=\varepsilon_{12} .\sigma .s (T_1^4 - T_2^4) \quad \text{..... (I.7)}$$

T_1 et T_2correspondent aux températures de deux éléments considèrent en**(K), ε_{12}**est l'émissivité équivalente et **σ** constance de Stefan ($5{,}67.10^{-8}$W $m^{-2}K^{-4}$) et **S** Aire de la surface **(m^2).**

I.5. Principes de calcul de l'énergie solaire

I.5.1. Déclinaison du soleil (δ) :

La déclinaison est définie comme un angle entre la ligne de direction joignant les centres du soleil et celui de la terre avec sa projection sur le plan équatorial. L'angle de déclinaison est dû à la rotation de la terre autour d'un axe faisant un angle de 66,5° avec le plan de rotation autour du soleil. La déclinaison du soleil varie au cours des saisons à partir de sa valeur maximale avec (+23,45°) au 21juin jusqu'à sa valeur minimale avec (- 23,45°) au 21 décembre. L'expression de la déclinaison est donnée par lamellation de Cooper, telle que **[13]**

$$\delta= 23{,}54 \sin (360 (n+284) \backslash 365) \quad \text{..... (I.8)}$$

n :est le numéro de jour dans l'année

L'angle d'inclinaison varie au cours des saisons :

Equinoxe de printemps	21 mars	$\delta = 0$
Solstice d'été	21 juin	$\delta = + 23° 45$

Equinoxe d'automne	23 septembre	$\delta = 0$
Solstice d'hiver	21 décembre	$\delta = -23° 45$
Approche maximale	Périhélie	2 janvier
Approche minimale	Aphélie	2 juillet

I.5.2. Le temps solaire vrai(TSV)

Le temps solaire vrai est défini à partir de la rotation de la terre sur elle-même. Il est donc directement lié à l'angle horaire. La terre fait un tour complet en 24H. Il est midi 12Hj

Lorsque le soleil est au zénith. On a donc **[14] :**

$$TSV=12+24(w/360) \quad \text{(I.9)}$$

I.5.3. La durée et le taux d'insolation

La durée d'insolation correspond à la durée pendant laquelle le rayonnement solaire direct reçu sur un plan normal dépasse un seuil fixe par convention à ***120 W. m^{-2}.***

En absence permanente de nuage, la durée d'insolation est pratiquement égale à la durée du jour, s'appelle aussi durée atomique ou théorique du jour. Elle est définie par **[15] :**

$$S_0= (2/ 15)\ \omega_0 \quad \text{(I.10)}$$

ω_0: Angle horaire aucoucher du soleil **(°)**

S_0: durée du jour **(h)**

I.5.4. L'angle horaire

C'est l'angle à travers lequel la ter retourne en rotation diurne autour de son axe qui correspond à une augmentation de l'angle horaire de 15° à chaque heure qui s'écoule pour amener le méridien d'un plan directement sous le soleil. En d'autres termes, l'angle horaire décrit la course du soleil dans le ciel puisqu'il mesure le déplacement angulaire du soleil de l'est à l'ouest en passant par le sud du méridien local, donc c'est la mesure de l'arc de trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu. L'angle horaire est nul à midi, négatif dans la matinée et positif l'après-midi pour l'hémisphère nord et vice versa pour l'hémisphère. Il varie donc à chaque instant de la journée selon la relation suivante **[16]**

$$\omega = (TSV-12) \times 15° \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (I.11)$$

L'angle horaire ω : varie de (-180° à +180°)

I.5.5. Position de soleil

La position du soleil est exprimée par deux angles que sont :

I.5.5.1. L'azimut du soleil.

L'azimut solaire (a) est l'angle horizontal formé par le plan méridien (axe nord-sud) et le plan vertical du vecteur "point local-soleil". Le signe de l'azimut est le même que celui de l'angle horaire [**17**].

$$\text{Sin } a = (\cos\delta . \sin\omega) / \cos(h) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (I.12)$$

a : varie entre (-180° et +180°)

I.5.5.2. La hauteur du soleil.

La hauteur du soleil **(h)**, ou encore l'altitude, est l'angle formé par le plan horizontal du lieu considéré et le vecteur "point local-soleil". Cette hauteur du soleil intervient fortement sur la valeur de l'éclairement solaire et pour apprécier cette valeur en un point et une heure donnés il est nécessaire de calculer cette hauteur. La formule classique est la suivante **[17]**:

$$\text{Sin } h = \text{Cos } \delta . \text{Cos}\varphi . \text{Cos } H + \text{Sin}\varphi . \text{Sin}\delta \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (I.13)$$

H: Angle horaire du Soleil

φ: L'attitude du lieu

h varie entre -90° et +90°.

I.5.6. Rayonnement hors atmo-sphère

Le soleil est le siège de réactions de fusion de l'hydrogène en hélium, qui libèrent une grande quantité d'énergie dispersée dans l'espace par rayonnement. La perte de masse du soleil est de l'ordre de 4 à 5. 10^6t.s^{-1}**[18].**

I.5.6.1. L'éclairement

L'éclairement énergétique fourni par le Soleil est caractérisé par la constante solaireI_oQuiestl'éclairementénergétiqued'unesurfaceperpendiculaireàladirectionduSoleil, qui serait placée hors de l'atmosphère à l'équinoxe.

Les valeurs proposées dans la bibliographie varient entre 1350 et 1400Wm^2et les mesures récentes par satellite convergent vers 1368Wm^{-2} ; compte tenu Des variations de l'activité solaire. La gamme de variation de cette "constante" reste cependant de quelques **Wm^{-2}[19].**

On peut calculer la valeur du flux du rayonnement solaire**I** reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires par la relation [**18]** :

$$I= I_o \exp [1+0.33\cos 360\, j/ 365] \quad \text{(I.14)}$$

J : c'est le numéro du jour de l'année**.**

I.5.6.2. Irradiation journalière globale

Les irradiations Journalières globales estimées et mesurées sont données par Les intégrales des éclairements estimés et mesurés en fonction Du temps, entre le lever et le coucher du soleil et s'écrivent de la façon suivante **[20]** :

$$He = \int\int^{tc} g_e (t)\, dt \quad \text{(I.15)}$$

$$H_m = \int\int^{tc} g_m (t)\, dt \quad \text{(I.16)}$$

I.5.6.3. Le rayonnement solaire en présence de l'atmosphère
Flux incident du soleil

On adopte comme flux moyen de toute la surface de la terre, jour et nuit inclus, **342W/m^2** qui est le rapport de la surface de la terre sur la section droite du faisceau Lumineux du soleil qui l'illumine, soit un facteur 0,25.**[21]**

Flux solaire réfléchi par les nuages, les aérosols et l'atmosphère77W/ m^2

Flux solaire absorbé par l'atmosphère 67W/ m^2

Flux solaire réfléchi par l'atmosphère 30W/ m^2

Flux solaire renvoyé vers l'espace 107W/ m^2

Coefficient de réflexion (dit albédo) de la surface de la terre : **30\ 302=10**٪

—

I.5.6.4. Le coefficient de transmission K_t

Avant d'atteindre le sol, le rayonnement solaire est atténué par l'atmosphère et les nuages. Le rapport entre le rayonnement au sol et le rayonnement extraterrestre est appelé le coefficient de transmission K_t, il est défini par **[22]** :

$$\overline{K_t}=\overline{H}/\overline{H_0} \quad \text{(I.17)}$$

$\overline{H}$: rayonnement solaire moyen mensuel mesuré sur une surface horizontale.

$\overline{H_0}$: Rayonnement solaire moyen mensuel hors atmosphère.

I.5.6.5. L'irradiation diffuse sur une surface horizontale

I.5.6.5.1. Ciel clair (sans nuages)

Pour calculer l'irradiantes diffuse dans un plan horizontal, nous avons concocté la formule suivante **[23]** :

$$D_{1h}=380\exp\left(\frac{-4}{TL}\right)\times\exp\left(\frac{-z}{7.8}\right)\times\sin(h)^{(T_L+6)/30} \quad \text{(I.18)}$$

I.5.6.5.2. Ciel quelconque

Pour calculer l'irradiation diffuse horizontale par ciel quelconque dans un plan horizontal, la formule suivante a été proposée par **Bedel**

$$D_h = I_h \times \frac{f(\sigma)}{1-f(\sigma)} \quad \text{(I.19)}$$

$$f(\sigma) = 0.9 - \sigma\left(0.9 - \frac{D1h}{G1h}\right) \quad \text{(I.20)}$$

Où **σ** représentant la fraction d'ensoleillement pour l'intervalle de temps horaire considéré.

G_{1h} : Rayonnement global

I_h : Irradiation directe

z : compte de l 'altitude **(km)**

T_L: trouble de Link

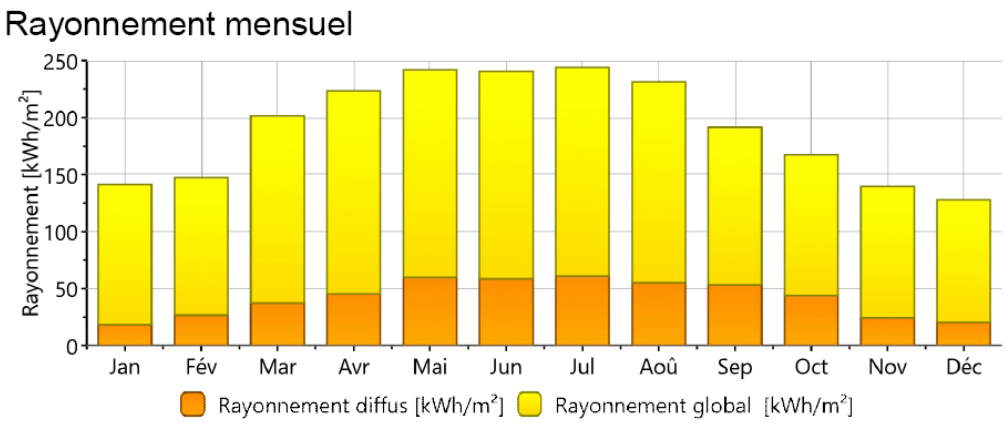

Fig. I.1. Rayonnement solaire direct et diffus dans la région d'Adrar**.**

I.5.7. L'irradiation globale journalière mensuelle sur une surface horizontale

On estime l'irradiation globale journalière mensuelle sur une surface horizontale H_h calculer ce dernier, on utilise l'équation suivante **[24]** :

$$H_h = K \cdot H_0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \textbf{(I.21)}$$

K : Indice de clarté

Fig. I.2. Rayonnement solaire globale journalier dans la région d'Adrar.

I.5.8. L'irradiation globale journalière mensuelle sur une surface inclinée

Les panneaux solaires peuvent être installés au sol ou sur la toiture orientés vers le sud et à l'écart des zones ombragées. Ils devraient présenter un angle de telle sorte que la surface de captation soit perpendiculaire au rayonnement solaire. Pour

calculer l'irradiation journalière mensuelle sur une surface inclinée on doit utiliser l'équation suivante **[25]** :

$$\mathbf{Hi = (H_h - H_d).\ R + H_d\ (1+\cos(\beta))/\ 2 + H_h \rho.\ (1-\cos(\beta))/2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (I.22)}$$

$\boldsymbol{\rho}$:L'albédo du sol ; 0,35 **β** : Inclinaison du capteur

$\boldsymbol{H_d}$: La composante diffuse **R** : Facture de conversion

Chapitre II

Connaissance générale sur les techniques de dessalement

Ce chapitre est consacré à une présentation des connaissances générales sur les techniques de dessalement et surtout la distillation solaire et ses différents types les plus apportés parles pays.

II.1. Introduction

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 est la source de vie, elle se retrouve dans les océans, les mers, les lacs, les nappes souterraines, etc.**[14].**

Dans l'atmosphère, l'eau se trouve à l'état vapeur, puis sous l'effet de refroidissement, l'eau passe de l'état vapeur à l'état liquide (pluie) ou solide (neige), le moteur de ce cycle est l'énergie solaire qui est responsable de ce changement d'état de l'eau pure. En plus, l'eau est considérée comme un solvant de bon marché pour les produits inorganiques et pour certains produits organiques.

II.2. Le problème de consommation de l'eau

II. 2.1. Le problème de consommation de l'eau dans le monde

A l'échelle mondiale, les ressources en eau potable sont réparties entre trois types de besoin, les besoins agricoles représentent 70 % des ressources en eau utilisées, suivis des besoins industriels avec 22 %, et enfin les besoins domestiques estimés à 8 %. Ces chiffres représentent une moyenne mondiale ponctuelle évoluant dans le temps et dans l'espace. Ils évoluent différemment d'un continent à l'autre et entre les pays. Mais ils nous renseignent sur la consommation dominante du secteur agricole, secteur qui consomme prés de trois quart des ressources en eau dans la majorité des pays. Cela ne peut se faire qu'au détriment des autres utilisateurs et notamment les populations. Le niveau de consommation d'eau potable d'un pays, comme celui de l'énergie, est devenu un indicateur de son niveau de développement économique, comme le montre ***le tableau. II.1*** [3].

Tableau. II.1. Consommation mondiale d'eau par habitant.

Zone	Consommation en (m^3/habitant .an)	Consommation en (L/habitant. j)
Afrique	17	47
Asie	31	87
Europe	122	334
USA, Japon	210	578
Moyenne mondiale	50	137

Les ressources en eaux renouvelables offertes par la nature peuvent être estimées à partir du flux de cycle d'eau et plus particulièrement des flux de circulation des eaux continentales aux environ de 40 km^3/an.

II.2.2. 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^2et où les eaux souterraines sont disponibles en grande quantité environ 60×10^3milliards de m^3. Ces dernières sont difficilement exploitables et difficilement renouvelables ; or de 4 à 5 milliards de m^3seulement sont exploitables annuellement malgré que la plupart de ces eaux sont saumâtres.

Dans le Nord de l'Algérie, les eaux souterraines sont évaluées à 1,8 milliards de m^3dans leur état naturel, ces eaux sont inutilisables alors qu'elles peuvent constituer un facteur important de développement et d'amélioration des conditions de vie dans ces régions.

L'Algérie occupe actuellement le 14émerang mondial parmi les pays qui souffrent du manque d'eau, et s'il n'y'aura pas de démarches efficaces, elle sautera à la 6èmeplace 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.
- 3 milliards alimentent les eaux souterraines.
- 47 milliards s'évaporent dans l'atmosphère.

La capacité réelle de stockage actuelle des barrages est de 7 milliards de m^3, 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 :

- Réduire les pertes en changeant les canalisations qui datent depuis 1960 ;
- Augmenter la production d'eau dessalée en réalisant des unités de dessalement tout en veillant à réduire les couts de traitement des eaux saumâtres ou usées en confiant la gestion de ces unités à des professionnels et non pas aux collectivités locales comme auparavant.

I.2.3. L'eau dans le sud Algérien

Le sud Algérien couvre 85 % du territoire national, avec une superficie d'environ $2{,}156\times10^6 km^2$, et une population qui a dépassé aujourd'hui les trois millions d'habitants. Il est considéré comme une zone désertique, où les précipitations sont quasi nulles, les crues sont violentes et dévastatrices : le charriage est considérable et l'érosion participe au transport solide dans les cours d'eau avec un débit appréciable **[6]**.

Le sud Algérien est constitué des wilayas suivantes : Adrar, Laghouat, Biskra, Bechar, Tamanrasset, Ouargla, Illizi, El Oued, Ghardaïa, El Bayadh, Naama et Tindouf. Le tableau suivant représente les potentialités de l'eau en Algérie :

Tableau (II.2). Les potentialités de l'eau en Algérie

Année	1962	1990	1995	1998	2000	2020
m^3/habitant	1500	720	680	630	500	430

II. 3. Critères de la qualité de l'eau

II.3.1. L'eau potable

Une eau potable est une eau douce inodore, incolore, insipide qui ne contient pas de produits toxiques, mais contient quelques sels minéraux avec des concentrations réglementées et qui doivent être respectées. L'organisation Mondiale de la Santé a édicté des normes internationales pour l'eau potable, qui comprennent un exposé général des normes bactériologiques, physiques, chimiques, biologiques et

radiologiques. Une eau destinée à des fins domestiques doit avoir une salinité inférieure ou égale à 0,5 g/l, avec une dureté entre 1,5 et 3 degrés et elle ne doit pas contenir plus de 200 mg/l de chlore, ni plus de 75 mg/l de calcium, ni plus de 50 mg/l de magnésium, ni plus de 150 mg/l de sulfates **[24].**

Le pH, qui dépend de la teneur en ions, conditionne les équilibres physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt). Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitiques. Il est alcalin dans les calcaires. Le pH est corrigé selon le cas par élimination du CO2dissous en excès ou par correction de la dureté carbonatée. La concentration d'ions dans l'eau est mesurée avec son pH qui est généralement égale à 7.0.

La teneur en gaz dissous issus de l'atmosphère (O_2 etCO2), la teneur en substances minérales dissoutes généralement sous forme ionique : anions (bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, fluorures) et cations (calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, manganèse, ammonium).

Tableau. II.3. Classification des eaux selon la salinité **[25].**

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

II. 3.2. L'eau salée

L'eau salée est une eau contenant une quantité sensible de sels dissous, plus particulièrement de chlorure de sodium par opposition à une eau douce. La plus grande partie des ressources mondiales d'eau sont des eaux salinesdont la teneur excessivement sel rend leur utilisation impropre aux exigences des activités humaines, ce qui nécessite l'élimination des sels. Les eaux salées comprennent l'eau de mer et l'eau saumâtre **[26].**

II.3.2.1. Eau de mer

L'eau salée est l'eau des mers et des océans de la terre. Ceux-ci occupent un volume estimé à 1340 millions de km³, ce qui représente 96,4 % de la capacité des grands réservoirs d'eau à la surface de la terre **[27].**

L'eau de mer est un liquide dont la composition est extraordinairement variée, puisqu'on y trouve une cinquantaine de corps simples. L'énumération de ces corps simples va de l'hydrogène, de l'oxygène, ainsi de la teneur de l'eau de mer en sels est plus importante dont le sel prédominant est le chlorure de sodium (environ 27 g/l), Il y a aussi du chlorure de magnésium (environ 3,8 g/l), du sulfate de magnésium (environ 1,7 g/l), du sulfate de calcium (environ 1,3 g/l), du sulfate de potassium (environ 0,8 g/l) et du carbonate de calcium (environ 0,1 g/l) ; ce dernier étant d'ailleurs sous forme de bicarbonate soumis à l'équilibre carbonique. Il y a aussi du bromure de magnésium (environ 0,08 g/l). En additionnant lesteneurs ci-dessus, on trouve que l'eau de mer possède une salinité moyenne de 35 g/l, mais en réalité, il faut considérer que l'eau de mer contient généralement de 35 à 42 g/l de sels minéraux dissous, et la salinité étant différente selon les mers **[28].**

Tableau II.4. Degré de salinité des eaux de mers **[28]**

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

II.3.2.2. L'eau saumâtre

Une eau saumâtre est une eau, ou un plan d'eau le plus souvent, telle qu'une lagune par exemple, dont la salinité est intermédiaire entre celle de l'eau douce et celle de l'eau de mer. Les variations de salinité y sont généralement grandes, elles sont en fonction des pluies. Par convention, les eaux saumâtres désignent toute les eau salée

dont la teneur en matières dissoutes est inférieure à celle de l'eau de mer, on y classe les eaux salées à concentration comprise entre 1 000 et 10 000 ppm, donc intermédiaire entre les eaux douces et les eaux salines. Techniquement, l'eau saumâtre contient entre 0,5 et 30 grammes de sel par litre. L'eau saumâtre peut résulter du mélange de l'eau de mer avec de l'eau douce (cas de précipitations abondantes en eau de pluie), comme dans les estuaires, ou elle peut se produire dans les aquifères fossiles saumâtres. La mangrove est un habitat typique d'eau saumâtre à salinité variable.[**29]**

II.4. Procédés de dessalement

A cause de la sécheresse, l'eau douce pour la consommation courante n'est plus obtenue de la pluie. C'est pourquoi l'homme a toujours été fasciné par l'augmentation de sa réserve en eau douce par le dessalement des eaux salines qui représente la plus grande partie des ressources mondiales d'eau**[30].**

Les procédés de dessalement peuvent être classés en deux grandes familles : les procédés avec changement de phase dits procédés thermiques qui ont une forte consommation énergétique et les procédés sans changement de phase dits procédés membranaires **[14].**

II.4.1. Procédés membranaires

Les procédés membranaires consistent à séparer les sels de l'eau de mer au moyen de membranes sélectives. Ils n'impliquent pas de changement de phase et peuvent fonctionner à température ambiante. Deux procédés membranaires sont actuellement utilisés en dessalement :l'osmose inverse et l'électrodialyse**[14].**

II.4.1.1.Osmoses inverse (OI)

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère le système ***fig. II.1.***Constitué d'un récipient divisé en deux parties contenant d'un côté la solution concentrée et de l'autre de d'eau douce, il y a un flux d'eau douce qui se traduit par l'abaissement du niveau du compartiment d'eau douce et l'élévation du niveau dans la partie concentrée. La différence de niveau correspond à la pression osmotique **[31,32].** Si l'on applique une pression suffisamment forte sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Si on dépasse la valeur de la pression

osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique : C'est le phénomène de l'osmose inverse.

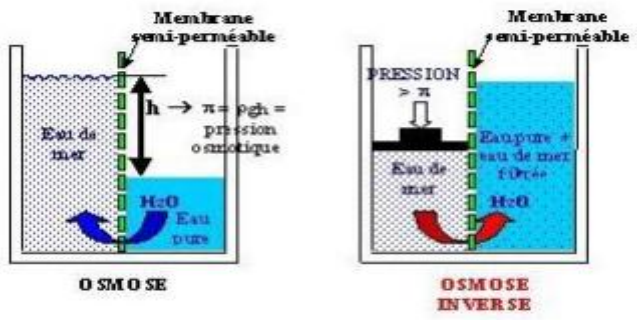

Fig. II.1.Principe de l'osmose et de l'osmose inverse **[33]**

II.4.1.2. L'électrodialyse (ED)

L'électrodialyse est le procédé à membranes le plus ancien puisque la première installation date de l'année 1960. Ce procédé consiste à éliminer les sels dissous dans l'eau saumâtre par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique.

L'électrodialyse est une méthode électrochimique, son principe est bien connu, la ***fig. II.2*** représente ce principe **[34].** Les ions d'un sel dissous dans l'eau, comme le chlorure de sodium par exemple, se déplacent sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempées dans le liquide. Les ions positifs ou cations (Na^+) sont attirés par l'électrode négative ou (Anode) tandis que les ions négatifs (Cl^-) sont attirés par l'électrode positive (Cathode) [**34].**

Dans l'électrodialyse, on ajoute alternativement des membranes filtrantes soit imperméables aux anions et perméables aux cations, soit imperméables aux cations et perméables aux anions, on obtient ainsi une série de compartiments à forte concentration des els et d'autres à faible concentration.

Ce procédé est particulièrement intéressant pour le traitement des eaux saumâtres, surtout pour celles dont la salinité ne dépasse pas 5 g/L **[34],** mais rien ne s'oppose techniquement à ce qu'on applique à ce procédé pour dessaler des eaux beaucoup plus chargées en sels et même pour l'eau de mer, bien que la consommation d'énergie électrique soit alors beaucoup plus grande.22Les membranes utilisées en

électrodialyse laissent passer les ions mais elles sont imperméables à l'eau, c'est exactement l'inverse pour les membranes utilisées en osmose inverse.

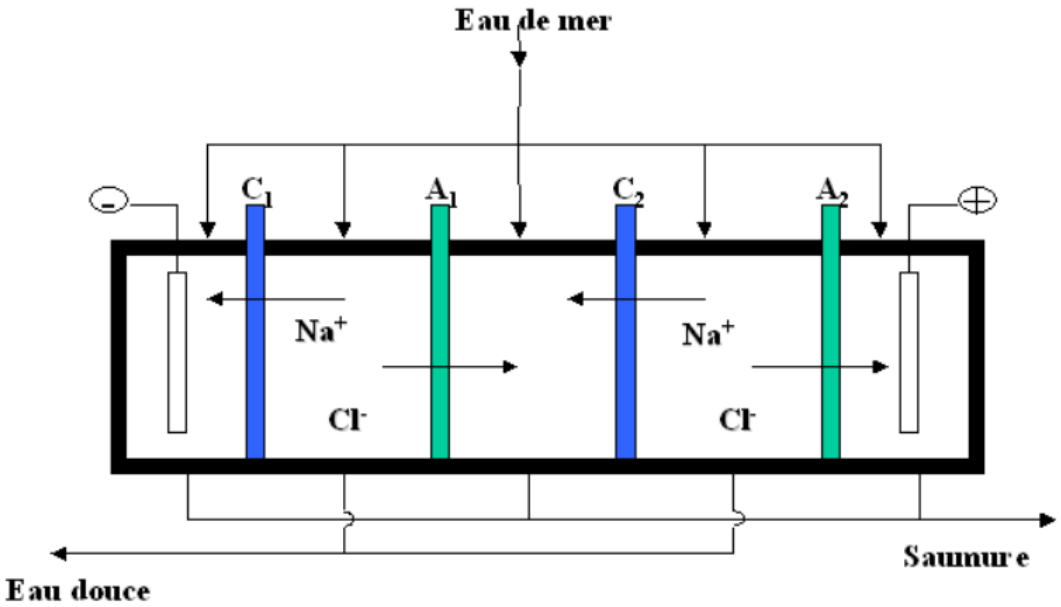

Fig. II.2.Schéma de principe d'une unité d'électrodialyse **[35].**

II.4.2. Les procédés thermiques de distillation

Les procédés thermiques sont principalement des procédés de distillation. La distillation solaire est un procédé de production d'eau douce à fort économique, surtout dans les régions caractérisées par un bon ensoleillement **[36]**. L'optimisation de la production des installations utilisant l'énergie solaire a fait l'objet de nombreuses études expérimentales et théoriques **[37]**,

II.4.2.1. Origine et historique de la distillation solaire

La distillation solaire a été utilisée depuis plusieurs siècles où : En 1551, les premiers appareils pour distiller l'eau salée ont été conçus par les alchimistes arabes ; c'est une certitude rapportée par Mouchot **[38]**.

En 1862, le chimiste français Lavoisier a utilisé de larges lentilles en verre pour concentrer les rayons solaires afin de distiller l'eau contenue dans des flacons **[39].**La distillation solaire a été utilisée depuis plusieurs siècles ; mais la plus grande réalisation est apparue en 1872 près de Las- Salinas dans le nord du Chili. Le modèle a été fabriqué par Carlos Wilson, un ingénieur suédois avec une surface vitrée de 5000 m^2, Produisant jusqu'à 20m^3 d'eau douce par jour à partir d'une eau saline contenant 140gr/l **[39].**Ce système fonctionna jusqu'en1910 à cause d'un problème

d'accumulation rapide des sels dans le bassin, nécessitant un nettoyage régulier du distillateur**[40]**. En1920, Kaush utilisé des réflecteurs en métal pour concentrer les rayons solaires **[40] ;** il en résulte l'apparition de nouveaux appareils (types toit, couverture en V, plateau incliné…etc**.**

Une installation due à Ginistous groupant 30 appareils de 1m^{2}fut réalisée et exploitée à Bengar dane en Tunisie en 1929.Au début des années 30, Trivinof avait proposé un distillateur Incliné**[41],** et en ***1938***Abbot a utilisé des réflecteurs cylindriques paraboliques pour concentrer les rayons solaires acheminés dans des tubes contenant de l'eau**.**

Maria Telks inventa en 1945 un nouveau type de distillateur solaire appelé distillateur sphérique, qui fut utilisé par la marine américaine ; un grand nombre de ce modèle, environ 2000 a été utilisé pendant la 2 éme guerre mondiale.

En 1953 Cyril Goméla a développé en Algérie une dizaine de types de distillateurs solaires qui ont été ensuite testés et commercialisés à travers l'Afrique du nord, le Sénégal et l'Australie. Afin d'augmenter le rendement, Sa vornin et Le Jeune ont aussi étudiés d'autres types de distillateurs solaires inclinés **[42].** En***1960*** trois grandes stations de distillateurs solaires ont été construites en Tunisie. En ***1962*** le groupe d'énergie solaire de l'Agence Tunisienne de l'Energie Atomique, a étudié activement la distillation solaire.

Entre **1963 et 1967**le CSIRO d'Australie (Common Wealth Sientific and Industrial Research Organization) a construit et testé plus de 8 distillateurs dans le but d'améliorer l'efficacité par l'étude de l'effet de certains paramètres**[43].**

En ***1969*** Cooper a proposé une simulation pour étudier les performances d'un distillateur solaire à effet de serre **[44].** Depuis les années 70, plusieurs autres types de distillateurs ont été élaborés et étudiés, Parmi lesquels :

- ✓ Le distillateur à effet multiple;
- ✓ le plateau incliné ou le distillateur solaire incliné;
- ✓ le distillateur solaire type mèche inclinée ou type multiple mèches;
- ✓ combinaison du distillateur solaire serre **[39].**

II.4.2.2. Principe du distillateur solaire

Le distillateur solaire est le procédé de dessalement le plus ancien et le plus simple puisqu'il utilise l'énergie du soleil pour distiller l'eau. Ce procédé élimine également les impuretés telles que le sel, les métaux lourds et les micro-organismes.

Le distillateur solaire est composé d'une serre de verre fermée et exposée au soleil. L'eau à dessaler est conduite dans la serre, l'épaisseur de l'eau étant de quelques centimètres.

Le rayonnement « UV » solaire traverse le toit de verre et est absorbé en grande partie par l'eau et le fond du bac, pour être converti en énergie thermique. L'intérieur de la serre s'échauffe et émet un rayonnement « IR ». Le verre étant opaque aux rayons« IR », ce rayonnement ne peut pas sortir et son énergie fait élever la température de l'air intérieur de la serre, surchauffé et saturé en vapeur d'eau qui finit par se condenser au contact de la paroi en verre. Le condensat (eau douce) descend par gravité le long de la paroi pour être recueilli en bas du vitrage***Fig. II.3*[45]**

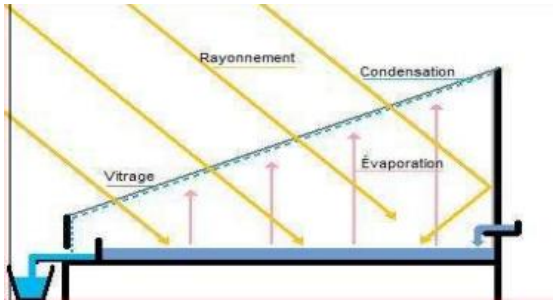

Fig. II.3. Principe de fonctionnement d'un Distillateur solaire simple à effet de serre

II.4.2.3. Types de distillateurs solaires

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

Tous ces procédés suivent le principe qui comporte trois étapes : production de la vapeur, transfert à un condenseur puis condensation mais ils peuvent être différents en termes de performance, de conception et de matériaux utilisés. Cependant les

techniques utilisées ainsi que les mécanismes de récupération d'énergie sont nombreux, on cite les types suivants de la distillation **[14]** :

II.4.2. 3.1. Distillateurs à simple effet (SED)

Ce sont les distillateurs les plus utilisés dans le monde, le distillateur est constitué d'un bassin peint en noir pour capter le maximum de radiation solaire, rempli d'eau et couvert d'une vitre transparente aux rayons ; cette dernière est inclinée pour que la vapeur condensée dans sa face intérieure coule vers une gouttière qui est placée en bas,

généralement ce type est simple à construire et à maintenir mais son efficacité reste inférieure à celle d'un distillateur à multiple effets**[46,47]**.

Dans ce type on peut citer :

Distillateur à pente unique

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

C'est le prototype utilisé durant nos simulations, généralement sa production est faible comparée avec les autres types de distillateurs à multiple effets, mais il est très souple vue son simple entretient et la facilité de son démontage et de son assemblage**[50].** ***Figure. II.4***.

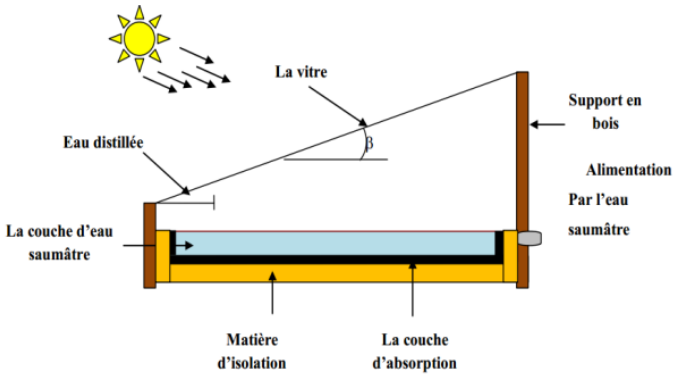

Fig.II.4. Distillateur solaire simple à pente unique

Distillateur à double pentes

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

Son avantage est d'exposer l'un de ses cotés au soleil et l'autre à l'ombre pour accélérer la condensation ***Figure. II.5*** **[48]**. Un module de 2 mètres de large sur 50 mètres de long produit 330 litres d'eau pure par jour dans un climat désertique. Aujourd'hui, on utilise toujours des systèmes de distillation comme celui-ci pour résoudre les difficultés d'approvisionnement en eau douce dans les Caraïbes, dans certains pays désertiques du Moyen-Orient et dans le pourtour méditerranéen **[49].**

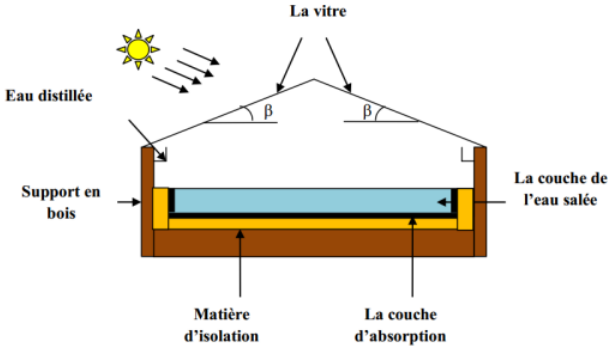

Fig. II.5. Distillateur solaire simple à double pentes

Distillateur solaire terre- eau

De grandes quantités d'humidité sont accumulées dans la terre durant la saison froide, de même dans les régions arides. Pour exploiter cette hydrologie naturelle, on utilise le distillateur solaire terre-eau. Il est similaire à celui de l'effet de serre, sauf que le sol remplace le bassin noir. ***Figure. II.6*****[14].**

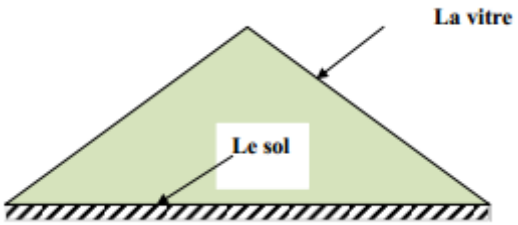

Fig. II.6. Distillateur solaire terre-eau.

Distillateur sphérique à balayage

C'est un distillateur en plexiglas transparent, à bac horizontal, et à surface de condensation demi - sphérique ***Fig. II.7***. Le rayonnement incident transmis par la demi- sphère supérieure pénètre dans le bac et sert, à chauffer la masse d'eau contenue dans celui-ci. Une partie de l'eau s'évapore, et la vapeur dégagée vient se

condenser sur la face intérieure de la vitre. Le distillat passe dans la demi - sphère inférieure à travers l'espace annulaire entre le bac et la sphère. Le balayage de la surface de condensation est réalisé au moyen d'un essuie - glace entraîné par un moteur.

L'avantage de ce système de balayage est de maintenir la surface de condensation, constamment transparente au rayonnement, et d'assurer un drainage rapide des gouttelettes **[50]**.

L'un des inconvénients de ce type de distillateur est que la surface horizontale de la solution intercepte moins de radiation solaire que les surfaces inclinées **[14]**.

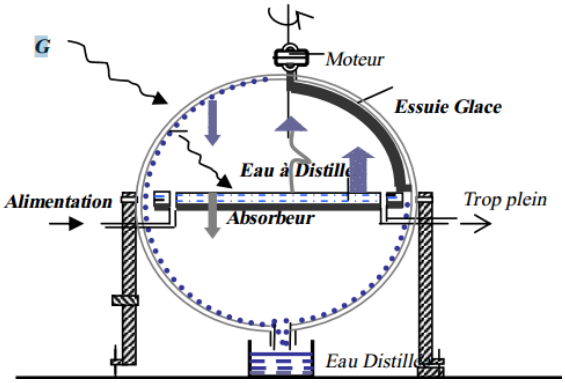

Fig. II.7. Distillateur solaire sphérique à balayage

II.4.2. 3.2. Distillateurs à multiples effets (MED)

Pour augmenter le rendement de l'opération, il y a intérêt à récupérer la chaleur de condensation et à l'utiliser comme chaleur d'apport pour une nouvelle distillation, on réalise alors plusieurs effets, la chaleur résiduelle est récupérée et utilisée pour le chauffage de l'eau à traiter**[14]**.

L'eau de mer est chauffée dans le premier corps d'évaporation par des tubes alimentés par la vapeur d'une source extérieure. La vapeur émise par ébullition dans ce corps (effet) sert à évaporer l'eau dans le deuxième corps. La vapeur de chauffe condensée dans le premier corps est récupérée sous forme d'eau douce à la sortie du deuxième corps. Cette opération est répétée dans plusieurs effets (de 4 à 21) ***Fig. II.8.*****[26].**

Dans les industries de traitement divers, on réunit ainsi jusqu'à six ou sept évaporateurs condenseurs (le premier évaporateur et le dernier condenseur ayant une

seule fonction), et peut être combinée avec une centrale électrique thermique. Pour fixer le nombre d'effets, on tient compte de la différence globale de température disponible entre la source chaude et froide, et du gradient de température nécessaire dans chaque évaporateur pour assurer le transfert efficace de chaleur de la vapeur de chauffe à l'eau à distiller. Il dépend aussi du prix de revient de la vapeur d'alimentation, donc du coût de combustible employé **[14]**.

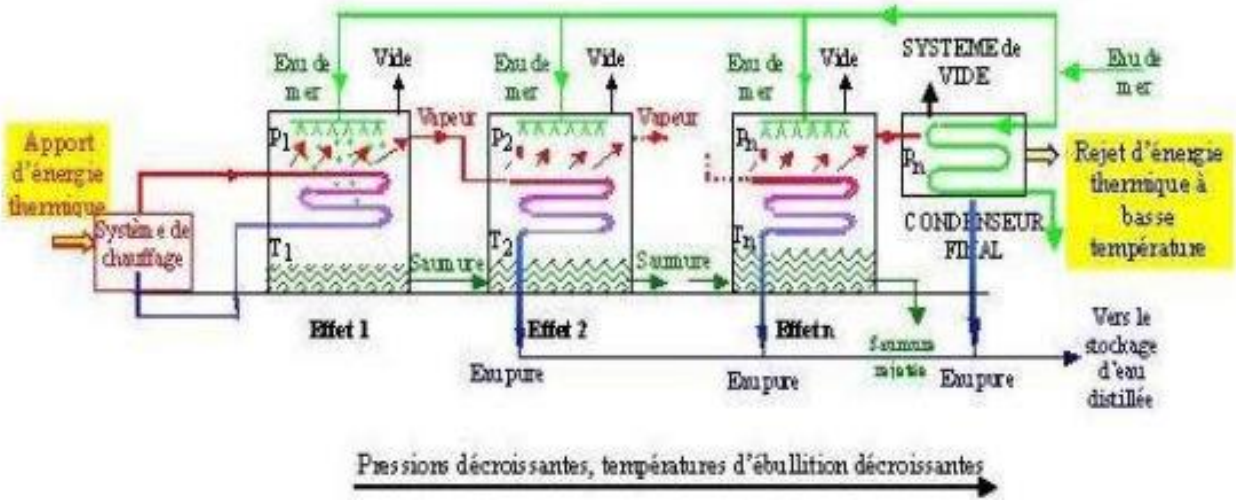

Fig. II.8. Principe de fonctionnement de la distillation à multiples effets**[51]**

Le distillateur solaire à multiples effets est constitué de plusieurs évaporateurs, mais il contient plusieurs modèles qui sont les suivants :

- ✓ Distillateurs solaires à plusieurs bassins ;
- ✓ Distillateurs solaires inclinés à cascades.

Distillateurs solaires inclinés à cascades

Ce type de distillateur ***fig. II.9*** utilise le même principe que celui à effet de serre, sauf que dans ce cas, la solution est répartie en couches fines sur plusieurs cascades. Il a été remarqué que le rendement de ce type de distillateurs est plus grand que celui du distillateur plan durant les journées ensoleillées, mais plus faible pendant la nuit. La différence de performance est due à la quantité de la solution qui se trouve dans les deux distillateurs **[52]**.

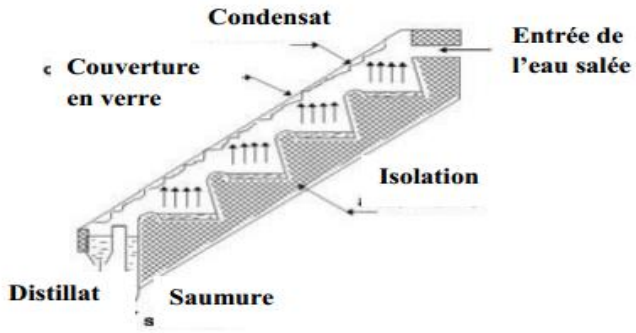

Fig. II.9. Distillateur solaire incliné à cascades**[25]**.

Distillateur solaire à multiple basin

La différence de température entre l'eau de bassin et celle de la condensation de la couverture en verre a un effet direct sur la productivité du distillateur solaire. L'augmentation de la température de l'eau fait augmenter la différence de température entre les surfaces d'évaporation et de condensation.

Pour parvenir à une meilleure évaporation et un taux de condensation élevé, la température de l'eau du bassin peut devenir élevée grâce à un apport d'énergie thermique à partir d'une certaine source externe.

Cette température de l'eau est augmentée par la fourniture d'énergie thermique supplémentaire venant des capteurs solaires externes vers le bassin du distillateur. L'énergie supplémentaire est fournie surtout au bassin inférieur du distillateur solaire, car il reçoit moins de rayonnement que le bassin supérieur, en raison de la diminution de la transmissivité par le bassin de l'étage **[26].**

Tiwari [**53**] a étudié l'effet du distillateur solaire à double bassins avec de l'eau qui s'écoule sur la couverture en verre et utilisant un capteur plan pour fournir de l'eau chaude au bassin inférieur. Il a constaté que l'utilisation d'un capteur plan donne un rendement plus élevé de 50% qu'un distillateur solaire normal et à double effets. Il a également observé que le rendement du distillateur reste élevé malgré la déconnexion du capteur pendant les heures non ensoleillées ce qui permet d'éviter les pertes de chaleur à travers le capteur.

II.4.2. 3.3.Distillation par détentes successives (multi-flash)

Ce procédé consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120 °C, elle est introduite

dans une enceinte où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash.

Ce phénomène de flash est reproduit en suite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle ***Fig. II.10*** **[24].**

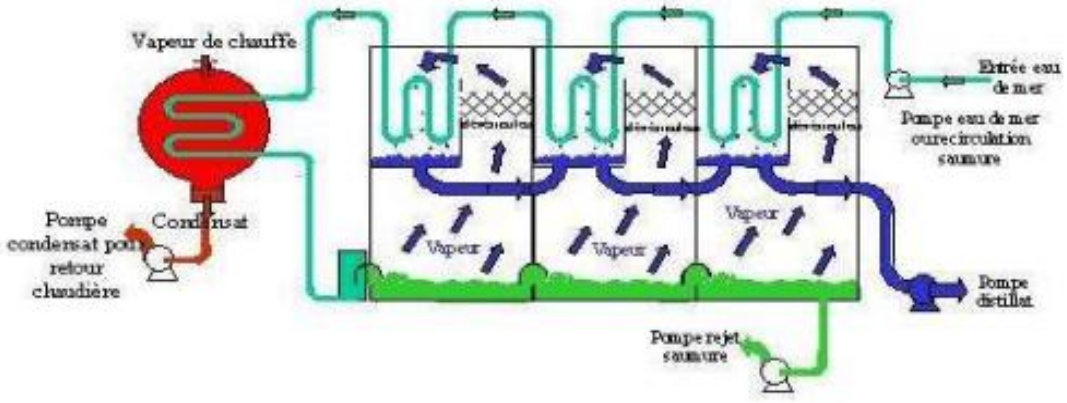

Figure II.10. Principe de fonctionnement de la distillation multi-flash

II.4.2. 3.4. Distillation par compression de vapeur

Le compresseur aspire la vapeur produite dans la chaudière et augmente la température par compression au-dessus de la température régnant dans celle-ci ; la chambre peut donc servir de condenseur à la vapeur comprimée, qui cède ainsi à l'eau la chaleur de condensation qui est réutilisée dans un nouveau cycle **fig. II.11 [51].**

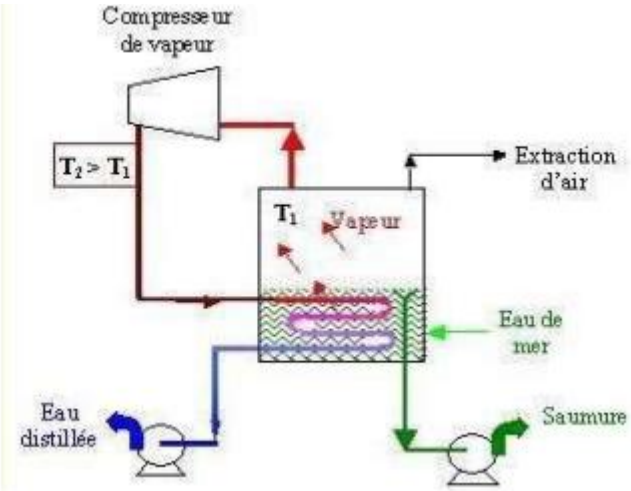

Fig. II.11. Principe de fonctionnement de la distillation par compression de vapeur

II.4.2. 3.4.5. Autres Procédés dessalement

Il existe d'autres procédés comme le procédé d'échange d'ions, et le procédé décongélation **[54]**.

Echange d'ions

Le phénomène d'échange d'ions se produit quand on met en contact une eau saumâtre avec certaines substances insolubles ayant la propriété d'échanger certains de leurs ions avec les sels de l'eau, les produits employés actuellement sont des produits insolubles dénommés échangeurs d'ions (résines synthétiques sous forme de graines d'environ 0,3 à 1,5 mm). Cette méthode est applicable seulement pour les eaux contenant jusqu'à 8 et même 10 g/l**[26].**

Dessalement par congélation

Cette technique est utilisée surtout dans les pays chauds. La température de congélation est presque indépendante de la pression, elle est déterminée par la concentration saline et varie de 0 °C pour l'eau pure jusqu'à environ -2 °C pour l'eau de mer et -4 °C pour une concentration qui est double que celle de l'eau de mer. Après congélation d'une eau salée, se forment des cristaux, le sel étant chassé de l'eau lors de la cristallisation, se déposant sur la surface du cristal. L'obtention de l'eau douce, est réalisée en lavant les cristaux et enfin on la refonte.**[55]**

II.5. Les paramètre influant sur le fonctionnement du distillateur

Le développement en détails des calculs par simulation du cumul horaire et journalier et de l'efficacité thermale du distillateur conventionnel affirme que le taux de distillation obtenu avec un distillateur conventionnel dépend de la différence entre la température de l'eau saline et la température du vitrage, pour une plus grande efficacité d'évaporation et de condensation. La température de l'eau saline et celle du vitrage (condenseur) sont affectées par plusieurs paramètres que ce soient internes ou externes **[14]**.

Alors pour tester réellement un distillateur, il faute placer dans les conditions réelles de fonctionnement. Pour en étudier le transfert de chaleur et de masse et le débit d'eau

distillée, il suffit d'expérimenter au laboratoire et maitriser tous les paramètres clés qui jouent sur l'efficacité **[14].**

On peut diviser ces paramètres en deux grands groupes :

- Les paramètres externes (climatiques et locaux) ;

•Les paramètres internes de l'appareil (condenseur, absorbeur, profondeur de l'eau saline, différence de température entre l'eau saline et le condenseur…etc.)

II. 5.1. Les Paramètres externes

Ces paramètres sont liés au site d'implantation du distillateur solaire et qui influent sur le fonctionnement et sur le rendement du système. Parmi les plus cités de ces paramètres on trouve **[26]**:

II.5.1.1.Paramètres météorologiques (climatiques)

Les conditions météorologiques régnantes sont dues à l'ensoleillement et au changement climatique qui sont entre autres**[26]**:

Intensité du rayonnement solaire (Rayonnement solaire incident)

C'est le facteur essentiel dans le fonctionnement du distillateur solaire, car il influe directement sur la température de l'eau à distiller, et augmente l'écart entre elle et celle du condenseur. D'ailleurs les débits de distillat enregistrés en été sont plus importants que ceux enregistrés enivre ou pendant le climat nuageux. Les fortes intensités de rayonnement peuvent causer désormais un sur chauffage interne de l'appareil conduisant à une diminution remarquable de production de l'eau distillée. Ce phénomène est observé surtout quand on utilise des miroirs réflecteurs pour augmenter l'énergie incidente sur l'absorbeur **[14].**

L'intermittence des nuages

La quantité d'énergie solaire reçue par une surface dépend des paramètres A, et B qui dépendent de la nature de ciel.

Cela revient à dire que le passage des nuages diminue l'absorptance effective moyenne **[56]**.

Vitesse du vent et la température ambiante de l'air

La vitesse du vent est liée à la convection forcée qui se produit au niveau des vitres avec l'air ambiant, donc elle influe proportionnellement sur les températures des vitres. La diminution de la température ambiante ou le refroidissement de la surface de condensation par l'augmentation de la vitesse du vent, conduisent à une augmentation de l'écart entre les températures de l'eau salée et celle de la vitre, ce qui contribue à l'élévation du taux d'évaporation de l'eau. Il en résulte que l'augmentation de la vitesse du vent et la diminution de la température ambiante sont équivalents à un refroidissement direct de la surface de condensation. D'après les expériences et les résultats de la simulation la vitesse du vent a une faible influence sur la production de l'eau distillée, or une vitesse de vent égale à 12,5 m/s n'augmente le cumul journalier en eau distillée que de 11% seulement **[57].**

II.5.2.Paramètres Internes :

II 5.2.1. 1Paramètres de construction

La couverture

La couverture verrière intervient essentiellement par sa nature qui peut être en verre ou en plastique. Elle a deux rôles à jouer : d'une part c'est un filtre sélectif de rayonnement solaire (le rayonnement émis ou réémis par l'intérieur du bassin à température basse qui ne la traverse pas) et d'autre part, c'est une surface de condensation de la vapeur d'eau : une bonne mouillabilité est nécessaire pour éviter la condensation en gouttelettes qui ont tendance à retomber dans le bassin et qui réfléchissent une partie importante du rayonnement incident. Pour assurer le ruissellement de l'eau condensée vers la gouttière (collecteur).

L'inclinaison

Son inclinaison par rapport à l'horizontale, pour déterminer la quantité d'énergie solaire introduite dans le distillateur et pour minimiser la distance entre la saumure et la vitre, l'angle d'inclinaison doit faire l'objet d'un choix judicieux. L'inclinaison influe aussi sur les équations des bilans énergétiques des différents constituants du distillateur. Elle dépend du fonctionnement du distillateur durant l'année **[56]** :

- ✓ Fonctionnement estival
- ✓ Fonctionnement hivernal
- ✓ Fonctionnement annuel

L'absorbeur

Les études faites dans ce domaine montrent que la surface absorbante peut être construite de plusieurs matériaux (bois, métal, béton, matière synthétique ou en verre ordinaire). Le choix de la matière de la surface absorbante ou du bac noir dépend de son inertie thermique, de la résistance à l'oxydation par l'eau et des dépôts minéraux **[56].**

La distance entre la surface d'évaporation et la sur face de condensation

Stcunanthan et **Hansen[58]** ont montré que la performance du distillateur augmente quand la distance entre la saumure et la vitre diminue.

La hauteur du niveau de la masse d'eau à distiller

L'épaisseur de l'eau saumâtre joue un rôle très important. La production autant plus importante pour un distillateur à faible épaisseur de saumure, mais pour un distillateur de grande épaisseur de la saumure, le maximum de la production n'est observé que peu après le coucher de soleil**[56].**

Chapitre III

Modélisation et simulation du distillateur Solaire

Ce chapitre est consacré à l'étude pratique d'un distillateur solaire, Nous présenterons les principaux paramètres de fonctionnement, nous établirons le bilan thermique au niveau de chaque partie du distillateur solaire.

III.1. Introduction :

La simulation d'un système ou d'un appareillage permet de trouver les conditions opératoires et les valeurs optimales de ses paramètres clés qui permettent son bon fonctionnement. Les résultats d'une bonne simulation aboutissent à un bon accord entre la théorie et l'expérimental. Dans notre cas, la simulation d'un distillateur solaire serre à pente unique passe par la résolution simple des équations du bilan énergétique en régime permanent. Cette résolution nécessite plusieurs suppositions pour éviter certains obstacles.

III.2. Caractéristiques de fonctionnement

Le choix d'un distillateur solaire dépend essentiellement de grandeurs, appelées caractéristiques de fonctionnement Plusieurs grandeurs sont définies afin de caractériser la production d'eau de tels distillateurs. On distingue constamment **[59]:**

- Le rendement
- L'efficacité
- La performance.

III .2.1. 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. Le rendement d'un distillateur simple défini par la relation [**59]**

$$\eta = m_d . h_{evap} \backslash G \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{III.1}$$

h_{evap}: Enthalpie d'évaporation.

m_d: Débit de masse distillat.

G: Puissance de rayonnement solaire incident par unité de surface.

III .2.1.1. Production (débit du distillat)

La production est la quantité d'eau distillée journalière produite par de surface d'évaporation Il est donné par la relation suivante. **[60]**

$$m_d = Q_{evap} \backslash L_v \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{III.2}$$

L_v : Chaleur latente de vaporisation qui est donnée par **[61]**:

$$L_v = 3044205.5 - 1679.111 T_e - 1.14258\ T_e^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{III.3}$$

III .2.2. L'efficacité

Cooper a défini deux types d'efficacités instantanées à savoir **[62]**:

III .2.2.1. Efficacité global

Elle représente le rapport de la quantité d'énergie évaporée par m^2, à la quantité d'énergie globale incidente par m^2 sur une surface horizontale. Elle est définie par le rapport :

$$\eta_g(\%) = Q_{evap} \backslash G.A = m_d.L_v \backslash G.A \quad \text{.....III.4}$$

Q_{evap}: la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps.

A : la surface de la vitre (m^2).

G : L'énergie solaire globale incidente par m^2 sur une surface horizontale journalière.

III .2.2.2. Efficacité interne

Elle est représentée par le rapport de la quantité d'énergie évaporée par m^2de surface, à la quantité effectivement absorbée par la saumure de m^2 de surface **:**

$$\eta i(\%) = Q_{evap} \backslash (\alpha_t.G.A) = (m_d.L_v) \backslash Q_{eau} \quad \text{.....III.5}$$

α_t. G .A: est la quantité de chaleur absorbée par l'eau.

α_t : est le cœfficient d'absorption fictif de la masse d'eau.

A: La surface du bac.

III .2.3. La performance

Afin de pouvoir caractériser la performance d'un distillateur solaire d'une manière plus générale, **Satcunanathan** et **Hansenont** défini deux types de facteurs de performance, Facteur de Performance Brute ***(F.P.B)*** et Facteur de Performance Horaire ***(F.P.H)*** **[63].**

III .2.3.1. Facteur de Performance Brute (F.P.B)

$$FPB = \frac{\text{quantité d' eau produite au bout de 24 heures}}{\text{quantité d'énergie entrée au bout de 24 heures}} \quad \text{.....III.6}$$

III .2.3.2. Facteur de Performance Horaire (F.P.H)

$$FPH = \frac{\text{quantité d eauproduite au bout d'une heures}}{\text{quantité d'énergieentréeauboutd'uneheure}} \quad \text{.....III.7}$$

III .3. Modélisation mathématique

La théorie d'un distillateur solaire simple en forme de serre, ***Fig.III.1*** lustre les différents échanges de chaleur qui se produisent dans un distillateur Solaire. Elle est fondée sur quatre bilans. En régime transitoire, les équations régissant le bilan thermique au niveau de chaque partie du distillateur, s'écrivent comme suit **[64] :**

$$M_i .Cp_i .dT_i / dt = \sum_{i=1}^{n} Q_{ij} + P_i \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots III.8$$

M $_i$: masse en **[Kg].**

Cp$_i$: Chaleur spécifique en **[J/Kg. °C].**

T: température en **[°C].**

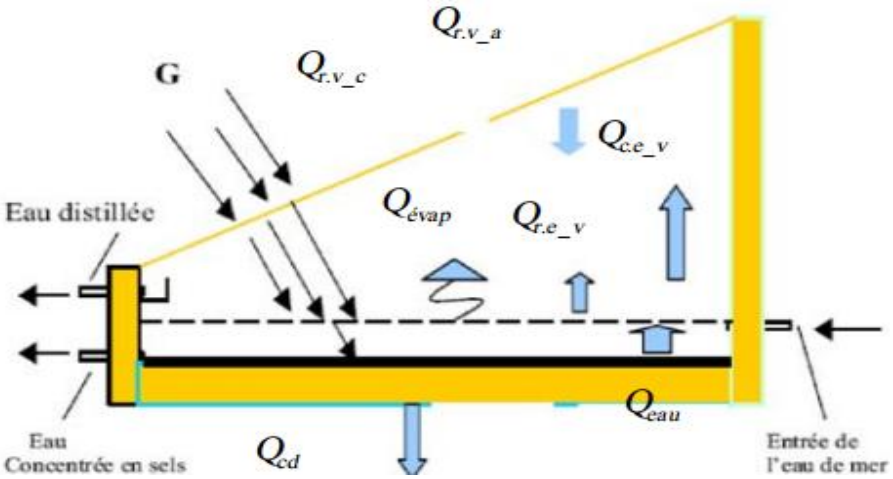

Fig. III.1. Bilan énergétique d'un distillateur solaire.

III .3.1. Bilan du vitrage

La quantité de chaleur reçue par la vitre est évacuée par conductivité à travers

Celle-ci, soit **[64] :**

III .3.1.1. La face extérieure

$$M_v cp_v \backslash 2A_v .dT_{ve} \backslash dt = (\lambda_v \backslash \sigma_v) [T_{vi} - T_{ve}] - Q_{r:v.e_ciel} - Q_{C:v_a} + P_V \backslash 2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots III.9$$

III .3.1.2. La face intérieure [64]

$$M_v cp_v \backslash 2A_v .dT_{vi} \backslash dt = -(\lambda_v \backslash \sigma_v)[T_{vi} - T_{ve}] + Q_{r:e_vi} + Q_{c:e_vi} + Q_{evap} + P_V \backslash 2 \ldots\ldots III.10$$

Q $_{r:e_v.i}$: Flux thermique par rayonnement entre le film d'eau et le vitrage.

$Q_{C:e_v.i}$: Flux thermique par convection entre le film d'eau et le vitrage.

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

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

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

λ_v: Conductivité thermique de la vitre.

σ_v: Épaisseur de la vitre.

III .3.2. Bilan de l'eau (saumure) [64]:

$$M_e cp_e \backslash A_e.dT_e \backslash dt = Q_{c:b_e} - Q_{c:\ e_v} - Q_{evap} - Q_{r:e_v.i}$$

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

III .3.3. Bilan du bassin inférieur [64] *:*

$$M_b cp_b \backslash A_b.\ dT_b \backslash dt = P_b - Q_{c:b_e} - Q_{cd:b_iso.i} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{III.12}$$

Q_{cd}: Flux thermique perdu par conduction du bac.

III .3.4. Bilan de l'isolant

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

III .3.4.1. Au niveau de la face intérieure [64,65]

$$M_i cp_i \backslash 2A_i.\ dT_{iso.i} \backslash dt = Q_{cd:b_iso.i} - (\lambda_i \backslash \sigma_i)\ [T_{iso.i} - T_{iso.e}] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{III.13}$$

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

III .3.4.2. Au niveau de la face extérieure [64,65]

$$M_i\ cp_i \backslash 2A_i\ .dT_{iso.\ e} \backslash dt = (\lambda_i \backslash \sigma_i)\ [T_{iso.i} - T_{iso.e}] - Q_{r:iso_soll} - Q_{c:iso_a} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{III.14}$$

III.4. Expression des différents coefficients de transfert de chaleur

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

III .4.1. Transfert de chaleur interne (vitre –masse d'eau)

La vitre reçoit une quantité de chaleur au niveau de laquelle se produit l'échange de chaleur entre la face intérieure de la vitre et la masse d'eau par rayonnement, par convection et par un processus d'évaporation **[65]** :

$$Q_{.e_v} = Q_{r.e\text{-}v} + Q_{c.e\text{-}v} + Q_{evap} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{III.15}$$

III .4.1.1 Par rayonnement eau-vitre [66]

$$Q_{r.e\text{-}v} = h_{r.e\text{-}v}\ (Te - T_{v.i}) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{III.16}$$

$h_{r.e-v}$: Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitre **[67]**

$$h_{r.e-v} = \varepsilon_{eff.}\ \sigma\ (T_e^2 + T_{vi}^2).\ (T_e + T_v) \quad \text{III.17}$$

σ : Constante de STEAFFAN-BOLTZMAN

ε_{eff}: Émissivité effectif

$$\varepsilon_{eff.} = [1\backslash\ \varepsilon_e + 1\backslash\ \varepsilon_v - 1]^{-1} \quad \text{III.18}$$

ε_e: Émissivité de l'eau **ε_v:** Émissivité de la vitre.

. III .4.1 .2 Par convection eau-vitre $h_{c\ e-v}$ [68] :

$$Q_{c.e-v} = h_{c.e-v}\ (Te - T_{v.i}) \quad \text{III.19}$$

$h_{c.e-v}$: Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitrage **[68. 69] :**

$$h_{c.e-v} = 0.884[(T_e - T_{vi}) + (P_e - P_v)(T_{vi} + 273.15)\ \backslash\ (268.9.10^3 - P_e)]^{1/3} \quad \text{III.20}$$

ß: Angle d'inclinaison du vitrage **(°)**.

P_e: Pression de vaporisation à T_e. $P_e = 7326.2 - 413.43T_e + 10.76Te^2$

P_v: Pression de vaporisation à T_v $P_V = 7326.2 - 413.43T_V + 10.76T_V^2$

III .4.1.3 Par convection (évaporation _ vitre) [68] :

$$Q_{evap} = h_{c.\ evap_v}\ (Te - T_{Vi}) \quad \text{III.21}$$

$h_{c.\ evap_v}$: Coefficient de transfert de chaleur par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage **[69]** :

$$h_{evap} = 16{,}273.\ 10^{-3}.\ hc_{.\ e_v}(P_e - P_{vi.})\backslash\ (T_e - T_v) \quad \text{III.22}$$

III.4.2. Transfert de chaleur externe (vitre –ambiance)

Les quantités de chaleurs globales échangées entre la vitre et l'atmosphère sont subdivisées en deux modes, à savoir par convection et par rayonnement **[69]**:

$$Q_{v-a} = Q_{r.v-ciel} + Q_{c.v_a} \quad \text{III.23}$$

III.4.2.1 Par rayonnement vitre-ambiance

$$Q_{r.v-ciel} = h_{r.v-ciel}.(T_{v.e} - T_{ciel}) \quad \text{III.24}$$

$h_{r.v-ciel}$ **:** Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement par la vitre vers l'extérieur **[63].**

$$h_{r.v-ciel} = \varepsilon_{v.}\sigma.(T_{v.e}^{2} - T_{ciel}^{2})(T_{v.e} + T_{ciel}) \quad \text{III.25}$$

C_{iel} **:** températurede cielest une fonction de la température ambiante [**70,71**] :

$$T_{ciel} = 0.0552\ Ta^{1,5} \quad \text{III.26}$$

III.4.2.2. Par convection vitre-ambiance

$$Q_{c.v-a} = h_{c.v-a}(T_{v.e} - T_a) \quad \text{III.27}$$

$h_{c.v_a}$**:** Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et L'extérieur dépend de la vitesse du vent **[72] :**

Si : $v \leqslant 5 \quad h_{c.v-a} = 5,7 + 3,8.V$

V: Vitesse du vent **(m / s)**

Si : $v \geqslant 5 \quad h_{c.v-a} = 6.15V^{0.8}$

III.4 .3. Transfert de chaleur (basin eau)

III.4.3.1. Par convection bassin-eau

$$Q_{c.b-e} = h_{c.b-e}(T_b - T_e) \quad \text{III.28}$$

$h_{c.b-e}$**:** Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le fond du bac et le film d'eau **[65]** :

$h_{c.b-e}$= Nu λ_f\L……..…..III.29

Nu: Nombre de NUSSELT **[72] :**

Nu = c (**Gr Pr**) ^{n}**……III.30**

Ou **c** et **n** sont des constantes dépendant de la géométrie du système et de la nature de l'écoulement (laminaire ou turbulent):

Tableau III.1. Les nombres de Grashoffet de Nusselt dans la convection naturelle.

Gr< 10^5	Nu = 1	Convection négligeable
10^5<Gr<2.10^7	Nu = (λ_e\ L) 0.45 (Gr Pr) $^{0.25}$	Convection en régime laminaire
Gr>2.10^7	Nu = 0.14 (Gr Pr) $^{0.33}$	Convection en régime turbulent

Gr :de Nombre GRASHOF **[72]** **Gr= ßg $\rho^2\lambda$ L^3 DT / μ^2**

ß : Coefficient d'expansion volumétrique de l'eau en (K^{-1})**ß = 1 / Te**

L : Longueur du bac absorbant en (m).

ρ : La masse volumique de l'eau en (Kg/m3).

g : L'accélération en (m^2**/s).**

μ : La viscosité dynamique en (Kg/m.s).

Pr : Nombre de PRANDLT **[72] Pr = $\mu_e Cp_e / \lambda_e$**

T Δ : La différence de température entre l'absorbeur et l'eau **(T_b-Te)**

Les pertes thermiques du bassin par conduction thermique à travers l'isolation sont données comme suit :

$$Q_{cd:b_iso.\,i} = \lambda_b \backslash \sigma_b (T_b - T_{iso.i}) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots III.31$$

T_b Température du bac.

T_i: Température de l'isolant.

λ_b: Conductivité thermique du bac

σ_b : épaisseur du bac.

III.5 . Expression des différents de température par les différents composants du distillateur

Dans les conditions initiales**t=0**s, **Te = $T_{e\,0}$** et **T_v = T_{v0}**, la température de l'eau **(T_e)**, la température de vitre **(T_v) [73] :**

III.5.1 Température dans basin défini par la relation

$$T_b = a_b G + h_{tb}\ T_e + h_{loss}\ T_a \backslash h_{tb} + h_{te} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots III.32$$

Avec :

- ✓ $h_{te} = h_{c.\,evap_v} + h_{c.\,e-v} + h_{r.\,e-v}$
- ✓ $h_{t\,b} = h_{c.\,b-e}$

a_b : Coefficient d'absorption de la basin

III.5.2. Température dans vitre défini par la relation

$$T_g = (a_g G \sec(\theta) + h_{tg} T_a \sec(\theta) + h_{t\,e}\ T_e) \backslash h_{tg} \sec(\theta) + h_{t\,e} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots III.33$$

Avec

$$h_{t\,g} = h_{r.v-ciel} + h_{c.v-a}$$

a_g: Coefficient d'absorption de la vitre

III.5.3. Température dans l'eau définie par la relation :

$$T_e = [(A_b (a_{eff} G + (u_b + u_t)\ Ta) / (z * cp_w))]\ [1 - (\exp(-z*t)) / z] + (\exp(-z*t) / z)\ Te0 \ldots III.34$$

Avec :

- ✓ $a_{eff}=a_e+a_b*[h_{tb}/(h_{tb}+h_{loss})] +a_g*[(h_{te}*\sec\theta / (h_{tg}*\sec\theta +h_{te})]$
- ✓ $U_b=(h_{tb}*h_{loss})/(h_{tb}+h_{loss})$
- ✓ $U_t= (h_{tw}*h_{tg}* \sec(\theta))/ (h_{tg}* \sec(\theta)+h_{te})$
- ✓ $Z =(A_b*(u_b+u_t))/(MC)_e$

III.6. Calcul des puissances absorbées par les différents composants du distillateur

III.6.1 Puissance absorbée par la vitre

Pour un distillateur simple à effet de serre la puissance absorbée et donnée par la relation suivante **[74]** :

$$P_v= I_D. \alpha_{VD} +I_{d.}\alpha_{Vd}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots III.35$$

α_{VD} et α_{Vd}: Les coefficients d'absorption pour respectivement le rayonnement direct et le rayonnement diffus.

α_{VD}: Calculé comme suit **[75]**:$\alpha_{VD}=1-R_D -\tau_D$

τ_D: Coefficient de transmission global du rayonnement direct

R_D: Caractéristique de la réflectivité de la vitre

Le coefficient d'absorption pour le rayonnement diffus se calcule comme étant celui du rayonnement direct avec un angle d'incidence **[76]i=60**

$$\alpha_{Vd}== 1-R_d - \tau_d$$

τ_d : la transmissivité totale de la couche atmosphérique pour le rayonnement diffus

III.6.2 Puissance absorbée par la nappe d'eau

III.1

$$P_e= I_D. \alpha e_D +I_{d.}\alpha_{ed}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots III.36$$

α_{Ed}: coefficient d'absorption de la saumure pour le rayonnement direct.

α_{ed}: coefficient d'absorption de la saumure pour le rayonnement diffus.

$$\alpha_{eD}= I_D[\alpha_e +\tau_e. \alpha_b]$$

α_e**:** Coefficient d'absorption de la saumure (constant);

τ_e**:** Coefficient de transmission de la saumure

III .6.3 Puissance absorbée par le bac absorbant :

Si$\alpha_b$est le coefficient d'absorption du bac absorbant, on déduit la puissance P_b :

$$P_b = \alpha_b . (I_D . \tau_D) + (I_d . \tau_d) \backslash 1 - (1 - \alpha_b) . R_d \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots III.37$$

I_D **:** correspond au rayonnement solaire direct

R_d **:**c'est la proportion du flux de rayonnement diffus en projection sur la surface

Inclinée.

III.7. Paramètres thermo physiques du distillateur:

Tableau III.2. Paramètres thermo physiques du distillateur**.**

	absorbeur en 'aluminium'	glass de la couverture en verre	Polystyrène comme isolant
émissivité	*0.001*	0.003	*0.10*
capacité calorifique	*896*	840	*1380*
Conductivities thermique	*204*	0.93	*0.033*

Tableau. III.3. La température ambiante et irradiation solaire globale dans la région d'Adrar **[77]**.

	jan	*fév*	*Mar*	*Avr*	*Mai*	*Jun*	*Jul*	*Aou*	*sep*	*Oct*	*Nou*	*Déc*
Ta	*25.3*	*21.4*	*16.2*	*12.9*	*30.5*	*30.5*	*38.2*	*38.2*	*33.1*	*27.5*	*19*	*14.4*
Gi	*190*	*219*	*271*	*310*	*325*	*334*	*328*	*311*	*266*	*225*	*190*	*172*

III.8. **Résultats et discussion**

III.8.1. La variation de la température ambiante et rayonnement solaire dans la région d'Adrar :

La série des graphes concernant notre simulation, regroupe la variation des paramètres climatiques locaux en fonction du temps.

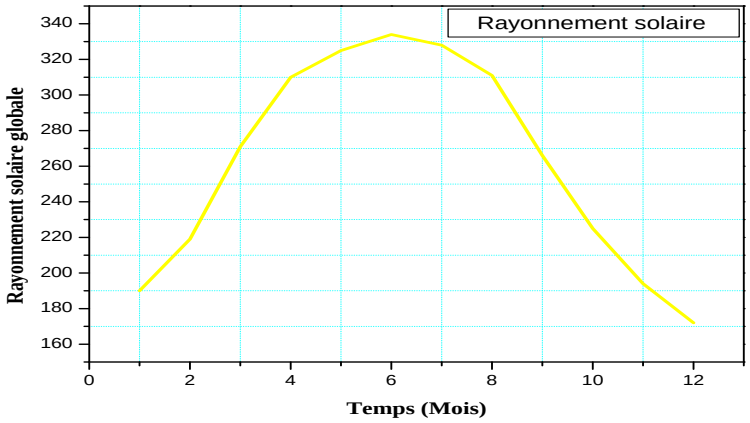

Fig. III.2. La variation de rayonnement solaire dans la région d'Adrar

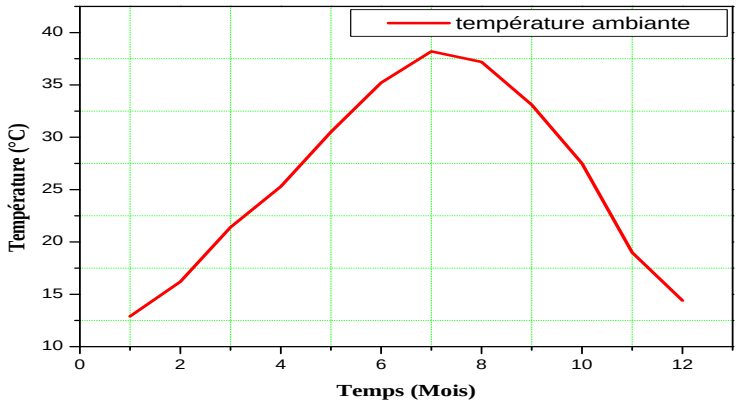

Fig. III.3. La variation de la température ambiante dans la région d'Adrar**.**

III.8.2. Interprétation et discussion des résultats

1-Intensité et températures

Dans les **Graphe. III.2** et **Graphe. III.3,** en remarque que l'intensité du rayonnement solaire commence à augmenter la matinée et atteint sa valeur maximale 328 W/m^{2}à juillet, puis elle diminue de nouveau, avec une allure Gaussienne.

La trajectoire de la courbe de la température ambiante est similaire à celle de l'intensité, puisque généralement l'intensité solaire est le responsable de la variation de la température du milieu ambiant. Au début du printemps le maximum observé de la température ambiante est atteint aux alentours de juillet avec une valeur étendre a38.2 ^{O}C.

Le Graphe. III.4

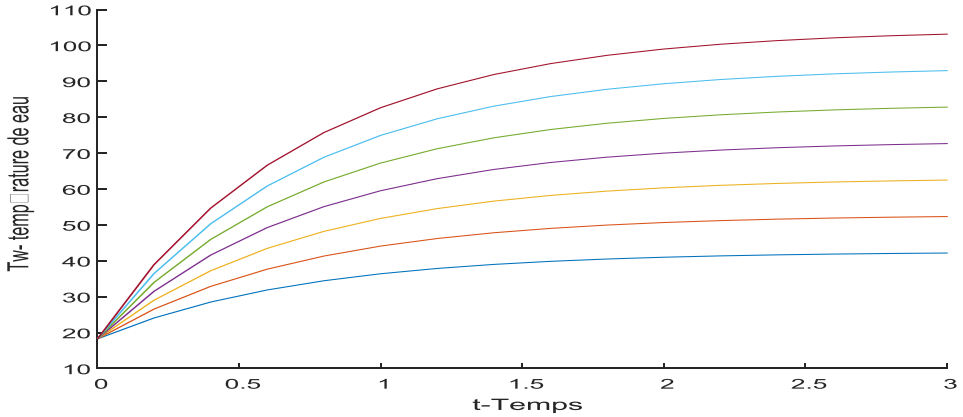

Fig. III.4.les températures d'eau en fonction de temps, pour des radiations solaires globales varié. **[100 :100 :700]**

D'après les résultats mentionnés (Graphe III.3), on remarque que l'intensité du rayonnement solaire est plus importante que celle enregistrée au début du printemps.

La température de l'eau dans notre distillateur choisi est une fonction directe de l'intensité du rayonnement qui est la seule source thermique du système, on observe que 100 ^{o}C est la température efficace pour la produisant d'un distillant attendre à une valeur minimale 700 W/m^{2}d'intensité du rayonnement

Conclusion :

Les techniques utilisées pour augmenter le cumul journalier en eau distillée produite par les distillateurs solaires est le préchauffage de l'eau saumâtre à distiller par une chauffe -eau solaire. Cette technique est recommandée surtout pendant le climat nuageux ou en hiver, au début du printemps, ou à la fin d'automne quand l'ensoleillement solaire devient faible causant la chute de l'efficacité de ces appareils.

Le chauffe-eau solaire placé en amont du distillateur sert comme un support énergétique compensant la diminution remarquable observée dans l'intensité du rayonnement solaire durant la saison froide ou pendant le climat nuageux, il permet parfois de doubler la température d'entrée de l'eau salée et entraine une évaporation importante et rapide de l'eau saline conduisant ainsi à des améliorations importantes dans la quantité de l'eau distillée produite.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire concerne l'étude théorique et simulation par Matlab d'un distillateur solaire simple étage. Ce type de distillateurs solaires, sont des distillateurs plans. Notre intérêt a porté sur les différentes techniques de dessalement en général, et en particulier sur les distillateurs solaires, ces derniers sont basés sur le principe de l'effet de serre qui provoque une augmentation de la température et conduit par conséquent à l'évaporation de l'eau. Cette capacité d'évaporation grandit au fur et à mesure que la température augmente jusqu'à ce que l'air atteigne sa saturation en vapeur d'eau. La vapeur d'eau ainsi obtenue se condense sous le vitrage. Puis l'eau condense s'écoulent vers la partie inférieure du vitrage dans une gouttière conduisant à un réservoir de stockage de récupération du distillat, (Le distillateur se compose d'un bassin recouvert d'une couche noire absorbante et d'un couvert transparent en verre ou parfois en plastique mis en pente), ainsi que sur les capteurs. Après avoir introduit des notions sur l'irradiation solaire et le gisement solaire. Nous avons établi les équations gouvernant un seul système (distillateur plan), en régime transitoire une approche numérique basée sur la méthode d'itération de Gauss Seidel est utilisée pour la résolution des équations qui régissent le fonctionnement de ces systèmes. Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence des paramètres externes et internes sur les caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire notamment la production. l'irradiation solaire qui reste le paramètre le plus influant sur ces caractéristiques, et que ces dernières est à la même allure que la variation temporelle de l'irradiation solaire, ainsi que l'augmentation de la température ambiante conduit à un accroissement de ces caractéristiques (la température de l'eau, la production).

Et comme recommandation, les paramètres thermo physiques de la saumure influent considérablement sur la production, puisqu'ils dépendent des températures de la saumure et qui sont-elles même influencées par les paramètres d'ensoleillement, et de l'ambiance. A travers les résultats obtenus, on a constaté qui il faut maintenir :

- Un grand écart de température entre la surface d'évaporation et la surface de condensation.
- Une température d'eau d'appoint plus élevée, qui aurait d'une conductivité thermique élevée, une chaleur spécifique élevée et une diffusivité thermique

élevée et d'autre part une cinématique faibles et un coefficient de dilatation thermique élevée.

référence

[1]:A. Bonnier, Ph.d "Le soleil démystifié», vol.74, pp: 8, 9, 15, 36, 39.

[2] : J. Maratrey," Le soleil «, Club d'astronomie Quasar, février 2006, vol.17, pp :7, 10,11.

[3]: F. Dubois," La terre dans l'univers, la vie et l'évolution du vivant", vol.9, pp:2, 4,7.

[4]: N. Poize, » le gisement solaire », Rhônalpénergie-environnement-CNFPT-février 2007, vol.15, pp :3, 4, 5, 9.

[5]:Z. AZIZI, A. BOUZIANE « Etude du gisement éolien en Algérieet sur la Wilaya d'Adrar ». Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de licence en physique énergétique ; UNIVERSITE d'ADRAR.2014

[6]: E. Gouzien, "L'énergie solaire -comment exploiter au mieux l'énergie solaire ?", vol.32, p9, pp:10,11.

[7]: B.andré "la transmission de la chaleur" vol.1, tome 1.

[8] :P. Marty," transfert de chaleur Conduction et rayonnement"article (2012 ,2013).

[9] : j.brau " insa de layen "(2006)

[10] : B. mounir,c . naoil "échangeurs de chaleur technologie, calcul et design " livre

[11] : M. Sofiane"Contribution théorique et expérimentale à l'étude du bilan d'énergie et de masse d'un séchoir solaire de type serre. Application à la détermination de la cinétique de séchage des prunes" MEMOIRE**(** 2009)

[12] :G.Selma ,T. Rabiaa"Contribution à l'amélioration de rendement d'undistillateur solaire serre"Mémoire(2015)

[13]: P.I. Cooper, Digital of transient solar still process, solar energy (12) 313 (1969).

[14]:S Mohamed Hassen" étude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud – est algérien (aurgla) thèse (2014)

[15]: T .fatima "prédiction de l'irradiation solaire globale pour la région de tizi – ouzou par les réseaux de neurones artificiels " (2011)

[16]: Ma Iqbal, An introduction to solar radiation, Academic press, Canada, (1983).

[**17]:** B. ABDELMALEK "Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque " Mémoire

[18]:M. DAGUENET, Les séchoirs solaires, théorie et pratique. Unisco, Paris, (1985).

[19] : R. Bonhomme,les rayonnements solaires et le fonctionnement du couvert végétal; UnitéderechercheUnitéderecherchesenbioclimatologie,Thiverval-Grignon,France.

[20] :S.Benkaciali , K. Gairaa "Techniques de modélisations de l'irradiation solaire sur un plan incliné "Vol.3-pp.102-108

[21] :o.jacob "l'humanité face au changement climatique ***" livre(2009)***

[22]J.A. Duffie, W.A.Beckman. Solar engineering of thermal processes, 2nd Ed. New York: John Wiley and Sons, 1991.

[23]:S.Yasmine "Dimensionnement d'une installation de production d'hydrogène photovoltaïque dans la région de Ouargla"

[24]: B. Bouchekima, G. Bernard, R. Ouahes, M. Diboun, Etude théorique et application pratique du distillateur solaire à film capillaire, Int. J. Therm. Sci . 39(2000) 442-459.

[25]: R .Tripathi, G.N. Tiwari, "Performance Evaluation of a Solar Still by Using the Concept of Solar Fractionation, Desalination169 (2004) 69- 80.

[26]: T. Abderachid 'Etude et modélisation de deux distillateurs solaires symétrique et asymétrique à effet de serre doctorat 2014

[27]: http//fr.wikipedia.org/wiki/Loi de dittmar

[28] : Alain Maurel, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnelles d'approvisionnement en eau douce, Edition :Technique et Documentation, Paris (2001).

[29] : Artic les aquariophiles : https://www.aquaportail.com/definition-7304-eau saumatre.html

[30]: http://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Dittmar

[31]:A. Neilly, V. Jegatheesan and L. Shu (Australia); evaluating the potential for zero discharge from reverse osmosis desalination using integrated processes. Desalination and Water Treatment, Vol. 11 (2009) pp58-65.

[32]:P. Poovanaesvaran, M.A. Alghoul, K. Sopian, N. Amin M.I. Fadhel, and M. Yahya (Malaysia); Design aspects of small-scale photovoltaic brackish water reverse osmosis (PVBWRO) system. Desalination and Water Treatment, Vol. 27 (2011) pp210-223.

[33]:http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/le-dessalement-de-leau-de-mer-et-des-eauxsaumatres-840#d0e174

[34]:M.T. Myint, A. Ghassemi, N. Nirmalakhandan (USA); Modeling in Desalination electrodialysis reversal; Desalination and Water Treatment, Vol 27 (2011) pp255-267.

[35]: Sidem, "Fresh water through desalination", Paris, 27 Mai 1997.

[36]: M.A.S. Malik, G.M. Tiwari and A. Kumar, 'Solar Distillation', Pergamum Press Ltd., 1982.

[37]: P.I. Cooper, 'Solar Distillation, Solar Energy Progress in Australia and New Zealand'. In: Publication of the Australian and New Zealand Section of Solar Energy, Vol. 8, p. 45, 1969.

[38]: A.A.S. Malik, G.N. Tiwari, A. Kumar and M.S. Sodha, Solar Distillation,

Pergamon Press, Oxford, England, 1982.

[39]: K. Salima"étude théorique et numérique de système couples : distillateur plan – capteur et distillateur hot box capteur

[40]:A.A. Sfeir and G. Guarracina, Ingénierie des Systèmes Solaires, Applications à l'Habitat, Technique et Documentation, Paris, 1981.

[41]: M. Telks, Solar Distiller for Life Rafts, Office of Science, USA, 1945.

[42]: L.G. Savornin, Etude sur l'Evaporation et la Condensation de l'Eau dans les Distillateurs Solaires, Application Thermique de l'Energie Solaire dans le Domaine de la Recherche et de l'Industrie, Colloques Internationaux, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), 1961, 589–600.

[43]: E. Delyannis, The patros solar distillation plant, Sol. Energy, 12 (1968) 113–115.

[44]: P.I. Cooper, Digital simulation of transient solar stills process, Sol. Energy, 12 (3) 313, (1969).

[45]: Maurel A., Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres : Et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, Tec & Doc Lavoisier 2006

[46]: A. SafwatNafey, M. Abdelkader, A. Abdelmotalib, A.A. Mabrouk; Parameters affecting solar still productivity. Energy Conversion & Management Vol 41 (2000). pp. 1797-1809.

[47]: B. N'doye; Modélisation informatique des distillateurs solaires à effet de serre. Thèse de 3^{ieme}cycle, Perpignan. (1979).

[48]: G.N. Tiwari, A. Minocha, P.B Sharma and M.E. Khan; Simulation of convective masstransfer in a solar distillation process. Energy. Conv. Mgnt. Vol 38. (1997).pp 761 -770.

[49]: thèse étude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud – est algérien

[50]: thèse A. Chaker[1]et G. Menguy[2] "Efficacité Interne d'un Distillateur Solaire

[51] : S. nafila optimisation et modélisation d'une distillation solaireà ailettes avec stockage de chaleur doctorat 2014

[52]: B. Hichem'Etude et conception d'un distillateur solaire à usage agricole'Doctorat 2012

[53]: G.N. Tiwari, Enhancement of dally yield in a double basin solar still, Energy Conversion and Management 25(1) (1985) 49–50.

[54] : R.Vaillantl, Problème du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Editions Eyrolles (1975), France

[55]: W. E. Johnson, State of the art of freezing processes, their potential and future, Desalination 19(1976) 349 – 358.

[56]: H.ouahid' étude de la performance d'un distillateur solaire par un système de pre –chauffage solaire l'eau saumâtre 'mémoire de magister 2010

[57]: A.A. El Sebaii; Effect of wind speed on some designs of solar stills. Energy Conversion and Management, Vol 41 (2000). pp.523-538.

[58]: SATCUNANATHAN AND HANSEN: « An investigation of some parameters involved in solar distillation, Solar Energy », vol. 14, pp 353-363, 1973.

[59] : E. zayouti ; L. bouirden ; A.aharoune, M.banoni : « Distillation Solaire : Amélioration de la condensation de la vapeur d'eau dans les distillateurs solaire» Tétouan-Maroc, FIER'2002..

[60]:N. Bellel * et I. Tabet étude, réalisation et simulation numérique d'un distillateur solaire à cascade

[61] : S. Mohamed Hassen,'étude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud – est' Doctorat en Sciences Physiques 2014.

[62] : H.Zaidi,'Etude et Optimisation des Paramètres Thermo Physique en vue de l'Amélioration de la Performance d'un Distillateur Solaire', Mémoire de Magister, Université Mentouri , Constantine, 2006.

[63]: S.Satcunanathan and H.P Hansen, An Investigation of some of the parameters

Involved in solar distillation, Solar energy, 14(1973) 353-363.

[64]:H.ouahid,' étude de la performance d'un distillateur solaire par un système de par – chauffage solaire ' Mémoire de Magister, Constantine, 2010.

[65] :T. Abderachid', Etude et modélisation de deux distillateurs solaires symétrique et asymétrique à effet de serre', THESE DOCTORAT ,2014.

[66]: R.N. Morse, W.R.W. Read, Rational basis for engineering development of a solar still,Solar energy 12 (1968)5-17.

[67]:.J. A. Duffie, W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, rd Edition, John Wiley & Sons, New York USA, (5) (41) (2006) 85-103.

[68]: O.O.Badran and al; Evaluating of Thermal performance of a single slope solar still. Heat Mass Transfer. Vol.43(2007) pp 985-995.

[79]:RV. Dunkle; Solar water distillation: the roof type still and a multiple effect diffusion still. International Developments in Heat Transfer, Part V, University of Colorado, (1961) p. 895.

[70]: R.V. DUNKLE, Solar water distillation: «The Roof Type Still and a multiple diffusion Still», Commonwealth scientific and industrial research organization, Victoria, Australia, p895-902 edition 1961

[71]: V.B. Sharma, S.C. Mullick, Estimation of heat-transfer coefficients, the upward heatflow and evaporation in a solar still, ASME J. Sol. Energy Eng. 113 (1991) 36–41.

[72]: M.T. Chaibi, Analysis by simulation of a solar still integrated in a greenhouse roof, Desalination 128 (2000)123-138.

[73]: TIWARI.A.Kr, TIWARI.G.N; « Effect of the condensing cover's slope on internal heat and mass transfer in distillation: an indoor simulation», Desalination 180 (2005), pp.73-88

[74]: M. sabah,' heat transfer energy balance model of single slope solaire still '

[75] : SFEIR A.A., GURRACINOG « Ingénierie des systèmes solaire. Application à l'habitant ». techniqueetdocumentation. Paris-(1981).

[76]: ROBERT SIEGAL: « Thermal Radiation, heat transfert, hemisphere » publishing corporation 1981.

[77] :neal

Résumé

La distillation solaire en utilisant un distillateur simple est l'une des méthodes simples et modernes utilisés fréquemment pour obtenir de l'eau potable à partir de l'eau salée avec un prix de revient plus bas à raison de sa dépendance à l'énergie solaire propre et moins coûteuse.

Un programme de simulation numérique a été développé pour l'étude théorique et numérique du distillateur solaires plan , Nous avons établi les équations régissant le fonctionnementd'un distillateur solaire dont la résolution a été abordé par une approche numériqueLes résultats obtenus permettent de mettre en évidence l'effet de nombreux paramètres météorologiques sur les caractéristiques de fonctionnementd'un distillation solaire dans la région (Sud-Algérien).

Nous proposons une augmentation de la température et conduit par conséquent à l'évaporation de l'eau. Cette capacité d'évaporation grandit au fur et à mesure que la température augmente jusqu'à ce que l'air atteigne sa saturation en vapeur d'eau. La vapeur d'eau ainsi obtenue se condense sous le vitrage. Il a été conclu que la température d'eau doit être plus élevée, pour aurait une bonne efficacité de condensation.

تحليل الماء عن طريق الطاقة الشمسية بالمصفى البسيط هي من الطرق البسيطة والمتحضرة المستعملة بكثرة للحصول على ماء صالح للشرب انطلاقا من الماء المالح بثمن اقل.

برنامج تحلية الرقمية تطور من اجل دراسة نظرية ورقمية للمصفى الشمسي البسيط طبقنا قمنا بتطبيق المعدلات الخاصة بتوظيف المصفى الشمسي النتائج المتحصل عليها تسمح بوضع العديد من البينات البيداغوجية على مميزات توظيف المصفى الشمسي في منطقة جنوب الجزائر.

نقترح ارتفاع في درجة الحرارة يؤدي الى تبخر الماء قدرة هدى التبخر تكبر مع استمرار ارتفاع في درجة الحرارة بخار الماء المتحصل عليه يتكثف في حاجب الزجاجي. خلاصتا ظهر ان درجة حرارة الماء يجب ان تكون مرتفعة من اجل الحصول على تكثف فعال.