

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

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT : Physique

N° :



DOMAINE : Sciences de la Matière

FILIERE : Physique

OPTION : Énergie Solaire

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: BABECHE Aziza

Intitulé

Etude numérique du dessalement de l'eau
saumure par un distillateur solaire

Soutenu le 25 / 05 / 2017 devant le jury composé de:

HADDAD Zakaria	Université Mohamed BOUDIAF	Président
NAHOUI Azzedine	Université Mohamed BOUDIAF	Rapporteur
KhALFALLAH Fares	Université Mohamed BOUDIAF	Examineur

Année universitaire : 2016/2017

Remerciement

Remerciements

Je remercie Dieu le tout puissant qui m'a donné le courage et la patience durant toute la période de réalisation de ce mémoire.

Je tiens à exprimer mon respect à M^r NAHOUI Azzedine qui m'a proposé ce sujet et le soutien moral et ses conseils durant la période de réalisation de ce mémoire.

Je remercie monsieur HADDAD Zakaria maitre assistant à l'université Mohamed BOUDIAF Msila qui a accepté de présider le jury de soutenance.

Je remercie monsieur KALFALLAH Fares maitre assistant à l'université Mohamed BOUDIAF Msila qui a accepté de débattre le sujet en question.

Enfin, je remercie également toute personne qui m'a donné de l'aide pendant cette phase de réalisation de ce mémoire et tous mes collègues de la promotion 2012/2017.

Merci à tous.

Dédicace

Dédicace

*Je dédie ce travail à notre prophète **Mohamed (Alieh el salat Wa Salem).***

A mon très cher Père

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour,
L'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.
Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et
Nuit pour mon éducation et mon bien être.
Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as
Consentis pour mon éducation et ma formation.*

A ma très chère mère

*Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le
Symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et
L'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et
De prier pour moi.
Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours
Pour mener à bien mes études.
Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour
Exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as
Cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance
Et même à l'âge adulte.*

« Que dieu vous garde »

***A mon époux** Abed El basset*

***A mes très chers frères** Yacine et Choaibe*

***A mes très chères sœurs** Fatima et Meriem*

A tous mes amies

A tous les étudiantes

Tous ceux qui me sont chers

Sommaire

* Nomenclatureur

* Listes des figures

* Introduction

* Recherche bibliographique

Chapitre1 : Généralités sur le dessalement

1 Généralités sur l'énergie solaire.....	1
1.1 L'histoire de l'énergie solaire.....	1
1.2 Energie solaire	1
1.3 Constitution physique du soleil.....	2
1.4 Structure et composition de l'atmosphère.....	3
1.5 Caractéristiques physiques et géométriques Solaires	3
1.6 Géométrie et atmosphère	4
2 L'eau	5
2.1 L'eau de mer.....	6
2.2 L'eau saumâtre.....	6
2.3 L'eau potable.....	6
2.4 L'eau distillée.....	6
2.4.1 Domaine d'utilisation.....	6
3 la distillation solaire.....	7
3.1 Définition de la distillation.....	7
3.2 Principe de la distillation solaire.....	7
4 Historique de l'évolution de la distillation thermique.....	8
5 Les différents types de distillateurs solaires.....	10
5.1 Distillateur à simple effet.....	10
5.1.1 Distillateur à pente unique.....	10
5.1.2 Distillateur solaire à double pente	11
5.1.3 Distillateur solaire terre- eau.....	11
5.1.4 Distillateur sphérique à balayage.....	12
5.1.5 Distillateur solaire a film capillaire.....	13
5.2 Distillateurs à multiples effets.....	14

5.2.1	Distillateur à diffusion.....	14
5.2.2	Distillateur solaire a cheminée.....	15
5.2.3	Distillateur à mèche évaporant.....	16
6	Les principales technologies de dessalement des eaux.....	17
6.1	Les procède utilisant des membranes.....	17
6.1.1	L'osmose inverse.....	17
6.1.2	L électrodialyse.....	18
Chapitre2 : Modélisation mathématique		
1	Bilan Thermique.....	20
1.1	Bilan thermique de la vitre.....	20
1.1.1	Apport par rayonnement eau-vitre.....	20
1.1.2	Apport par convection eau-vitre.....	21
1.1.3	Apport par évaporation.....	21
1.1.4	Apport par rayonnement vitre – milieu ambient.....	22
1.1.5	Apport par convection vitre – milieu ambient.....	22
1.2	Bilan thermique de la masse d'eau.....	22
1.2.1	Apport par convection bassin – eau.....	22
1.3	Bilan thermique du bac absorbant.....	23
1.4	Bilan thermique de l'isolant.....	24
2	Hypothèses.....	24
3	Reformulation du Bilan thermique.....	24
3.1	Reformulation du Bilan thermique de la vitre.....	24
3.1.1	Apport par rayonnement eau-vitre.....	25
3.1.2	Apport par convection eau-vitre.....	25
3.1.3	Apport par évaporation.....	26
3.1.4	Apport par rayonnement vitre – milieu ambient.....	26
3.1.5	Apport par convection vitre – milieu ambient.....	26
3.2	Bilan thermique de la masse d'eau.....	26
3.2.1	Apport par convection bassin – eau.....	27
3.3	Bilan thermique du bac absorbant.....	27
Chapitre3 : Résolution numérique		
1	Equations utilisées.....	29
2	Les paramètres physiques utilisés.....	31

3 Nombres sans dimension.....	32
4 Méthode de Gauss-Seidel.....	33
4.1 Principe.....	33
4.1.2 Conditions de convergence.....	34
4.2 Résolution du système d'équations considère.....	34
Chapitre4 : Discussion des résultats	
1. Effet de l'irradiation.....	36
1.1 Effet de l'irradiation sur la température de la vitre.....	36
1.2 Effet de l'irradiation sur la température de l'eau	36
1.3 Effet de l'irradiation sur la température du bac.....	37
2. Effet de la vitesse du vent.....	37
2.1 Effet de la vitesse du vent sur la température de la vitre.....	38
2.2 Effet de la vitesse du vent sur la température de l'eau.....	38
2.3 Effet de la vitesse du vent sur la température du bac.....	39
3. Effet de l'épaisseur de la masse d'eau	40
3.1 Effet de l'épaisseur de la masse d'eau sur la production	40
4 Effet de l'irradiation sur la production.....	40
5 Effet de la vitesse du vent sur la production.....	41
* conclusion	
* Références bibliographiques	
* Résumé	

Nomenclature

Symboles	Désignations	Unités
h_{R,E_V}	Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitre	$[W/m^2.K]$
h_{C,E_V}	Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le film d'eau et le vitrage	$[W /m^2.K]$
h_{Evap}	Coefficient de transfert de chaleur par évaporation-Condensation entre le film d'eau et le vitrage	$[W /m^2.K]$
h_{R,V_ciel}	Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement par la vitre vers l'extérieur	$[W /m^2.K]$
h_{C,V_A}	Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'extérieur	$[W /m^2.K]$
h_{C,B_E}	Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le fond du bac et le film d'eau	$[W /m^2.K]$
Q_{R,E_V}	Flux thermique par rayonnement entre le film d'eau Et la vitre	$[w/m^2]$
Q_{C,E_V}	Flux thermique par convection entre le film d'eau et Le vitrage	$[w/m^2]$
Q_{Evap}	Flux thermique par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage	$[w/m^2]$
$Q_{R.v-a}$	Flux thermique par rayonnement par la vitre vers L'extérieur	$[w/m^2]$
Q_{C,V_A}	Flux thermique par convection entre la vitre et l'extérieur	$[w/m^2]$
Q_{C,B_E}	Flux thermique par convection entre le fond du bac et le film d'eau	$[w/m^2]$
$Q_{Cond,I-B}$	Flux thermique par conduction entre l'isolant et le Bac	$[w/m^2]$

T_v	Température de la vitre	[c°]
T_e	Température de l'eau	[c°]
T_b	Température du bac	[c°]
T_a	Température de l'air ambiant	[c°]
T_c	Température du ciel	[c°]
C_{p_v}	chaleur spécifique à pression constante de la vitre	[j/Kg.K]
C_{p_e}	chaleur spécifique à pression constante de l'eau	[j/Kg.K]
G_h	L'irradiation	[w/m ²]
σ	Constante de STEFFAN-BOLTZMAN	[w/m ² .k ⁴]
ε_{eff}	Emissivité effective	-
ε_e	Emissivité de l'eau	-
ε_v	Emissivité de la vitre	-
P_E	Pression de vaporisation à T_E	[Pa]
P_V	Pression de vaporisation à T_v	[Pa]
V	la vitesse du vent	[m/s]
Nu	Nombre de NUSSELT	-
Gr	Nombre de GRASHOF	-
Pr	Nombre de PRANDLT	-
β	Coefficient d'expansion volumétrique de l'eau en	[K ⁻¹]
L	Longueur du bac absorbant	[m]
ρ_E	La masse volumique de l'eau	[Kg/m ³]
ρ_v	La masse volumique de la vitre	[Kg/m ³]
g	L'accélération en	[m/s ²]
μ_e	La viscosité dynamique	[Kg/m/s]
λ_v	Conductivité thermique de la vitre	[w/m.k]
λ_e	Conductivité thermique de l'eau	[w/m.k]

λ_B	Conductivité thermique du bac	[w/m.k]
δ_B	Epaisseur du bac	[m]
δ_I	Epaisseur de l'isolation.	[m]
K_I	Conductivité thermique de l'isolation	[w/m.k]
h_I	Coefficient de transfert thermique de l'isolant	-
α_V	Coefficient de l'absorption de la vitre	-
α_E	Coefficient de l'absorption de l'eau	-
α_B	Coefficient de l'absorption du bac	-
h_{fg}	Chaleur latente de vaporisation	[KJ/Kg]

Listes des figures

Chapitre1

Figure 1.1 Carte de la moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue en Algérie

Figure 1.2 La distance Terre – Soleil

Figure 1.3 Principe de la distillation solaire

Figure 1.4 Distillateur à pente unique

Figure 1.5 Distillateur solaire à double pente

Figure 1.6 Distillateur solaire terre- eau

Figure 1.7 Distillateur sphérique à balayage

Figure 1.8 Distillateur solaire à film capillaire avec seul étage (DIFICAP)

Figure 1.9 Distillateur à diffusion

Figure 1.10 Distillateur solaire a cheminée

Figure 1.11 Distillateur à mèche évaporant

Figure 1.12 Procède de L'osmose inverse

Figure 1.13 L électrodialyse

Chapitre2

Figure 2.1 Bilans énergétiques d'un distillateur solaire simple

Chapitre4

Figure 4.1 Effet des radiations sur la température de la vitre

Figure 4.2 Effet des radiations sur la température de l'eau

Figure 4.3 Effet des radiations sur la température du bac

Figure 4.4 Effet de la vitesse du vent sur la température de la vitre

Figure 4.5 Effet de la vitesse du vent sur la température de l'eau

Figure 4.6 Effet de la vitesse du vent sur la température de bac

Figure 4.7 Effet de la longueur du bac sur la température de la vitre

Figure 4.8 Effet de la longueur du bac sur la température de l'eau

Figure 4.9 Effet de la longueur du bac sur la température du bac

Introduction

Introduction

La quantité d'eau totale sur Terre est restée stable depuis plus de 3,5 milliards d'années qu'elle est apparue. L'eau s'évapore, forme la vapeur d'eau qui, en se transformant en pluie, va alimenter les mers, les cours d'eau et les nappes souterraines. Dans l'atmosphère, l'eau est surtout présente à l'état de vapeur. Puis sous l'effet du refroidissement, l'eau passe de l'état de vapeur à l'état liquide (pluie) ou à l'état solide (neiges, glaces polaires). Il y a toujours autant d'eau qui s'évapore que d'eau qui tombe en précipitations, mais pas au même endroit, ni au même moment. Le moteur de ce cycle est le soleil, ou plus exactement l'énergie solaire qu'il dégage. En effet, c'est cette dernière qui entraîne les changements d'état de l'eau: la formation et la fonte des glaces, ou encore l'évaporation de l'eau et son élévation dans l'atmosphère.

L'eau douce est une matière essentielle dans notre vie quotidienne. Sa disponibilité dans le monde diminue sous l'effet de la croissance démographique de l'expansion de l'activité industrielle et du changement climatique. Pour satisfaire la demande en eau douce dans des régions où les réserves sont insuffisantes, plusieurs pays ont fait Plusieurs méthodes physiques pour l'obtention de l'eau douce à partir l'eau de mer et nous parler dans notre mémoire sur le dessalement de l'eau de mer ou l'eau saumure, l'eau disponible sur notre planète se trouve à 97% dans les mers et les océans. Elle doit alors être traitée pour être rendue potable. L'homme a commencé par produire des petites quantités à partir de simples bouilleurs pour arriver au cours des dernières années à une production de 815120 m³/jour.

Le présent mémoire est composé de quatre chapitres, une introduction et enfin une conclusion. Le mémoire commence par une petite recherche bibliographique, une revue générale sur le principe de dessalement, ensuite une modélisation mathématique sur les équations régissant le problème physique, puis une résolution numérique, un chapitre consacré aux résultats obtenus avec discussions et enfin une conclusion générale.

Recherche bibliographique

A. Sadi, est étudié expérimentale sur site réel d'une petite unité de dessalement par osmose inverse alimentée par un générateur photovoltaïque. Ce type d'étude nécessite d'être encouragé afin de maîtriser davantage cette technologie. [1]

Boukerzaza Nassima, est étudié une étude théorique et numérique de deux types de distillateurs solaires, le distillateur plan et le distillateur sphérique. Ils établi les équations régissant le fonctionnement d'un distillateur solaire dans la résolution a été abordé par une approche numérique basé sur la méthode de Gauss Seidel d'itération. Les résultats obtenus permettent de mettre en évidence l'effet de nombreux paramètres météorologiques sur les caractéristiques de fonctionnement. Ils obtenus qui permis de mettre en évidence l'effet de nombreux paramètres sur les caractéristiques de fonctionnement. Il apparaît en particulier qu'une augmentation de l'irradiation globale qui reste le paramètre le plus influant, conduit à un accroissement de ces caractéristiques. Néanmoins une trop grande puissance incidente peut produire l'effet inverse. Concernant la vitesse du vent, ils montré que dans un premier temps, l'effet du vent favorise l'échange. Il en résulte une augmentation de la production et des efficacités globale et interne. Cependant, au-delà d'une valeur approximativement égale à 2 m/s, l'effet devient défavorable. Ils remarqué que la production du distillateur sphérique (5 à 7 litres/m² et par jour) est supérieure à celle du distillateur plan. De même que pour les efficacités globale et interne. Du fait de sa faible inertie thermique les grandeurs caractérisant le distillateur sphérique suivent plus rapidement les variations du flux solaire incident et Les pertes thermiques sont plus importantes pour le distillateur plan que pour le distillateur sphérique. [2]

Abla Chaker et autres, ont étudié expérimentalement de l'efficacité interne et de l'efficacité globale. Sur deux types de distillateur; le distillateur plan et le distillateur sphérique à balayage. Le programme de calcul élaboré permet également de préciser l'effet des pertes thermiques sur les caractéristiques de fonctionnement. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence l'effet de nombreux paramètres sur les efficacités interne et globale. Il apparaît en particulier qu'une augmentation de l'irradiation globale qui reste le paramètre le plus influant, conduit à un accroissement des efficacités. Néanmoins une trop grande puissance incidente peut produire l'effet inverse. Du fait de sa faible inertie thermique, les grandeurs caractérisant le distillateur sphérique suivent plus rapidement les variations du flux solaire incident. [3]

A. Deliou et autres, ont étudié expérimentalement l'effet des paramètres de conception et d'ensoleillement, sur l'évolution de la production et sur l'efficacité interne et globale d'un distillateur solaire de type chapelle réalisé au niveau du laboratoire. Leur distillateur fonctionne sous les conditions climatiques de la ville de Bou-Ismaïl (située à 3639' de latitude, 242' de longitude et à environ 5 m d'altitude). Cet équipement a été testé pendant les mois de mai, juin et juillet 2007. La production journalière enregistrée en eau distillée varie de 4.80 à 6.55 litres sous un rayonnement journalier reçu sur le plan et variant dans une marge de 481.741 à 900.81 W/m², sous une température ambiante qui varie de 20.6 à 32.5 °C. L'étude de l'influence de l'irradiation globale, la température ambiante, la température de l'eau sur l'efficacité du distillateur à effet de serre de type chapelle par l'approche de la méthode du bilan thermique global. Les résultats obtenus ont montré que la production, l'efficacité interne et globale du distillateur solaire accroît avec l'irradiation solaire et l'augmentation de l'écart des températures ambiantes et les températures de l'eau. L'efficacité optique obtenue expérimentalement par la méthode du bilan global (0.839) et comparée à la valeur théorique (0.85) est en bon accord, si on prend en considération toutes les erreurs. Et pour améliorer le rendement, il faudra :

- Augmenter l'angle d'inclinaison pour accélérer la condensation.
- Afin d'augmenter l'absorption, on recommande d'utiliser soit du verre d'épaisseur supérieur à 3 mm ou bien de verre armé. [4]

Mandi Benaïssa, est étudié une étude théorique et numérique de deux types de distillateurs solaires, le distillateur plan et le distillateur hybride. Ils ont établi les équations régissant le fonctionnement d'un distillateur solaire dans la résolution a été abordé par une approche numérique basée sur la méthode itérative de Gauss Seidel. Ils ont fait une analyse thermo physique de la production d'un distillateur par voie solaire. Pour améliorer le rendement du distillateur, ils ont couplé les deux formes d'énergie solaire (solaire photovoltaïque et solaire thermique) dans un distillateur hybride. Un système d'équations régissant le fonctionnement des deux distillateurs a été résolu par la méthode d'itération de Gauss Seidel. Ils ont permis de faire une comparaison entre le rendement du distillateur simple à effet de serre et le distillateur hybride et de définir le quel des deux distillateurs donne le meilleur rendement. Il apparaît en particulier qu'une augmentation de l'irradiation solaire globale qui reste le paramètre le plus influant, conduit à un accroissement de ces caractéristiques. Concernant la vitesse du vent, ils ont montré qu'une augmentation de la vitesse du vent favorise l'échange. Il en résulte une augmentation de la production. Les paramètres thermo physique de la saumure et du mélange air vapeur d'eau influent considérablement sur la production, puisqu'ils dépendent des

températures de la ssaumure et du mélange et qui sont elles même influencées par les paramètres d'ensoleillement, de l'ambiance et de la construction. Il apparait qu'une augmentation de la résistance électrique dans le distillateur hybride, conduit a un accroissement de production plus élève para port au distillateur thermique solaire. [5]

H. Osman Ali et al, ont étudié un distillateur solaire actif avec récupération de chaleur par échange avec l'eau de mer entrant dans la cuve. Une étude paramétrique a été effectuée en fonction des paramètres: température d'entrée du fluide caloporteur, température d'entrée de l'eau de mer et longueur de la cuve. L'analyse de variance a montré que dans le domaine des paramètres étudiés la longueur de la cuve a un effet considérable sur l'eau distillée produite par le dispositif. Plutôt que d'envisager une récupération de la chaleur pour chauffer l'eau de mer en entrée, il est plus rentable dans ce cas de rallonger la longueur de la cuve. L'effet de la température de l'eau de mer est resté négligeable tant que cette température ne dépasse pas la valeur 30°C. [6]

Paul Byrne et autres, Ils faire une étude bibliographique menée dans le cadre d'un projet de couplage d'une machine frigorifique avec un système de dessalement et présente les quantités d'énergie consommée et les indices de comparaison usuels (GOR, Gained Output Ratio et PR, Performance Ratio) pour différents systèmes de dessalement testés dans leur laboratoire ou dont les données ont été récoltées dans la littérature. Les systèmes étudié sont des installations d'osmose inverse, de distillation membranaire, de distillation multiple-effet et un distillateur solaire. Les résultats montrent que la distillation membranaire présente des caractéristiques intéressantes, notamment dans le cadre d'un couplage avec une source de chaleur à basse température. La valorisation de la chaleur perdue doit permettre d'obtenir des performances globales satisfaisantes dans les systèmes couplés. [7]

T. TAHRI et autres, ont étudié l'utilisation de l'eau de mauvaise qualité dans l'irrigation de l'agriculture, dans des zones arides comme les pays du Moyen Orient et du Nord d'Afrique (MENA).il retrouve L'agriculture représente 70% de la consommation des pays du MENA en matière d'eau douce. C'est ainsi que le dessalement est, par excellence, l'une des technologies qui s'est avérée efficace pour répondre aux besoins de l'agriculture, l'industrie et les besoins alimentaires et domestiques, Dans la région de l'Asie Pacifique où vit 60% de la population mondiale, un habitant sur trois n'a pas accès à l'eau potable et le manque d'eau sera un facteur qui limitera la production de la nourriture dans ces régions. Quatorze pays africains souffrent du manque ou de la mauvaise qualité des eaux, et étudié l'impact de l'intensité du rayonnement solaire sur le débit du condensât mesuré. Les résultats ont montré l'intérêt de ce

paramètre sur le débit du condensât. On note que le débit du condensât mesuré croît avec l'intensité du rayonnement solaire. [8]

Chapitre 1

Généralité sur Le dessalement

Généralités sur la distillation

1 Généralités sur l'énergie solaire

1.1 L'histoire de l'énergie solaire

L'énergie solaire mérite assez peu le terme, souvent employé, d'énergie nouvelle. Depuis Antiquité les hommes ont su capter et utiliser l'énergie solaire : les égyptiens connaissent effet de serre et Archimède a incendié la flotte Romaine à Syracuse en utilisant des miroirs plans polis et groupés de façon à former des miroirs concaves. Les ressources énergétiques dont nous disposons sont classées en deux grandes catégories :

1. Les énergies denses qui ont été, et sont encore, très utilisées bien que le cycle de transformation soit long. Pour ces énergies le faible coût des investissements compense le coût du combustible.
2. Les énergies renouvelables, sont souvent diffuses et irrégulières. Elles sont gratuites mais au prix d'un surcoût d'investissement très élevé qui explique leur rentabilité médiocre. Cependant, ce handicap se réduit de plus en plus avec la hausse des prix des combustibles. Depuis 2000 ans on utilise plus d'énergie fossile qu'il ne s'en produit, et certaines ressources apparaissent aujourd'hui limitées. Les réserves en pétrole et en gaz seront épuisées dans un avenir relativement proche (30 ans environ), la houille blanche est déjà très exploitée dans les pays industrialisés, les énergies marémotrices et géothermiques ne pourront fournir qu'un appoint très modeste sur les besoins futurs. Les possibilités énergétiques de la fission de l'atome sont très vastes et expliquent le développement rapide des centrales nucléaires, cependant ce type de conversion de l'énergie peut entraîner en cas de développement important un certain risque de pollution. L'énergie solaire représente la seule source d'énergie dispensée à profusion et n'entraînant aucune pollution ; de plus c'est une énergie « importée », que nous recevons du soleil, qui ne « déstocke » pas de calories emprisonnées (calories qui ne se manifestent pas sans intervention humaine). C'est donc la seule énergie dont l'utilisation ne pourra pas modifier la température du globe. En contrepartie les limitations à l'emploi de l'énergie solaire sont nombreuses, elles proviennent surtout de son inconstance et de sa faible concentration. [9].

1.2 Energie solaire

L'énergie solaire est disponible en tout point du globe terrestre alors que les autres énergies conventionnelles sont concentrées en certaines sources (gisements pétroliers, centrales

électriques). L'énergie solaire ne nécessite pas d'être transportée vers les centres d'utilisation, cette dispersion est un avantage mais elle est contrariée par le fait que la puissance incidente par unité de surface est faible. Les réserves terrestres en combustibles fossiles et nucléaires ne représentent même pas 20% de l'énergie envoyée par le soleil en une année. Cette énergie, d'origine nucléaire extra-terrestre résultant des réactions chimiques, se trouve à des millions de kilomètres de la surface de la terre (près de 149 millions). Elle équivaut à $3,47 \cdot 10^{24}$ GWh, le soleil est inépuisable à l'échelle humaine bien que sa masse diminue de 5 millions de tonnes par seconde. La terre est considérée ici comme une sphère ayant un diamètre égal à $1,27 \cdot 10^7$ m donc 100 fois plus petit que celui du soleil. Elle est entourée de l'atmosphère où la pression de l'air diminue quant l'altitude augmente. La puissance solaire est de l'ordre de 1 kW/m^2 au niveau du sol. En ce qui concerne l'Algérie, nous avons au nord du pays $1700 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ pour 2600 heures d'ensoleillement ; dans les hauts plateaux $1900 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ pour 3000 heures d'ensoleillement et au sud $2200 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ pour 3400 heures d'ensoleillement. La dispersion fait que l'énergie solaire est disponible, c'est une énergie qui couvre les besoins décentralisés et à la portée des populations rurales [10].

1.3 Constitution physique du soleil

Le soleil est une sphère gazeuse d'hélium et d'hydrogène (80 % H_2 , 19 % H_e , 1 % autres éléments) son diamètre est d'environ $1,39 \cdot 10^9$ m, et sa masse est de l'ordre de $2 \cdot 10^{30}$ kg, son âge est d'environ $4,6 \cdot 10^6$ ans. Sa distance moyenne à la terre est de $149 \cdot 10^6$ km. Sa densité moyenne au centre est de $76 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ au centre, la masse du soleil représente 99,85 % de la masse totale du système solaire et $33 \cdot 10^4$ fois celle de la terre. La température de cœur est de l'ordre de 10^7 K tandis que la température à la surface du soleil est de 5760 K . A cause de l'ellipticité de l'orbite terrestre, la distance minimale se situe vers le 15 janvier, et la maximale vers la fin juin. [10] et [11]

Le Soleil n'est pas une sphère homogène, on peut y distinguer trois régions principales :

1- L'intérieur: où se crée l'énergie par réaction thermonucléaire et qui est inaccessible aux investigations, car le rayonnement émis dans cette région est totalement absorbé par les couches extérieures. La température atteint plusieurs millions et la pression un milliard d'atmosphère.

2- La photosphère: l'épaisseur est d'environ 300 km qui est responsable de la presque totalité du rayonnement solaire que nous recevons.

3- Chromosphère et couronne solaire: où la matière est très diluée, fait qui explique que bien que la température y soit très élevée (1 million de degrés) le rayonnement émis est très faible.

1.4 Structure et composition de l'atmosphère

L'atmosphère est constituée de plusieurs couches de caractéristiques différentes, ce sont:

1- La troposphère, entre le sol et 15 km d'altitude.

2- La stratosphère, entre 15 et 80 km d'altitude.

3- L'ionosphère, entre 80 et 200 km d'altitude.

Les caractéristiques absorbantes de l'atmosphère sont déterminées par la présence de:

- CO₂ (0,03%)
- Vapeur d'eau: en quantité variable caractérisée par l'épaisseur d'eau condensable qui est l'épaisseur d'eau que l'on obtiendrait en condensant toute la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère.
- Ozone O₃ située entre 10 et 30 km d'altitude.
- Aérosols: grains de sable, poussières, fumées... [11]

1.5 Caractéristiques physiques et géométriques Solaires

L'énergie solaire est disponible sur toute la surface de la terre. Notre planète reçoit 15000 fois l'énergie que l'humanité consomme. L'exploitation de cette énergie peut se faire soit thermiquement sous forme de chaleur par des capteurs solaires, soit par effet thermodynamique avec des capteurs utilisant des absorbeurs sélectifs, soit sous une forme photovoltaïque avec des modules constitués de cellules solaires. A titre d'exemple, les ressources annuelles d'énergie solaire en Algérie sont représentées dans la **Figure 1.1.** [12]

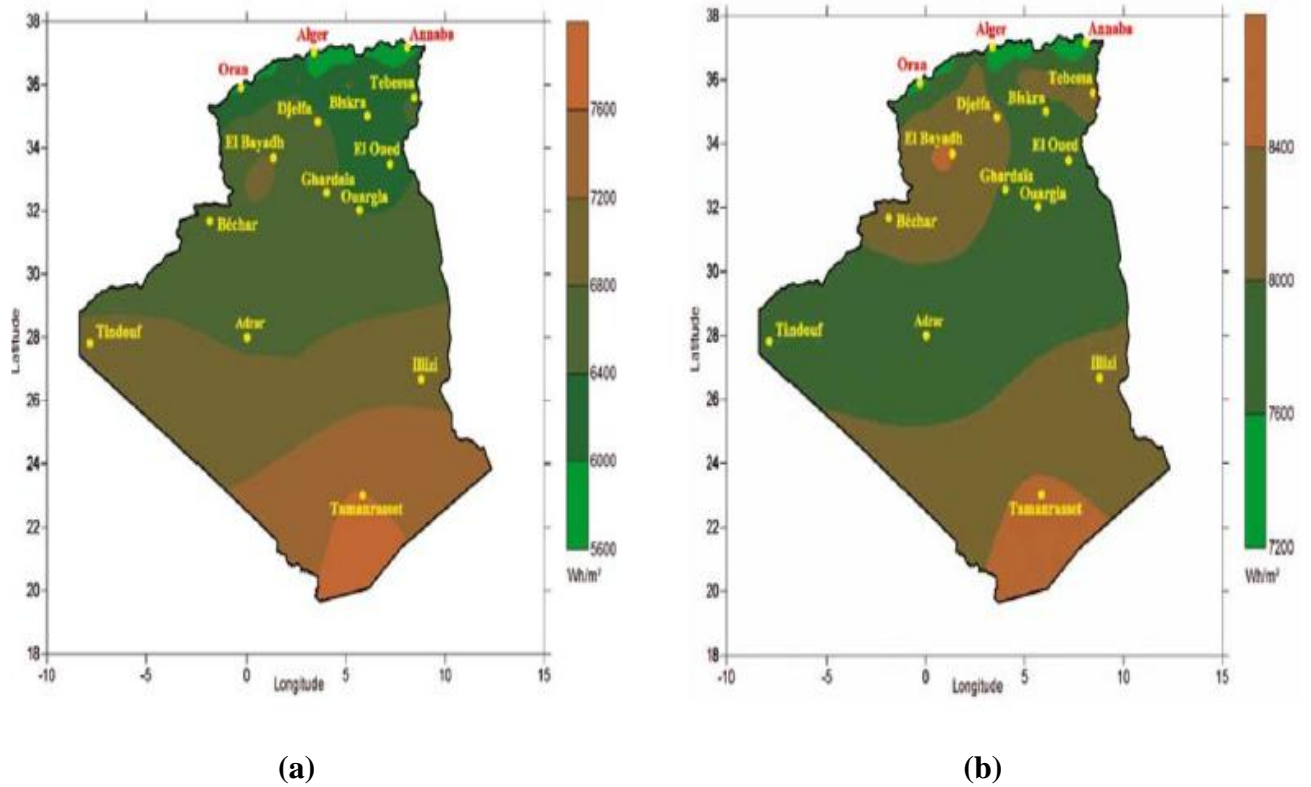


Figure 1.1 Carte de la moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue en Algérie
(a) Surface horizontale, cas d'un ciel totalement clair
(b) Surface inclinée à la latitude du lieu, cas d'un ciel totalement clair

1.6 Géométrie et atmosphère

La Terre est en mouvement de rotation autour du soleil en 365 jours 48 minutes 46 secondes (année tropique) et tourne autour d'elle même en 24 h. La distance moyenne Terre – Soleil est $d = 149$ millions de kilomètres. La trajectoire de la Terre autour du soleil est une ellipse faiblement excentrée. Les distances spécifiques sont :

- Au solstice d'été (21 juin), la Terre est éloigné au maximum : $d_{\max} = 1,017 \times d$
- Au solstice d'hiver (22 décembre), elle est à la distance minimale : $d_{\min} = 0,983 \times d$

L'observateur terrestre placé sur un cercle dont le soleil occuperait le centre verrait celui-ci sous un angle de $32'$ d'arc, soit environ $1/2$ degré. Voir **Figure 1.2**

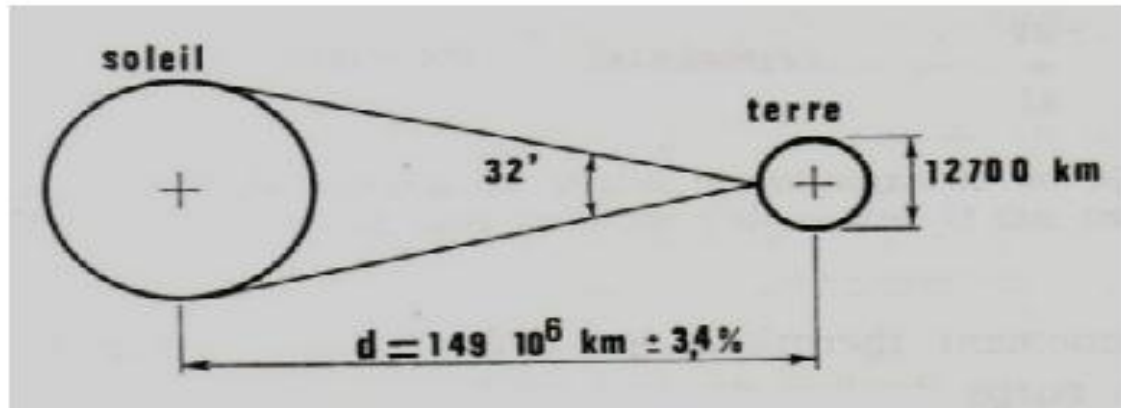


Figure 1.2 La distance Terre – Soleil. [12]

2 L'eau

L'eau est un capital vital, qui ne cesse de se répercuter dans l'esprit de l'homme, et tente surtout aux jours de ce troisième millénaire à vénérer ce liquide précieux et réagir contre toutes sortes de contaminations qui souillent ses ressources. L'eau est la source de vie, elle se retrouve dans les océans, les mers, les lacs, les nappes souterraines, ...etc. 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 minéraux et pour certains produits organiques.

Le tableau suivant représente la consommation de l'eau dans le monde :

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

Tableau (1) : Consommation mondiale d'eau par habitant. [9]

2.1 L'eau de mer

L'eau de mer contient en moyenne 35g/l de sels qui sont essentiellement des chlorures de sodium (76%) et de magnésium(11%), des sulfates de magnésium (5%), de calcium (3,5%) et de potassium (2,4%). Dans l'eau, Les sels sont sous forme d'anions chlorures et sulfates parallèlement aux cations sodium, magnésium, calcium et potassium.

L'eau de mer contient de 35 à 42g/l de sels minéraux dissous, La salinité de l'eau de mer n'est pas constante, elle étant différente selon les mers. [2] et [13]

2.2 L'eau saumâtre

Généralement, on appelle eau saumâtre une eau saline non potable, de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. En effet la plus part des eaux saumâtre ont une salinité comprise entre 1 et 10 g/l. Elle se présente soit sous forme d'eaux de surface soit sous forme d'eaux souterraines. [2]

2.3 L'eau potable

Selon les normes internationales de L'OMS (office mondial de la santé) une eau destinée aux usages domestiques doit avoir une salinité inférieure où égale à 500mg/l. De plus elle ne doit pas contenir plus de 250 mg/l de chlorures ni plus de 250 mg/l de sulfates. Pour les usages industriels et agricoles, les normes sont très variables, mais dans la plupart des cas il est souhaitable que la salinité ne dépasse pas 1000 à 1500 mg/l. [2]

2.4 L'eau distillée

L'eau distillée est une eau obtenue par évaporation et condensation d'une eau impure et qui est ainsi théoriquement pure exempte de minéraux et d'organismes que l'on pourrait retrouver dans l'eau « naturelle ».

L'eau distillée possède, à température ambiante, un pH d'environ 5,4 à cause du (CO₂) qui s'y dissout et se comporte comme un acide. Cette acidité tend à augmenter à cause des rejets de CO₂.

La conductivité électrique de l'eau distillée est proche de celle de l'eau pure qui est quasiment Nulle.

2.4.1 Domaine d'utilisation

Le but principal pour l'obtention d'eau distillée, c'est d'avoir de l'eau potable dans les régions défavorisées par l'absence d'eau. [14]

3 la distillation solaire

La distillation constitue aujourd'hui 70% des usines de dessalement dans le monde .Elle devient un facteur important de développement et de civilisation. Dans ce qui suit, les différentes techniques de dessalements seront exposées. [6]

3.1 Définition de la distillation

La distillation est un procédé qui comporte une évaporation, une condensation et une récupération de la chaleur libérée par la condensation. On procède à la vaporisation en fournissant de l'énergie sous forme de chaleur (procédés thermique) ou sous forme de travail mécanique (procédés par thermo compression). Cependant les techniques utilisées ainsi que les mécanismes de récupération d'énergie sont variés. Nous exposerons dans ce qui suit les procédés les plus couramment utilisés. [15]

3.2 Principe de la distillation solaire

La distillation solaire est l'une des techniques utilisées pour la production de l'eau douce à partir d'eau saumâtre et d'eau de mer grâce à l'énergie solaire. Il s'agit de réaliser artificiellement et à petite échelle ce que la nature fait journalière ment et à grande échelle et qui consiste en, l'absorption de la radiation solaire, par les océans, les lacs, les rivières, provoquant l'évaporation de l'eau. La vapeur produite est transportée, vers des régions plus froides par l'intermédiaire du vent. Quand la vapeur est refroidie, la condensation commence à provoquer des précipitations de pluies et éventuellement de la neige. L'homme a reproduit, en un modèle miniaturisé, ce cycle naturel (Figure 1.3).

Il faut distinguer deux catégories de procédés : la distillation solaire par « effet de serre » et la distillation par application d'un des procédés industriels de distillation thermique, la vapeur étant produite non par une chaudière classique, mais par une chaudière solaire. Dans le cadre de ce travail, notre intérêt portera, sur la première catégorie. [2]

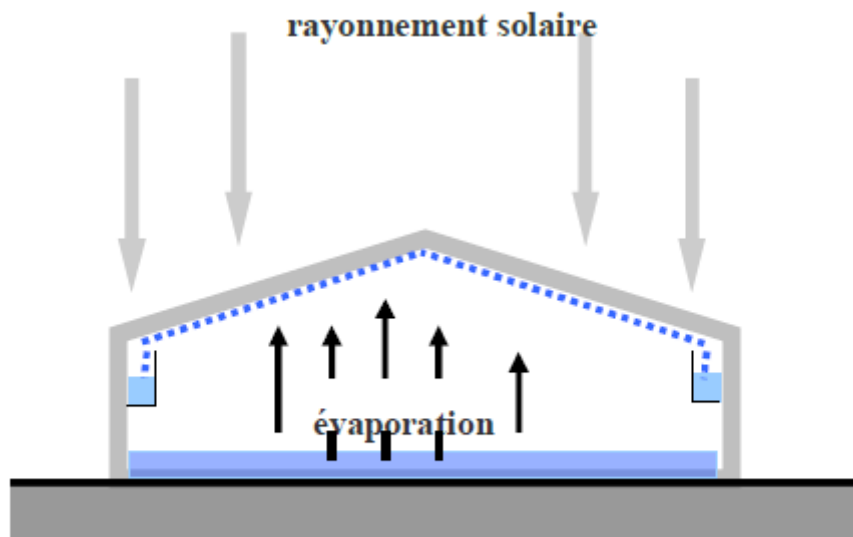


Figure 1.3 Principe de la distillation solaire.

4 Historique de l'évolution de la distillation thermique

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 l'ingénieur suédois Carlos Wilson, un ingénieur suédois avec une surface vitrée de 5000m², produisant jusqu'à 20m³ d'eau douce par jour à partir d'une eau saline contenant 140gr/l.

Ce système fonctionna jusqu'en 1910 à cause d'un problème d'accumulation rapide des sels dans le bassin, nécessitant un nettoyage régulier du distillateur. La distillation solaire connut une période creuse entre 1880 et la première guerre mondiale. En 1920, Kaush utilisa des réflecteurs en métal pour concentrer les rayons solaires; il en résulte l'apparition de nouveaux appareils (types toit, couverture en V, plateau incliné...etc.) [2].

Une installation due à Ginistous groupant 30 appareils de 1m² fut réalisée et exploitée à Bengardane en Tunisie en 1929. Au début des années 30, Trifinov proposa un distillateur inclinée; en 1938 Abbot utilisa des réflecteurs cylindriques paraboliques pour concentrer les rayons solaires, le tout est acheminé 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 2ème guerre mondiale. En 1969, Cooper proposa une simulation pour analyser les performances

d'un distillateur solaire type serre. 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. [6]

Plusieurs pays se sont intéressés à la distillation solaire parmi lesquels:

L'Algérie

En 1953 Cyril Gomela a développé différents types de distillateurs solaires; plus de 20 distillateurs solaires d'une dizaine de types ont été testés et certains d'entre eux ont été commercialisés à travers l'Afrique du Nord, le Sénégal et l'Australie .Des essais ont été effectués au Sahara de Biskra, à Tamanrasset et Adrar.

L'Australie

Le CSIRO (Common Wealth Scientific and Industriel Research Organization) a entrepris des recherches sur ce type de distillation, une unité similaire à celle de Gomela a été développée. Entre 1963 et 1967 le CSIRO a construit et testé plus de 8 distillateurs. Le but de ces tests était d'améliorer l'efficacité du distillateur. Une variété de matériaux a été utilisée pour la construction du distillateur.

Le Chili

En plus de l'installation du premier distillateur construit en 1872, d'autres sites de distillateurs inclinés ont été installés entre 1969 et 1970. Le but de ce travail était de prédire les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur sous différentes conditions atmosphériques.

L'Inde

En 1957, deux petits distillateurs solaires à effet de serre ont été construits pour étudier les effets de l'inclinaison de la vitre. Il a été constaté qu'un distillateur en verre avec une faible épaisseur de la solution donnait de bon rendement.

Les USA

Des centres de recherche, dont l'université de Californie ont entrepris, juste après la deuxième guerre mondiale, des recherches sur la distillation solaire. Plusieurs configurations d'un distillateur solaire simple ont été construites et testées pour essayer de réduire d'une part le coût et d'augmenter le rendement d'autre part ; les effets de nombreux paramètres, différents matériaux d'isolation ont été étudiés.

Plusieurs autres pays (Grèce, Tunisie, Maroc) se sont également consacrés à l'étude de la distillation solaire et ont ainsi réussi à améliorer la production [2].

5 Les différents types de distillateurs solaires

5.1 Distillateur à simple effet

C'est un distillateur qui a un seul évaporateur. Néanmoins il existe plusieurs modèles de ce type, le plus connu est le distillateur type bassin. Cependant, il présente un certain nombre d'inconvénients et principalement la position horizontale de la vitre qui intercepte moins de rayonnement solaire qu'une surface convenablement inclinée. Nous pouvons également citer les distillateurs à cuvette inclinée construits par Tlemat et Howe en 1966 à l'université de Californie et les distillateurs en cascades construits par Achilov et al en 1973 ces derniers présentent deux avantages, une couche d'eau très mince et une orientation par rapport au rayonnement incident qui se rapproche de l'optimum. [2]

5.1.1 Distillateur à pente unique

Le distillateur à pente unique incline d'un angle

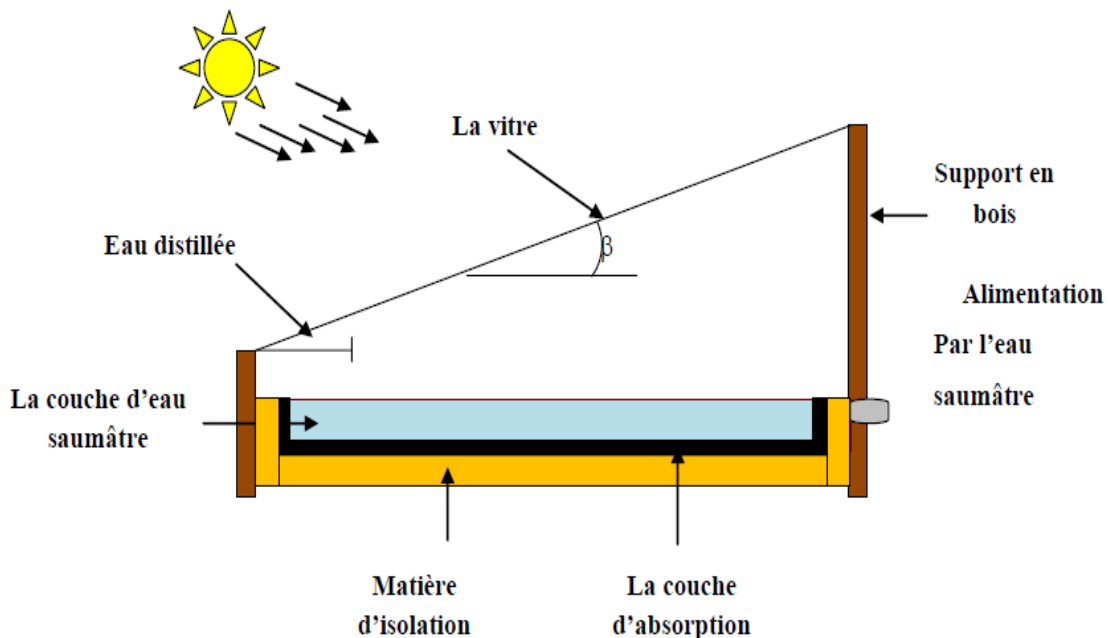


Figure 1.4 Distillateur à pente unique. [9]

5.1.2 Distillateur solaire à double pente

C'est un distillateur à double capteurs ou chacun d'eux est incliné d'un angle, son avantage est d'exposer, un capteur au soleil et un autre à l'ombre pour accélérer la condensation.

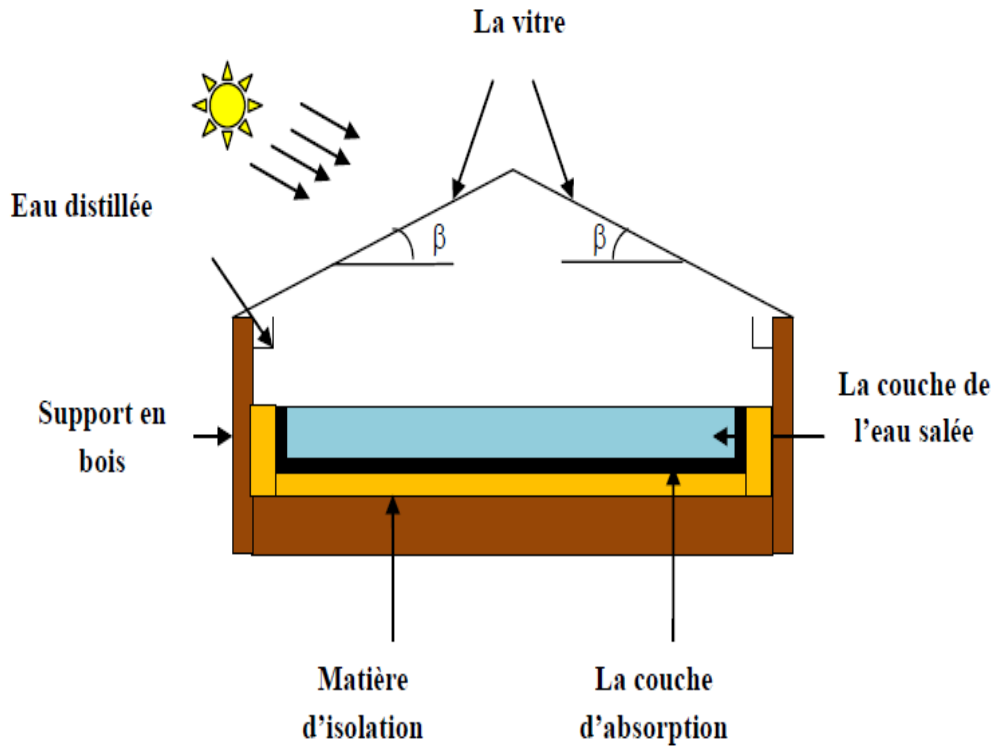


Figure 1. 5 Distillateur solaire à double pente. [9]

5.1.3 Distillateur solaire terre- eau

C'est un distillateur contenu dans le sol. Il est similaire au distillateur à doubles pentes, sauf que le sol remplace le bassin noir.

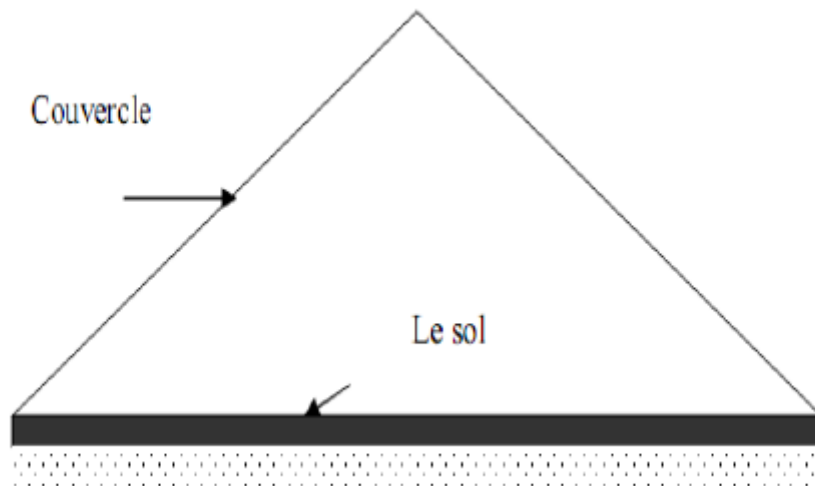


Figure 1.6 Distillateur solaire terre- eau

5.1.4 Distillateur sphérique à balayage

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

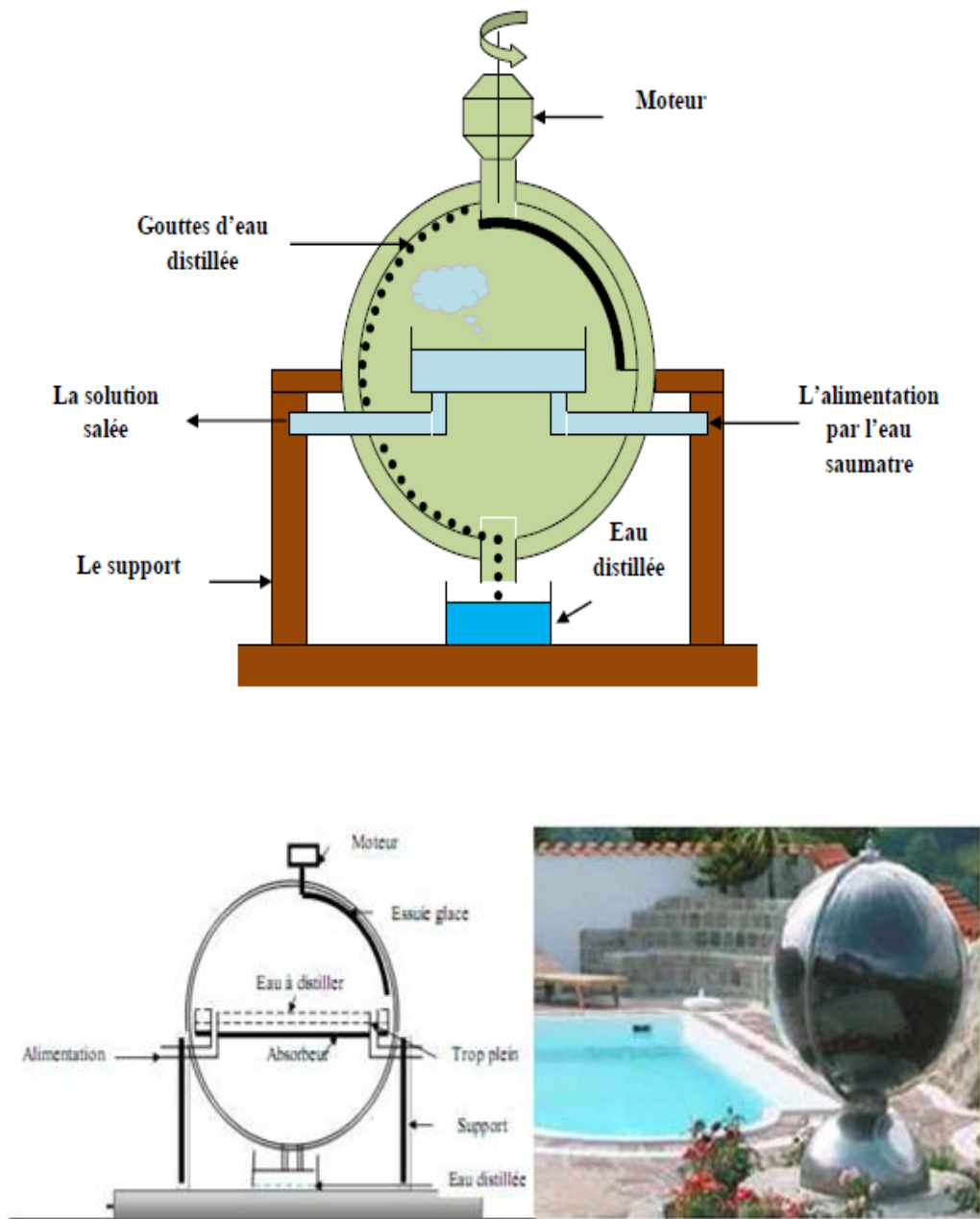


Figure 1.7 Distillateur sphérique à balayage. [9]

5.1.5 Distillateur solaire a film capillaire

Le distillateur solaire à film capillaire se compose comme suit :

- D'une très mince couche de textile a mailles fines, imbibée d'eau qui se maintient d'elle même au contact de la plaque jouant le rôle d'évaporateur. Les forces de tension inter faciales nettement supérieures à celles de la pesanteur, jouent un rôle très important dans la formation du film capillaire, de faible inertie thermique, en empêchant toute formation de bulles d'air.

- Ce distillateur est composé des éléments suivants : le capteur – évaporateur, le condenseur et l'alimentation. La première cellule capte le rayonnement solaire qui passe à travers la couverture.

La vapeur se condense sur la paroi opposée et la chaleur dégagée par cette condensation permet l'évaporation du film qui ruisselle sur l'autre face de cette même paroi. [6]

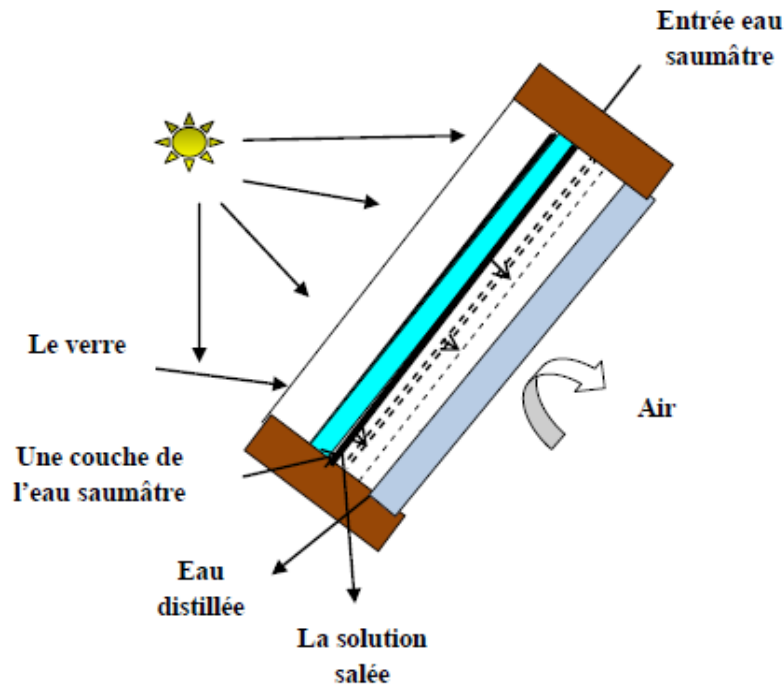


Figure 1.8 Distillateur solaire à film capillaire avec seul étage (DIFICAP). [9]

5.2 Distillateurs à multiples effets

La distillation à multiple effet (MED) comporte une série de cellules fonctionnant à des pressions et des températures décroissantes. Les pertes de chaleur sont inférieures et le rendement meilleur. Il peut être augmenté s'il y a compression de la vapeur. Les coûts énergétiques importants sont de l'ordre de 15 kWh par m³. [13]

5.2.1 Distillateur à diffusion

Cet appareil se compose principalement de deux parties : un réservoir de Stockage relié à un capteur et une série de plaque métallique parallèle et verticale. L'eau Chaude provenant du réservoir de stockage échauffe la première plaque et provoque L'évaporation de l'eau qui

coule sur le côté droit de celle-ci, la vapeur d'eau produite se Condense sur le côté gauche de la deuxième plaque, la chaleur de condensation libérée servira à évaporer l'eau qui coule sur le côté droit de la deuxième plaque et ainsi de suite jusqu'à la dernière plaque où la chaleur de condensation va contribuer au préchauffage de l'eau salée d'alimentation. [6]

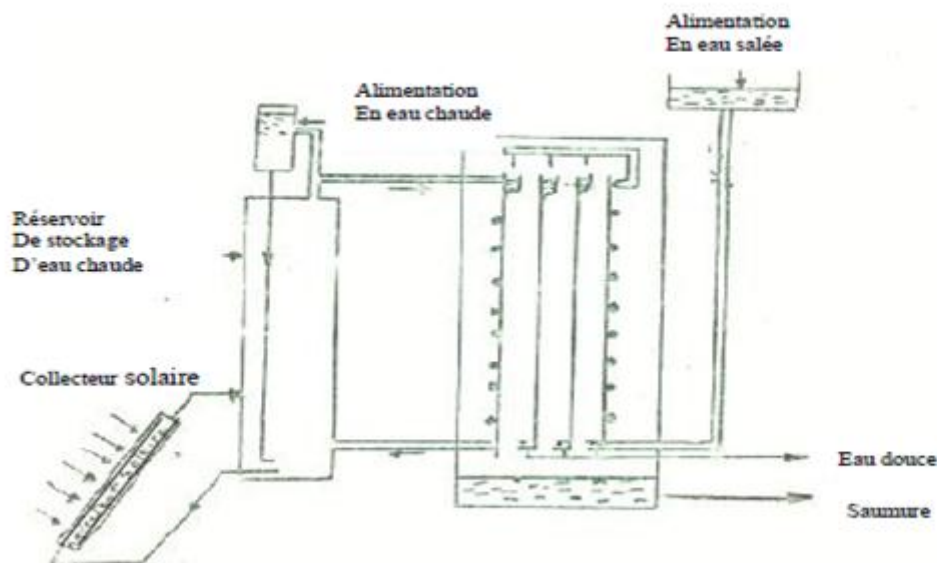


Figure 1.9 Distillateur à diffusion.

5.2.2 Distillateur solaire a cheminée

Ce distillateur se différencie des autres distillateurs conventionnels par l'adjonction d'une cheminée dans laquelle se trouve un échangeur de chaleur, le conduit plan couvert d'une vitre sert à capter l'énergie solaire.

Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau saumâtre qui coule dans le conduit s'évapore et monte dans la cheminée où il se condense, la chaleur de condensation peut être utilisée pour le préchauffage de l'eau entrant dans le système. [2]

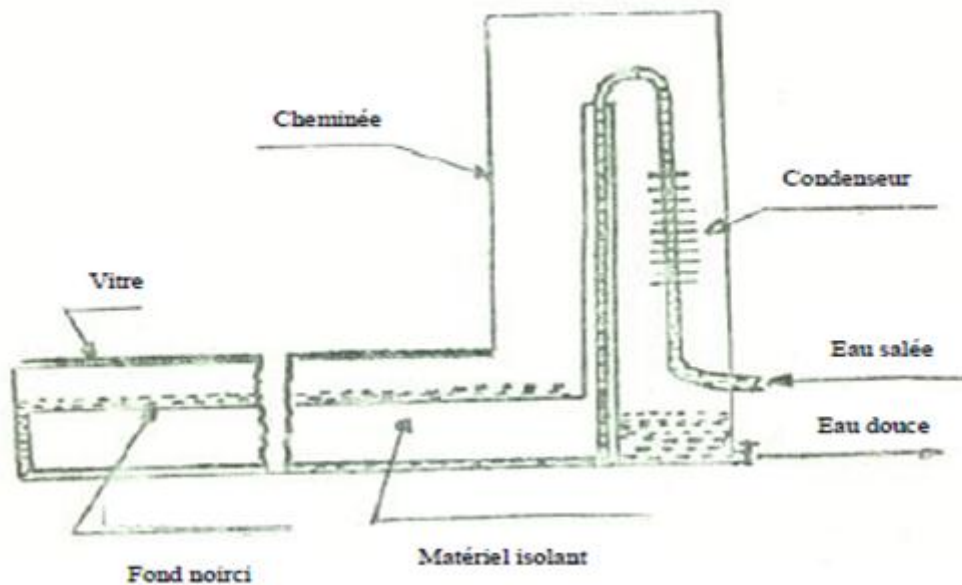


Figure 1.10 Distillateur solaire a cheminée.

5.2.3 Distillateur à mèche évaporant

Ce distillateur a été construit pour économiser la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation. L'évaporateur est constitué par la juxtaposition de trois plaques parallèles légèrement distinctes.

L'eau à distiller passe dans la première enceinte et arrive au capteur où elle s'échauffe puis s'évapore dans deuxième enceinte, et la condensation s'effectue sur la face inférieure du milieu. Les deux dernières plaques sont munies d'un grillage qui augmente l'échauffement et uniformise l'écoulement de l'eau. [2]

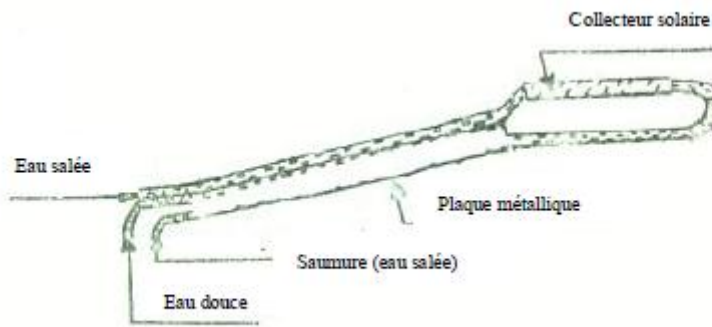


Figure 1.11 Distillateur à mèche évaporant.

6 Les principales technologies de dessalement des eaux

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux catégories. Selon le principe appliqué, on distingue :

6.1 Les procédés utilisant des membranes

Deux catégories :

6.1.1 L'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau des sels dissouts au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et s'opposent au passage des sels dissouts et des molécules organiques de 10-7 mm de taille. Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée, c'est le phénomène d'osmose inverse [14]. L'énergie requise par l'osmose

inverse est uniquement électrique. Consommée principalement par les pompes hautes pression. La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de 0,5 g/l. [6]

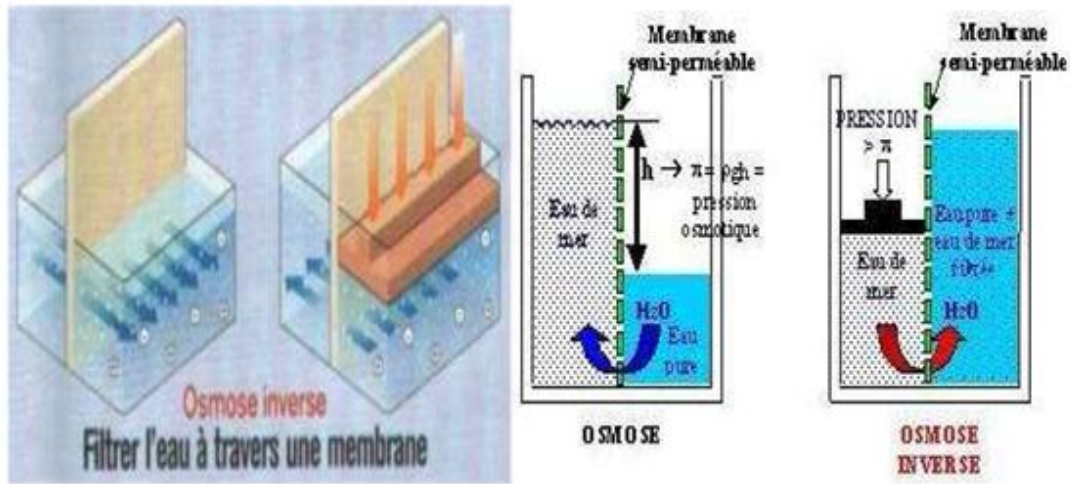


Figure 1.12 Procède de L'osmose inverse.

Le gros intérêt de l'osmose inverse est la possibilité de pouvoir construire des stations pouvant produire de l'eau potable de 0,5 m³/jour à 120 m³/jour, la qualité de l'eau est très supérieure car la membrane permet de rejeter entre 90 et 99 % des éléments contenus dans l'eau, selon leur nature. Le chlore, les composés azotés, les parasites et les bactéries sont éliminés, ainsi que les virus (soit la plus petite entité vivante) et même la radioactivité.

L'eau peut ainsi être utilisée pour la consommation, l'irrigation, l'utilisation domestique, industrielle, l'élevage ou la production de glace pour la pêche. [6]

6.1.2 L'électrodialyse

Ce procédé consiste à éliminer les sels dans les eaux saumâtres par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique. Les membranes anodiques et cathodiques placées intercalées laissent passer respectivement les anions Cl⁻ et les cations Na⁺. Dans l'électrodialyse, des membranes filtrantes imperméables pour les cations ou pour les anions, sont interposées alternativement entre les électrodes. La membrane qui laisse passer les cations a la propriété d'arrêter les anions.

Celle qui est imperméable aux anions oppose évidemment une barrière aux cations. Ainsi, des cellules où l'eau contient une concentration de sel alternent avec d'autres où l'eau a été

déminéralisée. L'énergie consommée par ce procédé est directement proportionnelle à la salinité de l'eau. Ce procédé étant un grand consommateur d'énergie, il ne peut s'appliquer que pour les eaux saumâtres de très faible salinité (concentration en sel inférieure à 10 g/l). L'eau de mer n'est donc pas susceptible d'être traitée à grande échelle de cette façon. [6]

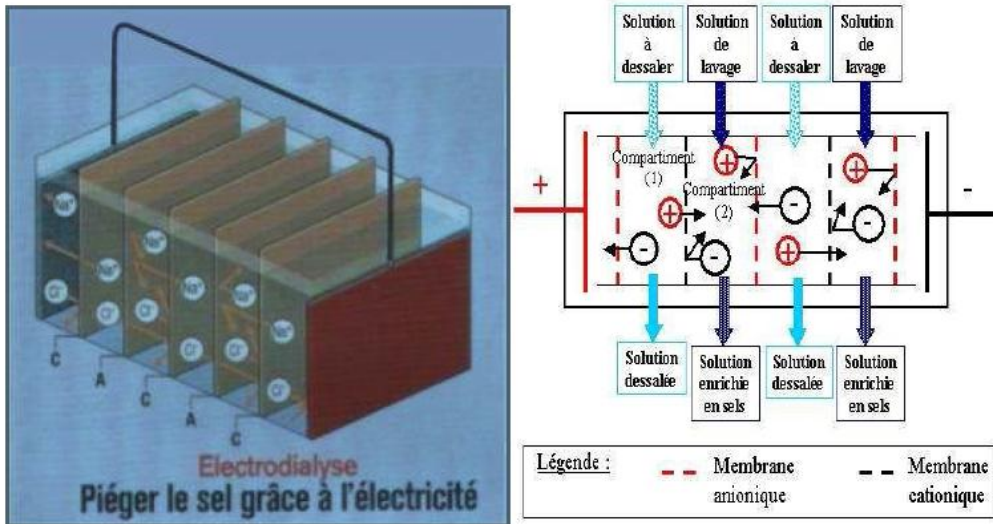


Figure 1.13 L électrodialyse.

Chapitre 2

Modélisation

Mathématique

Modélisation mathématique

La modélisation d'un système physique consiste à exprimer les équations régissant le problème et les conditions aux limites d'une part et d'autre les hypothèses simplificatrices.

Les équations régissant le problème s'obtiennent par l'application du bilan thermique.

1 Bilan Thermique

La théorie d'un distillateur solaire simple en forme de serre, est présentée par Moussa Abu Arabi et al, et Yousef H.

La figure 1 illustre les différents échanges de chaleur qui se produisent dans un distillateur solaire. Elle est fondée sur quatre bilans.

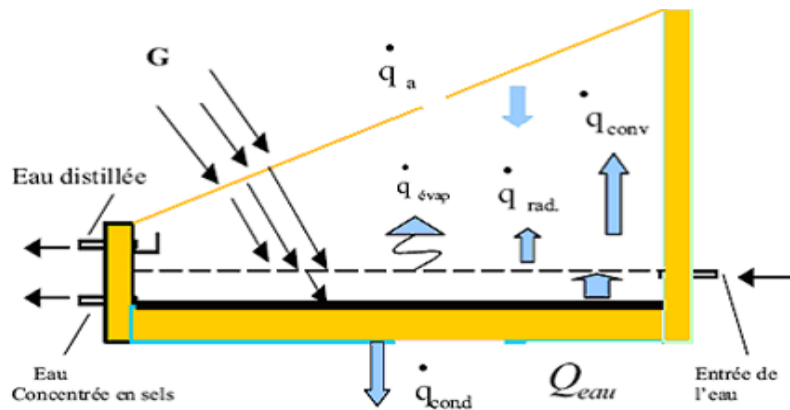


Figure 2.1 Bilans énergétiques d'un distillateur solaire simple.

Comme tous les appareils de distillation à effet de serre, le distillateur conventionnel est un système qui échange de la chaleur avec le milieu ambiant.

- Le transfert de chaleur entre le distillateur et l'extérieur se fait au niveau de la vitre par rayonnement et par convection.
- Au niveau de l'eau, le rayonnement incident transmis sert à chauffer l'eau. Celle-ci s'évapore et échange de la chaleur avec l'eau par convection, rayonnement et évaporation.
- L'échange intérieur-extérieur se fait par conduction à travers la vitre.

1.1 Bilan thermique de la vitre

$$M_V CP_V \frac{dT_V}{dt} = (1-\rho_V)\alpha_V G_h + Q_{R.E_V} + Q_{C.E_V} + Q_{Evap} - Q_{R.V-a} - Q_{C.V_A} \tag{1}$$

1.1.1 Apport par rayonnement eau-vitre

$$Q_{R,E-V} = h_{R,E-V}(T_E - T_V) \quad (2)$$

$Q_{R,E-V}$: Flux thermique par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

$h_{R,E-V}$: Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

Avec :

$$h_{R,E-V} = \varepsilon_{eff} \sigma [(T_E + 273.15)^2 - (T_V + 273.15)^2](T_E + T_V + 546) \quad (3)$$

σ : Constante de STEFFAN-BOLTZMAN

T_V : Température de la vitre

T_E : Température de l'eau

ε_{eff} : Emissivité effective

M_V : la masse de la vitre

$$\varepsilon_{eff} = \left[\frac{1}{\varepsilon_e} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1 \right]^{-1}$$

ε_e :Emissivité de l'eau.

ε_v : Emissivité de la vitre.

1.1.2 Apport par convection eau-vitre

$$Q_{C,E-V} = h_{C,E-V}(T_E - T_V) \quad (4)$$

$Q_{C,E-V}$: Flux thermique par convection entre le film d'eau et le vitrage.

$h_{C,E-V}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le film d'eau et le vitrage.

Avec :

$$h_{C,E-V} = 0.884 \left[T_E - T_V + \frac{(P_E - P_V) \cdot (T_E + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_E} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

P_E : Pression de vaporisation à T_E

P_V : Pression de vaporisation à T_V

$$P = \exp\left(25.317 - \frac{5144}{T + 273.15}\right) \quad (6)$$

1.1.3 Apport par évaporation

$$Q_{Evap} = h_{Evap}(T_E - T_V) \quad (7)$$

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

h_{Evap} : Coefficient de transfert de chaleur par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage.

Avec:

$$h_{Evap} = 16.273 \cdot 10^{-3} h_{C,E-V} \left(\frac{P_E - P_V}{T_E - T_V} \right) \quad (8)$$

P_E et P_V : Pressions de saturation de l'air humide aux températures de la saumure et du couvercle.

La chaleur latente d'évaporation est estimée par les relations suivantes :

$$L_V = 3.1615.10^6 - 2.40714.10^3 T$$

1.1.4 Apport par rayonnement vitre – milieu ambiant

$$Q_{R,v_a} = h_{R,v_a}(T_V - T_A) \tag{9}$$

Q_{R,v_a} : Flux thermique par rayonnement par la vitre vers l'extérieur.

h_{R,v_a} : Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement par la vitre vers l'extérieur.

Avec:

$$h_{R,v_a} = \frac{\varepsilon_V \sigma [(T_V + 273.15)^4 - (T_{ciel} + 273.15)^4]}{T_V - T_A} \tag{10}$$

T_A : température de l'ambiant.

T_{ciel} : température du ciel.

La température du ciel est donnée par la relation suivante :

$$T_{ciel} = 0.0552.T_A^{1.5}$$

1.1.5 Apport par convection vitre – milieu ambiant

$$Q_{C,V_A} = h_{C,V_A}(T_V - T_A) \tag{11}$$

Q_{C,V_A} : Flux thermique par convection entre la vitre et l'extérieur.

h_{C,V_A} : Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'extérieur.

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

$$h_{C,V_A} = 5.7 + 3.8V \tag{12}$$

Avec :

V : la vitesse du vent.

1.2 Bilan thermique de la masse d'eau

$$M_E C P_E \frac{dT_E}{dt} = (1 - \rho_V)(1 - \alpha_V)\alpha_E G_h + Q_{C.B-E} - Q_{R.E-V} - Q_{C.E-V} - Q_{Evap} \tag{13}$$

1.2.1 Apport par convection bassin - eau

$$Q_{C.B-E} = h_{C,B-E}(T_B - T_E) \tag{14}$$

$Q_{C.B-E}$: Flux thermique par convection entre le fond du bac et le film d'eau.

$h_{C,B-E}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le fond du bac et le film d'eau.

T_b : la Température du bac.

$$h_{C.B.E} = \frac{Nu \lambda_f}{L} \quad (15)$$

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

$$Nu = c (Gr Pr)^n$$

Avec :

$$Gr = \frac{L^3 \rho^3 \beta g \Delta T}{\mu^2} \quad \text{et} \quad Pr = \frac{\mu_e Cp_e}{\lambda_e}$$

Nu : nombre de NUSSELT.

Gr : Nombre de GRASHOF.

Pr : Nombre de PRANDLT.

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

$$\text{Si } Gr < 10^5 \Rightarrow \quad Nu = 1$$

L'échange thermique entre la saumure et le bac absorbant se fait uniquement par conduction.

$$\text{Si } 10^5 < Gr < 2 \times 10^7 \Rightarrow \quad Nu = \frac{\lambda_e}{L} 0,54 \times (Gr Pr)^{0,25}$$

$$\text{Si } Gr > 2 \times 10^7 \Rightarrow \quad Nu = 0,14 \times (Gr Pr)^{0,33}$$

β : Coefficient d'expansion volumétrique de l'eau en (k^{-1}).

L : Longueur du bac absorbant en (m).

ρ_E : La masse volumique de l'eau en (Kg/m^3).

g : L'accélération en (m^3/s).

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

Cp_e : Chaleur spécifique à pression constante de l'eau.

λ_e : Conductivité thermique de l'eau.

Me : la masse de l'eau.

1.3 Bilan thermique du bac absorbant

$$M_B Cp_B \frac{dT_B}{dt} = (1 - \rho_V). (1 - \alpha_V). (1 - \alpha_E) \alpha_B G_h - Q_{C.B.E} - Q_{perte(B)} \quad (16)$$

$$Q_{Perte(B)} = U_B (T_B - T_I) \quad (17)$$

Les pertes thermique du bassin par conduction thermique à travers l'isolation est donné comme suit :

$$U_B = \frac{\lambda_B}{\delta_B} \quad (18)$$

Avec :

λ_B : Conductivité thermique du bac

δ_B : Epaisseur du bac

M_B : la masse du bac

1.4 Bilan thermique de l'isolant

$$M_I C P_I \frac{dT_I}{dt} = Q_{Cond,I-B} - Q_{perte(i)} \quad (19)$$

$Q_{Cond,I-B}$: Flux thermique par conduction entre l'isolant et le bac.

$$Q_{Cond,I-B} = Q_{Perte(B)} = \frac{K_B}{\delta_B} (T_B - T_A) \quad (20)$$

$$Q_{Perte(I)} = U_I (T_I - T_A) \quad (21)$$

La perte thermique de l'isolation vers l'air ambiant est donnée comme suit :

$$U_I = \left(\frac{\delta_I}{K_I} + \frac{1}{h_I} \right)^{-1} \quad (22)$$

Avec :

δ_I : Epaisseur de l'isolation.

K_I : Conductivité thermique de l'isolation.

h_I : Coefficient de transfert thermique de l'isolant

M_I : la masse de l'isolant

2 Hypothèses

Les hypothèses prises pour cette étude sont

- le régime est permanent.
- les pertes thermiques à travers l'isolant sont négligeables.
- Les propriétés physiques des matériaux sont considérées constantes.
- La condensation se fait uniquement sur la couverture (il n'y a pas de condensation sur les parois latérales).
- La concentration de la saumure n'intervient pas dans les transferts de chaleur et de masse a partir de et vers la saumure.
- La condensation de l'eau sur la couverture est homogène et continue (le verre possède une bonne mouillabilité).
- Le bassin est étanche.
- on néglige la masse de la vitre et de l'eau.

3 Reformulation du Bilan thermique

3.1 Reformulation du Bilan thermique de la vitre

$$(1-\rho_V)\alpha_V G_h + Q_{R.E_V} + Q_{C.E_V} + Q_{Evap} - Q_{R.V_a} - Q_{C.V_A} = 0 \quad (23)$$

ρ_V : La masse volumique de la vitre (Kg/m³).

α_V : Coefficient de l'absorption.

G_h : L'irradiation thermique (w/m²).

3.1.1 Apport par rayonnement eau-vitre

$$Q_{R.E_V} = h_{R.E_V}(T_E - T_V) \quad (24)$$

$Q_{R.E_V}$: flux thermique par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

$h_{R.E_V}$: Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

T_V : la température de la vitre.

T_E : la température de l'eau.

Avec :

$$h_{R.E_V} = \varepsilon_{eff} \sigma [(T_E + 273.15)^2 - (T_V + 273.15)^2](T_E + T_V + 546) \quad (25)$$

σ : Constante de STEFFAN-BOLTZMAN

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}^4$$

ε_{eff} : Emissivité effective

$$\varepsilon_{eff} = \left[\frac{1}{\varepsilon_e} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1 \right]^{-1}$$

ε_v : Emissivité de la vitre.

$$\varepsilon_v = 0.9$$

ε_e : Emissivité de l'eau.

$$\varepsilon_e = 0.96$$

3.1.2 Apport par convection eau-vitre

$$Q_{C.E_V} = h_{C.E_V}(T_E - T_V) \quad (26)$$

$Q_{C.E_V}$: flux thermique par convection entre le film d'eau et le vitrage.

$h_{C.E_V}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le film d'eau et le vitrage.

Avec :

$$h_{C.E_V} = 0.884 \left[T_E - T_V + \frac{(P_E - P_V) \cdot (T_E + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_E} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (27)$$

P_E : Pression de vaporisation à T_E

P_V : Pression de vaporisation à T_V

$$P = \exp\left(25.317 - \frac{5144}{T + 273.15}\right) \quad (28)$$

3.1.3 Apport par évaporation

$$Q_{Evap} = h_{Evap}(T_E - T_V) \tag{29}$$

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

h_{Evap} : Coefficient de transfert de chaleur par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage.

Avec:

$$h_{Evap} = 16.273.10^{-3} h_{C,EV} \left(\frac{P_E - P_V}{T_E - T_V} \right) \tag{30}$$

P_E et P_V : Pressions de saturation de l'air humide aux températures de la saumure et du couvercle.

3.1.4 Apport par rayonnement vitre – milieu ambiant

$$Q_{R,v_a} = h_{R,v_a}(T_V - T_A) \tag{31}$$

Q_{R,v_a} : flux thermique par rayonnement par la vitre vers l'extérieur.

h_{R,v_a} : Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement par la vitre vers l'extérieur.

Avec:

$$h_{R,v_a} = \frac{\varepsilon_V \sigma [(T_V + 273.15)^4 - (T_{ciel} + 273.15)^4]}{T_V - T_A} \tag{32}$$

La température du ciel est donnée par la relation suivante :

$$T_{ciel} = 0.0552.T_A^{1.5}$$

T_A : température de l'ambiant.

$$T_A = 14.6$$

3.1.5 Apport par convection vitre – milieu ambiant

$$Q_{C,V_A} = h_{C,V_A}(T_V - T_A) \tag{33}$$

Q_{C,V_A} : flux thermique par convection entre la vitre et l'extérieur.

h_{C,V_A} : Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'extérieur.

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

$$h_{C,V_A} = 5.7 + 3.8V \tag{34}$$

V : la vitesse du vent.

3.2 Bilan thermique de la masse d'eau

$$(1 - \rho_V)(1 - \alpha_V)\alpha_E G_h + Q_{C.B_E} - Q_{R.E_V} - Q_{C.E_V} - Q_{Evap} = 0 \quad (35)$$

3.2.1 Apport par convection bassin - eau

$$Q_{C.B_E} = h_{C,B_E}(T_B - T_E) \quad (36)$$

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

$h_{C.B_E}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le fond du bac et le film d'eau.

Avec :

$$h_{C.B_E} = \frac{Nu \lambda_f}{L} \quad (37)$$

T_B : la température du bac.

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

$$Nu = c (Gr Pr)^n$$

Avec :

$$Gr = \frac{L^3 \rho^3 \beta g \Delta T}{\mu^2} \quad \text{et} \quad Pr = \frac{\mu_e C p_e}{\lambda_e}$$

Nu : nombre de NUSSELT.

Gr : Nombre de GRASHOF.

Pr : Nombre de PRANDLT.

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

Si $Gr < 10^5 \Rightarrow Nu = 1$

L'échange thermique entre la saumure et le bac absorbant se fait uniquement par conduction.

$$\text{Si } 10^5 < Gr < 2 \times 10^7 \Rightarrow Nu = \frac{\lambda_e}{L} 0,54 \times (Gr Pr)^{0,25}$$

$$\text{Si } Gr > 2 \times 10^7 \Rightarrow Nu = 0,14 \times (Gr Pr)^{0,33}$$

β : Coefficient d'expansion volumétrique de l'eau en (K^{-1})

L : Longueur du bac absorbant en (m)

ρ_E : La masse volumique de l'eau en (Kg/m^3)

g : L'accélération en (m^3/s)

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

$C p_e$: Chaleur spécifique à pression constante de l'eau.

λ_e : Conductivité thermique de l'eau

3.3 Bilan thermique du bac absorbant

$$(1 - \rho_V)(1 - \alpha_V)(1 - \alpha_E)\alpha_B G_h - Q_{C.B_E} = 0$$

ρ_V : La masse volumique de la vitre en (Kg/m^3).

α_V : Coefficient d'absorption de la vitre.

α_E : Coefficient d'absorption de l'eau.

α_B : Coefficient d'absorption du bac.

Chapitre 3

Résolution

Numérique

Résolution numérique

Dans cette partie d'étude, on cite les équations régissant le phénomène physique

1. Equations utilisées

Les équations régissant le fonctionnement d'un distillateur solaire sont résolues par une approche numérique basée sur la méthode de Gauss-Seidel, on ordonne les équations finales des divers bilans par rapport aux températures comme suit :

-Au niveau de la vitre

L'équation exprimant le bilan énergétique de la vitre est donnée par

$$(1-\rho_V)\alpha_V G_h + Q_{R.E-V} + Q_{C.E-V} + Q_{Evap} - Q_{R.V-A} - Q_{C.V-A} = 0 \quad (3.1)$$

Avec les flux suivants

$$\text{Flux de chaleur échangé par rayonnement entre l'eau et la vitre } Q_{R.E-V} = h_{R,E-V}(T_E - T_V)$$

$$\text{Flux de chaleur échangé par convection entre l'eau et la vitre } Q_{C.E-V} = h_{C,E-V}(T_E - T_V)$$

Flux de chaleur échangé par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage

$$Q_{Evap} = h_{Evap}(T_E - T_V)$$

$$\text{Flux de chaleur échangé par rayonnement entre l'extérieur et la vitre } Q_{R.V-A} = h_{R,v-a}(T_V - T_A)$$

$$\text{Flux de chaleur échangé par convection entre l'extérieur et la vitre } Q_{C.V-A} = h_{C,V-A}(T_V - T_A)$$

La reformulation de l'équation (4.1) est

$$(1-\rho_V)\alpha_V G_h + h_{R,E-V}(T_E - T_V) + h_{C,E-V}(T_E - T_V) + h_{Evap}(T_E - T_V) - h_{R,v-a}(T_V - T_A) - h_{C,V-A}(T_V - T_A) = 0$$

$$(1-\rho_V)\alpha_V G_h = (h_{R,E-V} + h_{C,E-V} + h_{Evap} + h_{R,v-a} + h_{C,V-A})T_V - (h_{R,E-V} + h_{C,E-V} + h_{Evap})T_E - (h_{R,v-a} + h_{C,V-A})T_A$$

Enfin on trouve la relation suivant :

$$\begin{aligned} & (h_{R,E-V} + h_{C,E-V} + h_{Evap} + h_{R,v-a} + h_{C,V-A})T_V - (h_{R,E-V} + h_{C,E-V} + h_{Evap})T_E - \\ & (h_{R,v-a} + h_{C,V-A})T_A = (1-\rho_V)\alpha_V G_h \end{aligned} \quad (3.2)$$

-Au niveau de la masse d'eau

L'équation exprimant le bilan énergétique de l'eau est donnée par

$$(1 - \rho_V)(1 - \alpha_V)\alpha_E G_h + Q_{C.B_E} - Q_{R.E_V} - Q_{C.E_V} - Q_{Evap} = 0 \quad (3.3)$$

Avec les flux suivants

$$\text{Flux thermique par convection entre le fond du bac et le film d'eau } Q_{C.B_E} = h_{C,B_E}(T_B - T_E)$$

$$\text{Flux de chaleur échangé par rayonnement entre l'eau et la vitre } Q_{R.E_V} = h_{R,E_V}(T_E - T_V)$$

$$\text{Flux de chaleur échangé par convection entre l'eau et la vitre } Q_{C.E_V} = h_{C,E_V}(T_E - T_V)$$

Flux de chaleur échangé par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage

$$Q_{Evap} = h_{Evap}(T_E - T_V)$$

La reformulation de l'équation (4.2) est

$$(1 - \rho_V)(1 - \alpha_V)\alpha_E G_h + h_{C,B_E}(T_B - T_E) - h_{R,E_V}(T_E - T_V) - h_{C,E_V}(T_E - T_V)$$

$$- h_{Evap}(T_E - T_V) = 0$$

$$(1 - \rho_V)(1 - \alpha_V)\alpha_E G_h = (h_{C,B_E} + h_{R,E_V} + h_{C,E_V} + h_{Evap})T_E - (h_{R,E_V} + h_{C,E_V} + h_{Evap})T_V - (h_{C,B_E})T_B$$

Enfin on trouve la relation suivant :

$$\begin{aligned} & (h_{C,B_E} + h_{R,E_V} + h_{C,E_V} + h_{Evap})T_E - (h_{R,E_V} + h_{C,E_V} + h_{Evap})T_V - (h_{C,B_E})T_B \\ & = (1 - \rho_V)(1 - \alpha_V)\alpha_E G_h \end{aligned} \quad (3.4)$$

-Au niveau de l'absorbeur

L'équation exprimant le bilan énergétique de l'eau est donnée par

$$(1 - \rho_V) \cdot (1 - \alpha_V) \cdot (1 - \alpha_E)\alpha_B G_h - Q_{C.B_E} = 0 \quad (3.5)$$

Avec

$$\text{Flux thermique par convection entre le fond du bac et le film d'eau } Q_{C.B_E} = h_{C,B_E}(T_B - T_E)$$

La reformulation de l'équation (4.3) est

$$(1 - \rho_V) \cdot (1 - \alpha_V) \cdot (1 - \alpha_E)\alpha_B G_h - h_{C,B_E}(T_B - T_E) = 0$$

$$(1 - \rho_V) \cdot (1 - \alpha_V) \cdot (1 - \alpha_E)\alpha_B G_h - (h_{C,B_E})T_B + (h_{C,B_E})T_E = 0$$

Enfin on trouve la relation suivant :

$$(h_{C,B_E})T_B - (h_{C,B_E})T_E = (1 - \rho_V)(1 - \alpha_V)(1 - \alpha_E)\alpha_B G_h \quad (3.6)$$

Donc on obtient les relations suivantes

$$\begin{aligned} & \left(h_{R,E-V} + h_{C,E-V} + h_{Evap} + h_{R,v_a} + h_{C,V_A} \right) T_V - \left(h_{R,E-V} + h_{C,E-V} + h_{Evap} \right) T_E - \\ & \left(h_{R,v_a} + h_{C,V_A} \right) T_A = (1 - \rho_V) \alpha_V G_h \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} & - \left(h_{C,B_E} + h_{R,E-V} + h_{C,E-V} + h_{Evap} \right) T_E + \left(h_{R,E-V} + h_{C,E-V} + h_{Evap} \right) T_V - \left(h_{C,B_E} \right) T_B \\ & = (1 - \rho_V) (1 - \alpha_V) \alpha_E G_h \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$\left(h_{C,B_E} \right) T_B - \left(h_{C,B_E} \right) T_E = (1 - \rho_V) \cdot (1 - \alpha_V) \cdot (1 - \alpha_E) \alpha_B G_h \quad (3.9)$$

En conclusion, le modèle mathématique réduit est composé de trois équations (3.7), (3.8) et (3.9) de trois variables T_v , T_e et T_b . Ce système d'équations est non linéaire, donc la solution ne peut être que numérique.

2 Les paramètres physiques utilisés

Les paramètres figurant dans les équations ci-dessus sont exprimés par

2.1 Conductivité thermique

Son expression est la suivante:

$$\lambda(T) = 0.569 + 0.185 \times 10^{-2} \times T - 0.749 \times T^2$$

2.2 Chaleur latente de vaporisation

Elle est définie par l'expression:

$$L(T) = 4185 \times [597 - 0.56 \times (T - 273)]$$

2.3 Chaleur massique

Elle est donnée par la relation:

$$C_p(T) = 4216.66 - 3.165 \times T + 0.886 \times 10^{-2} \times T^2 - 0.101 \times 10^{-2} \times T^3 + 0.445 \times 10^{-5} \times T^4$$

2.4 Coefficient de viscosité dynamique

$$\mu(T) = 5.449 - 0.167 \times T + 7.325 \times 10^{-4} \times T^2$$

2.5 Masse volumique

$$\rho(T) = 999.879 + 0.0469 \times T - 0.667 \times T^2 + 0.208 \times 10^{-4} \times T^3$$

2.6 Coefficient de viscosité dynamique

$$v(T) = \frac{\mu(T)}{\rho(T)}$$

$$v(T) = 1.7414 \times 10^{-6} - 4.453 \times 10^{-8} \times T + 5.51413 \times 10^{-10} \times T^2 - 3.3955 \times 10^{-12} \times T^3$$

3 Nombres sans dimension

Les nombre sans dimension qui utilisée dans notre étude sont défini comme suit

3.1 Nombre de PRANDTL (Pr)

C'est le rapport entre la diffusivité cinématique v et la diffusivité thermique α

$$Pr = v/\alpha = (\mu/\rho)/(\lambda/\rho C_p) = \mu C_p / \lambda$$

Ce nombre est fonction uniquement des caractéristiques physiques du fluide. [10]

3.2 Nombre de Grashof (Gr)

Ce nombre caractérise la transmission de chaleur en convection naturelle, il exprime le rapport entre les forces de viscosité et les forces ascensionnelles créées dans le fluide par les différences de température qui y règnent. [14]

$$Gr = \frac{L^3 \rho^3 \beta g \Delta T}{\mu^2}$$

3.3 Nombre de Nusselt (Nu)

La combinaison du coefficient d'échange de chaleur par convection, de la longueur caractéristique et de la conductivité thermique du fluide est appelée module ou nombre de NUSSELT. C'est le rapport du gradient de température dans le fluide en contact immédiat avec la surface au gradient de température de référence. Il caractérise l'intensité de l'échange de chaleur sur la limite fluide - surface [14]

$$Nu = c (Gr Pr)^n$$

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

$$\text{Si } Gr < 10^5 \Rightarrow Nu = 1$$

$$\text{Si } 10^5 < Gr < 2 \times 10^7 \Rightarrow Nu = \frac{\lambda_e}{L} 0,54 \times (Gr Pr)^{0,25}$$

$$\text{Si } Gr > 2 \times 10^7 \Rightarrow Nu = 0.14 \times (Gr Pr)^{0,33}$$

4 Méthode de Gauss-Seidel

Pour résoudre un problème, la solution analytique n'est pas toujours facile à obtenir, et l'utilisation d'une méthode numérique est plus aisée. Dans le cadre de cette étude, la méthode de Gauss Seidel d'itération est choisie pour la résolution du système d'équations établi. [2]

4.1 Principe

On veut résoudre le système linéaire suivant [15]:

$$A \times T = B \quad (4.1)$$

Où:

A: est une matrice carrée d'ordre $n \times n$

B: est la matrice colonne du deuxième membre d'ordre n .

T: est le vecteur des inconnus, $T = (T_1, T_2, \dots, T_n)$.

Ecrivons A sous la forme:

$$A = M - N \quad (4.2)$$

Où

$$M = D - L \quad (4.3)$$

$$N = U \quad (4.4)$$

Avec:

D: matrice diagonale

L: matrice inférieure

U: matrice supérieure

Alors le système (B.1) peut s'écrire :

$$(M - N) \times T = B \quad (4.5)$$

Dans la méthode de Gauss-Seidel, on réécrit (B.5) à partir d'un vecteur initial $T^{(0)}$, de la manière suivante:

$$T^{(1)} = (D - L)^{-1} \times U \times T^{(0)} + (D - L)^{-1} \times B \quad (4.6)$$

Comme l'inverse de $(D - L)$ peut être compliqué à calculer, on préfère écrire le système comme suit:

$$(D - L) \times T^{(1)} = U \times T^{(0)} + B \quad (4.7)$$

Soit encore:

$$D \times T^{(1)} = L \times T^{(1)} + U \times T^{(0)} + B \quad (4.8)$$

Où

$$T^{(1)} = D^{-1} \times L \times T^{(1)} + D^{-1} \times U \times T^{(0)} + D^{-1} \times B \quad (4.9)$$

Ce qui est équivalent à:

$$T = D^{-1} \times L \times T + D^{-1} \times U \times T_p + D^{-1} \times B \tag{4.10}$$

En développant cette récurrence vectorielle on obtient:

$$T_1 = (b_1 - a_{12} \times T_p - a_{13} \times T_p - \dots - a_{1n} \times T_p) / a_{11}$$

$$T_2 = (b_2 - a_{21} \times T_1 - a_{23} \times T_p - \dots - a_{2n} \times T_p) / a_{22}$$

.....

$$T_n = (b_n - a_{n1} \times T_1 - a_{n2} \times T_2 - \dots - a_{nn-1} \times T_{n-1}) / a_{nn}$$

4.1.2 Conditions de convergence

Le système d'équations converge si:

$$1- |Ti - Tpi| < eps \tag{4.11}$$

$$2- \frac{|Ti - Tpi|}{|Ti|} < eps \tag{4.12}$$

Ou bien

$$3- \sqrt{\sum_{i=1}^n (Ti - Tpi)^2} < eps \tag{4.13}$$

4.2 Résolution du système d'équations considère

Les équations régissant le fonctionnement d'un distillateur solaire sont résolues par la méthode de Gauss-Seidel d'itération. Pour cela nous présentons les équations finales des divers bilans par rapport aux températures comme suit: [2]

- Au niveau de la vitre

$$\begin{aligned} & (h_{R,E-V} + h_{C,E-V} + h_{Evap} + h_{R,va} + h_{C,VA}) T_V - (h_{R,E-V} + h_{C,E-V} + h_{Evap}) T_E - \\ & (h_{R,va} + h_{C,VA}) T_A = (1 - \rho_V) \alpha_V G_h \end{aligned} \tag{3.10}$$

-Au niveau de la masse d'eau

$$\begin{aligned} & - (h_{C,BE} + h_{R,E-V} + h_{C,E-V} + h_{Evap}) T_E + (h_{R,E-V} + h_{C,E-V} + h_{Evap}) T_V - (h_{C,BE}) T_B \\ & = (1 - \rho_V) (1 - \alpha_V) \alpha_E G_h \end{aligned} \tag{3.11}$$

- Au niveau de l'absorbeur

$$(h_{C,BE}) T_B - (h_{C,BE}) T_E = (1 - \rho_V) \cdot (1 - \alpha_V) \cdot (1 - \alpha_E) \alpha_B G_h \tag{3.12}$$

Ces équations forment un système d'équations linéaire sous forme A×T=B.

Dans ce système d'équations, les paramètres inconnus sont Tv, Te, Tb.

On forme la matrice A qui s'écrit comme suit

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_v \\ T_e \\ T_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$$

Avec

a_{ij} (i et j variant de 1 à 3) correspond aux coefficients de chaque température.

b_i (i et j variant de 1 à 3) correspond aux coefficients de second membre des équations considérées.

Chapitre 4
Discussions
Et Résultats

Discussion des résultats

Dans cette partie on s'intéresse aux effets de l'irradiation, de la vitesse du vent et de l'épaisseur de l'eau sur les températures de la vitre, de l'eau, du bac et la production en eau distillée.

1. Effet de l'irradiation

L'irradiation prise en considération variant de 100 W/m^2 au 1000 W/m^2 .

1.1 Effet de l'irradiation sur la température de la vitre

L'effet de l'irradiation sur la température de la vitre est examiné, plus l'irradiation est importante plus la température de la vitre est importante. La relation entre ces deux grandeurs est linéaire.

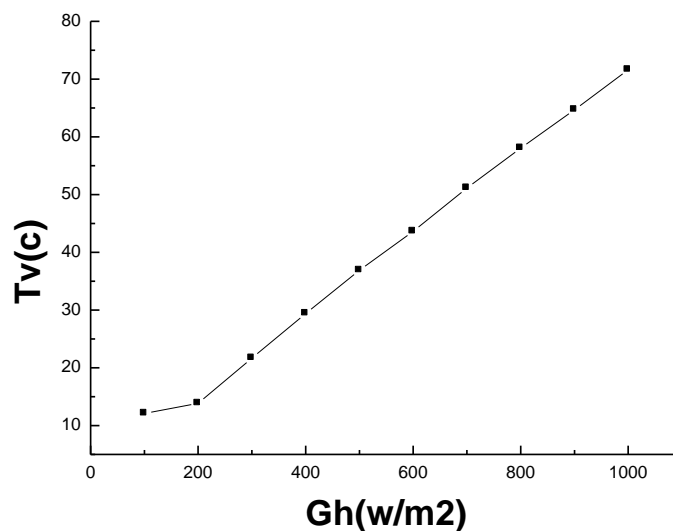


Figure 4.1 Effet de l'irradiation sur la température de la vitre.

1.2 Effet de l'irradiation sur la température de l'eau

L'effet de l'irradiation sur la température de l'eau est examiné, on observe que plus l'irradiation augmente et plus la température de l'eau augmente, donc il ya une relation entre la température de l'eau et les radiations qui varie d'une façon proportionnelle.

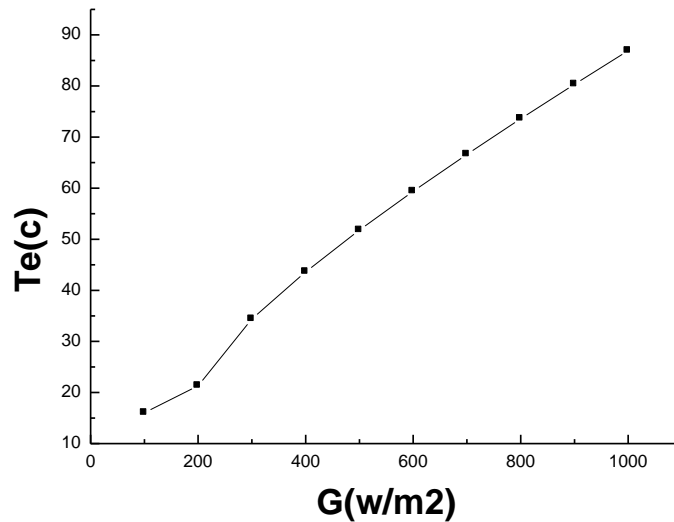


Figure 4.2 Effet de l'irradiation sur la température de l'eau.

1.3 Effet de l'irradiation sur la température du bac

L'effet de l'irradiation sur la température du bac est examiné, on remarque que plus l'irradiation augmente et plus la température du bac absorbant augmente. On remarque La variation entre ces deux grandeurs est bien proportionnelle.

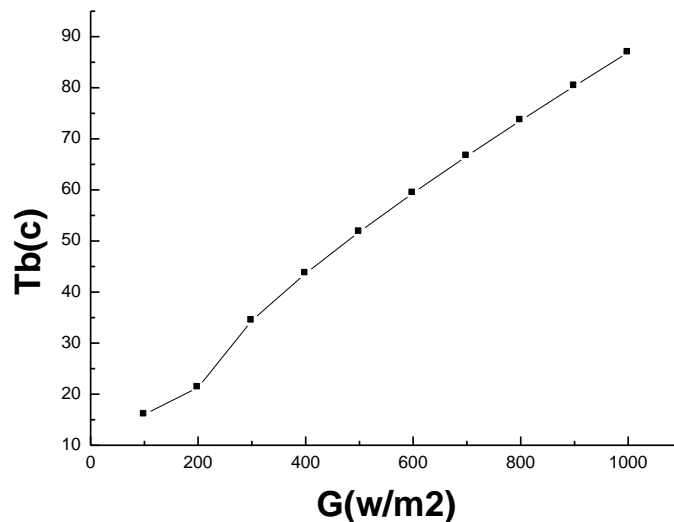


Figure 4.3 Effet de l'irradiation sur la température du bac.

2. Effet de la vitesse du vent

La vitesse du vent dans cette partie d'étude varie entre 0 m/s au 10 m/s.

2.1 Effet de la vitesse du vent sur la température de la vitre

L'effet de la vitesse du vent sur la température de la vitre est examiné. La figure ci-dessous montre qu'il y a une relation inversement proportionnelle entre ces deux grandeurs. L'augmentation de la vitesse du vent cause l'augmentation du coefficient d'échange thermique de la vitre par convection.

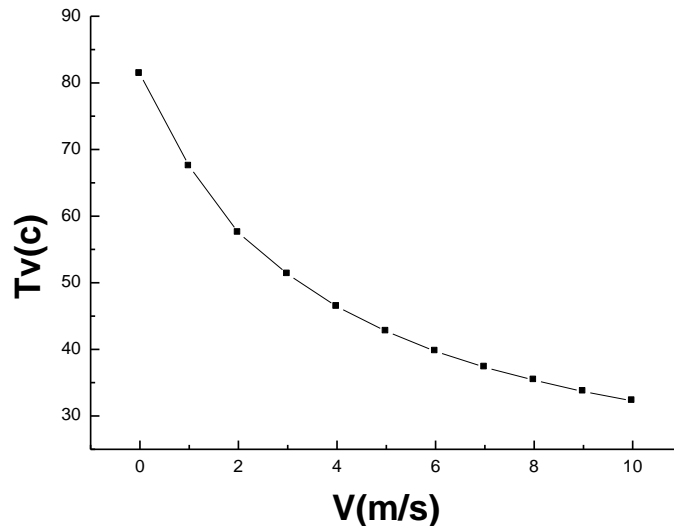


Figure 4.4 Effet de la vitesse du vent sur la température de la vitre.

2.2 Effet de la vitesse du vent sur la température de l'eau

L'effet de la vitesse du vent sur la température de l'eau est examiné. En effet l'accroissement de la vitesse du vent engendre une diminution de la température de l'eau.

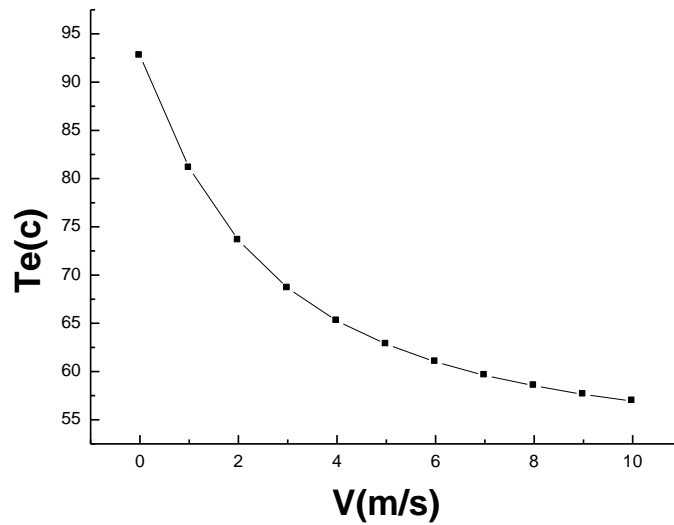


Figure 4.5 Effet de la vitesse du vent sur la température de l'eau.

2.3 Effet de la vitesse du vent sur la température du bac

L'effet de la vitesse du vent sur la température du bac est examiné. En effet l'accroissement de la vitesse du vent engendre une diminution de la température du bac.

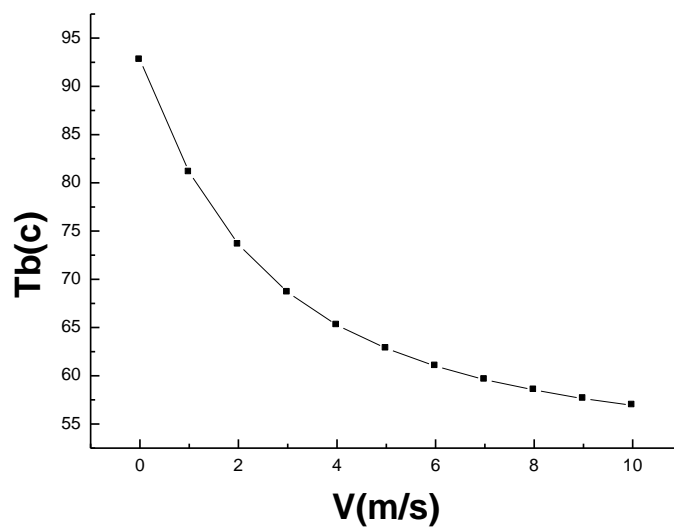


Figure 4.6 Effet de la vitesse du vent sur la température de bac.

3. Effet de l'épaisseur de la masse l'eau

L'épaisseur de l'eau prises dans cette partie d'étude variant entre 1 cm à 4 cm.

3.1 Effet de l'épaisseur de la masse d'eau sur la production

L'effet de l'épaisseur de la masse d'eau sur la production de l'eau distillée est examiné. La production en eau distillée est plus importante avec des épaisseurs faibles et cette production devient moins rapide avec les épaisseurs les plus importantes.

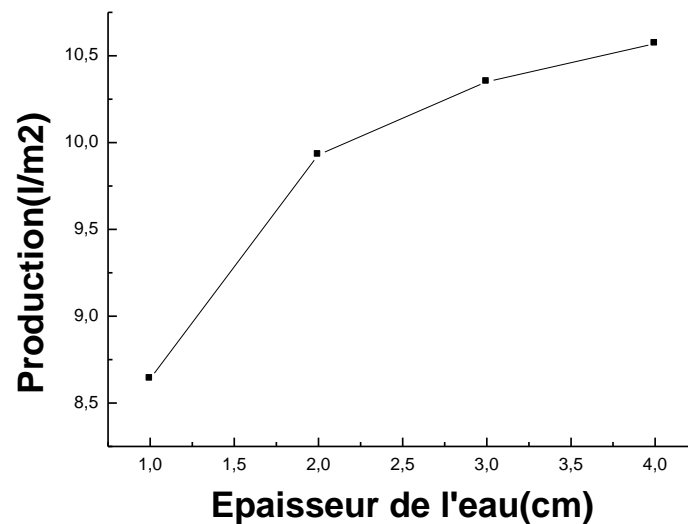


Figure 4.7 Effet de l'épaisseur de l'eau sur la production.

4 Effet de l'irradiation sur la production

L'effet de l'irradiation sur la production en eau distillée est examiné. On remarque que plus l'irradiation est importante et plus la production en eau distillée est aussi importante, donc l'effet est positif.

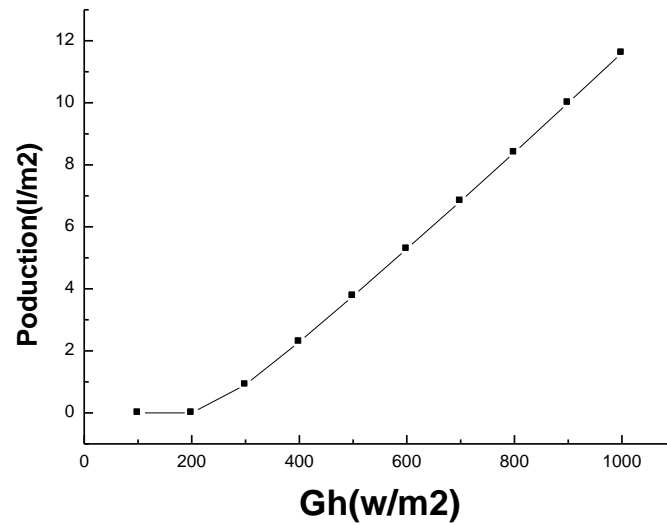


Figure 4.8 Effet de l'irradiation sur la production.

5 Effet de la vitesse du vent sur la production

L'effet de la vitesse sur la production en eau distillée est examiné. Quand la vitesse du vent augmente la production en eau distillée diminue à cause des pertes thermiques dus au vent.

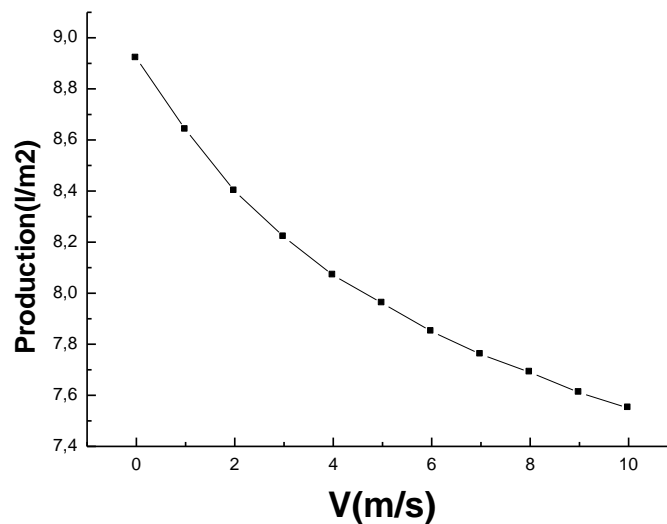


Figure 4.9 Effet de la vitesse du vent sur la production.

Conclusion

Les résultats obtenus ont permis de déterminer des relations entre l'irradiation et les températures de la vitre, de l'eau, du bac et la production de l'eau distillée, ainsi que des relations entre la vitesse du vent et ces températures et celle la production et enfin avec l'épaisseur du bac.

Finalement, on retrouve un influence de l'irradiation, la vitesse du vent et l'épaisseur de la masse d'eau sur les températures de la vitre, de l'eau, du bac et la production de l'eau distillée.

Conclusion

Références

- [1] **A. Sadi**, « Le Dessalement Solaire - Considérations Techniques ». (Rev. Energ. Ren. : Chemss 2000 91-97, Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger).
- [2] **Boukerzaza Nassima**, « étude de l'effet des pertes thermiques sur les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire ». (Université Mentouri de Constantine).
- [3] **Abla Chaker et autres**, « efficacités interne et globale d'un distillateur solaire ». (Jean-Jacques BEZIAN. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. ENSTIMAC, 5p., 2007. <hal-00163995>).
- [4] **A. Deliou et autres**, « une étude expérimentale des caractéristiques d'un distillateur solaire à effet de serre ». (Revue des Energies Renouvelables CICME'08 Sousse (2008) 109 - 118)
- [5] **T. TAHRI et al**, « Dessalement de l'eau de mer par l'énergie solaire en vue de l'irrigation d'une serre agricole », Journal, Pays, 2011.
- [6] **Mandi Benaissa**, « analyse thermo énergétique d'un procédé de dessalement d'eau de mer par voie solaire ». (Université Tlemcen Aboubeker Belkaid 2012/2013).
- [7] **H. Osman Ali et al**, « Analyse d'un distillateur solaire actif avec récupération de chaleur ». (Lyon, 24 au 28 Août 2015)
- [8] **Paul Byrne et autres**, « comparaison énergétique et exergetique de systèmes de dessalement ». (First International Refrigeration Energy and Environment Colloquium, Mar 2016, Hammamet, Tunisie).
- [9] **Sellami Mohamed Hassen**, « étude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud –est Algérien (Ouargla) ». (Université Kasdi Merbah Ouargla 03/02/2014).
- [10] **Djamel Bechki**, « étude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes ». (Université Hadj Lakhdar Batna 15/05/2011).
- [11] **Tabet Ismail**, «étude d'un distillateur solaire a cascade ». (Université Mentouri Constantine 06 /07/2010).
- [12] **Mr Baba Ahmed Nassim**, « étude sur le comportement énergétique et en endommagement d'un film en polymère – application : dispositifs a effet de serre ». (Université de Tlemcen 14 – 12 – 2014).

[13] Jean Dunlas, « Le dessalement de l'eau de mer Une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau ». Membre de l'Académie d'agriculture de France (manuscrit publié en février 2014).

[14] Ziyadou Ahmed, « étude et conception d'un distillateur solaire à effet de serre ». (Université d'Antananarivo 04/08 /2011).

[15] Haddad Zakaria, « étude du couplage d'un distillateur solaire avec un capteur plan ». (Université Mentouri de Constantine 2006).

Résumé

Une étude numérique d'un distillateur solaire a été faite. Pour cela nous avons utilisé une modélisation mathématique des équations exprimant les bilans thermiques du système : vitre, eau saumure et bac, et avec la résolution numérique par la méthode de Gauss- Seidel. Les résultats obtenus ont permis de tirer des relations entre les irradiances et les températures de la vitre, de l'eau et celle du bac, ainsi que des relations entre la vitesse du vent et les températures et enfin avec l'épaisseur d'eau.

Mots clés : distillateur solaire, dessalement, vitre, eau, bac et température.

Abstract

A numerical study of a solar distiller was performed .To carry out this study, a mathematical modeling of the equations expressing the thermal balances of the glass, the brine water and those of the tank with the numerical resolution by the method of Gauss-Seidel. The results thus obtained, yielded relationships between the irradiances and the temperatures of the pane, water and that of the tank, as well as the relationship between the wind speed and these temperatures and finally the thickness of the water.

Keywords: solar distiller, desalination, glass, water, tank and temperature.

ملخص

في هذا العمل قمنا بدراسة عددية لمقطر شمسي لأجل هذا استعملنا نمذجة رياضية لمعادلات تعبر عن التوازنات الحرارية للنظام الزجاج، ماء مملح و حوض والبحث عن حل عددي بطريقة غوس -سايديل

النتائج المحصل عليها سمحت لنا باستنباط علاقات تربط بين الإشعاع الشمسي ودرجات حرارة الزجاج، الماء والحوض. وكذلك العلاقات بين سرعة الرياح وسمك الماء مع هذه الدرجات الحرارية. وأخيرا تأثير المعاملات السابقة على إنتاجية المقطر.

كلمات البحث: الطاقة الشمسية، تحليه المياه، الزجاج، خزان المياه ودرجة الحرارة