

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

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

N° :...../2018.....



DOMAINE : Sciences de la matière

FILIERE : Physique

OPTION Physique Energétique
et Energies Renouvelables

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: DJAAFRI Badis

Intitulé

Etude numérique d'un distillateur solaire plan

Soutenu le 25 / 06 / 2018 devant le jury composé de:

HADDAD Zakaria

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Président

NAHOUI Azzedine

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Rapporteur

BENDARRADJI Razik

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Examinateur

Année universitaire : 2017/2018

Dédicace

*Avec en énorme plaisir, un cœur ouvert et immense joie
Que je dédie mon travail à mon professeur M' A .NAJHOUI
Et tous les enseignants et les superviseurs à toute ma
famille **DJAAFRI***

➤ A ma chère père « FARID » « Papa repose toi »

*De puis que tu nous a quitte sache qui je pense toujours
A toi. Que je te porte tout les jours dans mon cœur tu es pour
moi un exemple de père que je rêvais d'avoir*

A ma chère mère « HABIBA »

*Tu mas donne la vie, la tendresse et le courage pour
Réussir. Tout ce que peux t'offrir, ne pour a exprimer
l'amoure et reconnaissance que je te porte.*

*En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour le
remercier pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as
toujours entourée.*

➤ A ma chère frère « MOHAMED, YOUSEF »

➤ A mes chères sœurs : LINDA

Et toute ma chère collègue.

BADIS DJAAFR

Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu le tout puissant qui m'a aidé durant toute la période de réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier mon encadreur M^r NAHOUI Azzedine qui n'a jamais cessé de m'orienter vers le bon sens pour que je puisse réaliser ce mémoire.

Je remercie encore mon encadreur pour l'actualité et l'originalité du thème proposé.

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

Je remercie monsieur BENDERRADJI Razik maitres de conférences classe B à l'université Mohamed BOUDIAF Msila qui a accepté d'être membre de jury.

Que toute personne qui m'a donné de l'aide de près ou de loin, trouve ici l'expression de mon profond respect.

Enfin, un remerciement particulier à tous mes collègues de la promotion 2017/2018.

Merci

Sommaire

- Nomenclature
- Liste de figures
- Introduction
- Recherche bibliographique

Chapitre 01 : généralité sur le dessalement

I.1 L'énergie.....	1
I.1.1 Introduction.....	1
I.2.1 Le soleil.....	1
I.2.2 Origine de l'énergie solaire.....	2
I.3 Influence des constituants atmosphériques sur le rayonnement solaire.....	3
I.4 Le gisement solaire.....	5
I.5 Les applications de l'énergie solaire.....	7
I.6. Evolution de la distillation solaire au cours du temps.....	8
I.7 La distillation	10
I.7.1 La distillation solaire.....	10
I.8 Types de distillation solaire.....	10
I.8.1 Le distillateur solaire plan à effet de serre.....	11
I.8.2 Le distillateur solaire à cascades.....	11
I.8.3 Distillateur solaire incliné à mèche.....	12
I.8.4 Le distillateur solaire sphérique à balayage.....	13

I.9 Distillation solaire à multiples effets.....	13
I.10 PARAMETRES INFLUANT SUR LE FONCTIONNEMENT DU DISTILLATEUR...	13
I.10.1 Paramètres de constructions.....	14
I.10.2 Paramètres métrologiques.....	15
I.10.3 Epaisseur de l'eau ou de la saumure à distiller	15
I.10.4 Caractéristique d'un distillateur.....	15
I.11 L'eau.....	15
I.11.1 Propriétés l'eau.....	16
I.12 L'eau douce dans le monde.....	17
I.13. L'osmose inverse.....	18

Chapitre 02 : Modélisation mathématique

1 Hypothèses.....	19
2 Bilans thermiques.....	19
2.1 Bilan thermique d'un distillateur à simple vitrage.....	19
2.1.1 Bilan thermique de la vitre.....	20
• Apport thermique par Irradiation solaire.....	20
• Apport thermique par rayonnement masse d'eau – vitre.....	20
• Apport thermique par convection la masse d'eau – vitre.....	20
• Apport thermique par évaporation de la masse d'eau – vitre.....	20
• Perte thermique par rayonnement première vitre – ciel.....	21
• Perte thermique par convection première - au milieu ambiant	21
2.1.2 Bilan thermique de la masse d'eau.....	21
• Apport par irradiation solaire.....	21
• Apport thermique par rayonnement absorbeur - masse d'eau.....	21
• Apport thermique par convection absorbeur masse d'eau.....	22

•	Perte thermique par convection de la masse d'eau – vitre.....	22
•	Perte thermique par rayonnement de la masse d'eau – vitre.....	22
•	Perte thermique par évaporation de la masse d'eau - vitre	23
2.1.3	Bilan thermique de l'absorbeur	23
•	Apport par irradiation	23
•	Perte thermique par rayonnement absorbeur - masse d'eau.....	23
•	Perte thermique par convection absorbeur masse d'eau.....	24
2.2	Bilan thermique d'un distillateur à double vitrage.....	25
2.2.1	Bilan thermique de la première vitre.....	25
•	Apport thermique par Irradiation solaire.....	25
•	Apport thermique par rayonnement vitre2-vitre1	25
•	Apport thermique par convection vitre2-vitre 1	25
•	Perte thermique par rayonnement première vitre – ciel.....	26
•	Perte thermique par convection première - au milieu ambiant	26
2.2.2	Bilan thermique de la deuxième vitre.....	27
•	Apport thermique par irradiation solaire.....	27
•	Apport thermique par rayonnement de la masse d'eau - vitre2.....	27
•	Apport thermique par évaporation de la masse d'eau - vitre 2.....	27
•	Perte thermique par rayonnement vitre 2–vitre1.....	28
•	Perte thermique par convection vitre 2–vitre1	28
2.2.3	Bilan thermique de la masse d'eau.....	28
•	Apport par irradiation solaire.....	28
•	Apport thermique par rayonnement absorbeur - masse d'eau.....	29
•	Apport thermique par convection absorbeur masse d'eau	29
•	Perte thermique par rayonnement de la masse d'eau - vitre2.....	29
•	Perte thermique par convection de la masse d'eau - vitre2.....	29
•	Perte thermique par évaporation de la masse d'eau - vitre 2.....	30
2.2.4	Bilan thermique de l'absorbeur.....	30

• Apport par irradiation	30
• Perte thermique par rayonnement absorbeur - masse d'eau.....	30
• Perte thermique par convection absorbeur masse d'eau	30
Chapitre 3 : Résolution numérique.....	31
1. Equations mathématiques du distillateur solaire à simple vitrage.....	31
• Equations de la vitre.....	31
• Equations de la masse d'eau.....	31
• Equations de l'absorbeur.....	31
1. Equations mathématiques du distillateur solaire à double vitrage.....	32
• Equations de la première vitre.....	32
• Equations de la deuxième vitre.....	32
• Equations de la masse d'eau.....	32
• Equations de l'absorbeur.....	32
• Mise en systèmes d'équations	32
2.1 Système d'équations du distillateur solaire à simple vitrage	33
2.2 Système d'équations du distillateur solaire double vitrage	33
3 Les paramètres physiques utilisés.....	34
3.1 Conductivité thermique.....	34
3.2 Chaleur latente de vaporisation.....	34
3.3 Chaleur massique	34
3.4 Coefficient de viscosité dynamique.....	34
3.5 Masse volumique.....	35
3.6 Coefficient de viscosité dynamique.....	35
3.7 Nombres sans dimension.....	36
3.7.1 Nombre de PRANDTL Pr.....	36
3.7.1 Nombre de Grashof Gr.....	36
4 Méthode de Gauss-Seidel.....	36.
4.1 Principe de la méthode de Gauss-Seidel.....	37

4.1.2 Conditions de convergence.....	38
4.2 Résolution du système d'équations considère.....	38
- Au niveau de la vitre.....	38
-Au niveau de la masse d'eau.....	39
- Au niveau de l'absorbeur.....	39
Chapitre4 : Discussion des résultats.....	40
1. Effets de la température de l'air.....	40
1.1 Effet de la température de l'air sur la température de l'absorbeur.....	40
1.2 Effet de la température de l'air sur la production journalière en eau distillée	41
2 Effets de la vitesse du vent.....	41
2.1 Effet de la vitesse du vent sur la température de l'absorbeur.....	41
2.2 Effet de la vitesse du vent sur la production journalière en eau distillée	42
3 Effets de l'irradiation solaire	43
3.1 Effet de l'irradiation solaire sur la température de l'absorbeur.....	44
3.2 Effet de l'irradiation solaire sur la production journalière en eau distillée.....	44
4 Effets de l'épaisseur de l'absorbeur.....	45
4.1 Effet de l'épaisseur de l'absorbeur sur la température de l'absorbeur.....	45
4.2 Effet de l'épaisseur de l'absorbeur sur la production journalière en eau distillée.....	45

Conclusion

Références bibliographiques

Résumé

Nomenclature

Symboles	Désignations	Unités
$h_{R,E,V}$	Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre 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 vitre	$[w/m^2.K]$
$h_{R,V,ciel}$	Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement par la vitre Vers l'extérieure	$[w/m^2.K]$
$h_{C,V,A}$	Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre Et l'extérieure	$[w/m^2.K]$
$h_{C,B,E}$	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 rayonnement entre le film d'eau et le vitrage	$[w/m^2]$
$Q_{R,V,a}$	Flux thermique par rayonnement entre la vitre et l'extérieur	$[w/m^2]$
$Q_{C,B,E}$	Flux thermique par convection entre le fond du bac et le filme d'eau	$[w/m^2]$
$Q_{Cond,B}$	Flux thermique par conduction entre l'isolante et le bac	$[w/m^2]$
T_V	Température de la vitre	[K]
T_e	Température de l'eau	[K]
T_b	Température du bac	[K]
T_a	Température de l'air ambiant	[K]
T_c	Température de ciel	[K]
Cp_v	Chaleur spécifique a' pression constante de la vitre	$[j /Kg.K]$
Cp_e	Chaleur spécifique a' 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 a' T_E	[Pa]
P_V	Pression de vaporisation a' T_V	[Pa]
V	Vitesse de vent	$[m /S]$
Nu	Nombre de NUSSELT	-
Gr	Nombre de GRASHOF	-
Pr	Nombre de PRANDLT	-
β	Coefficient d'expansion volumétrique de l'eau	$[k^{-1}]$
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	$[m /S^2]$
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 de 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	Confusions de transfert thermique de l'isolation	-
α_v	Confusions de l'absorption de la vitre	-
α_E	Confusions de l'absorption de l'eau	-
α_B	Confusions de l'absorption de bac	-
h_{fg}	Chaleur latente de vaporisation	[kJ /Kg]

Listes des figures

Chapitre 1

Figure 1.1 : structure de soleil en coupe

Figure 1-2: Les réactions de fusion nucléaire qui transforment en énergie

Figure 1.3 : Bilan du rayonnement solaire qui arrive sur le sol de la terre

Figure 1.4 Composantes du rayonnement solaire

Figure 1.5: Rayonnement solaire annuel dans le monde (KWh/m².an)

Figure I.6: Irradiation solaire globale moyenne sur l'Algérie KWh/m²/jour

Figure I.7: Les différentes étapes du cycle de vent et de l'eau

Figure I.8 Les applications de l'énergie solaire.

Figure I.9 : Principe de construction et de fonctionnement d'un distillateur solaire

Fig. I.10 Distillateur solaire plan à effet de serre

Fig. I.11. Distillateur solaire simple à effet de serre

Figure. I.12 Distillateur solaire incliné à ca

Figure I.13. Distillateur solaire incliné à mèche

Figure. I.14 Distillateur solaire sphérique à balayage

Fig. I.15 Distillation solaire à multiples effets

Fig. I.19. Le principe de l'osmose et de l'osmose inverse

Fig. I.20. Les éléments composant une unité d'osmose inverse

Fig. I.15 le cycle de l'eau

Fig. I.16 Les différentes dispositions des molécules d'eau dans ses trois états

Fig. I.17 La molécule d'eau

Fig. I.18 Taux de consommation mondiale et annuelle en eau douce
Dans le monde[30]

Chapitre 2

Figure 3.1 Distillateur à simple vitrage.

Figure 3.1 Distillateur à double vitrage.

Chapitre 4

Fig 4.1 : Effet de la température de l'air sur la température de l'absorbeur

Fig 4.2 : Effet de la température de l'air sur la production journalière en eau distillée

Fig 4.3 : Effet de la vitesse du vent sur la température de l'absorbeur

Fig 4.4 : Effet de la vitesse du vent sur la production journalière en eau distillée

Fig 4.5 : Effet de l'irradiation solaire sur la température de l'absorbeur

Fig 4.6 : Effet de l'irradiation solaire sur la production journalière en eau distillée

Fig 4.7 : Effet de l'épaisseur de l'absorbeur sur la température de l'absorbeur

Fig 4.8 : Effet de l'épaisseur de l'absorbeur sur la production journalière en eau distillée

Introduction général

Introduction

Au fil des années, le problème de la disponibilité et l'approvisionnement des énergies et de l'eau ne font que s'accroître. Développement industriel, démographie galopante, coût exorbitant et pollution sont autant de facteurs qui plaident pour l'utilisation des énergies renouvelables et en particulier de l'énergie solaire.

Parmi les solutions préconisées, l'utilisation de distillateurs solaires est une des solutions pour pallier à ce manque dans les endroits reculés et désertiques où l'eau potable est insuffisante et l'énergie solaire abondante.

Différents modèles de distillateurs solaires ont été conçus à travers le monde et les effets de différents paramètres (atmosphériques, de conception et des techniques opérationnelles) sur le rendement ont été étudiés.

L'étude portera sur quatre chapitres différents. Un accent particulier sera mis sur la situation de l'énergie et de l'eau dans le monde ; une diminution de la quantité totale d'énergie pourrait atteindre un cinquième de l'énergie disponible actuellement. Des notions relatives au soleil, à l'énergie solaire et à l'eau seront développées. La distillation solaire dont l'approche élémentaire est faite à partir d'une analogie avec le cycle hydrologique naturel, utilise les deux facteurs importants : l'énergie solaire et l'eau. Une synthèse des résultats des travaux sur la distillation solaire à travers le monde sera réalisée.

Notre travail base sur quatre chapitres :

Le premier chapitre contient des généralités sur dessalement, ensuite le deuxième chapitre

Une modélisation mathématique.

Le troisième chapitre consiste à faire une résolution numérique.

Enfin le quatrième chapitre qui a la discussion de notre résultat.

Recherche bibliographique

Recherche bibliographique

M. BENHAMOU et autres, ont étudié « effet des paramètres géométriques d'un réflecteur plan vertical sur les performances d'un distillateur solaire mono incliné couplé à un condenseur séparé », (Adrar Algérie 08 ou 22 mai 2013), ont étudié l'influence des paramètres géométriques (hauteur et largeur) d'un réflecteur vertical sur performances d'un distillateur solaire couplé à un condenseur séparé soumis aux conditions climatiques du Sud algérien. Une modélisation analytique détaillée du système a été présentée. L'effet de l'ombre est pris en considération dans ce modèle. Les résultats obtenus montrent que les performances du distillateur augmentent avec l'augmentation des dimensions du réflecteur. Cependant, ce dernier donne un effet négatif de la période estivale à cause de l'effet d'ombre. [1]

Zrrit rida, ont étudié « le distillateur solaire à effet de serre ».

(Ghardaïa, Algérie, 15- 16 et 17 octobre 2012) il étudie théorique numérique en régime transitoire d'un distillateur solaire plan à effet de serre en utilisant comme modèle pour le rayonnement solaire global ruse sur un snifa ce inclinée le modèle de BERREN BRECHAMBEUT donnée par 3 les équation régissant le fonctionnement d'un distillateur solaire son t résolues par un approche numérique basée sur la méthode de Gauss – Seidel d itération. Les résistants op tunes ont permis du mettre en évidence l effet l'irradiation globale sur la production journalière ont montré l'intérêt du su paramètre sur le débit du condensat. On note que le débit du condensat croît avec l intensité du rayonnement solaire. [2]

R. Rahmani et autres, ont étudié « distillateur solaire à film capillaire à plusieurs étages, effet de certaines paramètres thermophysique sur le rendement. » (Université mentouri Constantine Algérie 2010) L'approvisionnement en eau potable est devenu le problème le plus préoccupant de notre époque, puisque la demande en eau croît tandis que les ressources naturelles diminuent ou tendent à disparaître. Une des solutions qui peut contribuer à l'augmentation des potentialités en eau est le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres. Le procédé le plus adéquat pour effectuer ce dessalement est la distillation solaire, vu sa simplicité, son moindre coût et surtout la disponibilité de la source d'énergie. Notre travail a pour but l'étude de la production d'eau douce d'un distillateur à film capillaire à plusieurs étages et l'étude de l'influence de certains paramètres thermo physiques sur la production afin de l'optimiser. Les résultats obtenus confirment que certains paramètres thermo physiques influent sur la production, car ces paramètres dépendent directement de la température de la saumure qui influe directement sur le rendement. [3]

N. Retiel, F. Abdessemed et M. Bettahar, ont étudié « Etude expérimentale d'un distillateur solaire plan amélioré ».

Recherche bibliographique

Il s'agit dans ce travail, de la mise en place d'un banc d'essai expérimental d'un modèle de distillateur plan à effet de serre. Le problème à traiter consiste à améliorer la production d'eau distillée en apportant des modifications sur ce nouveau modèle de distillateur avec l'utilisation d'un réflecteur plan pour augmenter le flux solaire global reçu, l'utilisation d'un système de préchauffage d'eau d'appoint du distillateur et enfin l'utilisation d'un absorbeur ondulé pour augmenter la surface d'absorption du flux solaire. Une série de tests a été effectuée pour connaître l'efficacité apportée par chacun de ces éléments. [4]

L. Merad, B. Benyoucef, Lo. Merad, T. Boussoukaia, B. Omari ont étudié « Etude d'un Procédé Thermique de Dessalement d'Eau de Mer par Aérogénérateur à Rendement Elevé ». (Université Abou Bakr Belkaïd B.P : 119 Tlemcen 13000 Algérie 2003) Le problème de l'eau potable se posant de façon aiguë sur notre planète, et particulièrement dans notre pays a engendré le développement des techniques de dessalement d'eau de mer qui soient économiques, Plus fiables et protectrice de l'environnement. D'ailleurs, 1.4 milliards d'habitants ne possèdent pas d'eau potable alors que les océans représentent 97% de l'eau de la planète. Plusieurs procédés de dessalement de l'eau de mer ont été utilisés, le plus simple étant la distillation de l'eau de mer, les sels étant non volatils.

Dans notre cas, nous avons effectué une simulation numérique du procédé thermique de dessalement de l'eau de mer, l'alternateur étant alimenté en énergie électrique par aérogénérateur rapide tripale et de 25 mètres de hauteur .L'installation comprend un compresseur, une pompe et un échangeur de chaleur dans lequel l'eau de mer est préchauffée et un évaporateur. La vapeur d'eau produite est comprimée par le compresseur entraîné par l'alternateur et ce, après élimination des gouttelettes d'eau. La pression étant très grande, la vapeur d'eau se condense à une température supérieure à celle régnant dans l'évaporateur ceci étant dû à la chaleur latente de condensation. Néanmoins, ce procédé présente quelques inconvénients tels que L'entartrage de l'échangeur et la corrosion des appareils .D'autre part, ce procédé permet l'alimentation en eau potable tout en préservant l'environnement car l'énergie électrique nécessaire est d'origine éolienne en plus d'une consommation plus faible [5]

H. Osman Alia, A. Kamichi, H. Ali Barkad ont étudié « Analyse d'un distillateur solaire actif avec récupération de chaleur ». (Lyon, 24 au 28 Août 2015), Le dessalement par voie thermique solaire est une solution qui est économiquement viable à petite échelle. Dans ce travail, un distillateur solaire actif avec simple pente a été considéré. Le distillateur est une enceinte couverte d'un transparent en verre et voit circuler sous une plaque de cuivre disposée en son fond le fluide caloporteur chauffé par un récepteur solaire. Afin d'augmenter le rendement du système, on envisage une récupération de la chaleur du saumure sortant par échange avec l'eau de mer rentrant dans la cuve. L'objectif est d'étudier ce système de récupération à base de la simulation numérique. Nous

Recherche bibliographique

avons pour cela traduit les différents échanges thermiques qui ont lieu dans l'installation. Nous avons ensuite intégré le modèle numériquement à l'aide d'un schéma approprié. Des études paramétriques étendues ont été réalisées dans le but d'évaluer la productivité en fonction de la température d'entrée du fluide caloporteur, la température d'entrée de l'eau de mer et la longueur du distillateur. [6]

A. ECHCHIKHI et autres ont étudié « Modélisations mathématique et numérique dessalement de l'eau de mer du » (11 - 14 Avril 2017 (Meknès, MAROC). Le manque des ressources en eau douce devient un problème primordial dans ces derniers temps, il est en effet un bien indispensable à la survie pourtant sa disponibilité n'est pas assuré partout et sa consommation devient plus intense vue l'augmentation de la population et l'irrégularité des précipitations ainsi que l'influence du réchauffement climatique. Ce travail est consacré à élaborer une étude qui consiste à établir un code numérique pour simuler la purification de l'eau de mer afin d'avoir une eau douce nécessaire à l'usage domestique et industriel. Un modèle mathématique correspondant au processus de dessalement de l'eau de mer a été implanté pour simuler la technique de la distillation thermique appliquée sur un distillateur solaire plane, les résultats de simulation permettent d'appréhender la séparation des particules salines de l'eau. Nous avons utilisé la méthode des différences finis schéma implicite pour résoudre les équations de Chaleur couplées et non linéaires. [7]

B. TIADJOUÉ, « Procèdes de dessalement d'eau de mer par énergie solaire à concentration », Thèse de Master, Université de Perpignan, France, 2010. De nombreux pays de notre planète sont menacés par des graves pénuries d'eau. Face à un accroissement des besoins en eau pour l'alimentation, l'agriculture et l'industrie et face à une démographie de plus en plus croissante, la difficulté d'approvisionnement en eau potable se présente comme un véritable fléau à la vie humaine sur terre et source de beaucoup de maladies autour de nous. Pour pallier à ce problème majeur de notre siècle, le dessalement de l'eau de mer se présente comme un moyen industriel fiable de production pouvant couvrir les besoins en eau douce de la plus part des pays du monde. Cette technique qui existe depuis fort longtemps et appliquée dans des pays dits « riches en pétrole », comme l'Arabie Saoudite, l'Algérie, le Koweït, le Qatar, la Libye..., exige des grands investissements qui sont fréquemment au-delà des moyens des pays en voie de développement. Le coût de ces investissements revient à la consommation de l'énergie au cours du cycle de production de l'eau douce. [8]

Recherche bibliographique

N. SMAKDJI, « optimisation et modélisation d'un distillateur solaire à ailettes avec stockage de chaleur », Thèse de Doctorat, université Constantine 1, Algérie 2014.

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 [26].

[26] 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. [9]

Chapitre 1

Généralité sur

le dessalement

Généralités sur le dessalement

1 L'énergie

1.1. Introduction

L'énergie est un concept fondamental en physique, exprimé dans le Système international d'unités, en joule (J). Les économistes utilisent la tonne d'équivalent pétrole (tep) tant dit ce que les médecins nutritionnistes la calorie (cal). En électricité, on utilise le wattheure (Wh). L'énergie caractérise la capacité d'un système à agir sur un autre système afin de modifier son état. Cette modification d'état peut concerner une modification de sa vitesse, de sa température avec émission ou pas de lumière, de son aspect (solide, liquide, gaz) et de ses propriétés physiques.

Einstein dans sa fameuse formule, $E = m \cdot C^2$ a démontré que toute chose dans l'univers est énergie. La lumière, la chaleur, la matière ne sont qu'énergie sous une forme ou une autre ou en transformation entre plusieurs formes.

1.2 .L'énergie solaire

1-2-1- Le soleil

Le soleil est une étoile autour de laquelle gravite la terre. Son énergie provient des réactions thermonucléaires de fusion de l'hydrogène en hélium et sa température superficielle moyenne est estimée à 5800K. La surface lumineuse habituellement visible, ou photosphère, est d'environ 100 km d'épaisseur. La chromosphère est la couche inférieure de l'atmosphère solaire entre la photosphère et la couronne. Les taches solaires qui sont des taches sombres sur la surface de la photosphère correspondent à des zones plus froides et ont une très grande diversité de forme et d'étendue. Les observateurs comme Galilée, ont vu que les taches se déplaçaient au fil du temps, toujours dans le même sens, ainsi montrant la rotation du soleil. Le globe solaire limité par la photosphère à un rayon égal à 696.000 km, soit environ 109 fois le rayon équatorial de la terre. Sa densité moyenne n'est que de 1,41 de sorte que sa masse est seulement 333.000 fois celle de la terre pour un volume 1.300.000 fois plus important. La distance moyenne de la terre au soleil est voisine de 150 millions de km et le rayonnement solaire met environ 8 minutes pour nous parvenir (figure I-1). [10]

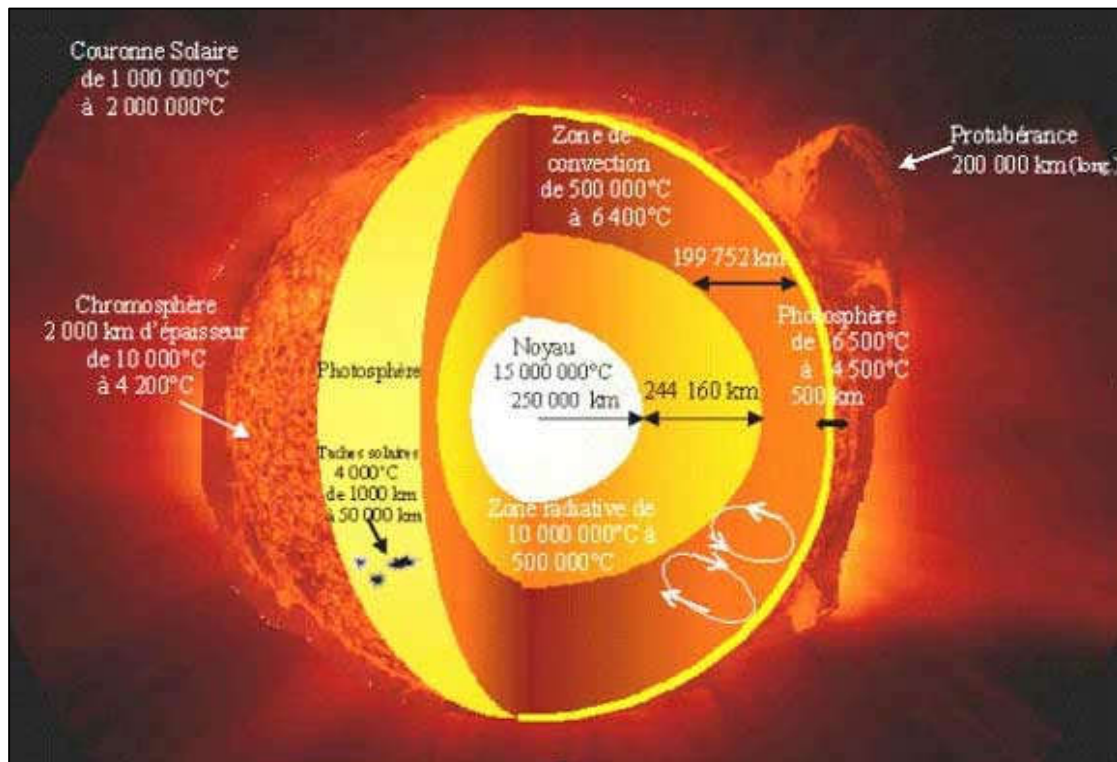


Figure 1.1 : structure de soleil en coupe [11]

1 .2.2 Origine de l'énergie solaire

Le soleil tire son énergie des réactions thermonucléaires se produisant en permanence dans son noyau, dont la température atteint 15 millions de degrés. Compte tenu des températures et des pressions énormes qui y règnent, toute la matière se trouve à l'état gazeux ou sous forme de plasma. Les réactions thermonucléaires qui se produisent dans le noyau du soleil (voir figure I.3) transforment chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium et les 4 millions de tonnes manquantes sont volatilisées ou sont désintégrées dans de gigantesques explosions nucléaires.

Le processus mis en jeu est bien compris depuis la célèbre relation d'Albert Einstein ($E = mc^2$) qui montre que toute disparition de masse (m) entraîne une production d'énergie égale au produit de cette masse par le carré de la vitesse de la lumière. La perte de masse du soleil par unité de temps vaut $4,28 \cdot 10^9$ k g/s, et l'énergie émise par seconde par le soleil est donc d'environ $3,85 \cdot 10^{20}$ MW. Sur le plan énergétique un réacteur de centrale nucléaire produit

typiquement 1000MW. Le Soleil fournit donc une puissance équivalente à celle de $4 \cdot 10^{17}$ réacteurs nucléaires, un chiffre véritablement astronomique. Cependant, seule une petite partie de cette puissance arrive à la surface de la terre du fait du faible angle solide sous lequel est vue notre planète à partir du soleil. Cette puissance, qui est environ deux milliards de fois moins importante reste quand même une valeur fort respectable (environ $1,9 \cdot 10^{11}$ MW) [12 ,13].

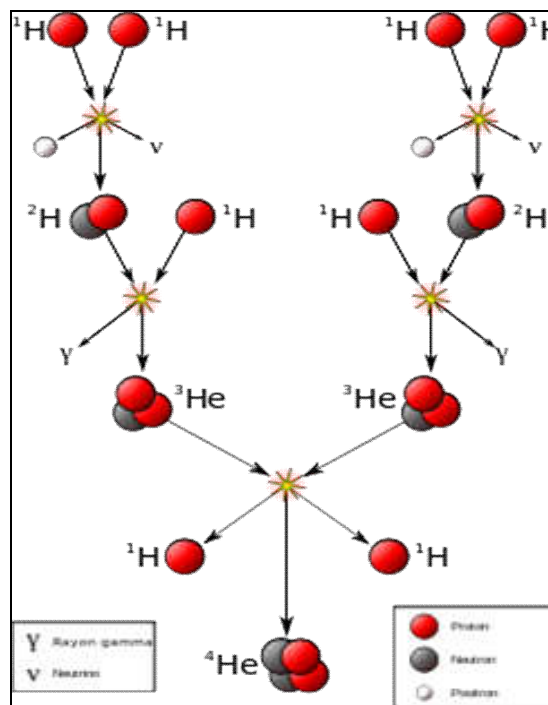


Figure 1-2: Les réactions de fusion nucléaire qui transforment en énergie [14].

1.3. Influence des constituants atmosphériques sur le rayonnement solaire

Après son voyage dans l'espace le rayonnement solaire atteint l'atmosphère. 19% de ce rayonnement sont absorbés par l'atmosphère, les nuages et les particules en suspension dans l'atmosphère (dioxyde de carbone CO₂, vapeur d'eau,), 30% sont réfléchis dans l'espace et 51% sont absorbés par la surface de la terre [15] (voir la figure I-3). La surface de la terre renvoie aussi une certaine partie sous forme d'un rayonnement de différentes longueurs d'ondes en raison de la température superficielle de la terre. Environ 70% du rayonnement solaire total reste dans la surface de la terre et son atmosphère.



Figure1.3 : Bilan du rayonnement solaire qui arrive sur le sol de la terre [16].

La rotation de la terre autour de son axe produit des variations horaires dans l'intensité du rayonnement reçue par un emplacement donné pendant le jour et aboutit même à l'extinction complète pendant la nuit.

En passant par l'atmosphère, le rayonnement solaire est partiellement dispersé dans toutes les directions, partiellement absorbé et partiellement réfléchi par les gaz atmosphériques, les aérosols et les gouttelettes de nuage. Le rayonnement dispersé atteignant la surface de la terre constitue ce qu'on appelle le rayonnement diffus. À nouveau une partie de ce rayonnement diffus est réfléchi dans l'espace, alors que la plus grande partie atteint la surface de la terre sous forme d'un rayonnement, direct, diffus et réfléchi [17], (figure I-4).

- Le rayonnement direct comme son nom l'indique est le rayonnement solaire reçu à n'importe quel point sur terre directement du soleil sans aucune perturbation.
- Le rayonnement réfléchi est principalement renvoyé par la surface réceptrice, cette composante est plus importante dans les régions montagneuses.

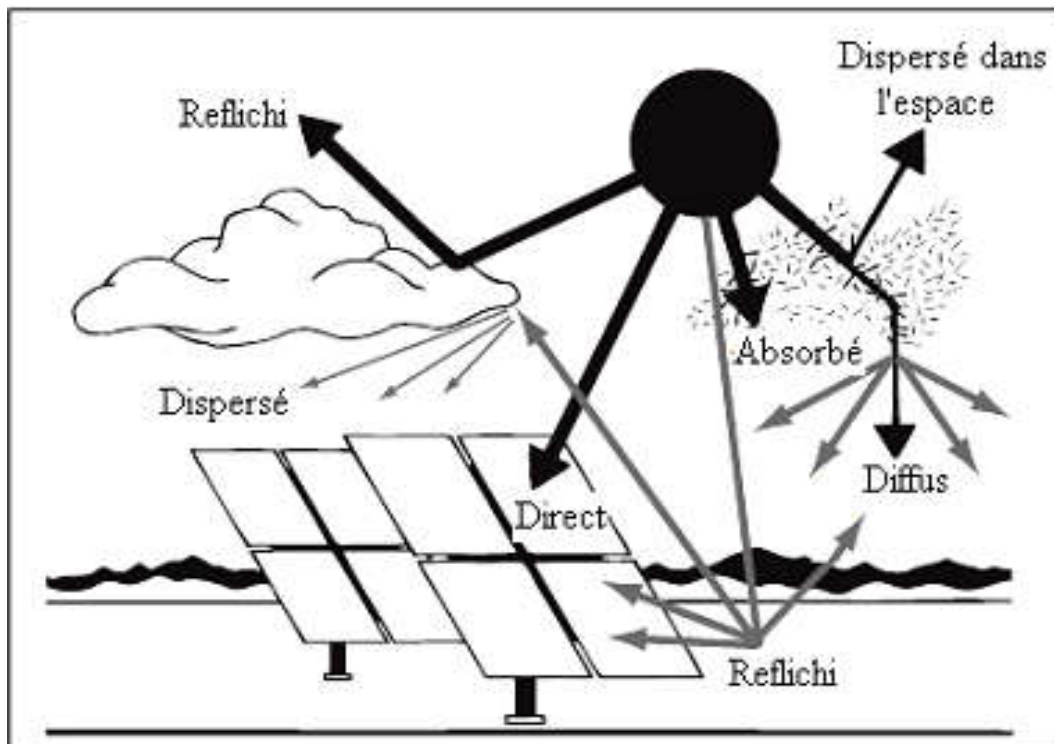


Figure 1.4 Composantes du rayonnement solaire [17].

La quantité de rayonnement solaire atteignant n'importe quel point de la surface de la terre dépend de la position de ce point, du moment de l'année, de la diffusion atmosphérique, de la couche des nuages et de la forme et la réflectivité de la surface réceptrice.

1.4. Le gisement solaire

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes à satisfaire. La figure I-5 représente la moyenne du rayonnement solaire mondiale par année [17].

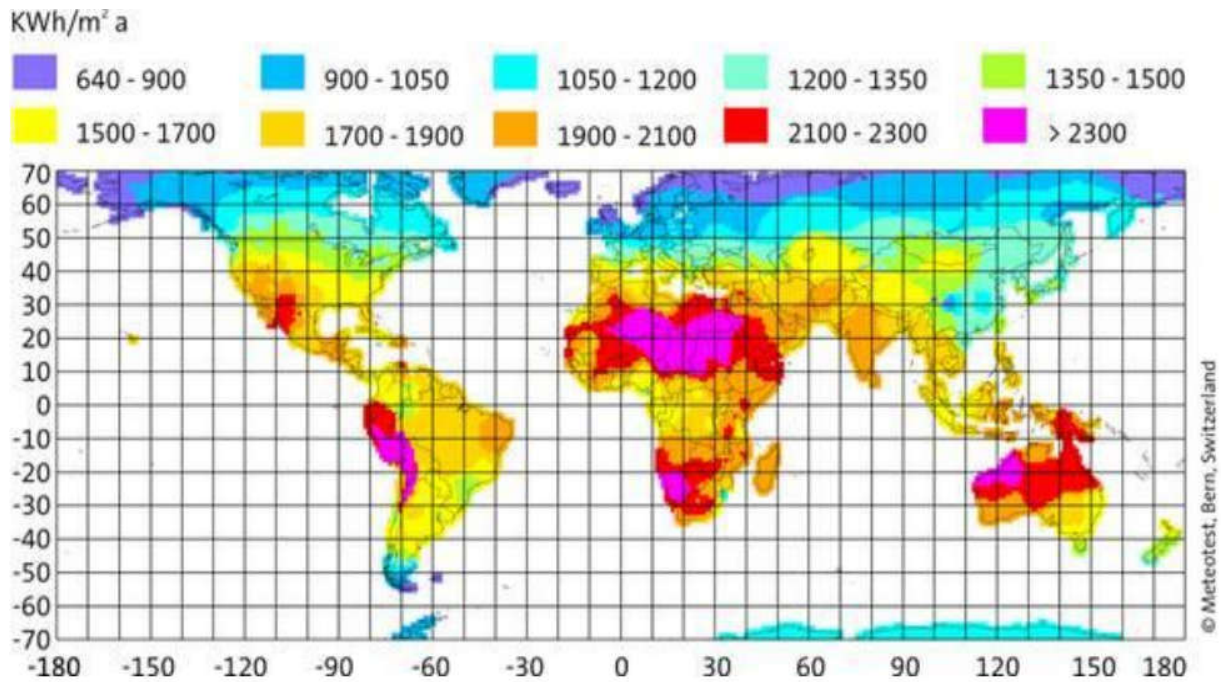


Figure 1.5: Rayonnement solaire annuel dans le monde (KWh/m².an) [17].

La durée d'insolation sur le quasi totalité de l'Algérie dépasse les 2500 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures dans le Sahara. L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au Sud du pays. La figure si après représente la moyenne d'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné en ALGÉRIE exprimée en KWh/m²/jour [17].

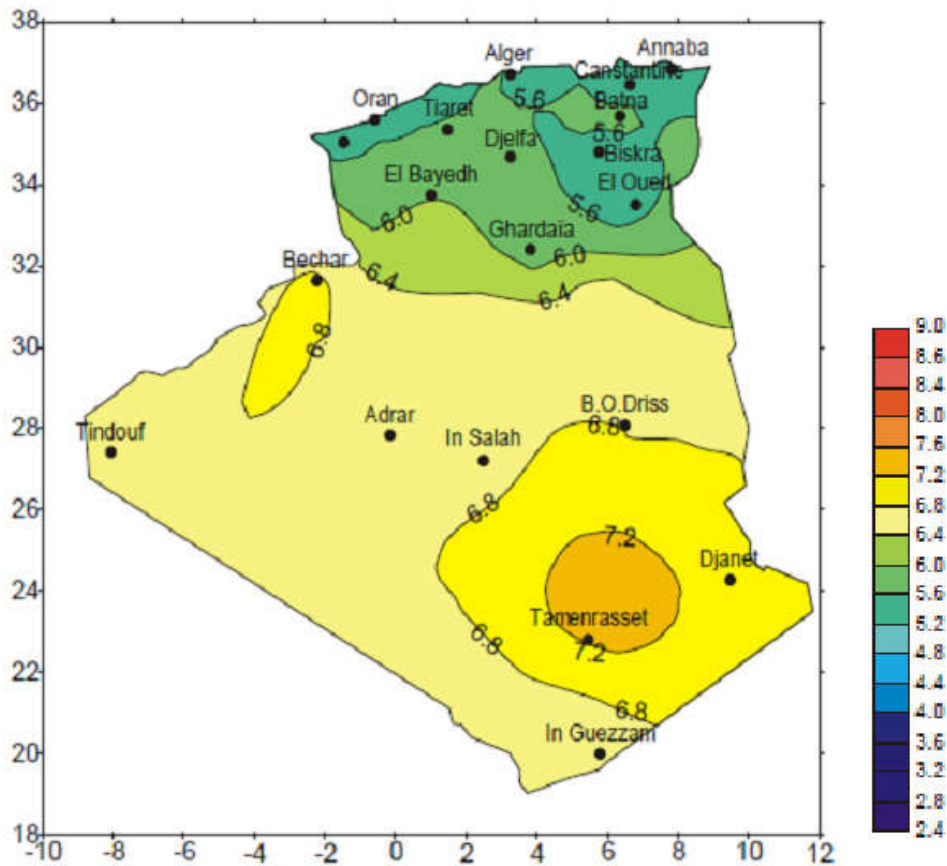


Figure I.6: Irradiation solaire globale moyenne sur l'Algérie KWh/m²/jour [18].

Le flux solaire reçu au niveau du sol dépend essentiellement de :

- L'orientation, la nature et l'inclinaison de la surface terrestre.
- La latitude du lieu de collecte.
- Le degré de pollution, ainsi que de son altitude.
- La période de l'année.
- L'instant considéré dans la journée.
- La nature des couches nuageuses.

1.5 Les applications de l'énergie solaire

L'énergie solaire est à l'origine de la plupart des sources d'énergies, soit directe ou indirecte, grâce à son apport de chaleur et de lumière. Les systèmes Technique employant l'énergie solaire directe convertissent le rayonnement solaire entrant directement en énergie utile comme par exemple l'électricité, la chaleur ou la lumière (l'éclairage). Par contre, le cycle du vent et de l'eau (voir figure I-7) et la biomasse sont les formes indirectes d'énergie solaire.

Dans ces cas, les processus normaux convertissent l'énergie solaire en d'autres types d'énergies.

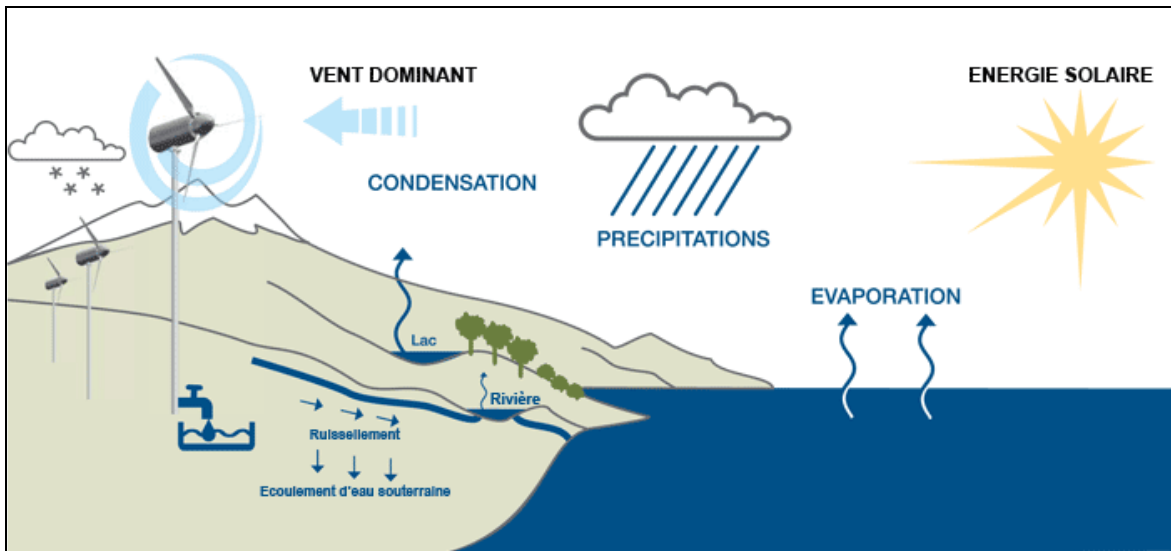


Figure I.7: Les différentes étapes du cycle de vent et de l'eau [19].

L'énergie solaire produite est utilisée selon plusieurs procédés (Figure I.8) Le solaire thermique (passif ou actif), le solaire thermodynamique, le solaire photovoltaïque et l'éclairage Naturel.

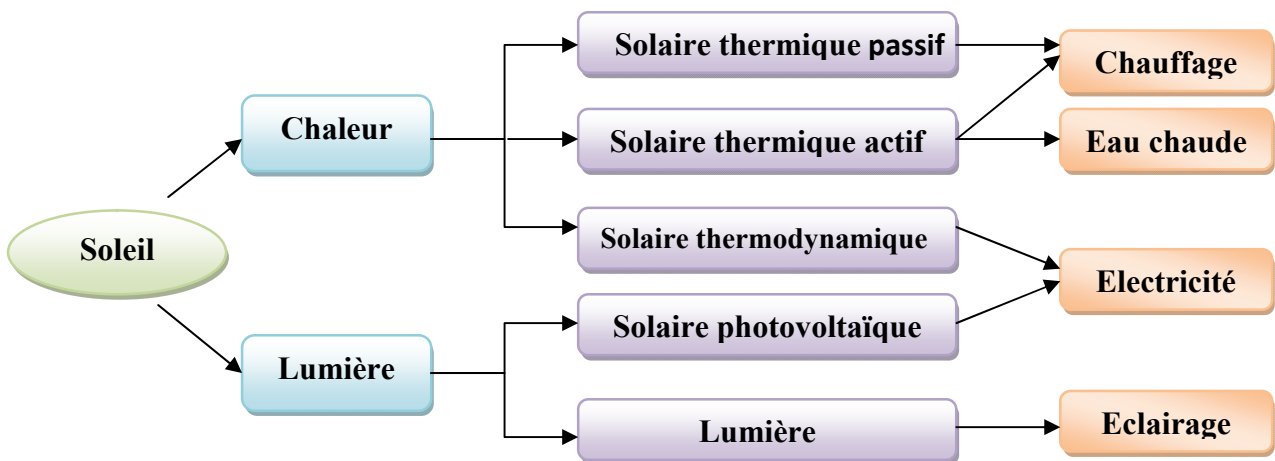


Figure I.8 Les applications de l'énergie solaire.

1.6. Evolution de la distillation solaire au cours du temps

Après la deuxième guerre mondiale, le monde a connu beaucoup de sécheresse. Il est apparu

Alors, que la distillation solaire pouvait jouer un rôle très important en produisant de l'eau douce à partir de l'énergie solaire et résoudre ainsi ce problème crucial. Beaucoup de pays ce sont donc mis au travail, en développant et en étudiant différents types de distillateurs solaires.

Parmi ces pays :

- L'ALGERIE

En 1953, Cyril Gomela a développé différents types de distillateurs solaires (plus de 20 Distillateurs ont été testés) et certains d'entre eux, ont été commercialisés à travers l'Afrique du Nord, le Sénégal, Chypre et l'Australie.

Savornin et Le Jeune ont étudié d'autres types de distillateurs à effet de serre et inclinés pour Essayer d'augmenter le rendement de la distillation solaire.[20]

- LE CHILI

Comme il fut mentionné, le premier site d'un distillateur solaire construit dans le monde Est celui du Suédois, DR Wilson au Chili en 1872. D'autres types de distillateurs ont été testés à Quilagua entre 1969 et 1970 [49]. En 1972, dans le port de Pisagua, quatre distillateurs inclinés ont été installés dans le but de prédire les caractéristiques d'un distillateur solaire sous différentes conditions atmosphériques.

- L'ESPAGNE

Il a été rapporté que durant l'année 1958, deux distillateurs solaires à bassin ont été Construits pour étudier les effets de l'inclinaison de la vitre et des techniques de constructions, et en 1966, un large site de 869 m² de surface a été construit à Las Marinas pour approvisionner en eau potable un village de 300 habitants.

- L'URSS

Il a été rapporté par que durant l'année 1956, le laboratoire de l'énergie solaire de Krzhizhanovsky de Moscou a développés des distillateurs solaires pour approvisionner en eau Potable des populations des régions arides et semi-arides en Russie. En 1962, un distillateur Solaire a été conçu et testé à l'université de Tachkent. Durant la période 1961-1965, des Distillateurs solaires expérimentaux ont été testés au Turkménistan et à partir de ces travaux, un large site de distillateurs solaires a commencé à être construit à Achkhabad en 1969 .

- LA TUNISIE

A partir de 1962, le groupe d'énergie solaire de l'agence tunisienne de l'énergie atomique a Étudié activement la distillation solaire Plus d'une dizaine de distillateurs solaires ont été fabriqués et en 1967, trois larges stations de distillateurs ont été construites.

I.7 La distillation

Le procédé de distillation utilise le même principe que celui du cycle hydrologique naturel de l'eau avec changement de phases. Il consiste à faire chauffer l'eau salée pour accélérer son évaporation, condenser cette vapeur et récupérer le condensat. L'inconvénient majeur de ce procédé est la consommation importante en énergie due à la valeur élevée de la chaleur de vaporisation de l'eau. Pour remédier à ce problème, plusieurs techniques ont été mises au point telles que la distillation à détente étagées connue sous le nom de multi-stage flash distillation (MSF), la distillation à multiples effets connue sous le nom multi-effet distillation (MED) et la distillation solaire.

1.7.1 La distillation solaire

La distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer de l'eau saumâtre dans un bac couvert par une vitre inclinée [21]. L'eau salée dans le bac va se chauffer (d'autant plus vite que le bassin est noir) et avec l'augmentation de température une partie de l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente.

Éventuellement des gouttes d'eau vont se former, couler sur la surface de la vitre et tomber dans le récupérateur situé au coin. Il faut régulièrement nettoyer le bassin pour éliminer le sel, voir la figure ci-dessus (Figure.9).

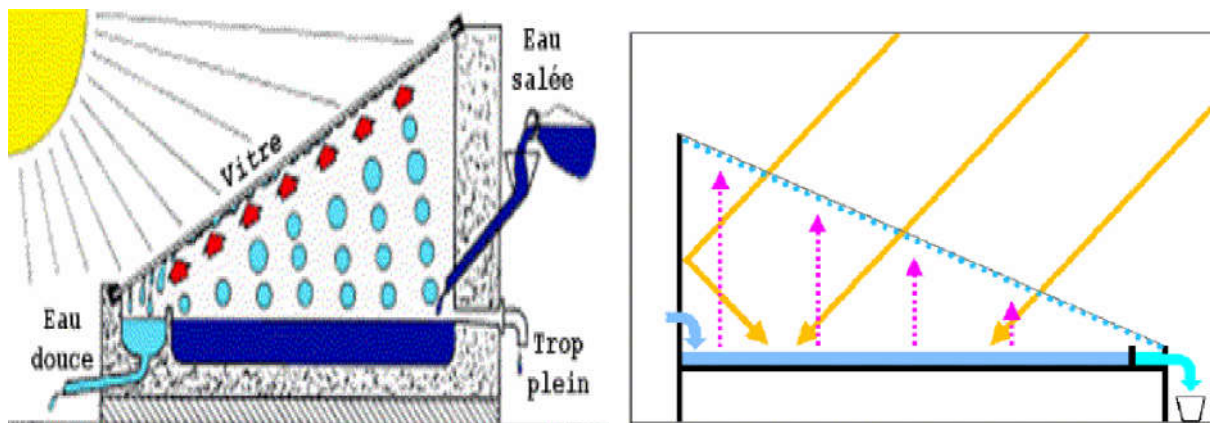


Figure I.9 : Principe de construction et de fonctionnement d'un distillateur solaire simple.[21,22]

I.8 Types de distillation solaire

Les procédés de dessalement par distillation utilisant l'énergie solaire sous forme thermique sont : distillation solaire à effet de serre, distillation solaire à multiples effets.

1.8.1 Le distillateur solaire plan à effet de serre

Soit une serre fermée et exposée au soleil à l'intérieure de laquelle se trouve une lame D'eau de mer ou d'eau saumâtre de quelques centimètres d'épaisseur. L'air à l'intérieur de la Serre est surchauffé et saturé de vapeur d'eau (douce) qui se condense au contact de la paroi en verre relativement froide. Les gouttes d'eau douce peuvent être recueillies en bas du vitrage dans une gouttière par exemple (Figure10.11) [23]

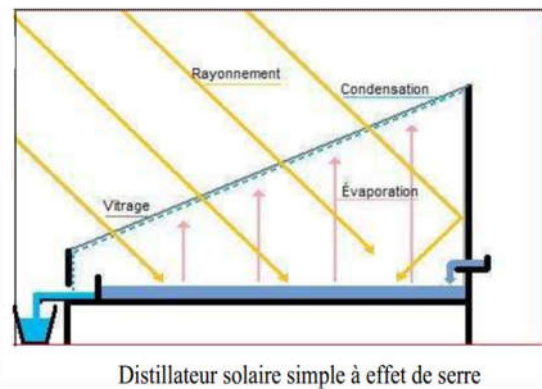
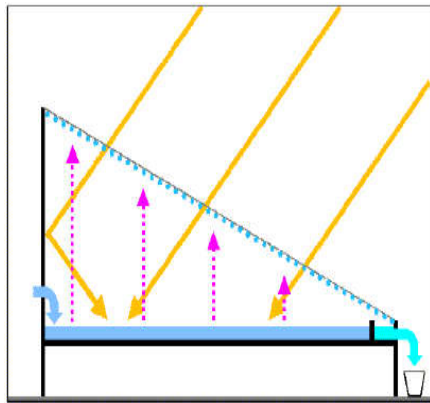


Fig. I.10 Distillateur solaire plan à effet de serre Fig. I.11. Distillateur solaire simple à effet de serre [24]

1.8.2 Le distillateur solaire à cascades

Ce type de distillateur (cf. figure) 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.[25]

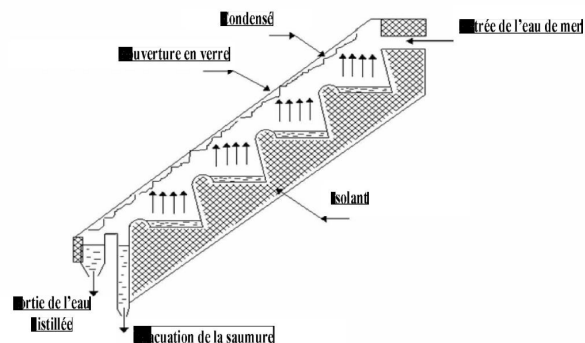


Figure. I.12 Distillateur solaire incliné à cascade [26]

I.8.3 Distillateur solaire incliné à mèche

Dans un distillateur à mèche, l'eau d'alimentation coule lentement à travers une garniture poreuse, absorbant les rayonnements (mèche). Deux avantages sont revendiqués sur les distillateurs de bassin. D'abord, la mèche peut être inclinée de sorte que l'eau d'alimentation présente un meilleur angle avec le soleil (réduisant la réflexion et présentant une grande surface efficace). En second lieu, moins d'eau d'alimentation est dans le distillateur à tout moment donc l'eau est chauffée plus rapidement et à une température élevée.[25] Les distillateurs simples à mèche sont plus efficaces que les distillateurs à bassin et quelques conceptions sont prétendues pour coûter moins qu'un distillateur à bassin du même Rendement L'appareil incliné à mèche permet de maintenir à peu près constante l'épaisseur de la lame d'eau. Le modèle représenté sur la figure. I.12, a été essayé pendant quelque temps d'une façon satisfaisante mais il a été très difficile de maintenir une humidité sur les mèches sans points secs.

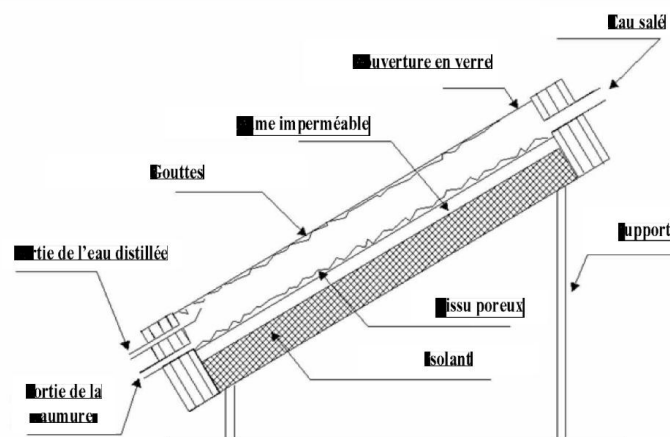


Figure I.13. Distillateur solaire incliné à mèche [26]

1.8.4 Le distillateur solaire sphérique à balayage

Ce distillateur est constitué d'une sphère en plexiglas ou autre matériau plastique transparent reposant sur des supports fig. I.14. Le principe de fonctionnement est le même que celui de l'effet de serre, sauf que la condensation s'effectue sur la demi-sphère supérieure et le

condensat est recueilli à la base de la demi-sphère inférieure. La nouveauté de ce modèle, c'est son système mécanique de récupération de l'eau distillée par l'intermédiaire d'un essuie-glace entraîné par un petit moteur électrique fonctionnant à l'énergie solaire photovoltaïque. Il existe d'autres types de distillateurs solaires mentionnés dans la littérature comme par Exemple : Le distillateur solaire terre-eau, le distillateur solaire vertical, le distillateur à étages, le distillateur à double vitrage, etc....[27]

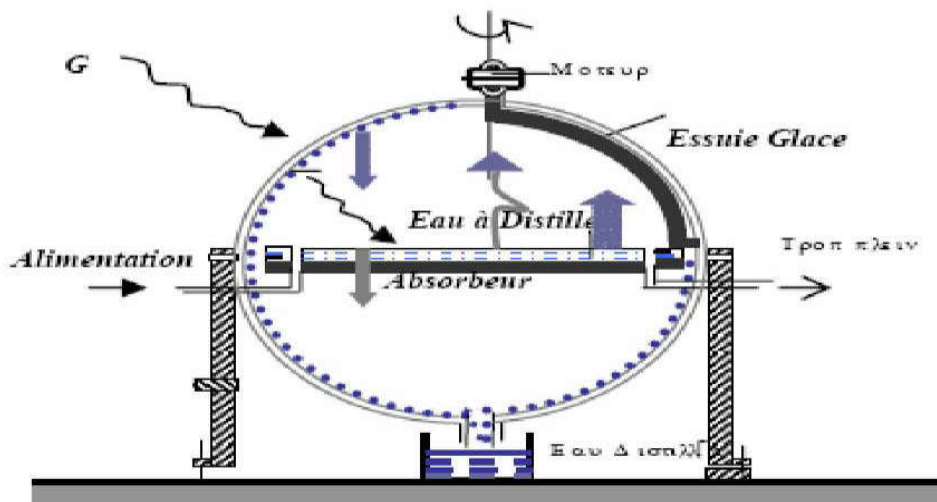


Figure. I.14 Distillateur solaire sphérique à balayage [27]

1.9 Distillation solaire à multiples effets

Il est donc apparu absolument nécessaire d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur à simple effet. Ceci a été obtenu grâce à la distillation à multiples effets. On sait en effet, que la température d'ébullition de l'eau varie avec la pression.

On peut donc utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau de chauffe d'une seconde chambre à pression et température plus faible, et ainsi de suite (Figure. I.15)

Le nom de multiples effets a été donné à ce type d'appareils parce que la vapeur initiale (Vapeur de chaudière) accomplit plusieurs fois son effet.

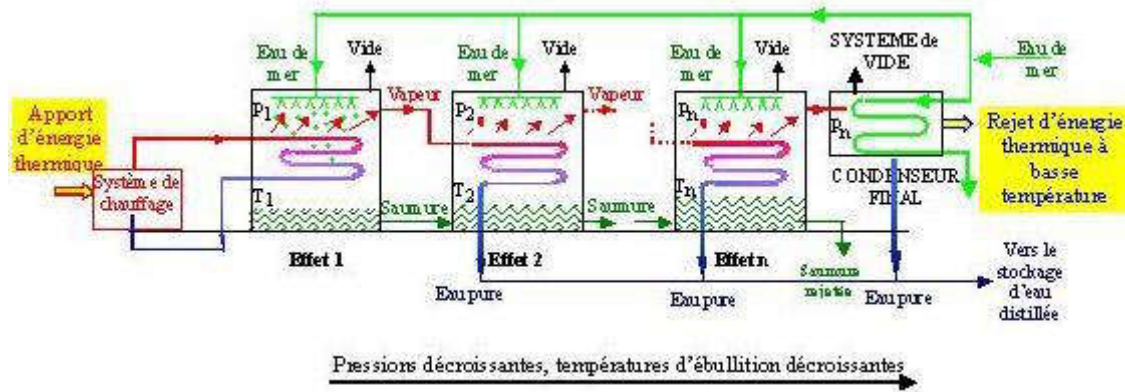


Fig. I.15 Distillation solaire à multiples effets [28]

Parmi les deux types, notre étude s'intéresse à la distillation solaire à effet de serre et principalement au distillateur solaire conventionnel (une seule pente).

I.10 PARAMETRES INFLUANT SUR LE FONCTIONNEMENT DU DISTILLATEUR

On peut classer les paramètres qui influent sur le fonctionnement du distillateur comme suit :

- ◆ Les paramètres de constructions.
- ◆ Les paramètres météorologiques.
- ◆ L'épaisseur de l'eau ou de la saumure à distiller.

I.10.1 Paramètres de constructions

Couverture La couverture verrière intervient essentiellement par sa nature, tel que transmette le maximum de rayonnement solaire et qu'elle soit opaque à l'infrarouge. Il faut qu'elle soit non hydrophobe elle doit aussi résister aux attaques du vent et des particules solides.

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 saumure et vitre l'angle d'inclinaison doit faire l'objet d'un choix judicieux. L'inclinaison influe d'autre part sur les équations des bilans énergétiques des différents constituants du distillateur. Les expressions seront données dans le chapitre suivant.

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 bac noir dépend de son inertie thermique, de la résistance à l'oxydation par l'eau et les dépôts minéraux.

La performance du distillateur augmente quand la distance entre la saumure et la vitre diminue. L'influence de l'inclinaison sur la performance diminue quand la distance entre la saumure et la vitre diminue.

I.10.2 Paramètres métrologiques

Les études faites par plusieurs chercheurs ont montré que les paramètres les plus fréquemment retenus sont :

- L'intermittence des nuages
- La variation du rayonnement global incident et le rayonnement diffus
- Le vent et la température ambiante

I.10.3 Epaisseur de l'eau ou de la saumure à distiller

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

1.10.4 Caractéristique d'un distillateur

Un distillateur solaire à effet de serre est caractérisé par plusieurs grandeurs :

- ☛ Le taux de production
- ☛ L'efficacité
- ☛ La performance
- ☛ La pression à l'intérieure du distillateur

I.11 L'osmose inverse

C'est une technique de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous une pression de l'ordre de 54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer (plus la concentration en sel de l'eau est élevée, plus la pression est autant plus forte).

Les membranes polymères semi-perméable, laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous et les molécules inorganiques de 10⁻⁷ m de taille.

La figure19, montre le principe de l'osmose et de l'osmose inverse, tandis que la figure20, montre les éléments composant une unité d'osmose inverse.[30]

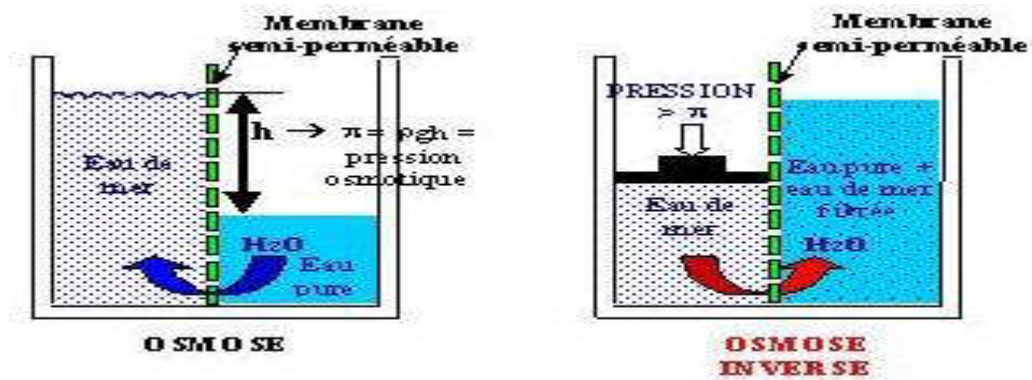


Fig. I.19. Le principe de l'osmose et de l'osmose inverse [30]

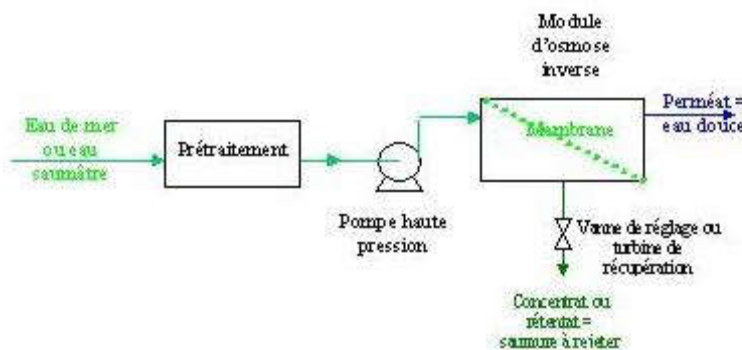


Fig. I.20. Les éléments composant une unité d'osmose inverse [30]

I.12 L'eau : ALLAH a dit dans le saint Coran, sourate des Prophètes, V30 "وجعلنا من الماء كل شيء حي"

« A partir de l'eau, nous avons constitué toute chose vivante »

Le livre saint affirme que l'eau, de par la volonté divine, est l'unique base de l'apparition de La vie. Cette propriété vivifiante ainsi que d'autres caractéristiques de l'eau se retrouvent dans maints versets coraniques En effet, l'eau qui est omniprésente recouvre 72% de la surface de la terre dont 97% d'eau salée et 3% d'eau douce. Elle se présente sous forme

liquide, gaz (vapeur d'eau) et solide et se trouve dans de grands réservoirs tels que les océans, les lacs, les nappes souterraines, l'atmosphère et les glaciers.[30]

La circulation de l'eau entre les différents réservoirs est décrite par le cycle de l'eau Fig. .I.15

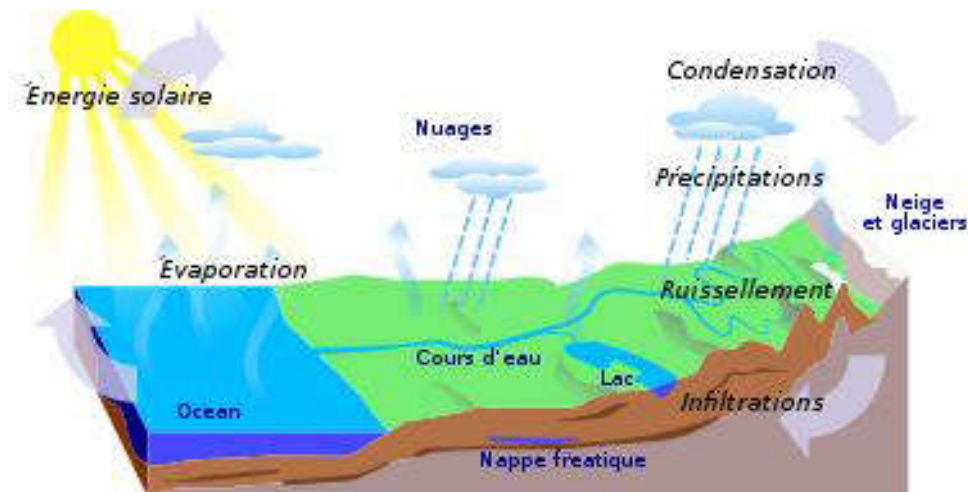


Fig. I.15 le cycle de l'eau

La dynamique du cycle hydrologique naturel de l'eau dont le moteur est l'énergie solaire Consistes-en :

- L'absorption de la radiation solaire par les océans, lacs, rivières etc...., va causer L'évaporation de l'eau.
- Le transport de la vapeur produite en tant qu'humidité de l'air vers les régions plus Froides par les vents.
- Le refroidissement et la condensation de la vapeur qui va causer les précipitations de Pluies et de neiges.

En moyenne sur l'année, 60% des précipitations qui arrivent à terre s'évaporent, 15% Ruissent et 25% s'infiltrent et alimentent les nappes souterraines L'eau, un liquide inodore, incolore et sans saveur, recèle des propriétés physiques et chimiques qui lui confèrent un rôle essentiel pour les écosystèmes et vital pour les êtres vivants.

1.11.1 Propriétés l'eau : L'eau peut se trouver sous trois états : Liquide, vapeur ou glace (Fig. .I.16)

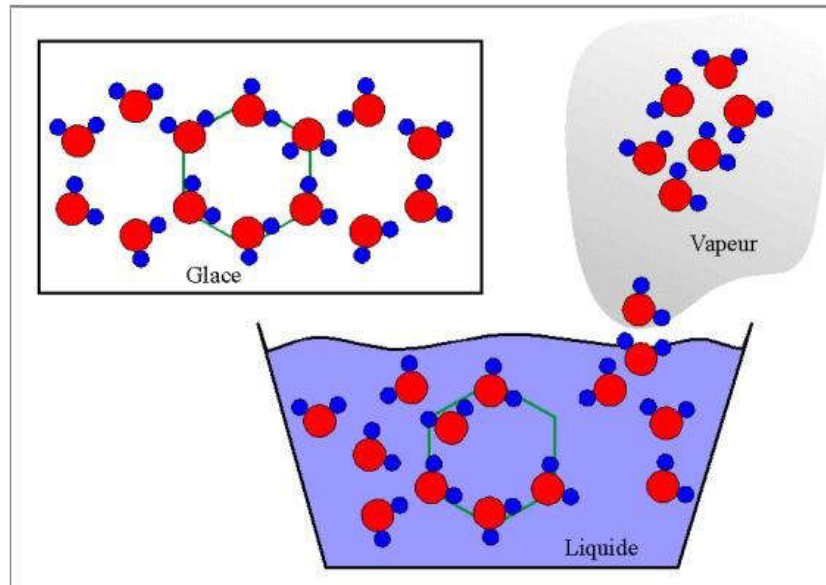


Fig. I.16 Les différentes dispositions des molécules d'eau dans ses trois états

La molécule d'eau (H_2O) se présente comme un tétraèdre dont l'atome d'oxygène occupe Presque le centre (voir la figure17)

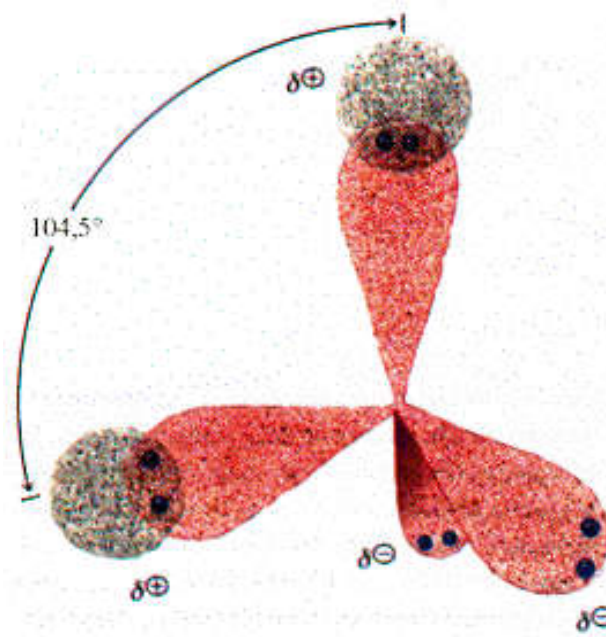


Fig. I.17 La molécule d'eau [30]

I.12 L'eau douce dans le monde

L'approvisionnement en eau douce ou potable devient chaque jour plus préoccupant et ne pourra qu'empirer dans les années à venir. La croissance démographique ainsi que le développement industrielle, agricole et la qualité du niveau de vie des populations mondiales, vont nécessairement exploser la consommation en eau et dégrader un peu de sa qualité, ce qui mettra en péril le ravitaillement en eau douce d'une grande partie de l'humanité. En effet, la population mondiale est passée de 1,7 milliards de personnes en 1900 à plus de 6 milliards en 2000 et sera 8 milliards en 2025. Tandis que la population mondiale triplait, la consommation en eau était multipliée par six au cours du vingtième siècle

Pour subvenir aux besoins hydriques et alimentaires d'une population sans cesse croissante, il a fallu alors augmenter les surfaces des terres agricoles. C'est ce que montre la figure 25, où 70% de la consommation annuelle mondiale en eau douce estimée en 2000 à environ 3800km³ est utilisée pour l'irrigation.[30]

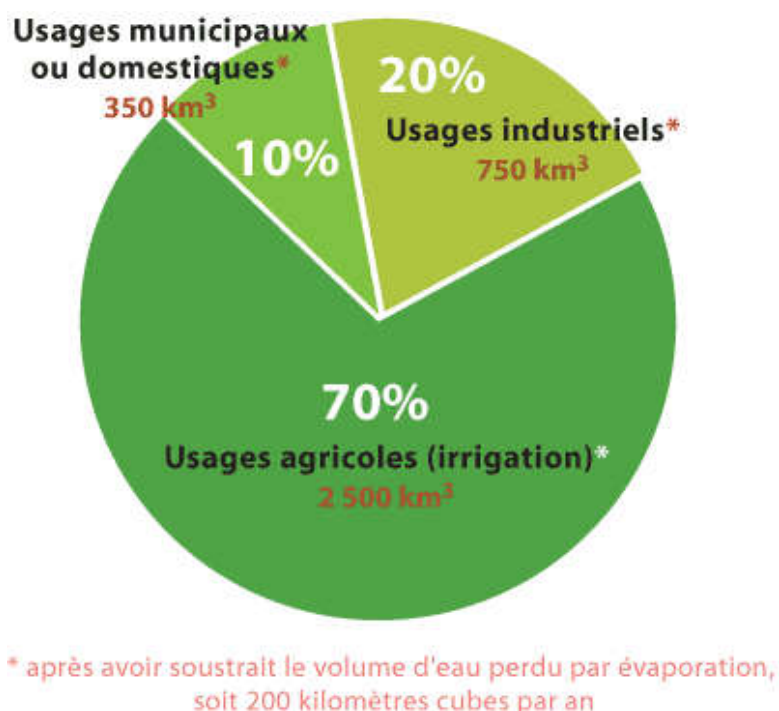


Fig. I.18 Taux de consommation mondiale et annuelle en eau douce Dans le monde[30]

Chapitre 2

Modélisation

Mathématique

Modélisation mathématique

La modélisation mathématique consiste à exprimer le phénomène physique en équations mathématiques avec certaines hypothèses simplificatrices.

Le distillateur solaire proposé est constitué essentiellement d'un absorbeur, de l'eau et d'une seule vitre ou deux vitres, c'est ce qu'on appelle distillateurs solaires à simple vitrage ou à double vitrage.

On se propose d'établir les bilans thermiques de chaque type, pour cela on considère chaque partie (absorbeur, eau ou vitre) comme un nœud sur lequel on établit le bilan thermique.

1Hypothèses

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 à 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.
- La masse de la vitre et de l'eau sont négligeables.
- Les vitres sont parfaitement identiques.

2Bilans thermiques

2.1Bilan thermique d'un distillateur à simple vitrage

A des fins pédagogiques, on présente le distillateur à simple vitrage par le schéma suivant



Figure 3.1 Distillateur à simple vitrage.

2.1.1 Bilan thermique de la vitre

La vitre reçoit les apports thermiques suivants

- **Apport thermique par Irradiation solaire**

$$\Phi_{iv1} = (1 - \rho_v)\alpha_v G \quad (3.1)$$

Φ_{rv} : Flux thermique échangé par irradiation solaire entre le ciel et la vitre.

- **Apport thermique par rayonnement masse d'eau - vitre**

$$\Phi_{rev} = h_{rev}(T_e - T_v) \quad (3.2)$$

Φ_{cev} : Flux thermique par convection entre la masse d'eau et la vitre.

h_{rev} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre la masse d'eau et la vitre.

Avec :

$$h_{rev} = 0.884 \left[T_e - T_v + \frac{(P_e - P_v) \cdot (T_v + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_v} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3.3)$$

$$P = \exp \left(25.317 - \frac{5144}{T + 273.15} \right) \quad (3.4)$$

- **Apport thermique par convection la masse d'eau - vitre**

$$\Phi_{cev} = h_{cev}(T_e - T_v) \quad (3.5)$$

Φ_{cev} : Flux thermique par convection entre la masse d'eau et la vitre.

h_{cev} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la masse d'eau et la vitre.

Avec :

$$h_{rev} = 0.884 \left[T_e - T_v + \frac{(P_e - P_v) \cdot (T_v + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_v} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3.6)$$

- **Apport thermique par évaporation de la masse d'eau - vitre**

$$\Phi_{eev} = h_{eev}(T_e - T_v) \quad (3.7)$$

Φ_{eev} : flux thermique échangé par évaporation entre la masse d'eau et la vitre.

h_{eev} : Coefficient d'échange thermique par évaporation entre la masse d'eau la vitre.

Avec:

$$h_{eev} = 16.273 \cdot 10^{-3} h_{cev} \left(\frac{P_e - P_v}{T_e - T_v} \right) \quad (3.8)$$

Donc, tous ces flux thermiques échangés peuvent être écrits en une seule équation telle que

- **Perte thermique par rayonnement première vitre – ciel**

$$\Phi_{rv1c} = h_{rv1c}(T_v - T_c) \quad (3.9)$$

Avec

Φ_{rv1c} : Flux thermique échangé par rayonnement vitre1- ciel.

h_{rv1c} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement vitre1- ciel.

Avec:

$$h_{rv1c} = \frac{\varepsilon_{v1}\sigma [(T_{v1}+273.15)^4 - (T_c+273.15)^4]}{T_{v1}-T_c} \quad (3.10)$$

$$T_c = T_a - 12 \quad (3.11)$$

La première vitre cède les flux thermiques suivants

- **Perte thermique par convection première - au milieu ambiant**

$$\Phi_{cva} = h_{cva}(T_v - T_a) \quad (3.12)$$

Φ_{cva} : Flux thermique échangé par rayonnement vitre1- ciel.

h_{cva} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement vitre1- ciel.

$$h_{cva} = 5.7 + 3.8V \quad (3.13)$$

Avec :

V : la vitesse du vent.

Donc, tous ces flux thermiques échangés peuvent être écrits en une seule équation telle que

$$\Phi_{iv} + \Phi_{rev} + \Phi_{cev} + \Phi_{eev} - \Phi_{rv1c} - \Phi_{cva} = 0 \quad (3.14)$$

$$(1 - \rho_v)\alpha_v G + h_{rev}(T_e - T_v) + h_{cev}(T_e - T_v) + h_{eev}(T_e - T_v) - h_{rv1c}(T_v - T_c) - h_{cva}(T_v - T_a) = 0 \quad (3.15)$$

2.1.2 Bilan thermique de la masse d'eau

La masse d'eau reçoit les flux thermiques suivants

- **Apport par irradiation solaire**

$$\Phi_{ie} = (1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_{ab}G \quad (3.16)$$

Φ_{ie} : Flux thermique échangé par irradiation solaire entre la vitre et le ciel.

- **Apport thermique par rayonnement absorbeur - masse d'eau**

$$\Phi_{rabe} = h_{rabe}(T_{ab} - T_e)(3.17)$$

Φ_{rabe} : Flux thermique échangé par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

h_{rabe} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

Avec :

$$\Phi_{rabe} = \varepsilon_{eff} \sigma \left[(T_{ab} + 273.15)^2 - (T_e + 273.15)^2 \right] (T_{ab} + T_e + 546) \quad (3.18)$$

$$\varepsilon_{eff} = \left[\frac{1}{\varepsilon_e} + \frac{1}{\varepsilon_{v2}} - 1 \right]^{-1}$$

ε_e : Emissivité de la première vitre.

- **Apport thermique par convection absorbeur–masse d'eau**

$$\Phi_{cabe} = h_{cabe}(T_{ab} - T_e)(3.19)$$

Φ_{cabe} : Flux thermique échangé par convection entre l'absorbeur et la masse d'eau.

h_{cabe} : Coefficient d'échange thermique par convection entre l'absorbeur et la masse d'eau.

$$h_{cabe} = \frac{Nu\lambda_f}{L}(3.20)$$

La masse d'eau cède les flux thermiques suivants

- **Perte thermique par convection de la masse d'eau – vitre.**

$$\Phi_{rev} = h_{rev}(T_e - T_v)(3.21)$$

Φ_{rev} : Flux thermique par convection entre la masse d'eau - vitre.

h_{rev} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la masse d'eau - vitre.

Avec :

$$h_{rev} = 0.884 \left[T_e - T_{v2} + \frac{(P_e - P_v) \cdot (T_v + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_v} \right]^{\frac{1}{3}}(3.22)$$

$$P = \exp \left(25.317 - \frac{5144}{T + 27.315} \right)(3.23)$$

- **Perte thermique par rayonnement de la masse d'eau - vitre**

$$\Phi_{cev} = h_{cev}(T_e - T_v)(3.24)$$

Φ_{cev} : Flux thermique par convection entre la masse d'eau - vitre.

h_{cev} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la masse d'eau - vitre.

Avec :

$$h_{rev} = 0.884 \left[T_e - T_v + \frac{(P_e - P_v) \cdot (T_v + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_v} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3.25)$$

$$P = \exp \left(25.317 - \frac{5144}{T + 27.315} \right) \quad (3.26)$$

- **Perte thermique par évaporation de la masse d'eau - vitre**

$$\Phi_{eev} = h_{eev} (T_e - T_v) \quad (3.27)$$

Φ_{eev} : Flux thermique échangé par évaporation entre la masse d'eau - vitre.

h_{eev} : Coefficient d'échange thermique par évaporation entre la masse d'eau - vitre.

Avec:

$$h_{eev} = 16.273 \cdot 10^{-3} h_{cev} \left(\frac{P_e - P_v}{T_e - T_v} \right) \quad (3.28)$$

Donc, tous ces flux thermiques échangés peuvent être écrits en une seule équation telle que

$$\Phi_{ie} + \Phi_{rabe} + \Phi_{cabe} - \Phi_{rev} - \Phi_{cev} - \Phi_{eev} = 0 \quad (3.29)$$

Donc, tous ces flux thermiques échangés peuvent être écrits en une seule équation telle que

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v) \alpha_{ab} G + h_{rabe} (T_{ab} - T_e) + h_{cabe} (T_{ab} - T_e) - h_{rev} (T_e - T_v) - h_{cev} (T_e - T_v) - h_{eev} (T_e - T_v) = 0 \quad (3.30)$$

2.1.3 Bilan thermique de l'absorbeur

L'absorbeur reçoit les apports suivants

- **Apport par irradiation**

$$\Phi_{iab} = (1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_e) \alpha_{ab} G \quad (3.31)$$

L'absorbeur cède les flux thermiques suivants

- **Perte thermique par rayonnement absorbeur - masse d'eau**

$$\Phi_{rabe} = h_{rabe} (T_{ab} - T_e) \quad (3.32)$$

Φ_{rabe} : Flux thermique échangé par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

h_{rabe} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

Avec :

$$\Phi_{rabe} = \varepsilon_{eff} \sigma \left[(T_{ab} + 273.15)^2 - (T_e + 273.15)^2 \right] (T_{ab} + T_e + 546) \quad (3.33)$$

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

ε_{ab} : Emissivité de l'absorbeur.

- **Perte thermique par convection absorbeur–masse d’eau**

$$\Phi_{cabe} = h_{cabe}(T_{ab} - T_e)(3.34)$$

Φ_{cabe} : Flux thermique échangé par convection entre l’absorbeur et la masse d’eau.

h_{cabe} : Coefficient d’échange thermique par convection entre l’absorbeur et la masse d’eau.

Donc, tous ces flux thermiques échangés peuvent être écrits en une seule équation telle que

$$\Phi_{ie} - \Phi_{rabe} - \Phi_{cabe} = 0(3.35)$$

Donc, tous ces flux thermiques échangés peuvent être écrits en une seule équation telle que

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_e)\alpha_{ab}G - h_{rabe}(T_{ab} - T_e) - h_{cabe}(T_{ab} - T_e) = 0(3.36)$$

Ainsi, le distillateur à simple vitrage est bien modélisé.

2.2 Bilan thermique d’un distillateur à double vitrage

Pour fixer les idées, on se propose le schéma du distillateur à double vitrage suivant

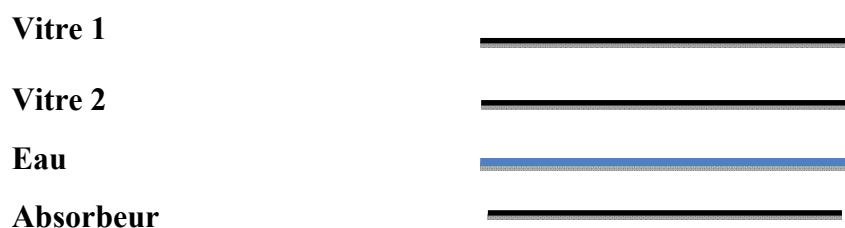


Figure 3.1 Distillateur à double vitrage.

2.2.1 Bilan thermique de la première vitre

La vitre reçoit les apports thermiques suivants

- **Apport thermique par Irradiation solaire**

$$\Phi_{iv1} = (1 - \rho_v)\alpha_v G(3.37)$$

Φ_{iv1} : Flux thermique échangé par irradiation solaire entre le ciel et la vitre 1.

- **Apport thermique par rayonnement vitre2-vitre1**

$$\Phi_{rv2v1} = h_{rv2v1}(T_{v2} - T_{v1})(3.38)$$

Φ_{rv2v1} : Flux thermique échangé par rayonnement entre le film d’eau et la vitre.

h_{rv1c} : Coefficient d’échange thermique par rayonnement entre le film d’eau et la vitre.

Avec :

$$h_{rv1c} = \varepsilon_{eff} \sigma \left[(T_{v1} + 273.15)^2 - (T_{v2} + 273.15)^2 \right] (T_{v1} + T_{v2} + 546) \quad (3.39)$$

$$\varepsilon_{eff} = \left[\frac{1}{\varepsilon_{v1}} + \frac{1}{\varepsilon_{v2}} - 1 \right]^{-1}$$

ε_{v1} : Emissivité de la première vitre.

ε_{v2} : Emissivité de la deuxième vitre.

- **Apport thermique par convection vitre2-vitre 1**

$$\Phi_{cv2v1} = h_{cv2v1}(T_{v2} - T_{v1})(3.40)$$

Φ_{cv2v1} : Flux thermique échangé par convection entre la vitre 2 et la vitre 1.

h_{cv2v1} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre 2 et la vitre 1.

Avec :

$$h_{cv2v1} = 0.884 \left[T_{v2} - T_{v1} + \frac{(P_{v2} - P_{v1}) \cdot (T_{v2} + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_{v2}} \right]^{\frac{1}{3}} (3.41)$$

La première vitre cède les flux thermiques suivants

- **Perte thermique par rayonnement première vitre – ciel**

$$\Phi_{rv1c} = h_{rv1c}(T_{v1} - T_c)(3.42)$$

Avec

Φ_{rv1c} : Flux thermique échangé par rayonnement vitre1- ciel.

h_{rv1c} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement vitre1- ciel.

Avec:

$$h_{rv1c} = \frac{\varepsilon_v \sigma \left[(T_{v1} + 273.15)^4 - (T_c + 273.15)^4 \right]}{T_{v1} - T_c}$$

La première vitre cède les flux thermiques suivants

- **Perte thermique par convection première - au milieu ambiant**

$$\Phi_{cv1a} = h_{cv1a}(T_{v1} - T_a)(3.43)$$

Φ_{cv1a} : Flux thermique échangé par rayonnement vitre1- ciel.

h_{cv1a} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement vitre1- ciel.

$$h_{rv1a} = 5.7 + 3.8V(3.44)$$

Avec

V : la vitesse du vent.

Donc, tous ces flux thermiques échangés peuvent être écrits en une seule équation telle que

$$\Phi_{iv1} + \Phi_{rv2v1} + \Phi_{cv2v1} - \Phi_{rv1c} - \Phi_{cv1a} = 0 \quad (3.45)$$

$$(1 - \rho_v)\alpha_v G + h_{rv2v1}(T_{v2} - T_{v1}) + h_{cv2v1}(T_{v2} - T_{v1}) - h_{rv1c}(T_{v1} - T_c) - h_{cv1a}(T_{v1} - T_a) = 0 \quad (3.46)$$

2.2.2 Bilan thermique de la deuxième vitre

La deuxième vitre reçoit les apports suivants

- **Apport thermique par irradiation solaire**

$$\Phi_{rv2} = (1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_v G \quad (3.47)$$

Φ_{rv2} : Flux thermique échangé par irradiation solaire entre le ciel et la vitre 2.

- **Apport thermique par rayonnement de la masse d'eau - vitre2**

$$\Phi_{rev2} = h_{rev2}(T_e - T_{v2}) \quad (3.49)$$

Φ_{rev2} : Flux thermique échangé par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

h_{rev2} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

Avec

$$h_{rev2} = \varepsilon_{eff} \sigma \left[(T_e + 273.15)^2 - (T_{v2} + 273.15)^2 \right] (T_e + T_{v2} + 546) \quad (3.50)$$

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

ε_e : Emissivité de la vitre.

- **Apport thermique par convection de la masse d'eau - vitre2**

$$\Phi_{cev2} = h_{cev2}(T_e - T_{v2}) \quad (3.51)$$

Φ_{cev2} : Flux thermique échangé par convection entre la masse d'eau et la vitre 2.

h_{cev2} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la masse d'eau et la vitre 2.

Avec

$$h_{cev2} = 0.884 \left[T_e - T_{v2} + \frac{(P_e - P_{v2})(T_{v2} + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_{v2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3.52)$$

- **Apport thermique par évaporation de la masse d'eau - vitre 2**

$$\Phi_{eev2} = h_{eev2}(T_e - T_{v2}) \quad (3.53)$$

Φ_{eev2} : Flux thermique échangé par évaporation entre la masse d'eau et la vitre 2.

h_{eev2} : Coefficient d'échange thermique par évaporation entre la masse d'eau et la vitre2.

Avec

$$h_{eev2} = 16.273.10^{-3} h_{cev2} \left(\frac{P_e - P_{v2}}{T_e - T_{v2}} \right) (3.54)$$

La deuxième vitre cède les flux thermiques suivants

- **Perte thermique par rayonnement vitre 2–vitre1**

$$\Phi_{rv2v1} = h_{rv2v1} (T_{v2} - T_{v1}) (3.55)$$

Φ_{rv2v1} : Flux thermique échangé par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

h_{rv2v1} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

Avec

$$h_{rv1c} = \varepsilon_{eff} \sigma \left[(T_e + 273.15)^2 - (T_{v2} + 273.15)^2 \right] (T_e + T_{v2} + 546) (56)$$

- **Perte thermique par convection vitre 2–vitre1**

$$\Phi_{cv2v1} = h_{cv1c} (T_{v2} - T_{v1}) (3.57)$$

Φ_{cv2v1} : Flux thermique échangé par convection entre la vitre 2 et la vitre 1.

h_{cv2v1} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre 2 et la vitre 1.

Avec

$$h_{cv2v1} = 0.884 \left[T_{v2} - T_{v1} + \frac{(P_{v2} - P_{v1}) \cdot (T_{v2} + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_{v2}} \right]^{\frac{1}{3}} (3.58)$$

Donc, tous ces flux thermiques échangés peuvent être écrits en une seule équation telle que

$$\Phi_{iv2} + \Phi_{rev2} + \Phi_{cev2} + \Phi_{eev2} - \Phi_{rv2v1} - \Phi_{cv2v1} = 0 (3.59)$$

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_v G + h_{rev2}(T_e - T_{v2}) + h_{cev2}(T_e - T_{v2}) + h_{eev2}(T_e - T_{v2}) - h_{rv2v1}(T_{v2} - T_{v1}) - h_{cv2v1}(T_{v2} - T_{v1}) = 0 (3.60)$$

2.2.3 Bilan thermique de la masse d'eau

La masse d'eau reçoit les flux thermiques suivants

- **Apport par irradiation solaire**

$$\Phi_{ie} = (1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_v \alpha_e G (3.61)$$

Φ_{rv1} : Flux thermique échangé par irradiation solaire entre le ciel et la vitre 1.

- **Apport thermique par rayonnement absorbeur - masse d'eau**

$$\Phi_{rabe} = h_{rabe}(T_{ab} - T_e)(3.62)$$

Φ_{rabe} : Flux thermique échangé par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

h_{rabe} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

Avec :

$$\Phi_{rabe} = \varepsilon_{eff} \sigma \left[(T_{ab} + 273.15)^2 - (T_e + 273.15)^2 \right] (T_{ab} + T_e + 546) \quad (3.63)$$

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

- **Apport thermique par convection absorbeur-masse d'eau**

$$\Phi_{cabe} = h_{cabe}(T_{ab} - T_e)(3.64)$$

Φ_{cabe} : Flux thermique échangé par convection entre l'absorbeur et la masse d'eau.

h_{cabe} : Coefficient d'échange thermique par convection entre l'absorbeur et la masse d'eau.

$$h_{cabe} = \frac{Nu\lambda_f}{L}(3.65)$$

La masse d'eau cède les flux thermiques suivants

- **Perte thermique par rayonnement de la masse d'eau - vitre2**

$$\Phi_{rev2} = h_{rev2}(T_e - T_{v2})(3.66)$$

Φ_{rev2} : Flux thermique par convection entre la vitre 2 et la vitre 1.

h_{rev2} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre 2 et la vitre 1.

Avec

$$h_{rev2} = 0.884 \left[T_e - T_{v2} + \frac{(P_{ve} - P_{v2}) \cdot (T_{v2} + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_{v2}} \right]^{\frac{1}{3}} (3.67)$$

- **Perte thermique par convection de la masse d'eau - vitre2**

$$\Phi_{cev2} = h_{cev2}(T_e - T_{v2})(3.66)$$

Φ_{cev2} : Flux thermique par convection entre la vitre 2 et la vitre 1.

h_{cev2} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre 2 et la vitre 1.

Avec

$$h_{cev2} = 0.884 \left[T_e - T_{v2} + \frac{(P_{ve} - P_{v2}) \cdot (T_{v2} + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_{v2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3.67)$$

- **Perte thermique par évaporation de la masse d'eau - vitre 2**

$$\Phi_{eev2} = h_{eev2}(T_e - T_{v2}) \quad (3.68)$$

Φ_{eev2} : flux thermique échangé par évaporation entre le film d'eau et la vitre 2.

h_{eev2} : Coefficient d'échange thermique par évaporation entre la masse d'eau la vitre 2.

Avec

$$h_{eev2} = 16.273 \cdot 10^{-3} h_{cev} \left(\frac{P_E - P_V}{T_E - T_V} \right) \quad (3.69)$$

Donc, tous ces flux thermiques échangés peuvent être écrits en une seule équation telle que

$$\Phi_{ie} + \Phi_{rabe} + \Phi_{cabe} - \Phi_{rev2} - \Phi_{cev2} - \Phi_{eev2} = 0 \quad (3.70)$$

Donc, tous ces flux thermiques échangés peuvent être écrits en une seule équation telle que

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_e G + h_{rabe}(T_{ab} - T_e) + h_{cabe}(T_{ab} - T_e) - h_{rev2}(T_e - T_{v2}) - h_{cev2}(T_e - T_{v2}) - h_{eev2}(T_e - T_{v2}) = 0 \quad (3.71)$$

2.2.4 Bilan thermique de l'absorbeur

L'absorbeur reçoit les apports suivants

- **Apport par irradiation**

$$\Phi_{iab} = (1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_e)\alpha_{ab}G \quad (3.72)$$

L'absorbeur cède les flux thermiques suivants

- **Perte thermique par rayonnement absorbeur - masse d'eau**

$$\Phi_{rabe} = h_{rabe}(T_{ab} - T_e) \quad (3.73)$$

Φ_{rabe} : Flux thermique échangé par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

h_{rabe} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

Avec

$$\Phi_{rabe} = \varepsilon_{eff} \sigma \left[(T_{ab} + 273.15)^2 - (T_e + 273.15)^2 \right] (T_{ab} + T_e + 546) \quad (3.74)$$

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

- **Perte thermique par convection absorbeur-masse d'eau**

$$\Phi_{cabe} = h_{cabe}(T_{ab} - T_e)(3.75)$$

Φ_{cabe} : Flux thermique échangé par convection entre l'absorbeur et la masse d'eau.

h_{cabe} : Coefficient d'échange thermique par convection entre l'absorbeur et la masse d'eau.

$$h_{cabe} = \frac{Nu\lambda_f}{L}(3.76)$$

La masse d'eau cède les flux thermiques suivants

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)G + \Phi_{rabe} + \Phi_{cabe} - \Phi_{abi} = 0(3.77)$$

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_e)\alpha_{ab}G - h_{rabe}(T_{ab} - T_e) - h_{cabe}(T_{ab} - T_e) = \quad (3.78)$$

Ainsi, le distillateur à double vitrage est bien modélisé.

Chapitre 3

Résolution

Numérique

Résolution numérique

Dans cette partie d'étude, on rappelle les équations mathématiques régissant des distillateurs solaires à simple et double vitrage.

1. Equations mathématiques du distillateur solaire à simple vitrage

Les équations mathématiques d'un distillateur solaire à simple vitrage sont déjà citées dans le chapitre précédant et ont exprimées les différents bilans thermiques.

- **Equations de la vitre**

$$(1 - \rho_v)\alpha_v G + h_{rev}(T_e - T_v) + h_{cev}(T_e - T_v) + h_{eev}(T_e - T_v) - h_{rvc}(T_v - T_c) - h_{cva}(T_v - T_a) = 0(3.15)$$

- **Equations de la masse d'eau**

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_{ab} G + h_{rabe}(T_{ab} - T_e) + h_{cabe}(T_{ab} - T_e) - h_{rev}(T_e - T_v) - h_{cev}(T_e - T_v) - \Phi_{eev} - h_{eev}(T_e - T_v) = 0(3.30)$$

- **Equations de l'absorbeur**

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_e)\alpha_{ab} G - h_{rabe}(T_{ab} - T_e) - h_{cabe}(T_{ab} - T_e) = 0(3.36)$$

1. Equations mathématiques du distillateur solaire à double vitrage

Les équations mathématiques d'un distillateur solaire à double vitrage sont déjà citées dans le chapitre précédant et ont exprimées les différents bilans thermiques.

- **Equations de la première vitre**

$$(1 - \rho_v)\alpha_v G + h_{rv2v1}(T_{v2} - T_{v1}) + h_{cv2v1}(T_{v2} - T_{v1}) - h_{rv1c}(T_{v1} - T_c) - h_{cv1a}(T_{v1} - T_a) = 0(3.46)$$

- **Equations de la deuxième vitre**

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_v G + h_{rev2}(T_e - T_{v2}) + h_{cev2}(T_e - T_{v2}) + h_{eev2}(T_e - T_{v2}) - h_{rv2v1}(T_{v2} - T_{v1}) - h_{cv2v1}(T_{v2} - T_{v1}) = 0(3.60)$$

- **Equations de la masse d'eau**

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_v \rho_{ab} G + h_{rabe}(T_{ab} - T_e) + h_{cabe}(T_{ab} - T_e) - h_{rev2}(T_e - T_{v2}) - h_{cev2}(T_e - T_{v2}) - h_{eev2}(T_e - T_{v2}) = 0(3.71)$$

- **Equations de l'absorbeur**

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_e)\alpha_{ab}G - h_{rabe}(T_{ab} - T_e) - h_{cabe}(T_{ab} - T_e) = 0(3.78)$$

2 Mise en systèmes d'équations

La mise en systèmes d'équations permet de mettre ces en système de façon organisée afin de pouvoir résoudre ce dernier.

2.1 Système d'équations du distillateur solaire à simple vitrage

Le distillateur solaire est géré par trois équations (3.15), (3.30) et (3.36) avec inconnus T_v , T_e et T_{ab} et qui représentées ci-dessous

$$(1 - \rho_v)\alpha_v G + h_{rev}(T_e - T_v) + h_{cev}(T_e - T_v) + h_{eev}(T_e - T_v) - h_{rv1c}(T_v - T_c) - h_{cva}(T_v - T_a) = 0 \quad (3.15)$$

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_{ab}G + h_{rabe}(T_{ab} - T_e) + h_{cabe}(T_{ab} - T_e) - h_{rev}(T_e - T_v) - h_{cev}(T_e - T_v) - h_{eev}(T_e - T_v) = 0(3.30)$$

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_e)\alpha_{ab}G - h_{rabe}(T_{ab} - T_e) - h_{cabe}(T_{ab} - T_e) = 0(3.36)$$

Ces équations peuvent être réécrites en un seul système

$$\begin{cases} a11 T_v + a12 T_e + a13 T_{ab} = b_1 \\ a21 T_v + a22 T_e + a23 T_{ab} = b_2 \\ a31 T_v + a32 T_e + a33 T_{ab} = b_3 \end{cases}$$

Avec

$$a11 = h_{rev} + h_{cev} + h_{eev} + h_{rv1c} + h_{cva}$$

$$a12 = -(h_{rev} + h_{cev} + h_{eev})$$

$$a13 = 0$$

$$a21 = h_{rev} + h_{cev} + h_{eev}$$

$$a22 = -(h_{rev} + h_{cev} + h_{eev} + h_{rabe} + h_{cabe})$$

$$a23 = h_{rabe} + h_{cabe}$$

$$a31 = 0$$

$$a32 = h_{rabe} + h_{cabe}$$

$$a33 = -h_{rabe} - h_{cabe}$$

$$b1 = (1 - \rho_v)\alpha_v G + h_{rv1c}T_c + h_{rva}T_a$$

$$b2 = (1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_{ab}G$$

$$b3 = -(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_e)\alpha_{ab}G$$

2.2 Système d'équations du distillateur solaire à double vitrage

Le distillateur solaire est géré par trois équations (3.46), (3.60), (3.71) et (3.78) avec inconnus T_{v1} , T_{v2} , T_e et T_{ab} et qui représentées ci-dessous

$$(1 - \rho_v)\alpha_v G + h_{rv2v1}(T_{v2} - T_{v1}) + h_{cv2v1}(T_{v2} - T_{v1}) - h_{rv1c}(T_{v1} - T_c) - h_{cv1a}(T_{v1} - T_a) = \quad (3.46)$$

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_v G + h_{rev2}(T_e - T_{v2}) + h_{cev2}(T_e - T_{v2}) + h_{eev2}(T_e - T_{v2}) - h_{rv2v1}(T_{v2} - T_{v1}) - h_{cv2v1}(T_{v2} - T_{v1}) = 0 \quad (3.60)$$

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_v \alpha_e G + h_{rabe}(T_{ab} - T_e) + h_{cabe}(T_{ab} - T_e) - h_{rev2}(T_e - T_{v2}) - h_{cev2}(T_e - T_{v2}) - h_{eev2}(T_e - T_{v2}) = 0 \quad (3.71)$$

$$(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_e)\alpha_{ab}G - h_{rabe}(T_{ab} - T_e) - h_{cabe}(T_{ab} - T_e) = 0 \quad (3.78)$$

Ces équations peuvent être réécrites en un seul système

$$\begin{cases} a_{11} T_{v1} + a_{12} T_{v2} + a_{13} T_e + a_{14} T_{ab} = b_1 \\ a_{21} T_{v1} + a_{22} T_{v2} + a_{23} T_e + a_{24} T_{ab} = b_2 \\ a_{31} T_{v1} + a_{32} T_{v2} + a_{33} T_e + a_{34} T_{ab} = b_3 \\ a_{41} T_{v1} + a_{42} T_{v2} + a_{43} T_e + a_{44} T_{ab} = b_4 \end{cases}$$

Avec

$$a_{11} = h_{rv2v1} + h_{cv2v1} + h_{rv1c} + h_{cv1a}$$

$$a_{12} = -(h_{rv2v1} + h_{cv2v1})$$

$$a_{13} = 0$$

$$a_{14} = 0$$

$$a_{21} = h_{rv2v1} + h_{cv2v1}$$

$$a_{22} = h_{rev2} + h_{cev2} + h_{reev2} + h_{cv2v1} + h_{rv2v1}$$

$$a_{23} = -(h_{rev2} + h_{cev2} + h_{reev2})$$

$$a_{24} = 0$$

$$a_{31} = 0$$

$$a_{32} = h_{rev2} + h_{cev2} + h_{eev2}$$

$$a_{33} = -(h_{rabe} + h_{cabe} + h_{rev2} + h_{cev2} + h_{eev2})$$

$$a_{34} = h_{rabe} + h_{cabe}$$

$$a_{41} = 0$$

$$a_{42} = 0$$

$$a_{43} = h_{rabe} + h_{cabe}$$

$$a_{44} = -h_{rabe} - h_{cabe}$$

$$b_1 = (1 - \rho_v)\alpha_v G + h_{rv1c}T_c + h_{rv1a}T_a$$

$$b_2 = (1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_{ab}G$$

$$b_3 = -(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_v\alpha_e G$$

$$b_4 = -(1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_e)\alpha_{ab}G$$

3 Les paramètres physiques utilisés

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

3.1 Conductivité thermique

Son expression est la suivante

$$\lambda(T) = 0.569 + 0.185T - 0.747T^2$$

3.2 Chaleur latente de vaporisation

Elle est définie par l'expression suivante

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

3.3 Chaleur massique

Elle est donnée par la relation

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

3.4 Coefficient de viscosité dynamique

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

3.5 Masse volumique

$$\rho(T) = 999.879 - 0.0469 \cdot T - 0.667 \cdot T^2 - 0.208T^3$$

3.6 Coefficient de viscosité dynamique

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

$$\vartheta(T) = 1.741410^{-6} - 4.453 \cdot 10^{-8} \cdot T + 5.51413 \cdot T^2 - 3.3955 \cdot T^3$$

3.7 Nombres sans dimension

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

3.7.1 Nombre de PRANDTL Pr

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

$$Pr = \frac{\vartheta}{\alpha} = \frac{\mu \rho C_p}{\rho \lambda} = \frac{\mu C_p}{\lambda}$$

Ce nombre est fonction uniquement des caractéristiques physiques du fluide

3.7.1 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.

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

3.7.1 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.

$$Nu = c(GrPr)^n$$

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

La valeur du nombre de Grashof dépend du nombre de Nusselt telle que

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

$$\text{Si } 10^5 < Gr < 2 \cdot 10^7 \rightarrow Nu = 0.54 \frac{\lambda_e}{L} \cdot (Gr Pr)^{0.25}$$

$$\text{Si } Gr > 2.10^7 \rightarrow Nu = 0.14(Gr Pr)^{0.33}$$

4 Méthode de Gauss-Seidel

Pour résoudre un problème, la solution analytique n'est pas toujours facile à obtenir, donc on doit recourir à une méthode numérique. Parmi les méthodes numériques les plus utilisées dans le domaine de calcul des distillateurs est la méthode de Gauss Seidel.

4.1 Principe de la méthode de Gauss-Seidel

On veut résoudre le système linéaire suivant

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

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.

La matrice A peut se mettre 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 (4.5) 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:

$$T = D^{-1} \times L \times T + D^{-1} \times U \times T + D^{-1} \times B \quad (4.10)$$

En développant cette récurrence vectorielle on obtient

$$T_1 = (b_1 - a_{12} \times T_2 - a_{13} \times T_3 - \dots - a_{1n} \times T_n) / a_{11}$$

$$T_2 = (b_2 - a_{21} \times T_1 - a_{23} \times T_3 - \dots - a_{2n} \times T_n) / a_{22}$$

.....

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

4.1.2 Conditions de convergence

Le système d'équations converge si

- $|T_i - T_{pi}| < eps \quad (4.11)$
- $\frac{|T_i - T_{pi}|}{|T_i|} < eps \quad (4.12)$

Ou bien

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (T_i - T_{pi})^2} < eps \quad (4.13)$$

4.2 Résolution du système d'équations considère

Les équations régissant le fonctionnement d'un distillateur solaire sont résolues par laméthode de Gauss-Seidel d'itération. Pour cela nous présentons les équations finalesdes divers bilans par rapport aux températures comme suit

- Au niveau de la vitre

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

-Au niveau de la masse d'eau

$$-\left(h_{C,B_E} + h_{R,E-V} + h_{C,E-V} + h_{Evap}\right)T_E + \left(h_{R,E-V} + h_{C,E-V} + h_{Evap}\right)T_V - (h_{C,B_E})T_B = (1 - \rho_V)(1 - \alpha_V)\alpha_E G_h \quad (3.11)$$

- Au niveau de l'absorbeur

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

Ces équations forment un système d'équations linéaire sous forme $A \times T = B$.

Dans ce système d'équations, les paramètres inconnus sont T_v , T_e , T_b .

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_i (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 1

Discussion

Et Résultats

Résultats et discussion

Un code de calcul est élaboré basé sur les bilans thermiques échangés entre les différents constituants du distillateur solaire plan dont la résolution est, à son tour, basée sur la méthode de Gauss-Seidel.

Dans cette partie d'étude, on tente de présenter des résultats du code élaboré en discutant en particulier les effets la température de l'air, de l'irradiation solaire, de la vitesse du vent et de l'épaisseur de l'absorbeur sur la température de l'absorbeur et sur la production journalière en eau distillée.

1 Effets de la température de l'air

1.1 Effet de la température de l'air sur la température de l'absorbeur

L'effet de la température de l'air sur le comportement de la température de l'absorbeur est examiné.

En effet, plus la température de l'air augmente et plus la température de l'absorbeur augmente. Donc, l'air traversant le distillateur peut servir à des fins de chauffage ou de séchage.

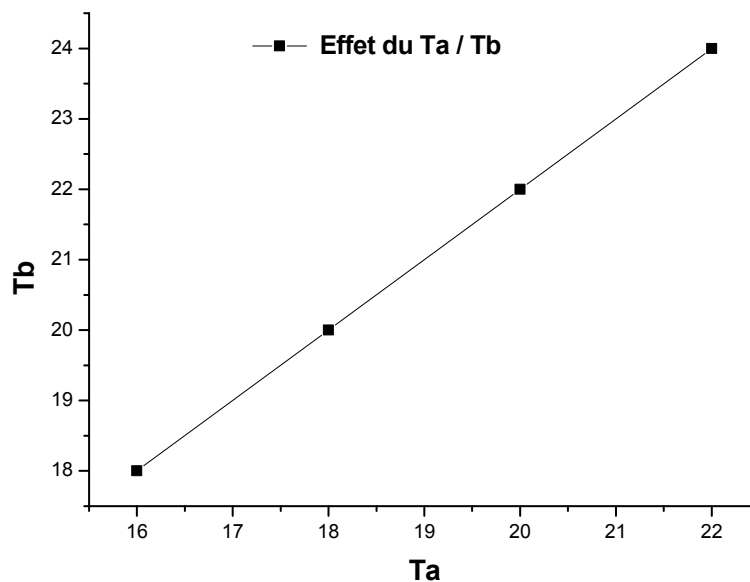


Fig 4.1 : Effet de la température de l'air sur la température de l'absorbeur.

1.2 Effet de la température de l'air sur la production journalière en eau distillée

L'effet de la température de l'air sur production journalière en eau distillée est examiné.

Sur la figure 4.2, on remarque que plus la température de l'air ambiant augmente et plus la production journalière en eau distillée.

L'effet est nettement positif.

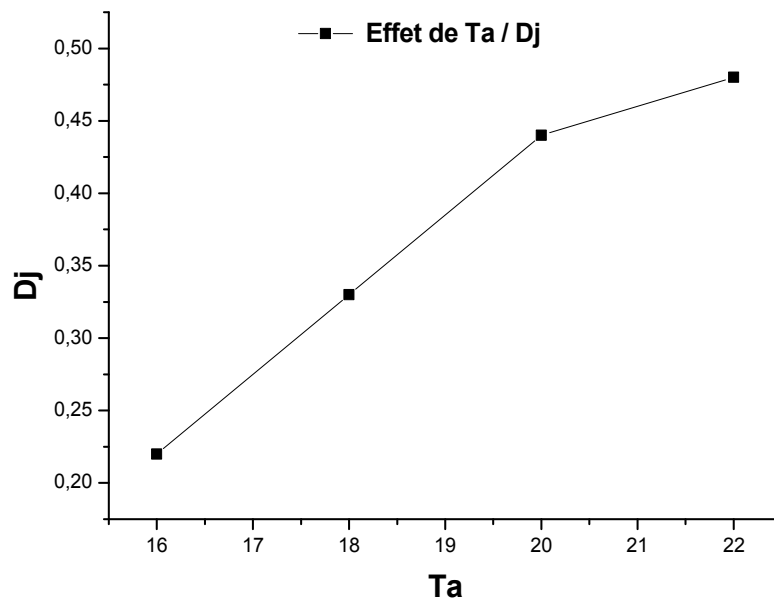


Fig 4.2 : Effet de la température de l'air sur la production journalière en eau distillée

2 Effets de la vitesse du vent

2.1 Effet de la vitesse du vent sur la température de l'absorbeur

Sur la figure 4.3, on a présenté l'évolution de la température de l'absorbeur en fonction de la vitesse du vent.

La variation de la température de l'absorbeur est inversement proportionnelle à celle de la vitesse du vent.

Donc, l'effet est nettement négatif.

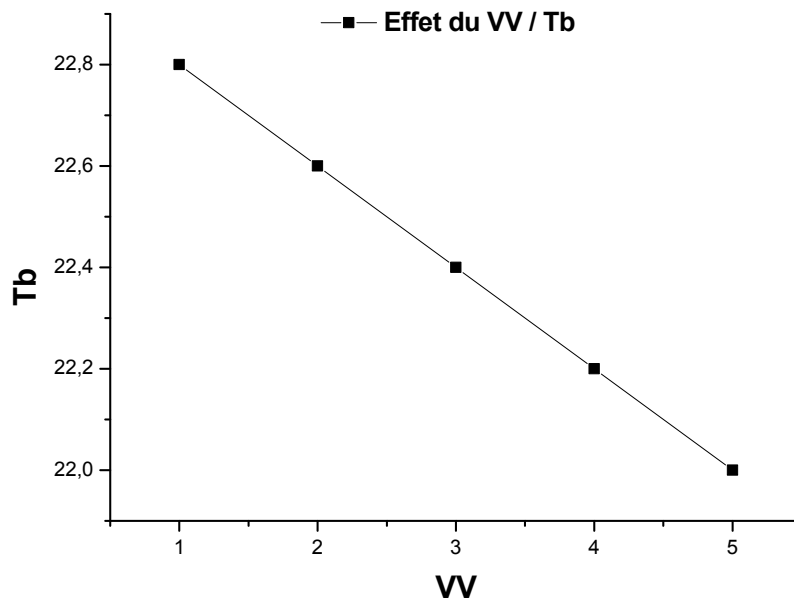


Fig 4.3 : Effet de la vitesse du vent sur la température de l'absorbeur

2.2 Effet de la vitesse du vent sur la production journalière en eau distillée

Sur la figure 4.4, on a présenté l'évolution de la production journalière en eau distillée en fonction de la vitesse du vent. Donc, ces deux grandeurs sont inversement proportionnelles.

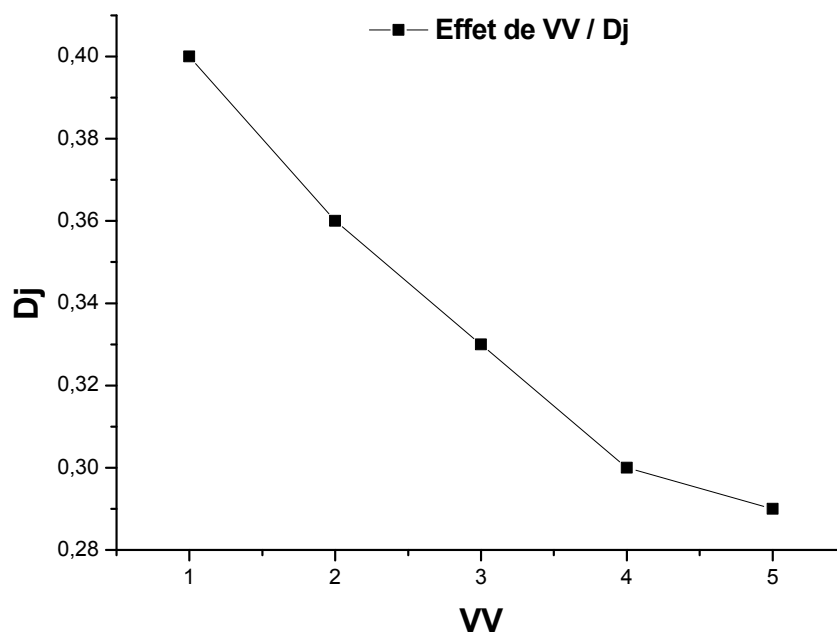


Fig 4.4 : Effet de la vitesse du vent sur la production journalière en eau distillée

3 Effets de l'irradiation solaire

3.1 Effet de l'irradiation solaire sur la température de l'absorbeur

Sur la figure 4.5, on a présenté l'évolution de la température de l'absorbeur en fonction de l'irradiation solaire. L'irradiation a l'effet si positif sur la température de l'absorbeur.

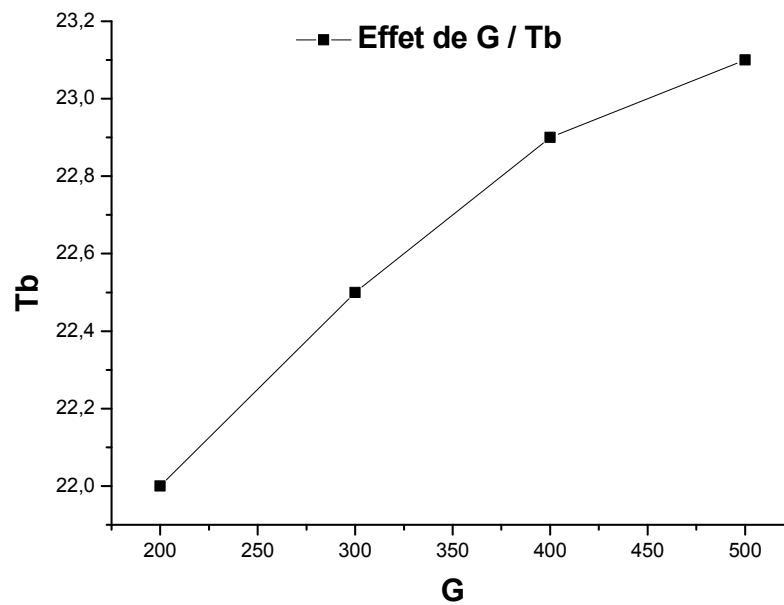


Fig 4.5 :Effet de l'irradiation solaire sur la température de l'absorbeur

3.2 Effet de l'irradiation solaire sur la production journalière en eau distillée

Sur la figure 4.6, on a présenté l'évolution de la production journalière en eau distillée en fonction de l'irradiation solaire.

Les deux grandeurs varient dans le même sens, donc, l'effet de l'irradiation solaire sur la production journalière en eau distillée est positif.

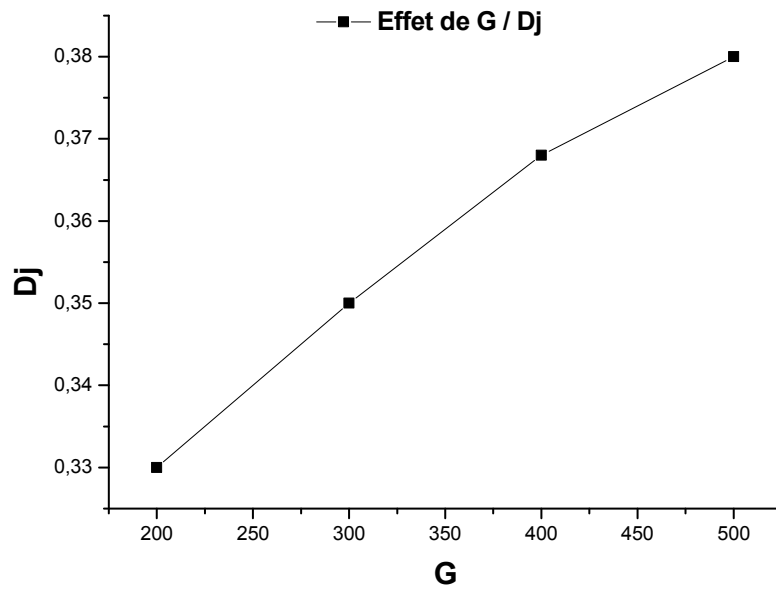


Fig 4.6 :Effet de l'irradiation solaire sur la production journalière en eau distillée

4 Effets de l'épaisseur de l'absorbeur

4.1 Effet de l'épaisseur de l'absorbeur sur la température de l'absorbeur

Sur la figure 4.7, on a présenté l'évolution de la température de l'absorbeur en fonction de l'épaisseur de l'absorbeur. L'effet de l'épaisseur est positif sur la température de l'absorbeur.

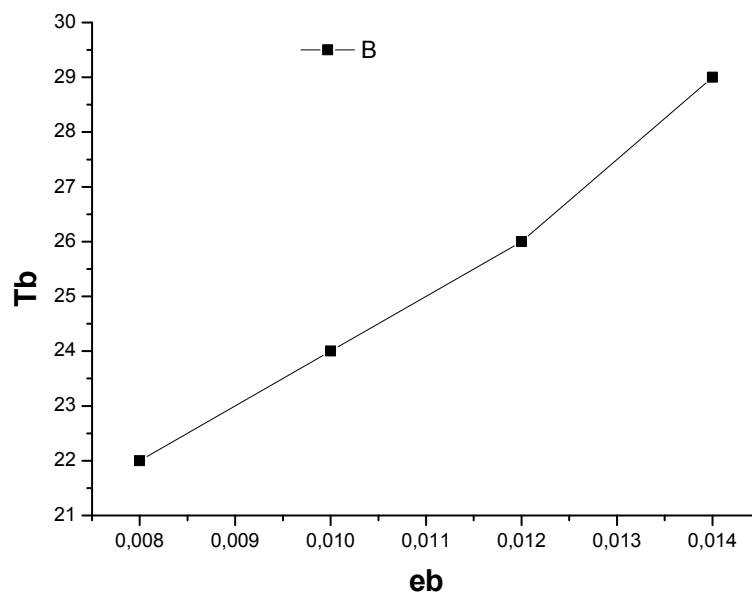


Fig 4.7 :Effet de l'épaisseur de l'absorbeur sur la température de l'absorbeur

4.2 Effet de l'épaisseur de l'absorbeur sur la production journalière en eau distillée

Sur la figure 4.8, on a présenté l'évolution de la production journalière en eau distillée en fonction de l'épaisseur de l'absorbeur.

Les deux grandeurs varient dans le même sens, donc, l'effet de l'épaisseur de l'absorbeur sur la production journalière en eau distillée est positif.

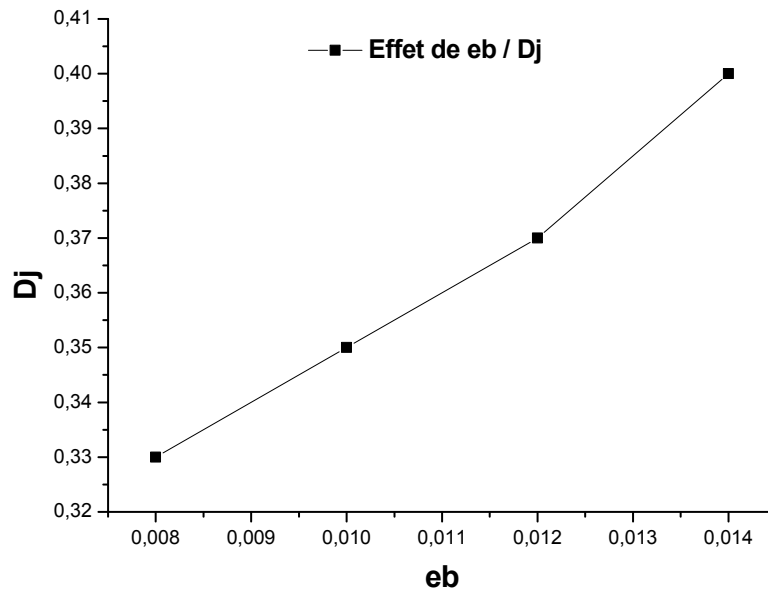


Fig 4.8 : Effet de l'épaisseur de l'absorbeur sur la production journalière en eau distillée

Conclusion

Conclusion

L'humanité est en face d'un vrai problème, la rareté de l'eau qui ne cesse de s'accroître de jour en jour, risque de faire rentrer en guerre les uns contre les autres. Donc, il faut chercher des solutions à cet épineux problème.

Parmi les solutions que les chercheurs tentent depuis déjà quelques années, c'est le recours aux distillateurs solaires.

Les distillateurs solaires servent essentiellement à recycler les eaux usées et / ou l'eau saline, pour le rendre distillée et par la suite potable.

Parmi les distillateurs solaires, on s'intéresse dans cette étude aux distillateurs solaires plans qui répondent à cette préoccupation et qui se présentent comme solution durable et énergie propre.

Après avoir présenté une revue bibliographique sur les distillateurs solaires, on a modélisé le problème physique en se basant sur les bilans thermiques des différents éléments constituant ces distillateurs que ce soit à simple vitrage ou à double vitrage et puis on s'est servi de la méthode de Gauss-Seidel pour la résolution du problème.

A cet effet, un code de calcul est élaboré basé sur le langage Fortran90.

Les résultats obtenus ont permis de mettre la lumière sur les effets de la température de l'ambiance, de la vitesse du vent, de l'irradiation solaire et enfin de l'épaisseur de l'absorbeur sur les valeurs de la température de l'absorbeur et la production en matière d'eau distillée journalière.

Références

- [1] **M. BENHAMOU et autres**, « Effet des paramètres géométriques d'un réflecteur plan vertical sur Algérie 08 ou 22 mai 2013.
- [2] **R. ZRRIT et autres**, « d'un distillateur solaire a effet de serre ». Ghardaïa, Algérie ,15-16 et 17 octobre 2012.
- [3] **R. RAHMANI et autres**, « distillateur solaire a film capillaire à plusieurs étages, effet de certaines paramètres thermo-physique sur le rendement. » (Université Mentouri Constantine Algérie 2010).
- [4] **N. RETIEL et autres**, « Etude expérimentale d'un distillateur solaire plan amélioré ».
- [5] **N. BOUKERZAZA et autres**, « Efficacités interne et globale d'un distillateur solaire », 13èmes Journées Internationales de Thermique, Algérie, 2007.
- [5] **L. Merad et autres**, « Etude d'un Procédé Thermique de Dessalement d'Eau de Mer par Aérogénérateur à Rendement Elevé ». (Université Abou Bakr Belkaïd B.P : 119 Tlemcen 13000 Algérie 2003)
- [6] **H. Osman Alia et autre** « Analyse d'un distillateur solaire actif avec récupération de chaleur ». (Lyon, 24 au 28 Août 2015)
- [7] **A. ECHCHIKHI et autres ont étudié** « Modélisations mathématique et numérique dessalement de l'eau de mer du » (11 - 14 Avril 2017 (Meknès, MAROC).
- [8] **B. TIADJOUE**, « Procèdes de dessalement d'eau de mer par énergie solaire à concentration », Thèse de Master, Université de Perpignan, France, 2010
- [9] **N. SMAKDJI**, « optimisation et modélisation d'un distillateur solaire à ailettes avec stockage de chaleur », Thèse de Doctorat, université Constantine 1, Algérie 2014.
- [10] Géométrie solaire sur site Internet. [Http://www.outilssolaires.com/Glossaire/spin-geometrie.htm](http://www.outilssolaires.com/Glossaire/spin-geometrie.htm) (consulté le 22/05/2009).
- [11] Le soleil. <http://system.solaire.free.fr/structuresoleil1.jpg>
- [12] P. Bessemoulin, J. Oliiviéri. Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette. La météorologie 8e série n° 31 septembre (2000), 42-59
- [13] Zekai ,Sen. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques, Springer 2008
- [14] Fusion nucléaire. <https://upload.wikimedia>.

[15] Bilan du rayonnement solaire qui arrive sur le sol de la terre
<http://www.scienzagiovane.unibo.it/pannelli/images/radiazione-small.jpg>.

[16] Viorel Badescu. Modeling solar radiation at the earth's surface, Springer 2008

[17] A. Mefti; M.Y Bouroubi; H. Mimouni, Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N° 2, P12, décembre 2002

[18] **Des éoliennes qui créent de l'eau potable à partir de l'air et du vent**
<http://www.eolewater.com/assets/images/pages/cycle-eau-fr.gif>. 17 mai 2011 à 16:43:09

[20] **Hicham** « Etude et conception d'un distillateur solaire à usage agricole » université Mentouri 2012.

[21] [OUT 2006]. http://fr.ekopedia.org/wiki/Dessaleur_solaire

[21,22] (Source [EKO 2006] et [OUT 2006] http://fr.ekopedia.org/wiki/Dessaleur_solaire

[23] [ALA 2001] : "Dessalement de l'Eau de Mer et des Eaux Saumâtres"

[24] (Source [SAD 2004]) : A. Sadi "**Le Dessalement : Procédés et Energie Solaire**
"Division Thermique Solaire, CDER, Alger, Bulletin N°6 Décembre, 2004.

[25] [ITD 2006] : www.itdg.org/docs/technical_information_service/solar_distillation." **Solar Distillation**", Intermediate Technology Development Group, 2006

[26] [EDU2006] "**Dessalement de l'Eau au Moyen d'Energie**
",www.gem.es/MATERIEL/DOCU

[27] (CHA 2001) A. Chaker et G. Menguy "**Efficacité Interne d'un Distillateur Solaire Sphérique**", *Rev. Energ. Ren. : Journée Thermique, 53-58, 2001*

[28] [SAD 2004] A. Sadi "**Le Dessalement : Procédés et Energie Solaire** "Division
Thermique Solaire, CDER, Alger, Bulletin N°6 Décembre, 2004.

[29] [BEN 2004] M. Benhammou, B. Omari, M. Gahgah, L. Amer, A. Boubghal

Réalisation et Expérimentation d'un Distillateur Solaire Couple à un

Condenseur ", Station d'Expérimentation des Equipement Solaires en

Milieu Saharien, B.P. 478, Route de Reggane-Adrar, 2003.

[30] **B. Hicham** « Etude et conception d'un distillateur solaire à usage agricole » université Mentouri 2012.

Résumé

Une étude numérique d'un distillateur solaire plan à simple vitrage et un distillateur à double vitrage est faite. L'étude est basée sur les bilans thermiques de différents éléments constituant ces distillateurs solaires plans.

Les résultats obtenus ont permis d'examiner les effets de la température de l'ambiance, de la vitesse du vent, de l'irradiation solaire et enfin de l'épaisseur de l'absorbeur sur les valeurs de la température de l'absorbeur et la production en matière d'eau distillée journalière.

Mots clés : Distillateur, solaire, plan, absorbeur, température.

Numerical study of a single cover and double cover solar still

Abstract

A numerical study of a single-pane solar still and a double-glazed distiller is made. The study is based on the thermal balances of various components of these solar stills planar.

The results obtained made it possible to examine the effects of the ambient temperature, the wind speed, the solar irradiation and finally the thickness of the absorber on the values of the temperature of the absorber and the production of daily distilled water.

Key words: Distiller, solar, plane, absorber, temperature.

ملخص

تم إجراء دراسة رقمية لوحدة من اللقطات الشمسية المستوية وحيدة التقطير ذات زجاج بسيط وزجاج مزدوج

وتستند الدراسة على الموازنة الحرارية للعديد من مكونات هذه اللقطات الشمسية المستوية وقد أتاحت النتائج التي تم الحصول عليها فحص تأثيرات درجة الحرارة المحيطة وسرعة الرياح وأخيراً سماكة الامتصاص على قيم درجة حرارة الامتصاص وإنتاج الماء المقطر

الكلمات الرئيسية: التقطير، الشمسية، عنصر الامتصاص، امتصاص، درجة الحرارة