

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté Des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



Mémoire

Pour l'obtention du Diplôme de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et techniques

Option : Electromécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

Présenté Par :

GUENOUI Mostafa

ZAOUI Aissa

-Thème-

Contribution à la proposition d'un système solaire de dessalement des eaux salées superficielles

Soutenu publiquement le : 20/09/2020

Devant le jury :

Mr. GHERFI Abdelhafid

MAA

Président

UKM Ouargla

Mr. ZERROUKI Moussa

MCA

Examineur

UKM Ouargla

Mr. CHERRAD Noureddine

MCA

Encadreur

UKM Ouargla

Année universitaire : 2019/2020

AVERTISSEMENT PREALABLE

Le présent document a été réalisé par des étudiants du Master Electromécanique Maintenance Industrielle dans le cadre de leur scolarité, et Il n'a pas un caractère de publication scientifique au sens strict. En effet, il n'a pas été soumis à un comité de lecture avant publication. Le contenu de ce travail n'a été que noté par des membres du jury, ainsi que la soutenance orale et l'éventuelle production multimédia auxquelles il a donné lieu, dans le cadre de l'évaluation finale des étudiants en vue de l'obtention du diplôme de Master ; et la dite évaluation a un caractère privé et n'a pas communiquée ici.

Le contenu de ce document est donc proposé sous la seule responsabilité de leurs auteurs (étudiants) et doit être utilisé avec les précautions d'usage. C'est pourquoi le lecteur est invité à exercer son esprit critique.

Sa reproduction, totale ou partielle, est autorisée à condition que son origine ou ses auteurs origines, dont les références ont été indiquées, soient explicitement cités.

L'Encadreur

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de master plus particulièrement :

A mes très chers parents, tout mon respect et affection en témoignage de leur soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour leurs conseils et orientations dans ma vie.

A mes très chers frères.

A toute ma famille.

A tous mes enseignants.

A tous mes fidèles amis.

A tous ceux que j'aime.

« Guenouí Mostafa »

DÉDICACES

Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui m'ont encouragé à donner le meilleur de moi-même, et qui m'ont fourni Les moyens d'être ce que je suis aujourd'hui.

Avec tout mon respect et mon affection pour eux, un témoignage de leur soutien, de leur sacrifice et de leur patience, ainsi que de leurs conseils et de leurs conseils dans ma vie, A mes chers frères, toute ma famille, tous mes professeurs, tous mes fidèles amis, tous ceux que j'aime.

A ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

« Zaouí Aïssa »

REMERCIEMENTS

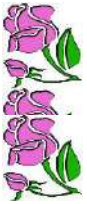
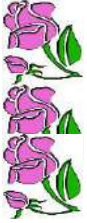
Toute la Gratitude, tout d'abord à Allah qui nous a donné la force Pour terminer ce modeste travail.

*Toutes nos infinies gratitudes à notre promoteur, Monsieur **CHERRAD NOUREDINE** pour son encadrement et ses aides précieuses.*

Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.

Notre sincère reconnaissance à nos enseignants du département: Génie mécanique.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, trouvent ici l'expression de notre profondes gratitudes et respects.



Liste des Figures et des Graphiques

Chapitre II
Figure (II.1) : Procèdes de dessalement
Figure (II.2) : Principe de fonctionnement de l'osmose inverse
Figure (II.3) : Principe de l'électrodialyse
Figure (II.4) : Distillateur à simple effet
Figure (II.5) : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets
Figure (II.6) : Principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur
Figure (II.7) : Système de distillation solaire
Figure (II.8) : Distillateur solaire plan
Figure (II.9) : Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire
Figure (II.10) : Distillateur à simple effet avec un seul capteur
Figure (II.11) : Distillateur solaire à simple effet avec deux capteurs
Figure (II.12) : Distillateur solaire terre-eau
Figure (II.13) : Distillateur solaire sphérique à balayage
Figure (II.14) : Distillateur solaire incliné à cascades
Figure (II.15) : Distillateur à film capillaire avec un seul étage
Figure (II.16) : Distillateur incliné à matière poreuse noire
Figure (II.17) : Distillateur solaire vertical
Figure (II.18) : Croquis d'un distillateur à multiples effets
Figure (II.19) : Distillation à multiples effets
Figure (II.20) : Capteur solaire plan
Figure (II.21) : Capteurs solaire par concentration
Chapitre III
Figure (III.1) : Schéma du système de distillation solaire à chaleur à basse température
Figure (III.2) : Evaporateur et condenseur
Figure (III.3) : Montage expérimental du système
Figure (III.4) : Distillateur solaire à multiples étages
Figure (III.5) : Principe de construction et fonctionnement du distillateur à plusieurs étages avec les dimensions du prototype
Figure (III.6) : Flux thermiques à partir de l'étage inférieur (échangeur de chaleur)
Figure (III.7) : Flux thermiques entre deux étages quelconques d'un distillateur
Figure (III.8) : Flux thermiques à partir du dernier étage
Chapitre IV
Figure (IV.1) : Eau saline et températures ambiantes pour deux tests ($T_{c,out} = 60^\circ \text{C}$, $Q_w = 0,1 \text{ kg / h}$ et $h_s = 0,08 \text{ m}$)
Figure (IV.2) : Production expérimentale pour six tests ($T_{c, out} = 60^\circ \text{C}$, $Q_w = 0,1 \text{ kg/h}$ et $h_s = 0,08 \text{ m}$)
Figure (IV.3) : Effet de la température de l'eau douce sur les performances du système
Figure (IV.4) : Effet de la profondeur du plan d'eau sur les performances du système
Figure (IV.5) : Production d'eau potable dans l'étage inférieur en fonction de la température
Figure (IV.6) : Production de l'eau distillée de tous les étages en fonction de la température

Liste des tableaux

Chapitre I
Tableau(I.1) : Classification des eaux selon la salinité
Tableau(I.2) : Consommation mondiale d'eau par habitant
Tableau(I.3) : Consommation d'eau en Algérie
Chapitre II
Tableau(II.1) : Les différentes techniques de dessalement

Nomenclature

Symbole :

Symbole	Désignation	Unité
I_g	Rayonnement global incident	W/m^2
L_v	Chaleur latente de vaporisation	Kj/Kg
v	Vitesse du vent	m/s
A	Aire	m^2
C	Concentration de soluté,	%
Cp	Chaleur massique	$J/kg K$
g	Champ de gravitation	m/s^2
h	Coefficient de transfert de chaleur	$w/(m^2.K)$
h_{fg}^*	La chaleur latente de vaporisation,	J/kg
I	Rayonnement solaire incident	W/m^2
k	Conductivité thermique	$W/m. K$
L	Longueur	m
\dot{m}	Quantité de la masse d'eau en écoulement	kg/s
P	Pression	Pa
Q	Quantité de chaleur	W
T	Température	$^{\circ}C$
V	Volume	m^3
\dot{V}	Débit volumétrique	m^3/s
v	vitesse	m/s
z	hauteur	m

Indice :

Indices	Désignation
w	Eau
a	Ambiant
c	Froid, condenseur, collecteur
e	Evaporation
i	Interne
l	Perte
o	Extérieur, sortie
s	surface
w	Du tuyau de prélèvement

Lettres grecques :

Lettres grecques	Désignation	Unité
ϕ	La latitude	Degré ($^{\circ}$)
α	Coefficient d'absorption	
η_g	Efficacité globale	(%)
η_i	Efficacité interne	$W/m^2. C^{\circ}$
ρ	Densité	kg/m^3
γ	Viscosité cinématique	m^2/s
η	Efficacité	

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Liste des figures et graphiques	00
Liste des tableaux	00
Introduction générale.....	01

Chapitre I : Discussion de l'état général des ressources en eau

I-1- Introduction.....	03
I-2- Importance de l'eau.....	03
I-3- Répartition de l'eau sur la terre.....	04
I-4- Classification des eaux selon la salinité.....	04
I-4-1- Eaux saumâtres.....	04
I-4-2- Eaux naturelles.....	05
I-4-3- Eaux usées.....	05
I-4-4- Eau potable.....	05
I-4-5- Eau de mer.....	05
I-5- Traitement de l'eau.....	05
I-6- Consommation mondiale de l'eau.....	06
I-6-1- Consommation de l'eau en Algérie.....	06
I-6-2- Disponibilité de l'eau dans le sud Algérien.....	07
I-7- Conclusion.....	08

Chapitre II : Introduction aux systèmes solaires de dessalement

II-1- Introduction.....	09
II-2- Procédés de dessalement.....	09
II-2-1- Procédés membranaires.....	09
II-2-1-1- Osmose inverse.....	09
II-2-1-2- Electrodialyse.....	10
II-2-2- Procédés de dessalement par changement de phase.....	11
II-2-2-1- Procédé de congélation.....	11

II-2-2-2- Distillation à simple effet.....	11
II-2-2-3- Procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effet distillation MED).....	12
II-2-2-4- Procédé de distillation par compression de vapeur (MVC).....	13
II-2-2-5- Distillation solaire.....	14
II-3- Technique de dessalement de l'eau par l'énergie solaire	15
II-3-1- Historique.....	15
II-3-2- Principe de la distillation solaire.....	16
II-3-3- Distillateur.....	16
II-3-3-1- Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire.....	16
II-3-3-2- Les différents types de distillateurs.....	17
II-3-3-2-1- Distillateur à simple effet.....	17
II-3-3-2-1-1- Distillateur à pente unique.....	17
II-3-3-2-1-2- Distillateur solaire à double pente.....	18
II-3-3-2-1-3- Distillateur solaire terre-eau.....	18
II-3-3-2-1-4- Distillateur sphérique à balayage.....	19
II-3-3-2-1-5- Distillateur solaire incliné à cascades.....	19
II-3-3-2-1-6- Distillateur solaire à film capillaire.....	20
II-3-3-2-1-7- Distillateur incliné à matière poreuse noire.....	21
II-3-3-2-1-8- Distillateur vertical.....	21
II-3-3-2-1-9- Distillateurs à multi effets.....	22
II-3-4- Les avantages et les inconvénients des distillateurs solaires.....	23
II-3-4-1- Les avantage.....	23
II-3-4-2- Les inconvénients.....	23
II-3-5- Paramètres influant sur le système de distillation.....	24
II-3-5-1- Paramètres externes.....	24
II-3-5-2- Paramètres internes.....	24
II-3-6- Conception objective pour un distillateur solaire efficace.....	26
II-3-7- Caractéristiques physiques de fonctionnement du distillateur solaire.....	26
II-3-7-1- Rendement (le débit de distillat ou la production).....	26
II-3-7-2- Efficacité.....	27
II-3-7-2-1- Efficacité globale.....	27
II-3-7-2-2- Efficacité interne.....	27

II-3-7-3- Performance.....	28
II-4- Capteurs solaires.....	28
II-4-1- Différents types de capteurs solaires.....	28
II-4-1-1- Capteurs plans.....	28
II-4-1-2- Capteurs par concentration.....	29
II-4-2- Différentes composantes d'un capteur plan.....	30
II-4-2-1- Couverture transparente.....	30
II-4-2-2- Fluide caloporteur.....	30
II-4-2-3- Absorbeur.....	30
II-4-2-4- Isolation et le vitrage.....	30
II-4-3- Fonctionnement d'un capteur solaire plan.....	30
II-4-4 - Stockage de l'énergie.....	31
II-4-4-1- Systèmes de stockage thermique.....	31
II-4-4-2- Systèmes de stockage chimique.....	31
II-5- Conclusion.....	31

Chapitre III : Présentation technique et conceptuelle de prototypes à dessalement solaire

III-1- Introduction.....	32
III-2- Système de distillation solaire à chaleur à basse température.....	32
III.2.1. Description et principe de fonctionnement.....	32
III.2.2. Conservation de l'énergie.....	33
III.2.3. Caractéristiques du système.....	34
III.2.4. Spécifications du système et l'équipement.....	34
III.2.5. Etude théorique du système.....	35
III.3. Système de distillation solaire à étages multiples.....	37
III.3-1- Processus d'exploitation du système.....	37
III.3-2- Critères à vérifier dans le processus de distillation.....	38
III.3.3- Etude théorique le système.....	39
III.3.3-1- Bilans énergétiques.....	39
III.3.3.1. 1- Flux thermiques à partir du bassin inférieur.....	39

III.3.3.1-2- Flux thermiques entre deux étages.....	39
III.3.3.1.3. Débits thermiques entre l'étage n et le dernier étage (nommé couvercle ou cheminée).....	40
III-3-3-2- Rendement.....	41
III-3-3-2-1- Rendement du bassin inférieur.....	41
III-3-3-2-2- Rendement de l'étage n.....	41
III-4- Conclusion.....	41

Chapitre IV : Analyse et comparaison les donnée des résultats obtenu de littérature

IV-1- Introduction.....	42
IV- 2- Analyse des données	42
IV-2-1- Système de distillation solaire à chaleur à basse température	42
IV-2-1-1- Variations de La température de l'eau avec le temps.....	42
IV-2-1-2- Effet de la température ambiante sur la production.....	42
IV-2-1-3- Effet de la température de l'eau douce sur les performances du système.....	43
IV-2-1-4- Effet de la profondeur de l'eau dans l'évaporateur sur les performances du système.....	44
IV-2-2- Système de distillation solaire à étages multiples.....	45
IV-2-2-1- Quantité Production d'eau potable dans bassin inférieur.....	45
IV-2-2-2- Quantité Production d'eau potable dans l'ensemble des étages.....	46
IV-3- Conclusions.....	47
Conclusion générale.....	48
Références bibliographiques.....	49

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale

Les activités agricoles, industrielles et domestiques quotidiennes dépendent directement ou indirectement de l'utilisation de l'eau. L'effet combiné de l'augmentation continue de la population mondiale, des changements de mode de vie, de la salinité accrue des eaux souterraines et de la diminution des précipitations avec l'augmentation des activités industrielles et agricoles dans le monde contribue à l'épuisement et à la pollution des ressources en eau douce.

L'eau et l'énergie sont les piliers les plus essentiels d'un mode de vie durable. La rareté de l'eau limite le développement socio-économique de nombreux pays du monde, en particulier dans les pays en développement. Le dessalement de l'eau salée s'avère être une ressource d'eau douce durable et contribue à atténuer la pénurie mondiale d'eau. La majorité des usines de dessalement installées dans la plupart des pays du monde souffrant de pénurie d'eau sont exploitées par des combustibles fossiles. Par conséquent, comme les procédés de dessalement consomment beaucoup d'énergie, leur fonctionnement devient de plus en plus coûteux, et la pollution environnementale qui en résulte est de plus en plus très nocif pour l'environnement.

Les statistiques prédisent qu'au cours de la prochaine décennie, un tiers de la population mondiale n'aura pas accès à l'eau, menaçant de déclencher des guerres. Pour faire face à cette pénurie qui menace son existence, l'homme doit s'intéresser au dessalement de l'eau de mer et/ou de l'eau salée et en particulier au dessalement solaire, qui est parfaitement adapté aux régions arides et/ou isolées où l'énergie solaire est largement disponible.

L'objectif principal de ce travail est de contribuer à la discussion sur la conception et l'application des systèmes de dessalement alimentés par l'énergie solaire, en particulier les processus et les caractéristiques de fonctionnement, l'efficacité de la production, les avantages et les inconvénients. Pour cela, le présent mémoire a été subdivisé en 03 chapitres qui ont été établis dans ce contexte et peuvent être résumés comme suit:

Le premier chapitre est une étude bibliographique sur les principales propriétés de l'eau, ses ressources et sa consommation dans le monde et en Algérie.

Le deuxième chapitre est une introduction aux systèmes de dessalement solaire présentant ainsi les différentes techniques de dessalement, les différents types de distillateurs et les différents paramètres influençant le système de distillation.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation technique et conceptuelle de deux prototypes de dessalement solaire, du point de vue du processus de fonctionnement, du dimensionnement et de quelques formules mathématiques régissant le calcul des paramètres caractéristiques.

Le quatrième chapitre présente une analyse et une comparaison des données des résultats obtenus à partir de la littérature sur les paramètres caractéristiques des prototypes discutés dans le troisième chapitre.

A la fin, une conclusion générale concluant les résultats des différents chapitres présentés dans ce mémoire et sont consacrés à l'objectif principal décrit ci-dessus.

Chapitre I
Discussion de l'état
générale des ressources en
eau

1. Introduction :

L'eau, en tant que ressource naturelle précieuse, joue un rôle important dans la vie des gens sur la planète [1]. Les pays au sud du bassin méditerranéen font partie des régions du monde où les ressources en eau potable sont extrêmement limitées [2]. La pénurie d'eau potable et la rareté de ses ressources naturelles sont devenues une contrainte à l'heure actuelle et cela est dû à la sécheresse et à la surexploitation des eaux souterraines, ce qui conduit à un problème majeur qui menace la vie des gens dans plusieurs régions. Il est extrêmement important de trouver et de produire de l'eau potable à partir d'autres ressources naturelles [3].

Malheureusement, une grande partie des réserves d'eau est constituée d'eau saumâtre. Les précipitations sont très variables, aussi bien dans l'espace que dans le temps. La sécheresse peut durer des mois ; elle est parfois suivie de pluies torrentielles qui emportent tout sur leur passage, comme en octobre 2001 à Alger où un millier de personnes ont été ensevelies par un torrent de boue [2].

Ce chapitre discute alors l'état général des ressources en eau ; à travers la présentation de l'importance de cet élément, sa répartition sur la terre, sa classification selon la salinité, son traitement et en fin sa consommation.

2. Importance de l'eau :

L'eau est d'une importance biologique et économique capitale, en outre l'hydrosphère est le fondement de la vie et des équilibres écologie. L'eau avec ses usages multiples est à la fois un aliment, une matière première industrielle, énergétique et agricole, et un moyen de transport [4].

L'exigence d'une eau propre est essentielle pour une bonne santé qui influe directement sur la vie sociale et le développement économique d'une nation, alors que les personnes qui utilisent l'eau contaminée sont sujettes à des maladies d'origine hydrique. Cependant, il y a un accès limité à l'eau potable qui répond aux normes biologiques, chimiques et physiques des constituants plus acceptables à cause de la présence d'une pollution de l'environnement issue principalement aux activités anthropiques, en particulier l'utilisation des combustibles fossiles qui contribue de manière significative au changement climatique par l'émission de dioxyde de carbone et d'autres substances , ce qui conduit également à la dégradation des ressources en eau douce [5].

A cet effet, un défi est lancé avec une approche multi-facette qui comprend le développement de technologies appropriées pour le dessalement de l'eau par l'énergie solaire. Cette source d'énergie durable est nécessaire pour fournir de l'eau fraîche à une partie de la population mondiale. Par conséquent, l'application des technologies de l'énergie renouvelable dans l'approvisionnement en eau douce peut aider à atténuer la dégradation environnementale [6], [7].

3. Répartition de l'eau sur la terre :

Près de 70 % de la surface de la Terre est recouverte d'eau (97 % d'eau salée et 3 % D'eau douce dans différents réservoirs), essentiellement sous forme d'océans mais l'eau est aussi présente sous forme gazeuse, liquide et solide. Le volume approximatif de l'eau de la Terre (tous les réserves d'eau du monde) est de 1 360 000 000 km³. Dans ce volume, la répartition est la suivante [5] :

- 1 320 000 000 km³ (97,2 %) se trouve dans les océans;
- 25 000 000 km³ (1,8 %) se trouve dans les glaciers et les calottes glaciaires;
- 13 000 000 km³ (0,9 %) sont des eaux souterraines;
- 250 000 km³ (0,02 %) sous forme d'eau douce dans les lacs, les mers intérieures, et les fleuves;
- 13 000 km³ (0,001 %) sous forme de vapeur d'eau atmosphérique à un moment donné.

4. Classification des eaux selon la salinité :

Lorsqu'on classe les eaux en fonction des quantités de matières dissoutes qu'elles contiennent, on obtient les données présentées au tableau (I.1). Les eaux saumâtres, qui proviennent habituellement des nappes souterraines, contiennent le plus souvent de 2000 à 10000 mg/L de matières dissoutes. Signalons au passage que l'effluent d'une usine d'épuration (traitement biologique) contient environ 750 mg/L de matières dissoutes [8].

Tableau (I.1) : Classification des eaux selon la salinité [9].

Type d'eau	Degré de salinité (mg/l)
Eau de douce	<500
Eau légèrement saumâtre	1000 à 5000
Eau modérément saumâtre	5000 à 15000
Eau très saumâtre	15000 à 35000
Eau de mer	35000 à 42000

On peut classer les différentes eaux qui peuvent être distillées en cinq catégories :

4.1. Eaux saumâtres :

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart de ces eaux contiennent entre 1 et 10 g de sel par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO₃, le CaSO₄, le MgCO₃ et le Na Cl [10].

4.2. Eaux naturelles :

Ce sont les eaux qui proviennent des lacs, fleuves, rivières et nappes souterraines. Elles ont une composition chimique différente et parfois elles sont polluées et impropres à consommation. Elle représente près de 14% de l'eau douce [9].

4.3. Eaux usées :

Les eaux usées regroupent les eaux résiduaires domestiques (les eaux vannes et les eaux Ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels (eaux usées des usines). Ils constituent donc un effluent pollué, et qui sont rejetées dans un émissaire d'égout vers le milieu naturel [11].

4.4. Eau potable :

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau [12].

4.5. Eau de mer :

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium de magnésium de sulfates et de carbonates). La salinité moyenne des eaux de mers et océans est de 35g/L approximativement [10].

5. Traitement de l'eau :

Selon l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) une eau est considérée comme potable si sa salinité totale est comprise entre 100 et 1000 mg/l, soit 0.1 et 1g/l. L'objectif de la salinité de l'eau produite pour la consommation se situe en général autour de 400 mg/l [13].

Le traitement de l'eau est inexistant en cas d'utilisation d'eau souterraine bien protégée et conforme aux normes de potabilité et pour un court réseau de distribution. Dans ce cas il peut comporter simplement une étape de filtration couplée à une post-désinfection au chlore. Lorsque la ressource est d'origine superficielle et contient donc divers polluants chimiques et biologique, l'opération peut alors enfin comporter toute une série des étapes suivantes (le nombre et le choix des étapes étant fonction de la qualité de l'eau brute : [4]

- Décantation celle-ci peut être accélérée par l'addition d'un flocculant (sels de fer ou d'aluminium) ;
- Filtration sur lit de sable. Cette opération étant parfois combinée à la première, ou plus récemment sur filtres en matériaux céramiques ou cellulosiques ;
- Élimination des composés organiques ou minéraux indésirables ou en excès par passage sur charbon actif (adsorption des molécules organiques) ou sur résine échangeuse d'ions (élimination des sels minéraux) ;
- Désinfection par traitement oxydant à l'ozone, au chlore, ou bioxyde de chlore ou aux dichloramines, qui élimine les microorganismes ;

- Post-chloration, avant envoi dans le réseau ou les réservoirs, de façon à maintenir une teneur résiduelle en chlore libre actif de 0.1 mg/l environ.

6. Consommation mondiale de l'eau :

Les ressources en eaux renouvelables offertes par la nature peuvent être estimées à partir du flux de cycle d'eau et plus particulièrement des flux de circulation des eaux continentales aux environs de 40 km³/an. La quantité moyenne d'eau renouvelable disponible dans notre planète est de l'ordre de : 42.10¹² m³/an [14], compte tenu de la population actuelle de la planète qui est d'environ 7,1 milliards d'habitants, cette quantité représente : 5915,5 m³/(habitant.an), soit environ 16,2 m³/(habitant. Jour) [15].

A l'échelle mondiale, les ressources en eau potable sont réparties entre trois types de besoin, les besoins agricoles représentent 70 % des ressources en eau utilisées, suivis des besoins industriels avec 22 %, et enfin les besoins domestiques estimés à 8 %. Ces chiffres représentent une moyenne mondiale ponctuelle évoluant dans le temps et dans l'espace. Ils évoluent différemment d'un continent à l'autre et entre les pays mais ils nous renseignent sur la consommation dominante du secteur agricole, secteur qui consomme près de trois quarts des ressources en eau dans la majorité des pays. Cela ne peut se faire qu'au détriment des autres utilisateurs et notamment les populations. Le niveau de consommation d'eau potable d'un pays, comme celui de l'énergie, est devenu un indicateur de son niveau de développement économique, comme le montre le tableau (I.2) [16].

Tableau (I.2) : Consommation mondiale d'eau par habitant [15,16].

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

6.1. Consommation de l'eau en Algérie :

En Algérie, les besoins en eau potable et en eau pour usage industriel, se font de plus en plus ressentir, surtout dans les régions sahariennes dont la superficie avoisine les deux millions de km² et où les eaux souterraines sont disponibles en grande quantité, environ 60×10³ milliards de m³. Ces dernières sont difficilement exploitables et difficilement renouvelables ; or de 4 à 5 milliards de m³ seulement sont exploitables annuellement alors que la plupart de ces eaux sont saumâtres. Dans le Nord de l'Algérie, les eaux souterraines sont évaluées à 1,8 milliards de m³ dans leur état naturel. Ces eaux sont inutilisables alors qu'elles peuvent constituer un facteur important de développement et d'amélioration des conditions de vie dans ces régions [14].

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

L'Algérie reçoit 65 milliards de mètres cubes de pluie par an dont: [14,17]

- 15 milliards se dirigent vers les rivières ;
- 3 milliards alimentent les eaux souterraines ;
- 47 milliards s'évaporent dans l'atmosphère [12,15].

Le tableau ci-dessous représente les consommations annuelles de l'eau en Algérie.

Tableau (1.3) : Consommation d'eau en Algérie [18].

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

6.2. Disponibilité de l'eau dans le sud algérien :

Le sud Algérien couvre 85 % du territoire national, avec une superficie d'environ $2,156 \times 10^6$ km², et une population qui a dépassé aujourd'hui les trois millions d'habitants. Il est considéré comme une zone désertique, où les précipitations sont quasi nulles, les crues sont violentes et dévastatrices : le charriage est considérable et l'érosion participe au transport solide dans les cours d'eau avec un débit appréciable. Le sud Algérien est constitué des wilayas suivantes : Adrar, Laghouat, Biskra, Bechar, Tamanrasset, Ouargla, Illizi, El Oued, Ghardaïa, El Bayadh, Naama et Tindouf [18].

La wilaya d'Ouargla est considérée comme l'une des wilayas du sud Algérien, qui souffre de la rareté des eaux potables et de la disponibilité des eaux salées sous forme d'eau souterraine. Sa superficie est de 2,7 105 km², et sa population est estimée à 445619 habitants [19]. Les eaux souterraines représentent la source principale en eau potable dans la région d'Ouargla [17]. Leur qualité chimique naturelle dépend essentiellement de leur origine, de la nature des alluvions et des roches qui emmagasinent l'eau, ainsi que de la concentration en certains éléments chimiques [9].

7. Conclusion :

Ce chapitre discute l'état général des ressources en eau ; à travers la présentation de l'importance de cet élément, sa répartition sur la terre, sa classification selon la salinité, son traitement et en fin sa consommation. Où considérant L'eau est d'une importance biologique et

économique vitale, en plus d'être la base des équilibres de la vie et de l'environnement .Où nous trouvons contient souvent l'eau saumâtre Multiplier l'eau provenant d'une station d'épuration (traitement biologique) De la quantité de Substance dissoute, Et pour obtenir de l'eau potable et utilisable il faut la traiter et on a vu que celle-ci se fait par étapes , donc L'eau est la base de la vie, et l'être humain au niveau mondial consomme de l'eau au quotidien, car nous avons constaté que la plupart de l'eau au niveau du globe est salée et que la quantité d'énergie nécessaire pour convertir l'eau salée en eau potable aujourd'hui est très chère, nous allons donc recourir à l'énergie solaire pour désaliniser l'eau salée.

Chapitre II

Introduction aux systèmes solaires de dessalement

1. Introduction :

Les défis mondiaux d'aujourd'hui concernent deux axes principaux: l'eau et l'énergie, la diversification des ressources en eau est importante, du fait de la rareté de l'eau douce au niveau du sol, similaire à l'eau salée que nous consommons beaucoup. Dans cette partie, nous étudierons les caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire, y compris les capteurs solaires, et les techniques de dessalement de l'eau salée qui à leur tour sont divisées en deux catégories principales, qui sont les différents processus de distillation thermique (nécessitant un changement de phase: évaporation - condensation) d'une part, et d'autre part, les processus membranaires (filtration): osmose inverse et dialyse électrique.

2. Procédés de dessalement :

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux catégories et selon le principe appliqué, on distingue: [20]

- Les procédés à membranes, l'osmose inverse et l'électrodialyse ;
- Les procédés thermiques avec un changement de phases, la congélation et la distillation solaire.

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau salée. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et à l'importance des investissements qu'ils requièrent.

Les différentes techniques de dessalement de l'eau salée sont illustrées par la figure (II.1).

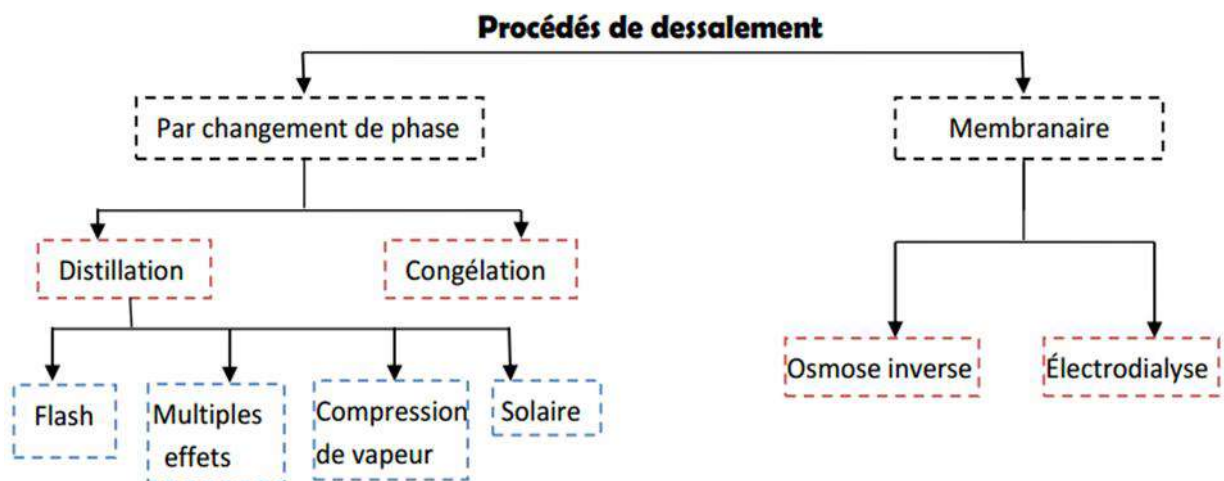


Figure II.1: Procédés de dessalement [21].

2.1. Procédés membranaires :

2.1.1. Osmose inverse :

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau des sels dissouts au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et empêchent

le passage de particules sels dissoutes et de molécules organiques de 10-7mm. La teneur en sels de l'eau osmose est de l'ordre de 0,5 g.l⁻¹. L'énergie requise par l'osmose inverse, consommée principalement par les pompes haute pression, est uniquement électrique [22].

➤ **Principe de l'osmose inverse :**

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration. Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes. Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse [22].

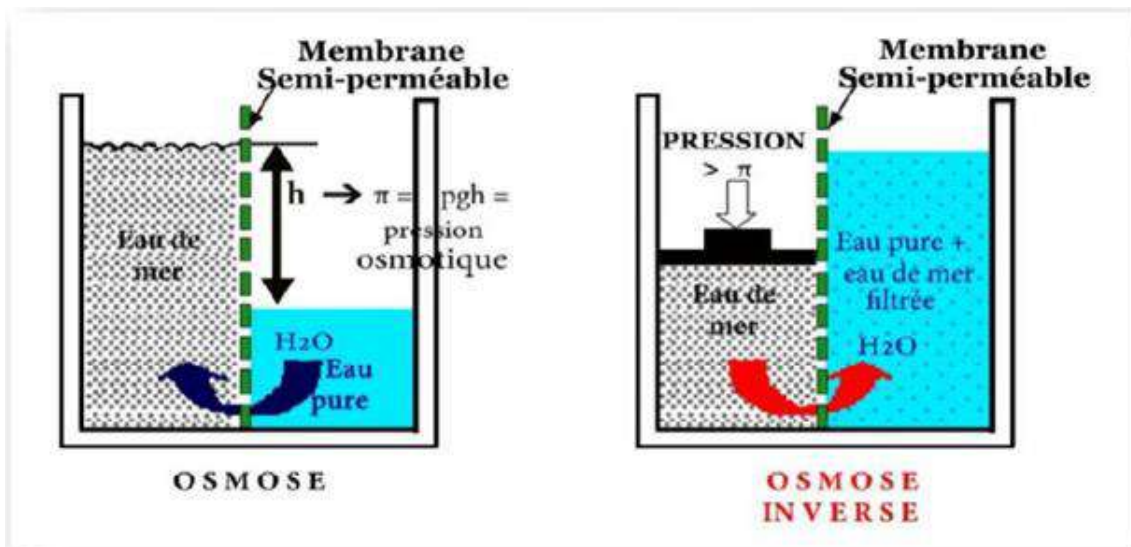


Figure II.2 : Principe de fonctionnement de l'osmose inverse [22].

2.1.2. Electrodialyse :

L'électrodialyse est une technique séparative dans laquelle des espèces ionisées minérales ou organiques dissoutes, telles que sels, acides ou bases, sont transportées à travers des membranes ioniques et sous l'action d'un champ électrique. Lorsqu'une solution ionisée est envoyée dans les compartiments séparant ces membranes, les cations migrent vers la cathode (-) et les anions vers l'anode (+), en traversant respectivement les membranes cationique (C) et anionique (A) (Figure II.3). Grâce à une disposition alternée des membranes, les ions capables de traverser les membranes cationiques sont arrêtés par les membranes anioniques, et réciproquement, il en résulte une augmentation de la concentration dans les compartiments de

même parité (concentrât) et une diminution dans les compartiments adjacents (diluât). Pour chaque faraday (96 490 coulombs) traversant l'appareil, il est séparé $N/2$ équivalent-gramme de sel. N étant le nombre total de compartiments autres que ceux qui contiennent les électrodes [23].

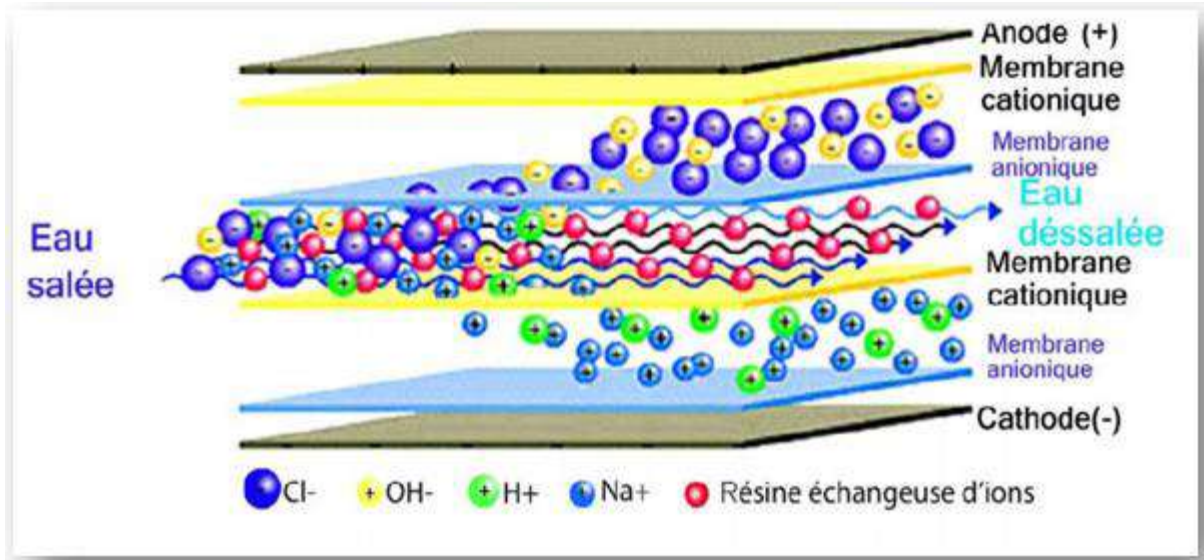


Figure II.3 : Principe de l'électrodialyse [23].

2.2. Procédés de dessalement par changement de phase :

Ce principe de dessalement très simple a été utilisé dès l'Antiquité pour produire de très faibles quantités d'eau douce sur les bateaux. L'inconvénient majeur des procédés de distillation est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. En effet, pour transformer un kg d'eau liquide en un kg d'eau vapeur à température constante et à pression atmosphérique, il faut environ 2250 kilojoules. Afin de réduire la consommation d'énergie des procédés industriels, des procédés à multiples effets qui permettent de réutiliser l'énergie libérée lors de la condensation, ont été mis au point [20].

2.2.1. Procédé de congélation :

C'est un autre procédé de dessalement qui se base sur la différence entre les points de congélation de l'eau douce et de l'eau salée. Ce procédé est particulièrement intéressant dans les régions où la température de l'eau de mer est souvent inférieure à 0°C . Lorsque la température est suffisamment basse, on remplit des bassins à des profondeurs allant de 1 à 1,5 cm. Les cristaux de glace sont séparés de la saumure, lavés du sel puis fondus ; on obtient de l'eau douce [20].

2.2.2. Distillation à simple effet :

Son principe est simple et reproduit le cycle naturel de l'eau :

- 1) Dans un récipient fermé, le serpentin de chauffage fait bouillir l'eau de mer (eau salée)
- 2) La vapeur est condensée en entrant en contact avec un deuxième serpentin alimenté en eau

de mer froide (eau salée).

3) Le groupe de pompes électriques aspire l'eau condensée et l'eau de mer dans le deuxième centre ou l'eau salée (Figure (II.4)).

Cette première solution est facile à mettre en œuvre mais n'offre qu'une faible efficacité, elle n'est donc utilisée que sur des navires dotés d'une source d'énergie thermique [24].

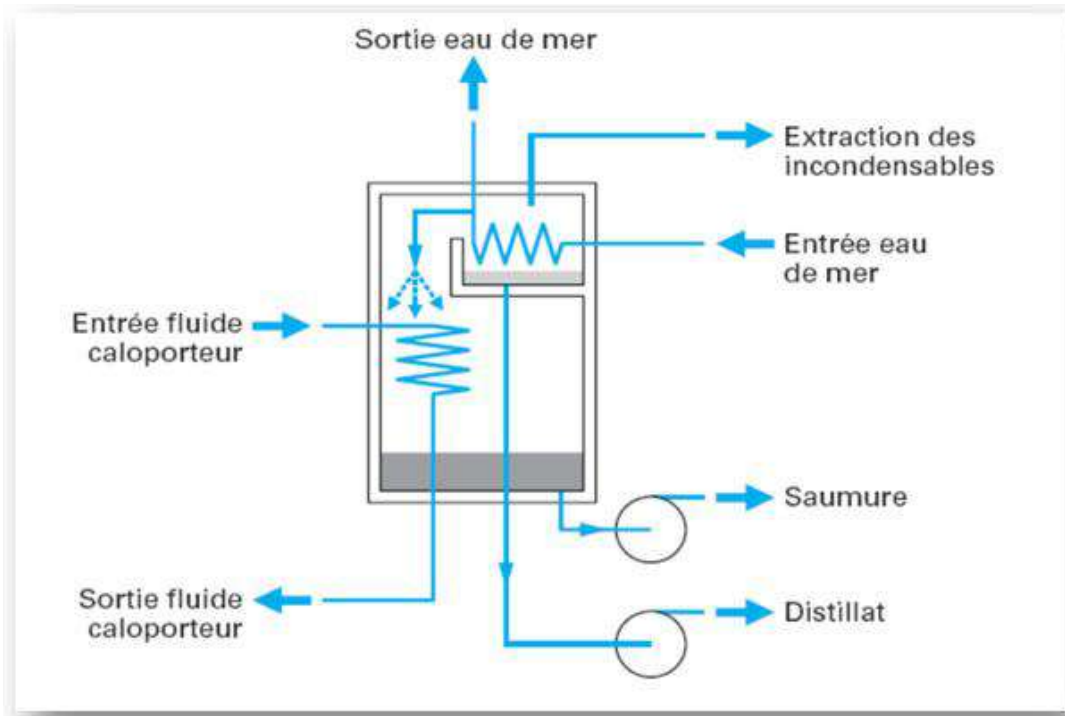


Figure II.4 : Distillateur à simple effet [24].

2.2.3. Procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effet distillation MED) :

L'évaporateur MED est constitué de plusieurs cellules simples consécutives, dans lesquelles on diminue la pression (et la température) du premier (chaud) au dernier (froid). Chaque cellule (aussi appelée effet) contient un faisceau de tubes. Le sommet du faisceau est arrosé avec l'eau de mer qui coule autour des tubes par gravité. La chaleur cédée lors de la condensation réchauffe l'eau de mer à l'extérieur des tubes qui s'évapore en partie. Après l'évaporation, l'eau de mer se concentre en donnant de la saumure au fond de la cellule. La vapeur créée par l'évaporation de l'eau de mer est utilisée comme moyen de chauffage pour l'effet suivant où le processus se répète [24].

Dans la dernière cellule, la vapeur produite se condense dans un échangeur thermique. Cet échangeur, est rafraîchi par l'eau de mer (Figure (II.5)). À la sortie du condenseur final, la partie de l'eau de mer réchauffée est utilisée pour alimenter l'unité, l'autre partie est rejetée à la mer. La saumure et le distilla sont collectés dans chaque cellule d'où ils sont extraits par des pompes centrifuges. Cette solution apporte une amélioration du rendement par rapport à la première [24].

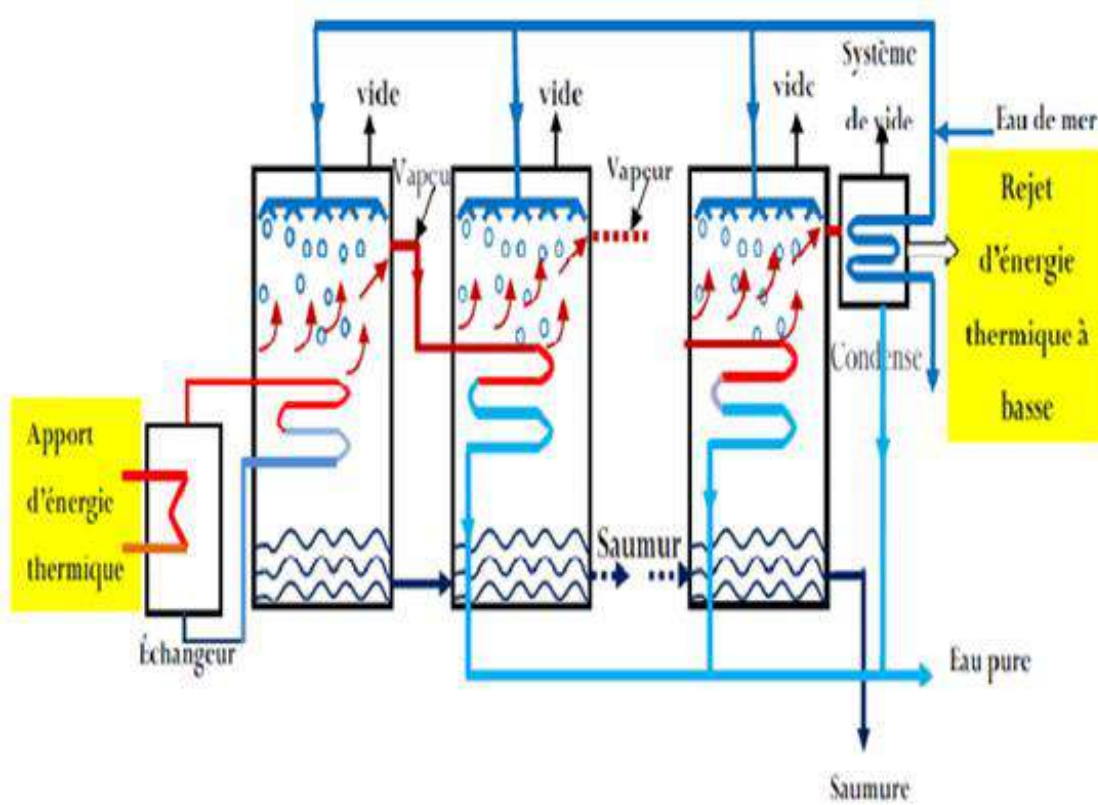


Figure II.5 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets [23].

2.2.4. Procédé de distillation par compression de vapeur (MVC) :

Afin de limiter la consommation d'énergie thermique, il est aussi possible d'utiliser la compression mécanique de vapeur (MVC). Ceci est possible dans le cas de l'évaporation simple ou multiple effet. La vapeur produite dans le dernier effet ou dans l'effet unique (pour de petites unités) est aspirée par un compresseur (Figure (II.6)). Après compression, la température de saturation de la vapeur haute pression est augmentée. Cette vapeur peut donc être utilisée (elle est envoyée dans les tubes du faisceau tubulaire) pour porter à ébullition l'eau de mer dans l'évaporateur où règne une pression plus faible. La vapeur haute pression est ainsi condensée et se transforme en eau distillée liquide et le cycle se reproduit avec la vapeur produite par l'évaporation partielle de l'eau de mer [24].

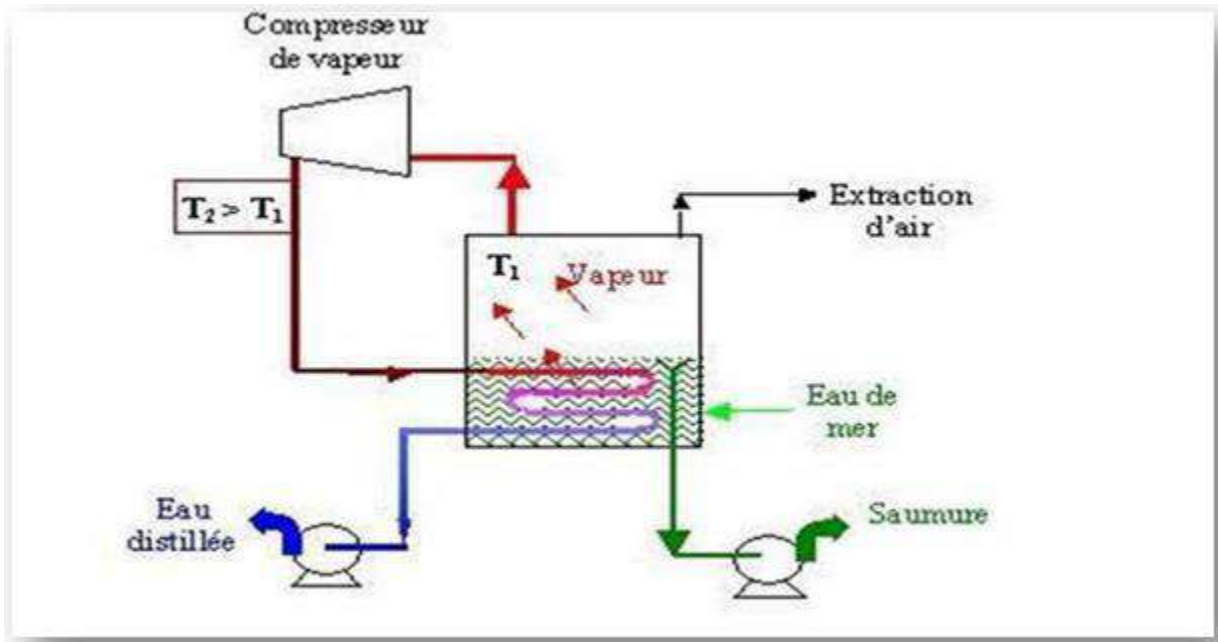


Figure II.6: Principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur [23].

2.2.5. Distillation solaire :

C'est une opération qui, par chauffage, (énergie solaire), ou par réduction de pression, transforme l'eau salée en vapeur exempte des impuretés dissoutes dans le liquide. Par condensation, cette vapeur donne une eau de grande pureté pouvant nécessiter une reminéralisation lorsqu'elle est destinée à la consommation [25].

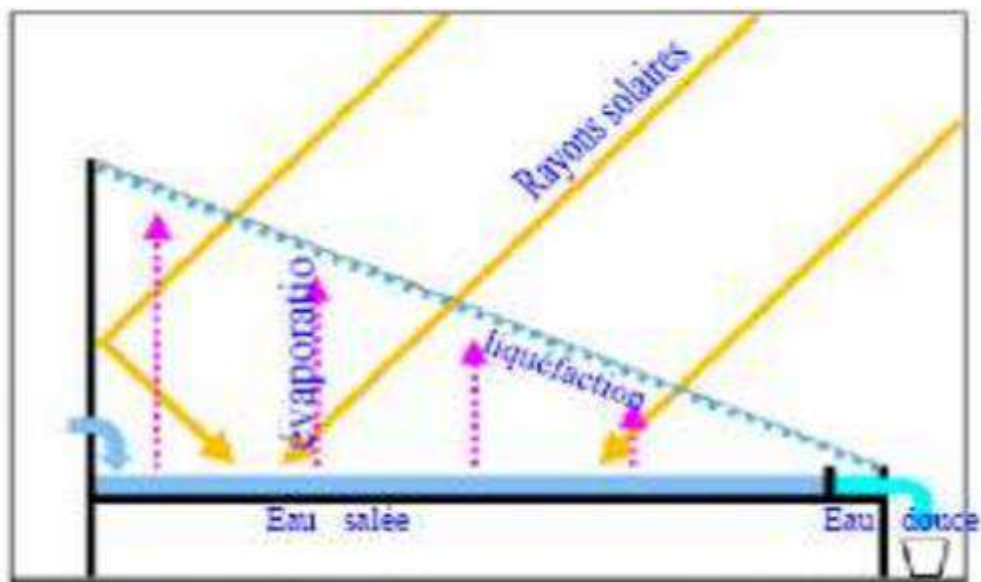


Figure II.7: Système de distillation solaire [25].

Le tableaux (II.1) donne un résumé des caractéristiques les plus importantes des différentes techniques de dessalement de l'eau salée :

Tableau II.1 : Les différentes techniques de dessalement [25].

Techniques de distillation	Caractéristiques	Consommation d'énergie en kWh/m³
Osmose reverse	- faible capacité: 500 à 5000 m ³ /jour - eau saumâtre de l'ordre 0,5g/l. - les molécules organiques de 10 ⁻⁷ mm de taille.	4-5
Electrodialyse	- la quantité d'énergie dépend de la concentration de sel. - faible capacité - eau saumâtre de salinité inférieure à 10g/l	5
Multi-Stage (Flash distillation MSF)	- grande capacité: supérieure à 5000 m ³ /jour - eau de mer de salinité supérieure à 30 g/l	15
Multi-Effet (distillation MED).	- grande capacité - eau de mer	15
Dessalement par congélation	- grande capacité - eau de mer	5
Distillation Solaire	-2250kj (si le changement d'état se fait à 100°C) - méthode très économique - rendement relativement faible: 4 à 5 l/m ² .jour	Energie solaire

3. Technique de dessalement de l'eau par l'énergie solaire:

3.1. Historique :

La technique de dessalement de l'eau par l'énergie solaire basée sur le principe de l'effet de serre n'est pas nouvelle. Ce processus d'évaporation-condensation a été utilisée depuis plusieurs siècles ; mais la plus grande réalisation est apparue en 1872 à Las Salinas au nord du désert chilien pour alimenter en eau potable les chantiers dans les mines de nitrates . Le modèle a été fabriqué par Carlos Wilson, un ingénieur suédois avec une surface vitrée de 5000 m², produisant jusqu'à 20 m³ d'eau douce par jour à partir d'une eau saline contenant 140 g/l. Depuis lors, le principe n'a pas changé, même si des améliorations ont été obtenues quant à la forme , aux matériaux de construction et aux méthodes de travail [26]. La distillation solaire est une opération qui, par chauffage, (énergie solaire), ou par réduction de pression, transforme l'eau salée en vapeur exempte des impuretés dissoutes dans le liquide. Par condensation, cette vapeur donne une eau de grande pureté pouvant nécessiter une ré- minéralisation lorsqu'elle est destinée à la consommation [27].

3.2. Principe de la distillation solaire:

Il s'agit d'un bassin étanche à l'air, généralement construit en béton / ciment, en tôle de fer galvanisé (GI) ou en plastique renforcé de fibres (FRP) avec un couvercle supérieur en matériau transparent comme le verre, le plastique, etc. La surface intérieure de la base connu sous le nom de revêtement de bassin est noirci pour absorber efficacement le rayonnement solaire incident. Il est prévu de collecter la production de distillat aux extrémités inférieures du couvercle supérieur. L'eau saumâtre ou saline est alimentée à l'intérieur du bassin pour une purification utilisant l'énergie solaire [28].

3.3. Distillateur :

C'est un système qui permet la conversion de l'énergie solaire en énergie calorifique, cette dernière est utilisée soit directement (cas de chauffage), soit elle-même convertie en énergie mécanique par l'intermédiaire des cycles thermodynamiques. Il se compose principalement de [25]:

- Un couvert transparent, généralement du verre, qui permet le passage du rayonnement solaire ($0.4 < \lambda < 0.8 \mu\text{m}$) et devient opaque aux rayons infrarouges ;
- Un bac dans lequel se trouve l'eau salée ou saumâtre ;
- L'absorbeur, (surface revêtue d'une peinture noire), qui permet d'absorber au maximum le rayonnement solaire, il en résulte une augmentation de sa température ;
- Un isolant pour diminuer les pertes thermiques.

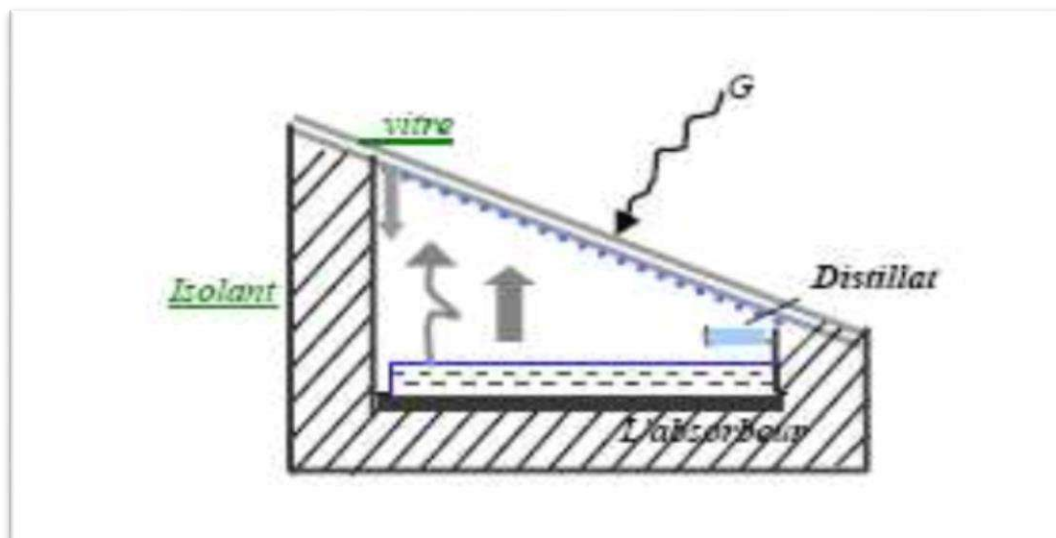


Figure II.8 : Distillateur solaire plan [25].

3.3.1. Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire :

Les distillateurs solaires utilisent tous le même principe de fonctionnement ; néanmoins, ils peuvent différer les uns des autres en conception et en matériau. Le fonctionnement d'un distillateur solaire repose sur l'effet de serre. La distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer de l'eau saumâtre dans un bac couvert par une vitre inclinée. L'eau salée dans le bac va se chauffer (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

liquéfiée 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 les sels [29].

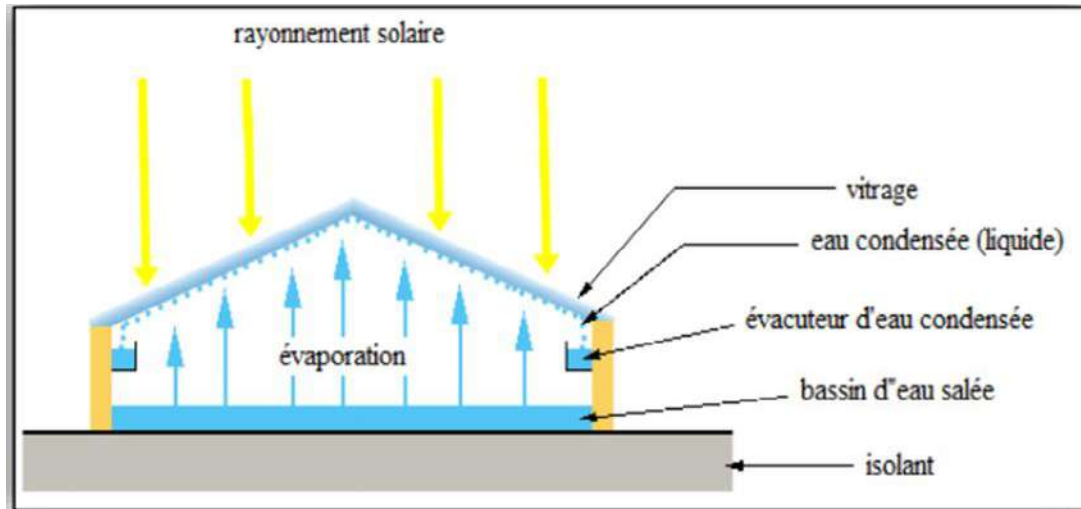


Figure II.8 : Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire [29].

3.3.2. Différents types de distillateurs :

3.3.2.1. Distillateur à simple effet :

C'est un distillateur à un seul évaporateur, le plus connu est le distillateur type bassin [30]. Il existe plusieurs modèles de ce type :

3.3.2.1.1. Distillateur à pente unique :

Le distillateur à pente unique incliné d'un angle est comme le montre la Figure (II.9).

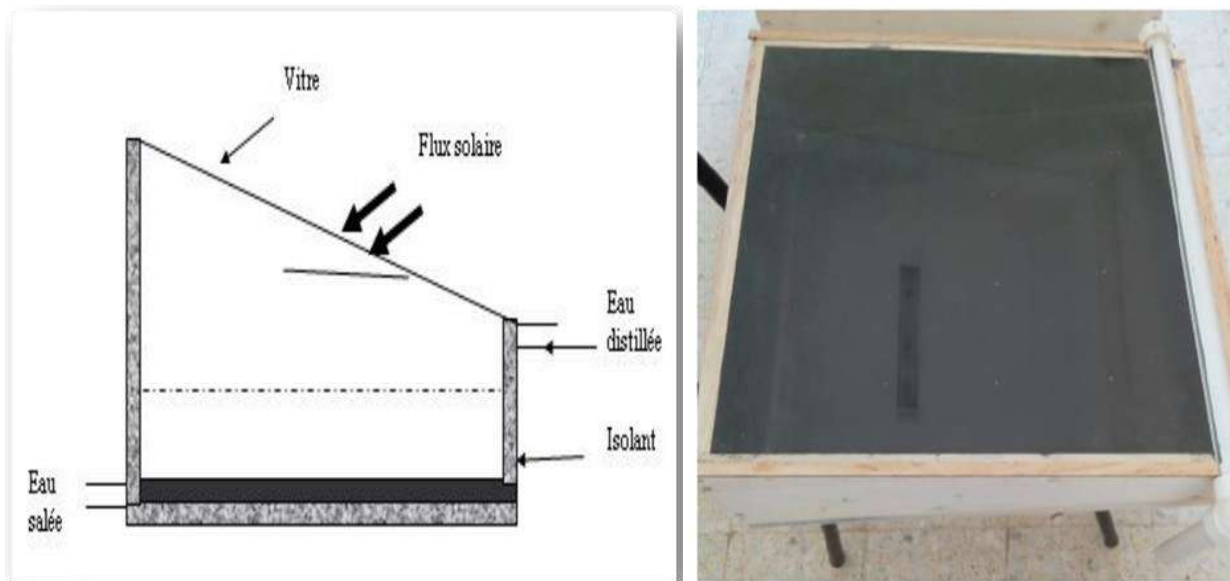


Figure II.9 : Distillateur à simple effet avec un seul capteur [37,38].

3.3.2.1.2. Distillateur solaire à double pente:

C'est un distillateur à double capteurs où chacun d'eux est incliné d'un angle, son avantage est d'exposer un capteur au soleil et un autre à l'ombre pour accélérer la condensation [37].

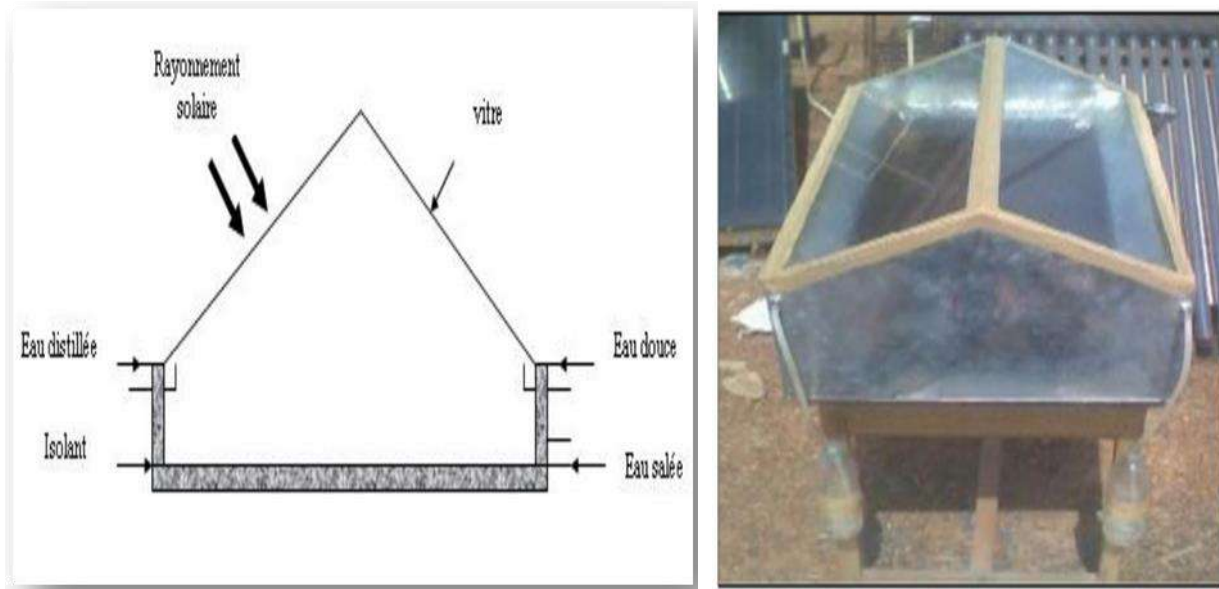


Figure II.10 : Distillateur solaire à simple effet avec deux capteurs [30,31].

3.3.2.1.3. Distillateur solaire terre-eau :

De grandes quantités d'humidité sont accumulées dans la terre durant la saison froide, de même dans les zones arides. Pour exploiter cette hydrologie naturelle, on utilise le distillateur solaire terre-eau (Figure (II.11)). Il est similaire à celui de l'effet de serre, sauf que le sol remplace le bassin noir [31].

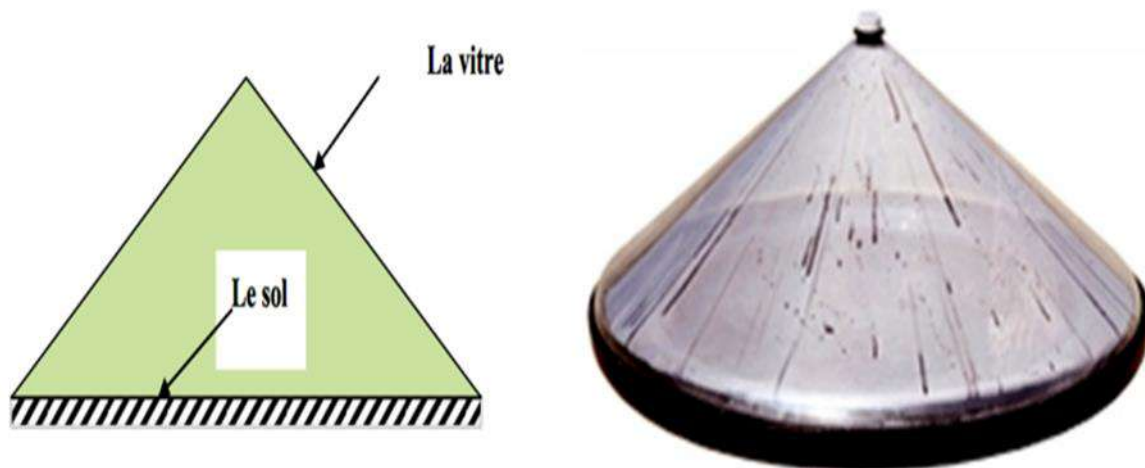


Figure II.11 : Distillateur solaire terre-eau [31].

3.3.2.1.4. Distillateur sphérique à balayage :

C'est un distillateur en plexiglas (Figure (II.12)), composé de trois parties principales, une demi-sphère supérieure qui transmet le rayonnement solaire d'une part et joue le rôle de surface de condensation d'autre part, une demi-sphère inférieure qui récupère le distillât et un bac horizontal en métal noirci contenant l'eau à distiller qui se trouve dans le plan médian [31].

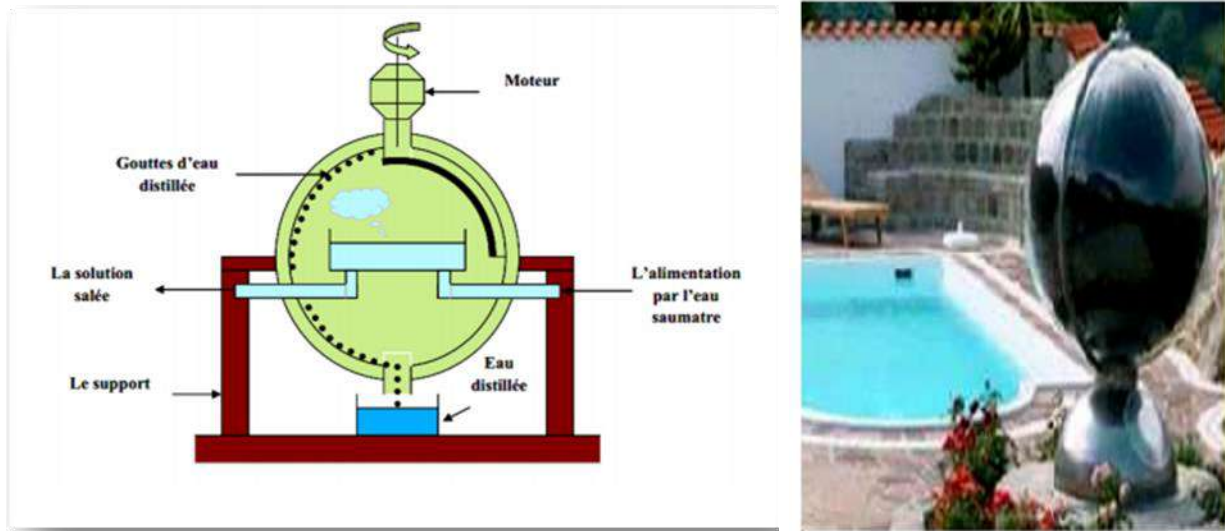


Figure II.12 : Distillateur solaire sphérique à balayage [31].

3.3.2.1.5. Distillateur solaire incliné à cascades :

Un distillateur solaire à cascades (Figure (II.13)) est constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre. Le même principe appliqué dans un distillateur plan, sauf que l'absorbeur a une forme en cascade. L'eau salée versée dans le distillateur se répartie sur plusieurs petits bassins, on remarque que si la masse d'eau est faible, l'eau s'échauffe plus rapidement et s'évapore. Cet appareil présente deux avantages : la lame d'eau est très faible et l'orientation par rapport au rayonnement incident se rapproche davantage de l'optimum [31].

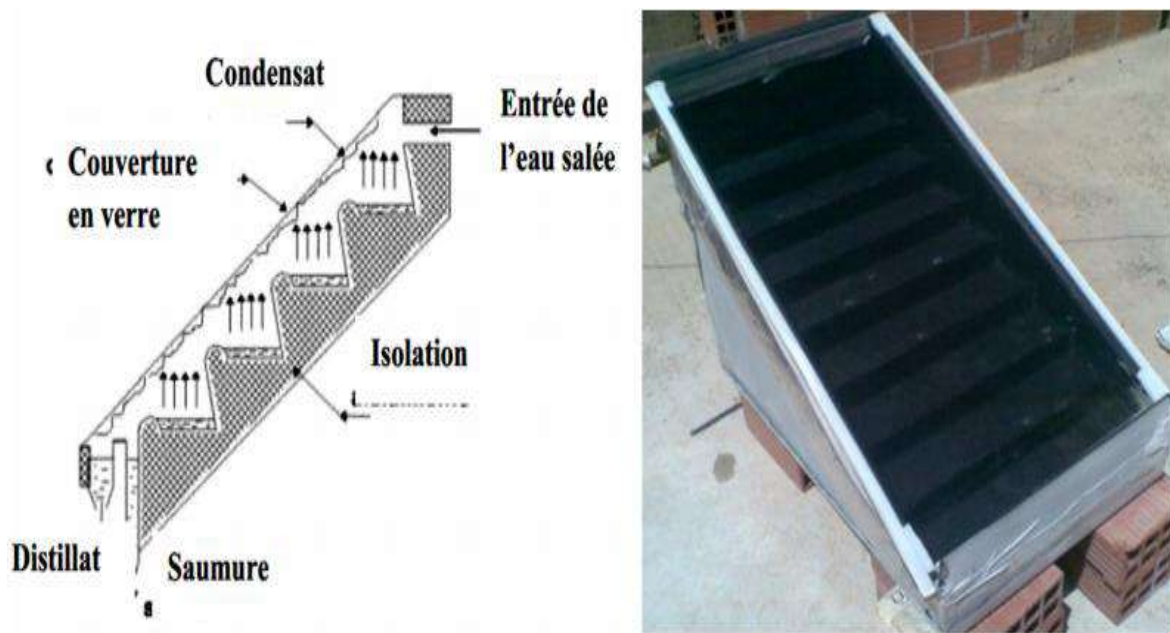


Figure II.13 : Distillateur solaire incliné à cascades[31].

3.3.2.1.6. Distillateur solaire à film capillaire :

Le distillateur solaire à film capillaire a été conçu par R. et C Ouahes et P. Le Goff. Il se compose comme suit d'une très mince couche de textile à mailles fines, imbibée d'eau qui se maintient d'elle même au contact de la plaque jouant le rôle d'évaporateur. Les forces de tension inter faciales nettement supérieures à celles de la pesanteur, jouent un rôle très important dans la formation du film capillaire, de faible inertie thermique, en empêchant toute formation de bulles d'air. Ce distillateur est composé des éléments suivants : le capteur – évaporateur, le condenseur et l'alimentation. La première cellule capte le rayonnement solaire qui passe à travers la couverture. La vapeur se condense sur la paroi opposée et la chaleur dégagée par cette condensation permet l'évaporation du film qui ruisselle sur l'autre face de cette même paroi [32].

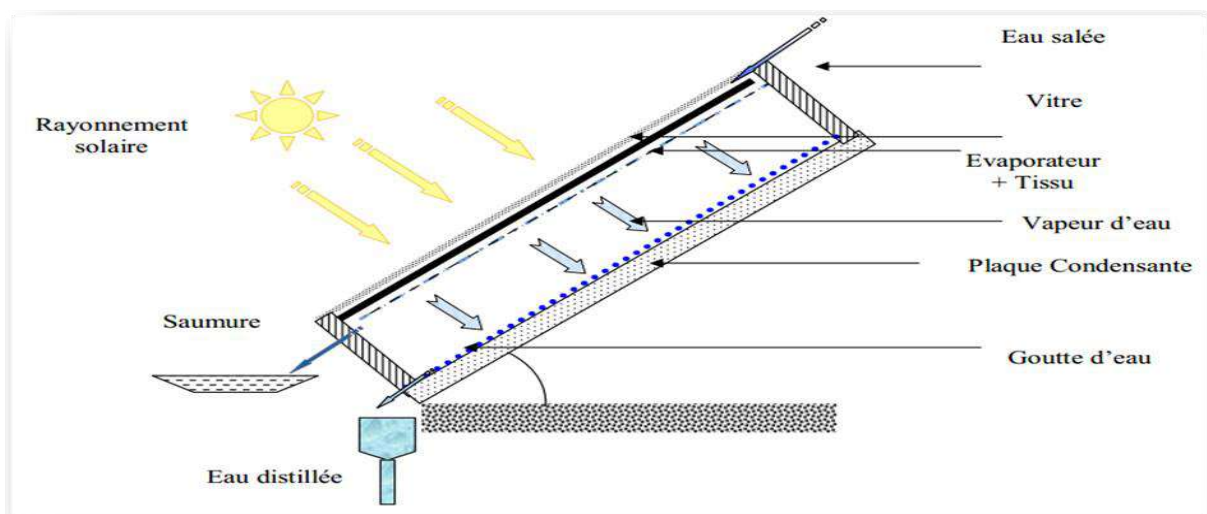


Figure II.14 : Distillateur à film capillaire avec un seul étage [32].

3.3.2.1.7. Distillateur incliné à matière poreuse noire :

Il est appelé aussi distillateur à mèche (Figure (II.14)), où l'eau d'alimentation coule lentement à travers une garniture poreuse, qui absorbe le rayonnement. La mèche peut être inclinée de sorte que l'eau d'alimentation, en faible quantité, présente un meilleur angle avec le soleil. Elle est également chauffée plus rapidement et à une température élevée. Ces distillateurs sont considérés plus efficaces que ceux à bassin [33].

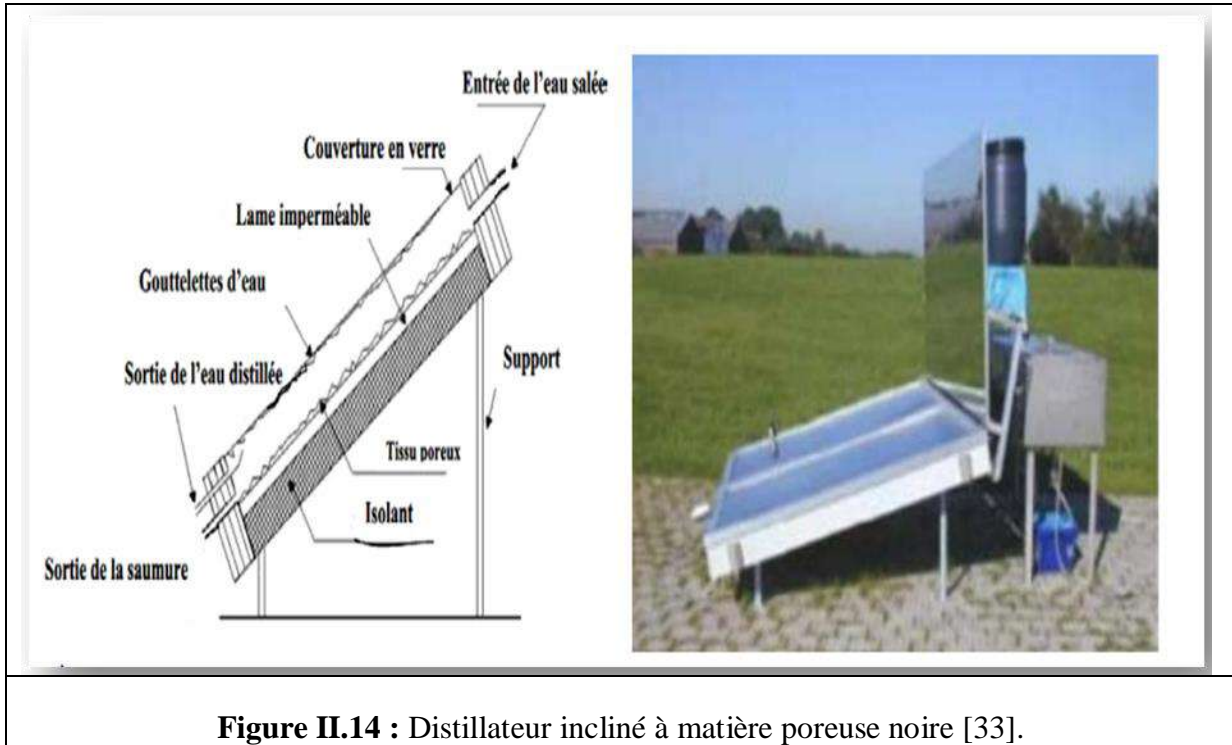


Figure II.14 : Distillateur incliné à matière poreuse noire [33].

3.3.2.1.8. Distillateur vertical :

Le distillateur solaire vertical est composé (Figure (II.15)): [34]

- D'un capteur solaire permettant la captation du rayonnement solaire ;
- D'un compartiment d'évaporation ;
- D'un compartiment de condensation.

La figure (II.15), présente le principe de fonctionnement du distillateur vertical. Le distillateur est alimenté par l'eau saumâtre à partir d'un réservoir (1), le distillateur est connecté au réservoir à l'aide d'un tube en cuivre (2), le débit d'eau à l'entrée du distillateur est régulé à l'aide d'une vanne (3). La position du réservoir d'alimentation permet l'alimentation du distillateur par un débit constant. Un distributeur d'eau (4), muni de perforations sur la longueur, permet la distribution de l'eau en film sur le tissu spongieux (5), l'eau ruisselle sur le tissu, et la saumure est évacuée en bas (6). L'eau qui s'écoule derrière l'absorbeur (7), s'évapore dans le compartiment d'évaporation, le mélange d'eau et d'air à l'intérieur saturé en vapeur d'eau circule naturellement à travers les deux ouvertures (8) réalisées dans une cloison isolée vers le compartiment de condensation (9), et la vapeur se condense au contact de la plaque de condensation à l'arrière du distillateur. La collecte de

l'eau se produit dans la gouttière (Figure (II.15)) fabriquée en dessous de la plaque de condensation [34].

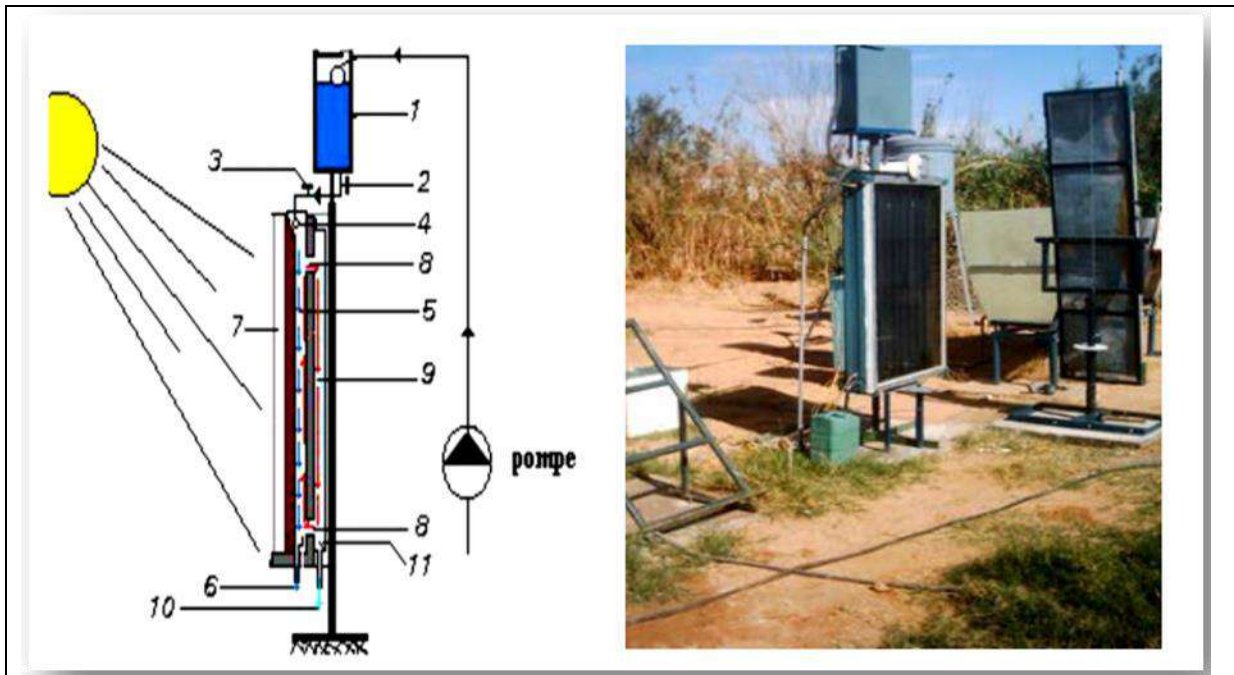


Figure II.15 : Distillateur solaire vertical [34].

3.3.2.1.9. Distillateurs à multi effets :

Le distillateur solaire à multi effets, (Figure (II.16) et Figure (II.17)), est constitué de plusieurs évaporateurs placés en série et opérant à dépressions décroissantes; l'effet de tête et l'effet de queue [33].

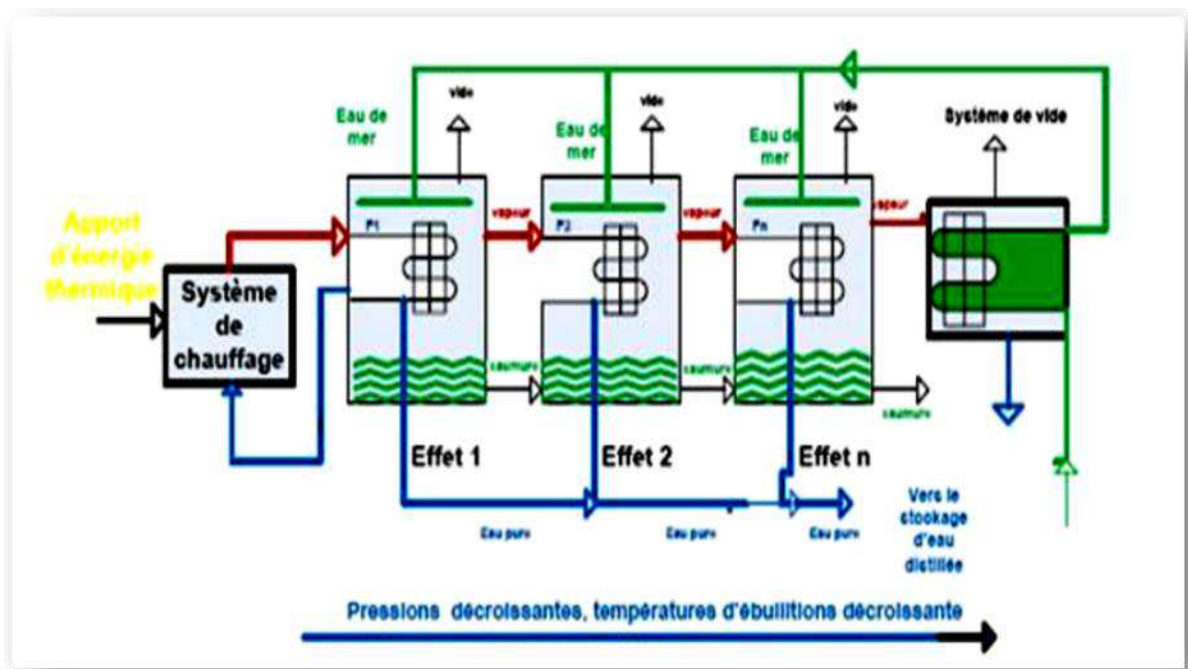


Figure II.16 : croquis d'un distillateur à multiples effets [33].



Figure II.17 : Distillation à multiples effets [33].

3.4. Avantages et l'inconvénient des distillateurs solaires :

3.4.1. Avantages : [21]

- Une technique facile, à petite échelle, et rentable pour fournir l'eau potable dans les maisons ou dans les petites communautés ;
- La production d'eau distillée ;
- La simplicité dans la conception ;
- Aucune pièce mobile (pompes, moteurs, etc.) sont tenus de faire fonctionner l'unité en mode passif de l'opération ;
- Contribue à réduire la pollution de l'environnement car elle nécessite uniquement l'énergie solaire, qui est renouvelable et non polluante ;
- Aucun opérateur qualifié n'est nécessaire pour le fonctionnement et l'entretien.
- Fabrication locale / réparation est possible ;
- Purification de l'eau très salée (même l'eau de mer) ;
- L'élimination efficace des agents pathogènes et de produits chimiques réduit les risques de problèmes de santé associés aux maladies d'origine hydrique.

3.4.2. Inconvénients : [21]

- La vulnérabilité aux dommages dus aux conditions météorologiques ;
- Faible rendement ;
- Une technologie moins demandée aux marchés ;
- Le faible taux d'intérêt des fabricants ;
- La surface de condensation est également celle à travers laquelle les rayons du soleil incidents passent. Cette surface est plus ou moins chaude, car il absorbe

le rayonnement solaire ;

- Une faible efficacité.

Un moyen efficace de surmonter ces deux dernières inconvenantes consiste à séparer la chambre de condensation à la chambre d'évaporation, la zone d'évaporation peut être s'agrandir pour augmenter le rendement de distillation [21].

3.5. Paramètres influant sur le système de distillation :

On peut les classer en deux catégories, paramètres externes et internes:

3.5.1. Paramètres externes :

Ils sont liés au site, nous pouvons citer : [35]

a) paramètres géographiques, tel que la longitude, la latitude et la hauteur du soleil.

b) paramètres météorologiques: parmi lesquels :

- Le vent, dont l'augmentation dans un premier temps améliore la production puis au delà d'une certaine vitesse, peut entraîner l'effet inverse.
- La température ambiante dont l'augmentation conduit à une décroissance de la production.
- Les paramètres d'ensoleillement tel le rayonnement global et la position du soleil. Il est évident que la production dépend de la quantité de chaleur que reçoit le distillateur.

3.5.2. Paramètres internes :

a) Paramètres de position : [36]

- L'emplacement du distillateur, où les distillateurs doivent être placés de façon à éviter les obstacles " l'effet de masque " qui empêche le rayonnement solaire d'atteindre la surface de captation:
- L'orientation: elle dépend essentiellement du fonctionnement du distillateur pendant la journée, on distingue notamment:
 - Fonctionnement pendant la matinée : orientation Est;
 - Fonctionnement pendant l'après- midi : orientation Ouest;
 - Fonctionnement durant toute la journée : orientation Sud.
- L'inclinaison : elle dépend du fonctionnement du distillateur pendant l'année:
 - fonctionnement estival : $\beta = \varnothing - 10^\circ$;
 - fonctionnement hivernal : $\beta = \varnothing + 20^\circ$;
 - fonctionnement annuel : $\beta = \varnothing + 10^\circ$.

b) Paramètres de construction : [22]

❖ couverture :

La couverture intervient essentiellement par :

- sa nature ;
- sa mouillabilité par l'eau ;
- sa transparence au rayonnement solaire ;

- son opacité au rayonnement infra-rouge de grandes longueurs d'ondes ;
- sa résistance aux attaques du vent et des particules solides ;
- le nombre de vitres dans le cas où la couverture est vitrée.

❖ Surface absorbante :

Les tests menés par certains chercheurs ont montré que la surface absorbante peut être construite en béton, en ciment, en bois, en matière synthétique ou en métal ordinaire. Le choix de la matière dépend de son inertie thermique, de sa résistance à l'oxydation par l'eau, des dépôts de minéraux et de son coût.

❖ Distance entre la surface d'évaporation et la surface de condensation :

Satcunanatan et Hanssen [18] ont montré qu'une réduction de ce paramètre augmente le facteur de performance brut. Il est beaucoup plus déterminant que l'inclinaison de la vitre du couvercle.

❖ Paramètres de la saumure :

Ces paramètres sont :

- L'épaisseur de la nappe d'eau à distiller, plus l'épaisseur de la nappe d'eau est importante, moins sa température fluctue au cours de la production. La différence entre les distillateurs, à petite et grande épaisseur de saumure, est notable pour les distillateurs dont la base est isolée thermiquement. La production est d'autant plus importante que l'épaisseur est faible; d'autre part, plus l'épaisseur de la saumure est grande, plus longtemps dure la distillation après le coucher du soleil ;
- la température de la saumure. Lorsque la température de la saumure augmente, un dépôt blanc sur la surface libre de l'eau dû à la formation de carbonates insolubles dans la saumure est observé. Ceci empêche le rayonnement solaire d'atteindre la surface absorbante, entraînant ainsi une baisse dans la production ;
- la concentration des sels. En effet, la production diminue lorsque la concentration de sel augmente ; en plus de la corrosion qui augmente.
-

❖ Paramètres optiques:

Les paramètres sont l'émissivité, l'absorptivité, la réflectivité et la transmittivité de la surface absorbante et de la couverture [36].

❖ Paramètres Thermo physiques:

Les paramètres thermo physiques sont [36]:

- La conductivité thermique, la chaleur spécifique et la diffusivité thermique de la couverture et la surface absorbante ;

- la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité cinématique, la chaleur latente de vaporisation, le coefficient de dilatation thermique et la diffusivité thermique de la saumure ;
- la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité dynamique, la viscosité cinématique et le coefficient de dilatation thermique du mélange air - vapeur.

3.6. Conception objective pour un distillateur solaire efficace: [38]

Pour un rendement élevé, le distillateur solaire devrait maintenir :

- une température d'eau d'alimentation élevée.
- Une grande différence de température entre l'eau d'alimentation et la surface de condensation.
- Une faible fuite de la vapeur.

En plus on doit surveiller les éléments suivants :

- Emplacement
Les distillateurs solaires fonctionnent à l'aide de l'énergie solaire directe sans une énergie additionnelle.
- Le goût
L'eau distillée est insipide à cause de l'absence de minéraux selon les préférences personnelles, le refroidissement de l'eau pourrait en améliorer beaucoup le goût .
- La facilité de nettoyage
On choisit un modèle doté d'un absorbeur facile à nettoyer.
- La composition des distillateurs
On recommande que les distillateurs soient en fer galvanisé, en aluminium ou en plastique.

3.7. Caractéristiques physiques de fonctionnement du distillateur solaire :

Un distillateur solaire est caractérisé essentiellement par les grandeurs suivantes [39]:

3.7.1. Rendement (le débit de distillat ou la production) :

C'est la quantité d'eau produite par unité de surface de plan noir et par jour. L'inconvénient majeur de ce critère est qu'il ne fait pas mention de l'énergie solaire incidente qui arrive sur le distillateur.

$$m_d = \frac{q_{ev}}{L_v} \quad (\text{II.1})$$

q_{ev} : Quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps (W/h).

L_v : Chaleur latente de vaporisation (kJ/kg).

3.7.2. Efficacité :

3.7.2.1. Efficacité globale :

L'efficacité globale est définie par le rapport de la quantité d'énergie évaporée par mètre carré, à la quantité de l'énergie globale incidente par mètre carré sur une surface horizontale. Elle est donnée par la relation suivante :

$$n_g = \frac{q_{ev}}{I_g \times A_g} = \frac{m_d \times L_v}{I_g \times A_g} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

q_{ev} : Quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps.

A_g : Superficie du capteur (aire de la vitre) (m^2).

I_g : Énergie solaire globale incidente par mètre carré sur une surface horizontale, pendant un jour (W/m^2).

L_v : Chaleur latente de vaporisation.

m_d : Débit du distillat ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$).

3.7.2.2. Efficacité interne :

Elle représente le rapport de la quantité d'énergie évaporée par mètre carré de surface, à la quantité d'énergie effectivement absorbée par la saumure par mètre carré de surface.

$$n_i = \frac{q_{ev}}{q_w} = \frac{m_d \cdot L_v}{\alpha_t \cdot I_g \cdot A_g} \quad (\text{II.3})$$

Pour une intensité globale I_g , l'expression de q_w est :

$$\phi_w = (\tau_v \alpha_e + \tau_v \alpha_e \alpha_f) \times I_g A_g$$

En posant :

$$\alpha_t = \tau_v \alpha_e + \tau_v \alpha_e \alpha_f$$

Donc :

$$\phi_w = \alpha_t \cdot I_g \cdot A_g$$

Il en résulte :

$$n_i = \frac{n_g}{\alpha_t} \quad (\text{II.4})$$

α_t : Le coefficient d'absorption global du distillateur (coefficient d'absorption fictif de la masse d'eau, $\alpha_t = 0.85$).

3.7.3. Performance :

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière absolue a amené ainsi Satcunanathan et Hansen [35]. à définir le facteur de performance brut (F.P.B) et le facteur de performance horaire (F.P.H) :

$$FPB = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout de 24 h}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout de 24 h}} \quad (\text{II.5})$$

$$FPH = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout d'une heure}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout d'une heure}} \quad (\text{II.6})$$

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

$$F . P = \frac{m_d}{\alpha_t . I_G . A_g} \quad (\text{II.7})$$

4. Capteurs solaires :

Un capteur solaire est un dispositif utilisé pour capturer l'énergie solaire, qui consiste en une surface qui absorbe le rayonnement à travers lequel un cycle de flux d'énergie est absorbé. Il existe de nombreux types de capteurs avec des revêtements sélectifs appliqués sur leurs surfaces absorbantes pour augmenter leur efficacité. Il existe différents types de capteurs solaires pour chauffer les fluides et leur choix dépend de la température requise lors de l'utilisation du système, du chauffage du fluide et des conditions climatiques. Les technologies les plus courantes sont: les capteurs plans simples à liquide , les capteurs plans vitrés à liquide et les capteurs solaires à tubes sous vide.

4.1. Différents types de capteurs solaires :

Il existe deux principaux types de capteurs solaires, à savoir: les capteurs plans et les capteurs par concentration (concentrateurs solaires).

4.1.1. Capteurs plans :

Les capteurs plans absorbent le rayonnement solaire au moyen d'une plaque peinte en noir et munie de fines conduites destinées au fluide caloporteur. Et elle est aussi munie d'un vitrage transparent, qui piège l'énergie calorifique s'échappant de la plaque absorbante. Les capteurs plans peuvent chauffer les fluides caloporteurs à des températures légèrement supérieures à 80°C, avec un rendement variant entre 40 % et 80 %. Les capteurs fixes à

usage domestique sont généralement installés sur le toit des habitations. L'efficacité des capteurs dépend de l'angle qu'ils forment avec le plan horizontal, où leur inclinaison varie selon la latitude de l'installation. Le fluide utilisé dans le système de chauffage solaire est l'air ou un liquide (eau ou mélange eau-antigel), et le stockage thermique s'effectue généralement dans un accumulateur à pierre ou un réservoir d'eau bien isolé [40].



Figure II.18 : capteur solaire plan [41].

4.1.2. Capteurs par concentration :

Ce sont des réflecteurs en demi-cylindre qui renvoient et concentrent l'énergie solaire dans un tube métallique serpentin, où circule un fluide caloporteur. Cette concentration conduit à une intensité de rayonnement plus élevée, et les températures obtenues sur le récepteur (appelé cible) peuvent atteindre plusieurs centaines de degrés Celsius. Pour être efficaces, les concentrateurs doivent se déplacer pour suivre la course apparente du Soleil. De telles installations servent notamment en Arabie saoudite, pour la désalinisation de l'eau de mer par le procédé d'évaporation [40].



Figure II.19 : Capteurs solaire par concentration [42].

4.2. Différentes composantes d'un capteur plan : [40]

Sont fait le processus de transformation du rayonnement solaire en énergie thermique au niveau de l'absorbeur, qui est l'un des composants du capteur, il y'a aussi une surface de protection, et un coffre facultatif. La couverture doit être transparente à la lumière, non pas conductrice de la chaleur, et empêche les turbulences d'air froid de venir refroidir l'absorbeur.

4.2.1. Couverture transparente :

La couverture doit laisser traverser le maximum de flux solaire, c'est-à-dire transparente à la lumière mais non pas conductrice de la chaleur émise par l'absorbeur (une tôle en cuivre est dite transparente à la chaleur car ce métal est un très bon conducteur thermique). La différence de température entre les deux faces de la couverture verrière doit être très petite.

4.2.2. Fluide caloporteur :

Le rôle principal du fluide est de transporter la chaleur, entre l'absorbeur et l'endroit de l'utilisation ou de stockage. Parmi les fluides caloporteurs les plus utilisés, l'eau et l'air. où l'eau est économique mais elle risque de geler pendant l'hiver à moins de la chauffer légèrement en prélevant un peu d'eau tiède sur le circuit traditionnelle. Tandis que l'air est abondant et gratuit, et possède une faible capacité calorifique. Où il est nécessaire d'utiliser 3000 litres d'air pour véhiculer autant d'énergie qu'un litre d'eau. L'air présente un autre avantage par rapport à l'eau, c'est l'absence des problèmes de gel et de corrosion.

4.2.3. Absorbeur :

C'est une plaque métallique mince recouverte d'une couche de peinture noire, cette plaque est de grande surface puisque la quantité de chaleur lui est proportionnelle. L'absorbeur constitue la partie essentielle du capteur, son pouvoir absorbant doit être maximal, c'est-à-dire aussi voisin que possible de ce lui du corps noir théorique.

4.2.4. Isolation et le vitrage :

Les pertes par transmission vers l'extérieur du capteur sont primordiales si on cherche à optimiser les performances de ce dernier. Nombreux sont les produits isolants qui peuvent convenir pour l'isolation arrière et latérale, mais il faut veiller à leur tenue à leur température, car une coupure de circulation peut faire monter la température intérieure du capteur à plus de 150°C en été.

4.3. Fonctionnement d'un capteur solaire plan : [40]

la captation de l'énergie s'effectue par la couverture transparente puis elle est transmise à la surface de l'absorbeur, celle-ci à son tour transmet l'énergie au fluide caloporteur. La chaleur qui n'est pas absorbée reste emprisonnée entre la couverture et l'absorbeur, ainsi le verre qui s'échauffe par les deux cotés, rayonne à son tour une partie

de la chaleur vers la surface absorbante c'est-à-dire la plaque noircie, et une autre partie vers le milieu extérieur, de sorte que la plaque noire exposée au soleil atteignait 60 °C environ.

4.4. Stockage de l'énergie: [40]

Est une exigence fondamentale pratiquement de tout système solaire actif. Où ce stockage se fait sous forme thermique ou chimique, comme suit :

4.4.1. Systèmes de stockage thermique :

Être stockage sous la forme de chaleur sensible ou stockage basé sur la chaleur latente d'un changement de phase du matériau de stockage.

4.4.2. Systèmes de stockage chimique :

Est les systèmes où un élément est décomposé sous l'effet d'un apport de chaleur, après quoi les produits de la réaction sont séparés puis stockés, ce qui en principe ne pose aucune limite dans le temps. Pour rendre l'énergie à nouveau disponible, il suffit de faire réagir les produits de la décomposition pour reconstituer les éléments originaux suivant une réaction exothermique.

5. Conclusion :

Nous avons vu dans ce chapitre de nombreux systèmes de dessalement prometteurs, ils varient en forme, en efficacité de production et en conditions de fonctionnement. En outre, se trouvent de nombreux facteurs affectent les systèmes de distillation et décrivent également différents types de capteurs solaires. Le choix d'un bon système de dessalement solaire nécessite une étude empirique sous toutes les conditions et critères requises.

Chapitre III

*Présentation technique et
conceptuelle de prototypes
à dessalement solaire*

1. Introduction :

Il existe de nombreux systèmes de traitement de l'eau salée, mais chaque système a toujours ses avantages et ses inconvénients. Cela nécessite également l'exploitation de la plupart de ces systèmes ou processus, tels que Multi Stage Flash et Multi Effet distillation, Reverse Osmoses et autres, qui ont une capacité de production d'entre 100 et 100000 m³ par jour et exigent de gros investissements que la plupart des pays en développement ne possèdent pas. Nous cherchons toujours à bien développer les systèmes ou à inventer de nouveaux systèmes pour une productivité élevée dans des conditions appropriées et à moindre coûts. Dans cette chapitre nous mènerons une étude technique pilote de deux systèmes différents, le système de distillation solaire à chaleur à basse température et le système de distillation solaire à étages multiples.

2. Système de distillation solaire à chaleur à basse température:

Nous étudierons le système de distillation solaire à l'aide d'un nouveau concept novateur qui utilise la chaleur à basse température. Ce concept utilise des moyens naturels pour créer un vide par lequel le liquide peut s'évaporer à des températures beaucoup plus basses et une puissance beaucoup plus faible que les technologies conventionnelles, ce qui permettrait l'utilisation de sources de chaleur de faible qualité, comme les panneaux solaires plats [43].

2.1. Description et principe de fonctionnement :

Le système de dessalement proposé se compose d'un système de chauffage solaire, d'une chambre d'évaporation et d'un condenseur à une hauteur d'environ 10 m au-dessus du niveau du sol, reliés par des tuyaux à un réservoir d'alimentation en eau saline et à un réservoir d'eau douce, respectivement. La figure (III.1) montre un schéma du système. Un vide est créé en équilibrant les pressions hydrostatique et atmosphérique dans les tuyaux d'alimentation et de refoulement. La chambre d'évaporation a des dispositions pour alimenter le fluide froid directement dans la chambre et fournir une énergie solaire de faible classe à travers un échangeur de chaleur en boucle fermée ainsi que pour retirer la saumure concentrée. Le fluide froid entrant et la saumure soutirée passent à travers un échangeur de chaleur tube-dans-tube afin d'extraire le maximum de chaleur possible de la saumure chaude. La chambre d'évaporation est reliée à un condenseur, qui dissipe la chaleur de condensation dans l'environnement [44]. Des dispositions sont prises pour rincer périodiquement le système et le redémarrer, éliminant ainsi tout gaz non condensable accumulé [45].

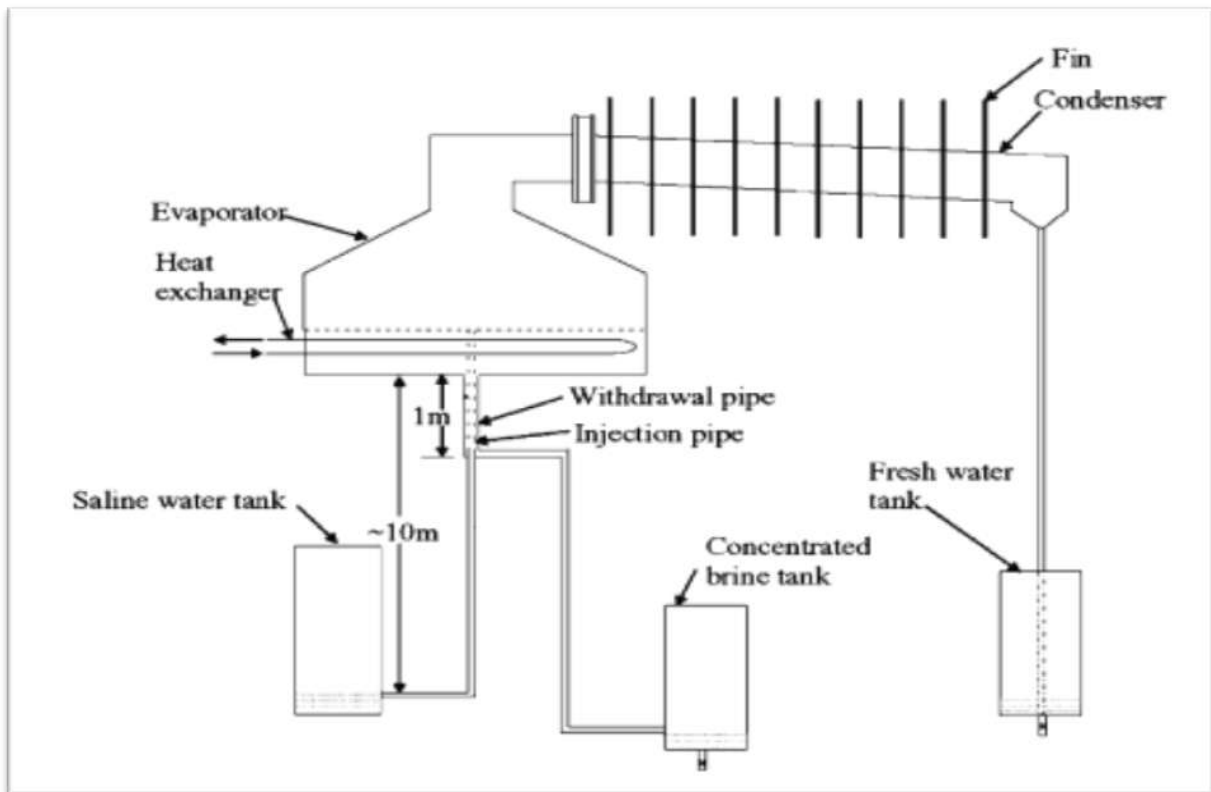


Figure III.1 : Schéma du système de distillation solaire à chaleur à basse température [44].

On sait que la pression de vapeur de l'eau de mer est inférieure d'environ 1,84% à celle de l'eau douce dans la plage de température de 0 à 100 ° C. Cela signifie que si le haut des deux chambres (évaporateur d'eau salée et condenseur d'eau douce) est connecté tout en étant maintenu à la même température, l'eau distille du côté eau douce vers le côté eau salée. Afin de maintenir la distillation de l'eau potable à partir de l'eau salée, la pression de vapeur de l'eau salée doit être maintenue au-dessus. Celle de l'eau douce, qui se fait en augmentant la température de l'eau salée par l'énergie solaire. Pour démarrer l'unité, elle est remplie complètement d'eau au départ. L'eau est ensuite autorisée à descendre hors de l'unité sous l'influence de la gravité. En fonction de la pression barométrique, l'eau tombe à un niveau d'environ 10 m du niveau du sol, laissant un vide au-dessus du niveau d'eau dans l'unité. Le vide permet la distillation d'eau à un niveau de température plus bas, nécessitant moins l'énergie thermique. Cette chaleur peut être fournie par l'énergie solaire des collecteurs, qui fonctionneront à un rendement plus élevé en raison de températures de fonctionnement plus basses. Des collecteurs à plaques plates peuvent être utilisés pour chauffer l'eau salée dans l'évaporateur [44].

2.2. Conservation de l'énergie:

Lorsque l'eau salée dans l'évaporateur commence à s'évaporer, sa salinité augmente, ce qui tend à diminuer le taux d'évaporation, il devient donc nécessaire de prélever la saumure concentrée à un certain débit et d'injecter de l'eau salée à un taux équivalent aux taux de prélèvement plus d'évaporation. L'eau soutirée sera à une température égale à celle de l'évaporateur, il devient donc nécessaire d'en récupérer l'énergie. Un échangeur de chaleur

tube-dans-tube est utilisé à cet effet, où l'eau injectée s'écoule à l'intérieur du tube interne et l'eau prélevée s'écoule dans l'anneau dans une direction à contre-courant [44].



Figure III.2 : Evaporateur et condenseur [43].

2.3. Caractéristiques du système :

Sous l'influence des conditions de vide à la surface de l'eau saline dans l'évaporateur, l'eau peut être injectée par la pression atmosphérique; pas besoin de pomper de l'énergie n'est donc requise. Cela fait du système proposé un type d'opérations continu, contrairement à un alambic solaire à bassin plat qui est généralement un processus discontinu. La saumure concentrée retirée peut être concentrée davantage et utilisée pour construire un bassin solaire, qui peut être utilisé comme système de collecte et de stockage d'énergie solaire. Le système nécessitera un nettoyage périodique par rinçage et redémarrage, dans lequel de sorte que les gaz non condensables ne puissent [44].

2.4. Spécifications du système et équipement :

Un système à petite échelle a été conçu et construit. Une photo du condenseur de l'évaporateur est représentée sur la figure (III.2) et la configuration expérimentale est représentée sur la figure (III.3). Le système expérimental a les spécifications suivantes: le serpentin de l'échangeur de chaleur pour l'apport de chaleur à l'eau saline est un tube en cuivre de 2,4 m de long et 1,27 cm de diamètre extérieur. L'évaporateur est un cylindre, sa superficie est de 0,2 m² section transversale et 0,2 m de hauteur, surmonté d'un cône tronqué. L'évaporateur a une disposition pour l'eau d'alimentation, à travers un tube en cuivre de 1,27 cm de diamètre, entouré par un tuyau en de 2,54 cm qui est utilisé pour tirer la saumure concentrée. Les deux tuyaux forment un échangeur de chaleur tube-dans-tube. Le condenseur est un tube de cuivre de 10,16 cm de longueur et 0,5 m et 0,25 cm d'épaisseur. Sur sa surface

latérale, 10 ailettes en cuivre de 25,4 cm de diamètre, 0,0635 cm d'épaisseur et une différence de 4 cm. L'autre extrémité du condenseur est reliée à l'avant du condenseur à travers un tuyau PVC de 1,27 cm [44].



Figure III.3 : Montage expérimental du système [43].

2.5. Etude théorique du système:

Les bilans de masse, d'énergie et de sel sont nécessaires. Pour appliquer ces bilans, on suppose qu'il n'y a pas de stratification de la température dans le système. L'application de la conservation de la masse, de la concentration en solutés et de l'énergie donne les équations suivantes : [45]

L'équation conservation de la masse :

$$\rho_i \dot{V}_i = \rho_w \dot{V}_w + \rho_e \dot{V}_e \quad (\text{III.1})$$

L'équation de conservation de la concentration de soluté :

$$\frac{d}{dt} (\rho C V)_s = (\rho C)_i V_i - (\rho C)_s \dot{V}_w \quad (\text{III.2})$$

L'équation conservation de l'énergie :

$$\frac{d}{dt} (\rho C_p V T)_s + \frac{d}{dt} (\rho C_p V T)_{evaporator} = Q_{input} + (\rho C_p T)_i \dot{V}_i - (\rho C_p T)_s \dot{V}_w - Q_e - Q_{loss} \quad (\text{III.3})$$

La chaleur de l'évaporation est principalement dissipée dans l'environnement via le condenseur pendant le processus de condensation de vapeur et le reste sera emporté par l'eau douce produite. Ainsi, le condenseur dissipera la quantité d'énergie donnée par:

$$Q_c = \dot{m}h_{fg}^* \quad (\text{III.4})$$

Où h_{fg}^* est la chaleur latente modifiée de condensation.

$$h_{fg}^* = h_{fg} + 0.68C_{pf}(T_s - T_{ci}) \quad (\text{III.5})$$

Cette quantité de chaleur est conduite à travers la paroi du condenseur, et finalement transférée à l'environnement par convection (si nous négligeons le transfert radiatif). Pour la conduction thermique à travers la paroi du condenseur :

$$\dot{m}h_{fg}^* = \frac{2\pi l_c k_c (T_{ci} - T_{co})}{\ln(r_{co}/r_{ci})} \quad (\text{III.6})$$

L'équation de calcul de la chaleur transférée du condenseur :

Pour le transfert de chaleur convective vers l'environnement, on suppose que le condenseur est un tube horizontal à ailettes circulaires. Le taux de chaleur transférée du condenseur (ailettes et surface primaire) peut être calculé comme suit :

$$Q_c = (h_{co,tip}NA_{f,tip}\eta_f + h_{co}NA_{f,sides}\eta_f + h_{co}A_b)(T_{co} - T_a) \quad (\text{III.7})$$

La pression de fonctionnement de l'unité proposée peut être considérée comme la somme de la pression dans l'espace de vapeur au point de condensation et de la chute de pression dans la colonne. Cette chute de pression peut être calculée en appliquant l'équation de continuité et l'équation d'énergie entre l'entrée et la sortie de la colonne : [45]

1) L'équation de continuité :

$$(\rho Av)_{in} = (\rho Av)_{out} \quad (\text{III.8})$$

2) L'équation d'énergie entre l'entrée et la sortie de la colonne :

$$\frac{P_{out}}{\gamma} + \frac{v_{out}^2}{2g} + z_{out} = \frac{P_{in}}{\gamma} + \frac{v_{in}^2}{2g} + z_{in} - h_L \quad (\text{III.9})$$

Remarque :

En raison d'un volume plus important de vapeur dans la distillation sous vide, la tubulure doit être aussi courte et large que possible pour éviter toute impédance importante à l'écoulement de vapeur dans les tuyaux de raccordement. Il est normal d'utiliser des tubes de raccordement de diamètre supérieur à (1/10) du diamètre de l'évaporateur, du moins dans la partie supérieure de l'évaporateur, où la pression la plus faible prévaut et où l'inondation est la plus probable [46].

3. Système de distillation solaire à étages multiples:

Ce système se compose deux unités différentes : la source de chaleur (un capteur solaire ou autre) et l'unité de distillation. Ce dernier est composé de plusieurs bassins contenant de l'eau saline, superposés les uns sur les autres et qu'on qualifie d'étages, comme le montre la figure (III.4) [47].

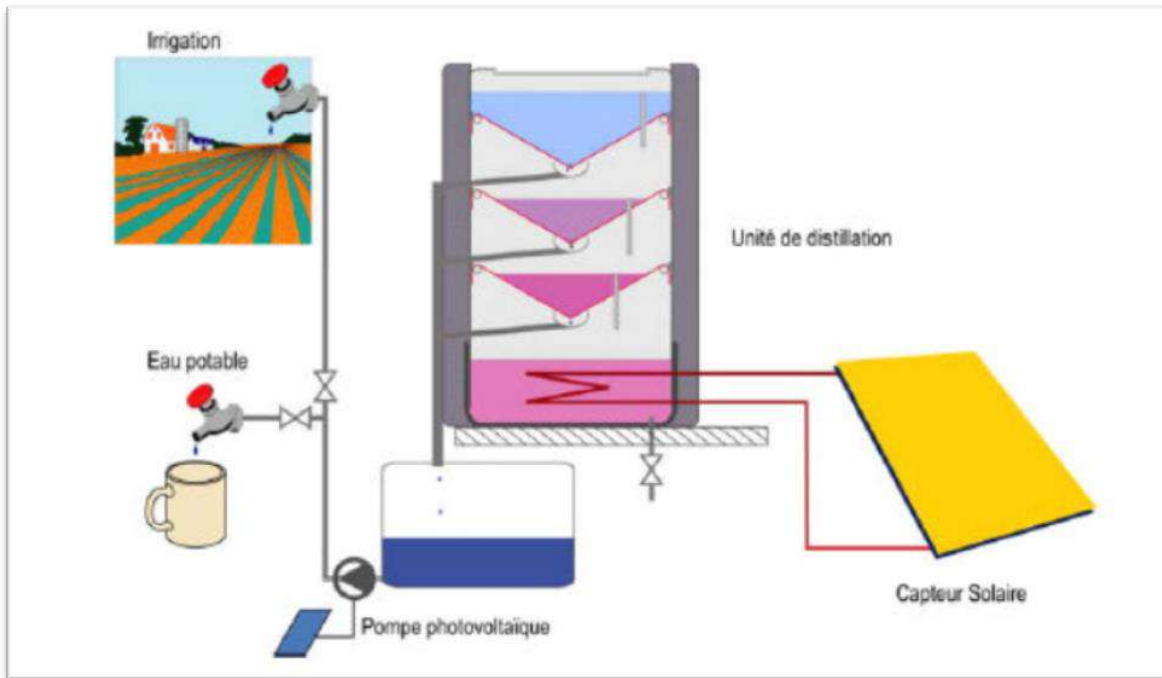


Figure III.4: distillateur solaire à multiples étages [47].

3.1. Processus d'exploitation du système:

La figure (III.5) montre comment faire fonctionner le distillateur à plusieurs étages, où le bassin inférieur (1) est alimenté en énergie thermique. Lorsque l'eau de ce bassin est réchauffée, elle s'évapore et se condense à la surface inférieure du bassin conique (2) situé au-dessus, se trouve une formation de gouttes d'eau qui s'écoulent vers une gouttière (3) qui les conduit au stockage. A la condensation de la vapeur d'eau, l'énergie de conversion de phase, appelée aussi l'enthalpie d'évaporation, est libérée. Cette énergie réchauffe l'eau contenue dans l'étage supérieur qui s'évapore à son tour et se condense à la surface inférieure de l'étage suivant (4) et ainsi de suite. De cette manière, l'énergie, prévue pour réchauffer l'eau du bassin inférieur, est récupérée pour être plusieurs fois utilisée. Alors que ce processus de récupération de chaleur a un effet multiplicateur sur la production d'eau potable. Le remplissage du distillateur s'effectue à partir du dernier étage, le système est alimenté en eau saline à un débit deux fois élevé que à celui de l'eau évaporé, continuellement à travers les tuyaux de débordement (6) pour but compenser la quantité d'eau évaporée, d'éviter une accumulation des sels dans les bassins et de contribuer à conserver les gradients de température entre les étages [47].

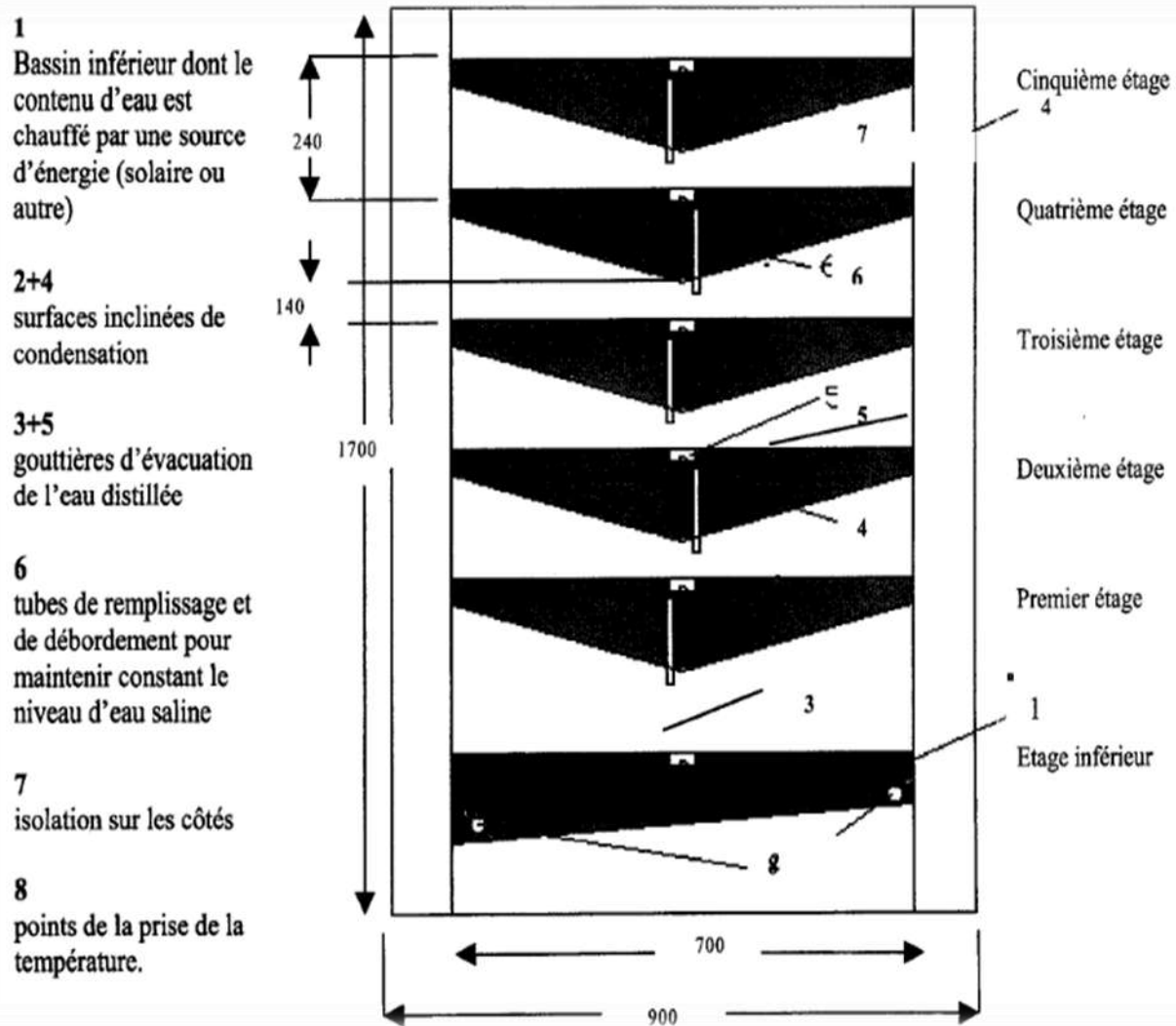


Figure III.5: Principe de construction et fonctionnement du distillateur à plusieurs étages avec les dimensions du prototype [48].

L'usine de dessalement peut fonctionner 24 heures sur 24. Cela se fait en stockant la chaleur de jour qui est collectée par les capteurs solaires avec celle extraite du groupe électrogène, et utilisée pour dessaler l'eau au coucher du soleil, surtout la nuit [47].

3.2. Critères à vérifier dans le processus de distillation :

Parmi les paramètres à examiner, se trouve :

- ✓ la puissance injectée d'alimentation qu'il faut garder constante durant les essais de laboratoire [47] ;
- ✓ le débit d'eau saline qui traverse continuellement les étages par les tuyaux de débordement [48];
- ✓ les niveaux de température de chaque unité du distillateur, d'où la différence de température entre les étages [48];
- ✓ la capacité d'eau dans chaque étage [47] ;
- ✓ les surfaces d'évaporation et de condensation [47] ;

- ✓ l'angle d'inclinaison de la surface de condensation [47] ;
- ✓ les pertes thermiques à travers l'isolation et le dernier étage [48].

3.3. Etude théorique le système :

3.3.1. Bilans énergétiques : [46]

Le processus de transport de chaleur et de matière s'effectue à travers les différents flux thermiques d'un étage à un autre.

3.3.1.1. Flux thermiques à partir du bassin inférieur :

L'alimentation en chaleur \dot{Q}_{aLim} du bassin inférieur provient d'une source de chaleur externe.

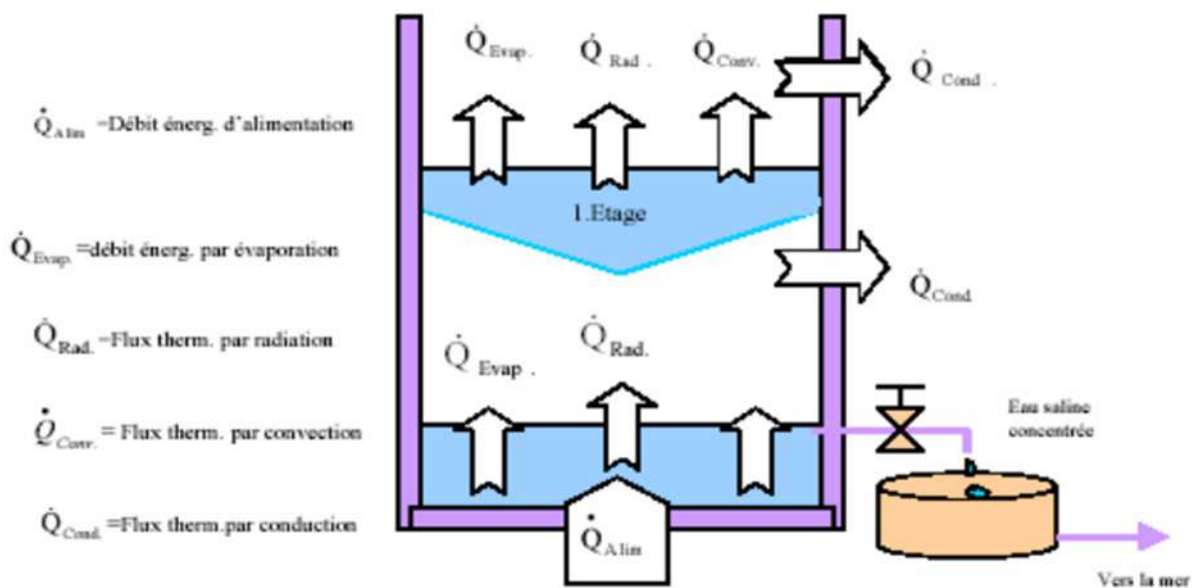


Figure III.6: Flux thermiques à partir de l'étage inférieur (échangeur de chaleur) [47].

L'équation de bilan des débits thermiques et de matière de l'étage inférieur :

$$\dot{Q}_{Alim} - C_{p,eau} \cdot m_{eau.éch.ch} \cdot \frac{dT_{eau.éch}}{dt} - (\dot{Q}_{Evap} + \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{Radi}) - \dot{Q}_{cond} = 0 \quad (III.10)$$

3.3.1.2. Flux thermiques entre deux étages :

La source de chaleur du bassin n provient des différents flux thermiques du bassin n-1.

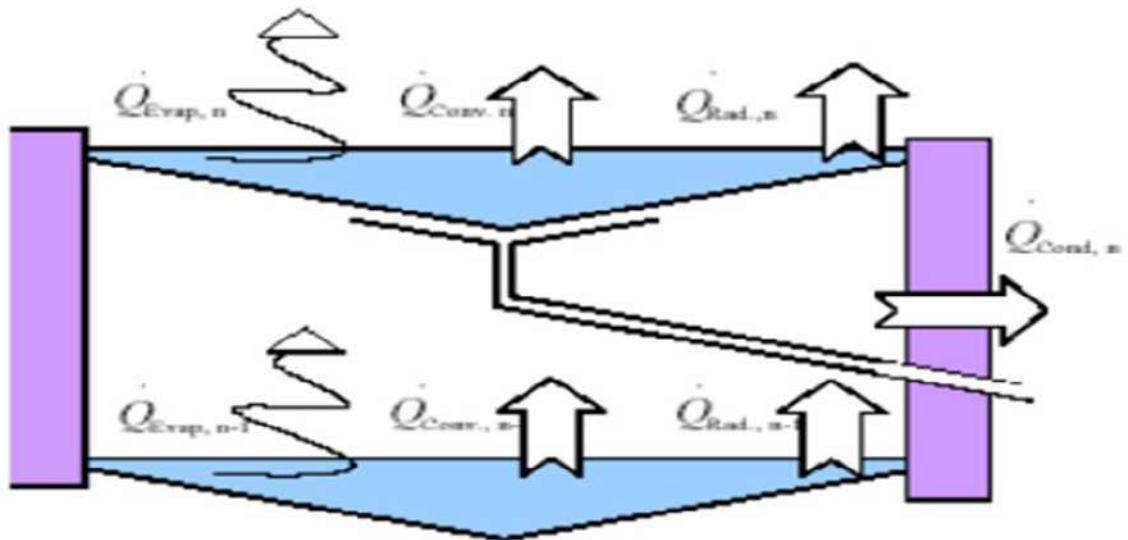


Figure III.7: Flux thermiques entre deux étages quelconques d'un distillateur [47].

L'équation de bilan entre l'étage [n-1] et [n] est donnée par:

$$(\dot{Q}_{\text{évap},n-1} + \dot{Q}_{\text{conv},n-1} + \dot{Q}_{\text{rad},n-1}) - \left[C_{p,\text{eau}} \cdot m_{\text{ét},n} \cdot \frac{dT_{\text{ét},n}}{dt} + (\dot{Q}_{\text{évap},n} + \dot{Q}_{\text{conv},n} + \dot{Q}_{\text{rad},n}) + \dot{Q}_{\text{cond},n} \right] = 0 \quad (\text{III.11})$$

3.3.1.3. Débits thermiques entre l'étage n et le dernier étage (nommé couvercle ou cheminée) :

L'eau évaporée du dernier étage n'est pas récupérée, elle retombe de nouveau dans l'avant dernier bassin :

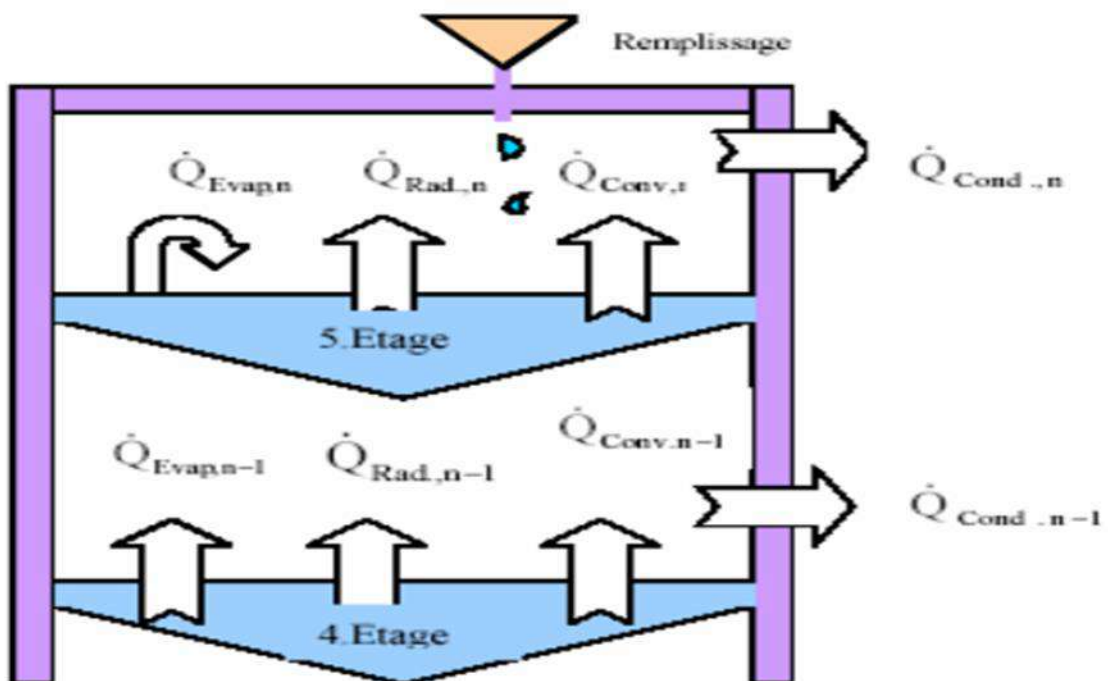


Figure III.8: Flux thermiques à partir du dernier étage [47].

L'Equation de bilan du dernier étage est comme suit:

$$(\dot{Q}_{\text{évap},n-1} + \dot{Q}_{\text{conv},n-1} + \dot{Q}_{\text{rad},n-1}) - \left[C_{p,\text{eau}} \cdot m_{\text{ét},n} \cdot \frac{dT_{\text{ét},n}}{dt} + (\dot{Q}_{\text{conv},n} + \dot{Q}_{\text{rad},n}) + \dot{Q}_{\text{cond},n} \right] = 0 \quad (\text{III.12})$$

3.3.2. Rendement

Le rendement caractérise le rapport entre le débit thermique par évaporation et le flux thermique utilisé. Pour calculer plus précisément le rendement d'un bassin, il faut le considérer en fonction du temps, puisque le système est dans un état transitoire. L'énergie injectée dans le bassin est utilisée aussi bien pour réchauffer l'eau que pour l'évaporer. La capacité thermique de chaque bassin doit donc être prise en considération dans l'évaluation du rendement [47].

3.3.2.1. Rendement du bassin inférieur :

$$\eta_{\text{éch},ch} = \frac{\dot{Q}_{\text{évap}}}{\dot{Q}_{a\text{ lim}} - \dot{Q}_{\text{eau}}} = \frac{\dot{m}_{\text{cond}} \cdot h}{(P_{\text{ing}} \cdot \eta) - \left[m_{\text{eau},\text{éch},ch} \cdot C_{p,\text{eau}} \cdot \frac{\Delta T_{\text{éch},ch}}{\Delta t} \right]} \quad (\text{III.13})$$

$\dot{Q}_{\text{évap}}$: Débit thermique par évaporation [W].

Le débit thermique par évaporation est le produit du débit de masse par condensation \dot{m}_{cond} [kg/s] et de l'enthalpie d'évaporation h [J/kg].

3.3.2.2. Rendement de l'étage n :

$$\eta_{\text{ét},n} = \frac{\dot{m}_{\text{cond},n} \cdot h}{(\dot{Q}_{\text{évap},n-1} + \dot{Q}_{\text{conv},n-1} + \dot{Q}_{\text{rad},n-1}) - \left[m_{\text{eau},n} \cdot C_{p,\text{eau}} \cdot \frac{\Delta T_n}{\Delta t} \right]} \quad (\text{III.14})$$

4. Conclusion:

Toutes les informations ci-dessus du présent chapitre sont issues de littérature. Deux systèmes différents de dessalement solaire ont été présentés, à savoir : le système de distillation solaire à chaleur à basse température et le système de distillation solaire à étages multiples. Le premier système être utilisé en continu ou par lots alors que le deuxième système. Le deuxième système ayant une construction relativement simple aussi facile à entretenir et à installer où chaque bassin peut être retiré de l'unité pour être réparé ou nettoyé. Les équations mathématiques présentées font partie d'une modélisation avec des résultats pouvant être utiles pour une conception de genre de ces systèmes.

Chapitre IV

*Analyse et comparaison
des données des résultats
obtenus de littérature*

1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter un ensemble des résultats obtenus de la littérature pour chaque prototype présenté dans le chapitre précédent, tels que l'étendue de l'influence de la température sur les performances du système, l'effet de la profondeur de l'eau et la quantité d'eau produite.

2. Analyse des données :

2.1. Système de distillation solaire à chaleur à basse température :

2.1.1. Variations de la température de l'eau avec le temps :

Deux tests ont été effectués dans différentes combinaisons de conditions de fonctionnement, qui ont été effectués à une température de 60 ° C. Le taux d'échantillonnage est de 0,1 kg/heure et la profondeur de l'eau dans l'évaporateur est de 0,08 m. Comme indiqué sur la figure (IV.1), les profils de température de l'eau salée sont présentés en fonction du temps montrant la même direction. Et à l'équilibre, la différence entre les températures maximales et minimales de l'eau salée est d'environ 2 ° C. Cette différence peut être attribuée à l'évolution de la température ambiante au cours des essais [43].

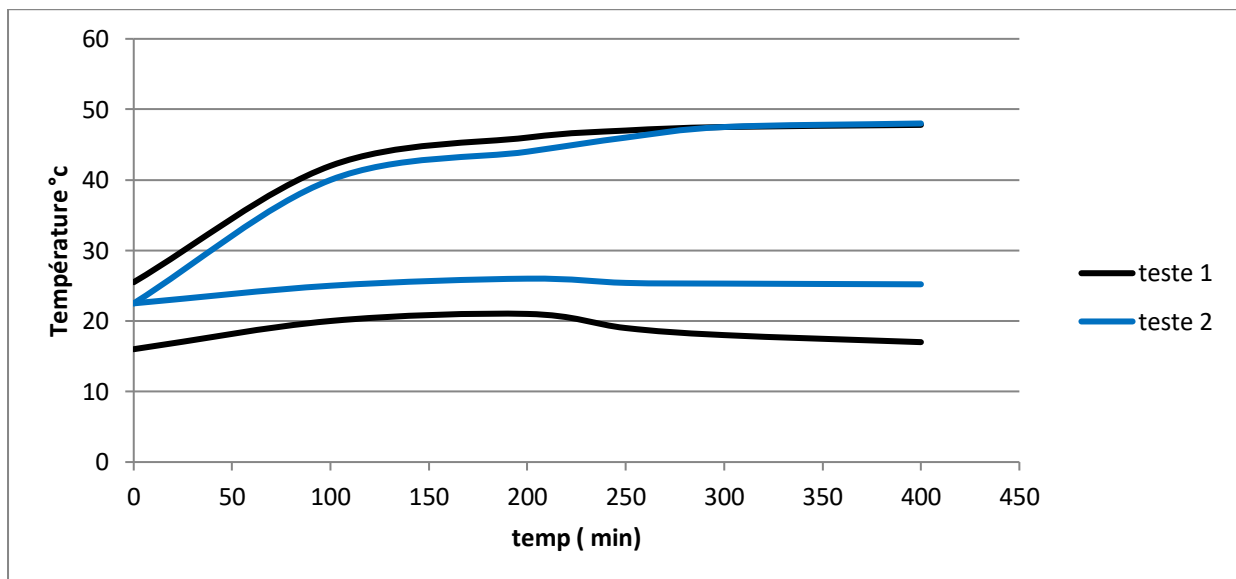


Figure IV.1: Températures ambiantes de l'eau saline pour deux tests ($T_{c,out} = 60$ ° C, $Q_w = 0,1$ kg / h et $h_s = 0,08$ m) [44].

2.1.2. Effet de la température ambiante sur la production :

Six essais ont été réalisés dans les mêmes conditions expérimentales précédentes à l'exception de la température ambiante comme indiqué sur la figure (IV.2), qui était différente chaque jour. Le premier jour avec la température ambiante la plus basse a un rendement nettement plus élevé (environ 0,9 kg) que les autres jours [44].

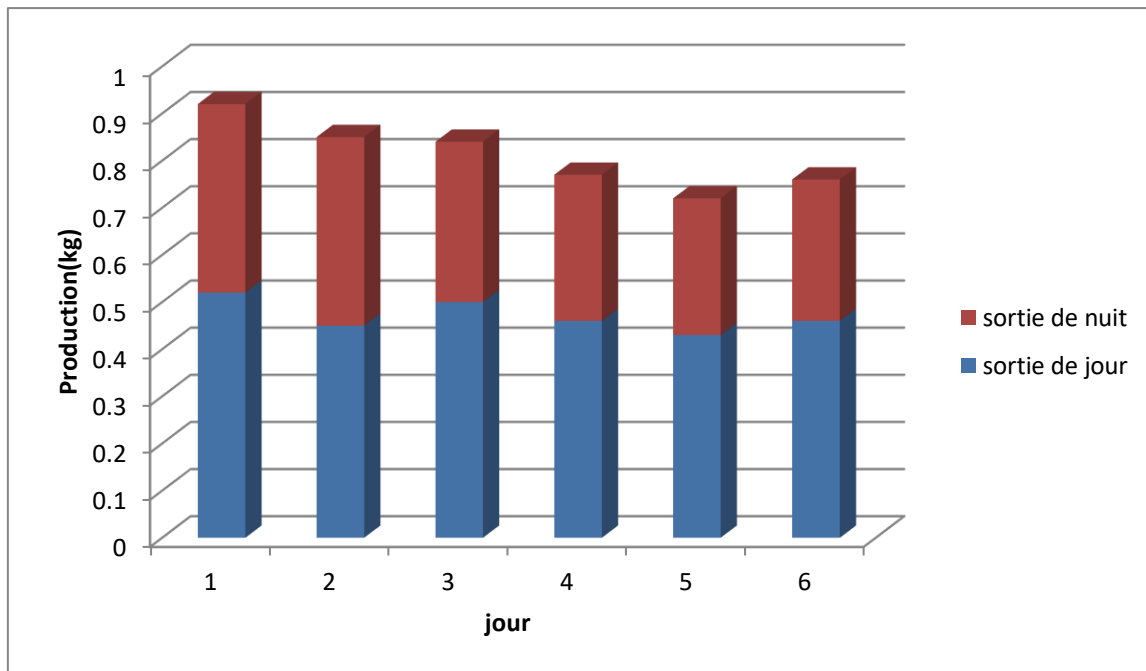


Figure IV.2: Production expérimentale pour six tests ($T_{c, out} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$, $Q_w = 0,1 \text{ kg/h}$ et $h_s = 0,08 \text{ m}$) [43].

La figure (IV.2) montre les sorties expérimentales qui sont divisées en sortie diurne (temps pendant lequel la chaleur est fournie au système) et sortie nocturne (temps après que la chaleur n'est plus fournie au système). La puissance nocturne est le résultat de la chaleur stockée dans le système pendant les premières heures de fonctionnement et varie légèrement entre les tests, en fonction de la température ambiante et de la température de l'eau salée à la fin de l'essai. Les sorties nocturnes expérimentales maximales et minimales (à l'exclusion du premier jour) étaient respectivement de 0,45 et 0,43 kg. De ces résultats, il apparaît que la température ambiante affecte de manière significative la production du système. Plus la température ambiante est basse, plus la production augmente [44].

2.1.3. Effet de la température de l'eau douce sur les performances du système :

la figure (Figure IV.3) représenter L'effet de la température de l'eau douce sur les performances du système Où Il ressort de la courbe que lorsque la température de l'eau douce diminue, la quantité de production augmente Différentes valeurs de température de l'eau douce , Où la température atteint une valeur maximale de $34 \text{ }^\circ\text{C}$ alors que la production continue d'augmenter jusqu'à atteindre une quantité de production d'environ 0,024. Alor Cela explique que Où à mesure que la superficie augmente, la température de l'eau douce diminue, d'où une plus grande production, la production quotidienne d'un système de 1 m^2 de surface d'évaporateur avec une surface de capteur solaire de 1 m^2 pourrait atteindre 6,5 kg, presque le double de la quantité d'un alambic solaire à bassin plat, soit environ $3\text{-}4 \text{ kg / jour.m}^2$ [49].

Il ressort des courbes de la figure (IV.3) que lorsque la température de l'eau douce diminue, la quantité de production augmente. Différentes valeurs de température de l'eau douce sont obtenues en faisant varier la zone de transfert de chaleur du condenseur. Là où, à mesure que

la surface augmente, la température de l'eau douce diminue, ce qui entraîne une production plus élevée. La production quotidienne d'un système d'évaporateur de 1 m² avec une surface de capteur solaire de 1 m² pourrait atteindre 6,5 kg, soit presque le double de la quantité d'un bassin plat du système solaire. À nouveau, environ 3 à 4 kg / jour.m² [49].

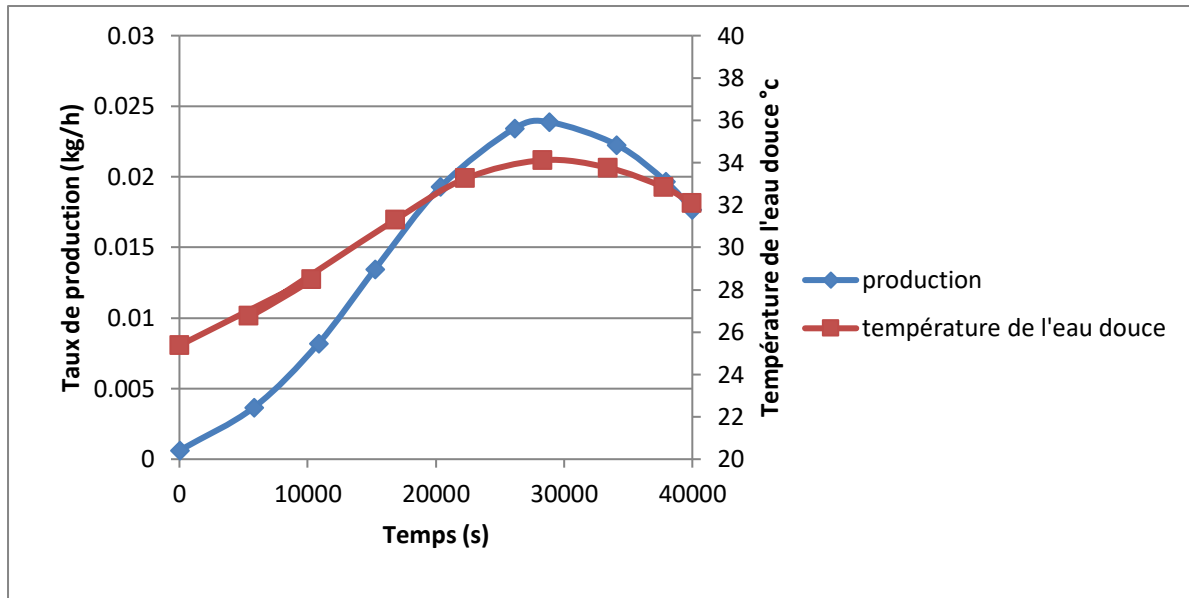


Figure IV.3: Effet de la température de l'eau douce sur les performances du système [45].

2.1.4. Effet de la profondeur de l'eau dans l'évaporateur sur les performances du système :

La figure (IV.4) montre trois profondeurs différentes qui ont été considérées, à savoir: 0.06, 0.08 et 0.1 m. Pour ces tests, la température de la source de chaleur a été fixée à 60 ° C et le taux de prélèvement était de 0.1 kg/h. Il existe des différences dues à la variation des températures ambiantes, où la température de l'eau saline pour le jour du test correspondant à une profondeur d'eau de 0.1 m était d'environ 47°C, contre environ 51 ° C pour les deux autres jours .Cependant, le test avec une profondeur d'eau de 0.1 m a donné le débit accumulé le plus élevé d'environ 0.908 kg, avec un débit de sortie d'environ 0.124 kg/h dans des conditions de régime permanent, par rapport à un débit accumulé d'environ 0.750 kg et un débit de sortie d'environ 0.118 kg/ h pour les deux autres jours d'essai. En effet, la température ambiante moyenne pour ce jour-là était de 21°C, comparativement à environ 27°C pour les deux autres jours [44].

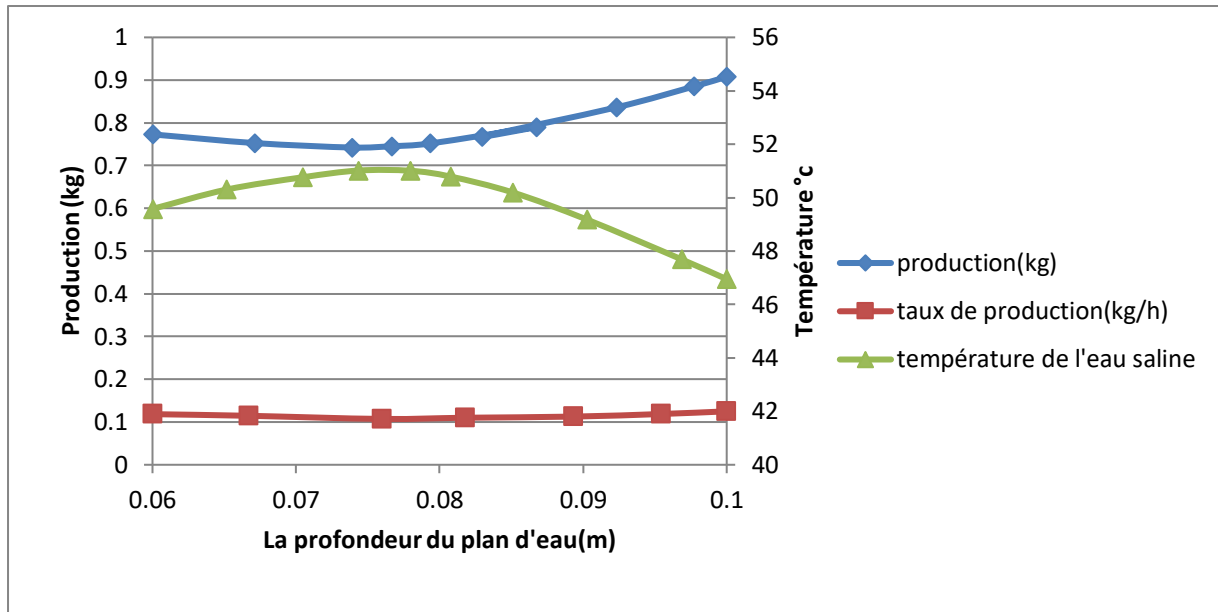


Figure IV.4: Effet de la profondeur du plan d'eau sur les performances du système [44].

2.2. Système de distillation solaire à étages multiples:

2.2.1. Quantité de production d'eau potable dans le bassin inférieur :

La figure (IV.5) montre la quantité de production d'eau potable dans le bassin inférieur avec la température dans le bassin inférieur en termes de temps, où on constate qu'il existe une corrélation entre la température et la quantité de production. Plus la chaleur au bassin est élevée, plus la production est importante. Cela permet d'atteindre une valeur de 1400 g/h et la température maximale dans le bassin inférieur est d'environ 94°C.

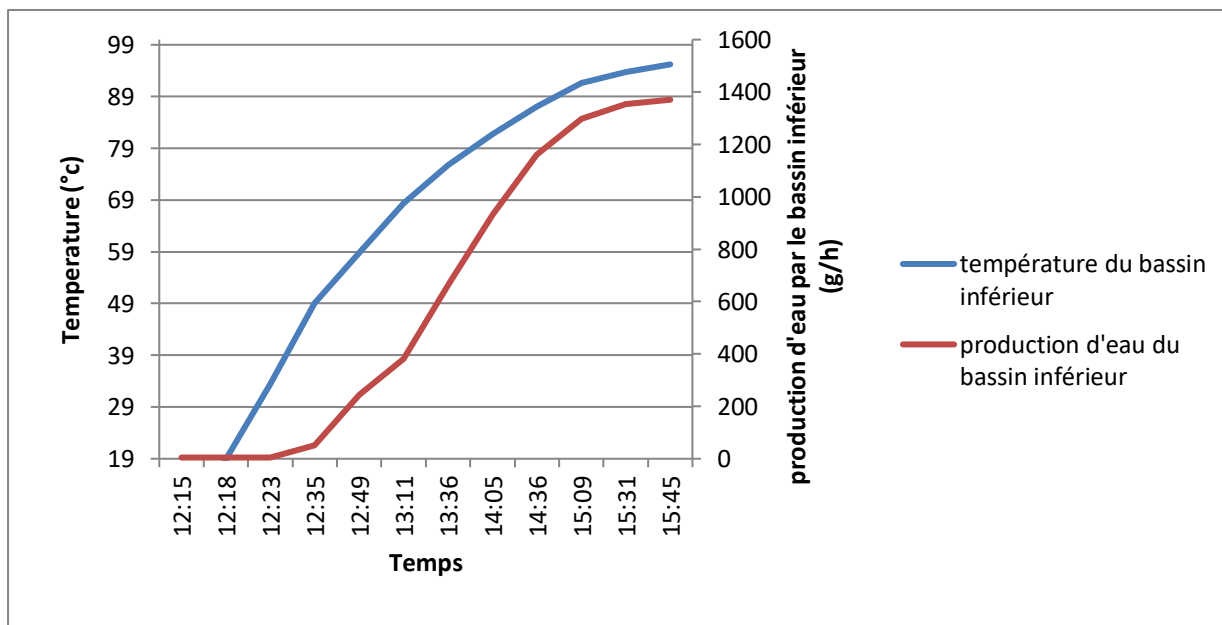


Figure IV.5: Production d'eau potable dans l'étage inférieur en fonction de la température [45]

2.2.2. Quantité de production d'eau potable dans l'ensemble des étages :

La figure (IV.6) montre la quantité de production d'eau potable pour toutes les étapes de la distillation, environ 4500 g/h. Aussi pour les températures dans les étages, on constate que la température dans le bassin inférieur n'est pas la même que la température dans le deuxième ou troisième bassin, où en descendant de bassin en bassin, commençant dans le bassin inférieur.

La figure (IV.6) montre la quantité de production d'eau potable pour toutes les étapes de la distillation, environ 4500 g/h. Aussi pour les températures dans les étages, où chaque fois on descend de bassin en bassin, du bassin inférieur, on voit que la température dans le bassin inférieur n'est pas la même que la température dans le deuxième ou troisième bassin.

La figure (IV.6) montre la quantité de production d'eau potable pour toutes les étapes de la distillation, environ 4500 g/h. Aussi pour les températures dans les étages, où chaque fois qu'on descend de bassin en bassin, du bassin inférieur, on voit que la température dans le bassin inférieur n'est pas la même que la température dans le deuxième ou troisième bassin.

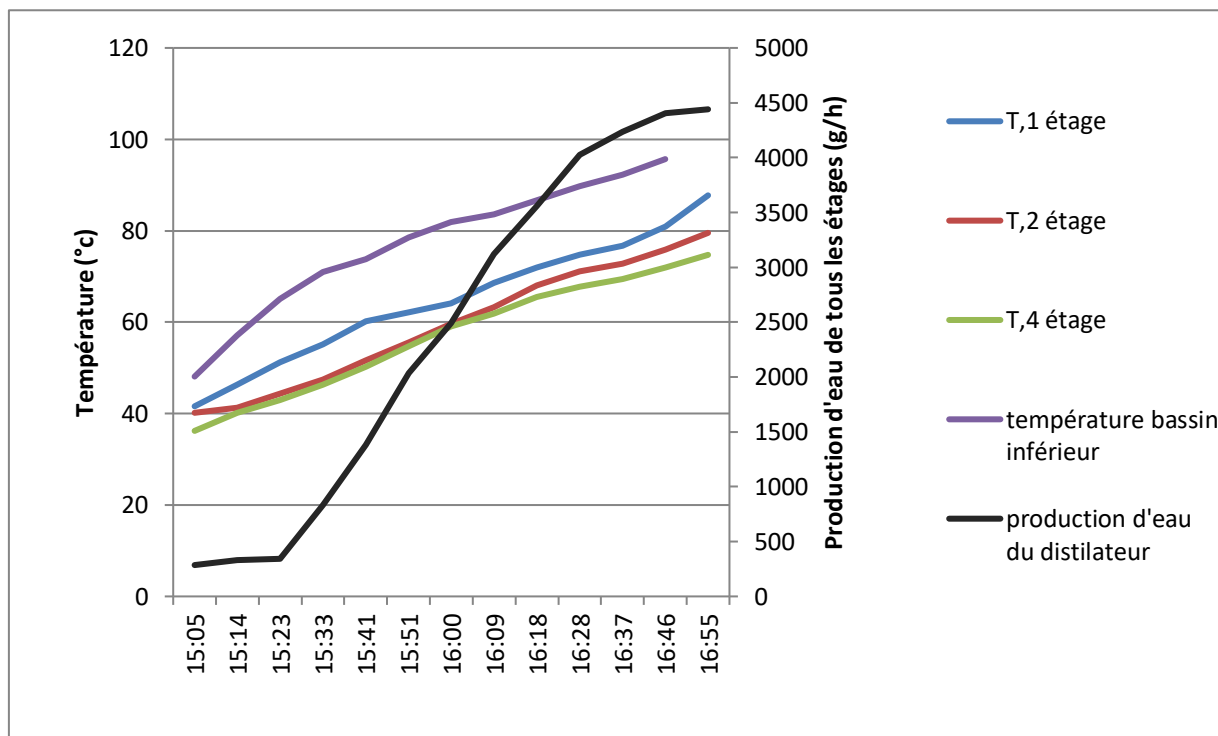


Figure IV.6: Production de l'eau distillée de tous les étages en fonction de la température [47].

3. Conclusion:

Les résultats obtenus à partir de la littérature ont montré que la quantité de production d'eau pour le premier système, à savoir: système de distillation solaire à basse température, pouvait atteindre environ 6,5 kg/d.m² de surface d'évaporateur, contre 3-4 kg/d.m² d'un distillateur solaire conventionnel à réservoir plat. Le deuxième système, un système de distillation solaire à plusieurs étages, fonctionne bien lorsque l'étage inférieur atteint une température d'environ 100 ° C au maximum, où la quantité d'eau produite atteint environ 4.5 kg/h, soit une production journalière correspondante de 30 kg. .

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire concerne la contribution à la discussion sur la conception et l'application des systèmes de dessalement alimentés par l'énergie solaire, en particulier les processus et les caractéristiques de fonctionnement, l'efficacité de la production, les avantages et les inconvénients. En effet, une présentation théorique et pratique basée uniquement sur la littérature a été menée sur ce sujet. Il s'agit notamment de deux prototypes de systèmes de dessalement solaire, dans le but de sélectionner un système avec les caractéristiques de fonctionnement les plus efficaces et les pertes de chaleur les plus faibles.

Après la présentation des différents types distillateurs, un système innovant de distillation d'eau solaire, qui utilise un vide créé par les forces naturelles, a été présenté expérimentalement à partir de la littérature. Il s'agit du premier de deux prototypes discutés, en termes d'effets de la profondeur de l'eau de l'évaporateur, et de la température de la source de chaleur sur les performances du système. En raison des conditions de vide créées passivement, ce système nécessite des températures plus basses pour la distillation, qui peuvent être facilement fournies par des capteurs solaires plats.

Le procédé du deuxième système permet de récupérer et d'utiliser plusieurs fois la même quantité d'énergie solaire collectée, dans le but de réduire significativement la consommation d'énergie pour que l'énergie solaire devienne une alternative à la technique de dessalement de l'eau. Le système fonctionne à la pression atmosphérique pour éviter les coûts associés à l'augmentation de la pression. Toujours basé sur la littérature, ce système offre de bonnes performances lorsque l'étage inférieur atteint une température comprise entre 96 et 98 ° C. Les mesures effectuées en laboratoire ont donné des résultats courageux, de sorte qu'une production journalière est de 30 kg.

Les deux systèmes fonctionnent sur la base des mêmes propriétés, permettent une consommation d'énergie considérablement réduite et utilisent les mêmes quantités d'énergie solaire avec moins de perte de chaleur, et ils sont simples et ont une efficacité de production encourageante dans des conditions différentes. Par conséquent, à partir des résultats obtenus à partir de la littérature, nous avons constaté qu'avec le développement des deux prototypes dans le futur, il y aura une diminution de la consommation d'énergie et une augmentation de la quantité de production d'eau potable.

References bibliographiques

- [1] Younos, T. and K.E. Tulou, Overview of desalination techniques. Journal of Contemporary Water Research & Education, 2005. 132(1): p. 3-10
- [2] Khedim, A., et al., Production décentralisée de l'eau potable à l'énergie solaire. Desalination, 2004. 168: p. 13-20.
- [3] FEDALI, S., Modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres a bas coût pour les communautés rurales, 2008, Université de Batna 2.
- [4] Festy, B., et al., Qualité de l'eau. Environnement et santé publique-Fondements et pratiques, 2003: p. 333-368.
- [5] Atallah, A., Procédé De Dessalement Et Qualité Physico-Chimique De l'eau Dessalée Par La Station De Dessalement De l'eau De Mer De Honaine-Teneurs: Cations, Anions Et Métaux Lourd, 2014.
- [6] Abderachid, T., Etude et modélisation de deux distillateurs solaires symétrique et asymétrique à effet de serre. 2017.
- [7] Bechki, D. and H. Bouguettala, Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes. Doctorat en sciences en génie mécanique. Université Hadj lakhdar Batna, 2011.
- [8] Halloufi, O., Etude de la performance d'un distillateur solaire par un système de pré-chauffage solaire de l'eau saumatre. 2010.
- [9] HAMMI, Y. and H. Sellami, Distillation solaire des eaux salées par nouvelles techniques.
- [10] Boutriaa, A., Effet des paramètres de fonctionnement sur les performances d'un distillateur solaire. 2009.
- [11] Zeghoud, M., Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra. Mémoire de master, Université d'el-Oued, 2014: p. P20.
- [12] BENAÏSSA, F.Z., Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres.
- [13] Rahmani, R., Rendement d'un distillateur solaire à film capillaire à plusieurs étages, effet de certains paramètres thermo physiques sur le rendement. 2007.
- [14] Supply, W. and S. Windows, BANK-NETHERLANDS WATER PARTNERSHIP. 2004.

- [15] Sellami, M., Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud-est algérien (Ourgla), 2014, Thèse de doctorat. Université Kasdi Merbah Ourgla. Algérie.
- [16] Bouchekima, B., et al., Etude théorique et application pratique du distillateur solaire à film capillaire. International journal of thermal sciences, 2000. 39(3): p. 442-459.
- [17] Bechki, D., et al., Effect of partial intermittent shading on the performance of a simple basin solar still in south Algeria. Desalination, 2010. 260(1-3): p. 65-69.
- [18] Bouchekima, B., A small solar desalination plant for the production of drinking water in remote arid areas of southern Algeria. Desalination, 2003. 159(2): p. 197-204.
- [19] Boukerzaza, N., Etude de l'effet des pertes thermiques sur les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire. 2005.
- [20] TAHRI, T., BETTAHAR, A., DOUANI, M., et al. Dessalement de l'eau de mer par l'énergie solaire en vue de l'irrigation d'une serre agricole. Faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur, Université de Hassiba Ben Bouali, Chlef, Algérie, 2010.
- [21] Benzaoui Asma et Nouasria Fatima Zohra, Distillation solaire de l'eau saumâtre (amélioration du rendement par différentes méthodes), mémoire master , soutenu publiquement 26/06/2018, université kasdi merbah- Ouargla.
- [22] Boutriaa Abdelouahab, Effet des paramètre de fonctionnement sur les performance d'un distillateur solaire, mémoire magister, soutenu publiquement 2009, université Mentouri de constantine.
- [23] HOUADJI Abdelhak et Behri sofiane Dr. hamane , Etude d'une système de dessalement msf couplet avec concentrateur solaire, mémoire master, 2017.
- [24] Miftah Asmaa Et Lamdiouani Adnane, Caractérisation des eaux industrielles de DRAA SFAR et proposition de la solution optimale de traitement avant le rejet, Rapport de stage de fin d'étude, université cadi ayad marrakech .
- [25] Souad Karout, Estimation des pertes thermiques dans des systèmes de dessalement par voie solaire, mémoire magister, soutenu publiquement 2019, université Mentouri de constantine.
- [26] Khedim .A, Klemens. S, Christian. F, Christoph. M; «Production décentralisée de l'eau potable à l'énergie solaire », Desalination 168 (2004), pp. 13-20
- [27] Kaabi.A, Smakdji.N; «Impact of temperature difference (water-solar collector) on solar-still global efficiency», Desalination 209(2007), pp. 298–305
- [28] Tiwari, G., H. Singh, and R. Tripathi, Present status of solar distillation. Solar energy, 2003. 75(5): p. 367-373.

[29] Hammi Yousra, Distillation solaire des eaux salées par nouvelles techniques, mémoire master, soutenu publiquement 06/07/2019, université kasdi merbah- Ouargla.

[30] Boudjebir Hind, Etude de l'impact de l'écart de température (ambiance-eau) sur le rendement d'un distillateur solaire a effet de serre, mémoire magister, soutenu publiquement 18/02/2010, université Mentouri de constantine.

[31] Khamsa Imad Eddine Et Ben Hacene Soufiane, L'influence de la variation de l'épaisseur du vitrage sur la distillation solaire, mémoire master, soutenu publiquement 13/06/2017, Université Djilali Liabes de Sidi Bel Abbas.

[32] Sotehi Oualid, Etude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d'un distillateur solaire, mémoire magister, soutenu publiquement 31/01/2009, université Mentouri de constantine.

[33] Guitoubi Fatiha Et Bouras Assia, L'influence d'un capteur solaire sur le procédé de la distillation solaire à simple effet , mémoire master, soutenu publiquement 30/05/2017, Université Echahid Hama Lakhdar. El Oued.

[34] M. Boukar et al, Construction et expérimentation d'un distillateur solaire vertical indirect à simple effet, Revue des Energies Renouvelables ICRES-07 Tlemcen 2007, pp 75 – 81.

[35] CHAKER.A, MENGUY.G; «Efficacité interne d'un distillateur solaire sphérique », Rev.Energ.Ren: Journées de thermique (2001), pp. 53-58.

[36] Boukerzaza Nassima, Etude de l'effet des pertes thermiques sur les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire, mémoire magister, université Mentouri de constantine.

[37] Satcunanathan ET Hansen, An investigation of some of the parameters involved in solar distillation. Solair energy edition (1973).

[38] Halloufi Ouahid, Etude de la performance d'un distillateur solaire par un système de pré-chauffage solaire de l'eau saumâtre, mémoire magister, soutenu publiquement 2010, université Mentouri constantine.

[39] Zayouti, E. et Bouirden, L.solar distillation :Amélioration of the condensation of the water, vapor in solar distillers, laboratoire de thermodynamique (Métallurgique et Rhéologie des Matériaux) université Ibn Zohr, Bp28/S, Agadir, Maroc (2002).

[40] SELLAMI Mohamed Hassen, Etude amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud-est algérien (ouargla), these , soutenu publiquement 03/02/2014, université kasdi merbah ouargla .

[41]<https://www.sibelenergie.fr/blog/articles/le-gouvernement-annonce-la-mise-en-place-d-un-plan-energetique>.

[42] <https://www.revolution-energetique.com/avenir-radieux-pour-le-solaire-a-concentration>.

- [43] AL-KHARABSHEH, Saleh A. Theoretical and experimental analysis of water desalination system using low grade solar heat. 2003. Thèse de doctorat. University of Florida.
- [44] AL-KHARABSHEH, S. et GOSWAMI, D. Yogi. Experimental study of an innovative solar water desalination system utilizing a passive vacuum technique. *Solar Energy*, 2003, vol. 75, no 5, p. 395-401.
- [45] AL-KHARABSHEH, S., YOGI, D., et al. Analysis of an innovative water desalination system using low-grade solar heat. *Desalination*, 2003, vol. 156, no 1-3, p. 323-332.
- [46] E. Krell, *Handbook of Laboratory Distillation*, Elsevier Scientific, Amsterdam, 1982, p. 159
- [47] KHEDIM, A. Mesure et caractérisation Thermodynamique d'un nouveau Systeme Solaire de Dessalement de l'eau de mer avec Récupération de chaleur. *Rev. Energ. Rens.* 11eme journées Internationales de thermique, 2003.
- [48] KHEDIM, Ahmed, SCHWARZER, Klemens, FABER, Christian, et al. Production décentralisée de l'eau potable à l'énergie solaire. *Desalination*, 2004, vol. 168, p. 13-20.
- [49] S. Kalogirou, Survey of solar desalination systems and system selection, *Energy*, 22(1) (1997) 69-81.

Résumé :

La rareté de l'eau limite le développement socio-économique de nombreux pays du monde, en particulier dans les pays en développement. Pour faire face à cette pénurie qui menace ces régions, l'homme doit s'intéresser au dessalement de l'eau de mer et/ou de l'eau salée. Il existe de nombreux systèmes de traitement de l'eau salée, en particulier au dessalement solaire, qui est parfaitement adapté aux régions arides et/ou isolées où l'énergie solaire est largement disponible, mais chaque système a toujours ses avantages et ses inconvénients. L'objectif principal de ce travail est de contribuer à la discussion sur la conception et l'application des systèmes de dessalement alimentés par l'énergie solaire, en particulier les processus et les caractéristiques de fonctionnement, l'efficacité de la production, les avantages et les inconvénients. En effet, une présentation théorique et pratique basée uniquement sur la littérature a été menée sur ce sujet. Il s'agit notamment de deux prototypes de systèmes de dessalement solaire, dans le but de sélectionner un système avec les caractéristiques de fonctionnement les plus efficaces et les pertes de chaleur les plus faibles. Le premier système est un distillateur solaire nécessitant des températures plus basses pour la distillation, qui peuvent être facilement fournies par des capteurs solaires plats. Le deuxième système fonctionne à la pression atmosphérique pour éviter les coûts associés à l'augmentation de la pression. Ce système offre de bonnes performances lorsque l'étage inférieur atteint une température comprise entre 96 et 98 ° C. Le développement des deux prototypes dans le futur, il y aura une diminution de la consommation d'énergie et une augmentation de la quantité de production d'eau potable.

Mots clés : l'eau potable, dessalement, distillateur solair, production (rendement)

Abstract:

Water scarcity limits the socio-economic development of many countries around the world, especially in developing countries. To cope with this shortage which threatens these regions, man must take an interest in the desalination of seawater and / or salt water. There are many saltwater treatment systems available, including solar desalination, which is ideal for arid and / or remote areas where solar power is widely available, but each system always has its pros and cons. The main objective of this work is to contribute to the discussion on the design and application of desalination systems powered by solar energy, especially the processes and operating characteristics, production efficiency, advantages and the disadvantages. Indeed, a theoretical and practical presentation based only on the literature was conducted on this subject. These include two prototypes of solar desalination systems, with the aim of selecting a system with the most efficient operating characteristics and the lowest heat losses. The first system is a solar still requiring lower temperatures for distillation, which can be easily powered by flat solar collectors. The second system operates at atmospheric pressure to avoid the costs associated with the increase in pressure. This system provides good performance when the lower stage reaches a temperature of 96-98 ° C. In the development of the two prototypes in the future, there will be a decrease in power consumption and an increase in the amount of drinking water production.

Keywords: drinking water- desalination – solar distillator - production (yield)

الملخص:

تحد ندرة المياه من التنمية الاجتماعية والاقتصادية للعديد من البلدان حول العالم ، وخاصة في البلدان النامية. لمواجهة هذا النقص الذي يهدد هذه المناطق ، يجب على الإنسان الاهتمام بتحلية مياه البحر و / أو المياه المالحة. هناك العديد من أنظمة معالجة المياه المالحة المتاحة ، بما في ذلك تحلية المياه بالطاقة الشمسية ، والتي تعتبر مثالية للمناطق القاحلة و / أو النائية حيث تتوفر الطاقة الشمسية على نطاق واسع ، ولكن لكل نظام مزاياه وعيوبه دائمًا. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو المساهمة في النقاش حول تصميم وتطبيق أنظمة تحلية تعمل بالطاقة الشمسية ، وخاصة العمليات وخصائص التشغيل وكفاءة الإنتاج والمزايا والعيوب. في الواقع ، تم إجراء عرض نظري وعملي يعتمد فقط على المؤلفات حول هذا الموضوع. يتضمن العرض نموذجين أوليين لأنظمة تحلية المياه بالطاقة الشمسية ، بهدف اختيار نظام يتمتع بخصائص تشغيل أكثر كفاءة وأقل ضياع للطاقة الحرارية. النظام الأول عبارة عن نظام شمسي لا يزال يتطلب درجات حرارة منخفضة للتقطير ، والتي يمكن تشغيلها بسهولة بواسطة مجمعات الطاقة الشمسية المسطحة. النظام الثاني يعمل تحت الضغط الجوي لتجنب التكاليف المرتبطة بزيادة الضغط. يوفر هذا النظام أداءً جيدًا عندما تصل درجة حرارة خلال المرحلة الدنيا إلى 96-98 درجة مئوية. عند تطوير النموذجين الأوليين في المستقبل ، من المتوقع ان يكون هناك انخفاض في استهلاك الطاقة وزيادة في كمية إنتاج مياه الشرب.

الكلمات المفتاحية: ماء صالح للشرب – تحلية المياه – جهاز التقطير الشمسي – الكفاءة الإنتاجية