

People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Mohamed Boudiaf University of M'sila
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المسيلة
كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Energétique

Présenté par :

Bouzidi Abelbassit & Abidat Soheib

Thème

CONCEPTION ET REALISATION D'UN DISTILLATEUR

SOLAIRE

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
Rouabhi Youcef	MCA	Président
Benkherbache Souad	MCA	Encadreur
Bakhti Fatima Zohra	MCA	Examineur

Année Universitaire : 2023 / 2024

N° d'ordre : GM/...../2024

Sommaire

Introduction Générale.....	Error! Bookmark not defined.	
Chapitre I.....	Error! Bookmark not defined.	
Le gisement solaire	Error! Bookmark not defined.	
I.1 Le gisement solaire.....	Error! Bookmark not defined.	
I.2.L'énergie solaire :	Error! Bookmark not defined.	
I.2.1.Origine :	Error! Bookmark not defined.	
I.2.2. Caractères particuliers :	Error! Bookmark not defined.	
I.2.3. Captation :	7	
Chapitre II	La distillation solaire	8
II.1Distillation solaire.....	8	
II.1.1 Historique.....	8	
II.2 Différents types d'eau.....	9	
II.3 Distillateur solaire	10	
II.3.1 Introduction	10	
II.3.2 Historique.....	10	
II.3.3 Principe	10	
II.3.3.1 Distillation discontinue.....	11	
II.3.3.2 Distillation continue.....	11	
II.3.3.3 Distillation sous vide.....	11	
II.3.3.4 Distillation industrielle.....	11	
II.4 Association des procédés a distillation avec l'énergie solaire.....	12	
II.4.1 La distillation solaire direct à effet de serre.....	13	
II.4.2La distillation à détente successive ou multi-étage flash (MSF).....	14	
II.4.3 La distillation par compression de vapeur	14	
II.4.4 La distillation par multiple effets.....	15	
II.5 Classification des distillateurs solaires	15	
II.5.1 Distillateur solaire passif.....	16	
II.5.2 Distillateur solaire actif.....	17	
II.5.3 Distillateur solaire avec un capteur solaire plan	17	
II.5.4 Distillateur solaire avec un concentrateur parabolique.....	18	
II.5.5 Distillateur solaire couplé avec capteur à tube sous vide.....	20	
II.5.6 Distillateur solaire couplé avec un système hybride PV/T.....	21	
II.6 Les paramètres influant sur le fonctionnement du distillateur :	21	
II .6.1 Paramètres Internes :.....	21	
II .6.1.1 Paramètres de construction.....	21	

II.6.2 Paramètres thermo physiques	22
II.6.3 Paramètres optiques	22
II.6.4 Paramètres de position	23
II.6.5 Paramètres Externes.....	23
Chapitre III.....	24
Conception et réalisation d'un distillateur solaire	24
III.1 principe de fonctionnement du distillateur solaire :.....	24
III.2 Réalisation du distillateur solaire :.....	24
III.3 Les étapes de conception du distillateur solaire.....	27
Chapitre IV Résultats et discussions.....	31
IV.1 Introduction.....	31
IV.1.1 Bilan énergétique.....	31
IV.2 Appareillage utilisé	32
IV.2.1 Mesure de la température	32
IV.2.2. Mesure de l'humidité	32
IV.3 Exploitation des résultats	32
Conclusion Générale	40
References	41

Liste des figures :

Figure I.1 : Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel	3
Figure I.2 : Moyenne annuelle de l'irradiation Solaire globale reçue sur un plan incliné Station météorologique en Altitude du lieu.....	4
Figure I.3 : Répartition territoriale des Station météorologique en Algérie.....	5
Fuguer I.4 : potentiel solaire en Algérie.....	5
Figure II.1 : Distillation simple sans la colonne.....	8
Figure II.2 : Colonnes de distillation industrielles.....	13
Figure II.3 : Etude expérimentale d'un distillateur solaire	14
Figure II.4 : désodorisation - évaporateur d'eau de mer, distillation à détente étagée à recirculation(MSF).....	15
Figure II.5 : Distillation par compression de vapeur	15
Figure II.6 : Schéma d'une installation de dessalement par Multiple-effets accouplés à des capteurs solaires.....	16
Figure II.7: Classification des distillateurs solaires.....	17
Figure II.8: Distillateur solaire passif.....	18
Figure II.9 : Distillateur solaire couplé avec un capteur solaire plan.....	19
Figure II.10: Distillateur solaire couplé avec un concentrateur parabolique	20
Figure II.11: Schéma d'un concentrateur parabolique solaire pour distillation.....	21
Figure II.12: Capteur solaire à tube sous vide intégrés à un distillateur solaire simple	22
Figure II.13: Schéma d'un distillateur solaire hybride PV/T	23
Figure III.1: Schéma du principe de fonctionnement du distillateur solaire à effet de serre.....	24
Figure III.2: Conception du distillateur solaire.....	24
Figure III.3: Schéma des différents composants du distillateur solaire	27
Figure III.4: peinture de bassin.....	27
Figure III.5: Découpage du polystyrène	28
Figure III.6: fixation du polystyrène.....	28
Figures(III.7), Figures(III.8) : Isolation en bois.....	29

Figure III.9 : Fixation du vitrage.....	29
Figure III.10 : Installation des isolations, les canaux, l'entrée et la sortie.....	30
Figure III.11 : Le distillateur solaire	30
Figure IV.1 Thermomètres utilisés.....	32
Figure IV.2 Hygromètre.....	32
Figure IV.3 Variation de la température à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur solaire..	36
Figure IV.4 Variation de la température à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur solaire..	36
Figure IV.5 Variation de la température à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur solaire...	37
Figure IV.6 Variation de la température à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur.....	38
Figure IV.7 Variation de la température à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur solaire..	38

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques.....	4
Tableau IV-1 Les différentes températures en fonction du temps 27/05/2024	33
Tableau IV-2 Les différentes températures en fonction du temps 29/05/2024	33
Tableau IV-3 Les différentes températures en fonction du temps 30/05/2024	34
Tableau IV-4 Les différentes températures en fonction du temps 01/06/2024	34
Tableau IV-5 Les différentes températures en fonction du temps 02/06/2024	35

Introduction Générale

Sur le plan mondial, la demande de l'eau potable de bonne qualité est de plus en plus forte, en effet, la population augmente rapidement et les besoins en eau de l'industrie et de l'agriculture sont de plus en plus élevés. En Algérie le problème d'approvisionnement en eau potable est déjà posé, d'abord il faut mettre des mécanismes pour diminuer le gaspillage et les fuites d'eau, car cette substance reste insuffisante. L'une des solutions est la production de l'eau douce à partir de l'eau salée. Néanmoins, le dessalement nécessite une énergie dont le coût est important, pour cela des projets dans le domaine de l'énergie solaire ont montré depuis 1872, que la distillation solaire est économiquement la plus compétitive lorsque la demande en eau douce n'est pas trop grande. Par sa situation privilégiée, l'Algérie dispose du plus grand gisement solaire du Bassin méditerranéen. La durée moyenne d'ensoleillement du territoire Algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le désert du Sahara. L'utilisation de l'énergie solaire pour la distillation des eaux saumâtres où des eaux de mer est l'une des solutions préconisées pour l'approvisionnement de l'eau potable dans les régions éloignées arides où isolées. L'utilisation de l'énergie solaire sera liée non seulement à ses avantages économiques qui augmentent au fur et à mesure que les réserves d'énergie fossile diminueront, mais surtout pour des considérations liées à la protection de l'environnement. Donc, l'économie d'énergie et l'approvisionnement de l'eau potable sont des challenges des consommateurs, des chercheurs et des concepteurs.

Parmi les systèmes de distillation les plus connues à travers l'histoire de l'humanité, le distillateur solaire demeure la solution la plus prometteuse pour répondre au manque d'eau potable dans les zones aride et désertiques. Le distillateur solaire fonctionne sous le principe de l'effet de serre qui est basé sur la production de la vapeur d'eau à partir d'une solution salée, chauffée par l'irradiation solaire. La vapeur produite sera par la suite condensée et stockée pour de futures utilisations. Plusieurs types de configurations de distillateurs solaires ont été construits et essayés à travers le monde. Dans le même temps beaucoup de chercheurs ont proposé des modèles mathématiques pour décrire les transferts de chaleur et de matière dans les distillateurs solaires. Les distillateurs solaires présentent l'avantage d'être simple, facile à réaliser et peu coûteux. Ils présentent néanmoins le gros inconvénient d'une production faible. Donc, augmenter la productivité d'un distillateur solaire est un objectif à atteindre. L'objectif de ce travail c'est la conception et la réalisation d'un type de distillateurs solaires à effet de serre.

Le mémoire présenté est structuré en quatre (04) chapitres, en plus d'une introduction et une conclusion générale dans laquelle on résume l'essentiel des résultats obtenus.

Le premier chapitre présente des généralités sur les gisements solaires.

Le deuxième chapitre présente une recherche bibliographique sur la distillation solaire.

Le troisième chapitre est consacré à la conception du distillateur solaire et les différentes étapes de réalisation de ce dernier.

Le quatrième chapitre comporte les différents résultats obtenus lors du procédé de distillation.

Enfin, nous terminons par une conclusion générale qui résume les résultats obtenus.

Chapitre I

Le gisement solaire

I.1 Le gisement solaire

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement Solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [1].

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure I.1 :

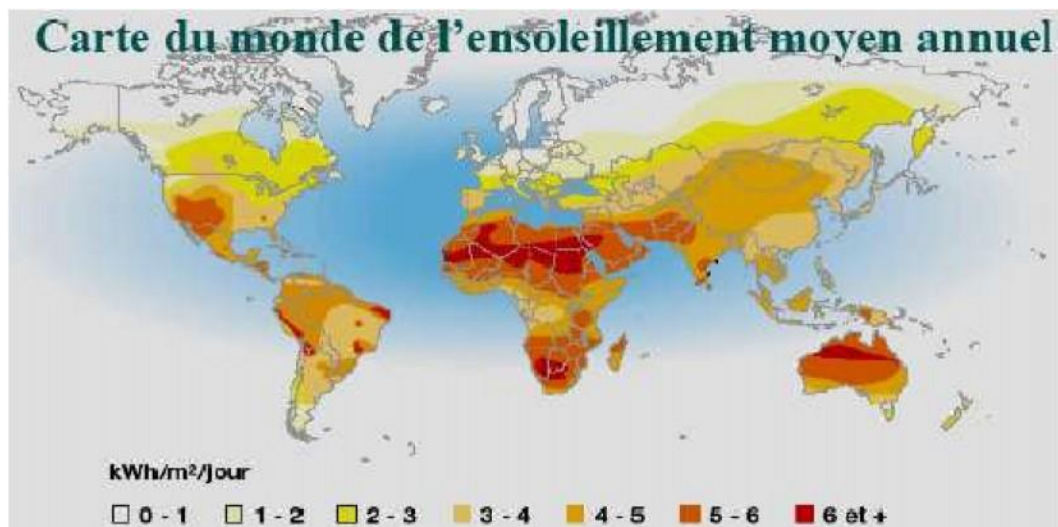


Figure I.1. Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au Niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.5 selon l'ensoleillement reçu annuellement [2]:

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau I.1. Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale [2].

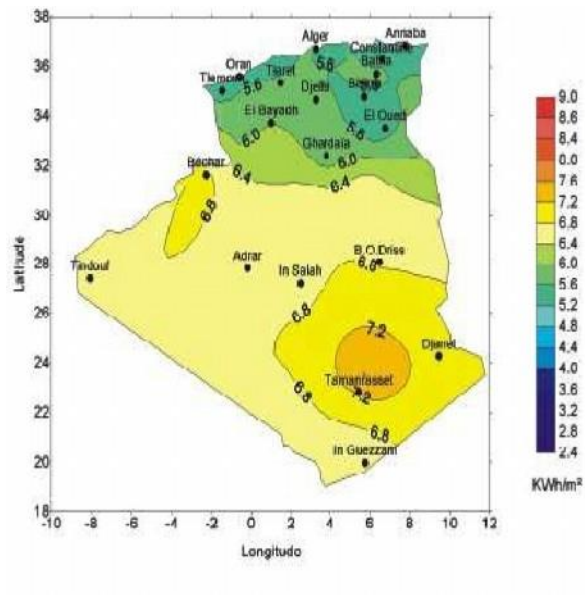


Figure I.2. Moyenne annuelle de l'irradiation Solaire globale reçue sur un plan incliné Station météorologique en Altitude du lieu

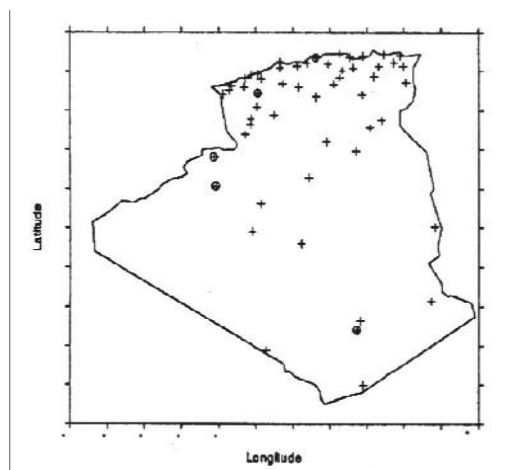


Figure I.3. Répartition territoriale des Station météorologique en Algérie

En Algérie, il existe un réseau de 78 stations de mesure météorologiques de l'O.N.M (annexe D) réparties sur tout le territoire algérien. Cependant, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffuses et globales du rayonnement solaire reçu sur un plan horizontal en raison, soit du manque de fiabilité des appareils de mesure, ou bien, du coût élevé d'un tel appareillage. La durée d'insolation quant à elle, est mesurée par un héliographe dans la majorité des stations de (O.N.M) à cause de la facilité de sa mise en œuvre.

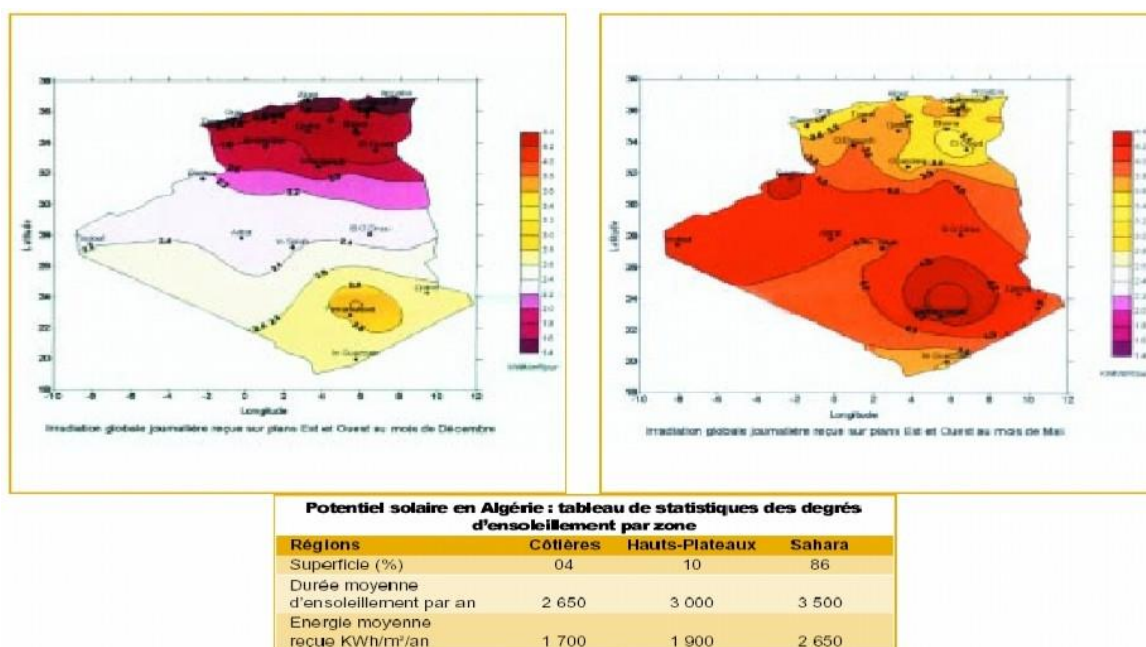


Figure I.4. potentiel solaire en Algérie

I.2.L'énergie solaire :

I.2.1.Origine :

Les conditions résidantes au cœur du soleil favorisent l'interaction des différents atomes d'hydrogène qui subissent une réaction de fusion thermonucléaire. Le résultat de ce processus, lorsqu'il se répète est la fusion de quatre noyaux d'hydrogène en un noyau D'hélium avec émission d'énergie sous forme de rayonnements gamma et X.

Chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène se transforment en 560 millions de tonnes d'hélium, cette différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à la différence d'énergie de liaison entre les protons d'hydrogène et ceux d'hélium donnant une énergie sous forme de rayonnement, estimée à $3.7.10^{26}$ j/s.

I.2.2. Caractères particuliers :

L'énergie solaire est la seule source d'énergie externe de la terre, elle présente les propriétés suivantes [3]:

- Elle est universelle, sa densité de puissance maximale est de 1kW/m² à midi par ciel bleu sur toute la planète.
- La densité de puissance maximale reçue au niveau du sol (1 kW/m²) est peu dense on parle alors d'énergie diffuse.
- Elle est abondante, notre planète reçoit plus de 104 fois l'énergie que l'humanité consomme.
- Elle est intermittente et variable à cause de l'alternance du jour et de la nuit, des variations saisonnières et quotidiennes de l'ensoleillement.
- L'énergie reçue par une surface donnée n'est pas récupérable en totalité ceci est dû aux pertes d'énergie sous formes conductrice, convective ou rayonnante.
- Elle est propre.

I.2.3. Captation :

Il existe différentes techniques pour capter une partie de cette énergie à savoir.

- **L'énergie solaire thermique :**

Le thermique solaire est un procédé de transformation de l'énergie solaire en une forme thermique, qu'on peut utiliser :

- En usage direct de la chaleur : chauffe-eau solaire, chauffage solaire, cuisinière et séchoir solaire.
- En usage indirect où la chaleur sert pour un autre usage : centrales solaires thermodynamiques, froid solaire.

- **L'énergie solaire thermodynamique :**

La solaire thermodynamique utilise le solaire thermique pour produire de l'électricité selon le même principe qu'une centrale électrique classique mais en utilisant des centrales hélios thermoélectriques [4].

Trois types principaux de centrales sont utilisés :

- Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques pour atteindre des températures entre 300 et 350 °C.
- Les centrales à capteurs paraboliques pour atteindre des températures de 1000°C ou plus.
- Les centrales à tour pour atteindre 1000 °C.

- **L'énergie solaire photovoltaïque :**

Elle permet de produire de l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque [5].

Les photopiles utilisent l'effet photovoltaïque, elles sont formées d'une couche d'un matériau semi-conducteur et d'une jonction semi-conductrice. Le silicium est le plus employé ; cependant l'arséniure de gallium offre des meilleures performances, mais reste beaucoup plus onéreux.

Chapitre II

La distillation solaire

II.1 Distillation solaire

La distillation est un procédé de séparation de mélange de substances liquides dont les températures d'ébullition sont différentes. Elle permet de séparer les constituants d'un mélange homogène. Sous l'effet de la chaleur ou d'une faible pression (loi des gaz parfaits), les substances se vaporisent successivement, et la vapeur obtenue est liquéfiée pour donner le distillat.

Dès le XVIII^e siècle, des opérations de « distillation » sont réalisées dans l'industrie pour obtenir entre autres du coke à partir de la houille, ou des gaz manufacturés[6]. Ces opérations doivent être plus justement appelées pyrolyse : le terme « pyrolyse » est apparu probablement au XIX^e siècle[7] pour distinguer les opérations de décomposition ou thermolyse, d'un composé organique par la chaleur pour obtenir d'autres produits (gaz et matière) qu'il ne contenait pas : dans la pyrolyse, le matériau est détruit. On peut supposer que par analogie, la cornue en verre utilisée dans les opérations de distillation donnera son nom aux cornues en matériau réfractaire utilisées dans les opérations de pyrolyse bien qu'il n'existe pas grand-chose de commun entre les deux.

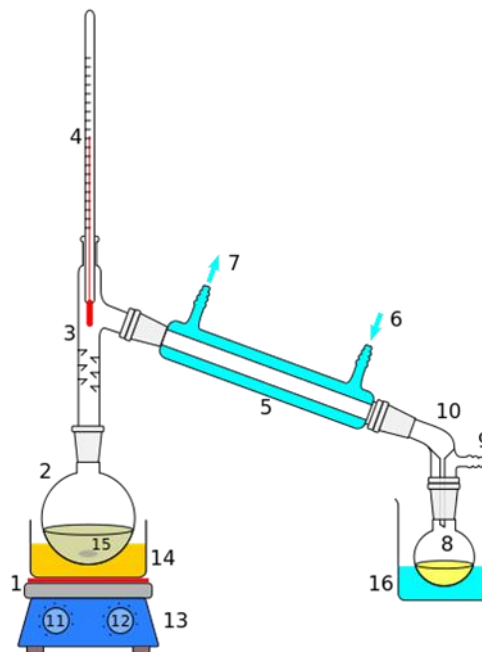


Figure II.1 : Distillation simple sans la colonne

II.1.1 Historique

La distillation solaire a été utilisée depuis l'antiquité. Elle remonte au 15^{em} siècle, où elle était appliquée par les alchimistes arabes, comme il a été rapporté par Mouchot [8]. Des descriptions plus précises se trouvent dans l'ouvrage « *Magiae naturalis sive de miraculis rerum naturalium* » de

l'alchimiste italien Giovanni Battista Della Porta, paru en 1558. Cet ouvrage contient des détails sur la distillation solaire avec de larges pots de terre exposés à la chaleur intense des rayons solaires pour la récupération de l'eau distillée. Les américains, Wheeler et Evans, rapportent la première expérience pratique de la distillation solaire en 1870. Ils ont étudié les principes de base et les défis de la distillation solaire afin de breveter la technologie. Leurs travaux ont permis d'étudier l'influence des facteurs environnementaux sur l'efficacité des processus de distillation, ainsi que sur les problèmes de construction (par exemple, la corrosion).

En 1872, c'est la première mise en œuvre à grande échelle de la distillation avec la réalisation d'un distillateur solaire dans une mine de salpêtre au Chili. Ce distillateur est destiné à fournir l'eau douce aux ouvriers et au bétail. En 1872, l'ingénieur suédois Charles Wilson a fabriqué un distillateur solaire de près de 5000 m² de surface pour la ville minière de Las-Salinas dans le nord de Chili. Ce distillateur produit 23000 litres d'eau pure soit 23 m³ par jour. A cause du problème d'accumulation des sels dans le bassin du distillateur, la nécessité d'un nettoyage régulier a donné une fin au fonctionnement de distillateur en 1910. Depuis lors, étant donné l'importance évidente de la distillation solaire, plusieurs installations de distillateur solaire ont été inventées pour répondre aux besoins en eau douce.

II.2 Différents types d'eau

1. L'eau potable :

Selon les normes internationales de L'OMS (office mondial de la santé) une eau destinée aux usages domestiques doit avoir une salinité inférieure ou égale à 500 mg/l. De plus elle ne doit pas contenir plus de 250 mg/l de chlorures ni plus de 250 mg/l de sulfates. Pour les usages industriels et agricoles, les normes sont très variables, mais dans la plupart des cas il est souhaitable que la salinité ne dépasse pas 1000 à 1500 mg/l [9].

2. L'eau de mer :

L'eau de mer est un liquide dont la composition, est extraordinairement élevée, puisqu'on y trouve une cinquantaine de corps simples. L'énumération de ces corps simple va de l'hydrogène, de l'oxygène, du chlore et du sodium. D'une façon générale, l'eau de mer contient d'environ de 35 g/l de sels minéraux dissous [9].

3. L'eau saumâtre :

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

4. L'eau distillée :

L'eau distillée est un corps pur. Généralement, il est utilisé dans :

- Les laboratoires et les hôpitaux pour toutes les analyses, les vaccins, les sérums, etc...
- Certaines industries pour l'utilisation dans les fabriques d'accumulateurs, traitement nécessitant l'utilisation de l'eau pure (industrie photographique).

II.3 Distillateur solaire

II.3.1 Introduction

La distillation d'eau saumâtre ou saline est une bonne méthode pour obtenir de l'eau douce, en particulier dans les zones isolées et ensoleillées où l'eau douce est insuffisante et/ou de mauvaise qualité. La distillation solaire de l'eau consiste à utiliser l'énergie de la lumière solaire pour séparer l'eau douce des sels ou d'autres contaminants. L'eau non traitée absorbe la chaleur, atteignant lentement les températures élevées. La chaleur provoque l'évaporation de l'eau, et de se condenser en vapeur, laissant les contaminants derrière. Par conséquent, La distillation solaire est une alternative intéressante en raison de sa technologie simple ; non exigence de main-d'œuvre hautement qualifiée pour travaux d'entretien et faible consommation d'énergie. [10].

II.3.2 Historique

La première documentation de la distillation solaire est représentée par des chimistes arabes au quinzième siècle. Ils ont utilisé des miroirs intérieurs nettoyés pour concentrer le rayonnement solaire sur un verre contenant de l'eau salée afin de produire de l'eau douce (Prasad et Tiwari 1996). Elle a été pour la première fois utilisée à grande échelle au Chili (1872) par l'ingénieur suédois Carlos Wilson pour fournir de l'eau douce aux ouvriers de la mine d'argent de salpêtre. La localité de Salinas. Dans le désert d'Atacama au Chili, la seule eau naturelle qu'on y trouve contient 140 g de sel par litre. Avec une surface de verre de 4400 m² on obtenait en été environ 4,91 l / m² d'eau douce par jour, et ce système fut ses preuves pendant des années. [11]. L'installation fonctionna seulement jusqu'à 1910, à cause d'un problème majeur de la rapide accumulation des sels dans le bassin, nécessitant un nettoyage régulier. Depuis lors, le principe de construction n'a pas changé, même si quelques améliorations ont été obtenues aux matériaux de construction et aux méthodes de travail.

II.3.3 Principe

Le procédé utilise la différence de volatilité (capacité à s'évaporer selon la température) entre les constituants afin de les séparer : le composé le plus volatil s'évaporerait plus facilement et composerait la majeure partie des vapeurs. Il est ainsi possible de créer une phase gazeuse ayant une composition

différente du mélange initial. Par condensation de ces vapeurs, un liquide appelé distillat peut être récupéré avec une concentration élevée du composé le plus volatil.

Le distillat n'est pas un produit pur : il contient une certaine proportion des autres composés du mélange initial. Il faut dès lors répéter l'opération d'évaporation-condensation avec le distillat afin de concentrer davantage le composé le plus volatil. Pour ne pas répéter l'opération, et séparer proprement les composants du mélange en une seule passe, on utilise une colonne de distillation et ce procédé se nomme distillation fractionnée ou rectification.

En fonction des propriétés physiques des constituants, il arrive que des composés aient des volatilités constantes par rapport au mélange initial, et que les vapeurs d'un tel mélange gardent toujours la même composition même si on répète l'opération évaporation-condensation plusieurs fois. Il s'agit d'un mélange azéotropique qui nécessite des conditions spéciales afin de séparer les composants (voir distillation azéotropique).

La distillation peut être effectuée de plusieurs manières : discontinue, continue, sous vide.

II.3.3.1 Distillation discontinue

Une distillation discontinue est une distillation où le mélange à séparer est chargé une fois dans l'installation et d'où les composants sont distillés les uns après les autres. Ceci implique un changement permanent de la composition du mélange initial et des profils de température.

II.3.3.2 Distillation continue

Une distillation continue est une distillation où l'installation de distillation est continuellement alimentée avec le mélange à séparer. Ce type d'installation permet de travailler sans modification des profils de composition ainsi que de température.

II.3.3.3 Distillation sous vide

Certains produits sont trop peu volatils à pression ambiante ou se décomposent avant de s'évaporer du fait de leur haut point d'ébullition. Dans ce cas, la pression de l'installation est réduite à l'aide d'une pompe à vide afin de réduire le point d'ébullition.

II.3.3.4 Distillation industrielle

La distillation industrielle est un procédé de raffinage qui consiste à traiter le pétrole brut préalablement chauffé à 370 °C afin d'en séparer les différentes fractions. Après vaporisation, il est envoyé dans une tour de distillation atmosphérique. Chaque niveau de température correspond à une étape du fractionnement et donne un produit spécifique : les produits légers sont recueillis dans la partie supérieure de la tour (butane et propane, essence légère ou naphtha), les produits moyens (essence lourde, kérosène et gazole) sont récupérés en soutirage latéral, et le résidu atmosphérique est recueilli au fond de la tour. Cette séparation n'est pas suffisante pour donner toutes les qualités requises à chacun des produits obtenus. Interviennent alors le craquage et le reformage pour les carburants.

En procédé industriel et dans le cas d'une distillation discontinue, les premières vapeurs qui passent en tête de colonne sont appelées « têtes de distillation », ensuite vient le cœur (souvent le cœur est la substance qui est recherchée dans le mélange introduit dans le distillateur), puis en fin de distillation apparaissent « les queues de distillation ».

Il existe aussi des techniques de distillation sous vide qui visent à abaisser les températures d'ébullition des différents constituants du mélange à distiller, et donc permettent ainsi d'éviter (ou de réduire) les risques de dégradation thermique. De même, des distillations peuvent être effectuées sous pression afin de permettre la séparation de composés très volatils (comme les gaz).

Lorsque les températures d'ébullition sont très voisines, on peut avoir intérêt à utiliser un processus de distillation fractionnée, qui consiste en plusieurs étapes de raffinements successifs. Il est également possible d'introduire une partie du distillat en tête de colonne (dans le cas d'une distillation continue) afin d'améliorer la pureté de la phase vapeur.



Figure II.2 : Colonnes de distillation industrielles.

II.4 Association des procédés à distillation avec l'énergie solaire

Pour leur fonctionnement, les procédés à distillation nécessitent pour la grande part de l'énergie thermique pour assurer le chauffage de l'eau salée. Pour l'eau de mer, par exemple, 100 à 50 thermies par m³ d'eau produite suivant le rendement de l'installation. De plus cette énergie thermique doit être fournie à un niveau de température relativement faible, entre 120 et 60 °C suivant la technologie adoptée. La source de chaleur peut être fournie, dans le cas d'un accouplement solaire, par des

capteurs solaires plans ou à concentration. Les procédés les plus utilisés et qui sont susceptibles d'être accouplés à une source d'énergie solaire sont :

- La distillation solaire direct à effet de serre qui constitue un procédé proprement solaire.
- Les procédés à distillation classique tel le procédé à Multi-stage flash, à multiple-effets, à compression de vapeur.

II.4.1 La distillation solaire direct à effet de serre

Ce procédé consiste à chauffer de l'eau directement par le rayonnement solaire dans une enceinte fermée recouverte de vitrage. La vapeur produite, qui se condense sur le vitrage plus froid et légèrement incliné, est recueillie sous forme de condensât dans des gouttières. Le principe est très simple, fiable et ne nécessite aucun entretien. Mais son rendement est relativement faible, 4 à 5 litres/jours.m². Ils existent cependant deux types de fabrications de distillateurs, ces derniers peuvent être construits soit : - Sous forme de produit modulable, il s'agit généralement d'un bac (plastic, tôle, bois...) isolé inférieurement et recouvert d'un vitrage supérieurement. Plusieurs distillateurs peuvent être alimentés simultanément pour former une unité de distillation. Le nombre de distillateurs dépend de la capacité d'eau produite désirée. Ce modèle est utilisé seulement de très petites capacités, plusieurs dizaines de litres par jours. Il est pratique quand les besoins en eau distillée ne sont pas très importants (laboratoire d'analyse, parc auto ...). Ils existent cependant plusieurs variantes, on peut citer le distillateur plan, en cascade, à mèche, à multiple effets, sphérique... etc.

- Quand les besoins sont plus importants, plusieurs centaines de litres/jour, les distillateurs sont construits en maçonnerie/béton sous de grands bassins vitrés. La surface dépend de la quantité d'eau distillée voulue. Un certain nombre d'applications sont effectuées généralement dans les zones rurales où les surfaces au sol sont disponibles. L'analyse théorique est basée sur le bilan thermique du distillateur qui permet de déterminer son rendement en fonction des différents paramètres.

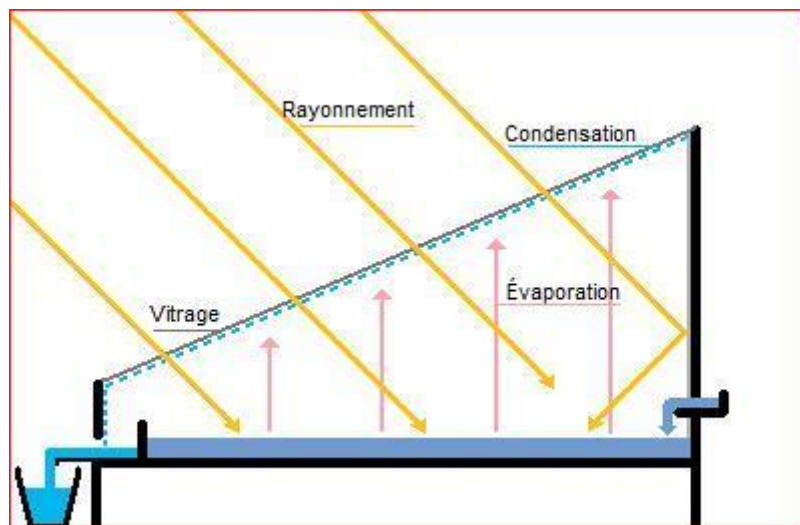


Figure II.3 : Etude expérimentale d'un distillateur solaire

II.4.2 La distillation à détentes successives ou multi-étage flash (MSF)

Ce procédé, généralement rentable seulement pour de grandes capacités de production (plusieurs centaines de milliers de m³), est très peu souple et nécessite une durée de mise en régime inadéquat pour une application solaire.

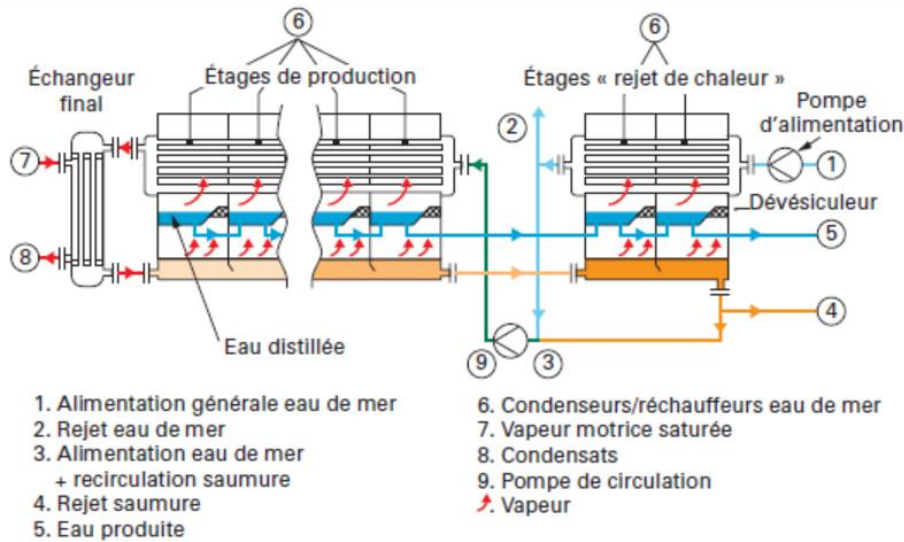


Figure II.4 : désodorisation - évaporateur d'eau de mer, distillation à détente étagée à recirculation (MSF)

II.4.3 La distillation par compression de vapeur

C'est un procédé qui comporte une série d'évaporateurs, ses performances sont cependant améliorées en recyclant la vapeur issue du dernier effet (au niveau thermique le plus bas) en la comprimant pour ensuite l'utiliser comme vapeur de chauffe au premier effet. Ce procédé peut utiliser de l'énergie solaire comme source de chaleur, mais nécessite une énergie supplémentaire pour assurer la compression de vapeur. Celle-ci s'effectue soit avec un compresseur mécanique (compression mécanique) ou un éjecteur de vapeur (thermoc compression).

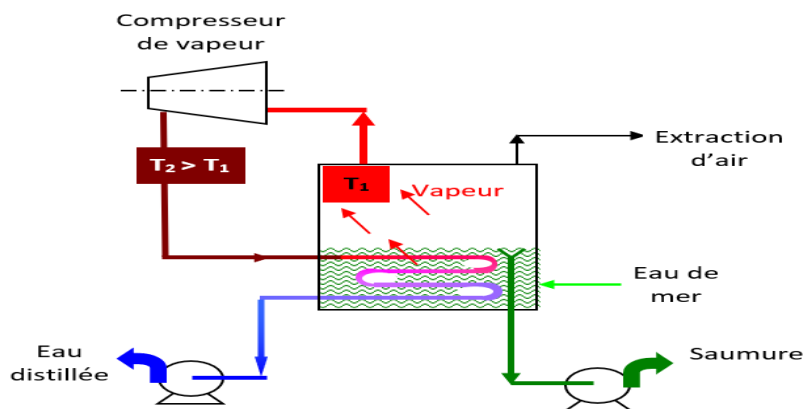


Figure II.5 : Distillation par compression de vapeur

II.4.4 La distillation par multiple effets

Dans cette catégorie, on distingue deux de procédés :

Les uns utilisent des tubes verticaux, les autres des tubes horizontaux. L'avantage revient aux tubes horizontaux pour une puissance de pompage moindre et un coefficient global d'échange thermique plus important. Ce procédé consiste à un ensemble d'effets successives où la vapeur produite dans un effet est utilisée pour chauffer l'eau de l'effet suivant en s'y condensant, l'apport thermique initial est fourni à l'effet de tête (bouilleur). De part sa simplicité et sa souplesse de fonctionnement, ce procédé est le mieux disposé à s'adapter à l'énergie solaire. Cette adaptation peut se faire : - soit avec des capteurs solaires plans pour les petites unités allant jusqu'à plusieurs m³ /jour. - soit avec des capteurs à concentration pour des capacités plus importantes. Un stockage thermique est souvent utilisé, sous forme de réserve d'eau chaude, pour permettre d'avoir une certaine autonomie de fonctionnement en régime permanent ou intermittent.

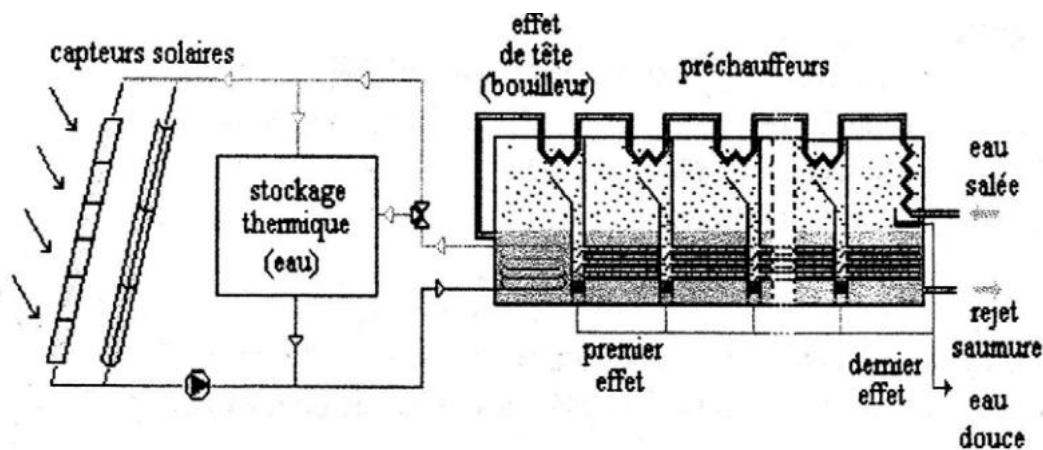


Figure II.6 : Schéma d'une installation de dessalement par Multiple-effets accouplés à des capteurs solaires[12]

II.5 Classification des distillateurs solaires

Les distillateurs solaires sont principalement classés en deux catégories ; passifs et actifs. La figure II.7 montre les différents types de distillateurs solaires disponibles dans la littérature [13].

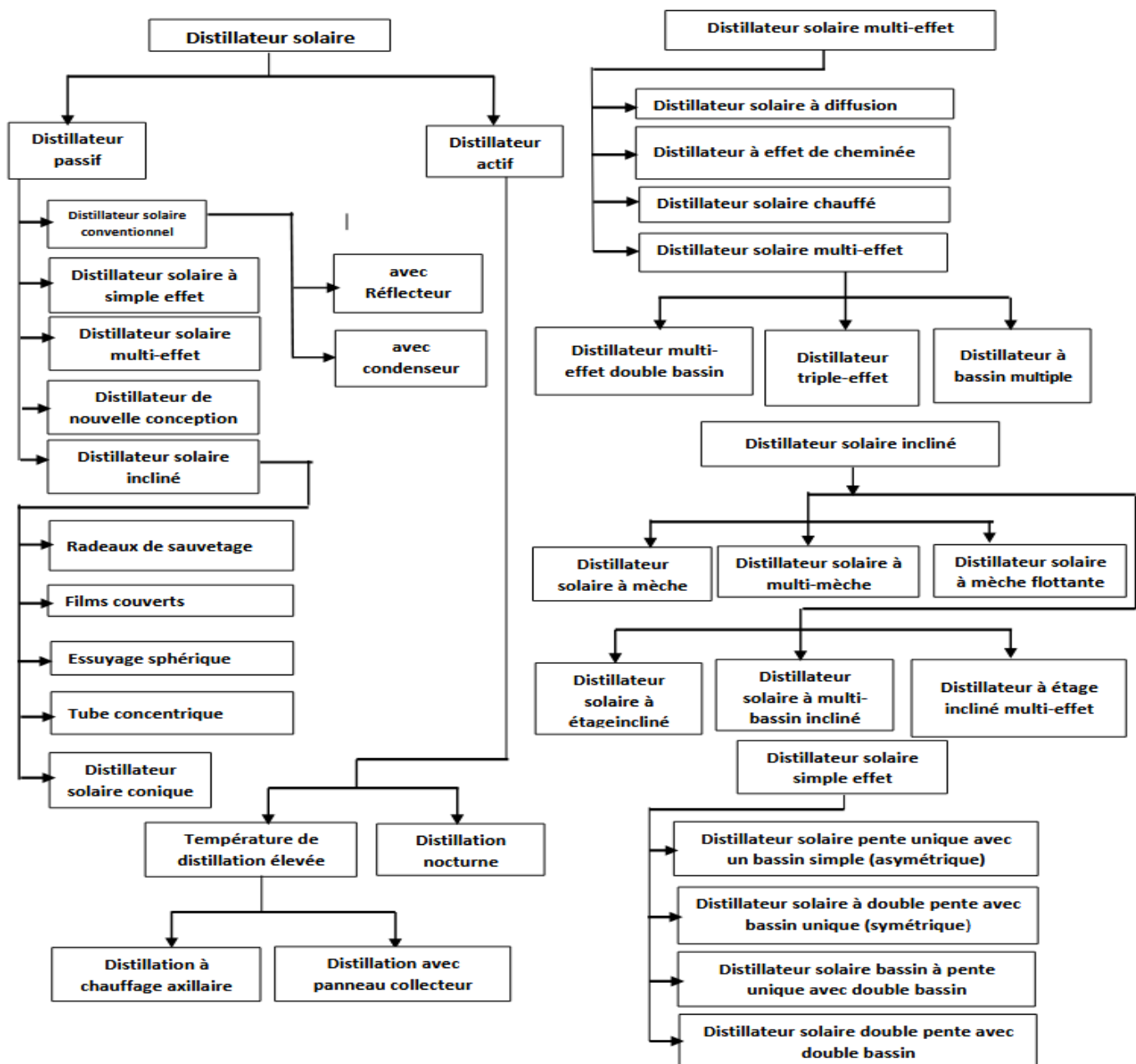


Figure II.7: Classification des distillateurs solaires [13]

II.5.1 Distillateur solaire passif

Un distillateur solaire conventionnel (Fig. II.8), qui utilise uniquement de l'énergie solaire pour obtenir l'eau distillat, est appelé distillateur solaire passif. Il ne nécessite pas des composants mécanique ou machine tournante et par conséquent pas de consommation d'énergie.

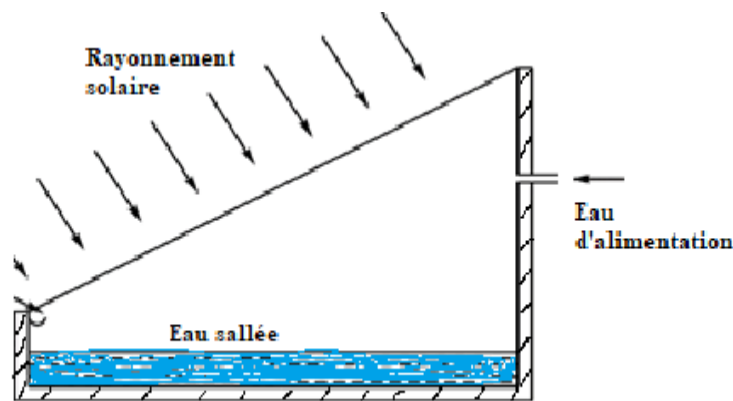


Figure II.8: Distillateur solaire passif.

Un distillateur solaire passif reçoit de l'énergie directement du soleil ce qui permet d'augmenter la température de l'eau dans le bassin ; ensuite l'eau s'évapore et se condense sur la vitre.

Le distillateur solaire conventionnel est choisi pour sa simplicité, sa nature passive, peu d'entretien et il est moins coûteux. Cependant, son inconvénient majeur c'est sa faible productivité d'eau distillée [14][15]. Plusieurs travaux de recherches ont été effectués pour améliorer la productivité du distillateur solaire simple, ceci reste un défi pour les scientifiques [16]. Cette amélioration peut être obtenue par une modification appropriée dans les paramètres de conception du distillateur et son mode de fonctionnement [17][18][19]. Des modifications peuvent être apportées pour améliorer l'évaporation, la condensation, l'augmentation du gain de chaleur et pour réduire les pertes thermiques vers l'atmosphère [20].

II.5.2 Distillateur solaire actif

Dans un distillateur solaire passif, l'irradiation solaire est reçue directement à travers la vitre. Du fait que celle est la seule source d'énergie, la température de l'eau n'atteint pas des valeurs élevées. Ce qui limite en fait la productivité du distillateur simple (passif). C'est l'inconvénient majeur qui a incité les chercheurs pour développer d'autres type de distillateurs dite actifs fonctionnant à des températures plus élevées. Le distillateur solaire passif peut être intégré avec un capteur solaire externe (plat, à tube sous vide, à concentrateur parabolique, et d'autres dispositifs). Cette source de chaleur supplémentaire sert à augmenter la température de l'eau et d'accélérer l'évaporation afin d'améliorer la productivité. Plusieurs travaux de recherche ont été consacrés aux distillateurs solaires actifs [21][22][23][24][25] et une revue détaillée sur les systèmes de distillation solaire actifs

II.5.3 Distillateur solaire avec un capteur solaire plan

Le distillateur solaire couplé avec un capteur solaire plan fonctionne à une température élevée. Il peut fonctionner en mode de circulation normal ou circulation forcée. En mode de circulation naturelle, d'eau s'écoule sous l'effet de la différence de densité entre l'eau du capteur chaud et l'eau du

distillateur relativement froide. Dans le mode de circulation forcée, une pompe est utilisée pour faire circuler l'eau. En 1976, Soliman [26] a proposé l'intégration d'un capteur solaire plat avec un distillateur solaire à pente unique (**Fig. II.9**). L'eau est portée à une température qui atteint 80°C. L'eau du bassin est chauffée par l'énergie solaire reçue directement à travers la vitre de distillateur et l'énergie thermique fournie indirectement par le capteur solaire ont également étudié les performances d'un distillateur solaire à pente unique couplé à un capteur solaire plan, ils ont observé une amélioration significative de 36% dans la productivité du distillateur modifié par rapport au distillateur solaire passif.

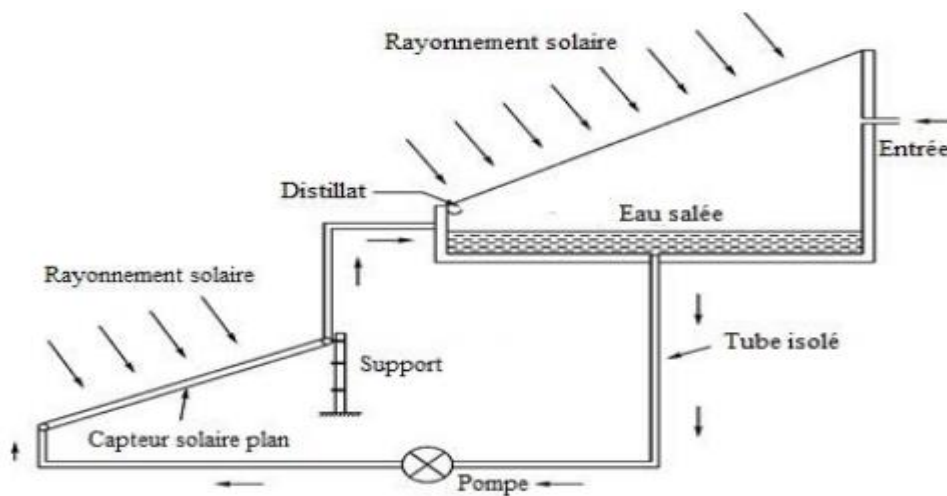


Figure II.9 : Distillateur solaire couplé avec un capteur solaire plan.

II.5.4 Distillateur solaire avec un concentrateur parabolique

Le schéma de principe d'un distillateur solaire couplé avec un concentrateur parabolique est représenté sur la **figure II.10**. Le concentrateur en forme cylindro-parabolique destinée à concentrer l'énergie solaire sur une surface absorbante, ce qui permet d'atteindre des températures d'eau plus élevées dans le bassin. Pour obtenir un rendement plus élevé, le concentrateur est couplé avec le distillateur solaire pour le chauffage de l'eau qui passe dans le tube récepteur à l'aide d'une pompe solaire variée entre 5 à 7 cm. L'amélioration du rendement est 22% .de circulation.

Avec un flux solaire moyen de 500 W/m² et une profondeur d'eau dans le distillateur

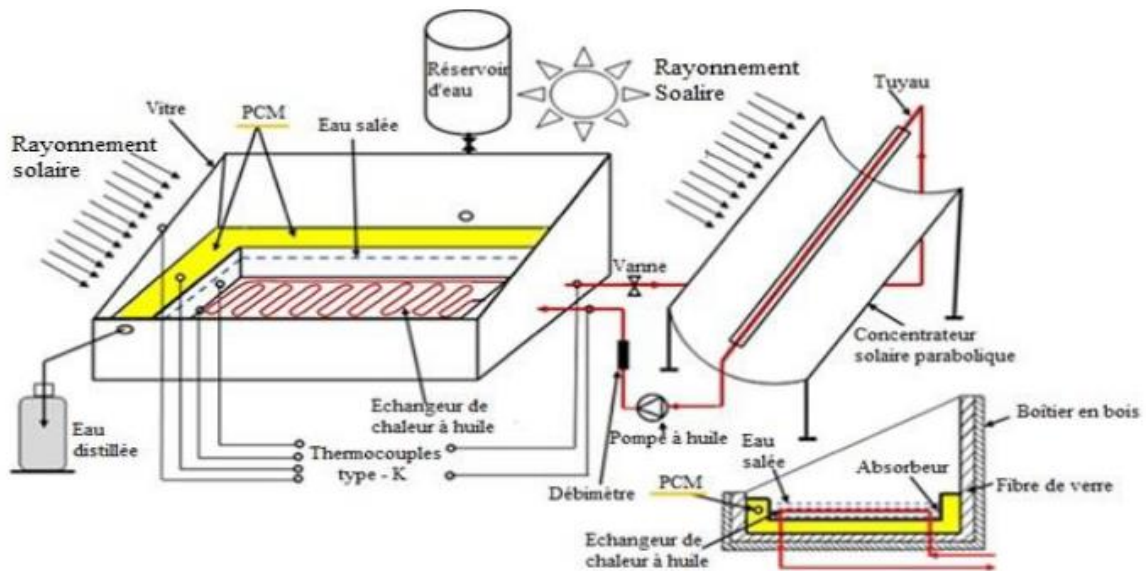


Figure II.10: Distillateur solaire couplé avec un concentrateur parabolique

La figure II.11, décrit une unité de distillation intégrée avec un concentrateur solaire parabolique en fibre de verre moulé . Le concentrateur solaire est intégré avec un système de suivi solaire a deux axes. Cette surface parabolique est recouverte par une tôle en acier inoxydable de forme rectangulaire. L'absorbeur est monté sous forme d'un récipient cylindrique sur lesquelles les rayons solaires sont concentrés. Cet absorbeur est complètement isolé sauf la partie éclairée par les rayons solaires réfléchis par la surface parabolique. L'approvisionnement en eau saumâtre de l'absorbeur se fait de manière continue avec un volume d'eau constant dans cet absorbeur. La vapeur produite passe dans un condenseur à bobine pour être condensée.

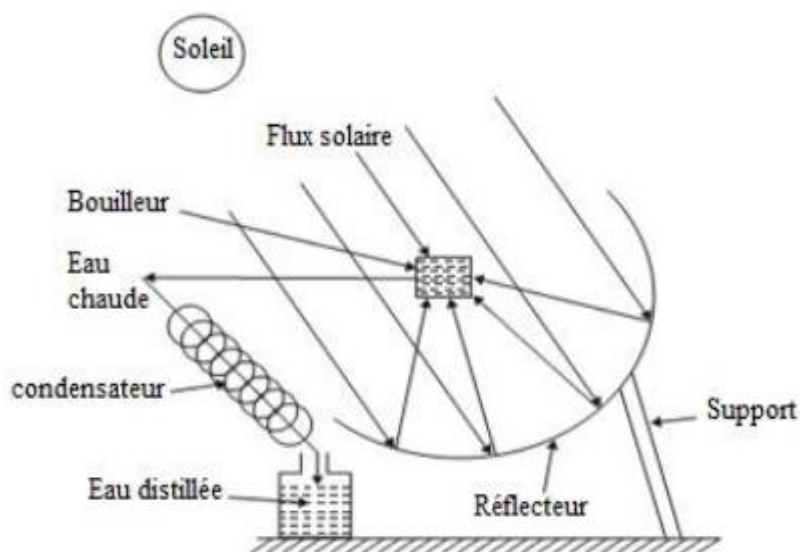


Figure II.11: Schéma d'un concentrateur parabolique solaire pour distillation

II.5.5 Distillateur solaire couplé avec capteur à tube sous vide

Les capteurs solaires à tubes sous vide peuvent atteindre des températures de fonctionnement plus élevées par rapport les capteurs solaires plans. Cette technologie est connue par son rendement particulièrement élevé. Dans le cas d'un capteur plan, les rayons du soleil sont perpendiculaires au capteur seulement à midi. Mais dans un capteur solaire à tubes sous vide, en raison de sa forme cylindrique, les rayons du soleil sont perpendiculaires à la surface du verre pendant toute la journée. Les pertes de chaleur sont réduites grâce à une excellente isolation thermique. Cette conception aide à éviter principalement les pertes de chaleur par convection qui, se produit à l'intérieur du capteur solaire en raison de la circulation de l'air entre la vitre supérieur et l'absorbeur d'un capteur solaire plan dont le but d'améliorer les performances. Bien que, les capteurs solaires à tube sous vide sont considérablement plus chers que les collecteurs solaires plans, ils sont beaucoup plus efficaces à des températures élevées. La figure II.12 montre le schéma de principe et le mode de fonctionnement d'un capteur solaire à tube sous vide intégré à un distillateur solaire en mode de circulation naturelle. Quelques paramètres tels que l'épaisseur de l'eau et le nombre de capteurs ont été optimisés pour une efficacité et un rendement élevé de distillateur solaire. Les résultats ont montré que les efficacités énergétique et exégétique sont élevées dans le cas d'une épaisseur de l'eau égale à 0.03 m et un nombre de capteurs égale à 10. Les efficacités énergétique et exégétique pour ces valeurs sont 33% et 2.5%, respectivement. Ces paramètres diminuent avec l'augmentation supplémentaire de l'épaisseur de l'eau et du nombre de capteurs.

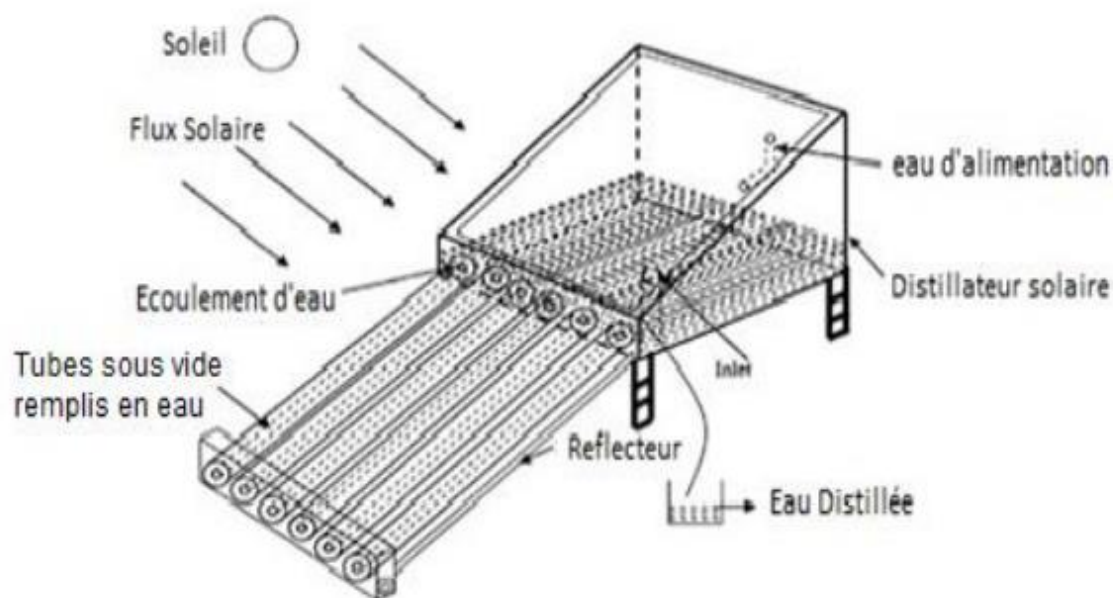


Figure II.12: Capteur solaire à tube sous vide intégrés à un distillateur solaire simple

II.5.6 Distillateur solaire couplé avec un système hybride PV/T

Un système hybride solaire Photovoltaïque/Thermique (PV/T) est une combinaison de l'énergie solaire photovoltaïque (PV) et systèmes solaires thermiques qui peuvent convertir simultanément de l'énergie solaire en électricité et la chaleur de système intégré. Kumar et Tiwari [27] ont fait une étude expérimentale d'un distillateur solaire simple couplé avec un système hybride PV/T. Ils ont constaté que le rendement augmente plus de 3.5 fois qu'un distillateur solaire passif.

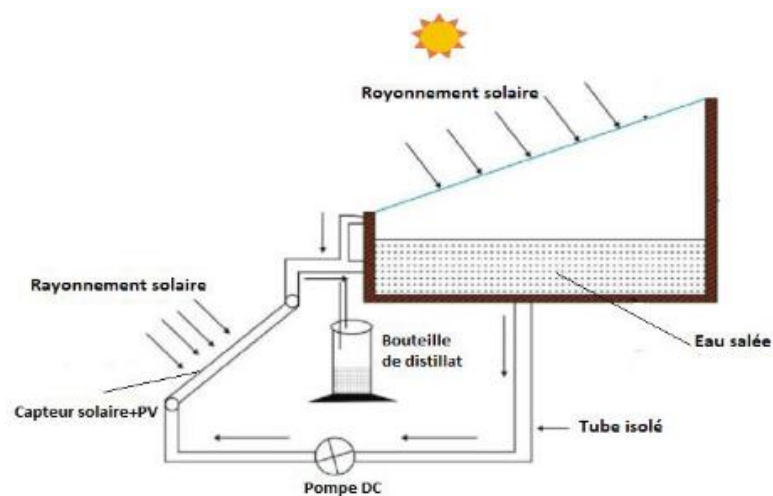


Figure II.13: Schéma d'un distillateur solaire hybride PV/T

II.6 Les paramètres influant sur le fonctionnement du distillateur :

II .6.1 Paramètres Internes :

Il s'agit des :

II .6.1.1 Paramètres de construction :

1. Couverture :

La couverture verrière intervient essentiellement par sa nature qui peut être en verre ou en plastique. Elle a deux rôles à jouer : d'une part c'est un filtre sélectif de rayonnement solaire (le rayonnement émis ou réémis par l'intérieur du bassin à température basse qui ne la traverse pas) et d'autre part, c'est une surface de condensation de la vapeur d'eau : une bonne mouillabilité est nécessaire pour éviter la condensation en gouttelettes qui ont tendance à retomber dans le bassin et qui réfléchissent une partie importante du rayonnement incident. Pour assurer le ruissellement de l'eau condensée vers la gouttière (collecteur)[28].

2. L'inclinaison :

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

- Fonctionnement estival : $\beta = \Phi - 10^\circ$.
- Fonctionnement hivernal : $\beta = \Phi + 20^\circ$.
- Fonctionnement annuel : $\beta = \Phi + 10^\circ$

3. L'absorbeur :

Les études faites dans ce domaine montrent que la surface absorbante peut être construite de plusieurs matériaux (bois, métal, béton, matière synthétique ou en verre ordinaire). Le choix de la matière de la surface absorbante ou du bac noir dépend de son inertie thermique, de la résistance à l'oxydation par l'eau et des dépôts minéraux. [28]

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

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

5. L'isolation des faces latérales du distillateur :

L'isolation des faces latérales est pour but d'éliminer les pertes (transfert de chaleur avec le milieu extérieur).

II.6. 2 Paramètres thermo physiques

Les paramètres thermo physiques sont représentés par :

- La couverture et la surface absorbante : la conductivité thermique, la chaleur spécifique et la diffusivité thermique.
- La saumure : la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité dynamique, la viscosité cinématique, la chaleur latente de vaporisation, le coefficient de dilatation thermique et la diffusivité thermique.
- Le mélange air-vapeur : la conductivité thermique, la chaleur Spécifique, la viscosité dynamique, la viscosité cinématique, le coefficient de dilatation thermique

II.6.3 Paramètres optiques :

Ce sont les paramètres optiques (l'émissivité, l'absorptivité, la réflectivité et la transmittivité) de la surface de la couverture et de la surface absorbante.

Paramètre de fonctionnement :

Ces paramètres sont les différentes températures du système et du fluide, en particulier la température de l'eau à distiller.

II.6.4 Paramètres de position

L'emplacement du distillateur, endroit où il doit être placé de façon à éviter les obstacles

« Effet de masque », qui empêcherait le rayonnement solaire d'atteindre la surface de captation.

1. L'orientation : Elle dépend du fonctionnement du distillateur pendant la journée. On distingue suivant le moment de la journée :

- Fonctionnement pendant la matinée : orientation Est.
- Fonctionnement après-midi : orientation Ouest.
- Fonctionnement durant toute la journée : orientation Sud.

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

- Fonctionnement estival : $\beta = \varphi - 10^\circ$.
- Fonctionnement hivernal : $\beta = \varphi + 20^\circ$.
- Fonctionnement annuel : $\beta = \varphi + 10^\circ$.

II.6.5 Paramètres Externes :

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

- **Paramètres météorologiques**

a) Intensité du Rayonnement Solaire

b) La température ambiante de l'air et la vitesse du vent aux températures de saumure élevées, augmenter la différence de température entre la saumure et la vitre en augmentant la vitesse de vent, en baissant la température ambiante. Par contre, aux températures faibles de la saumure, et en augmentant la vitesse du vent revient à faire chuter le taux d'évaporation.

c) L'intermittence des nuages la quantité d'énergie solaire reçue par une surface dépend des paramètres A, et B qui dépendent de la nature de ciel. Cela revient à dire que le passage des nuages diminue l'absorptance effective moyenne [28]

- **Paramètres Géographiques :**

Les paramètres géographiques tels que la longitude, la latitude et la hauteur de soleil, sont à prendre en considération dans cette étude.

Chapitre III

Conception et réalisation d'un distillateur solaire

III.1 principe de fonctionnement du distillateur solaire :

Le distillateur solaire à un seul bassin à pente unique, est constitué d'un support en bois comme isolant, son bassin est un plateau en métal galvanisé, le bassin est noirci pour assurer une absorption maximale des rayons solaires. L'eau salée est versée dans le bassin puis exposé aux rayons de soleil par conséquent, la production de la vapeur d'eau à partir d'une solution salée est transportée par convection vers un condenseur transparent en verre, où elle est condensée, le couvercle en verre a été scellé par du silicone pour éviter toute fuite de vapeur où un angle horizontal est prévu pour faciliter l'écoulement de l'eau condensée le long de la paroi jusqu'à un collecteur d'eau distillée.

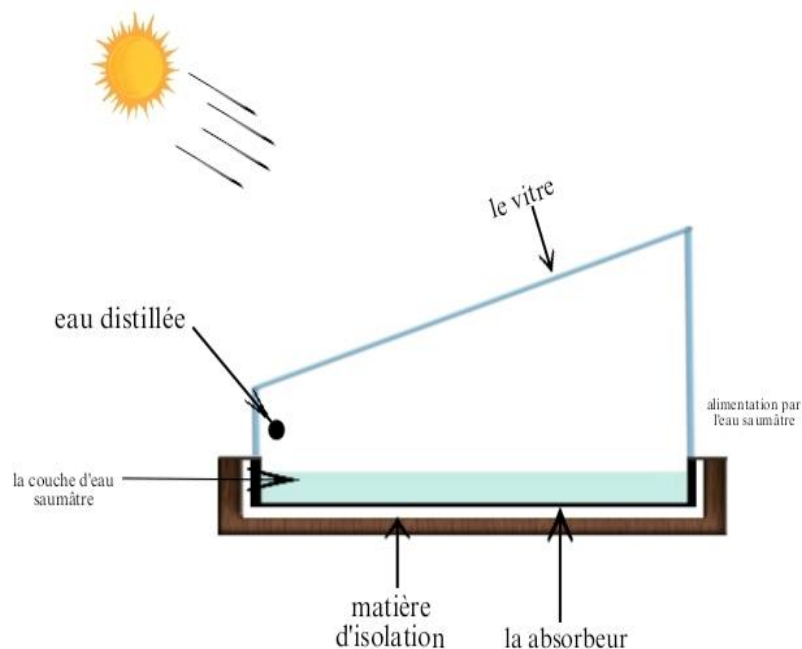


Figure III.1: Schéma du principe de fonctionnement du distillateur solaire à effet de serre

III.2 Réalisation du distillateur solaire :

Le distillateur utilisé lors de nos expériences est un dispositif très connu et très facile à construire, car ses composantes sont disponibles dans tous les marchés du monde. Donc toute personne désirant construire ce type de distillateur peut le faire facilement et avec le minimum de coût. Le distillateur est essentiellement constitué comme le montre dans (la Figure III.2)



Figure III.2: Conception du distillateur solaire

Le distillateur se compose de :

- **Bassin absorbant (plaque noire).** La plaque absorbante est l'élément le plus important du distillateur solaire simple a pente unique, comme son nom l'indique est réalisé dans le but d'absorber le maximum de rayonnement solaire global et transmettre la chaleur produite par cette absorption vers la saumure, c'est pour cette raison qu'il est peint en noir mat il est obtenu par soudage et essentiellement en fer galvanisé. Elle est sous forme d'un plateau rectangulaire, il a un coefficient de conduction thermique faible. La récupération du distillat s'effectue dans les rigoles placées à l'extrémité du toit.
 - **Les dimensions de la surface de l'absorbeur sont :**
 - ❖ Longueur : 0,6m ;
 - ❖ Largeur : 0,4m ;
 - ❖ Hauteurs : 0,05 ;
 - ❖ Epaisseur : 0,004mm ;
- **La couverture transparente haute :** Est un élément très important du distillateur et joue un rôle primordial dans la création de l'effet de serre à l'intérieur du distillateur solaire. Elle est aussi le condenseur de la vapeur et le transporteur du condensat pour la récupération de l'eau distillée. La vitre inclinée est la partie principale de la couverture qui couvre tout l'absorbeur. Elle est composée de plusieurs éléments collés entre eux par de la silicone transparente, de 4 mm d'épaisseur, longue 0,70 m et de largeur 0,41 m. Elle est inclinée d'un angle de 30° [29]

pour transmettre le maximum de radiation solaire à l'absorbeur et pour faciliter la descente des Gouttelettes condensées par la vitre vers les gouttières. Elle présente les avantages suivants :

- ❖ un bon coefficient de conductivité thermique ;
- ❖ Une bonne transmission du rayonnement visible et son opacité aux rayons infrarouges ;
- ❖ Une bonne mouillabilité.

➤ **Les couvertures transparentes des cotés** : Le verre sur les côtés est composé de quatre parties peints avec de la peinture thermique noir mat (la couler noir pour absorption le maximum de rayonnement solaire global) leur rôle est facilité de glissement des gouttelettes pour la récupération de l'eau distillée :

Partie gauche (0,6m×0,435m)

Partie droite (0,6m×0,435m)

Partie avant (0,1m×0,4m)

Partie arrière (0,4m×0,435m)

L'isolation thermique. L'isolant choisi est du polystyrène couvrant l'absorbant et le couvercle (les verres des coutée) pour diminuer les pertes de chaleur, .Il faut que les produits utilisés résistent aux températures de fonctionnement.

Les dimensions de l'isolant thermique de l'absorbant sont:

- ❖ Longueur : 0,6m ;
- ❖ Largeur : 0,4m ;
- ❖ Epaisseur : 0,04m ;

Les dimensions de l'isolant thermique de le couvercle sont

- ❖ Partie gauche (0,6m×0,435m)
- ❖ Partie droite (0,6m×0,435m)
- ❖ Partie avant (0,1m×0,43m)
- ❖ Partie arrière (0,43m×0,435m)
- ❖ Epaisseur : 0,015m ;

➤ **Couverture extérieure.** Un support en bois comme isolant pour le distillateur, il a une épaisseur de 0,02 m ; le coffre du distillateur renferme les différents éléments actifs. Il devra donc assurer une protection efficace aux agents atmosphériques. Qui sert à réduire les pertes de chaleur de la base de l'absorbeur.

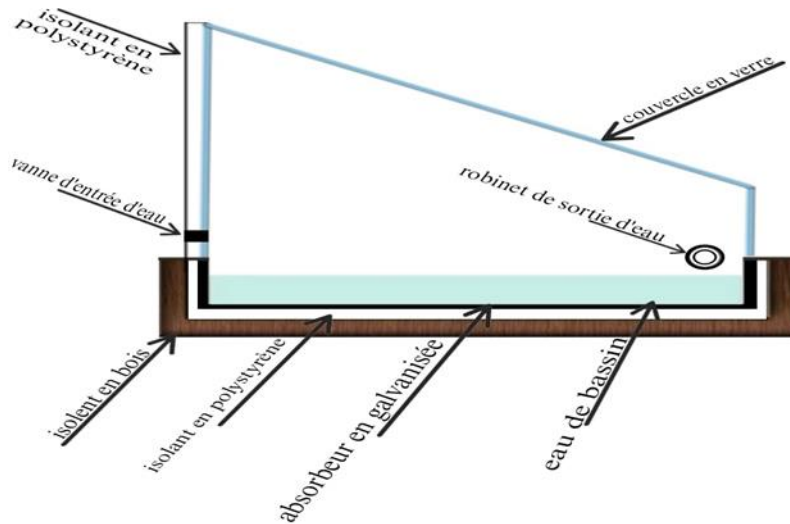


Figure III.3: Schéma des différents composants du distillateur solaire

➤ **Cuve de récupération de l'eau distillée.** Pour la récupération de l'eau distillée qui se trouve au niveau de couvercle de verre qui est liée par un canal en plastique pour rassembler l'eau distillée à l'extérieur du distillateur.

III .3 Les étapes de conception du distillateur solaire

➤ peignons le plateau métallique galvanisé avec une peinture noir mate pouvant résister à des température élevées



Figure III.4: peinture de bassin

- Découpage du polystyrène avec les démontions de bassine pour isolation thermique complète



Figure III.5: Découpage du polystyrène

- Fixation du polystyrène autour de bassine avec une silicone transparente ,



Figure III.6: fixation du polystyrène

- Installation de cadre en bois autour de l'isolation comme un deuxième isolation pour aucun pertes de chaleur



Figures(III.7) Figures(III.8) Isolation en bois

- Montage et collage du vitrage des cotés avec une silicone transparente , la silicone a résisté des hautes température jusque à 150°



Figure III.9 : Fixation du vitrage

- Montage de les cuves (les canaux de récupération des gouttelettes d'eau distillé) avec même silicone et nous pouvons faire les canaux inclinés à la sortie et fixation l'isolation du polystyrène de vitrage et monter une entrée d'eau saumâtre et en sortie d'eau distillé



Figure III.10 :Installation des isolation, les canaux, l'entrée et la sortie

- En fin fixation la couverture transparent avec le silicone et mettre le distillateur solaire en fonctionnement .



Figure III.11 :Le distillateur solaire

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons exposer les résultats obtenus des essais faits par le distillateur. Les essais sont réalisés à la cour du hall technologique de la faculté de technologie.

Les objectifs à atteindre lors de la conception du distillateur :

- Un distillateur de faible couts,
- Obtenir de l'eau distillée avec un ph convenable et une conductivité électrique proche de celle de l'eau pure qui est quasiment nulle.
- Une production maximale dans un minimum de temps

IV.1.1 Bilan énergétique

1. Efficacité thermique

Ou rendement thermique c'est le rapport de l'énergie utile Q_u est produite par le distillateur sur l'énergie solaire incidente Q_{sol} .

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{sol}}$$

2. L'énergie solaire incidente

$$Q_{sol} = G \times A \times t$$

où G est l'irradiante solaire (W/m^2) et A est la surface de collecte du distillateur (m^2) et t c'est le temps de distillation.

3. L'énergie thermique utile

L'énergie utile Q_u est l'énergie utile pour distiller une quantité d'eau tel que :

$$Q_u = M \times L$$

Avec M la masse de l'eau distillée et L la chaleur latente de vaporisation d'eau $L = 2260 \text{ KJ}$

4. Pertes thermiques

$$Q_{pertes} = Q_{sol} - Q_u$$

IV.2 Appareillage utilisé

IV.2.1 Mesure de la température

La mesure de la température s'effectue à l'aide de thermocouples placés

- A l'intérieur du distillateur
- Sur le vitrage
- A l'extérieur du distillateur



Figure IV.1 Thermomètres utilisés

IV.2.2. Mesure de l'humidité

L'humidité en % est mesurée à l'intérieur du distillateur à chaque instant à l'aide d'un hygromètre ce dernier mesure le taux d'humidité ainsi que la température.



Figure IV.2 Hygromètre

IV. 3 Exploitation des résultats

Les essais ont été fait dans la ville de M'sila pendant plusieurs journées ensoleillées.

Le distillateur est remplie d'eau (du robinet) $M_e=3.5\text{Kg}$

L'augmentation de la température dûe à l'effet de serre réchauffe l'air au dessus de l'eau qui s'évapore. Cette évaporation s'accroît au fur et à mesure que la température augmente jusqu'à ce que l'air atteigne sa saturation en vapeur d'eau. La vapeur d'eau que contient l'air chaud est refroidie par

l'air ambiant et se condense sur la face interne de la vitre. Des gouttelettes se forment et s'écoulent sur la face intérieure du vitrage vers une gouttière qui les conduit dans un réservoir de stockage.

Les températures sont mesurées à l'aide des thermomètres à l'extérieur et à l'intérieur du distillateur.

Volume d'eau obtenu : 835 ml	27/05/2024	
temps	T° ext (C°)	T° int (C°)
09:50	29	40
10 :20	30,4	41,8
10 :50	30,9	50,3
11 :20	31,4	56,7
11 :50	32,3	60,2
12 :20	33,5	64,3
12 :50	34,5	66,9
13 :20	35,7	67,2
13 :50	37	68,1
14 :20	37,6	70
14 :50	37,9	70
15 :20	36	70
15 :50	35,5	70
16 :20	35	70
16 :50	35	70

Tableau IV-1 Les différentes températures en fonction du temps **27/05/2024**

Volume d'eau obtenu : 910 ml	29/05/2024	
temps	T° out (C°)	T° in (C°)
09:00	28	36
09:30	29	43
10:00	29,8	54,7
10:30	32	60,5
11:00	35,7	64,4
11:30	33,3	68,3
12 :00	35,4	70
12 :30	34,9	70
13 :00	35,1	70
13 :30	35,3	70
14 :00	35,4	70
14 :30	36,2	70
15 :00	36,1	70
15 :30	36	70
16 :00	35,4	70
16 :30	35	70

Tableau IV-2 Les différentes températures en fonction du temps **29/05/2024**

Volume d'eau obtenu : 30/05/2024 900 ml		
temps	T° out (C°)	T° in (C°)
09:15	26	47
09:45	27	50
10:15	28,1	51,4
10:45	28,8	59,1
11:15	29,5	65,3
11:45	30,1	69,2
12 :15	32,5	70
12 : 45	35	70
13 :15	34,9	70
13 :45	35,3	70
14 :15	37,1	70
14 :45	37	70
15 :15	36,7	70
15 :45	36,4	70
16 :15	35,6	70
16 :45	35,5	70

Tableau IV-3 Les différentes températures en fonction du temps **30/05/2024**

Volume d'eau obtenu : 01/06/2024 890 ml		
temps	T° out (C°)	T° in (C°)
09:10	26	47,5
09:40	27	50,4
10:10	28,1	51,4
10:40	28,8	52,9
11:10	29,5	56,4
11:40	30,1	61,9
12 :10	32,5	65,3
12 : 40	35	66,8
13 :10	34,9	69
13 :40	35,3	70
14 :10	37,1	70
15 :10	36,7	70
16 :10	35,6	70
16 :40	35,5	70

Tableau IV-4 Les différentes températures en fonction du temps **01/06/2024**

Volume d'eau obtenu : 02/06/2024 940 ml		
temps	T° out (C°)	T° in (C°)
09 :45	29,8	43
10 :15	29,4	54,7
10:45	29,9	60,5
11 :15	30,4	67,4
11:45	31,1	70
12:15	32,4	70
12 :45	34,5	70
13 : 15	34,7	70
13 :45	35	70
14 :15	38	70
14 :45	37,6	70
15 :15	37,6	70
15 :45	36	70
16:15	35,5	70
16 :45	35,4	70
17:15	35,2	70

Tableau IV-5 Les différentes températures en fonction du temps **02/06/2024**

Pour la journée du 27/05/2024.

Le temps de distillation est de 9h50 jusqu'à 16h50 en tous 7h, PH=6.5, $\sigma = 23\mu\text{S/m}$

La masse de l'eau distillée obtenue est $M = 0.835\text{Kg}$

L'intensité du rayonnement solaire est $I_G = 798.133\text{W/m}^2$

Le rendement est $\eta = 39.09\%$ avec des pertes énergétiques $Q_p = 2940\text{KJ}$

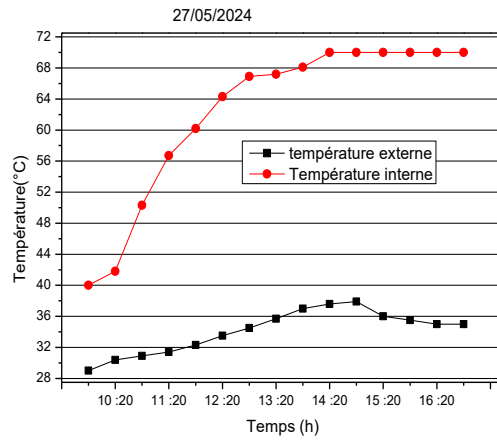


Figure IV.3 Variation de la température à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur solaire

Pour la journée du 29/05/2024

Le temps de distillation est de 9h jusqu'à 16h30 en tous **7.5h**, **PH=6.5**, **$\sigma = 21.7\mu S/m$**

La masse de l'eau distillée obtenue est **M = 0.910Kg**

L'intensité du rayonnement solaire est **$I_G = 775 Wm^2$**

Le rendement est **$\eta = 40.9\%$** avec des pertes énergétiques **$Q_p = 2966.6KJ$**

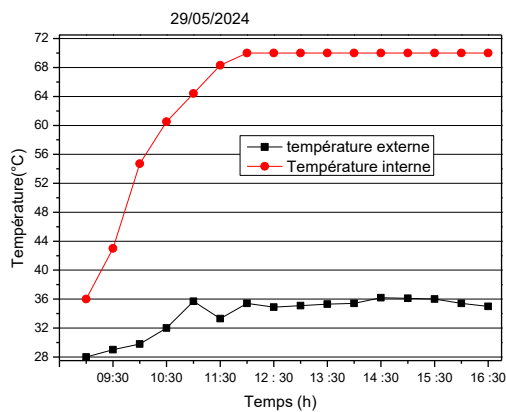


Figure IV.4 Variation de la température à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur solaire

Pour la journée du 30/05/2024

Le temps de distillation est de 9h15 jusqu'à 16h45 en tous 7h, PH=6.5, $\sigma = 21\mu\text{S}/\text{m}$

La masse de l'eau distillée obtenue est $M = 0.900\text{Kg}$

L'intensité du rayonnement solaire est $I_G = 780\text{Wm}^2$

Le rendement est $\eta = 40.2\%$ avec des pertes énergétiques $Q_p = 3020.4\text{KJ}$

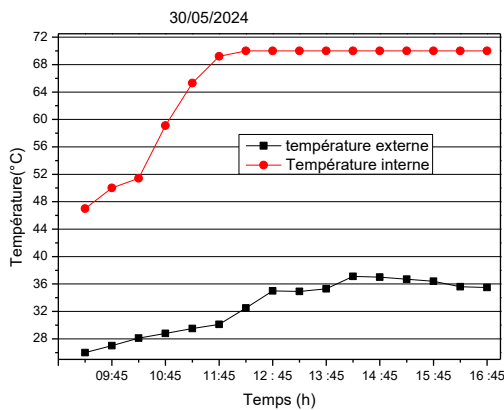


Figure IV.5 Variation de la température à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur solaire

Pour la journée du 01/06/2024

Le temps de distillation est de 9h10 jusqu'à 16h40 en tous 7h, PH=6.5, $\sigma = 31.8\mu\text{S}/\text{m}$

La masse de l'eau distillée obtenue est $M = 0.890\text{Kg}$

L'intensité du rayonnement solaire est $I_G = 797.5\text{Wm}^2$

Le rendement est $\eta = 38.92\%$ avec des pertes énergétiques $Q_p = 3156.4\text{KJ}$

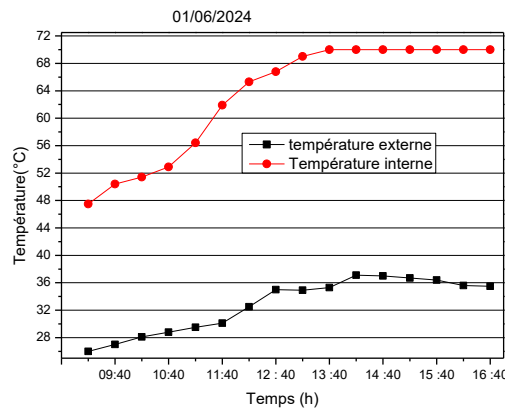


Figure IV.6 Variation de la température à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur solaire

Pour la journée du 02/06/2024

Le temps de distillation est de 9h45 jusqu'à 17h18 en tous 7.5h, **PH=6.5**, **$\sigma =31.8\mu\text{S/m}$**

La masse de l'eau distillée obtenue est **M =0.940Kg**

L'intensité du rayonnement solaire est **$I_G=797.5\text{Wm}^2$**

Le rendement est **$\eta=41.10\%$** avec des pertes énergétiques **$Q_p=3043 \text{ KJ}$**

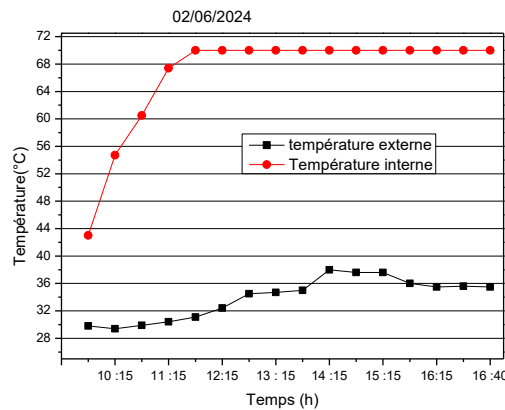


Figure IV.7 Variation de la température à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur solaire

Les figures IV.4, IV.5, IV.6, IV.7, IV.8, montrent la variation de la température en fonction du temps à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur, d'après ces figures nous constatons que la température à l'intérieur du distillateur est plus élevée du fait de l'effet de serre dans le distillateur,

cette température augmente successivement puis devient constante. Ce pendant la température de l'extérieur varie selon les conditions climatiques et le vent.

les valeurs du taux d'humidité n'ont pas pu être enregistrées à cause du défaillance de l'appareillage
De ces calculs nous constatons que le rendement varie selon le climat de la journée c'est à dire de la température ambiante et la quantité de l'eau distillé obtenue il varie entre 38% à 41.1%

Conclusion Générale

La distillation de l'eau par énergie solaire est importante pour deux raisons, le premier est l'économie de l'énergie et le deuxième est de procurer des nouvelles ressources d'eau douce ou bien de l'eau distillée.

Pour atteindre ce but, nous avons illustré dans ce travail la conception et la réalisation d'un distillateur solaire fonctionnant selon le principe de l'effet de serre.

Après avoir introduit des notions sur l'irradiation solaire et le gisement solaire, ainsi qu'un bref historique sur la distillation solaire et les différents procédés de dessalement particulièrement le procédé de la distillation solaire et les nouveaux types de distillateurs. Ceci nous amène à entreprendre une étude des phénomènes physiques qui conditionnent le fonctionnement du distillateur solaire (rayonnement, conduction et convection).

L'idée principale de ce travail consiste à réaliser un distillateur solaire permettant d'obtenir de l'eau distillée qu'on peut utiliser pour usage personnel ou même collectif.

Les résultats obtenus ont montré que plusieurs paramètres influent sur la quantité du distillat ainsi que le rendement du distillateur solaire.

- L'irradiation solaire globale reste le paramètre le plus influant
- La vitesse du vent et la température ambiante
- Le vitrage la qualité et l'inclinaison
- L'isolation, le matériau et l'épaisseur

Toutefois vu le manque de temps ce travail n'est pas complet et cette étude pourrait constituer un début pour des recherches futures. Par ailleurs, le distillateur solaire proposé dans le cadre de ce mémoire reste sujet à des améliorations futures.

Références

- [1] Alla, E. (2019). Analyse paramétrique de l'influence du comportement thermique d'un homme sur son confort habitable.
- [2] Benabdelkarim, B., & Benatillah, A. (2016). Etude et simulation de l'effet des paramètres climatiques (température, poussière...) sur les modules solaires en couches minces en région saharienne. *Uraer. Cder. Dz*, 1-5.
- [3] MAHAMAT, S. H., & DJEDDAH, A. (2017). Détermination du rendement instantané d'un capteur solaire plan à eau (Doctoral dissertation).
- [4] LAKHDARI, M., & MOKRANI, O. B. K. Etude expérimentale d'une cheminée solaire au Sud Algérien région d'Ouargla (Doctoral dissertation).
- [5] BOUTADARA, A., & HAFSI, B. (2016). Etude numérique de refroidissement d'un panneau photovoltaïque à air (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun).
- [6] BENCHIKH, Ismail, DJAZOULI, Omar, HADJADI, Ahmed, *et al.* Etude de technique de séparation de H₂O de brut utilisés à. 2023. Thèse de doctorat. UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR.
- [7] MARGERIAT, Alexandre. Conversion catalytique des vapeurs de pyrolyse et molécules modèles. 2017. Thèse de doctorat. Université de Lyon.
- [8] CAILLE, Frédéric. L'Invention de l'énergie solaire: la véritable histoire d'Augustin Mouchot. Librinova, 2023.
- [9] ZEROUALI MEKKI, contribution à l'optimisation des performances d'un distillateur solaire, thèse magistère en physique, université hadj lakhdar – batna, 9 /12/ 2012
- [10] M Hassen Sellami, H Bouguettaia, D Bechki, M Zeroual, S Kachi, S Boughali, B Boucekima, and H Mahcene. Effect of absorber coating on the performance of a solar still in the region of ouargla (algeria). *Desalination and Water Treatment*, 2013, 51(34-36) :6490–6497.
- [11] R Vaillantl. Problème du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Editions Eyrolles, 1975
- [12] P. Aymar, P. Bacchin, and A. Maurel, "Filtration membranaire (OI, NF, UF, MFT) Aspects théoriques : perméabilité et sélectivité," *J*, vol. 2, no. 0, pp. 790–2, 2010.
- [13] R. Balan, J. Chandrasekaran, S. Shanmugan, B. Janarthanan, and S. Kumar, "Review on passive solar distillation," *Desalin. Water Treat.*, vol. 28, no. 1–3, pp. 217–238, 2011, doi: 10.5004/dwt.2011.1742.
- [14] K. C. Tenthani C, Madhlopa A, "Improved solar still for water purification," *T J. Sustain. Energy Environ.*, vol. 3, pp. 111–113, 2012.
- [15] M. K. Gnanadason, P. S. Kumar, V. H. Wilson, and A. Kumaravel, "Productivity enhancement of a single basin solar still," *Desalin. Water Treat.*, vol. 55, no. 8, pp. 1998–2008, 2015, doi: 10.1080/19443994.2014.930701.
- [16] K. Sampathkumar, T. V. Arjunan, P. Pitchandi, and P. Senthilkumar, "Active solar distillation-A detailed review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 6, pp. 1503–1526, 2010, doi: 10.1016/j.rser.2010.01.023.
- [17] O. P. Agboola, U. Atikol, and H. Assefi, "Feasibility assessment of basin solar stills," *Int.J. Green Energy*, vol. 12, no. 2, pp. 139–147, 2015, doi: 10.1080/15435075.2014.889006.
- [18] A. E. Kabeel, "Performance of solar still with a concave wick evaporation surface," *Energy*, vol. 34, no. 10, pp. 1504–1509, 2009, doi: 10.1016/j.energy.2009.06.050.
- [19] V. Velmurugan, K. J. Naveen Kumar, T. Noorul Haq, and K. Srithar, "Performance analysis in stepped solar still for effluent desalination," *Energy*, vol. 34, no. 9, pp. 1179–105 1186, 2009, doi: 10.1016/j.energy.2009.04.029.
- [20] K. S. Ali. F. Muftah, M.A. Alghoul n, Ahmad Fudholi, M.M. Abdul-Majeed, "Factors affecting basin type solar still productivity: A detailed review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 32, pp. 430–447, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.052>.
- [21] T. G. Gaur MK, "Optimization of number of collectors for integrated PV/T hybrid active solar still," *Appl. Energy*, vol. 87, no. 5, pp. 1763–1772, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.10.019>.
- [22] K. G. N. T. Shiv, "Life cycle cost analysis of single slope hybrid (PV/T) active solar still," *Appl. Energy*, vol. 86, no. 10, pp. 1995–2004, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.005>.
- [23] S. Jahangiri Mamouri, H. Gholami Derami, M. Ghiasi, M. B. Shafii, and Z. Shiee, "Experimental investigation of the effect of using thermosyphon heat pipes and vacuum glass on the performance of solar still," *Energy*, vol. 75, pp. 501–507, 2014, doi: 10.1016/j.energy.2014.08.005.

- [24] T. M. Taamneh Y, "Performance of pyramid-shaped solar still: Experimental study," *Desalination*, vol. 291, pp. 65–68, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.01.026>.
- [25] C. Elango, N. Gunasekaran, and K. Sampathkumar, "Thermal models of solar still – A comprehensive review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 47, pp. 856–911, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.03.054.
- [26] H. . Soliman, "Solar still coupled with a solar water heater," *Mosul Univ. Iraq*, p. 43, 1976.
- [27] Mekkidi, K., Houssine, S., MOUNGAR, H., & MEDIANI, A. (2022). *Etude des Performances d'un Distillateur Solaire Dans un Climat Aride* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR).
- [28] KOUIDRI, A., & LITIEM, I. Effet de couplage d'un distillateur solaire à un chauffe eau solaire sur laproduction en eau distillée (Doctoral dissertation).
- [29] Ridha Cherraye, Bachir Bouchekima, Djamel Bechki, Hamza Bouguettaia, and Abderrahmane Khechekhouche. The effect of tilt angle on solar still productivity at different seasons in arid conditions (south algeria). *International Journal of Ambient Energy*, pages 2020,1–7

Résumé

Ce travail consiste à la conception et la réalisation d'un distillateur solaire fonctionnant selon le principe de l'effet de serre et permettant d'obtenir de l'eau distillée qu'on peut utiliser pour usage personnel ou même collectif.

Les résultats obtenus ont montré que plusieurs paramètres influent sur la quantité du distillat ainsi que le rendement du distillateur solaire.

- L'irradiation solaire globale reste le paramètre le plus influant
- La vitesse du vent et la température ambiante
- Le vitrage la qualité et l'inclinaison
- L'isolation, le matériau et l'épaisseur

Toute fois vue le manque de temps ce travail n'est pas complet et cette étude pourrait constituer un début pour des recherches futures. Par ailleurs, le distillateur solaire proposé dans le cadre de ce mémoire reste sujet à des améliorations futures.

Mots clés : *Distillateur solaire, énergie solaire, effet de serre.*