

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



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Énergies renouvelables

Thème

**Influence des quelques paramètres sur le
rendement d'un distillateur solaire**

Devant le jury :

Président : Mr. BOUKHARI ALI

Rapporteur : Mr. ZINE ALI

Examineur: Mr. KHACHANA MOHAMMED

Présenté par :

SEBOUAI MAHMOUD

HEZLA MOHAMMED TAHAR

MAAMRA ABDELBASSET

2018-2019

Remerciements

Je remercie en premier lieu Dieu tout puissant pour avoir m'accordé la puissance et la volonté de terminer ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à monsieur ZINE ALI, Professeur à l'Université ECHAHID HAMMA LAKHDAR d'El-Oued, pour le sujet de recherche qu'il m'a proposé et lui exprimer ma profonde reconnaissance pour tout son aide, sa disponibilité, ses conseils, et surtout l'intérêt qu'il a porté à mon travail et l'attention toute particulière accordée à la lecture et à la correction de ce mémoire.

Et tous nos remerciements et notre gratitude au Dr. Touati Brahim Ammar pour tous les efforts qu'il a déployés pour nous aider dans ce travail.

Nos remerciements vont aussi au président du jury et aux membres du jury examinateurs qui nous fait l'honneur de participer au jury de ce travail.

Tous mes remerciements et mon estime à toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste projet.

NOUS DÉDIONS CE TRAVAIL À NOS CHERS PARENTS

À NOS FRÈRES ET À NOS SŒURS

À NOS CHERS AMIS

Nomenclature

Symbole :

Symbole	Désignation	Unité
A_i	Surface d'un corps d'indice i	m^2
a	Diffusivité thermique du corps d'indice i	m^2/s
Cp_i	Chaleur massique à pression	$J/Kg.C^\circ$
ei	constante Epaisseur du corps	m
g	Accélération de la pesanteur	m/s^2
$h_{i,j}^c$	Coefficient d'échange thermique par convection entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2.C^\circ$
$h_{i,j}^r$	Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2.C^\circ$
$h_{i,j}^{ev}$	Coefficient d'échange thermique par évaporation entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2.C^\circ$
$h_{i,j}^{cd}$	Coefficient d'échange thermique par conduction entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2.C^\circ$
I_g	Rayonnement global incident	W/m^2
I_v	Chaleur latente de vaporisation	KJ/Kg
M	Masse du corps d'indice i	Kg/s
P_v^{gi}	Pression de la vapeur d'eau à la température de la vitre et l'intérieur	Pa
P_v^w	Pression de la vapeur d'eau à la température de la saumure	Pa
P_i	Puissance solaire absorbée par le corps d'indice i	W/m^2
q_{i-j}^c	Flux de chaleur échangée par conduction entre les surfaces matérielles indicées i et j	W

q_{i-j}^r	Flux de chaleur échangée par rayonnement entre les surfaces matérielles indicées i et j	
q_{gi}	Flux de chaleur échangée entre la vitre et l'intérieur	W
q_{ge}	Flux de chaleur échangée entre la vitre et l'extérieur	W
q_{isi}	Flux de chaleur échangée entre l'isolant et l'intérieur	W
q_{ise}	Flux de chaleur échangée entre l'isolant et l'extérieur	W
T_i	Température du corps d'indice i	$^{\circ}C$
v	Vitesse du vent	m/s

Indice :

Indices	Désignation
a	Air ambiant
b	Bac absorbant
c	Ciel
g	Vitre (glass)
gi	Vitrage intérieur
ge	Vitrage extérieur
is	Isolant
isi	Isolant intérieur
ise	Isolant extérieur
w	Eau (water)

Lettres grecques :

Lettres grecques	Désignation	Unité
ϕ	La latitude	Degré (°)
δ	Déclinaison	Degré (°)
ω	L'angle horaire	Degré (°)
α	Coefficient d'absorption	
θ	Angle de réfraction	Degré (°)
β	Inclinaison de la vitre pour le distillateur plan	Degré (°)
η_g	Efficacité globale	(%)
η_i	Efficacité interne	(%)
λ	Conductivité thermique	$W/m^2 \cdot C^\circ$
ν	Viscosité cinématique	m^2/s
μ	Viscosité dynamique	$Kg/m.s$
ε	Emissivité	
ρ	L'albédo du sol	

Sommaire

Introduction.....	1
I. Chapitre I : Connaissance générale sur les techniques de dessalement	2
I.1. Introduction :.....	2
I.1.1. Historique :.....	2
I.1.2. Les eaux à dessaler :	2
I.1.3. Les besoins et les ressources d'eau :	3
I.1.4. Classification des eaux :.....	4
I.2. Techniques de dessalement d'eau :	4
I.2.1. Les Procédés de distillation :.....	6
I.2.2. La distillation à détente successives ou multi stage flash (MSF) :.....	7
I.2.3. Distillation par compression de la vapeur :.....	8
I.2.4. Distillation solaire directe :	8
II. Chapitre II : Théorique du distillateur solaire.	13
II.1. Paramètres de fonctionnement du distillateur solaire à effet de serre :.....	13
II.1.1. Paramètres externes :	13
II.1.2. Paramètres internes :.....	13
II.1.2.2.Paramètres de construction :	14
II.1.2.3.Paramètres optiques :	16
II.1.2.4.Paramètres thermo physiques :.....	16
II.2. Caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire :.....	16
II.2.1. Le rendement(le débit de distillat ou la production) :	16
II.2.2. L'efficacité :	17
II.2.3. La performance :	18
II.3. Bilan thermique d'un distillateur :.....	18
II.3.1. Distillateur plan :	18
II.4. Mise en équation des échanges thermiques :.....	19
II.5. Bilan thermique en régime permanent :	20
II.5.1. Distillateur plan :	20
II.6. Bilan thermique en régime transitoire :.....	22

II.6.1. Distillateur plan :	23
II.7. Expression des différents coefficients d'échange thermique :	24
II.7.1. Echange par conduction :	24
II.7.2. Echange par convection :	24
II.7.3. Echange par rayonnement :	27
II.7.4. Echange pendant le changement de phase :	28
III. Chapitre III : Réalisation des distillateurs solaires à effet de serre:	29
III.1. Conception et montage des distillateurs solaires :	29
III.1.1. Distillateur solaire à pente unique (ordinaire) :	29
III.1.2. Distillateur solaire à canette :	31
III.1.3. Distillateur solaire à cascade d'absorbant demi-cylindre :	32
III.1.4. Distillateur solaire à cascade d'absorbant parallélépipède :	33
III.1.5. Distillateur solaire à tube :	34
III.2. Composants standards :	37
IV. Chapitre IV: Résultats et discussions:	38
IV.1. Introduction:	38
IV.2. Comparaison entre distillateur à pente unique (ordinaire) et distillateur à canette :	39
IV.3. Comparaison entre distillateur à pente unique (ordinaire) et à cascade d'absorbant demi-cylindre:	41
IV.4. Comparaison entre distillateur à cascade du l'absorbant demi-cylindre et distillateur à cascade du l'absorbant parallélépipède :	43
Conclusion :	46

Référence Bibliographie

Annexes

Introduction

Introduction

Les besoins en eau potable dans le monde augmentent d'une manière continue, alors que les réserves souterraines se trouvent constamment diminuées. Les réserves d'eau saumâtres ont des teneurs en sel qui varient de 1500 à 2000 (ppm), dépassant les normes exigées pour une eau potable. Le dessalement de ces eaux ou des eaux de mer par des unités classiques de traitement nécessite beaucoup d'énergie électrique et ou calorifique. Il s'avère que les régions où l'eau potable est un bien rare et l'énergie électrique nécessaire à la production de l'eau douce à partir d'eau saumâtre et ou d'eau salée souvent inexistante, soient les zones les plus ensoleillées du globe. Aussi l'homme de ces régions déshéritées pourra pallier aux contraintes de ravitaillement et fourniture énergétiques en s'intéressant à l'utilisation de l'énergie solaire pour le dessalement. Plusieurs types de distillateurs solaires ont été construits et essayés à travers le monde.

L'objectif essentiel de ce travail concerne l'étude expérimentale sur l'influence des quelques paramètres sur le rendement de distillateurs solaires.

On a organisé notre mémoire en quatre chapitres et des parties annexe :

Le premier chapitre : est consacré à la présentation de la connaissance générale sur les techniques de dessalement, et une recherche bibliographique concernant les différents types de distillateurs.

Le deuxième chapitre : présent l'étude théorique du distillateur solaire.

Le troisième chapitre : présente un travail expérimental qui concerne la réalisation et le teste des différents types des distillateurs solaires compris le nouveau distillateur conçue dans le cadre de ce travail, afin d'avoir une comparaison entre eux.

Le quatrième chapitre : Ce chapitre est consacré à une présentation des résultats qui obtenus dans l'étude expérimentale sous forme des graphes avec leurs interprétations.

Finalement la dernière partie de ce travail concerne les conclusions retenues de cette étude ainsi que les différentes recommandations pour de futurs travaux dans ce domaine.

Chapitre I : Connaissances générale sur les techniques de dessalement

I. Chapitre I : Connaissance générale sur les techniques de dessalement

I.1. Introduction :

Les problèmes en relation avec l'eau sont nombreux et très divers. Il n'y a donc aucune solution simple permettant de répondre à sa demande dans n'importe quel pays.

Le dessalement de l'eau marine ou saumâtre est un processus qui permet d'extraire le sel pour la rendre potable ou l'utiliser pour l'irrigation.

I.1.1. Historique :

Dés le IV^{ème} siècle avant JC, **Aristote** observe le principe de la distillation. Au XII^{ème} siècle, **Abélard de Bath** décrit deux expériences dans les questions naturelles « au soleil, après l'évaporation sur une roche, l'eau de mer se transforme en sel ; lorsque le soleil fait défaut, on chauffe l'eau de mer et sous l'effet de la cuisson on la voit également se transformé en sel. Cette métamorphose explique que la mer soit plus salée l'été que l'hiver, que les mers méridionales le soient davantage que les mers septentrionales ».

Depuis les temps les plus anciens, les marins ont dessalé l'eau de mer à partir de simples bouilleurs sur leurs bateaux, mais l'utilisation à des fins industrielles est récente. Dans les années 60, les procédés thermiques sont mis au point et utilisés pour dessaler l'eau de mer. Par ailleurs, des recherches sont développées sur les procédés de dessalement.

I.1.2. Les eaux à dessaler :

La terre est recouverte d'eau à 71%. Cependant 98% de ce volume à une concentration en sel trop élevée pour être potable ou même ne serait-ce que pour être utilisée dans l'irrigation ou dans l'industrie.

Le problème est que des pays pauvres vont manquer d'eau potable dans les années à venir et cela risque d'engendrer des guerres.

I.1.3. Les besoins et les Ressources d'eau :

Sur le plan mondial, la demande en eau potable de bonne qualité est plus en plus forte. En effet, la population augmente rapidement et les besoins en eau de l'industrie de l'agriculture sont de plus en plus élevés.

Les besoins en eau sont principalement répartis 4 types de consommation :

55% de l'eau consommée sert à fournir de l'énergie (barrage hydroélectrique, refroidissement des centrales nucléaires, énergie géométrique, etc....). 18% est consommée par les particuliers. 15% est utilisée par l'agriculture. 12% est consacrée par un usage industriel.

Les principales ressources en eau distribuées dans le monde entier représentent dans le tableau suivant [1] :

Ressources	Volume (m3)	Total pour cent De l'eau	Pour cent de l'eau douce
Eau atmosphérique	12900	0.001	0.01
Glaciers	24064000	1.72	68.7
La glace de sol	300000	0.021	0.86
La glace de sol	2120	0.0002	0.006
Lacs	176400	0.013	0.026
Marais	11470	0.0008	0.03
l'humidité du sol	16500	0.0012	0.05
Aquifères	10530000	0.75	30.1
Lithosphère	23400000	1.68	
Océans	1338000000	95.81	
Totale	1396513390		

Tableau I.1: Distribution des ressources en eau dans le monde entier

I.1.4. Classification des eaux :

Lorsqu' on classe les eaux en fonction des quantités de matières dissoutes qu'elles contiennent, on obtient les données présentées au **Tableau I.2.**

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.

Type d'eau	Salinité (mg/L)
Eau douce	<500
Eau légèrement saumâtre	1000-5000
Eau modérément saumâtre	5000-15000
Eau très saumâtre	15000-35000
Eau de mer	35000-42000

Tableau I.2 : Classification des eaux selon la salinité

I.2. Techniques de dessalement d'eau :

Il existe essentiellement deux familles de technologies de dessalements utilisés dans le monde d'aujourd'hui. Il s'agit notamment de technologies thermiques et de technologies à membrane (10.).

Les technologies thermiques sont celles que le chauffage de l'eau fait le recueil de la vapeur condensée (distillation) pour produire de l'eau pure. Elles sont rarement utilisées pour dessaler l'eau saumâtre (eau de moins de 10,000 milligrammes par l de matières en suspension), comme il n'est pas rentable pour cette application. Les technologies thermiques contiennent les éléments de processus de types :

- Distillation à multi stage flash (**MSF**).
- Distillation à effets multiples (**MED**).
- Distillation par compression de la vapeur (**VC**).

Les technologies à membranes minces, qui utilisent une membrane semi-perméable les alimentant en deux flux de divergents de concentration, un produit courant et de se

concentrer. Dans les applications de dessalement, l'alimentation est soit l'eau de mer ou saumâtre.

Les technologies de membrane comportent des spécifiques processus suivants:

a. L'électrodialyse :

L'électrodialyse repose sur la mise au point et l'utilisation de membranes semi-perméables à l'eau sélectives pour les ions. Ainsi. Seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique. Et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique. Pour construire un électro dialyseur; on place dans un bac des membranes anioniques en alternance avec des membranes cationiques. Lorsque le bac est rempli d'une solution; on crée une différence de potentiel continue entre le premier et le dernier compartiment. Le fonctionnement d'un tel électro dialyseur est illustré dans la figure I.1. On remarque que les ions du sodium, Na^+ de la cellule n°2, attirés vers l'électrode négative, traversent la membrane cationique C_1 . Tandis que les ions de chlorures, Cl^- , attirés vers l'électrode positive, traversant la membrane anionique A_1 , les ions Na^+ et Cl^- sont ainsi concentrés dans la cellule n°3. En effet dans cette dernière, les ions Na^+ sont attirés vers l'électrode négative, mais ils ne peuvent pas traverser la membrane anionique A_1 . et les ions Cl^- , attirés vers l'électrode positive, ne peuvent pas traverser la membrane cationique C_2 . Après un certain temps, on retrouve donc une solution plus concentrée dans les cellules n° 2 et 4. En pratique, on multiplie le nombre de cellules. L'alimentation de ces cellules en eau salée peut avoir lieu en parallèle (figure I. 1.b) ou en série (figure I. 1.a) (01.).

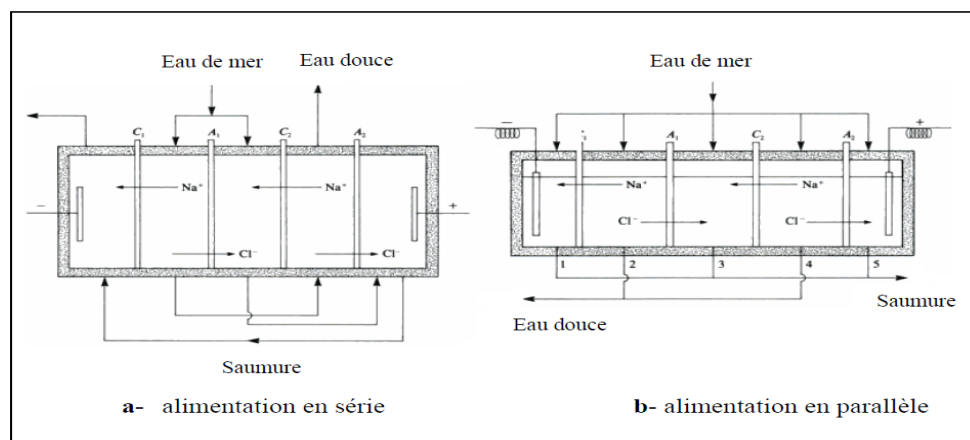


Figure I.1 : Unité électrodialyse

b. L'osmose inverse :

L'eau salée est filtrée sous pression à travers une membrane semi-perméable (un matériau qui laisse passer le solvant- l'eau dans notre cas, les sels et les micro-organismes sont retenus par ce dernier.

Elle consiste à appliquer à cette eau salée une pression importante, qui nécessite une consommation énergétique élevée, pour la faire passer à travers la membrane, seules les molécules d'eau traversent la membrane,

Ce procédé nécessite toutefois un traitement de l'eau en amont.

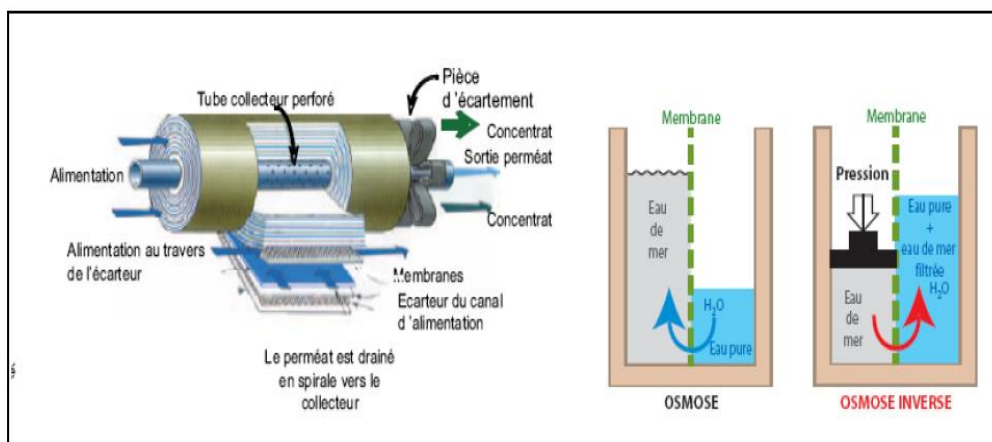


Figure I.2: principe de l'osmose inverse

I.2.1. Les Procédés de distillation :

Pour leur fonctionnement, les procédés à distillation nécessitent en grande partie de l'énergie thermique pour assurer le chauffage de l'eau salée. Pour l'eau de mer, De plus cette énergie thermique doit être fournie à un niveau de température relativement faible, entre 60 et 120°C suivant la technologie adoptée. La source de chaleur peut être fournie, dans le cas d'un couplage solaire, par des capteurs plans ou à concentration.

Les procédés les plus utilisés et qui sont susceptibles d'être couplés à une source d'énergie solaire sont (02.)

- Les procédés à distillation classique tel le procédé à Multi-stage flash, à compression de vapeur.
- La distillation solaire directe à effet de serre qui consiste en un procédé proprement solaire.

I.2.2. La distillation à détente successives ou Multi stage flash (MSF) :

La distillation Multi-Stage Flash est une autre méthode généralement utilisée pour le dessalement de l'eau. La pratique des performances maximales pour un ratio de MSF est de 5.17Kg/MJ. Chaque étape d'une usine de MSF fonctionne progressivement à basse pression, que l'eau bouillie à plus faible températures (figure I.3). Pour cette technique, l'alimentation en eau est chauffée en vertu de suffisamment pression élevé pour empêcher l'ébullition, jusqu'à ce qu'il atteigne le premier "flash chambre." Dans la première chambre de flash. La pression est soudainement remise en liberté et l'évaporation ou «clignotant» a lieu. Ce clignotant d'une petite portion de l'aliment pour animaux continue à chaque étape, parce que la pression dans chacun d'eux est plus faible. Contrairement à l'effet de processus multiples, ce processus régénère et sa vapeur se condense dans le même effet (la scène). Ainsi, ce modèle offre l'avantage de la récupération de la chaleur. C'est l'alimentation en eau en passant par l'échangeur de chaleur dans la section supérieure de la chambre de flash. La vapeur est condensée au niveau de cet échangeur où elle rétrocede sa chaleur latente de vaporisation.

Deux sections distinctes de chaque étape sont les clignotants chambre (où les vapeurs sont produites) et la section de condensation (où les vapeurs sont condensées). La quantité d'eau que les éclairs doit être proportionnel à la différence de température entre les étapes. Ainsi, plus la différence température, plus la quantité de vapeur flashée. Une fois que la vapeur est flashée, le concentré de la température diminue jusqu'à ce qu'elle soit en équilibre thermodynamique avec la pression. Comme la vapeur est produite, le concentré d'eau devient de plus en plus concentré. La section de condensation contient le tube échangeur de chaleur où les vapeurs sont condensés par refroidisseur d'eau de mer ou l'eau d'alimentation.

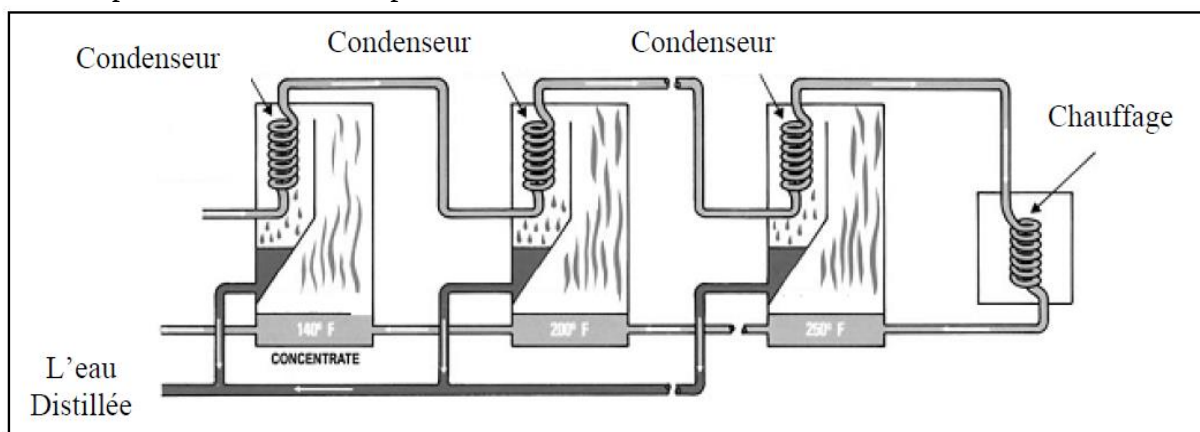


Figure I.3: distillateur à Multi stage flash

I.2.3. Distillation par compression de la vapeur :

Le principe de dessalement d'eau salée par compression de vapeur est celui d'une pompe à chaleur ; où l'eau salée est évaporée après avoir été préchauffée des gouttelettes entraînées par un séparateur. Sa pression ayant été élevée, grâce à la chaleur latente de condensation qui est transférée, le cycle d'évaporation et de condensation peut ainsi fonctionner. La vapeur condensée de l'eau douce est extraite, ainsi que la saumure concentrée contenant du sel. A cause de problème de corrosion et d'entartrage des composants, un tel dispositif fonctionne généralement à une température limitée à environ 60°C (l'eau salée bout sous vide partiel) avec un facteur de concentration égal à deux : 1m³ d'eau salée (35g/l de sel) donnera 500 litres d'eau douce et 500 litres de saumure à 70 g/l de sel seront rejetés à la mer. Ce dispositif permet de ne consommer qu'une dizaine de kilowattheures électriques (03.).

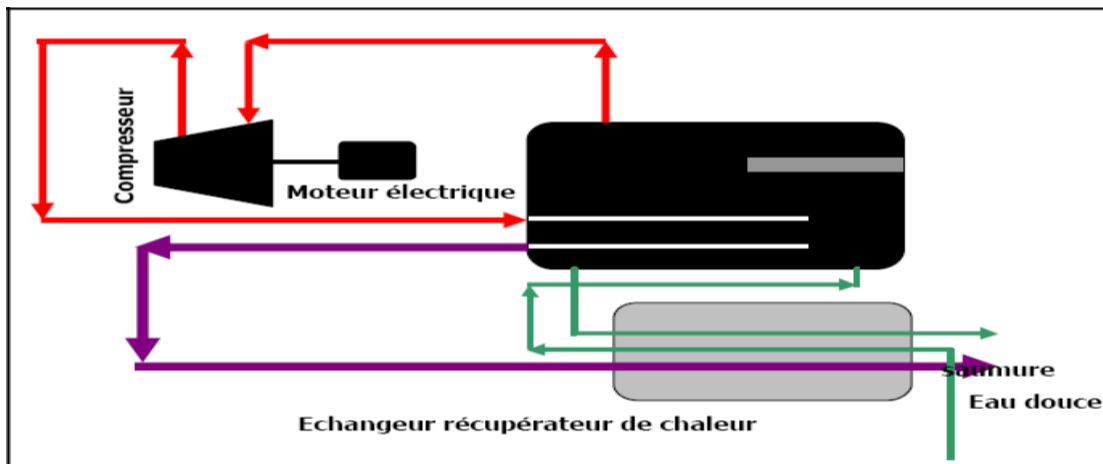


Figure I.4: distillateur à compression de la vapeur

I.2.4. Distillation solaire directe :

Le dessalement des eaux saumâtres ou des eaux de mer par distillation solaire est une opération très utilisée dans les régions arides; la distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer l'eau saumâtre.

Les procédés de dessalement par distillation utilisant l'énergie solaire sous forme thermique sont :

- Distillation solaire à multiples effets.
- Distillation solaire à effet de serre.

A. Distillation à effets multiples (MED) :

L'eau salée est chauffée dans le premier effet, vaporisant une fraction de celle-ci une partie de cette vapeur est condensée par le faisceau tubulaire ou circule de l'eau de mer relativement froide. L'autre partie de la vapeur est renvoyée dans l'effet suivant, de même une partie de la saumure chauffée dans le premier effet est également utilisée pour chauffer l'eau salée de mer dans le second.

La vapeur en provenance du premier effet se condense dans le deuxième sur le faisceau tubulaire, et produit une quantité presque égale de vapeur à partir de l'eau salée, et ainsi de suite. A chaque effet, l'eau distillée est envoyée vers un collecteur.

Le procédé MED (figure I.5) produit presque l'eau pure (5 à 25 ppm TDS ; concentration totale des sels) à partir de l'eau de mer avec un TDS de 3500 à 4500 ppm.

Ce procédé est mieux disposé à s'adapter à l'énergie solaire. Cette adaptation peut se faire soit avec des (02.):

Des capteurs solaires plans pour les petites unités allant jusqu'à plusieurs m³/jour.

Des capteurs à concentration pour les 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.

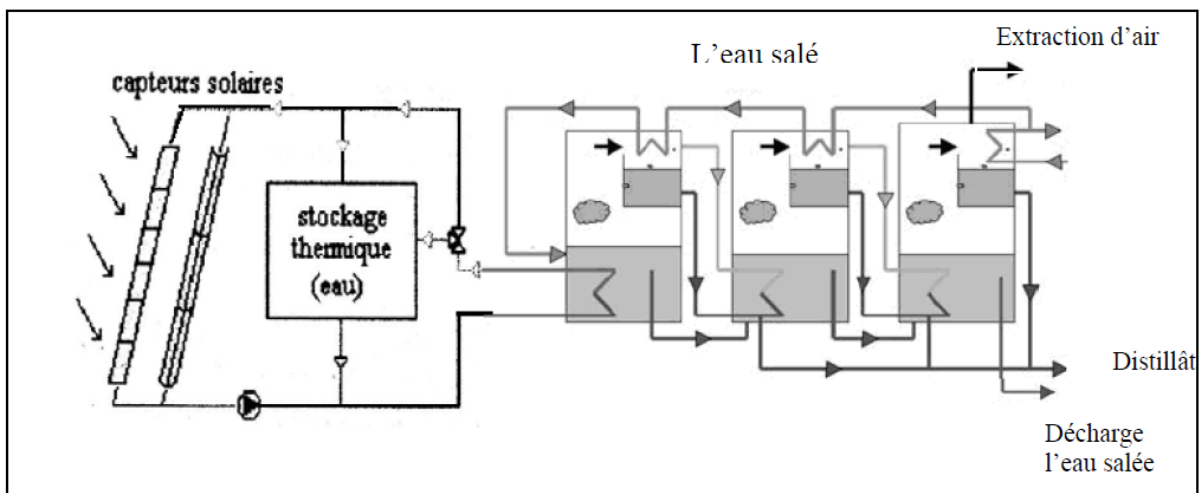


Figure I.5: Schéma de principe de procédé de MED

B. Distillation solaire à effet de serre :

Ce procédé consiste à chauffer 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, 5 litres/jour .m²

Il existe cependant deux types de fabrications de distillateur, ces derniers peuvent être construites soit (02.):

Sous forme de produit modulable, il s'agit généralement d'un bac (plastique, 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 et 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...).

Il existe cependant plusieurs variantes dont on peut citer le distillateur plan, en cascade, à mèche, à multiples 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. Un certain nombre d'applications est effectué généralement dans les zones rurales où les surfaces au sol sont disponibles.

➤ **Première apparition d'un distillateur solaire :**

La distillation solaire est une technologie d'une très grande histoire. L'utilisation moderne de l'énergie solaire pour la distillation de l'eau salée ou saumâtre a commencé en 1872, dans le nord du Chili par l'installation d'un distillateur solaire de type bassin, qui a permis de satisfaire les besoins de la communauté, pendant plusieurs années tel que décrite par les références (04.) et (05.).

L'ingénieur anglais **WILSON** dirigeant une exploitation minière à Las Salinas au Chili, eut à résoudre un problème d'abreuvement de 4000 mules qui transportaient en convois les minerais de nitrate. Ne disposant que d'eau ayant une salinité égale à 140 g/l soit environ 4

fois supérieure à celle de l'eau de mer, il décida de construire un distillateur solaire en bois de 4460 m² qui devait fournir environ 20 m³/jour d'eau douce. Il faut reconnaître que les conditions étaient particulièrement favorables si l'on tient compte de la latitude du lieu, de son altitude (1400 mètres) et de la pureté de l'atmosphère. Cette installation resta en exploitation jusqu'en 1908 soit plus de 40 ans, un record de dimension et de durée a été ainsi établi dès le départ.

Un regain d'intérêt pour la distillation solaire eut lieu vers 1925 sous l'impulsion du gouvernement français qui ouvrit un concours ; ce qui conduisit à un effort d'invention en France et en Afrique du Nord. En 1929 une installation due à *GINESTOUS* groupant 30 appareils de 1 m² a été exploitée à *BEN GARDANE* en Tunisie (02.).

Pendant la deuxième guerre mondiale, des appareils repliables ont été réalisés pour les canots de sauvetages. Il s'agissait d'appareils circulaires en plastique, à fond conique lesté, la partie supérieure étant semi sphérique et qui flottaient une fois gonflés. Ces appareils ont été fabriqués en grandes quantités.

Depuis 1954, les expériences se sont multipliées en particulier sous les auspices de l'**Office of Saline Water** (OSW) du Département de l'intérieur des Etats Unis et ont abouti à la construction de grandes installations à couverture de verre et de plastique à *DAYTONA BEACH*, en Floride. Ces installations ont été exploitées pendant plusieurs années et les résultats obtenus ont été publiés. (02.)

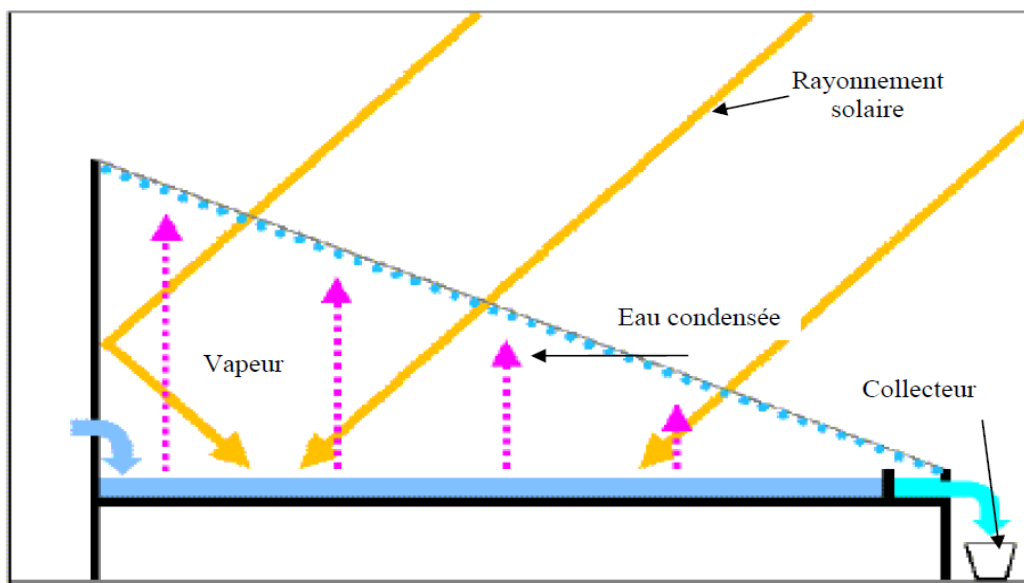


Figure I.6: Coupe sur un distillateur solaire artisanal

➤ **Description et principe de fonctionnement des différents distillateurs solaire:**

On distingue deux types de distillateurs solaires à effet de serre, dont la condensation n'est pas séparée de l'évaporation : distillateurs statiques et distillateurs à ruissellement.

• **Les distillateurs statiques :**

Ce sont des distillateurs dont la nappe d'eau à distiller est immobile. Les principales géométries rencontrées sont représentées ci-dessous :

○ Le distillateur plan :

Ce système de distillateur figure I.7, est essentiellement constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre. La partie inférieure est recouverte d'un plan d'eau (eau saumâtre ou eau de mer). Sous l'action de flux solaire, transmis par la couverture transparente, l'eau s'échauffe et une partie de celle-ci s'évapore. La vapeur produite se condense sur la face intérieure de la vitre et le condensât est récupéré par un récepteur. Un appoint d'eau compense le débit de distillât (03.).

Afin de réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur les parois latérales et inférieure sont isolées (06.), (07.), (08.).

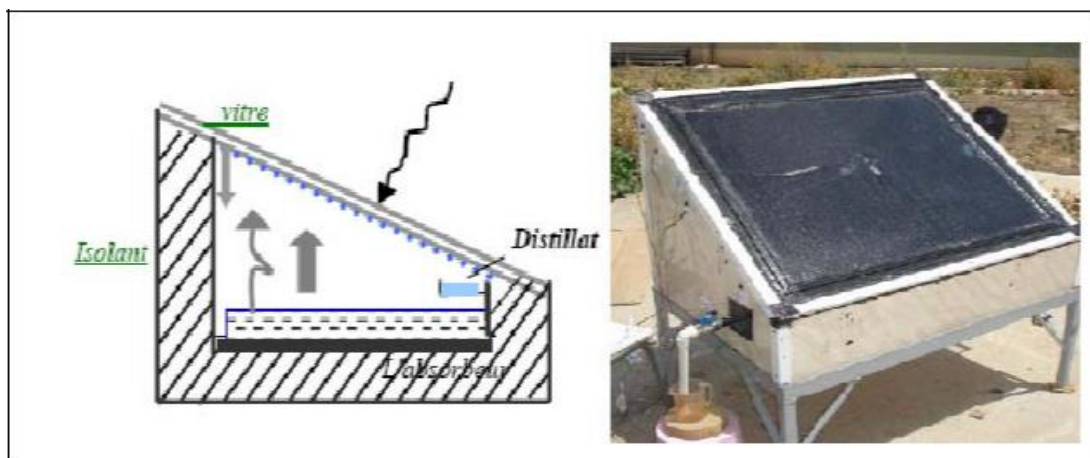


Figure I.7 : Distillateur solaire plan

○ Le distillateur sphérique :

C'est un distillateur en plexiglas figure I.8, 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 noir contenant l'eau à distiller qui se trouve dans le plan médian (09.):

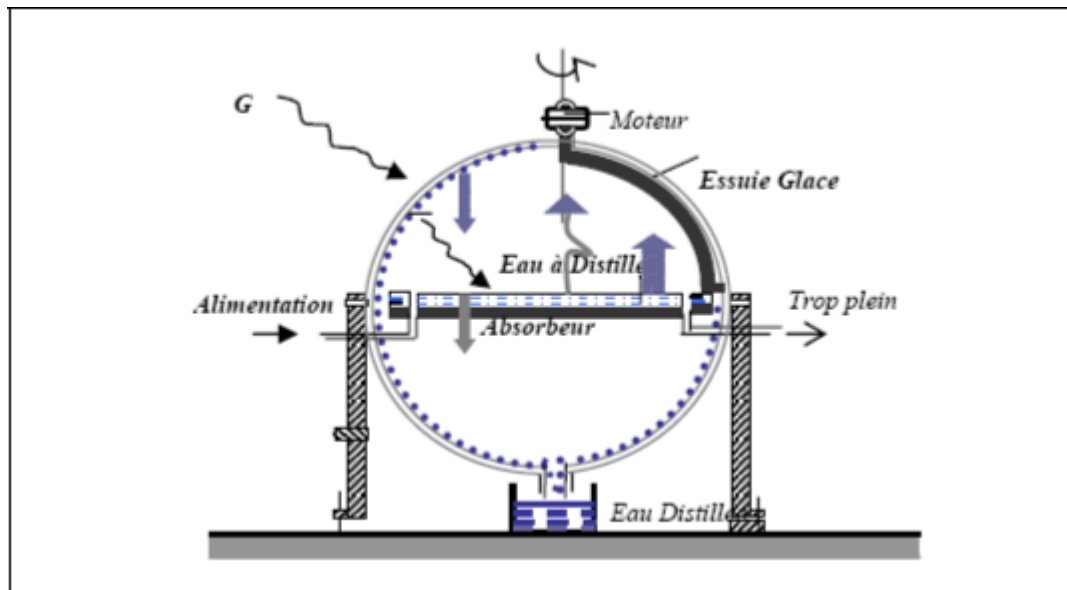


Figure I.8 : Distillateur solaire sphérique

Un essuie-glace entraîné par moteur électrique, permet de maintenir la surface de condensation au rayonnement, et d'assurer un drainage rapide des gouttelettes (06.), (09.).

Le principe de fonctionnement est similaire à celui du distillateur plan.

○ distillateur solaire à cascades :

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. Un modèle de ce type, représenté dans la figure I.9 n'a été exécuté qu'en petites tailles. Ces appareils fonctionnent bien mais leur construction et leur entretien sont coûteux,

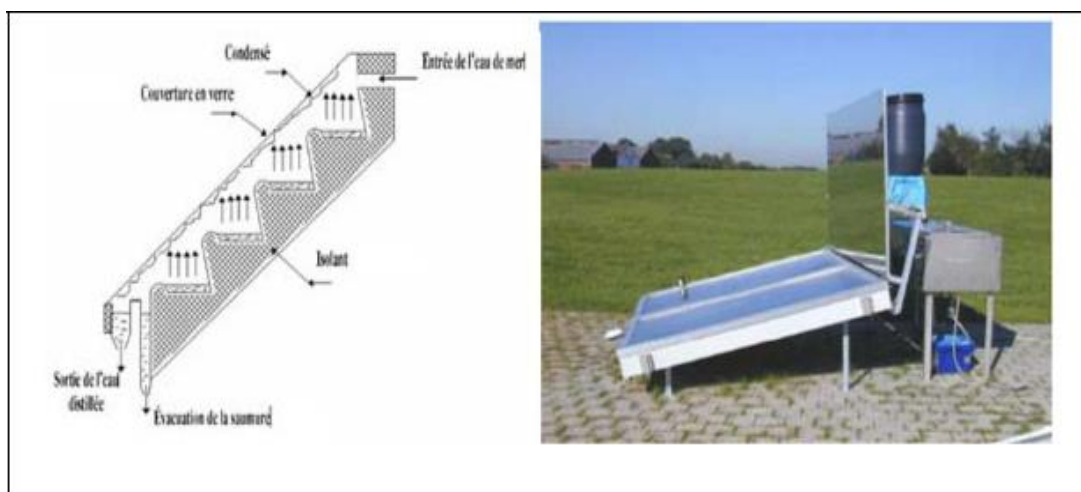


Figure I.9 : distillateur solaire à cascade

Chapitre II : Etude théorique du distillateur solaire

II. Chapitre II : Théorique du distillateur solaire.

Le choix d'un distillateur solaire dépend d'une grandeur appelée caractéristique de fonctionnement : le débit de distillat, l'efficacité globale et l'efficacité interne, qui sont généralement influencés par les paramètres de fonctionnements (11.).

II.1. Paramètres de Fonctionnement du Distillateur solaire à effet de serre :

Deux types de paramètres influençant le système de distillation pour un site donné doivent être pris en compte :

II.1.1. Paramètres Externes :

Ces paramètres sont liés au site :

- a) **Paramètre géographiques** : tels que la longitude, la latitude et la hauteur du soleil.
- b) **Paramètres Météorologiques** : dont les plus fréquemment retenus sont :
 - la vitesse du vent, qui intervient surtout dans l'échange par convection entre la face externe de la vitre et l'ambiance
 - la température ambiante dont l'augmentation conduit à une décroissance de la production
 - d'autres paramètres atmosphériques tels que la pluie, la rosée, la poussière peuvent également avoir une influence.
 - paramètres d'ensoleillement (rayonnement global, position du soleil.....) :

Il est évident que la production dépend de la quantité de chaleur que reçoit le distillateur (l'irradiation globale incidente).

- c) **Nature de l'eau à traiter** : choix du prétraitement, taux de conversion et rapport de la performance.

II.1.2. Paramètres internes :

II.1.2.1. Paramètre de position :

- L'emplacement du distillateur : où les distillateurs doivent être placés de façon à éviter les obstacles " l'effet de masque", qui empêchent le rayonnement solaire d'atteindre la surface de captation.

- L'orientation : elle dépend essentiellement du fonctionnement du distillateur pendant la Journée on distingue entre autres :
 - ✓ Fonctionnement pendant la matinée : orientation Est
 - ✓ Fonctionnement pendant l'après-midi : orientation Ouest
 - ✓ Fonctionnement durant toute la journée : orientation Sud
- L'inclinaison : où elle est généralement liée à la période de fonctionnement durant l'année :
 - ✓ Fonctionnement estival : $\beta = \phi - 10^\circ$
 - ✓ Fonctionnement hivernal : $\beta = \phi + 20^\circ$
 - ✓ Fonctionnement annuel : $\beta = \phi + 10^\circ$ D'où : ϕ est la latitude du lieu.

II.1.2.2. Paramètres de construction :

Les matériaux utilisés dans la construction du distillateur ont une grande influence sur le fonctionnement de ce dernier, notamment :

a. La couverture :

- 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.
- Son inclinaison par rapport à l'horizontal.

b. La surface absorbante :

Le rôle de l'absorbeur est de transformer le rayonnement solaire incident en un flux thermique.

Les caractéristiques idéales sont :

- Un facteur d'absorption proche de l'unité ;
- Une bonne conductivité thermique ;
- Une bonne résistance chimique vis à vis du fluide qui le baigne ;
- Une faible inertie thermique ;

- Résistance aux grandes températures sans qu'il y'ait une détérioration de la surface absorbante ;

On choisit généralement l'aluminium et le cuivre recouverts d'une mince couche de peinture

Noire mate, pour augmenter le pouvoir d'absorption et réduire les pertes thermiques par réflexion et diffusion.

c. La distance entre la surface d'évaporation et la surface de condensation :

Ce paramètre détermine l'intensité des pertes thermiques latérales par convection, et la grandeur de la couche tampon qui freine l'échange entre la surface d'évaporation et la surface de condensation. Une étude menée par (16.) a montré qu'une réduction de ce paramètre augmente le facteur de performance brut.

d. Les paramètres de la saumure :

Ces paramètres sont :

❖ L'épaisseur de la nappe d'eau :

Plus cette dernière est importante, moins sa température fluctue au cours de la production. L'inertie thermique augmente avec l'épaisseur de la nappe d'eau, et la durée de fonctionnement nocturne croît également avec l'épaisseur de la saumure. Cependant, la production moyenne pendant 24 heures diminue lorsque l'épaisseur augmente. Des expériences ont montré que cette production suit la loi suivante (12.) :

$$y = \frac{a}{x-b} + c \quad (\text{II.1})$$

Avec :

y : La production.

x : L'épaisseur de la saumure.

a, b, c : Paramètres dépendant de la forme de l'appareil et des conditions locales.

❖ La température de la saumure :

Lorsque la température de la saumure augmente, un dépôt blanc sur la surface libre de l'eau due à la formation de carbonates insolubles dans la saumure est observé (14.). Ceci empêche le

rayonnement solaire d'atteindre la surface absorbante, entraînant ainsi une baisse dans la production.

❖ La concentration du sel :

La production du distillateur se trouve diminuée quand la concentration augmente.

II.1.2.3. Paramètres optiques :

Ces paramètres sont : l'émissivité, l'absorptivité, la réflectivité et la transmissivité de la surface absorbante et de la couverture.

II.1.2.4. Paramètres thermo physiques :

Les paramètres thermo physiques sont :

- 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 dynamique, 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.

II.2. Caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire :

Un distillateur solaire est caractérisé essentiellement par les grandeurs suivantes (12.), (13.):

II.2.1. Le 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.

$$m_d = \frac{q_{ev}}{L_v} \quad (II.2)$$

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

L_v : Chaleur latente de vaporisation.

II.2.2. L'efficacité :

- L'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 :

$$n_g = \frac{q_{ev}}{I_g \cdot A_g} = \frac{m_d \cdot L_v}{I_g \cdot A_g} \quad (II.3)$$

Avec :

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

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

I_g : Énergie solaire globale incidente par mètre carré (m^2) sur une surface horizontale,

Pendant

Un jour.

L_v : Chaleur latente de vaporisation.

m_d : Le débit du distillat.

- L'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.

$$n_i = \frac{q_{ev}}{q_w} = \frac{m_d \cdot L_v}{\alpha_t \cdot I_g \cdot A_g} \quad (II.4)$$

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

$$\varphi_w = (\tau_v \alpha_e + \tau_v \alpha_e \alpha_f) \cdot I_g A_g \quad (II.5)$$

En posant :

$$\alpha_t = \tau_v \alpha_e + \tau_v \alpha_e \alpha_f \quad (II.6)$$

Donc :

$$\varphi_w = \alpha_t I_g A_g \quad (II.7)$$

Il en résulte :

$$n_i = \frac{n_g}{\alpha_t} \quad (\text{II.8})$$

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

II.2.3. La performance :

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière absolue a amené ainsi Satcunanathan et Hansen (16.) à définir le facteur de performance brut(F.P.B) et le facteur de performance horaire(F.P.H) :

$$FPB = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout de 24 h}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout de 24h}} \quad (\text{II.9})$$

$$FPH = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout d'une heure}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout d'une heure}} \quad (\text{II.10})$$

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

$$F.P = \frac{m_d}{\alpha_t . I_G . A_g} \quad (\text{II.11}).$$

II.3. Bilan thermique d'un distillateur :

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

Avant d'établir le bilan énergétique global d'un distillateur solaire, il faut déterminer, en premier lieu, les principaux transferts de chaleur à l'intérieur et à l'extérieur.

II.3.1. Distillateur plan :

- La saumure cède les flux de chaleur par rayonnement « q_{w-g}^r », par convection naturelle
- La surface de condensation (vitre) « q_{w-g}^c », et le flux de chaleur perdu par la nappe

D'eau au cours de changement de phase (évaporation) « q_{w-g}^{ev} ».

- Par conduction et par convection, la nappe d'eau reçoit du bac absorbant les flux de Chaleur « q_{b-w}^{cd} » et « q_{b-w}^c ».
- Par conduction, le bac absorbant cède un flux de chaleur « q_{b-isi}^{cd} » à l'isolant.

- La vitre cède au milieu ambiant, les flux de chaleur « q_{g-a}^r » par rayonnement et par convection « q_{g-a}^c ».
- L'isolant échange avec l'extérieur les flux de chaleur par rayonnement « q_{ise-a}^r » et Par convection « q_{ise-a}^c »
- Un rayonnement solaire, frappant la surface de la vitre sera absorbé par la vitre, par la Saumure et par le bac absorbant, successivement.

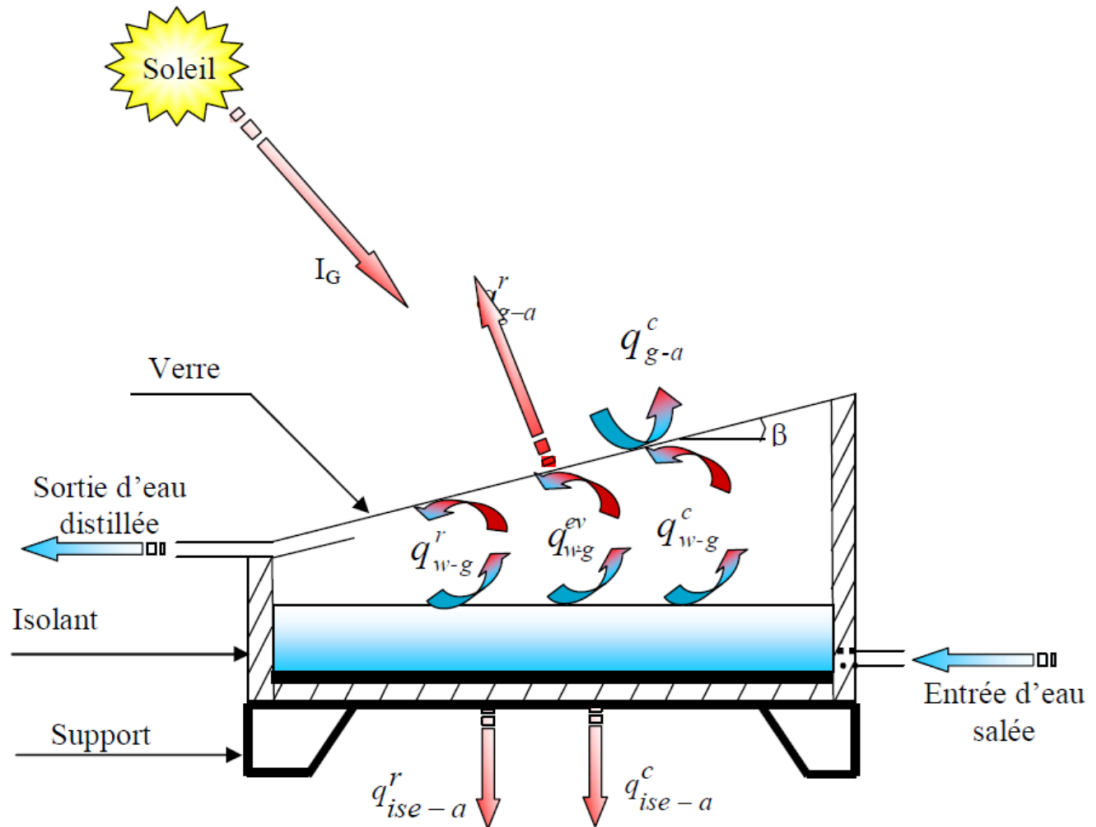


Figure II.1 : Bilan énergétique d'un Distillateur solaire à effet de serre simple

(Distillateur plan)

II.4. Mise en équation des échanges thermiques :

Dans le cadre de cette étude, nous avons adopté les hypothèses simplificatrices suivantes:

- La couverture est propre.
- La température de chaque composant est uniforme.
- Le soleil est assimilé à un corps noir.

- La chaleur perdue par addition d'eau d'appoint et celle emportée par le distillat sont supposées négligeables.
- Les parois latérales sont supposées adiabatiques.
- Les propriétés physiques des matériaux sont considérées constantes.
- La condensation se fait uniquement sur la couverture (il n'y a pas de condensation sur Les parois latérales).
- La concentration de la saumure n'intervient pas dans les transferts de chaleur et de masse à partir de et vers la saumure.
- La condensation de l'eau sur la couverture est homogène et continue (le verre possède Une bonne mouillabilité).
- Le bassin est étanche.

II.5. Bilan thermique en régime permanent :

II.5.1. Distillateur plan :

- **Au niveau de la vitre :**

La vitre reçoit :

$$q_{gi} = q_{w-g}^c + q_{w-g}^r + q_{w-g}^{ev} + P_g \cdot A_g \quad (\text{II.12})$$

Avec:

q_{gi} : La quantité de chaleur reçue par la vitre.

A_g : Aire de la vitre.

P_g : est la puissance absorbée par la vitre, déterminée par la relation suivante (16.):

$$P_g = (1 - R_g) \cdot \alpha_g \cdot I_G \quad (\text{II.12a})$$

R_g et α_g : sont respectivement les coefficients de réflexion et d'absorption de la vitre.

La vitre cède :

$$q_{ge} = q_{g-a}^c + q_{g-a}^r \quad (\text{II.13})$$

Où:

$$q_{w-g}^c = h_{w-g}^c \cdot (T_w - T_{gi}) \cdot A_g \quad (\text{II.13a})$$

$$q_{w-g}^r = h_{w-g}^r \cdot (T_w - T_{gi}) \cdot A_g \quad (\text{II.13b})$$

$$q_{w-g}^{ev} = h_{w-g}^{ev} \cdot (T_w - T_{gi}) \cdot A_g \quad (\text{II.13c})$$

$$q_{g-a}^r = h_{g-a}^r \cdot (T_{ge} - T_a) \cdot A_g \quad (\text{II.13d})$$

$$q_{g-a}^c = h_{g-a}^c \cdot (T_{ge} - T_a) \cdot A_g \quad (\text{II.13e})$$

L'échange par conduction entre l'intérieur et l'extérieur est :

$$q_g = \frac{\lambda_g}{e_g} \cdot (T_{gi} - T_{ge}) \cdot A_g \quad (\text{II.14})$$

- **Au niveau de la masse d'eau :**

$$p_w \cdot A_w + q_{b-w}^c = q_{w-g}^c + q_{w-g}^{ev} + q_{w-g}^r \quad (\text{II.15})$$

Où :

$$q_{b-w}^c = h_{b-w}^c (T_b - T_w) A_w \quad (\text{II.15a})$$

P_w : La puissance absorbée par la saumure donnée par la relation (16.):

$$p_w = (1 - R_g)(1 - \alpha_g)(1 - R_w)\alpha_w I_G \quad (\text{II.15b})$$

Avec:

R_g et α_g : sont respectivement les coefficients de réflexion et d'absorption de la vitre.

R_w et α_w : sont respectivement les coefficients de réflexion et d'absorption de la saumure.

- **Au niveau du bac absorbant :**

$$P_b \cdot A_b = q_{b-w}^c + q_{b-isi}^{cd} \quad (\text{II.16})$$

Où :

$$q_{b-isi}^{cd} = h_{b-isi}^{cd} \cdot (T_b - T_{isi}) A_b \quad (\text{II.16a})$$

P_b : La puissance absorbée par le bac absorbant et peut être calculée par la relation (16.):

$$P_b = \alpha_b(1 - R_g)(1 - \alpha_g)(1 - R_w)(1 - \alpha_w)I_G \quad (\text{II.16b})$$

• **Au niveau de l'isolant :**

Coté intérieure : $q_{isi} = q_{b_isi}^{ca} \quad (\text{II.17})$

Coté extérieur : $q_{ise} = q_{ise-a}^r + q_{ise-a}^c \quad (\text{II.18})$

Où :

$$q_{ise-a}^c = h_{ise-a}^c \cdot (T_{ise} - T_a) A_{is} \quad (\text{II.18a})$$

$$q_{ise-a}^r = h_{ise-a}^r \cdot (T_{ise} - T_s) \cdot A_{is} \quad (\text{II.18b})$$

• **Echange par conduction à travers l'isolant :**

$$q_{is} = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \cdot (T_{isi} - T_{ise}) \cdot A_{is} \quad (\text{II.19})$$

II.6. Bilan thermique en régime transitoire :

Par analogie entre les grandeurs thermiques et les grandeurs électriques (tableau II.1), on peut appliquer les lois d'OHM et de KIRSHOFF. Considérons une section quelconque du système à l'instant t, soit "i" l'un des milieux représentés dans cette section, M_i sa masse, cp_i sa chaleur spécifique et T_i sa température.

Le bilan au nœud i donne :

$$M_i cp_i \frac{dT_i}{dt} = \sum_{j=1}^n q_{ij} + P_i \quad (\text{II.31})$$

Avec :

P_i : Terme de source ou de puits.

$M_i cp_i \frac{dT_i}{dt} = 0$ Dans les cas suivants :

- Un distillateur à inertie thermique négligeable (faible masse de ses éléments, ou faible chaleur spécifique).
- Pour un régime permanent.

Grandeur thermique	Grandeur électrique
Température	Potentiel électrique
Flux thermique	Courant électrique
Résistance thermique	Résistance électrique
Capacité thermique	Capacité électrique

Tableau II.1 : Analogie entre les grandeurs thermiques et les grandeurs électriques**II.6.1. Distillateur plan :****➤ Dans la couverture :**

Face extérieure :

$$\frac{M_g cp_g}{2A_g} \cdot \frac{dT_{ge}}{dt} + q_{g-a}^c + q_{g-a}^r = \frac{\lambda_g}{e_g} (T_{gi} - T_{ge}) \quad (\text{II.32})$$

Face intérieure :

$$\frac{M_g cp_g}{2A_g} \cdot \frac{dT_{gi}}{dt} + \frac{\lambda_g}{e_g} \cdot (T_{gi} - T_{ge}) = q_{w-g}^c + q_{w-g}^r + q_{w-g}^{ev} + P_g \quad (\text{II.33})$$

Dans la saumure :

$$\frac{M_w cp_w}{A_w} \cdot \frac{dT_w}{dt} + q_{w-g}^c + q_{w-g}^{ev} + q_{w-g}^r = P_w + q_{b-w}^c \quad (\text{II.34})$$

Dans le bac absorbant :

$$\frac{M_b cp_b}{A_b} \cdot \frac{dT_b}{dt} + q_{b-w}^c + q_{b-isi}^{cd} = P_b \quad (\text{II.35})$$

➤ Dans l'isolant :

Face intérieure :

$$\frac{M_{is} cp_{is}}{2A_{is}} \cdot \frac{dT_{isi}}{dt} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \cdot (T_{isi} - T_{ise}) = q_{b-isi}^{cd} \quad (\text{II.36})$$

Face extérieure :

$$\frac{M_{is} cp_{is}}{2A_{is}} \cdot \frac{dT_{ise}}{dt} + q_{is-a}^c + q_{is-a}^t = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \cdot (T_{isi} - T_{ise}) \quad (\text{II.37})$$

II.7. Expression des différents coefficients d'échange thermique :

II.7.1. Echange par conduction :

Le transfert de chaleur par conduction à travers le bac absorbant est exprimé par le coefficient

$$h_{b-is}^{cd} = \frac{\lambda_b}{e_b} \quad (\text{II.45})$$

II.7.2. Echange par convection :

➤Echange convectif entre la masse d'eau et le bac absorbant :

Le coefficient d'échange thermique entre la saumure et le bac absorbant est donné par :

$$h_{bw}^c = \frac{N_u \cdot \lambda_w}{L} \quad (\text{II.46})$$

La valeur du nombre de Nusselt calculée expérimentalement par MACADAMS (16.) dépend du nombre de Grashoff (Gr) :

$$Gr = \frac{B_w \cdot L^3 \cdot g \cdot (T_b - T_w)}{V_w^2} \quad (\text{II.47})$$

Avec :

B_w : étant le coefficient d'expansion volumétrique de l'eau.

L : étant la longueur du bac absorbant.

Si $Gr < 10^5$; $Nu=1$.

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

Si $10^5 < Gr < 2 \times 10^7$

$$N_u = \frac{\lambda_w}{L} \cdot 0.54 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0.25} \quad (\text{II.48})$$

Si $Gr > 2 \times 10^7$

$$N_u = 0.14 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0.33} \quad (\text{II.49})$$

Avec :

Pr étant le nombre de Prandlt.

$$P_r = \frac{\mu_w \cdot c_{p_w}}{\lambda_w} \quad (\text{II.50})$$

➤ **Echange convectif entre la saumure et la vitre :**

Selon BAUM (12.)et (14.), dans l'échange thermique et massique entre la surface libre de la saumure et la couverture transparente, il existe une " Zone Tampon", où la température et la pression partielle de la vapeur d'eau sont constantes. Ceci implique que seule la couche adjacente à la surface d'évaporation (saumure) et à la surface de condensation (vitre), participe au processus de transfert de masse et de chaleur.

L'échange par convection entre la saumure et la vitre dépend du nombre de Grashoff (Gr) et de l'inclinaison de la couverture β .

Pour $\beta = 30^\circ$.

Si : $Gr < 3 \cdot 10^3$; $Nu = 1$.

Si : $3 \cdot 10^3 < Gr < 5 \cdot 10^4$; $Nu = 0.0588 \cdot Gr^{0.37}$

Si : $Gr > 5 \cdot 10^4$; $Nu = 0.0354 \cdot Gr^{0.37}$

Avec :

$$Gr = \frac{B_w \cdot D^3 \cdot g \cdot (T_w - T_{gi})}{\nu_m^2} \quad (\text{II.51})$$

Où:

D : la longueur caractéristique du distillateur.

ν_m : étant la viscosité cinématique du mélange air- vapeur.

Et :

$$h_{w-g}^c = \frac{Nu \cdot \lambda_m}{D} \quad (\text{II.52})$$

λ_m : La conductivité thermique du mélange air- vapeur.

Dunkle (16.) à mis en place une relation exprimant les différentes pressions partielles de la vapeur d'eau :

$$h_{w-g}^c = 0.884 \cdot \left\{ (T_w - T_{gi}) + \frac{(P_v^w - P_v^{gi})}{268.9 \times 10^3 - P_v^w} \right\}^{1/3} \quad (\text{II.53})$$

Les valeurs de P_v^w et P_v^{gi} pour des températures comprises entre 10°C et 90°C, peuvent être obtenues par les expressions suivantes (16.):

Fernandez et Chargoy (1990) :

$$P(T) = \exp \left(25.317 - \frac{5144}{T+273} \right) \quad (\text{II.54})$$

Keenan et Keyes (1936):

$$P(T) = 2.21 \cdot 10^{-\left[\frac{y}{T} \left(\frac{a+by+cy^3}{1+dy} \right) \right]} \quad (\text{II.55})$$

Avec :

$$Y=647.27-T_0, a=3.2438, b=5.8683 \cdot 10^{-3}, c=1.17024 \cdot 10^{-8}, d=2.1879 \cdot 10^{-3} \text{ et } T_0=T+273.$$

Brooker et al (1978) :

$$P(T) = 6.893 \cdot 10^3 \exp(54.63 - 12301.6 \cdot T \cdot T_0 - 5.17 \ln T_0) \quad (\text{II.56})$$

Avec :

$$T_0 = 1.8 T + 491.69.$$

Kyokai (1978) :

$$P(T) = 133.32 \exp \left(18.6686 - \frac{4030.1824}{(T+235.15)} \right) \quad (\text{II.57})$$

Palancz (1984) :

$$P(T) = 133.29 \cdot 10^{\left[0.662 + \frac{7.5x(T_0-273)}{T_0-35} \right]} \quad (\text{II.58})$$

➤Echange convectif entre la vitre et le milieu ambiant :

L'échange thermique entre la vitre et l'extérieur qui dépend de la vitesse du vent, est donné par la corrélation de MACADAMS (16.):

$$h_{ga}^c = 5.7 + 3.8 v \quad (\text{II.59})$$

Où :

v: la vitesse du vent.

Le coefficient d'échange thermique par convection entre la face extérieure de l'isolant et le milieu ambiant h_{is-a}^c est analogue à h_{g-a}^c

II.7.3. Echange par rayonnement :

➤Echange par rayonnement entre la saumure et la vitre :

Par approximation, la couverture à faible pente est considérée horizontale. D'après

P.I .Cooper et W.R.W (15.) pour deux surfaces planes, infinies et en parallèles, le coefficient radiatif est donné sous la forme suivante :

$$h_{w-g}^r = \varepsilon_{w-g} \cdot \sigma \cdot (T_w^2 + T_{gi}^2) \cdot (T_w + T_{gi}) \quad (\text{II.60})$$

Avec :

$$\varepsilon_{w-g} = \left[\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1 \right]^{-1} \quad (\text{II.61})$$

➤Echange par rayonnement entre la vitre et l'extérieur :

$$h_{g-a}^r = \varepsilon_g \cdot \sigma \cdot (T_{ge}^2 + T_c^2) \cdot (T_{ge} + T_c) \quad (\text{II.62})$$

T_c : est la température du ciel.

Cette température est donnée en fonction de la température ambiante par les relations (16.):

$$T_c = T_a - 6 \quad (\text{II.63})$$

Swinbank propose la relation (18.):

$$T_c = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (\text{II.64})$$

II.7.4. Echange pendant le changement de phase :

Par l'utilisation de la relation de la convection naturelle à l'intérieur du distillateur et par analogie entre le transfert de masse et de chaleur, Dunkle est arrivé à l'expression du coefficient de transfert thermique par évaporation (16.), (17.):

$$h_{w-g}^{ev} = 16.276.10^{-3}.h_{w-g}^c.\frac{(P_v^w-P_v^{gi})}{(T_w-T_{gi})} \quad (II.65)$$

Chapitre III : Réalisation des distillateurs solaires

III. Chapitre III : Réalisation des distillateurs solaires à effet de serre:

Dans ce chapitre, nous allons présenter notre travail expérimental qui s'agit de la réalisation et le teste des différents types des distillateurs solaires compris le nouveau distillateur conçue dans le cadre de ce travail, afin d'avoir une comparaison entre eux. Le chapitre est structuré comme suit, On va commencer par la description des différents éléments des distillateurs solaires et les différentes étapes de la conception, ainsi que les essais effectués.

III.1. Conception et montage des distillateurs solaires :

Les distillateurs solaires utilisés dans notre expérience sont :

III.1.1. Distillateur solaire à pente unique (ordinaire) :

Les éléments principaux du distillateur solaire à pente unique sont les suivants:

a- Bac absorbant

Le bac absorbant permet 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 construit en bois d'épaisseur 3cm pour assurer l'isolation thermique du distillateur.

Les dimensions de l'absorbeur sont :

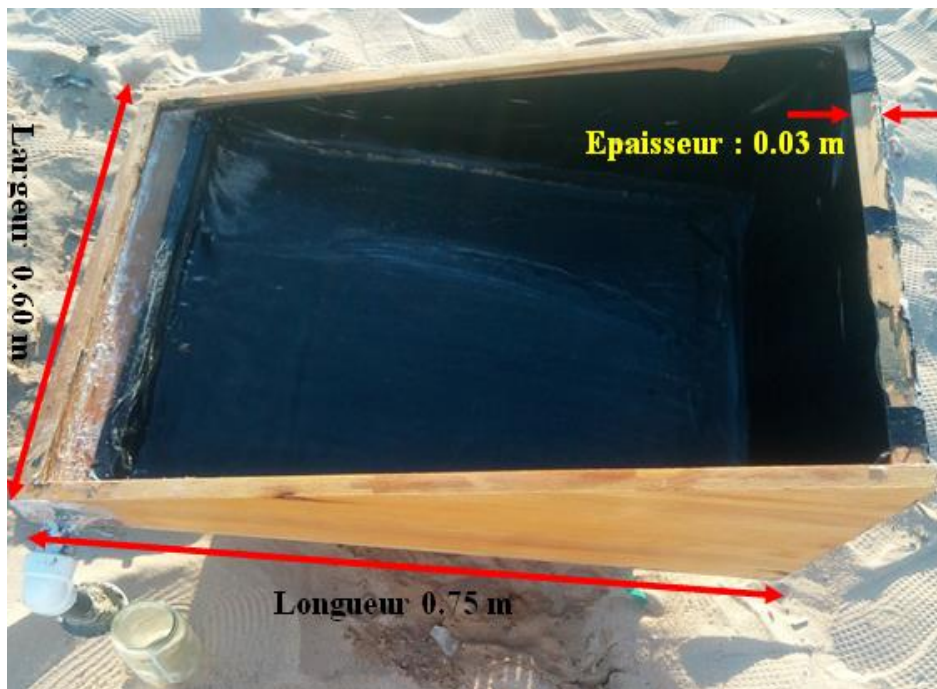


Figure III.1 : Bac absorbant

La surface totale de l'absorbeur est de 0.45 m^2

b - Couverture (verre)

Nous avons utilisé du verre ordinaire pour assurer une bonne transmission du rayonnement, bonne visibilité et un faible coût.

Les dimensions de la vitre sont :

Longueur : 0.80 m

Largeur : 0.57 m

Epaisseur : $0,005 \text{ m}$

Superficie : 0.456 m^2



Figure III.2 : La vitre

Le bac absorbant contient un rail pour permettre le passage du verre et d'assurer l'étanchéité du distillateur.

Le distillateur est équipé d'un système de récupération d'eau distillée constitué de :

- Un canal : incliné d'un côté pour accumuler l'eau distillée et le diriger vers l'extérieur.
- Un récipient graduée (chaque trace 25ml) : pour mesurer la quantité d'eau produite chaque une heure.
- Code et tuyau en PVC 15/21: pour raccorder entre le canal et le récipient gradué.

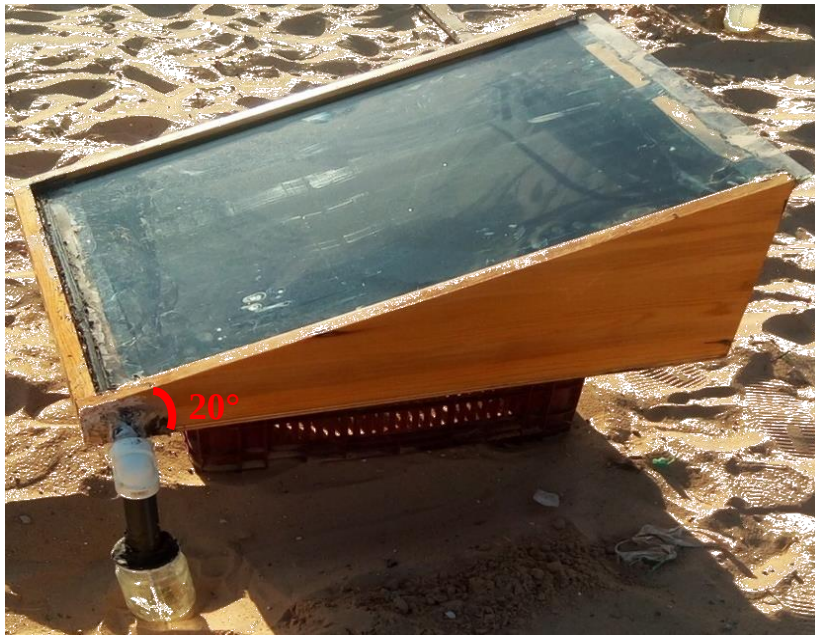


Figure III.3 : distillateur solaire à pente unique

III.1.2. Distillateur solaire à canette :

Nous avons fabriqué un distillateur similaire au distillateur solaire à pente unique ordinaire, puis on a placé les canettes d'aluminium en parallèles ; les cannettes ont peinturé en couleur noir mat pour assurer l'absorption maximum de rayonnement solaire. Après la conception nous avons obtenu la structure présentée ci-dessous dans la figure III.4



Figure III.4 : distillateur solaire à canette.

III.1.3. Distillateur solaire à cascade d'absorbant demi-cylindre :

Nous avons fabriqué un distillateur similaire au distillateur solaire à pente unique ordinaire et après on a fixé les supports sur les deux coté du distillateur par des vis sachant que les supports sont des bouchons des tubes 110 mm découpé en deux. Pour la réalisation du bac absorbant, nous avons utilisés juste un tube en PVC de diamètre 110 mm et longueur 1.65m. Après, On a procédé au découpage de tube en (06) six parties demi-cylindre de longueur 0.55m. En suite, nous avons collé les demi-cylindres à l'aide d'une colle spéciale de PVC sur les supports, qui nous a permis d'obtenir la structure présentée ci-dessous dans la

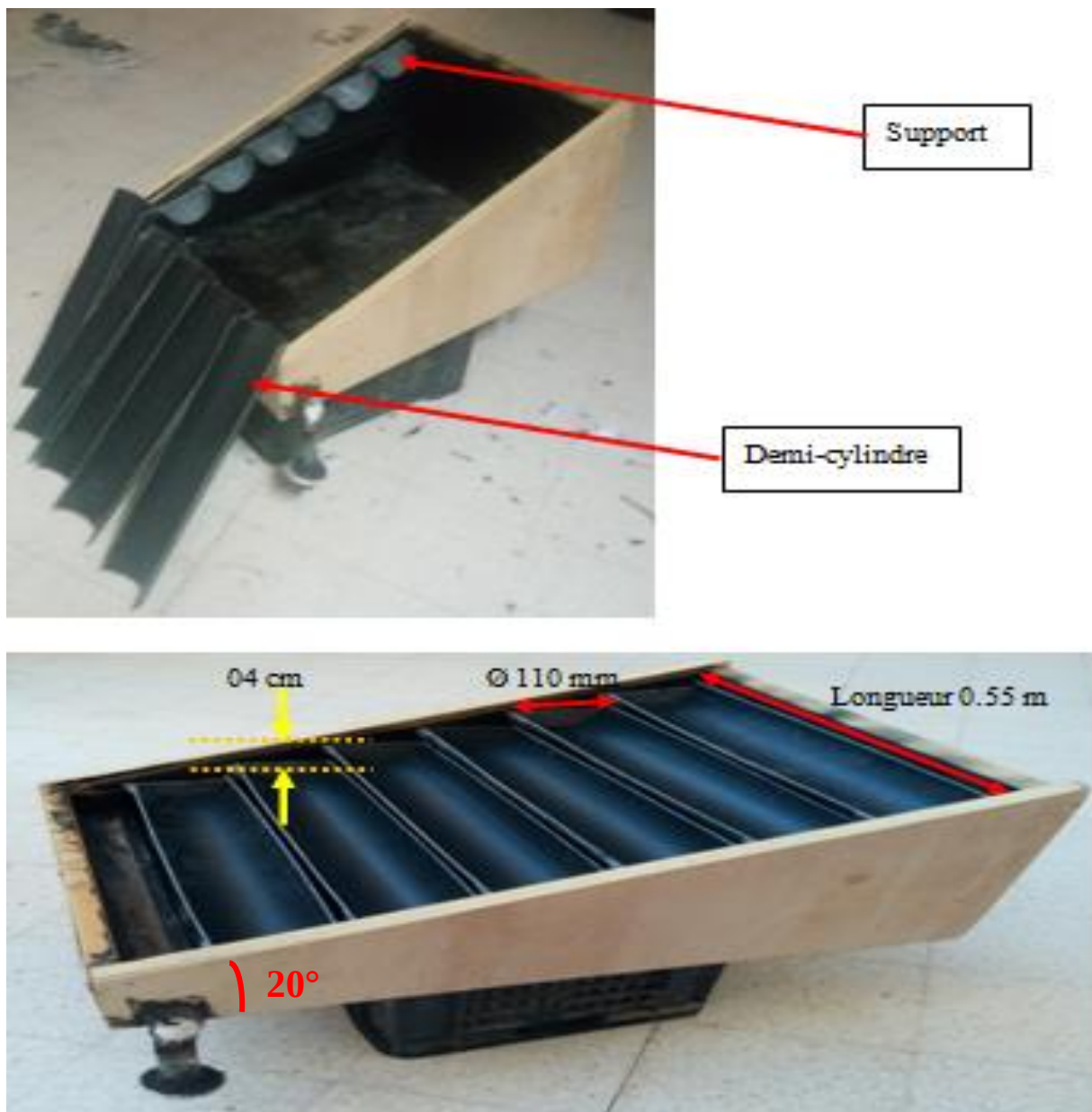


Figure III.5 : distillateur solaire à cascade d'absorbant demi-cylindre.

III.1.4. Distillateur solaire à cascade d'absorbant parallélépipède :

Nous avons placé les six(06) boîtes rectangulaires au niveau du distillateur solaire à pente unique (ordinaire).

Les boîtes rectangulaires fabriquées d'une tôle en fer et peinturer en couleur noir mat pour assurer l'absorption maximal des rayonnements. La structure finale est présentée ci-dessous dans la figure III.6 :

Les dimensions de l'absorbeur sont :

Longueur : 0.55 m,

Largeur : 0.110 m,

Hauteur : 0.04 m

La surface totale de l'absorbeur est de 0.363 m^2

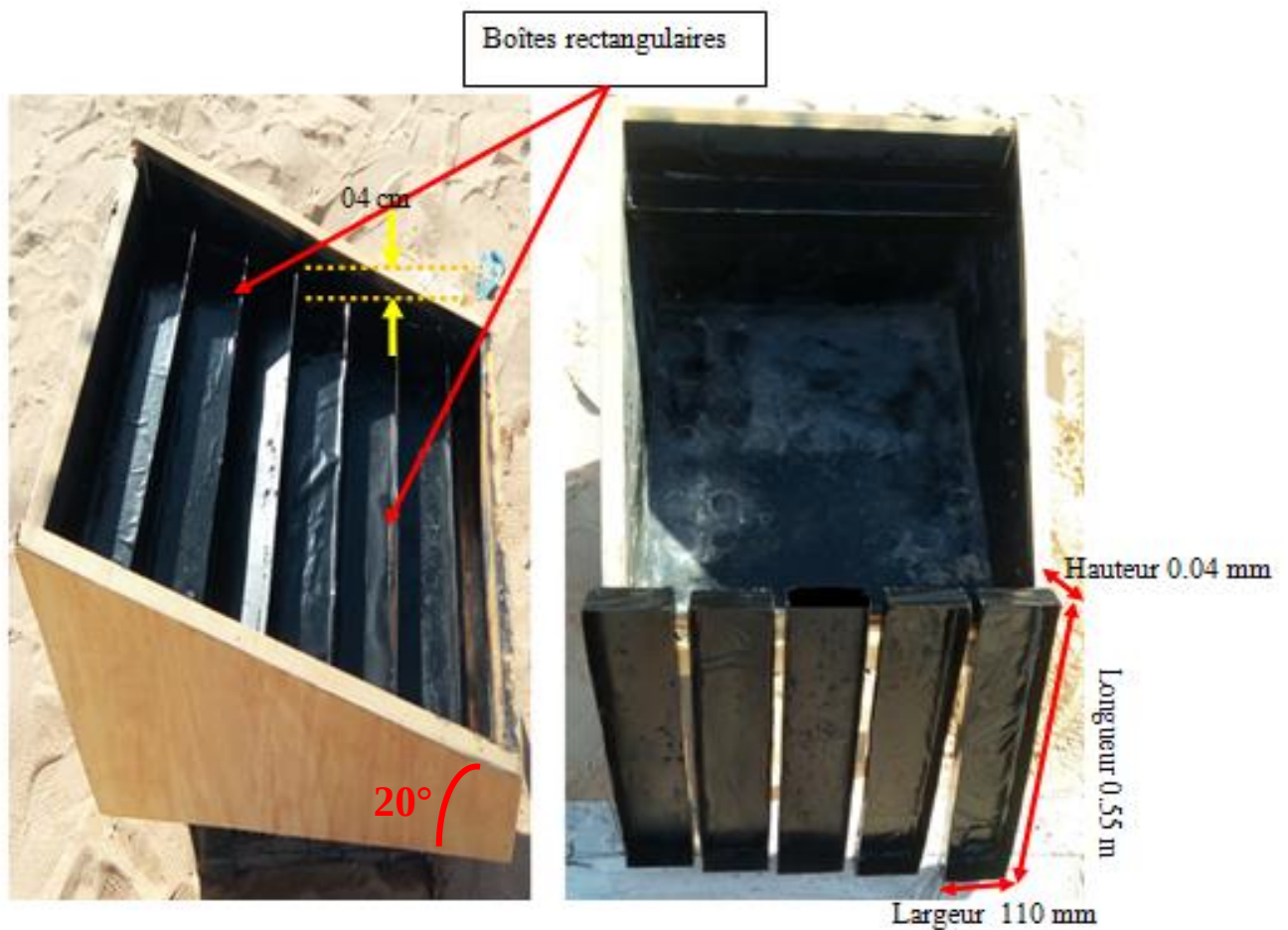


Figure III.6 : distillateur solaire à cascade d'absorbant parallélépipède.

III.1.5. Distillateur solaire à tube :

Nous avons fabriqué un nouveau distillateur solaire à partir de déchet (canettes), Les éléments principaux du ce distillateur ainsi que les différents étapes de conception sont présentés comme suit :

- a- **Les tubes en aluminium** : On a six (06) tubes chaque tube est un ensemble de cinq (05) canettes percées et raccordées entre eux par la colle A/B (c'est une colle spéciale résiste à la température 100°C) ; de diamètre 60 mm et longueur 55 cm, il ont tous peinturés aussi en couleur noir mat. voir la Figure III.7.



Figure III.7 : Les tubes en aluminium avant et après la Peinture

- b- **Collecteur de l'eau distillée** : C'est un tube en PVC de diamètre 80 mm et longueur 50 cm ,ayant six(06) trous latéraux de diamètre 60 mm pour monter les tubes en aluminium sur celle-ci par la colle A/B, ayant aussi un trou à l'extrémité de diamètre 20 mm pour installer un tube 15/21 afin de raccorder le collecteur avec le récipient gradué pour mesurer la quantité d'eau produite.

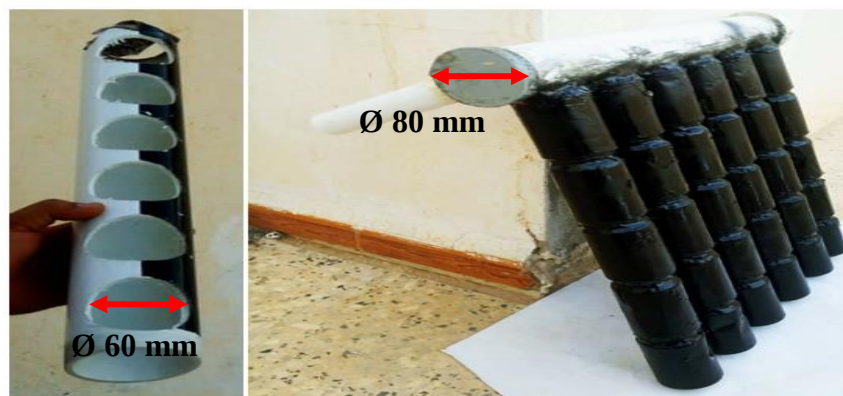


Figure III.8 : Collecteur avant et après le montage

- c- **Boîte en bois** : Il est conçu en bois d'épaisseur 3cm. Pour assurer l'isolation thermique du système, on a couvert la boîte à l'intérieur par le papier d'aluminium.

Les dimensions de la boîte sont : Longueur 0.57m, Largeur 0.72m, Hauteur: 0.03 m.



Figure III. 9 : Boîte en bois de nouveau distillateur solaire

- d- **Couverture (verre)** : Un verre ordinaire a été utilisé pour assurer une bonne transmission du rayonnement, bonne visibilité et un faible coût.

Les dimensions de la vitre sont :

- Longueur : 0.80 m
- Largeur : 0,57 m
- Epaisseur : 0,005 m
- Superficie : 0.456 m²

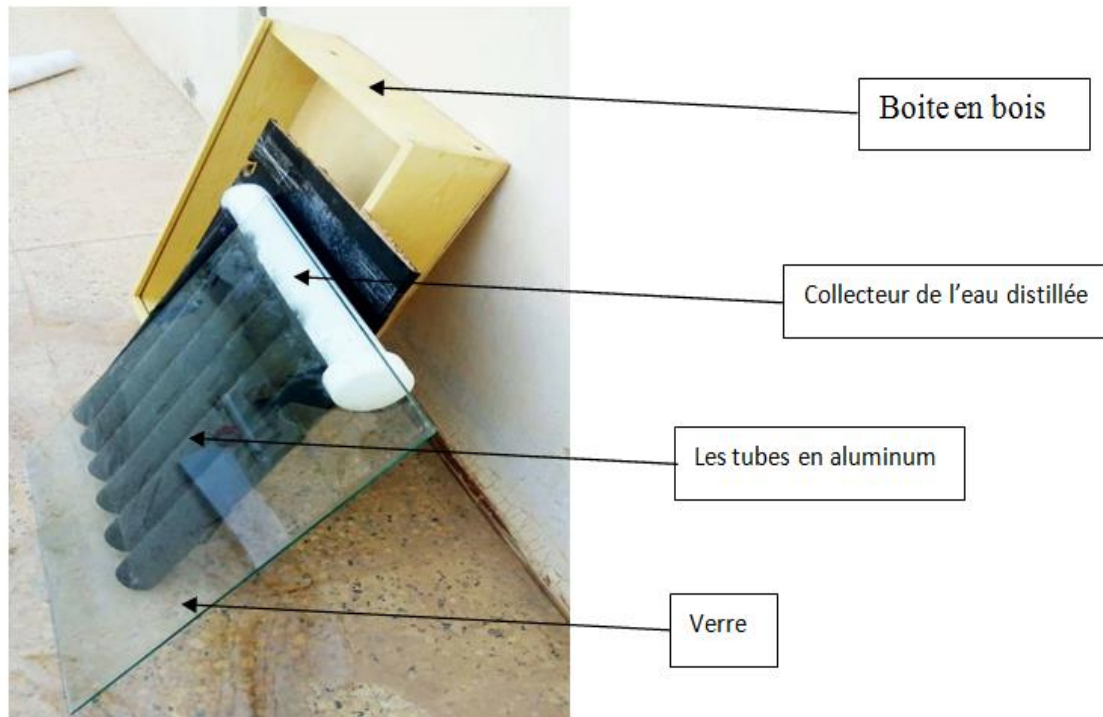


Figure III. 10 : distillateur solaire à tube.

III.2. **Composants standards:** Ces composants ont été sélectionnés selon notre besoin et leur disponibilité sur le marché. Ces composants sont décrits dans le tableau III-1.

Désignation	Dimension	Quantité	Observation
Verre ordinaire	$0.8 \times 0.57 \times 0.005 \text{ m}^3$	3	
Autocollant noir	$1 \times 1 \text{ m}^2$	3	NOIR MAT
Accessoires en PVC (Tubes, coude,)	$\varnothing 110\text{mm}$ / $\varnothing 80\text{mm}$ / $\varnothing 15/21''$	1.5 m / 0.5m / 1m	
Vis de fixation		24	
Peinture noire	400ml	5	
Colle A/B et PVC		8	
Silicone		2	

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV. Chapitre IV: Résultats et discussions:

IV.1. Introduction:

Dans ce chapitre, on va donner les résultats expérimentaux de notre expérience. Ces résultats concernent essentiellement la variation de la production journalière des différents distillateurs réalisés durant notre travail expérimental ainsi que l'effet de quelques paramètres sur leurs fonctionnements.

Et l'effet des quelque paramètres sur leurs fonctionnement.

- Les expériences sont effectuées comme suit :

Première expérience : nous avons comparé le distillateur solaire à pente unique (ordinaire) d'une surface d'un bac absorbante $0.45m^2$, avec le distillateur solaire à canette.

Deuxième expérience : nous avons comparé le distillateur solaire à pente unique (ordinaire) avec le distillateur solaire à cascade d'absorbant demi-cylindre.

Troisième expérience : enfin on a fait une comparaison entre le distillateur solaire à cascade d'absorbant demi-cylindre et distillateur solaire à cascade d'absorbant parallélépipède

Sachant que les distillateurs contenant de neuf (09) litre d'eau de robinet c'est-à-dire environs quatre(04) cm d'épaisseur d'eau dans l'absorbeur Et les distillateurs sont incliné de 20° par rapport à l'horizontal et orienté vers le sud.

Les résultats sont présentés sous forme de graphes grâce au logiciel de MATLAB, en tenant compte des considérations que les expériences sont effectuées à ELOUED dont les coordonnées géographiques sont : Latitude $33^\circ.3758$ Nord, longitude $6^\circ.8409$ Est, et un décalage horaire d'une heure, Dans les jours 17, 18,19 Mars et du 05 au 20 Mai 2019

IV.2. Comparaison entre distillateur à pente unique (ordinaire) et distillateur à canette:

Les résultats de productivité des deux distillateurs A et B dans les heures du jour ainsi que les températures et les vitesses du vent correspondant dans les jours 06.05.2019 et 07.05.2019 respectivement sont récapitulés dans les tableaux suivant :

Tableau .IV.01 : Cumulée de production d'eau distillée

Temps	T°C	Vitesse de vent (Km/ h)	production A (ml)	production B (ml)
06H00	21	13	00	00
07H00	21	12	00	00
08H00	21	11	00	00
09H00	22	11	00	00
10H00	22	10	00	00
11H00	24	10	25	12.5
12H00	25	11	72	50
13H00	26	11	175	145
14H00	27	13	260	220
15H00	28	15	395	350
16H00	29	18	515	475
17H00	29	15	590	550
18H00	27	12	642	600
19H00	29	9	730	635
20H00	28	13	765	650

Tableau .IV.02 : Cumulée de production d'eau distillée

Temps	T°C	Vitesse de vent Km. h	production A (ml)	production B (ml)
06H00	21	22	00	00
07H00	21	26	00	00
08H00	21	24	00	00
09H00	22	24	00	00
10H00	22	23	00	00
11H00	24	20	18	6.25
12H00	25	17	50	37.5
13H00	26	14	130	100
14H00	27	14	245	200
15H00	28	14	365	312.5
16H00	29	13	445	425
17H00	29	12	500	450
18H00	27	12	537.5	475
19H00	29	10	555	525
20H00	28	14		

Les figures IV.01 et IV.02 montre la production de quantité d'eau pour le distillateur solaire A et le distillateur solaire B en fonction de Temps pendant le jour.

On remarque que La production dans le distillateur A, et distillateur B est nulle pendant les premières heures de la journée (avant 08 h00 du matin) et commence la production à 11 h00.

Et à partir de ce moment il apparaît une différence de la production entre les deux distillateurs, qui augmente avec la croissance du rayonnement solaire et pour la même vitesse du vent et la même profondeur d'eau saumâtre. la production horaire atteint une valeur maximale à 15 h00 (Les figures IV.03 et IV.04), puis une décroissance jusqu'à la fin journée, où la production du distillateur A est de 137 ml, alors que celle du distillateur B atteint 130 ml.

D'après les graphes (Les figures IV.01 et IV.02) on remarque que Le cumule de production du distillateur A est supérieur celle du distillateur B, sachant que la production du distillateur A atteint 765 ml et 650 ml du distillateur B.

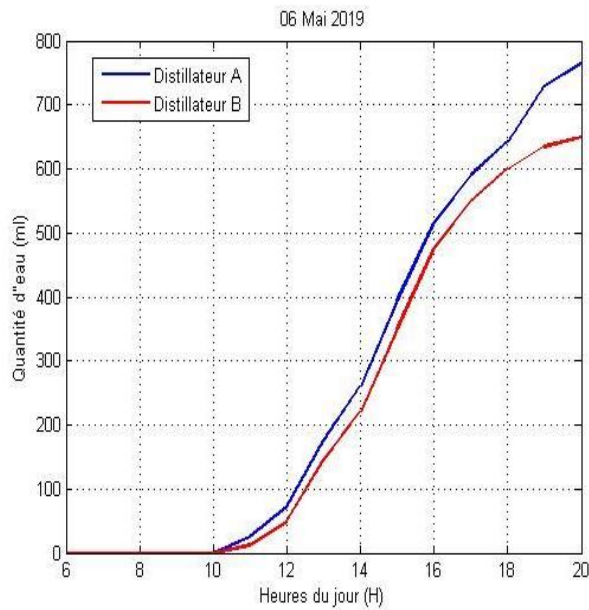


Figure IV.01 : Cumule de production d'eau distillée

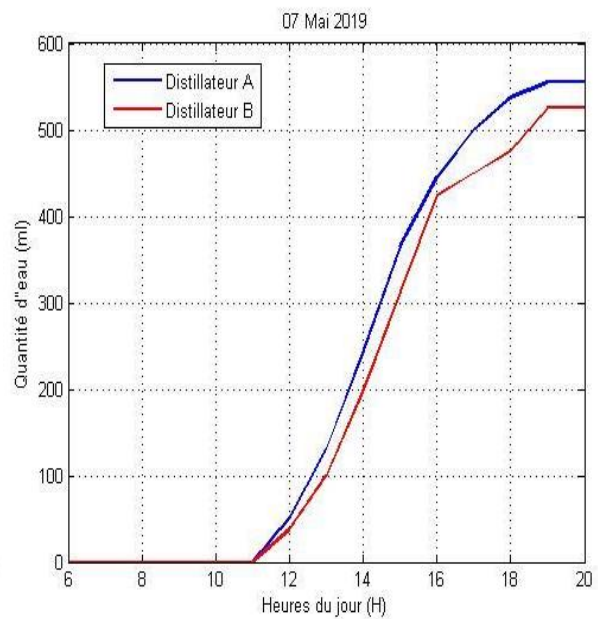


Figure IV.02 : Cumule de production d'eau distillée

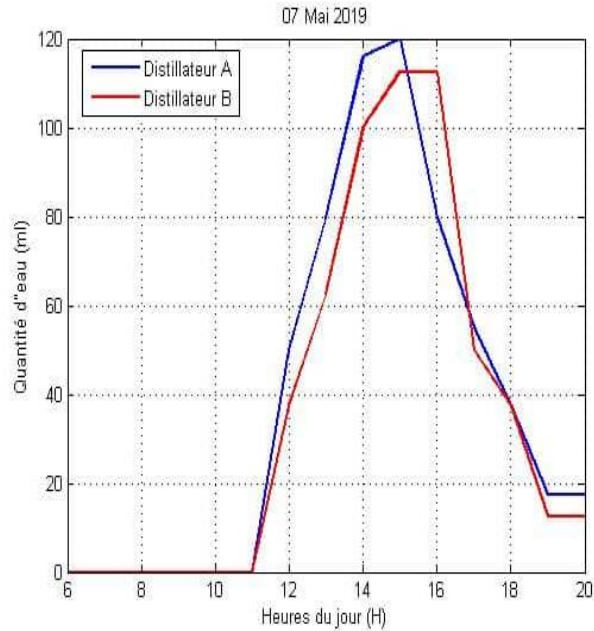


Figure IV.03 : Production horaire d'eau distillée

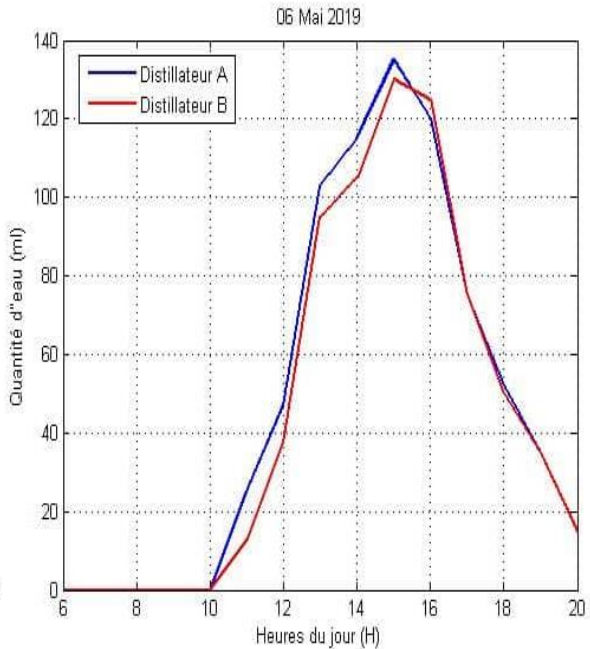


Figure IV.04 : Production horaire d'eau distillée

IV.3. Comparaison entre distillateur à pente unique (ordinaire) et à cascade d'absorbant demi-cylindre:

Les résultats de productivité des deux distillateurs A et C dans les heures du jour ainsi que les températures et les vitesses du vent correspondant dans les jours 10.05.2019 et 12.05.2019 respectivement sont récapitulés dans les tableaux suivant :

Tableau .IV.03 : Cumulée de
production d'eau distillée

Temps	T°C	Vitesse de vent (Km/ h)	production A (ml)	production B (ml)
06H00	24	26	00	00
07H00	24	27	00	00
08H00	25	26	00	00
09H00	26	26	00	00
10H00	27	25	00	00
11H00	29	23	40	25
12H00	31	21	137.5	100
13H00	32	18	300	275
14H00	33	16	500	450
15H00	33	14	675	625
16H00	34	13	900	850
17H00	34	12	1000	975
18H00	34	11	1200	1225
19H00	33	10	1250	1275
20H00	33	10	1287.5	1325
21H00	32	11	1325	1375

Tableau .IV.04 : Cumulée de
production d'eau distillée

Temps	T°C	Vitesse de vent (Km/ h)	production A (ml)	production B (ml)
06H00	26	27	00	00
07H00	26	26	00	00
08H00	27	28	00	00
09H00	29	31	00	00
10H00	30	33	12.5	25
11H00	31	32	87.5	112.5
12H00	31	31	212.5	237.5
13H00	32	30	387.5	400
14H00	32	26	575	600
15H00	33	22	812.5	837.5
16H00	33	17	962.5	1012.5
17H00	33	15	1112.5	1137.5
18H00	32	12	1162.5	1212.5
19H00	32	9	1237.5	1287.5
20H00	31	13	1262.5	1312.5
21H00	30	15	1287.5	1362.5

Les Figure IV.05 et IV.06 représentent la production quantité d'eau à heures accumule pour le distillateur C et distillateur A.

On remarque que La production dans le distillateur A, et distillateur C est nulle pendant les premières heures de la journée (avant 08 h00 du matin) et commence la production à 9 h00.

Et à partir de ce moment il apparaît une différence de la production entre les deux distillateurs, qui augmente avec la croissance du rayonnement solaire.

La production horaire atteint une valeur maximale à 15 h00(Les figures IV.07 et IV.08), où la production du distillateur A est de 240 ml, alors que celle du distillateur C atteint 242 ml.

Le cumule de Production atteint une valeur maximale à 21 h00, où la production du distillateur A est de 1287.5ml, et du distillateur C est 1362.5ml.

L'Augmentation de la production de l'eau distillée dans le distillateur C explique l'influence de la distance entre la surface d'évaporation et la surface de condensation c'est-à-dire la performance du distillateur augmente quand la distance entre la saumure et la vitre diminue.

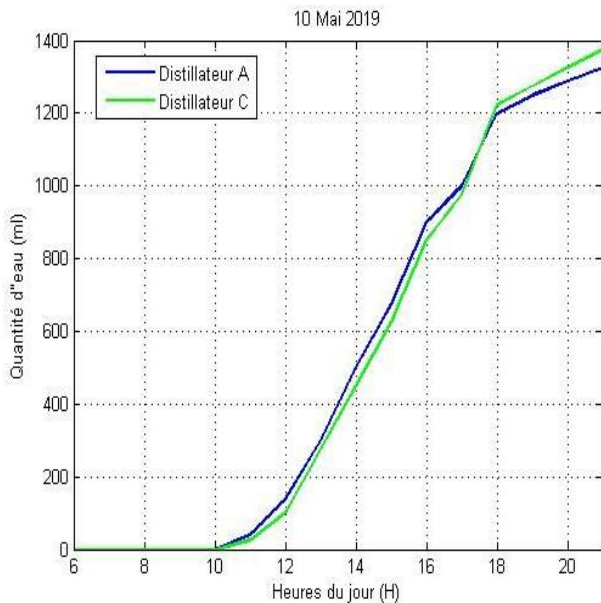


Figure IV.05 : Cumule de production d'eau distillée

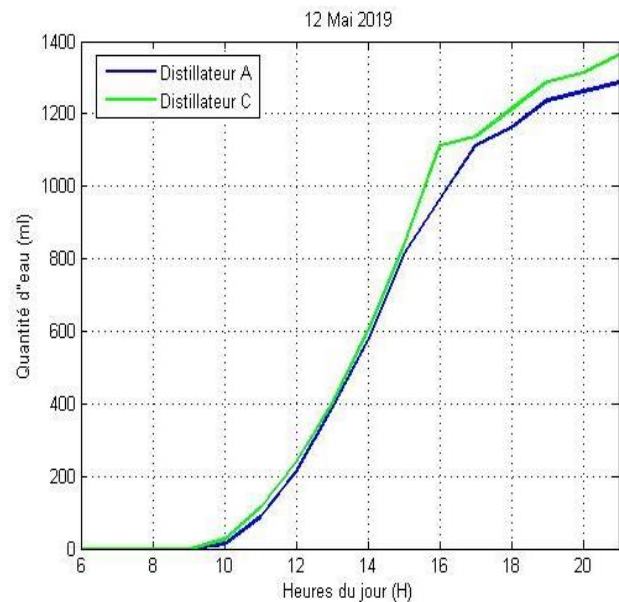


Figure IV.06 : Cumule de production d'eau distillée

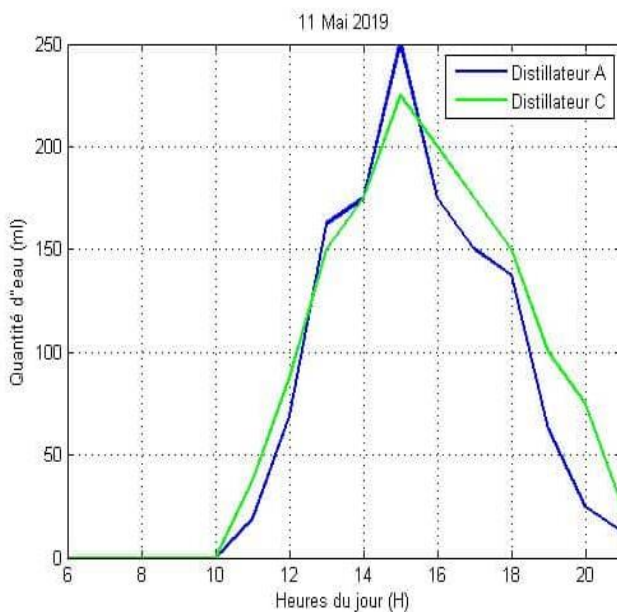


Figure IV.07 : Production horaire d'eau distillée

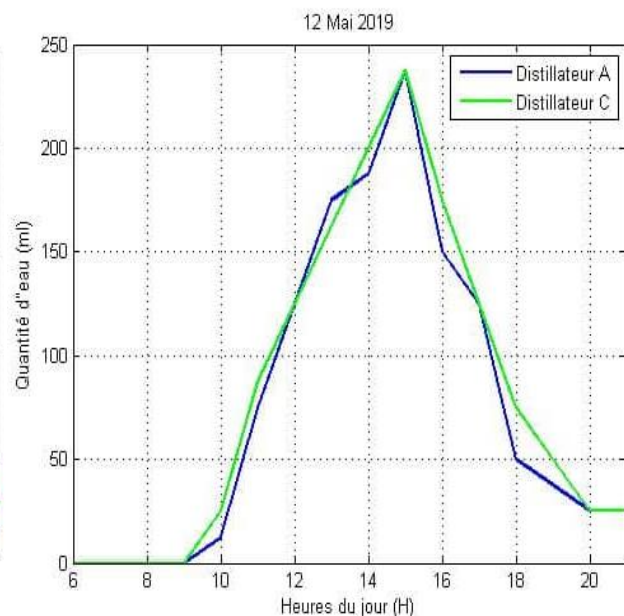


Figure IV.08 : Production horaire d'eau distillée

IV.4. Comparaison entre distillateur à cascade du l'absorbant demi-cylindre et distillateur à cascade du l'absorbant parallélépipède :

Les résultats de productivité des deux distillateurs C et D dans les heurs du jour ainsi que les températures et les vitesses du vent correspondant dans les jours 17.05.2019 et 18.05.2019 respectivement sont récapitulés dans les tableaux suivant :

Tableau .IV.05 : Cumulée de
production d'eau distillée

Temps	T°C	Vitesse de vent (Km/ h)	production A (ml)	production B (ml)
06H00	23	16	00	00
07H00	23	16	00	00
08H00	25	16	00	00
09H00	27	17	00	00
10H00	29	17	50	37.5
11H00	31	19	175	175
12H00	34	21	300	300
13H00	36	23	437.5	487.5
14H00	37	23	725	837.5
15H00	38	23	950	1087.5
16H00	39	24	1075	1262.5
17H00	37	25	1225	1412.5
18H00	36	26	1325	1537.5
19H00	34	27	1362.5	1575
20H00	33	26	1375	1600

Tableau .IV.06 : Cumulée de
production d'eau distillée

Temps	T°C	Vitesse de vent (Km/ h)	production A (ml)	production B (ml)
06H00	24	17	00	00
07H00	23	14	00	00
08H00	24	11	00	00
09H00	25	8	12.5	25
10H00	26	5	50	75
11H00	27	4	175	200
12H00	29	3	337	387.5
13H00	30	2	474.5	575
14H00	30	4	724.5	850
15H00	31	7	899.5	1050
16H00	32	10	1050	1212.5
17H00	32	14	1150	1337.5
18H00	32	18	1212.5	1387.5
19H00	31	22	1250	1400
20H00	30	18	1262.5	1475

On remarque que la production dans le distillateur C et distillateur D est nulle pendant les premières heures de la journée (avant 07 h00 du matin) et commence la production à 8 h00 et à partir de ce moment il apparaît une différence de la production entre les deux distillateurs comme indique les figures IV.09 et IV.10, qui augmente avec la croissance du rayonnement solaire.

La production horaire (Les figures IV.07 et IV.08) atteint une valeur maximale à 14 h00, où la production du distillateur C est de 200 ml, alors que celle du distillateur D atteint 250 ml.

D'après ces figures, on voit clairement que le cumule de production cumulée du distillateur D est supérieur celle du distillateur C, avec un écart significatif de la production. Qui atteint approximativement 1.6 l/jour. Pour le distillateur D. Par contre, pour le distillateur C, la

production journalière d'eau distillée est de 1.375 l/jour pour la même vitesse du vent, même température ambiante et la même profondeur d'eau.

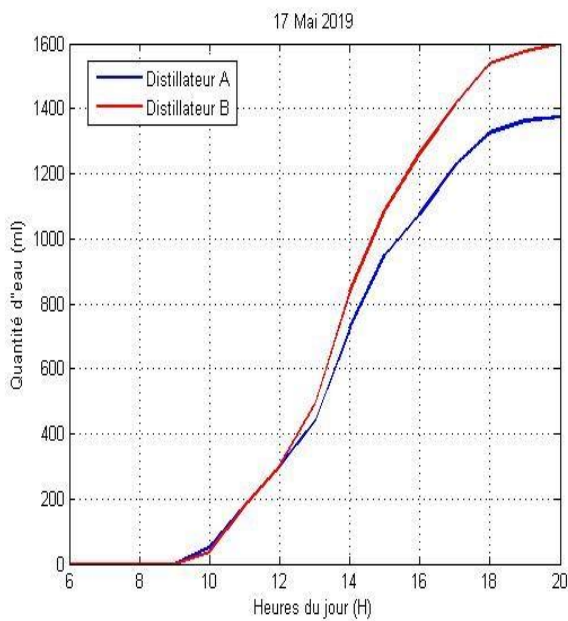


Figure IV.09 : Cumule de production d'eau distillée

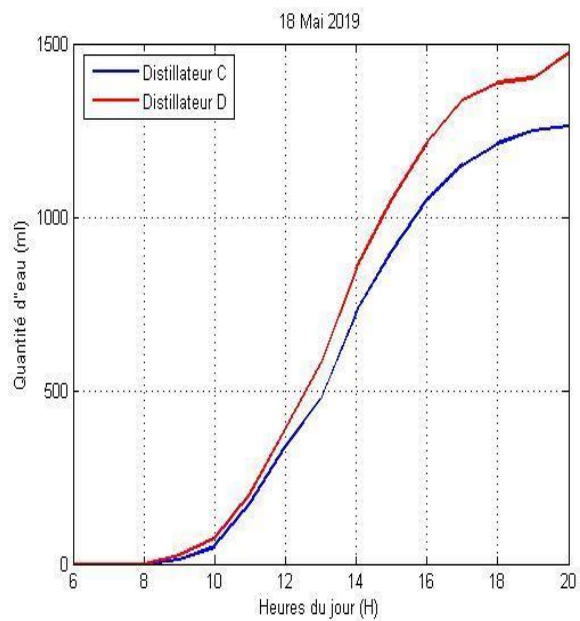


Figure IV.10 : Cumule de production d'eau distillée

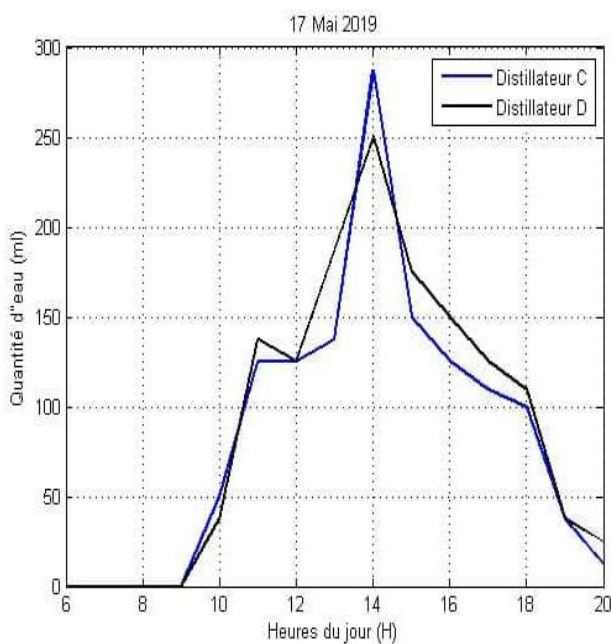


Figure IV.11 : Production horaire d'eau distillée

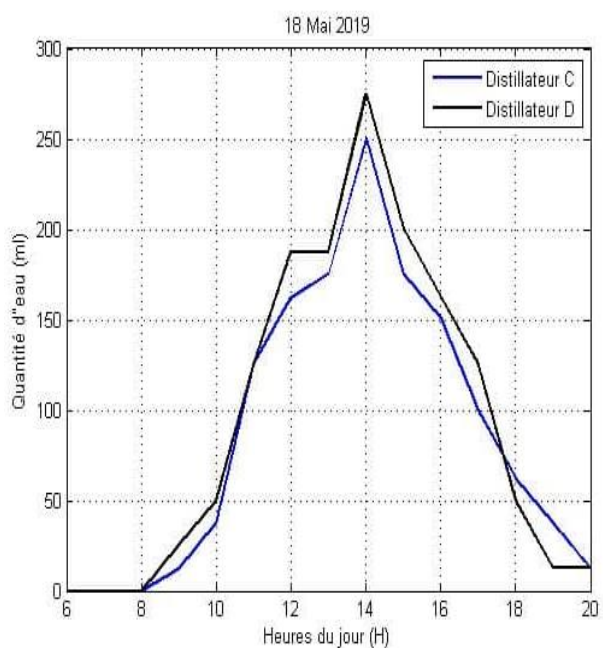


Figure IV.12 : Production horaire d'eau distillée

Dans ce chapitre, nous avons présenté et interpréter les résultats expérimentaux de notre expérience. Nous avons comparé des quantités d'eau produise par les différents distillateurs réalisés afin de voir l'influence de certain paramètre sur la production d'eau. Cette comparaison peut aider à choisir le meilleur distillateur avec le meilleur design et rendement.

D'après les tableaux, on voit clairement que La production cumulée d'eau distillée de la journée 10/05/2019 est plus élevé de la journée 12/05/2019, ainsi que les jours 17/05/2019 et 18/05/2019 qui explique que l'influence de la température et la vitesse de vent sur la production, c'est-à-dire l'augmentation de la température et de la vitesse de vent ont un effet favorable sur la production.

CONCLUSION

Conclusion

Le travail présenté dans notre mémoire concerne l'étude expérimentale des distillateurs solaire à pente unique (ordinaire).

Notre intérêt a porté sur l'étude de l'influence de quelques paramètres sur le distillateur solaire à l'effet de serre qui provoque l'augmentation de la température et conduit par conséquent à l'évaporation de l'eau. Cette capacité d'évaporation grandit au fur et à mesure que la température augmente jusqu'à ce que l'air atteigne sa saturation en vapeur d'eau. La vapeur d'eau ainsi obtenue se condense sous le vitrage. Puis l'eau condense et s'écoule vers la partie inférieure du vitrage dans une gouttière conduisant à un réservoir de stockage et de récupération du distillat, (Le distillateur se compose d'un bassin recouvert d'une couche noire absorbante et d'un couvert transparent en verre ou parfois en plastique mis en pente).

Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence des paramètres externes et internes sur les caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire notamment la production.

L'augmentation de la température ambiante conduit à un accroissement de la production. Mais concernant l'augmentation de la vitesse de vent ; elle provoque une amélioration de l'échange, jusqu'à atteindre une valeur critique qui a un effet inverse sur ces paramètres.

A travers les résultats obtenus, on a constaté qu'il faut maintenir un grand écart de température entre la surface d'évaporation et la surface de condensation pour atteindre une bonne production.

Pour assurer un grand écart nous proposons :

- * Utiliser un système de préchauffage qui provoque le pré-échauffement de l'eau à dessalé pour augmenter l'écart de température entre la surface d'évaporation et la surface de condensation, qui permet d'améliorer la production.

- * Utiliser un système pour refroidir la surface de condensation (par exemple on peut utiliser une ventilation mécanique alimentée par un capteur photovoltaïque).

Références

Bibliographiques

Bibliographie

01. Daymond Desjardins : « le traitement des eaux » deuxième édition 1997, pp242-249. **O**
02. A.SADI : « Le dessalement Solaire – Considération technique » Rev.energ.Ren Chemss2000. **A**
03. L.MERAD, B.BENYOUCEF, LO.MERAD, T.BOUSSOUKAIA,et B.OMARI:« Etude d'un Procédé Thermique de Dessalement d'Eau de Mer par:Journées Internationales de thermique:2003. **A**
04. TLEIMAT, B.W:« Distillation solaire : état des connaissances » revue internationale d'héliotechnique,Californie:1980. **A**
05. CENA, CARLO MUSTACCHI ET VINCENZO:« distillation solaire de l'eau » technique de l'utilisation de l'énergie solaire, édition des nations unies,:1975. **A**
06. BERNAD R., MENGUY G., et SCHWARTZ M, le rayonnement solaire, conversion thermique et application » thermique et docuementation;2ième Edition:1980. **O**
07. SFEIR A.A., GURRACINO G:« Ingénierie des systèmes solaire. Application à l'habitant ». technique et documentation.Paris-:(1981). **A**
08. A.KHEDIM: « Mesure et caractéristique Thermodynamique d'une nouveau Système solaire de Dessalement de l'Eau de Mer avec Récupérateur de Chaleur » Rev.Energ.Ren:2003:11èmes journées Internationales de thermique. **A**
09. CHAKR A.,BELLEL N., et MENGUY G., « Perte thermique dans u distillateur sphérique ». Revue Internationale D'Héliothermie, N°28,46-49 (2003). **A**
10. ROSTEK ASSOCIATES,INC.,TAMPA,FLORIDA « Desalting Handbook For Alanners » 3ème Edition , pp4-61. **O**
11. Kerrouche, M.H.et Kerassi, C.Etude comparative de deux distillateurs l'un type cascade et l'autre type chapelle, Institut mécanique. Université de Blida.chemss (2000).**TM**

12. Conférence des Nation Unies sur les Sources Nouvelles d'Energie Californie(1979). **A**
13. 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).* **A**
14. M.Maalem, Modélisation mathématique d'un distillateur solaire statique, à effet de serre et de géométrie régulière, Thèse de 3eme cycle, U.S.T.H.B (1983). **TM**
15. P.I. Cooper and W.R.W. Read, *Design philosophy and generating experience for solar stills, Australia, Solar energy, vol 16, P1-8. (1989).* **A**
16. Satcunathna et Hansen. *An investigation of some of the parameters involved in solar distillation. Solar Energy, Vol 14, pp 353-363(1973).* **A**
17. 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). **A**
18. G.N.Tiwari, *Solar energy: Fundamentals, Design, Modelling and applications, Alfa Science International Ltd 2002, P79-80, P108-109, P 288-289.* **O**
19. URSULA EICHER : « *solar technologies for Buildings* » edition 2001 p18,19. **O**
20. JOHN A.DUFFIE. WILLIAM A. BECKMAN : « *Solar Engineering of thermal Processes* » Second Edition,p16. **O**
21. JACQUES BERNERD: « *Energie solaire calculs et optimisation* » édition 2004,. **O**

Annexes

Implantation et plot des résultats expérimentaux:

```
% 05/05/2019
```

```
T=[6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;17;18;19;20] % Heures du jour
T1=[6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21] % Heures du jour
DA=[00;00;00;00;00;00;12.5;55;162.5;225;350;450;525;587.5;675;700]%
Distillateur A
DB=[00;00;00;00;0;00;25;125;200;325;425;496;550;562;600] % Distillateur B
```

```
figure(1)
plot(T,DA,T,DB,'r','LineWidth',1.5),grid on; % plot des données
axis([6 20 0 700]); % precision des axes
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y
legend('Distillateur A','Distillateur B'); % designation des legends
title('05 Mai 2019'); % titre de graphe
```

```
% 06/05/2019
```

```
DA1=[00;00;00;00;00;00;25;72;175;260;395;515;590;642;730;765] % Distillateur A
DB1=[00;00;00;00;00;00;12.5;50;145;220;350;475;550;600;635;650]%Distillateur B
```

```
figure(2)
plot(T,DA1,T,DB1,'r','LineWidth',1.5),grid on;
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y
legend('Distillateur A','Distillateur B')
title('06 Mai 2019')
```

```
% 07/05/2019
```

```
DA2=[0;0;0;0;0;0;50;130;245;365;445;500;537.5;555;555] % Distillateur A
DB2=[0;0;0;0;0;0;37.5;100;200;312.5;425;450;475;525;525] % Distillateur B
```

```
figure(3)
plot(T,DA2,T,DB2,'r','LineWidth',1.5),grid on;
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y
legend('Distillateur A','Distillateur B')
```

Annexes.

```
title('07 Mai 2019')
```

```
% 08/05/2019
```

```
DA3=[0;0;0;0;0;25;75;150;240;325;435;510;575;625;625] % Distillateur A  
DB3=[0;0;0;0;0;0;12.5;50;125;225;300;412.5;445;470;470] % Distillateur B
```

```
figure(4)  
plot(T,DA3,T,DB3,'r','LineWidth',1.5),grid on;  
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X  
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y  
legend('Distillateur A','Distillateur B')  
title('08 Mai 2019')
```

```
% 10/05/2019
```

```
DA=[0;0;0;0;0;40;137.5;300;500;675;900;1000;1200;1250;1287.5;1325]%  
Distillateur A  
DC=[0;0;0;0;0;25;100;275;450;625;850;975;1225;1275;1325;1375]%  
Distillateur C
```

```
figure(5)  
plot(T1,DA,T1,DC,'g','LineWidth',1.5),grid on;  
axis([6 21 0 1400])  
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X  
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y  
legend('Distillateur A','Distillateur C')  
title('10 Mai 2019')
```

```
% 11/05/2019
```

```
DA1=[0;0;0;0;18.75;87.5;250;393.75;634.75;818.75;993.75;1131.25;1218.75;128  
1.5;1306.25;1306.25] % Distillateur A  
DC1=[0;0;0;0;37.5;125;300;450;875;1062.5;1212.5;1312.5;1387.5;1412.5;1437.5  
;1437.5] % Distillateur C
```

```
figure(6)  
plot(T1,DA1,T1,DC1,'g','LineWidth',1.5),grid on;  
axis([6 21 0 1500])  
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X
```

Annexes.

```
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y
legend('Distillateur A','Distillateur C')
title('11 Mai 2019')
% 12/05/2019

DA2=[0;0;0;0;12.5;87.5;212.5;387.5;575;812.5;962.5;1112.5;1162.5;1237.5;126
2.5;1285.5] % Distillateur A
DC2=[0;0;0;0;25;112.5;237.5;400;600;837.5;1112.5;1137.5;1212.5;1287.5;1312.
5;1362.5] % Distillateur C

figure(7)
plot(T1,DA2,T1,DC2,'g','LineWidth',1.5),grid on;
axis([6 21 0 1400])
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y
legend('Distillateur A','Distillateur C')
title('12 Mai 2019')

% 13/05/2019
DA3=[0;0;0;0;12.5;75;162.5;300;475;612.5;762.5;825;875;881.25;900;900] %
Distillateur B
DC3=[0;0;0;0;25;87.5;175;325;500;662.5;812.5;912.5;962.5;981.25;987.5;987.5
] % Distillateur C

figure(8)
plot(T1,DA3,T1,DC3,'g','LineWidth',1.5),grid on;
axis([6 21 0 1100])
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y
legend('Distillateur A','Distillateur C')
title('13 Mai 2019')

% 17/05/2019

DC1=[00;00;00;00;50;175;300;437.5;725;950;1075;1225;1325;1362.5;1375]%
Distillateur A
DB=[00;00;00;00;37.5;175;300;487.5;837.5;1087.5;1262.5;1412.5;1537.5;1575;1
600] % Distillateur B

figure(9)
plot(T,DC1,T,DB,'k','LineWidth',1.5),grid on; % plot des données
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X
```

Annexes.

```
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y
legend('Distillateur C','Distillateur D'); % desgniation des legends
title('17 Mai 2019'); % titre de graphe

% 18/05/2019

DC2=[00;00;00;12.5;50;175;337;474.5;724.5;899.5;1050;1150;1212.5;1250;1262.
5] % Distillateur A
DD2=[00;00;00;25;75;200;387.5;575;850;1050;1212.5;1337.5;1387.5;1400;1475]
% Distillateur B

figure(10)
plot(T,DC2,T,DD2,'k','LineWidth',1.5),grid on;
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y
legend('Distillateur C','Distillateur D')
title('18 Mai 2019')

%%%% comparaison des résultats :

T=[6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;17;18;19;20] % Heures du jour
T1=[6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21] % Heures du jour
% 06/05/2019
F=[06    00    00
07      00    00
08      00    00
09      00    00
10      00    00
11      25   12.5
12      47   37.5
13     103   95
14     115  105
15     135  130
16     120  125
17      75   75
18      52   50
19      35   35
20      15   15]

f1=F(:,1);f2=F(:,2);f3=F(:,3)
```

```
figure(1)
plot(T,f2,T,f3,'r','LineWidth',1.5),grid on; % plot des données
% axis([6 20 0 700]); % precision des axes
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y
legend('Distillateur A','Distillateur B'); % desgniation des legends
title('06 Mai 2019'); % titre de graphe
```

```
% 07/05/2019
```

```
S=[00 00
00 00
00 00
00 00
00 00
00 00
50 37.5
80 62.5
116 100
120 112.5
80 112.5
55 50
37.5 37.5
17.5 12.5
17.5 12.5]
s1=S(:,1)
s2=S(:,2)
```

```
figure(2)
plot(T,s1,T,s2,'r','LineWidth',1.5),grid on; % plot des données
% axis([6 20 0 700]); % precision des axes
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y
legend('Distillateur A','Distillateur B'); % desgniation des legends
title('07 Mai 2019'); % titre de graphe
```

Annexes.

%11/05/2019

```
O=[00    00
00    00
00    00
00    00
00    00
18.75   37.5
68.75   87.5
162.5   150
175  175
250   225
175  200
150  175
137.5  150
62.75  100
24.75   75
12.5   25]
o1=O(:,1)
o2=O(:,2)

figure(7)
plot(T1,o1,T1,o2,'g','LineWidth',1.5),grid on; % plot des données
axis([6 21 0 250]);                          % precision des axes
xlabel('Heures du jour (H)');                  % titre des axes X
ylabel('Quantité d'eau (ml)');                  % titre des axes Y
legend('Distillateur A','Distillateur C');     % desgniation des legends
title('11 Mai 2019');                          % titre de graphe
```

%12/05/2019

```
L=[00    00
00    00
00    00
00    00
12.5   25
75   87.5
125  125
175  162.5
187.5  200
```

Annexes.

```
237.5    237.5
150    175
125    125
50     75
37.5    50
25     25
25     25]
l1=L(:,1)
l2=L(:,2)
```

```
figure(3)
plot(T1,l1,T1,l2,'g','LineWidth',1.5),grid on; % plot des données
axis([6 21 0 250]); % precision des axes
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y
legend('Distillateur A','Distillateur C'); % desgniation des legends
title('12 Mai 2019'); % titre de graphe
```

```
%17/05/2019
M=[00    00
00    00
00    00
00    00
50    37.5
125    137.5
125    125
137.5    187.5
287.5    250
150    175
125    150
110    125
100    110
37.5    37.5
12.5    25]
m1=M(:,1)
m2=M(:,2)
```

Annexes.

```
figure(4)
plot(T,m1,T,m2,'k','LineWidth',1.5),grid on; % plot des données
% axis([6 20 0 700]); % precision des axes
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y
legend('Distillateur C','Distillateur D'); % designation des legends
title('17 Mai 2019'); % titre de graphe
```

%18/05/2019

```
N=[00 00
00 00
00 00
12.5 25
37.5 50
125 125
162 187.5
175 187.5
250 275
175 200
150.5 162.5
100 125
62.5 50
37.5 12.5
12.5 12.5]
n1=N(:,1)
n2=N(:,2)
```

```
figure(5)
plot(T,n1,T,n2,'k','LineWidth',1.5),grid on; % plot des données
% axis([6 20 0 700]); % precision des axes
xlabel('Heures du jour (H)'); % titre des axes X
ylabel('Quantité d"eau (ml)'); % titre des axes Y
legend('Distillateur C','Distillateur D'); % designation des legends
title('18 Mai 2019'); % titre de graphe
```

Résumé

Résumé :

Le rendement et l'efficacité d'un distillateur solaire à effet de serre, sont influencés par des paramètres physiques et de construction, en particulier par l'écart de température entre la surface d'évaporation (l'eau saumâtre) et la température ambiante.

Notre travail a pour but l'étude de l'influence des quelques paramètres sur le rendement d'un distillateur solaire et nous avons fait des comparaisons entre le distillateur solaire à pente unique (ordinaire), distillateur solaire à canette, distillateur solaire à cascade d'absorbant demi-cylindre et distillateur solaire à cascade d'absorbant parallélépipède.

Les résultats issus de ce travail montrent que l'influence de la température et la vitesse de vent sur la production, c'est-à-dire l'augmentation de la température et de la vitesse de vent ont un effet favorable sur la production et l'augmentation de la production de l'eau distillée dans le distillateur explique l'influence de la distance entre la surface d'évaporation et la surface de condensation c'est-à-dire la performance du distillateur augmente quand la distance entre la saumure et la vitre est diminuée.

Mots clés : distillation solaire, distillateur solaire à pente unique, distillateur solaire à canette et distillateur solaire à cascade, effet de serre/écart la saumure et la vitre.

Abstract:

The efficiency and effectiveness of a greenhouse still, are influenced by physical and building parameters, in particular by the temperature difference between the evaporation surface (brackish water) and the ambient temperature.

Our work aims to study the influence of the few parameters on the yield of a solar still and we made a comparison between the single-slope solar distiller (ordinary) and solar distiller with bobbin and solar distiller cascade absorbent half-cylinder and solar distiller cascade absorbent parallelepiped.

The results of this work show that the influence of temperature and wind speed on production, the increase in temperature and wind speed have a favorable effect on the production and The increase in the production of distilled water in the distiller explains the influence of the distance between the evaporation surface and the condensation surface, that is to say the performance of the distiller increases when the distance between the brine and the window decreases.

Key words: solar distillation, single slope solar distiller and solar can still distiller and waterfall solar distiller, greenhouse effect / gap brine and glass.

خلاصة:

تتأثر كفاءة وفعالية المقطر الشمسي بالاحتباس الحراري ، بالمعاملات الفيزيائية تركيبتها ، خاصة باختلاف درجة الحرارة بين سطح التبخر (المياه المالحة) ودرجة الحرارة المحيطة.

يهدف عملنا إلى دراسة تأثير بعض المعلمات على أداء المقطر الشمسي. و قمنا بمقارنات بين وحدات التقطير الشمسي و من ضمنها المقطر الشمسي أحادية المنحدر (العادية), التقطير الشمسي باستعمال قارورات المشروبات (مصنوعة من الألمنيوم), التقطير الشمسي ذو الشلال نص اسطوانة و التقطير الشمسية متوازي الأضلاع.

تظهر نتائج هذا العمل أن تأثير درجة الحرارة وسرعة الرياح على الإنتاج ، أي أن الزيادة في درجة الحرارة وسرعة الرياح لها تأثير إيجابي على الإنتاج و توضح الزيادة في إنتاج الماء المقطر في جهاز التقطير تأثير المسافة بين سطح التبخر و سطح التكثيف ، بمعنى أن أداء جهاز التقطير يزيد عندما تنقص المسافة بين المحلول الملحي وزجاجة التكثيف.

الكلمات المفتاح : التقطير الشمسي ، التقطير الشمسي أحادي المنحدر ، التقطير الشمسي باستعمال قارورات المشروبات (مصنوعة من الألمنيوم) ، التقطير الشمسي ذو الشلال .الاحتباس الحراري / المسافة بين المحلول الملحي وزجاجة التكثيف.