



Université Saad Dahlab Blida 1
Faculté de Technologie
Département des Énergies Renouvelables



Mémoire de Master
En
Energies Renouvelables

Option Conversion Thermique

Thème

**Amélioration de la production d'un distillateur hot
box avec un système préchauffage (capteur-
échangeur)**

Soutenu le : 27 Octobre 2020

Par : Smail Mustapha

Devant le jury composé de :

M. Merzouk	Pr	USDB	Président
H.khelalfa	Dr	USDB	Examineur
D. Lafri	MCB	USDB	Promoteur

Dédicaces

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail à ma famille, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A tous mes amis et toute ma promotion pour leurs appuis et leur encouragement.

A tous ce qui de loin ou de près n'ont pas cessé de m'apporter leur soutien, pendant mes années d'études.

À mon délirant binôme.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués

SMAIL MOSTAPHA

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire Je tiens à remercier ALLAH le tout-puissant qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'études.

Je tiens à remercier d'abord le corps professoral et administratif de notre département (département des énergies renouvelables), pour la richesse et la qualité de leurs enseignements et qui déploient de grands efforts pour nous assurer une formation actualisée.

Je voudrais également remercier monsieur le président et les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail ainsi que d'avoir accepté de juger ce travail.

Je suis également très reconnaissant à Monsieur **Dr. LAFRI DJAMEL** en tant que promoteur, il s'est toujours montré l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je suis également très reconnaissant à Monsieur **Pr. M. MERZOUK** tant que président des jurys et pour l'intérêt qu'il a bien voulu porté à ce mémoire.

Je suis également très reconnaissant à Madame **DR. KHELALFA** pour l'intérêt qu'il a bien voulu porté à ce mémoire, en acceptant d'être membre de ce jury.

Je suis également très reconnaissant à mes parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience .

Merci à toutes et à tous.

ملخص:

في هذا العمل، قدمنا نتائج دراسة تجريبية من أجل تسليط الضوء على تأثير جودة المياه التي تغذي الدفيئة الشمسية ذات المنحدر الواحد من نوع Hot-Box والتي لا تزال بنظام تدفئة. التسخين المسبق بواسطة جهاز تجميع المياه بالطاقة الشمسية مع مبادل ملف.

خلال هذه التجارب، كانت الضوابط المختلفة موضوع حملة قياس، بشكل أساسي: الإشعاع الشمسي، درجات حرارة الأجزاء المختلفة للتركيب (الوجه الداخلي للزجاج، الهواء الداخلي، الماء في الخزان، درجة الحرارة المحيطة) والإنتاج اليومي وسرعة الرياح والرطوبة.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها بوضوح تأثير العديد من العوامل بما في ذلك الإشعاع الشمسي، ودرجة حرارة المحيط، وسرعة الرياح، ودرجة حرارة الماء، وتدفق المياه، على خصائص التشغيل للإنتاج.

بعد تبريد الجزء العلوي من الزجاج بالماء، لاحظنا زيادة في إنتاجية ناتج التقطير، وصلت إلى 1.2 (لتر / يوم)، مقارنة باليوم الذي لم نستخدم فيه التبريد، بلغت الإنتاجية 0.7 (لتر / يوم)، ولكن في يوم غائم كانت أقل من النتائج الأولية التي وصلت إلى 0.4 (لتر / يوم)، ويرجع ذلك حتما إلى الإضاءة الشمسية.

الكلمات المفتاحية:

المقتر الشمسي، نظام التسخين القبلي، التبريد

Résumé

Dans ce travail, nous avons présenté les résultats d'une étude expérimentale afin de mettre en évidence l'influence de la qualité de l'eau qui alimente un distillateur solaire à effet de serre de type Hot-Box à seule pente avec un système de préchauffage par un capteur solaire à eau avec un échangeur serpentin.

Au cours de ces expérimentations, différents paramètres ont fait l'objet d'une campagne de mesures, principalement : rayonnement solaire, températures des différentes parties de l'installation (face interne de la vitre, l'air interne, eau du bac, température ambiante) et la production journalière, la vitesse du vent et l'humidité.

Les résultats obtenus montrent clairement l'influence de nombreux paramètres notamment l'irradiation globale, la température ambiante, la vitesse du vent, la température d'eau, le débit d'eau, sur les caractéristiques de fonctionnement de la production.

Après avoir refroidi la partie supérieure du verre avec de l'eau, nous avons remarqué une augmentation de la productivité du distillat, qui a atteint 1,2 (l/jour), par rapport au jour où nous n'utilisons pas la réfrigération, la productivité atteinte 0,7(l/jour), mais le jour nuageux, elle était inférieure aux premiers résultats la productivité a atteint 0,4(l/jour), et cela est dû à l'éclairement solaire.

Mots clé :

Distillateur solaire, système préchauffage, refroidissement

Abstract:

In this work, we presented the results of an experimental study in order to highlight the influence of the quality of the Solar distiller with single-slope Hot-Box type solar greenhouse still with a heating system. preheating by a solar water collector with a coil exchanger.

During these experiments, various parameters were the subject of a measurement campaign, mainly: solar radiation, temperatures of the different parts of the installation (internal face of the glass, internal air, water in the tank, temperature ambient) and daily production, wind speed and humidity.

The results obtained clearly show the influence of many parameters including global irradiation, ambient temperature, wind speed, water temperature, water flow, on the operating characteristics of production. After cooling the upper part of the glass with water, we noticed an increase in the productivity of the distillate, which reached 1.2 (l / day), compared to the day when we did not use refrigeration, productivity reached 0.7 (l / day), but on a cloudy day it was lower than the first results productivity reached 0.4 (l / day), and this is due to solar illumination.

Keywords :

Solar distiller, heating system, cooling

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Chapitre 1

Fig. 1-1 : Distillateur solaire plan.....	2
Fig. 1-2 : Distillateur solaire sphérique	3
Fig. 1.3 : distillateur « hot box »	3
Fig. 1.4 : distillateur à cascade	4
Fig. 1.5 : distillateur solaire à mèche	4
Fig. 1.6 : distillateur solaire verticale	5
Fig. 1.7 : la distillation à simples effets.....	6
Fig. 1.8 : la distillation à multiples effets	7
Fig. 1.9 : la distillation multi-multi-étage(MSF).....	7
Fig. 1.10 : La distillation par compression de la vapeur	8
Fig. 1.11 : L'osmose et L'osmose inverse	8
Fig. 1.12 : la distillation par L'électrodialyse [ED]	9
Fig. 1.13 : Un Capteur solaire plan.	13
Fig. 1.14 : Un Capteur à tube sous vide	13
Fig. 1.15 Un Système à réflecteur cylindro-parabolique.....	14
Fig. 1.16 : Le capteur CPC	14
Fig. 1.17 : Vue d'ensemble du système de distillation.....	15
Fig. 1.18 : Schémas d'un distillateur solaire à étages multiples	16
Fig. 1.19 : un Schéma représentatif du dispositif	16
Fig. 1.20: (a) Principe de réalisation et (b) du fonctionnement du banc d'essai.....	18

Chapitre 2

Fig. 2-1 : Mouvement de la terre autour du soleil.	19
Fig. 2-2 : Les coordonnées géographiques	20
Fig. 2-3 : Les coordonnées horaires	21
Fig. 2-4 : Les coordonnées horizontales.....	22
Fig. 2-5 : Pyrhéliomètre pour la mesure de l'éclairement directe.....	26
Fig. 2-6 : Diffusomètre pour la mesure de l'éclairement diffus.	26
Fig. 2-8 Albédo- mètre pour la mesure des éclairagements globaux (horizontal et réfléch.....	27
Fig. 2-9: Distillateur solaire à seule vitrage (Hot-Box).....	28

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Chapitre 3

Figure 3.1 : Photo montrant le bac peint en noir.	35
Figure 3.2 : Photo de l'isolant thermique.	36
Figure 3.3 : Photo montrant la couverture verrière	37
Figure 3.4 : Photo du capteur solaire utilisé.....	38
Figure 3.5: photos du système (distillateur-capteur) réalisé.....	39
Figure 3.6 : photos de l'éprouvette utilisé pour récupérer le condensat.....	39
Figure 3.7: photos de pyranomètre.....	40
Figure 3.8: photos montre la mesure de débit	41
Figure 3.9 : Photo de l'acquisition des thermocouples.	41
Figure 3.10 : Photo montre la mesure du vent	42
Figure 3.12 : Variation temporelle de l'éclairement	44
Figure 3.13 : Variation temporelle de la production du distillat	45
Figure 3.14 : Variation temporelle des trois paramètres (Ta-vent-humidité).....	46
Figure 3.15 : Variation temporelle La température entrée et sortie du capteur	47
Figure 3.16 : Variation temporelle La température du bac	47
Figure 3.17 : Variation temporelle de la température du vitrage intérieure	48
Figure 3.18 : Variation temporelle du rendement du capteur solaire.....	49

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Liste des tableaux :

Chapitre 1

Aucune entrée de table des matières n'a été trouvée.

Chapitre 2

Tableau 2-1 : Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique	26
Tableau 2-2 : Variation de la pression atmosphérique avec l'attitude.....	26
Tableau 2.3 : Répartition du flux incident sur les différentes parties du distillateur	33

Chapitre 3

Tableau 3.1 : Emplacement des thermocouples.....	44
--	----

Nomenclature

A : L'aire d'ouverture du collecteur. (m^2)

$\tau\alpha$: Produit efficace de la transmittance et de l'absorbance du collecteur

T_a : La température ambiante. ($^{\circ}C$)

β : Inclinaison de capteur

R_b : Coefficient de Conversion de l'éclairement direct

I_b : La composante d'éclairement directe. [W/m^2]

I_d : La composante d'éclairement diffusée. [W/m^2]

I_g : L'éclairement global [W/m^2]

ρ_b : Coefficient de réflexion de sol Albédo

ϕ : latitude de lieu. [Degré]

ω : Angle horaire. [Degré]

θ : angle d'incidence. [Degré]

δ : déclinaison. [Degré]

TSV : Temps solaire vrais

h : Hauteur de soleil. [Degré]

j : Nombre de jour dans l'année

Q_d : débit volumique (m^3/s)

Q_e : flux de chaleur utilisé pour l'évaporation de l'eau

Q_{eau} : flux de chaleur effectivement reçu par la masse d'eau.

α_t : étant le coefficient d'absorption fictif de la masse d'eau

Sommaire

I. Recherche Bibliographique	1
1 Introduction	1
2 Description et Principe de fonctionnement des différents distillateurs solaire	2
2.1 Distillateurs statiques	2
2.2 Les distillateurs à ruissellement	4
3 Les procédés de dessalement.....	5
4 Les capteurs.....	10
4.1 Introduction.....	10
4.2 Les capteurs solaires	10
4.3 Composants d'un capteur solaire	11
5 Principaux types de capteurs solaires thermiques	12
6 Etat de l'art.....	15
II. Etude théorique	19
1 Introductions.....	19
2 Les coordonnées célestes	20
2.1 Les coordonnées géographiques	20
2.2 Les coordonnées horaires.....	20
2.3 Les coordonnées horizontales	21
3 Composantes du rayonnement solaire.....	25
3.1 Le rayonnement direct	25
3.2 Le rayonnement diffus	26
3.3 Le rayonnement global	27
3.4 Le rayonnement solaire réfléchi par le sol	27
4 Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire.....	28
5 Principaux paramètres influençant le fonctionnement d'un distillateur.....	29
5.1 Paramètres externes.....	29
5.2 Paramètres internes	30
6 Caractéristiques du fonctionnement d'un distillateur.....	32
7 Répartition du flux solaire incident dans le distillateur.....	33

III. Etude expérimentale	34
1 Introduction	34
2 Présentation de la région d'expérimentation	34
2.1 Situation et limites	34
3 Réalisation du distillateur solaire	34
3.1 Bac absorbant	35
3.2 Isolation thermique	35
3.3 Couverture verrière	36
4 Le capteur solaire	37
4.1 Les dimensions du capteur	37
5 Montage du système couplé	38
6 Différents appareils de mesure utilisés	40
6.1 Mesure de Puissance du rayonnement solaire	40
6.2 Mesure de débit	40
6.3 Mesure des températures	41
6.4 Mesure du vent et humidité	42
7 Emplacement des thermocouples	42
8 Interprétation et discussion des résultats	43
8.1 Éclairement en fonction du temps	44
8.2 Production en fonction du temps	45
8.3 T_a et vent et humidité en fonction du temps	46
8.4 Température d'entrée et sortie du capteur en fonction du temps	46
8.5 Température du bac en fonction du temps	47
8.6 Température du vitrage en fonction du temps	48
8.7 Rendement en fonction du temps	49
IV. Conclusion	50
V. Référence	51

Introduction générale :

Dieu nous a donné une grande bénédiction pour nous fournir une santé à long terme, qui est de l'eau potable. La question de l'approvisionnement en eau est devenue très difficile dans de nombreuses régions éloignées et où il n'y a pas d'eau douce. Notre planète y est soumise, ce qui peut entraîner une détérioration de la qualité et de la disponibilité de l'eau, et cela est dû à des conflits entre pays aux ressources communes. Pour résoudre ces problèmes, il est nécessaire de repenser la planification de l'exploitation de ces ressources en eau dans le cadre d'une vision globale et systématique pouvant inclure l'utilisation d'eau non conventionnelle comme le dessalement de l'eau de mer ou de l'eau salée.

Mais cela nécessite une énergie énorme pour fournir de l'eau potable, il semble donc bon d'envisager d'utiliser l'énergie solaire dans le processus de dessalement de l'eau de mer ou de l'eau semi-salée, car cette stratégie est devenue une véritable alternative à diverses autres sources d'énergie coûteuses en termes d'efforts et d'argent. L'Algérie est l'un des pays qui ont un niveau de terres arides très exceptionnel, avec une moyenne d'environ 300 jours par an et l'insolation globale horizontale annuelle journalière moyenne reçue par jour varie de 4.5 à 7.5 kWh/m²/j [1].

La demande en eau augmente chaque année en Algérie de 4% à 5 % (tableau 1), mais les ressources naturelles restent stables ou sont épuisées par quelque chose, et cela est dû au problème de la pollution. Si cela continue comme ça, la demande deviendra supérieure aux ressources. L'Algérie est l'un des pays les plus pauvres en termes de potentiel hydrique.

Tableau 1 : Les potentialités en eau dans l'Algérie [2]

Année	1962	1990	1995	1998	2000	2020
M³/Habitant	1500	720	680	630	500	430

Wilaya d'Adrar une région riche en eaux souterraines. Selon certaines études [2,3,4], la capacité en eau souterraine est d'environ 60 000 milliards de mètres cubes jusqu'aux dix prochaines années, avec la possibilité d'utiliser 155 m³ / s et de l'extraire par différents moyens :

- 900 Foggaras avec un débit de 3,68 l / s.
- 600 puits avec un débit moyen de 02 l / s.
- 414 puits, avec une moyenne de 16,4 l / s.

Introduction générale

Les pays arides bénéficient du grand potentiel de l'énergie solaire, dont l'exploitation peut apporter une solution durable à l'approvisionnement en eau douce. La distillation solaire en serre est une application qui utilise la conversion thermique solaire à basse température pour dessaler l'eau salée qui peut répondre aux besoins en eau potable, sur des lits ou même à petite échelle. L'utilisation de procédés de dessalement solaire peut apporter une contribution économique et environnementale efficace à l'approvisionnement en eau potable dans ces zones.

Dans ce contexte vient s'inscrire ce projet, qui consiste à réaliser et expérimenter un distillateur solaire à HOT BOX, en intégrant un capteur solaire à eau par un échangeur serpentin.

Le présent travail se compose de trois chapitres :

- Le premier chapitre, est consacré à l'étude bibliographique et l'historique des travaux antérieurs réalisés durant la dernière décennie sur les distillateurs solaires.
- Le deuxième chapitre, est consacré à l'étude théorique.
- Le troisième chapitre, nous exposons l'étude expérimentale du système couplé (distillateur-capteur).et l'interprétation des résultats obtenus

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

I. Recherche Bibliographique

1 Introduction

La distillation solaire est une technologie historique. L'utilisation moderne de la distillation solaire de l'eau salée ou saumâtre a commencé en 1872, dans le nord du Chili par l'installation d'un distillateur solaire de types bassin, qui a permis de satisfaire les besoins de la communauté pendant plusieurs années. Depuis 1954, les expériences se sont multipliées, des procédés thermiques sont mis au point et utilisés pour dessaler l'eau de mer et l'eau saumâtre. Par ailleurs, plusieurs projets de recherche sur les procédés de dessalement sont développés. Ils ont étudié expérimentalement et théoriquement les paramètres influençant la productivité des différentes configurations de distillateur solaire.

La distillation solaire est une technique ancienne et historique. L'utilisation moderne de la distillation solaire du sel ou de l'eau salée a commencé en 1872, dans le nord du Chili, en installant des écrans solaires des types de bassin, ce qui a permis de répondre aux besoins de la société en quelques années. Depuis 1954, les expériences se sont multipliées et des procédés thermiques ont été développés et utilisés pour dessaler l'eau de mer et l'eau salée. De plus, de nombreux projets de recherche sur les processus de dessalement sont en cours de développement. Ils ont expérimenté empiriquement et théoriquement les paramètres qui influencent la productivité des différentes configurations solaires.

Maintenant, les projets de recherche sont divers, donc l'investissement a davantage affecté le côté carrière, il existe de multiples sources pour le faire fonctionner à partir de combustibles fossiles, jusqu'aux énergies renouvelables, ce dernier s'est imposé comme une excellente alternative, il est devenu une nouvelle source d'énergie dans le monde au lieu du pétrole, surtout après la crise du pétrole grave dans les années soixante-dix du XIXe siècle, qui a provoqué la crise de l'eau à partir du XXe siècle, et qui a relancé les projets de dessalement de l'eau rapidement, simplement et moins cher avec les développements récents est devenu moins énergivore et plus respectueux de l'environnement, donc le contrôle des énergies renouvelables est devenu une exigence majeure C'est pourquoi la distillation solaire utilisée pour l'énergie solaire est devenue un sujet de recherche important, car les résultats ont montré le succès de ces systèmes dans la production d'eau potable.

Les pays en développement redoublent d'efforts pour trouver des systèmes plus efficaces et productifs dans le secteur de l'eau.

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

L'Algérie est l'un des pays qui souffre du problème de l'approvisionnement en eau parce que nous sommes dans une région caractérisée par la difficulté de trouver des sources naturelles d'eau, et par conséquent, l'utilisation de l'énergie solaire comme une excellente alternative est devenue une demande urgente en plus de la possibilité de produire d'énormes quantités d'énergie fossile mais cela nuit à notre pays. Pour cela il faut entrer à l'investissement de domaine des énergies renouvelables.

2 Description et Principe de fonctionnement des différents distillateurs solaire

On distingue deux types de distillateurs solaires à effet de serre :

- **Distillateurs statiques.**
- **Distillateurs à ruissellement.**

2.1 Distillateurs statiques

2.1.1 Le distillateur plan

Ce système de distillateur est essentiellement constitué d'une capacité étanche sur montée d'une vitre. La partie inférieure est recouverte d'un plan d'eau. 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.

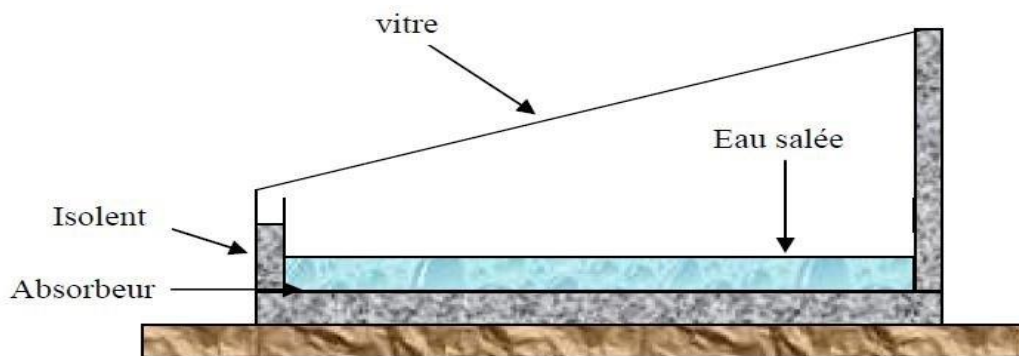


Fig. 1-1 : Distillateur solaire plan

2.1.2 Le distillateur sphérique :

C'est un distillateur en plexiglas, 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. [6]

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

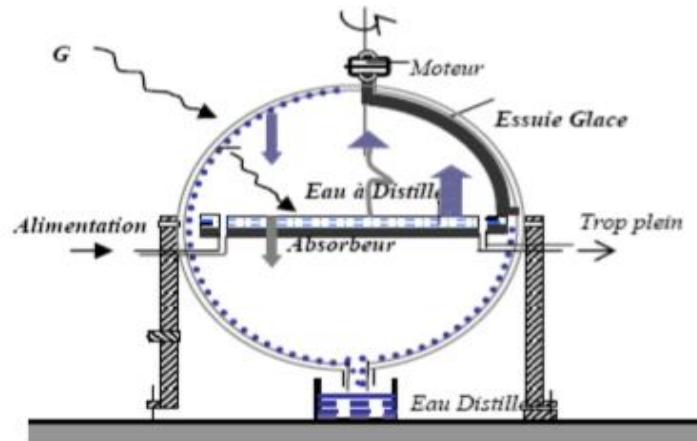


Fig. 1-2 : Distillateur solaire sphérique

2.1.3 Distillateur solaire Hot-Box :

C'est un distillateur à double capteurs où chacun d'eux est incliné d'un angle, les deux capteurs ont la même surface d'évaporation mais des surfaces de condensation différentes, L'avantage du distillateur à double vitrage, est d'exposer un capteur au soleil et un autre à l'ombre pour accélérer la condensation. [7]

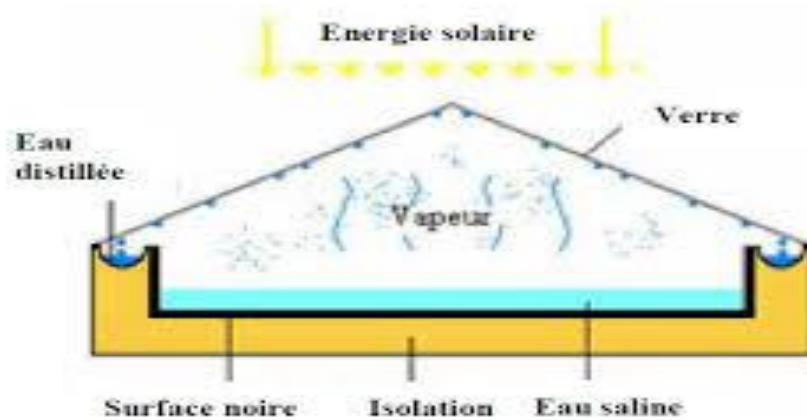


Fig. 1.3 : distillateur « hot box »

2.1.4 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, Ces appareils fonctionnent bien mais leur construction et leur entretien sont coûteux. [8]

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

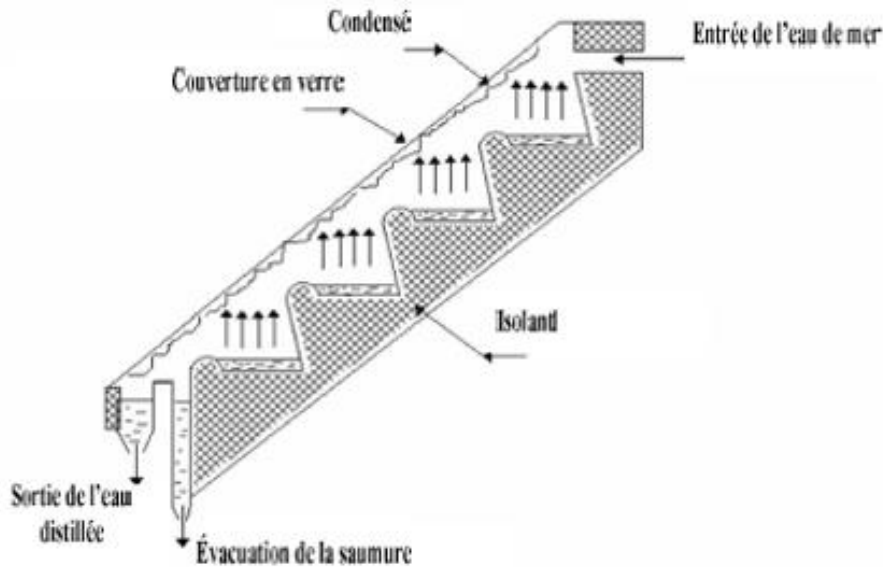


Fig. 1.4 : distillateur à cascade

2.2 Les distillateurs à ruissellement

Ce sont des distillateurs dont la nappe d'eau à distiller est en mouvement

2.2.1 Distillateur solaire à mèche :

L'eau d'alimentation coule lentement à travers une garniture poreuse, absorbant les rayonnements (mèche). Deux avantages sont revendiqués sur les distillateurs de bassin. D'abord, la mèche peut être inclinée de sorte que l'eau d'alimentation présente un meilleur angle avec le soleil (réduisant la réflexion et présentant une grande surface efficace). En second lieu, moins d'eau d'alimentation est dans le distillateur à tout moment donc l'eau est chauffée plus rapidement et à une température élevée. [9]

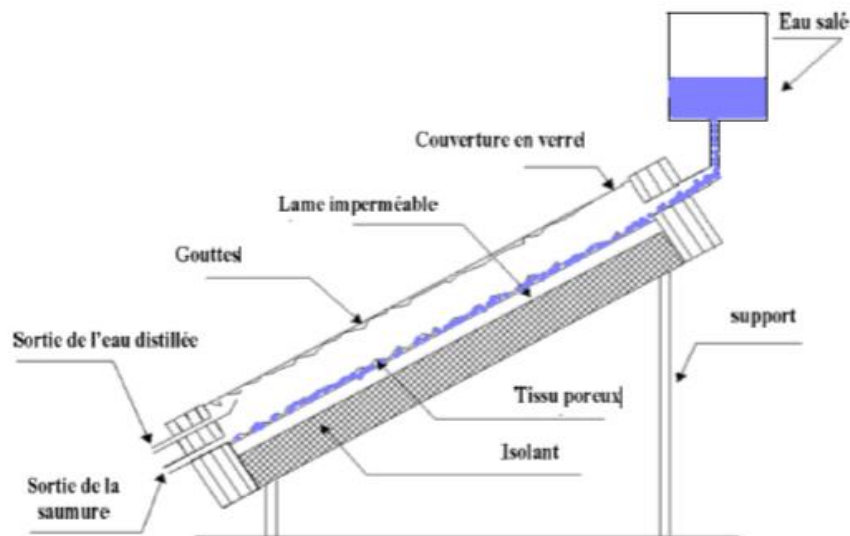


Fig. 1.5 : distillateur solaire à mèche

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

2.2.2 Distillateur solaire vertical :

Le distillateur est alimenté par de l'eau saumâtre à partir d'un réservoir (1), le distillateur est connecté au réservoir à l'aide d'un tube en cuivre (2), le débit d'eau à l'entrée du distillateur est régulé à l'aide d'une vanne (3). La position du réservoir d'alimentation permet l'alimentation du distillateur par un débit constant. Un distributeur d'eau (4), muni de perforations sur la longueur, permet la distribution de l'eau en film sur le tissu spongieux (5), l'eau ruisselle sur le tissu, et la saumure est évacuée en bas (6). L'eau qui s'écoule derrière l'absorbeur (7), s'évapore dans le compartiment d'évaporation, le mélange d'eau et d'air à l'intérieur saturé en vapeur d'eau circule naturellement à travers des deux ouvertures (8) réalisées dans la cloison isolée vers le compartiment de condensation (9), et la vapeur se condense au contact de la plaque de condensation à l'arrière du distillateur. La collecte de l'eau se produit dans une gouttière (10, 11) fabriquée en dessous de la plaque de condensation. [10]

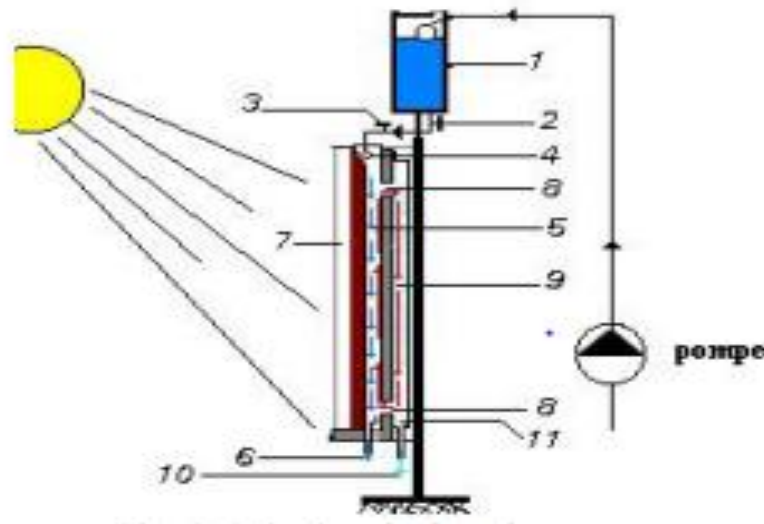


Fig. 1.6 : distillateur solaire verticale

3 Les procédés de dessalement

Le secteur de la distillation solaire connaît, en général, un développement terrible en termes de dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et dont les plus connus sont peut-être [11] :

• Processus de distillation thermique :

- La distillation à simple effet (simple effet distillation [SED]).
- La distillation à multiples effets (multiple effet distillation [MED]).
- La distillation à multiples étages (multiple stage flash [MSF]).
- La distillation par compression de la vapeur (vapeur compression [VC]).

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

• Les procédés Membrane sont des processus dans lesquels l'électricité joue un rôle majeur comme :

- L'osmose inverse (reverse osmoses [RO])
- L'électrodialyse [ED].

• Il y a aussi d'autres procédés comme :

- Le procédé d'échange d'ions.
- Le procédé de congélation.

- **La distillation à simples effets [SED]:**

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

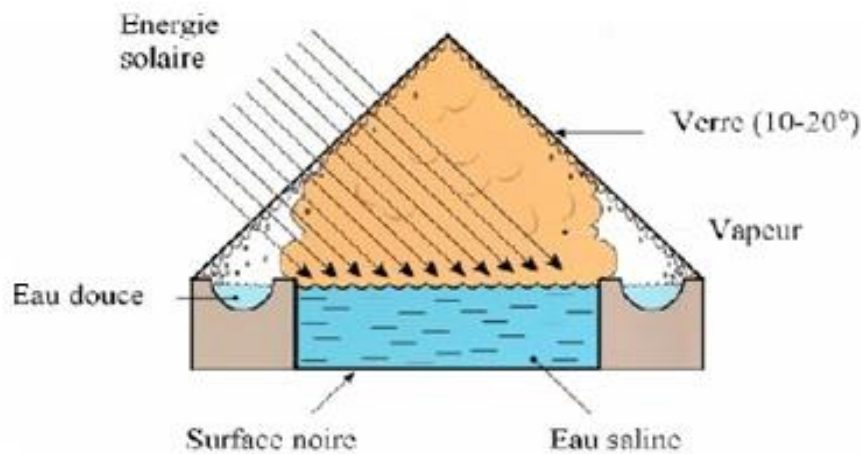


Fig. 1.7 : la distillation à simples effets

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

- La distillation à multiples effets [MED]:

Récupérer la température de condensation et l'utiliser à nouveau conduit à une augmentation de l'efficacité du procédé de sorte qu'il y a de nombreux effets multiples, on réalise alors plusieurs effets en cascade afin de récupérer la chaleur restante et de l'utiliser pour chauffer l'eau initiale.

[11]

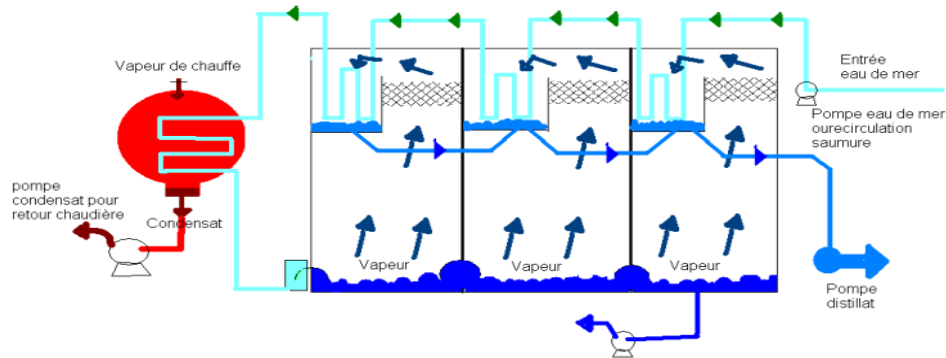


Fig. 1.8 : la distillation à multiples effets

- La distillation à multiples étages (multiple stage flash [MSF]):

L'eau saline à traiter est chauffée sous pression, sans évaporation, puis introduit dans les cellules sous vide partiel ou elle circule successivement, à chaque étage la vapeur produit par détente et va se condenser à la partie supérieure au contact d'un faisceau tubulaire dans lequel l'eau d'alimentation circule. L'installation comprend un certain nombre d'enceintes ou cellules, thermiquement isolées disposées en série dans lesquelles se produit la vaporisation instantanée par détente. [11]

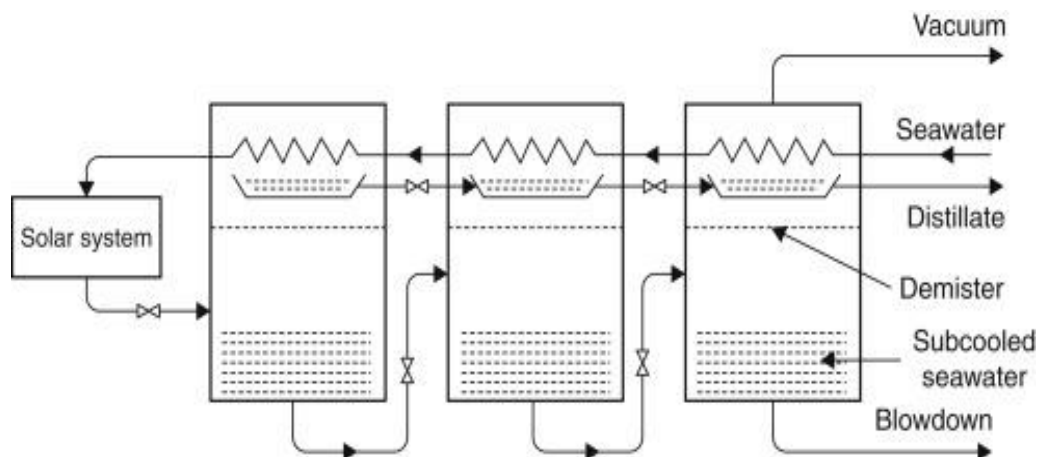


Fig. 1.9 : la distillation multi-multi-étage(MSF)

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

- La distillation par compression de la vapeur [VC] :

L'eau salée arrive dans un évaporateur, où elle se vaporise aux environs de 100°C grâce à un serpentin auxiliaire de vapeur qui est ensuite mis hors circuit. La vapeur d'eau à la pression atmosphérique et vers 100°C est alors aspirée par un compresseur qui la porte à une pression relative de l'ordre de 0,2 bar, avec une surchauffe de l'ordre de seulement 6°C, la vapeur surchauffée passe ensuite dans le serpentin principal de l'évaporateur où elle se condense.

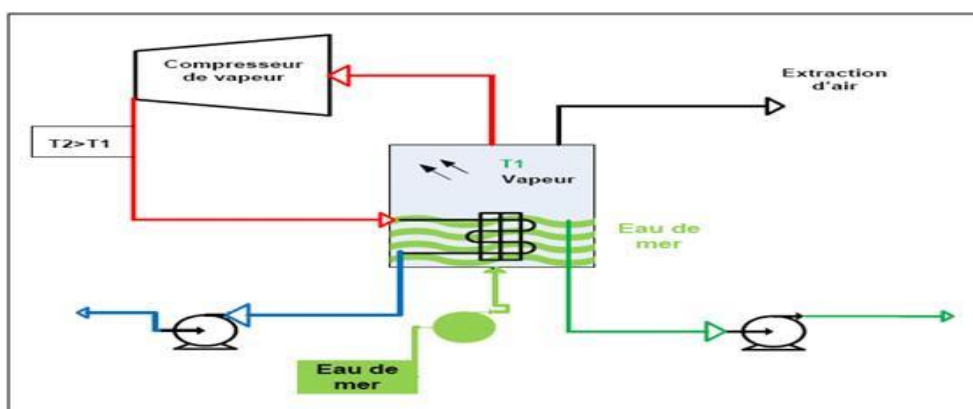


Fig. 1.10 : La distillation par compression de la vapeur

- L'osmose inverse (RO):

L'osmose inverse est un système de purification de l'eau contenant des matières en solution par un système de filtrage très fin qui ne laisse passer que les molécules d'eau. [11]

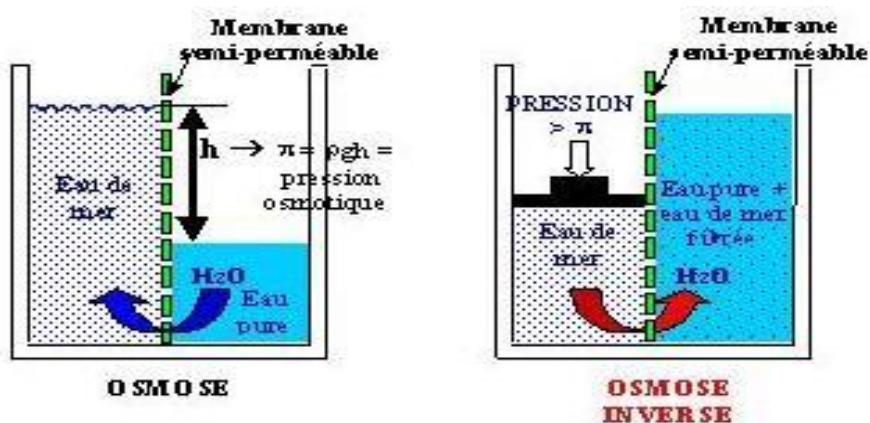


Fig. 1.11 : L'osmose et L'osmose inverse

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

- L'électrodialyse [ED] :

L'électrodialyse est un procédé de nature électrochimique. Il permet d'extraire en partie ou en totalité les ions contenus dans une solution, en conservant des substances pas ou très peu ionisées. [12]

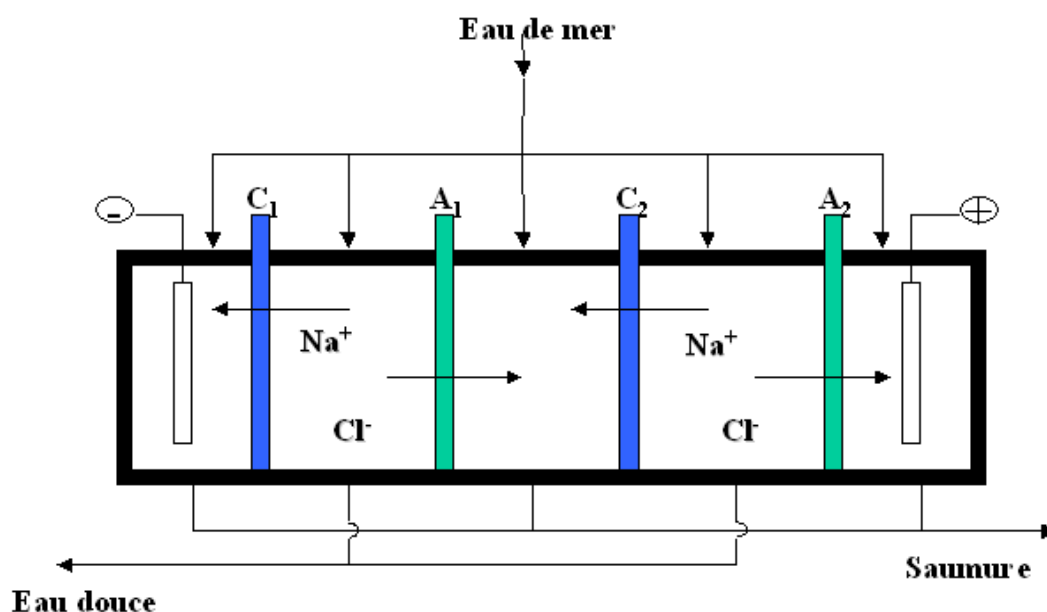


Fig. 1.12 : la distillation par L'électrodialyse [ED]

- Echange d'ions:

L'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide, pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide. [12]

- La méthode de congélation :

Le dessalement de l'eau par congélation dépend du principe selon lequel l'eau salée se sépare d'elle-même pendant la congélation où le sel s'échappe et l'eau pure est formée par la partie gelée, où le degré de congélation est indépendant de la pression et est déterminé par la concentration de sel.

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

4 Les capteurs

Les capteurs solaires sont des dispositifs dont le principe de fonctionnement est basé sur la transformation de l'énergie solaire en chaleur. Dans cette partie du mémoire les différents composants d'un capteur seront brièvement décrits. Le lecteur trouvera également différents types de capteur solaires

4.1 Introduction

Le capteur solaire plan est un système thermique qui permet la conversion de l'énergie solaire en énergie calorifique, la chaleur reçue de cette conversion est soit utilisée directement, soit elle-même convertie en énergie mécanique par l'intermédiaire des cycles thermodynamiques. Son principe de fonctionnement est basé sur l'effet de serre qui consiste à piéger le rayonnement solaire, ce dernier arrive au niveau de la couverture et le traverse pour atteindre une surface revêtue d'une peinture noire, appelée absorbeur.

4.2 Les capteurs solaires

La couverture est la surface à travers laquelle le rayonnement solaire non concentré est admis dans le capteur. On ne peut utiliser que des matériaux transparents. L'intérêt d'une couverture transparente habituelle pour le rayonnement solaire est d'autant plus grand que la température de fonctionnement du convertisseur est élevée, Les couvertures transparentes habituelles sont pour la plupart en verre en simple ou double vitrage, trempé ou non, armé ou non. [13]

Tableau.1-1 Propriétés de quelques surfaces transparentes

Matériau	Facteur de transmission solaire (%)	Masse volumique (kg/m ³)	Chaleur massique (j/kg.K)	Conductivité thermique (w/m.K)	Dilatation thermique (K ⁻¹)
Verre	85-92	2700	840	0.93	0.9·10 ⁻⁵
Polycarbonate	82-89	1200	1260	0.2	6.6·10 ⁻⁵
Polyméthacrylate	89-92	1200	1460	0.2	7·10 ⁻⁵
Polyester armé	77-90	1400	1050	0.21	3.5·10 ⁻⁵

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

4.3 Composants d'un capteur solaire

- L'absorbeur:

Il a pour fonction d'absorber le rayonnement solaire incident, de le convertir en chaleur et de transmettre celle-ci à un fluide caloporteur, tout en minimisant les pertes. En général, l'absorbeur n'est qu'une plaque plane en métal dont la couche superficielle donnant sur le soleil, doit être douée d'un coefficient d'absorption le plus élevé possible. [14]

Tableau.1-2 Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques

Matériau	Conductivité thermique (w/m.K)	Chaleur massique (j/kg.K)	Masse volumique Kg/m ³	Diffusivité (10 ⁻⁶ m ² /s)
Cuivre	380	398	8900	108
Acier inoxydable	14	460	7800	4
Aluminium	204	879	2700	86

- Le fluide caloporteur:

Pour évacuer la chaleur emmagasinée par la surface absorbante, on utilise habituellement soit l'air, soit l'eau, des mélanges eau glycol sont aussi employés à cause des conditions climatiques

- Un isolant thermique :

Limiter les pertes par transmission vers l'extérieur du capteur est primordial si on cherche à optimiser les performances de ce dernier. Nombreux sont les produits isolants qui peuvent convenir pour l'isolation arrière et latérale. On place une ou plusieurs couches d'isolant du type, laine de verre, polystyrène.... (Tableau 1.3) [13]

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

Tableau 1.3 : Propriétés thermiques de quelques matériaux isolants

Matériau	Conductivité thermique (w/m.K)	Masse volumique Kg/m ³	Chaleur massique (j/kg.K)	Diffusivité (10 ⁻⁶ m ² /s)
Air (à 20°C)	0.025	1.2	1003	208
Mousse de polyuréthane	0.029	30	1600	6.0
Laine de verre	0.036	40	840	10.7
Polystyrène expansé	0.040	20	1500	13.3
Papier journal comprimé	0.105	130	1340	6.0
Bois de pin	0.118	500	1210	1.95
Plâtre	0.35	800	800	5.5

5 Principaux types de capteurs solaires thermiques

- Le capteur plan :

C'est un dispositif sans concentration dans lequel la surface de l'absorbeur est une plaque métallique sensiblement plane et noircie pour absorber le maximum de rayonnement. Les avantages des capteurs plans sont :

- Structure simple et robuste.
- Rapport performance prix favorable.
- Faciles à intégrer grâce à leur surface plane

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique



Fig. 1.13 : Un Capteur solaire plan.

- **Le capteur a air :**

Il est constitué d'une surface de couleur foncée absorbant la chaleur et d'une surface isolante. Le fluide caloporteur est de l'air. Le capteur solaire à air est utilisé surtout pour le chauffage des locaux

- **Le capteur à tube sous vide:**

Un capteur solaire "sous vide" est composé d'une série de tubes transparents en verre de 5 à 15 cm de diamètre. Dans chaque tube il y a un absorbeur pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour permettre le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur. [25]



Fig. 1.14 : Un Capteur à tube sous vide

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

- Le capteur cylindro-parabolique :

Les concentrateurs solaires utilisant des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. [25]



Fig. 1.15 Un Système à réflecteur cylindro-parabolique

- Le capteur CPC (Compound Parabolic Concentrator) :

C'est un capteur plan ou à tubes sous vide avec un réflecteur "concentrateur à segments paraboliques". Les réflecteurs CPC ont une géométrie qui permet au rayonnement solaire direct et diffus d'atteindre l'absorbeur, car la surface de l'absorbeur est cylindrique couvrant la totalité de la surface du tube intérieur. [25]

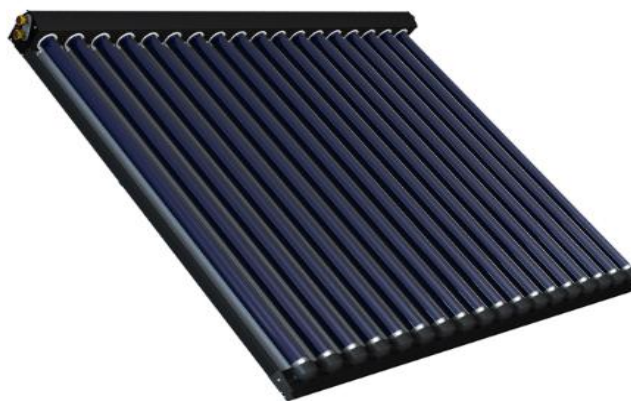


Fig. 1.16 : Le capteur CPC

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

6 Etat de l'art

Plusieurs travaux de recherche ont été effectués dans ce domaine. Ils ont étudié expérimentalement et théoriquement les paramètres influençant la productivité des distillateurs solaires.

- **Sangeeta Suneja et Al** ont présenté une étude d'un système de distillation solaire avec un absorbeur inversé à double effet. Ils ont observé que le distillateur solaire à double effet d'absorbant inversé donne un résultat plus élevé que le distillateur solaire conventionnel à double effet. [15]

- **M. Boukar et A. Harmim** ont présenté une étude d'application liée à la productivité nocturne d'une distillation solaire associée à un compteur solaire plan et pour améliorer sa productivité, ils ont augmenté la température de la source chaude, notant que la production nocturne augmente avec l'augmentation de la masse de la saumure où la différence de productivité est due à la différence d'épaisseur de l'eau et donc à sa capacité thermique. [16]

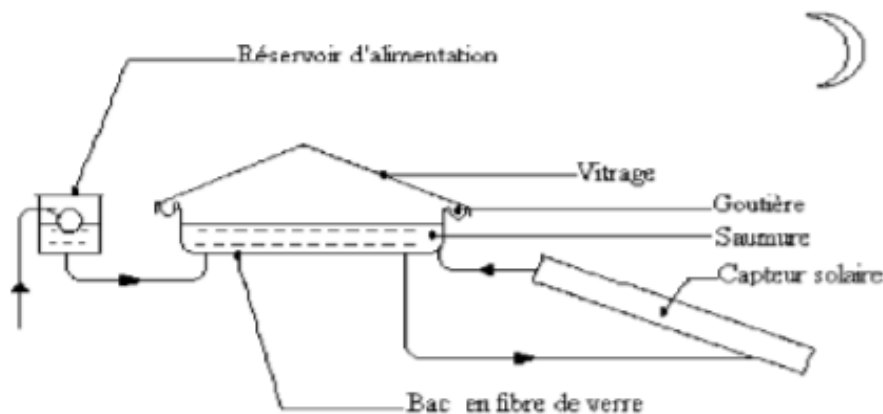


Fig. 1.17 : Vue d'ensemble du système de distillation

- **R. Menina et al** ont présenté une étude expérimentale entre deux distillateurs solaires identiques, de type 'hot box', dont l'un fonctionne normalement et l'autre avec un système de préchauffage, ils ont donc remarqué qu'il est difficile de gérer le système de préchauffage bien qu'il soit plus économique, mais le problème est qu'il est difficile en termes de contrôle de la température de l'eau d'appoint. [17]

- **A.Khedim** a étudié dans ce contexte un distillateur d'eau de mer à étages multiples avec récupération de chaleur. Cette méthode de récupérer et d'utiliser plusieurs fois la même quantité d'énergie solaire captée a pour but de baisser sensiblement la consommation

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

énergétique de manière à ce que l'énergie solaire devienne une alternative dans la technique du dessalement de l'eau. [18]

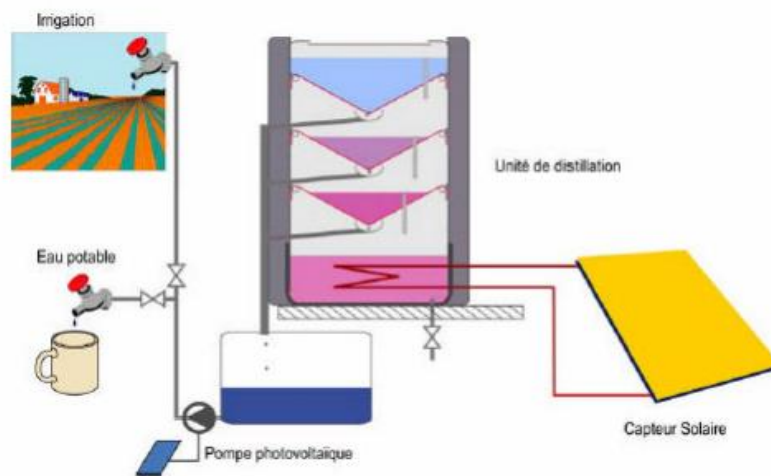


Fig. 1.18 : Schémas d'un distillateur solaire à étages multiples

- **M. Benhammou et al** ont étudié un distillateur horizontal à double vitrage lié à un condenseur. Ce distillateur est constitué de deux éléments principaux : un capteur où se fait l'évaporation de l'eau saumâtre, et un condenseur dans lequel se condense la vapeur d'eau. Ils ont remarqué que pendant la journée, la température des différents éléments du distillateur suit l'évolution du rayonnement solaire dominant. D'où les maxima se trouvent là où le rayonnement solaire est maximal et la valeur la plus élevée est obtenue dans la saison où le rayonnement solaire est plus intense. et aussi ont remarqué également bien que le faible gradient de température entre le fluide et le condenseur au coucher du soleil, le distillateur continue la production de l'eau distillée. [19]

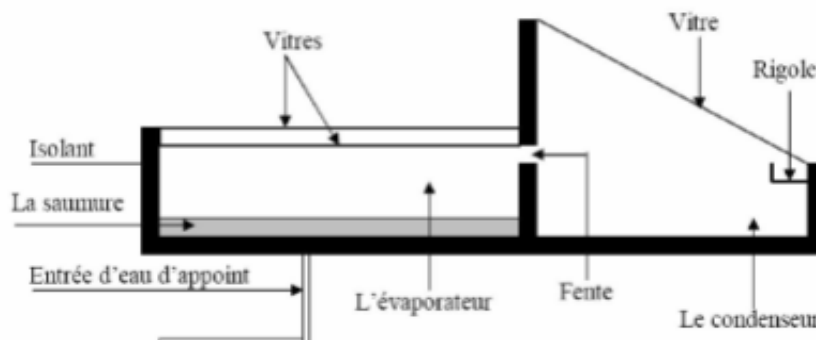


Fig. 1.19 : un Schéma représentatif du dispositif

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

Mousa Abu-Arabi et Youcef Zurigat Ils ont présenté une étude appliquée qui est une comparaison de trois types de distillateurs solaires, et ils sont : régénérateurs, conventionnels et à double vitrage rafraîchi, Ils ont également présenté l'effet de plusieurs facteurs sur la productivité eau avec et sans la teinture dans le bassin inférieur, le coefficient de perte de chaleur de bassin, la masse d'eau dans les bassins et le débit d'eau entre le double vitrage. Ils ont remarqué que La productivité du distillateur régénérateur est plus élevée de 70 % à celle du distillateur conventionnel. L'isolation des distillateurs conduit à une augmentation de leur productivité et ils ont également noté que l'augmentation de l'eau dans le bassin inférieur affectait négativement la productivité des trois distillateurs. [20]

- **Abla Chaker et Nassima Boukerzaza** ont présenté une étude de deux types de distillateurs solaires : le distillateur plan et le distillateur sphérique. L'étude particulièrement attachée à la détermination des caractéristiques de fonctionnement, production ; elles ont conclu que les pertes thermiques du distillateur plan sont plus importantes que celles du distillateur sphérique. [5]

- **N. Retiel et Al** Ils ont réalisé un distillateur solaire plan classique, sur lequel ils ont essayé d'apporter quelques améliorations pour augmenter la production d'eau distillée. Les essais de distillateur ont permis de mettre en évidence les effets de chaque élément du distillateur (isolation, préchauffeur, miroir et absorbeur). Chacun de ces éléments a été testé seul, ensuite l'ensemble de ces éléments a été assemblé pour obtenir une quantité d'eau distillée considérable. Ils ont remarqué que le préchauffeur a le meilleur rendement par rapport aux autres éléments, mais du fait qu'il occupe une surface au sol il serait plus intéressant d'agrandir la surface du distillateur. [21]

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

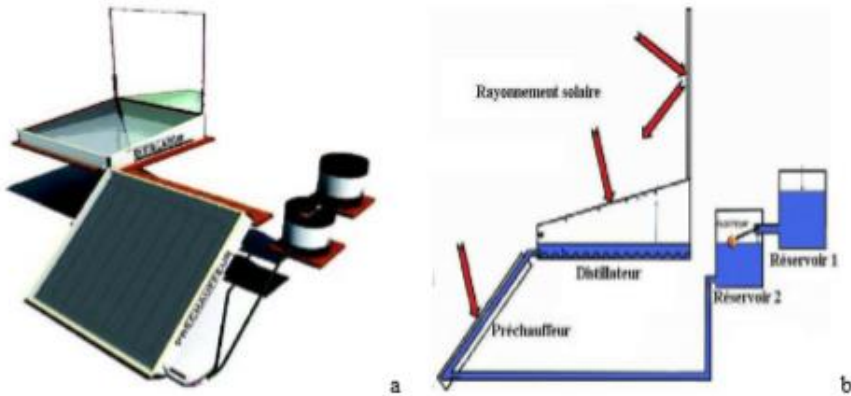


Fig. 1.20 : (a) Principe de réalisation et (b) du fonctionnement du banc d'essai

II. Etude théorique

1 Introductions

L'intensité du rayonnement dépasse les 1000 w/m^2 avec une durée d'insolation qui peut atteindre les 13 heures pendant la journée, notamment en été dans les régions du sud de l'Algérie, qui se caractérisent par d'énormes réserves d'énergie solaire, de sorte que l'utilisation d'énergies renouvelables est devenue incontournable. Nous pouvons convertir l'énergie solaire en énergie thermique ou photoélectrique L'étude de la distillation solaire nécessite une grande connaissance des gisements solaires, Pour cela, nous proposons d'étudier théoriquement plusieurs configurations de distillateur double pente, afin de connaître les paramètres influençant la productivité du distillateur solaire, pour améliorer leurs rendements[22]

Mouvements de la Terre :

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des Foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre-soleil ne varie que de $\pm 1,7 \%$ par rapport à la distance moyenne qui est de $149675 \text{ } 106 \text{ km}$. La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles et passant par le centre de la terre appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique en fait l'équateur, et l'écliptique font entre eux un angle appelé angle d'inclinaison de l'ordre de $(+23^{\circ}27'$ et $-23^{\circ}27')$ en solstices et zéro degré aux équinoxes. [22]

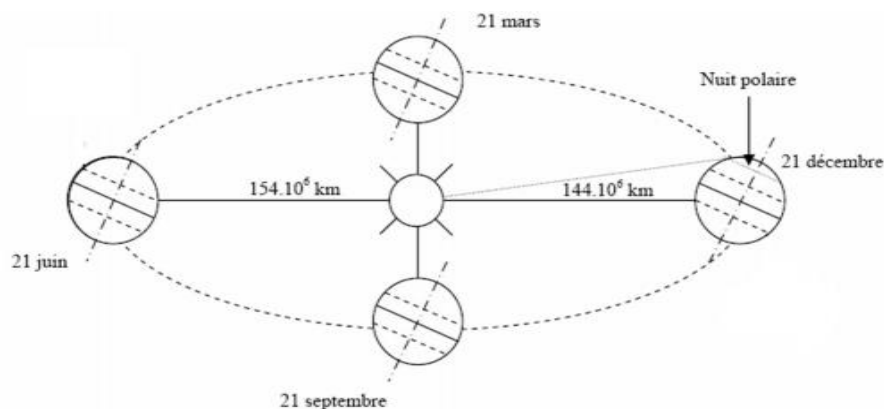


Fig. 2-1 : Mouvement de la terre autour du soleil.

Chapitre 3 : Etude expérimentale

2 Les coordonnées célestes

2.1 Les coordonnées géographiques

Ce sont les coordonnées angulaires Ce sont toutes des coordonnées qui nous permettent de localiser n'importe quel endroit sur n'importe quel point de la Terre.

La longitude L : est comptée positivement vers l'est et négativement vers l'ouest, à partir du méridien Greenwich.

La latitude ϕ : permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de 0° à 90° dans l'hémisphère nord et de 0° à -90° dans l'hémisphère sud.

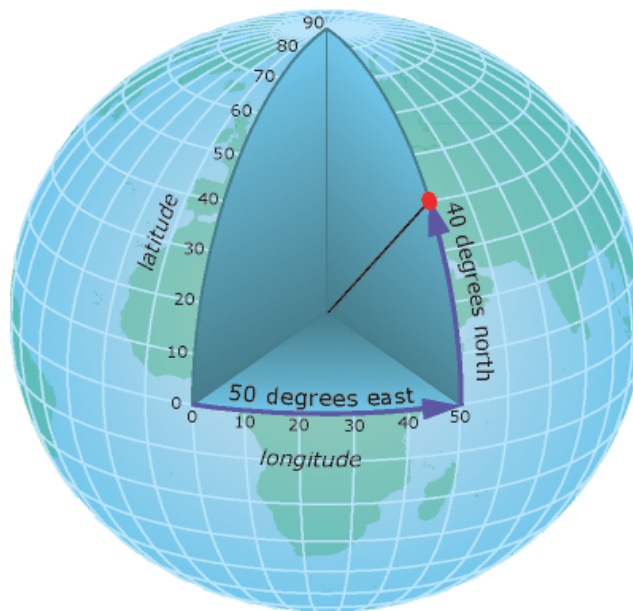


Fig. 2-2 : Les coordonnées géographiques

2.2 Les coordonnées horaires

La déclinaison δ : c'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle varie au cours de l'année de $+23,45^\circ$ à $-23,45^\circ$ et détermine l'inégalité des durées des jours. Elle s'obtient à partir de la formule suivante :

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{(284 + N)}{365} \times 360 \right] \quad [\text{degré}] \quad (\text{II.1})$$

Où :

N : le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1er Janvier.

Chapitre 3 : Etude expérimentale

L'angle d'inclinaison varie au cours des saisons :

Equinoxe de printemps : 21 mars, $\delta = 0$

Solstice d'été : 21 juin, $\delta = + 23,45^\circ$

Equinoxe d'automne : 23 septembre, $\delta = 0$

Solstice d'hiver : 21 décembre, $\delta = - 23,45^\circ$

L'angle horaire ω : il est déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe.

L'angle horaire (ω) varie de $- 180^\circ$ à $+ 180^\circ$

$$\omega = 15(T_{sv}-12) \quad (\text{II.2})$$

ω en degré.

Si $\omega = 0$, TSV=12h.00

Si $\omega < 0$, la matinée.

Si $\omega > 0$, l'après-midi.

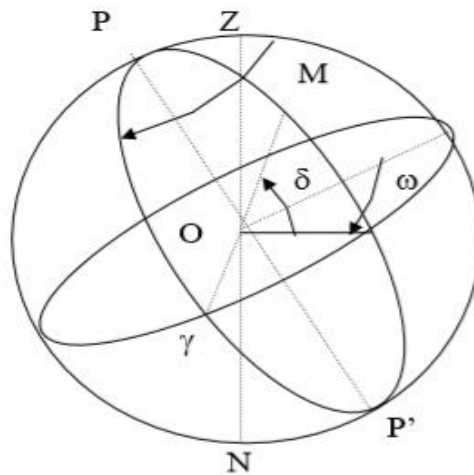


Fig. 2-3 : Les coordonnées horaires

2.3 Les coordonnées horizontales

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles :

L'azimut a : ou l'angle que fait la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal avec la direction sud. Il est compté de 0° à 360° d'ouest en est, ou de 0° à 180° à partir du sud vers l'ouest.

Chapitre 3 : Etude expérimentale

La hauteur h : ou l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection. Il est varié entre -90° et $+90^\circ$, On appelle quelquefois distance zénithale le complément de l'angle h : $z + h = 90^\circ$. [22]

On prend pour :

- $h > 0$ le jour
- $h < 0$ la nuit
- $h = 0$ au lever et au coucher du soleil

$$\sin (h) = \cos (\varphi) \times \cos (\delta) \times \cos (\omega) + \sin (\varphi) \times \sin (\delta) \quad (\text{II.3})$$

Où l'on rappelle que φ , δ , et ω sont respectivement la latitude du lieu, la déclinaison du soleil et l'angle horaire.

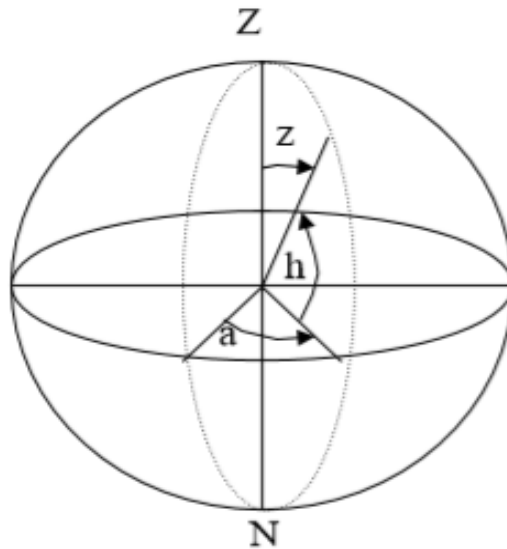


Fig. 2-4 : Les coordonnées horizontales

- Le temps solaire vrai TSV:

C'est le temps basé sur le mouvement angulaire apparent du soleil à travers le ciel, à midi solaire, le moment de passage du soleil par le méridien de l'observateur.

C'est le temps qui est basé sur le mouvement apparent angulaire du soleil à travers le ciel dénotant le temps solaire. La différence entre le temps solaire et le temps solaire standard est l'écart Δt entre le Temps Solaire Local (TSL) et Temps Solaire Vrai (TSV) qui est désigné sous le terme d'équation du temps.

Chapitre 3 : Etude expérimentale

$$\text{Temps solaire} - \text{Temps Standard} = 4 (L_{\text{st}} - T_{\text{loc}}) + E \quad (\text{II.4})$$

L_{st} : c'est le méridien standard du temps local d'une zone

T_{loc} : c'est la longitude de la localité en question.

E : représente l'équation du temps (en minutes), l'expression est proposée par Duffie et Beckman [24] :

$$E = 229,2. (0,000075 + 0,001868.\cos B - 0,032077.\sin B - 0,014615.\cos 2B - 0,04089.\sin 2B). \quad (\text{II.5})$$

$$B = (N-1) \cdot \left(\frac{360}{365}\right) \quad (\text{II.6})$$

- Temps Solaire Moyen (T.S.M) :

Le jour solaire moyen est la moyenne d'un très grand nombre de jours solaires vrais. Le temps moyen a été imaginé pour remédier à l'inégalité des jours solaires vrais. On introduit la notion de Temps Solaire Moyen (T.S.M), qui varie par rapport au T.S.V, où le terme correctif (ET) désigne l'équation du temps :

$$\text{TSM} = \text{TSV} - \text{ET} \quad (\text{II.7})$$

- Le temps universel (T.U):

C'est le temps moyen du méridien de Greenwich (méridien origine) :

$$\text{TU} = \text{TSM} - \frac{L}{15} \quad (\text{II.8})$$

Où :

L : est la longitude.

$L > 0$: pour les villes situées à l'Est de Greenwich.

$L < 0$: pour les villes situées à l'Ouest de Greenwich.

$\text{TU} = \text{TSM}$: pour le méridien de Greenwich.

Chapitre 3 : Etude expérimentale

- Le temps légal (TL):

C'est le temps officiel d'un état, il est donné par :

$$TL = TU + \Delta H \quad (II.9)$$

Où :

ΔH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.

$\Delta H = 1$ heure pour l'Algérie.

- Le constant solaire :

Le flux solaire moyen sur un plan perpendiculaire à la direction des rayons, placé en dehors de l'atmosphère terrestre, est appelé constante solaire I_c [22].

La valeur moyenne actuellement retenue est : $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$.

Cette valeur est la moyenne sur l'année du flux extra-terrestre. En effet, la trajectoire de la terre autour du soleil étant elliptique, il s'en suit une variation saisonnière de $\pm 1.6 \%$ de la distance Terre Soleil et donc une variation de ce flux. La relation suivante donne la valeur corrigée de la constante solaire :

$$I_C = I_0 \times [1 + 0.0034 \times \cos (30 \times (m - 1) + n)] \quad (II.10)$$

$I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$.

m : est le numéro du mois dans l'année;

n : est le numéro du jour dans le mois

Chapitre 3 : Etude expérimentale

3 Composantes du rayonnement solaire

Bien sûr, l'atmosphère ne transmet pas tout le rayonnement solaire qu'elle reçoit à la Terre, Les composantes du rayonnement solaire incident instantané sont :

3.1 Le rayonnement direct

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire atteignant directement la surface terrestre depuis le soleil.

$$I_d = I_c * A * \exp\left(\frac{-B}{\sin h} * \frac{P}{1000}\right) * \cos(i) \quad (\text{II.11})$$

I_c : la constante solaire,

I : angle d'incidence,

h : hauteur du soleil

A et B : Coefficients traduisant les troubles atmosphériques

P : la pression atmosphérique

Tableau 2-1 : Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique

	Zones industrielles	Ciel pur	Condition Normale
A	0.91	0.87	0.88
B	0.43	0.17	0.26

Tableau 2-2 : Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude

Altitude(m)	0	500	1000	1500	2000	5000
P (mbar)	1000	950	900	850	800	500

Chapitre 3 : Etude expérimentale

On le mesure par un pyrhéliomètre



Fig. 2-5 : Pyrhéliomètre pour la mesure de l'éclairement directe.

3.2 Le rayonnement diffus

Se manifeste lorsque le rayonnement solaire direct se disperse dans les nuages et les particules atmosphériques. Le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les nuages et les molécules diverses en suspension dans l'atmosphère, et de sa réfraction par le sol. On le mesure par un diffusomètre.



Fig. 2-6 : Diffusomètre pour la mesure de l'éclairement diffus.

Chapitre 3 : Etude expérimentale

3.3 Le rayonnement global

Le rayonnement global sur une surface quelconque au voisinage du sol est la somme de ces deux composantes :

$$I_g = I_d + I_D \quad (\text{II.12})$$

On le mesure par un pyranomètre :



Fig. 2-7 : Pyranomètre pour la mesure de l'éclairement global horizontal

3.4 Le rayonnement solaire réfléchi par le sol

C'est la fraction du rayonnement incident réfléchi par le sol sur le capteur. Il permet de définir l'albédo du sol, mesurant la fraction réfléchie sur la fraction incidente.

$$\text{Albedo } \rho_b = \frac{\text{Eclairement globale réfléchi}}{\text{Eclairement globale incident}}$$

On le mesure par un Albedomètre



Fig. 2-8 Albedomètre pour la mesure des éclairagements globaux (horizontal et réfléchi)

Chapitre 3 : Etude expérimentale

4 Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire

Le système de distillation est essentiellement constitué d'une enceinte étanche surmontée d'une vitre. La partie inférieure est recouverte d'eau (eau de robinet ou eau de mer). Sous l'action du 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 des gouttières.

Afin de réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur, les parois latérales et inférieures sont isolées.

Les matériaux utilisés ont les mêmes fonctions quel que soit la variante du distillateur solaire. Nous avons principalement:

- ✓ Un absorbeur.
- ✓ Une vitre transparente.
- ✓ Un matériau isolant.
- ✓ Un collecteur d'eau distillée.
- ✓ Un système d'évacuation de l'eau distillée.
- ✓ Un système d'admission de l'eau saumâtre, saline ou de robinet.
- ✓ Un matériau pour assurer l'étanchéité du système.
- ✓ Un boîtier [24]

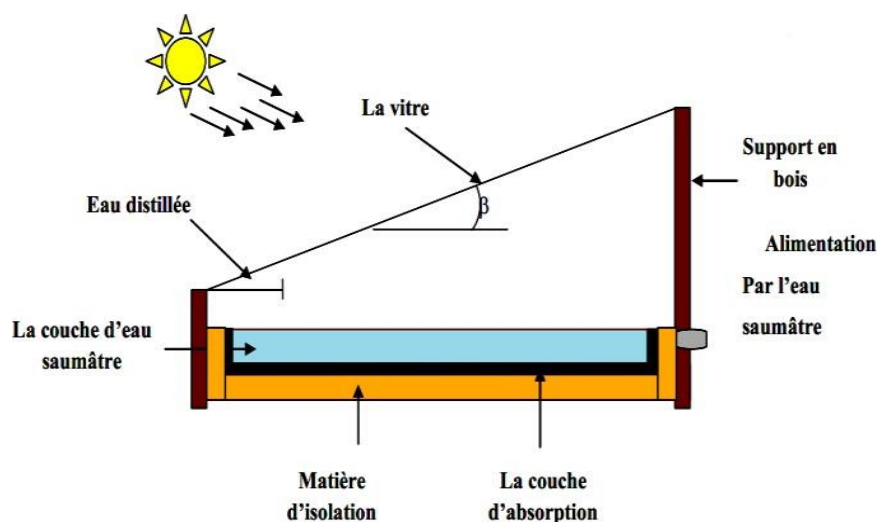


Fig. 2-9 : Distillateur solaire à seule vitrage (Hot-Box)

5 Principaux paramètres influençant le fonctionnement d'un distillateur

On peut classer classés de la manière suivante :

5.1 Paramètres externes

❖ Paramètres météorologiques :

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

✓ Intensité du rayonnement solaire :

C'est le facteur essentiel, C'est une énergie rayonnante de courte longueur d'onde.

✓ Vitesse du vent :

Intervient surtout dans l'échange par convection entre la face externe et l'ambiance.

✓ Température ambiante :

La valeur de cette température intervient pour la détermination des échanges thermiques entre la partie interne et le milieu extérieur.

✓ Intermittence des nuages :

La quantité d'énergie solaire reçue par une surface dépend des paramètres qui dépendent de la nature de ciel. Cela revient à dire que le passage des nuages diminue l'absorptance effective moyenne [25].

❖ Paramètres géographiques :

Tels que la longitude, la latitude et la hauteur de soleil.

Chapitre 3 : Etude expérimentale

5.2 Paramètres internes

Les paramètres internes peuvent être classés de la manière suivante :

❖ Paramètres de construction:

✓ Couverture:

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

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

Des études ont montré que la performance du distillateur augmente quand la distance entre la saumure et la vitre diminue.

✓ 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).

✓ Hauteur de niveau de la masse d'eau :

L'épaisseur de l'eau joue un rôle très important. La production autant plus importante pour un distillateur à faible épaisseur de saumure [25].

❖ Paramètres de position :

✓ L'emplacement du distillateur, endroit où il doit être placé de façon à éviter les obstacles qui empêcherait le rayonnement solaire d'atteindre la surface de captation.

✓ 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.

✓ L'orientation, dépend du fonctionnement du distillateur pendant la journée.

Chapitre 3 : Etude expérimentale

On distingue suivant le moment de la journée :

- Fonctionnement pendant la matinée → orientation Est.
- Fonctionnement pendant l'après-midi → orientation ouest.
- Fonctionnement durant toute la journée → orientation Sud.

❖ Paramètres de la saumure :

✓ L'épaisseur de l'eau ou de la saumure à distiller:

Joue un rôle important dans la production, cette dernière est d'autant plus élevée que l'épaisseur est faible, cependant plus l'épaisseur est grande plus la distillation dure. [13]

✓ Température de la saumure :

Lorsque la température de la saumure augmente, on observe un dépôt blanc sur la surface libre de l'eau dû à la formation de carbonates insolubles dans la saumure.

✓ Qualité de l'eau qui alimente le distillateur :

Des expériences ont montré que la production du distillateur diminué quand la concentration augmente.

❖ Paramètres optiques :

Ce sont : l'émissivité, l'absorptivité, la réflectivité et la transmittivité

❖ Paramètres Thermo physiques :

Ce sont : la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité cinématique, la viscosité dynamique.

Chapitre 3 : Etude expérimentale

6 Caractéristiques du fonctionnement d'un distillateur

Le choix d'un distillateur solaire dépend essentiellement de grandeurs, appelées caractéristiques de fonctionnement. On distingue :

- **Le débit de distillat ou production du distillateur m_d :**

C'est la quantité d'eau distillée journalière produite par unité de surface d'évaporation définie par le rapport :

$$m_d = \frac{Q_e}{L_v} \quad \text{(III-1)}$$

Q_e : Flux de chaleur d'évaporation.

L_v : Chaleur latente de vaporisation.

- **L'efficacité globale η_g (%) :** est définie par le rapport de la quantité d'eau évaporée par mètre carré, à la quantité de l'énergie globale incidente par mètre carré sur une surface horizontale définie par l'expression :

$$\eta_g = \frac{Q_e}{G \cdot A} \quad \text{(III-2)}$$

- **L'efficacité interne η_i (%) :** est définie par l'expression :

$$\eta_i = \frac{Q_e}{Q_{eau}} \quad \text{(III-3)}$$

Q_e : flux de chaleur utilisé pour l'évaporation de l'eau

Q_{eau} : flux de chaleur effectivement reçu par la masse d'eau.

Chapitre 3 : Etude expérimentale

La performance :

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière absolue a amené ainsi Satcunanathan et Hansen [15] à définir le facteur de performance brut (F.P.B) et le facteur de performance horaire (F.P.H) :

$$\mathbf{FPB} = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout de 24 h}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout de 24 h}}$$

$$\mathbf{FPH} = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout d'une heure}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout d'une heure}}$$

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

$$\mathbf{F.P} = \frac{m_d}{\alpha_t . G . A}$$

7 Répartition du flux solaire incident dans le distillateur

Le flux solaire incident transmis à travers la couverture transparente se répartit entre les différentes parties du distillateur selon les proportions présentées dans le **tableau 2.3**

Tableau 2.3 : Répartition du flux incident sur les différentes parties du distillateur

Flux incident	vitre	Plan d'eau	Bac du distillateur (Fond)
Réflexion	$r_v G$	$r_e \tau_v G$	$r_f \tau_v \tau_e G$
Transmission	$\tau_v G$	$\tau_v \tau_e G$	
Absorption	$\alpha_e G$	$\alpha_e \tau_v G$	$\alpha_f \tau_v \tau_e G$

III. Etude expérimentale

1 Introduction

Notre étude a pour but de réaliser un distillateur solaire à effet de serre (Hot-Box) (un seule pente) avec un système préchauffage et d'étudier l'effet qualitatif de l'eau alimentant ce procédé de traitement. Il est important de noter que ce travail a été réalisé au niveau de notre département des énergies renouvelables, de la faculté de Technologie Université de BLIDA1.

2 Présentation de la région d'expérimentation

2.1 Situation et limites

Notre système fonctionne dans les conditions climatiques de la ville d'Ouled-Yaïch installé sur le toit de département des énergies renouvelables, (le pavillon 23), à l'Université BLIDA 1.

a wilaya de Blida se situe dans la partie nord du pays, dans la zone géographique du Tell central. Elle est limitée au nord par la wilaya de Tipaza et la wilaya d'Alger, à l'ouest par la wilaya d'Ain Defla, au sud par la wilaya de Médéa et à l'est par les wilayas de Boumerdes et de Bouira.

D'après l'office national météorologique ses coordonnées géographiques sont

- Altitude: 256 m.
- Latitude: 36°28 Nord.
- Longitude: 2°49 Est.

3 Réalisation du distillateur solaire

Le distillateur solaire utilisé dans notre expérience est d'une conception très simple.

Il S'agit d'un distillateur solaire à effet de serre (Hot-Box un seule pente), il présente l'avantage d'être facile à construire et surtout à maintenir.

Le distillateur est essentiellement constitué de :

Chapitre 3 : Etude expérimentale

3.1 Bac absorbant

Il est connu que le rôle de bac absorbant est d'absorber le maximum du rayonnement solaire global et transmettre la chaleur produite par cette absorption vers la saumure et cela est dû à la couleur noire. A raison de ces propriétés chimiques et mécaniques nous avons sélectionné une tôle, afin de concevoir notre installation, Afin d'absorber le maximum du rayonnement solaire le bac est peint en noir. La figure suivante montre le bac peint en noir.



Figure 3.1 : Photo montrant le bac peint en noir.

3.2 Isolation thermique

Il est évident que le distillateur doit être parfaitement isolé pour éviter les pertes thermiques, pour cela on a utilisé du polystyrène en raison de sa résistivité aux températures de fonctionnement.

Chapitre 3 : Etude expérimentale



Figure 3.2 : Photo de l'isolant thermique.

3.3 Couverture verrière

Dans cette étape on a choisi un verre ordinaire en raison de sa bonne conductivité thermique, sa bonne transmission du rayonnement visible et sa mouillabilité et aussi car ce type de distillateur ne nécessite pas des techniques avancées.

Pour assurer une bonne étanchéité entre la vitre et les autres constituants du distillateur on a utilisé de la silicone comme étant un agent collant.

La couverture verrière est inclinée d'un angle de 36° par rapport à l'horizontal à cause des paramètres de position cités auparavant. Il est important de noter que cet angle a été choisi par rapport à un fonctionnement annuel du distillateur et la latitude de la wilaya de BLIDA.



Figure 3.3 : Photo montrant la couverture verrière

4 Le capteur solaire

Dans la deuxième partie du système, nous avons utilisé le capteur à eau avec un échangeur serpentin, qui doit assurer le préchauffage, qui fonctionne selon le principe de thermosiphon.

4.1 Les dimensions du capteur :

Longueur : 90 cm

Largeur : 61 cm



Figure 3.4 : Photo du capteur solaire utilisé

5 Montage du système couplé

Les soudures du bac sont isolées par une couche épaisse de silicone et le tout est peint par une couche de peinture noire mate.

Le remplissage se fait en deux côté, le coté de bac à l'aide d'une tuyauterie composée d'un raccord et d'un tuyau avec son entonnoir. et le deuxième coté pour récupérer l'eau de préchauffage à l'aide aussi d'une tuyauterie composée d'un raccord et d'un tuyau avec son entonnoir.

La récupération du distillat est exécutée par un gouttière en tôle soudée à l'intérieur du bac. L'évacuation de celui-ci vers l'extérieur est réalisée par un tuyauterie constituées par un manchon soudé, le condensat se ruisselle vers une éprouvette.

Chapitre 3 : Etude expérimentale



Figure 3.5: photos du système (distillateur-captteur) réalisé



Figure 3.6 : photos de l'éprouvette utilisé pour récupérer le condensat

Chapitre 3 : Etude expérimentale

6 Différents appareils de mesure utilisés

6.1 Mesure de Puissance du rayonnement solaire

Dans le but de mesurer la puissance du rayonnement solaire on a utilisé un pyranomètre, il est constitué d'une partie posée sur la vitre, et un appareil électronique qui transforme le rayonnement en une lecture directe sur un écran numérique, et donne une valeur réelle du rayon incident sur la vitre en (W/m^2).



Figure 3.7: photos de pyranomètre

6.2 Mesure de débit

Par la méthode de Eng, on mesure une distance de 30 cm sur le tuyau $D=1,5$ cm d'entrée du capteur, et on injecte un colorant à l'aide d'une seringue et on mesure le temps par un chronomètre

Après on calcule le débit par la relation suivante :

$$Q_d = V * S$$

Chapitre 3 : Etude expérimentale



Figure 3.8: photos montre la mesure de débit

6.3 Mesure des températures

La mesure de température des différents éléments de système s'effectue à l'aide d'un thermocouple de type K, Chaque thermocouple est lié à un appareil contenant un écran numérique. Cet appareil transforme la température en un courant électrique, d'où on peut lire par la suite la valeur de la température à l'endroit où les thermocouples ont été mis. Le nombre de thermocouples doit être suffisant pour mesurer la température de toutes les surfaces et endroits (emplacements) dans le distillateur solaire et le capteur solaire.



Figure 3.9 : Photo de l'acquisition des thermocouples.

Chapitre 3 : Etude expérimentale

6.4 Mesure du vent et humidité

On les mesure par l'anémomètre



Figure 3.10 : Photo montre la mesure du vent

7 Emplacement des thermocouples

Dans notre cas, la mesure des températures essentielles se fait en utilisant des thermocouples de type (K) placés soigneusement à l'aide de la silicone.

L'essentiel de la mesure des températures a été assuré pour les points matériels suivants:

Tableau 3.1 : Emplacement des thermocouples.

Thermocouple N°	Température de :	Symbole
1	Face interne de la vitre	T ₁
2	Surface du bac absorbant	T ₂
3	Saumure	T ₃
4	L'Entrée de capteur	T ₄
5	La Sortie de capture	T ₅
6	Air ambiant	T ₆



Figure 3.11 : Photo montre l'emplacement des thermocouples

8 Interprétation et discussion des résultats

Dans cette partie, nous allons exposer les résultats expérimentaux obtenus à partir de plusieurs expériences effectuées. Ces résultats concernent essentiellement la variation journalière et temporelle des différentes températures, de l'ensoleillement, de la vitesse du vent, de la production. L'expérience a été effectuée avec trois essais:

- **Un premier essai:** l'expérience a été faite pendant une journée nuageuse
(05 octobre 2020)
- **Un deuxième essai:** L'expérience a été faite pendant une journée ciel clair
(07 octobre 2020).
- **Un troisième essai:** L'expérience a été faite pendant une journée ciel clair avec refroidissement (08 octobre 2020).

Chapitre 3 : Etude expérimentale

8.1 Éclairement en fonction du temps

L'éclairement solaire, étant le paramètre le plus influant sur le fonctionnement du système, Il serait intéressant d'étudier son effet sur ces caractéristiques

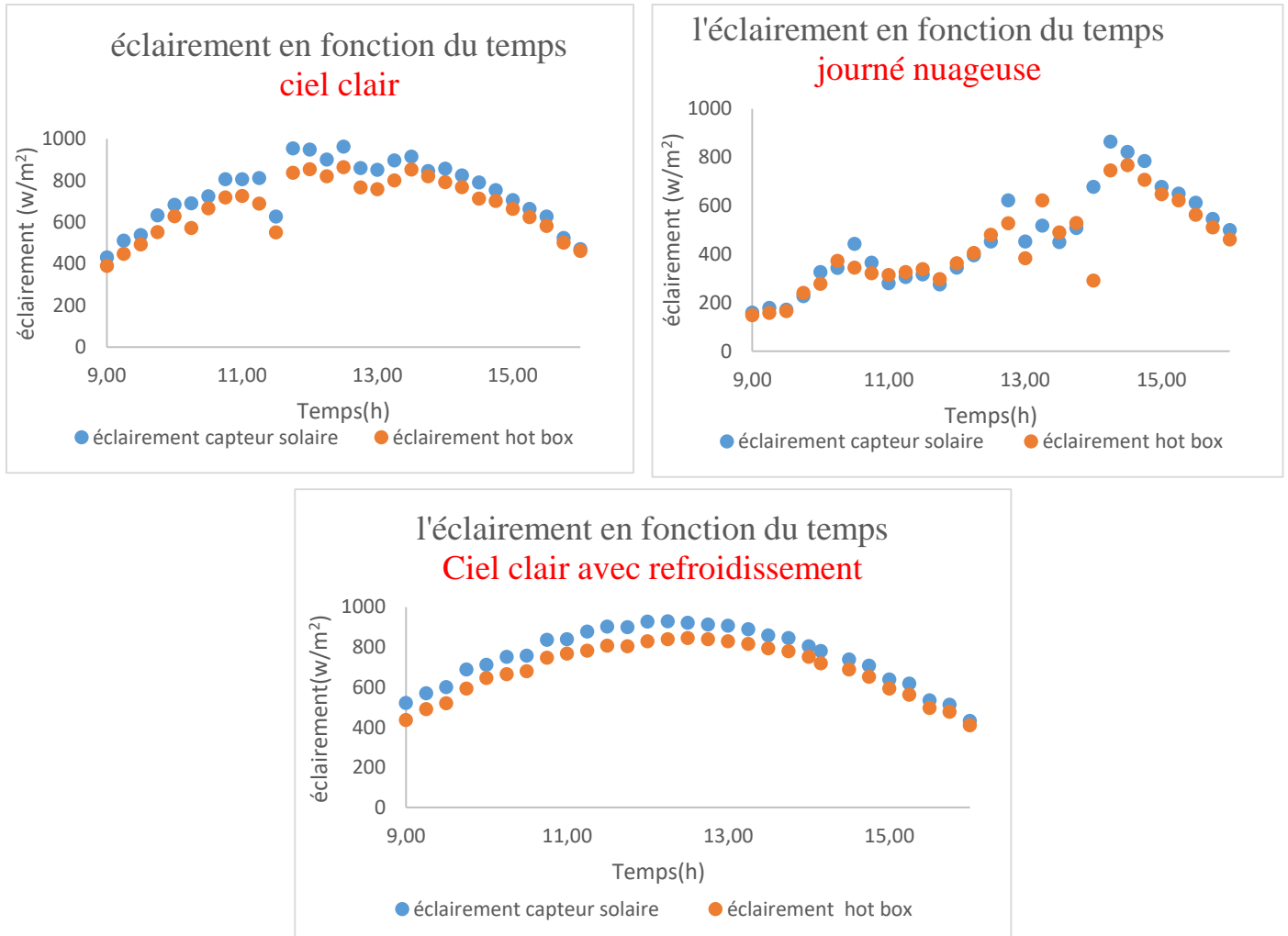


Figure 3.12 : Variation temporelle de l'éclairement

La Figure 3.12 montre l'évolution temporelle de l'éclairement solaire, reçu par les deux vitres de capteur solaire et le distillateur hot box dans les trois jours d'essais

On remarque clairement que l'éclairement reçu par le distillateur est moins intense que le l'éclairement reçu par le capteur au début et à la fin de les trois journée. Cela est dû à un léger changement sur latitude de deux vitre.

A partir de ces courbes qu'illustrent la variation temporelle de l'irradiation solaire a la forme d'une cloche; on peut déduire que cette dernière est le paramètre le plus influant sur le fonctionnement d'un distillateur solaire.

Chapitre 3 : Etude expérimentale

8.2 Production en fonction du temps

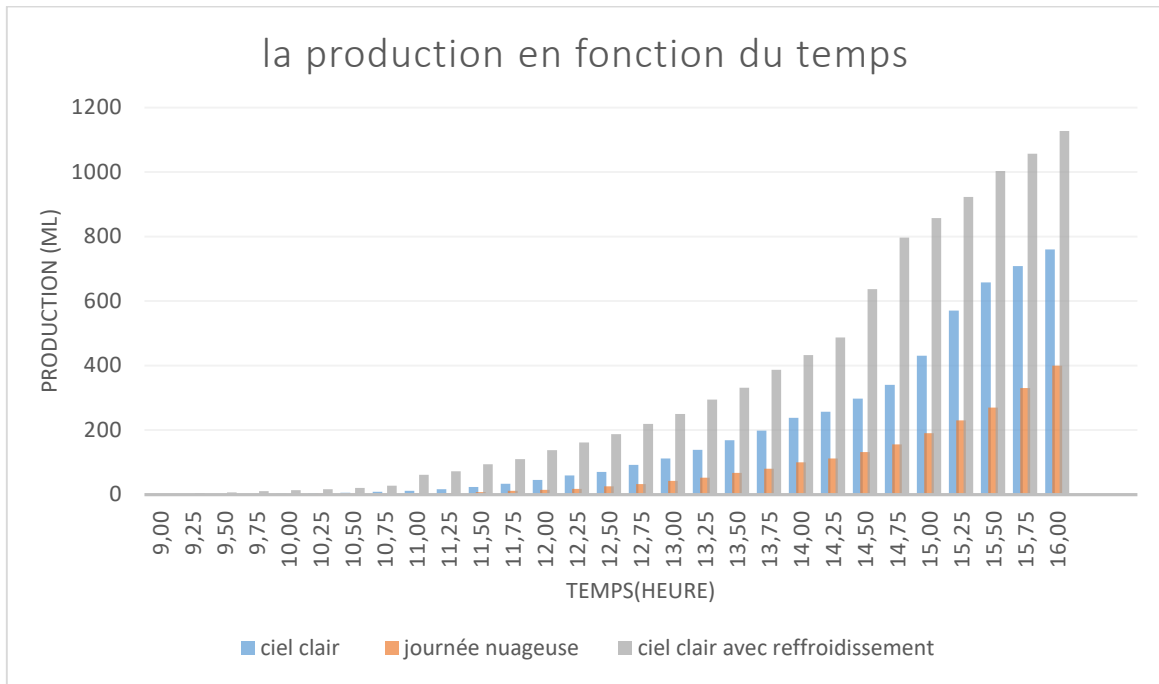


Figure 3.13 : Variation temporelle de la production du distillat

La figure 3.13 représente le volume de distillat produit en fonction du temps. A partir de cette figure on remarque que la production du distillateur augmente en fonction de l'horaire. et elle est plus grande dans le jour où nous avons utilisé le refroidissement

- On constate que 70% de la quantité d'eau distillée était produite durant les heures de plus fortes radiations solaires (entre 14h :00 et 16h :00).
- Après avoir refroidi la partie supérieure du vitre avec l'eau, nous avons remarqué une augmentation de la productivité du distillat, qui a atteint 1,2 (l/jour), par rapport au jour où nous n'utilisons pas la réfrigération, la productivité atteinte 0,7(l/jour), mais le jour nuageux, elle était inférieure aux premiers résultats la productivité a atteint 0,4(l/jour), et cela est dû à l'éclairement solaire.

Chapitre 3 : Etude expérimentale

8.3 Ta et vent et humidité en fonction du temps

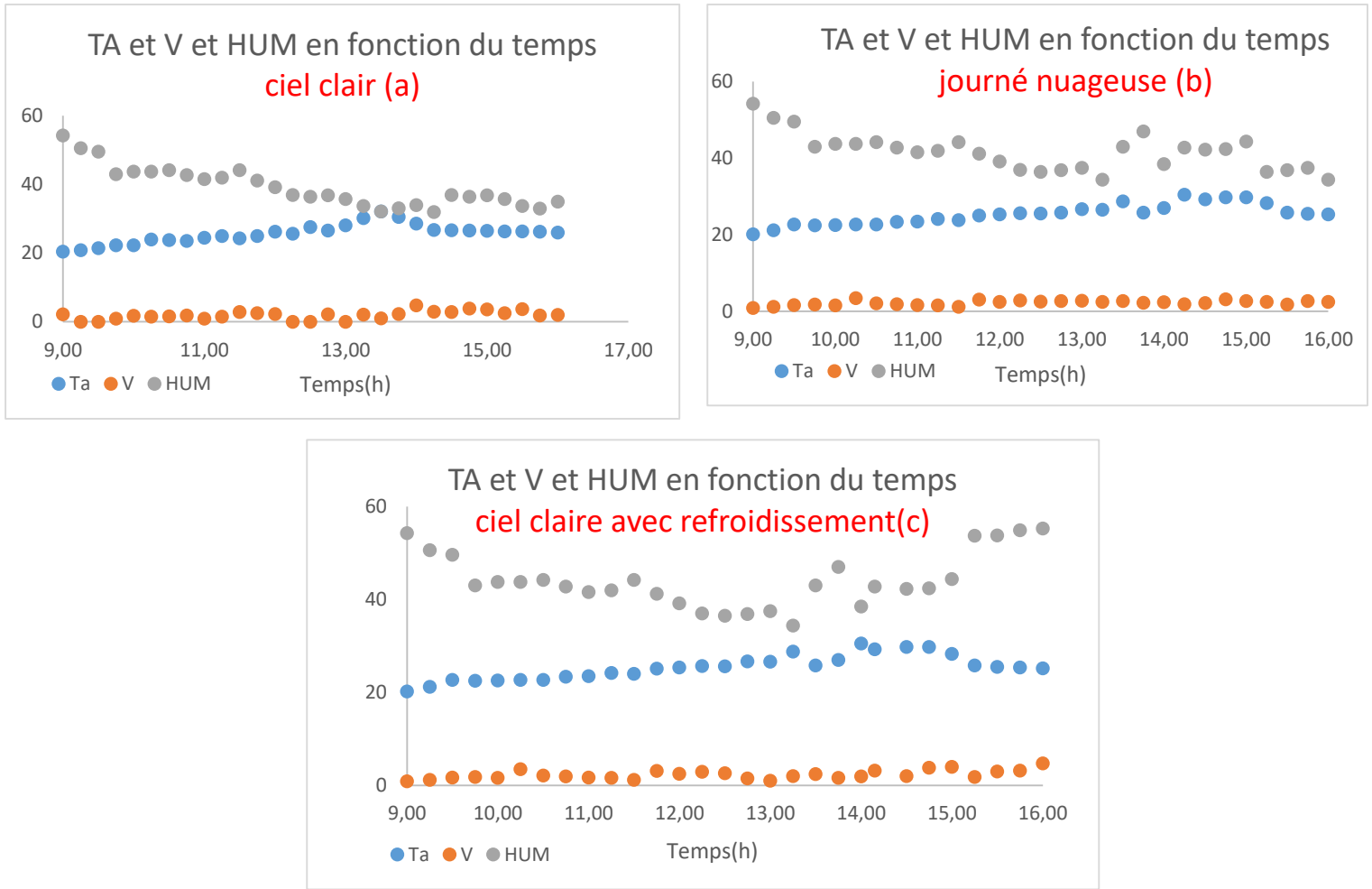
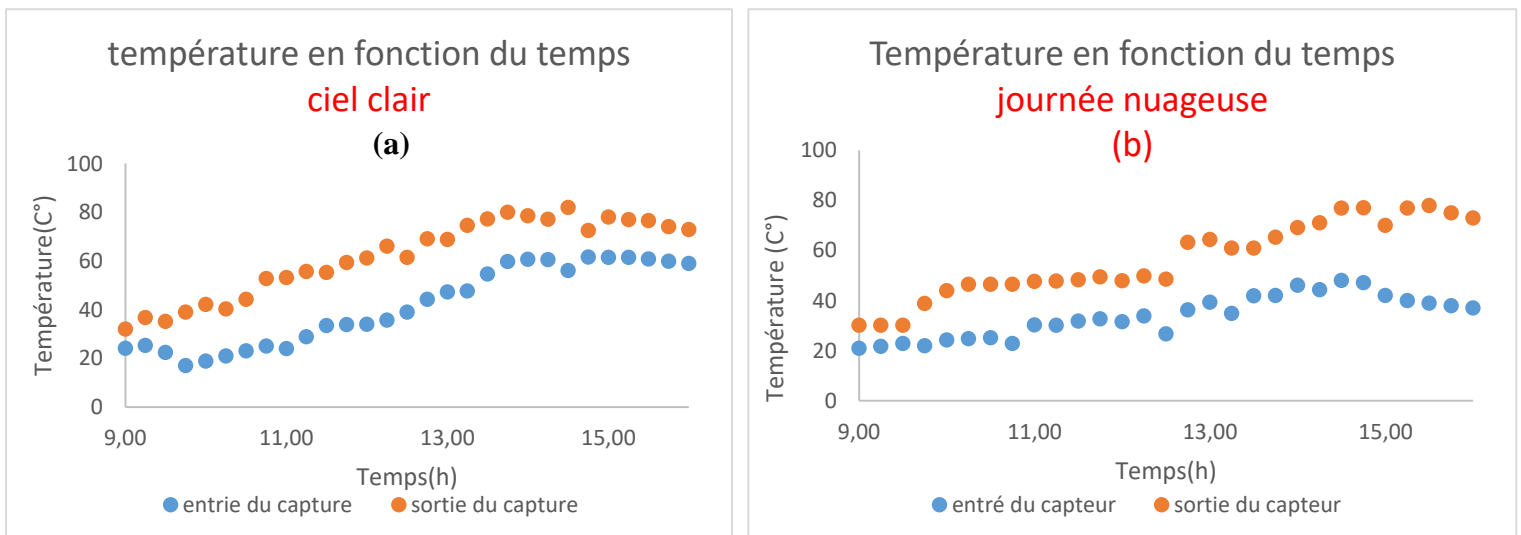


Figure 3.14 :(a)(b)(c) Variation temporelle des trois paramètres (Ta-vent-humidité)

8.4 Température d'entrée et sortie du capteur en fonction du temps



Chapitre 3 : Etude expérimentale

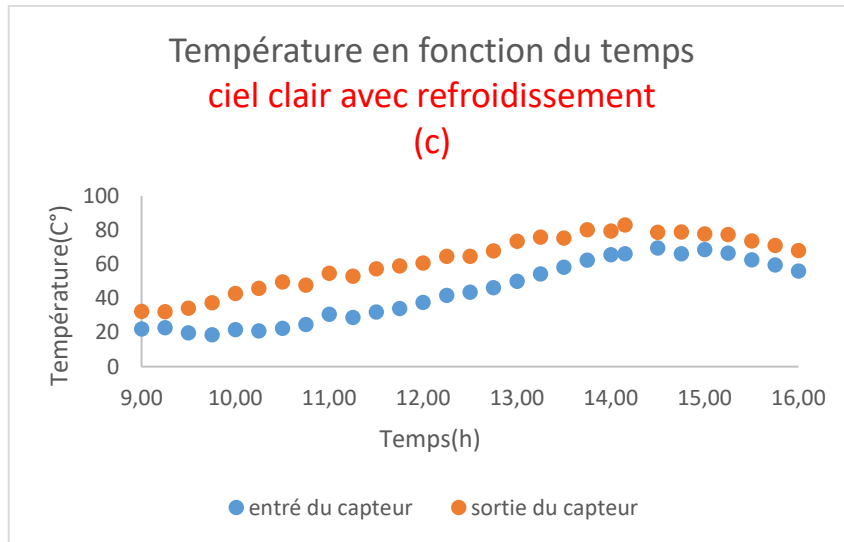


Figure 3.15 : (a) (b) (c) Variation temporelle La température entrée et sortie du capteur

La figure 3.15 représente La température d'entrée et de sortie du capteur en fonction du temps. A partir de cette figure on remarque que la Température de sortie est plus grande que l'entrée pendant les trois journées de tests

- On remarque que les températures pendant la journée avec refroidissement sont augmentées rapidement de 13 :00h à 15 :00h que les autres journées

8.5 Température du bac en fonction du temps

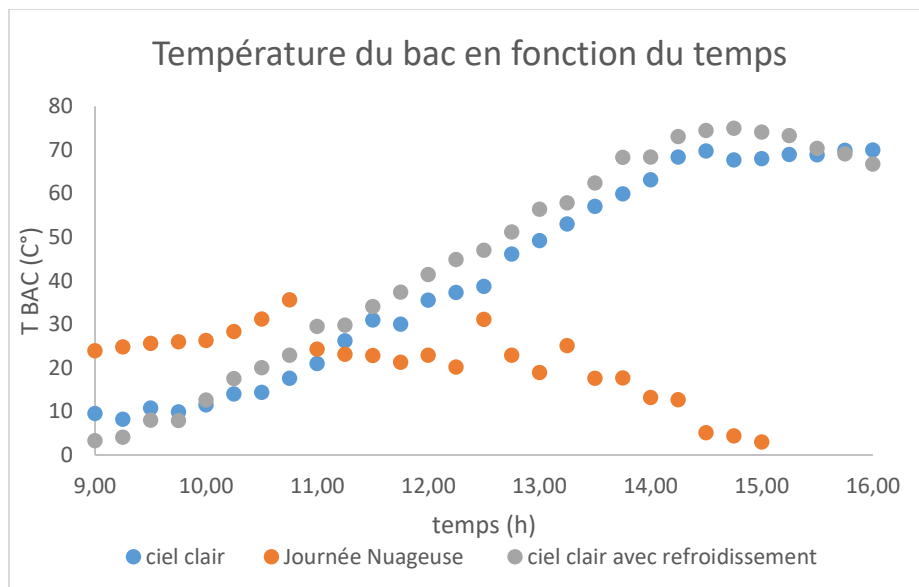


Figure 3.16 : Variation temporelle La température du bac

La figure 3.15 représente la température du bac en fonction du temps. A partir de cette figure on remarque que les températures du bac pendant la journée du ciel clair et ciel

Chapitre 3 : Etude expérimentale

clair avec refroidissement sont plus grande que les températures pendant la journée nuageuse

8.6 Température du vitrage en fonction du temps

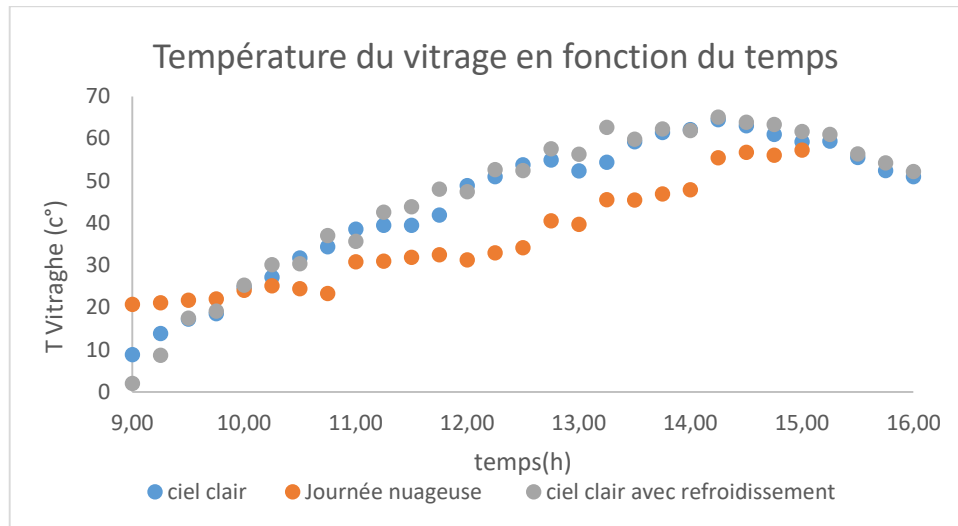


Figure 3.17 : Variation temporelle de la température du vitrage intérieure

La figure 3.17 représente la température du bac en fonction du temps

L'élévation des températures des faces intérieures de la vitre est due à l'absorption par celle-ci du rayonnement solaire incident et de la chaleur cédée par condensation (l'eau à distiller) par rayonnement et convection naturelle, A partir de cette figure on remarque que les températures du vitrage intérieure pendant la journée ciel clair et la journée avec refroidissement presque les mêmes elle a atteint son degré maximum à presque 65 C° de 14 :00 h à 15 :00 h

Chapitre 3 : Etude expérimentale

8.7 Rendement du capteur en fonction du temps



Figure 3.18 : Variation temporelle du rendement du capteur solaire

La figure 4.18 représente le rendement de capteur solaire en fonction du temps.

- On remarque que le rendement On remarque clairement que le rendement est plus intense vers 11h :00 et 14h :00 tandis qu'il est moins intense au début et à la fin de la journée Ciel clair avec refroidissement.

Conclusion générale

IV. Conclusion générale

Après avoir effectué un ensemble d'expériences, nous avons tiré les conclusions suivantes :

- Le distillateur solaire est un appareil simple d'utilisation et d'entretien, de technologie ne contient que des matériaux peu coûteux, disponibles et faciles à manipuler, cette technologie laisse de côté la haute technologie et ses prix exorbitants pour utiliser des mécanismes simples, de faibles demandes en énergie ou de sources d'énergie gratuites et un coût de base très abordable.
- L'irradiation solaire reste le paramètre le plus influant sur la production d'eau distillée et sur les températures de tous les composants du distillateur, qui augmentent au fur et à mesure que le rayonnement solaire augmente.
- L'augmentation de la production est d'autant assurée par la croissance de la température de l'eau et de l'absorbeur et la diminution de la température extérieure du vitrage et du condenseur.
- Le refroidissement de la vitre extérieure augmente la production de distillateur

Enfin, tous les résultats expérimentaux obtenus sont encourageants pour l'utilisation de ce distillateur, Alor on peut dire que notre distillateur fonctionne bien, est donne des bons résultats

V. Références

- [1] A. A El-Sebaï, M.R. I Ramadan, S.Aboul-Enein, M.El-Naggar.« Effect of fin parameters on single basin solar still performance » *Desalination* 365 (2015): 15-24.
- [2] A.E. Kabeel, Z.M. Omara, F.A. Essa. « Enhancement of modified solar still integrated with external condenser using Nano fluides : an experimental approach » *Energy Conversion and Management* 78 (2014) : 493 - 498.
- [3] Benhammou M, Mounzar H, Marif Y, Belhadj M.M, « Effet des paramètres géométriques d'un réflecteur plan vertical sur les performances d'un distillateur solaire mono-incliné couplé à un condenseur séparé » *Nature & Technology* n° Issue 11 (June 2014).
- [4]. E. Okeke, S. U. Egariéwé, and E. Anmalu. « Effets of Coal and Charcoal on Solar Still Performance » *Enqy* 15, n° 11 (1990) : 1071-1073.
- [5] A. Chaker, N. Boukerzaza « caractéristique de fonctionnement d'un distillateur solaire », 12ème Journées Internationales de Thermique Tanger, Maroc, 15 au 17 novembre 2005.
- [6] A.Chaker , N.Bellel , et G.Menguy « Perte thermique dans un distillateur sphérique ». *Revue Internationale D'Héliothermie*, N°28,46-49 (2003).
- [7] O. Halloufi, « Etude de la performance d'un distillateur solaire par un système de préchauffage solaire de l'eau saumâtre ». Thèse de magister en génie climatique (2010).
- [8] T.Ismail « étude d'un distillateur solaire a cascade » magister en physique (2010).
- [9] H. Ouahid, « Etude de la performance d'un distillateur solaire par un système de préchauffage solaire de l'eau saumâtre », mémoire de magister, université Frère Mentouri Constantine 1, 2010.
- [10] M. Boukar, A. Harmim et M. Amar « Construction et expérimentation d'un distillateur solaire vertical indirect à simple effet » *Revue des Energies Renouvelables ICRES-07 Tlemcen* (2007)
- [11] R. Vaillantl « Problème du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». Editions Eyrolles (1975). France.
- [12] https://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich8_3.htm
- [13] Fedali Saida « modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres à bas cout pour les communautés rurales » diplôme de magister université de Batna, (2008)
- [14] Benoudjit. F, Mouffak. F, Noui. S « Etude et Réalisation d'un Distillateur Solaire » Département de mécanique, université de Batna, Mémoire Fin d'Etude,1992.
- [15] Sangeeta Suneja et Al « Parametric study of an inverted absorber double-effect solar distillation system » *Physics Department, MMH College, Ghaziabad, India*, 1997.
- [16] M. Boukar et A. Harmim « Production Nocturne d'un Distillateur Solaire Couplé à un Capteur Plan en Milieu Saharien », *Revue Energie Renouvelables : Valorisation*, 91-96, 1999.

Références

- [17] R. Menina, H. Ben Moussa, L. Zemmouri et A. Moussaoui « Etude Expérimentale de l'Effet du Préchauffage sur la Productivité d'un Distillateur Solaire (Type : Hot-Box) », Rev. Energ. Ren : 11ème Journées Internationales de Thermique, 145-150, 2001.
- [18] A.Khedim « Mesure et Caractérisation Thermodynamique d'un Nouveau Système Solaire de Dessalement de l'Eau de Mer avec Récupération de Chaleur » Revue des Energies Renouvelables:11ème Journées Internationales de Thermique, 1-12, 2003.
- [19] M. Benhammou, B. Omari, M. Gahgah, L. Amer, A. Boubghal « Réalisation et Expérimentation d'un Distillateur Solaire Couple à un Condenseur », Station d'Expérimentation des Equipement Solaires en Milieu Saharien, B.P. 478, Route de Reggane-Adrar, 2003.
- [20] Mousa Abu-Arabia, Yousef Zurigatb « Year-Round Comparative Study of Three Types of Solar Desalination Units », Desalination, 172, 137– 143, 2005.
- [21] N. Retiel, F. Abdessemed et M. Bettahar « Etude expérimentale d'un distillateur solaire plan amélioré » Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°4 (2008) 635 – 642.
- [22] P.M. Tekaekara, Solar energy engineering, Ed. A.A.M. Sayigh, Academic Press, New-York
- [23] J. A. Duffie, W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York USA, (5) (41) (2006) 85-103
- [24] S. KARROUTE « Etude théorique et numérique des systèmes couples: distillateur plan-capteur et distillateur hot box-capteur thèse de magister en physique, (2009).
- [25] I. SAOUANE, « Etude des transferts de chaleur et de masse à l'intérieur d'un système de dessalement par voie solaire ». Thèse de magister en physique, (2010).