



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

MEMOIRE DE MASTER

Option : Eau, Environnement et Développement Durable

Présenté par : M^{elle} Meriem MAHMOUDI

**CONCEPTION ET REALISATION D'UN DISTILLATEUR
SOLAIRE A EFFET DE SERRE : ETUDE EXPERIMENTALE**

Encadré par :

Dr. B. CHEKNANE (Université de BLIDA 1)

Pr. A. HAMID (Université de BLIDA 1)

Septembre 2015

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un élément essentiel pour la continuité et le développement de l'humanité ; elle est abondante sur terre, elle représente 1380 millions de km³. L'essentiel toutefois est constitué d'eau de mer (97,2 %) et de glace (2,15 %) inutilisables directement. L'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ un million de km³.

Depuis quelques années déjà, un déficit très important en eau est observé, du fait de fort accroissement démographique, de l'amélioration du niveau de vie des populations et des nécessités de développement, alors que les réserves s'épuisent rapidement [1].

Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable devront être mises en place. Parmi les techniques prometteuses il y a : le dessalement de l'eau de mer et l'épuration des eaux usées.

La plupart des procédés de dessalement utilisent pour leur fonctionnement l'énergie thermique ou électrique. Cependant la hausse des prix des énergies stock comme le pétrole et l'épuisement de ses sources ont conduit à un effort mondial dans la recherche pour l'intégration des technologies d'énergie renouvelable, comme l'énergie éolienne, solaire, et géothermique avec les technologies de dessalement.

Dans ce contexte, les énergies renouvelables peuvent fournir une alternative d'approvisionnement en énergie fiable pour le dessalement de l'eau, et d'apporter une solution aux problèmes liés à la pollution de l'eau et de l'air.

Ainsi l'amélioration de la rentabilité de ces méthodes n'est plus une nécessité, mais une priorité [2].

L'objectif de notre travail est porte sur l'intégration de l'énergie renouvelable par l'étude et la conception d'un distillateur solaire à effet de serre (Hot-Box) afin d'obtenir de l'eau distillée qui pourra pallier les besoins en eau distillée au niveau de département de Génie des Procédés à l'université de BLIDA1 d'une part et l'étude de l'effet qualitatif de l'eau utilisée pour alimenter le distillateur réalisé d'une autre part.

De façon générale, le plan de ce mémoire s'articulera de la manière suivante :

- ❖ Une partie théorique divisée en deux chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons les principales technologies de dessalement des eaux et l'intégration des énergies renouvelables comme source pour ces procédés dans la littérature. Une attention à l'utilisation de l'énergie solaire est donnée et qui sera l'objet de notre étude.

Dans le second chapitre, une étude théorique du distillateur solaire est présentée.

- ❖ Une partie expérimentale divisée en deux chapitres :

Le premier chapitre est une présentation de la conception et la réalisation du distillateur solaire à étudier.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation et la discussion des différents résultats obtenus.

En fin, nous terminerons par une conclusion montrant les résultats essentiels obtenus dans ce travail.

CHAPITRE I**CONNAISSANCE GENERALE SUR LE DESSALEMENT**

Devant une crise d'eau certaine qui commence à se faire sentir à travers le monde, de plus des contraintes économiques pour un développement durable, des solutions appropriées nécessitent d'être élaborées afin de se préparer à faire face à ce défi qui menace même l'existence de l'homme.

Différentes méthodes ont été développées pour obtenir de l'eau potable à partir de l'eau impure. Les processus d'obtention d'eau potable de l'eau saline à l'aide de l'énergie solaire sont connus sous le nom de la distillation solaire [3].

La distillation solaire est un procédé de production d'eau douce à fort économique, surtout dans les régions caractérisées par un bon ensoleillement.

On dispose aujourd'hui de nombreux systèmes dont beaucoup ont atteint le stade industriel.

Notre pays qui dispose de ressources hydriques salines considérables et d'un gisement solaire important, doit utiliser les techniques de dessalement [4].

I.1. Historique :

Dès 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 [5].

I.2. Caractéristiques de l'eau à distiller :

I.2.1. Eaux marines:

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates).

La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g.L^{-1} ($27,2 \text{ g.L}^{-1}$ de NaCl, $3,8 \text{ g.L}^{-1}$ de MgCl_2 , $1,7 \text{ g.L}^{-1}$ MgSO_4 , $1,26 \text{ g.L}^{-1}$ CaSO_4 , $0,86 \text{ g.L}^{-1}$ K_2SO_4).

Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées :

- Mer Méditerranée : 36 à 39 g.L^{-1} .
- Mer Rouge : environ 40 g.L^{-1} .
- Mer Caspienne : 13 g.L^{-1} .
- Mer Morte : 270 g.L^{-1} .
- Golfe Arabo-Persique : 36 à 39 g.L^{-1} .

Le pH moyen des eaux de mer varie entre $7,5$ et $8,4$: l'eau de mer est un milieu légèrement basique [6].

I.2.2. Eaux saumâtres :

On appelle généralement eau saumâtre une eau saline non potable, de salinité inférieure à celle de l'eau de mer.

En fait, la plupart des eaux saumâtres ont une salinité comprise entre 1 et 10 g/l . Elles se présentent soit, sous forme d'eaux de surface, soit sous forme souterraines. Les différentes teneurs en ions (Mg, Ca, F,...) peuvent être très variées selon l'origine de l'eau.

I.2.3. Eaux naturelles :

Ce sont les eaux qui proviennent des lacs, fleuves, rivières et nappes souterraines. Elles ont une composition chimique différente et parfois elles sont polluées et impropres à la consommation. Elles représentent près de 14% de l'eau douce [4].

I.2.4. Eaux usées :

Ce sont les eaux rejetées par les collectivités domestiques, industrielles ou agricoles.

I.3. Principales technologies de dessalement des eaux :

I.3.1 Procédés à membranes :

Les principaux procédés à membranes utilisés dans le domaine de dessalements sont : L'électrodialyse et l'osmose inverse.

I.3.1.1. Osmose inverse :

L'osmose inverse est un procédé de purification de l'eau inspiré du phénomène chimique appelé l'osmose. C'est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer).

Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer que les molécules d'eau, les particules, les sels dissous, alors que les molécules organiques et les microorganismes de 10^{-7} mm de taille sont retenus par ce dernier.

L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes haute pression, elle est de l'ordre de 4 à 5 kWh/m³.

Cette technique est en plein essor, et a montré depuis plusieurs années sa fiabilité, elle nécessite toutefois un traitement de l'eau en amont [6].

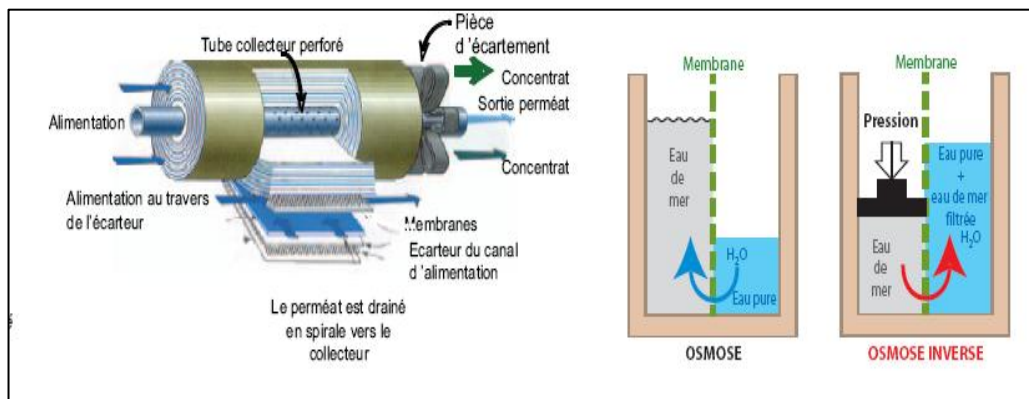


Figure I.1 : Schéma de principe de l'osmose inverse.

I.3.1.2. Electrodialyse (ED) :

L'électrodialyse est un procédé électrochimique qui permet d'extraire les ions contenus dans une solution. L'extraction des ions se fait par migration des ions à travers des membranes sélectives (anioniques ou cationiques) sous l'action d'un champ électrique. Ainsi seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique.

En plaçant plusieurs membranes en parallèle laissant passer alternativement les ions positifs et les ions négatifs, on peut éliminer certains ions de l'eau.

Dans certains compartiments, il y a concentration des ions et dans d'autres les ions sont éliminés. Les particules qui ne portent pas de charge électrique ne sont pas éliminées.

L'électrodialyse est utilisée pour le dessalement d'eau de mer comme le montre le schéma ci-dessous (Figure I.2).

Sous l'effet d'un courant appliqué dans les bacs externes les ions Na^+ sont attirés vers l'électrode négative et les ions Cl^- vers l'électrode positive. En fin de chaîne de traitement l'on récupère à la fois de l'eau douce et de la saumure.

C'est un Système très rentable pour les faibles salinités, l'énergie à mettre en jeu dépend de la concentration en sel (1kWh/kg de sel extrait), mais prohibitive pour l'eau de mer [7].

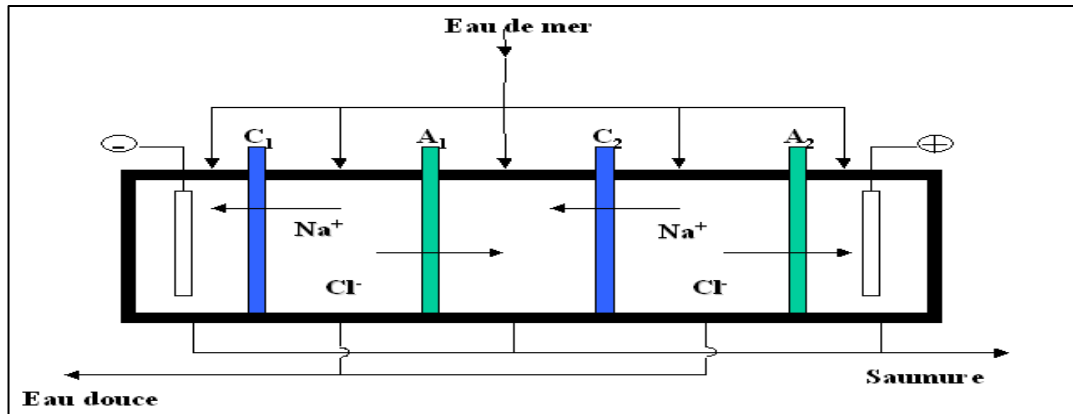


Figure I.2 : Schéma de principe de l'électrodialyse.

I.3.2 Procédés thermiques :

Nous pouvons citer :

- La congélation.
- Le procédé de distillation à détente étagées (MSF).
- Le procédé de distillation à multiples effets (MED).
- La distillation solaire.

I.3.2.1. Congélation :

Il s'agit d'un procédé de congélation sous vide, dont le principe est assez simple. En effet, lorsqu'on fait geler de l'eau salée, les cristaux qui se forment pratiquement la glace pure, le sel étant chassé de l'eau lors de la cristallisation. Formant une saumure à la surface du cristal. Les cristaux sont alors lavés puis fondus, ce qui permet d'obtenir de l'eau douce.

Une autre méthode fondée sur la congélation est celle du réfrigérant secondaire, dans laquelle le transfert de chaleur est obtenu par l'emploi d'un hydrocarbure liquide non miscible dans l'eau. Le mélange de butane et d'eau de mer passe par un échangeur de chaleur ou l'échauffement fait bouillir le butane, ce qui entraîne la congélation de l'eau dans la Saumure. Les cristaux de glace sont lavés, séparés et finalement fondus, moyennant l'échange de chaleur avec la vapeur de butane préalablement comprimée [7].

I.3.2.2. Procédé de distillation à multi stage flash MSF :

Ce procédé consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C, elle est introduite dans une enceinte (étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes.

C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation, l'ébullition s'arrête quand l'eau de mer atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible.

La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière de plus de l'énergie électrique cette énergie peut être peu coûteuse si on récupère de la vapeur basse pression à la sortie d'une turbine de centrale électrique [6].

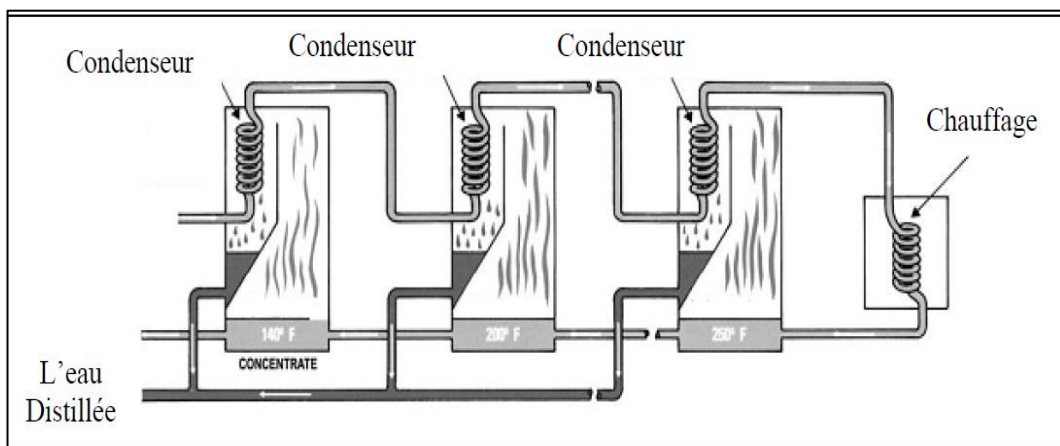


Figure I.3 : Schéma du principe d'un distillateur à Multi stage flash.

I.3.2.3. Procédé de distillation à multiples effets (MED) :

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variante entre 70 et 80°C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, contrairement au cas du procédé précédent, où elle est assurée par détente au sein des étages successifs.

La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le 1^{er} effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2^{ème} effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2^{ème} effet et ainsi de suite (Figure I.4). Ainsi seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (Energie/m³ d'eau douce produite) [6].

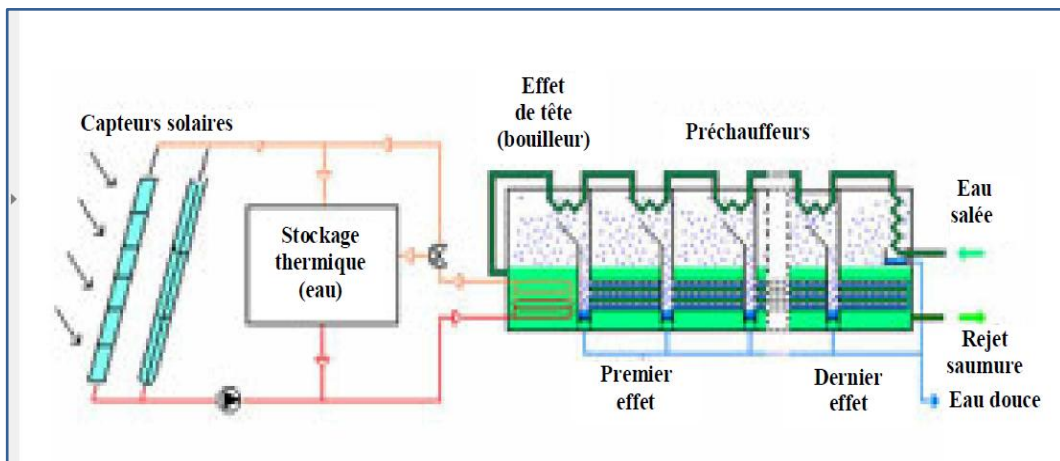


Figure I.4 : Principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).

I.3.2.4. Distillation Solaire :

I.3.2.4.1. Distillation par longs tubes verticaux :

Le flux d'eau de mer entre dans les tubes verticaux et bout. La vapeur sert de source de chaleur pour le niveau inférieur. Seul le premier niveau est alimenté en vapeur spécialement produite. A la fin du procédé, la vapeur se condense sur les tubes et l'eau douce peut ainsi être collectée. Le distillateur solaire vertical est composé:

- D'un capteur solaire permettant la captation du rayonnement solaire.
- D'un compartiment d'évaporation.
- D'un compartiment de condensation [8].

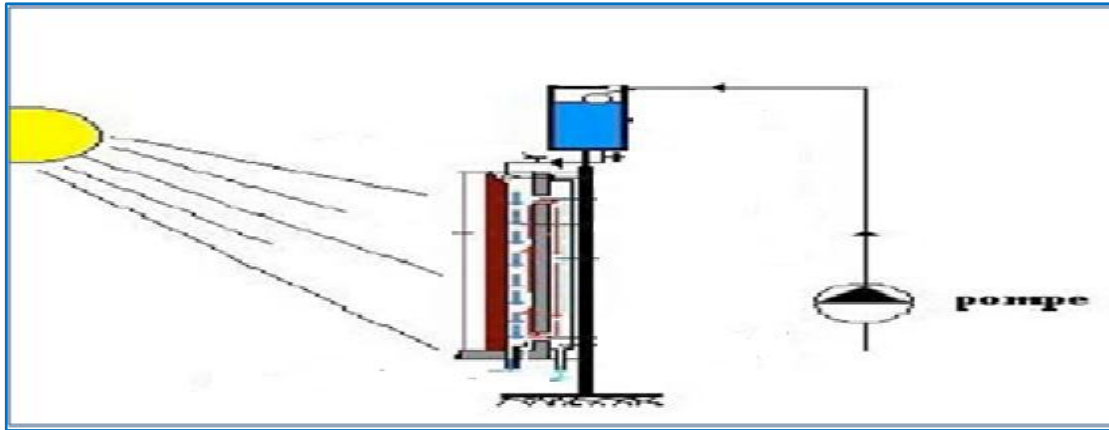


Figure.I.5 : Principe de fonctionnement d'un distillateur vertical.

I.3.2.4.2. Distillation par compression de vapeur (VC) :

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

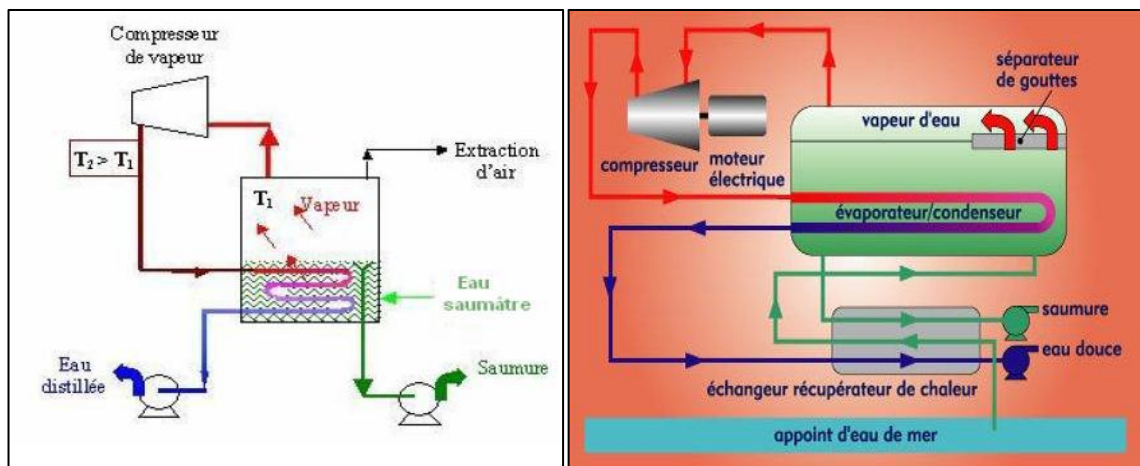


Figure I.6 : Principe de compression de la vapeur.

I.3.2.4.3. Distillation à évaporation éclairée :

Les serpentins condenseurs sont alimentés par la saumure sous pression. Elle est réchauffée dans l'échangeur et, revenant en sens contraire, subit l'évaporation-éclairée, la vapeur se condensant sur les serpentins est collectée.

La pression et la température des étages suivent un gradient vertical, diminuant de droite à gauche. La saumure restante regagne les condenseurs alimentés en eau de mer, puis elle est diluée par le flux d'eau entrant de la mer [8].

I.3.2.4.4. Distillation solaire :

La distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer de l'eau saumâtre dans un bac couvert par une vitre inclinée.

L'eau dans le bac va se chauffer d'autant plus vite que le bassin est noir, et avec l'augmentation de température une partie de l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente et enfin récupérée dans un récupérateur (Figure I.7) [7].

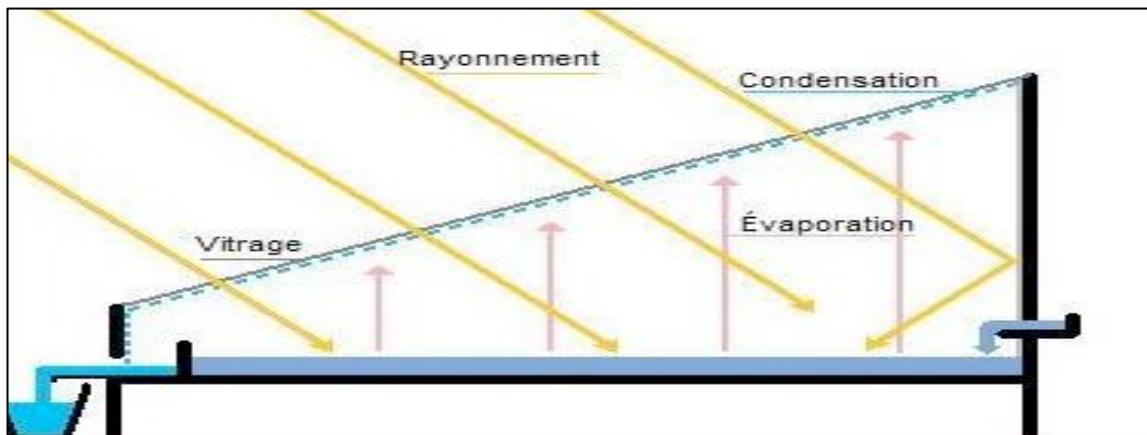


Figure I.7 : Principe de distillation solaire.

a. Distillateur solaire plan :

Il s'agit généralement d'une enceinte fermée (Figure I.8.), composée d'un bac de surface noire contenant une lame d'eau et d'une couverture vitrée inclinée qui sert à obtenir l'effet de serre nécessaire au processus de l'évaporation ou de condensation. L'eau s'évapore et se condense sur la vitre. Le sel reste donc sur la membrane noire. Les gouttes d'eau pure ruissellent, à cause des forces de gravité, pour atteindre les goulottes. On récupère ainsi l'eau distillée dans ces goulottes [8].

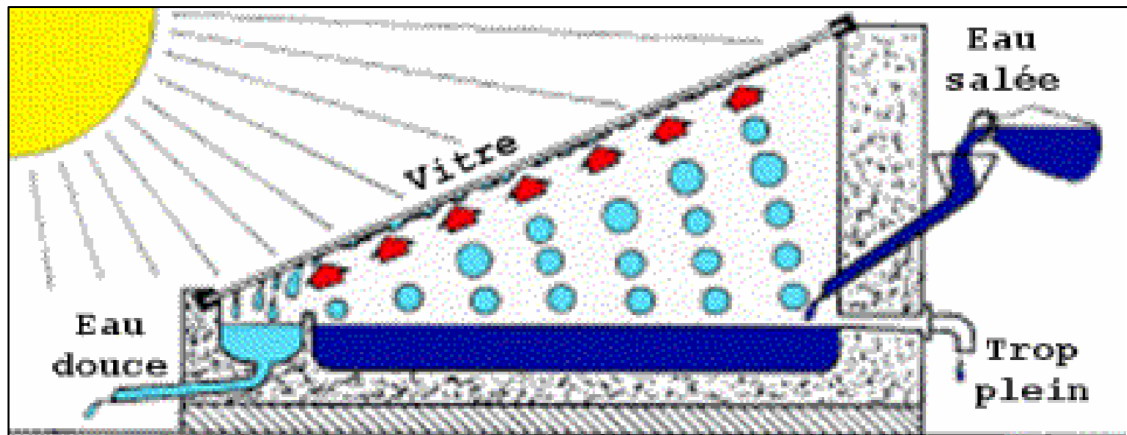


Figure I.8 : Distillateur solaire plan.

b. 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. (Plus de détails cités dans le chapitre suivant) [7].

c. Distillateur solaire sphérique à balayage :

C'est un distillateur en plexiglas composé de trois parties principales ; une demi-sphère supérieure qui sert à transmettre le rayonnement solaire d'une part et joue le rôle de surface de condensation d'autre part, une demi-sphère inférieure qui récupère le distillat et un bac horizontal en métal noir contenant l'eau à distiller et se trouvant dans le plan médian. Un essuie-glace entraîné par un moteur électrique, permet de maintenir la surface de condensation constamment transparente au rayonnement, et d'assurer un drainage rapide des gouttelettes, Le principe de fonctionnement est similaire à celui du distillateur plan.

L'avantage de ce système de balayage est de maintenir la surface de condensation, constamment transparente au rayonnement, et d'assurer un drainage rapide des gouttelettes [8].

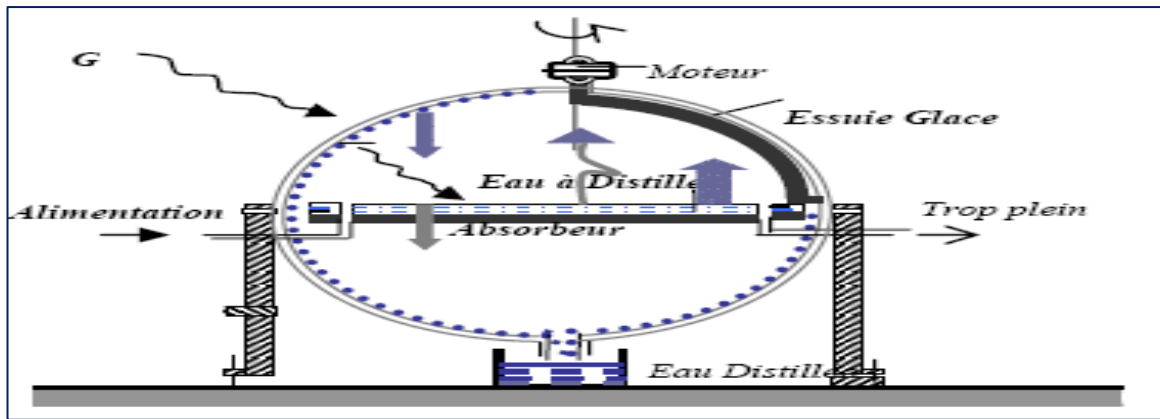


Figure I.9 : Distillateur sphérique.

d. Distillateur solaire incliné à cascade :

Un modèle de ce type de distillateur, représenté par la figure I.10, n'a été exécuté qu'en petite taille. Ces appareils fonctionnent bien mais leur construction et leur entretien sont coûteux.

Le distillateur solaire à cascades présente deux avantages, la lame d'eau est très faible et l'orientation par rapport au rayonnement incident se rapproche d'avantage de l'optimum [8].

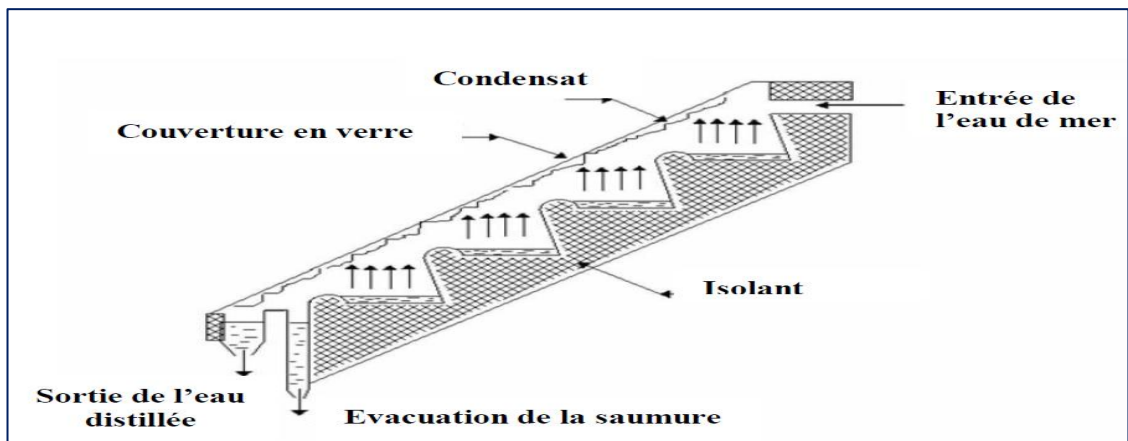


Figure I.10 : Distillateur solaire incliné à cascade.

e. Distillateur solaire à barrages :

C'est un distillateur incliné (Figure I.11) qui est composé d'une couverture de verre jouant aussi le rôle d'un condenseur, un récipient pour collecter l'eau distillée, un système de circulation, un support de structure et un absorbeur qui se compose de 20 jauges d'acier galvanisé, la graduation ascensionnelle de la plaque absorbante sert à diminuer la profondeur de l'eau dans le bassin et d'augmenter la surface exposée à l'irradiation solaire.

Il faut noter que l'utilisation de ce type de distillateur améliore la production d'eau douce de 20% par rapport à un distillateur conventionnel, c'est pour cela que le distillateur à barrage est proposé dans les projets d'hydrogène solaire [8].

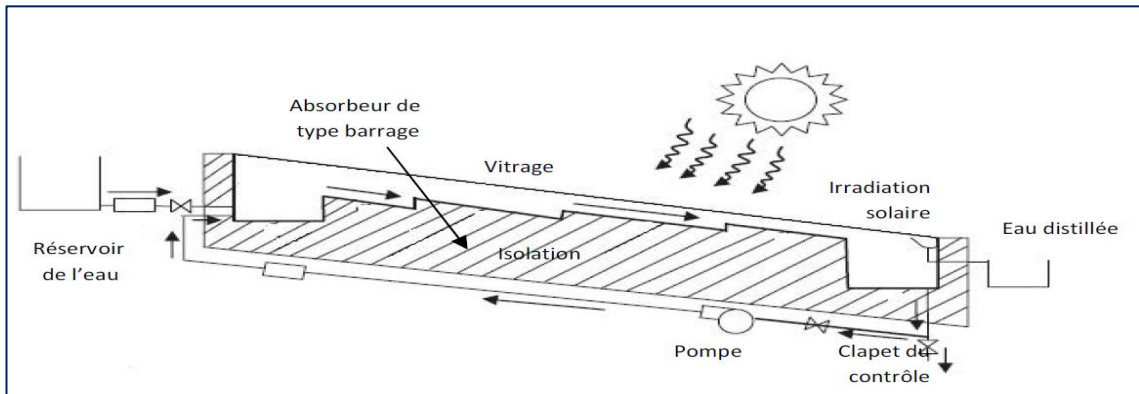


Figure I.11 : Distillateur solaire à barrages.

f. Distillateur solaire à mèche :

Dans un distillateur à mèche, l'eau d'alimentation coule lentement à travers une garniture poreuse, absorbant les rayonnements (mèche). Deux avantages sont revendiqués sur ce type de distillateur:

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.

Les distillateurs simples à mèche sont plus efficaces que les distillateurs à bassin et quelques conceptions sont prétendues pour coûter moins qu'un distillateur à bassin du même rendement [5].

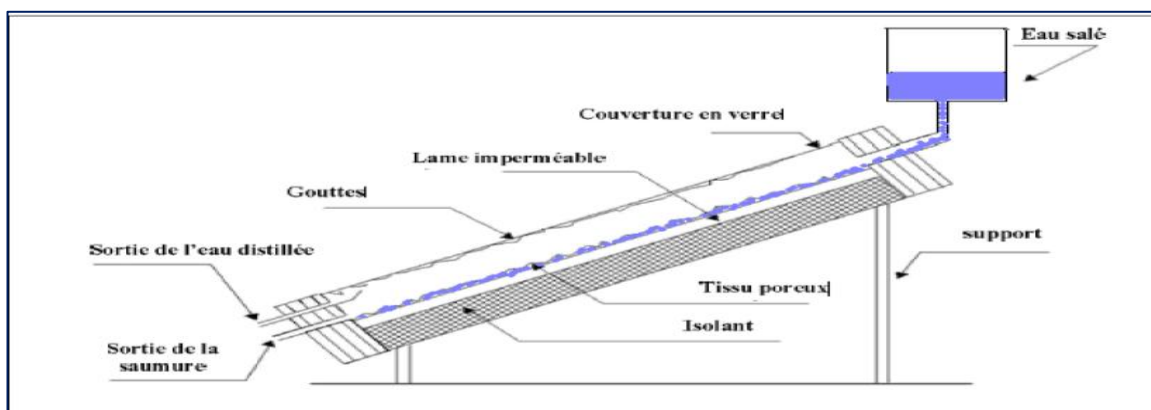


Figure I.12 : Distillateur solaire à mèche.

CHAPITRE II

ETUDE THEORIQUE DU DISTILLATEUR SOLAIRE

II.1. Distillation solaire :II.1.1. 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 [9].

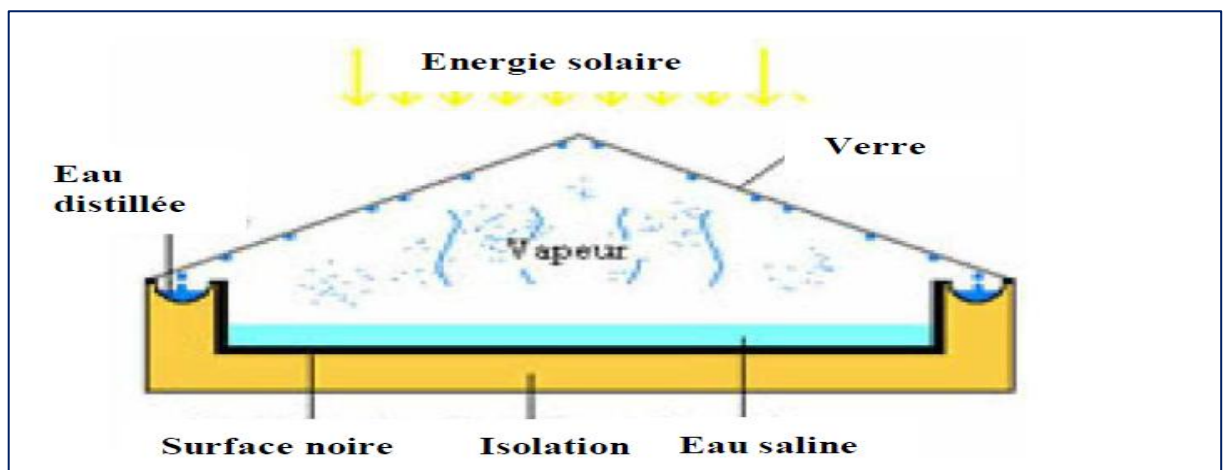


Figure II.1 : Distillateur solaire à double vitrage (Hot-Box).

II.1.2. Principaux paramètres influençant le fonctionnement d'un distillateur :

Ces paramètres peuvent être classés de la manière suivante :

II.1.2.1. Paramètres externes :

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

II.1.2.1.1 Paramètres géographiques :

Tels que la longitude, la latitude et la hauteur de soleil, sont à prendre en considération dans cette étude.

II.1.2.1.2 Paramètres météorologiques :

- 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 [4] [5].

II.1.2.2. Paramètres internes :

Les paramètres internes peuvent être classés de la manière suivante :

II.1.2.2.1. 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.

- Surface absorbante :

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

- 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 est d'autant plus importante pour un distillateur à faible épaisseur de saumure [4] [10].

II.1.2.2.2. Paramètres de position :

- L'emplacement du distillateur, endroit où il doit être placé de façon à éviter les obstacles qui empêcheraient 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. Elle dépend du fonctionnement du distillateur durant l'année :
 - Fonctionnement estival : $\beta = \Theta - 10^\circ$.
 - Fonctionnement hivernal : $\beta = \Theta + 20^\circ$.
 - Fonctionnement annuel : $\beta = \Theta + 10^\circ$.

Où: β c'est l'inclinaison du plan considéré.

Θ c'est la latitude.

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

II.1.2.2.3. 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. Des expériences ont montré que cette production suit la loi :

$$y = \frac{a}{x + b} + c$$

EqII.1

Avec :

y : production du distillat (ml).

x: épaisseur de la saumure (m).

a, b, c : paramètres dépendant de la forme de l'appareil et des conditions locales [4].

- Température de la saumure :

Lorsque la température de la saumure augmente, on observe un dépôt blanc sur la surface libre de l'eau du à la formation de carbonates insolubles dans la saumure; le dépôt salin agit sur le pouvoir absorbant de la surface noire et fait chuter considérablement la production.

- Qualité de l'eau qui alimente le distillateur :

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

II.1.2.2.4. Paramètres optiques :

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

II.1.2.2.5. Paramètres Thermo physiques :

Les paramètres thermo physiques du mélange air-vapeur, de la surface absorbante et de la saumure tels que, la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité cinématique, la viscosité dynamique et le coefficient de dilatation thermique du mélange, doivent être pris en compte.

II.1.3. Caractéristiques du fonctionnement d'un distillateur :

Plusieurs grandeurs sont définies afin de caractériser la production d'eau de tels distillateurs. On distingue constamment: le rendement, l'efficacité interne et globale et la performance [11].

II.1.3.1. Rendement :

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 qui arrive sur le distillateur. Le rendement d'un distillateur simple est :

Avec :

$$\eta = \frac{md \times h_{evp}}{G} \quad \text{EqII.2}$$

h_{evp} : Enthalpie d'évaporation (J/kg).

md : Débit massique par unité de surface ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$).

G : Puissance de rayonnement solaire incident par unité de surface (W/m^2) [10].

II.1.3.2. Efficacité :

➤ Efficacité globale :

L'efficacité globale 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. Elle est donnée par la relation suivante :

$$\eta_g = \frac{m \cdot d \times Lv}{G} \quad \text{EqII.3}$$

Avec :

η_g : Efficacité globale (%).

G : Puissance solaire incidente (W/m^2).

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

L_v : Chaleur latente (J/kg).

$m \cdot d$: Débit massique du distillat ($kg/m^2 \cdot s$) [2].

➤ Efficacité interne :

Un changement de pente et de localité variera la quantité d'énergie pénétrant dans le distillateur. On définit donc une efficacité dite interne qui tient compte de tous ces paramètres et qui est définie par :

$$\eta_i = \frac{m \cdot d \times L_v}{\alpha t \times G}$$

EqII.4

Avec :

η_i : Efficacité interne (%).

$m \cdot d$: Débit massique du distillat (kg/s).

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

αt : Coefficient d'absorption fictif du distillateur.

G : Puissance solaire incidente (W/m^2).

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

II.2. Modélisation et transfert thermique :

Dans cette partie de travail nous nous présenterons les différents types de transfert thermique dans un distillateur solaire de type Hot-Box. Nous aborderons la modélisation mathématique des échanges thermiques dans ce type distillateur, et nous essayerons d'établir le bilan thermique au niveau de chaque partie du distillateur.

II.2.1 Transfert thermique :

Le transfert de chaleur est l'un des modes les plus communs d'échange d'énergie. Il intervient naturellement entre deux systèmes dès qu'existe entre eux une différence de température et cela quel que soit le milieu, (même le vide), qui les sépare.

De ce fait, les transferts thermiques ont, aussi bien dans le domaine des sciences pures que dans celui des applications technologiques, un rôle souvent essentiel. Ce rôle devient même déterminant lorsqu'il est à l'origine des techniques utilisées (échangeurs, moteurs thermiques, utilisation de l'énergie solaire...).

II.2.1.1. Conduction :

La conduction est définie comme étant le mode de transfert de chaleur provoqué par la différence de température entre deux régions d'un milieu solide, liquide ou gazeux. L'effet macroscopique observable est une égalisation des températures du système. Cependant si certaines zones sont maintenues à température constante par apport de chaleur (réservoir de chaleur) ou évacuation de chaleur (puits de chaleur), il s'établit un transfert continu de la chaleur de la région chaude vers la région froide.

Avec :

$$dQ = -\lambda \times S \times \frac{dT}{dX} \times dt$$

EqII.5

dQ : Energie élémentaire (J).

λ : Conductivité thermique du matériau ($\text{W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).

S : Section (m^2).

dt : Temps élémentaire (s).

$\frac{dT}{dX}$: Gradient de température (K.m^{-1}) [4].

II.2.1.2. Convection :

Dans un processus de convection le transfert de chaleur entre un solide et un fluide l'énergie étant transmis par déplacement du fluide. Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de **Newton** :

$$\Phi = h \times S \times (T_p - T_\infty) \quad \text{EqII.6}$$

φ : Flux de chaleur transmis par convection (W).

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$).

T_p : Température de la surface solide (K).

T_∞ : Température du fluide de la surface solide (K).

S : La surface de contact solide/fluide (m^2) [4].

II.2.1.3. Rayonnement :

Tout corps chauffé émet par sa surface extérieure un rayonnement électromagnétique dont la puissance est fonction de sa température ; C'est le rayonnement thermique. L'analyse spectrale de ce rayonnement montre une majorité de courtes longueurs d'onde aux très hautes températures et une majorité de grandes longueurs d'onde pour des températures inférieures à 500 K.

D'après la loi de **Stéphan**, le flux de chaleur échangé entre la surface S et le milieu ambiant peut s'écrire :

Avec :

$$\Phi = \sigma \times \varepsilon \times S \times (T_s^4 - T_a^4) \quad \text{EqII.7}$$

σ : constante de **Stéphan Boltzmann** ($5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$).

S : surface d'échange (m^2).

ε : coefficient d'émission de la surface ($\varepsilon = 1$ pour un corps noir, $\varepsilon \ll 1$ pour un corps brillant).

T_s : température de surface du corps (K).

T_a : température ambiante (K) [4].

II.2.2 Echanges de chaleur d'un distillateur Hot-Box :

Avant d'établir le bilan énergétique global d'un distillateur solaire, il faut déterminer, en premier lieu, les principaux transferts de chaleur qui se produisent à l'intérieur de distillateur [7] :

II.2.2.1. Au niveau de la vitre :

Du coté intérieur la vitre reçoit les flux par convection Q_{ci} , par rayonnement Q_{ri} et par évaporation Q_e .

Du coté extérieur la vitre cède à l'air ambiant la somme de deux flux Q_{ca} , par convection et Q_{ra} par rayonnement.

II.2.2.2. Au niveau de la saumure :

La saumure cède par rayonnement le flux Q_{ri} , par convection naturelle le flux Q_{ci} , et par évaporation (au cours de changement de phase) un flux Q_e , à la surface de condensation (coté intérieure de la vitre du distillateur).

II.2.2.3 Au niveau de l'absorbeur :

La nappe d'eau reçoit d'une part par conduction et convection un flux de chaleur Q_{eb} , de l'absorbeur (bac), et cède d'autre part par conduction un flux pertes vers l'extérieur.

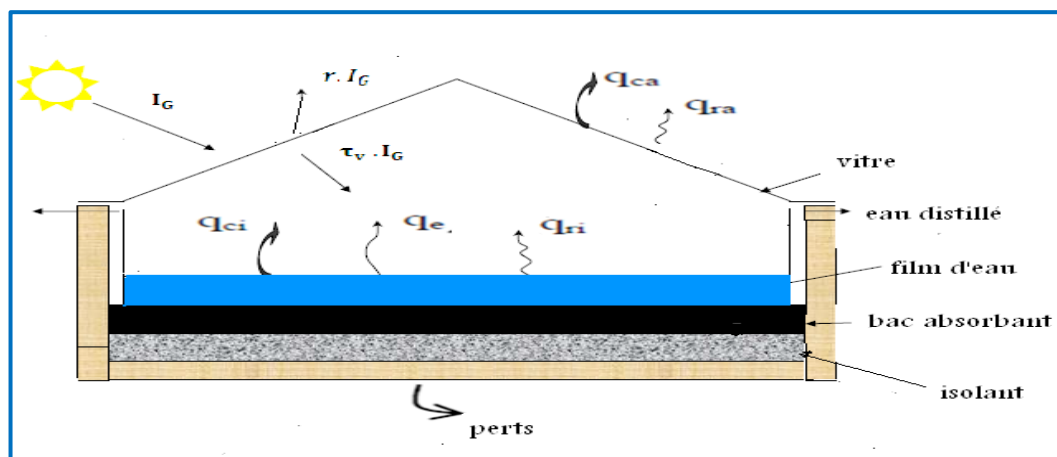


Figure II.1 : Les différents transferts thermiques dans un distillateur solaire.

II.2.3 Hypothèses simplificatrices :

Le problème physique consiste à déterminer, en fonction des paramètres météorologiques et de celui du distillateur, l'évolution en fonction du temps des différentes températures, de la quantité d'eau distillée et du rendement du distillateur.

Dans le but de rendre le modèle mathématique accessible, nous devons prendre en considération les hypothèses simplificatrices suivantes :

- La température de chaque composant est uniforme.
- Le transfert de chaleur est unidimensionnel.
- Le soleil est assimilé à un corps noir.
- Les propriétés physiques des matériaux sont considérées constantes.
- Le bassin est étanche.
- La couverture est propre.
- La condensation se fait uniquement sur la couverture (il n'y a pas de condensation sur les parois latérales).
- La condensation de l'eau sur la couverture est homogène et continue (le verre possède une bonne mouillabilité).
- L'eau est statique sur le bassin.
- La concentration d'eau n'intervient pas dans les transferts de chaleur et de masse à partir de et vers l'eau.
- Les parois latérales sont supposées adiabatiques.
- La chaleur perdue par addition d'eau d'appoint et celle emportée par le distillat sont supposées négligeables [12] [13].

❖ Bilan thermique du distillateur solaire à double pente pour un régime permanent :

➤ Bilan thermique de la vitre :

$$Q_{ri} + Q_{ci} + Q_e = \frac{\lambda_v}{e_v} (T_{vi} - T_{ve}) A_v \quad \text{EqII.8}$$

$$Q_{ra} + Q_{ca} = \frac{\lambda_v}{e_v} (T_{vi} - T_{ve}) A_v \quad \text{EqII.9}$$

Avec :

Q_{ri} : Flux échangé par rayonnement à l'intérieur du distillateur (W).

Q_{ci} : Flux échangé par convection à l'intérieur du distillateur (W).

Q_e : Flux échangé par évaporation à l'intérieur du distillateur (W).

Q_{ra} : Flux échangé par rayonnement entre la vitre et le milieu ambiant (W).

Q_{ca} : Flux échangé par convection entre la vitre et le milieu ambiant (W).

λ_v : Conductivité thermique de la vitre ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$).

e_v : Epaisseur de la vitre (m).

T_{vi} : Température intérieure de la vitre (K).

T_{ve} : Température extérieure de la vitre (K).

A_v : Surface de la vitre (m^2).

➤ Bilan thermique de la masse d'eau :

$$Q_{eau} = Q_{ri} + Q_{ci} + Q_e + mdce (T_e - T_a) + Q_b$$

EqII.10

$mdce(T_e - T_a)$: Flux perdu par l'apport d'eau d'appoint (W).

Q_b : Flux de conduction à travers le bac absorbant (W).

➤ Bilan thermique du bac absorbant :

$$Q_{eb} + Q_{bis} = \tau \times A \times G$$

EqII.11

Q_{eb} : Flux cédé à la masse d'eau (W).

Q_{bis} : Flux cédé à l'isolant (W).

τ : Coefficient de transmission global de l'eau et la vitre.

A : Surface du bac (m^2).

G : Rayonnement solaire (W/m^2).

➤ Le débit de condensat :

$$\frac{dM_c}{dt} = h_{evp} \frac{(T_e - T_v)}{L_v}$$

EqII.12

Avec :

M_c : Masse du condensât (Kg).

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

T_e : Température de l'eau (K).

T_v : Température de la vitre (K).

h_{evp} : Coefficient de transfert de chaleur par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage [7] [12] [13].

CHAPITRE III**ETUDE EXPERIMENTALE**

Notre étude a pour but de réaliser un distillateur solaire à effet de serre (Hot-Box) 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 département de Génie des Procédés, de la faculté de Technologie Université de BLIDA1.

III.1. Présentation de la région d'expérimentation:**III.1.1. Situation et limites :**

Notre Distillateur fonctionne dans les conditions climatiques de la ville d'Ouled-Yaïch installé sur le toit de département de Génie des Procédés (le pavillon 22), à l'Université BLIDA 1.

La 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.

III.1.2. Etude climatique :

Les paramètres climatiques (température, évaporation, humidité, vent.....) sont les facteurs les plus importants à déterminer pour la production de l'eau distillée.

La ville d'Ouled-Yaïch bénéficie d'un climat tempéré chaud. En été, les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver.

Sur l'année, la température moyenne à Ouled-Yaïch est de 17.8 °C. Il tombe en moyenne 754 mm de pluie par an [14].

III.2. 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); il présente l'avantage d'être facile à construire et surtout à maintenir.

Le distillateur est essentiellement constitué de :

III.2.1. 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. Pour mener à bien notre travail nous avons suivi les étapes :

➤ Pliage :

Dans cette étape nous avons plié les parois latérales de la tôle afin d'obtenir notre bac absorbant.



Figure III.1 : Photo de pliage des parois de bac.

➤ Soudage par point :

Selon les métallurgistes, le soudage par point a l'avantage d'avoir une très bonne étanchéité sans altérer les propriétés de départ du matériau sélectionné. Dans notre cas nous avons utilisé ce type de soudage dans le but d'unir les côtés de bac ainsi pour fixer les gouttières comme montre la figure suivante :



Figure III.2 : Photo de soudage par point des cotées et des gouttières.

➤ Construction des canaux :

Dans le but d'alimenter la saumure d'une part et récupérer l'eau traitée d'une autre part nous avons procédé à la construction des canaux en utilisant une tôle pour les gouttières de récupération et un tube en PVC pour l'alimentation de l'eau à traiter.



Figure III.3 : Photo montrant la construction des canaux.

➤ Ajout de la silicone :

Après avoir concevoir le bac de traitement nous avons utilisé la silicone comme étant un ajout qui peut assurer l'étanchéité sur les côtés internes et externes du bac absorbant. Afin d'avoir une étanchéité parfaite nous avons appliqué cette silicone sur un support en textile.



Figure III.4 : Photo montrant l'utilisation de la silicone.

➤ Peinture :

Afin d'absorber le maximum du rayonnement solaire le bac est peint en noir. La figure suivante montre le bac peint en noir.



Figure III.5 : Photo montrant le bac peint en noir.

III.2.2. Couverture extérieure :

Le coffre du distillateur renferme les différents éléments actifs. Il devra donc rigide, étanche, pour supporter l'absorbant et la couverture et pour assurer une protection efficace aux agents atmosphériques, pour ce faire on a sélectionné le bois afin de réaliser notre coffre. La figure III.6 montre le coffre réalisé.



Figure III.6 : Photo de coffre en bois.

III.2.3. Isolation thermique :

Selon les thermiciens, il est évident que le bac absorbant 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.



Figure III.7 : Photo de l'isolant thermique.

III.2.4. 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 46° par rapport à l'horizon 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 III.8 : Photo montrant la couverture verrière.

Les dimensions de tous les constituants du distillateur sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Dimensions des constituants du distillateur.

Dimensions	Bac absorbant	Couverture verrière	Isolation thermique	Couverture extérieure
Longueur (cm)	100	109	100	104
Largeur (cm)	65	46	65	69
Epaisseur (cm)	0.1	0.5	3.5	2.5
Hauteur (cm)	15/49	/	15/49	15/49
Superficie de la base (cm²)	6500	5014	6500	7176

III.2.5. Montage du distillateur :

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 du côté de bac à l'aide d'une tuyauterie composée d'un raccord, d'un tube, d'un coude et d'un tuyau avec son entonnoir en PVC (15/21).

La récupération du distillat est exécutée par deux gouttières en tôle soudées à l'intérieur du bac. L'évacuation de celui-ci vers l'extérieur est réalisée par deux tuyauteries constituées par deux manchons soudés, deux morceaux de tubes tigre liés entre eux par un autre tube et deux coudes en tigre (15/21), le condensat se ruisselle vers une éprouvette à l'aide d'un autre tube en tigre.



Figure III.9 : Photos du distillateur solaire réalisé.

III.3. Différents appareils de mesure utilisés :

III.3.1. Puissance du rayonnement solaire :

Dans le but de mesurer la puissance du rayonnement solaire on a utilisé un Solari-mètre, 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 III.10 : Photo du Solari-mètre.

III.3.2. Mesure des températures :

La mesure de température des différents éléments de système s'effectue à l'aide d'un thermocouple de type K, il est constitué d'une paire de métal en forme de deux fils soudés avec une soudure autonome. Chaque thermocouple est lié à un appareil (milli voltmètre spécial) 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 à effet de serre.



Figure III.1 : Photo de l'acquisition des thermocouples.

III.3.3. Caractérisation du distillat :

Pour caractériser notre distillat obtenu on a mesuré la conductivité, le pH, le TDS et la température de l'eau. Dans ce but on a utilisé un multi paramètre (CRISON MM 40) qui donne les valeurs de tous ces paramètres.



Figure III.12 : Photo du multi paramètre.

III.3.4. Mesure de débit:

Afin de mesurer la quantité de l'eau distillée obtenue pendant chaque heure on a utilisé une éprouvette graduée.

III.4. 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 III.2 : Emplacement des thermocouples.

Thermocouple N°	Température de :	Symbole
1	Face interne de la vitre (Ouest)	T ₁
2	Air à l'intérieure du distillateur	T ₂
3	Face interne de la vitre (Este)	T ₃
4	Surface du bac absorbant	T ₄
5	Saumure	T ₅
6	Air ambiant	T ₆



Figure III.13 : Photo montrant l'emplacement des thermocouples.

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSIONS

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 et la qualité de l'eau distillé obtenue. L'expérience a été effectuée avec deux essais :

- un premier essai (eau du robinet), L'expérience a été faite pendant une période de trois semaines (de 18 mai au 07 juin 2015).
- un deuxième essai (eau de mer diluée), l'expérience a été réalisée pendant une période de dix jours (de 07 au 17 juin 2015).

IV.1. Interprétation et discussion des résultats :IV.1.1. Puissance du rayonnement solaire en fonction du temps :

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

A noter que les mesures ont été effectuées pour les journées du 21 et 31 Mai 2015 pour l'eau de robinet et le 11 juin 2015 pour l'eau de mer diluée.

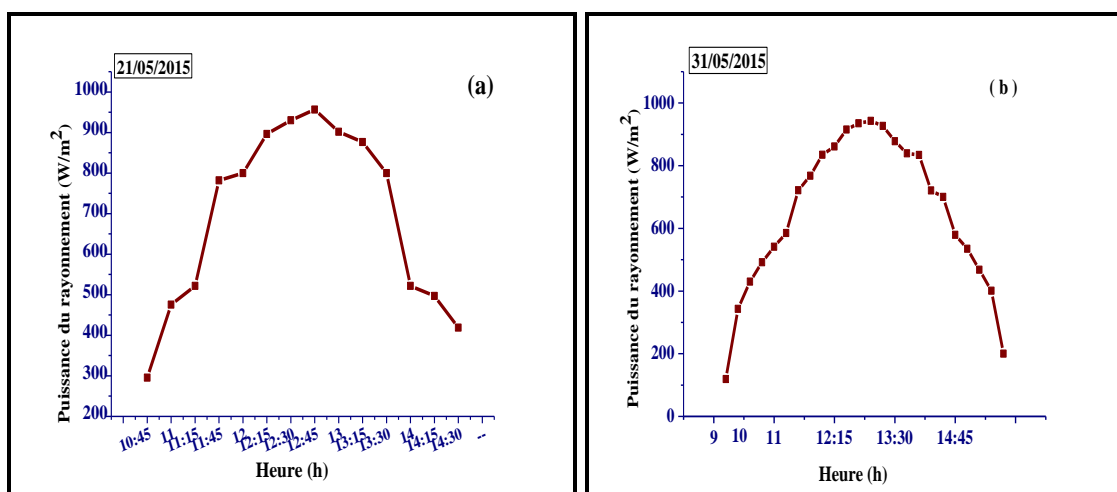


Figure IV.1 : Variation temporelle de la puissance du rayonnement :(a) : 21 Mai 2015.

(b) : 31 Mai 2015.

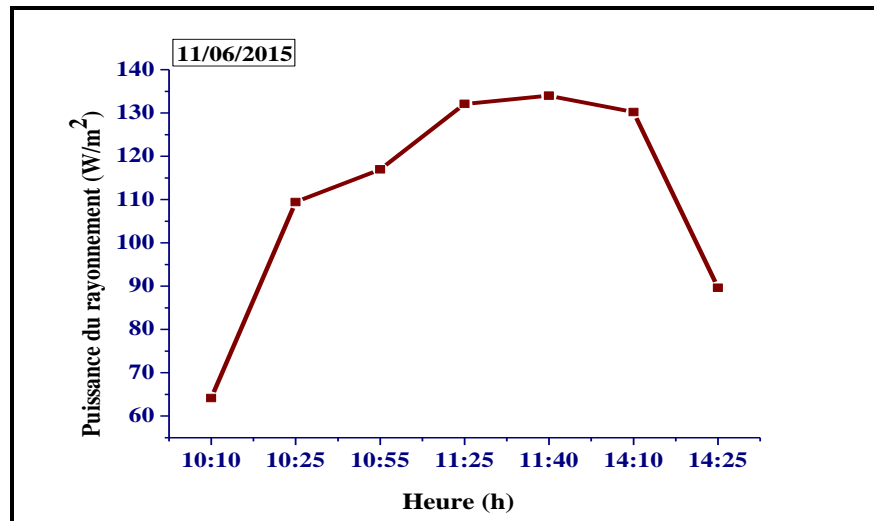


Figure IV.2: Variation temporelle de la puissance du rayonnement (11 Juin 2015).

Les Figures IV.1 (a et b) et IV.2 montrent l'évolution temporelle de la puissance du rayonnement solaire global, reçu par les deux vitres.

On remarque clairement que le rayonnement solaire reçu par le distillateur est plus intense vers 12h :00 et 13h :00 tandis qu'il est moins intense au début et à la fin de la journée.

A partir de ces courbes qui 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.

IV.1.2. Production du distillat :

Dans le but de déterminer le rendement de distillateur on a évalué sa variation en fonction de plusieurs paramètres :

IV.1.2.1. En fonction du Temps :

Dans cette expérience on va quantifier le rendement du distillat obtenue en fonction du temps :

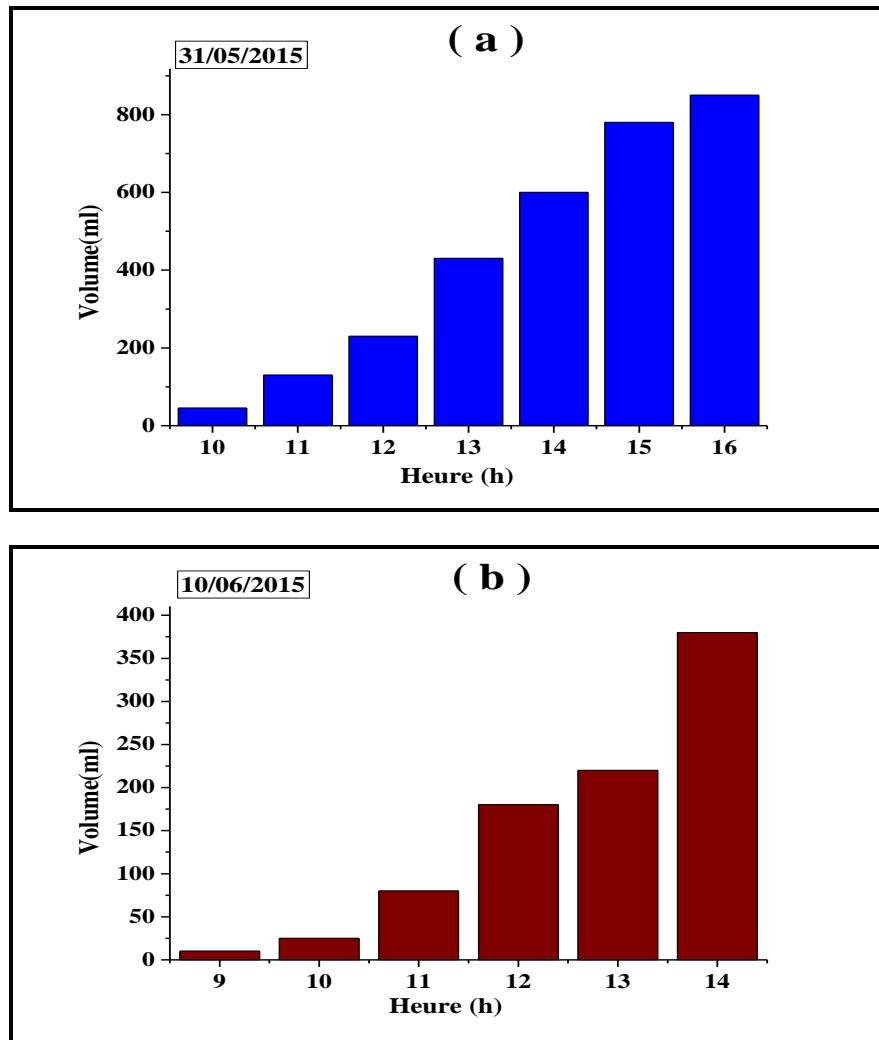


Figure IV.3: Variation temporelle de la production du distillat à partir de :

(a) : l'eau de robinet.

(b) : l'eau de mer diluée.

Les figures IV.3 (a et b) représentent le volume de distillat produit en fonction du temps. A partir des figures on remarque que la production du distillateur augmente en fonction de l'horaire.

On constate que 80% de la quantité d'eau distillée était produite durant les heures de plus fortes radiations solaires (entre 12h :00 et 14h :00).

Des résultats similaires ont été trouvés par S.FEDALI [8] qui a constaté que la production augmente en fonction du temps.

VI.1.2.2. En fonction de la puissance du rayonnement solaire :

Cette expérience a été effectuée pour évaluer l'influence de la puissance du rayonnement solaire sur le rendement de système.

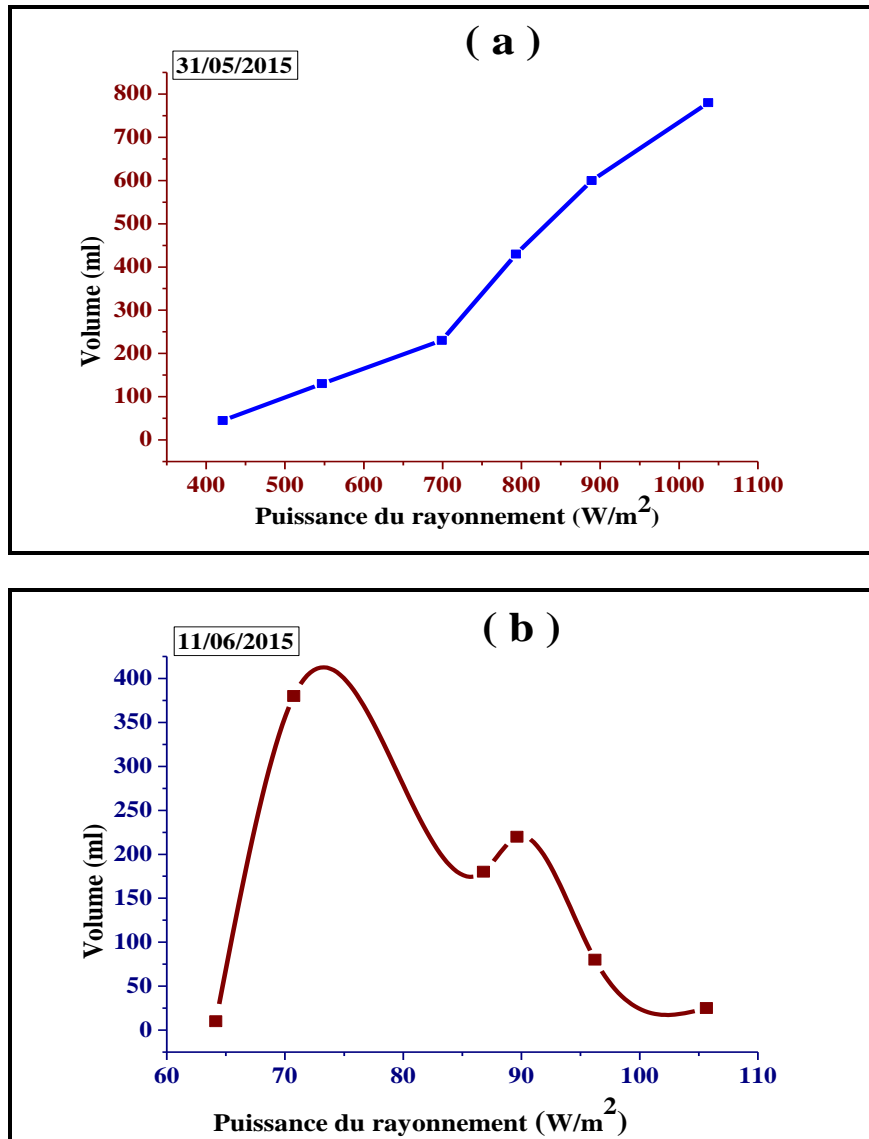


Figure IV.4: Variation de la production du distillat en fonction de la puissance du rayonnement solaire :

(a) : à partir de l'eau de robinet.

(b) : à partir de l'eau de mer diluée.

Les figures IV.4 (a et b) illustrent la quantité du distillat produit en fonction de la puissance du rayonnement solaire.

D'après la figure (a) on remarque que le volume de distillat augmente au fur et à mesure que la puissance du rayonnement solaire jusqu'à atteindre une valeur maximale.

On remarque dans la figure (b) que le volume du condensat varie en fonction de la puissance du rayonnement. L'instabilité de cette variation est due au passage des nuages.

On constate que le rayonnement solaire influe sur le fonctionnement du distillateur, l'augmentation de la puissance du rayonnement solaire augmente la température de l'absorbeur ce qui provoque l'évaporation et augmente la quantité d'eau distillée.

IV.1.2.3. En fonction de la température de la saumure :

Dans le but de savoir l'effet de la variation de la température de la saumure sur le rendement du distillateur nous avons effectué cette expérience.

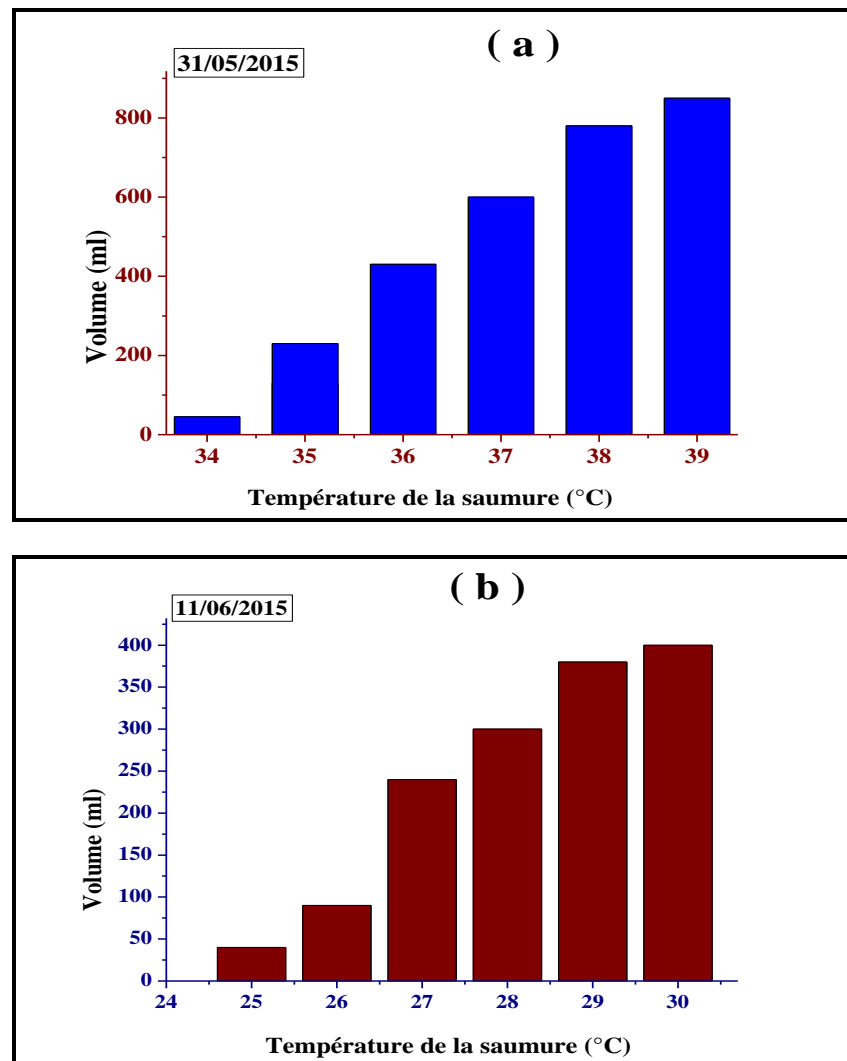


Figure IV.5: Variation de la production du distillat à partir de l'eau de robinet en fonction de la température de la saumure : (a) : à partir de l'eau de robinet.

(b) : à partir de l'eau de mer diluée.

Les figures IV.5 (a et b) représentent le volume de distillat produit en fonction de la température de la saumure.

On peut conclure qu'une température élevée de la saumure conduit à une augmentation de la production.

VI.1.2.4. En fonction de la température ambiante :

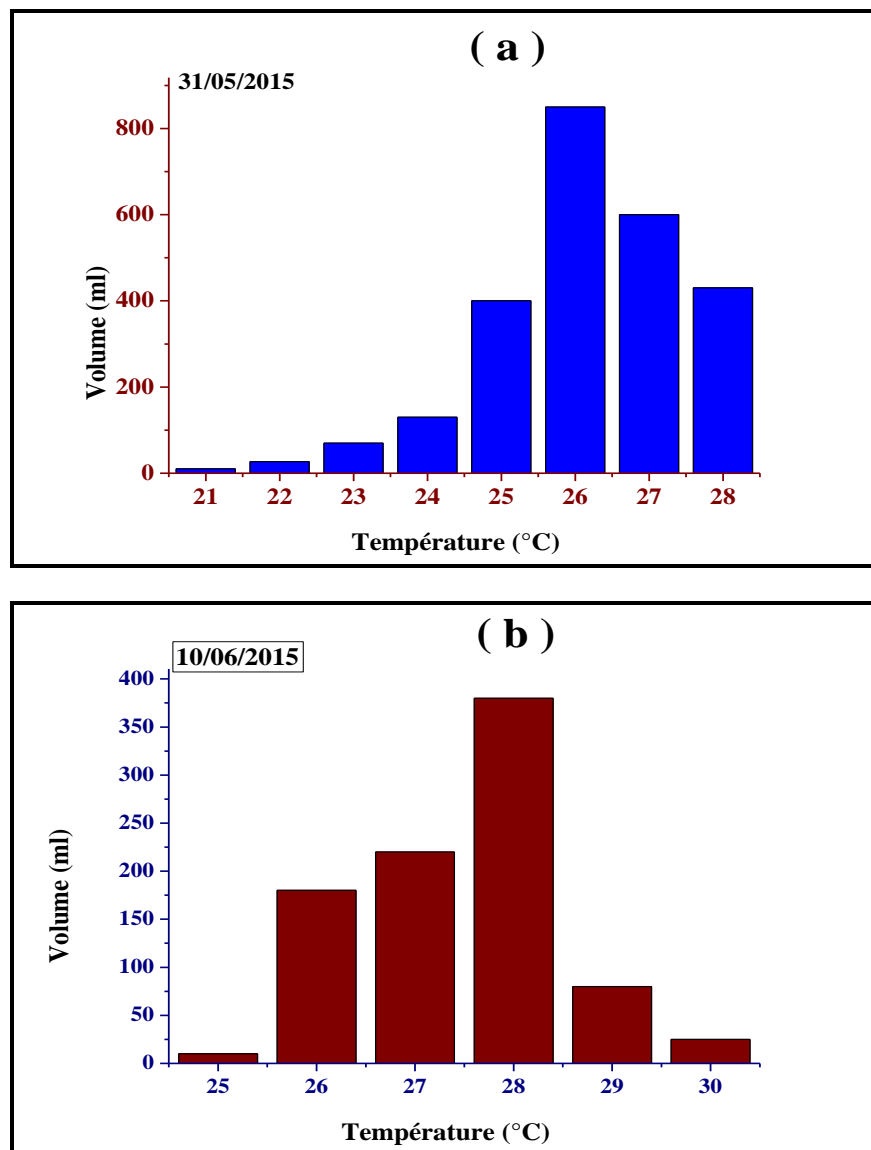


Figure IV.6: Variation de la production du distillat en fonction de la température ambiante :

(a) : à partir de l'eau de robinet.

(b) : à partir de l'eau de mer diluée.

Ces figures permettent de remarquer que la production du distillat varie en fonction de la température ambiante jusqu'à atteindre une valeur maximale puis elle diminue lors de l'augmentation de celle-ci.

On peut conclure que la température ambiante influence le fonctionnement du distillateur et par conséquent son rendement.

IV.1.2.5. En fonction de la vitesse du vent :

Les études théoriques montrent que la vitesse du vent a une influence directe sur le fonctionnement du distillateur, pour prouver cette théorie nous avons évalué le rendement de distillateur en fonction de la vitesse du vent :

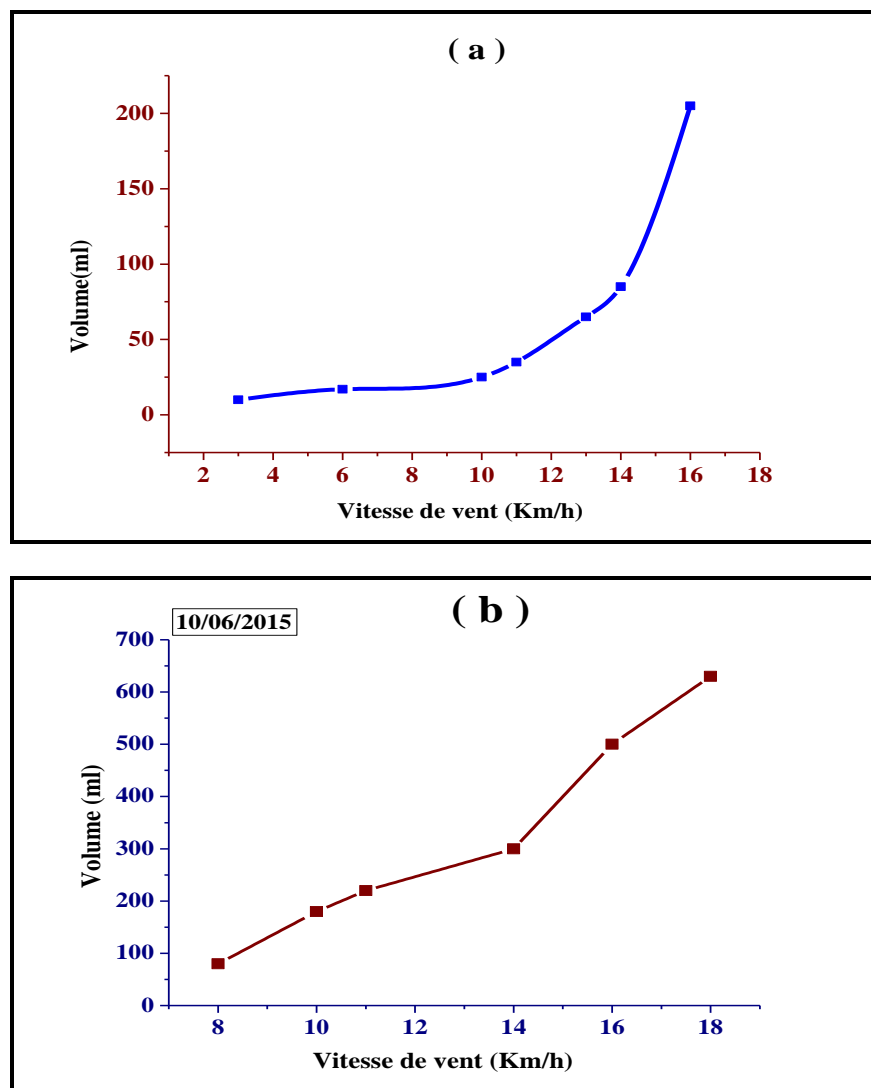


Figure IV.7: Variation de la production du distillat en fonction de la vitesse du vent :

(a) : à partir de l'eau de robinet.

(b) : à partir de l'eau de mer diluée.

Les figures IV.7 (a et b) montrent l'effet de la vitesse du vent sur la production du distillateur solaire.

Ces résultats révèlent que l'accroissement de la vitesse du vent engendra une chute de la température de la vitre, ce qui croit l'écart de température entre la saumure et la vitre et accélère le processus d'évaporation conduisant à une augmentation de la production [15].

IV.1.2. Paramètres influençant la température des différents éléments :

Cette expérience est effectuée pour évaluer l'influence des différents paramètres sur la température des différents constituants du distillateur.

IV.1.2.1. En fonction du temps :

Dans cette étape nous avons évalué la variation temporelle des températures des différents éléments :

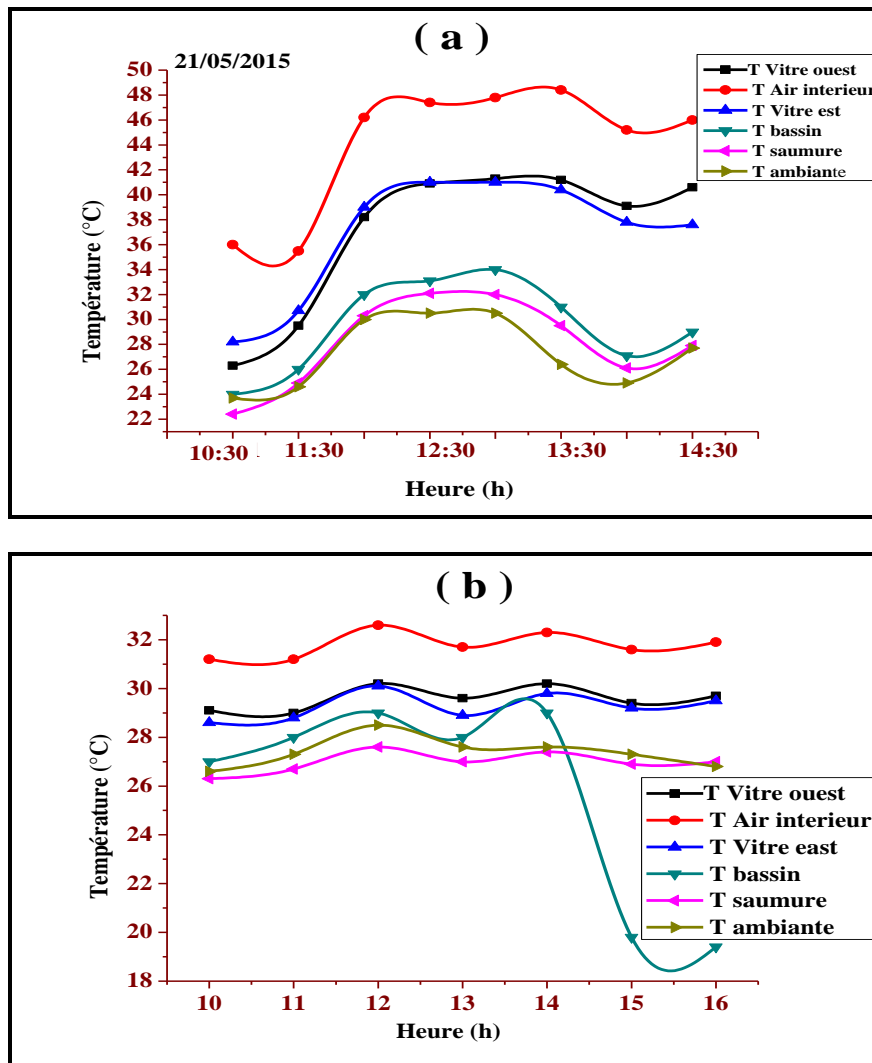


Figure IV.8: Variation temporelle de la température des différents éléments au cours d'une distillation de : (a) : l'eau de robinet.

(b) : l'eau de mer diluée.

La variation temporelle des températures des différents éléments est illustrée dans les Figures IV.8 (a et b).

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.

La température de l'air à l'intérieur du distillateur est plus élevée par rapport aux autres éléments et cela est due aux chaleurs cédées par la vitre et la surface d'évaporation et cela par convection naturelle, l'élévation de la température devient lente au fait de flux qui devient constant allant de 11h:00 jusqu'à 12h:00. La température chute légèrement tout en restant supérieure à la température de la vitre.

La température du bac atteint une valeur maximale de 33°C pour l'eau de robinet et 29°C pour l'eau saumâtre, ceci s'explique par le coefficient d'absorption assez élevée de la peinture noire.

La température de l'eau est proche de celle du bac, cette dernière est chauffée surtout par convection et d'un degré moindre par conduction.

Ces résultats sont en bon accord avec les travaux expérimentaux d'A.ZIYADOU [2].

IV.1.2.2. En fonction de la puissance du rayonnement solaire :

Dans cette expérience on s'intéresse par évaluer l'influence de la puissance du rayonnement solaire sur la température des différents constituants du système.

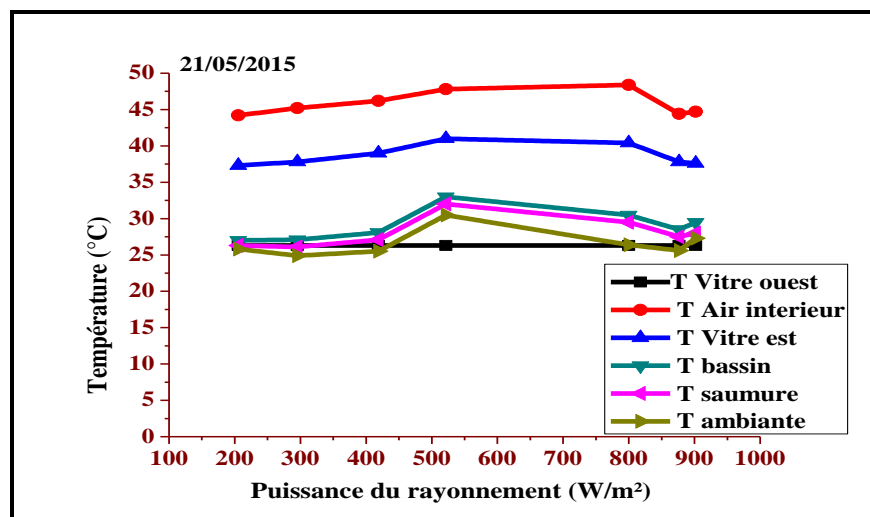


Figure IV.9: Variation de la température des différents éléments en fonction de la puissance du rayonnement au cours d'une distillation de l'eau de robinet.

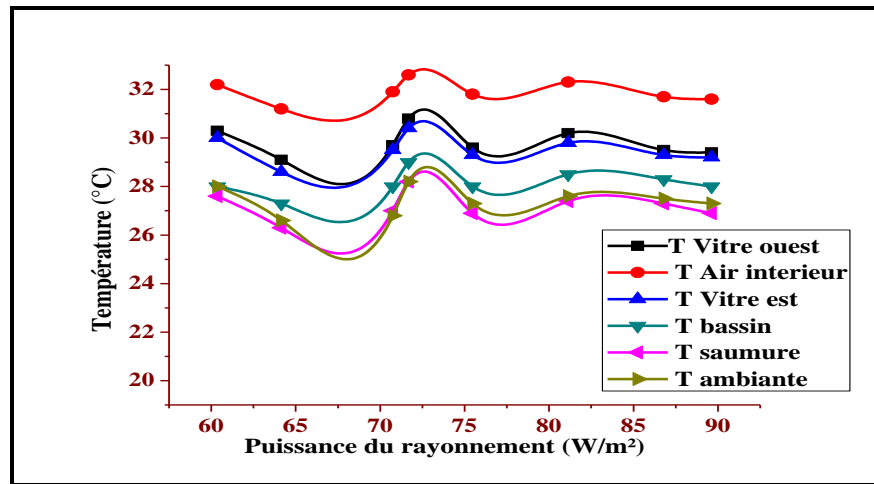


Figure IV.10: Variation de la température des différents éléments en fonction de la puissance du rayonnement au cours d'une distillation de l'eau de mer diluée.

Les figures IV.9 et IV.10 représentent l'évolution des différentes températures en fonction de la puissance du rayonnement solaire.

Il apparait nettement que les températures augmentent au fur et à mesure que la puissance jusqu'à avoir une valeur maximale puis elles commencent à se diminuer légèrement.

Ces résultats montrent que le rayonnement solaire est le paramètre le plus influant sur les températures des différents éléments et donc le fonctionnement du distillateur.

IV.1.2.3. En fonction de la vitesse du vent :

Dans cette étape on a évalué l'influence de la vitesse du vent sur les températures des différents éléments :

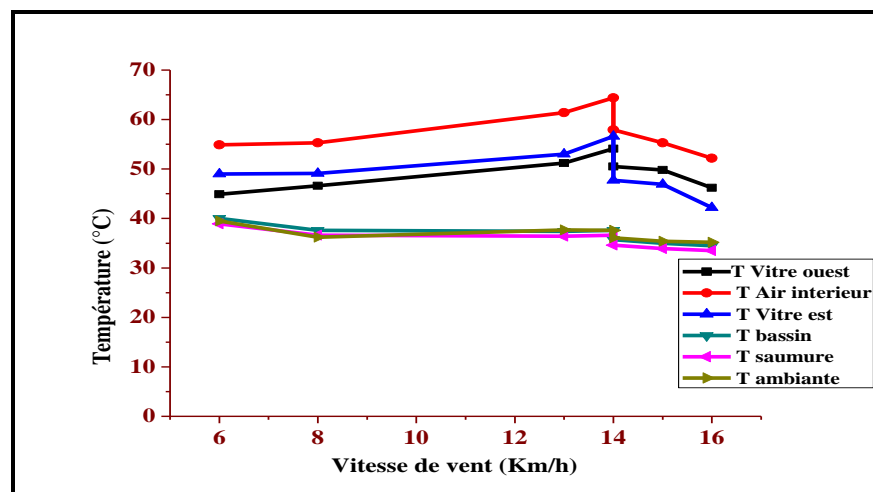


Figure IV.11: Variation de la température des différents éléments en fonction de la vitesse du vent au cours d'une distillation de l'eau de robinet.

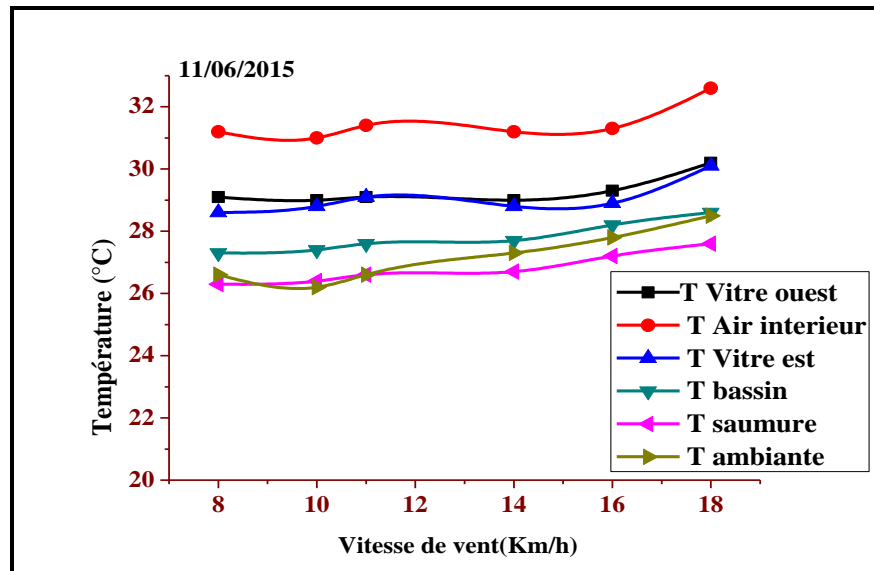


Figure IV.12: Variation de la température des différents éléments en fonction de la vitesse du vent au cours d'une distillation de l'eau de mer diluée.

Les figures IV.11 et IV.12 représentent l'évolution des différentes températures en fonction de la vitesse du vent.

En se basant sur ces figures on remarque que les températures sont proportionnelles à la vitesse du vent.

La vitesse du vent a un effet favorable sur la température de la vitre pour les faibles vitesses, mais par contre pour les valeurs élevées de la vitesse de vent nous avons remarqué un effet inverse, cet effet défavorable peut être interprété par l'augmentation des pertes par convection vers le milieu extérieur.

Le même effet de la vitesse du vent est observé sur la température du film d'eau mais d'un degré moins ce qui est montré par la faible décroissance de la température d'eau dans le distillateur solaire pour les valeurs élevées de la vitesse de vent.

IV.1.3. Influence de la température ambiante sur les paramètres physicochimiques:

Le but de cette expérience est la détermination de l'influence de la température ambiante sur les caractéristiques du distillat obtenue :

IV.1.3.1 Effet sur le pH :

Nous nous intéressons dans cette étape par l'effet de la température ambiante sur le pH du distillat.

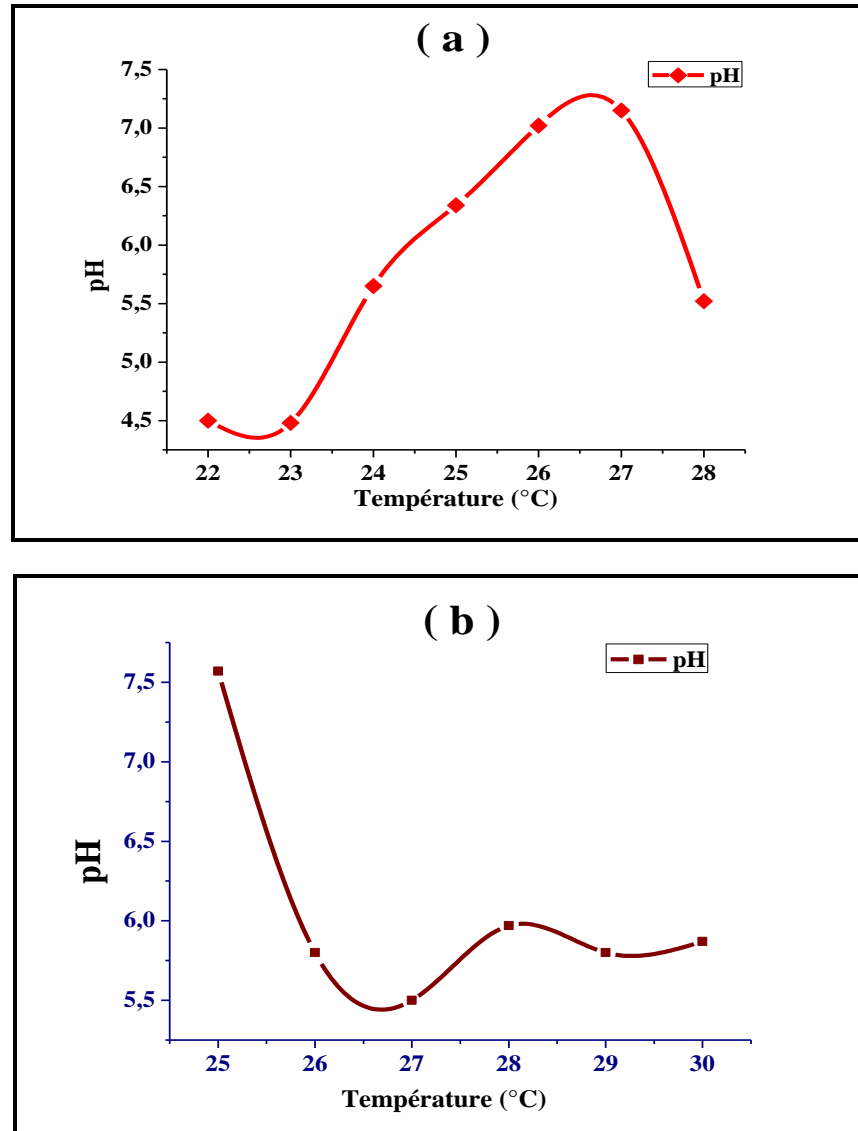


Figure IV.13 : Variation du pH en fonction de la température ambiante au cours d'une distillation de :

(a) : l'eau de robinet.

(b) : l'eau de mer diluée.

Les figures IV.13 (a et b) montrent l'effet de la température ambiante sur le pH du distillat produit.

L'allure générale de la figure IV.13 montre que l'augmentation de la température ambiante augmente la valeur du pH, c'est du à la teneur en espèce carbonaté (CO_2 et carbonates) dans l'eau de robinet : l'augmentation de la température ambiante évapore le CO_2 et par conséquent la valeur du pH augmente [2]. Par contre dans le cas de l'eau de mer nous avons rencontré un phénomène inverse qui peut être sera lié à la teneur en CO_2 .

IV.1.3.2. Effet sur la conductivité électrique:

Dans le but de savoir l'influence de la température ambiante sur la conductivité on a effectué cette expérience :

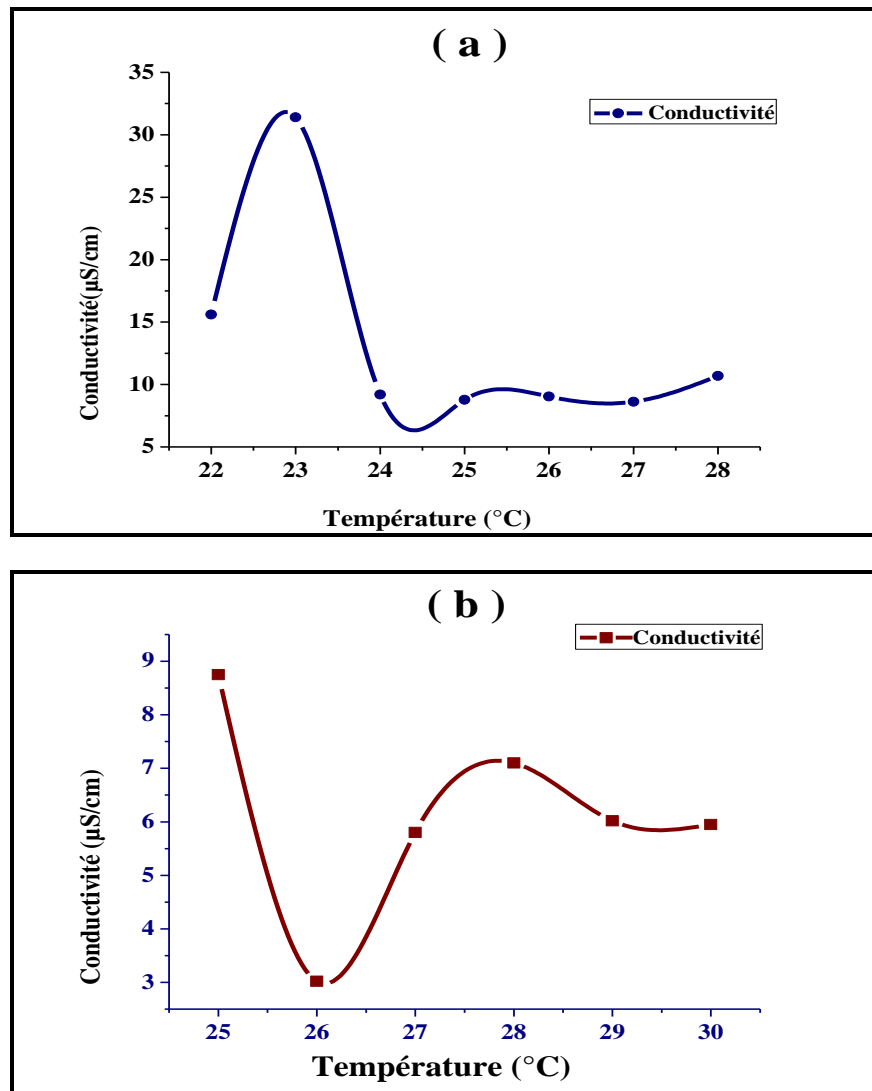


Figure IV.14 : Variation de la conductivité électrique en fonction de la température ambiante au cours d'une distillation de : (a) : l'eau de robinet.

(b) : l'eau de mer diluée.

Les figures IV.14 (a et b) illustrent l'effet de la température ambiante sur la conductivité du distillat produit.

L'allure générale des deux figures montre que l'augmentation de la température ambiante diminue la valeur de la conductivité électrique, Les valeurs maximales de la température ambiante correspondent à des valeurs minimales de la conductivité électrique.

On peut conclure que la conductivité électrique du distillat évolue dans le sens inverse de la température ambiante.

IV.1.3.3. Effet sur le taux de salinité (TDS) :

Cette expérience est effectuée afin d'évaluer l'effet de la température ambiante sur TDS.

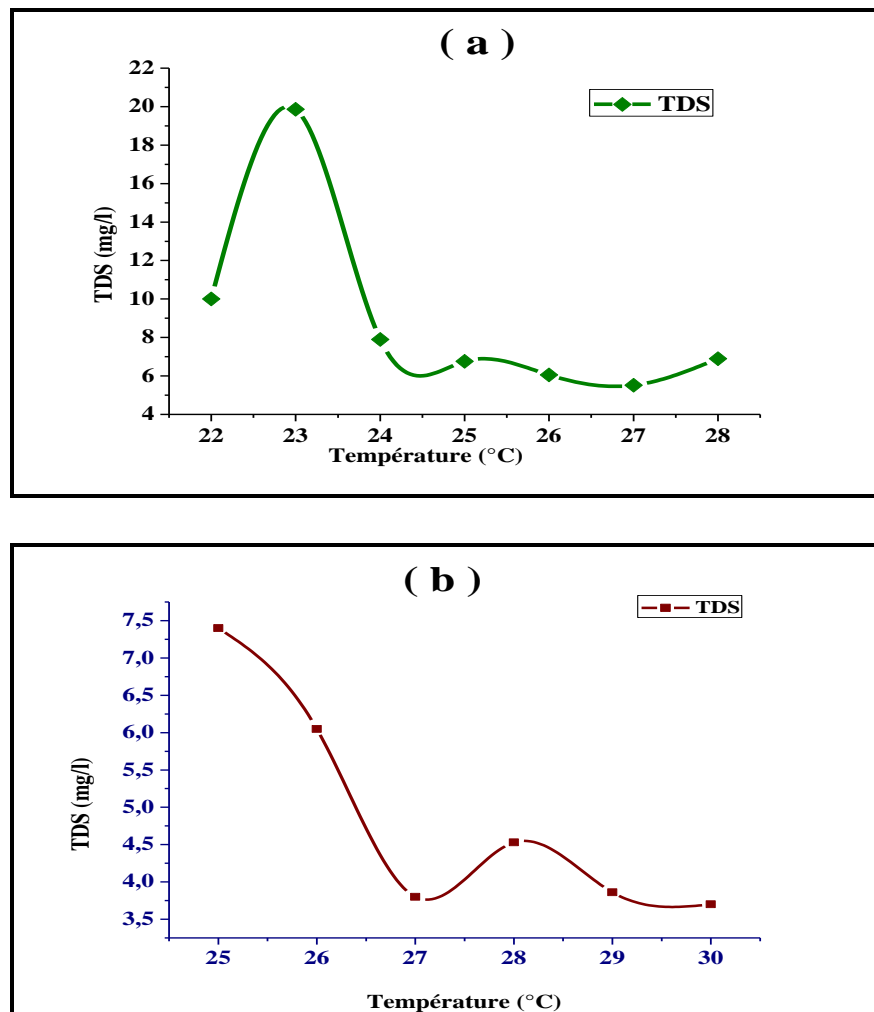


Figure IV.15 : Variation du TDS en fonction de la température ambiante au cours d'une distillation de : (a) :l'eau de robinet.

(b): l'eau de mer diluée.

Les figures IV.15 (a et b) montrent l'effet de la température ambiante sur le taux de salinité du distillat produit.

L'allure générale des deux courbes montre que l'augmentation de la température ambiante diminue la valeur du TDS.

En se basant sur ces résultats on constate que le TDS évolue dans le sens inverse de la température ambiante.

IV.1.3.4. Effet sur la température du distillat :

Nous avons effectué cette expérience dans le but d'évaluer l'influence de la température ambiante sur la température du distillat obtenu.

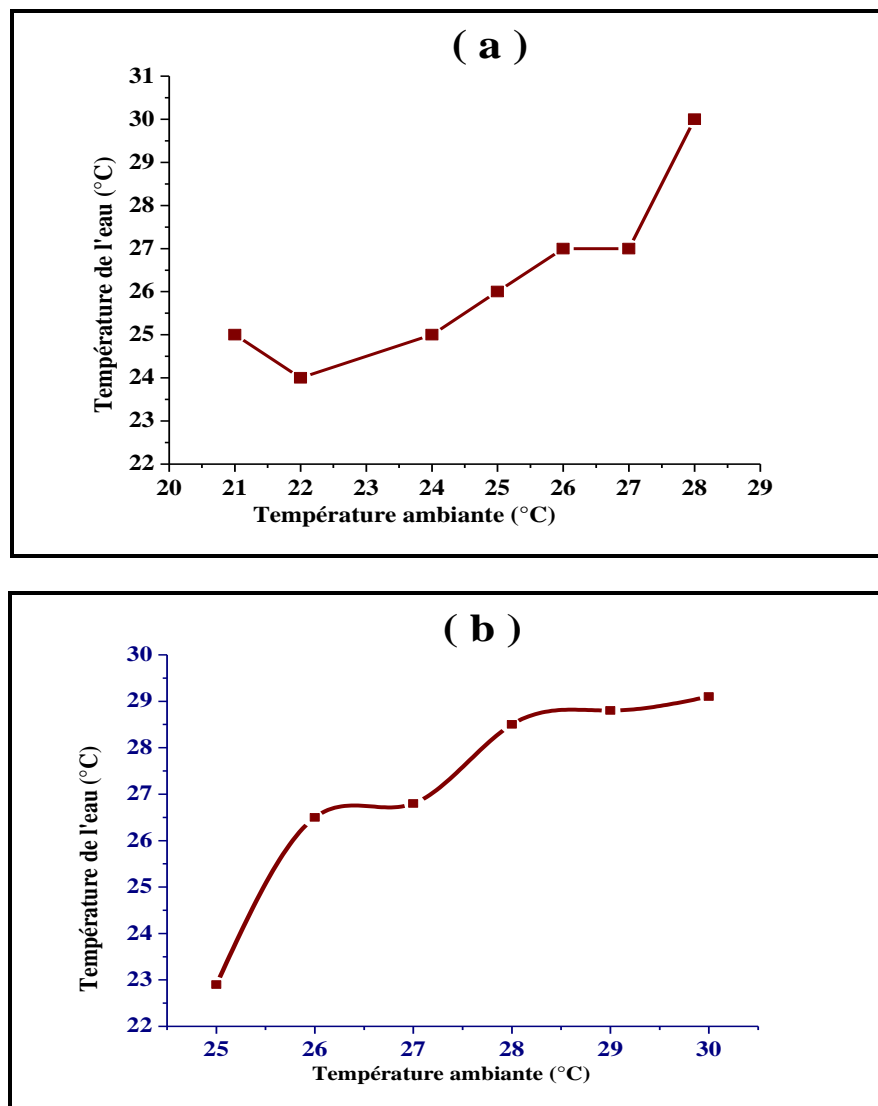


Figure IV.16 : Variation de la température du distillat en fonction de la température ambiante au cours d'une distillation de : (a) : l'eau de robinet.

(b) : l'eau de mer diluée.

Les figures IV.16 (a et b) illustrent l'effet de la température ambiante sur la température du distillat produit.

L'allure générale des deux figures montre que l'augmentation de la température ambiante augmente la valeur de la température du distillat produit.

On constat que la température ambiante influe proportionnellement sur la température du distillat produit.

Qualité du distillat obtenue:

Tableau IV.1. Qualité de l'eau distillée à partir de l'eau de robinet.

	TDS (mg/l)		pH		Conductivité électrique (µS/cm)		Température (°C)	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
18/05/2015	310	12.12	8.02	5.28	484	18.82	19.9	26
23/05/2015	290	8.12	8	6.08	452	12.65	23.3	24
27/05/2015	298	5.9	7.98	5.65	465	9.20	20.4	21.9
28/05/2015	314	6.32	7.77	5.76	508	9.8	21.3	24.5
30/05/2015	309	6.17	8.03	7.01	483	9.64	21.8	21.2
31/05/2015	304	18	8.07	7.02	475	10.92	21	18

Tableau IV.2. Qualité de l'eau distillée à partir de l'eau de mer diluée.

	TDS (mg/l)		pH		Conductivité électrique (µS/cm)		Température (°C)	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
07/06/2015	10.84×10 ³	5.83	7.97	5.64	16.97×10 ⁶	9.48	22.6	24.4
08/06/2015	10.84×10 ³	6.09	7.97	5.65	16.97×10 ⁶	9.53	22.6	28.9
10/06/2015	10.84×10 ³	3,86	7.97	5,8	16.97×10 ⁶	6,02	22.6	28,8
11/06/2015	10.84×10 ³	3,8	7.97	5,5	16.97×10 ⁶	5,8	22.6	24,8
13/06/2015	10.84×10 ³	3,79	7.97	5,87	16.97×10 ⁶	5,95	22.6	29,1
17/06/2015	10.84×10 ³	3,79	7.97	5,74	16.97×10 ⁶	5,88	22.6	24,5

Les tableaux IV.1 et IV.2 présentent les grandeurs suivantes : TDS, pH, Conductivité électrique et Température de l'eau avant et après la distillation.

Les tests après la distillation montrent qu'il y a une diminution des grandeurs citées ci-dessous.

On peut conclure que la distillation de l'eau de mer diluée est plus efficace que celle de l'eau de robinet, ces résultats sont en bon accord avec les résultats de S.EDALI [16].

IV.2. Comparaison entre les résultats des deux expériences :

Dans le but de déterminer l'effet qualitatif de l'eau utilisée on a comparée entre les résultats finals des deux expériences.

IV.2.1. Production du distillat:

Dans le but de comparer le rendement du distillat par rapport aux deux qualités de l'eau à savoir l'eau de robinet et l'eau de mer diluée au cours des deux expériences.

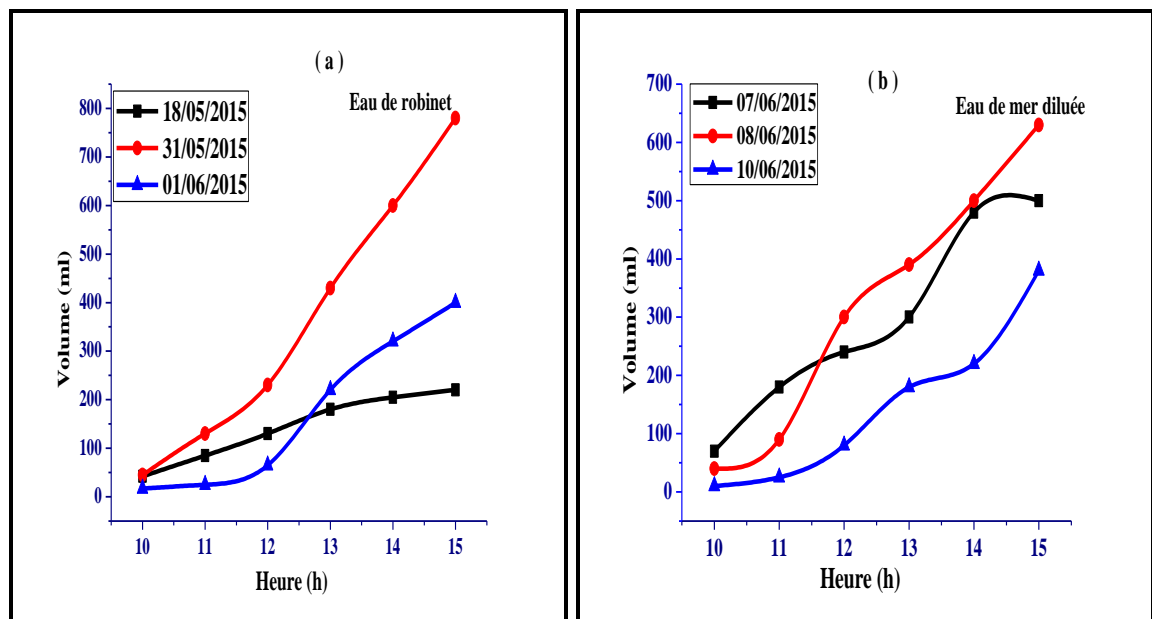


Figure IV.17 : Variation temporelle de la production du distillat :

(a) : à partir de l'eau de robinet.

(b) : à partir de l'eau de mer diluée.

L'allure générale des courbes de la figure IV.17 (a et b) illustre respectivement la production journalière de l'eau distillée au cours d'une distillation de l'eau de robinet et une distillation de l'eau de mer diluée.

On remarque que la moyenne de la production journalière du distillat à partir de l'eau de robinet est de 0.4l/Jr Alor qu'elle dépasse la valeur de 0.5l/Jr pour l'eau de mer diluée ce qui réassure la conclusion citée auparavant (la distillation de l'eau de mer diluée est plus efficace que celle de l'eau de robinet).

On peut conclure que la qualité de l'eau à distiller influe de façon positive sur la production journalière du distillateur.

IV.2.2. pH :

Dans le but d'évaluer l'influence qualitative de l'eau utilisée on a comparé entre le pH du distillat obtenu par les deux expériences.

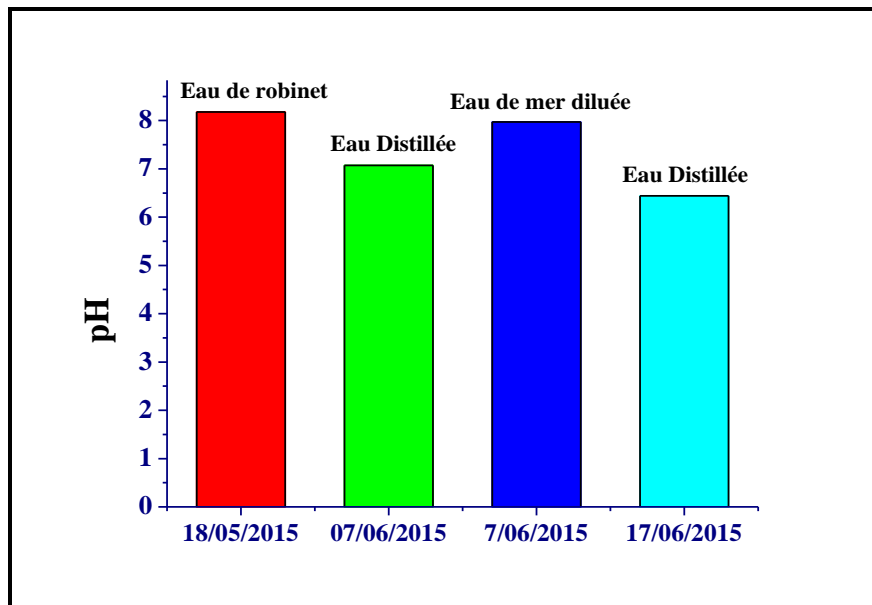


Figure IV.18 : pH de l'eau utilisée dans les deux expériences avant et après la distillation.

La figure IV.18 illustre la variation du pH de l'eau utilisée dans les deux expériences avant et après la distillation.

Il apparait nettement une diminution du pH entre le début et la fin de distillation et que le pH du distillat obtenu par la distillation de l'eau de robinet est le plus proche à 7 (pH d'une eau distillée).

On peut conclure que la qualité de l'eau à distiller influe sur le pH du distillat produit.

IV.2.3. Conductivité électrique :

A fin d'une évaluation qualitative on a comparée entre la conductivité électrique du distillat obtenu par les deux expériences.

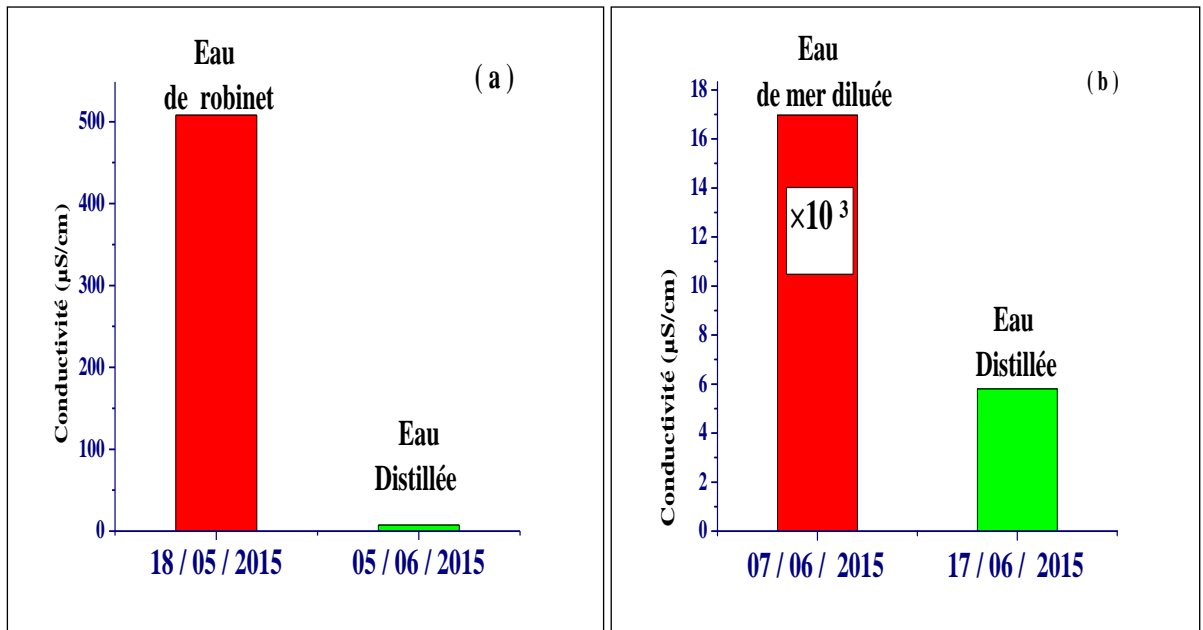


Figure IV.19 (a et b) : Conductivité électrique de l'eau utilisée dans les deux expériences avant et après la distillation.

La figure IV.19 (a et b) illustre la variation de la conductivité électrique de l'eau utilisée dans les deux expériences avant et après la distillation.

La distillation de l'eau de mer a permis d'éliminer 99.96% de la conductivité initiale, alors que celle de l'eau de robinet a permis d'éliminer 98.52% de la conductivité initiale.

On peut dire que la valeur de la conductivité électrique du distillat produit varie selon la nature de l'eau utilisée dans l'alimentation du distillateur.

IV.2.4. Taux de salinité (TDS) :

Dans cette évaluation nous nous sommes intéressés à la comparaison entre le TDS initial et final du distillat obtenu par les deux expériences.

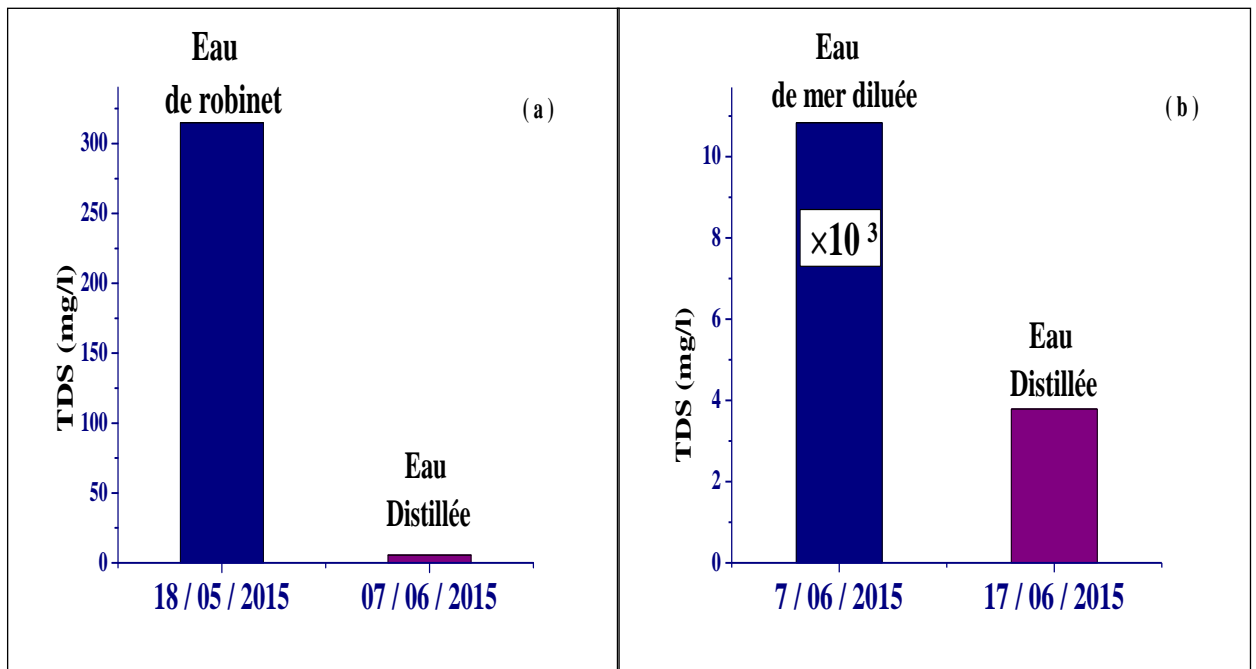


Figure IV.20 (a et b) : TDS de l'eau utilisée dans les deux expériences avant et après la distillation.

La figure IV.20 (a et b) illustre la variation du TDS de l'eau utilisée dans les deux expériences avant et après la distillation.

La distillation de l'eau de mer diluée a permis d'éliminer 99.96% du TDS initial, alors que la distillation de l'eau de robinet a permis d'éliminer 98.24% du TDS initial.

Ces résultats montrent que la valeur du TDS final est influencée par la nature d'eau utilisée. D'autre part, on peut remarquer que les résultats obtenus sont en bon accord avec les résultats précédents.

L'objectif de notre travail était la réalisation d'un distillateur solaire à effet de serre (Hot-Box) et l'étude de l'effet qualitatif de l'eau utilisée pour l'alimentation du système.

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 rustique et ne contient que des matériaux peu coûteux, disponibles et faciles à manipuler. Quoique souvent moins rapide et efficace, 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 rendement du distillateur ainsi que les caractéristiques du distillat obtenu sont influencées par la nature d'eau qui alimente le système.
- La distillation de l'eau de mer est plus efficace que l'eau de robinet.
- 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.

❖ Les voies de recherches futures :

Il ressort de cette étude de nombreuses observations sur lesquelles peuvent s'axer des travaux qui permettraient d'améliorer la production et par conséquent la qualité, certaines voies majeures nous semblent être très intéressantes à développer, notamment:

- L'association d'autres dispositifs au distillateur solaire tel que des réflecteurs externe et/ou interne.
- L'introduction d'un système de refroidissement de la vitre, soit par un ventilateur alimenté par un capteur photovoltaïque, ou par un passage primaire de la saumure à

- travers cette vitre avant son introduction dans le distillateur ou bien par l'introduction d'un système de refroidissement autonome pouvant refroidir le vitrage périodiquement dans le but d'augmenter la condensation.
- L'utilisation d'autres formes géométriques de la vitre (sphérique ou pyramide) afin de capter le maximum d'énergie solaire incidente indépendamment de l'orientation du système.
- Afin d'augmenter l'absorption, on recommande d'utiliser de verre armé ou du plexiglas.
- Eviter les dépôts des sels dans le bac absorbant par des vidanges continues et régulières.

TABLE DES MATIERES

RESUME	
TABLE DES MATIERES	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
INTRODUCTION GENERALE	
CHAPITRE I :CONNAISSANCE GENERALE SUR LE DESSALEMENT.....	1
I.1. Historique :	1
I.2. Caractéristiques de l'eau à distiller :.....	2
I.2.1.Eaux marines:.....	2
I.2.2.Eaux saumâtres :.....	2
I.2.3.Eaux naturelles :.....	2
I.2.4.Eaux usées :.....	2
I.3. Principales technologies de dessalement des eaux :.....	2
I.3.1.Procédés à membranes :.....	2
I.3.2.Procédés thermiques :.....	4
CHAPITRE II: ETUDE THEORIQUE DU DISTILLATEUR SOLAIRE.....	12
II.1. Distillation solaire :.....	12
II.1.1.Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire:.....	12
II.1.2.Principaux paramètres influançant le fonctionnement du distillateur :.....	13
II.1.2.1.Paramètres externes :	13
II.1.2.2.Paramètres internes :.....	13
II.2. Caractéristiques du fonctionnement d'un distillateur :.....	16
II.2. Modélisation et transfert thermique :.....	18
II.2.1.Transfert thermique :.....	18
II.2.2.Echanges de chaleur d'un distillateur à double pente :	20
II.2.3.Hypothèses simplificatrices :.....	22
CHAPITRE III: ETUDE EXPERIMENTALE.....	25
III.1.Présentation de la région d'expérimentation:.....	24
III.1.1.Situation et limites :.....	24
III.1.2.Etude climatique :.....	24
III.2.Réalisation du distillateur solaire:.....	25

III.2.1. Bac absorbant :	25
III.2.2. Couverture extérieure :	28
III.2.3. Isolation thermique :	28
III.2.4. Couverture verrière :	30
III.2.5. Montage du distillateur:	31
III.3. Différents appareils de mesure utilisés:	31
III.3.1. Puissance du rayonnement solaire :	31
III.3.2. Températures :	33
III.3.3. Caractérisation du distillat :	33
III.3.4. Mesure de débit:	33
III.4. Emplacement des thermocouples :	33
CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSION	35
IV.1. Interprétation et discussion des résultats :	34
IV.1.1. Puissance du rayonnement solaire en fonction de temps.	35
IV.1.2. Production du distillat:	36
IV.1.3. Paramètres influençant les températures des différents éléments :	42
IV.1.4. Influence de la température ambiante sur les paramètres physicochimiques:	44
IV.2. Comparaison entre les résultats des deux expériences :	51
IV.2.1. Production du distillat:	51
IV.2.2. pH :	52
IV.2.3. Conductivité électrique :	53
IV.2.4. Taux de salinité (TDS) :	53
CONCLUSION GENERALE	
NOMENCLATURE	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

ملخص:

نعرض في هذا العمل نتائج الدراسة التجريبية التي قمنا بها لمعرفة التأثير النوعي للمياه المستعملة لتزويد المقطر الشمسي بظاهرة الإحتباس الحراري من نوع Hot-Box على عمله وعلى نوعية الماء المقطر الناتج.

في إطار هذه التجربة قمنا بقياس مختلف الضوابط, أساسا: الإشعاع الشمسي, درجة حرارة مختلف مكونات المقطر (الجهة الداخلية للزجاج, الهواء الداخلي, الماء...) و الإنتاج اليومي. النتائج المتحصل عليها تظهر جليا التأثير النوعي للمياه المستعملة على نوعية الماء المقطر من حيث الناقلية pH و TDS. تصاعد الإنتاج من 0,4l/Jr بالنسبة لماء الحنفية إلى 0,5l/Jr بالنسبة لماء البحر الممدد أما نوعية الماء تظهر في تناقص ناقلية من 5,8 $\mu\text{S/cm}$ و من pH يساوي 7 ومن TDS 7,47mg/l بالنسبة لماء الحنفية إلى ناقلية 3,79 $\mu\text{S/cm}$ و pH يساوي 6,5 و TDS يساوي 5,52mg/l بالنسبة لماء البحر الممدد.

الكلمات المفتاحية:

مقطر شمسي, الإحتباس الحراري.

Abstract:

In this work, we present the results of an experimental study carried out to check the influence of the quality of the water which feeds the solar distiller for purpose of greenhouse of the Hot-Box type on its operation and the quality of the produced distillate.

During this experimentation, various parameters were the subject of a series of measurements, mainly: solar radiation, temperatures of the various parts of the installation (faces intern pane, the internal air, and water of the vat...) and the diary production.

The results obtained clearly show the influence of the quality of water used on the quality of the distillate in term of pH, conductivity and TDS. The production was increased from 0.4 l/Day for the water of tap to 0.5 l/Day for diluted sea water and the quality of water is translated by the reduction in its conductivity of 5.8 $\mu\text{S/cm}$, pH of 7 and TDS of 7.47 mg/l for the water of tap to conductivity of 3.79 $\mu\text{S/cm}$, pH of 6.5 and TDS to 5.52 mg/l for the diluted sea water.

Keywords:

Solar distiller, Green house.

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.

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, ...) et la production journalière.

Les résultats obtenus montrent clairement que la qualité de l'eau alimentant le système influence significativement la qualité du distillat en termes de pH, conductivité et TDS. La production a été augmentée de 0,4 l/Jr pour l'eau de robinet à 0,5 l/Jr pour l'eau de mer diluée et la qualité d'eau est traduite par la diminution de sa conductivité à 5,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, son pH de 7 et de son TDS de 7,47mg/l pour l'eau de robinet à 3,79 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH de 6,5, et 5,52 mg/l pour l'eau de mer diluée.

Mots clé :

Distillateur solaire, Effet de serre.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1 : Dimensions des constituants du distillateur.	30
Tableau III.2 : Emplacement des thermocouples.	33
Tableau IV.1. Paramètres de qualité de l'eau distillée à partir de l'eau de robinet.	49
Tableau IV.2. Paramètres de qualité de l'eau distillée à partir de l'eau saumâtre.	49

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Schéma de principe de l'osmose inverse.	3
Figure I.2 : Schéma de principe de l'électrodialyse.	4
Figure I.3 : Principe d'un distillateur à Multi stage flash.	5
Figure I.4 : Principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).	6
Figure I.5 : Principe de fonctionnement d'un distillateur vertical.	7
Figure I.6 : Principe du Compression de la vapeur.	7
Figure I.7 : Principe de distillation solaire.	8
Figure I.8 : Distillateur solaire plan.	9
Figure I.9 : Distillateur sphérique.	10
Figure I.10 : Distillateur solaire incliné à cascade.	10
Figure I.11 : Distillateur solaire à barrages.	11
Figure I.12 : Distillateur solaire à mèche.	11
Figure II.1 : Distillateur solaire à double vitrage.	12
Figure II.2 : Différents transferts thermiques dans un distillateur solaire.	20
Figure III.1 : Photo de pliage des parois latérales de bac.	25
Figure III.2 : Photo de soudage des cotées et des gouttières.	26
Figure III.3 : Photo montrant la construction des canaux.	26
Figure III.4 : Photo montrant l'utilisation de la silicone.	27
Figure III.5 : Photo montrant le bac peint en noir.	27
Figure III.6 : Photo de coffre en bois.	28
Figure III.7 : Photo de l'isolant thermique.	28
Figure III.8 : Photo montrant la couverture verrière.	29

Figure III.9 : Photo du distillateur solaire réalisé	31
Figure III.10 : Photo de Solari-mètre.	31
Figure III.11 : Photo de l'acquisition des thermocouples.	32
Figure III.12 : Photo du Multimètre.	32
Figure III.13 : Photo montrant l'emplacement des thermocouples.	33
Figure IV.1 (a et b) : Variation temporelle de la puissance du rayonnement (21 et 31 Mai 2015).	34
Figure IV.2: Variation temporelle de la puissance du rayonnement (11 Juin 2015).	35
Figure IV.3 (a et b): Variation temporelle de la production du distillat à partir de l'eau de robinet et l'eau de mer diluée.	36
Figure IV.4 (a et b) : Variation de la production du distillat à partir de l'eau de robinet et l'eau de mer diluée en fonction de la puissance du rayonnement solaire.	37
Figure IV.5 (a et b): Variation de la production du distillat à partir de l'eau de robinet et l'eau de mer diluée en fonction de la température de la saumure.	38
Figure IV.6 (a et b): Variation de la production du distillat à partir de l'eau de robinet et l'eau de mer diluée en fonction de la température ambiante.	39
Figure IV.7 (a et b): Variation de la production du distillat à partir de l'eau de robinet et l'eau de mer diluée en fonction de la vitesse du vent.	40
Figure IV.8: Variation temporelle de la température des différents éléments au cours d'une distillation de l'eau de robinet et de l'eau de mer diluée.	41
Figure IV.9: Variation de la température des différents éléments en fonction de la puissance du rayonnement au cours d'une distillation de l'eau de robinet.	42
Figure IV.10: Variation de la température des différents éléments en fonction de la puissance du rayonnement au cours d'une distillation de l'eau de mer diluée.	43
Figure IV.11: Variation de la température des différents éléments en fonction de la vitesse du vent au cours d'une distillation de l'eau de robinet.	43

Figure IV.12: Variation de la température des différents éléments en fonction de la vitesse du vent au cours d'une distillation de l'eau de mer diluée.	44
Figure IV.13 (a et b) : Variation du pH en fonction de la température ambiante au cours d'une distillation de l'eau de robinet et de l'eau de mer diluée.	45
Figure IV.14 (a et b): Variation de la conductivité électrique en fonction de la température ambiante au cours d'une distillation de l'eau de robinet et de l'eau de mer diluée.	46
Figure IV.15 (a et b) : Variation du TDS en fonction de la température ambiante au cours d'une distillation de l'eau de robinet et de l'eau de mer diluée.	47
Figure IV.16 (a et b) : Variation de la température du distillat en fonction de la température ambiante au cours d'une distillation de l'eau de robinet et de l'eau de mer diluée.	48
Figure IV.17 (a et b) : variation temporelle de la production du distillat à partir de l'eau de robinet et de l'eau de mer diluée.	50
Figure IV.18 : pH de l'eau utilisée dans les deux expériences avant et après la distillation	51
Figure IV.19: Conductivité électrique de l'eau utilisée dans les deux expériences avant et après la distillation.	52
Figure IV.20 : TDS de l'eau utilisée dans les deux expériences avant et après la distillation.	53

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. A.SADI, Le Dessalement Solaire - Considérations Techniques. *Revue des Energies Renouvelables*, 91 (2000).
- [2]. A.ZIYADOU, Etude et conception d'un distillateur solaire à effet de serre. *thèse de doctorat*, (2011).
- [3]. N. B. AHMED, A.BENMOUSSAT, Comportement des transferts de chaleurs sur un procédé solaire par effet de serre. *Material sciences and energetics laboratory*, (2009).
- [4]. I.SAOUANE, Etude des transferts de chaleur et de masse a l'intérieur d'un système de dessalement par voie solaire. *thèse de magister en physique*, (2010).
- [5]. M.ZEROUALI, Contribution a l'optimisation des performances d'un distillateur solaire. *thèse de magister en physique*, (2012).
- [6]. O.CHARROUF, Optimisation d'un Système de dessalement renouvelable. *thèse de magister en électrotechnique*, (2012).
- [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 genie climatique*, (2010).
- [8]. S.FEDALI, C.BOUGRIOU, Etudes théorique et expérimentale d'un distillateur solaire sous les conditions climatiques de BATNA. *Laboratoire d'études des systèmes énergétiques industriels (LESEI)*, (2010).
- [9]. S.KARROUTE, Etude théorique et numérique des systèmes couples : distillateur plan-capteur et distillateur hot box-capteur *thèse de magister en physique*, (2009).
- [10]. Z.BENARIMA, Amélioration de la capacité de l'absorbeur d'un distillateur solaire simple par l'ajout d'une couche de sable *thèse de master en génie des procédés*, (2012).
- [11]. A.Deliou *et al.*, Etude expérimentale des caractéristiques d'un distillateur solaire à effet de serre. *Revue des Energies Renouvelables CICME*, 109 (2008).
- [12]. D.BECHKI, Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes. *thèse de doctorat en génie mécanique*, (2011).
- [13]. M.SELLAMI, Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud-est Algérien (Ouargla) *Thèse de doctorat en physique energetique*, (2014).

- [14]. O. N. Météorologique, (2015).
- [15]. N.Boukerzaza, A.Chaker, Z.Haddad, B.Benyoucef, Efficacités interne et globale d'un distillateur solaire. *hal.archives-ouvertes*, (2007).
- [16]. S.FEDALI, Modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres à bas coût pour les communautés rurales *thèse de magister*, (2008).

NOMENCLATURE

1. Symboles:

Symbole	Désignation	Unité
G	Puissance de rayonnement solaire incident par unité de surface	W/m ²
Lv	la chaleur latente d'évaporation	J / kg
Qca	Flux échangé par convection entre la vitre et le milieu ambiant.	W
Qci	Flux échangé par convection à l'intérieur du distillateur	W
Qe	Flux échangé par évaporation à l'intérieur du distillateur	W
Qeau	Puissance absorbée par l'eau distillée	W
Qev	Puissance d'évaporation	W
Qra	Flux échangé par rayonnement entre la vitre et le milieu ambiant	W
Qri	Flux échangé par rayonnement à l'intérieur du distillateur.	W
S	Superficie du capteur (aire de la vitre).	m ²
Ta	Température ambiante	K
Tp	Température de la surface solide	K
Ts	Température de surface du corps	k
Tve	Température extérieure de la vitre.	K
Tvi	Température intérieure de la vitre.	K
T _∞	Température du fluide de la surface solide	K
X	Epaisseur de la saumure	m
y	Production du distillat	l
hevp	Enthalpie d'évaporation	J/Kg
h	Coefficient de transfert de chaleur par convection	W/m ² . K
dQ	Energie élémentaire	J
dt	Temps élémentaire	S
$\frac{dT}{dX}$	Gradient de température en x	K.m ⁻¹
md	Débit massique du distillat	kg/m ²
m·d	Débit massique du distillat	kg /s

2. Lettres grecques :

Lettre	Désignation	Unité
α	Coefficient d'absorption fictif du distillateur	
β	Inclinaison du plan considéré	°
ε	Coefficient d'émission de la surface	
η	Rendement	%
Θ	Latitude	°
λ	Conductivité thermique du matériau	$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
σ	Constante de Stéphan Boltzmann	$5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$
φ	Flux de chaleur transmis par convection	W
τ	Coefficient de transmission global de l'eau et la vitre	$\text{W/m}^2\text{°C}$

3. Indices :

Indice	Désignation
a	Ambiant
d	Distillat
evp	Evaporation
e	extérieur
i	Intérieur
s	Surface