

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE EPOPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie des Procédés



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique

Présenté Par :

Amina ATAOUAT

Thème :

Effet de carbones nanotubes sur la performance d'un distillateur solaire à parois vitrées

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

M^f Dounit Salah

M^f Achi Fethi

M^f Sellami Med Hassan

Professeur (UKM Ouargla)

MCA (UKM Ouargla)

Professeur (UKM Ouargla)

Président.

Examineur

Encadreur

Année Universitaire : 2020/2021

REMERCIEMENTS

*Je remercie en premier lieu **Allah** tout puissant pour m'avoir accordé la puissance, la patience, le courage et la volonté de terminer ce modeste travail.*

Je tiens à notifier un remerciement spécial à tous mes enseignants du département de Génie des Procédés qui ont contribué à ma formation, en particulier, mon encadreur :

Pr. "SELLAMI Mohamed Hassen"

De m'avoir apporté sa connaissance et son conseil précieux.

*Je tiens à exprimer ma respectueuse gratitude au **Dr. " LABIAD Abdelhamid"** et **Dr. "CHERRAYE Ridha"** pour m'avoir dirigé et pour leurs l'aides et leurs conseils.*

Je voudrais ensuite remercier tous les membres du jury qui vont juger ce travail et me faire profiter de leurs connaissances et remarques constructives :

Pr. "DOUNIT Salah" et Dr. " ACHI Fethi"

En fin, mes remerciements vont à toutes les personnes de près ou de loin qui ont contribué à l'élaboration de ce travail

DEDICACE

*J'adresse mes remerciements par un grand respect et gratitude à **mes très chers parents** qui sont la lumière de ma vie, qui ont tant souffert et se sont sacrifiés pour que je sois heureuse,*

Pour leurs conseils, leurs affections, et leurs encouragements.

Et je le dédie à :

Mes chers frères et mes chères sœurs.

Toute ma famille.

À tous mes amis.

*A mes camarades de promotion "**Génie Chimique**"2020/2021, pour tout ce que nous avons partagé, échangé ensemble durant ces années.*

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

RESUME

La distillation solaire est l'un des moyens les plus efficaces de dessaler l'eau en particulier dans le sud de l'Algérie où le soleil brille presque toute l'année. Parmi les accélérateurs de la distillation solaire, on trouve les carbones nano tubes; appelés les Nanofluides qui sont définis comme une nouvelle génération de caloporteurs à cause de leur caractérisation par une conductivité thermique élevée.

Ce travail expérimental vise à améliorer le rendement des distillateurs solaires à pente unique en ajoutant deux types de carbone nano tubes à savoir : carbone double parois et carbone multi parois non soluble dans l'eau.

Les expériences ont été menées à l'Université de Ouargla.

Les résultats obtenus montrent que :

La productivité des distillateurs solaires est améliorée d'environ 19.53 % si on utilise les nanotubes de carbone à double parois (DWCNT), tandis que pour les nanotubes de carbone à parois multiples (MWCNT), l'amélioration est seulement de 12.68 % par rapport au distillateur solaire témoin.

Mots clés : distillation solaire, énergie solaire, Nanofluides, eau, Carbone nano tubes.

SOMMAIRE

<i>REMERCIEMENTS</i>	I
<i>DEDICACE</i>	II
<i>RESUME</i>	III
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	VI
<i>LISTE DES FIGURES</i>	VII
<i>LISTE DES NOMENCLATURES</i>	VIII
<i>INTRODUCTION GENERALE</i>	1
I. Généralités et Recherche Bibliographique.....	3
I.1. L'eau.....	3
I.1.1. Introduction.....	3
I.1.2. Classification des eaux.....	3
I.1.3. Eaux à dessaler.....	3
I.1.4. Eau potable.....	5
I.1.5. Consommation de l'eau potable dans le monde.....	5
I.1.6. Problèmes de consommation de l'eau en Algérie.....	6
I.2. Les différentes techniques de dessalement.....	6
I.2.1. Procédés membranaires.....	7
I.2.2. Procédés de distillation thermique.....	8
I.3. Distillation solaire.....	12
I.3.1. Introduction.....	12
I.3.2. Historique.....	12
I.3.3. Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire.....	13
I.3.4. Différents types de distillateurs solaires.....	13
I.3.5. Paramètres influents sur le fonctionnement d'un distillateur solaire.....	18
I.4. Nano fluides.....	19
I.4.1. Introduction.....	19
I.4.2. Définition.....	20
I.4.3. Nanoparticules et fluides caloporteurs.....	20
I.4.4. Méthodes de préparation des nano fluides.....	21
I.4.5. Stabilité du nano fluide.....	22
I.4.6. Domaine d'application de nano fluide.....	22

I.4.7. Avantages et Inconvénients des nano fluides	23
I.4.8. Synthèse Bibliographique.....	24
II- Partie expérimentale.....	26
II.1. Introduction.....	26
II.2. Présentation générale de la zone d'expérimentation (Ouargla)	26
II.3. Matériel et équipement	26
II.3.1. Conception du distillateur solaire.....	26
II.3.2. Bassin absorbant (plaque noire)	27
II.3.3. Couverture verrière (verre).....	27
II.3.4. L'isolation thermique	27
II.3.5. Couverture extérieure.....	27
II.3.6. Tuyauterie.....	27
II.3.7. Cuve de récupération du distillat.....	27
II.4. Instruments de mesure	28
II.5. L'emplacement des thermocouples.....	28
II.6. Grandeurs mesurées	28
II.7. Nano fluides utilisés dans l'expérience.....	29
II.7.1. Critères de choix des Nano fluides.....	29
II.7.2. Nano fluides utilisés dans l'expérience	29
II.8. Méthodes et expériences	30
II.8.1. Introduction	30
II.8.2. Les Expériences.....	30
II.8.3. Protocole expérimentale	30
III- RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	33
III.1. Les graphes et discussions	33
III.1.1. Intensité solaire	33
III.1.2. Température ambiante	34
III.1.3. Production de l'eau distillée.....	34
III.1.4. Productivité cumulée	36
III.1.5. Différentes température pour les distillateurs	36
<i>Conclusion générale</i>	39
<i>Références bibliographiques</i>	40
<i>ANNEXE</i>	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1: classification des eaux selon la salinité [5].	3
Tableau I-2:Salinité des différentes mers	4
Tableau I-3 : degré de salinité des eaux saumâtre [8].	5
Tableau I-4. Consommation mondiale d'eau par habitant [11].	6
Tableau II-1 : Caractéristiques de nanoparticules utilisées dans l'expérience.	29

LISTE DES FIGURES

Figure I-1: Principe de l’osmose inverse [13].....7
 Figure I-2:Principe de fonctionnement de l’électrodialyse [14].8
 Figure I-3: distillateur à Multi stage flash [16].9
 Figure I-4: Compression de la vapeur [17].10
 Figure I-5: Distillation à simple effet [18].11
 Figure I-6:Distillation à multiple effet [19].....12
 Figure I-7: Principe de fonctionnement d’un distillateur solaire [20].....13
 Figure I-8:Distillateur solaire simple à pente unique [22].14
 Figure I-9:Distillateur solaire simple à double pentes [23].....15
 Figure I-10: Distillateur solaire terre-eau [27].16
 Figure I-11:Distillateur sphérique à balayage [28].17
 Figure I-12: Distillateur solaire à film capillaire [29].18
Figure I-13:Échelle des dimensions, 1 nanomètre = 0,000 001 millimètre [33].....20
 Figure I-14:Nanoparticules dispersées dans le fluide de base [34]......21
 Figure I-15:préparation de Nano fluides [36].22
 Figure I-16: Applications de Nano fluides [36].23
 Figure II-1:Conception du distillateur solaire.26
 Figure II-2 : Emplacement de thermocouples.28
Figure II-3 : photo de l’expérience.31
 Figure III-1 : Rayonnement solaire en fonction du temps local.....33
 Figure III-2 : Température ambiante en fonction du temps local.34
 Figure III-3 : Débit volumique horaire d’eau distillée produite en fonction du temps local.35
 Figure III-4 : Le cumul horaire d’eau distillée produite en fonction du temps local.36
 Figure III-5 : Différentes températures pour le distillateur témoin, DWCNT, et MWCNT.38

LISTE DES NOMENCLATURES

η_g Efficacité globale (%)

q_{ev} Quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps ($W.m^{-2} h^{-1}$).

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

G Energie solaire globale incidente par m^2 sur une surface horizontale, pendant un jour ($W.m^{-2}$).

L_v Chaleur latente de vaporisation ($J.kg^{-1}$).

m_d Le débit de distillat ($kg.s^{-1}$).

η_i Efficacité interne (%).

α_t Le coefficient d'absorption thermique.

FPB La quantité d'eau produite / la quantité d'énergie entrée (au bout de 24h).

FPH La quantité d'eau produite / la quantité d'énergie entrée (au bout d'une heure).

Indice :

NF nanofluide.

CNT carbone nano tube.

(DWCNT) Nanotube de carbone à paroi double.

(MWCNT) Nanotube de carbone à parois multiples.

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est le cadeau le plus important offert par le Dieu aux êtres humains. L'homme sans eau est incomplet. Le corps humain se compose des deux tiers de son poids d'eau. Chaque créature vivante sur terre a besoin de beaucoup d'eau pour vivre. Par conséquent, il est dit que l'eau est la vie elle-même [1].

La pénurie d'eau est l'un des problèmes majeurs dans le monde. Cette augmentation de l'appel d'eau couplée à une dispersion non uniforme de l'eau douce, des alternances de climat et de précipitations ainsi que la dégradation de nombreux capitaux d'eau de surface et souterraine a conduit les planificateurs de l'eau à rechercher de nombreuses techniques de dessalement [2].

Les systèmes de distillation solaire sont les plus anciens mais en même temps les plus développés, parmi lesquels les technologies de dessalement d'eau à assistance solaire les plus courantes et les moins chères. Les systèmes de distillation solaire peuvent être une solution fiable pour les zones à forte intensité de rayonnement solaire et souffrant d'une qualité d'eau faible et indisponible [3].

Pour améliorer les performances des distillateurs solaires, nous avons utilisé les Nanofluids qui sont des fluides contenant des nanoparticules ayant une conductivité thermique élevée et capables d'absorber plus de rayonnement solaire que l'eau. Les Nanofluids intensifient l'écart de température entre le verre et l'eau, ce qui améliore la productivité [4].

Notre but dans cette étude expérimentale est d'évaluer l'effet de carbones nano tubes sur le phénomène de distillation solaire ainsi que la production d'eau distillée.

Cette étude se décompose en trois chapitres organisés comme suite :

- Le premier chapitre présente la problématique de l'eau potable, une étude bibliographique concernant les différents procédés de dessalement mais également la connaissance générale sur la distillation solaire suivi d'une notion de base nécessaire à la description des Nano fluides, leur composition et leurs applications.
- Le deuxième chapitre constitue la partie expérimentale, où nous présenterons l'effet de l'application des Nano fluides sur la distillation solaire.
- Le troisième chapitre est consacré à l'exploitation des résultats expérimentaux sous forme des graphes avec leurs interprétations.

On terminera par une conclusion générale.

***Chapitre I: Généralités et
Recherche Bibliographique***

I. Généralités et Recherche Bibliographique

I.1. L'eau

I.1.1. Introduction

L'eau est un élément essentiel dans la vie et indispensable à la survie de tout être vivant, humain, animal ou végétal, En effet, L'eau couvre les deux tiers de la surface de la terre dont 97% d'eau salée et 3% d'eau douce.

Elle est la seule molécule à être présente sous trois états sur la terre : solide, liquide et gazeuse et se trouve dans de grandes réservoirs, comme les lacs, les océans, les glaciers et les nappes souterraines. L'eau est un liquide inodore, incolore et sans saveur, recèle des propriétés physiques et chimiques qui lui confèrent un rôle essentiel pour les écosystèmes.

I.1.2. Classification des eaux

Lorsqu' on classe les eaux en fonction des quantités de matières dissoute qu'elles contiennent, on obtient les données présentées au **tableau I-1**

Les eaux saumâtres qui proviennent habituellement des nappes souterraines, contiennent le plus souvent de 2000 a10000 mg/l de matières dissoutes. Signalons au passage que l'effluent d'une usine d'épuration (traitement biologique) contient environ 750mg/l de matières dissoutes [5].

Tableau I-1:classification des eaux selon la salinité [5].

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

I.1.3. Eaux à dessaler

L'eau provenant des mers, des océans et de quelques nappes souterraines est généralement salée, elle n'est donc pas utilisée directement, mais elle subit généralement un ou plusieurs traitements pour la déminéraliser et la rendre potable.

Le dessalement d'eau est un procédé physique qui permet de ramener le taux de salinité d'eau brute à des valeurs conformes aux normes de potabilité d'eau [6].

I.1.3.1. Eau de mer

L'eau de mer contient en moyenne 35g/l de sels, qui sont essentiellement des chlorures de sodium (76%) et de magnésium (11%), des sulfates de magnésium (5%), de calcium (3,5%) et de potassium (2,4%). Les sels sont sous forme d'anions chlorures et sulfates parallèlement aux cations sodium, magnésium, calcium et potassium. Cette salinité peut être différente dans le cas des mers fermées (tableau I-2) [7].

Tableau I-2: Salinité des différentes mers

Mer ou Océan	Concentration (g/m³)
Mer rouge	43
Golf arabique	43
Mer méditerranée	39
Océan atlantique	36
Océan Indien	33
Océan pacifique	33
Mer adriatique	25
Mer noire	13
Mer baltique	7
Mer morte	270

I.1.3.2. Eau saumâtre

L'eau saumâtre est un terme général utilisé pour décrire une eau qui est plus saline que l'eau douce mais moins saline que les vrais environnements marins. Il s'agit souvent de zones de transition entre les eaux douces et marines. Un estuaire, qui est la partie d'une rivière qui rencontre la mer, est l'exemple le plus connu d'eau saumâtre. Les estuaires sont des environnements très variables car la salinité peut changer radicalement sur une distance relativement courte.

Elles sont classées en trois catégories suivant selon le degré de salinité [8]:

Tableau I-3 : degré de salinité des eaux saumâtre [8].

Catégories	Degré de salinité (ppm)
Les eaux peu saumâtres	1.000-3.000
Les eaux moyennement saumâtres	8.000-10.000
Les eaux fortement saumâtres	10.000-33.000

I.1.4. Eau potable

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, notamment les limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau [9].

D'après les normes sanitaires de l'OMS (Organisation Mondiale de la santé) toute eau distribuée à une collectivité doit potable. Une eau est considérée comme potable si sa salinité totale est comprise entre 100 et 1000ppm (partie par million), soit 0.1et 1g/l [10].

I.1.5. Consommation de l'eau potable dans le monde

A l'échelle mondiale, les ressources en eau potable sont réparties entre les trois types de besoin, les besoins agricoles représentent 70 % des ressources en eau utilisées suivis des besoins industriels avec 22 % et enfin les besoins domestiques estimés à 8 %. Ces chiffres représentent une moyenne mondiale ponctuelle évoluant dans le temps et dans l'espace. Ils évoluent différemment d'un continent à l'autre et entre les pays tableau (I-4) mais ils nous renseignent sur la consommation dominante du secteur agricole. Un secteur qui consomme près de trois quart des ressources en eau de la majorité des pays. Cela ne peut se faire qu'au détriment des autres utilisateurs et notamment les populations.

Le niveau de consommation d'eau potable d'un pays, comme celui de l'énergie, est devenu un indicateur de son niveau de développement économique, comme le montre le tableau (I-4) [11].

Tableau I-4. Consommation mondiale d'eau par habitant [11].

Zone	Consommation en (m³/habitant .an)	Consommation en (L/habitant. j)
Afrique	17	47
Asie	31	87
Europe	122	334
USA, Japon	210	578
Moyenne mondiale	50	137

I.1.6. Problèmes de consommation de l'eau en Algérie

En Algérie, les besoins en eau potable et en eau pour usage industriel, se font de plus en plus ressentir, surtout dans les régions sahariennes dont la superficie avoisine les deux millions de km² et où les eaux souterraines sont disponibles en grande quantité, environ 60×10³ milliards de m³. Ces dernières sont difficilement exploitables et difficilement renouvelables ; de 4 à 5 milliards m³ seulement sont exploitables annuellement malgré que la plupart de ces eaux sont saumâtres.

Dans le Nord de l'Algérie, les eaux souterraines sont évaluées à 1,8 milliards m³ dans leur état naturel, ces eaux sont inutilisables alors qu'elles peuvent constituer un facteur important de développement et d'amélioration des conditions de vie dans ces régions. L'Algérie occupe actuellement le 14^{ème} rang mondial parmi les pays qui souffrent du manque d'eau, et s'il n'y'aura pas de démarches efficaces, elle sautera à la 6^{ème} place d'ici l'an 2025. L'Algérie reçoit 65 milliards de mètre cube de pluie par an dont [6] :

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

I.2. Les différentes techniques de dessalement

L'eau de mer contient 35 g/l de sel dissous et certaines eaux saumâtres entre 1 et 10 g/l de sel, sont généralement salées, donc elles ne sont pas utilisées directement, mais elles subissent généralement un ou plusieurs traitements pour éliminer les sels minéraux et les rendre potable (moins de 0.5 g/l de sel). Le dessalement est le processus de traitement d'eau qui consiste à enlever les sels de l'eau saline afin de produire de l'eau potable.

Les procédés de dessalement de l'eau se répartissent en deux grandes catégories tel que :

I.2.1. Procédés membranaires

Les techniques dites de séparation par membranes constituant une révolution dans le domaine du traitement de l'eau. Leur principe consiste non pas à éliminer chimiquement les micro-organismes mais à les extraire physiquement. Elles n'utilisent aucun réactif chimique, sauf pour leur entretien. Très faibles, elles permettent de produire une eau très pure et de qualité constante.

On peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. Il existe deux procédés utilisant de telles membranes qui sont actuellement commercialisés : ce sont l'osmose inverse et l'électrodialyse [12].

I.2.1.1. Procédés de l'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous, au moyen de membranes semi-perméables sous l'action d'une pression de 54 à 80 bars, ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et s'opposent au passage de particules, sels dissous et molécules organiques de 10^7 mm de taille. L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement électrique, elle est consommée principalement par les pompes hautes pression. La teneur sels de l'eau osmose est de l'ordre de 0.5g/l [13].

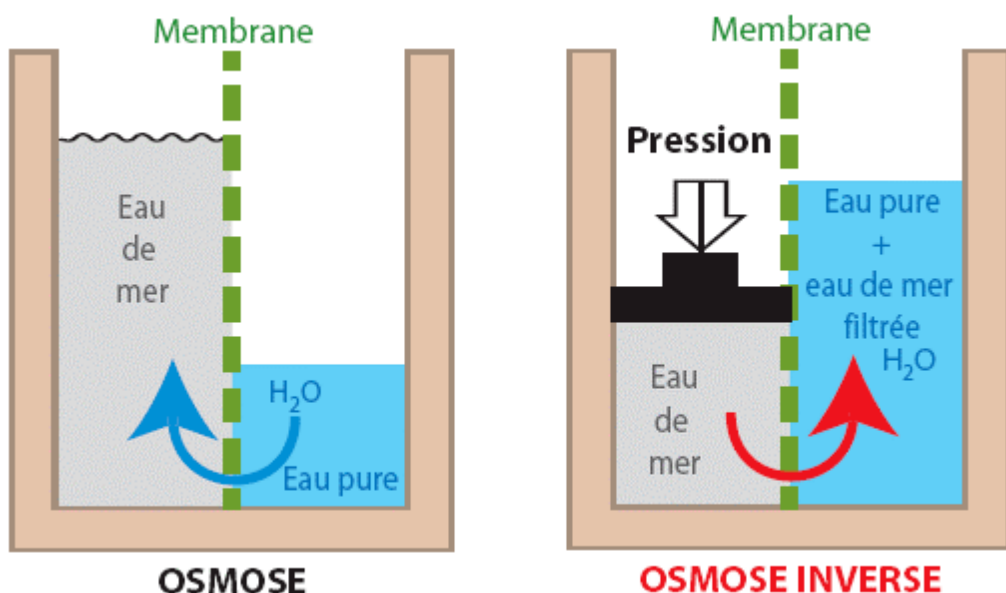


Figure I-1: Principe de l'osmose inverse [13].

I.2.1.2. L'électrodialyse

Cette méthode repose aussi sur la séparation des sels et de l'eau au travers d'une membrane semi-perméable. Sous l'action d'un champ électrique, les ions de la solution saline migrent à travers des membranes imperméables à l'eau, dites sélectives. Un électro dialyseur est composé de plusieurs compartiments et de membranes alternativement anioniques et cationiques. Sous l'effet du champ électrique, les cations migrent dans le sens du courant électrique en ne traversant que la membrane cationique. Les anions circulent dans le sens contraire du courant et ne peuvent traverser que la membrane anionique. De ce fait, certains compartiments sont appauvris en sels dissous tandis que d'autres en seront enrichis. Les compartiments de dilution et de concentration sont donc alternés. L'eau dessalée est ainsi obtenue en récupérant les solutions des compartiments de dilution. **La figure (I-2)** représente une électrodialyse. On comprend bien que la séparation reposant sur la sélectivité des membranes, il en existe une grande variété pour choisir la membrane adaptée au fluide à traiter. Ce sont généralement des polymères aromatiques fonctionnalisés afin d'orienter leur sélectivité soit aux anions, soit aux cations [14].

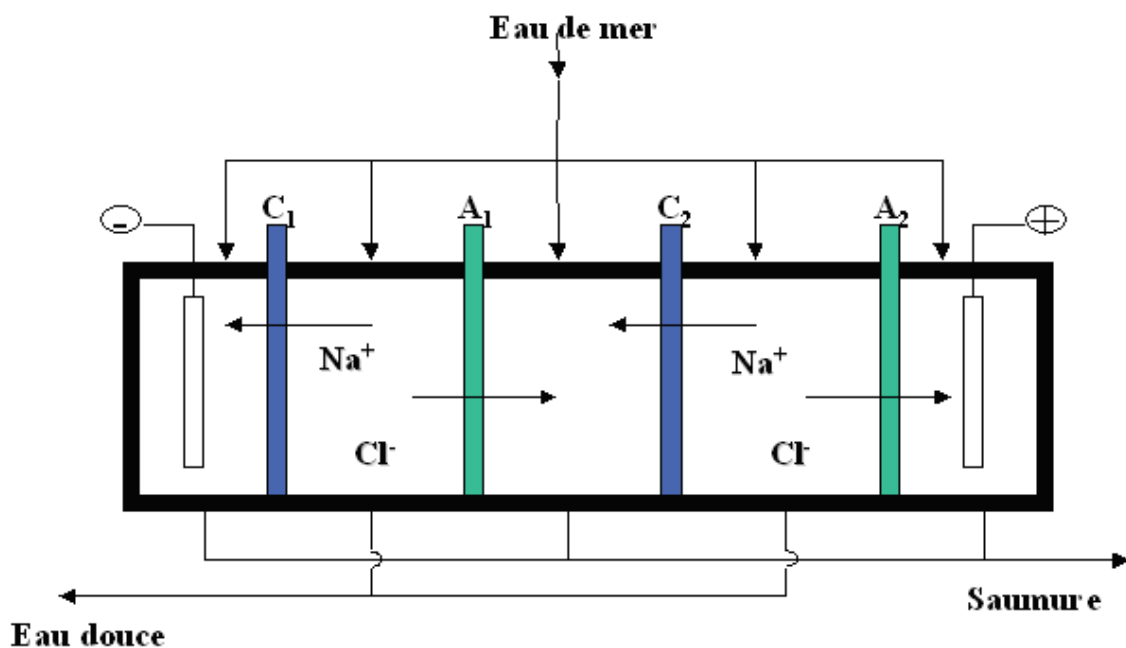


Figure I-2:Principe de fonctionnement de l'électrodialyse [14].

I.2.2. Procédés de distillation thermique

Pour leur fonctionnement, les procédés à distillation nécessitent en grande partie de l'énergie thermique pour assurer le chauffage de l'eau salée. Pour l'eau de mer, de plus cette énergie thermique doit être fournie à un niveau de température relativement faible, entre 60 et

120°C suivant la technologie adoptée. La source de chaleur peut être fournie, dans le cas d'un couplage solaire, par des capteurs plans ou à concentration.

Les procédés les plus utilisés et qui sont susceptibles d'être couplés à une source d'énergie solaire sont [15]:

- Les procédés à distillation classique tel que :

I.2.2.1. Distillation à multiples étages :(multi-stage flash, MSF)

La distillation multi-étages est basée sur le principe de l'évaporation flash, où l'eau de mer chauffée bout lorsqu'elle est exposée à une pression réduite. En général, l'eau de mer est chauffée par de la vapeur à basse pression jusqu'à 90-120°C, s'écoule dans la chambre de flash. Ici, il bout et s'évapore sous l'effet du clignotement. La saumure non éclaircie est ensuite passée à la chambre de flash suivante, c'est-à-dire l'étage, et exposée à un flash supplémentaire à une pression plus basse de sorte que l'eau peut être flashée en une séquence d'étapes sans fournir de chaleur supplémentaire. Dans chaque étage, la pression doit être maintenue en dessous de la pression correspondant à la température de saturation de l'alimentation d'étage. La vapeur d'eau produite à chaque étage est condensée et refroidie par préchauffage de l'eau de mer entrante, ce qui améliore l'économie de **MSF** par une telle action de régénération de la chaleur [16].

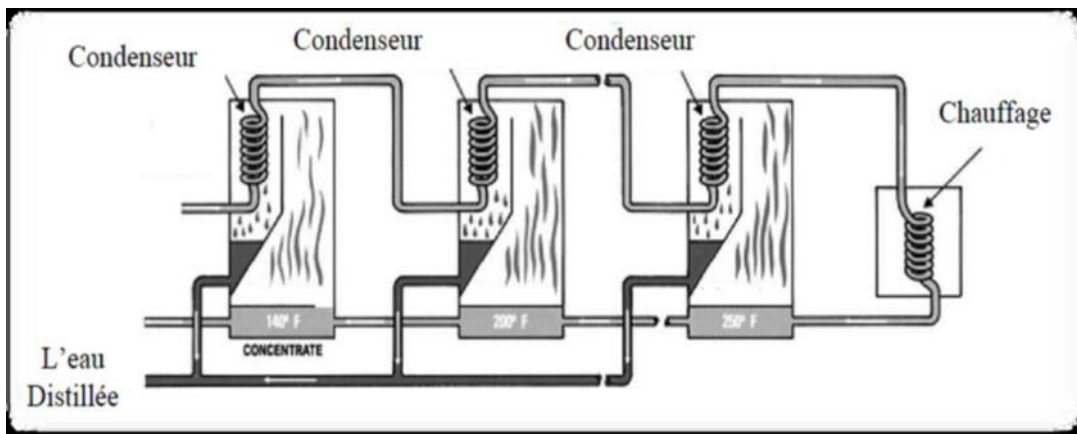


Figure I-3: distillateur à Multi stage flash [16].

I.2.2.2. Distillation avec compression de la vapeur :(thermo compression) (VC)

L'eau de mer est portée à ébullition dans une enceinte isolée, la vapeur est aspirée par un compresseur qui élève sa température et sa pression. Cette vapeur est envoyée dans un faisceau tubulaire en bas de l'enceinte, elle se condense en cédant sa chaleur à l'eau de mer qui est portée à ébullition. Ce procédé fonctionne exactement sur le principe d'une pompe à chaleur, où c'est un compresseur qui fournit l'énergie. La vapeur produite est comprimée adiabatiquement, ce qui accroît sa température de saturation. Lors de sa condensation, elle peut donc transmettre sa chaleur de vaporisation à l'eau salée avec un bon gradient thermique, ce qui permet un bon

rendement. Le compresseur assure une faible pression dans la cellule, permettant de fonctionner à une température réduite, d'environ 60°C et d'éviter ainsi l'entartrage. L'avantage du procédé est une faible consommation énergétique sous forme mécanique ou électrique (7 à 8 kWh/m³, pour des grandes installations). Toutefois la capacité des installations à compression de vapeur est limitée par la taille des compresseurs, elles s'étendent aujourd'hui, de 15 à plus de 3800 m³/j [17].

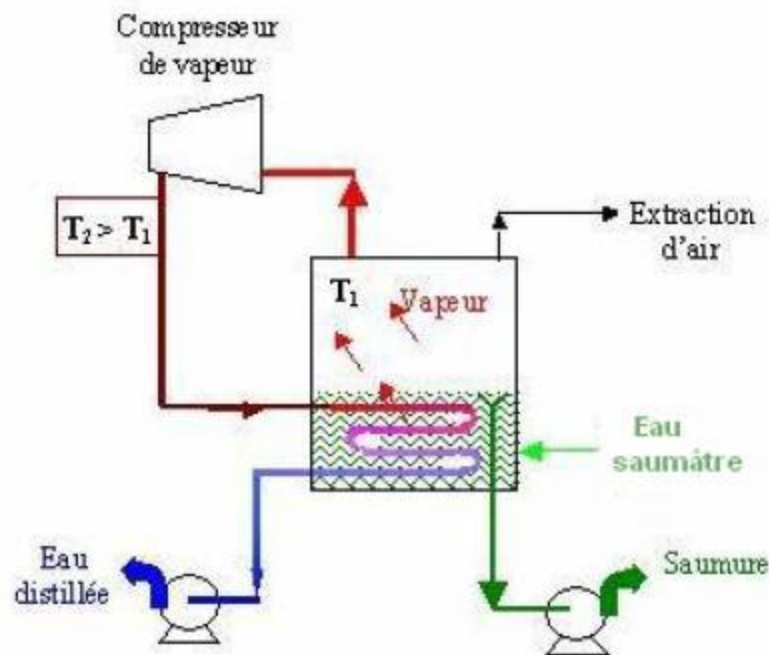


Figure I-4: Compression de la vapeur [17].

- La distillation solaire directe à effet de serre qui consiste en un procédé proprement solaire tel que :

I.2.2.3. Distillation à simple effet (simple effet distillation [SED])

C'est un principe qui reproduit le cycle naturel de l'eau. Dans un premier temps, l'eau de mer est portée à ébullition au contact d'un premier serpentin dans lequel circule un fluide caloporteur (figure I-5). Par le biais d'un second serpentin dans lequel circule de l'eau de mer froide, la vapeur ainsi produite se condense. Les sels dissous n'étant pas vaporisables dans les mêmes conditions que l'eau, la vapeur ainsi obtenue est constituée d'eau pure.

Pour limiter au mieux l'entartrage en n'utilisant qu'un traitement antitartre simple, les constructeurs fixent la température maximale de ce procédé entre 60 et 65°C. De plus, de telles températures limitent considérablement la corrosion. Par cette méthode, on peut même obtenir

une eau condensée très pure (jusqu'à 1 mg/L de sels) à l'aide de dispositifs spéciaux (filtres à gouttelettes) installés au-dessus de la zone de vaporisation [18].

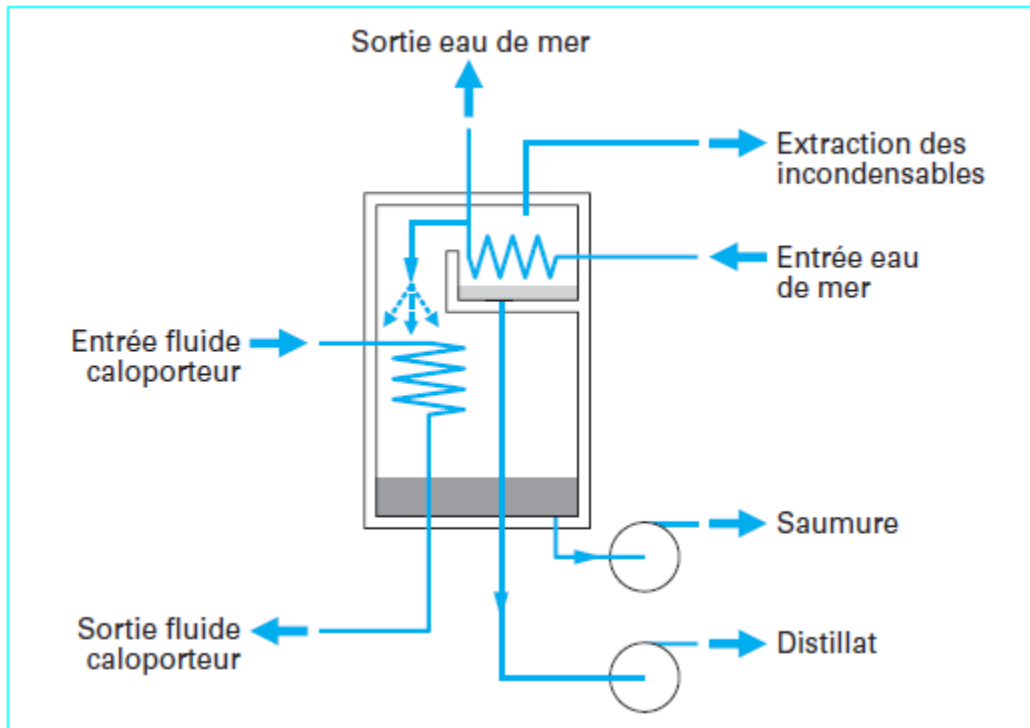


Figure I-5: Distillation à simple effet [18].

I.2.2.4. Distillation à multiple effet (Multi-Effet distillation MED)

La distillation à effets multiples (MED) est aujourd'hui la technologie préférée pour la construction de nouvelles usines basées sur des procédés thermiques sur le marché croissant du dessalement. La technologie MED, en fait, présente un certain nombre d'avantages par rapport à la technologie de flash à plusieurs étages plus traditionnels, parmi toutes les consommations d'énergie inférieures réalisables dans les usines MED. Cependant, un grand potentiel d'amélioration en termes de réduction des coûts de production existe toujours, ce qui stimule les efforts supplémentaires sur l'optimisation des processus de la part des entreprises et des chercheurs impliqués dans le domaine. L'analyse thermodynamique et exergetique fournit des informations utiles concernant l'identification des principales inefficacités et les marges d'amélioration des performances. Un certain nombre de travaux ont focalisé leur attention sur ces aspects, présentant des outils d'investigation innovants éventuellement appliqués à des études de cas théoriques ou réelles [19].

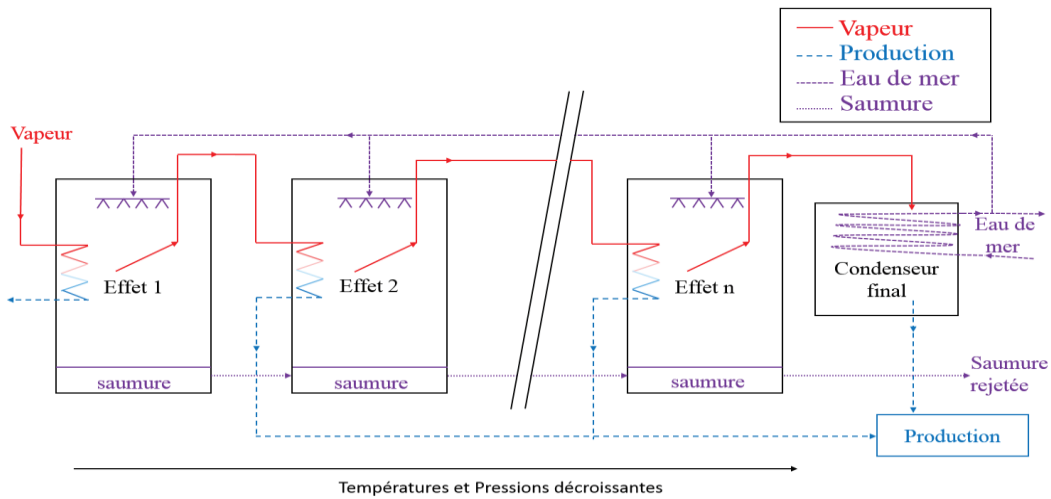


Figure I-6: Distillation à multiple effet [19].

I.3. Distillation solaire

I.3.1. Introduction

La distillation solaire est une méthode rentable pour convertir l'eau saline en eau potable en utilisant une énergie plus propre pour lutter contre la pénurie d'eau potable et les maladies d'origine hydrique, en particulier dans les zones rurales et éloignées des pays en développement et atteindre l'objectif du développement durable. Par conséquent, La distillation solaire est une alternative intéressante en raison de sa technologie simple ; non-exigence de main-d'œuvre hautement qualifiée pour travaux d'entretien et faible consommation d'énergie.

I.3.2. Historique

La technique de dessalement de l'eau par l'énergie solaire utilisant un distillateur simple basée sur le principe de l'effet de serre n'est pas nouvelle, les alchimistes arabes auraient été les premiers à utiliser la distillation solaire. Ils ont utilisé des miroirs intérieurs nettoyés pour concentrer le rayonnement solaire sur un verre contenant de l'eau salée afin de produire de l'eau douce. Elle a été pour la première fois utilisée à grande échelle au Chili (1872) par l'ingénieur suédois Carlos Wilson pour alimenter en eau potable la localité de Salinas. Dans le désert d'Atacama au Chili, la seule eau naturelle qu'on y trouve contient 140 g de sel par litre. Avec une surface de verre de 4400 m² on obtenait en été environ 23 m³ d'eau douce par jour, et ce système fit ses preuves pendant des années. Depuis lors, le principe de construction n'a pas changé, même si quelques améliorations ont été obtenues aux matériaux de construction et aux méthodes de travail [6].

I.3.3. Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire

La distillation solaire est l'analogie faite avec le cycle hydrologique naturel. En effet, l'homme a reproduit en un petit modèle ce cycle naturel qu'on appelle le distillateur solaire.

Le principe de la distillation solaire est mis en œuvre comme suit : Les rayons du soleil traversent le couvercle en verre jusqu'à l'eau salée au fond de la chambre du distillateur. La température de l'eau salée commence à augmenter et un transfert de chaleur est effectué entre l'absorbeur noir et l'eau saumâtre. Ensuite, l'eau commence à s'évaporer. La vapeur chaude arrive au niveau du verre froid. La condensation de cette vapeur donne des gouttelettes d'eau et tomber dans le récupérateur situé au coin [20].

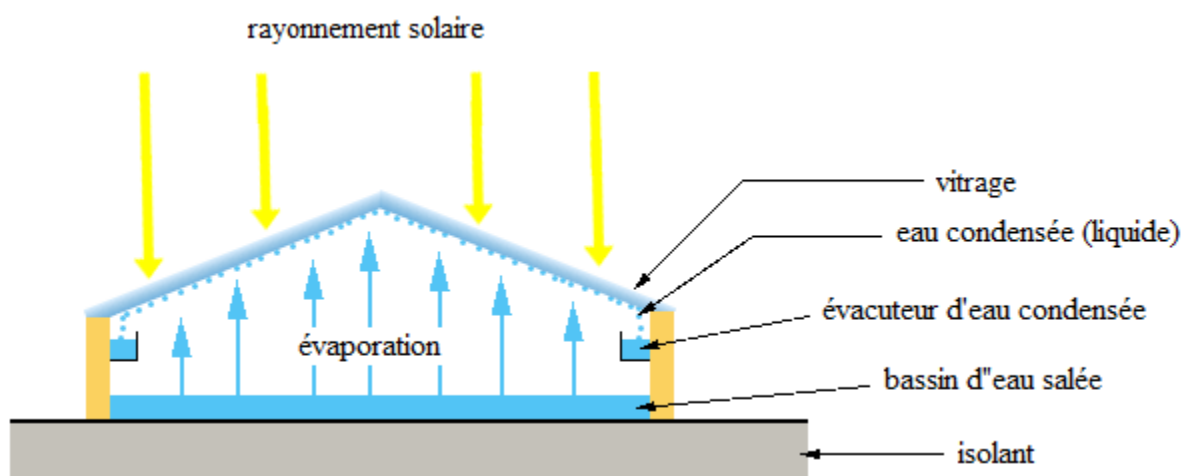


Figure I-7: Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire [20].

I.3.4. Différents types de distillateurs solaires

Tous les types de distillateurs solaires possèdent le même principe de fonctionnement, mais ils peuvent être différents en termes de performance, de conception et de matériaux utilisés. On distingue trois types de distillateurs solaires.

I.3.4.1. Distillateurs à simple effet

Distillateurs à simple effet sont des configurations très simples utilisées pour obtenir de l'eau distillée à partir de saumure. Ces Distillateurs utilisent généralement un couvercle en verre en haut et un bassin d'eau en bas. Le verre est presque transparent au rayonnement solaire entrant. Le rayonnement transmis est capté par le bassin d'eau, qui chauffe l'eau. L'opacité du verre à un rayonnement thermique de plus grande longueur d'onde du bassin empêche le rayonnement thermique de s'échapper par la haute couverture. C'est l'effet de serre. La surface de verre supérieure perd de la chaleur à l'environnement par convection et rayonnement thermique et reste à une température inférieure à celle du bassin et sert ainsi à la surface de condensation.

Les vapeurs d'eau montent du bassin en raison de la convection naturelle et se condensent à la surface supérieure. Le distillat glisse le long du couvercle supérieur et est rassemblé dans un canal latéral.

Généralement ce type est simple à construire et à maintenir mais son efficacité reste inférieure à celle d'un distillateur à multiple effets [21].

a. Distillateur à pente unique

Le distillateur solaire à pente unique incliné d'un angle. Peut être considéré comme le type de base de distillateur passif avec lequel des conceptions plus avancées devraient être comparées. De nombreuses études ont été menées à ce sujet, avec des variations de paramètres comme le type de matériau utilisé, l'angle d'inclinaison du couvercle en verre et refroidissement, matériau absorbant à l'intérieur de distillateur solaire, composition de l'eau d'alimentation et type de revêtement de bassin. (Figure 1-8) [22].

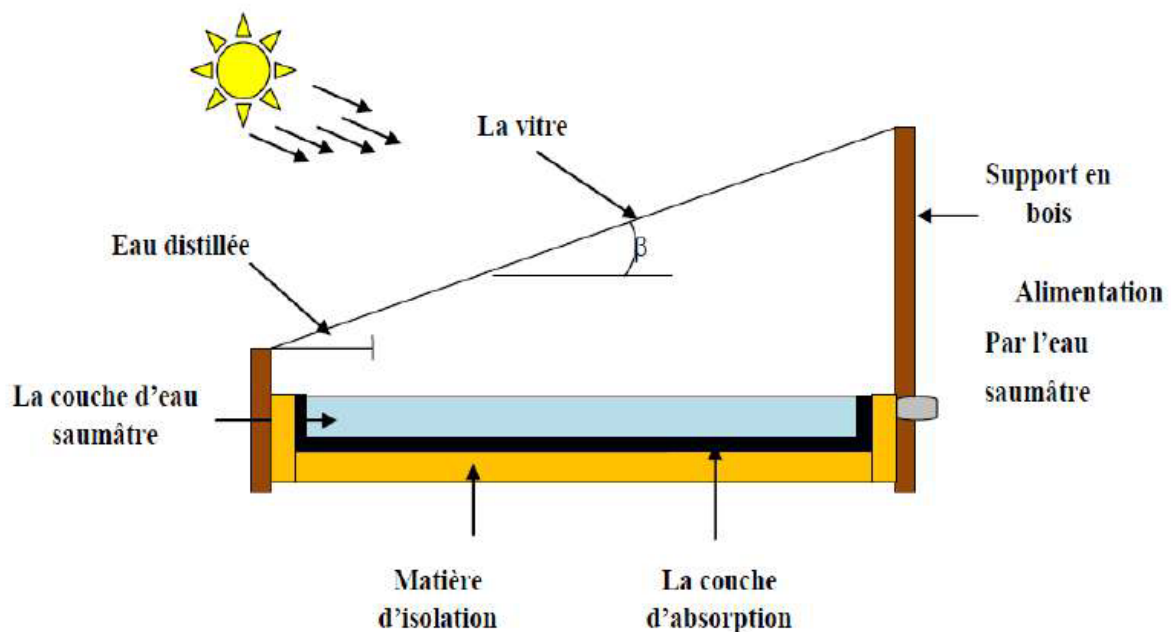


Figure I-8: Distillateur solaire simple à pente unique [22].

b. Distillateur à double pentes

C'est un distillateur à double capteurs où chacun d'eux est incliné d'un angle, son avantage est d'exposer un capteur au soleil et un autre à l'ombre pour accélérer la condensation. (Figure I-9) [23].

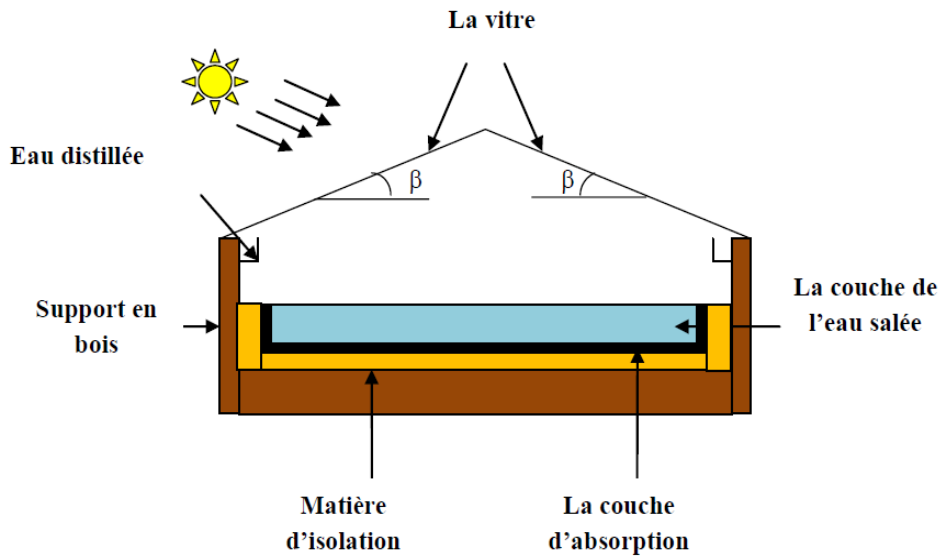


Figure I-9: Distillateur solaire simple à double pentes [23].

c. Caractéristiques d'un distillateur solaire simple

Plusieurs grandeurs sont définies afin de caractériser la production d'eau d'un distillateur. On distingue constamment, le rendement, l'efficacité interne et globale, et la performance.

❖ **Le 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 [24].

❖ **L'efficacité globale:** représentant le rapport de la quantité d'énergie évaporée par (m²), à la quantité incidente par (m²) sur une surface horizontale. Elle est définie par le rapport:

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{G.A} = \frac{m_d \cdot l_v}{G.A} \quad (1.1)$$

Avec :

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

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

G : Energie solaire globale incidente par m² sur une surface horizontale, pendant un jour.

L_v : Chaleur latente de vaporisation.

m_d : Le débit de distillat.

❖ **L'efficacité interne**

Qui représente le rapport de la quantité d'énergie évaporée par (m²) de surface, à la quantité effectivement absorbée par la saumure par (m²) de surface.

$$\eta_i = \frac{q_{ev}}{q_{eau}} = \frac{m_{ev} \cdot l_v}{\alpha_t G \cdot A} \quad (I.1)$$

$\alpha_t G \cdot A$: La quantité de chaleur absorbée par l'eau.

α_t : Le coefficient d'absorption thermique [25].

❖ **La performance**

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière plus absolue a amené ainsi SATCUNATHAN et HANSEN à définir le facteur de performance brut (FPB) et le facteur de performance horaire (FPH) [26].

$$FPB = \frac{\text{Quantité d'énergie entrée au bout de 24h}}{\text{Quantité d'eau produite au bout de 24h}} \quad (I.2)$$

$$FPH = \frac{\text{Quantité d'énergie entrée au bout d'une heure}}{\text{Quantité d'eau produite au bout d'une heure}} \quad (I.3)$$

d. *Distillateur solaire terre-eau:*

De grandes quantités d'humidité sont accumulées dans la terre durant la saison froide de même dans les régions arides. Cette humidité est retournée à l'atmosphère durant la saison chaude pour compléter le cycle hydrologique naturel. Pour exploiter ceci, on utilise le distillateur solaire terre-eau. C'est un distillateur contenu dans le sol. Il est similaire au distillateur à doubles pentes, sauf que le sol remplace le bassin noir [27].

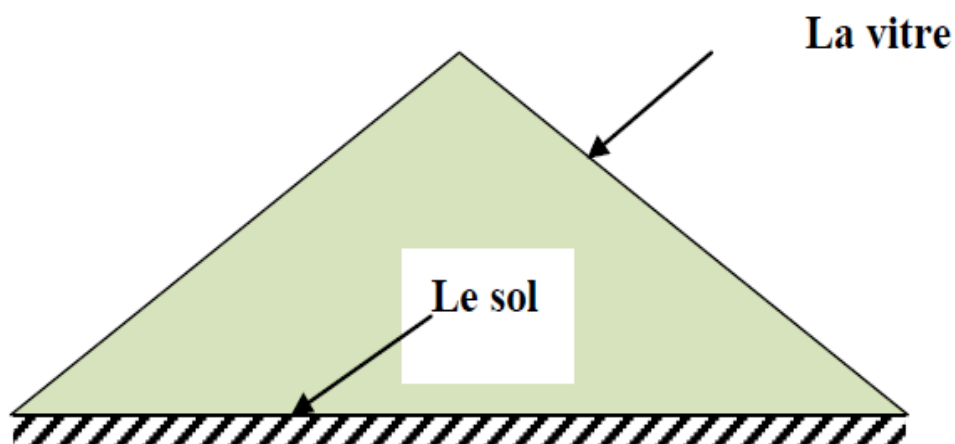


Figure I-10: Distillateur solaire terre-eau [27].

I.3.4.2. *Distillateur sphérique à balayage*

Ce distillateur est constitué d'une sphère en plexiglas ou autre matériau plastique transparent reposant sur des supports. figure (I-11).

Le Principe de fonctionnement est le même que celui de l'effet de serre, sauf que la condensation s'effectue sur la demi-sphère supérieure et le condensat est recueilli à la base de la demi-sphère inférieure. La nouveauté de ce modèle, c'est son système mécanique de récupération de l'eau distillée par l'intermédiaire d'un essuie-glace entraîné par un petit moteur électrique fonctionnant à l'énergie solaire photovoltaïque [28].

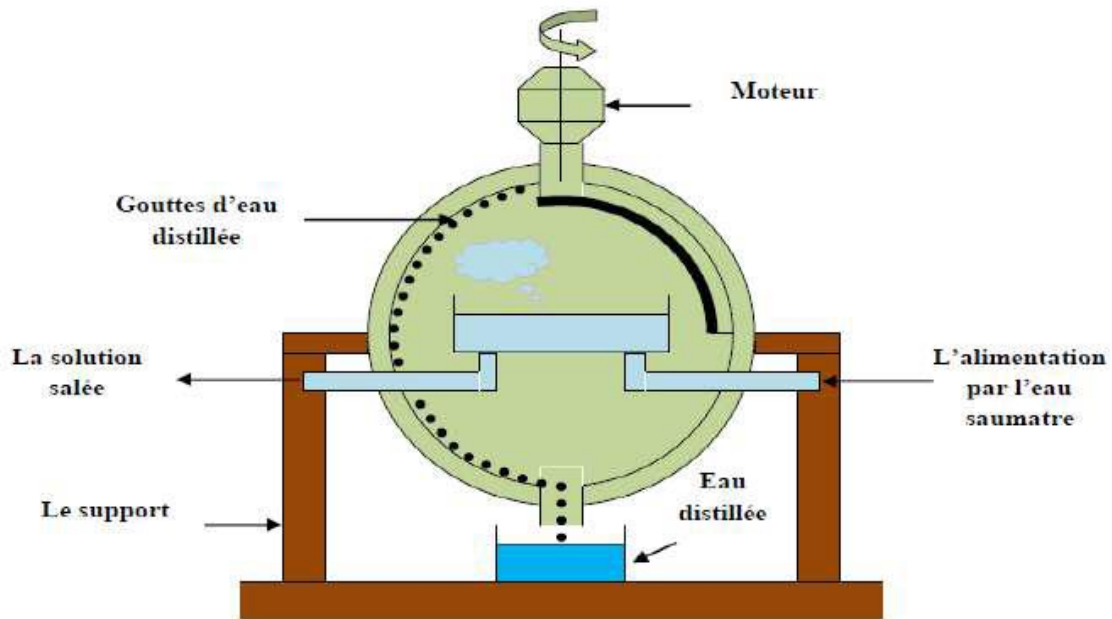


Figure I-11: Distillateur sphérique à balayage [28].

I.3.4.3. Distillateur solaire à film capillaire (DIFICAP)

Le distillateur solaire à film capillaire se compose comme suit:

D'une très mince couche de textile à mailles fines, imbibée d'eau qui se maintient d'elle-même au contact de la plaque jouant le rôle d'évaporateur. Les forces de tension interfaciales nettement supérieures à celles de la pesanteur, jouant un rôle très important dans la formation du film capillaire, de faible inertie thermique, en empêchant toute formation de bulles d'air. Ce distillateur est composé des éléments suivants : le capteur – évaporateur, le condenseur et l'alimentation. La première cellule capte le rayonnement solaire qui passe à travers la couverture. La vapeur se condense sur la paroi opposée et la chaleur dégagée par cette condensation permet l'évaporation du film qui ruisselle sur l'autre face de cette même paroi [29].

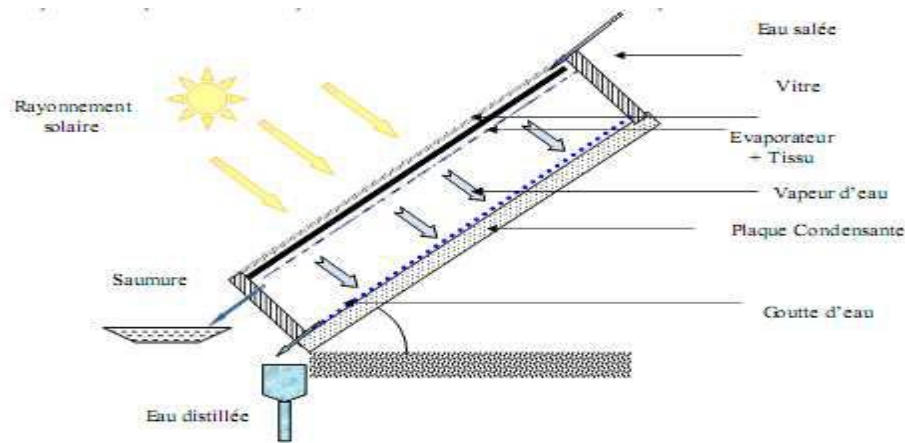


Figure I-12: Distillateur solaire à film capillaire [29].

I.3.4.4. Distillateurs à multiples effets

Le distillateur solaire à multi effets est constitué de plusieurs évaporateurs placés en série et opérant à des pressions décroissantes ; l'effet de tête et l'effet de queue. Dans ce qui suit, nous allons décrire brièvement la conception et le fonctionnement de quelques modèles qui sont les suivants [29]:

- ✓ Distillateurs solaires à plusieurs bassins ;
- ✓ Distillateurs solaires inclinés à cascades.

I.3.5. Paramètres influents sur le fonctionnement d'un distillateur solaire

On peut diviser ces paramètres en deux grands groupes:

- ❖ Les paramètres atmosphériques (climatiques et locaux) ;
- ❖ Les paramètres de constructions (condenseur, absorbeur, profondeur de l'eau saline...etc.).

I.3.5.1. Les paramètres atmosphériques

❖ La radiation solaire

La production en eau du distillateur solaire dépend essentiellement de l'intensité de la radiation solaire.

❖ La température ambiante

La production en eau augmente légèrement quand la température de l'air augmente.

❖ La Vitesse du vent

La vitesse du vent est liée à la convection forcée qui se produit au niveau des vitres.

Elle influe proportionnellement sur les températures des vitres, donc elle conduit à une augmentation de l'écart entre les températures de l'eau salée et celle de la vitre, ce qui contribue à l'élévation du taux d'évaporation de l'eau [25].

I.3.5.2. Les paramètres de constructions**❖ La couverture**

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

❖ L'inclinaison

Son inclinaison par rapport à l'horizontale, pour déterminer la quantité d'énergie solaire introduite dans le distillateur et pour minimiser la distance entre saumure et vitre l'angle d'inclinaison doit faire l'objet d'un choix judicieux. L'inclinaison influe d'autre part sur les équations des bilans énergétiques des différents constituants du distillateur [10].

❖ L'absorbeur

Il a pour rôle de transformer instantanément le rayonnement solaire qu'il reçoit en chaleur et de la transmettre par conduction à la solution salée. Un bon absorbeur doit avoir les propriétés et les qualités suivantes [28] :

- Un facteur d'absorption voisin de l'unité ;
- Une bonne conductivité thermique ;
- Une bonne résistance chimique vis-à-vis de la solution qui le baigne ;
- Imperméable ;
- Supporter de grandes températures sans qu'il y ait des effets de détérioration.

❖ La profondeur de l'eau saumâtre dans le bassin

Pour les distillateurs dont la base est thermiquement bien isolée, la différence entre ceux à faible et ceux à grande profondeur de l'eau saumâtre est notable. La faible profondeur de l'eau saumâtre (faible masse d'eau) entraîne l'évaporation rapide à cause de l'énergie importante qui sera absorbée par l'eau saumâtre. La production est d'autant plus importante que la profondeur est faible ; d'autre part, plus la profondeur de l'eau saumâtre est grande, plus longtemps dure la distillation après le coucher du soleil [6].

I.4. Nano fluides**I.4.1. Introduction**

Le mot «nano fluide» a été utilisé pour la première fois par le laboratoire national des États-Unis d'Argonne pour représenter un fluide avec une suspension de taille nanométrique particules. En raison des caractéristiques thermiques utiles des nanoparticules, de nombreuses industries se sont impliquées dans l'amélioration thermique des fluides [30].

Les nano fluides peuvent être définis comme la dispersion de nanoparticules dans fluide de base capable de transmettre la chaleur plus efficacement que les fluides conventionnels tels

que l'eau. L'amélioration des performances thermiques dépend de ses propriétés (taille des particules et concentration de particules) les nanoparticules en suspension stimulent la fluide conductivité thermique et mouvement chaotique de particules ultrafines. La turbulence fluide accélère le processus d'échange d'énergie dans le nano fluide. Un transfert de chaleur amélioré a été découvert en surveillant le mouvement des nano fluides dans un tube et a été soutenu par des recherches antérieures. De nombreux articles publiés soulignent que le coefficient de transfert de chaleur (nano fluide) est bien supérieur à celui des fluides de base couramment utilisés qui n'entraînent aucune perte de pression [31].

I.4.2. Définition

Les Nano fluides sont les fluides de transfert de chaleur de nouvelle génération qui deviennent de plus en plus populaires pour diverses applications industrielles et automobiles. Les nanoparticules améliorent remarquablement les performances thermiques du fluide conventionnel (eau, huile, huile thermique, etc.). Les fluides conventionnels ont une faible conductivité thermique et une faible absorption thermique, ce qui conduit à leur faible performance dans les processus impliqués dans les dispositifs de génie thermique. Ces problèmes peuvent être résolus par l'utilisation de nanoparticules en suspension dans ces fluides conventionnels. Le nano fluide peut être défini comme la suspension de particules de taille nanométrique de 1 à 100 nm dans un fluide de base conventionnel. Les nano fluides présentent de meilleures caractéristiques de performance et peuvent être utilisés pour une solution de gestion thermique dans de nombreux systèmes tels que les solaires thermiques applications, gestion de la charge thermique des bâtiments, technologies spatiales, refroidissement, chauffage et autres applications industrielles [32].

I.4.3. Nanoparticules et fluides caloporteurs

Une nanoparticule est définie comme étant un nano-objet dont les trois dimensions sont à l'échelle nanométrique, c'est-à-dire une particule dont le diamètre nominal est inférieur à 100nm environ (1 nanomètre est 1000 millions de fois plus petit qu'un mètre, un diamètre suffisamment petit pour que les propriétés physique et chimique diffèrent de façon mesurable de celles des matériaux en vrac) [33].



Figure I-13:Échelle des dimensions, 1 nanomètre = 0,000 001 millimètre [33].

Elles sont généralement de forme sphérique et cylindrique, ou sous forme de tube, comme les nanotubes de carbone (NTC). Les nanoparticules les plus utilisées sont classées dans trois grandes familles, à savoir [34].

- ▲ Les nanoparticules métalliques : Cu, Ag, Au, Or... ;
- ▲ Les oxydes métalliques : Al₂O₃, CuO, SiO₂, TiO₂... ;
- ▲ Nanoparticules non métalliques :
 - Nanotubes de carbone (NTC), -Diamant (C).

Les liquides de base les plus utilisés sont:

- L'eau.
- L'éthylène glycol (EG).
- Les huiles.
- Le toluène.

Le choix des liquides de base est primordial pour un nano fluide, il permet d'assurer la stabilité de la suspension dans le temps et d'éviter tous phénomènes d'agréations, la sélection d'un telle fluide se fera en fonction de la nature de nanoparticule.

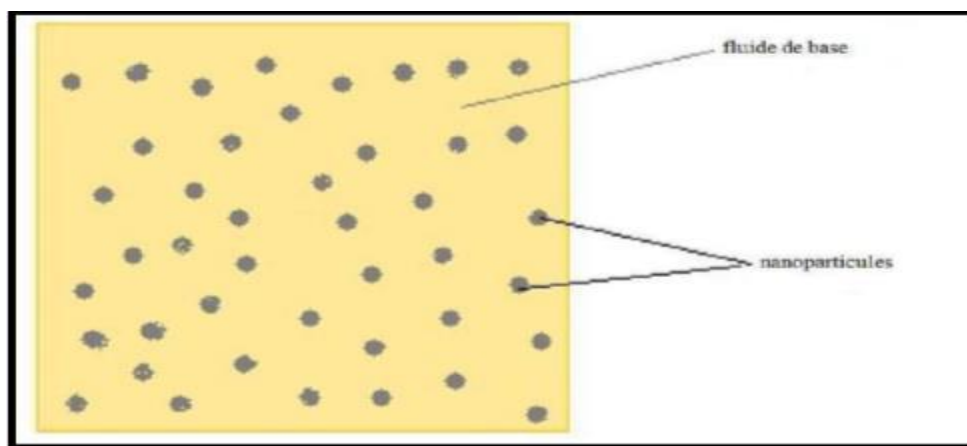


Figure I-14: Nanoparticules dispersées dans le fluide de base [34].

I.4.4. Méthodes de préparation des nano fluides

Il existe deux techniques pour préparer les NF qui sont à savoir, une étape & méthodes en deux étapes.

Dans le premier procédé, la fabrication et la dispersion de nanoparticules se produisent simultanément dans le fluide de base. L'agglomération des nanoparticules diminue en raison des processus tels que le stockage, le séchage et la dispersion des particules. La limitation de ce procédé en une étape est l'apparition d'impuretés (réactifs résiduels) dans les Nano fluides qui sont impossibles à éliminer en raison d'une réaction incomplète. Les méthodes de préparation de Nano fluides à travers ce processus en une étape contiennent la condensation physique de la

vapeur, la synthèse de polyol, la décomposition des précurseurs organométalliques et la réduction chimique [30].

Dans le deuxième procédé en deux étapes, les nanoparticules, qui ont été produites auparavant, sont ajoutées dans le fluide de base. Ensuite, le fluide de base et les nanoparticules sont soumis à une agitation magnétique (dans certaines études, cette étape peut être réussie). Après cette étape, les nanoparticules sont réparties de manière homogène pour maintenir la stabilité de la solution à l'aide de la méthode d'ultrason cation. Même si ces deux méthodes visent à maintenir l'homogénéité des nanoparticules pendant une durée plus longue dans les fluides de base, la méthode en deux étapes est aujourd'hui acceptée comme la plus raisonnable économiquement, la plus facile à réaliser, la quantité en vrac d'échantillons et la méthode pratique dans la préparation de Nano fluides [35].

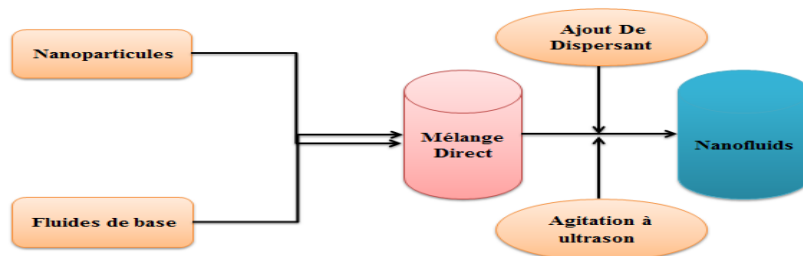


Figure I-15:préparation de Nano fluides [36].

I.4.5. Stabilité du nano fluide

La stabilité du nano fluide peut être définie comme la durée pendant laquelle les nanoparticules sont en suspension dans le fluide de base sans se séparer en deux phases. La suspension des nanoparticules en a fait un nano fluide, car il se sépare; Le terme nano fluide devient invalide ou est nul. Bien que le nano fluide présente un avantage élevé, sa faible stabilité en a fait un défi pour son utilisation [37].

I.4.6. Domaine d’application de nano fluide

Les Nano fluides sont utilisés comme intensificateur de transfert de chaleur dans l'électronique, les applications de refroidissement industriel et nucléaire, le transport, l'espace et la défense, les bâtiments de chauffage, les capteurs solaires thermiques, les systèmes de stockage d'énergie, les micro-appareils, les échangeurs de chaleur, l'équipement militaire, la technologie spatiale, les médicaments et les réacteurs nucléaires, etc. L'explication détaillée des applications des Nano fluides dans la conversion solaire thermique, les échangeurs de chaleur, les radiateurs

automobiles, les technologies de réfrigération et de climatisation et enfin leur importance dans la sûreté des réacteurs nucléaires est expliquée dans cette section [38].

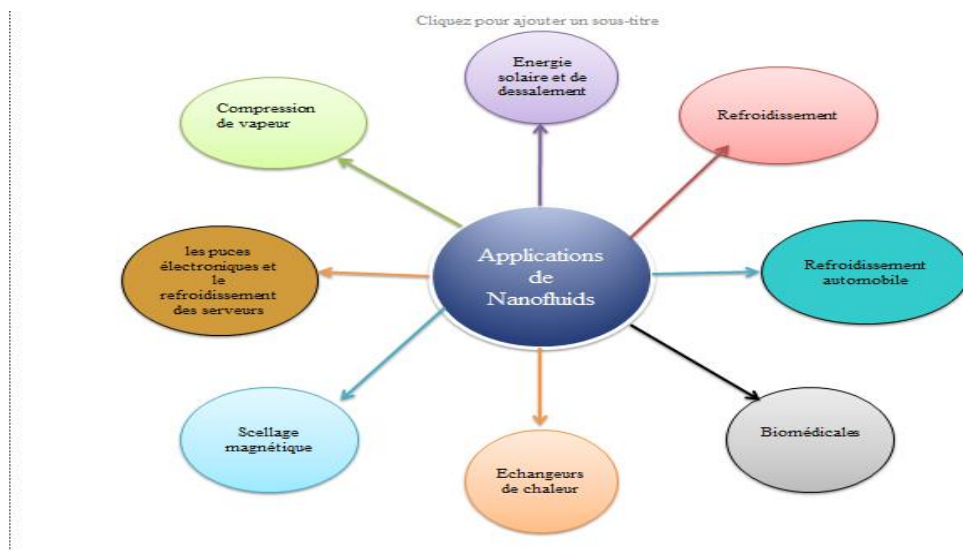


Figure I-16: Applications de Nano fluides [36].

I.4.7. Avantages et Inconvénients des nano fluides

I.4.7.1. Avantage des nano fluides

- ♣ Les nanoparticules en suspension augmentent la conductivité thermique effective du fluide.
- ♣ Haute dispersion et stabilité avec prédominante mouvement brownien des particules.
- ♣ Propriétés ajustables, dont la conductivité thermique et la mouillabilité de la surface, en faisant varier les concentrations de particules en fonction de différentes applications.
- ♣ La dispersion des nanoparticules aplatit le gradient de température transverse des fluides.
- ♣ Les nanoparticules en suspension augmentent la surface de transfert de chaleur et la capacité thermique du fluide.
- ♣ Réduit par rapport au liquide pur pour obtenir équivalent intensification de transfert de chaleur [39].

I.4.7.2. Inconvénients du nano fluides

- ♣ Mauvaise caractérisation des suspensions.
 - ♣ Instabilité et agglomération.
 - ♣ Puissance de pompage et perte de charge.
 - ♣ Viscosité supérieur, chaleur spécifique basse.
- Le coût élevé des nano fluides [39].

I.4.8. Synthèse Bibliographique

Kabeel et all. [40] ont examiné expérimentalement deux Nano fluides à base d'eau d' Al_2O_3 et Cu_2O dans les distillateurs solaire. Deux distillateurs solaire identiques étaient construits et testé dans les mêmes conditions climatiques d’Egypte. La taille des particules de l' Al_2O_3 et du Cu_2O variait de 10 à 14 nm. Les concentrations volumiques de particules variaient de 0.02% à 0.2%. La productivité maximale a été obtenue en utilisant les nanoparticules d'oxyde cuivreux avec une concentration de 0.2% avec le fonctionnement du ventilateur à vide. Les résultats obtenus que l'utilisation de nanoparticules d'oxyde cuivreux a augmenté la productivité distillée de 133.64% et 93.87% avec et sans ventilateur respectivement.

Abdelal et Taamneh [41] ont testé expérimentalement le distillateur solaire pyramide avec des fibres, du graphène et des concentrations différentes de CNT dans le bassin. Ils ont conclu qu'une concentration de 5% de CNT donnait une productivité plus élevée de 30%.

Navale et all. [42] ont étudié expérimentalement un distillateur solaire en maçonnerie (composé de briques, de ciment et de sable) .Avec des Nano fluides Al_2O_3 et CuO et trois concentrations différentes (0.1%, 0.2% et 0.3%). Les Nano fluides Al_2O_3 avec une concentration de 0,3% ont augmenté la productivité du distillat de 45.19%, tandis que les Nano fluides CuO à une concentration de 0.3% ont augmenté la productivité de 89.42%.

Sahota et Tiwari [43] ont examiné une expérience dans un distillateur solaire passif à double pente avec des nanoparticules d' Al_2O_3 à base d'eau. Trois différentes concentrations de nanoparticules (0.04%, 0.08% et 0.12%). Les résultats des tests conclus ont montré que l'augmentation du rendement pour 35 et 80 g du fluide de base de 12.2% et 8.4%, respectivement.

Omara et all. [44] ont examiné expérimentalement un type de mèche distillateur solaire avec des Nano fluides Al_2O_3 et Cu_2O dans le bassin. Deux distillateurs solaires identiques ont été construits et testés dans le même environnement climatique. La superficie de chacun des distillateurs solaires était de $0,5\text{ m}^2$. Trois différentes profondeurs d'eau (1, 2 et 3 cm) ont été maintenues pendant l’expérimentation. Les résultats expérimentaux révèlent que Le distillateur solaire de type mèche avec des Nano fluides Cu_2O à de meilleures performances que les Nano fluides à base d'eau Al_2O_3 .

Chaichan et Kazem [45] ont mené des expériences dans un distillateur solaire à seul bassin avec des nano-composites dans le bassin. Les nano-composites de poudre d'aluminium PW dans le distillateur était utilisée. Ils découvraient que les nano-composites augmentent la productivité de 21.19% dans les conditions climatiques de Bagdad.

***CHAPITRE II: PARTIE
EXPERIMENTALE***

II- Partie expérimentale

II.1. Introduction

La distillation solaire est une opération très utilisée dans les régions arides, et une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer l'eau saumâtre .

Le but de notre étude est d'évaluer l'effet de carbones nano tubes sur le phénomène de distillation solaire ainsi que la production d'eau distille. Ce travail a été effectué au laboratoire de génie des procédés de la faculté des sciences appliquées de l'Université de Ouargla.

II.2. Présentation générale de la zone d'expérimentation (Ouargla)

Les conditions climatiques font que la ville d'Ouargla (altitude 31,95 nord, longitude est 5,40 et altitude 141 m) en le sud d'Algérie, bénéficie d'un climat sec et aride, caractérisé par un ensoleillement exceptionnel, vu sa localisation géographique et son éloignement de la côte méditerranéenne. Le plus souvent, la ville d'Ouargla a un taux d'insolation très important et la moyenne annuelle de l'irradiation globale mesurée sur un plan horizontal d'environ 3500 h par an et génère environ 2 650 kWh/ (m² / an) [46].

II.3. Matériel et équipement

II.3.1. Conception du distillateur solaire

Les distillateurs utilisés dans nos expériences ont une conception très simple. Il s'agit de distillateurs solaires simples, qui présentent l'avantage d'être facile à construire, car ses composantes sont disponibles dans tous les marchés du monde .Donc toute personne désirant construire ce type de distillateur peut le faire facilement et avec le minimum de coût.



Figure II-1:Conception du distillateur solaire.

II.3.2. Bassin absorbant (plaque noire)

La plaque absorbante est l'élément le plus important du distillateur solaire simple a pente unique, sa rôle est d'absorber le maximum de rayonnement solaire global et transmettre la chaleur produite par cette absorption vers la saumure, c'est pour cette raison qu'il est peint en noir mat, il est obtenu par soudage et essentiellement en fer galvanisé. Elle est sous forme d'un plateau rectangulaire (0.24m²). L'absorbeur a un coefficient de conduction thermique faible.

II.3.3. Couverture verrière (verre)

Pour sa simplicité et son coût réduit, on a utilisé du verre ordinaire car ce type de distillateur ne nécessite pas des techniques avancées.

On a choisi un verre ordinaire pour son bonne conductivité thermique; son bonne Transmission du rayonnement visible et sa mouillabilité.

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

II.3.4. L'isolation thermique

L'isolant choisi est du polystyrène couvrant l'absorbant pour diminuer les pertes de chaleur, .Il faut que les produits utilisés résistent aux températures de fonctionnement. Contenant un orifice de 2 cm de diamètre en bas du centre pour le drainage. Il est hermétique et démontable pour faciliter son changement et son nettoyage.

II.3.5. Couverture extérieure

Le coffre du distillateur renferme les différents éléments actifs, il devra donc assure une protection efficace aux agents atmosphériques. Le coffre du distillateur est réalisé en bois.

II.3.6. Tuyauterie

Ce sont des tuyaux en plastique, de diamètre allant 15 à 21 mm pour lier les différentes parties du distillateur afin de transporter l'eau saumâtre et distillée.

II.3.7. Cuve de récupération du distillat

Pour la récupération du distillat on a utilisé une éprouvette graduée.

II.4. Instruments de mesure

- Instruments de mesure de rayonnement solaire global (Solari mètre): (figure.1-Annexe-).
- Instrument Mesure de la vitesse du vent: (figure.2-Annexe-).
- Instrument de mesure de la température ambiante: (figure.3-Annexe-)
- Instrument de Mesure de la température (thermocouples): (figure.4-Annexe-)
- Tubes Gradués

Pour faciliter la mesure de la quantité d'eau distillée obtenue à chaque heure. (figure.5-Annexe).

II.5. L'emplacement des thermocouples

La mesure des températures essentielles par des thermocouples sont de type (K), fixés soigneusement à l'aide de silicone, sur les parties du distillateur comme suit :

- Température de la face intérieure de la vitre (T1).
- Température de l'eau saumâtre à l'intérieur du bassin (T2).

Température de fond du bac absorbant (plaque noire) (T3).

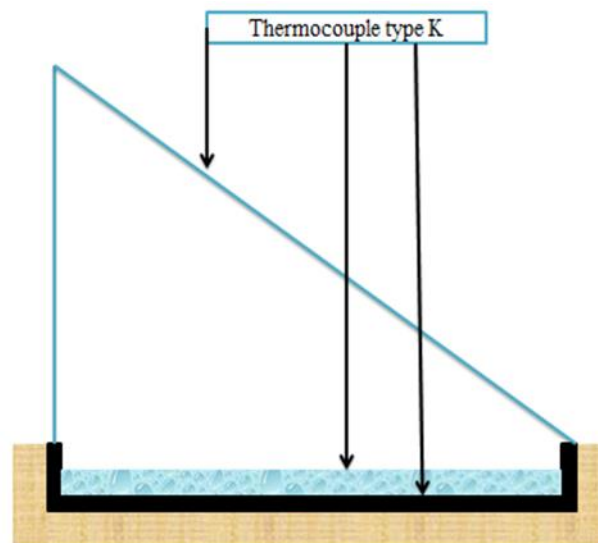


Figure II-2 : Emplacement de thermocouples.

II.6. Grandeurs mesurées

A partir de ces expériences, et pendant chaque heure, et durant huit heures: de (9h00 à 17h00), nous avons mesuré les grandeurs comme suite:

- ❖ Le rayonnement solaire global.

- ❖ Les différentes températures relatives au distillateur solaire: la couverture verrière, la plaque noire (l'absorbant), l'eau saumâtre dans le bassin.
- ❖ La température ambiante.
- ❖ La productivité horaire du distillat.

II.7. Nano fluides utilisés dans l'expérience

II.7.1. Critères de choix des Nano fluides

L'évolution des Nano fluides a commencé à partir du 21^{ème} siècle dans les systèmes de dessalement solaire. Les Nano fluides sont des suspensions stables de nanoparticules dans une base de fluide, elles améliorent l'efficacité des systèmes de dessalement solaire [30].



Les facteurs à analyser avant de choisir les nanoparticules sont:

- ✓ Bon conductivité thermique.
- ✓ Faible densité.
- ✓ Biologiquement et chimiquement inerte.
- ✓ En mesure d'être excité en présence d'UV et/ou de lumière visible.
- ✓ Photo actif.
- ✓ Viscosité du fluide adéquate.
- ✓ Phot stable (non photo corrosif).
- ✓ Peu couteux et non toxique.
- ✓ Sécurité et compatibilité avec le fluide de base.

II.7.2. Nano fluides utilisés dans l'expérience

Dans notre cas on choisit les nanotubes de carbone, selon les critères cité ci-dessus :

Tableau II-1 : Caractéristiques de nanoparticules utilisées dans l'expérience.

Nanotube de carbone	Nanotube de carbone à paroi double (DWCNT)	Nanotube de carbone a parois multiples (MWCNT)
Façonner le Produit		
Taille particules (nm)	9.2	30
Densité (g /cm³)	1.88	2.1
Conductivité thermique (W/mK)	3000	3000

II.8. Méthodes et expériences

II.8.1. Introduction

Ce travail expérimental vise à améliorer le rendement des distillateurs solaires à pente unique en ajoutant différents carbones nano tubes.

II.8.2. Les Expériences

Le bassin est rempli d'une lame d'eau saumâtre de 1cm, L'augmentation de la température due à l'effet de serre fait réchauffer l'air au-dessus de l'eau saline qui s'évapore. Cette capacité d'évaporation grandit au fur et à mesure que la température augmente jusqu'à ce que l'air atteigne sa saturation en vapeur d'eau : l'humidité relative est alors de 100%. La vapeur d'eau que contient l'air chaud est refroidie par l'air ambiant et se condense au vitrage. Il y a une formation de gouttes d'eau qui s'écoulent à la partie inférieure du vitrage mis en pente dans une gouttière qui la conduit à un réservoir de stockage.

Nous avons utilisé trois distillateurs simples à effet de serre équipés par les différents éléments pour faire une comparaison entre la performance de trois distillateurs le bassin métallique de tous les distillateurs est peint en noir (Matt) pour une meilleure absorption du rayonnement solaire.

II.8.3. Protocole expérimentale

Cette série est réalisée pendant la période mai 2021, Nous avons utilisé trois distillateurs solaires ayant les mêmes dimensions et les mêmes éléments de fabrication, dans cette série on fixe la profondeur d'eau saumâtre dans les bassins à 1 cm. Nous avons utilisé les nanotubes de carbone à savoir (DWCNT) et (MWCNT). On utilise l'un des distillateurs pour DWCNT, le deuxième pour MWCNT, l'un reste comme distillateur conventionnel (témoin).

Durant cette expérience on mesure la quantité journalière d'eau distillée produite par chaque distillateur puis on calcule les gains journaliers en (%) d'eau distillée par rapport au distillateur témoin. L'expérience ont été réalisées à l'université Kasdi Merbah Ouargla et a commencé 09:00 h et terminé à 17:00h.



Figure II-3 : photo de l'expérience.

***CHAPITRE III:
RESULTATS ET
DISCUSSIONS***

III- RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'objectif principal de ce travail était de produire de l'eau distillée par un phénomène d'évaporation et condensation. L'appareil devait utiliser seulement de l'énergie solaire et du matériel simples de faible coût. Les résultats d'évaporation et ceux de condensation ont chacun été optimisé, pour obtenir le maximum de distillation possible [47].

Les résultats sont présentés sous forme de graphes.

III.1. Les graphes et discussions

III.1.1. Intensité solaire

Figure (III-1) montre la variation du rayonnement solaire en fonction du temps.

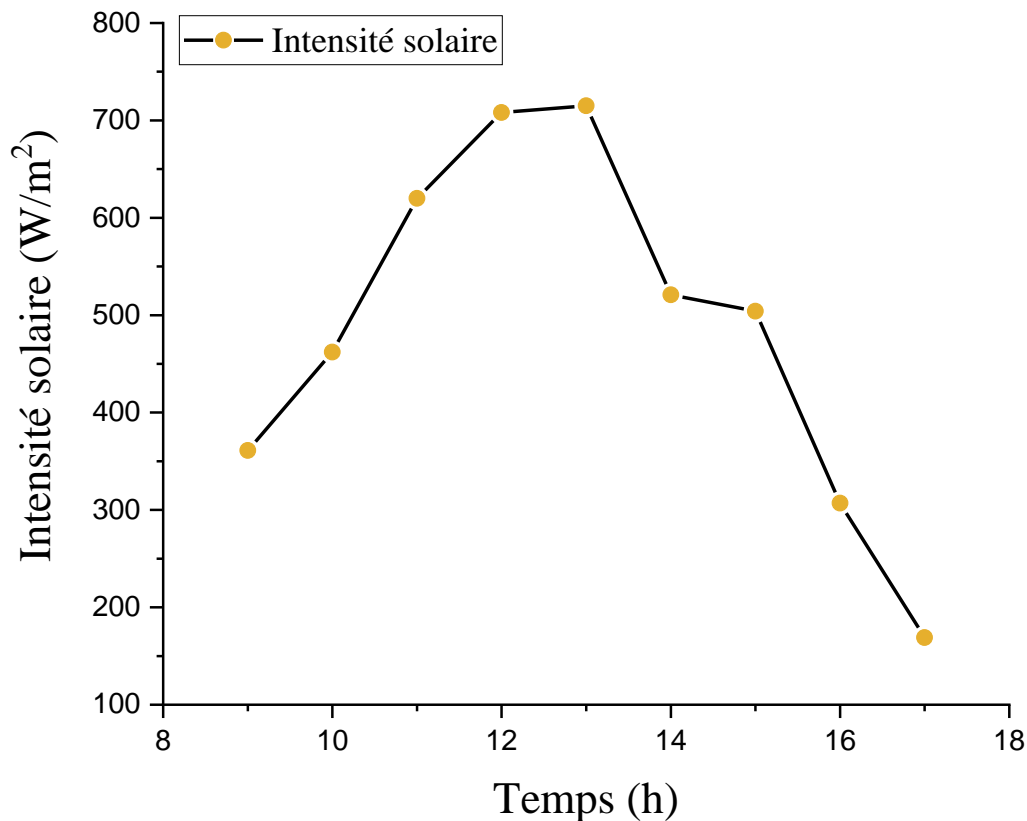


Figure III-1 : Rayonnement solaire en fonction du temps local.

L'intensité solaire commence à augmenter progressivement à partir des heures du matin et atteint sa valeur maximale de 715W /m² à 13.00h, puis elle diminue de nouveau.

III.1.2. Température ambiante

Figure (III-2) Montre la variation de la température ambiante en fonction du temps.

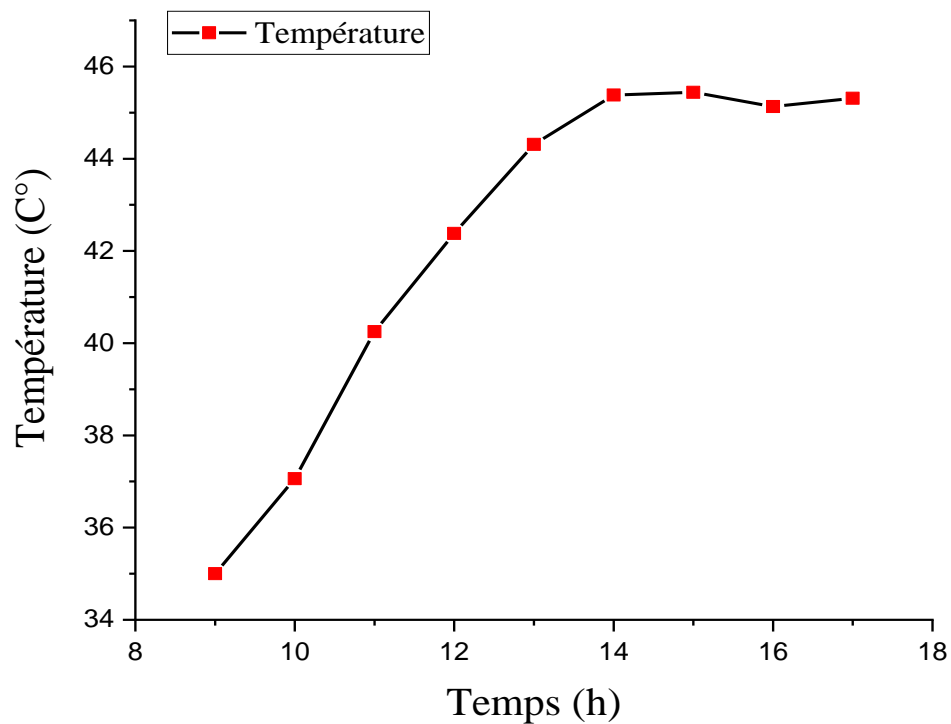


Figure III-2 : Température ambiante en fonction du temps local.

Généralement, elle commence à augmenter la matinée pour atteindre sa valeur maximale de 45.44C° à 15.00h puis elle diminue de nouveau.

III.1.3. Production de l'eau distillée

Figure (III-3) Montre les variations de la production horaire du distillat pendant un jour saisonnier pour le distillateur témoin, distillateurs avec Nanotubes de carbone à double paroi (DWCNT) et Nanotube de carbone à parois multiples (MWCNT).

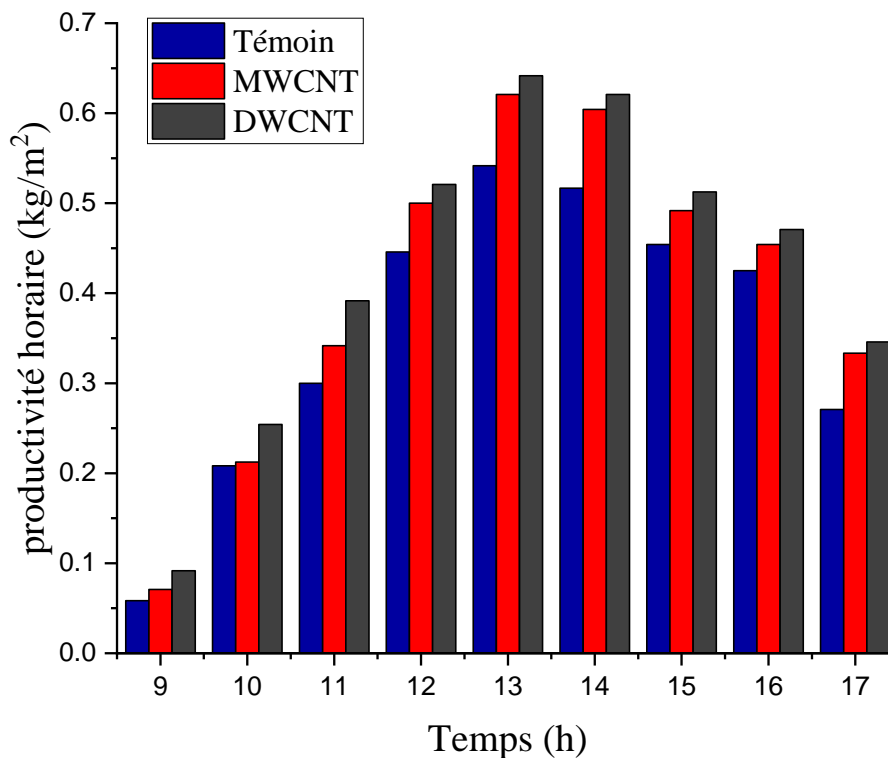


Figure III-3 : Débit volumique horaire d'eau distillée produite en fonction du temps local.

À partir de la tendance des courbes selon laquelle la production horaire du distillat augmente au cours de la journée comme l'intensité solaire, la productivité augmente progressivement jusqu'à ce qu'elle atteigne la valeur maximale à midi, par contre l'après-midi, le taux de production diminue progressivement. En général, la productivité du distillat de tous les distillateurs varie proportionnellement à l'intensité solaire globale. De plus, on peut observer que les distillateurs qui contiennent le Nano fluide sont une quantité d'eau distillée horaire supérieure à celle du témoin, à cause de l'augmentation de la température de l'eau et du taux d'évaporation, cela est dû à la conductivité thermique élevée des Nano fluides ajoutés. La productivité du distillat total atteint sa valeur maximale vers 13h.00, sont 0.54, 0.64 et 0.62 L/m²h pour le distillateur témoin, Nanotubes de carbone double paroi (DWCNT), Et le Nanotube de carbone à parois multiples (MWCNT) respectivement.

III.1.4. Productivité cumulée

Figure (III-4) Montre les évolutions de la production d'eau cumulée par unité de surface d'absorbeur, pour le distillateur conventionnel et distillateur avec divers Nanotubes de carbone.

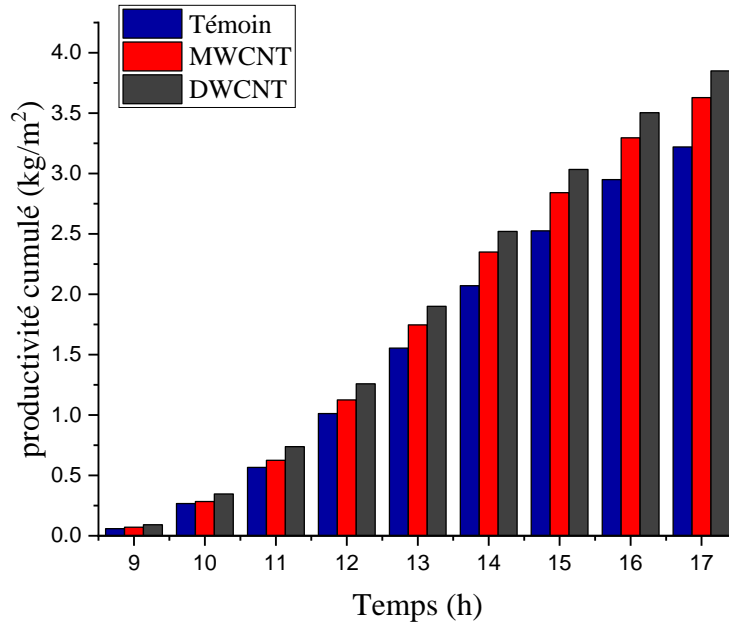


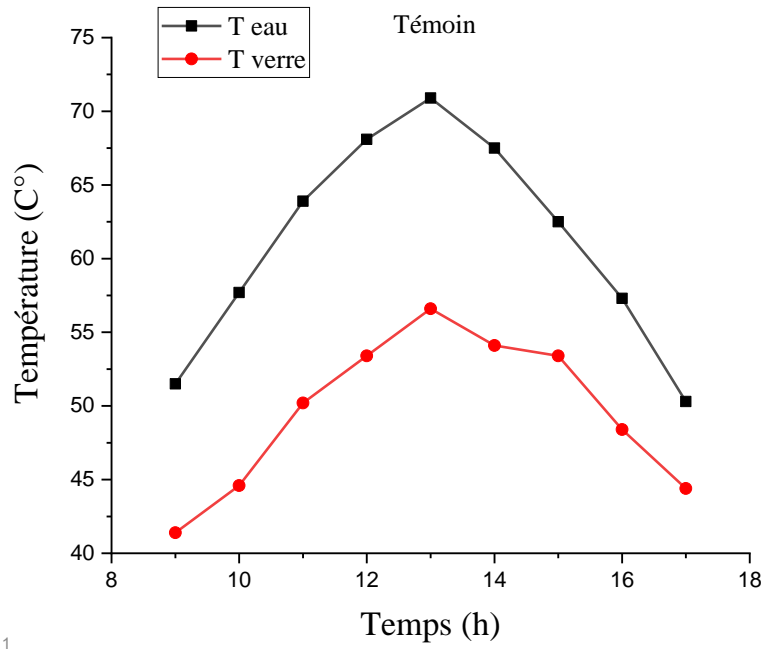
Figure III-4 : Le cumul horaire d'eau distillée produite en fonction du temps local.

On obtient la quantité d'eau distillée accumulée par les distillateurs avec Nanotubes de carbone est plus grande que celle du distillateur témoin. La production totale d'eau distillée journalière enregistrée est de 3.85 et 3.63 kg /m²:jour a été obtenu par Nanotubes de carbone double paroi (DWCNT), et par Nanotube de carbone à parois multiples (MWCNT) respectivement, et le distillateur témoin a donné 3.22 kg/m².

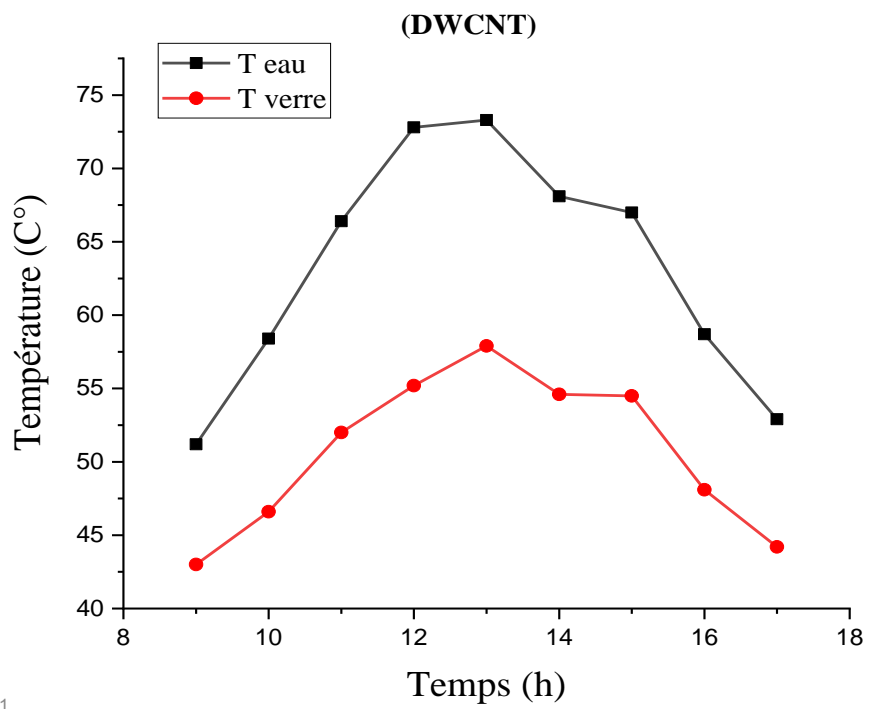
La production par distillateur avec Nano fluides est la meilleure que le distillateur témoin. Les résultats obtenus montrent que les rendements du distillateur solaire avec Nano fluides sont améliorés d'environ 19.53 % et 12.68 %, si on utilise, le Nanotube de carbone à double paroi (DWCNT) et à parois multiples (MWCNT), respectivement par rapport au distillateur solaire témoin.

III.1.5. Différentes température pour les distillateurs

Figure (III-5) Montre diverses températures (températures de l'eau, et la température du verre) en fonction des heures de la journée.



1



1

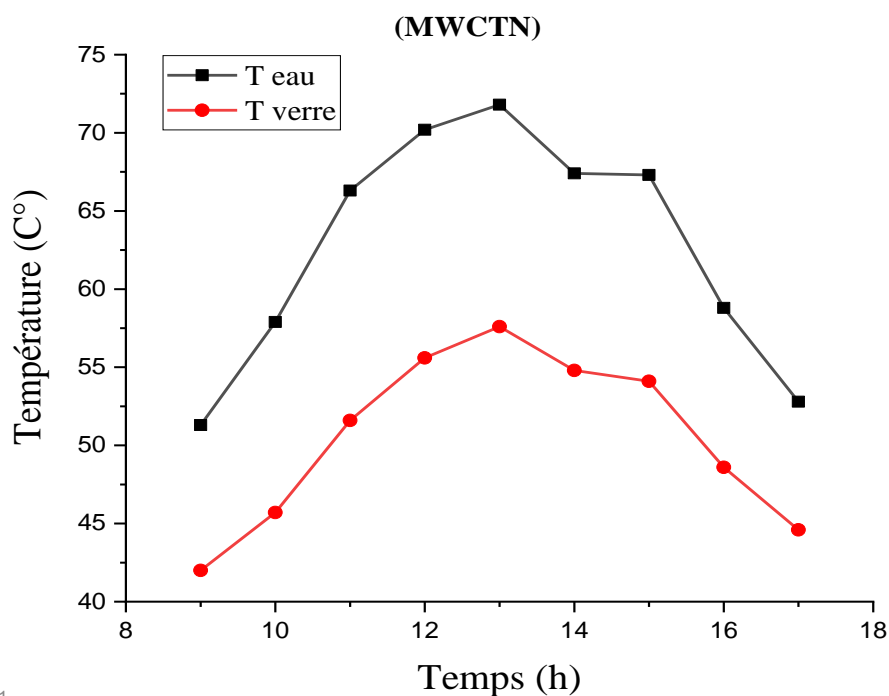


Figure III-5 : Différentes températures pour le distillateur témoin, DWCNT, et MWCTN.

Les résultats obtenus montrent que les différentes températures du distillateur avec l'adjuvant toujours supérieures à celle du distillateur témoin, en raison de l'existence des Nanotubes de carbone mélangée à de l'eau à l'intérieur du bassin. C'est principalement parce que les nanoparticules améliorent le transfert de chaleur et l'évaporation de l'eau, parce que l'addition de nanoparticules à l'eau du bassin améliore la propriété de conductivité thermique du mélange d'eau et de Nanotubes de carbone (nano fluide) ainsi que le coefficient de transfert de chaleur par convection. En conséquence, la température de la vapeur d'eau qui a été obtenue est plus élevée que les autres températures, avec une valeur maximale de 70.9, 73.3 et 71.8 C° pour les distillateurs (Témoin, Nanotubes de carbone à double paroi et Nanotube de carbone à parois multiples), à 13h :00, respectivement. En raison de l'effet du rayonnement solaire réfléchi par le bassin et du rayonnement direct du soleil, après la mi-journée, la température de la vapeur est inférieure à la température de l'eau du bassin.

Conclusion générale

Notre travail expérimental étudie l'effet de carbone nano tube sur la performance d'un distillateur solaire à parois vitrées.

L'expérience de la présente étude a été menée à l'université Kasdi Merbah Ouargla (sud-est algérien).

On a conclu que les distillateurs solaires sont l'une des meilleures solutions aux problèmes d'obtention d'eau Potable dans de nombreuses zones saharienne à travers le monde. Les principales réalisations de cette étude sont répertoriées comme suites :

- ✓ Les distillateurs solaires sont la technique la plus disponible et la plus abordable pour la production de l'eau douce en particulier dans les régions désertiques.
- ✓ on a constaté que l'emplacement géographique peut avoir un effet positif sur l'augmentation de la productivité de l'eau, en particulier pour les endroits avec l'intensité solaire abondante et eaux souterraines saumâtres réserve comme le sud de l'Algérie.
- ✓ L'intensité 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 avec la hausse du rayonnement solaire.
- ✓ Les résultats obtenus indiquent que les distillateurs avec Nanotubes de carbone à double paroi (DWCNT) et à parois multiples (MWCNT) non solubles dans l'eau ont permis d'obtenir une production totale journalière en eau distillée égale à 3.85 et 3.63kg /m²avec une amélioration de 19.53% et 12.68% par rapport au distillateur solaire témoin (3.22 kg/m²) respectivement.

Tous les résultats expérimentaux obtenus sont encourageants pour l'utilisation de ces distillateurs dans les zones rurales et désertiques à fort ensoleillement afin de résoudre certains problèmes posés par le manque d'eau potable dans ces régions, dans ce cas des analyses physicochimiques et biologiques sont toujours nécessaires avant la consommation de ces eaux mais si le but est de produire de l'eau distillée commerciale (usage auto et batteries) l'analyse biologique n'est pas nécessaire mais l'analyse physicochimique (conductivité, salinité, pH....) est nécessaire.

Références bibliographiques

- [1] AGRAWAL, Abhay et RANA, R. S. Energy and exergy analysis of single slope single basin solar still in Indian condition: an experimental analysis. *Materials Today: Proceedings*, 2018, vol. 5, no 9, p. 19656-19666. .
- [2] BHOJ, Yogita, PANDEY, Gaurav, BHOJ, Anjali, et al. Recent advancements in practices related to desalination by means of nanotechnology. *Chemical Physics Impact*, 2021, p. 100025.
- [3] KHANMOHAMMADI, Shoaib et KHANJANI, Sajjad. Experimental study to improve the performance of solar still desalination by hydrophobic condensation surface using cold plasma technology. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2021, vol. 45, p. 101129.
- [4] TULY, S. S., SARKER, M. R. I., DAS, Barun K., et al. Effects of Design and Operational Parameters on the Performance of a Solar Distillation System: A Comprehensive Review. *Groundwater for Sustainable Development*, 2021, p. 100599.
- [5] DaymondDesjardins: « le traitement des eaux » deuxième édition 1997.
- [6] Sellami, M. H. Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région Sud-Est Algérien (Ouargla). Diss. Thèse de Doctorat: Sciences Physiques, Physiques Energétique. Université Kasdi Merbah Ouargla: Algérie, 2014.
- [7] DUNGLAS, Jean. " Le dessalement de l'eau de mer une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau. Groupe eau. Académie d'agriculture de France, 2014,
- [8] MAIER, Raina M., PEPPER, Ian L., et GERBA, Charles P. Introduction to Environmental Microbiology. In: *Environmental Microbiology*. Academic Press, 2009.
- [9] BENAÏSSA, Fatima Zohra. Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres. Thèse de doctorat.2013.
- [10] BENARIMA zine el abdine. Amélioration de la capacité de l'absorbeur d'un distillateursolaire simple par l'ajout d'uneCouche de sable. Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla: Algérie, 2012.
- [11] Bechki, Djamel. Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes. Diss. Université de Batna 2, 2011.
- [12] TAHRI, T., BETTAHAR, A., DOUANI, M., et al. Dessalement de l'eau de mer par l'énergie solaire en vue de l'irrigation d'une serre agricole. Faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur, Université de Hassiba Ben Bouali, Chlef, Algérie, 2010.
- [13] KAROUT, Souad. Estimation des pertes thermiques dans des systèmes de dessalement par voie solaire. Mémoire de Magister. UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE. 2009.

REFERENCES

- [14] Guimard, Laura. Étude du comportement et modélisation d'une installation de dessalement d'eau de mer par distillation soumise à des régimes transitoires. Diss. Université de Lyon, 2019.
- [15] HALLOUFI, Ouahid. Etude de la performance d'un distillateur solaire par un système de pré-chauffage solaire de l'eau saumâtre. Mémoire de Magister. UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE.2010.
- [16] ELSAID, Khaled, KAMIL, Mohammed, SAYED, Enas Taha, et al. Environmental impact of desalination technologies: A review. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 748, p.141528.
- [17] SAOUANE, Izzeddine. Etude des transferts de chaleur et de masse à l'intérieur d'un système de dessalement par voie solaire. Mémoire de Magister. UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE .2010.
- [18] DJAMEL-EDDINE, Monsieur MOUDJEBER. Utilisation des énergies renouvelables dans le dessalement: Cas de l'Algérie. Thèse de doctorat. Université de Mostaganem. 2015.
- [19] CATRINI, Pietro, CIPOLLINA, Andrea, GIACALONE, Francesco, et al. Thermodynamic, exergy, and thermoeconomic analysis of multiple effect distillation processes. In: *Renewable Energy Powered Desalination Handbook*. Butterworth-Heinemann, 2018. p. 445-489.
- [20] ATTIA, Mohammed El Hadi, DRISS, Zied, MANOKAR, A. Muthu, et al. Effect of aluminum balls on the productivity of solar distillate. *Journal of Energy Storage*, 2020, vol. 30, p. 101466.
- [21] MITTAL, Gaurav. An unsteady CFD modelling of a single slope solar still. *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [22] SELLAMI, M. H., BELKIS, T., ALIOUAR, M. L., et al. Improvement of solar still performance by covering absorber with blackened layers of sponge. *Groundwater for Sustainable Development*, 2017, vol. 5, p. 111-117.
- [23] BAIT, OMAR. Etude énergétique d'un distillateur solaire multi-étages. Diss. Université de Batna 2, 2014.
- [24] Deliou, A., et al. "Etude expérimentale des caractéristiques d'un distillateur solaire à effet de serre." *article Revue des Energies Renouvelables CICME 8* (2008).
- [25] ISMAIL, TABET. Etude d'un distillateur solaire à cascade. Mémoire de magister, Université Mentouri Constantine, 2010.
- [26] SATCUNANATHAN, Suppramanian et HANSEN, H.-P. An investigation of some of the parameters involved in solar distillation. *SolarEnergy*, 1973, vol. 14, no 3, p. 353-363.
- [27] HIND, Boudjebir. Étude de l'impact de l'écart de température (ambiance-eau) sur le rendement d'un distillateur solaire à effet de serre. Mémoire de magister, Université Mentouri Constantine, 2010.

REFERENCES

- [28] BOUTEBILA, Hichem. Etude et conception d'un distillateur solaire à usage agricole. Thèse de Doctorat, UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE, 2012.
- [29] MANDI, BENAÏSSA. Analyse thermo énergétique d'un procédé de dessalement d'eau. Thèse de doctorat. UNIVERSITÉ TLEMCEM ABOUBEKR BELKAÏD, 2013.
- [30] AKKALA, Siva Ram, KAVITI, Ajay Kumar, ARUNKUMAR, T., et al. Progress on suspended nanostructured engineering materials powered solar distillation-a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, vol. 143, p. 110848.
- [31] VEERAMANIKANDAN, K., VIGNESH, S., KRISHNAN, B. Pitchia, et al. Investigation of Al₂O₃-water Nano fluid flow through the circular tube. *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [32] Gupta, Sachin, et al. "Comparative performance analysis of flat plate solar collectors with and without aluminum oxide-based Nano-fluid." *Materials Today: Proceedings* (2020).
- [33] CHAÏB, Lilia et CHEKINI, Katia. Modélisation et simulation du transport de nanoparticules dans un écoulement de fluide dans une conduite. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou. 2015.
- [34] LAMRI, Zeggar Asma. Contribution à l'étude théorique des transferts thermiques convectifs dans un nanofluide. Université Mentouri Constantine, 2014.
- [35] YILDIZ, Gökhan, AĞBULUT, Ümit, et GÜREL, Ali Etem. A review of stability, thermophysical properties and impact of using Nanofluids on the performance of refrigeration systems. *International Journal of Refrigeration*, 2021.
- [36] Arshad, Adeel, et al. "A review on graphene based Nanofluids: Preparation, characterization and applications." *Journal of Molecular Liquids* 279 (2019): 444-484.
- [37] KHAN, A. Idrish et ARASU, A. Valan. A review of influence of nanoparticle synthesis and geometrical parameters on thermophysical properties and stability of Nanofluids. *Thermal Science and Engineering Progress*, 2019, vol. 11, p. 334-364.
- [38] AWAIS, Muhammad, ULLAH, Najeeb, AHMAD, Javaid, et al. Heat transfer and pressure drop performance of Nanofluids: A state-of-the-art review. *International Journal of Thermofluids*, 2021, p. 100065.
- [39] BRIKI, Saad Saoud et MEKEFES, Abdelbasset. ETUDE NUMERIQUE DE L'EFFET DES NANOPARTICULES SUR LE TRANSFERT DE CHALEUR DANS UNE CAVITE REMPLIE DE NANOFLUIDE. Thèse de Doctorat. Univ M'sila. 2020.
- [40] KABEEL, A. E., OMARA, Z. M., et ESSA, F. A. Improving the performance of solar still by using Nanofluids and providing vacuum. *Energy conversion and management*, 2014, vol. 86, p. 268-274.
- [41] ABDELAL, Nisrin et TAAMNEH, Yazan. Enhancement of pyramid solar still productivity using absorber plates made of carbon fiber/CNT-modified epoxy composites. *Desalination*, 2017, vol. 419, p. 117-124.

REFERENCES

- [42] NAVALE, V. J., KUMBHAR, S. R., et BHOJAWANI, V. K. Experimental study of masonic solar still by using Nanofluids. *International Engineering Research Journal*, 2016, p. 984-987.
- [43] SAHOTA, Lovedeep et TIWARI, G. N. Effect of Al₂O₃ nanoparticles on the performance of passive double slope solar still. *Solar Energy*, 2016, vol. 130, p. 260-272.
- [44] OMARA, Z. M., KABEEL, A. E., et ESSA, F. A. Effect of using Nanofluids and providing vacuum on the yield of corrugated wick solar still. *Energy conversion and management*, 2015, vol. 103, p. 965-972.
- [45] CHAICHAN, Miqdam T. et KAZEM, Hussein A. Using Aluminium Powder With PCM (paraffin wax) to Enhance Single Slope Solar Water Distillation Productivity in Baghdad –Iraq Winter Weathers. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 2015, vol. 5, no 1, p. 251-257.
- [46] SELLAMI, M. H., GUEMARI, S., TOUAHIR, R., et al. Solar distillation using a blackened mixture of Portland cement and alluvial sand as a heat storage medium. *Desalination*, 2016, vol. 394, p. 155-161.
- [47] LABIED, Abdelhamid, SELLAMI, M. Hassen, et CHERRAYE, Ridha. Experimental study to improve the performance of a conventional single-slope solar still using the photo-catalytic effect of three different metal oxides. *DESALINATION AND WATER TREATMENT*, 2020, vol. 208, p. 9-16.

ANNEXE

Instruments de mesure:

- **Instruments de mesure de rayonnement solaire global (Solari mètre):**



Figure1: Appareil de mesure de rayonnement solaire.

- **Instrument Mesure de la vitesse du vent:**



Figure 2: Appareil Mesure de la vitesse du vent.

- **Instrument de mesure de la température ambiante:**



Figure 3: Appareil de mesure de la température ambiante.

➤ **Instrument de Mesure de la température (thermocouples):**



Figure 4: Appareil de Mesure de la température (thermocouples).

➤ **Tubes Gradués:**



Figure 5: Éprouvette graduée.

الملخص :

يعد التقطير الشمسي من أكثر الطرق فعالية لتحلية المياه خاصة في جنوب الجزائر حيث تشرق الشمس معظم أيام السنة. من بين مسرعات التقطير الشمسي ، نجد كربونات الأنابيب النانوية تسمى الموائع النانوية والتي تعرف بأنها الجيل الجديد من المبردات بسبب توصيفها من خلال التوصيل الحراري العالي. يهدف هذا العمل التجريبي إلى تحسين كفاءة اللقطات الشمسية أحادية المنحدر من خلال إضافة نوعين من كربون الأنابيب النانوية ، وهما: الكربون مزدوج الجدران والكربون متعدد الجدران غير القابل للذوبان في الماء. أجريت التجارب في جامعة ورقلة.

تظهر النتائج المتحصل عليها مايلي:

تم تحسين إنتاجية المقطرات الشمسية بحوالي 19.53% عند استخدام الأنابيب النانوية الكربونية مزدوجة الجدار (*DWCNT*) بينما بالنسبة للأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران (*MWCNT*) ، فإن التحسن هو 12.68% مقارنة بالأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران (*MWCNT*).
الكلمات المفتاحية: التقطير الشمسي ، الطاقة الشمسية، الموائع النانوية، ماء، أنابيب الكربون النانوية.

Résumé

La distillation solaire est l'un des moyens les plus efficaces de dessaler l'eau en particulier dans le sud de l'Algérie où le soleil brille presque toute l'année. Parmi les accélérateurs de la distillation solaire, on trouve les carbones nano tubes appelés Nanofluides qui sont définis comme la nouvelle génération de caloporteurs à cause de leur caractérisation par une conductivité thermique élevée. Ce travail expérimental vise à améliorer le rendement des distillateurs solaires à pente unique en ajoutant deux types de carbone nano tubes à savoir : carbone double parois et carbone multi parois non soluble dans l'eau. Les expériences ont été menées à l'Université de Ouargla.

Les résultats obtenus montrent que :

La productivité des distillateurs solaires est améliorée d'environ 19.53 % si on utilise les Nanotubes de carbone à double paroi (*DWCNT*) tandis que pour les Nanotubes de carbone à parois multiples (*MWCNT*) l'amélioration est de 12.68 % par rapport au distillateur solaire témoin.

Mots clés : distillation solaire, énergie solaire, Nanofluides, eau, Carbone nano tubes.

Abstract:

Solar distillation is one of the most efficient ways to desalinate water especially in southern Algeria where the sun shines most of the year. Among the accelerators of solar distillation, we find nanotube carbons called Nanofluids which are defined as the new generation of coolants because of their characterization by high thermal conductivity. This experimental work aims to improve the efficiency of single-slope solar stills by adding two types of nanotube carbon, namely: double-walled carbon and multi-walled carbon not soluble in water. The experiments were carried out at the University of Ouargla.

The results obtained show that:

The productivity of solar stills is improved by about 19.53% when using Double Wall Carbon Nanotubes (*DWCNT*) while for Multi Wall Carbon Nanotubes (*MWCNT*) the improvement is 12.68% compared to solar still witness.

Key words: solar distillation, solar energy, Nanofluids, water, Carbon nano tubes.